

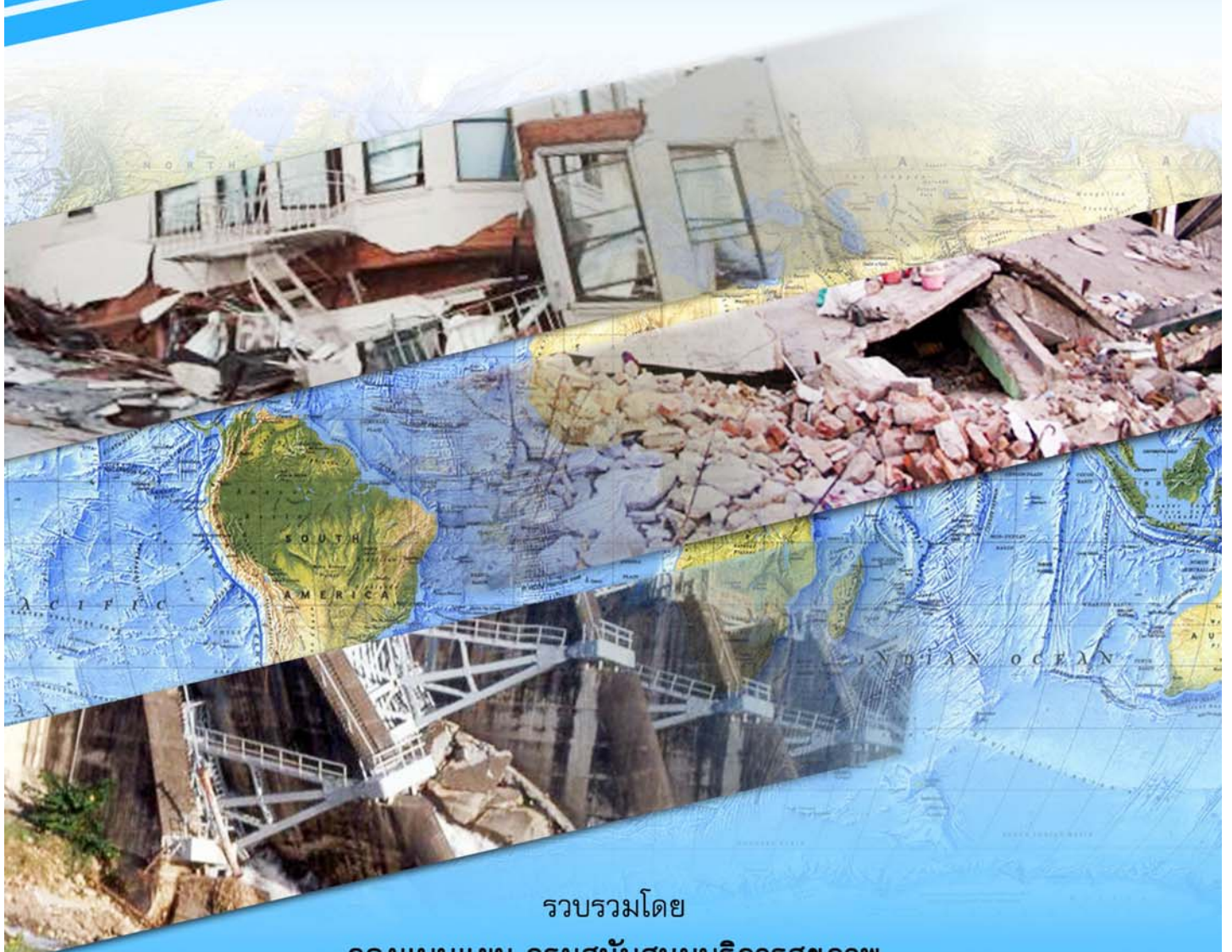


เอกสารประกอบคำบรรยาย

การอบรมสัมมนาวิชาการเรื่อง

“ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)”

Awareness And Preparation For Earthquake Scenarios



รวบรวมโดย

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ

กระทรวงสาธารณสุข

พ.ศ. 2554

โครงการการอบรมสัมมนาวิชาการ

เรื่อง

“ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)”

AWARENESS AND PREPARATION FOR EARTHQUAKE
SCENARIOS

ระหว่างวันที่ ๙ - ๑๐ มิถุนายน ๒๕๕๔
ณ โรงแรม ริชมอนด์ จังหวัดนนทบุรี

กองแบบแผน

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

คำนำ

โลกในช่วงเวลาที่ผ่านมาเป็นสังคมที่มีการบริโภคทรัพยากรกันอย่างฟุ่มเฟือย มีการใช้พลังงานที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้า การเผาผลาญพลังงานดังกล่าวทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในปริมาณมาก ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่งผลกระทบให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ปัญหามลภาวะเป็นพิษ ภัยพิบัติทางธรรมชาติรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากขึ้น และถี่ขึ้น จากสถิติแผ่นดินไหวของประเทศไทยที่ผ่านมา แม้ว่ายังไม่พบความเสียหายรุนแรง แต่ทำให้สัมผัสได้ว่าภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวนั้นอยู่ใกล้ตัวมากกว่าก่อน จึงควรตระหนักและเตรียมพร้อมให้มากขึ้น

ในอนาคตหากประเทศไทยต้องเผชิญกับกรณีภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว รุนแรงกว่าที่เคยผ่านมา ไม่ว่าจะเป็นที่เกิดที่ภาคส่วนใดของประเทศ อาคารของโรงพยาบาลในพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติดังกล่าว ต้องมีความพร้อมที่สามารถทนทานต่อแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวเพื่อหวังเวลาความเสียหายของโครงสร้างให้สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเครื่องมือแพทย์ได้อย่างปลอดภัย หรือทำให้อาคารดังกล่าวเกิดความเสียหายน้อยที่สุดเพื่อให้สามารถรองรับผู้บาดเจ็บจากกรณีภัยพิบัติได้ การเตรียมอาคารให้มีความพร้อมต่อการต้านทานแผ่นดินไหวจึงถือเป็นเรื่องสำคัญมาก ต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก การลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ต้องเริ่มต้นที่การถ่ายทอดความรู้ที่สำคัญให้แก่หน่วยงานและโรงพยาบาลเพื่อให้มีความตื่นตัว นำความรู้ไปบริหารจัดการเตรียมอาคารให้พร้อมในการรับมือกับสถานการณ์แผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้น

เรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่งที่กล่าวมาแล้วคือ การใช้พลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนและภัยพิบัติต่างๆตามมา พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยมีกำลังการผลิตมาจากเชื้อเพลิงที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งที่เป็นก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและน้ำมัน ถึงร้อยละ ๙๒ จากพลังงานน้ำร้อยละ ๕ และจากพลังงานอื่นๆร้อยละ ๓ จึงควรหันมาให้ความสำคัญในการบริหารจัดการพลังงาน การรวมพลังร่วมมือช่วยกันลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด โรงพยาบาลจัดเป็นหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเป็นอันดับต้นๆของประเทศ หากทุกๆโรงพยาบาลพร้อมใจกันช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง จะส่งผลในภาพรวมให้เห็นเป็นรูปธรรม ช่วยลดต้นทุนการสำรองพลังงานไฟฟ้าของประเทศ ส่งผลโดยตรงต่ออนุรักษ์พลังงานจากธรรมชาติ และช่วยลดมลภาวะมลพิษที่ส่งผลให้เกิดภัยพิบัติต่างๆตามมา

กองแบบแผน ตระหนักถึงความสำคัญของเหตุผลดังกล่าว จึงจัดทำโครงการอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)” ถ่ายทอดแก่ผู้บริหารของหน่วยราชการสำคัญ อาทิ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด โรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป โรงพยาบาลในพื้นที่กลุ่มเสี่ยง เพื่อให้ตื่นตัวรู้ทันและเตรียมพร้อมต่อสถานการณ์การเกิดแผ่นดินไหว และพร้อมกันนี้ได้จัดให้มีการถ่ายทอดความรู้เรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคาร เป็นการส่งเสริมตามแนวนโยบายของรัฐ เพื่อให้เกิดพลังร่วมมือกันในการประหยัดพลังงาน ช่วยลดผลกระทบด้านมลพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กองแบบแผน

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

สารบัญเอกสาร

เอกสารการบรรยายเรื่อง “ตื่นตัว ต่อภัยพิบัติแผ่นดินไหว ”

โดย ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

เอกสารการบรรยายเรื่อง “เตรียมพร้อม รับภัยพิบัติแผ่นดินไหว ”

โดย ดร.อมร พิमानมาศ

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT)

เอกสารการบรรยายเรื่อง “การอนุรักษ์พลังงาน” และ “การประหยัดพลังงานไฟฟ้า”

โดย นายจรัญ บุญยะคงรัตน์

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ภาคผนวก

เอกสาร Reducing Earthquake Risk in Hospitals from Equipment,
Contents, Architectural Elements and Building Utility Systems

GEOHAZARDS  **INTERNATIONAL**
A Nonprofit Working Toward Global Earthquake Safety

 **GeoHazards Society**
I N D I A

เอกสารบรรยายเรื่อง “ต้นตอ ต่อภัยพิบัติแผ่นดินไหว ”

โดย ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

รศ. ดร. เป็นหนึ่ง วาณิชชัย

ประวัติส่วนตัว	เกิดวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2504
การศึกษา	2525 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 1) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2528 M. Eng. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยโตเกียว ญี่ปุ่น 2533 D. Eng. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยโตเกียว ญี่ปุ่น
ที่ทำงาน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) กม. 42 ถ. พหลโยธิน อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120 โทร. 02-524-5530, โทรสาร 02-524-6059
สาขาที่เชี่ยวชาญ	พลศาสตร์โครงสร้าง (Structural Dynamics) วิศวกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Engineering) วิศวกรรมโครงสร้างต้านทานแรงลม (Wind Engineering) วิศวกรรมสะพาน (Bridge Engineering)
ประวัติการทำงาน	2525 วิศวกรโครงสร้าง, บริษัทเอ็ดคอน จำกัด ควบคุมงานก่อสร้างอาคารสำนักงานใหญ่ ของบริษัท ไทยสมุทรประกันภัย 2528-2530 วิศวกรโครงสร้าง, Hitachi Zosen Corporation ควบคุมงานก่อสร้างสะพานพระรามเก้า ซึ่งเป็นสะพาน เคเบิลซึ่งระนาบเดียว มีช่วงความยาวของสะพานระหว่าง เสาดอม่อหลัก 450 เมตร 2534-2535 นักวิจัยในตำแหน่ง Post-Doctoral Research Fellow, มหาวิทยาลัย Northwestern สหรัฐฯ ศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีลดระดับการสั่นสะเทือนของ โครงสร้างซับซ้อนที่มีความถี่ธรรมชาติเรียงตัวใกล้เคียงกัน ด้วยวิธี Active Vibration Control 2535-ปัจจุบัน อาจารย์, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) สอนและกำกับดูแลการศึกษาริชาตของนักศึกษาปริญญาโท และเอก ในสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง พลศาสตร์โครงสร้าง แผ่นดินไหว แรงลม และสะพาน

บทบาท, ผลงาน, และประสบการณ์ด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว & สึนามิ

- สำรวจความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวที่เมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2538, แผ่นดินไหว จิจิ ไต้หวัน ในปี พ.ศ. 2542, และแผ่นดินไหวที่อำเภอพาน จ. เชียงราย ในปี พ.ศ. 2537, แผ่นดินไหวที่เมืองบาลาคอต ประเทศปาकिสถาน ในปี พ.ศ. 2548, แผ่นดินไหวที่เมืองยอร์กจากร์ดำ ประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2549
- สำรวจความเสียหายที่เกิดจากคลื่นยักษ์สึนามิ ที่ จ. ภูเก็ต, พังงา, ระนอง และกระบี่ ในปี พ.ศ. 2548
- จัดทำแผนที่ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2537
- ให้คำปรึกษาและสนับสนุนข้อมูลแก่กองควบคุมอาคาร กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย ในการยกร่างกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ซึ่งควบคุมให้มีการออกแบบอาคารใน 10 จังหวัด ที่มีความเสี่ยงภัยให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างเหมาะสม
- กรรมการในคณะอนุกรรมการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ปรับปรุงเพื่อให้มีการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน)
- หัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย โครงการนี้มีนักวิจัยจาก 6 มหาวิทยาลัย และ 2 หน่วยงานรัฐเข้าร่วมรวม 17 คน และได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (พ.ศ. 2545-ปัจจุบัน)
- หัวหน้าโครงการประเมินความเสี่ยงแผ่นดินไหวของเมืองธากา (Dhaka) , จิตตะกอง (Chittagong) , และชิตเตต (Sylhet) ของประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีประชากรรวมมากกว่า 10 ล้านคน โดยดำเนินโครงการร่วมกับ Asian Disaster Preparedness Center และบริษัท Oyo International โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของ Comprehensive Disaster Management Program (CDMP) ของรัฐบาลบังคลาเทศ ที่ได้รับทุนสนับสนุนจาก UNDP, DFID-B และ European Commission (พ.ศ. 2551- ปัจจุบัน)
- หัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อจัดทำแผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากแผ่นดินไหวและอาคารถล่มสำหรับกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยโดยดำเนินโครงการร่วมกับบริษัทปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด (พ.ศ. 2550- ปัจจุบัน)
- หัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปต้านทานแผ่นดินไหว ให้แก่ การเคหะแห่งชาติ (พ.ศ. 2550- 2552)
- หัวหน้าโครงการวิจัยผลกระทบของแผ่นดินไหวระยะไกลที่มีต่ออาคารสูงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) ประเทศญี่ปุ่น (พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2548)
- วิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนขนาดใหญ่ในโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ สาละวิน ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

- ประธานคณะกรรมการด้านผลกระทบจากแผ่นดินไหวและแรงลม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)
- ผู้แทน ว.ส.ท. ในคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติ
- กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในคณะกรรมการอำนวยการเตือนภัยแห่งชาติ ซึ่งทำหน้าที่กำกับดูแลการทำงานของศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ
- ที่ปรึกษาด้านเทคนิคของผู้อำนวยการของ Asian Disaster Preparedness Center (ADPC)
ในการจัดตั้งศูนย์เตือนภัยพิบัติสีนามิของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
- วิทยากรรับเชิญไปบรรยายเกี่ยวกับภัยพิบัติแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ มากกว่า 120 ครั้ง และให้สัมภาษณ์ทางวิทยุและโทรทัศน์มากกว่า 80 ครั้ง
- ศึกษาวิจัยและเขียนบทความทางวิชาการด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและภัยพิบัติสีนามิมากกว่า 40 ฉบับ

ภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในประเทศไทย

บทความ พ.ศ.2547

รศ. ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

1. บทนำ

ประชาชนชาวไทยทั่วไปอาจจะเคยได้รับทราบถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวรุนแรงในต่างประเทศ ที่มีอาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมากถูกทำลาย และมีผู้คนเป็นจำนวนมากได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต แต่ก็มักคิดว่าเหตุการณ์เช่นนี้จะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นในประเทศไทย เพราะเชื่อว่าประเทศไทยมีทำเลที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว และเชื่อว่าแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นมาแล้ว เป็นเพียงแผ่นดินไหวขนาดเล็กๆ ที่ไม่เป็นอันตราย ดังนั้นการเตรียมพร้อมป้องกันภัยแผ่นดินไหวจึงดูเหมือนเป็นเรื่องที่ไม่จำเป็นและเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ

ในบทความนี้ ผู้เขียนจะขอเสนอข้อมูล ผลสำรวจ และผลงานวิจัยใหม่ๆเกี่ยวกับแผ่นดินไหวภายในประเทศมาแสดงเพื่อให้ทราบว่า ความเชื่อดังกล่าวเบื้องต้นเป็นความเชื่อที่ไม่ถูกต้อง กล่าวคือภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวที่รุนแรงมีโอกาสเกิดขึ้นได้จริงในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย และการเตรียมพร้อมป้องกันภัยดังกล่าวโดยเฉพาะการออกแบบและก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งยวด

2. การตรวจวัดแผ่นดินไหว

ข้อมูลที่สำคัญเป็นอันดับแรกที่จะช่วยให้เราทราบถึงความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหวคือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดแผ่นดินไหว (seismograph) เพราะเป็นข้อมูลที่แสดงถึง ขนาดของแผ่นดินไหว ตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง และเวลาที่แน่นอนของแผ่นดินไหวแต่ละครั้ง สำหรับประเทศไทยและประเทศข้างเคียงในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เราได้มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวด้วยเครื่องวัดอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานานกว่า 90 ปีแล้ว [1, 2] (ดูรูปที่ 1) โดยในระยะแรกคือช่วงพ.ศ. 2453 – 2505 สถานีตรวจวัดยังมีจำนวนไม่มากนัก ตั้งกระจายกันห่างๆเป็นเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่หลายประเทศ และในช่วงเวลานี้ยังไม่มีสถานีตรวจวัดในประเทศไทย เครื่องวัดก็มีคุณภาพและความไวในการตรวจจับคลื่นแผ่นดินไหวที่ไม่สูงนัก ทำให้เครือข่ายสถานีตรวจวัดสามารถตรวจจับได้เฉพาะแผ่นดินไหวที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ (ประมาณ 6 ริกเตอร์ ขึ้นไป) ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง (ประมาณ 3 ริกเตอร์ ถึง 5 ริกเตอร์) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากมักหลุดรอดจากการตรวจวัดไปได้ แผ่นดินไหวครั้งสำคัญที่ตรวจพบในประเทศไทยในช่วงเวลานี้ คือแผ่นดินไหวที่จังหวัดน่าน เมื่อปี พ.ศ. 2478 มีขนาดถึง 6.5 ริกเตอร์ (ดูตารางที่ 1)

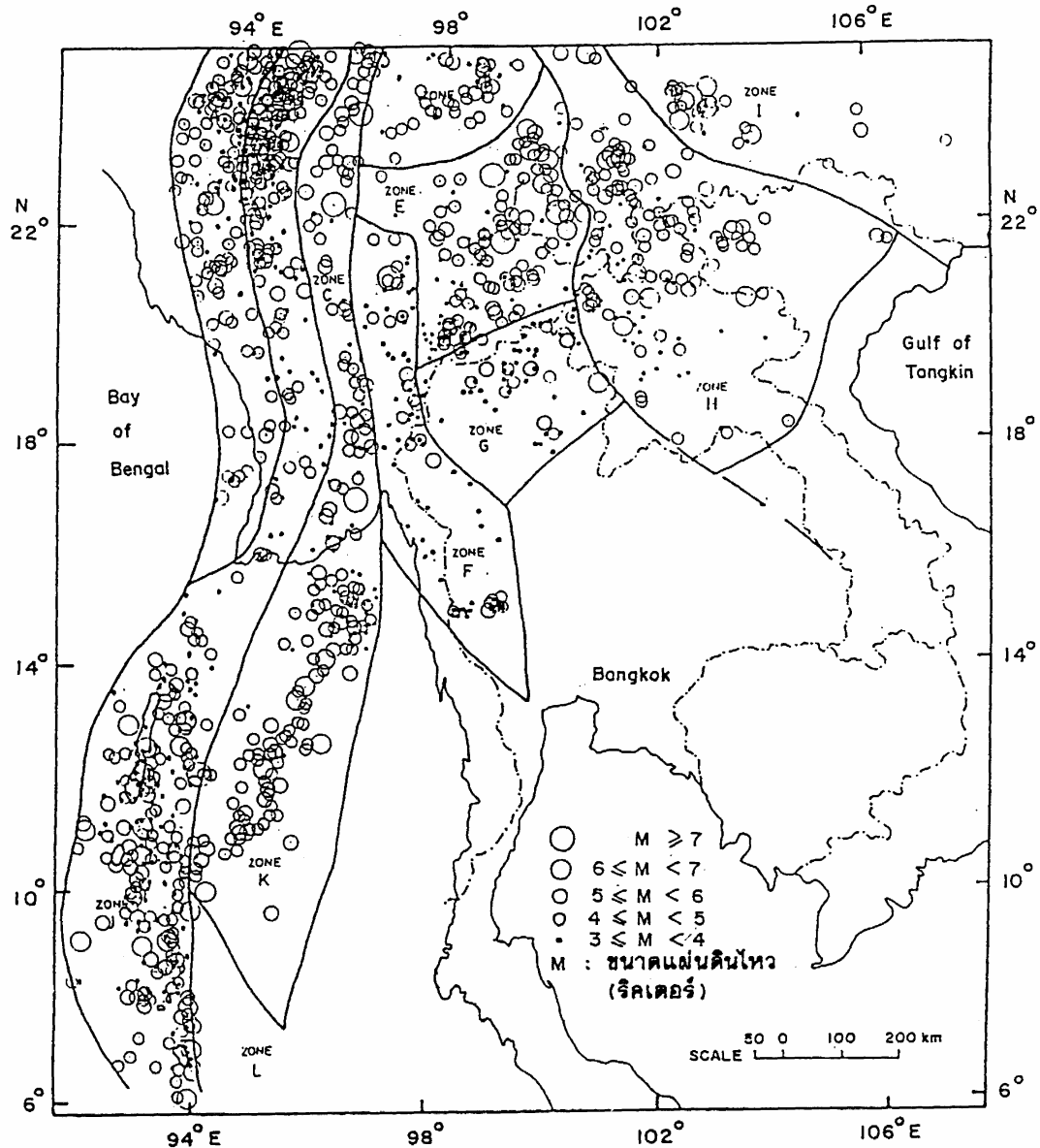
ในช่วงเวลาต่อมา คือ พ.ศ. 2506 -ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาขีดความสามารถของการตรวจวัดดีขึ้นมาก กล่าวคือ ได้มีการนำเครื่องวัดรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพและความไวสูง เข้ามาแทนที่เครื่องวัดรุ่นเก่า มีการเพิ่มจำนวนสถานีวัดในเครือข่ายและได้เริ่มมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดในสังกัดของกรมอุตุนิยมวิทยาของไทยเป็นครั้งแรกที่จังหวัดเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2506 ซึ่งต่อมาในปีพ.ศ. 2525 สถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาได้เพิ่มขึ้นเป็น 7 สถานี กระจายครอบคลุมพื้นที่ของประเทศอย่างทั่วถึง และในปัจจุบัน จำนวนสถานีวัดได้เพิ่มขึ้นอีกเป็น 19 สถานี ด้วยการพัฒนาประสิทธิภาพของเครือข่ายสถานีตรวจวัดทั้งในและนอกประเทศในช่วงหลังนี้ทำให้เราเริ่มตรวจพบแผ่นดินไหวขนาดเล็กและขนาดกลางในภาคเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือของไทยเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 1 แผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ 5 ริกเตอร์ขึ้นไปที่เคยตรวจวัดได้ในประเทศไทย

วัน-เดือน-ปี	สถานที่เกิด	ขนาด (ริกเตอร์)
13 พ.ค. 2478	จ. น่าน	6.5
17 ก.พ. 2518	อ. ท่าสองยาง จ. ตาก	5.6
15-22 เม.ย. 2526	อ. ศรีสวัสดิ์ จ. กาญจนบุรี	5.3, 5.9, 5.2 (3 ครั้ง)
11 ก.ย. 2537	อ. พาน จ. เชียงราย	5.1
9 ธ.ค. 2538	อ. ร้องกวาง จ. แพร่	5.1
21 ธ.ค. 2538	อ. พร้าวจ. เชียงราย	5.2
22 ธ.ค. 2539	พรมแดนไทย-ลาว-พม่า (ใกล้ อ. ดอยหลวง จ. เชียงราย)	5.5

3. อันตรายจากแผ่นดินไหวขนาดกลาง

ประเด็นที่น่าเป็นห่วงคือ นับตั้งแต่เราเริ่มมีความสามารถในการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ดีขึ้น เราก็ได้ตรวจพบแผ่นดินไหวขนาดกลาง (ประมาณ 5 ริกเตอร์) เป็นจำนวนถึง 8 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 แผ่นดินไหวขนาดกลางเหล่านี้จัดได้ว่าเป็นแผ่นดินไหวที่อันตราย ทั้งนี้เพราะในบริเวณรัศมีประมาณ 10 ถึง 15 กม. จากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว จะมีระดับการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่รุนแรงมาก จนอาจถึงขั้นที่สามารถทำลายอาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างต่างๆไปได้ ในขณะที่บริเวณรอบนอกที่ห่างออกมาจากศูนย์กลางจะมีระดับการสั่นสะเทือนที่ลดทอนความรุนแรงลงมา จนอาจเหลือเพียงแค่ระดับที่ทำให้อาคารสั่นไหวเล็กน้อยหรือทำให้ผู้คนรู้สึกได้เท่านั้น ดังนั้น ถ้าบริเวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีการสั่นสะเทือนรุนแรงนี้ ไปเกิดตรงกับบริเวณเมืองใหญ่ที่มีประชากรหนาแน่นและมีอาคารบ้านเรือนเป็นจำนวนมากที่มีได้ออกแบบก่อสร้างให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว ก็อาจจะก่อให้เกิดภัยพิบัติที่รุนแรงได้ ภัยพิบัติในลักษณะดังกล่าวนี้เคยเกิดขึ้นมาแล้วในหลายๆประเทศ ดังตัวอย่างเหตุการณ์ที่แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งและขนาดของแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทยและประเทศข้างเคียง ตั้งแต่ พ.ศ. 2453 ถึงปัจจุบัน (วงกลมแต่ละวงแสดงตำแหน่งศูนย์กลางของแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง และขนาดของวงกลมแปรเปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับขนาดของแผ่นดินไหว)

ในกรณีของประเทศไทย แผ่นดินไหวขนาดกลางที่อันตรายเหล่านี้เกือบทุกครั้งเกิดในตำแหน่งที่ห่างไกลจากบริเวณชุมชน กล่าวคือ บริเวณศูนย์กลางของแผ่นดินไหวเหล่านี้ไปเกิดใน เทือกเขา อ่างเก็บน้ำ หรือบริเวณป่า จึงมิได้ก่อให้เกิดภัยพิบัติที่รุนแรงแต่อย่างใด ประชาชนทั่วไปจึงมักจะประสบกับสภาพการสั่นสะเทือนที่มีระดับไม่รุนแรง เพราะอยู่ในบริเวณรอบนอกที่ห่างจากศูนย์กลาง ทำให้เกิดความเข้าใจผิด คิดว่าแผ่นดินไหวเหล่านี้เป็นแผ่นดินไหวที่ไม่เป็นอันตราย อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2537 ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นครั้งแรกถึงความรุนแรงที่แท้จริงของแผ่นดินไหวขนาดกลางเหล่านี้ เพราะเป็นเหตุการณ์ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในบริเวณเทือกเขาที่ห่างจากตัวอำเภอเพียง 20 ถึง 30 กม. ได้ก่อให้เกิดความ

เสียหายค่อนข้างรุนแรงต่ออาคารคอนกรีต 2 ชั้นของโรงพยาบาลพาน รวมทั้งได้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่โรงเรียนมากกว่า 20 หลัง และวัดมากกว่า 30 แห่ง [3]

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเหตุการณ์ภัยพิบัติรุนแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาดกลาง

สถานที่เกิดแผ่นดินไหว	ขนาด (ริคเตอร์)	ปีที่เกิด (พ.ศ.)	ความเสียหาย
ตรงกับตำแหน่งเมือง Agadir, ประเทศ Morocco	5.7	2503	มีผู้เสียชีวิต 12,000 คน, บาดเจ็บ 12,000 คน, อาคารจำนวนมากในเมืองพังทลาย
Northern Yemen	5.8	2525	มีผู้เสียชีวิต 2,800 คน, หมู่บ้านประมาณ 300 แห่ง ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง
เมือง El Salvador, ประเทศ San Salvador	5.4	2529	มีผู้เสียชีวิต 1,000 คน, บาดเจ็บ 10,000 คน, ไร่ที่อยู่อาศัย 200,000 คน
เมือง Dushanbe รัฐ Tadzhik สหภาพโซเวียตรัสเซีย	5.5	2532	มีผู้เสียชีวิตประมาณ 1,000 คน
ใกล้เมือง Timisoara ในประเทศโรมาเนีย	5.5	2534	มีผู้เสียชีวิต 1 คน, บาดเจ็บ 28 คน, ไร่ที่อยู่อาศัย 3,700 คน, บ้านเรือนพังเสียหาย 2,800 หลัง
ห่างจากกรุง Cairo ประเทศ Egypt เพียง 20 กม.	5.2	2535	มีผู้เสียชีวิต 593 คน, บาดเจ็บมากกว่า 600 คน, อาคารเสียหายรุนแรงถึง 14,000 หลัง
เมือง Yongheng มณฑล Gansu สาธารณรัฐประชาชนจีน	5.8	2539	มีผู้เสียชีวิต 13 คน, บาดเจ็บ 52 คน, บ้านเรือนพังเสียหาย 4,500 หลัง

แผ่นดินไหวขนาดกลางที่เป็นอันตรายเหล่านี้ คงจะเคยเกิดขึ้นมาแล้วเป็นจำนวนมากในอดีต ก่อนหน้าที่เราจะเริ่มตรวจวัดได้ และก็คงจะเกิดต่อไปอีกเรื่อยๆในอนาคตในบริเวณภาคเหนือและ ตะวันตกเฉียงเหนือของไทย เพราะพื้นที่ในบริเวณนี้เป็นส่วนหนึ่งของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ต่อเนื่องมาจากบริเวณรอยต่อของเปลือกโลกซึ่งพาดผ่าน ทะเลอันดามัน ประเทศพม่า และประเทศจีน ตอนใต้ (ดูรูปที่ 1) ประเด็นที่สำคัญคือ จำนวนประชากรและขนาดของเมืองใหญ่ในภูมิภาคนี้มี แนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอย่างรวดเร็ว ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติที่รุนแรงจึงเพิ่มขึ้นในอัตราที่น่า เป็นห่วงเป็นอย่างมาก

4. โอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

นอกเหนือจากความเสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหวขนาดกลางที่มีรัศมีการทำลายสิ้นแล้ว ความเสี่ยง ในอีกรูปแบบหนึ่งมาจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 6.5 ริคเตอร์ขึ้นไป

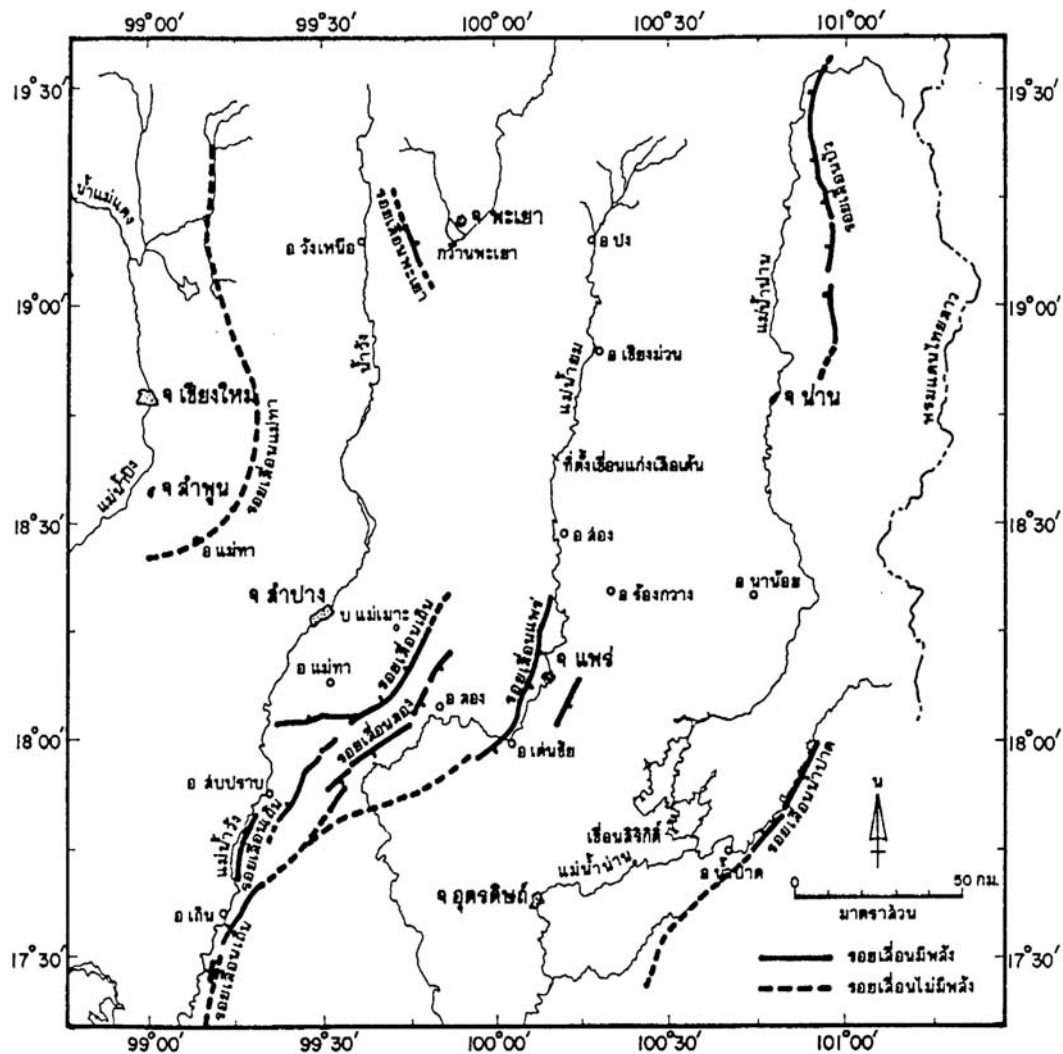
แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่มีศักยภาพในการทำลายอาคารบ้านเรือนสูงกว่าแผ่นดินไหวขนาดกลางมาก ทั้งนี้เพราะบริเวณศูนย์กลางของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีระดับการสั่นสะเทือนที่รุนแรงกว่า แผ่นขยายครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่า และสั่นสะเทือนเป็นระยะเวลาที่นานกว่าแผ่นดินไหวขนาดกลางมาก

ตัวอย่างเหตุการณ์ที่แสดงให้เห็นถึงภัยจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ชัดเจน ได้แก่ เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 7.2 ริคเตอร์ ที่ประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 17 ม.ค. 2538 ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่บริเวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดขึ้นตรงกับตำแหน่งของเมืองโกเบที่มีประชากรหนาแน่น ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตถึง 5,300 คน บาดเจ็บมากกว่า 26,000 คน และไร้ที่อยู่อาศัยประมาณ 300,000 คน อาคารเสียหายรุนแรงมากกว่า 75,000 หลัง ทางด่วนและทางรถไฟยกระดับหลายส่วนพังทลายลงมา และทำเทียบเรือเกือบทั้งหมดเสียหายจนใช้การไม่ได้ [4] เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ตุรกี เมื่อวันที่ 17 ส.ค. 2542 ก็เป็นอีกเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ซึ่งวัดได้ 7.4 ริคเตอร์ มีผู้เสียชีวิตถึง 15,000 คน และมีอาคารเสียหายรุนแรงมากกว่า 40,000 หลัง

คำถามที่สำคัญ คือ แผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีโอกาสเกิดขึ้นในประเทศไทยหรือไม่ ? ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีอยู่ในขณะนี้อาจจะยังไม่เพียงพอที่จะตอบคำถามนี้ เพราะความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มักมีค่าที่ต่ำกว่าของแผ่นดินไหวขนาดกลางมาก จากสถิติการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณที่ต่างๆทั่วโลกได้บ่งชี้ว่า ความถี่โดยเฉลี่ยของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7 ริคเตอร์ จะมีค่าเพียงประมาณ 1/8 และ 1/64 ของความถี่ของแผ่นดินไหวขนาด 6 ริคเตอร์ และ 5 ริคเตอร์ตามลำดับ ถ้าเราคำนวณคร่าวๆโดยใช้สถิตินี้จะพบว่าแผ่นดินไหวขนาด 7 ริคเตอร์ ถ้าเกิดขึ้นจริงก็น่าจะเกิดด้วยความถี่ประมาณ 200 ปี ถึง 300 ปี ต่อครั้ง ดังนั้น การที่เราไม่เคยตรวจพบแผ่นดินไหวขนาด 7 ริคเตอร์ในประเทศไทยเลยในช่วงเวลา 90 ปีที่ผ่านมา จึงมิได้เป็นข้อพิสูจน์ว่าประเทศไทยเราปลอดภัยจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

วิธีหนึ่งที่จะทำให้ทราบถึงโอกาสเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ คือ ทำการสำรวจรอยเลื่อนต่างๆที่มีอยู่ในประเทศด้วยเทคนิคทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มักเกิดจากการเคลื่อนไถลตัวของหินเปลือกโลกเป็นแนวยาวหลายสิบกิโลเมตรตามแนวรอยเลื่อน ส่งผลให้เกิดร่องรอยแตกแยกและการเปลี่ยนแปลงบนผิวพื้นดิน เมื่อปรากฏการณ์นี้ผสมผสานกับการกัดกร่อน (erosion) โดยธรรมชาติ ก็จะทำให้เกิดเป็นรอยจารึกทางธรณีวิทยาทั้งไว้หลายรูปแบบ และถ้ารอยเลื่อนนั้นเป็นรอยเลื่อนที่ทำให้กำเนิดแผ่นดินไหวอยู่เป็นประจำเป็นระยะเวลายาวนานหลายหมื่นหลายแสนปีหรือนานกว่า ก็จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศในบริเวณรอบๆรอยเลื่อนในรูปแบบที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน เช่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแนวของลำน้ำที่พาดผ่านรอยเลื่อน หรือก่อให้เกิดลักษณะลาดเขารูปสามเหลี่ยมเป็นขั้นบันไดขนานกับแนวรอยเลื่อน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การสำรวจรอยเลื่อนและลักษณะภูมิประเทศโดยรอบ รวมทั้งการตรวจสอบรอยจารึกทางธรณีวิทยาอย่างละเอียด จะช่วยให้เราทราบถึงการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ๆย้อนหลังกลับไปในอดีตได้ชัดเจนขึ้น

การสำรวจรอยเลื่อนในลักษณะดังกล่าวนี้ได้เริ่มมีขึ้นแล้วในประเทศไทยโดยการดำเนินงานของกรมทรัพยากรธรณีและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ในที่นี้จะขอยกงานสำรวจที่สำคัญงานหนึ่งมากล่าวถึง งานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านธรณีวิทยาของโครงการก่อสร้างเขื่อนแก่งเสือเต้น จังหวัดแพร่ [5] งานสำรวจนี้ทำขึ้นในปี พ.ศ. 2539 โดย บริษัท Woodward-Clyde Federal Services (สหรัฐอเมริกา) โดยมีกรมทรัพยากรธรณีเป็นผู้ว่าจ้างและกำกับดูแล งานสำรวจนี้ได้ครอบคลุมถึงรอยเลื่อนในหลายจังหวัดในภาคเหนือที่อยู่ไนรัศมี 150 กม. จากตำแหน่งเขื่อน ผลการสำรวจได้แสดงว่ามีรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault) ที่สามารถให้กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ถึง 7 รอยในพื้นที่นี้ ซึ่งรอยเลื่อนหลายรอยมีตำแหน่งใกล้เคียงกับบริเวณตัวเมืองของจังหวัดลำปาง แพร่ น่าน และ พะเยา (ดูรูปที่ 2) ดังนั้น เมืองเหล่านี้จึงมีความเสี่ยงต่อภัยพิบัติที่รุนแรงจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ผลการสำรวจยังได้ชี้ด้วยว่า ความถี่ในการให้กำเนิดแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนเหล่านี้มีค่าค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ รอยเลื่อนแต่ละรอยอาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ทุกๆ พันปี หรือ หลายพันปีต่อครั้ง



รูปที่ 2 แผนที่แสดงแนวรอยเลื่อนในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยที่อาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ [5]

5. เหตุการณ์แผ่นดินไหวรุนแรงในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลการตรวจวัดและผลการสำรวจรอยเลื่อนดังที่กล่าวมาแล้ว พอสรุปได้ว่า บริเวณภาคเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติรุนแรงจากแผ่นดินไหวอยู่จริง แต่เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในบริเวณนี้มีความถี่ในการเกิดที่ค่อนข้างต่ำ จึงอาจจะยังไม่ปรากฏให้เห็นในยุคปัจจุบัน ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดกลางซึ่งเกิดขึ้นบ่อยครั้งก็มีศักยภาพในการทำลายที่จำกัดอยู่ในเฉพาะบริเวณรัศมีสั้นๆ ใกล้จุดศูนย์กลาง และบริเวณที่อันตรายนี้ยังไม่เคยเกิดตรงตำแหน่งของเมืองใหญ่ๆ ดังนั้น ประชาชนทั่วไปในยุคปัจจุบันจึงยังไม่เคยประสบเหตุการณ์ภัยพิบัติรุนแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตาม ถ้าเรามองย้อนกลับไปในอดีต โดยดูจากบันทึกทางประวัติศาสตร์ ก็จะได้พบว่า แผ่นดินไหวที่รุนแรงเคยเกิดขึ้นมาแล้วหลายครั้ง ดังตัวอย่างเช่น:

- เมื่อ ปี พ.ศ. 2088 เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงที่นครเชียงใหม่ ทำให้ส่วนยอดของพระเจดีย์หลวง ซึ่งเชื่อว่าเป็นสิ่งปลูกสร้างที่ใหญ่ที่สุดในยุคนั้น คือ สูงถึง 86 เมตร หักโค่นพังทลายลงมาจนเหลือเพียง 50 เมตร (ดูรูปที่ 3) แผ่นดินไหวครั้งนี้ยังได้ทำให้เจดีย์วัดพระสิงห์ และเจดีย์อื่นๆ อีกหลายองค์ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงหักโค่นพังทลายลงมา [6]
- เมื่อ ปี พ.ศ. 2258 เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงที่นครเชียงใหม่ ทำให้วัดวาอารามและพระเจดีย์ในบริเวณ 4 ตำบลถูกทำลาย ภายหลังเหตุการณ์นี้ แผ่นดินยังสั่นสะเทือนอีกหลายครั้งเป็นระยะๆ ตลอดทั้งเดือน ก่อนที่จะสงบลงไป (เชื่อว่า เป็นปรากฏการณ์ ที่เรียกว่า After Shocks ซึ่งมักเกิดขึ้นภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่) [1]



รูปที่ 3 พระเจดีย์หลวงของนครเชียงใหม่ เดิมสูงถึง 86 เมตร แต่เหตุการณ์แผ่นดินไหว ในปี พ.ศ. 2088 ได้ทำให้ส่วนยอดหักโค่นพังทลายลงมา จนเหลือความสูงเพียงประมาณ 50 เมตร

6. ผลกระทบของแผ่นดินไหวระยะไกลต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ

นอกเหนือจากบริเวณภาคเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือแล้ว บริเวณอีกแห่งหนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหว คือ บริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง ซึ่งเป็นที่ตั้งของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ความเสี่ยงของบริเวณนี้มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากบริเวณอื่น เพราะตั้งอยู่นอกพื้นที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ดังนั้น ความเสี่ยงจึงมิได้เกิดจากแผ่นดินไหวในระยะใกล้ แต่เป็นผลมาจากแผ่นดินไหวในระยะไกล เช่น แผ่นดินไหวในประเทศพม่า ในทะเลอันดามันหรือในจังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น

การที่แผ่นดินไหวในระยะไกลสามารถส่งผลกระทบต่ออาคารบ้านเรือนในบริเวณกรุงเทพฯ ได้ นั้น เป็นเพราะสภาพดินอ่อนในบริเวณนี้ก่อให้เกิดการขยายความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ถึงประมาณ 3 ถึง 4 เท่าตัวของระดับปกติ นอกจากนี้การสั่นสะเทือนที่ถูกขยายความรุนแรงจะมีลักษณะแตกต่างจากแผ่นดินไหวทั่วไป กล่าวคือจะเป็นการสั่นสะเทือนในแนวราบที่ค่อนข้างเป็นจังหวะ ประมาณ 1 รอบต่อวินาที การสั่นสะเทือนลักษณะนี้จะมีผลต่ออาคารสูงมากกว่าอาคารเตี้ยหรืออาคารขนาดเล็ก อาคารสูงที่มีจังหวะในการโยกตัวตามธรรมชาติ (Natural Frequency) ที่พ้องกับจังหวะของการสั่นสะเทือนของพื้นดินจะเกิดการโยกตัวที่รุนแรงเป็นพิเศษ [7,8]

ตัวอย่างผลกระทบของแผ่นดินไหวระยะไกลที่มีต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ ดูได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว 2 ครั้งเมื่อไม่นานมานี้ เหตุการณ์ครั้งแรกเป็นแผ่นดินไหวขนาด 6.6 ริกเตอร์ เกิดเมื่อวันที่ 22 ม.ค. 2546 มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เกาะสุมาตรา ห่างจากกรุงเทพฯ มากกว่า 1000 กม. ได้ส่งผลให้อาคารสูงหลายแห่งในกรุงเทพฯ โยกไหวตัวรุนแรงจนสร้างความตกใจ-อลหม่านให้กับพนักงานออฟฟิศและผู้คนเป็นจำนวนมากที่อยู่บนอาคารเหล่านั้น เหตุการณ์ครั้งที่ 2 เป็นแผ่นดินไหวขนาด 6.5 ริกเตอร์ เกิดเมื่อวันที่ 22 ก.ย. พ.ศ. 2546 มีจุดศูนย์กลางอยู่ในประเทศพม่า ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 850 กม. ได้ส่งผลกระทบต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ ที่รุนแรงกว่าครั้งแรก จนทำให้อาคารสูงบางอาคารเกิดความเสียหายเล็กน้อย เช่น กำแพงอิฐก่อบางตำแหน่งแตกร้าว

เหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 2 ครั้งทีกล่ามาแล้วนี้ เป็นเพียง “สัญญาณเตือนภัย” เพราะเรามีโอกาสที่จะเผชิญกับผลกระทบที่รุนแรงกว่านี้ ถ้าเกิดมีแผ่นดินไหวที่ใหญ่กว่า 6.6 ริกเตอร์ ในระยะที่ใกล้กว่า 850 กม. ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเกิดแผ่นดินไหวขนาดประมาณ 7 ริกเตอร์ ในทะเลอันดามันบนแนวที่มีแผ่นดินไหวชุกชุม ซึ่งห่างจากกรุงเทพฯ เพียง 400 กม. (ดูรูปที่ 1) ผลกระทบต่ออาคารสูงในกรุงเทพฯ จะรุนแรงกว่าที่เคยเกิดในเหตุการณ์ทั้ง 2 ครั้ง ถึงประมาณ 4 ถึง 6 เท่าตัว และถ้าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7 ริกเตอร์ ในบริเวณ จ.ว. กาญจนบุรี ซึ่งหากจากกรุงเทพฯ เพียง 200 กิโลเมตร ผลกระทบอาจจะรุนแรงกว่าที่เคยเกิดมาแล้วถึง 10 เท่าตัวหรือมากกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้อาคารสูงและสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมากเสียหายจนพังทลายลงมาได้ ภัยพิบัติเช่นนี้ยังไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในประวัติศาสตร์ประมาณ 200 ปีของกรุงเทพฯ แต่ถ้าเกิดขึ้นโดยที่เรามิได้เตรียมพร้อมรับมือ เราอาจได้เห็นภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของประเทศไทย!

7. กฎกระทรวงแผ่นดินไหว

การเตรียมพร้อมรับมือภัยจากแผ่นดินไหวนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่เชื่อว่ามีประสิทธิภาพที่สุดคือการออกแบบและก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยให้มีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้ ส่วนวิธีการอื่น เช่น การเตรียมรับสถานการณ์ฉุกเฉินหลังเกิดเหตุ ก็อาจมีส่วนช่วยเสริมได้บ้างแต่ก็ไม่สำคัญเท่า ทั้งนี้ เนื่องจากแผ่นดินไหวที่รุนแรงมีได้เกิดขึ้นบ่อยครั้ง การเกิดที่รุนแรงในแต่ละครั้งอาจมีการทิ้งช่วงเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ตำแหน่งที่เกิดและเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวก็ไม่แน่นอน ไม่สามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้า (ด้วยเทคโนโลยีในยุคปัจจุบัน) แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะสามารถเคลื่อนย้ายคนออกจากตัวอาคาร ดังนั้น หากอาคารสามารถทนการสั่นสะเทือนนี้ได้โดยไม่พังทลายลงมา ก็จะสามารถรักษาชีวิตของประชาชนไว้ได้

อาคารที่ได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้นั้น มักมีรูปทรงที่สมมาตร มีระบบโครงสร้างที่ดี และมีสัดส่วนโครงสร้างที่แข็งแรง ในขณะที่เดียวกันก็จะมีความยืดหยุ่นและความเหนียวค่อนข้างสูง คือ สามารถโยกไหวได้โดยไม่แตกหักรุนแรงจนสูญเสียกำลังรับน้ำหนักบรรทุก และที่สำคัญจากการศึกษาวิจัยพบว่า อาคารซึ่งได้รับการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหวอย่างถูกวิธีจะมีราคาสูงกว่าอาคารที่ไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหวเพียง 2% ถึง 7% เท่านั้น [9,10] ราคาที่ได้เพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่าตัวเหมือนที่หลายๆ คนเชื่อกัน อีกทั้งราคาที่เพิ่มขึ้นนี้ยังสามารถปรับลดลงไปได้ อีกทั้งอาคารมีการออกแบบในด้านอื่นๆที่ดี

ด้วยแนวคิดดังกล่าวนี้ กระทรวงมหาดไทยได้ออกกฎกระทรวงมาฉบับหนึ่ง ควบคุมให้อาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยมีการออกแบบก่อสร้างให้ต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างเหมาะสม พื้นที่เสี่ยงภัยที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับนี้ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และ กาญจนบุรี [11] กฎกระทรวงฉบับนี้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2540 นับเป็นก้าวสำคัญของการดำเนินการลดภัยพิบัติแผ่นดินไหวของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม พื้นที่เสี่ยงภัยตามกฎหมายนี้มิได้ครอบคลุมถึงบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล และข้อกำหนดต่างๆในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวที่ระบุไว้ในกฎกระทรวงก็ค่อนข้างล้าสมัยและไม่สมบูรณ์ครบถ้วน อีกทั้งการนำกฎหมายนี้ไปบังคับใช้อย่างจริงจังเพื่อให้ได้ผลในทางปฏิบัติเป็นไปตามเจตนารมณ์ของกฎหมายดูเหมือนจะมีปัญหาและอุปสรรคอยู่หลายประการ ที่สำคัญคือ เจ้าหน้าที่ในภาครัฐที่มีหน้าที่ควบคุมการออกแบบก่อสร้างรวมทั้งวิศวกรผู้ออกแบบทั้งในภาคเอกชนและภาครัฐนั้น ส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในหลักการสำคัญๆของการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว ซึ่งแตกต่างจากการออกแบบอาคารรับแรงประเภทอื่นๆ ดังนั้น การนำมาตรการกฎหมายมาควบคุมการออกแบบอาคารจึงจำเป็นต้องทำควบคู่ไปกับการเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงเหล่านี้ด้วย

8. บทส่งท้าย

ผู้เขียนหวังว่าบทความนี้จะช่วยให้ผู้อ่านได้เข้าใจและตระหนักถึงอันตรายที่แท้จริงของแผ่นดินไหว เราคงจะไม่สามารถเพิกเฉยต่อภัยธรรมชาติชนิดนี้ได้อีกต่อไป ผู้เขียนเชื่อว่าการลดความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเป็นสิ่งที่ทำได้จริง แต่ก็มีข้อเรื่องง่าย เพราะผู้ที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับลักษณะพิเศษของภัยแผ่นดินไหวและมีการเตรียมพร้อมป้องกันภัยอย่างถูกวิธี ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับภัยแผ่นดินไหวมากกว่าที่เป็นอยู่ และร่วมมือช่วยกันผลักดันให้มาตรการลดภัยพิบัติบังเกิดผลในทางปฏิบัติอย่างแท้จริง ถ้าเราทำได้เร็วเพียงพอ เราอาจจะสามารถรักษาชีวิตของประชาชนเป็นจำนวนมากไว้ได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวรุนแรงครั้งต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. ปริญญา นุตาลัย, โศภิษฐ์ สดสี, และ E.P. Arnold (1985), *Series on Seismology Volumn II- Thailand, Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering*, 403 p.
2. สุมาลี ประจวบ และ บุรินทร์ เวชบรรเทิง (1992), *Earthquake Data Report of Thailand and Adjacent Areas 1983-1989*, กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ.
3. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และ เป็นหนึ่ง วานิชชัย (1994), “ความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย”, *โยธาสาร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ปีที่ 7 ฉบับที่ 1* หน้า 9 – 16.
4. เป็นหนึ่ง วานิชชัย (1995), “บทเรียนจากแผ่นดินไหวที่โกเบ”, *เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย*, เชียงใหม่ 9-11 พฤศจิกายน หน้า 79-84.
5. รายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านธรณีวิทยา โครงการก่อสร้างเขื่อนแก่งเสือเต้น จังหวัดแพร่ (1997), กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม (รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยกลุ่มบริษัทที่ปรึกษา ซึ่งประกอบด้วย บริษัท จีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น จำกัด Woodward-Clyde Federal Services บริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด และ บริษัท ไทไท วิศวกรรม จำกัด).
6. สุรพล ดำริห์กุล (1996), *แผ่นดินล้านนา, สำนักพิมพ์เมืองโบราณ กรุงเทพฯ* 360 หน้า.
7. Warnitchai, P., Sangarayakul, C., and Ashford, S.A., “Seismic Hazard in Bangkok due to Long-Distance Earthquake”, *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (12 WCEE)*, Auckland, New Zealand, Jan 30-Feb 4, 2000, Paper No. 2145.
8. Warnitchai, P., “Development of Seismic Design Requirements for Buildings in Bangkok against the Effects of Distant Large Earthquakes”, *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (13WCEE)*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, paper No. 744.

9. R.V. Whitman, J.M. Biggs, J. Brennan, C.A. Cornell, R. Neufville, and E.H. Vanmarcke (1974), "Seismic Design Decision Analysis", Prof. ASCE Annual and National Environmental Meeting, New York, October 1973.
10. Thanet D. (1996), *Cost Impact Analysis of the Implementation of A Seismic Resistant Design Code in Thailand*, M.Eng. Thesis, ST-96-31, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
11. สมศักดิ์ เลิศบรรณพงษ์ (1997), "ร่างกฎกระทรวงเกี่ยวกับการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว", เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตร เรื่อง การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว ครั้งที่ 2 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 14-15 กุมภาพันธ์ กรุงเทพฯ หน้า 144-154.

เกี่ยวกับผู้เขียน

ดร. เป็นหนึ่ง วาณิชชัย เป็น รองศาสตราจารย์ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เป็นผู้สร้างแผนที่แสดงความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยฉบับล่าสุด เป็นผู้แทนของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ในคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติ และเป็นหัวหน้าคณะนักวิจัยในโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวของประเทศไทย (ระยะที่ 1) ซึ่งมีนักวิจัยเข้าร่วม 17 คน จากกรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา และมหาวิทยาลัย 6 แห่ง และได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สกว.

“ เชื้อนครินทร์ครินทร์มีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่รุนแรง แต่ในขณะที่มีการออกแบบก่อสร้างเขื่อนนี้ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงแผ่นดินไหวของเรายังไม่มากนัก จึงมีได้ออกแบบเพื่อกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงใกล้ๆ เชื้อน พู้ออกแบบคิดเฉพาะกรณีที่มีแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริกเตอร์ บนรอยเลื่อนสะแกงในพม่า ซึ่งอยู่ห่างจากตัวเขื่อนถึง 200 กม. ”



รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

ประธานคณะอนุกรรมการ
ผลกระทบจากแผ่นดินไหวและแรงลม ว.ส.ท.

ว.ส.ท. : *อยากให้อาจารย์แสดงความคิดเห็นเกี่ยวเรื่องแผ่นดินไหว และความเสี่ยงของการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย*

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : ปัจจุบันประชาชนชาวไทยมีความตื่นตัวในด้านการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวดีขึ้นมาก โดยเฉพาะหลังจากเหตุการณ์สึนามิ เมื่อปลายปี พ.ศ. 2547 เราได้มีโอกาสอธิบายผ่านทางสื่อมวลชนให้ประชาชนในวงกว้างทราบถึงความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว ก่อนหน้านี้ผู้คนเป็นจำนวน

มากเชื่อว่าประเทศไทยไม่มีความเสี่ยงแผ่นดินไหว ความเชื่อแบบนี้เป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการเตรียมพร้อมรับมือ แต่ในขณะนี้ก็ได้ทราบทั่วกันแล้วว่าแผ่นดินไหวในระดับที่เป็นอันตรายสามารถเกิดขึ้นได้จริงในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย เช่น พื้นที่ภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี มีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวในระยะใกล้ และพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีความเสี่ยงจากแผ่นดินไหวในระยะไกล

ว.ส.ท. : อาจารย์ช่วยอธิบายความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว ในระยะใกล้ในพื้นที่ภาคเหนือ และจังหวัด กาญจนบุรีให้ฟังหน่อย

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : พื้นที่ภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรีมีแผ่นดินไหว ขนาดกลางเกิดขึ้นบ่อยๆ มีขนาดประมาณ 5.0 ~ 5.9 ริกเตอร์ อีกทั้งยังมีการบันทึกโดยเครือข่าย สถานีวัดแผ่นดินไหวนอกประเทศไทย เคยเกิด แผ่นดินไหวที่รุนแรงขนาด 6.5 ริกเตอร์ ที่จังหวัด น่าน เมื่อประมาณ 70 ปีมาแล้ว ก่อนหน้าที่กรม อุตุนิยมวิทยาจะเริ่มติดตั้งเครือข่ายสถานีตรวจวัด แผ่นดินไหวภายในประเทศ

แผ่นดินไหวขนาดกลาง (5~6 ริกเตอร์) เหล่านี้ จัดเป็นแผ่นดินไหวที่อันตราย เพราะในบริเวณ ใกล้จุดศูนย์กลางจะมีระดับการสั่นสะเทือนของ พื้นดินที่รุนแรงมากจนอาคารบ้านเรือนที่ไม่ได้ ออกแบบเพื่อแรงแผ่นดินไหวไว้ อาจเสียหาย อย่างรุนแรงจนถึงขั้นพังทลายได้ ยกตัวอย่างเช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ยอร์กจาร์กาดา ประเทศ อินโดนีเซีย ที่เพิ่งเกิดขึ้นเมื่อเดือนพฤษภาคมปี นี้ มีขนาด 6.2 ริกเตอร์ ได้ทำให้อาคารบ้านเรือนใน บริเวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวพังทลายเป็นจำนวน มากและมีผู้เสียชีวิตถึง 5,000 คน

ในกรณีของเราโชคดีที่ตำแหน่งศูนย์กลางของ แผ่นดินไหวขนาดกลาง ยังไม่เคยตรงกับตำแหน่ง เมือง ที่ผ่านมานั้นไปเกิดในบริเวณเทือกเขา ใน ป่า ในบริเวณอ่างเก็บน้ำ มีอยู่ครั้งหนึ่งที่ตำแหน่ง อยู่ใกล้บริเวณชุมชนพอสมควร คือเหตุการณ์แผ่น ดินไหวที่ อ. พาน จ. เชียงราย ขนาด 5.0 ริกเตอร์ ตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ห่างจาก อ. พาน ไปเพียง 20 กม. ทำให้บ้านเรือน วัดวาอาราม ได้รับความ เสียหายเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นข้อพิสูจน์ที่ชัดเจน ถึงศักยภาพในการทำลายของแผ่นดินไหวขนาด กลาง ในอนาคตถ้าแผ่นดินไหวขนาดกลางเกิด ใกล้หรือตรงกับเมืองใหญ่ อาจทำให้เกิดภัยพิบัติ ที่รุนแรง นั่นคือเหตุผลที่เราจำเป็นต้องเตรียมพร้อมรับมือ นอกจากนี้ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมา เราได้มีการสำรวจค้นพบรอยเลื่อนที่มีพลัง หลาย รอยในบริเวณภาคเหนือและ จ.กาญจนบุรี รอย เลื่อนบางรอยสามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด ใหญ่ประมาณ 7 ริกเตอร์ได้ ขณะนี้เรายังไม่มี แผ่นรับมือกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่เลย

ว.ส.ท. : ผู้อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพฯ มีความเสี่ยงเนื่อง จากแผ่นดินไหวอย่างไร ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : บริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีความเสี่ยงพิเศษ แตกต่างจากที่มีในภาคเหนือและ จ. กาญจนบุรี ในอดีตหลายปีก่อน พื้นที่กรุงเทพฯ เคยเป็น ทะเลมาก่อน เรียกว่า แอ่งกรุงเทพฯ ซึ่งเพิ่งจะ กลายเป็นพื้นดินเมื่อราวๆ 3-4 พันปีที่ผ่านมา เลย มีดินตะกอนที่เป็นดินเหนียวอ่อนสะสมเป็นชั้นดิน ที่มีความหนามาก ประมาณ 10 กว่าเมตร และ เป็นดินเหนียวอ่อนที่ยังไม่ได้รับการอัดตัว จึงเป็น สาเหตุที่ทำให้เราต้องสร้างบ้าน หรืออาคารโดยมี การตอกเสาเข็ม แต่ว่าลักษณะสภาพทางธรณี วิทยาแบบนี้ ทำให้มีความเสี่ยงอีกแบบหนึ่งคือ เสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะ ไกล แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใกล้ที่สุดคือ บริเวณ จ.กาญจนบุรี ซึ่งมีรอยเลื่อนหลายรอย ที่ห่างออก ไปคือ รอยเลื่อนสะแกงในพม่าซึ่งเป็นแนวยาวเริ่ม จากทางเหนือของประเทศพม่ายาวลงมาจากจนถึง ทะเลอันดามัน จนถึงระดับละติจูดเดียวกันกับ กรุงเทพฯ เป็นรอยเลื่อนที่สามารถทำให้เกิดแผ่น ดินไหวขนาดใหญ่ได้บ่อยมาก เพราะฉะนั้นบน แนวรอยเลื่อนนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิด แผ่นดินไหวขนาด 7-8 ริกเตอร์ ในระยะห่างจาก กรุงเทพฯ ประมาณ 400 กม. ส่วนรอยเลื่อนที่ จ.กาญจนบุรี อาจทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7- 7.5 ริกเตอร์ในระยะห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 200 กม.

โดยปกติแล้วถ้าเราอยู่ห่างจากตำแหน่งศูนย์กลาง แผ่นดินไหวถึง 200 กม. หรือ 400 กม. การสั่น



Interview สัมภาษณ์พิพิธ

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย ประธานคณะอนุกรรมการผลกระทบจากแผ่นดินไหวและแรงลม ว.ส.ท.



สะเทือนมักจะไม่รุนแรงถึงแม้แผ่นดินไหวจะมีขนาดใหญ่มาก แต่ในบริเวณแอ่งกรุงเทพฯ จะมีความรุนแรงมากกว่าปกติ ทั้งนี้เพราะดินอ่อนสามารถขยายความรุนแรงของแผ่นดินไหวได้มากกว่าระดับปกติถึงประมาณ 3 เท่าตัว จากการศึกษาวิจัยเราพบว่า การสั่นสะเทือนที่ผิวดินเหนือชั้นดินอ่อนจะมีลักษณะพิเศษแตกต่างจากแผ่นดินไหวทั่วไป คือ จะเป็นการเคลื่อนตัวไป-มาในแนวราบแบบซ้ำๆ และค่อนข้างเป็นจังหวะประมาณ 1 วินาทีต่อรอบ เป็นการสั่นสะเทือนแบบซ้ำๆ ที่ดูเหมือนจะไม่รุนแรง แต่จะส่งผลต่ออาคารสูงมากเป็นพิเศษ โดยทั่วไปอาคารแต่ละหลังจะมีจังหวะในการโยกไหวตัวตามธรรมชาติเฉพาะตัว อาคารยิ่งสูงจะยิ่งโยกตัวช้าลง ทั้งนี้เมื่อพื้นดินมีการโยกตัวไป-มาเป็นจังหวะ มันจะส่งผลที่รุนแรงเป็นพิเศษต่ออาคารสูงที่มีจังหวะในการโยกตัวตามธรรมชาติใกล้เคียงกับจังหวะการโยกตัวไป-มาของพื้นดิน อาคารสูงประเภทนี้อาจโยกตัวแรงกว่าพื้นดินถึงประมาณ 3-4 เท่าตัว เนื่องจากการกำทอน (Resonance) ทำให้อาคารสูงเหล่านี้มีความเสี่ยงมากเป็นพิเศษ นี่คือการเสี่ยงของกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่เกิดจากแผ่นดินไหวในระยะไกล

ว.ส.ท. : เราจะเตรียมพร้อมรับมือกับภัยจากแผ่นดินไหวได้อย่างไร ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : วิธีที่เชื่อกันว่ามีประสิทธิภาพที่สุดคือ การทำให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ สามารถทนต่อแผ่นดินไหวได้ ไม่พังทลาย หรือถล่มลงมา เราจึงจะสามารถรักษาชีวิตผู้คนได้ เพื่อการนี้ในขั้นแรกก็ต้องมีกฎหมายกำหนดให้มีการออกแบบก่อสร้าง

อาคารด้านทานแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงซึ่งในขณะนี้เราก็มักกฎหมายในลักษณะนี้แล้ว คือกฎกระทรวงฉบับที่ 49 ออกตามความใน พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร กฎกระทรวงฉบับนี้เริ่มบังคับใช้มาตั้งแต่ พ.ศ. 2540 แต่ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือ และจังหวัดกาญจนบุรี ในขณะนี้เราได้มีการปรับปรุงร่างกฎกระทรวงฉบับนี้ใหม่ โดยขยายพื้นที่ครอบคลุมไปถึงกรุงเทพฯ และปริมณฑลเพื่อให้สมบูรณ์ขึ้น แต่ร่างกฎกระทรวงที่ปรับปรุงยังอยู่ในขั้นตอนการพิจารณา คงต้องใช้เวลาสักพักจึงจะออกมาเป็นกฎหมายที่มีผลบังคับใช้

ว.ส.ท. : อาจารย์พูดถึงอาคารที่จะสร้างใหม่ต้องทำตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงฯ ถ้าอย่างนั้น อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่สร้างมาก่อนหน้านี้ก็มีความเสี่ยงใช่ไหม ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : อาคารและสิ่งก่อสร้างที่สร้างมาก่อนหน้านี้ก็มีทั้งอาคารที่อ่อนแอและที่แข็งแรงปะปนกัน การจะจัดการกับอาคารที่สร้างไปแล้วเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงมักจะทำได้เฉพาะกับอาคารที่มีความสำคัญที่มีผู้คนใช้สอยเป็นจำนวนมากๆ แต่ตอนนี้คงจะต้องเน้นที่การจัดการกับอาคารใหม่ที่กำลังจะสร้างก่อน เพราะเป็นเรื่องที่ทำได้ง่ายกว่า มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม การจัดการกับอาคารใหม่ไม่ใช่เป็นเรื่องการออกกฎหมายควบคุมเท่านั้น กฎหมายควบคุมนี้เป็นเพียงขั้นแรก ถ้าการบังคับใช้กฎหมายไม่มีประสิทธิภาพ วิศวกรไม่ปฏิบัติตามหรือออกแบบไม่ถูกวิธี เจ้าของอาคารหรือสถาปนิกไม่ให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ ในท้ายที่สุดอาคารที่สร้างใหม่ก็ยังไม่ปลอดภัยอย่างที่ควรเป็น

ว.ส.ท. : บทบาทของ ว.ส.ท. ในเรื่องนี้เป็นอย่างไรมบ้าง ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : กรรมการและที่ปรึกษาของคณะอนุกรรมการด้านผลกระทบจากแผ่นดินไหวและแรงลม ว.ส.ท. ต่างก็มีบทบาทในเรื่องนี้หลายรูปแบบ เรามีตัวแทนในคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติ ที่ทำหน้าที่กำหนดนโยบายในระดับประเทศ เรามีส่วนในการร่างกฎหมายควบคุมอาคาร โดยนำความรู้ใหม่ๆ จากงานศึกษาวิจัยมาประกอบการพิจารณา เราจัดฝึกอบรมวิศวกรในภาคปฏิบัติให้ทราบถึงวิธีการออกแบบก่อสร้างอาคารด้านทานแผ่นดินไหว

อย่างถูกต้อง เราให้ข้อมูลและความเห็นในเรื่องนี้แก่สื่อมวลชนในทุกๆ ครั้งที่มีโอกาส เรากำลังพัฒนามาตรฐานและคู่มือปฏิบัติในการออกแบบอาคาร/โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

ว.ส.ท. : ผู้คนที่อาศัยอยู่ทางท้ายน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ จะได้รับผลกระทบอย่างไร ถ้าเกิดแผ่นดินไหว ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : เขื่อนศรีนครินทร์มีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่รุนแรง แต่ในขณะที่มีการออกแบบก่อสร้างเขื่อนนี้ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงแผ่นดินไหวของเขื่อนยังมีไม่มากนัก จึงมิได้ออกแบบเผื่อกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงใกล้ๆ เขื่อน ผู้ออกแบบคิดเฉพาะกรณีที่มีแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ริกเตอร์บนรอยเลื่อนสะแกงในพม่า ซึ่งอยู่ห่างจากตัวเขื่อนถึง 200 กม. ดังนั้นระดับการสันตะเขื่อนที่พิจารณาจึงไม่ใช่ระดับที่รุนแรง ต่อมาในระยะหลังเราได้มีการสำรวจพบว่ามีรอยเลื่อนมีพลังอยู่หลายรอยใน จ.กาญจนบุรี เช่น กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ กลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนบางรอยอยู่ใกล้กับเขื่อนเขาแหลม ส่วนเขื่อนศรีนครินทร์ตั้งคร่อมรอยเลื่อนอยู่รอยหนึ่ง ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดกลางถึงใหญ่ (6-7 ริกเตอร์) ในระยะที่ใกล้กับตัวเขื่อนมากๆ หรือที่ตำแหน่งตัวเขื่อนเลย ในกรณีเช่นนั้น เขื่อนอาจเกิดความเสียหาย อาจมีน้ำทะลักลงมาทางท้ายเขื่อนเนื่องจากเขื่อนรั่วหรือเขื่อนแตก ซึ่งทำให้เกิดน้ำหลากไปท่วมตัว จ.กาญจนบุรี ผลกระทบจะเกิดต่อประชาชนเป็นหมื่นเป็นแสน เหตุการณ์แบบนี้ผมเชื่อว่ามี



“ ดังนั้น ผมจึงอยากเน้นประเด็นที่ว่า เราควรทำให้อาคารมีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้เพียงพอ นี่เป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด เดียวนี้เรามีวิธีที่จะสามารถตรวจวิเคราะห์อาคารที่มีอยู่ว่ามีระดับความต้านทานเพียงพอหรือไม่ ? ควรเสริมกำลังอย่างไรจึงจะเพียงพอ ”

โอกาสเกิดน้อยมาก เพราะการจะเกิดมีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในบริเวณนี้จะต้องรอหลายร้อยปีจึงจะเกิดสักครั้ง และก็อาจจะไม่อยู่ในตำแหน่งใกล้ตัวเขื่อนแต่เราก็ไม่ควรประมาท เพราะถ้าเกิดขึ้นผลกระทบจะรุนแรงเกินกว่าจะยอมรับได้ สิ่งที่เราเสนอไม่ใช่ให้เลิกใช้เขื่อน ไม่ใช่ให้ปรับปรุงความแข็งแรงของเขื่อน เพราะเรื่องเหล่านี้ทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง สิ่งที่เราเสนอคือ ให้มีการติดตั้งระบบเตือนภัยที่เรียกว่า Water Alarm System เผื่อไว้ในกรณีที่เกิดเขื่อนแตก เขื่อนรั่วแล้วมีน้ำทะลักมาทางหลังเขื่อน ระบบนี้จะส่งสัญญาณเตือนภัยไปยังพื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วมประชาชนจะได้อพยพหนีภัยได้ก่อนที่น้ำจะมาถึง

ว.ส.ท. : ควรปฏิบัติตัวอย่างไรเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ?

รศ.ดร.เป็นหนึ่งใน : ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวรุนแรง พวกตู้ ชั้นวางของต่างๆ อาจล้มคว่ำได้ กำแพงอิฐก่ออาจแยกตัวออกจากกรอบเสา-คานคองกรีตแล้วล้มคว่ำลงมา ฝ้าเพดานอาจหล่นลงมา กระຈกหน้าต่างอาจแตก เราจึงควรหลบเข้าที่กำบังที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งเหล่านี้ เช่น หลบเข้าใต้โต๊ะทำงาน หลังจากแผ่นดินไหวสงบลงแล้วให้รีบออกนอกอาคาร รอจนกว่าจะมั่นใจว่า อาคารยังปลอดภัยแข็งแรงอยู่ และไม่มีแผ่นดินไหวระลอกต่อไป (After Shocks) ตามหลังมาอีก แต่ข้อปฏิบัติเหล่านี้ก็อาจไม่มีความหมายอะไรถ้าอาคารพังถล่มลงมา ดังนั้น ผมจึงอยากเน้นประเด็นที่ว่า เราควรทำให้อาคารมีความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้เพียงพอ นี่เป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด เดียวนี้เรามีวิธีที่จะสามารถตรวจวิเคราะห์อาคารที่มีอยู่ว่ามีระดับความต้านทานเพียงพอหรือไม่ ? ควรเสริมกำลังอย่างไรจึงจะเพียงพอ

คลื่นยักษ์สึนามิ จะมีแนวทางเตรียมพร้อมรับมืออย่างไร ?

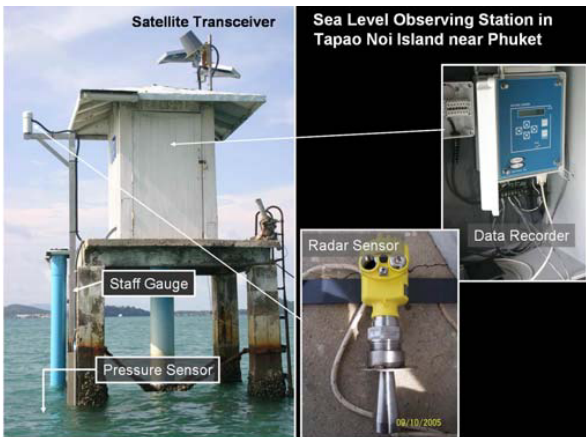
ผมคิดว่าถ้าเทียบกับภัยแผ่นดินไหวแล้ว ภัยจากสึนามิสามารถรับมือได้ง่ายกว่า เพราะสามารถเตือนภัยล่วงหน้าก่อนคลื่นมาถึงฝั่งได้ ดังนั้น เราจะสามารถรักษาชีวิตผู้คนในพื้นที่เสี่ยงภัยได้ถ้าเรามีระบบเตือนภัยที่ดีเพียงพอ ส่วนอาคารบ้านเรือนก็คงต้องเสียหายบ้าง แต่ถ้าเราออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงผลกระทบจากคลื่นสึนามิ เราอาจจะลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นลงไปได้มาก ระบบเตือนภัยสึนามิที่ติดตั้งจำเป็นต้องมีส่วนประกอบหลายอย่างคือ ต้องมีเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว สถานีตรวจวัดการเกิดคลื่นสึนามิตามเกาะแก่งและแนวชายฝั่งหรือในทะเลลึก ต้องมีศูนย์เตือนภัยที่ทำหน้าที่ประมวลผลจากข้อมูลวัด และพิจารณาว่าควรเตือนภัยไหม ? เตือนที่ไหน ? เตือนในระดับใด ? ต้องอพยพคนหรือไม่ ? ต้องมีระบบสื่อสารที่จะส่งข่าวเตือนภัยไปถึงประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยผ่านทางวิทยุ โทรทัศน์ โทรสาร SMS หอกระจายข่าว วิทยุ ฯลฯ ต้องมีการเตรียมพร้อมของคนในพื้นที่เสี่ยงคือ ต้องรู้ว่าจะอพยพหนีภัยไปทางไหน ? อาคารไหนใช้เป็นที่หลบภัยได้ ?

หลังเหตุการณ์สึนามิเพียงไม่นาน หลายๆ ประเทศ เช่น อินเดีย อินโดนีเซีย ออสเตรเลีย และประเทศไทย ก็มีแผนที่จะจัดตั้งระบบเตือนภัยสึนามิสำหรับประเทศไทย แผนของเราค่อนข้างพิเศษแตกต่างจากประเทศอื่นๆ คือ เราแบ่งงานเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการจัดตั้งระบบเตือนภัยพิบัติ



ภายในประเทศ และส่วนที่สองเป็นการร่วมมือกับประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จัดตั้งระบบเตือนภัยพิบัติระดับภูมิภาค ในส่วนแรกมีคุณสมสิทธิ์ ธรรมสโรจ เป็นผู้ดูแลในภาพรวม ได้มีการจัดตั้งศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติขึ้นที่จังหวัดนนทบุรี โดยมีคุณปลอดประสพ สุรัสวดี เป็นผู้อำนวยการศูนย์ฯ งานส่วนนี้มีความคืบหน้าไปมากพอสมควร โดยเฉพาะทางด้านการสื่อสารข้อมูลเตือนภัยไปถึงประชาชนโดยผ่านทางโทรทัศน์ วิทยุ และมีการติดตั้งหอเตือนภัยในพื้นที่เสี่ยงภัยไปแล้วมากกว่า 70 แห่ง กรมอุตุนิยมวิทยาก็กำลังดำเนินการปรับปรุงเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวภายในประเทศไทย ส่วนกรมอุทกศาสตร์ของกองทัพเรือก็ได้ทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดการเกิดคลื่นสึนามิตามแนวชายฝั่งและเกาะในฝั่งทะเลอันดามันในหลายๆ ตำแหน่ง

ในส่วนที่สองซึ่งเป็นการร่วมมือกับนานาชาติประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อจัดตั้งระบบเตือนภัยพิบัติระดับภูมิภาคนั้น ประเทศไทยได้เสนอให้ Asian Disaster Preparedness Center (ADPC) ซึ่งตั้งอยู่ใน Campus ของ AIT เป็นผู้ดำเนินการ ตามแผนที่วางไว้เราจะมีอาคารสร้างเครือข่ายสถานีวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่มีคุณภาพสูงและสถานีวัดการเกิดคลื่นสึนามิกระจายอยู่ในหลายๆ ประเทศ ได้แก่ ประเทศพม่า กัมพูชา เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ฯลฯ ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่าระบบภายในประเทศ ทำให้เราได้ข้อมูลเกี่ยวกับแผ่นดินไหวที่ชัดเจนขึ้น สามารถตรวจสอบการเกิดคลื่นสึนามิได้เร็วกว่าระบบภายในประเทศ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเกิดแผ่นดินไหว





ใต้ทะเลในบริเวณหมู่เกาะอันดามันของอินเดีย แล้วเกิดคลื่นสึนามิขึ้นในทะเลอันดามัน สถานีวัดคลื่นสึนามิที่ประเทศพม่าจะสามารถตรวจวัดได้ภายใน 30 นาทีหลังเกิดแผ่นดินไหวในขณะที่สถานีวัดที่เกาะสิมิลันของไทยจะตรวจวัดได้ประมาณ 1 1/2 ชม. ภายหลังจากแผ่นดินไหว ดังนั้น ระบบเครือข่ายในระดับภูมิภาคจะช่วยให้ความสามารถในการเตือนภัยของเราดีขึ้นมาก

เพื่อให้สามารถดำเนินการตามแผนนี้ประเทศไทยได้จัดตั้งกองทุนที่ชื่อว่า Voluntary Trust Fund เพื่อให้นานาประเทศได้มาร่วมลงทุนสนับสนุนแผนนี้ และให้ UNESCAP แห่งสหประชาชาติเป็นผู้ดูแลบริหารกองทุน ในขณะที่เรามีเงินเพียงพอที่จะเริ่มดำเนินการตามแผนที่วางไว้แล้ว แต่กลับมีปัญหาอุปสรรคในการนำเงินออกมาจากกองทุน ทำให้การดำเนินการในส่วนที่สองนี้ล่าช้ากว่ากำหนด นี่คือสถานการณ์ ณ วันนี้ ผมได้แต่หวังว่าเราจะผ่านปัญหาอุปสรรคตรงนี้ไปได้แล้ว เดินหน้าต่อไปตามแผน เรื่องนี้เป็นเรื่องสำคัญต่อประชาชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเล

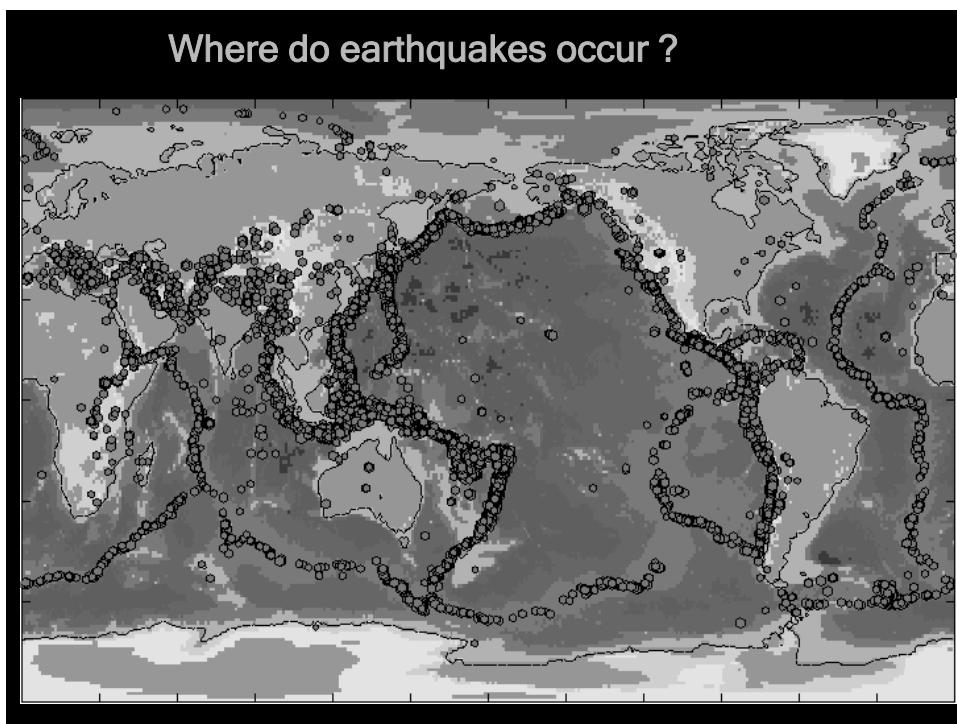
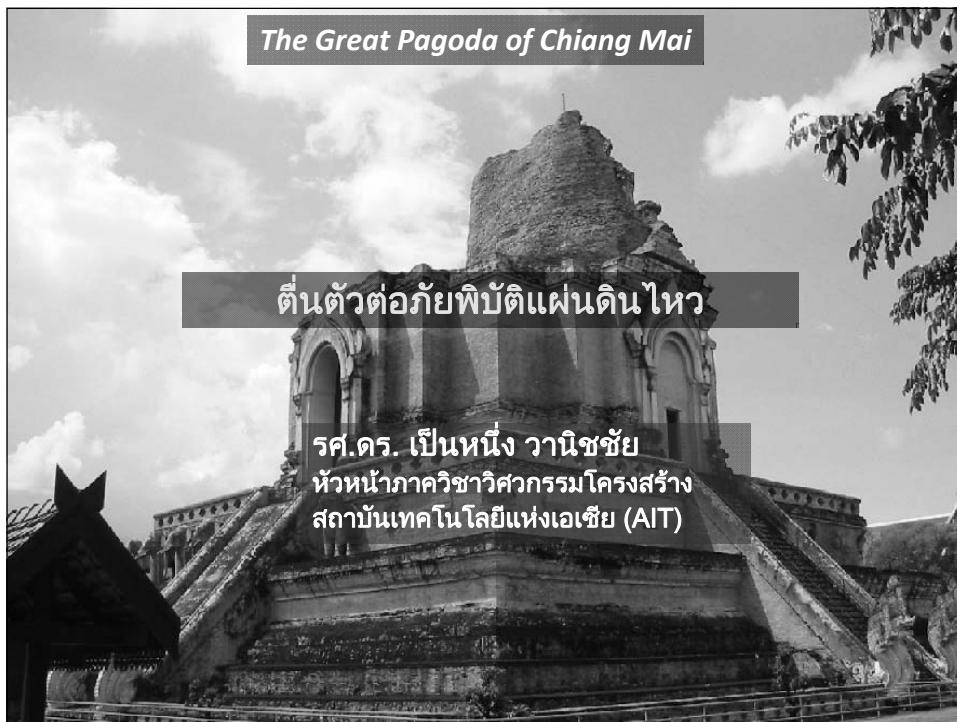
ว.ส.ท. : *อาจารย์มีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับภัยพิบัติขนาดใหญ่ที่เพิ่งถล่มลงมาในบางครั้งเมื่อเกิดพายุแรง*

รศ.ดร.เป็นหนึ่ง : นี่เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่คณะกรรมการด้านผลกระทบจากแผ่นดินไหวและแรงลม ว.ส.ท. ให้ความสนใจติดตามและหาหนทางแก้ปัญหาอยู่เวลานี้เรามีภัยพิบัติขนาดใหญ่เกิดขึ้นมากมายทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด และเมื่อใด

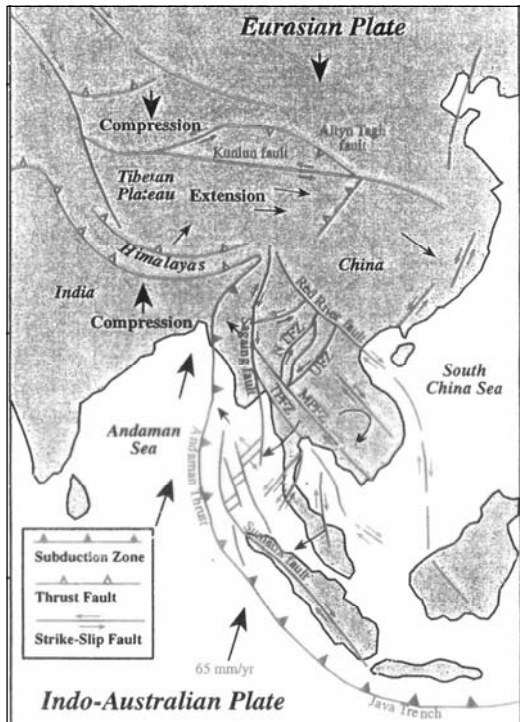
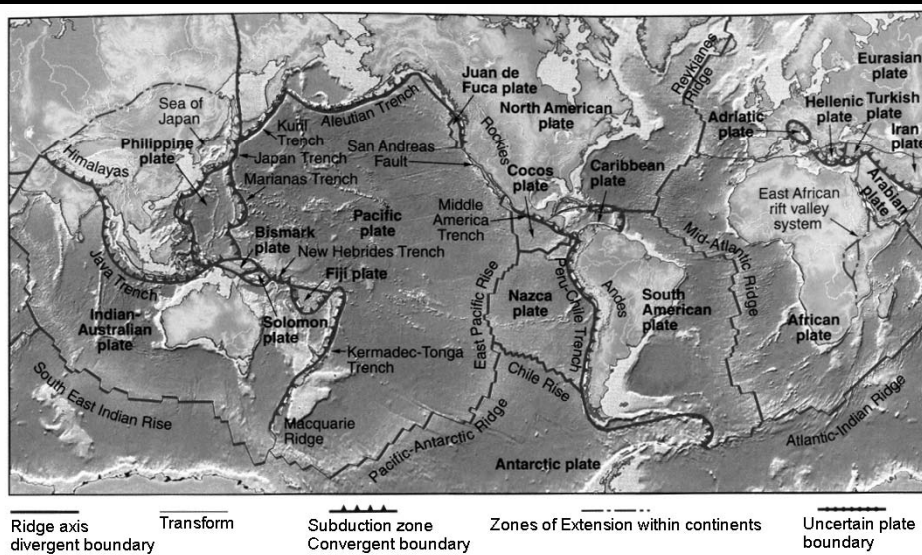
ที่มีลมพายุแรงก็มักมีข่าวว่า ภัยในบริเวณนั้นล้มคว่ำ พังลงมาอยู่เสมอๆ จนเกือบเป็นเรื่องปกติธรรมดา และพอเกิดมีภัยพิบัติที่เราที่มักโทษว่าเป็นเพราะการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐานหรือออกแบบไม่ถูกต้องตามที่กฎหมายกำหนดไว้ ซึ่งผมคิดว่าอาจมีส่วนจริง แต่ยังไม่เพียงพอที่จะอธิบายได้ว่า ทำไมภัยขนาดใหญ่พวกนี้ถึงได้เสียหายบ่อยครั้งขนาดนี้ มันจะต้องมีสาเหตุที่สำคัญอื่นด้วย ซึ่งจากการศึกษาวิจัยทำให้ตอนนี้เรารู้แล้วว่าสาเหตุที่ว่ามันคือ ค่าแรงลมที่กฎหมายอนุญาตให้วิศวกรใช้ในการออกแบบโครงสร้างมีค่าต่ำเกินไป คือต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงกับภัยเหล่านี้เวลาที่มีลมพายุรุนแรง อีกทั้งแรงดันลมก็ไม่ได้กระจายตัวบนแผ่นป้ายอย่างสม่ำเสมอ ทำให้อาจเกิดแรงบิดตัว (Torsion) ในโครงสร้างได้ค่อนข้างรุนแรงในบางครั้ง

การศึกษารายละเอียดที่ผมพูดถึงได้มาจากการตรวจวัดแรงลมที่กระทำต่อแบบจำลองย่อส่วนของป้ายในอุโมงค์ลมที่สามารถจำลองสภาพลมในธรรมชาติได้เหมือนจริง อุโมงค์ลมนี้เป็นห้องทดลองที่สร้างขึ้นโดยความร่วมมือกันระหว่างมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กับ AIT ซึ่งผม และ ดร.นคร ภู่วโรดม แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ได้ร่วมมือกันศึกษาปัญหาเรื่องนี้มาหลายปีแล้ว ในขณะที่เรากำลังพยายามที่จะนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้มาสร้างเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงลมในกฎกระทรวงฉบับใหม่ (ภายใต้ พ.ร.บ.ควบคุมอาคารฯ) ที่เกี่ยวกับเรื่องป้ายโดยเฉพาะ คณะกรรมการที่ยกร่างกฎกระทรวงฉบับนี้ได้พยายามที่จะแก้ปัญหาความไม่ปลอดภัยของป้ายโฆษณาอย่างเป็นระบบครบวงจร จึงได้กำหนดให้มีข้อบังคับใหม่ๆ หลายเรื่อง ทั้งทางด้าน การออกแบบ การขออนุญาต การก่อสร้าง และการตรวจสอบสภาพโครงสร้างเป็นประจำทุกปี ผมก็หวังว่ากฎกระทรวงฉบับใหม่นี้จะผ่านการพิจารณาและนำออกมาบังคับใช้ในเร็ววันนี้

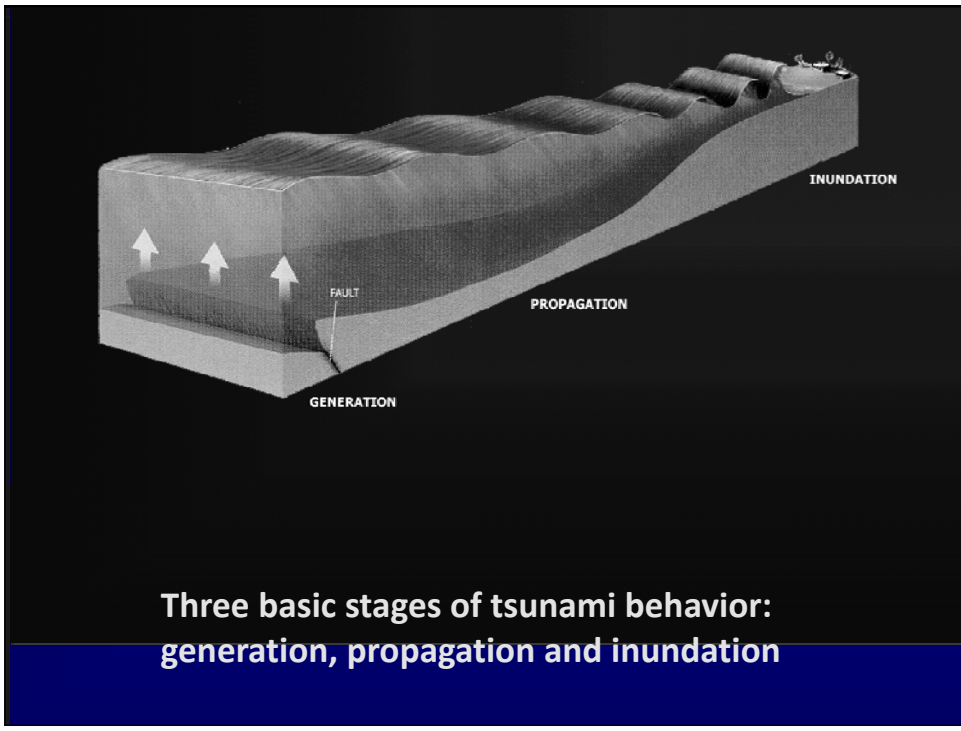
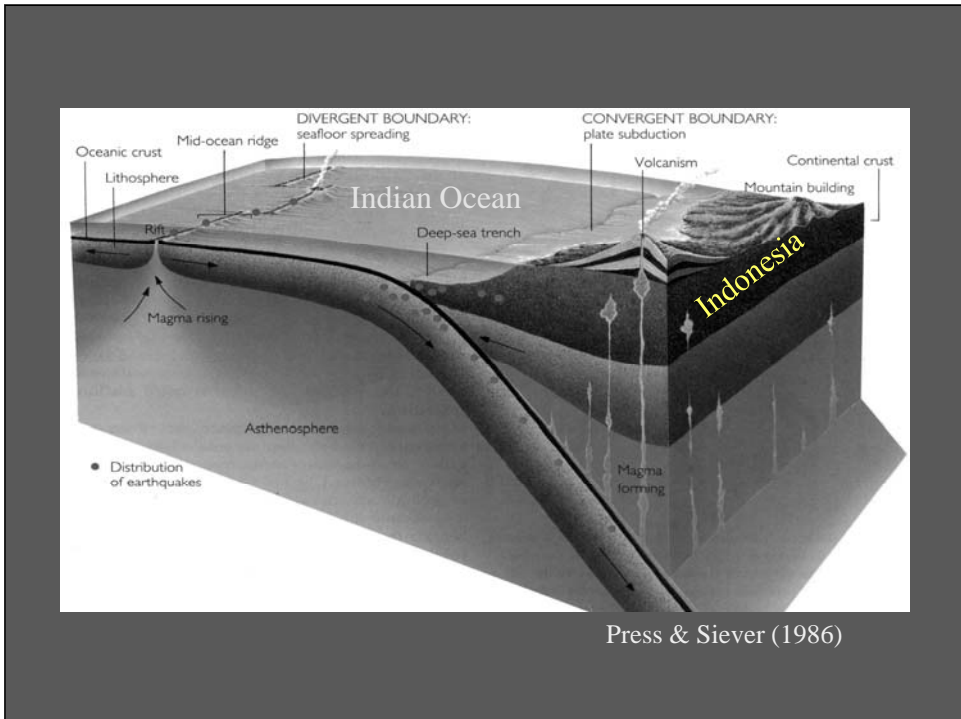
ว.ส.ท. : *กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารขอขอบคุณอาจารย์มากที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาก*



Tectonic Plates



**Tectonic Map of
SouthEast Asia**



**The 26 December
2004 Megathrust
Earthquake**

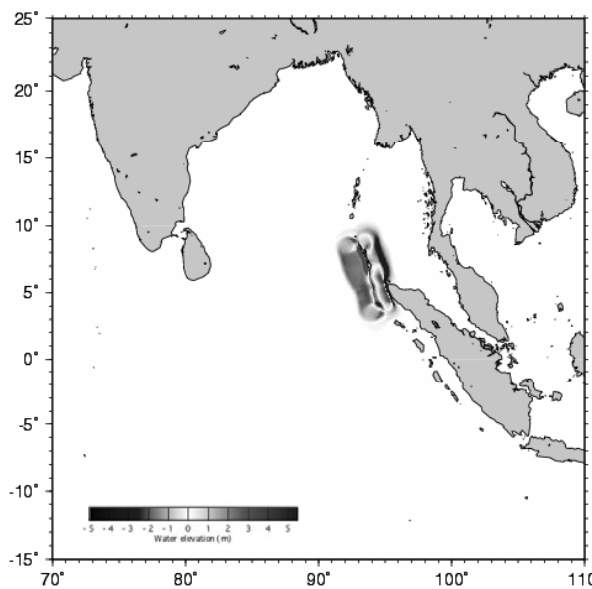
Magnitude: 9.3

**Rupture Length:
1200 km**

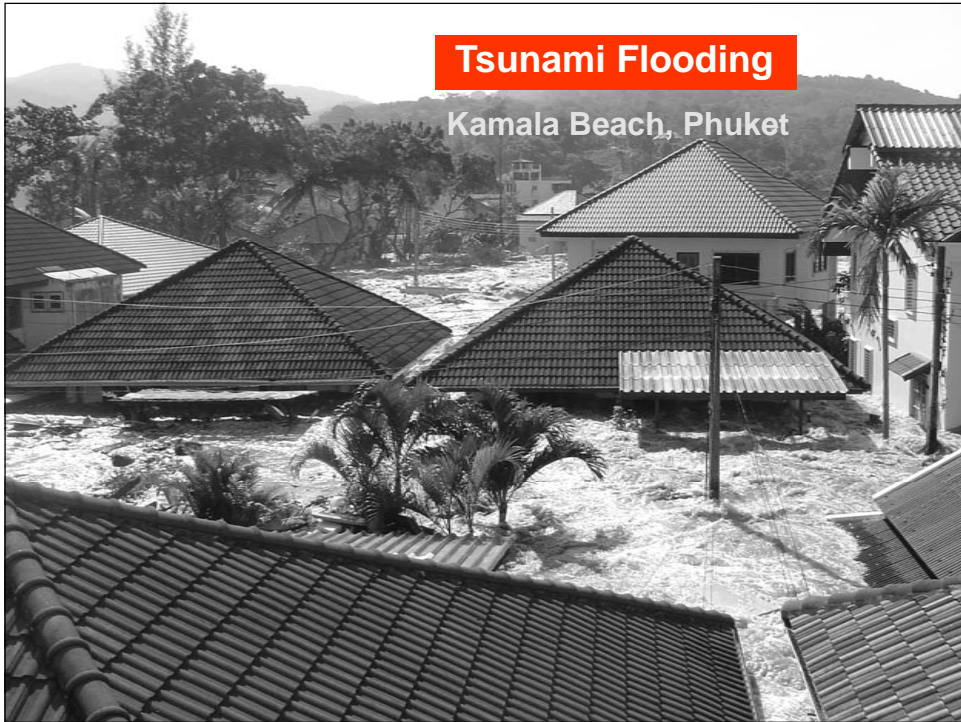


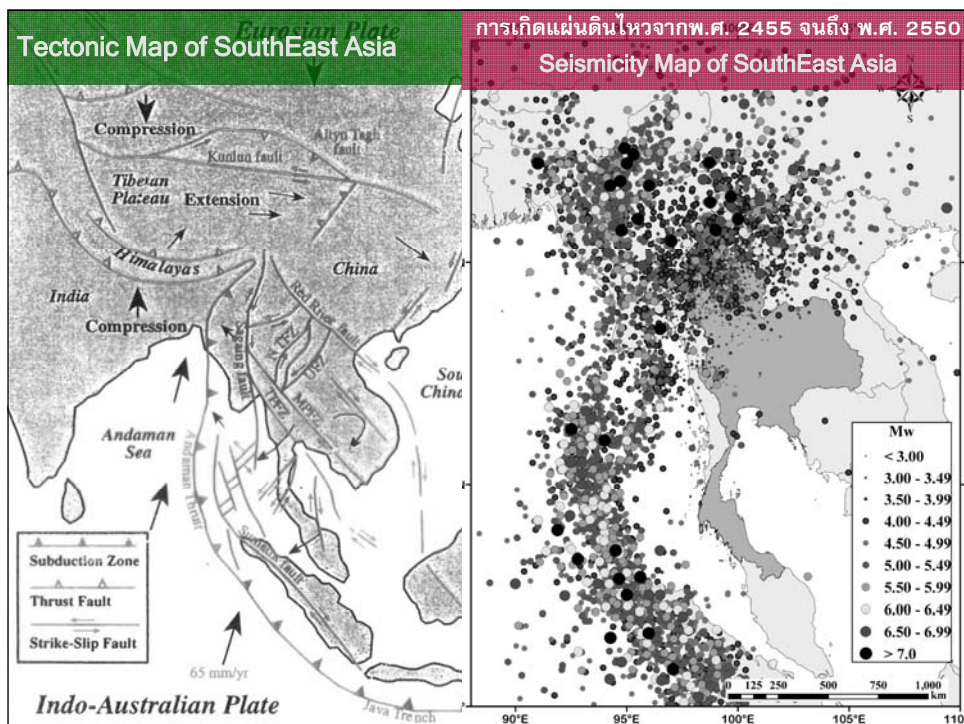
*Ishii et al., 2005
Nature*

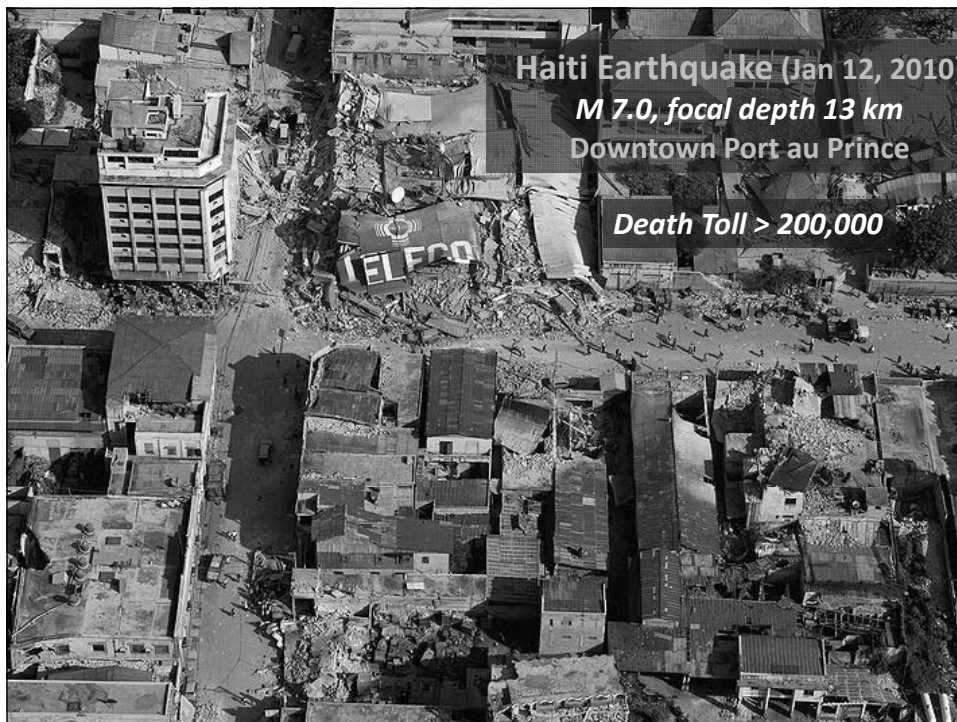
Sumatra Earthquake 600km_fault 010 min

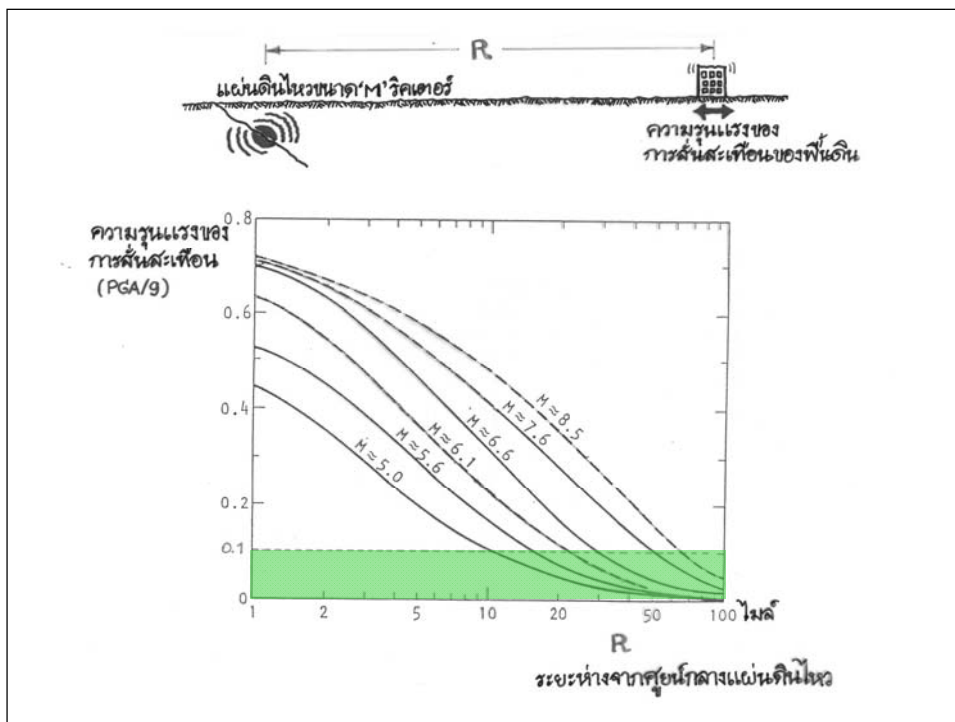


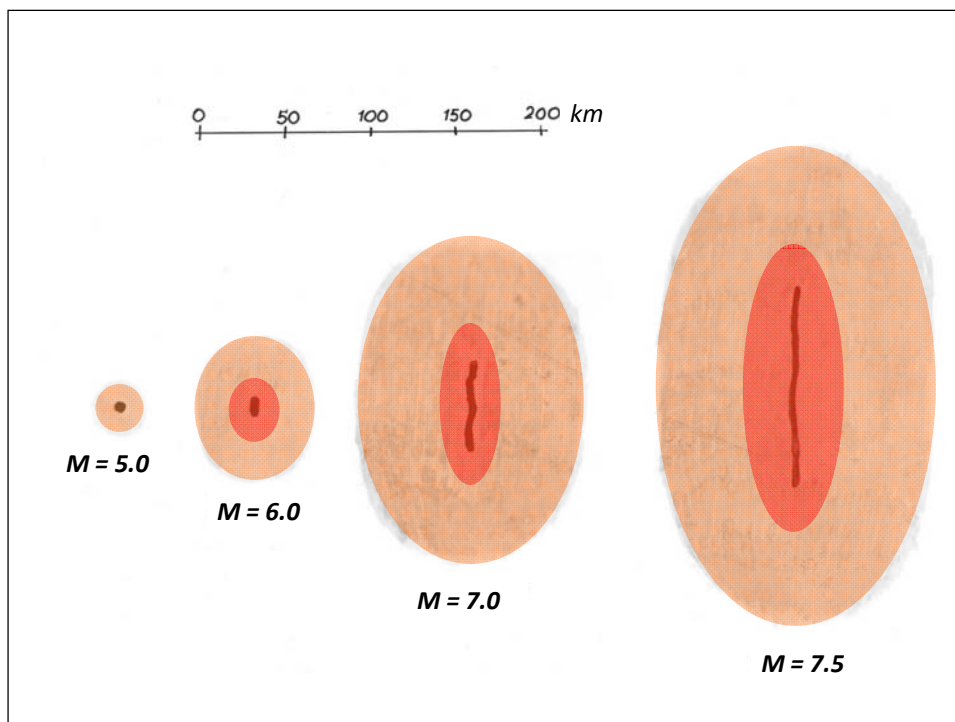
<http://staff.aist.go.jp/kenji.satake/Sumatra-E.html>











แผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ 5 ริกเตอร์ขึ้นไป
ที่เคยตรวจวัดได้ในประเทศไทย

วัน-เดือน-ปี	สถานที่เกิด	ขนาด (ริกเตอร์)
13 พ.ค. 2478	จ. น่าน	6.5
17 ก.พ. 2518	อ. ท่าสองยาง จ. ตาก	5.6
15-22 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ. กาญจนบุรี	5.3, 5.9, 5.2 (3 ครั้ง)
11 ก.ย. 2537	อ. พาน จ. เชียงราย	5.1
9 ธ.ค. 2538	อ. ร้องกวาง จ. แพร่	5.1
21 ธ.ค. 2538	อ. พริ้ว จ. เชียงราย	5.2
22 ธ.ค. 2539	พรมแดนไทย-ลาว-พม่า (ใกล้ อ.ดอยหลวง จ.เชียงใหม่)	5.5
16 พ.ค. 2550	ประเทศลาว ใกล้ จ. เชียงราย	6.3
24 มี.ค. 2554	ประเทศพม่า ใกล้ จ. เชียงราย	6.8

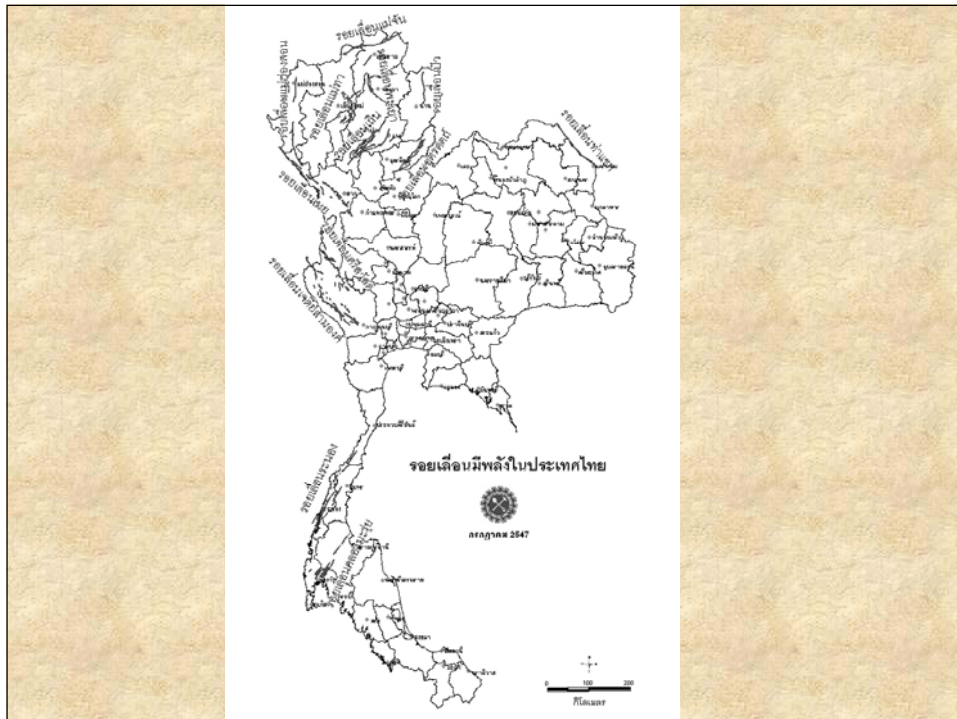
Earthquake Motion: Kobe Earthquake, 1995



Kobe Earthquake (1995)

Magnitude = 7.2

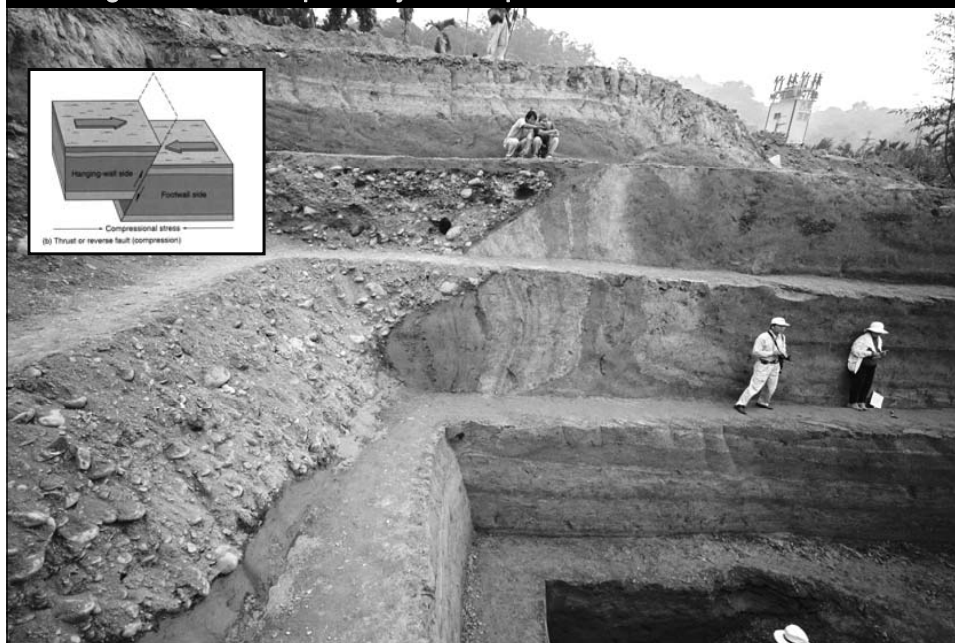




การขุดร่องในบริเวณแนวรอยเลื่อนเพื่อสำรวจหาหลักฐานทางธรณีวิทยาของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอดีต
Investigation of active faults: Fault Trenching in Taiwan



รอยจารึกทางธรณีวิทยาในชั้นดินที่เกิดจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่
Geological record of a past major earthquake found in a fault trench



ร่องสำรวจรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ บริเวณบ้านซอกกาเลีย อ.สังขละบุรี
จ.กาญจนบุรี Fault Trenching in Kanchanaburi, Thailand



การเตรียมพร้อมรับมือภัยจากแผ่นดินไหว

การพยากรณ์แผ่นดินไหว ???

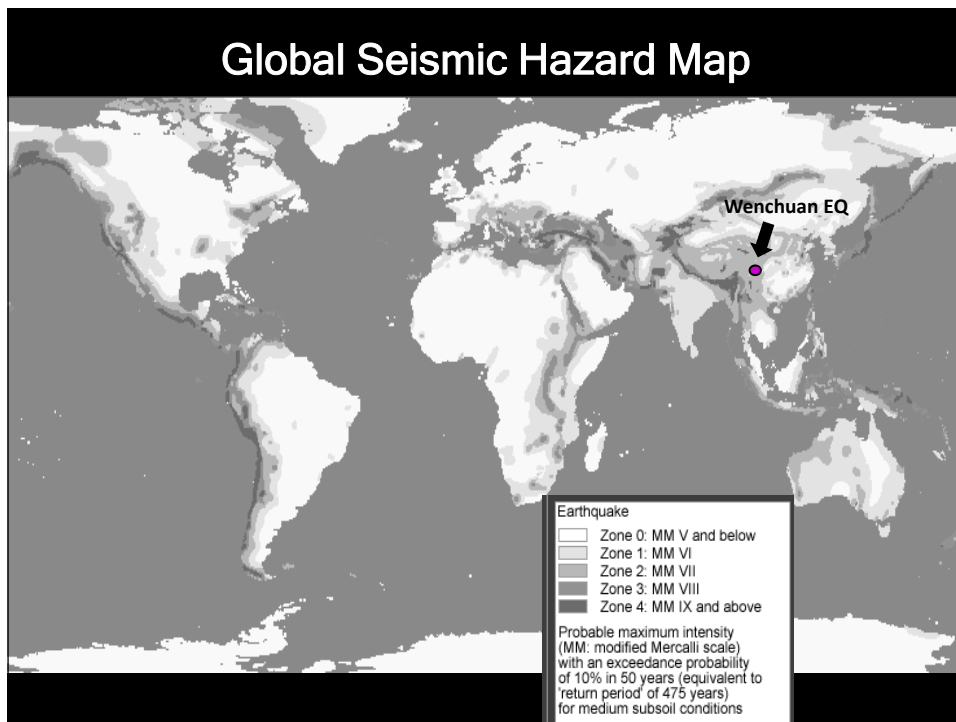
เตรียมรับสถานการณ์ฉุกเฉินหลังเกิดเหตุ ★

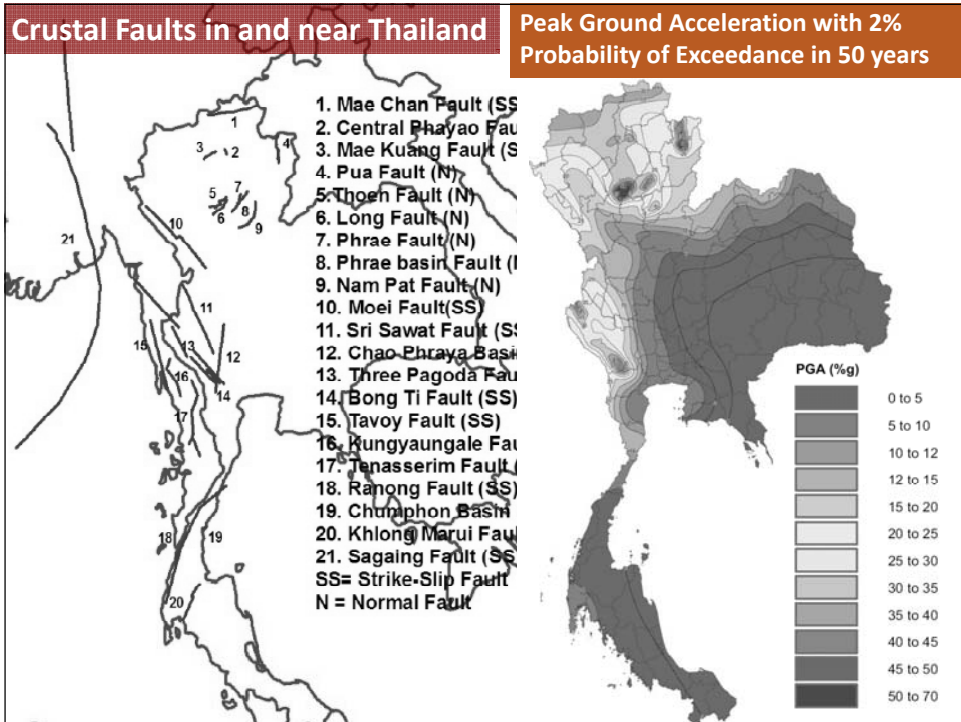
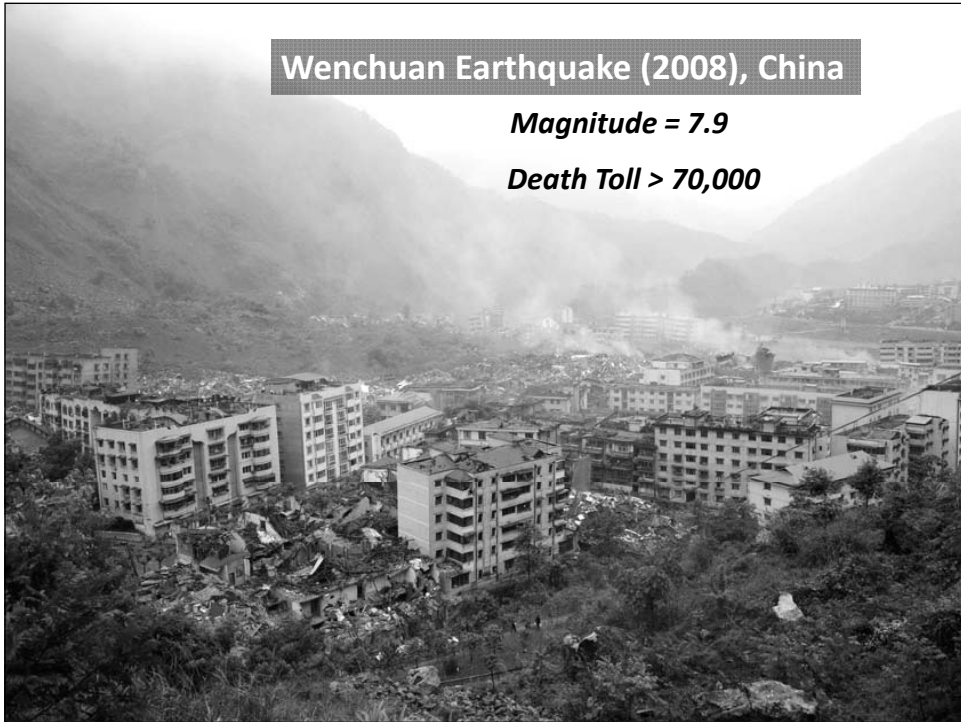
ระบบเตือนภัยแผ่นดินไหว ??

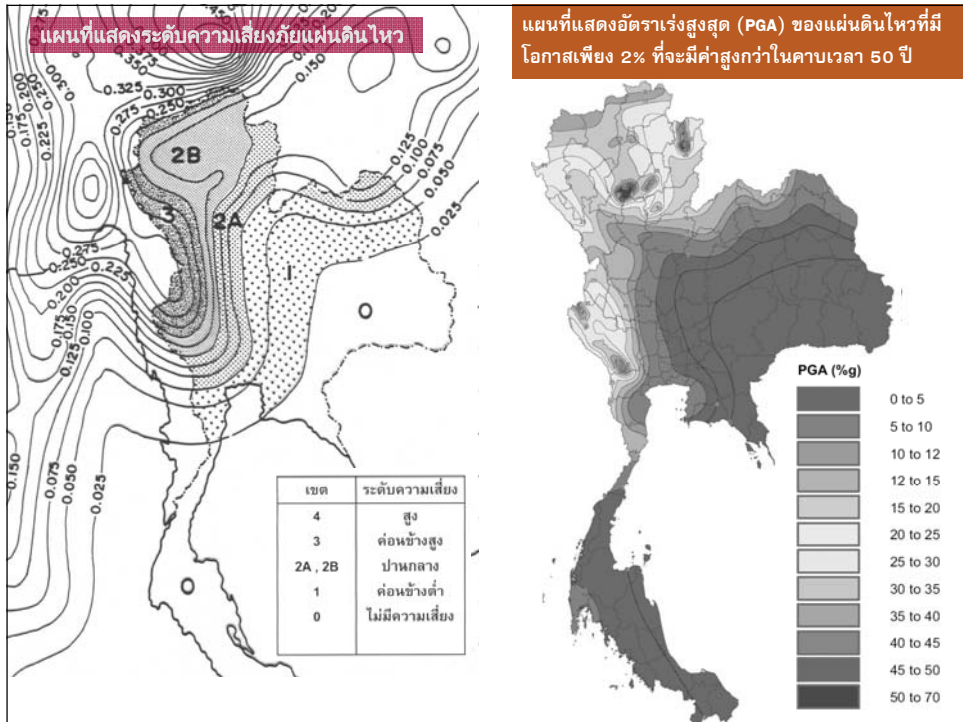
ควบคุมให้อาคารและโครงสร้างต่างๆในพื้นที่เสี่ยงภัยมีการ
ออกแบบก่อสร้างให้ต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างเหมาะสม ★★★

ศึกษา-สำรวจ-วิจัยเกี่ยวกับแผ่นดินไหว เพื่อให้มี ข้อมูล-ความรู้-
ความเข้าใจ ดีขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ★

เผยแพร่ความรู้ที่ถูกต้องให้ประชาชนทั่วไปได้รับทราบ ★★★







กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540)
 ออกตามความใน พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

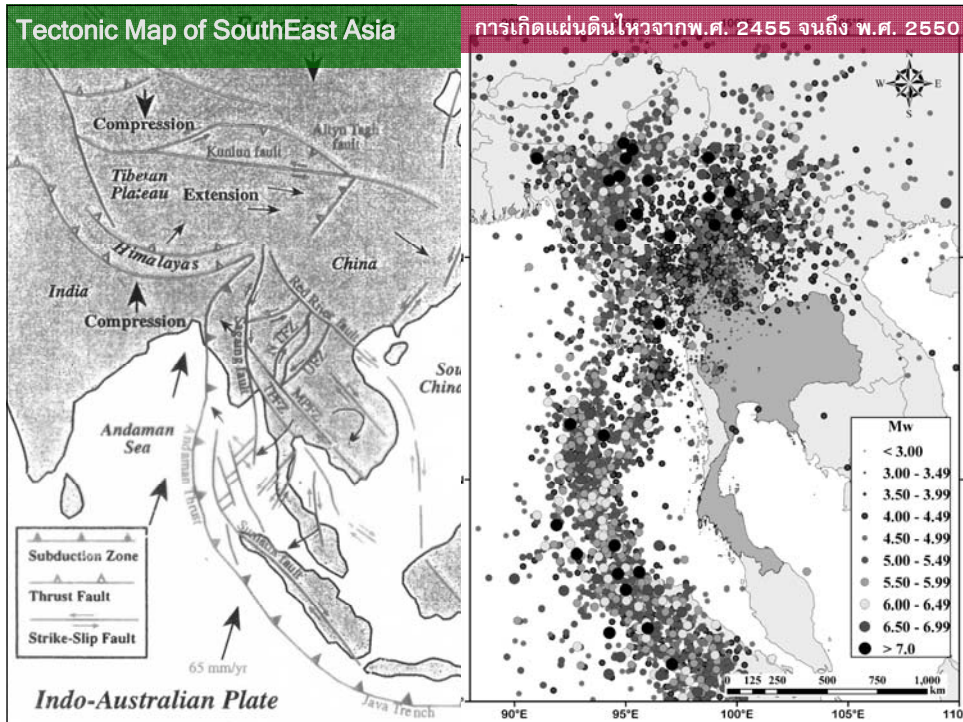
กำหนดให้วิศวกรต้องออกแบบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้

จำกัดพื้นที่ควบคุมเพียง 10 จังหวัด

บังคับใช้กับอาคารสาธารณะ อาคารสำคัญ อาคารเก็บวัสดุอันตราย และอาคารทั่วไปที่มีความสูงเกิน 15 เมตร

เล่ม ๑๒๙ ตอนที่ ๘๖ ก วันที่ ๑๖ ราชกิจจานุเบกษา	หน้า ๑๖ ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๐	เล่ม ๑๒๙ ตอนที่ ๘๖ ก วันที่ ๑๖ ราชกิจจานุเบกษา	หน้า ๑๘ ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๐
 กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๕๐ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๑) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๘ (๑) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดย พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๑) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการ		“บริเวณที่ ๒” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบ จากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน ข้อ ๑ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับในบริเวณและอาคารดังต่อไปนี้ (๑) บริเวณที่ระวางและบริเวณที่ ๑ (ก) อาคารที่จัดเป็นสื่อความ เป็นสื่อของสาธารณชน เช่น สถานีพยานที่รับผู้โดยสาร ทางดิน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์รวมราชการหรือ อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา (ข) อาคารเก็บวัสดุอันตราย เช่น วัสดุระเบิด วัสดุไวไฟ วัสดุพิษ วัสดุที่มีอันตราย หรือวัตถุระเบิดได้ (ค) อาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาลากลาง สนามกีฬา อัฒจันทร์ ศาลา ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ และโรงแรม (ง) สถานที่ราชการที่รับนักเรียนหรือนักศึกษาได้ตั้งแต่สองร้อยห้าสิบคนขึ้นไป (จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อนที่รับเด็กอ่อนได้ตั้งแต่ห้าสิบคนขึ้นไป (ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	
“บริเวณที่ ๑” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบ จากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัด สมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร			
“บริเวณที่ระวาง” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และ จังหวัดสุราษฎร์ธานี “บริเวณที่ ๑” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบ จากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัด สมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร		โรงผลิตและเก็บน้ำประปา (ข) อาคารเก็บวัสดุอันตราย เช่น วัสดุระเบิด วัสดุไวไฟ วัสดุพิษ วัสดุที่มีอันตราย หรือวัตถุระเบิดได้ (ค) อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาลากลาง สนามกีฬา อัฒจันทร์ ศาลา ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ สถานบริการ และอาคารจอดรถ	





The 1985 Michoacan Earthquake ($M_s = 8.1$)

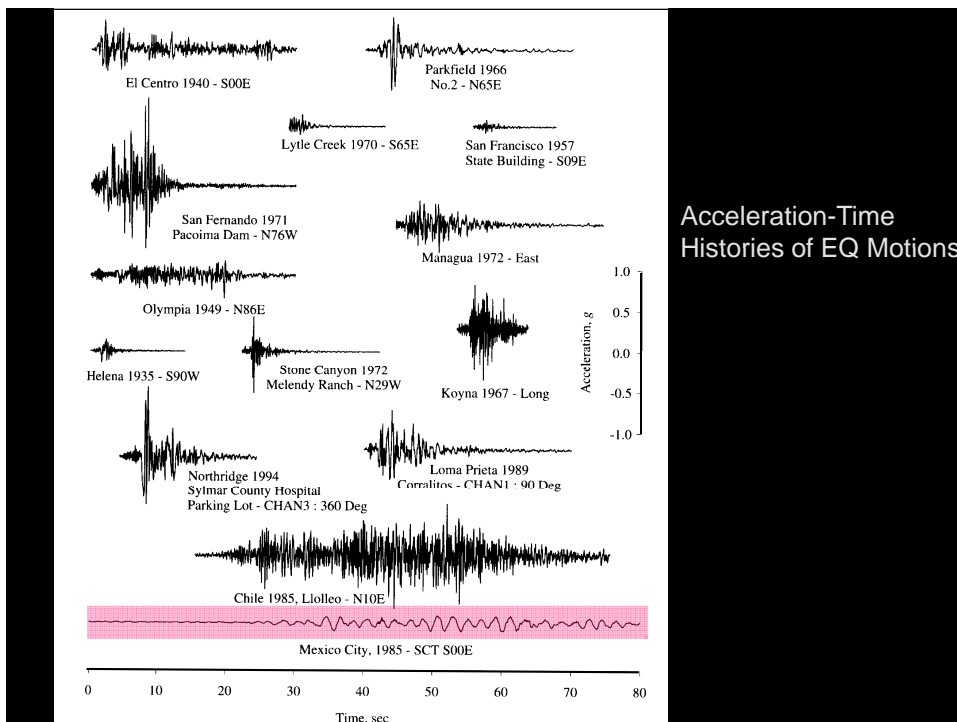
The earthquake caused considerable destruction and loss of life in Mexico City, about 350 km from the EQ epicenter. The number of deaths was more than 10,000.

A black and white photograph showing a massive pile of rubble from destroyed buildings. Debris includes concrete blocks, twisted metal, and wooden beams. A crane is visible in the background, and a few people can be seen near the wreckage.

Earthquake Disaster in Mexico City (1985)

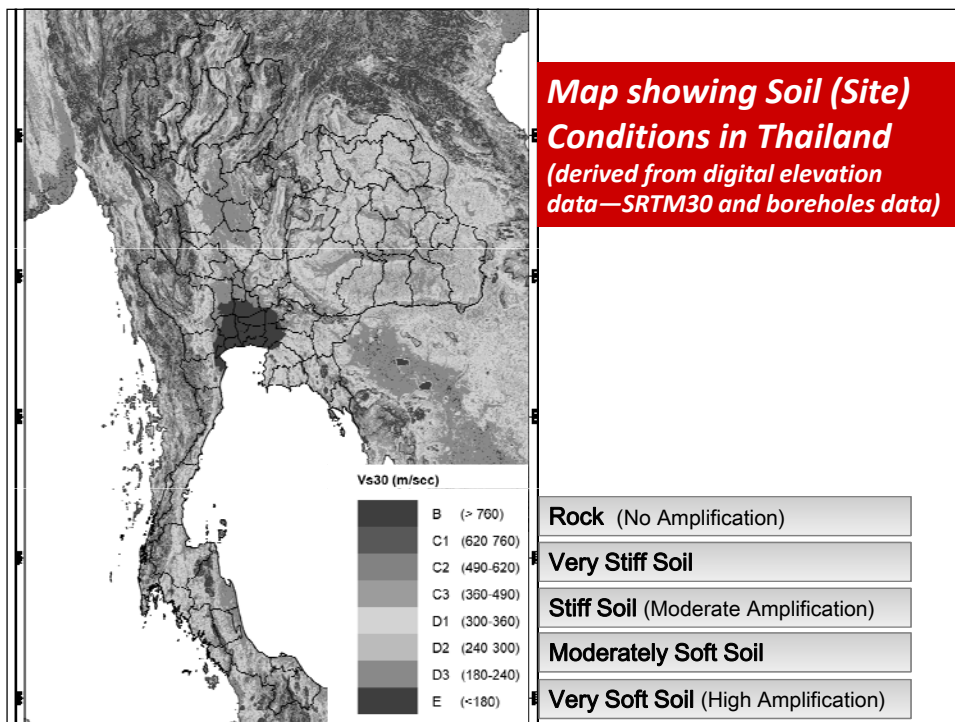
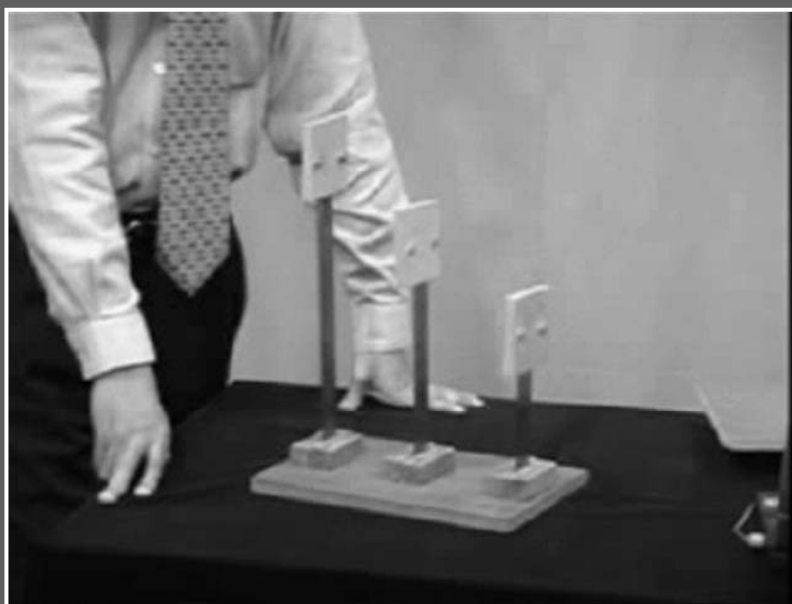


Much of the destruction was due to significant amplification of EQ ground motions by thick soft soil deposits.

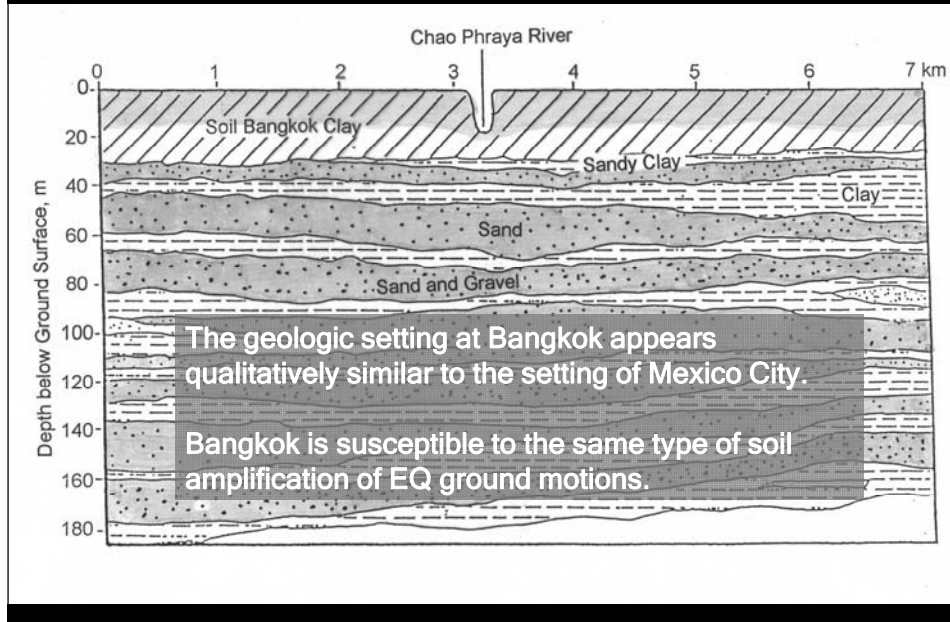


Acceleration-Time Histories of EQ Motions

Shake Table Experiment



Soil Profile in Bangkok Area

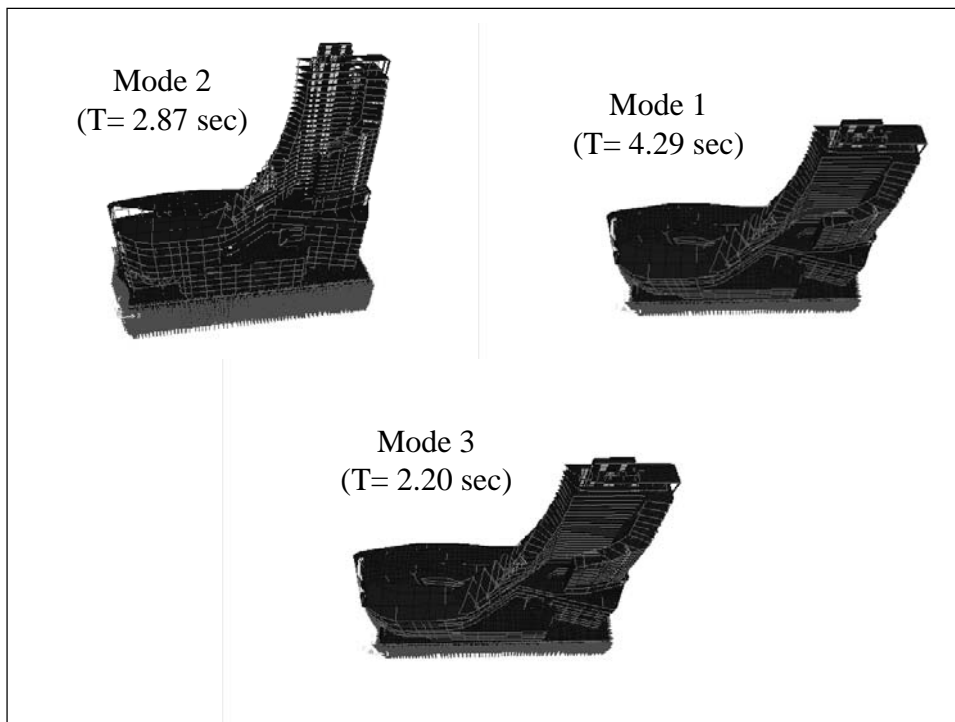


Soil Amplification of Ground Motions

+ Resonant Amplification of Building Responses

= Risk from Distant Large Earthquakes





award add
B100,000.
LOCAL 4A

five-hour
record tie.
SPORTS, 16B

SHAKENell: Bangkok trembles

■ Tremor spreads panic among Bangkok office workers
■ 2,000 vocational students flee college in Phuket
■ Epicenter of earthquake located off Sumatra island

Rattled city

Office workers and people living in skyscrapers in Bangkok and other cities were shaken as a powerful earthquake struck the region of Sumatra island in the Indian Ocean on Tuesday.

The higher the building, the stronger the effect of the quake, according to engineers. Buildings in their vicinity were shaken so much that some people were injured and some buildings were damaged.

The quake, which was felt in many parts of Thailand, was the strongest since the 1997 earthquake in Bangkok. It was felt in many parts of Thailand, including Bangkok, and caused some buildings to be damaged.

The quake was felt in many parts of Thailand, including Bangkok, and caused some buildings to be damaged.

LOCAL

After the crash of 1997, nothing scares us, says capital's 'Wall St'

■ Monday, March 16

A wild earthquake struck the heart of Bangkok yesterday, but downtown workers said last night they weren't as bad as when their business was wrecked by the 1997 earthquake.

Shake of 6.1 on Richter scale, on the fifth floor of the United Building on Rama Road, the capital's 'Wall Street' noticed their computers screen went blank and lost their morning coffee pulled from their cups, according to one employee, who requested anonymity.

Workers were shaken outside the 24-story Department Store in Bangkok. Buildings were badly damaged. Bangkok Bank, 10 kilometers north, having some cracks on the higher floors in southeast.

เดลินิวส์

แผ่นดินไหว หนึ่ตายอลหม่าน

ในหอ-นบุยของ โกสพทในท์ ใต้สะเทือนหนัก-เขตกบตยอล

จากนั้นนบุยของ กอศพทในท์ได้ให้สะเทือนหนัก-เขตกบตยอล

ประพัตน รอดถูกถดถอน

Quake leaves Phuket r

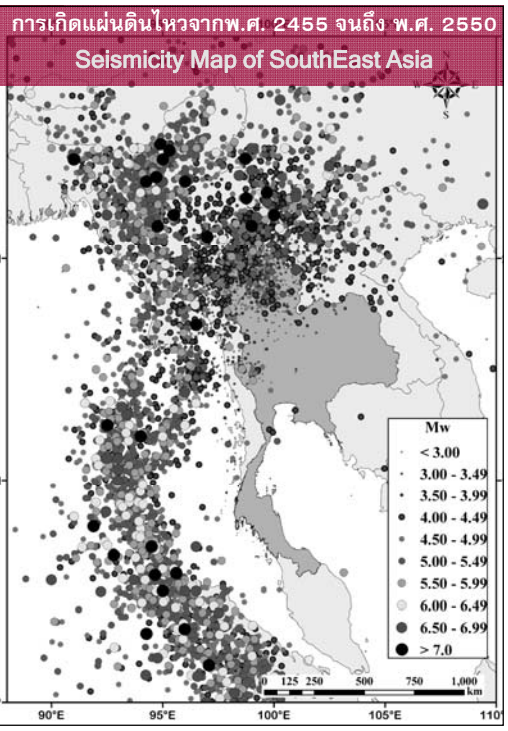
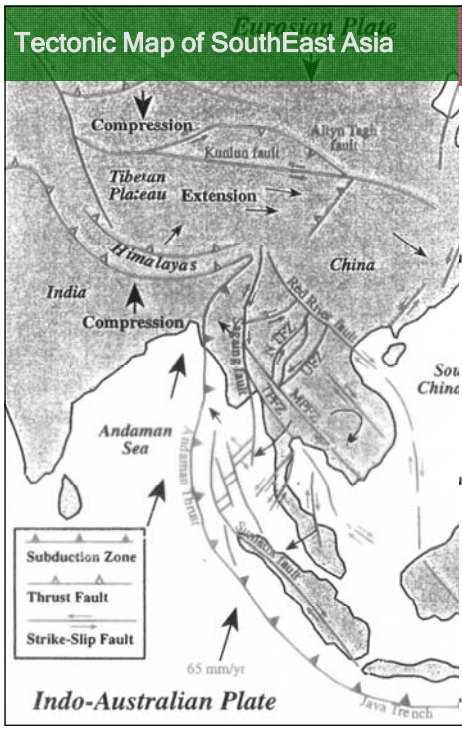
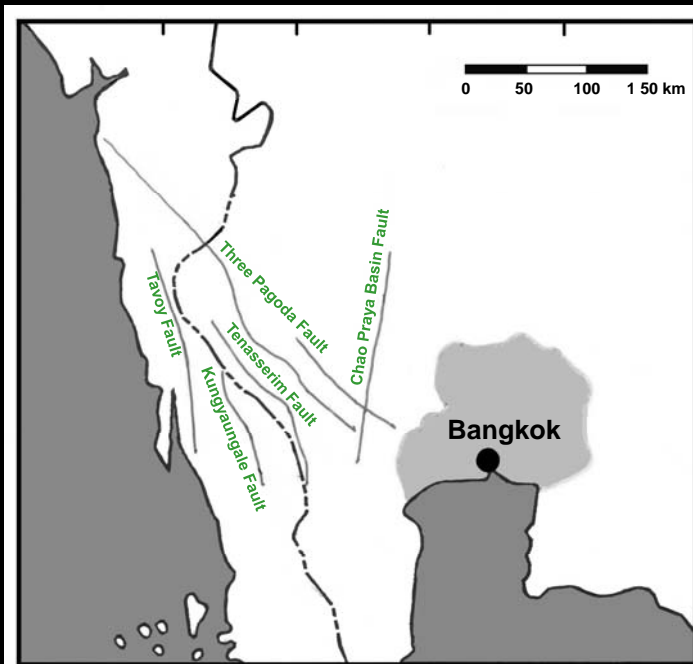
■ The Motion, Phuket Gaze

Thailand's most an earthquake struck off the Indonesian island of Sumatra yesterday evening frightened people in tall buildings in Bangkok and triggered a stampede from the Phuket Vocational College in Phuket city, Phuket Town.

About 12,000 vocational students in Phuket's along Charnat were told to make a hurried exit from the college buildings, which were shaken by an earthquake with a

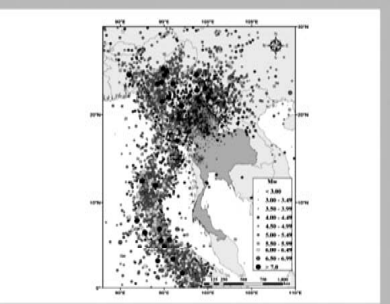
"I felt r... I did not re... from the sh... It was c... an earth... Queson


รอยเลื่อนในภาคตะวันตกที่อาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่




มยพ. 1302

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน
การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว





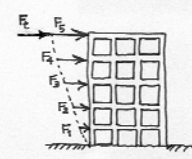
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2552



มาตรฐานประกอบมาตรฐานการออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยพ. 1301-50
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

Key Concepts in Earthquake Resistant Design



$$V_B = \sum_{i=1}^N F_i + E$$

$V_B = C \cdot W$

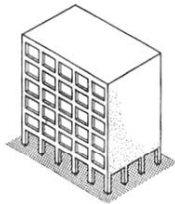
Design Base Shear Base Shear coefficient Weight of the Structure

Lateral Strength

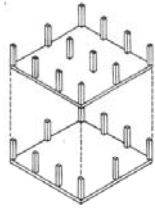
Earthquake Resistance = +

**Lateral Deformability
(elastic and Inelastic)**

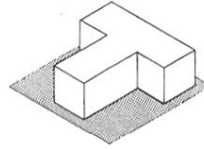
Avoidance of Configuration Irregularity



Soft/Weak Story



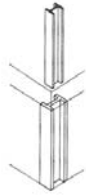
Interruption of Columns



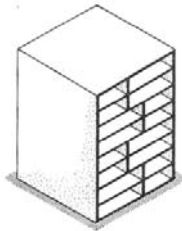
T-shaped Plan



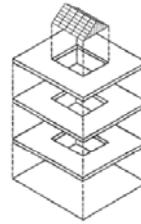
Torsionally Irregular



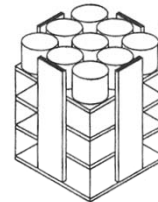
Abrupt Changes in Size of Members



Interruption of Vertical-Resisting Elements (walls)

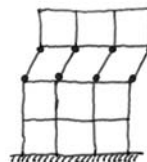
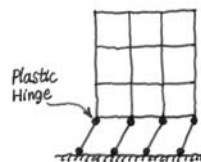


Large Openings in Diaphragm (Floor)



Drastic Changes in Mass/Stiffness Ratio

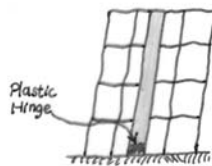
Plastic Mechanisms



Strong Beam-Weak Column
Non-ductile frame



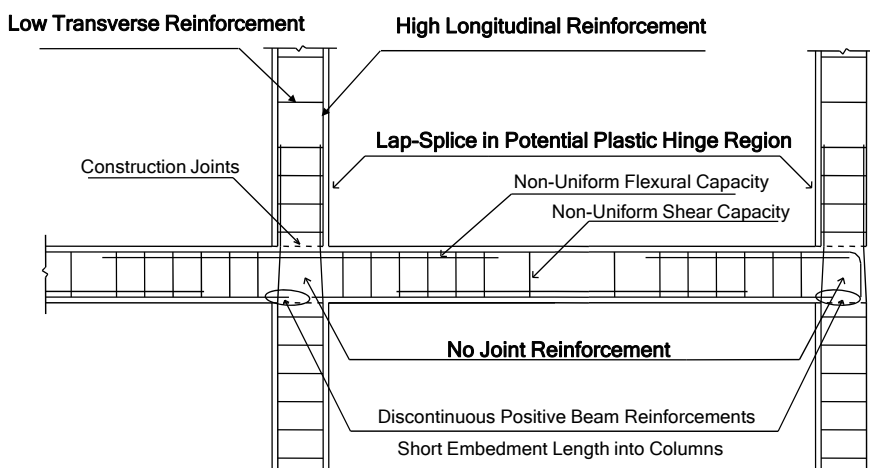
Strong Column-Weak Beam
Ductile frame



Ductile Cantilever-Wall System



Nonductile Reinforcement Details



Brittle Failure in Column

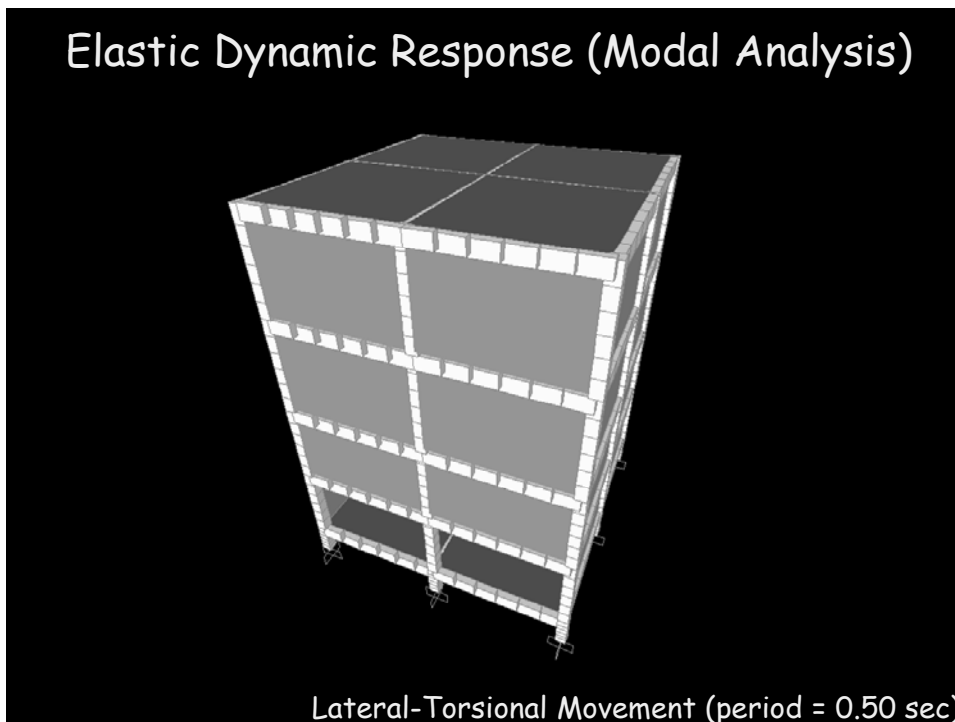
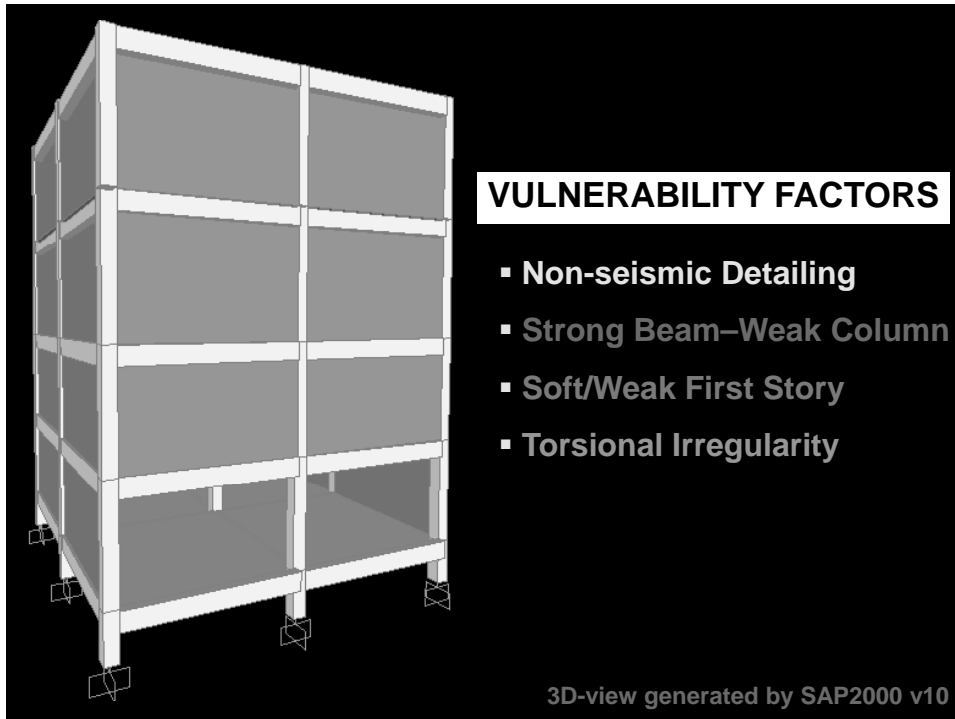


Basic Problem : A large number of existing buildings are vulnerable to earthquake ground shaking !



Typical Commercial Concrete Buildings

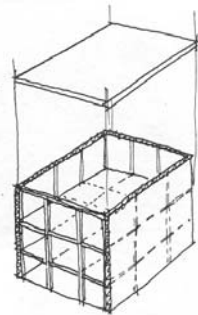




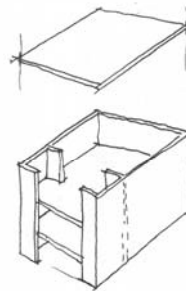
Soft-story Collapse of Commercial/Residential Buildings in the 1999 Chi-Chi Earthquake (Taiwan)



Seismic Performance Improvement Options



Solid walls should be of nonstructural cladding



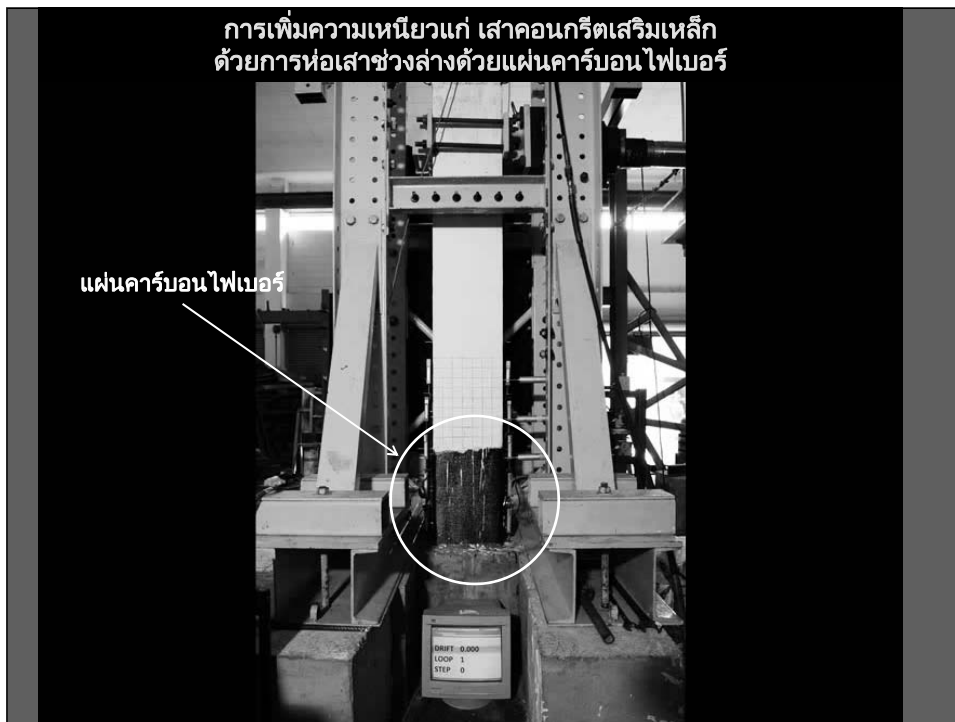
Shear walls are added at or near the open face



Strength and stiff moment-resisting or braced frame is designed for soft front wall



Torsion is accepted, and building is designed to resist the forces and minimize the distortion they cause



การปรับปรุงอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ดีขึ้น
โดยใช้ Buckling Restraint Braces



Shake table tests of real wood-frame houses

Full-scale Takatori record, Kobe EQ



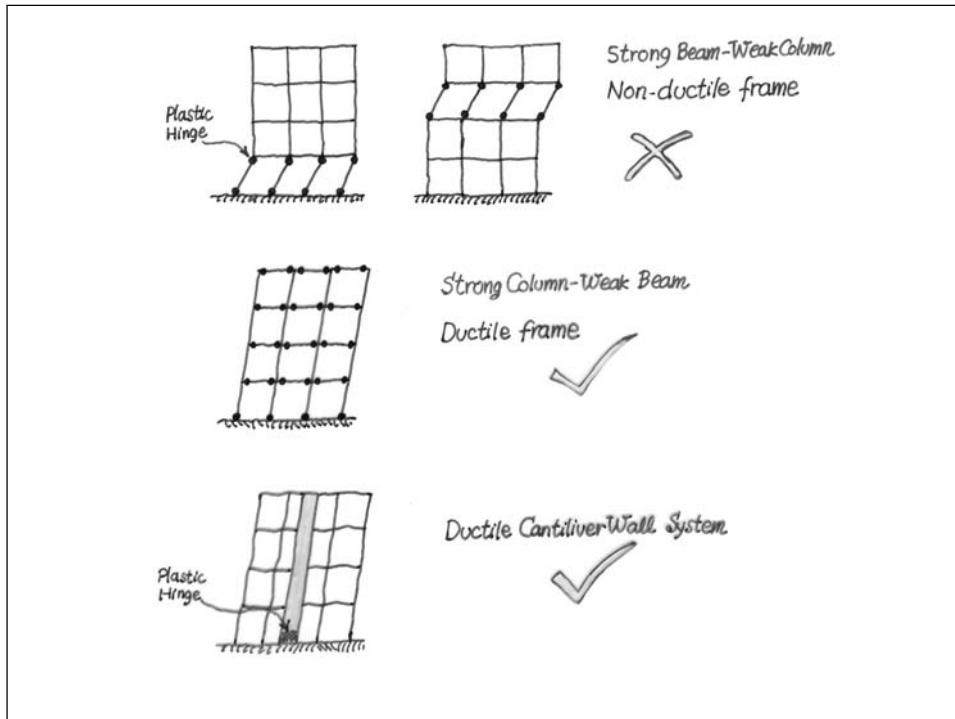
2005.11.21



2005.11.24

Left: Retrofitted Right: Non-retrofitted

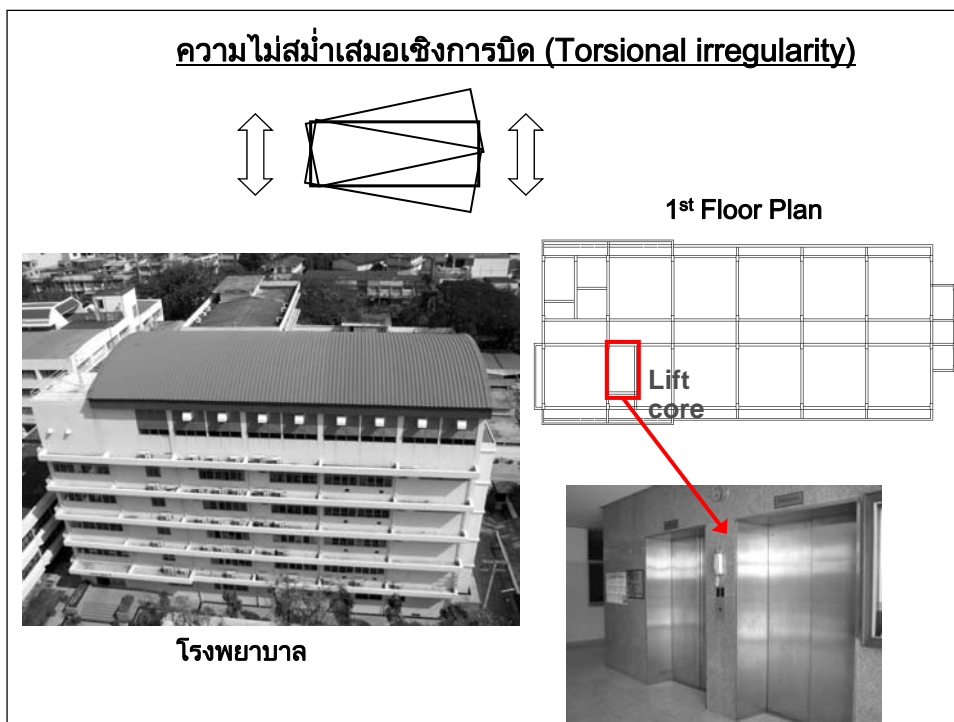
<http://www.bosai.go.jp/hyogo/index.html>

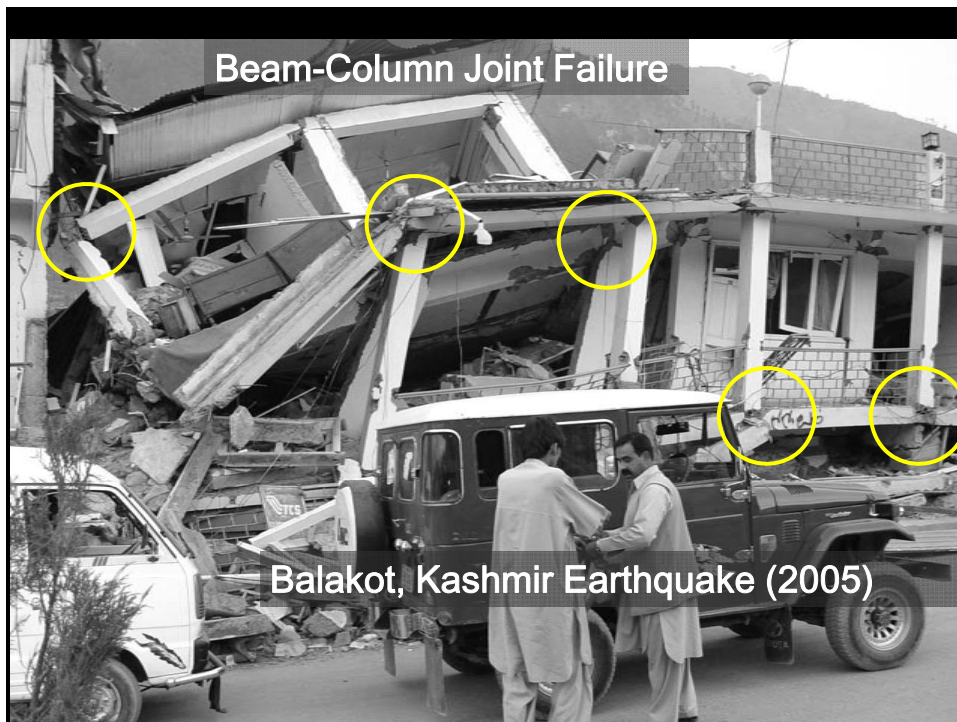


Intermediate Story Collapse in a 6-story Building in Bhuj

Bhuj Earthquake, India (2001)

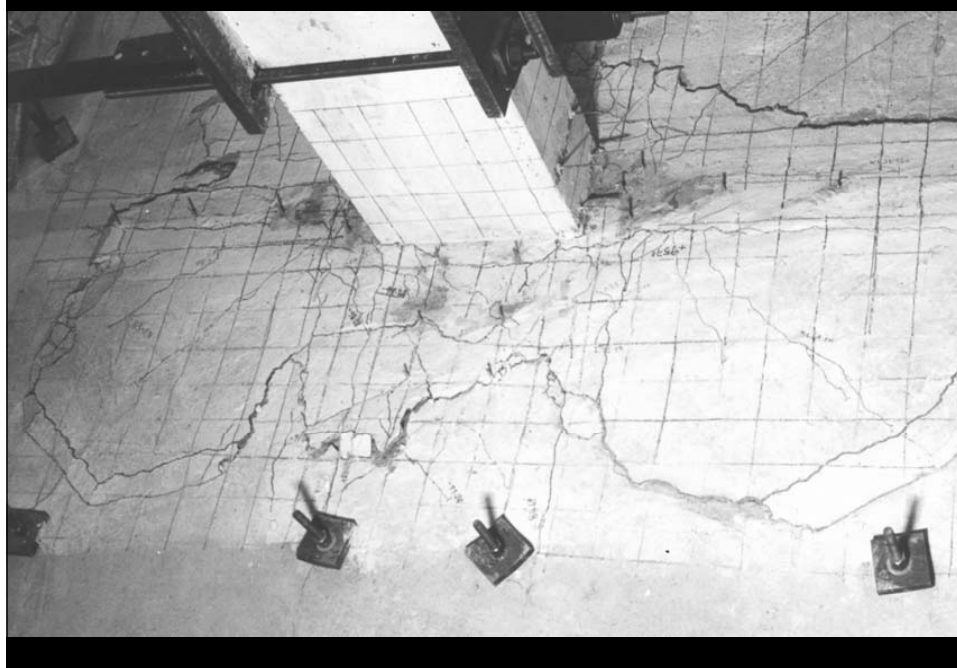
(Source: EERI)





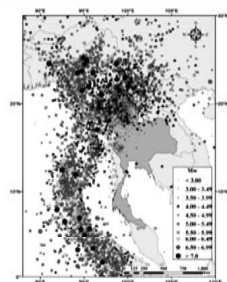


Punching Shear Failure of the Test Specimen



มยพ. 1302

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน
การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2552



มาตรฐานประกอบอาคารออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยพ. 1301-50
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

Earthquake-induced Collapse of a Cathedral



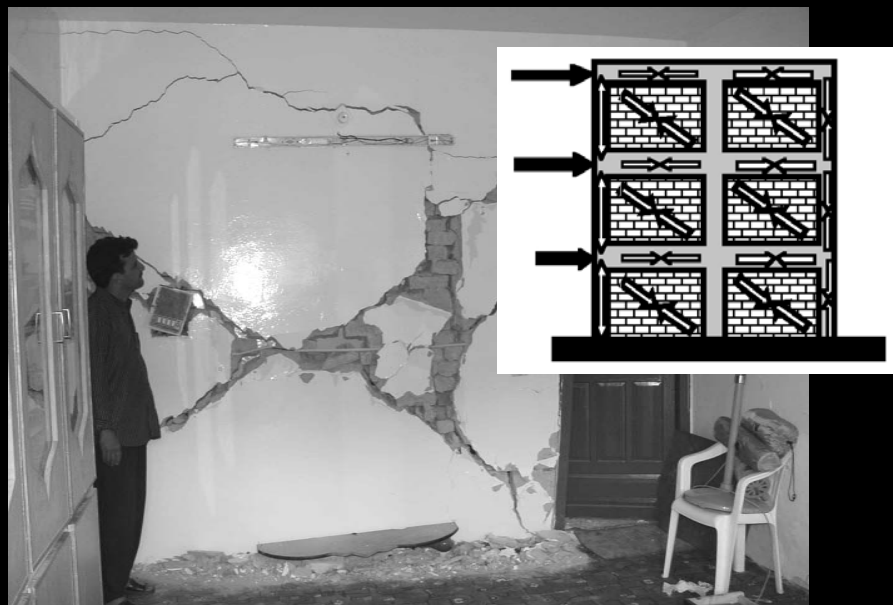
Source: Dr. Yutaka Nakamura & Prof. Fumio Yamazaki

Damage inside a Building (Kobe EQ, 1995)



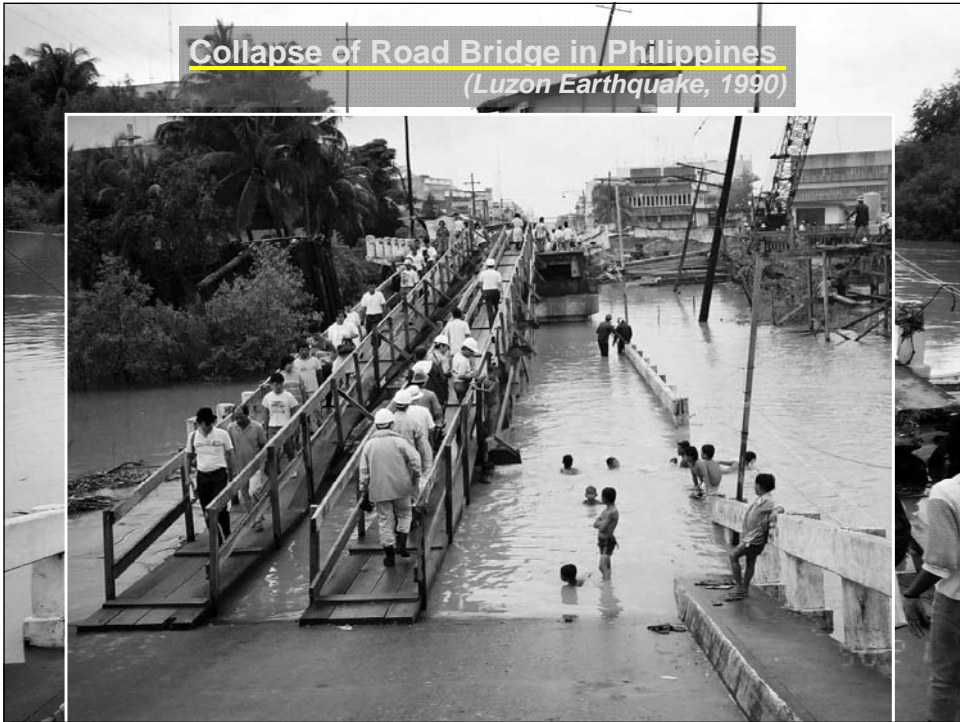


Diagonal Shear Cracks in Brick Wall (Pakistan EQ, 2005)





Collapse of Road Bridge in Philippines
(Luzon Earthquake, 1990)

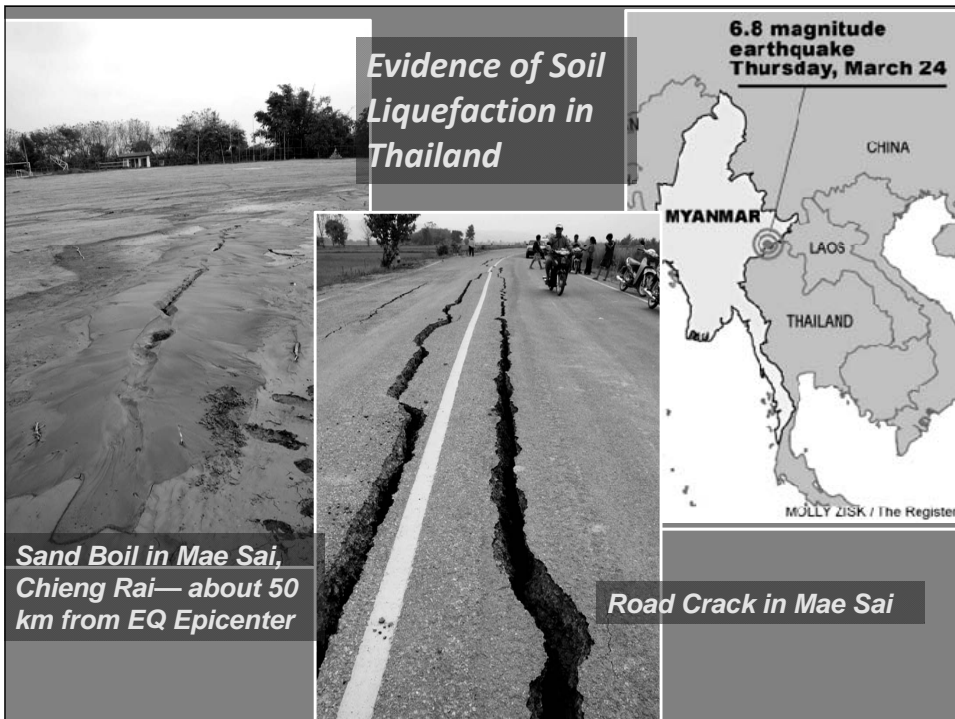


Loss of Bearing Capacity
Due to Liquefaction

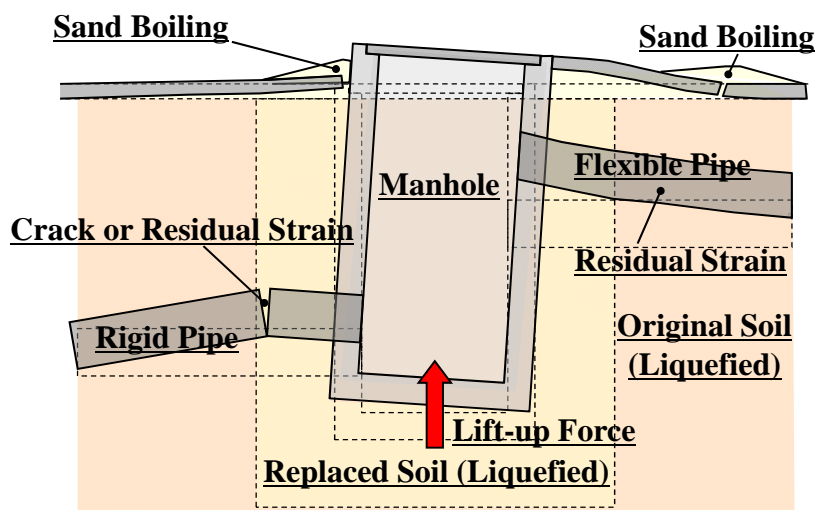
A building in Dagupan,
Philippines after the
1990 Luzon EQ



Overtuned building in
Adpazari, Turkey in the
1999 Kocaeli EQ

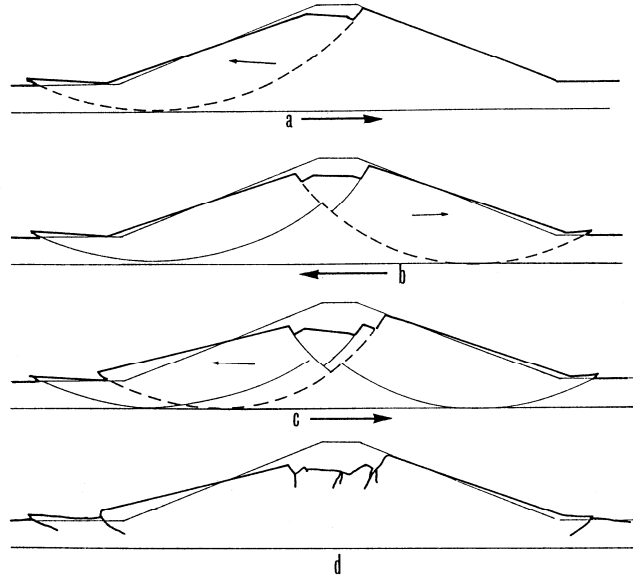


Damage to Sewers





Dynamic Stability of Embankment

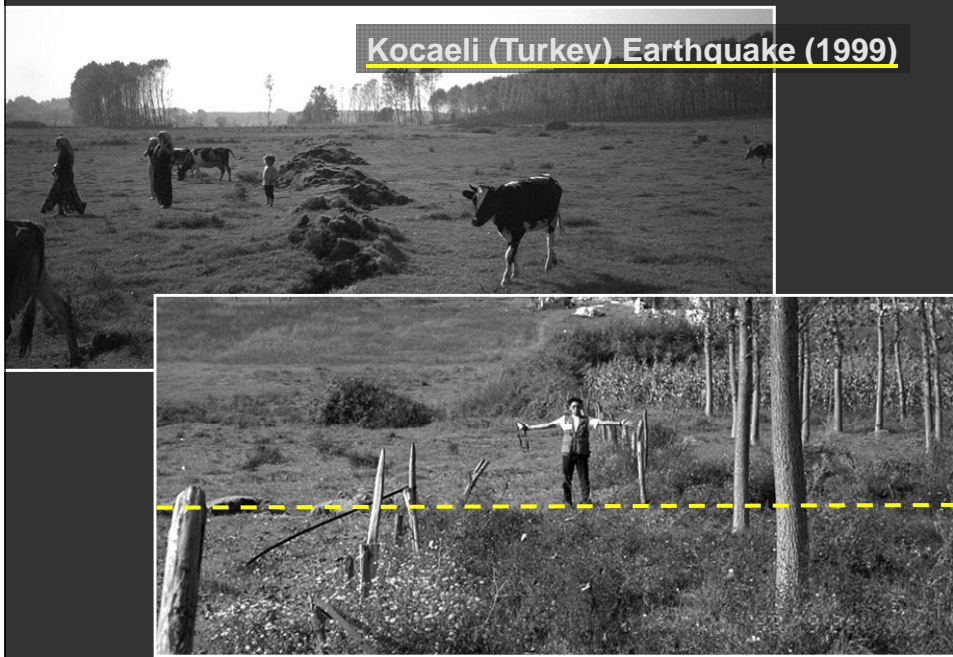


Bhuj earthquake 2001 Irrigation Dams

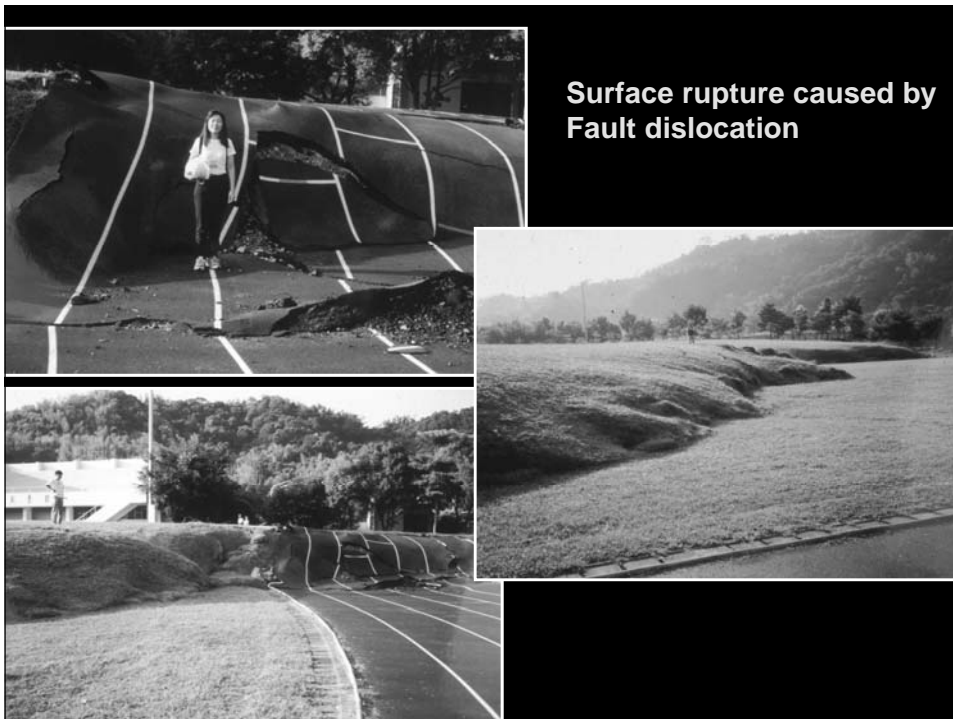


Ground Failure by Lateral Fault Movement

Kocaeli (Turkey) Earthquake (1999)



Surface rupture caused by Fault dislocation



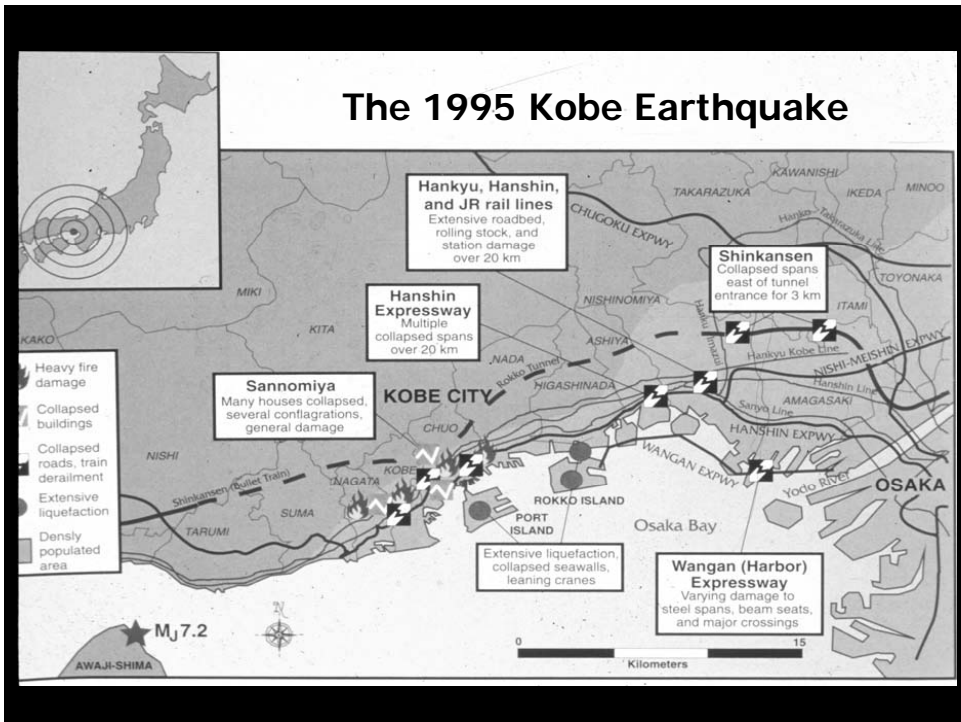
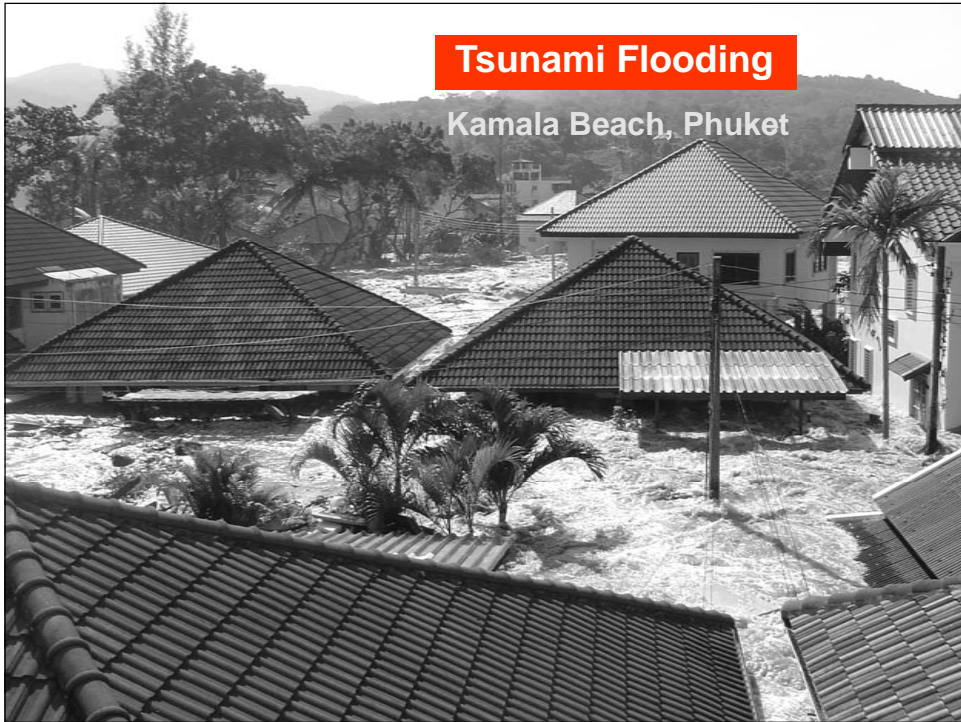
The 1999 Chi-Chi earthquake, Shih-Kang Dam

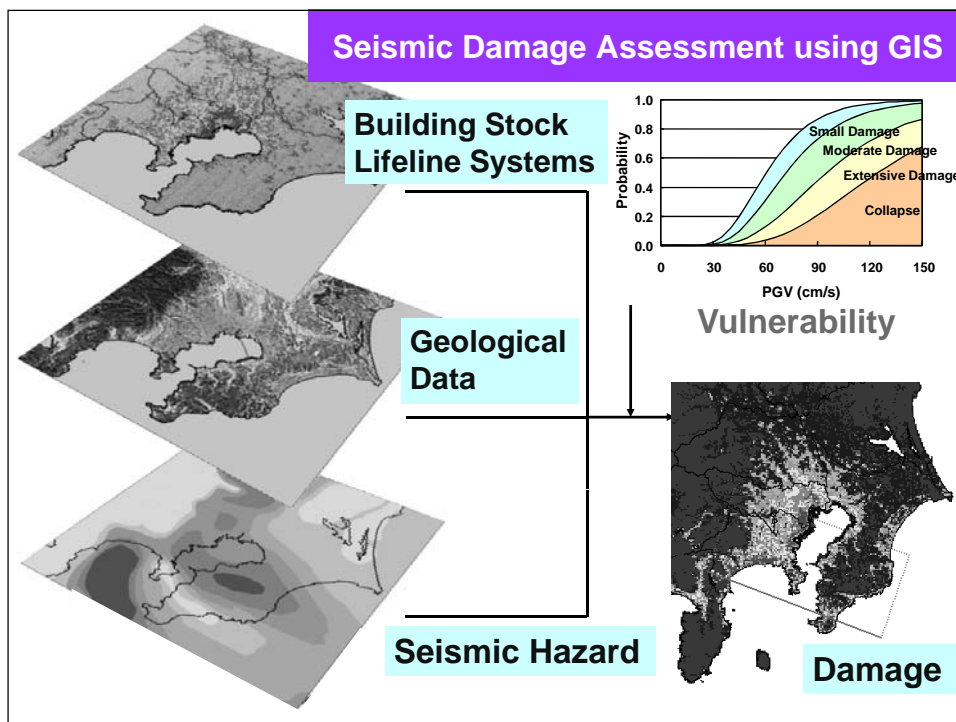


The 1999 Chi-Chi earthquake, Shih-Kang Dam





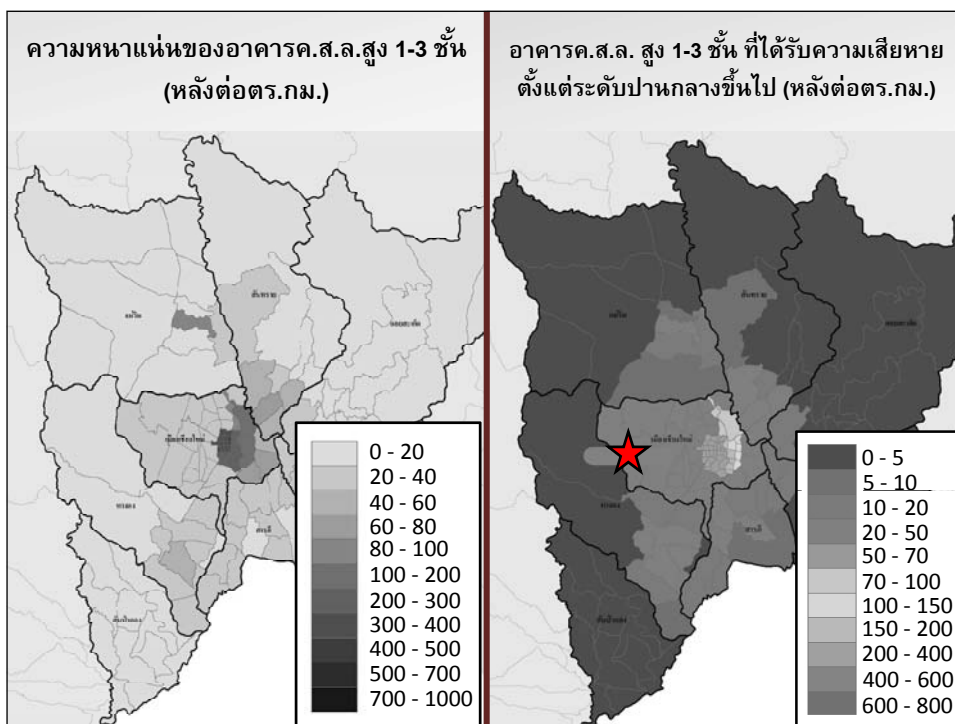
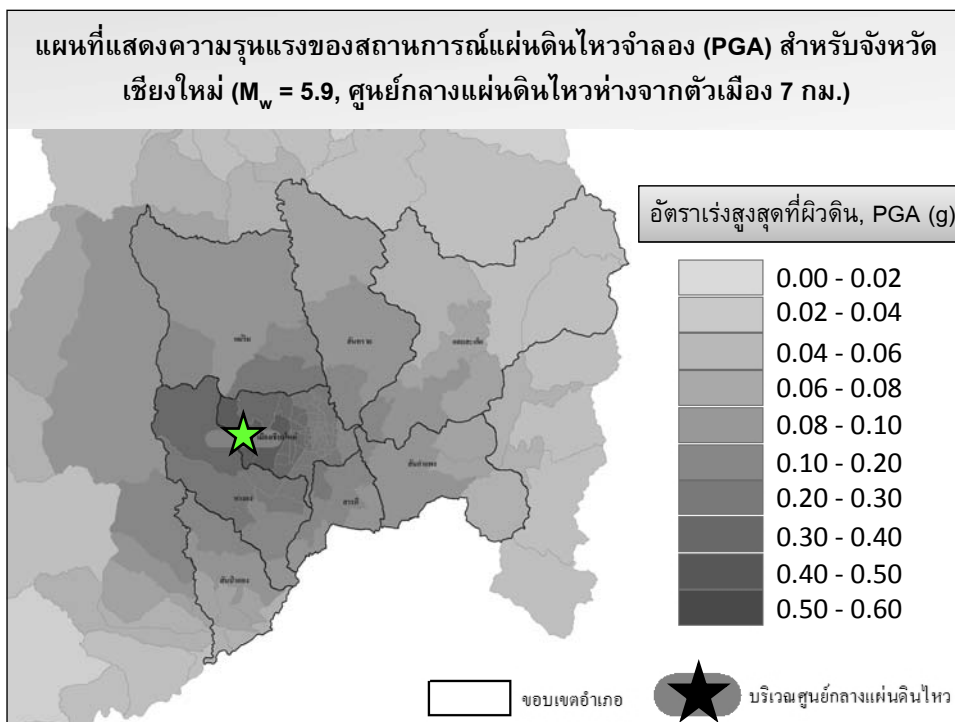


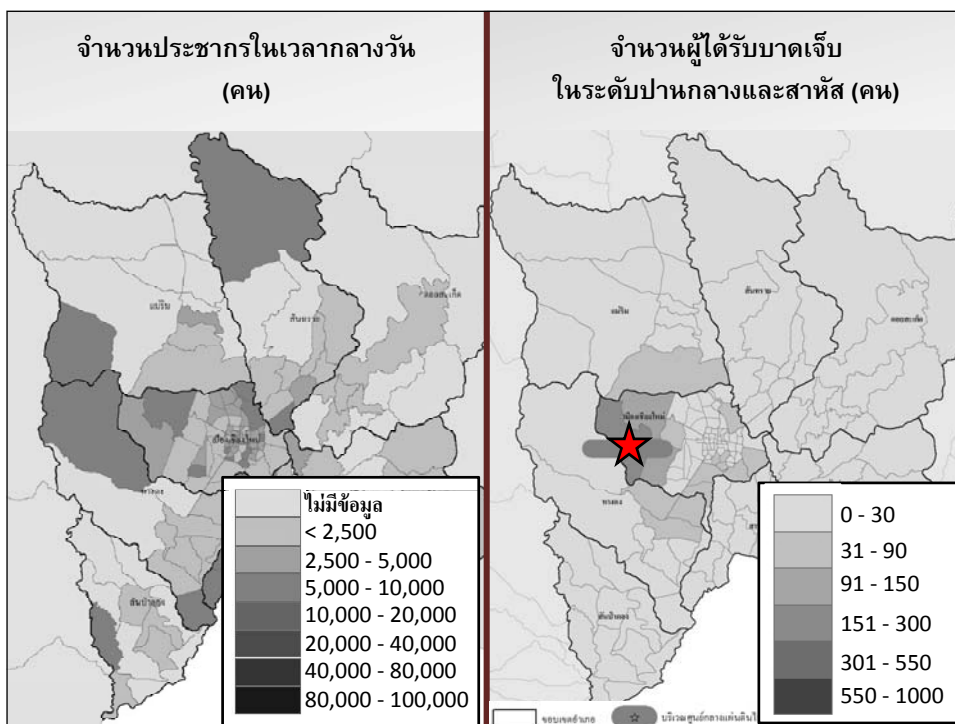
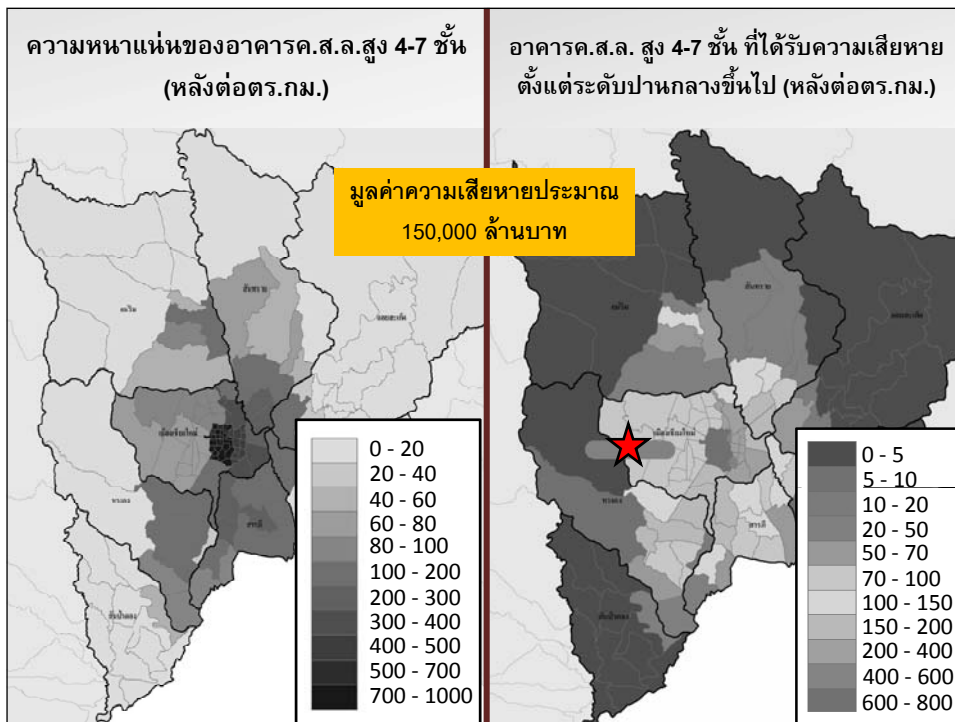


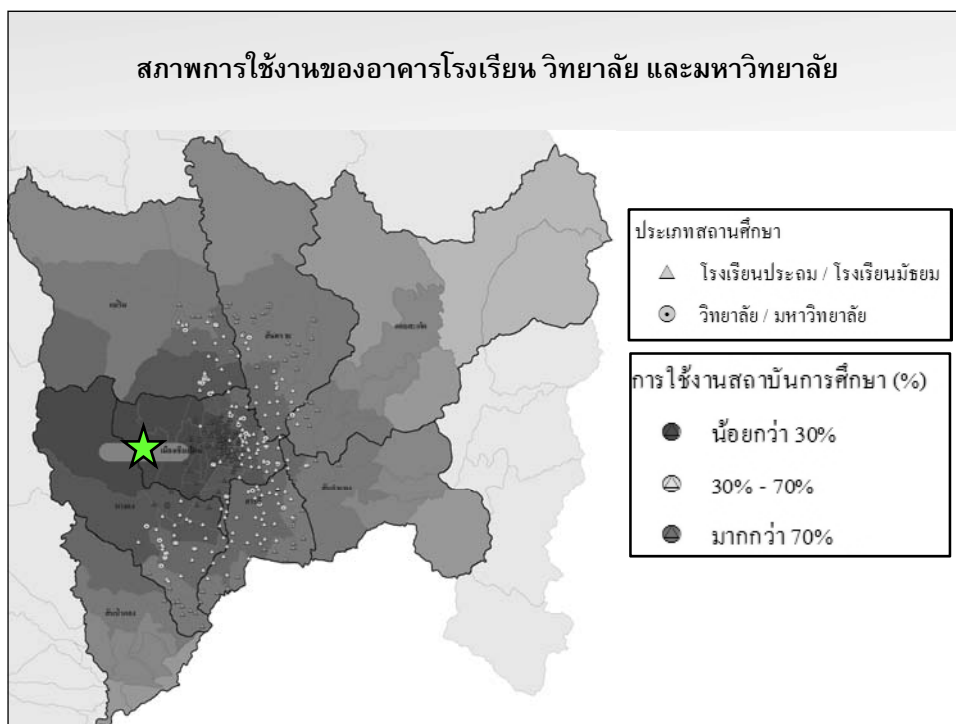
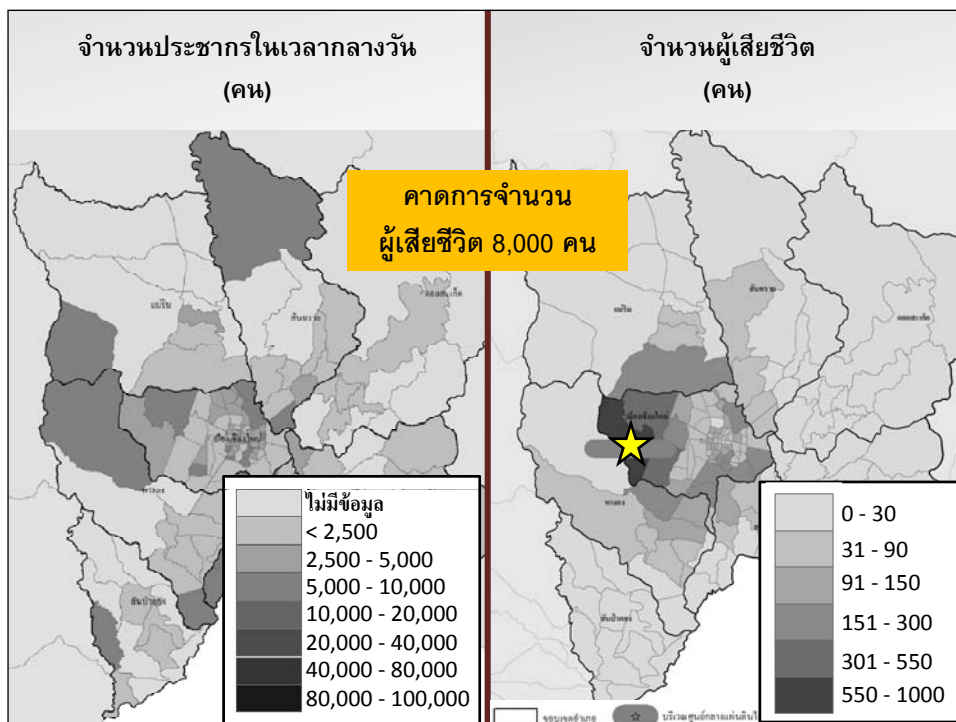


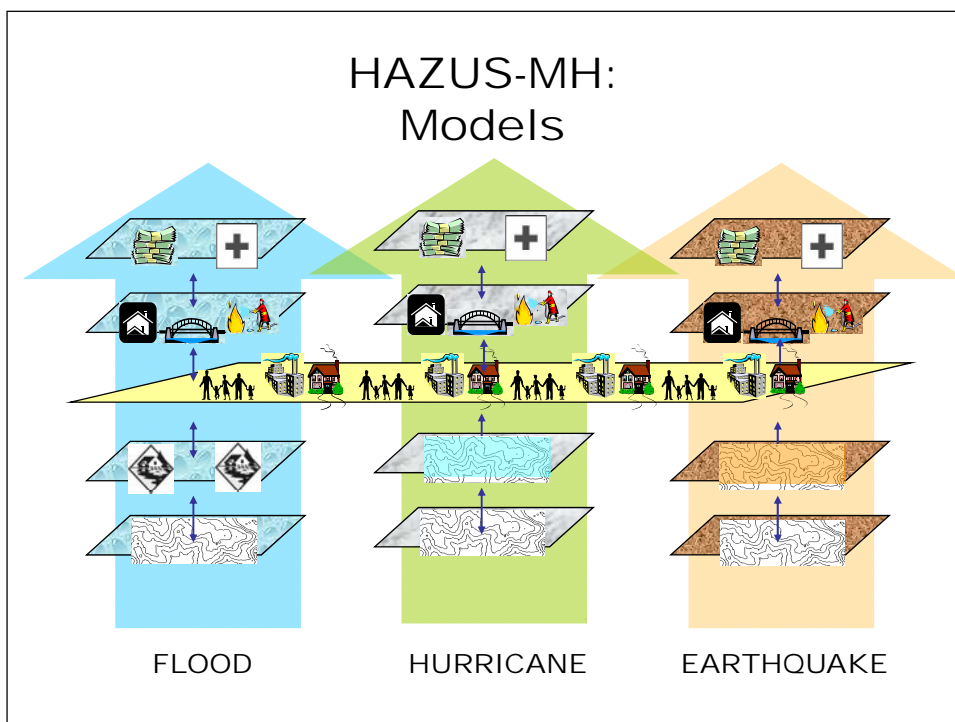
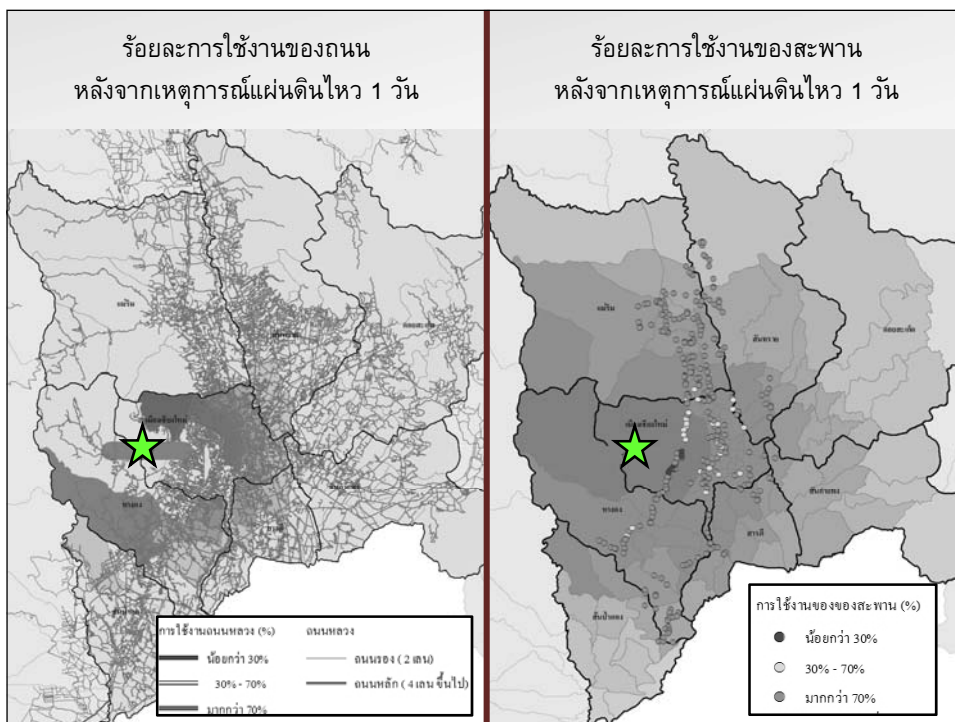

โครงการจัดทำแผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยจากแผ่นดินไหวและอาคารถล่ม (ระยะที่ 2)

การประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหว
และการจัดทำแผนที่ผลกระทบของแผ่นดินไหวในระดับจังหวัด









เอกสารการบรรยายเรื่อง “เตรียมพร้อม รับภัยพิบัติแผ่นดินไหว ”

โดย ดร.อมร พิमानมาศ

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT)

รศ. ดร. อมร พิมาณมาศ

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประวัติการศึกษา	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 1) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย M.Eng. Civil Engineering, University of Tokyo Ph.D. Civil Engineering, University of Tokyo
ตำแหน่ง	วิศวกรและที่ปรึกษา บริษัทนอร์ซีพีเอ็นจีเนียริ่ง กรรมการอำนวยการ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2554-2556 ประธานคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วิศวกรรมสถาน แห่งประเทศไทย ประธานคณะกรรมการโครงการ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย อนุกรรมการสาขาแผ่นดินไหวและแรงลม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ผลงานทางวิชาการ (จนถึง พ.ศ. 2554)	ตำรานานาชาติ Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete Spun Press 721 หน้า บทความในวารสารวิชาการนานาชาติ 26 เรื่อง วารสารวิชาการระดับชาติ 10 เรื่อง บทความในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ 30 เรื่อง บทความตีพิมพ์ในประเทศมากกว่า 200 บทความ
ผลงานภาคปฏิบัติ	(ออกแบบโครงสร้างมากกว่า 50 โครงการตั้งแต่ปี 2543) อาทิเช่น <ul style="list-style-type: none">• โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง• โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าโมโนเรลในโครงการเดอะปาล์มดูไบ• โครงการเสริมกำลังอาคารจอดรถด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และ สยามพารากอน• ออกแบบฐานรากรับเครื่องจักรคอมเพรสเซอร์โครงการ Revamp OCS1 มาบตาพุด ระยอง• การทดสอบการรับน้ำหนัก (load test) โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า เมืองสายสีแดง ช่วงบางซื่อ-ตลิ่งชัน



16

คำถาม ไช้ข้อข้องใจ กรุงเทพฯ เสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวขนาดไหน และจะรับมือกันอย่างไร

โดย **รองศาสตราจารย์ ดร. อมร พิมาณมาศ**

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กรรมการอำนวยการ และประธานคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท.

วสท. :

ดูเหมือนว่าเหตุแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นบ่อยครั้งในระยณะนี้ทั่วโลก ไล่มาตั้งแต่ที่นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น จนมาถึงพม่า แต่ละจุดที่เกิดขึ้นก็มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าโลกเราอยู่ชั้นวิกฤติแล้วหรือไม่?

ศ.ดร.อมร :

ผมได้รับคำถามลักษณะนี้มาหลายครั้งแล้ว หากดูจากสถิติการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลกย้อนหลังไป 10 ปีจะพบว่าเรามีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นทั่วโลกนับเป็นพันครั้งต่อวัน แผ่นดินไหวบางอันก็มีขนาดเล็กไม่เกิน 2-3 ริกเตอร์ไม่ทำให้คนรับรู้ได้ ต่สามารถตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัด แผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่พอที่จะสร้างความเสียหายให้แก่อาคารบ้านเรือนมักจะมีความถี่เกิน 5 ริกเตอร์ขึ้นไปและเกิดในที่ที่มีผู้คนอาศัยอยู่เยอะๆ หากมาดูเฉพาะแผ่นดินไหวขนาดกลางขึ้นไป



สัมภาษณ์พิเศษ



จะพบว่าตามสถิติแผ่นดินไหวขนาด 5.0-5.9 ริกเตอร์จะเกิดขึ้นประมาณ 1500 ครั้งต่อปี ขนาด 6.0-6.9 จะเกิดขึ้นประมาณ 150 ครั้งต่อปี ขนาด 7.0-7.9 จะเกิดขึ้นประมาณ 15 ครั้งต่อปี และ ขนาดใหญ่กว่า 8.0 ริกเตอร์ขึ้นไปจะเกิดประมาณ 1 ครั้งต่อปี หากดูตามสถิตินี้แล้วในช่วงย้อนหลัง 10 ปี ก็ยังไม่พบสัญญาณบ่งชี้ว่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมีความถี่เพิ่มขึ้นผิดปกติแต่อย่างใด

วสท. :

คำถามที่ 2. แล้วแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในพม่าเมื่อคืนวันที่ 24 มีนาคม 2554 มีอะไรที่บ่งชี้ถึงสิ่งผิดปกติหรือไม่?

รศ.ดร.อมร :

จริงๆ แล้วบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในพม่าคราวนี้ หากไปดูสถิติจะพบว่ามันเป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวเป็นประจำอยู่แล้วในรอบ 40 ปีที่ผ่านมาแผ่นดินไหวขนาด 5 ริกเตอร์ขึ้นไปเกิดขึ้นในบริเวณนั้นนับได้ถึง 30 ครั้งด้วยกัน และในจำนวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้มีขนาด 6.8-7 ริกเตอร์ถึง 4 ครั้งด้วยกัน ดังนั้นบริเวณนี้จึงมีอัตราความถี่ของการเกิด 10 ปีต่อครั้ง จะเห็นว่ามันเกิดค่อนข้างถี่ นอกจากนี้แผ่นดินไหวในบริเวณนี้มักเกิดที่ระดับไม่ลึกคือไม่เกิน 30 กิโลเมตรจากพื้นดิน จึงมีโอกาสก่อให้เกิดความเสียหายแก่อาคารและสาธารณูปโภคได้ค่อนข้างมาก

วสท. :

คำถามที่ 3. ดึกสูงในกรุงเทพได้รับการสั่นสะเทือน ผู้คนที่อาศัยอยู่ในตึกสูงหลายแห่งรับรู้ได้ บางคนวิ่งหนีลงมาแล้วโครงสร้างอาคารในกรุงเทพจะมีปัญหาหรือไม่?

รศ.ดร.อมร :

อาคารสูงในกรุงเทพได้รับแรงสั่นสะเทือนเป็นเรื่องปกติอยู่แล้วแม้กระทั่งแผ่นดินไหวขนาด 7.9 ที่เสฉวนในปี 2551 ซึ่งอยู่ห่างไกลจากกรุงเทพถึง 2600 กิโลเมตร หรือ แม้กระทั่งแผ่นดินไหวขนาด 9.1 ริกเตอร์ ที่เกาะสุมาตรา เมื่อปี 2547 ซึ่งอยู่ห่างจากกรุงเทพถึง 1200 กว่ากิโลเมตร ก็ยังส่งผลให้อาคารสูงในกรุงเทพได้รับแรงสั่นสะเทือนจนไหวตัว เหตุการณ์ที่เชียงใหม่คราวนี้มีขนาด 6.8 ริกเตอร์แต่ห่างจากกรุงเทพประมาณ 770 กิโลเมตร ก็ทำให้อาคารในกรุงเทพสั่นสะเทือนได้อย่างแน่นอน ซึ่งไม่ผิดปกติแต่อย่างใด เพราะกรุงเทพตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน จึงเกิดการเคลื่อนตัวและสั่นไหวได้ง่าย





วสท. :

คำถามที่ 4. อาคารในกรุงเทพมหานครมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหาย และมีโอกาสจะถึงขั้นถล่มลงมาหรือไม่?

ศส.ดร.อสม :

ผมว่าเราลองมาเปรียบเทียบเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่พม่า ในคราวนี้ แผ่นดินไหวที่เสฉวน และ แผ่นดินไหวที่เกาะสุมาตรา จากข้อมูลพบว่าเหตุแผ่นดินไหวที่สุมาตราทำให้อาคารสูงในกรุงเทพฯเกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด ในบรรดาแผ่นดินไหวทั้งสามนี้ แต่แม้ว่าอาคารจะโยกตัวไปมา ก็ไม่ได้หมายความว่าอาคารจะเกิดการถล่มลงมา หลังจากเหตุแผ่นดินไหวเหล่านี้ เมื่อเข้าไปสำรวจโครงสร้างอาคารก็ไม่พบรอยแตกร้าวหรือความเสียหายในเสา หรือ คาน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักของอาคาร อาจมีรอยร้าวขนาดเล็กๆ ในผนังอิฐซึ่งไม่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างแต่อย่างใด

วสท. :

คำถามที่ 5. อาจารย์กำลังจะบอกว่ากรุงเทพมหานครมีความปลอดภัย?

ศส.ดร.อสม :

ผมบอกว่าอาคารในกรุงเทพฯสั่นไหวได้เป็นเรื่องปกติ และ หากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจากที่ไกลๆ ก็ไม่ได้ทำให้เกิดความรุนแรงมากพอที่จะทำให้อาคารได้รับความเสียหายจนถึงขั้นถล่มลงมา แต่เราต้องไม่ลืมว่าเรามีรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้ๆ กรุงเทพฯ ด้วยนะ นั่นคือรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ และ รอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีบางส่วนที่เชื่อมต่อกับรอยเลื่อนสะแกงในประเทศพม่าซึ่งเป็นรอยเลื่อนขนาดใหญ่มีพลังสูงมากอาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้ ที่สำคัญรอยเลื่อนเหล่านี้ อยู่ห่างจากกรุงเทพฯไม่เกิน 300 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นระยะที่อันตรายทีเดียว เพราะเคยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.1 ริกเตอร์เมื่อปี 2528 ที่เกิดขึ้นห่างจากกรุงเทพฯ 350 กิโลเมตร ส่งผลให้กรุงเทพฯมีผู้เสียชีวิตประมาณ 10000 คน



รองศาสตราจารย์ ดร. อสม พิมาณภาค
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรรมการอำนวยการ และประธานคณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท.

วสท. :

คำถามที่ 6. ถ้าอย่างนั้นกรุงเทพฯก็มีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว?

ศส.ดร.อสม :

ใช่ครับ กรุงเทพฯถือว่ามีความเสี่ยงครบทั้ง 3 ประการ คือ 1) เราอยู่ใกล้ๆรอยเลื่อนที่มีพลังที่อาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้ (2) กรุงเทพฯตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน และ ที่สำคัญ (3) โครงสร้างอาคารบ้านเรือนเราไม่ได้ออกแบบให้รองรับแผ่นดินไหว





สัมภาษณ์พิเศษ

๐๓๓. :

คำถามที่ 7. ถ้าอย่างนั้นเราควรจะเตรียมรับมือกันอย่างไร?

๓ สร.ดร.อสม :

ผมบอกได้เลยนะว่าเรายังค่อนข้างโชคดีอยู่ที่ไม่ได้ตั้งอยู่ในบริเวณที่แผ่นดินไหวมีความรุนแรงสูงเหมือนประเทศอื่นๆ เช่น ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ และอื่นๆ อันที่จริงแล้วหากเราได้มีการเตรียมความพร้อมโครงสร้างอาคารของบ้านเราไว้ให้ดี ก็ย่อมจะสามารถต้านทานแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน ปัญหาของเราคือโครงสร้างอาคารบ้านเรือนของเราไม่ค่อยได้เตรียมรับมือให้รองรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว แต่ก็ยังไม่สายเกินไป ยังสามารถแก้ไขได้ทัน เราสามารถปรับปรุงโครงสร้างให้อาคารของเรามีความแข็งแรงขึ้นมาได้

๐๓๓. :

คำถามที่ 8. อาคารประเภทไหนบ้างที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหว?

๓ สร.ดร.อสม :

อาคารที่ค่อนข้างเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวมากๆ มีอยู่สองสามประเภทคือ พวกตึกแถว ซึ่งเสามีขนาดเล็กๆ และการก่อสร้างไม่ได้ควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างให้ดี ไม่มีวิศวกรมาออกแบบหรือคุมงาน พวกนี้หากเกิดแผ่นดินไหว อาจทำให้อาคารทรุดเอียงลงมาทางด้านหน้าของอาคารซึ่งมักเปิดโล่งเพื่อใช้ทำการค้า ผมค่อนข้างกังวลกับตึกแถว เพราะเราแทบไม่มีข้อมูลเลยว่าอาคารเหล่านี้ใส่เหล็กในเสา และ คานเท่าใด และ ส่วนใหญ่ก็ไม่มีแบบก่อสร้างเก็บไว้ ทำให้ไม่มีข้อมูลที่จะนำมาประเมินกำลังรับน้ำหนักได้ อาคารอีกประเภทที่เสี่ยงก็คือพวกอาคารไร้คาน พวกนี้เราจะเห็นค้ำก่อสร้างเป็นแผ่นพื้นที่วางบนเสาเป็นชั้นๆ แต่ไม่มีคานรองรับ บางทีก็ฝังลวดอัดแรงอยู่ข้างในด้วย พวกนี้เป็นที่นิยมมากเพราะก่อสร้างได้รวดเร็ว เช่นอาคารจอดรถ อาคารสำนักงาน แต่อาคารพวกนี้ก็เสี่ยงมากนะครับ เพราะถ้าพื้นบางเกินไป มันอาจจะพังทะลุผ่านเสาดตกลงไป กระแทกพื้นชั้นล่างลงไปเป็นทอดๆ แล้วทำให้อาคารทั้งหลังถล่มลงไปกองกันอยู่บนพื้นได้เลย

30

ปีที่ 64 ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน 2554

๐๓๓. :

คำถามที่ 9. พวกบ้านเดี่ยว หรือ บ้านจัดสรรมีความเสี่ยงมากน้อยเพียงใด?

๓ สร.ดร.อสม :

ถ้าเป็นบ้านที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น ใช้คาน หรือ เสาสำเร็จรูปมาต่อกัน ก็มีความเสี่ยงที่บริเวณรอยต่อที่ประกอบคานกับเสาเข้าด้วยกัน ซึ่งหากทำไม่แข็งแรงพอ ก็อาจจะหลุด แล้วทำให้อาคารเสียหายได้

๐๓๓. :

คำถามที่ 10. พกอาคารสูงในกรุงเทพฯ เข้าข่ายเสี่ยงหรือไม่?

๓ สร.ดร.อสม :

ดังที่ผมบอกไปแล้วว่า อาคารสูงไหวตัวได้ง่าย และ ผู้คนก็รู้สึกกันเยอะ ทำให้คนกลัวอาคารสูงกันมาก แต่ความเข้าใจตรงนี้ยังไม่ถูกต้องทั้งหมด การโยกตัวหรือการไหวของอาคารไม่ได้หมายความว่าอาคารจะเสียหายหรือถล่มลงมาเสมอไป ต้องอย่าลืมนะครับว่าอาคารสูงส่วนใหญ่กว่าจะออกแบบและก่อสร้างจนสำเร็จได้ จะต้องมีการออกแบบและควบคุมงานดีกว่าอาคารประเภทอื่นๆ และถ้าเป็นอาคารสูงที่มีรูปทรงเรียบง่าย มีเสาวางเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ก็น่าจะมีความปลอดภัย แต่ถ้าเป็นอาคารสูงที่มีรูปทรงซับซ้อน มีส่วนเว้าส่วนโค้ง ส่วนยื่น หรือ ลูกเล่นมากๆ หรือ มีกำแพงเอียงออกไปจากศูนย์กลางของอาคารมากๆ หรือ มีด้านล่างเปิดโล่ง พวกนี้ จะมีความเสี่ยงมากกว่า

๐๓๓. :

คำถามที่ 11. แล้วเราจะมีการเตรียมความพร้อมอาคารของเราให้มีความปลอดภัยได้อย่างไร?

๓ สร.ดร.อสม :

ถ้าเป็นอาคารใหม่ที่ยังไม่ได้เริ่มก่อสร้าง จะต้องออกแบบและก่อสร้างให้รองรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวตามกฎหมายกระทรวงปี 2550 หากออกแบบและก่อสร้างอาคารตามกฎหมายนี้ก็จะทำให้อาคารมีความปลอดภัย แต่ปัญหาก็คือ



อาคารเก่าที่มีอยู่จำนวนมากที่ก่อสร้างก่อนปี 2550 ซึ่งแน่นอนว่าส่วนใหญ่หรือเกือบจะทั้งหมดจะไม่ได้ออกแบบให้ต้านทานต่อแผ่นดินไหว อาคารเหล่านี้หากจัดอยู่ในกลุ่มของอาคารเสี่ยงตามที่ผมได้อธิบายไป ก็ควรจะได้นำมาวิเคราะห์และหาวิธีการเสริมความมั่นคงให้อาคารแข็งแรงรองรับแผ่นดินไหวได้ในระดับเดียวกับอาคารที่ก่อสร้างขึ้นมาใหม่ตามกฎหมายกระทรวง

วสท. :

คำถามที่ 12. อาคารเก่าที่ก่อสร้างไปแล้วแก้ไขให้ต้านทานแผ่นดินไหวได้หรือไม่?

ศศ.ดร.อมส :

อาคารที่ก่อสร้างไปแล้วไม่ว่าจะเป็นกลุ่มอาคารเสี่ยงมากหรือเสี่ยงน้อย ผมคิดว่าเรามีวิธีที่จะแก้ไขให้กลับมาต้านทานแผ่นดินไหวได้ หากเราทราบข้อมูลของอาคาร เช่น แบบก่อสร้าง แบบการเสริมเหล็ก เราก็สามารถนำแบบเหล่านั้นมาวิเคราะห์ตรวจสอบดูว่าอาคารดังกล่าวมีความแข็งแรงเพียงใด และ หากจำเป็นจะต้องเสริมกำลังจะใช้วิธีใด จึงจะได้ผลดีและในราคาที่เหมาะสม วิธีการวิเคราะห์ตรวจสอบและเสริมกำลังอาคารค่อนข้างจะมีมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับอยู่แล้ว



รองศาสตราจารย์ ดร. อมส พินามาศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กรรมการอำนวยการ และประธานคณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท.

แต่หากอาคารบางประเภทที่เราไม่มีแบบก่อสร้างหรือหาข้อมูลไม่ได้ ก็อาจทำให้การวิเคราะห์ทำได้ยาก ในกรณีนี้ก็ต้องเผื่อการเสริมความแข็งแรงให้มากขึ้น หน่อยขดเขยกับการที่เราขาดข้อมูลที่ชัดเจน

วสท. :

คำถามที่ 13. การเสริมความแข็งแรงให้แก่อาคารทำได้อย่างไรบ้าง แล้วค่าใช้จ่ายสูงมากน้อยเพียงใด

ศศ.ดร.อมส :

การเสริมความแข็งแรงของอาคารจะเน้นที่การปรับปรุงให้อาคารโยกตัวได้มากและนานขึ้น ปัญหาของอาคารเก่าคือมันจะโยกตัวไปไม่ได้มากนัก เพราะเมื่อมันโยกตัวไปมากๆ ปูนจะกะเทาะหลุดออกมาโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณโคนเสา ซึ่งเมื่อปูนกะเทาะหลุดออกมาแล้ว ก็อาจจะทำให้โครงสร้างพังทลายลงมา หากเป็นอาคารที่จะก่อสร้างใหม่ เราจะเน้นที่ใส่เหล็กปลอกที่บริเวณโคนเสาให้มากๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนกะเทาะหลุดออกมา แต่หากเป็นอาคารที่ก่อสร้างเสร็จไปแล้ว ก็อาจจะใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มาพันรอบเสากันปูนกะเทาะหลุดออก และ หากเป็นอาคารหลังเล็กๆ หรือ ตึกแถว การใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ก็อาจเป็นสิ่งที่เกินจำเป็น ผมคิดว่าน่าจะใช้เฟอโรซีเมนต์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีชาวบ้านที่มีราคาถูกกว่าคาร์บอนไฟเบอร์มาก ก็น่าจะเพียงพอแล้ว ส่วนเรื่องค่าใช้จ่ายผมคิดว่าไม่สูงมากอยู่ระหว่าง 2-5% ของค่าก่อสร้าง

Interview



DRUSSUNSAI



สัมภาษณ์พิเศษ

วสท. :

คำถามที่ 14. อาจารย์มีข้อเสนอแนะอย่างไรเกี่ยวกับอาคารที่ได้ก่อสร้างไปแล้ว?

ศฝ.ดร.อูม :

ผมคิดว่าเราควรตรวจสอบอาคารที่สำคัญๆ เช่น อาคารสาธารณะ อาคารโรงพยาบาล อาคารสถานที่ราชการ ตลอดจน อาคารสูง และ อาคารเอกชนหลายๆ แห่งที่มีคนใช้งานเป็นจำนวนมาก ว่าสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้มากน้อยเพียงใด และ จะต้องเสริมความแข็งแรงอย่างไรที่จะปรับปรุงให้อาคารต้านทานแผ่นดินไหวได้ การตรวจสอบไม่ใช่แค่เดินเข้าไปดูในอาคารและจะทราบได้ แต่จะต้องนำแบบก่อสร้างมาทำตามวิธีการประเมิน และ การเสริมกำลังตามมาตรฐานสากลซึ่งเรามีองค์ความรู้มากพอที่จะตรวจสอบและประเมินได้ ผมคิดว่าเราควรจะต้องเตรียมความพร้อมอาคารของเราให้แข็งแรงทุกเมื่อเพราะเราไม่อาจจะทราบได้เลยว่าแผ่นดินไหวครั้งต่อไปจะเกิดขึ้นที่ไหน และ เมื่อไร

วสท. :

คำถามที่ 15. อาจารย์มีข้อเสนอแนะไปถึงหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องอย่างไรบ้าง?

ศฝ.ดร.อูม :

ผมคิดว่าหน่วยงานราชการก็ตื่นตัวมากพอสมควรแล้วครับ ผมได้เคยเตือนไปแล้วว่า อย่าดูเฉพาะอาคารอย่างเดียว โครงสร้างประเภทอื่นๆ เช่น โครงสร้างทางยกระดับ สะพาน และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ก่อสร้างไปนานๆ แล้วอาจจะไม่สามารถรองรับแผ่นดินไหวในระดับแรงๆ ได้ ก็จำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และ เสริมความแข็งแรงเช่นกัน ส่วนอาคารเก่าที่เป็นของเอกชน รัฐก็ควรเอื้อให้เขาทำการปรับปรุงอาคารได้สะดวกขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องมีวิศวกรมาควบคุมทั้งในขั้นตอนการออกแบบ และ การก่อสร้างด้วย อีกเรื่องหนึ่งคือ



พื้นที่ที่บังคับใช้ในกฎกระทรวงปี 2550 ปัจจุบันมีภาคเหนือ 9 จังหวัด ภาคตะวันตก 1 จังหวัด คือที่กาญจนบุรี กรุงเทพฯและปริมณฑล อีก 4 จังหวัด และ จังหวัดในภาคใต้ อีก 7 จังหวัด ผมเป็นห่วงว่าอาจจะครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงยังไม่ครบ ต้องไม่ลืมว่าชั้นดินอ่อนไม่ได้มีอยู่เฉพาะในกรุงเทพฯและปริมณฑลแค่ 4 จังหวัดเท่านั้น แต่ครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่านั้นอีกหลายจังหวัด และต้องไม่ลืมว่าจังหวัดในภาคอีสานตอนบนก็ได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในลาวเช่นกัน ถึงเวลาแล้วที่เราจะต้องมาดูเรื่องนี้จริงจังกันเสียที

วสท. :

คำถามที่ 16. อาจารย์คิดว่า วสท. ควรจะแสดงบทบาทอย่างไรในสถานการณ์ที่เกิดภัยพิบัติบ่อยครั้ง?

ศฝ.ดร.อูม :

ในฐานะที่ วสท. เป็นองค์กรทางวิชาการและวิชาชีพที่ประกอบด้วยผู้ที่มีความรู้เป็นจำนวนมาก วสท. จะต้องแสดงบทบาทเป็นที่ปรึกษาให้แก่สังคม และ จะต้องให้ข้อมูลที่ถูกต้อง และ แค้นนั้นคงยังไม่พอ แต่จะต้องเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาที่ปฏิบัติได้อีกด้วย ซึ่ง วสท. จะต้องรักษาจุดยืนตรงนี้เอาไว้ ในส่วนผมเองในฐานะที่เป็นกรรมการอำนวยการ และ ประธานคณะอนุกรรมการโครงสร้างและสะพานก็ยินดีที่จะให้ความช่วยเหลือ และ ให้ความรู้แก่ประชาชน ทุกวันนี้ก็มีชาวบ้านสอบถามผมเป็นจำนวนมาก ซึ่งผมก็มีความยินดีที่จะให้ความช่วยเหลือแก่ชาวบ้านในนาม วสท. อยู่แล้วและก็อยากจะทำต่อไป วสท. ว่าหากชาวบ้านตลอดจนองค์กร หรือ หน่วยงานต่างๆ ต้องการความช่วยเหลือ ก็ให้ติดต่อมาที่ วสท. หรือ ติดต่อมาที่ผมโดยตรงก็ได้ อย่างน้อยเราคงต้องแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมพอสมควร

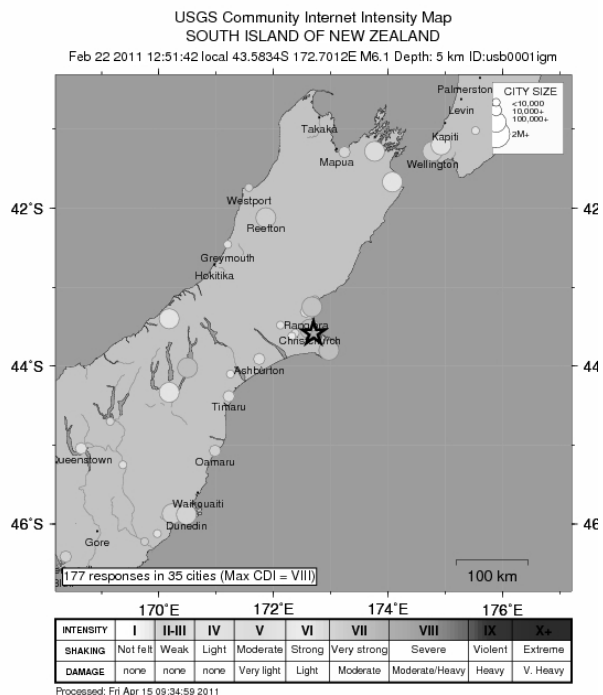
เตรียมพร้อมรับภัยพิบัติแผ่นดินไหว

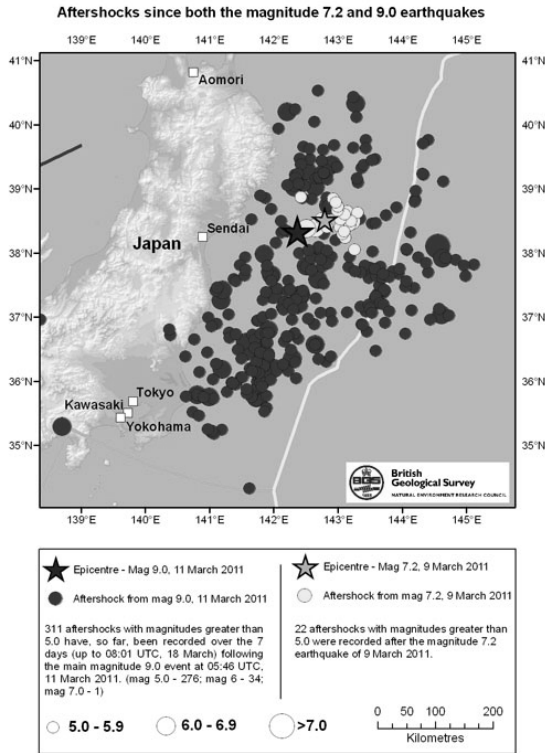
รศ.ดร.อมร พิमानมาศ
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กรรมการอำนวยการ และ ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรม
โครงสร้างและสะพาน
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย



1

แผ่นดินไหวที่ไครสต์เชิร์ช
วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2554
ขนาด 6.1 ริกเตอร์
ลึก 5 กม. ห่างจากไครสต์เชิร์ช 6 กม.
ผู้เสียชีวิต 172 คน





แผ่นดินไหวที่ญี่ปุ่น
วันที่ 11 มีนาคม 2554
ขนาด 9.0 ริคเตอร์
ห่างชายฝั่งเมืองเซ็นได 130 กม.
ลึก 30 กม.
ผู้เสียชีวิต+ผู้เสียหายราว 30000 คน
อาฟเตอร์ช็อคมากกว่า 900 ครั้ง
ขนาดเกิน 6 ริคเตอร์มากกว่า 60 ครั้ง

3

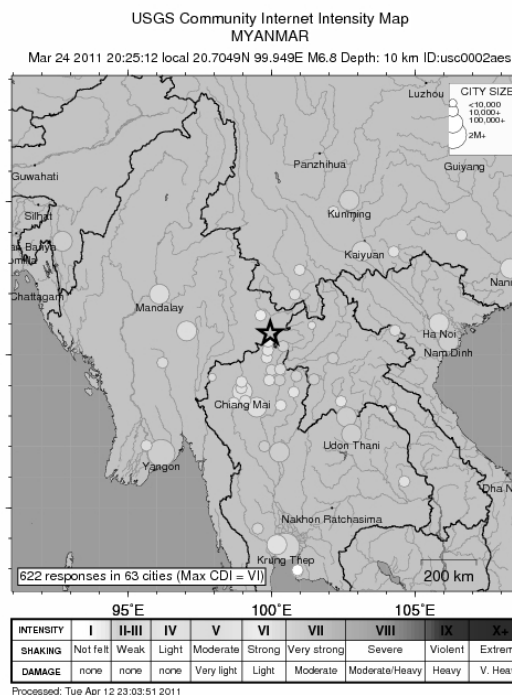
แผ่นดินไหวที่พม่า

วันที่ 24 มีนาคม 2554

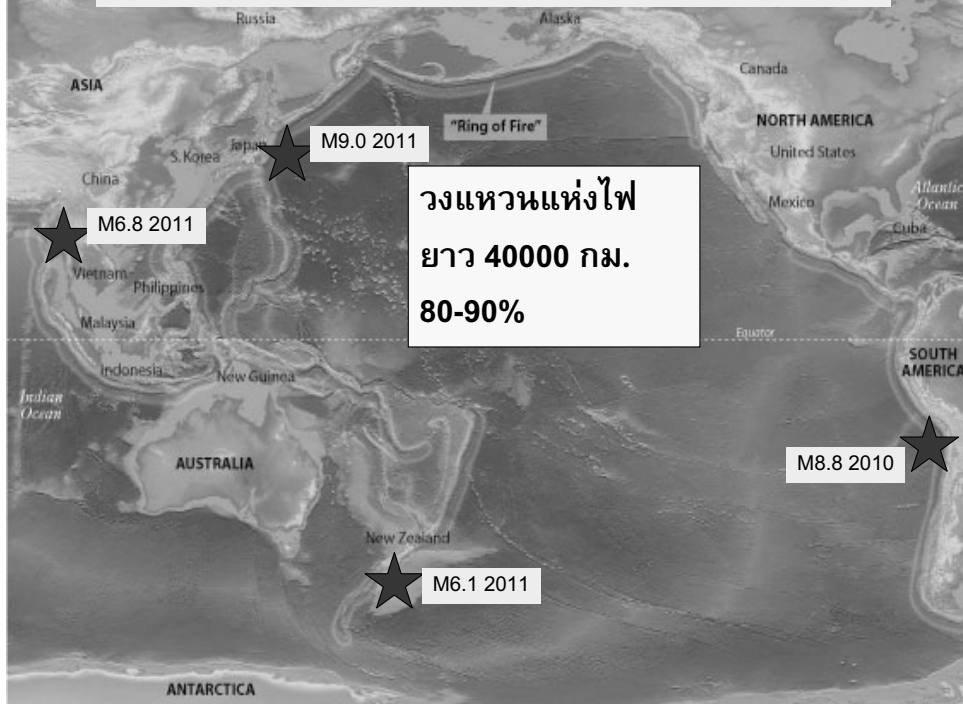
ขนาด 6.8 ริคเตอร์ ลึก 10 กม.

ห่างจากเชียงราย 89 กม. 770 กม จาก กทม.

ผู้เสียชีวิตมากกว่า 75 คน



ประเทศไทยอยู่ในแนวเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวแค่ไหน?



ช่วงระยะหลังนี้ แผ่นดินไหวเกิดขึ้นจริงหรือ ? 2012?

สถิติการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลก

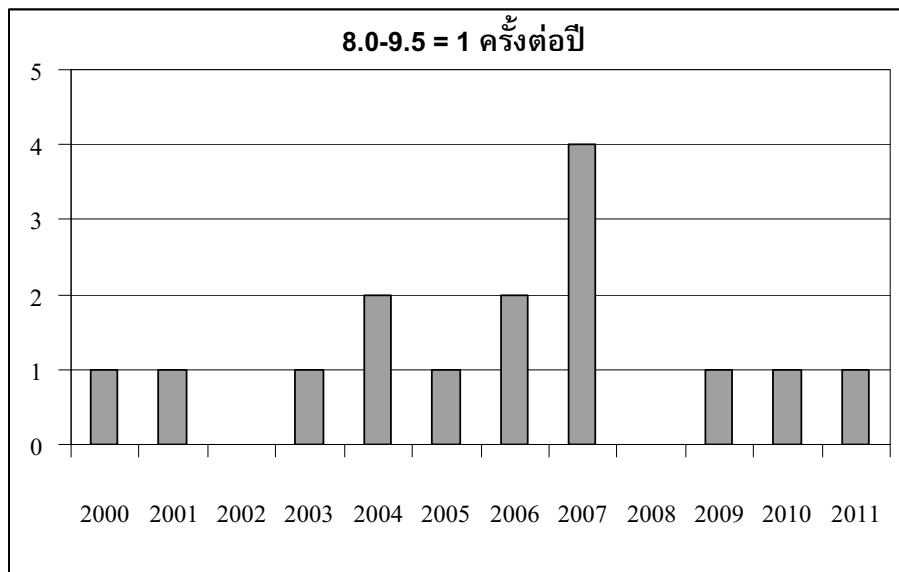
8.0-9.5 = 1 ครั้งต่อปี

7.0-7.9 = 15 ครั้งต่อปี

6.0-6.9 = 150 ครั้งต่อปี

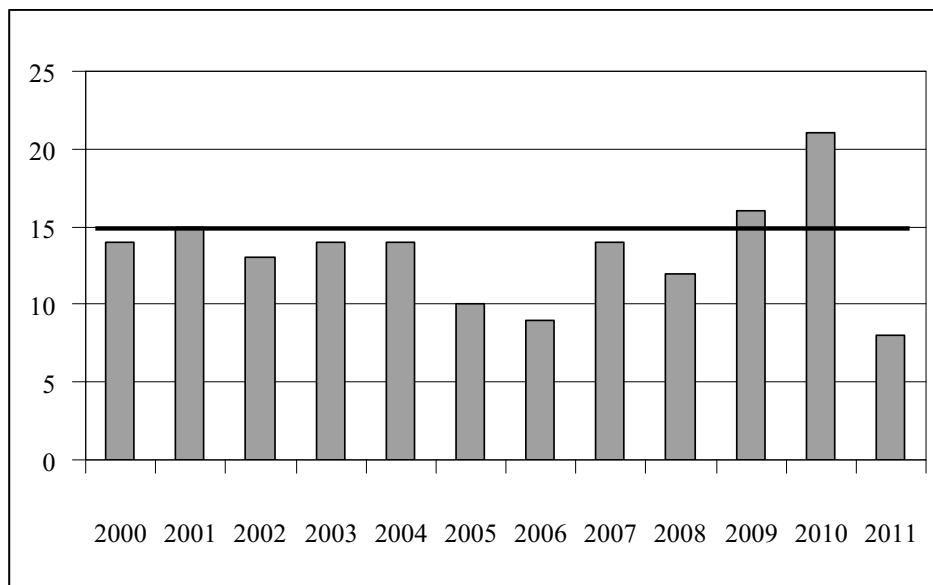
5.0-5.9 = 1500 ครั้งต่อปี

สถิติการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลก

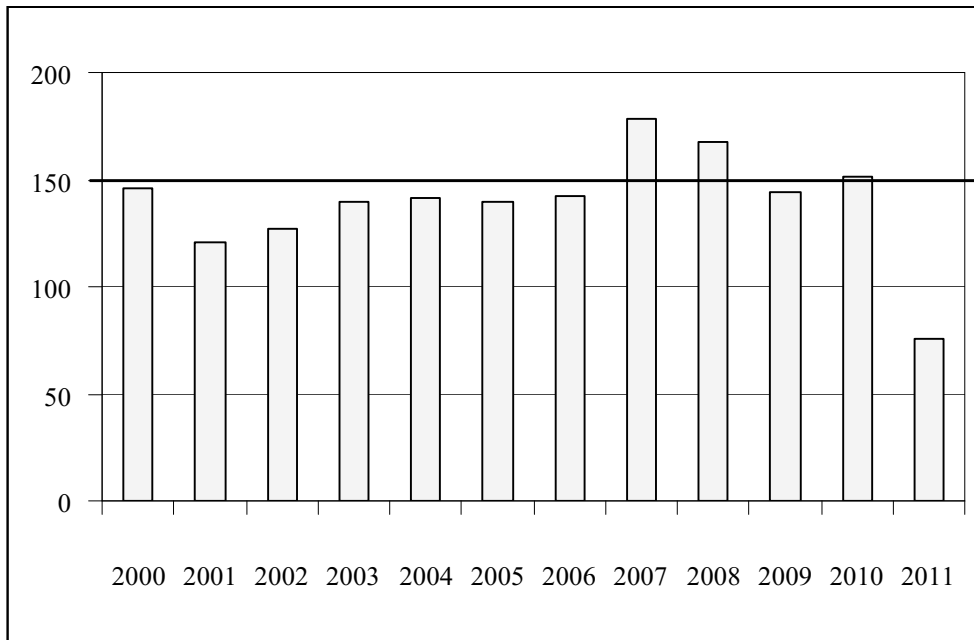


7

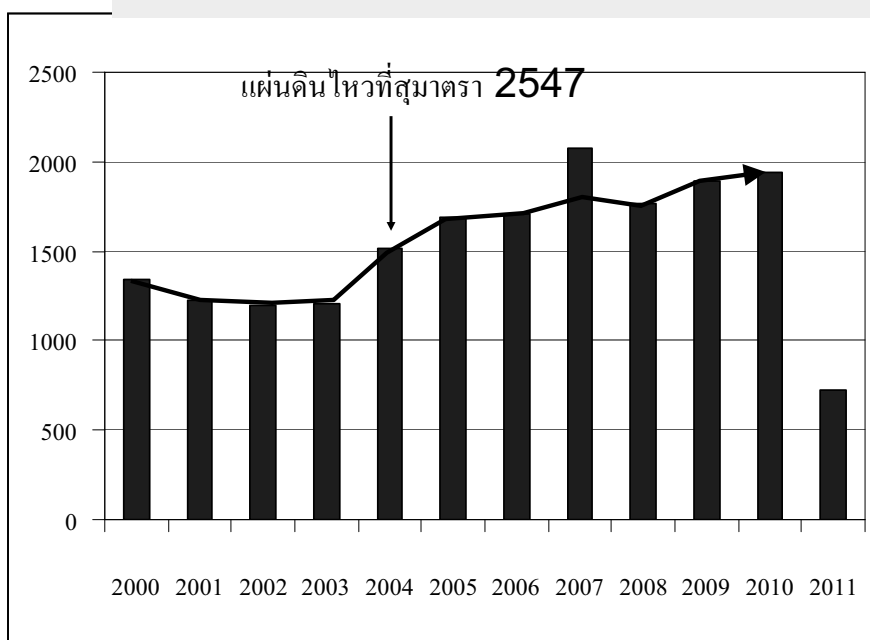
7.0-7.9 = 15 ครั้งต่อปี



6.0-6.9 = 150 ครั้งต่อปี



ช่วงระยะหลังนี้ แผ่นดินไหวเกิดขึ้นจริงหรือ ? 2012?





รอยเลื่อนในประเทศไทย

ประเทศไทยมีรอยเลื่อนอยู่หลายที่ โดยเฉพาะในภาคเหนือ และ ภาคตะวันตกของประเทศ

ถึงแม้ กรุงเทพฯ จะไม่ได้ตั้งอยู่บนรอยเลื่อนโดยตรง แต่ก็ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ที่เกิดนอกประเทศ (อินโดนีเซีย) และ พม่า

11

สถิติการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย

แผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ 5 ริกเตอร์ ขึ้นไป ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย (พ.ศ.2518-2549)

วันเกิดเหตุการณ์	ศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ขนาดแผ่นดินไหว (ริกเตอร์)
17 ก.พ. 2518	อ.ท่าสองยาง จ.ตาก	5.6
15 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	5.5
22 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	5.9
22 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	5.2
11 ก.ย. 2537	อ.พาน จ.เชียงราย	5.1
9 ธ.ค. 2538	อ.ร่องวาง จ.แพร่	5.0
21 ธ.ค. 2538	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	5.2
13 ธ.ค. 2549	อ.แมริม จ.เชียงใหม่	5.1

เฉลี่ย 1 ครั้งในรอบ 5 ปี

ภาคเหนือ 5 ครั้ง

ภาคตะวันตก 3 ครั้ง

แผ่นดินไหวส่วนใหญ่เกิดไม่เกิด 6 ริกเตอร์

แผ่นดินไหวที่เกิดมากกว่า 6 ริกเตอร์จะเกิดนอกประเทศทั้งสิ้น

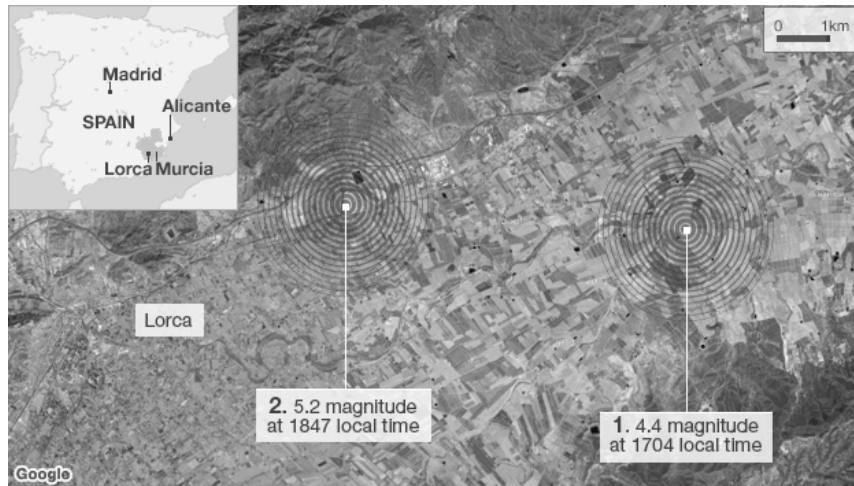
12

แผ่นดินไหวขนาดกลางก็ทำอันตรายได้

แผ่นดินไหวในสเปน 12 พค. 2554 ขนาด 5.2 ริกเตอร์

เกิดที่ความลึกประมาณ 1 กิโลเมตร

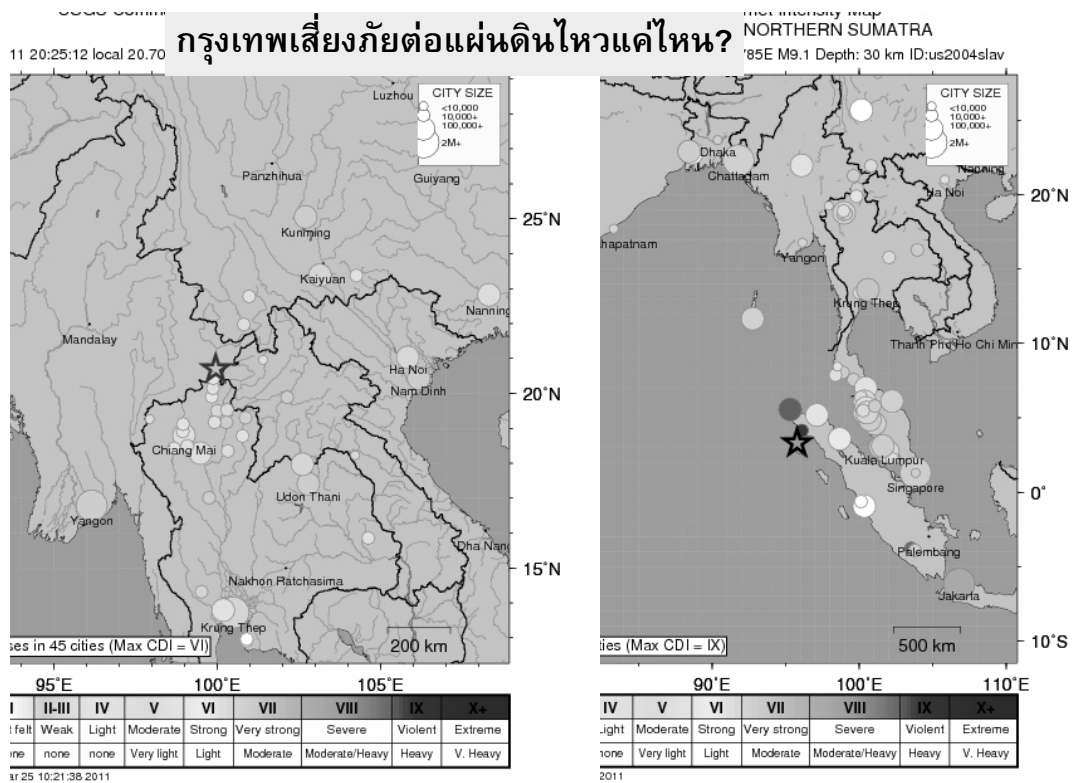
คนตายมากกว่า 10 คน



ตารางที่ 1 เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สำคัญในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาที่ส่งผลกระทบต่อภาคเหนือของประเทศไทย (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และคณะ 2551)

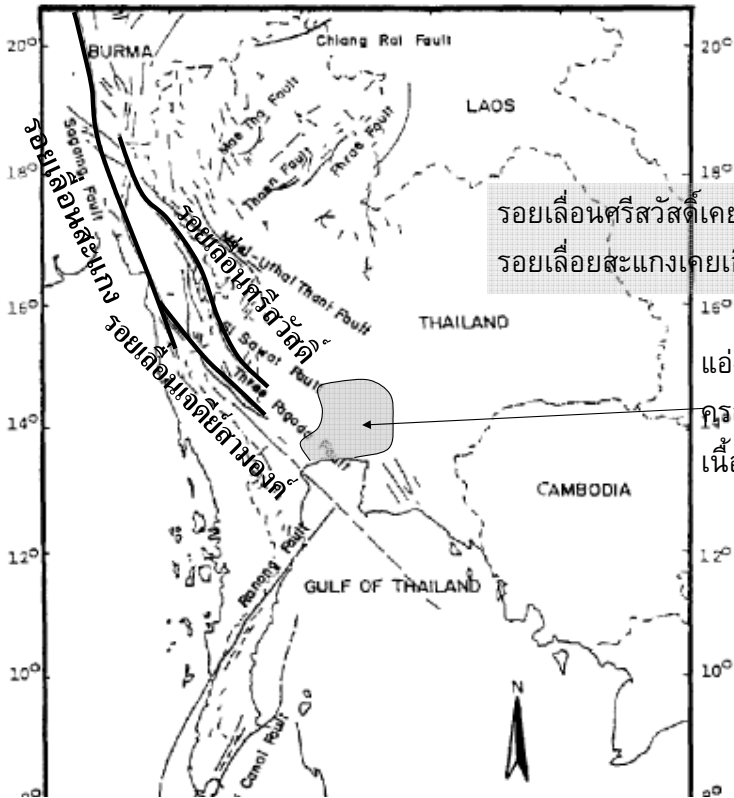
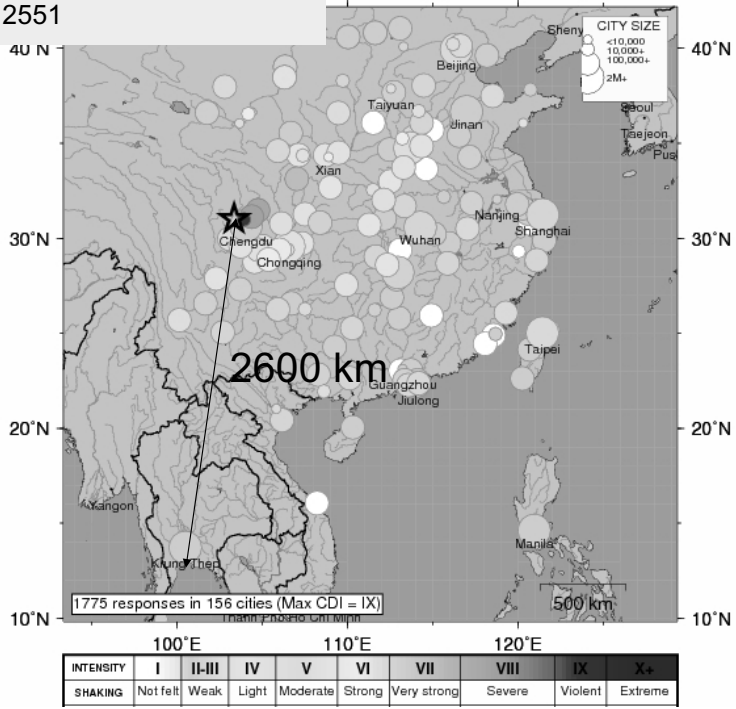
วันที่	ขนาด	จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ความเสียหายที่เกิดขึ้น
11 ก.ย. 2537	5.1	อ.พาน จ.เชียงราย	โรงเรียนและวัดกว่า 50 แห่ง เกิดความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง อาคารผู้ปวยนอก โรงพยาบาลพานเสียหายปานกลาง เกิดการแตกร้าวแยงในเสาต้น
12 ก.ย. 2538	7.2	ประเทศพม่า	เกิดการแตกร้าวเล็กน้อยในส่วนโครงสร้างของอาคารผู้โดยสาร สนามบิน หอบังคับการบิน โรงพยาบาล และโรงเรียนบางแห่ง ในจังหวัดเชียงราย
22 ธ.ค. 2539	5.5	พรมแดนไทย-ลาว	เกิดการแตกร้าวเล็กน้อยในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักของอาคารและวัดราว 13 หลังในจังหวัดเชียงราย ยอดเจดีย์ประมาณ 6 เมตรของ วัดพระธาตุเจดีย์หลวง อ.เชียงแสน ร่วงหลุดลงมา
22 ก.ย. 2546	6.7	ประเทศพม่า	รูสึกั่นไหวรุนแรงในอาคารสูงอาคาร 28-52 ชั้น บางหลังใน กทม. เกิดรอยร้าวในผนังอิฐก่อ

13 ธ.ค. 2549	5.1	อ.แมริม จ.เชียงใหม่	เกิดความเสียหายเล็กน้อย แก่องค์อาคารที่ไม่ใช่เป็นส่วนโครงสร้าง (เช่น ผนังอิฐก่อ) ใน อ.แมริม จ.เชียงใหม่ และอำเภอใกล้เคียง
16 พ.ค. 2550	6.3	ประเทศลาว	อาคาร 68 ปีอนุสรณ์ โรงพยาบาลจังหวัดเชียงรายผนังอิฐก่อแตกร้าวขนาดเล็ก รอยต่อระหว่างส่วนของอาคารเกิดการกระแทกกันทำให้เกิดรอยร้าว ยอดฉัตรพระธาตุจอมกิตติพิทักษ์ (อ.เชียงแสน จ.เชียงราย) ฐานพระธาตุเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ยาว 15 มม. อาคาร คสล. 2 ชั้นหลังหนึ่งของโรงเรียนเม็งรายมหาวิทยาลัยเกิดความเสียหายค่อนข้างมากในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ต้น โดยเกิดรอยร้าวทแยงแบบการเฉือน



แผ่นดินไหวที่เสฉวน ขนาด 7.9 ริกเตอร์
 พฤษภาคม 2551

Community Internet Intensity Map
 N 103.3651E M7.9 Depth: 19 km ID:us2008ryan



รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์เคยเกิด M5.9 ปี 2526
 รอยเลื่อนสะแกงเคยเกิด M7-M8

แอ่งดินอ่อน
 ครอบคลุม 14 จังหวัด
 เนื้อที่ 14000 ตารางกิโลเมตร

สังคมตระหนักและตื่นตัวแล้ว ต่อไปคือการเตรียมความพร้อม



The Engineering Institute of Thailand
Under H.M. The King's Patronage
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

บทบาทของ วสท.

- 21 เมษายน 2554 ก่อสร้างอาคารอย่างไรให้ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว ฟรี
- 3 พฤษภาคม 2554 การประเมินอาคารเก่าต้านแผ่นดินไหว 1200 บาท
- 25 พฤษภาคม 2554 เสวนา ตึกสูงกับแผ่นดินไหว ฟรี
- 15 มิถุนายน 2554 เสริมแกร่งอาคารเก่าต้านแผ่นดินไหว 500 บาท



21



16 คำถาม ไชยช้อยใจ
กรุงเทพฯ เสี่ยงภัยต่อแผ่นดินไหวขนาดไหน
และจะรับมือกันอย่างไร

22



กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

พ.ศ. ๒๕๕๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒
และมาตรา ๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดย
พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการ

พื้นที่และบริเวณเฝ้าระวัง

- บริเวณเฝ้าระวัง** : พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวได้แก่ จังหวัดกระบี่ ชุมพร พังงา ภูเก็ต ระนอง สงขลาและสุราษฎร์ธานี
- บริเวณที่ 1** : พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ระยะไกล ได้แก่จังหวัด กรุงเทพฯ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการและสมุทรสาคร
- บริเวณที่ 2** : พื้นที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยาแพร่ ลำปาง ลำพูนและแม่ฮ่องสอน

บริเวณและอาคารที่บังคับใช้

- (ก) อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิงอาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ทำอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา
- (ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุแก๊สมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้
- (ค) อาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถและโรงแรม
- (ง) สถานที่ศึกษา

25

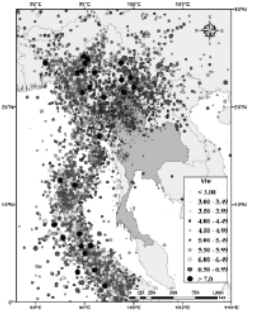
บริเวณและอาคารที่บังคับใช้

- (จ) สถานที่รับเลี้ยงเด็ก
- (ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป
- (ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15 ม. ขึ้นไป
- (ฌ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีศูนย์กลางต่อม่อตั้งแต่ 10 ม. ขึ้นไป
- (ฉ) เชื้อนกักเก็บน้ำ เชื้อนทหน้าหรือฝายทหน้า ที่ตัวเชื้อหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่ 10 ม. ขึ้นไป

26

มยพ. 1302

**มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน
การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว**



**กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2552**



**มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว**

มยพ. 1301-50
**กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย**



Risk Management Series
**Incremental Seismic Rehabilitation
of Hospital Buildings**

Providing Protection to People and Buildings

December 2003



FEMA 305

California's
HOSPITAL
Seismic Safety Law

Its History,
Implementation,
& Progress

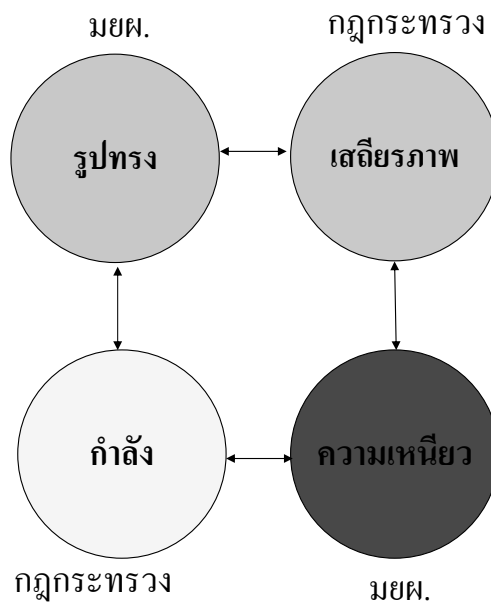
29

ออกแบบและก่อสร้างอาคารใหม่อย่างไรให้ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว?

1. ปฏิบัติตามกฎหมายการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวได้แก่ กฎกระทรวงปี 2550 และ มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว
2. ระวังอาคารก่ออิฐที่ไม่เสริมเหล็ก, อาคาร คสล. บางประเภทมีความเสี่ยงต้องระวัง
3. ชั้นล่างของอาคารที่เปิดโล่งต้องระวัง เพราะอาจกลายเป็นชั้นอ่อน
4. การก่อสร้างอาคารสำเร็จรูปต้องระวังรอยต่อ และ ขนาดเสาต้องไม่เล็กเกินไป
5. เหล็กปลอกในเสาต้องเสริมให้แน่นหนาโดยเฉพาะที่โคนเสาด้านบน ด้านล่าง และที่บริเวณปลายคาน
6. ใส่เหล็กปลอกที่รอยต่อคานและเสา
7. กำแพงคอนกรีตควรวางอย่างสมมาตร
8. การก่อสร้างพื้นที่รองรับไว้คานควรใส่เหล็กปลอกป้องกันแรงเฉือนเจาะทะลุ และ จะต้องวางเหล็กล่างอย่างน้อยสองเส้นผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทาง

30

ออกแบบอาคารอย่างไรให้ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว



31

รูปทรงดี และ ไม่ดี

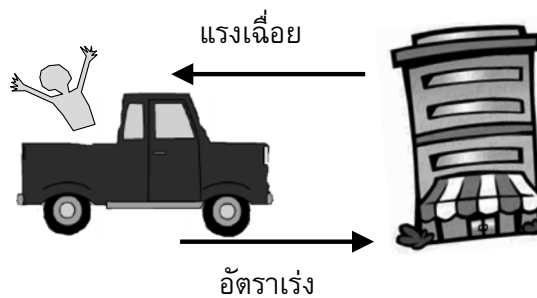
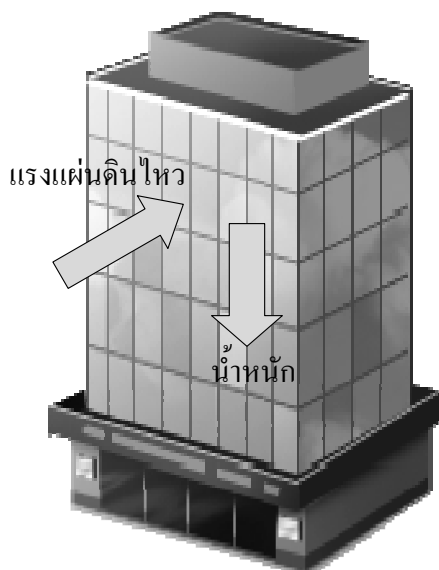




อาคารหลังนี้?

33

กฎกระทรวงปี 2550 อาคารต้านทานแผ่นดินไหวได้กี่ริกเตอร์?



ดินเขย่า ตึกเขย่า คนเขย่า ของเขย่า

กฎกระทรวง 50

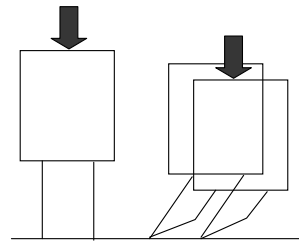
แรงแผ่นดินไหวประมาณ 21% ของน้ำหนักตึก
ในเชียงใหม่ ในกรุงเทพฯไม่เกิน 17%

34

อาคารที่เมื่อใช้ตัวไปแล้วรองรับน้ำหนักแนวตั้งไม่ได้เรียกว่าขาดความมั่นคง



โครงสร้างที่เสา
เล็กเกินไปจะเป็น
โครงสร้างที่ไม่
มั่นคง



35

กฎกระทรวงบังคับอาคาร 15 เมตรขึ้นไป
อาคารหนึ่งหรือสองชั้นเสี่ยงหรือไม่ และ จะแก้ไขได้อย่างไร?



36

อาคารที่สูงเพียง 1 หรือ 2 ชั้นก็ถล่มได้หากการก่อสร้างไม่ดีไม่มีมาตรฐาน



37

อาคาร คสล. เสี่ยงหรือไม่ และจะซ่อมแซมได้หรือไม่?



ลักษณะของอาคารที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหว?

ตึกแถว เสาเล็กเกินไป



บ้านเดี่ยวที่ก่อสร้างด้วยระบบชั้นส่วนสำเร็จรูป
อาคารพื้นที่ต้องเรียบไร้คาน เช่น ที่จอดรถ



การวิบัติแบบพื้นเจาะทะลุเสาลงไปกระทบพื้นชั้นล่าง



อาคารที่ชั้นล่างเปิดโล่งต้องระวัง



41



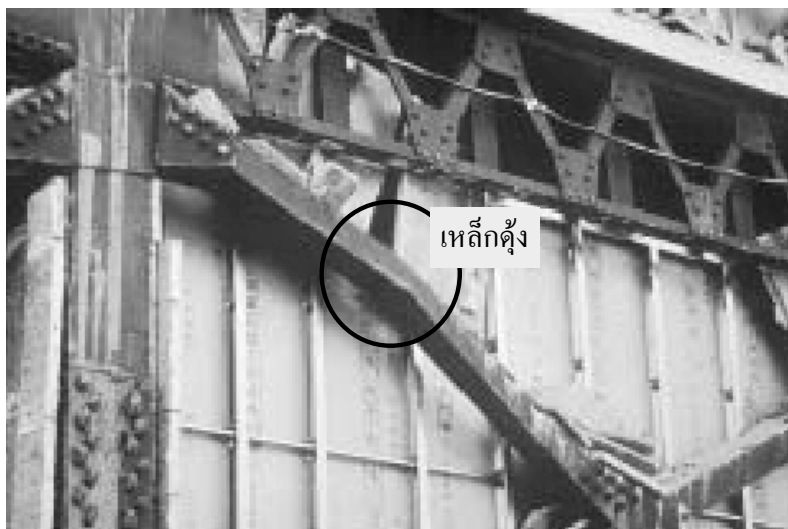
42

การแก้ไขอาคารที่เป็นชั้นอ่อนต้องเร่งเสริมค้ำยันทแยง (diagonal brace)



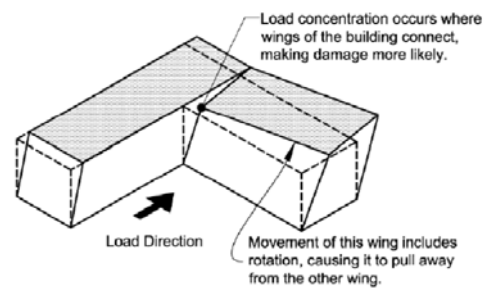
43

การออกแบบค้ำยันต้องปรึกษาวิศวกรเพราะถ้าทำไม่ดีเหล็กจะดุ้งและอาจขาดได้



44

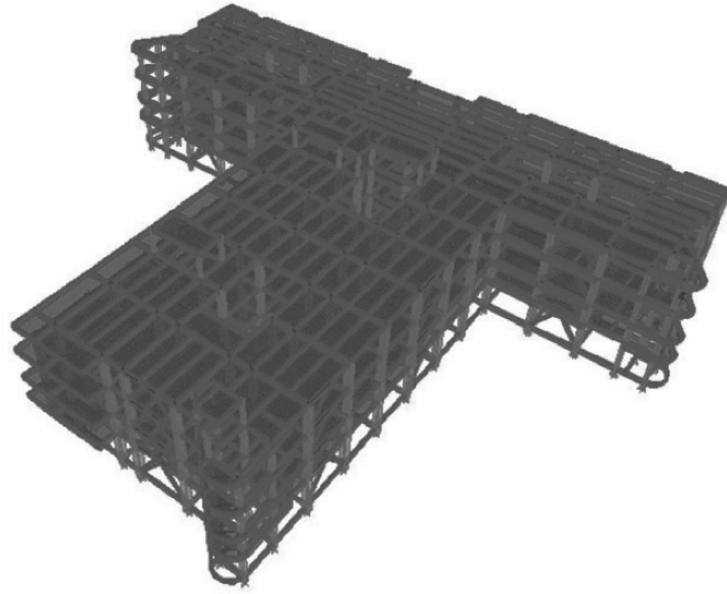
ระวางอาคารรูปตัว L



กรณีศึกษา การประเมินและเสริมความแข็งแรงอาคาร Wenchuan Hospital



แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของอาคาร Wenchuan Hospital



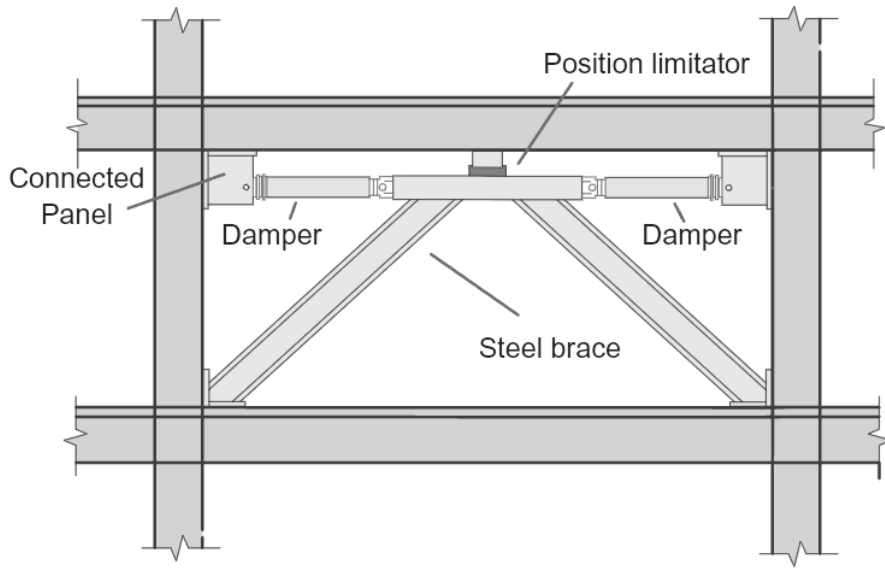
47

การเสริมค้ำยันทแยง (diagonal brace)



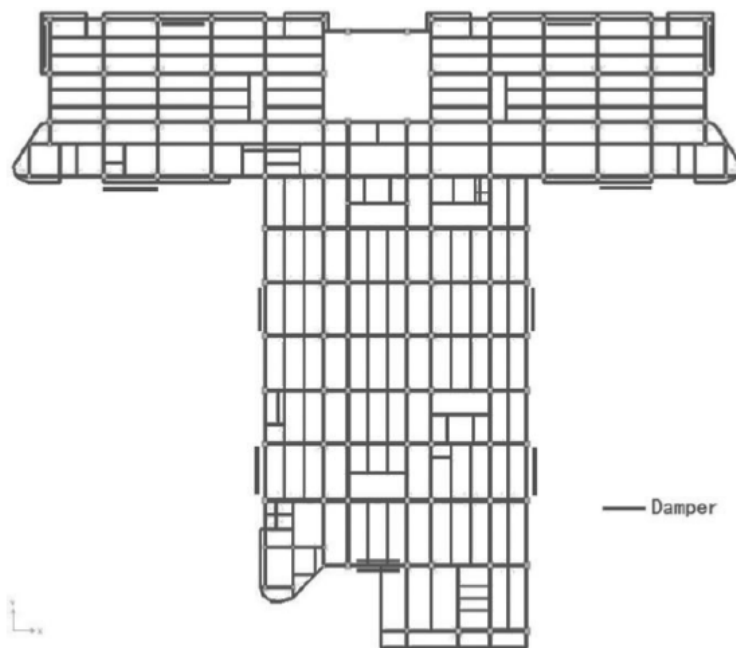
48

เสริมค้ำยันทแยงแบบใส่ตัวหน่วง



49

ตำแหน่งที่ติดตั้งค้ำยัน Wenchuan Hospital



50



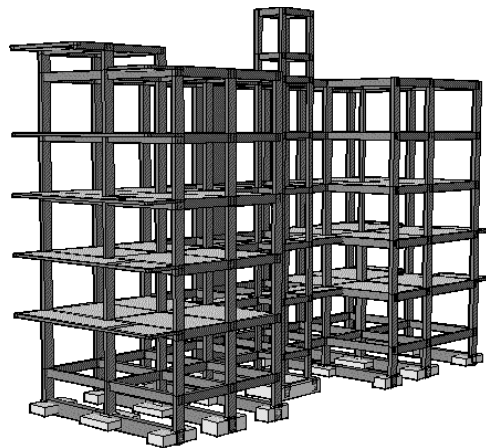
ลักษณะความเสียหายของอาคารเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

โครงสร้างอาคารมี 4 องค์ประกอบ

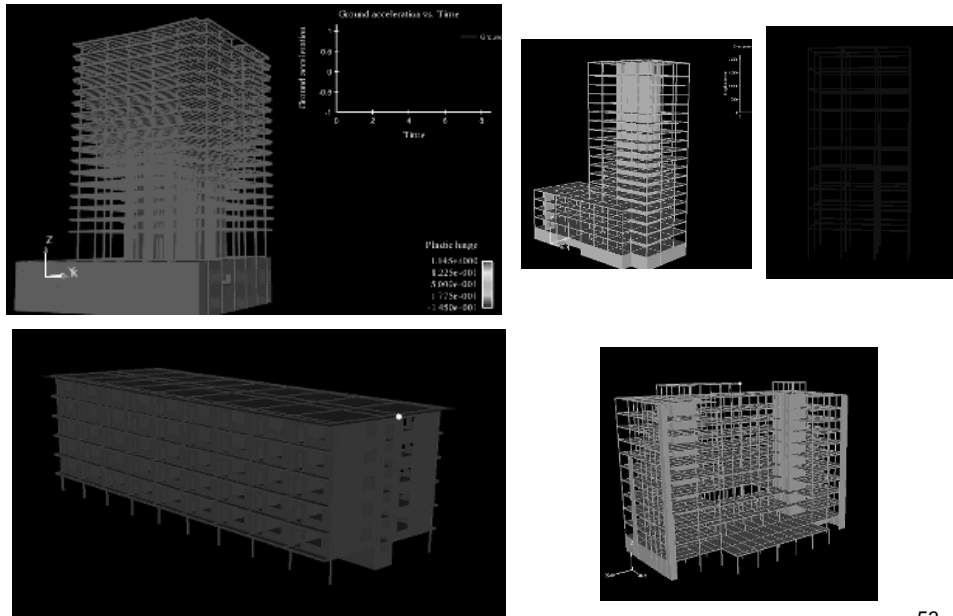
1. คาน
2. เสา
3. กำแพงฉีอน
4. ฐานราก



www.shutterstock.com · 21939535



หากอาคารมีเสาที่อ่อนแอ ผลจะเป็นอย่างไร?



53

การวิบัติของเสาอาคารเมื่อเกิดการโยกตัว

1. การวิบัติแบบแรงเฉือน เสมือนเสาโดนของมีคมเฉือนขาดทำมุมทแยง



54

2. การวิบัติแบบแรงดัดที่ปลายบนของเสา



55

2. การวิบัติแบบแรงดัดที่ปลายล่างของเสา



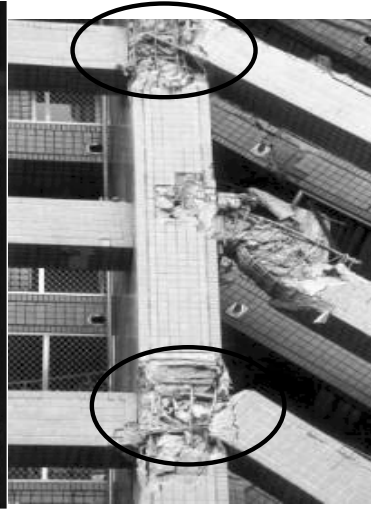
56



การวิบัติตัดที่โคนเสา



การวิบัติเฉือน

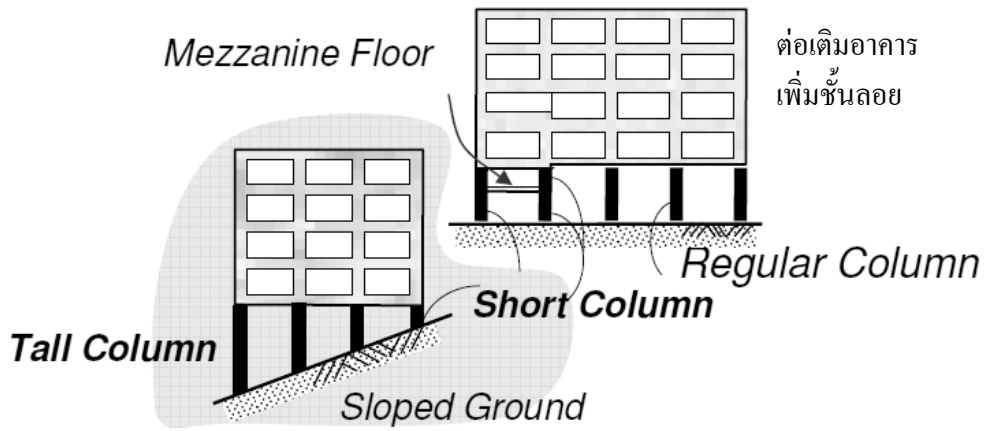


การวิบัติที่ข้อต่อ

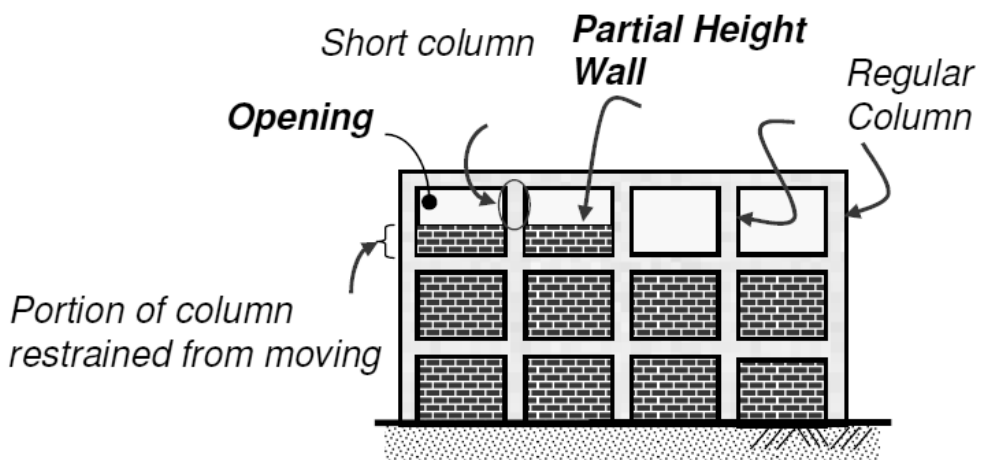
การวิบัติของเสาเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหว



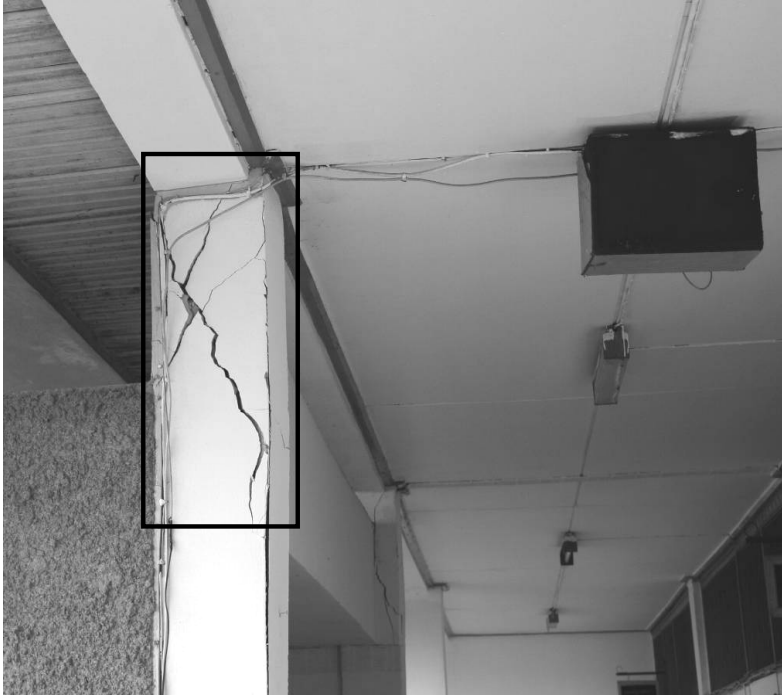
ระวางเสาสั้นและเสาต่อม่ออาจจะเนียนขาดได้ง่าย



ก่อสร้างบนพื้นดินที่มี slope เช่นในจังหวัดเชียงใหม่



การวิบัติเฉือนคือการวิบัติที่เหมือนเสาถู่ของมีคมพื้นจนเฉือนขาดแนวทแยง



61



62

เคล็ด(ไม่)ลับ อาคารใหญ่ญี่ปุ่นโยกตัวได้มาก เพราะอะไร?



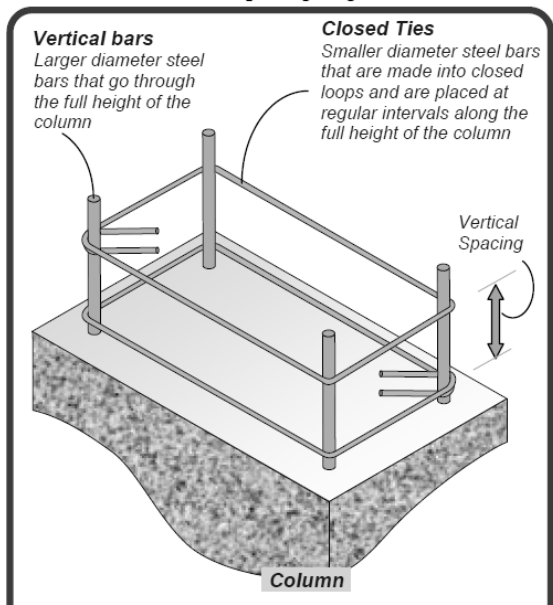
แรงตามแนวตั้งอย่างเดียว

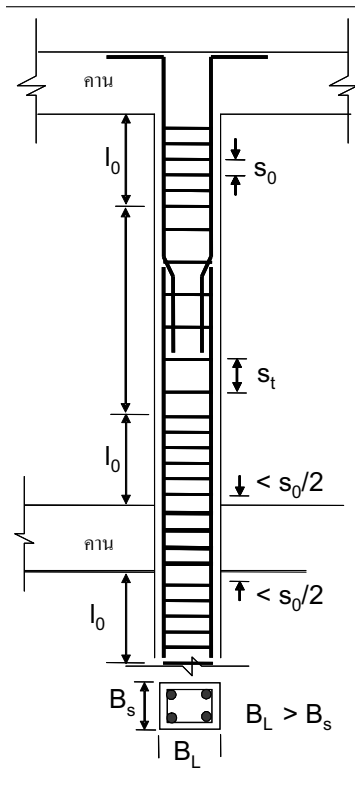


แรงตามแนวตั้ง+แรงแผ่นดินไหว

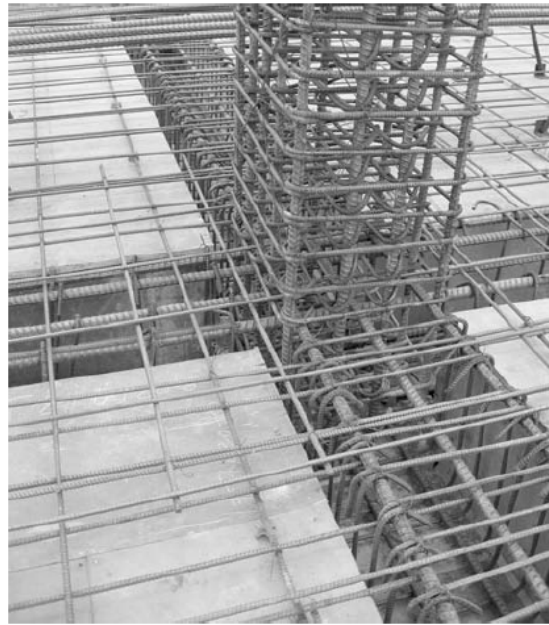


เหล็กปลอกในเสาต้องเสริมให้แน่นหนาโดยเฉพาะที่ปลายเสาบนและล่าง





การเสริมเหล็กในเสาที่ถูกต้อง

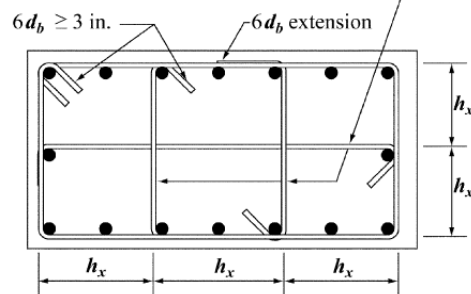


67

เหล็กรูปร่างตะกร้อเพิ่มความโอบรัดปูนได้ดี ควรใช้ cross tie

Consecutive cross ties engaging the same longitudinal bar have their 90-deg hooks on opposite sides of column

ควรทำตะกร้อรััดทุกๆ 30 ซม.



Note: $h_x \leq 14$ in.
 h_x = maximum value of h_x on all column faces

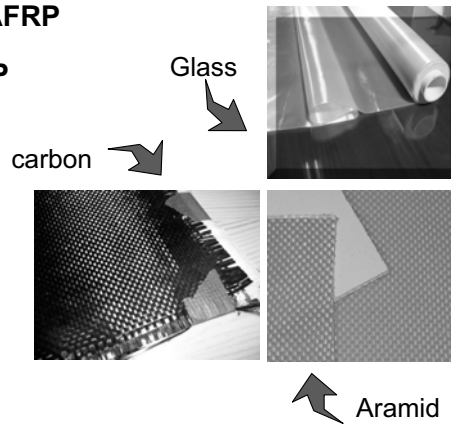
Fig. R21.4.4—Example of transverse reinforcement in columns

68

แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์คืออะไร แล้วนำมาใช้เสริมความแข็งแรงเสาได้อย่างไร?

โพลีเมอร์เสริมเส้นใยเป็นวัสดุซึ่งประกอบด้วยเส้นไฟเบอร์กำลังสูงฝังตัวในเรซิน เส้นใยที่นำมาใช้ทำไฟเบอร์ที่นิยมใช้ได้แก่

- (1) เส้นใยคาร์บอน CFRP
- (2) เส้นใยอะรามิด AFRP
- (3) เส้นใยแก้ว GFRP



69

ตัวอย่างการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์



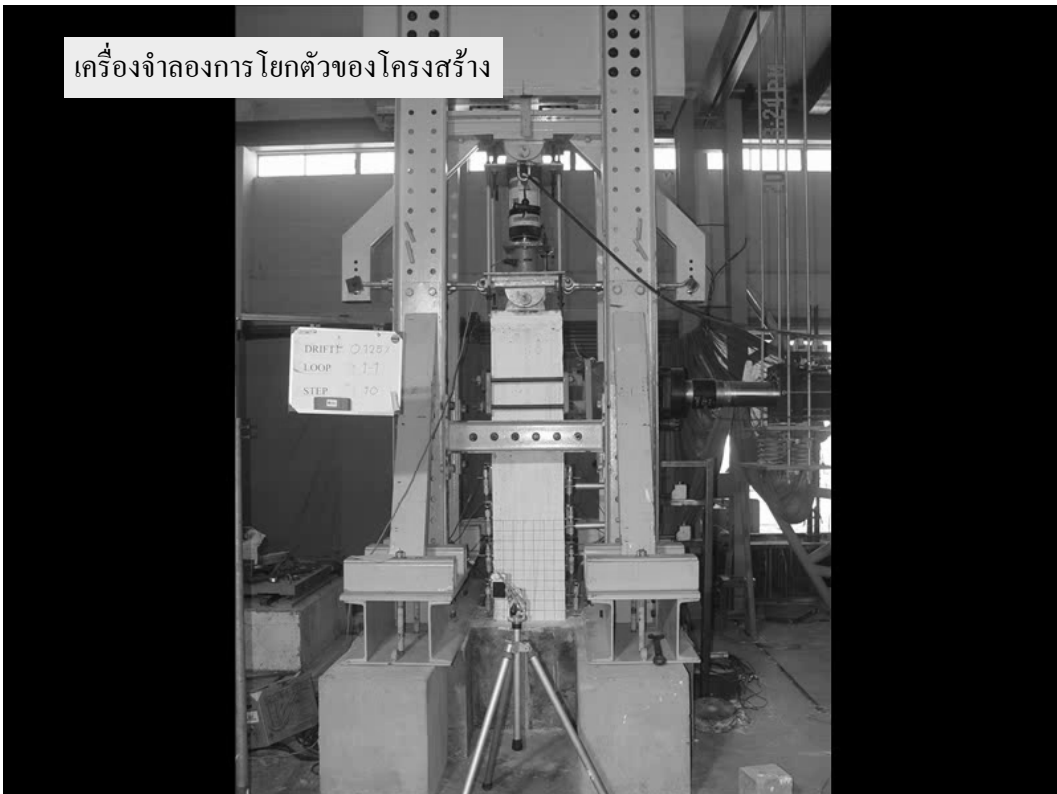
70

คลิปรีดีโอ การเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์



71

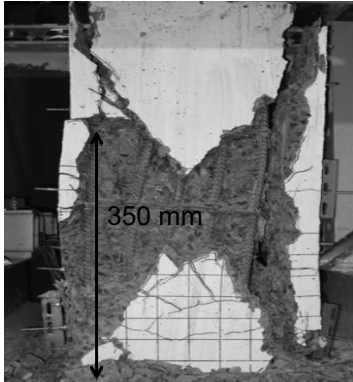
เครื่องจำลองการโยกตัวของโครงสร้าง



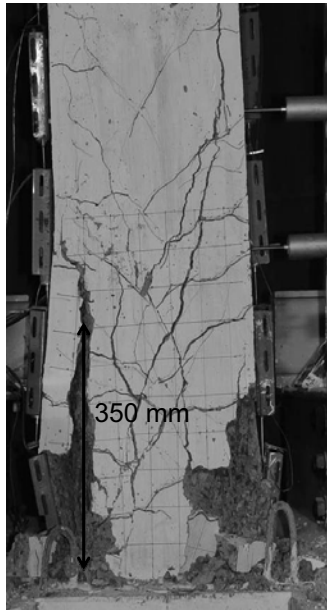
การวิบัติของเสา ค.ส.ล. ที่ไม่ได้เสริมความแข็งแรง

3.5 % lateral drift

3.5 % lateral drift

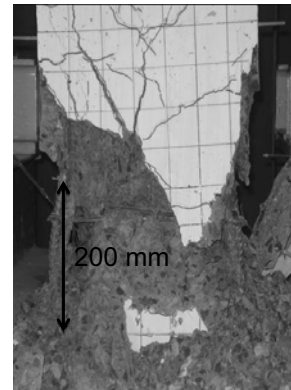


เสาทดสอบ S1



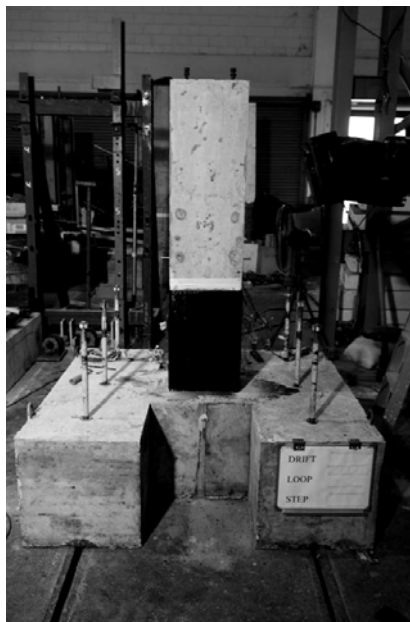
เสาทดสอบ S3

4 % lateral drift



เสาทดสอบ S5⁷³

การเสริมกำลังเสา ค.ส.ล. ด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

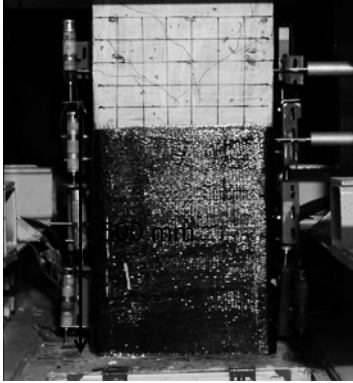


เสาที่เสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

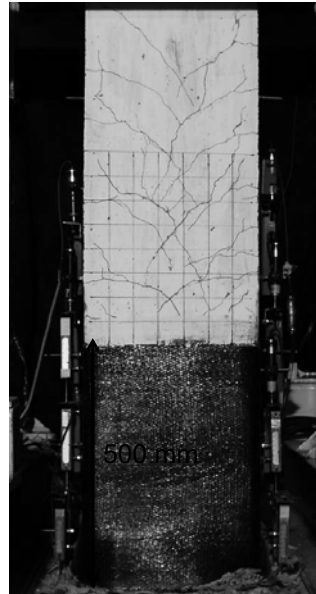
12 % lateral drift

10 % lateral drift

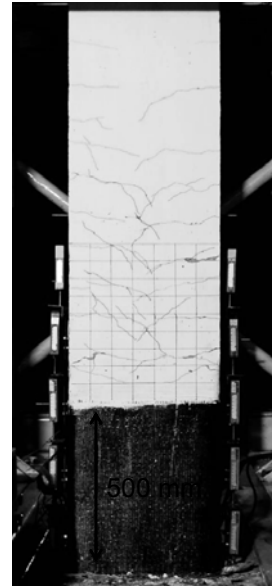
10 % lateral drift



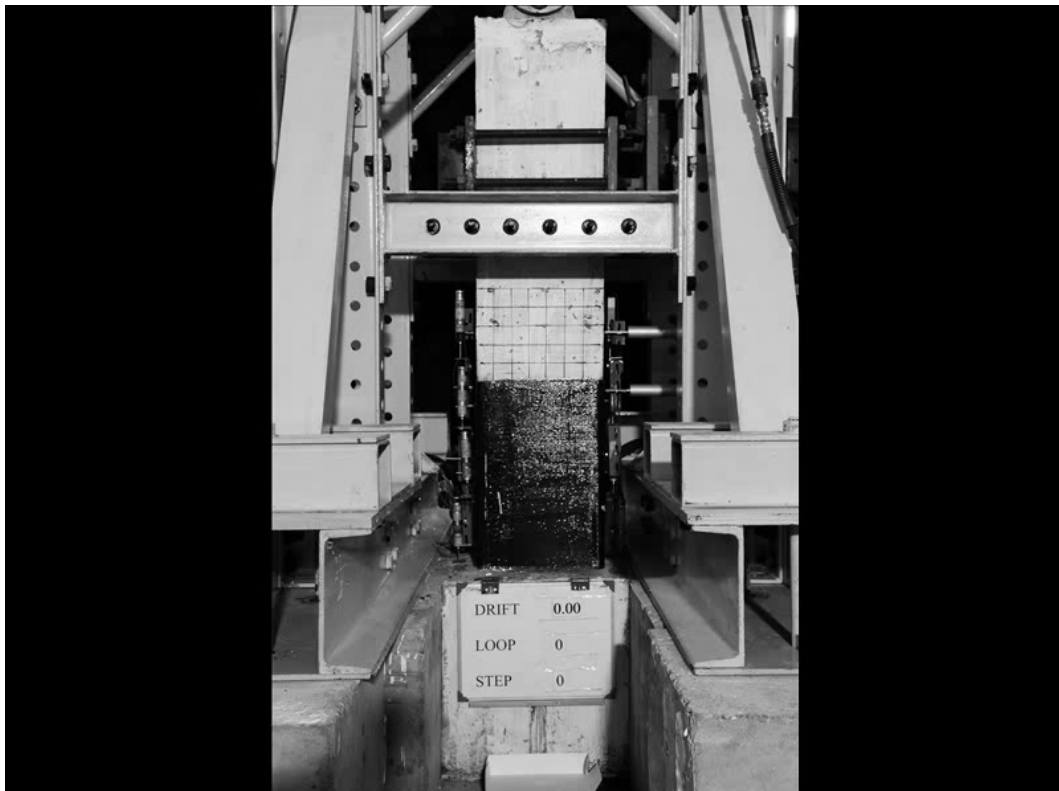
เสาทดสอบ S1FRP



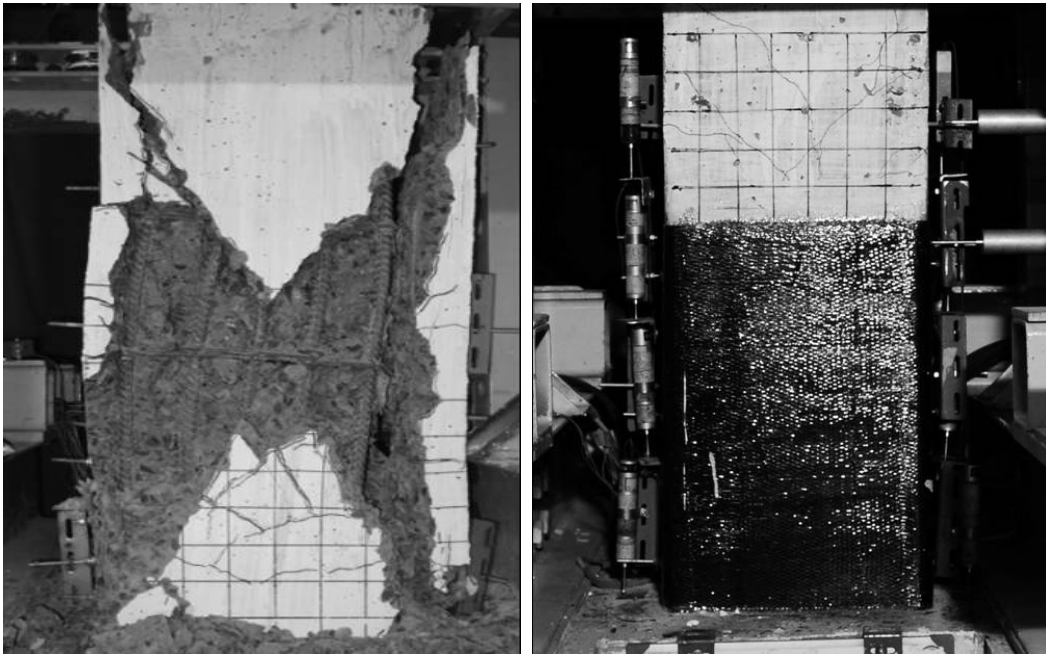
เสาทดสอบ S3FRP



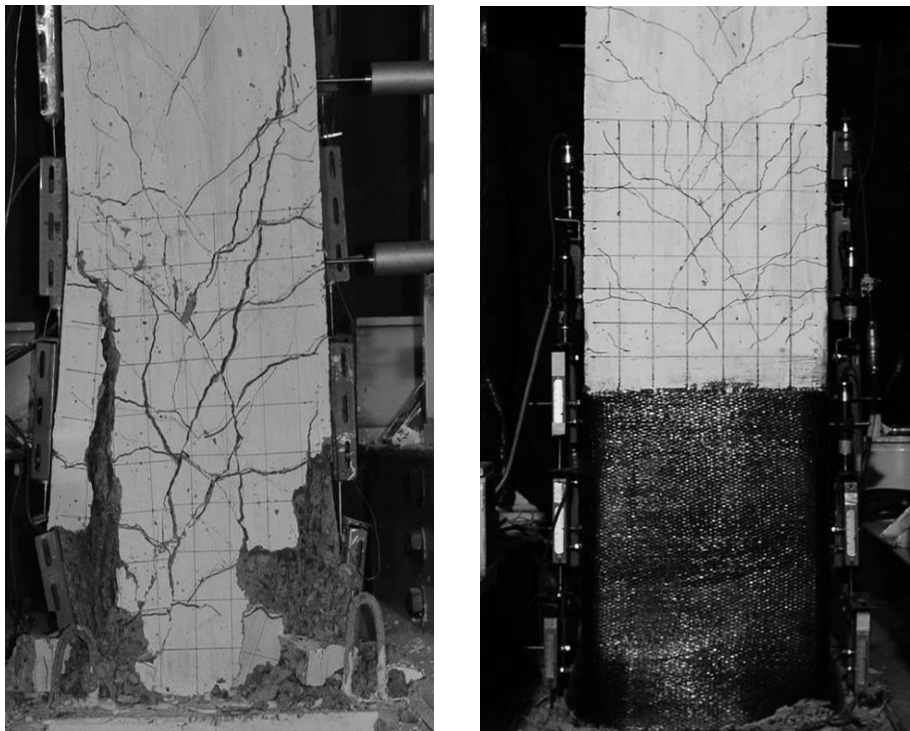
เสาทดสอบ S5FRP 75



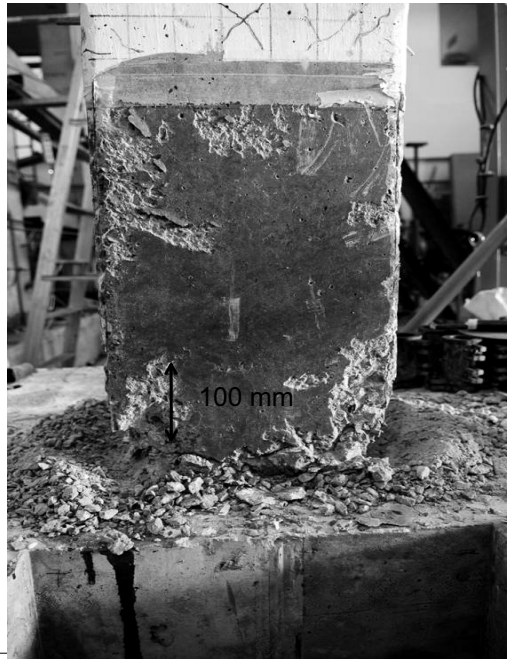
เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเสาที่พันและไม่ได้พันคาร์บอนไฟเบอร์



เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเสาที่พันและไม่ได้พันคาร์บอนไฟเบอร์



สภาพเนื้อคอนกรีตภายในเสาที่พันคาร์บอนไฟเบอร์ยังดีอยู่



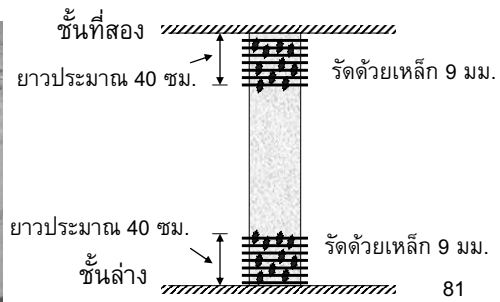
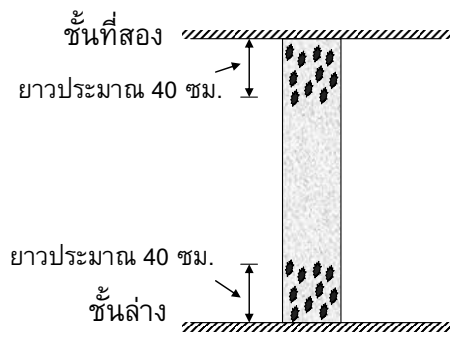
79

หากไม่ใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ มีทางเลือกทางอื่นหรือไม่?



80

การเสริมความแข็งแรงเสาด้วยเฟอโรซีเมนต์



การเสริมความแข็งแรงเสาด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และเฟอโรซีเมนต์



อาคารที่ก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปเสี่ยงหรือไม่?





ข้อต่อคานเสาควรระวังอย่างไร?

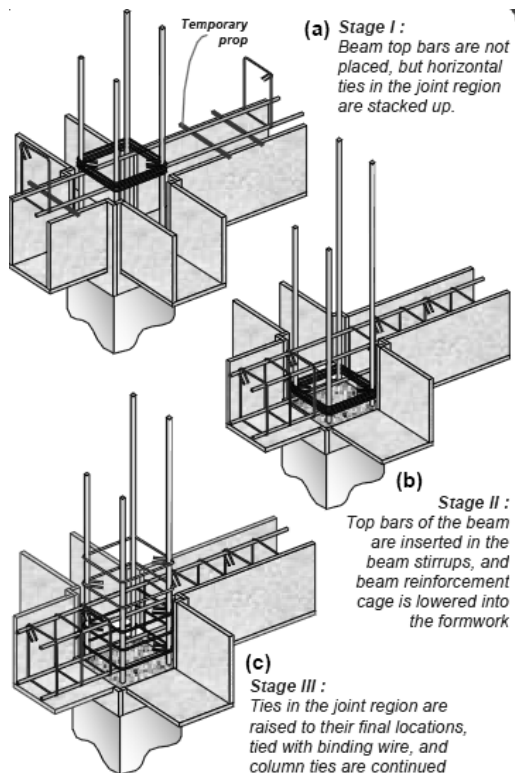
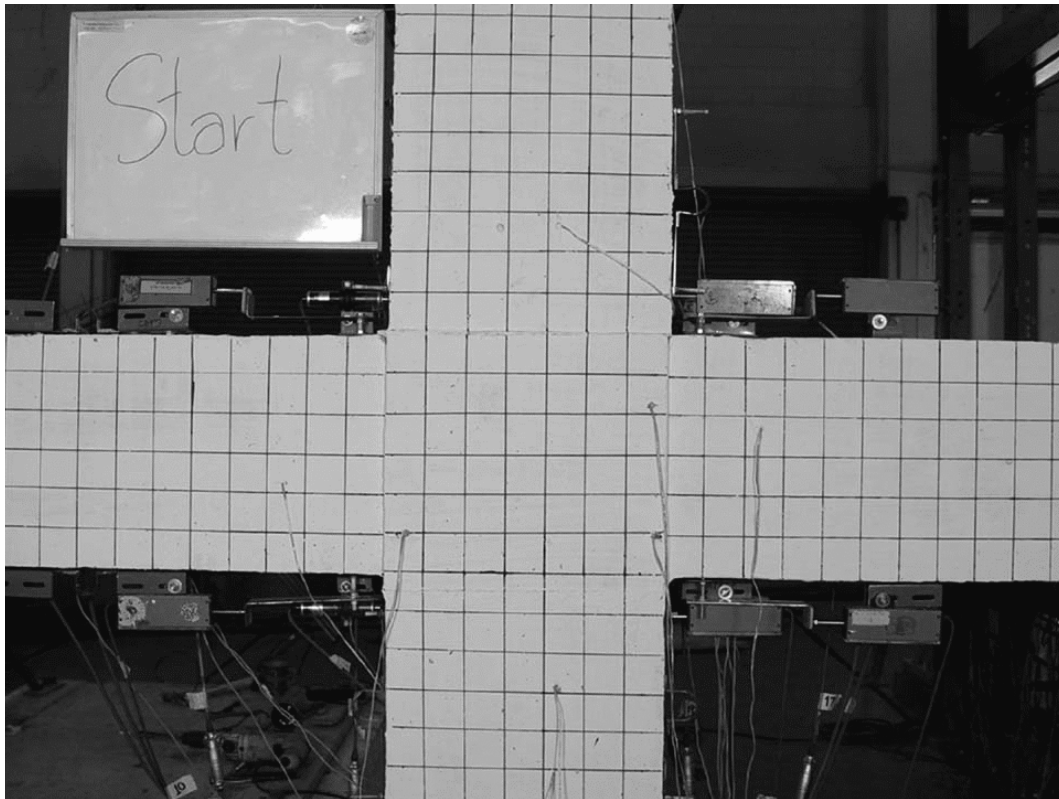


87

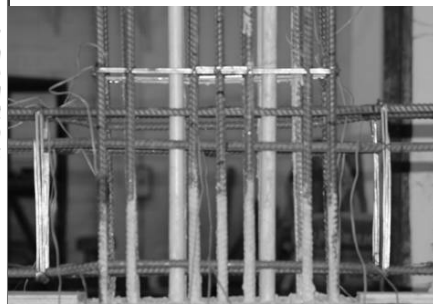
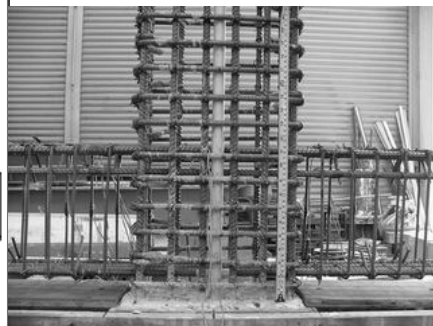
การเสริมเหล็กในข้อต่อไม่ถูกวิธี



8



ควรวางเหล็กปลอกในข้อต่อคานเสา

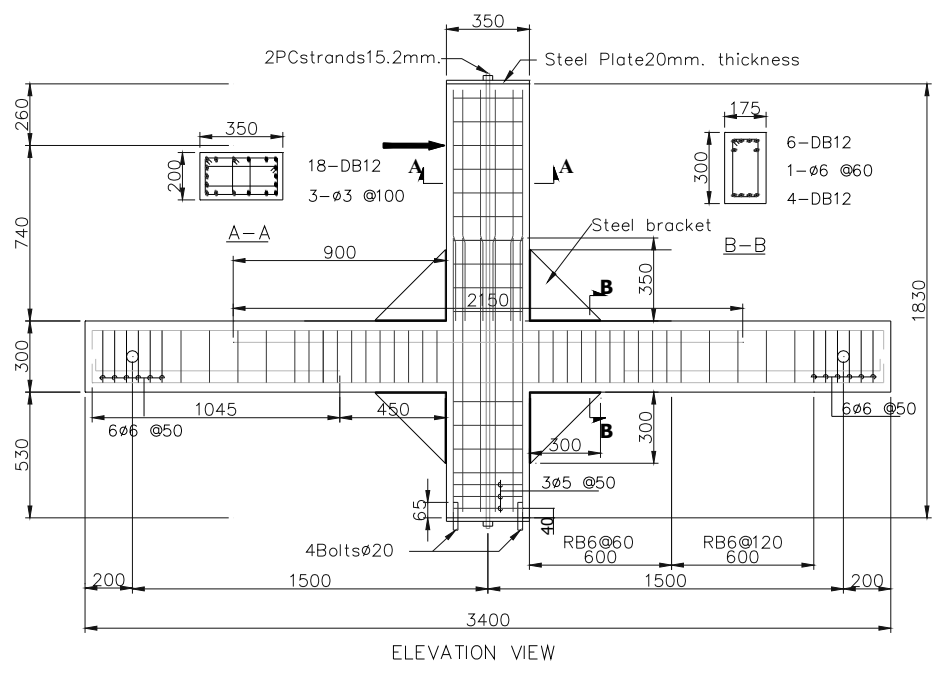
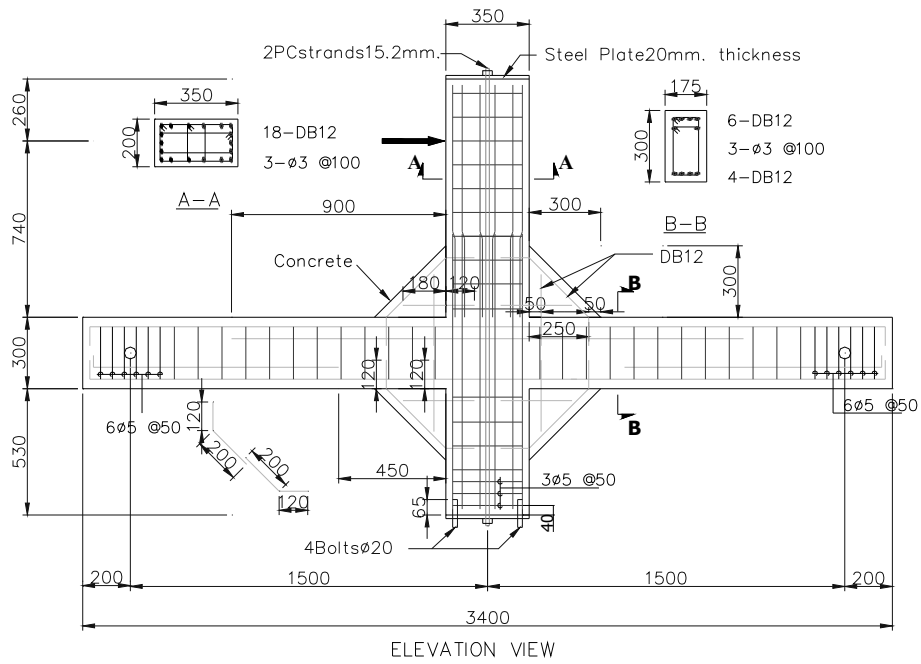


การเสริมเหล็กในข้อต่อที่ถูกรื้อ

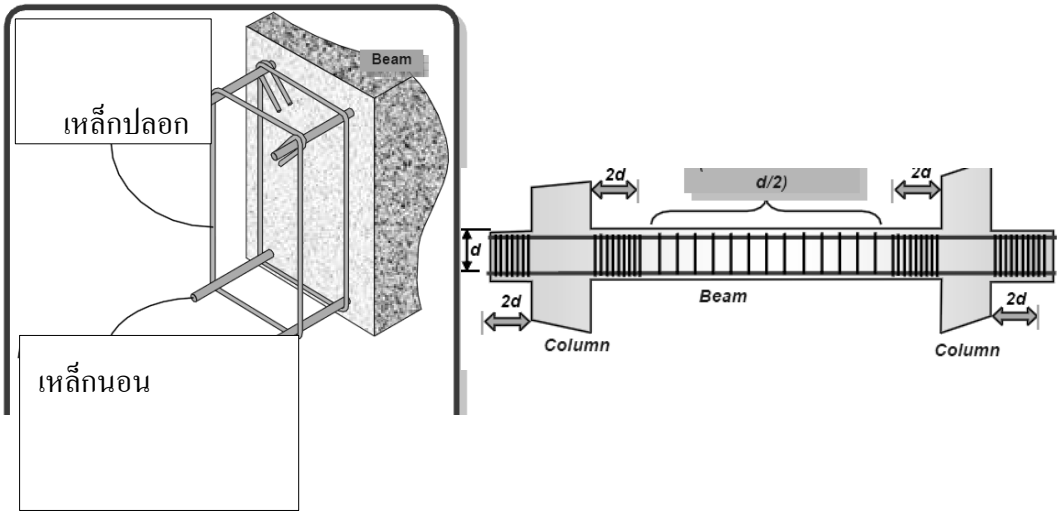


ในอาคารที่ก่อสร้างไปแล้วควรจะทำอย่างไร?





คำถามที่ 19 เหล็กเสริมในคานควรวางอย่างไร



95

ควรวางตำแหน่งกำแพงคอนกรีตในอาคารอย่างไร?

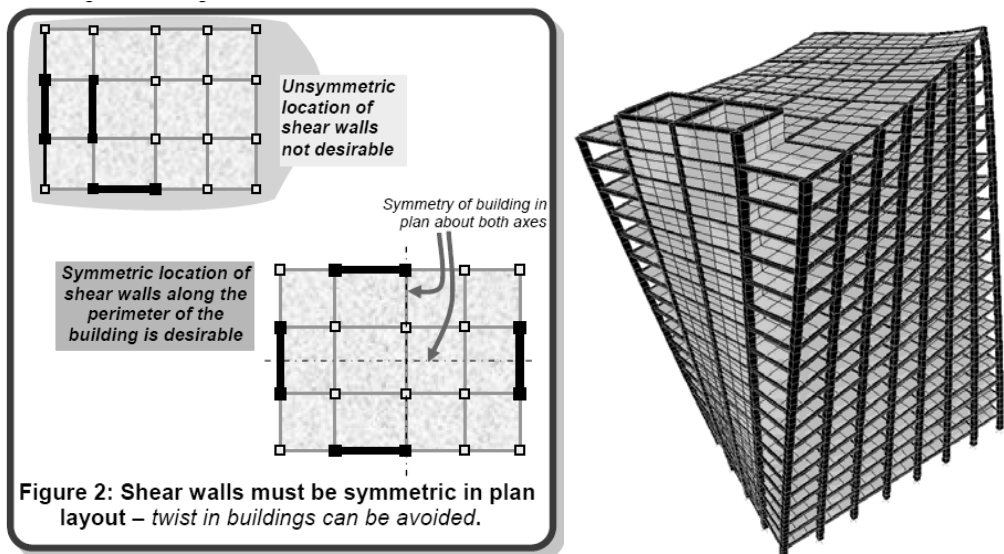


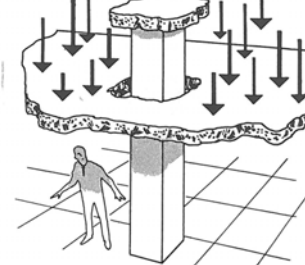
Figure 2: Shear walls must be symmetric in plan layout – twist in buildings can be avoided.

96

ก่อสร้างอาคารท้องเรียบไร้คานอย่างไรให้ปลอดภัย?



การวิบัติแบบแรงเฉือนเจาะทะลุ



97

อาคารจอดรถนิยมก่อสร้างด้วยพื้นท้องเรียบไร้คาน



บางครั้งมีการฝังลวดอัดแรงเข้าไปในพื้นด้วย เรียกว่าพื้นโพสต์



9

การวิบัติแบบพื้นเจาะทะลุเสาะลงไปกระทบพื้นชั้นล่าง

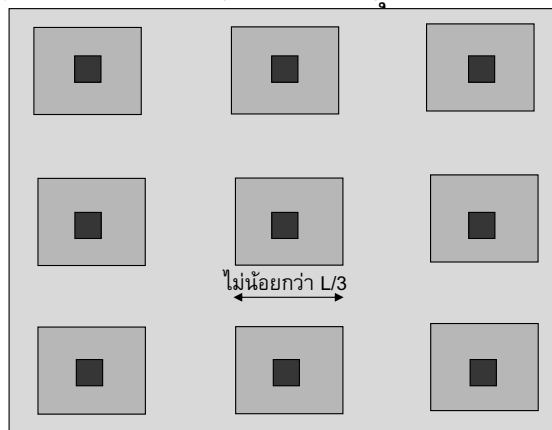
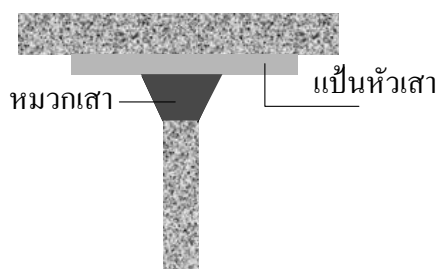
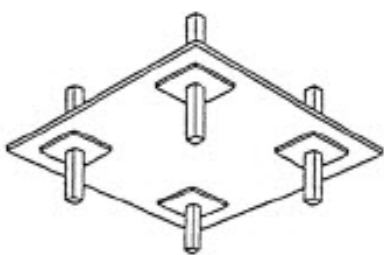


100

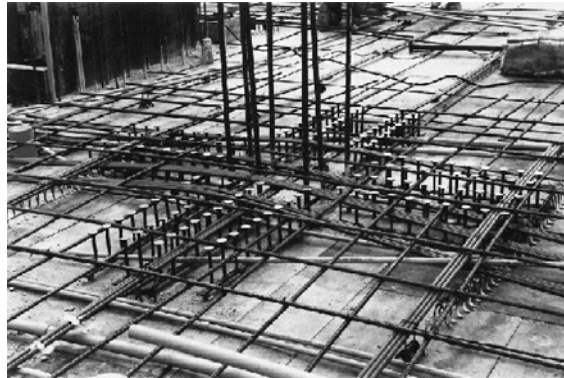
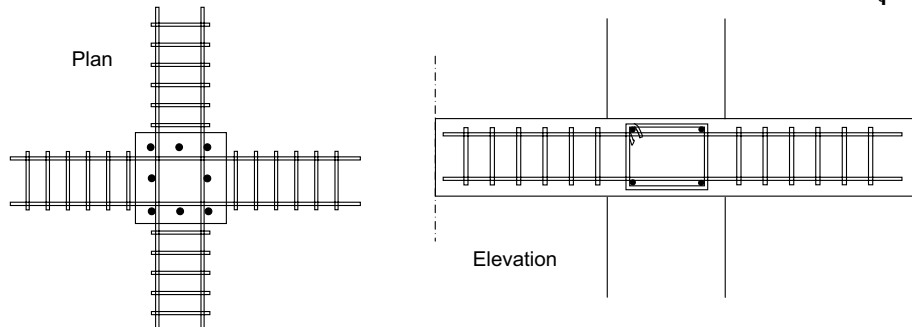
Unregistered HyperSnap



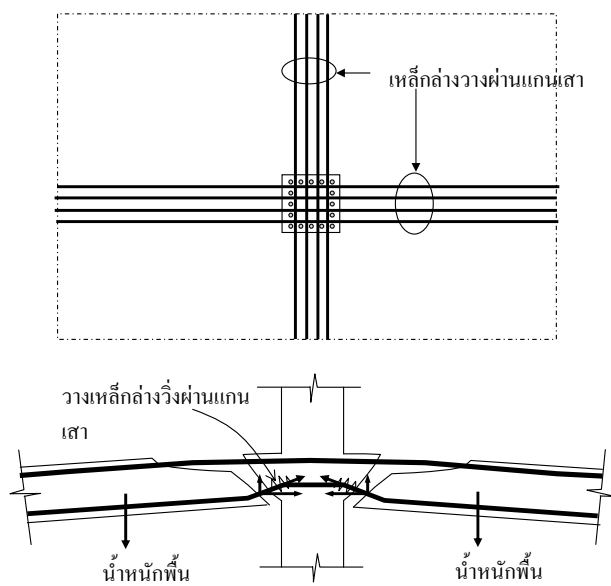
ควรใช้แป้นหัวเสา หรือ หมวกเสาเพื่อป้องกันการเจาะทะลุเสา

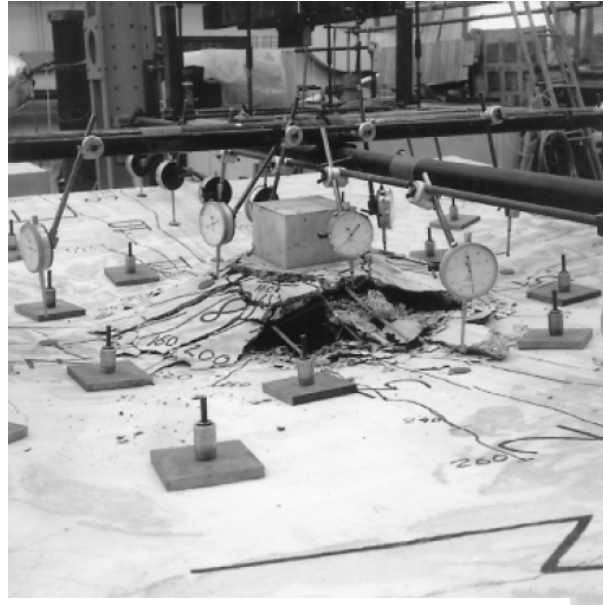


ควรใส่เหล็กปลอกหรือ shear stud ในพื้นไร้คานเพื่อป้องกันการเฉาะทะลุ



เหล็กกลางที่วิ่งผ่านแกนเสาจะช่วยหัวไมให้พื้นตกระทบพื้นข้างล่าง



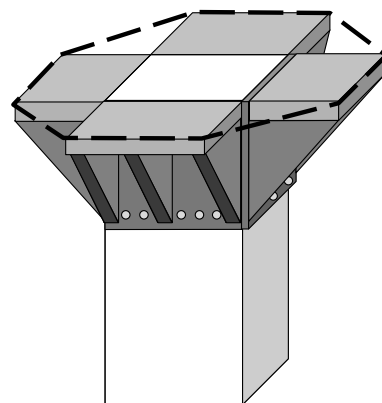


105

อาคารต้องเรียบไรคานที่ก่อสร้างไปแล้วจะแก้ไขอย่างไร?



การติดตั้งปลอกเหล็กที่หัวเสา
ป้องกันการพังทลายจากแรง
เฉือนเจาะทะลุได้

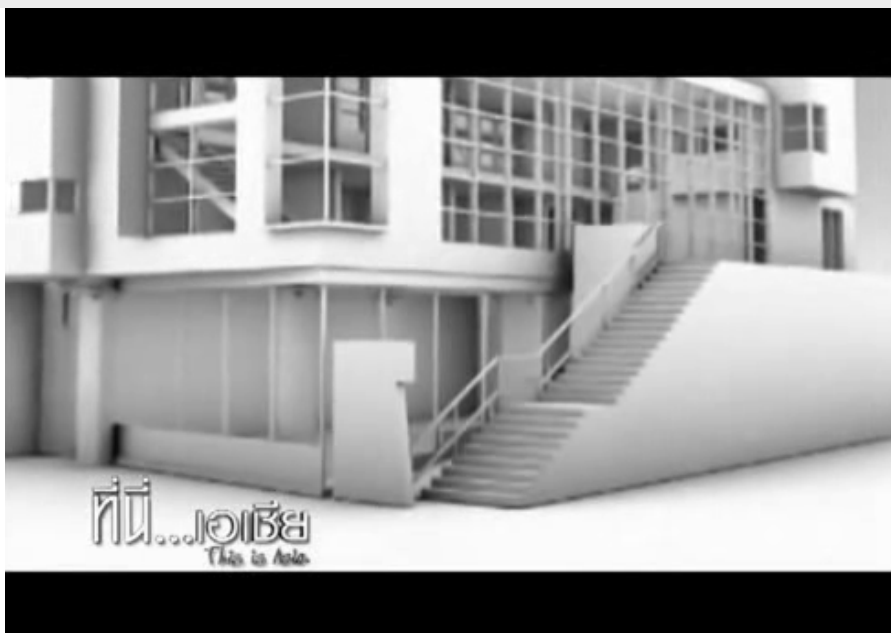


106

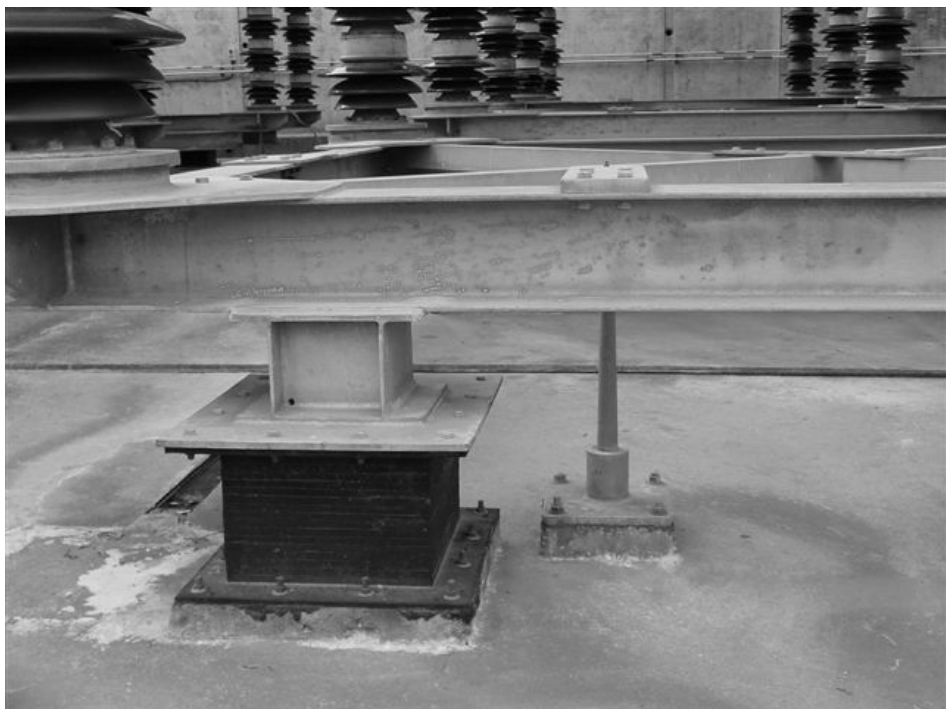


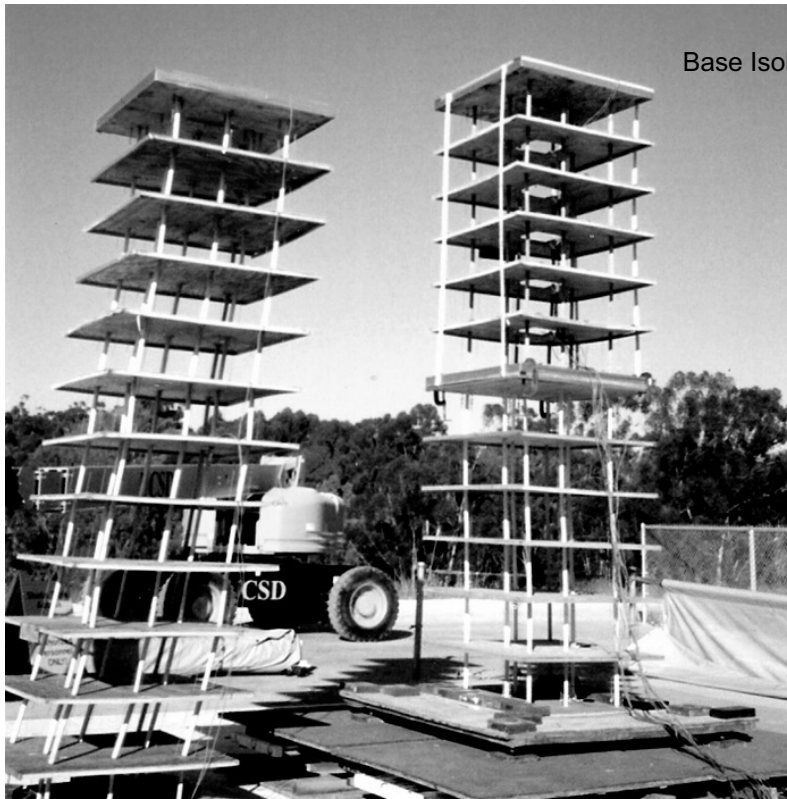
107

เทคโนโลยีที่ช่วยป้องกันแผ่นดินไหว



108

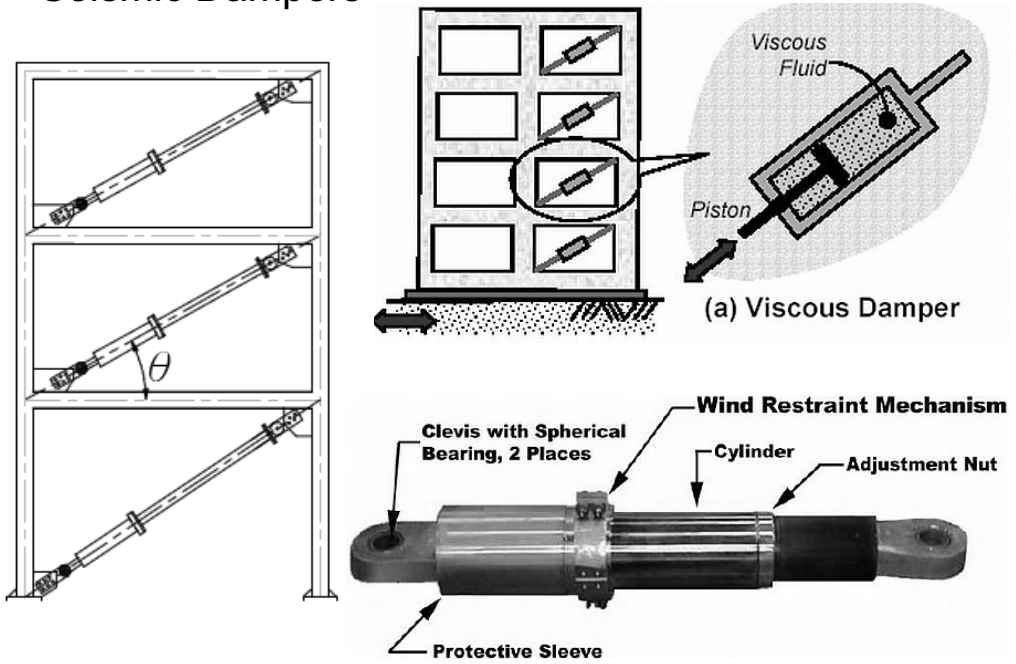




Base Isolation

111

Seismic Dampers



112

ตัวอย่างการติดตั้ง โซ่ค้ำฟ้าให้ตึกเพิ่มความหน่วง



เอกสารการบรรยายเรื่อง “การอนุรักษ์พลังงาน”
และ “การประหยัดพลังงานไฟฟ้า”

โดย นายจรัญ บุณยะคงรัตน์

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ประวัติและประสบการณ์

๑. ชื่อ..... นายจรูญ.....
นามสกุล..... บุญยะคงรัตน์.....
๒. วัน/เดือน/ปีเกิด..... ๒๔ พฤศจิกายน ๒๕๐๖..... อายุปัจจุบัน..... ๔๘..... ปี
๓. เลขบัตรประจำตัวประชาชน..... ๓ ๑๘๐๖ ๐๐๖๒๗ ๘๙ ๐.....
๔. อีเมล..... MRJARUN@Hotmail.com.....
๕. การศึกษาระดับปริญญาตรี
วุฒิการศึกษา..... อดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อส.บ.).....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สถานศึกษา..... มหาวิทยาลัยศรีประทุม.....
ปีที่จบการศึกษา..... พ.ศ. ๒๕๓๙.....
๖. การศึกษาระดับปริญญาโท
วุฒิการศึกษา..... บริหารธุรกิจ.....
สาขาวิชา..... การจัดการสาธารณสุข.....
สถานศึกษา..... มหาวิทยาลัยบูรพา.....
ปีที่จบการศึกษา..... พ.ศ. ๒๕๕๔.....
๗. สถานที่ทำงาน..... การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่.....
ตำแหน่ง..... วิศวกร ระดับ ๙..... กองพัฒนาระบบไฟฟ้า.....

ประสบการณ์ทำงาน

ลำดับ	รายละเอียดผลงาน	ระยะเวลาดำเนินการ	
		เริ่ม (เดือน/พ.ศ.)	แล้วเสร็จ (เดือน/พ.ศ.)
	ศึกษาและจัดทำโครงการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมโหลดหม้อแปลง (Transformer Load Management)	พ.ศ. ๒๕๔๐	พ.ศ. ๒๕๔๔
	ศึกษาและจัดทำโครงการเตรียมความพร้อมเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU สำหรับผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก	พ.ศ. ๒๕๔๐	พ.ศ. ๒๕๔๔
	หัวหน้าโครงการติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับคอมพิวเตอร์	พ.ศ. ๒๕๔๕	พ.ศ. ๒๕๔๕
	หัวหน้าโครงการวิจัยภาระไฟฟ้า (Load Research) เป็นการศึกษาลักษณะ การใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละ ประเภทอัตราค่าไฟฟ้า	พ.ศ. ๒๕๔๕	พ.ศ. ๒๕๔๕
	วิทยากรบรรยายการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรม ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ จำนวนไม่น้อยกว่า ๕ ครั้ง	พ.ศ. ๒๕๔๕	พ.ศ. ๒๕๔๕
	วิศวกรในการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานให้กับโรงงานและอาคาร ไม่น้อยกว่า ๑๕ แห่ง	พ.ศ. ๒๕๔๕	พ.ศ. ๒๕๔๕
	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมโดย และอาคารธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (กลุ่มภาคอีสานบน) จำนวน ๔ แห่ง ๑. บริษัท อุดรไฮเทค จำกัด ๒. บริษัท อุดรแคร์ฟู๊ดส์ จำกัด ๓. บริษัท ยงเจริญ(หนองคาย) จำกัด ๔. โรงพยาบาลหนองคาย-วัฒนา	พ.ศ. ๒๕๕๑	พ.ศ. ๒๕๕๑
	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมโดยโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน ๘ แห่ง ดังนี้ ๑. ห้างหุ้นส่วนจำกัด น้ำแข็ง ส.เจริญผล ๒. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เจริญผล โคราข ๓. ห้างหุ้นส่วนจำกัด น้ำแข็งมงคลเจริญผล ๔. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ปากช่องดำรงไทย ๕. บริษัท โพลีนก๊อป จำกัด ๖. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงน้ำแข็งปักธงชัย ๗. สหกรณ์โคนมปากช่อง จำกัด ๘. บริษัท เค.เอช เจ้าพระยาอินน์ จำกัด	พ.ศ. ๒๕๕๒	พ.ศ. ๒๕๕๒



การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

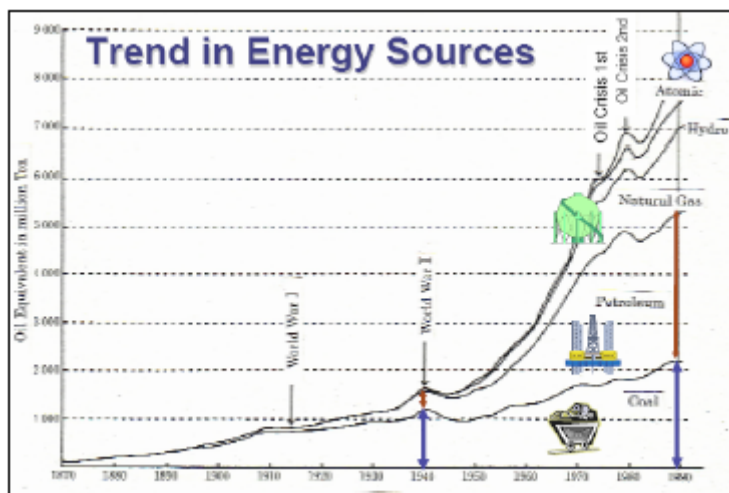
การอนุรักษ์พลังงาน



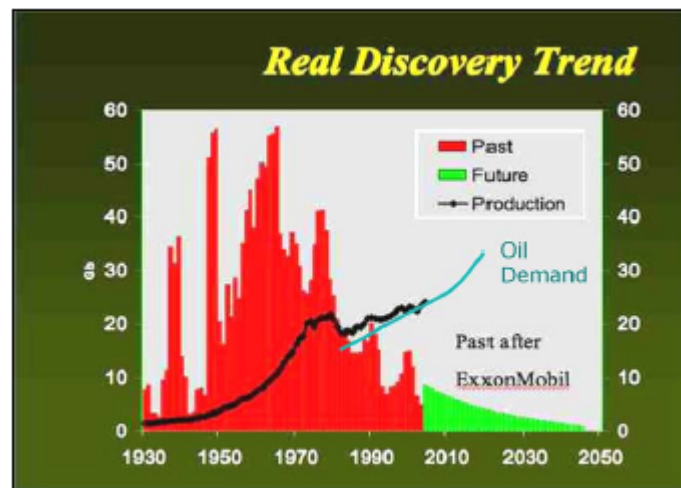
การอนุรักษ์พลังงาน

1. บทนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสถานการณ์พลังงานของโลกเริ่มประสบปัญหาวิกฤต ความต้องการการใช้พลังงานมีเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วทุกแห่ง ตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและประชากรโลก ในขณะที่ความสามารถในการผลิตพลังงานตามความต้องการของมนุษย์กลับมีน้อยลง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่แต่ละภูมิภาคของโลกต้องหาปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มเติม พร้อมทั้งหาพลังงานทางเลือกอื่นๆ มาทดแทนพลังงานฟอสซิลควบคู่กันไป



รูปที่ 1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานแต่ละประเภท

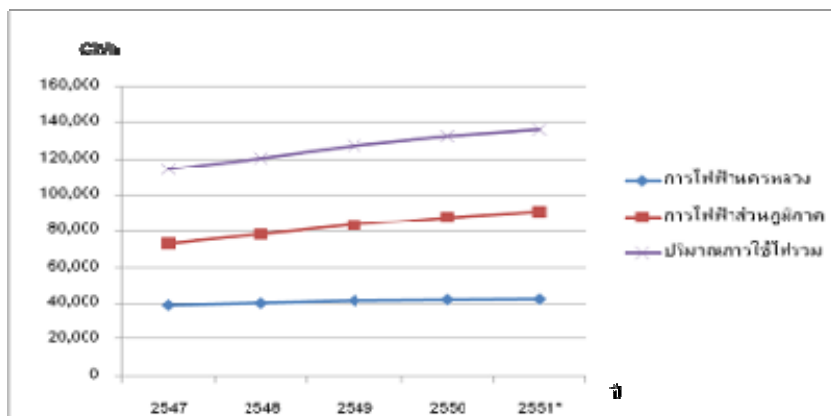


รูปที่ 2 แนวโน้มความต้องการน้ำมันเปรียบเทียบกับความสามารถในการผลิตของโลก



ความต้องการพลังงานในประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเอเชียจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 29 ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงทวีปอเมริกาเหนือที่มีการใช้พลังงานร้อยละ 30 จะเห็นได้ว่าในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งมีอัตราการเพิ่มประชากรสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภูมิภาคเอเซียและจีน ซึ่งมีการพัฒนาอุตสาหกรรมและขยายตัวทางเศรษฐกิจในอัตราสูงขึ้น

ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าในภาพรวมของประเทศในปี 2551 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 136,025 กิกะวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 2.5 ตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจประเทศไทย ซึ่งหากมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปี กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีในปัจจุบันอาจจะไม่เพียงพอทำให้เราต้องมีการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น หรืออาจจะต้องรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการชะลอความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่ให้เพิ่มสูงขึ้น รัฐบาลจึงได้มีการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานที่ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประหยัดด้านพลังงานไฟฟ้า โดยได้มีการรณรงค์ ประชาสัมพันธ์ และส่งเสริมให้ประชาชนส่วนราชการและหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองนโยบายดังกล่าวข้างต้นของรัฐบาล



รูปที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยที่ผ่านมา

2.ประเภทของพลังงาน

พลังงานที่มนุษย์นำมาใช้ในการดำรงชีวิตและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1) พลังงานสิ้นเปลือง หรือพลังงานฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เพราะหาทดแทนไม่ทันการใช้ เนื่องจากพลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานที่สะสมผ่านสิ่งมีชีวิตมาเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี หากใช้พลังงานนี้เป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องสักวันหนึ่งก็จะต้องหมดไป ซึ่งพลังงานพวกนี้ปกติแล้วจะอยู่ใต้ดิน ถ้าไม่ขุดขึ้นมาใช้ตอนนี้ ก็เก็บไว้ให้ลูกหลานใช้ได้ในอนาคต บางทีจึงเรียกว่าพลังงานสำรอง



ถ่านหิน



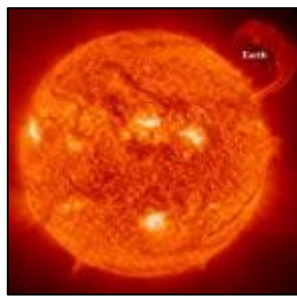
ก๊าซธรรมชาติ



น้ำมันดิบ

2) พลังงานหมุนเวียน (Renewable) หรือพลังงานทดแทน

(ก) พลังงานธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานกระแสน้ำ พลังงานเกิดจากระดับน้ำขึ้นน้ำลง ผลต่างอุณหภูมิน้ำทะเล เป็นต้น



(ข) พลังงานชีวมวล เช่น พลังงานชีวภาพ พลังงานที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตร ไม้ฟืน และมูลสัตว์ เป็นต้น

(ค) พลังงานนิวเคลียร์ คือการนำปฏิกิริยาแตกตัวแบบนิวเคลียร์ของธาตุยูเรเนียม มาใช้ในเชิงสร้างสรรค์โดยการเอามาผลิตความร้อน เพื่อผลิตไฟฟ้าต่่ออีกที โดยใช้แท่งเชื้อเพลิงขนาดเล็กนิตเดียว เรียกว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณไม้หรือถ่านหินที่ต้องใช้ในการผลิตไฟฟ้าปริมาณเท่ากัน เราเรียกโรง



ไฟฟ้าแบบนี้ว่า โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ หรือ โรงไฟฟ้าปรมาณู โรงไฟฟ้าแบบนี้ไม่ทำให้พื้นที่ป่าสูญเสียบ้างไป ไม่มี ก๊าซเรือนกระจกออกมา แต่มีปัญหาที่อาจมีรังสีรั่วไหลออกมาได้ และรังสีนี้ อันตรายมาก ทำให้คนเป็น มะเร็ง ลูกออกมาอาจมีรูปร่างผิดปกติหรือกลายพันธุ์ อีกทั้งรังสีที่ว่านี้ยังไม่สลายตัวง่ายๆ จะอยู่เป็นอันตราย อย่างนี้ไปอีกนับพันๆปี

พลังงานธรรมชาติและพลังงานชีวมวล ซึ่งเกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้ดิน และระดับน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเทวดฤกษ์ จัดเป็นพลังงานที่สามารถ นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewable Energy) แม้ว่าพลังงานเหล่านี้จะไม่วันหมดไป แต่ก็มีความหนาแน่นต่ำ รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่างๆ เช่น เวลา ภูมิอากาศ สภาพภูมิศาสตร์ ฯลฯ จึงมีความยากลำบากในการ นำมาใช้งาน พลังงาน เหล่านี้ที่นำมาใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ พลังงานน้ำ รองลงมาได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพกับ พลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ปัจจุบันพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ถูกคาดหวังว่าจะมีการนำมาใช้เพิ่มขึ้น ในอนาคต และกำลังมีการเร่งพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มจุดคุ้มทุนอยู่ในขณะนี้ โดยในอนาคตมนุษย์จะหันมา ใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มมากขึ้น

3. ปริมาณสำรองของทรัพยากรพลังงาน

สำหรับปริมาณพลังงานสำรองของน้ำมันดิบจะมีอยู่ในภูมิภาคตะวันออกกลางมากถึง 2/3 ของ ปริมาณสำรองที่ตรวจพบแล้ว โดยมีปริมาณสำรองอยู่ประมาณ 2 ล้านล้านบาร์เรล แต่ที่เหลือที่ยังไม่ค้นพบ อาจอยู่ในทะเลลึกหรือสถานที่กันดารลำบากต่อการขุดเจาะ

ก๊าซธรรมชาติมีมากอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือและเขตประเทศสังคมนิยมเดิม และมีการกระจายทาง ภูมิศาสตร์มากกว่าน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นที่คาดหวังว่าจะมีการพัฒนานำมาใช้ต่อไป หากน้ำมันดิบหมดไปสำหรับ ถ่านหินมีอยู่มากกว่าน้ำมันถึง 5 เท่า และมีระยะเวลาที่สามารถใช้งานต่อไปได้สูงที่สุดในจำนวนเชื้อเพลิง ฟอสซิลด้วยกัน อย่างไรก็ตาม ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่มีจีเถ้าและกำมะถันผสมอยู่ในปริมาณสูง รวมทั้งปล่อย ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้สูงกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ การพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด เพื่อนำถ่านหินมาใช้จึงเป็นปัญหาสำคัญในแง่การป้องกันมลพิษทางอากาศและภาวะโลกร้อน สำหรับแ ร่ ยูเรเนียม หลังจากสิ้นสุดยุคสงครามเย็นแล้ว ความต้องการพลังงานกับแหล่งพลังงาน ก็มีความสมดุลมากขึ้น ปัญหาในปัจจุบันจะเป็นการกำจัดกากเชื้อเพลิง ได้แก่ พลูโตเนียม-239 มากกว่า รายละเอียดของปริมาณ สำรองของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดูได้ในตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงในโลก

	น้ำมันดิบ	กาซธรรมชาติ	ถ่านหิน	แรรูเรเนียม
ปริมาณสำรอง (R)	1.46 ล้านล้านบาร์เรล	150 ล้านล้าน ลบ.เมตร	984.2 พันล้านตัน	3.95 ล้านตัน
การผลิตต่อปี (P)	26.2 พันล้านบาร์เรล	2.4 ล้านล้าน ลบ.เมตร	4.34 พันล้านตัน	35 พันตัน
ระยะเวลา (R/P)	39.9 ปี	61.0 ปี	227 ปี	64.2 ปี (หมายเหตุ)



หมายเหตุ แร่ยูเรเนียมมีการสำรองไว้จำนวนมาก การผลิตต่อปีจึงน้อยกว่าปริมาณความต้องการต่อปี (62 พันตัน) ดังนั้นค่า R/P ของแร่ยูเรเนียมจึงคิดจากค่าปริมาณสำรองต่อปริมาณความต้องการต่อปี

ที่มา : สถิติพลังงาน โดยภาพรวม ฉบับปี 2544

ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณสำรองของน้ำมัน จะมีระยะเวลาสั้นที่สุดคือ ไม่ถึง 50 ปี รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ที่มีปริมาณสำรองไม่เกิน 100 ปี และ 200 ปี ตามลำดับ ดังนั้นการสำรวจหาปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มเติม จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่แต่ละภูมิภาคของโลกต้องกระทำอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่การค้นหาพลังงานทางเลือกอื่นๆ (Alternative energy) ก็เป็นสิ่งที่ต้องกระทำควบคู่กันไป เพื่อนำมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ต่อไปในอนาคต ส่วนประเทศไทยมีปริมาณน้ำมันดิบสำรองน้อย หากไม่มีการหาแหล่งพลังงานเพิ่มเติม ประเทศไทยคงมีพลังงานใช้ไม่ถึง 15 ปี

4.สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย

การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น

ในปี 2551 อยู่ที่ระดับ 1,639 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวันเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.0 โดยการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.7 การใช้ถ่านหินนำเข้ายังคงเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงร้อยละ 13.7 การใช้ลิกไนต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากถูกทดแทนโดยถ่านหินนำเข้า ในขณะที่การใช้น้ำมันลดลงร้อยละ 5.4 การใช้น้ำมันลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 เนื่องจากราคาน้ำมันทรงตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง การใช้ไฟฟ้าพลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้าลดลงร้อยละ 13.9 เนื่องจากมีปริมาณน้ำน้อยกว่าปีที่แล้ว สำหรับสัดส่วนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นนั้น ในปี 2551 นับเป็นปีแรกที่สัดส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติสูงกว่าการใช้น้ำมัน

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานพาณิชย์ขั้นต้นของประเทศไทย

หน่วย : เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน

ปี	2547	2548	2549	2550	2551
การใช้	1,450	1,520	1,548	1,606	1,639
น้ำมัน	675	689	673	667	631
ก๊าซธรรมชาติ	518	566	579	615	662
ถ่านหิน	94	107	143	182	206
ลิกไนต์	119	125	106	100	102
พลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	32	33	44	43	37
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)					
การใช้	7.7	4.8	1.8	3.8	2.0
น้ำมัน	10.1	0.4	-2.3	-1.0	-5.4
ก๊าซธรรมชาติ	4.4	9.2	2.3	6.2	7.7
ถ่านหิน	5.9	13.8	33.6	26.9	13.7
ลิกไนต์	18.4	4.6	-13.7	-6.7	1.8
พลังน้ำ/ไฟฟ้านำเข้า	12.1	2.4	35.2	-2.5	-13.9



การนำเข้าพลังงาน

ในแต่ละปีประเทศไทยต้องมีการนำเข้าของพลังงานเพิ่มมากขึ้นทุกปี ตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ แต่ในช่วงปี ดังจะเห็นได้จากปริมาณการนำเข้าพลังงานในตารางที่ 3 โดยในปี 2551 มีการนำเข้าพลังงานมูลค่ารวม 1,239,314 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 359,236 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 40.8 โดยมูลค่าการนำเข้าน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินเพิ่มขึ้นในขณะที่มูลค่าการนำเข้าน้ำมันสำเร็จรูปและไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 3 มูลค่าการนำเข้าพลังงานของประเทศไทย

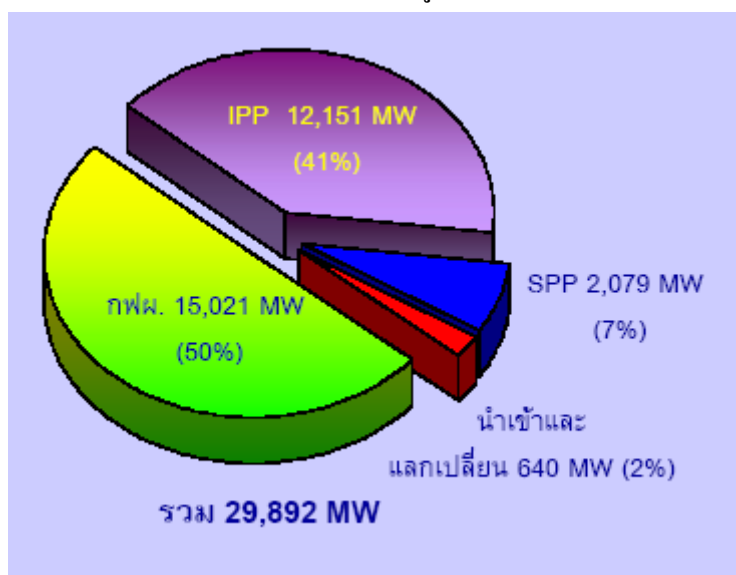
หน่วย : ล้านบาท

ชนิดของพลังงาน	2547	2548	2549	2550	2551
น้ำมันดิบ	486,627	644,933	753,783	715,789	1,070,472
น้ำมันสำเร็จรูป	41,533	55,680	60,253	48,317	35,259
ก๊าซธรรมชาติ	46,053	62,877	77,843	78,901	92,292
ถ่านหิน	12,275	15,422	18,896	29,656	37,229
ไฟฟ้า	5,659	7,114	8,294	7,414	4,062
รวม	592,148	785,976	919,068	880,078	1,239,314

สถานการณ์พลังงานไฟฟ้า

กำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้า

ในปี 2551 อยู่ที่ 29,892 เมกะวัตต์ ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้น ณ วันที่ 21 เมษายน 2551 ที่ระดับ 22,568 เมกะวัตต์ ค่าตัวประกอบไฟฟ้า 1 (Load Factor) เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 75.6 และกำลังผลิตสำรองไฟฟ้าต่ำสุด (Reserved Margin) อยู่ที่ร้อยละ 29.8 โดยมีสัดส่วนกำลังการผลิตติดตั้งที่ กฟผ. ผลิตเอง และรับซื้อจากโรงไฟฟ้าเอกชน และนำเข้า ตามที่แสดงในรูปที่ 4

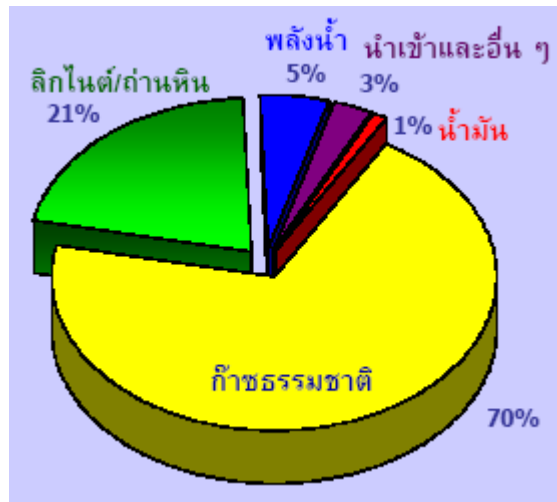


รูปที่ 4 สัดส่วนกำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2551



การผลิตไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในปี 2551 ปริมาณการผลิตและการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. เท่ากับ 148,790 กิกะวัตต์-ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ร้อยละ 1.2 โดยมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ, ลิกไนต์/ถ่านหิน ,พลังน้ำ , การนำเข้า และน้ำมัน ตามที่แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัดส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่าง ๆ

นอกจากนั้นในปี 2551 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 136,025 กิกะวัตต์-ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ร้อยละ 2.5 ซึ่งเป็นการขยายตัวที่ชะลอลงจากปีก่อนๆ สอดคล้องตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจไทย โดยแบ่งเป็นการใช้ไฟฟ้าในเขตการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ดังนี้

- กฟน. การใช้อยู่ที่ระดับ 42,245 กิกะวัตต์-ชั่วโมง
- กฟภ. การใช้อยู่ที่ระดับ 90,944 กิกะวัตต์-ชั่วโมง
- การใช้จากลูกค้าตรงของ กฟผ. การใช้อยู่ที่ระดับ 2.850 กิกะวัตต์-ชั่วโมง

ตารางที่ 4 สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย

หน่วย : กิกะวัตต์-ชั่วโมง

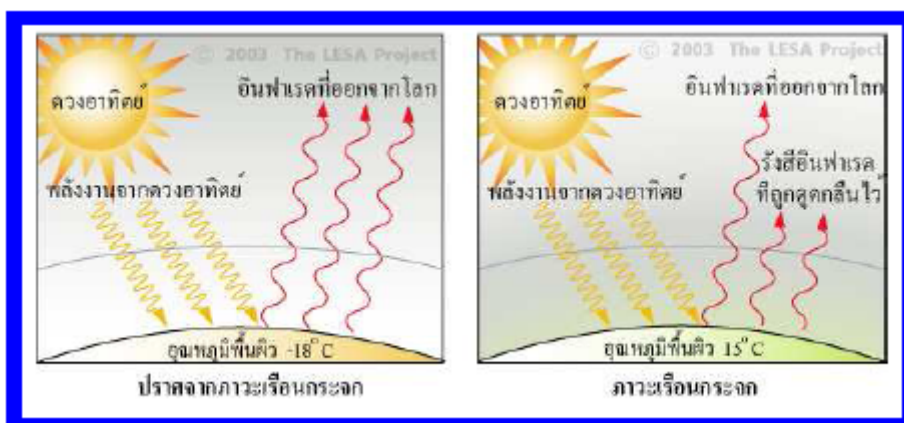
	2547	2548	2549	2550	2551
การไฟฟ้านครหลวง	39,120	40,111	41,482	42,035	42,245
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	73,078	78,118	83,268	87,755	90,944
ลูกค้าตรงของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต	2,128	2,409	2,487	2,702	2,836
รวม	114,326	120,637	127,237	132,492	136,025



หากจำแนกการใช้พลังงานไฟฟ้าตามสาขาเศรษฐกิจของประเทศสาขาอุตสาหกรรมยังคงมีส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ รองลงมาเป็นธุรกิจอาคารสำนักงาน บ้านเรือนที่อยู่อาศัย เป็นต้น ในขณะที่ประเทศมีการพัฒนามากขึ้น การใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย สภาวะการขาดแคลนพลังงานของโลกในอนาคตอาจดูเป็นเรื่องไกลตัวเรา แต่ในความเป็นจริงพลังงานต่างๆที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเราใช้อยู่อาจหมดไปภายในระยะเวลาไม่กี่ปี หากเรายังคงใช้พลังงานกันเพิ่มมากขึ้นอย่างนี้ และไม่หาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆมาใช้เพิ่มเติม

5. ปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่เกิดจากการใช้พลังงาน

เนื่องจากพลังงานที่เราใช้เกือบทั้งหมดเป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทนี้ หรือการสันดาปของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งประกอบด้วย ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศทำให้เกิดก๊าซพิษต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซมีเทน เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลกระทบที่เห็นได้โดยตรงต่อสภาวะแวดล้อม ที่เกิดจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลคือ ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) เป็นผลมาจากปริมาณความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น ในบรรยากาศที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ชั้นของก๊าซเรือนกระจกที่หนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้รังสีความร้อนไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปจากผิวโลกได้ ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก (Climate change) หรือที่เรียกกันว่า “ภาวะโลกร้อน” หากไม่มีก๊าซเรือนกระจกแล้ว คาดว่าอุณหภูมิพื้นผิวโลกจะลดลงต่ำถึง -18°C ก๊าซเรือนกระจกจึงมีความจำเป็นในการรักษาสภาพแวดล้อมโลกให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อก๊าซเรือนกระจกมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันจึงทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น และเกิดภาวะโลกร้อนขึ้นซึ่งจะเห็นว่าในปัจจุบันสภาพภูมิอากาศมีความแปรปรวนอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการเกิดพายุ น้ำท่วม อากาศที่ร้อน หรือหนาวมากขึ้น จนก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างมากมาย นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกเสนอให้มีการลดการปลดปล่อยก๊าซเหล่านี้สู่บรรยากาศอย่างจริงจัง หากมนุษยชาติต้องการจะหยุดยั้งภัยพิบัติจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก





จากการพยากรณ์ผลกระทบของภาวะโลกร้อนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าหากแนวโน้มการใช้พลังงานยังเป็นเช่นนี้ต่อไป ภายในปี พ.ศ. 2643 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นเป็น 540-970 ppm อุณหภูมิโลก (อุณหภูมิบรรยากาศที่พื้นผิวเฉลี่ยทั่วโลก) จะเพิ่มขึ้น 1.4-5.8°C และการขยายตัวของน้ำทะเลและการละลายของน้ำแข็งที่ขั้วโลกจะทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 9-88 cm นอกจากนี้ การกระจายอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนบนโลกยังจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และอาจเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจต่อประเทศกำลังพัฒนาจำนวนมากได้



รูปที่ 6 สภาพการหายไปของน้ำแข็ง ในแหล่งอาศัยของหมีขั้วโลกบางแห่ง

จากปัญหาภาวะสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ทำให้มนุษย์ต้องหามาตรการป้องกันเพื่อควบคุมการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยมาตรการดังต่อไปนี้

- 1) การอนุรักษ์พลังงาน
- 2) การใช้เชื้อเพลิงที่ลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 3) การใช้ไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ให้มากขึ้น
- 4) การพัฒนาพลังงานชนิดใหม่ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานนิวเคลียร์ฟิวชั่น เป็นต้น
- 5) การอนุรักษ์ป่าไม้
- 6) การพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัด และกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งในจำนวนมาตรการข้างต้นนี้ การอนุรักษ์พลังงานเป็นมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติมากที่สุด โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



6. การบริหารและจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงาน

จุดมุ่งหมายโดยรวมของการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน คือ การมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากอดีตที่ผ่านมาพบว่า การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพทำได้โดยมุ่งไปที่งานหรือกิจกรรมที่มีการใช้พลังงาน จากนั้นจึงทำมาตรการประหยัดพลังงาน หากผู้บริหารและผู้บริหารภายในองค์กร มีความเข้าใจในเรื่องการใช้พลังงานอย่างดีแล้ว ก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้

จากประสบการณ์การทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านมาพบว่าปัญหาที่ทำให้การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในองค์กรต่างๆ ไม่ประสบความสำเร็จเกิดจากปัญหาหลักใหญ่ ๆ 2 ประการคือ

1. ปัญหาด้านการบริหารจัดการพลังงาน
2. ปัญหาด้านเทคนิคในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

สำหรับปัญหาด้านการบริหารจัดการพลังงานนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการไม่สามารถจัดสร้างทีมงานอนุรักษ์พลังงานขึ้นได้ หรือ ถ้าเกิดขึ้นได้ก็ไม่ยั่งยืน ส่วนปัญหาด้านเทคนิคในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน เกิดจากเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบด้านอนุรักษ์พลังงานไม่ทราบว่าควรใช้ตัวแปรใดจากการตรวจวัดมาพิจารณาเป็นเกณฑ์ชี้วัดว่าอุปกรณ์หรือระบบใดมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงานที่ชัดเจนขององค์กรได้

นอกจากนั้นในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานปัจจัยที่มีผล คือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และการใช้อุปกรณ์ โดยทั้งสองปัจจัยนี้มีความสำคัญพอ ๆ กัน การประหยัดพลังงานเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพดี และมีการใช้งานอุปกรณ์อย่างถูกต้อง โดยทั่วไปเมื่อพูดถึงการประหยัดพลังงานคนทั่วไปมักนึกถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำเป็นอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง ทั้ง ๆ ที่อีกหนทางหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานได้ด้วยต้นทุนที่น้อยกว่า คือ การใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานอย่างถูกต้อง ด้วยการบริหารจัดการ และการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานของพนักงานในองค์กร

7. การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

คือ การที่ทุกคนในสถานประกอบการร่วมมือร่วมใจกันทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน มิใช่ทำเฉพาะฝ่ายหรือแผนกการผลิตสินค้า หรือฝ่ายบำรุงรักษาเท่านั้น เพราะทุกคนในสถานประกอบการเป็นผู้ใช้พลังงานเหมือนกัน มากน้อยแตกต่างกันตามภารกิจ หากฝ่ายหนึ่งเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานอย่างเต็มที่แต่อีกฝ่ายหนึ่งกลับปล่อยปละละเลย ก็ทำให้การใช้พลังงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อีกทั้งยังเป็นการบั่นทอนกำลังใจแก่ผู้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานมี 4 ระดับ คือ

1. การออกแบบและแนวคิดที่ดี (Good design & Good concept)
2. การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี (Awareness & Good operation)
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต (Process improvement)



4. การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก (Major change equipment)

การออกแบบและแนวคิดที่ดี

คือ การออกแบบระบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมกับฟังก์ชันการใช้งานจริง โดยอาศัยหลักวิชาทางวิศวกรรม สถาปัตยกรรม เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการดำเนินการและบำรุงรักษาในอนาคต เช่น การออกแบบโดยการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ในโรงงานหรืออาคารให้มากที่สุด โดยไม่เกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ใน โรงงานหรือผู้ใช้อาคาร การออกแบบโดยป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคารหรือการนำความร้อน ความเย็นในระบบการผลิตกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น นอกจากนี้การออกแบบดังกล่าวยังช่วยให้สิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการทำงานดีขึ้นด้วย

การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี

คือ การดูแลรักษาให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ ลดการรั่วไหลและการสูญเสียของพลังงาน เช่น ลดการรั่วไหลของไอน้ำ ลมอัด หรือการสูญเสียความร้อน/ความเย็น ลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือย เช่น ใช้หลอดไฟที่กินกำลังไฟต่ำแต่ให้ความสว่างที่เหมาะสม ปรับอุณหภูมิอากาศไว้ที่ 25°C นำแสงธรรมชาติมาใช้ จัดกลุ่มหลอดไฟให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ลดการเดินเครื่องตัวเปล่า เป็นต้น ซึ่งการดำเนินการข้างต้นแทบจะไม่ต้องลงทุน หรือลงทุนน้อยมาก เพราะเป็นเรื่องการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของคนในองค์กร ให้มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์ พลังงาน

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต

เป็นการดำเนินงานที่ต้องใช้หลักวิชาวิศวกรรมมากขึ้น ใช้เงินลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพ เลือกอุปกรณ์ที่ช่วยประหยัดค่าพลังงานกินไฟน้อยลง โดยเฉพาะเมื่ออุปกรณ์เดิมหมดสภาพเมื่อเปลี่ยนใหม่ควรเลือกที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เลือกใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (เบอร์ 5) ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน หรือแบตเตอรี่โวลต์ลอส ใช้ระบบ VSD (Variable speed drive) กับมอเตอร์ ทั้งนี้ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงผลประโยชน์ และเงินลงทุนด้วยว่าสามารถคืนทุนภายในเวลาที่ยอมรับได้หรือไม่

การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก

เป็นการอนุรักษ์พลังงานขั้นสูงสุดที่ต้องใช้เทคโนโลยี การวิเคราะห์ รวมทั้งเงินลงทุนมากที่สุด เพราะต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรใหม่ จึงต้องตรวจสอบความคุ้มค่าการลงทุน อย่างไรก็ตามหากเทคโนโลยีการผลิตเปลี่ยนแปลงไปแล้วเราก็ไม่อาจอยู่กับระบบผลิตแบบเดิมๆ ได้ จำเป็นต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ทันเวลาด้วย



8. รูปแบบการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานมีรูปแบบการดำเนินงาน 3 รูปแบบ โดยเริ่มจากเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุด และใช้เงินลงทุนน้อยที่สุดไปจนถึงงานที่ต้องการเทคโนโลยีสูงและต้องใช้งบลงทุนมาก ดังนี้

(1) การบำรุงรักษาหรือการดูแลเบื้องต้น (House Keeping)

การประหยัดพลังงานโดยวิธีนี้ โดยแท้จริงแล้วเป็นการปรับแต่งเครื่องและการทำงานต่างๆ เช่น การกำหนดให้มีกรรมวิธีดูแลบำรุงรักษาที่ถูกต้องและขั้นตอนการทำงานอย่างเหมาะสม วิธีต่างๆ เหล่านี้ โดยมากแล้วจะไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น หรือเป็นมาตรการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นๆ คือน้อยกว่า 4 เดือน

(2) การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต (Process Improvement)

มาตรการในข้อนี้เป็นการปรับปรุงระบบอุปกรณ์หรือกระบวนการเดิม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือทำให้การสูญเสียต่างๆ ลดน้อยลงวิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงานตามปกติจะมีความยุ่งยากมากขึ้น และจะต้องอาศัยการตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยทั่วไปกรรมวิธีนี้จะต้องการเงินลงทุนปานกลาง โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1-2 ปี

(3) การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หรือระบบ (Major Change Equipment)

เมื่อการตรวจวิเคราะห์ในขั้นต้นเห็นว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มาก โดยการเปลี่ยนหรือเพิ่มอุปกรณ์ ทั้งนี้จะต้องประเมินค่าผลตอบแทนทางการเงินที่ได้จากการดำเนินงานตามมาตรการดังกล่าว และถ้าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องและเข้ากับเกณฑ์การลงทุนของฝ่ายบริหารแล้ว มาตรการดังกล่าวก็จะได้มีการเสนอเพื่อขอความเห็นชอบ โดยปกติมาตรการต่างๆ ในข้อนี้จะต้องมีการลงทุนสูง โดยมีระยะเวลาคืนทุน 2-5 ปี

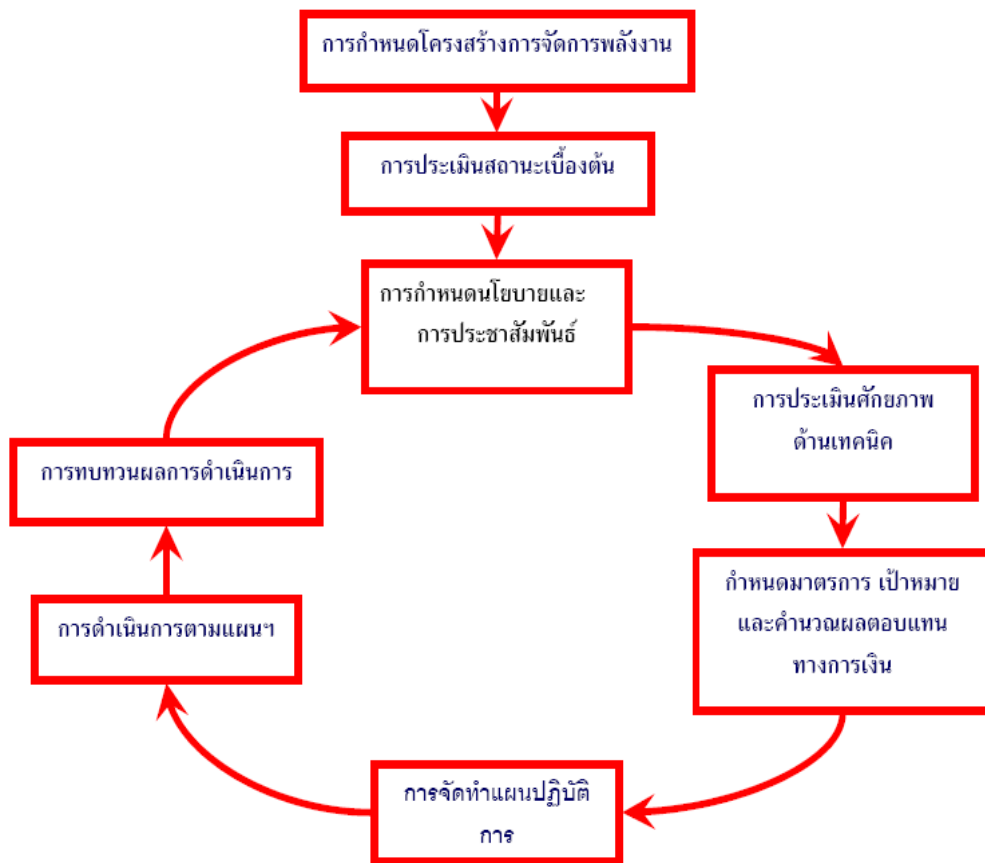
9. การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานให้เกิดขึ้นในองค์กร

การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมของบุคลากรในองค์กร จะเป็นระบบและมีความยั่งยืนได้นั้น องค์กรต้องมีการดำเนินการให้เกิดระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) ที่ดีมีมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วยบุคลากรที่เป็นหลักในการสร้างระบบ จัดทำแผนปฏิบัติการ ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ และทบทวนผลการดำเนินการ โดยมีการจัดเก็บเอกสาร และควบคุมเอกสารในระบบการจัดการพลังงาน อย่างดีและต่อเนื่อง

การพัฒนาและส่งเสริมบทบาทของบุคลากรในองค์กรให้มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเป็นระบบและยั่งยืน จำเป็นจะต้องดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งมีอยู่ 8 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



- ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน
- ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานะเบื้องต้น
- ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดนโยบายและการประชาสัมพันธ์
- ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค
- ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดมาตรการ เป้าหมาย และการคำนวณผลตอบแทนทางการเงิน
- ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำแผนปฏิบัติการ
- ขั้นตอนที่ 7 การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ
- ขั้นตอนที่ 8 การทบทวนผลการดำเนินการ



รูปที่ 7 ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการจัดการพลังงาน

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นบันไดขั้นแรกแห่งความสำเร็จขององค์กร เนื่องจากกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน ซึ่งหมายถึงการกำหนดตำแหน่งงาน ชื่อบุคลากร และหน้าที่ที่จะมาทำงาน เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานขององค์กร เมื่อองค์กรตัดสินใจที่จะนำระบบการจัดการพลังงานมาใช้



องค์กรดังกล่าวจำเป็นต้องมีผู้ที่รับผิดชอบในการประสานระบบการจัดการพลังงานนี้กับระบบเดิม (ที่อาจมีอยู่แล้ว) เพื่อให้เกิดปัญหา และ/หรืออุปสรรคน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการพัฒนาให้เกิดการนำระบบการจัดการพลังงานไปใช้ในองค์กร จำเป็นต้องมีหน่วยงานหรือคณะกรรมการที่รับผิดชอบให้ระบบฯ สามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการประกาศแต่งตั้งคณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานต้องเป็นลายลักษณ์อักษร ลงนามโดยผู้บริหารสูงสุดขององค์กรนั้นๆ และมีการเผยแพร่ให้คนในองค์กรทราบ

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานะเบื้องต้น

ขั้นตอนนี้ จะช่วยทำให้องค์กรทราบว่า การจัดการพลังงานในปัจจุบันมีจุดอ่อน จุดแข็งในเรื่องใด ก่อนที่จะนำระบบการจัดการพลังงานมาใช้กับองค์กร ประเมินสถานะเบื้องต้นที่เรียกว่า เมทริกซ์การจัดการพลังงาน (Energy Management Matrix) ซึ่งมีสาระสำคัญของวิธีการประเมินสถานะเบื้องต้น ดังนี้

1) พิจารณา 6 ประเด็น ที่มีความสำคัญต่อการจัดการพลังงานภายในองค์กรในปัจจุบัน ได้แก่

- ก. นโยบาย
- ข. การจัดการองค์กร
- ค. การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ
- ง. ระบบข้อมูลข่าวสาร
- จ. ประชาสัมพันธ์
- ฉ. การลงทุน

2) แบ่งระดับการให้คะแนนในแต่ละประเด็นออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0, 1, 2, 3 และ 4 ดังแสดงในตารางที่ 5

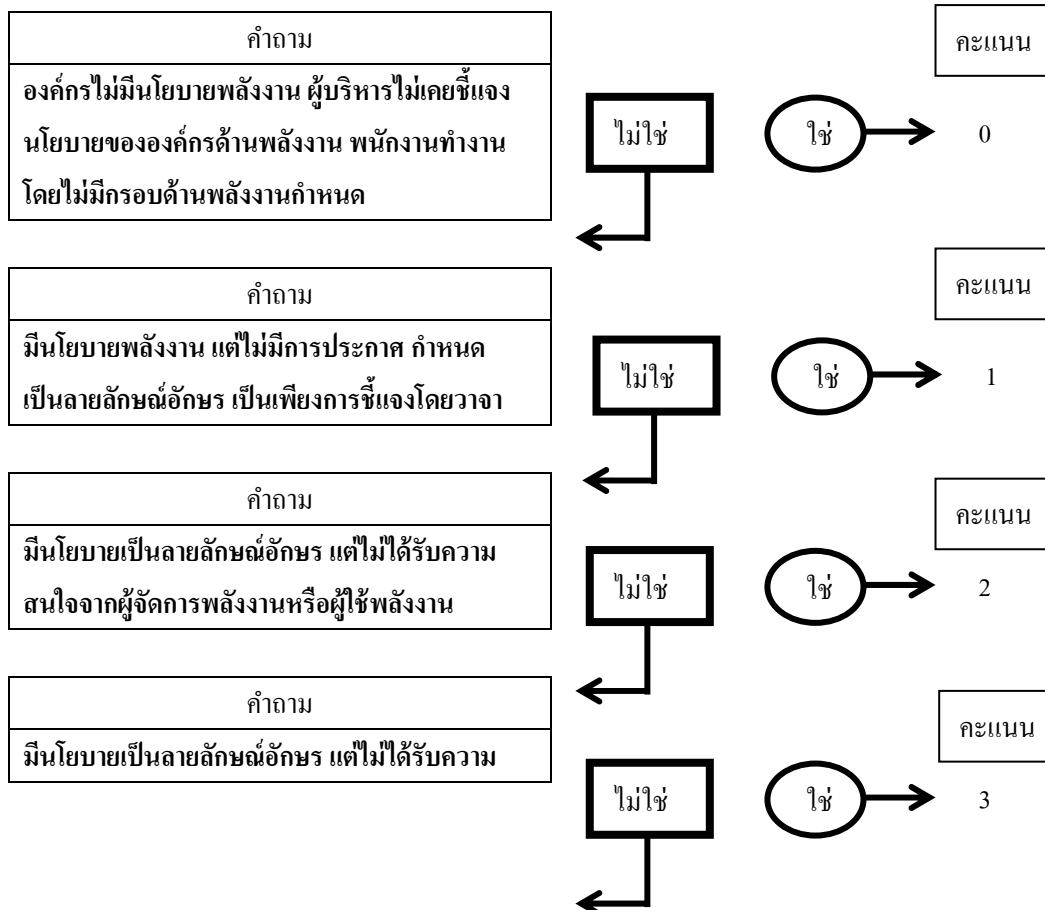
ตารางที่ 5 แสดงประเด็นพิจารณาสถานะเบื้องต้นของการจัดการพลังงานในองค์กร และความหมายของการให้ระดับคะแนน

ประเด็น คะแนน	ก. นโยบาย	ข. การจัดการ องค์กร	ค. การกระตุ้นและ สร้างแรงจูงใจ	ง. ระบบข้อมูล ข่าวสาร	จ. ประชาสัมพันธ์	ฉ. การลงทุน
4	มีนโยบายการจัดการพลังงานจากฝ่ายบริหารและถือเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายบริษัท	มีการจัดองค์กรและเป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของฝ่ายบริหาร กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบไว้ชัดเจน	มีการประสานงานระหว่างผู้รับผิดชอบด้านพลังงานและทีมงานทุกระดับอย่างสม่ำเสมอ	กำหนดเป้าหมายที่ครอบคลุม ติดตามผล ทบทวนผล ประเมินผล และควบคุมการใช้ งบประมาณ	ประชาสัมพันธ์คุณค่าของการประหยัดพลังงาน และผลการดำเนินงานของการจัดการพลังงาน	จัดสรรงบประมาณ โดยละเอียด โดยพิจารณาถึงความสำคัญของโครงการ
3	มีนโยบายและมีการสนับสนุนเป็นครั้งคราวจากฝ่ายบริหาร	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานโดยตรงต่อคณะกรรมการจัดการพลังงานซึ่ง	คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานเป็นช่องทางหลักในการดำเนินงาน	แจ้งผลการใช้พลังงานจากมิเตอร์ย่อยให้แก่ฝ่ายทราบ แต่ไม่มีการแจ้งถึงผลการประหยัด	ให้พนักงานรับทราบโครงการอนุรักษ์พลังงาน และให้มีการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	ใช้ระยะเวลาคุ้มทุนเป็นหลักในการพิจารณาการลงทุน



		ประกอบด้วยหัวหน้าฝ่ายต่าง ๆ				
2	ไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนโดยผู้บริหารหรือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานต่อคณะกรรมการเฉพาะกิจแต่รายงานบังคับบัญชาไม่ชัดเจน	คณะกรรมการเฉพาะกิจเป็นผู้ดำเนินการ	ทำรายงานติดตามประเมินผลโดยดูจากมิเตอร์ให้คณะกรรมการเฉพาะกิจเข้ามาเกี่ยวข้องกับติดตั้งประมาณ	จัดฝึกอบรมให้พนักงานรับทราบเป็นครั้งคราว	ลงทุนโดยดูมาตรการที่มีระยะเวลาคู่มือทุนเร็ว
ประเด็น คะแนน	ก. นโยบาย	ข. การจัดการองค์กร	ค. การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	ง. ระบบข้อมูลข่าวสาร	จ. ประชาสัมพันธ์	ฉ. การลงทุน
1	ไม่มีแนวทางปฏิบัติที่ทำไว้เป็นลายลักษณ์อักษร	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานมีขอบเขตหน้าที่ความรับผิดชอบจำกัด	มีการติดต่ออย่างไม่เป็นทางการระหว่างวิศวกรกับผู้ใช้พลังงาน (พนักงาน)	มีการสรุปรายงานด้านค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานเพื่อใช้กันภายในฝ่ายวิศวกรรม	แจ้งให้พนักงานทราบอย่างไม่เป็นทางการเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ	พิจารณาเฉพาะมาตรการที่ลงทุนต่ำ
0	ไม่มีนโยบายที่ชัดเจน	ไม่มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	ไม่มีการติดต่อกับผู้ใช้พลังงาน	ไม่มีระบบรวบรวมข้อมูลและบัญชีการใช้พลังงาน	ไม่มีการสนับสนุนการประหยัดพลังงาน	ไม่มีการลงทุนใดๆ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

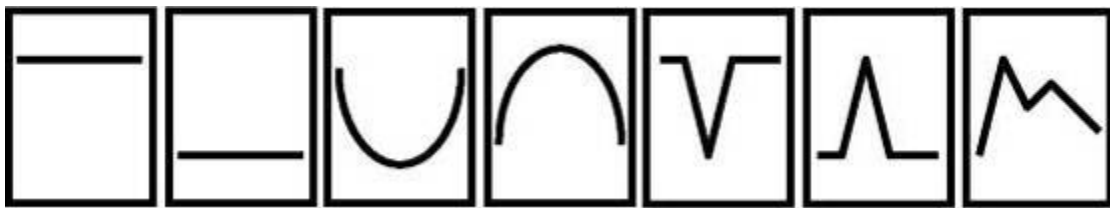
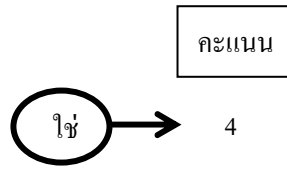
ตัวอย่างการประเมินด้านนโยบาย





สนใจ หรือ สนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง

คำถาม
มีนโยบายเป็นลายลักษณ์อักษร มีแผนการอนุรักษ์พลังงานซึ่งถูกทบทวนอย่างสม่ำเสมอ


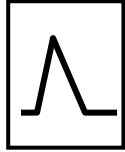



รูปที่ 8 ลักษณะเส้นแบบต่างๆ ที่ได้จากการประเมินสถานะเบื้องต้นของระบบการจัดการพลังงาน

ตารางที่ 6 คำอธิบายลักษณะเส้นแบบต่างๆ

ลักษณะเส้น	รายละเอียด	แนวทางการวิเคราะห์
1. สมดุลสูง (High Balance)	ทุกประเด็นมีคะแนนมากกว่า 3	ระบบการจัดการดีมาก เป้าหมายคือรักษาให้ยั่งยืน
2. สมดุลต่ำ (Low Balance)	ทุกประเด็นคะแนนน้อยกว่า 3	เป็นอาการของการพัฒนาที่สม่ำเสมอ หรือภาวะนิ่งเฉย ไม่มี ความก้าวหน้า
3. รูปยู (U-Shaped)	2 ประเด็นด้านนอกมีคะแนนสูงกว่า ประเด็นอื่นๆ	ความคาดหวังสูง อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน
4. รูปเอ็น (N-Shaped)	2 ประเด็นด้านนอกมีคะแนนต่ำกว่า ประเด็นอื่นๆ	ความสำเร็จที่บรรลุในประเด็นที่มีคะแนนสูงเป็นการเสียเปล่า



5. รูปหลุมลึก (Trough)		1 ประเด็นมีคะแนนต่ำกว่าประเด็นอื่น	ประเด็นที่คะแนนต่ำอาจทำให้ระบบไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร
6. รูปยอดแหลม (Peak)		1 ประเด็นมีคะแนนสูงกว่าประเด็นอื่น	ความสำเร็จในประเด็นที่คะแนนสูงสุดจะเป็นการสูญเปล่า
7. ไม่สมดุล (Unbalanced)		มี 2 ประเด็นหรือมากกว่าที่มีคะแนนสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	ยังมีความไม่สมดุลเท่าไร ยิ่งจัดการยาก

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดนโยบาย และการประชาสัมพันธ์

ในขั้นตอนที่ 3 นี้ คณะกรรมการบริหารพลังงาน หรือผู้บริหารสูงสุดจะต้องกำหนดนโยบายพลังงานขององค์กร โดยจัดทำเป็นเอกสารพร้อมทั้งลงนามโดยผู้บริหารระดับสูงที่แสดงเจตนารมณ์ในการจัดการพลังงาน นโยบายดังกล่าวต้องเป็นส่วนหนึ่งของธุรกิจ เหมาะสมกับลักษณะ และปริมาณพลังงานที่ใช้แสดงเจตนารมณ์ที่จะปฏิบัติตามกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ ที่องค์กรได้ทำข้อตกลงได้ แสดงเจตนารมณ์ที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง แสดงเจตนารมณ์ที่จะจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอเหมาะสมในการดำเนินการตามระบบการจัดการพลังงาน

นโยบายพลังงาน ควรมีลักษณะดังนี้

1. เหมาะสมกับขนาดและธุรกิจขององค์กร
2. ลงนามโดยผู้บริหารระดับสูงขององค์กร
3. แสดงข้อผูกมัด (Commitment) ขององค์กรที่จะรับผิดชอบการใช้พลังงานในการดำเนินงาน ซึ่งรวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมมาใช้ดำเนินงาน
4. แสดงเป้าหมายขององค์กรในระยะยาว
5. แสดงความรับผิดชอบต่อในการควบคุมการใช้พลังงาน และเป็นการกระจายความรับผิดชอบต่อไปยังผู้ใช้งานที่ปลายทางและผู้ดูแลประมาณ
6. แสดงให้ข้อมูลข่าวสาร โดยอาจแสดงในรูปแบบของรายงาน หรือเอกสารประกาศ เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้พนักงานภายในองค์กร
7. แสดงการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continual Improvement) โดยมีการปรับปรุงเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานและทบทวนการดำเนินงานอย่างสม่ำเสมอ



นอกจากนี้ต้องให้ลูกจ้างได้ทราบและเข้าใจจุดมุ่งหมายของนโยบาย โดยการเผยแพร่และเปิดโอกาสให้ลูกจ้างมีส่วนร่วมในการให้ข้อคิดเห็นและปฏิบัติตามนโยบาย รวมทั้งมีการทบทวนเป็นระยะ ๆ เพื่อให้แน่ใจว่านโยบายที่กำหนดขึ้นยังมีความเหมาะสมกับองค์กร และองค์กรต้องจัดทำและปฏิบัติตามเอกสารขั้นตอนการดำเนินงานในการสื่อสารด้านพลังงาน โดยให้ องค์กรรับฟังข้อคิดเห็นและคำแนะนำ การประชาสัมพันธ์ การรับและการตอบสนองข้อมูลข่าวสารระหว่างบุคคล ผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานระดับต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอก

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพทางเทคนิค

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญที่ช่วยในการบ่งชี้ลักษณะการใช้พลังงานขององค์กร ระดับพลังงานที่ใช้ และการประมาณระดับการใช้พลังงานทุกกิจกรรม ในการประเมินองค์กรจะต้องพิจารณา

- (1) ข้อมูลการใช้พลังงานทั้งในอดีต และปัจจุบัน
- (2) รายการอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูง
- (3) แผนงานด้านอนุรักษ์พลังงาน
- (4) ศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อค้นหาศักยภาพขององค์กรในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่า ของเสีย (Waste) มีด้วยกันทั้งสิ้น 7 ประเภทได้แก่ การผลิตที่มากเกินไป (Overproduction) การรอ (Waiting) การขนย้าย (Transportation) ขั้นตอนการผลิตมากเกินไป (Over-processing) พัสตุดังคลัง (Inventory) การเคลื่อนไหว (Motion) และการซ่อมแซม/ปรับสภาพ (Rework) นอกจากนี้ บางครั้งยังมีประเภทที่ 8 คือ การที่ไม่สามารถใช้ความสามารถของพนักงานอย่างเต็มที่ ไม่ว่าจะเป็นของเสียประเภทใด ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานทั้งสิ้น

ดังนั้น การพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์กระบวนการผลิต และ Flow ของการผลิตอย่างละเอียด การประเมินสถานะการใช้พลังงานจึงแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

(1) การประเมินระดับองค์กร

เป็นการประเมินการใช้พลังงานทั้งองค์กร ไม่แยกเป็นหน่วยหรืออุปกรณ์ โดยส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าหรือค่าเชื้อเพลิง การประเมินแบบนี้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ 2 รูปแบบ

- เปรียบเทียบการใช้แบบภายใน เป็นการเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีตว่าโดยรวมแล้วองค์กรใช้พลังงานมากขึ้น น้อยลง หรือเท่าเดิม เมื่อเทียบที่กำลังการผลิตเดียวกัน



○ เปรียบเทียบกับโรงงานอื่นที่มีขนาดเท่ากัน มีกระบวนการผลิตคล้ายกันการเปรียบเทียบมักทำได้ยากเพราะไม่สามารถหาข้อมูลหรือโรงงานที่เหมือนกันได้

(2) การประเมินระดับประเภทสินค้า

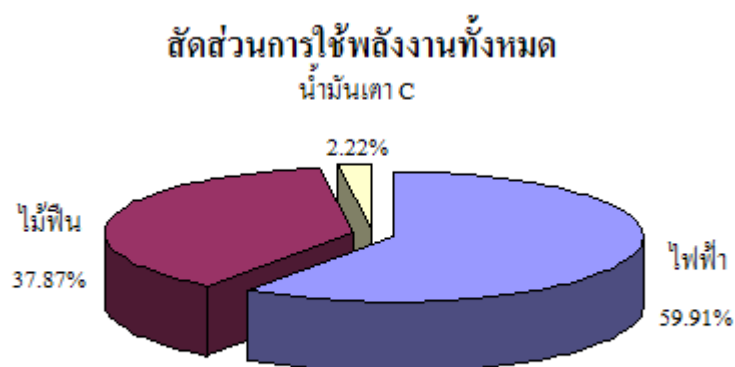
องค์กรส่วนใหญ่ต้องการข้อมูลระดับสินค้าเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุน การจะคำนวณข้อมูลดังกล่าวสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

○ ระบบไฟฟ้า/เชื้อเพลิงที่มีระบบกระบวนการผลิตจัดทำไว้เป็นอย่างดี กล่าวคือ แยกระบบการเก็บข้อมูลด้านพลังงานได้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ ไม่มีการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าหรือท่อทางแบบ “ชั่วคราวอย่างถาวร” ทำให้สามารถใช้อุปกรณ์ประเภท Data Logger เก็บข้อมูลแบบ Real Time และเมื่อได้ข้อมูลแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่าดัชนีพลังงาน/ชิ้น ได้ง่าย

○ ระบบไฟฟ้า/เชื้อเพลิงที่ไม่เป็นระบบเท่าที่ควร จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ในสายการผลิตมาประกอบการคำนวณ ในกรณีนี้ ย่อมมีความคลาดเคลื่อนค่าพลังงานที่ไม่เป็นจริง



รูปที่ 9 แสดงการตรวจวัดและเก็บข้อมูลด้านพลังงาน



รูปที่ 10 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานตามสัดส่วนชนิดของพลังงานที่ใช้

(3) การประเมินระดับอุปกรณ์

เป็นการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เรียกว่า Benchmarking ต้องมีการเก็บข้อมูลที่พอเพียง มีการวางแผนการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ Specific Energy Consumption (SEC) ที่เหมาะสม

$$SEC = \frac{E}{P}$$

SEC คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงาน หน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) หรือ จูล (Jules) ต่อหน่วยผลผลิต

E คือ ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) หรือ จูล (Jules)

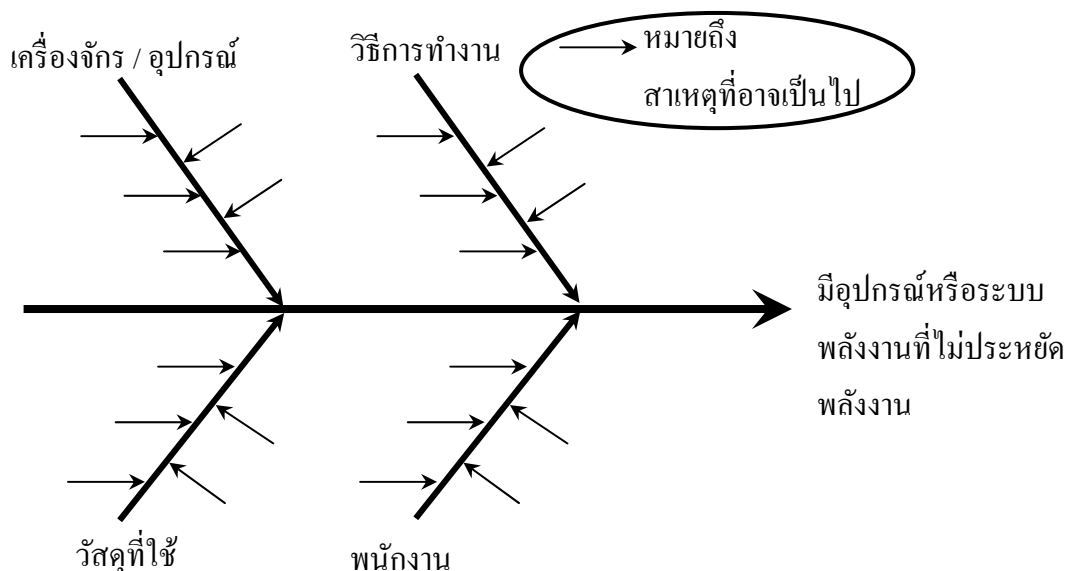
P คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในเดือนนั้นมีหน่วยเป็นตัน (tons) หรือหน่วยมาตรฐานอื่น ๆ

ปัญหาในประเทศไทยในปัจจุบันคือการขาดข้อมูลที่จะใช้ในการเปรียบเทียบทั้งระดับอุตสาหกรรมและระดับอุปกรณ์ ในบางกรณีจึงจำเป็นต้องเทียบกับข้อมูลจากต่างประเทศ ซึ่งมีความแตกต่างในหลายๆด้าน เช่น ภูมิอากาศ (ส่งผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการให้ความอบอุ่นในโรงงาน) เป็นต้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ตระหนักในอุปสรรคนี้และกำลังเร่งดำเนินการจัดทำฐานข้อมูลซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการ

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดมาตรการ เป้าหมาย และการคำนวณผลตอบแทนทางการเงิน

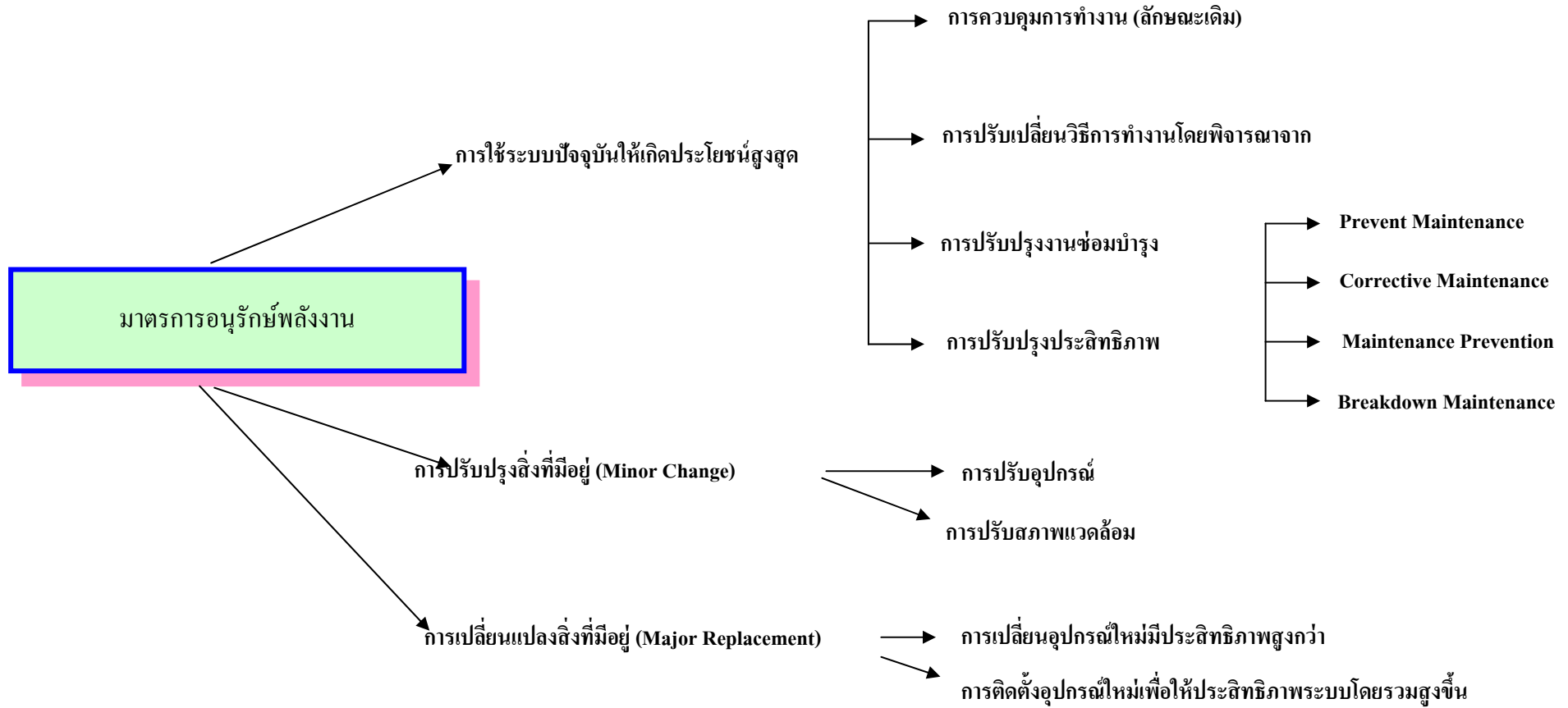


แนวทางการกำหนดมาตรการที่ช่วยแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่พบจากการทำ Benchmarking มีด้วยกันหลากหลายวิธี ขึ้นกับความคุ้นเคยของแต่ละองค์กร โดยใช้หลักการของ Cause-and-Effect Diagram หรือที่ในบางครั้งเรียกว่า “Fishbone Diagram” หรือ “Ishikawa Diagram”



รูปที่ 11 แสดงแผนภูมิก้างปลาเพื่อหาสาเหตุของการไม่ประหยัดพลังงาน

โดยด้านหัวปลา คือ อุปกรณ์หรือระบบพลังงานที่ไม่ประหยัดพลังงาน แล้วพิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดการไม่ประหยัดพลังงาน ซึ่งเขียนลงบนก้างปลาแต่ละชิ้นได้ โดยแบ่งสาเหตุออกเป็น 4 ประการ ได้แก่ สาเหตุจากเครื่องจักร / อุปกรณ์ สาเหตุจากวัสดุหรือวัตถุดิบ สาเหตุจากวิธีการทำงานและประการสุดท้ายคือ สาเหตุจากพนักงานเอง ในการกำหนดสาเหตุของอุปกรณ์หรือระบบพลังงานที่ไม่ประหยัดพลังงานนั้น มีแนวทางที่ดี คือ การระดมความคิดเห็นจากพนักงานในองค์กร เพราะในที่สุดแล้วพนักงานส่วนใหญ่จะนำมาตรการเหล่านั้นไปใช้เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนด



รูปที่ 12 แนวทางการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน



การกำหนดเป้าหมาย

เมื่อองค์กรสามารถกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้แล้ว คณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานก็จะทำการกำหนดเป้าหมายโดยมีวิธีการ 3 แนวทาง คือ

1. ให้ผู้บริหารระดับสูง กำหนดเป้าหมายโดยพิจารณาข้อมูลในอดีต หรือความเป็นไปได้ในอุตสาหกรรม
2. คณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงาน ศึกษาข้อมูลที่เป็นเกณฑ์ Benchmark ที่จะทำให้องค์กรอนุรักษ์พลังงานได้ใกล้เคียงกับ Benchmark
3. คณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานหาข้อมูลการใช้พลังงานที่เคยต่ำสุดในกระบวนการผลิตหรือบริการแบบเดียวกันในองค์กรของงาน แล้วกำหนดเป้าหมายให้ได้ต่ำสุดเท่าที่เคยทำได้

การคำนวณผลตอบแทนทางการเงิน

ภายหลังจากที่กำหนดเป้าหมายโดยใช้แนวทางใดแนวทางหนึ่งตามที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ทีมงานอนุรักษ์พลังงานต้องประมาณค่าใช้จ่ายที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนด ในที่สุดจะมีตารางแสดงมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เป้าหมาย เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ อย่างไรก็ตาม องค์กรส่วนใหญ่ไม่มีทรัพยากรเพียงพอ โดยเฉพาะด้านการเงินที่จะลงทุน จึงจำเป็นต้องตัดสินใจลงทุนในมาตรการที่เหมาะสมที่สุด ให้ผลตอบแทนดีผ่านเกณฑ์ขององค์กร การนำเสนอผลตอบแทนต่อผู้บริหารที่ดีที่สุดจึงเป็นการคำนวณบนฐานการเงิน ซึ่งแนวทางที่เป็นที่ยอมรับได้แก่ Pay Back Period และ Internal Rate of Return

(1) Pay Back Period เป็นการคำนวณผลตอบแทนทางการเงินแบบง่าย ๆ โดยใช้สมการ

$$\text{Pay Back Period} = \frac{\text{Investment}}{\text{Saving per period}}$$

ตัวอย่างเช่น มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพต้องใช้เงินลงทุน 1 ล้านบาท โดยจะทำให้ใช้พลังงานลดลง คิดเป็นเงิน 250,000 บาทต่อปี ดังนั้น Pay Back Period เท่ากับ 4 ปี เป็นต้น ข้อเสียของการใช้ Pay Back Period คือ มิได้มีการคิดค่าของเงินลดลงทุกปี ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมกับมาตรการที่มีอายุการคำนวณนานๆ เช่น มากกว่า 5 ปี

(2) Internal Rate of Return (IRR)

ในความเป็นจริง ค่าของเงินไม่คงที่หากแต่ลดลงทุกๆ ปี ลองนึกถึงสมัยที่ท่านยังเป็นเด็ก ข้าวแกงหนึ่งจานมีราคาเท่าไร ทุกวันนี้ราคาแพงขึ้นจากเดิมเท่าไร เมื่อเป็นเช่นนี้การคำนวณผลตอบแทนทางการเงินโดยใช้ค่า Pay Back Period จึงไม่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องใช้วิธีที่น่าอัศจรรย์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งที่นิยม คือการใช้ Internal Rate of Return (IRR)



ค่า Internal Rate of Return (IRR) คือ อัตราดอกเบี้ยที่ค่าของเงินลดลง และเมื่อบวกค่าของเงินที่คงเหลืออยู่เข้าด้วยกันจะเท่ากับเงินลงทุนที่ลงไปในปีแรก

องค์กรส่วนใหญ่มีเกณฑ์ภายในที่ใช้ในการกำหนดค่า IRR ของโครงการที่องค์กรจะลงทุน ซึ่งค่านี้จะแปรหลากหลายขึ้นกับวัฒนธรรมขององค์กร เช่น องค์กรที่ค่อนข้าง Conservative มักจะมีค่า IRR Requirement สูง ในขณะที่องค์กรที่ยอมรับความเสี่ยงได้สูงจะมีค่าที่ต่ำกว่า

ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำแผนปฏิบัติการ

หลังจากที่องค์กรสามารถหามาตรการอนุรักษ์พลังงานและตั้งเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน พร้อมทั้งมีการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินแล้ว ที่ปรึกษาจะแนะนำให้องค์กรจัดทำแผนปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย

แผนหมายเลข 1. แผนเพื่อรองรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่คัดเลือกโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

แผนหมายเลข 2. แผนประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างจิตสำนึกของพนักงานในองค์กร โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

แผนหมายเลข 3. แผนการฝึกอบรม เพื่อสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยคณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงาน หรือผู้จัดการพลังงาน จะทำการวิเคราะห์ความจำเป็นในการฝึกอบรมของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีอยู่ในแผนหมายเลข 1. ข้างต้น

แผนปฏิบัติการที่จัดทำขึ้นจะต้องแสดงถึงวัตถุประสงค์ของมาตรการ ตัวชี้วัด ความสำเร็จของมาตรการ ผู้รับผิดชอบ งบประมาณ ระยะเวลาดำเนินการ และกลุ่มเป้าหมาย เป็นอย่างน้อย

ขั้นตอนที่ 7 การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ

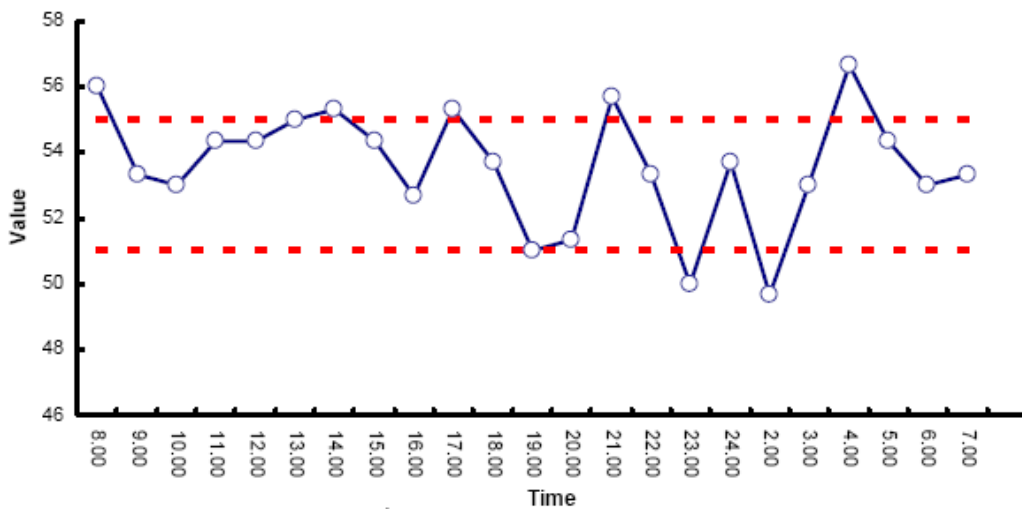
หลังจากที่มาตรการต่างๆ ผ่านการอนุมัติจากผู้บริหารระดับสูงขององค์กร ผู้ที่ได้รับมอบหมายก็จะ มีหน้าที่นำไปปฏิบัติ เพื่อให้เกิดผลตามกำหนดเวลาที่ระบุ ในระหว่างที่กำลังดำเนินการยังไม่แล้วเสร็จ จำเป็นจะต้องติดตามความก้าวหน้าและเปรียบเทียบกับแผนงาน (% Completion) เมื่อดำเนินการตามจนแล้วเสร็จตามที่กำหนดไว้ การติดตามตรวจสอบก็มีความสำคัญ โดยเทคนิคที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นการสร้าง “แผนภูมิควบคุม (Control Chart)” ซึ่งมีได้หลายรูปแบบ องค์กรสามารถเลือกใช้ตามที่เหมาะสม

- รูปแบบที่ 1 แผนภูมิควบคุมแบบธรรมดา เป็นการสร้างแผนภูมิของค่า Parameter ที่ควบคุม โดยในแผนภูมิจะแสดงค่า Upper Control Limit (UCL) และค่า Lower Control Limit (LCL) ไว้เพื่อให้สามารถเห็นได้ชัดเจนว่าช่วงใดที่ค่าเกินจากเกณฑ์ที่ควบคุม (รูปที่ 13 ซึ่งแสดงแผนภูมิของข้อมูลในตารางที่

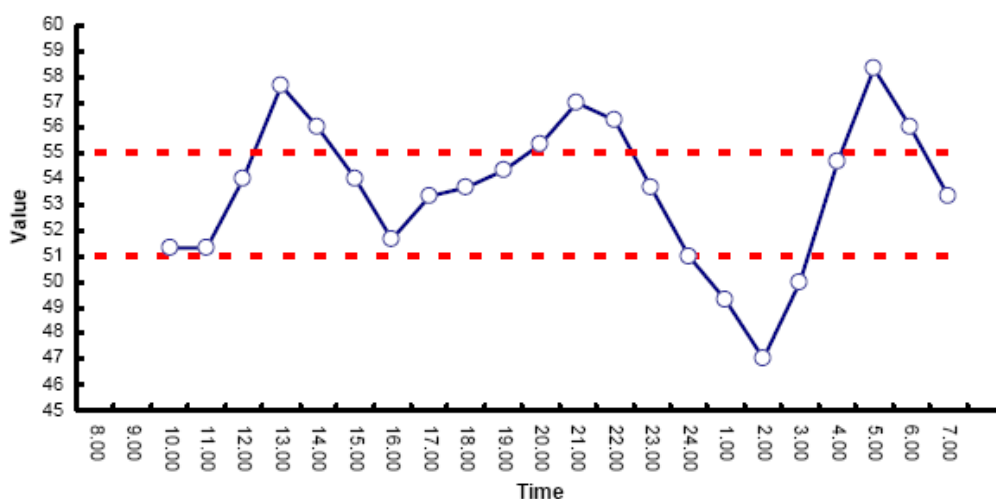


• รูปแบบที่ 2 “Moving Average” Chart หรือแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ซึ่งเหมาะสมในกรณีที่สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 1 ค่าต่อ 1 ช่วงเวลาที่คงที่ โดยค่าที่นำมาสร้างแผนภูมิจะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้จำนวน n ตัวอย่างเช่น ในกรณีของข้อมูลในตารางที่ 7 หากสามารถบันทึกค่าได้เพียง 1 ค่า (สมมติในที่นี้ว่าเป็นค่าที่ 1) และกำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจำนวน 3 ค่า จะได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าแรกจะเกิดตอนเวลา 10.00 น. โดยใช้ค่าของเวลา 8.00 น., 9.00 น. และ 10.00 น. ในการคำนวณซึ่งจะได้เท่ากับ 51.33 ค่าเฉลี่ยลำดับถัดไป จะใช้ค่าของเวลา 9.00 น., 10.00 น. และ 11.00 น. ในการคำนวณซึ่งจะได้เท่ากับ 51.33 เป็นต้น (รูปที่ 14)

ความถี่ในการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแผนภูมิขึ้นอยู่กับความพร้อมขององค์กร ตัวอย่างเช่น องค์กรที่มีระบบข้อมูลที่พร้อม การเก็บข้อมูลเป็นไปโดยอัตโนมัติ และมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ On line คำนวณได้ทันที ก็ควรที่จะ Update แผนภูมิทุกๆ ชั่วโมง สำหรับขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงๆ หากแต่ถ้าเป็นองค์กรที่ไม่พร้อม สามารถ Update แผนภูมิวันละครั้งหรือจะละครั้ง ใดๆก็ตาม ต้องระวังการที่ทิ้งช่วงนานเกินไป อาจทำให้มีการสูญเสียโอกาสที่จะประหยัดพลังงานไปได้



รูปที่ 13 Simple Control Chart



รูปที่ 14 Moving Average Control Chart

ตารางที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการแสดงแผนภูมิควบคุม

เวลา	ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่า Moving Average
8:00	56.00	54.00	58.00	56.00	
9:00	50.00	52.00	58.00	53.33	
10:00	48.00	52.00	59.00	53.00	51.33
11:00	56.00	56.00	51.00	54.33	51.33
12:00	58.00	53.00	52.00	54.33	54.00
13:00	59.00	54.00	52.00	55.00	57.67
14:00	51.00	59.00	56.00	55.33	56.00
15:00	52.00	58.00	53.00	54.33	54.00
16:00	52.00	52.00	54.00	52.67	51.67
17:00	56.00	51.00	59.00	55.33	53.33
18:00	53.00	50.00	58.00	53.67	53.67
19:00	54.00	47.00	52.00	51.00	54.33
20:00	59.00	44.00	51.00	51.33	55.33
21:00	58.00	59.00	50.00	55.67	57.00
22:00	52.00	61.00	47.00	53.33	56.33
23:00	51.00	55.00	44.00	50.00	53.67
0:00	50.00	52.00	59.00	53.67	51.00
1:00	47.00	53.00	61.00	53.67	49.33



2:00	44.00	50.00	55.00	49.67	47.00
3:00	59.00	48.00	52.00	53.00	50.00
4:00	61.00	56.00	53.00	56.67	54.67
5:00	55.00	58.00	50.00	54.33	58.33
6:00	52.00	59.00	48.00	53.00	56.00
7:00	53.00	51.00	56.00	53.33	53.33

ขั้นตอนที่ 8 การทบทวนผลการดำเนินการ

หลังจากที่องค์กรได้ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการไปได้ระยะเวลาอันสมควรแล้ว คณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานขององค์กรจะต้องมีการตรวจประเมินระบบการจัดการพลังงานตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ผู้ตรวจประเมินต้องเป็นบุคคลที่มีความรู้ความสามารถในการตรวจประเมินระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งอาจเป็นกรรมการในคณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงาน และมีความเป็นอิสระจากกิจกรรมที่ทำการตรวจประเมิน เพื่อตัดสินใจว่า

1. การดำเนินการเป็นไปตามแผนปฏิบัติการ
2. กิจกรรมที่ได้ทำไปเป็นลำดับขั้นตอนและอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด
3. การวัดผลความสำเร็จของมาตรการเป็นไปอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง
4. โอกาสที่จะมีความสำเร็จของมาตรการมีสูง การให้คำแนะนำและสร้างกำลังใจจากกรรมการผู้ตรวจประเมินให้แก่ผู้รับผิดชอบในกิจกรรมต่างๆ ในมาตรการอนุรักษ์พลังงาน จะมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาให้เกิดระบบการจัดการพลังงานในองค์กรอย่างยั่งยืนด้วยความถี่ของการตรวจประเมินภายในขึ้นอยู่กับข้อกำหนดโดยองค์กร ทั้งนี้ควรทำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

นอกจากการตรวจประเมินภายในแล้ว คณะกรรมการบริหารพลังงานขององค์กร ต้องทบทวนระบบการจัดการพลังงานตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น ปีละ 1 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบการจัดการยังคงมีความเหมาะสมโดยพิจารณาถึง

1. ผลการดำเนินงานของระบบการจัดการพลังงานทั้งหมด
2. ผลการดำเนินงานเฉพาะแต่ละแผนปฏิบัติการ
3. สิ่งที่พบจากการตรวจประเมินภายใน
4. ปัจจัยภายในและภายนอก เช่น การเปลี่ยนโครงสร้างขององค์กร การเปลี่ยนแนวทางทำธุรกิจ แนวทางดำเนินงานด้านพลังงาน พิจารณาข้อปฏิบัติที่ดี หรือการดำเนินงานที่ดีของ



องค์กรอื่นที่ได้จัดทำไว้ เพื่อนำมาปรับใช้กับองค์กรการติดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และ การติดตามเทคโนโลยีใหม่ๆ เป็นต้น

10. มาตรการในการประหยัดพลังงาน

มาตรการในการประหยัดพลังงานในเบื้องต้นควรจะต้องเริ่มจากมาตรการที่เห็นผลเร็ว ลงทุนน้อย หรือไม่ต้องลงทุนเลย โดยแยกแต่ละระบบได้ดังนี้

ระบบแสงสว่าง

1. ปิดไฟทุกพักเที่ยง
2. ใช้หลอดฟลูออโรหลอดประหยัด
3. ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์คู่กับหลอดฟลูออโรหลอดประหยัด
4. ใช้โคมไฟที่มีแผ่นสะท้อนแสง เพื่อช่วยกระจายความสว่าง
5. ใช้หลอดไฟที่มีวัตต์ต่ำสำหรับการเปิดไฟไว้ทั้งคืน
6. ติดตั้งไฟเฉพาะจุดแทนการเปิดไฟทั้งห้อง
7. ใช้สีอ่อนภายในอาคาร เพื่อให้ห้องสว่างขึ้น
8. ใช้แสงสว่างจากธรรมชาติให้มากที่สุด
9. ถอดหลอดไฟออกครึ่งหนึ่งในบริเวณที่ต้องการแสงสว่างน้อย
10. เปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดตะเกียบ
11. ใช้บัลลาสต์แบบสูญเสียต่ำแทนบัลลาสต์แกนเหล็กที่กำลังจะเปลี่ยน
12. ทำความสะอาดหลอดไฟ
13. แยกสวิทช์ไฟฟ้าออกจากกันทั้งบ้าน เพื่อสามารถเลือกเปิดปิดได้เฉพาะจุด

ระบบปรับอากาศ

14. เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากเบอร์ 5
15. ถ้าวอกจากห้องเกิน 1 ชั่วโมง ปิดเครื่องปรับอากาศทุกครั้ง
16. หมั่นทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศของเครื่องปรับอากาศ
17. ใส่อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสภาพเมืองร้อน ช่วยประหยัดค่าไฟเครื่องปรับอากาศ
18. ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส
19. ตรวจสอบอุดรอยรั่วในห้องและปิดประตูทุกครั้งก่อนใช้เครื่องปรับอากาศ
20. หลีกเลี่ยงการเก็บวัสดุที่ไม่จำเป็นในห้องปรับอากาศ
21. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนรอบผนังและบนเพดาน
22. ใช้มู่ลี่หรือกันสาด ป้องกันแสงแดดกระทบตัวอาคาร เพื่อไม่ให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนัก



23. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการปิดเปิดประตูในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ
24. ปลุกต้นไม้รอบๆอาคาร เพื่อเพิ่มความชื้นและบดบังแสงแดดให้แก่อาคาร
25. สร้างร่มไม้ใหญ่เพื่อลดอุณหภูมิให้อาคาร
26. ใช้สีอ่อนตกแต่งอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิจากภายนอกอาคาร
27. ปลุกพืชคลุมดินเพื่อลดความร้อนจากไอน้ำ
28. หลีกเลี่ยงการใช้เฟอร์นิเจอร์ที่อมความร้อน เช่น เก้าอี้หนัง หรือสั๊กลาดในห้องปรับอากาศ
29. ถ้าไม่จำเป็น ควรใช้พัดลมแทนเครื่องปรับอากาศ
30. ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ปล่อยความร้อน ในห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ
31. หมั่นตรวจเช็คสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศ
32. กำจัดสิ่งขีดขวางทางออกของลมเย็น
33. กำจัดสิ่งขีดขวางทางออกของลมร้อนรอบ Condensing Unit
34. ไม่ควรตากผ้าภายในห้องปรับอากาศ

ตู้เย็น

35. ปิดตู้เย็นให้สนิททุกครั้งหลังปิด
36. ไม่ควรเปิดตู้เย็นบ่อย หรือนำของร้อนเข้าแช่ในตู้เย็น
37. ตรวจสอบขอบยางประตูตู้เย็น ไม่ให้เสื่อม
38. เลือกขนาดตู้เย็นให้เหมาะกับขนาดของครอบครัว
39. ละลายน้ำแข็งในตู้เย็นอย่างสม่ำเสมอ
40. เลือกซื้อตู้เย็นประตูเดียวประหยัดกว่านะ
41. ตั้งสวิทช์อุณหภูมิในตู้เย็นให้เหมาะสม

อุปกรณ์ไฟฟ้า

42. ปิดสวิทช์ไฟและเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกครั้งที่เลิกใช้งาน
43. เลือกซื้อพัดที่มีเครื่องหมายมาตรฐานรับรอง
44. ไม่ควรพรมน้ำจนแฉะเวลารีดผ้า เพราะทำให้ต้องใช้ไฟในการรีดมากขึ้น
45. ดึงปลั๊กเตารีดออกก่อนรีดผ้าเสร็จเล็กน้อย ความร้อนที่เหลือยังใช้รีด ต่อได้อีก
46. เสียบปลั๊กแล้ว ควรรีดผ้าให้เสร็จในคราวเดียว
47. เลือกภาชนะให้เหมาะสมกับปริมาณอาหารที่ปรุง
48. ใส่น้ำให้เต็มพิกัดเครื่องซักผ้าทุกครั้งที่ใช้
49. ตากเสื้อกับแสงแดด ประหยัดกว่ากรอบ (หอมกว่าด้วย)



50. ปิดโทรทัศน์ทุกครั้ง ทันทีที่ไม่มีคนดู
51. ไม่ปรับจอโทรทัศน์ให้สว่างเกินไป
52. ดูโทรทัศน์ร่วมกันเครื่องเดียวที่บ้าน
53. เช็ดผมให้หมาดก่อนใช้เป่าผม
54. ใช้เตาแก๊สหุงต้ม ประหยัดกว่าเตาไฟฟ้า
55. ดึงปลั๊กกาดัมน้ำไฟฟ้าออกทันทีเมื่อน้ำเดือด
56. อย่าเสียบปลั๊กหม้อหุงข้าวทิ้งไว้ตลอดเวลา
57. หมั่นซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้า
58. อย่าเปิดคอมพิวเตอร์ไว้ถ้าไม่ใช้งาน
59. ตั้งโหมด Stand By คอมพิวเตอร์ทุกครั้งที่ไม่ได้ใช้งาน
60. ดูสัญลักษณ์ ENERGY STAR ก่อนซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าของสำนักงาน

ระบบสุขาภิบาล

61. หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำ
62. ไม่เปิดน้ำทิ้งไว้ตอน โยนขวดแปรงฟัน หรือถูสบู่
63. ใช้สบู่เหลวแทนสบู่ก่อนเวลาล้างมือ เพราะจะใช้น้ำน้อยกว่า
64. รองน้ำซักผ้าแค่พอดีใช้ อย่าเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลาการซัก
65. ใช้บัวรดน้ำแทนสายยางฉีดน้ำ
66. ไม่ควรใช้สายยางล้างรถ และอย่าเปิดน้ำไหลตลอดเวลา
67. ล้างรถเท่าที่จำเป็น
68. หมั่นตรวจสอบท่อน้ำในบ้านว่ามีรอยรั่วหรือไม่
69. ล้างผักผลไม้ในอ่างหรือภาชนะ
70. ล้างจานครั้งละหลายๆในอ่างล้างจาน
71. หมั่นตรวจสอบจุดรั่วซึมของชักโครก
72. ใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ
73. ติดอุปกรณ์เติมอากาศที่หัวก๊อก
74. ไม่ควรรดน้ำต้นไม้ตอนแดดจัด
75. อย่าทิ้งน้ำดื่มที่เหลือ โดยเปล่าประโยชน์
76. รินน้ำให้พอดีดื่ม
77. ติดตั้งถังเก็บน้ำไว้บนชั้นสูงสุดของอาคาร
78. ป้อนน้ำขึ้นแท็งก์น้ำ ในช่วง Off Peak



ระบบขนส่ง

79. ตรวจสอบลมยางเป็นประจำ
80. ดับเปลี่ยนยางตรวจตั้งศูนย์ล้อตามกำหนด
81. ดับเครื่องทุกครั้งเมื่อต้องจอดครณานๆ
82. ใช้เกียร์ให้เหมาะสมกับสภาพเส้นทาง
83. ไม่ออกรถกระชากจนดิ่งเอียง
84. ไม่เร่งเครื่องยนต์ตอนเกียร์ว่าง (เบิ้ลเครื่อง)
85. ตรวจเช็ครถยนต์สม่ำเสมอ
86. ไม่ต้องอุ่นเครื่อง ขับช้าๆ เครื่องจะอุ่นเองที่ 1-2 กิโลเมตรแรก
87. ไม่บรรทุกน้ำหนักเกินพิกัด
88. ใช้ระบบการใช้รถร่วมกัน (Car Pool)
89. ใช้โทรศัพท์ โทรสาร ไปรษณีย์ หรืออินเทอร์เน็ต แทนการเดินทาง
90. เดินทางใกล้ๆ ใช้จักรยาน
91. โทรนัดล่วงหน้าก่อนเดินทาง
92. ศึกษาแผนที่ในการเดินทางให้ดี
93. กำหนดเส้นทางและช่วงเวลาการเดินทางให้เหมาะสม
94. เป่าทำความสะอาดไส้กรองอากาศ และเปลี่ยนไส้กรองอากาศ ตามความเหมาะสม
95. ไม่ติดตั้งอุปกรณ์แต่งรถ ที่จะทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนักขึ้น
96. ใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทน เหมาะกับชนิดของรถ
97. เปลี่ยนน้ำมันเครื่อง และไส้กรองน้ำมันเครื่อง ตามความเหมาะสม
98. ไม่เลี้ยงคลัตช์ เร่งเครื่อง เพื่อไม่ให้รถไหลขณะอยู่บนทางลาด

การประหยัดพลังงานอื่นๆ

99. ใช้กระดาษให้คุ้มทั้ง 2 หน้า
100. ใช้กระดาษขนาดเล็กปะหน้า โทรสารแทนกระดาษเต็มแผ่น
101. ส่งผ่านข้อมูลข่าวสารทางคอมพิวเตอร์ ช่วยลดขั้นตอน ช่วยลดพลังงาน
102. งดการใช้งานกระดาษและแก้วกระดาษ ในงานสังสรรค์
103. แยกประเภทขยะ
104. ขึ้นลงชั้นเดียว ไม่ต้องใช้ลิฟท์
105. ใช้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



106. ใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้
 107. ใช้ตะกร้าหรือถุงผ้าไปจ่ายตลาด
 108. ปลุกฝังค่านิยมให้เด็กไม่ใช้ทรัพยากรอย่างสูญเปล่า
-

เรียบเรียงโดย

น.ส.สุภาวดี ทิพย์ทวีชัย

ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกพัฒนาการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า

กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

คู่มือชุดความรู้

การอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงพยาบาล



กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

กระทรวงพลังงาน

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ เราใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง การบริการ และการผลิต ทั้งในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม การใช้พลังงานในประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงนับวันมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกที ในขณะที่ประเทศของเราไม่มีแหล่งน้ำมันเพียงพอกับความต้องการใช้ในประเทศ ในแต่ละปีรัฐจึงต้องสูญเสียงบประมาณในการนำเข้าน้ำมันดิบเป็นจำนวนมหาศาล

แหล่งน้ำมันในโลกมีจำนวนจำกัดและต้องหมดไปในวันหนึ่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แนวโน้มราคาน้ำมันจึงมีแต่จะสูงขึ้น ประเทศผู้นำเข้าน้ำมันอย่างประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องรณรงค์สร้างความร่วมมือร่วมใจกันอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เราต้องซื้อมาด้วยราคาแพงให้คุ้มค่าที่สุด การรณรงค์อนุรักษ์พลังงานต้องทำในทุกส่วนของสังคม ทั้งภาครัฐและเอกชน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้ตระหนักถึงปัญหาเร่งด่วนดังกล่าว และเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาด้านพลังงานที่ทุกคนควรมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน จึงได้จัดทำเอกสารขึ้น 2 ชุด ได้แก่ เอกสารเผยแพร่ชุด **รู้ อนุรักษ์พลังงาน จำนวน 16 เล่ม** สำหรับประชาชนทั่วไป และกลุ่มโรงงานและอาคารควบคุม เพื่อให้เกิดความตระหนักรู้เท่าทัน รู้วิธีประหยัดพลังงานอย่างเป็นรูปธรรม

นอกจากนี้ยังได้จัดทำ **คู่มือชุดความรู้ จำนวน 8 เล่ม** เพื่อใช้เป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาคอุตสาหกรรมและภาคการบริการ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและบริการ และเป็นการลดการใช้พลังงานของประเทศได้อีกด้วย

พพ. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารทั้งสองชุดจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานและประชาชนทั่วไป และก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานจนปรากฏผลลัพท์จริง พร้อมทั้งจะเป็นแรงจูงใจให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการอนุรักษ์พลังงานเร็วยิ่งขึ้น

หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติมหรือต้องการคำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และการแก้ปัญหาการอนุรักษ์พลังงานด้านต่างๆ สามารถติดต่อที่หน่วยลูกค้าสัมพันธ์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน หมายเลขโทรศัพท์ **0-2226-2311** หรือ **www.dede.go.th** E-mail: **dedeoss@dede.go.th**

รายชื่อเอกสารเผยแพร่ชุด รัฐ 'รักษ์พลังงาน' จำนวน 16 เล่ม

1. รู้เท่าทันสถานการณ์พลังงาน
2. การเลือกใช้วัสดุเพื่ออนุรักษ์พลังงาน
3. กฎหมายอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงาน
และอาคารควบคุม
4. การจัดองค์กรเพื่ออนุรักษ์พลังงาน
5. การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า
6. ระบบทำความเย็น
7. ระบบแสงสว่าง
8. ระบบไอน้ำ
9. ระบบอากาศอัด
10. มอเตอร์
11. ตู้เย็นพาณิชย์
12. เครื่องปรับอากาศในบ้าน
13. ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับบ้านพักอาศัย
14. เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน
15. บั๊มน้ำในบ้าน
16. การใช้รถยนต์อย่างประหยัด

หมายเหตุ

- เอกสารที่มีสันสีน้ำเงิน ส้ม เขียว เหมาะสำหรับประชาชนทั่วไป
- เอกสารที่มีสันสีน้ำเงิน ส้ม เหมาะสำหรับอาคารและโรงงาน
- เอกสารที่มีสันสีน้ำเงิน เหมาะสำหรับโรงงาน
- เอกสารที่มีสันสีส้ม เหมาะสำหรับอาคาร
- เอกสารที่มีสันสีเขียว เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัย

รายชื่อคู่มือชุดความรู้ จำนวน 8 เล่ม

1. โรงแรม
2. อาคารสำนักงาน
3. ห้างสรรพสินค้า
4. โรงพยาบาล
5. อุตสาหกรรมสิ่งทอ
6. อุตสาหกรรมกระดาษ
7. อุตสาหกรรมอาหาร
8. อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน

บทที่ 1	6
บทนำ	
บทที่ 2	9
การวางแผนจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า	
บทที่ 3	17
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	
บทที่ 4	22
ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ	
บทที่ 5	42
ระบบขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า	
บทที่ 6	48
ระบบทำความร้อน	
เอกสารอ้างอิง	57

โรงพยาบาลเป็นสถานประกอบการที่ให้บริการทางการแพทย์ ทำการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคแก่ผู้เข้ามาใช้บริการ เป็นสถานประกอบการที่ต้องเปิดทำการอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เพราะความเจ็บป่วยไม่สามารถคาดเดาล่วงหน้าได้

จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักงานรัฐมนตรีเมื่อปี พ.ศ. 2544 พบว่าโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชนทั้งประเภททั่วไปและเฉพาะทางมีจำนวนทั้งสิ้น 424 แห่ง อยู่ในกรุงเทพมหานคร 120 แห่ง ภาคเหนือ 61 แห่ง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 53 แห่ง ภาคใต้ 47 แห่ง และภาคกลาง 143 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 1 - 1

ตารางที่ 1 - 1

จำนวนของโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชน

จำแนกตามประเภทและขนาดของโรงพยาบาลตามภูมิภาค

(แห่ง)

ประเภท/ขนาดของโรงพยาบาล	ทั่วราชอาณาจักร	กรุงเทพมหานคร	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคใต้
ประเภทของโรงพยาบาล						
ทั่วไป	376	94	138	56	51	37
เฉพาะทาง	48	26	5	5	2	10
รวม	424	120	143	61	53	47
ขนาดของโรงพยาบาล						
ต่ำกว่า 11 เตียง	67	19	20	7	6	15
30 - 50	103	22	40	15	14	12
31 - 50	62	12	21	11	11	7
51 - 100	93	21	33	17	16	6
101 - 250	71	24	26	8	6	7
มากกว่า 250 เตียง	28	22	3	3		

ที่มา : รายงานการสำรวจโรงพยาบาลและสถานพยาบาลเอกชน พ.ศ. 2544 สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักงานรัฐมนตรี

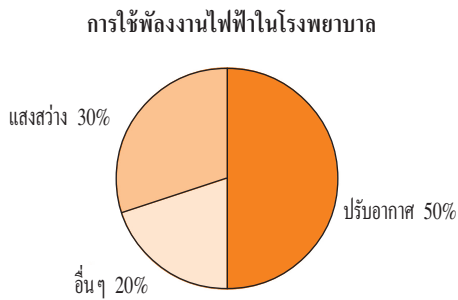
เมื่อต้องเปิดดำเนินงานตลอด 24 ชั่วโมง โรงพยาบาลจึงเป็นสถานประกอบการที่ใช้พลังงานสูงมากประเภทหนึ่ง ผู้บริหารของโรงพยาบาลจึงควรสนใจบริหารจัดการอนุรักษ์พลังงานในสถานประกอบการของตนเอง เพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เท่ากับเป็นการลดต้นทุนการประกอบการลง

1.1 การใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ ของโรงพยาบาล

ภายในอาคารโรงพยาบาลประกอบด้วยพื้นที่ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกการใช้พลังงานเป็นระบบได้ดังนี้

- ระบบแสงสว่าง
- ระบบปรับอากาศ
- ระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน
- ระบบทำความร้อน

ระบบดังกล่าวใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเป็นหลัก การใช้พลังงานไฟฟ้านั้นใช้ในระบบปรับอากาศมากที่สุดถึงร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานทั้งหมด รองลงมาคือ ระบบแสงสว่างร้อยละ 30 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 20 ดังแสดงในแผนภูมิ



เนื่องจากคู่มือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานอนุรักษ์พลังงานในระบบต่างๆ ของโรงพยาบาล เนื้อหาจึงเน้นไปที่มาตรการและตารางการปฏิบัติงานที่ผู้อ่านสามารถนำไปใช้ได้ทันที ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานในแผนกต่างๆ ของโรงพยาบาลสามารถศึกษารายละเอียดได้ตามตารางที่ 1 - 2 หน้า 8 การใช้พลังงานในระบบต่างๆ ในโรงพยาบาล

หากท่านผู้อ่านต้องการศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในระบบต่างๆ ในตาราง 1 - 2 สามารถอ่านรายละเอียดได้จากเอกสารเผยแพร่ ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ตามหัวข้อที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

- ความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน การบริหารจัดการองค์กรเพื่ออนุรักษ์พลังงาน และการวางแผนอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในภาพรวม โปรดอ่านเอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ 'รักษ์พลังงาน เรื่องกฎหมายอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานและอาคารควบคุม การจัดการองค์กรเพื่ออนุรักษ์พลังงาน และการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า
- ความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระบบแสงสว่าง โปรดอ่านเอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ 'รักษ์พลังงาน เรื่องระบบแสงสว่าง
- ความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ โปรดอ่านเอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ 'รักษ์พลังงาน เรื่องระบบทำความเย็น และการเลือกใช้วัสดุเพื่ออนุรักษ์พลังงาน
- ความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน โปรดอ่านเอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ 'รักษ์พลังงาน เรื่องมอเตอร์
- ความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน โปรดอ่านเอกสารเผยแพร่ชุดความรู้ 'รักษ์พลังงาน เรื่องระบบไอน้ำ และระบบอากาศอัด

การใช้พลังงานในระบบต่างๆ ในโรงพยาบาล

พื้นที่ในโรงพยาบาล	การใช้พลังงานในระบบต่างๆ				
	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ	ระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า		ระบบทำความร้อน
			มอเตอร์	ปั๊มน้ำ	
คูบทที่ 3	คูบทที่ 4	คูบทที่ 5		คูบทที่ 6	
ส่วนหน้าประชาสัมพันธ์	●	●			
สำนักงาน	●	●			
แผนกบริการผู้ป่วยนอก	●	●			
บริเวณจ่ายยา/เคาน์เตอร์	●	●			
ห้องอาหาร	●	●			
ห้องคนไข้	●	●			
ห้องผ่าตัด	●	●			
ห้องเก็บเครื่องมือแพทย์	●	●			
ห้องครัว/แผนกโภชนาการ	●	●			●
ลิฟต์และบันไดเลื่อน	●		●		
ห้องซักรีด	●				●
ทางเดินภายใน	●	●			
ทางเดินรอบนอก	●				
ห้องควบคุมไฟฟ้า	●				
ห้องควบคุมน้ำประปา	●		●	●	
ห้องบำบัดน้ำเสีย	●		●	●	

การวางแผนจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ถือเป็นต้นทุนหนึ่งที่สำคัญในการประกอบกิจการโรงพยาบาล หากลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้จะเป็นการเพิ่มกำไรโดยตรงในการประกอบการ ดังนั้น ผู้บริหารหรือผู้รับผิดชอบด้านพลังงานควรมีการวางแผนจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลเสียก่อน เนื่องจากการจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจะนำไปสู่การวางแผนและควบคุมการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้าและแสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อประหยัดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าควรทำความเข้าใจหลักการคิดคำนวณค่าไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้ามีทั้งส่วนที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ส่วนที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (ค่า Ft) ค่าบริการ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าไฟฟ้ารวมทั้งหมดยุติในแต่ละเดือน ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญและพิจารณาในส่วนที่สามารถควบคุมได้โดยมีวิธีการใช้อย่างระมัดระวังและมีประสิทธิภาพ

2.2 การจัดการต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า

การจัดการด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า หมายถึง การจัดการและควบคุมการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า ลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และลดค่าความต้องการพลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) สูงสุด ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2.1 การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า

การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า สามารถทำได้โดยลดการสูญเสียและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ เช่น ปิดเครื่องจักรในขณะไม่ใช้งาน เลือกขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงาน ติดตั้งระบบอัตโนมัติควบคุมการเปิด - ปิดไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

2.2.2 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

ในการพิจารณาเพื่อลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดลง จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับคำว่าตัวประกอบโหลด (Load Factor : LF) เสียก่อน เนื่องจากตัวประกอบโหลดเป็นตัวประกอบสำคัญในการคิดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อตัวประกอบโหลดมีค่าสูงแสดงว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้น หากมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยก็จะลดลง ตัวประกอบโหลดเป็นค่าที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบเดือน โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 เดือน (kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดใน 1 เดือน (kW)}} \times 100$$

หรือ

$$\text{ตัวประกอบโหลด} = \frac{\text{จำนวนหน่วยที่ใช้ทั้งหมดใน 1 เดือน (kWh)}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ใน 1 เดือน (kW) x จำนวนชั่วโมงใน 1 เดือน (h)}} \times 100$$

การจัดเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในรอบปี (ตารางที่ 2 - 1 หน้า 12) จะช่วยให้ทราบค่าไฟฟ้ารวม และค่าตัวประกอบโหลด สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น โดยการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดลง

ดังนั้น วิธีการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับโรงพยาบาลสามารถปฏิบัติได้ ดังนี้

- ติดตั้ง Peak Demand Controller หรือระบบควบคุมอัตโนมัติ (PLC) เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น บั๊มน้ำ เครื่องปรับอากาศ ลิฟต์ เป็นต้น
- ธรงค์ให้มีการปิดเครื่องปรับอากาศตัวที่ไม่จำเป็นสำหรับช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
- ใช้หลอดไฟและบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงในระบบแสงสว่าง ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดแล้ว ยังสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าตลอดเวลาที่ใช้งานด้วย
- พยายามใช้แสงสว่างเฉพาะจุดที่จำเป็นในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
- จัดสรรเวลาการทำงานของปั๊มน้ำให้ทำงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
- พยายามลดการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้แรงงานคนแทน เช่น งดการใช้ลิฟต์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

2.2.3 การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุด

การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุดสามารถทำได้โดยการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor Correction) ระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ (Power Factor : PF) แสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมากตามไปด้วย การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า และช่วยลดการสูญเสียในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าภายในอาคารโรงพยาบาล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องปรับอากาศและแสงสว่าง เพราะเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่จะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำประมาณ 0.7 - 0.9

2.3 วิธีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

- ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ
- นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม
- การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารวมของอาคาร สามารถหาได้จากการใช้ตารางหาค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า (รายละเอียดในการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม ดูได้จากเอกสารเผยแพร่ชุด รั้ว รั้งษ์พลังงาน เรื่อง “การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า”)

ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าประเภท 4 กิจการขนาดใหญ่ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของค่าไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้

ค่าพลังงานไฟฟ้า
 = (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak x อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak x อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak)
 = (1,801,000 x 2.695) + (3,005,000 x 1.1914) = 8,433,852 บาท

ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)
 ค่า Ft ช่วง On Peak = จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak x ค่า Ft = 1,801,000 x 0.2195 = 395,919.50
 ค่า Ft ช่วง Off Peak = จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak x ค่า Ft = 3,005,000 x 0.2195 = 659,597.50
 ค่าไฟฟ้าผันแปร Ft = ค่า Ft ช่วง On Peak + ค่า Ft ช่วง Off Peak = 1,054,917 บาท

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand)
 ช่วง On Peak = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak x อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak
 = 7,552 x 132.93 = 1,003,887 บาท

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = จำนวน kVar ที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด x อัตราค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
 จำนวน kVar ที่ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า = 0.6197 x 7,552 = 4,679.98 kVar
 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้ = 3,923 kVar < 4,679.98 kVar (ไม่ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า)

การไฟฟ้านครหลวง
รายละเอียดเพิ่มเติม (เดือนปัจจุบัน)

ประเภท 4.2.2 **ตัวคูณ 1000**

ค่าพลังงานไฟฟ้า **8,433,851.94 บาท**

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า **1,003,887.00**

**** 61.97% OF**

เพอร์เซ็นต์เพดเดอร์

ค่าบริการ **228.17**

(รวมค่าไฟฟ้าและค่าบริการ) **9,437,967.11**

ค่า Ft (เพิ่ม/ลด) พ **1,054,917.00**

ส่วนลด

ค่าไฟฟ้ารวม **10,492,884.11**

ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% **734,501.89**

รวมเงิน **11,227,386.00**

รวมเงินที่ต้องชำระสุทธิ 11,227,386.00 บาท

การจัดข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในรอบปีเพื่อหาค่าไฟฟ้ารวมและค่าตัวประกอบโหลด

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	หมายเลขมิเตอร์ xxxxxxxx		ประเภทผู้ใช้ xxxxxxxx		Load Factor (%)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
		อัตราปกติ		ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (kW)			
		TOD		TOU			
		On Peak	Partial Peak	On Peak	Off Peak		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
รวม							
เฉลี่ย							

* Off Peak 1 เวลา 22.00 - 09.00 น. ของวันจันทร์ - ศุกร์

** Off Peak 2 ตลอดทั้งวันของวันเสาร์, อาทิตย์ และวันหยุดราชการประจำปีตามปฏิทิน ไม่รวมวันหยุดชดเชย

$$\text{ตัวประกอบโหลด (Load Factor)} = \frac{\text{จำนวนหน่วยที่ใช้ทั้งหมดใน 1 เดือน (kWh)}}{\text{กำลังไฟสูงสุดที่ใช้ใน 1 เดือน (kW)} \times \text{จำนวนชั่วโมงใน 1 เดือน (h)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าประเภท 4 กิจการขนาดใหญ่ อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff)

โรงพยาบาลแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้าเดือนมกราคมเป็นจำนวน 523,000 kWh ช่วงหัวค่ำมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 600 kW ช่วงตอนกลางวันมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 950 kW

ช่วงตอนกลางคืนมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 875 kW เสียอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 4.1.2

- ช่วงตอนหัวค่ำ (On Peak) เวลา 18.30 - 21.30 = 285.05 บาท/kW ● ค่าพลังงานไฟฟ้า = 1.7034 บาท/kWh
- ช่วงตอนกลางวัน (Partial Peak) เวลา 08.00 - 18.30 = 58.88 บาท/kW ● ค่า Ft = 0.2612 บาท/kWh

วิธีคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 4.1.2

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

1. ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

$$1.1 \text{ ช่วงตอนหัวค่ำ} = 285.05 \times 600 = 171,030.00 \text{ บาท}$$

$$1.2 \text{ ช่วงตอนกลางวัน} = (950 - 600) \times 58.88 = 20,608.00 \text{ บาท}$$

$$2. \text{ ค่าพลังงานไฟฟ้า} = 523,000 \times 1.7034 = 890,878.20 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 2 ค่า Ft

$$3. \text{ ค่า Ft} = 523,000 \times 0.2612 = 136,607.60 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมค่าไฟฟ้า (ข้อ 1 + 2 + 3)} = 1,219,123.80 \text{ บาท}$$

ส่วนที่ 3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

$$4. (\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่า Ft}) \times 0.07 = 1,219,123.80 \times 0.07 = 85,338.67 \text{ บาท}$$

สรุป

$$\text{ค่าไฟรวม} = 1,219,123.80 + 85,338.67 = 1,304,462.47 \text{ บาท}$$

ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บ

$$\text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย} = 1,304,462.50 / 523,000 = 2.49 \text{ บาท/หน่วย}$$

หมายเลขมิเตอร์ xxxxxxxx		ประเภทผู้ใช้ 4.1.2					
เดือน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (kW)		TOU Tariff		Load Factor (%)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
		On Peak	Partial Peak	On Peak	Off Peak		
1	523,000	600	950	875	1* 2**	74	1,304,462.47

2.4 การจัดการระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้า

การจัดการในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ดีจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและช่วยยืดอายุอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลมีมากทำให้ต้องมีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ เพื่อใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงพยาบาล ดังนั้น การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดค่าไฟฟ้าได้

2.4.1 การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าภายในโรงพยาบาลอย่างมีประสิทธิภาพ ทำได้โดย

- เก็บข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งใหม่ (ตารางที่ 2 - 2 หน้า 15)
- ตรวจสอบสภาพการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ เช่น ตรวจสอบวัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า (ตารางที่ 2 - 3 หน้า 16)
- นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางในการจัดโหลดให้สมดุลกันทุกเฟส
- ปรับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการปรับที่ TAP ของหม้อแปลงไฟฟ้า
- เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูง

การเก็บข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

ชื่อสถานประกอบการ.....

รายละเอียด	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4
ประเภทหม้อแปลงไฟฟ้า	<input type="checkbox"/> แบบแห้ง <input type="checkbox"/> แบบเปียก	<input type="checkbox"/> แบบแห้ง <input type="checkbox"/> แบบเปียก	<input type="checkbox"/> แบบแห้ง <input type="checkbox"/> แบบเปียก	<input type="checkbox"/> แบบแห้ง <input type="checkbox"/> แบบเปียก
ขนาดพิกัด (kVA)				
พิกัดแรงดันสูง (kV)				
พิกัดแรงดันต่ำ (V)				
พิกัดกระแสด้านแรงดันสูง (A)				
พิกัดกระแสด้านแรงดันต่ำ (A)				
ระบบระบายความร้อน				
กลุ่มเวกเตอร์ (Vector Group)				
ผู้ผลิต				
ชั่วโมงการทำงาน/ปี				
เดือน/ปี ที่ติดตั้งใช้งาน				
สถานที่ติดตั้ง				

ตารางที่ 2 - 3

การตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้าและระบบจ่ายย่อย

ชื่อสถานประกอบการ.....

ลำดับ	ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด	พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ผลการตรวจวัด					% การการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า	
			แรงดัน (V)	กระแสในแต่ละเฟส			ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)		กำลังไฟฟ้า (kW)
				เฟส R	เฟส S	เฟส T			

ตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

ชื่อสถานประกอบการ โรงพยาบาลเป็นสุข

รายละเอียด	ชุดที่ 1
ประเภทหม้อแปลงไฟฟ้า	[/] แบบแห้ง [] แบบเปียก
ขนาดพิกัด (kVA)	2,000
พิกัดแรงดันสูง (kV)	24
พิกัดแรงดันต่ำ (V)	416/240
พิกัดกระแสด้านแรงดันสูง (A)	48.1
พิกัดกระแสด้านแรงดันต่ำ (A)	2,775
ระบบระบายความร้อน	อากาศ
กลุ่มเวกเตอร์ (Vector Group)	Dy 11
ผู้ผลิต	xxx
ชั่วโมงการทำงาน/ปี	8,760
เดือน/ปี ที่ติดตั้งใช้งาน	1993
สถานที่ติดตั้ง	ห้องไฟฟ้าภายในอาคาร

หมายเหตุ : กลุ่มเวกเตอร์ (Vector Group) เป็นลักษณะการต่อหม้อแปลงในรูปแบบต่างๆ เช่น Dd 6, Dy 11 เป็นต้น

ตัวอย่าง

การตรวจวัดหม้อแปลงไฟฟ้าและระบบจ่ายย่อย

ชื่อสถานประกอบการ โรงพยาบาลเป็นสุข

ลำดับ	ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด	พิกัดหม้อแปลง (kVA)	ผลการตรวจวัด					% การการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า	
			แรงดัน (V)	กระแสในแต่ละเฟส			ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)		กำลังไฟฟ้า (kW)
				เฟส R	เฟส S	เฟส T			
1	ห้องไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล	2,000	380	1,720	1,805	1,750	0.89	1,032.7	58.02

หมายเหตุ : ศึกษาเพิ่มเติมการใช้งานของหม้อแปลงได้จากเอกสารเผยแพร่ชุด ฐู รัพย์พลังงาน เรื่อง “การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า”

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

แสงสว่างเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในโรงพยาบาล จึงทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างของโรงพยาบาลมีมากถึงร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้น จึงต้องมีการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้

3.1 การเลือกใช้แสงสว่างที่เหมาะสมกับพื้นที่ในโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเป็นพื้นที่ที่ต้องการใช้แสงสว่างที่มีความใกล้เคียงแสงธรรมชาติมาก และควรมีระดับความสว่างสม่ำเสมอภายในอาคาร ดังนั้น การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม บริเวณต่างๆ ภายใต้อาคารควรใช้หลอดไฟเหมือนกันทั้งหมดเพื่อไม่ให้หลอกตา เนื่องจากแสงที่ไม่เหมือนกันในพื้นที่ข้างเคียงกัน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

พื้นที่ของอาคารโรงพยาบาล	ลักษณะของแสงสว่างและประเภทของหลอดไฟที่ควรเลือกใช้
ส่วนหน้าประชาสัมพันธ์ แผนกบริการ ผู้ป่วยนอกและบริเวณจ่ายยา/เคาน์เตอร์	<ul style="list-style-type: none"> ● ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงหรือหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวน์ไลท์
สำนักงาน	<ul style="list-style-type: none"> ● ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงโดยติดตั้งตามพื้นที่การทำงานของพนักงาน ● ควรมีสวิตช์สำหรับเปิด - ปิดหลอดแต่ละชุดแยกออกจากกัน หรืออาจจะมีโคมไฟแบบตั้งโต๊ะซึ่งสามารถควบคุมการเปิด - ปิดที่โต๊ะได้
ห้องคนไข้	<ul style="list-style-type: none"> ● ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสงในบริเวณต่างๆ ไป และเลือกหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวน์ไลท์ในบริเวณทางเข้าห้อง ● แสงสว่างในห้องผ่าตัดควรสว่างมาก เพื่อไม่ให้ต่างจากโคมไฟสำหรับการผ่าตัด
ทางเดินภายใน ลิฟต์และบันไดเลื่อน ทางเดินรอบนอก ห้องซักกรีด ห้องควบคุมไฟฟ้า ห้องควบคุมน้ำประปา ห้องบำบัดน้ำเสีย และห้องเครื่องทำความเย็น	<ul style="list-style-type: none"> ● ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง

พื้นที่อื่นๆ เช่น ห้องครัว/แผนกโภชนาการ และห้องเก็บเครื่องมือแพทย์ ควรเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูงร่วมกับโคมสะท้อนแสง ห้องอาหารสามารถใช้ได้ทั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมสะท้อนแสงและหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับโคมดาวน์ไลท์

3.2 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ ต้องการความสนใจและเอาใจใส่ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบระบบแสงสว่าง การเลือกใช้อุปกรณ์แสงสว่าง การใช้งาน และการบำรุงรักษาพิจารณาได้ดังนี้

3.2.1 การออกแบบระบบ

หลักการสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง ควรเริ่มด้วยการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้สามารถใช้แสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ประกอบด้วย

- พยายามใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ โดยต้องทราบช่วงเวลาการใช้งานของอาคารก่อนการออกแบบระบบแสงสว่าง
 - อาคารที่ใช้งานเฉพาะเวลากลางวันควรออกแบบให้ได้รับแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแสงธรรมชาติได้เต็มที่ โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแสงสว่างของแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไฟเปิด - ปิดหรือหรี่แสงจากหลอดไฟโดยอัตโนมัติ
 - อาคารใช้งานทั้งกลางวันและกลางคืน ควรออกแบบระบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดทั้งสองช่วงเวลา โดยแบ่งสวิทช์เปิด - ปิดไฟเป็น 2 ชุด สำหรับกลางวันและกลางคืนแยกจากกัน
- เลือกวิธีให้แสงสว่างและระดับความสว่างที่ตรงกับความต้องการ ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ
 - ให้แสงสว่างแบบเท่ากันเป็นบริเวณกว้าง
 - ให้แสงสว่างแบบเป็นจุด เฉพาะตำแหน่ง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการให้แสงสว่างทั้ง 2 ลักษณะ มีดังนี้

- ระดับความสว่างที่ต้องการในการใช้งาน (ดูได้จากเอกสารเผยแพร่ชุด ฐู อนุรักษ์พลังงาน เรื่อง “ระบบแสงสว่าง”)
- ความสบายตา
- ความสะดวกในการติดตั้งและซ่อมบำรุง

3.2.2 การเลือกใช้อุปกรณ์

การเลือกใช้หลอดไฟและอุปกรณ์ร่วมให้เหมาะสม สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- เลือกใช้หลอดไฟที่ให้แสงสว่างเหมาะสมกับงาน คือ ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในสถานที่ที่มีระดับเพดานต่ำ ใช้หลอดแสงจันทร์ หรือหลอดโซเดียมความดันไอสูงในสถานที่ที่มีเพดานสูง และใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง ซึ่งกินกระแสไฟมาก เฉพาะในตำแหน่งที่จำเป็นและเปิดในเวลาที่เป็นเท่านั้น
 - ใช้โคมไฟที่สะท้อนแสงเพื่อเพิ่มความสว่าง
 - เลือกใช้หลอดไฟและอุปกรณ์ร่วมที่มีประสิทธิภาพสูง

- ใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวชนิดอัลตราโซนิก หรือชนิดพาสซีฟอินฟราเรด เพื่อเปิด - ปิดไฟในบริเวณที่ใช้แสงสว่างเป็นบางช่วงเวลา
- ติดตั้งระบบควบคุมแสงสว่าง ประกอบด้วย ชุดควบคุม (Light Controller) และ อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ ชุดควบคุมรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ เช่น อุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer) อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Presence Detector) อุปกรณ์ตรวจวัดระดับแสงสว่าง (Photocell) เป็นต้น แล้วนำมาประมวลผลก่อนส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิด - ปิดหรือหรี่แสงของหลอดไฟ

3.2.3 การใช้งาน

เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง ควรพิจารณาการใช้งานดังนี้

- เก็บข้อมูลระบบแสงสว่างเพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า (ตารางที่ 3 -1 หน้า 20)
- นำตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ มาใช้ เพื่อออกแบบและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่าง
- ลดการใช้ความสว่างที่เกินความจำเป็นโดย
 - ตัดวงจรหลอดไฟบริเวณที่สว่างมากเกินไป
 - หรี่ความสว่างของแสงสำหรับหลอดไฟที่ปรับระดับแสงได้
 - ปิดไฟในส่วนที่ไม่ใช้งาน

3.2.4 การบำรุงรักษา

หมั่นตรวจเช็คและทำความสะอาดหลอดไฟและโคมไฟอย่างสม่ำเสมอ เพราะฝุ่นละอองที่เกาะหลอดไฟและโคมไฟทำให้แสงสว่างลดลง

จะเห็นได้ว่าการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างนี้สามารถทำได้หลายมาตรการ บางมาตรการจะต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งต้องพิจารณาความคุ้มค่าให้เหมาะสม แต่มีหลายมาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายแต่อย่างใดและสมควรจะลงมือทำโดยทันที เช่น การถอดหลอดไฟในบริเวณที่สว่างเกินไป การเปิดไฟเฉพาะเวลาใช้งาน การทำความสะอาดหลอดไฟและโคมไฟ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

ตารางเก็บข้อมูลระบบแสงสว่าง

ลำดับ	บริเวณที่ตรวจวัด	โคมไฟที่มีอยู่ในปัจจุบัน					ความเข้มการส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ความเข้มการส่องสว่างที่วัดได้ (Lux)	ปรับปรุง	ไม่ปรับปรุง	แนวทางการปรับปรุง	ผลหลังปรับปรุง					ผลต่าง (kW)		
		ชนิดหลอด	จำนวนโคม	หลอดต่อโคม	กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)						จำนวนโคม	หลอดต่อโคม	กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	ความเข้มการส่องสว่างที่วัดได้ (Lux)			

ตัวอย่าง

ตารางเก็บข้อมูลระบบแสงสว่าง

ชื่อสถานประกอบการ โรงพยาบาลพระหทัยพิจิตร

ลำดับ	บริเวณที่ตรวจวัด	โคมไฟที่มีอยู่ในปัจจุบัน				ความเข้มการส่องสว่างมาตรฐาน (Lux)	ความเข้มการส่องสว่างที่วัดได้ (Lux)	ปรับปรุง	ไม่ปรับปรุง	แนวทางการปรับปรุง	ผลหลังปรับปรุง					ผลต่าง (kW)	
		ชนิดหลอด	จำนวนโคม	หลอดต่อโคม	กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W)						กำลังไฟฟ้าทั้งหมดต่อโคม (W)	กำลังไฟฟ้าทั้งหมดต่อหลอด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	ความเข้มการส่องสว่างที่วัดได้			
1	บริเวณตรวจ	FL	8	3	46	1.104	60	●		ทำการปลดหลอดออกโคมละ 1 ดวง	ชนิดหลอด	จำนวนโคม	หลอดต่อโคม	กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W)	กำลังไฟฟ้ารวม (kW)	ความเข้มการส่องสว่างที่วัดได้	0.368
2	แผนกโชนกการ	FL	60	2	46	5.52	100	●		ควบคุมโดยเปิดสวิตช์โคม	FL	30	2	46	2.76	100	2.76
3	ทางเดิน	Incan	44	1	20	0.88	30	●		เปลี่ยนมาใช้หลอด CFL ขนาด 5 W และควบคุมโดยเปิดสวิตช์โคม	CFL	22	1	5	0.11	80	0.77

กำลังไฟฟ้ารวม = กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W) x จำนวนหลอด

การคิดกำลังไฟฟ้าต่อหลอดของหลอด FL ให้รวมการสูญเสียที่บัลลาสต์ (Ballast) ด้วย

บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา มีกำลังสูญเสียประมาณ 10 วัตต์

บัลลาสต์แกนเหล็กประสิทธิภาพสูง มีกำลังสูญเสียประมาณ 6 วัตต์

ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

โรงพยาบาลเป็นสถานประกอบการที่เน้นเรื่องความสะอาดเป็นสิ่งสำคัญเพื่อสุขภาพและอนามัยของผู้ใช้บริการ การปรับอากาศภายในตัวอาคารโรงพยาบาลจึงเป็นสิ่งสำคัญ และเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเพราะต้องทำงานตลอดเวลา ดังนั้น การจัดการที่ดีจะช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าได้มาก และนอกจากนี้การใช้งานและบำรุงรักษาระบบทำความเย็นและปรับอากาศที่ถูกต้อง ช่วยให้เกิดการประหยัดอีกทางหนึ่งด้วย

4.1 ระบบปรับอากาศในโรงพยาบาล

ระบบปรับอากาศของโรงพยาบาลมีความแตกต่างจากระบบปรับอากาศของอาคารอื่น ๆ คือ

- ต้องควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศภายในและระหว่างแผนก
- มีความต้องการพิเศษในการควบคุมอัตราการระบายอากาศและการกรองอากาศ เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อน ซึ่งอาจอยู่ในรูปกลิ่น จุลชีพ ไวรัส สารเคมี สารกัมมันตรังสี
- มีความต้องการอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่
- มีความต้องการระบบควบคุมที่แม่นยำเพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ละเอียดอ่อนภายในโรงพยาบาล

4.1.1 การควบคุมคุณภาพอากาศ

- **คุณภาพอากาศ** ระบบปรับอากาศมีหน้าที่จ่ายอากาศที่ปราศจากฝุ่น กลิ่น สารเคมี สารกัมมันตรังสี รวมทั้งอากาศจากภายนอก ในบางกรณีอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจได้
- **จุดนำอากาศเข้า (Outdoor Air Intake)** จุดนำอากาศเข้าควรอยู่ห่างมากที่สุด (อย่างน้อย 10 เมตร) จากท่อไอเสียของอุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ จุดปล่อยอากาศเสียของโรงพยาบาลและอาคารข้างเคียง ระบบดูดของเสียทางการแพทย์ (Medical-Surgical Vacuum System) หอระบายความร้อน (Cooling Tower) จุดที่มีควันไอเสียรถยนต์ จุดนำอากาศเข้าควรอยู่สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.5 เมตร หากอยู่บนหลังคาควรอยู่สูงกว่าหลังคาอย่างน้อย 1 เมตรเช่นกัน
- **จุดระบายอากาศทิ้ง (Exhaust Air Outlet)** จุดระบายอากาศทิ้งควรอยู่สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 3 เมตร และอยู่ห่างจากบริเวณที่มีคนใช้งาน ประตู หน้าต่าง จุดที่ดีที่สุดของการระบายอากาศทิ้งคือ ปล่อยขึ้นด้านบนเหนือหลังคา หรืออยู่ที่ทิศทางตรงข้ามกับจุดนำอากาศเข้า ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับอากาศเสียที่เข้มข้นมาก เช่น ไอเสียจากเครื่องยนต์หรือหม้อไอน้ำ สารเคมีจากห้องปฏิบัติการ อากาศที่มีเชื้อโรค อากาศระบายทิ้งจากห้องครัวและทิศทางลม

4.1.2 แผงกรองอากาศ (Air Filter)

ระบบปรับอากาศควรติดตั้งแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตารางที่ 4 - 1 หน้า 23 ซึ่งระบุให้มีแผงกรองอากาศสองชั้น ชั้นที่หนึ่ง ควรอยู่ด้านก่อนลมเข้าคอยล์ทำความเย็น และชั้นที่สอง ควรอยู่ด้านหลังคอยล์ หากในระบบมีอุปกรณ์เพิ่มความชื้น ต้องระวังไม่ให้แผงกรองอากาศเปียกจากละอองน้ำที่พ่นเข้าไปในอากาศ หากตารางระบุให้มีแผงกรองอากาศชั้นเดียว แผงกรองอากาศควรอยู่ด้านก่อนลมเข้าคอยล์ (ประสิทธิภาพของแผงกรองอากาศในตาราง อ้างอิงจาก ASHRAE Standard 52.1)



Minimum Number of Filter Beds	Area Designation	Filter Efficiency %		
		No.1 *	No.2 *	No.3 *
3	Orthopedic operating room Bone marrow transplant operating room Organ transplant operating room	25%	90%	99.97%
2	General procedure operating room Delivery rooms Nurseries Intensive care units Patient care rooms Diagnostic and related area	25%	90%	
1	Laboratories Sterile storage	81%		
1	Food preparation areas Laundries Administrative areas Bulk storage Soiled holding areas	25%		
Note * : Based on ASHRAE Standard 52.1 : Based on DOP Test : HEPA Filter at Air Outlets				

4.1.3 แนวทางปฏิบัติในการติดตั้งแผงกรองอากาศ

- ควรติดตั้งแผงกรองอากาศแบบ HEPA* ที่ทดสอบด้วยวิธี DOP* มีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 99.97 ทางด้านลมจ่ายของห้องรักษาผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง เช่น ผู้ป่วยมะเร็งในเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ผู้ป่วยบาดแผลไหม้ (Burn) ผู้ป่วยที่ได้รับการปลูกถ่ายไขกระดูก (Bone Marrow Transplant) ผู้ป่วยที่ได้รับการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะ (Organ Transplant) หรือผู้ป่วยโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง (Acquired Immune Deficiency Syndrome : AIDS) และควรติดตั้งแผงกรองอากาศแบบ HEPA กรองอากาศทั้ง ทั้งที่ดูดมาจาก Fume Hood หรือ Safety Cabinet ที่มีการใช้งานที่มีเชื้อโรคหรือสารกัมมันตรังสี ระบบกรองอากาศควรติดตั้งให้มีความสะอาดและปลอดภัยในการบำรุงรักษา หรือเปลี่ยนแผงกรองอากาศใหม่
- การติดตั้งแผงกรองอากาศจะต้องไม่มีรอยรั่วระหว่างชั้นของแผงกรองอากาศ
- ควรติดตั้งมาโนมิเตอร์วัดความดันคร่อมแผงกรองอากาศ
- การติดตั้งแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง จะต้องมีพื้นที่ในการบำรุงรักษา
- ควรมีการจัดงบประมาณสำหรับเปลี่ยนแผงกรองอากาศที่หมดสภาพการใช้งาน
- ระหว่างการก่อสร้างหรือติดตั้งระบบท่อลมต้องมีวิธีการป้องกันฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเข้าไปในระบบท่อ ซึ่งจะเป็แหล่งเพาะเชื้อโรคภายในระบบ และทำให้แผงกรองอากาศอุดตันอย่างรวดเร็ว

* หมายเหตุ : HEPA (High Efficiency Particulate Air) ประเภทของอุปกรณ์กรองอากาศประสิทธิภาพสูงที่ผ่านการทดสอบตาม DOP DOP (Diocyl Phthalate) วิธีการทดสอบความสามารถในการกรองอากาศของอุปกรณ์กรองอากาศที่สามารถทดสอบโดยผู้ผลิต

4.1.4 ระบบควบคุมควัน

ระบบควบคุมควันควรได้รับการออกแบบไปพร้อมๆ กับระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ระบบควบคุมควันแบบ Passive มีระบบปิดกั้นไฟและควันไฟ ร่วมกับระบบส่งหยุดพัดลมโดยอัตโนมัติ ส่วนระบบควบคุมควันแบบ Active ใช้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศสร้างความดันเป็นบวกและลบ ร่วมกับผนังกันไฟและควันไฟซึ่งทำหน้าที่จำกัดการลุกลามของไฟและควันไฟ

การออกแบบระบบควบคุมควันควรอ้างอิงจาก NFPA (National Fire Protection Association) Standard 90A 92A 92B 99 และ 101

● ประมาณการขนาดเครื่องปรับอากาศกับพื้นที่ใช้งาน

1. ห้องปฏิบัติงานควรใช้ขนาด 700 - 800 BTU ต่อตารางเมตร
2. ห้องประชุมควรใช้ขนาด 800 - 900 BTU ต่อตารางเมตร
3. ห้อง Lab ควรใช้ขนาด 900 - 1,000 BTU ต่อตารางเมตร
4. ห้อง ICU ควรใช้ขนาด 1,000 - 1,200 BTU ต่อตารางเมตร
5. ห้อง OR ควรใช้ขนาด 1,200 - 1,500 BTU ต่อตารางเมตร
6. บุคคลควรใช้ขนาด 400 BTU ต่อคน
7. แหล่งความร้อนควรใช้ขนาด 34 BTU ต่อตารางเมตร

● อุณหภูมิการปรับอากาศ

1. ห้องทำงานทั่วไป 25 - 27 °C
2. ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ 24 - 26 °C
3. ห้อง Lab 23 - 25 °C
4. ห้อง ICU 23 - 24 °C
5. ห้อง OR 21 - 23 °C

4.1.5 การออกแบบระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อทางอากาศสำหรับห้องต่าง ๆ

ห้องผ่าตัด (Operating Room)



ห้องผ่าตัด

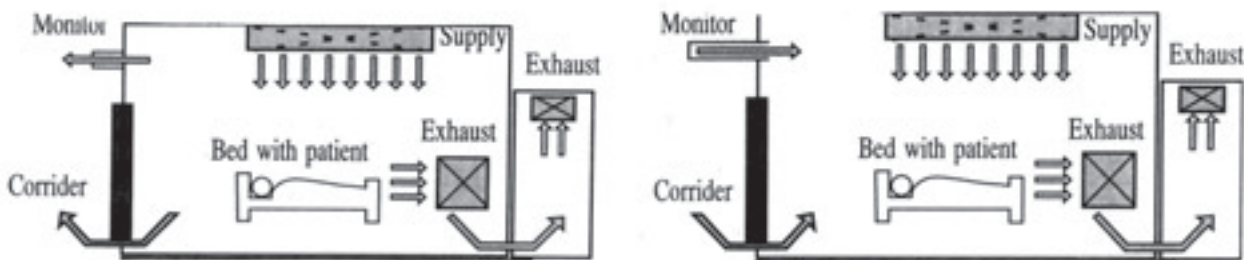
ห้องผ่าตัดโดยทั่วไปมีการใช้งานประมาณ 8 - 12 ชั่วโมงต่อวัน (ยกเว้นห้องผ่าตัดของห้องฉุกเฉิน) เพื่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ ควรลดอัตราการจ่ายลมเข้าห้องผ่าตัดช่วงระหว่างที่ไม่มีการผ่าตัดได้ อย่างไรก็ตามยังคงต้องรักษาความดันเป็นบวกภายในห้องผ่าตัดไว้ตลอดเวลาเพื่อรักษาความสะอาดของห้อง

คำแนะนำการออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (สามารถใช้ได้กับห้อง Catheterization Cystoscopic และ Fracture ด้วย) มีดังนี้

- สามารถปรับอุณหภูมิได้ในช่วง 17 - 27 °C
- ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 45 - 55 rh
- ความดันภายในห้องเป็นบวกเมื่อเทียบกับห้องรอบๆ โดยการจ่ายลมเข้ามากกว่าลมออกร้อยละ 15
- ควรติดตั้งเครื่องวัดความดันแตกต่างภายในห้องเพื่อตรวจสอบได้ตลอดเวลา
- ควรติดตั้งเครื่องอ่านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้ตรวจสอบได้สะดวก
- แผงกรองอากาศควรมีประสิทธิภาพอย่างน้อยตามตารางที่ 4 - 1 หน้า 23
- การติดตั้งควรเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 99 Health Care Facilities
- ควรจ่ายลมทั้งหมดจากเพดานดูดลมกลับที่ใกล้ระดับพื้น โดยมีหน้าตารับลมกลับอย่างน้อย 2 จุด ติดตั้งให้ขอบล่างอยู่สูงกว่าพื้นอย่างน้อย 75 มม. อัตราการจ่ายลมไม่ควรน้อยกว่า 25 ACH หัวจ่ายควรเป็นแบบจ่ายลมทิศทางเดียว (Unidirectional) ควรหลีกเลี่ยงหัวจ่ายลมที่มีการเหนี่ยวนำลมสูง
- ไม่ควรติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงในระบบส่งลมยกเว้นมีแผงกรองอากาศประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 (ASHRAE 52.1 Dust Spot) ติดตั้งอยู่ที่ปลายทาง (หลังจากลมผ่านวัสดุดูดซับเสียง)

ห้องแยกปลอดเชื้อ (Protective Isolation Room)

ผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำติดเชื้อโรคต่ำผิดปกติ เช่น ผู้ป่วยที่ปลูกถ่ายไขกระดูก ปลูกถ่ายอวัยวะ มะเร็งในเม็ดเลือดขาว แผลไหม้และเอดส์ มีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะติดเชื้อได้ เพื่อลดความเสี่ยงจากการติดเชื้อทางอากาศ ระบบปรับอากาศในห้องจึงควรมีปริมาณลมหมุนเวียนไม่น้อยกว่า 15 ACH และมีการเติมอากาศจากภายนอกไม่น้อยกว่า 2 ACH เพื่อกำจัดและลดความเข้มข้นของเชื้อในอากาศ



(ก)

(ข)

การปรับความดันภายในห้อง (ก) ระดับความดันเป็นบวก (ข) ระดับความดันเป็นลบ

กรณีผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำติดเชื้อโรคต่ำผิดปกติ แต่ไม่เป็นโรคติดต่อที่แพร่เชื้อได้ ควรจ่ายลมทางด้านผู้ป่วย ดูดลมกลับทางด้านผู้มาเยี่ยมที่ระดับใกล้พื้น และรักษาความดันภายในห้องให้เป็นบวกตลอดเวลา แผงกรองอากาศควรมีประสิทธิภาพอย่างน้อยร้อยละ 90 (ASHRAE Standard 52.1 Dust Spot) กรณีที่ผู้ป่วยมีภูมิคุ้มกันต่ำและเป็นโรคติดต่อที่แพร่เชื้อได้ด้วย ควรรักษาความดันในห้องให้เป็นลบเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อออกไปนอกห้อง หรืออาจออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนความดันเป็นบวกหรือลบได้ตามต้องการ

* ACH = air change per hour (ปริมาตรอากาศภายในห้องต่อชั่วโมง)

ห้องแยกติดเชื้อ (Infections Isolation Room)

ห้องแยกสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคติดต่อที่สามารถแพร่เชื้อโรคได้ ควรออกแบบให้สามารถควบคุมไม่ให้เชื้อแพร่กระจายออกจากห้องได้ โดยการให้ความดันภายในห้องเป็นลบตลอดเวลา มีการหมุนเวียนอากาศภายในห้องอย่างน้อย 12 ACH ตาม AIA Guideline 2001 (ASHRAE Handbook 1999 แนะนำให้ใช้เพียง 6 ACH) และมีการเติมอากาศจากภายนอกอย่างน้อย 2 ACH แผงกรองอากาศควรเป็นแบบ HEPA เพื่อกำจัดเชื้อออกจากอากาศหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศที่ระบายทิ้งจากห้องแยกติดเชื้อ ควรผ่านแผงกรองแบบ HEPA ก่อนปล่อยทิ้งสู่ภายนอกเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ

การจ่ายลมควรจ่ายลมที่บริเวณใกล้ประตูทางเข้าและดูดออกด้านหัวเตียงผู้ป่วยที่ระดับใกล้พื้นเพื่อให้อากาศสะอาดผ่านจากเจ้าหน้าที่หรือญาติไปสู่ผู้ป่วยและถูกดูดออกจากห้องไป ห้องแยกติดเชื้อควรมีการตรวจสอบความดันหรือทิศทางกรไหลของลม (ต้องไหลเข้าห้อง) อย่างสม่ำเสมอ หรือติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันเพื่อตรวจสอบและส่งสัญญาณเตือนหากความดันหรือทิศทางกรไหลของลมไม่ถูกต้อง

ห้อง ไอ.ซี.ยู. (Intensive Care Unit)

ห้อง ไอ.ซี.ยู. เป็นห้องสำหรับผู้ป่วยหนักหรือผู้ป่วยหลังการผ่าตัดที่ต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ ความดันภายในห้องควรให้เป็นบวกเพื่อป้องกันเชื้อโรคจากภายนอก ควรมีอากาศหมุนเวียนอย่างน้อย 6 ACH แผงกรองอากาศควรมีประสิทธิภาพอย่างน้อยร้อยละ 90 (ASHRAE Standard 52.1 Dust Spot) อุณหภูมิควรอยู่ระหว่าง 24 - 27 °C และความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 30 - 60 rh

4.2 การเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ในโรงพยาบาล

พื้นที่ในโรงพยาบาลส่วนใหญ่มักจะมีการปรับอากาศ ดังนั้น การเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดความปลอดภัยและประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยอาจพิจารณาตามพื้นที่ได้ดังนี้

- ส่วนหน้าประชาสัมพันธ์ โดยปกติจะอาศัยความเย็นจากหัวจ่ายลมเย็นในพื้นที่ที่ผู้ป่วยรอการตรวจรักษา หรือใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในกรณีที่มีประชาสัมพันธ์แยกออกเป็นห้องเล็ก ๆ และพื้นที่ที่ผู้ป่วยรอการตรวจรักษาไม่มีการปรับอากาศ
- สำนักงานและแผนกบริการต่าง ๆ สามารถใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยการจ่ายลมเย็นและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ แต่ถ้าสำนักงานถูกแบ่งเป็นห้องเล็ก ๆ ควรเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนดีกว่า เพราะง่ายต่อการดูแลรักษาและควบคุมการทำงาน
- ห้องอาหาร ห้องครัว และแผนกโภชนาการสามารถเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยการจ่ายลมเย็นหรือระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในบริเวณห้องอาหาร และติดตั้งลมดูดอากาศทิ้งให้ไหลผ่านพื้นที่บริเวณห้องครัว
- ห้องคนไข้ควรใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแยกจากพื้นที่อื่น ๆ เพื่อความปลอดภัยและสามารถควบคุมการใช้งานได้ง่าย
- ห้องผ่าตัด สามารถใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยการจ่ายลมเย็นที่สะอาด และผ่านการฆ่าเชื้อตามมาตรฐานดังได้กล่าวมาแล้ว หรือระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแยกจากพื้นที่อื่น ๆ

- ห้องเก็บเครื่องมือแพทย์ สามารถใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยการจ่ายลมเย็นและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ แต่ต้องปรับให้มีความชื้นต่ำ
- พื้นที่อื่นๆ เช่น ห้องซักриด ห้องควบคุมไฟฟ้า ห้องควบคุมน้ำประปา ห้องบำบัดน้ำเสีย โดยปกติจะไม่มีปรับอากาศ ยกเว้นห้องพักพนักงานควรรีใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

4.3 วิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศสำหรับโรงพยาบาล มีดังนี้

- ออกแบบอาคาร ระบบปรับอากาศ และวัสดุต่างๆ เพื่อให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ปรับปรุงระบบปรับอากาศที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยพิจารณาจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน
- ควรมีการตรวจวัดและเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ (ตารางที่ 4 - 3 ถึง 4 - 5 หน้า 32 - 36)
- บำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศสม่ำเสมอ (ตารางที่ 4 - 6 ถึง 4 - 7 หน้า 37 - 38)

4.4 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

การอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น และปรับอากาศสามารถทำได้ทั้งแบบที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดยการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ปรับอากาศเพื่อลดปริมาณความร้อนจากภายนอก และแบบที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายติดตั้งอุปกรณ์เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน โดยมีแนวทางดำเนินการดังนี้

4.4.1 มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- ปรับความเย็นให้อยู่ในระดับที่ต้องการเท่านั้น ไม่ควรต่ำจนเกินไป
- สำหรับห้องประชุมหรือห้องสัมมนาที่มีการใช้งานไม่เต็มพื้นที่ ควรกำหนดให้เครื่องปรับอากาศทำงานเป็นส่วนๆ ตามพื้นที่ที่ใช้งาน
- ควบคุมปริมาณอากาศจากภายนอกที่จะเข้ามาภายในอาคาร
- ควรติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้สูงจากพื้นพอสมควร เพื่อให้ลมเย็นกระจายไปทั่วถึงบริเวณต่างๆ เช่น ห้องพัก ห้องทำงาน
- ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและหลอดไฟที่ไม่จำเป็น ช่วยลดปริมาณความร้อนภายในอาคาร
- นำคูมัตั้งชนิดผนังด้านที่รับแสงอาทิตย์เพื่อลดความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารโดยตรง
- ทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศทุกๆ เดือน
- ปิดประตู หน้าต่างและผ้าม่านให้สนิท
- ตรวจสอบห้องเป็นประจำเพื่อลดการสูญเสียความเย็นตามจุดรั่วต่างๆ

4.4.2 มาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- ติดตั้งฉนวนบุเพดาน
- ติดตั้งกระจก 2 ชั้น เพื่อลดความร้อนจากภายนอก

- ติดตั้งเครื่องควบคุมการจ่ายลม เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม
- ติดตั้งม่านกันแสงอาทิตย์ที่กระจกหน้าต่าง เพื่อลดความร้อนจากภายนอก
- ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์
- ติดตั้งระบบกักเก็บน้ำฝน - ปิดไฟฟ้าอัตโนมัติในห้องพักผู้ป่วย
- เลือกใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง
- ปลุกต้นไม้รอบๆ อาคารโรงพยาบาล

ระบบปรับอากาศจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ต้องอาศัยการระบายความร้อนที่ดี ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนออกจากระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ คือ หอระบายความร้อน (Cooling Tower) ดังนั้นควรเอาใจใส่ดูแลรักษาหอระบายความร้อนให้สามารถระบายความร้อนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพด้วย (โปรดอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมในเอกสารเผยแพร่ชุด รู้ รั้งพลังงาน เรื่อง “ระบบทำความเย็น”)

4.5 การอนุรักษ์พลังงานหอระบายความร้อน

การอนุรักษ์พลังงานในหอระบายความร้อน สามารถดำเนินการได้ดังนี้

- 4.5.1 ติดตั้งให้ถูกต้องในบริเวณเปิด ให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก เว้นระยะห่างตามกฏผู้ผลิตกำหนด
- 4.5.2 ตรวจสอบเช็คทุกเดือน ทุกสัปดาห์ ทุกวัน เป็นประจำ อย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลนี้มาเปรียบเทียบ โดยทำการตรวจเช็คในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน (ตารางที่ 4 - 8 และ 4 - 9 หน้า 39 - 40)
- 4.5.3 นำความร้อนจากระบบปรับอากาศมาใช้ใหม่
- 4.5.4 ตรวจสอบคุณภาพน้ำสม่ำเสมอ (ตารางที่ 4 - 10 หน้า 41)
- 4.5.5 ระบายน้ำทิ้งเพื่อลดความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่หอระบายความร้อนระบายทิ้งที่ท่อน้ำล้น (Over Flow)

4.6 ระบบห้องสะอาด

ห้องสะอาด (Clean Room) คือ ห้องที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษเพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ และความชื้นของห้อง รวมทั้งปริมาณฝุ่นและอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ให้ได้ตามคุณลักษณะที่ใช้งาน

4.6.1 สิ่งสำคัญในการรักษาคุณภาพอากาศในโรงพยาบาล

การออกแบบระบบการไหลของอากาศควรคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

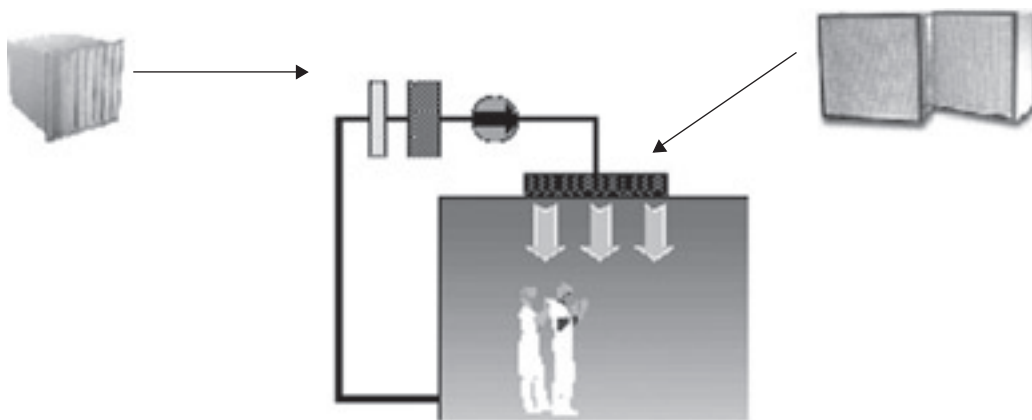
- ออกแบบระบบปรับอากาศให้ได้มาตรฐาน เช่น ใช้มาตรฐาน ASHRAE Application AIA Health Care Facilities Guideline
- ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ (Fresh Air)

- ควบคุมแรงดัน (Pressure)
- ควบคุมทิศทางการไหลของลมส่งและลมกลับ
- ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม
 - ต้องมีระบบควบคุมแจ้งเตือนประสิทธิภาพการทำงานในสถานะต่างๆ ให้ถูกต้อง
 - การซ่อมบำรุงและดูแลรักษา

4.6.2 หลักในการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ

- ป้องกันเชื้อโรคเข้าหรือออกจากห้อง
 - ป้องกันทางกายภาพ
 - สร้างความดันภายในห้องให้สูงกว่าหรือต่ำกว่าภายนอกห้อง
- กำจัดเชื้อออกจากอากาศ

การกำจัดเชื้อจากภายนอกทำได้โดยให้อากาศที่เดิมเข้ามาในระบบผ่านการกรองก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ห้อง สำหรับการกำจัดเชื้อที่เกิดภายในห้องจากอากาศ สามารถทำได้โดยการหมุนเวียนลมปริมาณมากๆ ภายในห้องไปผ่านแผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง



การติดตั้งแผงกรองอากาศสำหรับห้องปลอดเชื้อ

- การเจือจางเชื้อในอากาศ

การเติมอากาศจากภายนอก (Outdoor Air : OA) เข้ามาผสมกับอากาศภายในห้องจะทำให้ความเข้มข้นของเชื้อลดลง ดูรายละเอียดในตารางที่ 4 - 2 หน้า 30

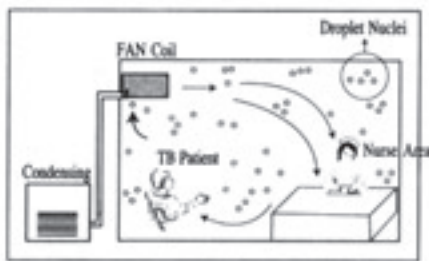
อัตราการเติมอากาศจากภายนอกและปริมาณอากาศหมุนเวียนสำหรับห้องต่างๆ ในโรงพยาบาล (1999 ASHRAE App. Handbook)

AREA	ASHRAE Handbook (1999)		
	Min.OA, ACH	Min.Total Air, ACH	Pressure Relationship
ห้องผ่าตัด (ระบบระบายอากาศสู่ภายนอก)	15	15	P
ห้องผ่าตัด (ระบบอากาศหมุนเวียนภายใน)	5	25	P
ห้องคลอด (ระบบระบายอากาศสู่ภายนอก)	15	15	P
ห้องคลอด (ระบบอากาศหมุนเวียนภายใน)	5	25	P
ห้องพักฟื้น	2	6	E
ห้องเด็กอ่อน	5	12	P
ห้องไต	2	6	P
ห้องผู้ป่วย	2	4	+/-
ห้องตรวจรักษา	2	6	+/-
ห้องชันสูตรศพ	2	12	N
ห้องกายภาพบำบัด	2	6	N
ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อ	2	15	P
ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อ	2	6	N

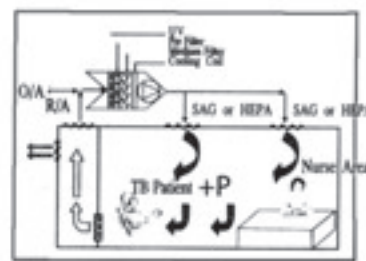
ACH = air change per hour : P = positive, N = negative : E = equal, +/- = continuous directional control not required

- ควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดมากไปยังจุดที่สะอาดน้อย

เพื่อไม่ให้อากาศพาเชื้อจากบริเวณที่สกปรกไปสู่บริเวณสะอาด การจ่ายลมเข้าห้องซึ่งเป็นลมสะอาดผ่านการกรองเข้ามาแล้วจะต้องจ่ายให้ใกล้กับจุดที่ต้องการความสะอาดมากที่สุด



(ก)



(ข)

การควบคุมการไหลเวียนของอากาศ (ก) แบบไม่ถูกต้อง (ข) แบบที่ถูกต้อง

โคมไฟแบบฝังหน้ากากเรียบ
ที่ใช้ติดตั้งในห้องผู้ป่วย



- ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อภายในห้องฆ่าเชื้อเพื่อควบคุมจำนวนจุลชีพในอากาศจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องไม่ให้สูงเกินร้อยละ 60 โดยตลอด ป้องกันไม่ให้พื้นผิวใดๆ ในห้องมีความเปียกชื้น พื้น ผนังและเพดานต้องใช้วัสดุผิวเรียบและทำความสะอาดง่าย ห้ามมีท่อลมและท่อน้ำภายในห้อง โคมไฟควรใช้แบบฝังและมีหน้ากากเรียบ

- การฆ่าเชื้อในอากาศ

ใช้แสงอัลตราไวโอเลตฆ่าเชื้อ (UVGI - Ultraviolet Germicidal Irradiation) สามารถนำมาใช้ได้ 2 ลักษณะ คือ

- การติดตั้งในท่อลมจะฆ่าเชื้อในอากาศที่ผ่านท่อลมก่อนที่จะจ่ายเข้ามาในห้อง
- การติดตั้งที่ส่วนบนของห้อง (Upper Room) จะใช้หลอด UV ติดตั้งอยู่ที่เพดานหรือผนังห้อง โดยมีการป้องกันไม่ให้แสง UV ส่องลงมาด้านล่าง

4.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบห้องสะอาด

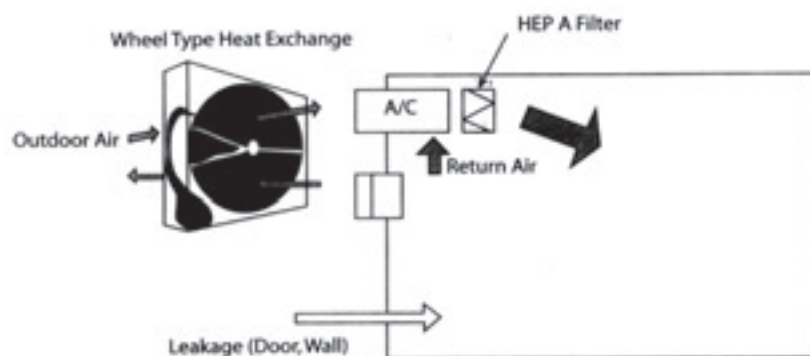
4.7.1 ปรับลักษณะการจ่ายอากาศแบบระบายอากาศสู่ภายนอกทั้งหมด (All Outdoor Air System) เป็นแบบระบบอากาศหมุนเวียนภายใน (Recirculate Air System)



(ก) การจ่ายอากาศแบบระบายอากาศสู่ภายนอก

(ข) การจ่ายอากาศแบบระบบอากาศหมุนเวียนภายใน

4.7.2 ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศสู่อากาศ (Air - to - Air Heat Exchanger) เพื่อช่วยลดภาระความร้อนจากอากาศภายนอก



การติดตั้ง Air - to - Air Heat Exchanger

4.7.3 ลดปริมาณอากาศจากภายนอกในช่วงที่ไม่ได้เข้าห้อง

4.7.4 ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงพร้อมกับอุปกรณ์ปรับความเร็ว

4.7.5 นำความร้อนจากการถ่ายเทอากาศกลับเข้ามาใช้

การตรวจวัดเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชื่อสถานประกอบการ

ลำดับ	อุปกรณ์	พิกัด (kW)	ผลการตรวจวัดไฟฟ้า				การใช้งาน			การแก้ไขปรับปรุง		วิธีปรับปรุง	กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ หลังการปรับปรุง (kW)
			แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กำลังไฟฟ้า (kW)	วัน/เดือน	การแก้ไขปรับปรุง	ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง			
			เฟส R	เฟส S	เฟส T								
1	เครื่องที่ 1												
	- เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)												
	- น้ำเย็น (Chilled Water Pump)												
	- มีน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump)												
	- หอระบายความร้อน (Cooling Tower)												
	- ชุดจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit)												
	รวม												

ตัวอย่าง

การตรวจวัดเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชื่อสถานประกอบการ โรงพยาบาลประหยัดพลังงาน

ลำดับ	อุปกรณ์	พิกัด (kW)	ผลการตรวจวัดไฟฟ้า				การใช้งาน			การแก้ไขปรับปรุง		วิธีปรับปรุง	กำลังไฟฟ้าที่วัดได้หลังการปรับปรุง (kW)	
			แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชม./วัน	วัน/เดือน	ภาระ (%)	ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง			
			เฟส R	เฟส S	เฟส T									
1	เครื่องที่ 1													
	- เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)	250	471	472	472	0.79	247	24	30	99.13	●			
	- ปั๊มน้ำเย็น (Chilled Water Pump)	11	16.5	16.5	16.5	0.75	8.14	24	30	74	●			
	- ปั๊มระบายความร้อน (Condenser Water Pump)	15	18.5	18.5	18.5	0.8	9.74	24	30	64.9	●			
	- หอระบายความร้อน (Cooling Tower)	15	23.2	23.2	23.2	0.8	12.21	24	30	81.43	●			
	- ชุดจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit)	0.75	1.77	1.82	1.75	0.56	0.65	24	30	87.47		●	ทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศ	0.6
	รวม													

ตารางที่ 4 - 4

การเก็บข้อมูลและตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและแบบติดหน้าต่าง

ชื่อสถานประกอบการ

ลำดับที่		1	2	3	4	5	6	7	8
อาคาร									
ชื่อห้อง									
เครื่องส่งลมเย็น	ยี่ห้อ								
	รุ่น (Model)								
หมายเลขเครื่อง									
พิกัดขนาดทำความเย็นติดตั้ง (BTU/hr)									
พื้นที่ช่องจ่ายลม	กว้าง (cm)								
	ยาว (cm)								
ด้านลมจ่าย	ความเร็วลม (m/s)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
	อุณหภูมิ (°C)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
ด้านลมกลับ	ความเร็วลม (m/s)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
	อุณหภูมิ (°C)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	จุดที่ 1							
		จุดที่ 2							
		จุดที่ 3							
คอนเดนซิ่งยูนิต	ยี่ห้อ								
	รุ่น								

ลำดับที่	รุ่น	1	2	3	4	5	6	7	8
อุณหภูมิ ภายนอกอาคาร	อุณหภูมิ (°C)								
	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)								
อุณหภูมิ คอนเดนซึ่งยูนิิต	เข้า (°C)								
อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิ (°C)								
	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)								
พิกัดทางไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า (V)								
	กระแสไฟฟ้า (A)								
	กำลังไฟฟ้า (kW)								
การตรวจวัด ทางไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า (V)								
	กระแสไฟฟ้า (A)								
	เฟส R								
	เฟส S								
	เฟส T								
	กำลังไฟฟ้า (kW)								
	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า								
● ประเภท									
● ลักษณะการติดตั้ง									
● ชนิดของเทอร์โมสแตท									
● อายุการใช้งาน									
● การบำรุงรักษา									
● สภาพของ Filter									
● เวลาเปิด - ปิด หรือชั่วโมงการใช้/วัน									
● จำนวนวันทำงาน/ปี									

- ประเภท (1) แบบแยกส่วน (2) แบบติดตั้งต่าง
- ลักษณะการติดตั้ง (1) แวนเพดาน (2) ติดผนัง (3) ตั้งพื้น (4) ติดหน้าต่าง (5) ซ่อนในฝ้า (6) ฝังฝ้า
- ชนิดของเทอร์โมสแตท (1) โลหะผสม (2) อิเล็กทรอนิกส์
- การบำรุงรักษา (1) ทุก 1 เดือน (2) ทุก 3 เดือน (3) ทุก 6 เดือน (4) ทุก 1 ปี (5) อื่นๆ
- สภาพของ Filter (1) สะอาด (2) สกปรก (3) สกปรกมาก (4) ไม่มี Filter

บันทึกการทำงานประจำวันของเครื่องทำความเย็นชนิดระเหยความร้อนด้วยน้ำ

เวลา	คอยล์ร้อน		คอยล์เย็น		น้ำมัน		มอเตอร์เครื่องอัดสารทำความเย็น		น้ำเข้าคอยล์เย็น		น้ำออกคอยล์เย็น		น้ำเข้าคอยล์ร้อน		น้ำออกคอยล์ร้อน	
	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Psig)	อุณหภูมิ (°C)
00:00																
02:00																
04:00																
06:00																
08:00																
10:00																
12:00																
14:00																
16:00																
18:00																
20:00																
22:00																

การบำรุงรักษาเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ประจำทุก 3 เดือน 1 ปี

วันที่.....เดือน.....ปี.....

ยี่ห้อเครื่องทำความเย็น.....รุ่น.....หมายเลขเครื่อง.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 3 เดือน					
1. ตรวจสอบและทำความสะอาดโซลินอยด์วาล์วของคอยล์คอมเพรสเซอร์					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบประจำปี					
1. ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า					
2. ตรวจสอบการรั่วซึม					
3. ตรวจสอบสวิทช์และหน้าสัมผัสทุกตัว					
4. ตรวจสอบจุดต่อที่ขันด้วยน็อตให้แน่น					
5. ตรวจสอบและทำความสะอาดตู้ควบคุม					
6. ตรวจสอบค่าความสะอาดของคอยล์ของท่อคอนเดนเซอร์ในซิลเลอร์โดยใช้สารเคมี					
7. ตรวจสอบอุปกรณ์หลักๆ ของซิลเลอร์					
8. เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องอัดน้ำยาพร้อมไส้กรองน้ำมัน					
9. เปลี่ยนตัวไส้กรองน้ำยาหรือสารทำความเย็น					
10. ตรวจสอบเสียงที่ดังผิดปกติเนื่องจากการสั่นสะเทือน					
11. ตรวจสอบการทำงานของเกจวัดความดันต่างๆ					

การบำรุงรักษาชุดจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit & Fan Coil Unit)

ประจำทุก 1 เดือน 6 เดือน

วันที่.....เดือน.....ปี.....

ยี่ห้อชุดจ่ายลมเย็น.....รุ่น.....หมายเลขเครื่อง.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 1 เดือน					
1. ทำความสะอาดคอยล์					
2. ทำความสะอาดถาดน้ำทิ้ง					
3. ทำความสะอาดท่อระบายน้ำ					
4. ทำความสะอาดโบลเวอร์ (Blower)					
5. ตรวจสอบอัตราการบีบอัด					
6. ตรวจสอบหน้าสัมผัสสวิตช์แม่เหล็ก					
7. ทำการล้างกรองสเตรนเนอร์					
8. ตรวจสอบการทำงานของวาล์วที่มอเตอร์					
9. ตรวจสอบการทำงานของเทอร์โมสแตท					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1. ทำความสะอาดตัวกรองอากาศ					
2. ตรวจสอบคอยล์					
3. ตรวจสอบสายพาน					
4. การปรับตั้งสายพาน					
5. ตรวจสอบท่อระบายน้ำ					
6. ตรวจสอบหน้าสัมผัสสวิตช์แม่เหล็ก					
7. ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม					
8. ตรวจสอบการรั่วของท่อน้ำเย็นและน้ำกลับ					
9. ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ					
10. ตรวจสอบความดันน้ำ					
11. ตรวจสอบอุณหภูมิของลมกลับ					
12. ตรวจสอบดูการสั่นและเสียงที่ดังผิดปกติ					
13. ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า					

การตรวจวัดหอรบายความร้อน

หมายเลข	ขนาดมอเตอร์ (kW)	กระแส (A)			แรงดัน (V)	ความดัน (Psig)		เวลาทำงาน		หมายเหตุ
		เฟส R	เฟส S	เฟส T		ด้านดูด	ด้านจ่าย	เริ่ม	หยุด	

การบำรุงรักษาหอระบายความร้อน

ประจำทุก 1 เดือน 3 เดือน 6 เดือน 1 ปี

วันที่.....เดือน.....ปี.....

ยี่ห้อหอระบายความร้อน.....รุ่น.....หมายเลขเครื่อง.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 1 เดือน					
1. กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์					
2. การทำงานของลูกลอยและระดับน้ำ					
3. ตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่ควบคุมมอเตอร์					
4. ตรวจสอบสายพานหรือพูลเลย์ (Pulley)					
5. ตรวจสอบระดับของน้ำมันเกียร์ (ถ้ามี)					
6. ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำมันเกียร์ (ถ้ามี)					
7. ตรวจสอบถาดรองน้ำ					
8. ตรวจสอบลูกลอย					
9. ตรวจสอบเสียงที่ดังผิดปกติ					
10. ตรวจสอบการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 3 เดือน					
1. ตรวจสอบขั้วสายไฟฟ้าและข้อต่อต่างๆ					
2. ตรวจสอบความตึงของลวดยึดโยงท่อน้ำ					
3. ตรวจสอบและล้างตัวกรองสเตรนเนอร์					
4. ตรวจสอบและหล่อลื่นแบร์ริงมอเตอร์					
5. ตรวจสอบการทำงานของหัวฉีดว่าอุดตันหรือไม่					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1. ตรวจสอบและทำความสะอาดพัดลม					
2. ตรวจสอบและทำความสะอาดมอเตอร์และเกียร์ (ถ้ามี)					
3. ตรวจสอบและทำความสะอาดตัวกรองและถาดรองน้ำ					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 1 ปี					
1. ตรวจสอบการทำงานและเปลี่ยนน้ำมันเกียร์ (ถ้ามี)					

ตารางที่ 4 - 10

การตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับหอยความอ่อน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		ค่าความกระด้าง		ค่าสารคลอไรด์		ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		ค่าความกระด้าง		ค่าสารคลอไรด์		รอบการทำงาน *	ความสะอาดของน้ำ **
วัดได้	มาตรฐาน	วัดได้	มาตรฐาน	วัดได้	มาตรฐาน	วัดได้	มาตรฐาน	วัดได้	มาตรฐาน	วัดได้	มาตรฐาน		

* รอบการทำงาน = $\frac{\text{ค่าสารคลอไรด์ในน้ำเย็นที่ได้}}{\text{ค่าสารคลอไรด์ในน้ำเติม}}$

** ความสะอาดของน้ำ = (จำนวนรอบการทำงาน x ค่าความกระด้างของน้ำเติม) - ค่าความกระด้างของน้ำเย็นที่ได้

ระบบขับเคลื่อนโดยใช้อิเล็กทริก

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในหลายๆ จุดของอาคารโรงพยาบาล เช่น ระบบขนส่งภายในโรงพยาบาล ได้แก่ ลิฟต์ บันไดเลื่อน ระบบประปา และระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ปั๊มน้ำ เป็นต้น ปกติมอเตอร์มีอายุการทำงานอยู่ในช่วงประมาณ 10 - 20 ปี แต่หากใช้งานมอเตอร์ไม่เหมาะสม ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ย่อมต่ำลง ส่งผลให้มอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าที่ควรเป็น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ดังนั้น การบำรุงรักษามอเตอร์และการเลือกใช้งานมอเตอร์อย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

5.1 การอนุรักษ์พลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

การอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำได้ทั้งแบบที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและแบบที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งได้แก่

5.1.1 มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- ทำการเก็บข้อมูลมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปเปรียบเทียบระหว่างค่าฟัคตมอเตอร์กับค่าที่วัดได้แต่ละครั้ง (ตารางที่ 5 - 1 หน้า 43) จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสม
- ตรวจสอบสภาพการระบายความร้อนของมอเตอร์เป็นประจำ
- ตรวจสอบระบบทางกลไกของมอเตอร์เป็นประจำ
- หลีกเลี่ยงการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า

5.1.2 มาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- ใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปรับความเร็วมอเตอร์ให้ช้าหรือเร็ว สำหรับงานที่ต้องการความเร็วหลากหลาย เช่น มอเตอร์ปั๊มน้ำ มอเตอร์พัดลม ชุดส่งลมเย็นในระบบปรับอากาศ
- เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์เดิม เมื่อมอเตอร์เสีย

ตารางที่ 5 - 1

การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์

อุปกรณ์	ชนิด (AC/DC)	ชั่วโมงใช้งาน (ชม./วัน)	พิกัดมอเตอร์ (ค่าจากป้ายเครื่อง)			ผลจากการตรวจวัด				การปรับปรุงแก้ไข		วิธีปรับปรุง	กำลังไฟฟ้า หลังจากการปรับปรุง (kW)	
			กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	ไม่ปรับปรุง			ปรับปรุง
			แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	เฟส R	เฟส S	เฟส T						

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่วัดได้}}{\sqrt{3} \times \text{แรงดัน} \times \text{กระแส}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I}$$

$$\text{การแก้ไขงาน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่วัดได้}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ป้ายเครื่อง}} \times 100$$

$$\text{หมายเหตุ : } \sqrt{3} = 1.732$$

ตัวอย่าง

โรงพยาบาลแห่งหนึ่งติดตั้งมอเตอร์ขนาด 22 kW, 380 V 50 Hz, 43 A เพื่อขับเคลื่อนปั้มน้ำ กำลังของมอเตอร์เมื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏว่าวัดได้ 10.06 kW เมื่อคำนวณหาภาระจะได้

$$\text{ภาระการใช้งาน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่วัดได้}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ป้ายเครื่อง}} \times 100 = \frac{10.06}{22} \times 100 = 45.74 \%$$

เมื่อทำการตรวจวัดปรากฏว่าได้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่วัดได้}}{\sqrt{3} \times \text{แรงดัน} \times \text{กระแส}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I} \quad \text{หมายเหตุ : } \sqrt{3} = 1.732$$

$$= \frac{10.06 \times 1,000}{1.732 \times 378 \times \left(\frac{29.7 + 28.7 + 28.6}{3} \right)}$$

$$= 0.53$$

อุปกรณ์	ชนิด (AC/DC)	ชั่วโมงใช้งาน (ชม./วัน)	พิกัดมอเตอร์ (ค่าจากป้ายเครื่อง)			ผลจากการตรวจวัด				การปรับปรุงแก้ไข		กำลังไฟฟ้าหลังจากการปรับปรุง (kW)						
			แรงดัน (V)	กระแส (A)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)	กำลังไฟฟ้า (kW)	แรงดัน (V)	กระแส (%)	ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุง	วิธีปรับปรุง							
มอเตอร์ปั้มน้ำ	AC	24	380	43	0.87	22	29.7	28.7	28.6	28.6	378	10.06	0.53	45.74			เปลี่ยนขนาดมอเตอร์เป็นขนาด 11 kW	9.43

จะเห็นว่ามอเตอร์มีขนาดใหญ่เกินไปสามารถทำการเปลี่ยนมอเตอร์ให้เป็นขนาด 11 kW ซึ่งจะใช้งานได้เต็มสมรรถนะมากกว่า

5.2 การใช้ออเตอร์ไฟฟ้าและเทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงพยาบาล

เนื่องจากในโรงพยาบาลโดยทั่วไปมีระบบที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนอยู่หลายระบบ และแต่ละระบบก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันไป ดังนั้น เทคนิคของการอนุรักษ์พลังงานก็จะแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ส่วนต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาลที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน	ลักษณะของการใช้พลังงานและแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน
ลิฟต์ (ตารางที่ 5 - 2 หน้า 46)	<ul style="list-style-type: none"> พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะแปรผันตามน้ำหนักบรรทุกและความเร็วของลิฟต์ ปิดลิฟต์บางชุดในช่วงที่มีการใช้งานน้อย เช่น เวลากลางคืน รณรงค์ให้ใช้บันไดแทนลิฟต์ในกรณีที่ขึ้นลงน้อยชั้น รณรงค์ให้กดปุ่มเรียกลิฟต์เฉพาะทิศทางที่ต้องการไปเท่านั้น ดูแลรักษาและเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งานตามที่บริษัทกำหนด ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานเพื่อให้ลิฟต์หยุดทำงานในขณะไม่มีการใช้งานโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติ
บันไดเลื่อน (ตารางที่ 5 - 3 หน้า 46)	<ul style="list-style-type: none"> พลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้อย่างสูญเปล่าในช่วงเวลาที่ไม่มีคนใช้บันไดเลื่อน ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวอัตโนมัติสำหรับการควบคุมให้บันไดเลื่อนทำงานเมื่อมีการใช้เท่านั้น ดูแลรักษาและเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งานตามที่กำหนด
ระบบประปาและระบบบำบัดน้ำเสีย (ตารางที่ 5 - 4 หน้า 46) (ตารางที่ 5 - 5 หน้า 47)	<ul style="list-style-type: none"> ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำ ซึ่งส่วนมากเป็นชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal) เลือกปั๊มน้ำซึ่งมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดใกล้เคียงกับจุดใช้งาน ไม่ควรเพื่อขนาดปั๊มน้ำให้ใหญ่จนเกินไป บันทึกข้อมูลการใช้งานปั๊มน้ำอย่างสม่ำเสมอ (ตารางที่ 5 - 4 หน้า 46) พยายามเลือกใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายตัว ดีกว่าใช้ขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อย เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในปั๊มน้ำแทนการใช้มอเตอร์แบบมาตรฐานทั่วไป เลือกขนาดใบพัดให้เหมาะสมกับขนาดของตัวมอเตอร์และปั๊มน้ำ ใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD Control) ในปั๊มน้ำแทนการปิดวาล์ว หรือแทนการเปิดให้ไหลวนกลับ (Bypass) สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า จัดรายการซ่อมบำรุงรักษาปั๊มน้ำอย่างสม่ำเสมอ (ตารางที่ 5 - 5 หน้า 47) คำนวณความเสียหายของระบบท่อโดยละเอียด เพื่อนำไปคำนวณหาจำนวนแรงม้าที่ปั๊มน้ำได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 5 - 2

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางเคลื่อนที่ของลิฟต์

ประเภทอาคาร	ขนาดรับน้ำหนัก (กิโลกรัม)	จำนวนคน (คน)	ความเร็วขั้นต่ำ (เมตร/วินาที)	ระยะทางเคลื่อนที่ของลิฟต์ (เมตร)
โรงพยาบาล	1,600 - 1,800	24 - 28	45	0.20
			60 - 75	20 - 30
			75 - 90	30 - 40
			105 - 120	40 - 50
			150 - 180	60 - 75
			210	สูงกว่า 75

ตารางที่ 5 - 3

ขนาดมอเตอร์ปกติของบันไดเลื่อน (Typical Escalator Motor Size)

ความกว้าง (เมตร)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	ความสูง (เมตร)	ขนาดมอเตอร์ (kW)
0.8	30 - 40	4.3	3.7
0.8	30 - 40	5.2	5.5
1.2	30	5.2	5.5
1.2	30	6.4	7.5
1.2	30 - 40	7.6	11

อ้างอิงจาก คู่มือและเอกสารประกอบการฝึกอบรมการเป็นวิทยากรหรือผู้ชำนาญการด้านการอนุรักษ์พลังงานอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล, บริษัท อีอีซี - อีเนอร์จีดีคัลส์ จำกัด, ต.ค. 2543

ตารางที่ 5 - 4

การบันทึกข้อมูลการใช้งานปั๊มน้ำ

หมายเลข	ตำแหน่งติดตั้ง	ขนาดมอเตอร์ (kW)	กระแส (A)			แรงดัน (V)	ความดัน (Psig)		การทำงาน		หมายเหตุ
			เฟส R	เฟส S	เฟส T		ด้านดูด	ด้านจ่าย	เริ่ม	หยุด	

การบำรุงรักษาปั้มน้ำประเภทแรงเหวี่ยงชนิดเพลานอนในแนวราบ

ประจำทุก วัน 6 เดือน 1 ปี

วันที่.....เดือน.....ปี.....

ยี่ห้อปั้มน้ำ.....รุ่น.....หมายเลขเครื่อง.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุกวัน					
1. อุณหภูมิร่อนลิน					
2. ความดันทางท่อดูดและท่อจ่าย					
3. การรั่วจากกันรั้ว					
4. การหล่อลื่นกันรั้ว					
5. โหลด (Load) ของปั้มน้ำ					
6. ระดับเสียงและการสั่นสะเทือน					
7. ระดับน้ำมันหล่อลื่นที่มาหล่อเลี้ยงร่อนลิน					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 6 เดือน					
1. การได้ศูนย์ระหว่างปั้มน้ำกับต้นกำลัง					
2. การเติมน้ำมันหรือไขให้กับร่อนลิน					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบทุก 1 ปี					
1. การรั่วตามเพลลาและการซ่อมบำรุงกันรั้ว					
2. การสึกของปลอกเพลลา					
3. ช่องว่างระหว่างใบพัดและแหวนกันสึก					
4. ทดสอบและปรับแก้เกจวัดต่าง ๆ ที่ใช้วัดน้ำและ กระแสไฟฟ้า					
5. เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นและไขที่ร่อนลิน					

ระบบทำความร้อน

โดยทั่วไปโรงพยาบาลจะใช้ความร้อนในส่วนของห้องซักรีดและห้องครัว ความร้อนที่ได้จะเป็นไอน้ำ ซึ่งใช้หม้อไอน้ำในการผลิตไอน้ำ แล้วส่งไปยังส่วนต่างๆ ที่มีความต้องการใช้ความร้อน อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำภายในโรงพยาบาล ได้แก่

- เครื่องอบผ้า
- เครื่องอบฆ่าเชื้อ
- เครื่องรีดผ้า
- เครื่องซักผ้า
- เครื่องหุงต้ม

หมายเหตุ : โรงพยาบาลแต่ละแห่งอาจมีอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำแตกต่างกันไป แต่หลักการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นจะเหมือนกัน

6.1 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ

การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งแบบที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและแบบที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย เพื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

6.1.1 มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- ปรับตั้งแรงดันไอน้ำให้เหมาะสมกับงาน
- เดินเครื่องหม้อไอน้ำให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน
- เก็บข้อมูลและตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ (ตารางที่ 6 - 1 และ 6 - 2 หน้า 49 - 50)
- ตรวจสอบสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำเป็นประจำ (ตารางที่ 6 - 3 ถึง 6 - 4 หน้า 52 - 53)
- บำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง (ตารางที่ 6 - 5 ถึง 6 - 6 หน้า 54 - 55)
- ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ (ตารางที่ 6 - 7 หน้า 56)
- นำไอน้ำมาอุ่นน้ำมันเตาแทนการใช้อุปกรณ์ทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Heater)
- อุ่นน้ำมันเตาให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม
- ปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้ทำงานอย่างสมบูรณ์เกิดเขม่าน้อย
- นำน้ำโบล์ดวอร์น (น้ำร้อนที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ) กลับมาอุ่นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
- นำคอนเดนเสท (น้ำที่เกิดจากการควบแน่นหลังจากถูกใช้งาน) กลับมาอุ่นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

6.1.2 มาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย

- หุ้มฉนวนท่อไอน้ำป้องกันการสูญเสียความร้อนไปในอากาศ
- ติดตั้งชุดอุ่นน้ำ (Economizer) ก่อนเข้าหม้อไอน้ำ
- ติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
- ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับพัดลมเป่าอากาศ เพื่อใช้ในการเผาไหม้
- ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วกับพัดลมเป่าอากาศ (Combustion Fan)
- ใช้ชุดควบคุมปริมาณออกซิเจน (O₂ Trim Control)
- นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อุ่นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

ตารางเก็บข้อมูลและตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

รายละเอียด		ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ประเภทหม้อไอน้ำ				
ขนาดที่ออกแบบไว้	ความดันไอน้ำ (กก./ซม. ²)			
	อัตราการระเหย (ตัน/ชั่วโมง)			
รูปร่างภายนอก	กว้าง (เมตร)			
	ยาว (เมตร)			
	สูง (เมตร)			
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)			
พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)				
ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้				
อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชั่วโมง)				
ประสิทธิภาพ (%)				
ชื่อผู้ผลิต				
เดือน/พ.ศ. ที่ติดตั้งใช้งาน				
สถานที่ใช้งาน				
ชั่วโมงการใช้งาน/ปี				
ข้อมูลการตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้				
อุณหภูมิไอเสีย (°C)				
อุณหภูมิแวดล้อม (°C)				
ปริมาณของออกซิเจน (%)				
ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (%)				
ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ (%)				
ความดันไอเสีย (นิ้วน้ำ)				
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)				
หมายเหตุ				

ตารางที่ 6 - 2

ตารางจัดบันทึกข้อมูลประจำวันของหม้อไอน้ำ

บันทึกรายงานประจำวันของหม้อไอน้ำ (สำหรับเชื้อเพลิงเหลว)

วันที่.....เดือน.....ปี.....พ.ศ.....

เวลา	ชื่อผู้ควบคุม	ความดันไอน้ำ bar หรือ kg/cm ²	ระดับน้ำในหม้อต้มน้ำ		ปริมาณน้ำหม้อไอน้ำ		เชื้อเพลิง				อุณหภูมิที่ปล่องไฟ	หมายเหตุ		
			ระดับน้ำในหม้อต้มน้ำ	ระดับน้ำในหม้อต้มน้ำ	ความดัน	อุณหภูมิ	ความดัน	อุณหภูมิ	ก่อน	หลัง			หมายเลขดีเซล	อุณหภูมิที่ถังพัก
01:00			1	2										
02:00														
03:00														
04:00														
05:00														
06:00														
07:00														
08:00														
09:00														
10:00														
11:00														
12:00														

ความดันไอน้ำโดยเฉลี่ย kg/cm²

อุณหภูมิที่ปล่องไฟโดยเฉลี่ย °C

อัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ kg/hr

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง kg/hr หรือ ลิตร/hr

ระบายน้ำปลิวความประมาณ วินาที จำนวน ครั้งต่อ 12 ชั่วโมง (ลงชื่อ)

ผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ

ตรวจสอบสัญญาณเตือนภัยเวลา

ตรวจสอบเครื่องควบคุมระดับน้ำเวลา

ตรวจสอบสวิตช์นิรภัยเวลา

ข้อสังเกต

หมายเหตุ : ให้กรอกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง

บันทึกรายงานประจำวันของหม้อไอน้ำ (สำหรับเชื้อเพลิงเหลว)

วันที่.....เดือน.....ปี.....พ.ศ.....

เวลา	ชื่อผู้ควบคุม	ความดันไอน้ำ bar หรือ kg/cm ²	ระดับน้ำในหลอดแก้วที่		ปริมาณน้ำที่หม้อไอน้ำ		เชื้อเพลิง				อุณหภูมิที่ปล่องไฟ	หมายเหตุ	
			1	2	ความดัน	อุณหภูมิเข้า	ความดัน	อุณหภูมิ	หมายเลขมิเตอร์	อุณหภูมิที่ถังพัก			
13:00													
14:00													
15:00													
16:00													
17:00													
18:00													
19:00													
20:00													
21:00													
22:00													
23:00													
24:00													

ความดันไอน้ำโดยเฉลี่ย kg/cm² ตรวจสอบสัณฐานเดือนกับเวลา

อุณหภูมิที่ปล่องไฟโดยเฉลี่ย °C ตรวจสอบเครื่องควบคุมระดับน้ำเวลา

อัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ kg/hr ตรวจสอบเดินนิรภัยเวลา

ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ข้อสังเกต

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง kg/hr หรือ ลิตร/hr

ปริมาณน้ำใบ้ความปรมาณ วินาที จำนวน ครั้งต่อ 12 ชั่วโมง (ลงชื่อ)

ผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ

ตารางการตรวจสอบสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำ

ประจำทุก วัน สัปดาห์ เดือน

วันที่.....เดือน.....ปี.....

หม้อไอน้ำลำดับที่.....ขนาดของหม้อไอน้ำ.....ตันไอน้ำ/ช.ม.

ชนิดของหัวเผา.....เกรดของน้ำมันเตา.....

ชื่อผู้ทำการตรวจสอบ.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบประจำวัน					
1. หลอดแก้วแสดงระดับน้ำในหม้อไอน้ำ					
2. เครื่องควบคุมระดับน้ำ					
3. คุณสมบัติของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ					
4. สัญญาณเตือนภัยหากระดับน้ำผิดปกติ					
5. วาล์วข้อต่อและท่อ					
6. วาล์วถ่าน้ำทิ้ง					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบประจำสัปดาห์					
1. บั๊มน้ำ					
2. เครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำ					
3. วาล์วนิรภัย					
4. ชุดหัวฉีดน้ำมัน					
5. อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน					
6. เต้าไฟ					
<input type="checkbox"/> ตรวจสอบประจำเดือน					
1. กระจกส่องตรวจสอบเพื่อดูการเผาไหม้					
2. วาล์วกันกลับ					

ตารางการตรวจสอบสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำ

ประจำทุก 3 เดือน 6 เดือน

วันที่.....เดือน.....ปี.....

หม้อไอน้ำลำดับที่.....ขนาดของหม้อไอน้ำ..... ตันไอน้ำ/ชม.

ชนิดของหัวเผา.....เกรดของน้ำมันเตา.....

ชื่อผู้ทำการตรวจสอบ.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
1. ท่อน้ำ					
2. ท่อไฟ					
3. เพดานเตาด้านสัมผัสไฟ					
4. อิฐทนไฟ					
5. ฉนวนกันความร้อน					
6. เหล็กยึดโครง					
7. ฝาหอย					
8. ช่องทำความสะอาด					
9. ถังพักไอน้ำ					
10. อุปกรณ์แยกน้ำ					
11. เครื่องดักไอน้ำ					

ตารางการบำรุงรักษา การปรับปรุงแก้ไขและทำความสะอาดหม้อไอน้ำ

ประจำทุก 3 เดือน 6 เดือน

วันที่.....เดือน.....ปี.....

หม้อไอน้ำลำดับที่.....ขนาดของหม้อไอน้ำ.....ตันไอน้ำ/ช.ม.

ชนิดของหัวเผา.....เกรดของน้ำมันเตา.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
1. หลอดแก้วแสดงระดับน้ำ					
2. วาล์วและท่อต่างๆ					
3. วาล์วถ่ายน้ำทิ้ง					
4. เครื่องควบคุมระดับน้ำ					
5. ป้อนน้ำ					
6. วาล์วกันกลับ					
7. ชุดหัวฉีด					
8. อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน					
9. ใส้กรองน้ำมัน					
10. วาล์วนิรภัย					
11. เต้าไฟ					

ตารางที่ 6 - 6

ตารางการบำรุงรักษา การปรับปรุงแก้ไขและทำความสะอาดหม้อไอน้ำประจำปี

วันที่.....เดือน.....ปี.....

หม้อไอน้ำลำดับที่.....ขนาดของหม้อไอน้ำ..... ตันไอน้ำ/ช.ม.

ชนิดของหัวเผา.....เกรดของน้ำมันเตา.....

ชื่อผู้ทำการบำรุงรักษา.....ชื่อหัวหน้าผู้ควบคุม.....

รายการที่ต้องบำรุงรักษา	ผลการบำรุงรักษาและการแก้ไข				หมายเหตุ
	ปกติ	ผิดปกติ	สาเหตุ	การแก้ไข	
1. สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำ					
2. เกจวัดความดันไอน้ำ					
3. ท่อที่ต่อเข้าเกจวัดความดัน					
4. สัญญาณเตือนภัยหากระดับน้ำผิดปกติ					
5. ถังเก็บน้ำมัน					
6. ท่อน้ำ					
7. ท่อไฟ					
8. เพดานด้านสัมผัสไฟ					
9. อิฐทนไฟ					
10. ฉนวนกันความร้อน					
11. ปลั๊กหลอมละลาย					
12. เหล็กยึดโครง					
13. อุปกรณ์แยกน้ำ					
14. เครื่องดักไอน้ำ					
15. ความปลอดภัยอื่นๆ ของหม้อไอน้ำ					

ตารางที่ 6 - 7

การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน

ลำดับ	รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	รุ่น/แบบ	อายุการใช้งาน	ผลการตรวจสอบ							ปรับปรุงแก้ไข	หมายเหตุ
				จำนวน	สนิม	ความสกปรก	เสียง	รอยร้าว	รอยแตก	สายพาน		

หมายเหตุ

ระดับ	จำนวน	สนิม	ความสกปรก	เสียงสะท้อน	รอยร้าวซึม	รอยแตกร้าว	สายพาน
1	ชำรุดมาก	100%	มาก	ดังมาก	มาก	มาก	หย่อน/ตึง
2	ชำรุดปานกลาง	80%	ค่อนข้างมาก	ค่อนข้างดังมาก	ค่อนข้างมาก	ค่อนข้างมาก	
3	ชำรุดน้อย	60%	ปานกลาง	ดังปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ค่อนข้างหย่อน/ตึง
4	เสื่อม	40%	น้อย	ดังกน้อย	น้อย	น้อย	
5	สมบูรณ์	20%	ไม่มี	ไม่ดัง	ไม่มี	ไม่มี	พอดี

ตัวอย่าง

การตรวจสอบสภาพอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน

ลำดับ	รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	รุ่น/แบบ	อายุการใช้งาน	ผลการตรวจสอบ							ปรับปรุงแก้ไข	หมายเหตุ
				จำนวน	สนิม	ความสกปรก	เสียง	รอยร้าว	รอยแตก	สายพาน		
1	เครื่องอบแห้ง	TB 20	5	3	5	2	5	5	5	-	ทำความสะอาด	
2	เครื่องรีดผ้า	RE 1	3	5	-	4	5	5	5	-	-	
3	เครื่องซักผ้า	B 52	7	3	5	3	3	3	3	5	ซ่อมแซมรอยร้าว	

เอกสารอ้างอิง

1. คู่มือผู้จัดการพลังงานที่ดี (The Good Energy Manager's Guide) แนวทางการปฏิบัติงานที่ดีในการจัดการด้านพลังงาน, ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กองฝึกอบรม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
 2. รูปแบบของการจัดการด้านพลังงาน (Aspects of Energy Management), ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กองฝึกอบรม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
 3. ข้อเสนอแนะการใช้หม้อน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, พิมพ์ครั้งที่ 3, เมษายน 2543, ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
 4. ข้อเสนอแนะการประหยัดไฟฟ้าในอาคาร (B3), เอกสารเผยแพร่, พิมพ์ครั้งที่ 6, สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, สิงหาคม 2544.
 5. การลดค่าใช้จ่ายด้วยการประหยัดพลังงาน (I7), เอกสารเผยแพร่, พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, เมษายน 2543.
 6. ศิริพรรณ ธงชัย, การประหยัดพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2535.
 7. ขวัญชัย กุศลสันติธำรงค์, การปรับปรุงคุณภาพพลังงานไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์, เทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม, ฉบับที่ 104, หน้า 72 - 76, กันยายน 2541.
 8. คู่มือและเอกสารประกอบการฝึกอบรมการเป็นวิทยากรหรือผู้ชำนาญการด้านการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานสิ่งทอ, บริษัท อีอีซี-อีเนอร์จี้ดีคิส จำกัด, ตุลาคม 2543.
 9. คู่มือและเอกสารประกอบการฝึกอบรมการเป็นวิทยากรหรือผู้ชำนาญการด้านการอนุรักษ์พลังงานอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล, บริษัท อีอีซี-อีเนอร์จี้ดีคิส จำกัด, ตุลาคม 2543.
 10. ประสิทธิ์ นางทิน, การควบคุมมอเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน, 2545.
 11. Frank D. Borsenik & Alan T. Stutts, The Management of Maintenance & Engineering Systems in The Hospitality Industry, John Wiley & Son, Inc., Third Edition, October 1991.
 12. อัตราค่าไฟฟ้า, การไฟฟ้านครหลวง, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนตุลาคม 2543.
- พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 5,000 เล่ม พ.ศ.2547 ● พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับปรับปรุง) จำนวน 2,000 เล่ม พ.ศ. 2548



กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

กระทรวงพลังงาน

พัฒนาพลังงานไทย ลดใช้พลังงานชาติ

ภาคผนวก

เอกสาร Reducing Earthquake Risk in Hospitals from
Equipment, Contents, Architectural Elements and Building
Utility Systems

GEOHAZARDS  **INTERNATIONAL**
A Nonprofit Working Toward Global Earthquake Safety'

 **GeoHazards Society**
I N D I A

Reducing Earthquake Risk in Hospitals

from Equipment, Contents, Architectural Elements and Building Utility Systems



GEOHAZARDS INTERNATIONAL
A Nonprofit Working Toward Global Earthquake Safety

GeoHazards Society
I N D I A

Swiss Re
III



Reducing Earthquake Risk in Hospitals

from Equipment, Contents, Architectural Elements and Building Utility Systems

This manual was made possible by a grant from Swiss Reinsurance Company.

Authors: Janise Rodgers, Veronica Cedillos, Hari Kumar, L. Thomas Tobin and Kristen Yawitz of GeoHazards International

Graphic design and illustrations: THOT. www.thot.in

All photographs and drawings not taken or made by the authors or THOT Designs used with permission.

Copyright 2009 GeoHazards International and GeoHazards Society. All rights reserved.

Acknowledgments

GeoHazards International and GeoHazards Society would like to thank the following:

Technical reviewers
Lt Gen (Dr) J Bharadwaj, PVSM AVSM VSM PHS (Retd), Member, NDMA, Govt. of India
Prof. Vinod Chandra Menon, Member, NDMA, Govt. of India
William T. Holmes, Rutherford & Chekene
Richard Lloyd, Mason Industries
Chris Tokas, California Office of Statewide Health Planning and Development
Kip Edwards, Banner Health
Melvyn Green, Melvyn Green and Associates
Rebekah Green, Western Washington University
Dr. Shakti Kumar Gupta, All India Institute of Medical Sciences
Anup Karanth, TARU Leading Edge Pvt. Ltd.
Vipul Ahuja, Ahuja Consultants Pvt. Ltd.
Donald H. Cheu, MD
Sharad Pandya, California Office of Statewide Health Planning and Development
Dr. Shikha Singh, All India Institute of Medical Sciences
Dr. R.K. Chadha, Hindu Rao Hospital, New Delhi
Dr. L.M Chandana, Former CDMO, Bhuj Hospital and Hospital Administration Department, All India Institute of Medical Sciences.

Contributors of images and technical material
Applied Technology Council, EFP Engineers (Bertero, Fierro, Perry), California Office of Statewide Health Planning and Development, Degenkolb Engineers, Earthquake Engineering Research Institute, Indian Institute of Technology Kanpur, Indian Institute of Technology Roorkee, Mason Industries, Melvyn Green and Associates, National Information Centre of Earthquake Engineering (Indian Institute of Technology, Kanpur), National Information Service for Earthquake Engineering (Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley), Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (University at Buffalo, State University of New York), National Geophysical Data Center, Rutherford & Chekene, University of California, Berkeley, U.S. Federal Emergency Management Agency, U.S. Geological Survey and Dr. Shakti Kumar Gupta.

Disclaimer
All parties, including but not limited to GeoHazards International, GeoHazards Society, and Swiss Reinsurance Company are not responsible for any earthquake damage or the consequences thereof that occur despite or because of the application of measures described in this manual. In addition, users of the manual are solely responsible for maintaining safe and appropriate practices when installing restraints or securing objects. Work on electrical systems, lift systems, pressure vessels, and certain other items described in the manual is inherently hazardous and any work must be carried out by a professional tradesperson. All parties, including but not limited to GeoHazards International, GeoHazards Society, and Swiss Reinsurance Company, are not responsible for damage or consequences arising from installation or application, properly or improperly, of measures described in this manual.

GEOHAZARDS INTERNATIONAL
A Nonprofit Working Toward Global Earthquake Safety

GeoHazards Society
I N D I A

Swiss Re
III



Vice Chairman
National Disaster Management Authority
Government of India


FOREWORD

1. National Disaster Management Authority has prepared National Guidelines for various types of disasters including man-made disasters as a part of its mandate under the Disaster Management Act, 2005. The intent of these guidelines is to develop a holistic, coordinated, proactive and technology-driven strategy for the management of disasters through a culture of prevention, mitigation and preparedness. Along with the guidelines, NDMA is also supporting numerous awareness generation and capacity building/training materials in various languages for ensuring sustainable risk reduction in the Country.

2. We are happy to encourage the efforts of Swiss Re, GeoHazards International and GeoHazards Society in the preparation of this manual for 'Reducing Earthquake Risks in Hospitals from Equipment, Contents, Architectural Elements and Building Utility Systems, as 2009 is being observed as year of 'Safe Hospitals'. This manual is a comprehensive tool with numerous practical and graphic details to enable all hospital administrators and departmental in-charges to initiate safety measures within their area of influence.

3. I acknowledge the contribution of experts from around the Country and abroad who have given valuable technical inputs in the development of this manual.

New Delhi
6 December 2009


General NC Vij
PVSM, UYSM, AVSM (Retd)



Reducing Earthquake Risks in Hospitals



Lt Gen (Dr) J R Bhardwaj
PVSM AVSM USM FMS (Retd)
MD DCP-P&D FICP FAMS FRC Path (London)
Member
(Status : Union Minister of State)



National Disaster Management Authority
Government of India
NDMA Bhawan
A-1, Safdarjung Enclave
New Delhi - 110029
Tel. : 011-2671778 Fax : 011-26701804
E-mail : jrb2600@gmail.com



Message

Hospitals have expensive medical equipments and vital support systems that have to remain functional following a disaster to ensure the continuity of medical services. Securing these vital equipments and systems will greatly reduce damages and avoidable consequences such as loss of life and functionality of the Hospital. The manual 'Reducing Earthquake Risks in Hospitals from Equipment, Contents, Architectural Elements and Building Utility Systems' brought out by Swiss Re, GeoHazards International and GeoHazards Society is a comprehensive guide that will help hospital administrators reduce the earthquake risk to their hospitals. In particular, the manual will help them identify and mitigate hazards in various parts of the hospitals including ICUs, Operation theatres and other critical areas.

All hospitals in the country are advised to undertake actions as detailed in this manual as it will help reduce one of the major sources of earthquake-related damage and losses: the hospital's medical equipment and supplies, contents, architectural elements, and building utility systems. I am sure this manual will go a long way in helping health facilities in the country get prepared so that they continue to function and serve the community when it needs it the most. I am pleased to place on record my sincere appreciation for the detailed technical inputs that have gone into the preparation of the manual.


Lt Gen (Dr.) J R Bhardwaj

Executive Summary

Hospitals provide life-saving medical care on a daily basis to the communities that they serve. Your community expects your hospital and its staff to save lives in an emergency and to care for community members, if they are severely injured or become seriously ill. Your hospital has an additional responsibility to keep patients and staff safe. In particular, critical care patients, the very ill and the very young will require protection: they will not be able to protect themselves or to evacuate, if disaster strikes.

Earthquakes threaten your hospital's ability to carry out its responsibilities to care for the ill and injured. Past earthquakes around the world have destroyed hospitals or damaged them so that they could not function. These hospitals failed their communities in their hour of greatest need.

You can take reasonable measures to reduce your risk of earthquake damage and losses and to keep your hospital functioning after an earthquake. This manual will help you to reduce one of the major sources of earthquake-related damage and losses: your hospital's medical equipment and supplies, contents, architectural elements, and building utility systems. Damage to these items has caused deaths, injuries, building functional loss, and economic loss in past earthquakes, even in cases in which the building structure itself was essentially undamaged. This manual outlines measures for anchoring and bracing items properly to reduce risk; these steps, however, form only one part of the comprehensive approach that you need to take, in order to keep your hospital safe from earthquakes. Your hospital buildings might be at risk of severe damage or even collapse in a major earthquake, but you can strengthen them, if needed, with the help of engineers and building professionals. Your staff may not know what to do if an earthquake strikes, but you can train them, so that they do know how to respond.

You can start to reduce your hospital's earthquake risk today. The first step is to create a hospital emergency preparedness committee, if you do not already have one. This committee will develop a plan to ensure that (a) your hospital's buildings are safe and will not collapse during an earthquake; (b) medical equipment and supplies, contents, architectural elements, and building utility systems will not fall or fail and injure patients or endanger critical functions; and (c) your staff will be prepared to keep themselves, their patients and their families safe if an earthquake strikes. The hospital emergency preparedness committee can use this manual to get started.

The next step is to pass this manual along to your hospital's maintenance or engineering department head and to direct them to begin anchoring and bracing critical equipment and building utility systems. This manual provides guidance for maintenance personnel and engineers, as well as references to additional technical information. Most anchoring and bracing can be done using low-cost, readily available parts and tools.

Preparing your hospital is a process that takes time to complete. By starting today, you demonstrate your commitment to be there for the community after a major earthquake strikes.

Table of Contents

• Introduction	04
• Why Your Hospital Needs to Function After an Earthquake	04
• Why Earthquake Damage Affects Hospitals More Severely Than Other Buildings	05
• How this Manual Can Help	05
• How to Determine Your Hospital's Earthquake Risk	07
• How Earthquakes Can Damage and Affect Hospitals	07
• How to Determine Your Earthquake Hazard	12
• What to Expect After an Earthquake	12
• How to Manage Your Hospital's Earthquake Risk	13
• Where to Find Information about Specific Objects	16
• Objects Typically Found in Major Rooms	16
• Anchoring and Bracing Information for Specific Objects	51
• Medical Equipment	52
• Furnishings and Hospital Administrative Systems	76
• Supplies	86
• Mechanical and Electrical Equipment	96
• Pipes, Ducts and Conduits	124
• Tanks and Medical Gases	136
• Architectural Elements	146
• Lifts	160
• Appendix A. Hazard Hunt Checklist	165
• Appendix B. Do It Yourself Resources	167
• Appendix C. Further Information and Technical Resources for Engineers	173
• Appendix D. Example Calculations for Engineers	179
• Abbreviations	183
• References	183
• Index	185

02

Bhuj Civil Hospital

On the morning of January 26, 2001, people throughout Gujarat were just starting their day of celebrations for the Republic Day holiday. Schoolchildren were putting on special programmes and marching in parades. At the Civil Hospital in Bhuj, also known as the GK General Hospital, which serves as the district hospital for Kachchh district, the staff continued its daily routine of providing care for the sick. Dr. L. M. Chandana, the Civil Surgeon for the hospital and Chief District Medical Officer at the time, provided the following eyewitness account of what happened next:

I was in charge of the Bhuj Civil Hospital, which had been built in the late 1940s. On Jan 26, 2001, I left my quarters at 8:00 a.m. and took the ten minute walk to the hospital as I normally do, stopping by at the temple on the way. I had a surgery lined up for the morning, but the patient had not come. My colleagues in the OT were having coffee and invited me for a cup, but I refused as I had breakfast just before leaving home. Besides, I also had to attend two flag hoisting ceremonies, this being Republic Day. The surgery patient came just then and I asked her to come after 11 a.m., by when I expected to have hoisted the flag at our hospital. I was informed by my ward boy that a vehicle was waiting downstairs to take me to the grounds where the district's flag hoisting would take place.

I came down to the ground floor and was about to get into the car when there was this tremendous noise like a jet plane about to take off. Those were the days of India-Pakistan tensions and being close to the border, I assumed that it was a missile attack. Then I saw parts of the fort opposite the hospital fall, and there was dust everywhere, and it seemed like I was in the middle of a cyclone. Buildings were swaying and collapsing all around me, and I knew then that it was an earthquake. I went back in. If you could call it going in, and found that my colleagues in the OT, my own staff nurse and ward boy were no more. We lost 17 staff and 197 patients and relatives at the hospital that day. On the South side, the building had not collapsed completely, and some staff members could escape. The main building (which houses the OT), maternity ward, the out-patient department were all dust.

Within 15 minutes, people started coming in with patients (and even the dead), without realising that the hospital had collapsed. As in any government hospital in those days, we were not prepared for such a disaster. And to add to that, the loss of the main buildings and staff traumatised us. After about 30 minutes, we started organising ourselves in the campus of the hospital and treating the injured. Luckily, our pharmacy had just been stocked, and we had stocks of medicine worth about 40 lakh rupees. The pharmacy was largely undamaged, except for the collapse of a corner. We arranged for necessary physical support to be given to the pharmacy roof slab and started organising treatment in the campus. Doctors from the surrounding area also joined in. Whatever cots we could salvage were brought out to the open, and we started treatment, including surgery, in the open. Doctors from other parts of the country came by evening, but they had been jolted out of wherever they had been that day and were largely unprepared. Many had not even eaten their lunches when they were put on the flight, and I had trouble trying to make arrangements for them. Finally, I could arrange some broth and a tent to stay for them. For eleven months, we worked from tents. When the Prime Minister's office decided to rebuild the hospital, I was still in charge and all drawings have my signature.

As a result of the Gujarat earthquake, 13,805 people lost their lives. The city of Bhuj was hit especially hard—thousands of people died, and the city center was devastated. The Civil Hospital was not there when the city needed it most.

A year later, a new hospital was built to replace the collapsed Civil Hospital. This hospital was built on special sliders, called seismic isolators, to allow it to survive a strong earthquake with minimal damage. The hospital and community now understand the importance of earthquake preparedness and how valuable it is to have a safely built hospital—it can save thousands of lives. The community feels more at peace with its new earthquake-safe hospital. This new hospital will prevent people from dying in the next Gujarat earthquake. That is why it is so important to build new hospitals that will be able to function after an earthquake and to strengthen existing hospitals before the next earthquake strikes somewhere in India—perhaps in your city or district. The question is, are you prepared? Or could your hospital fail the community, like Bhuj Civil Hospital did?



Photo credits: EERI 2001 Bhuj, India Earthquake Reconnaissance Report

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

03

Introduction

Hospitals are critical institutions that community members rely on to save lives in an emergency. Regrettably, many hospitals around the world have failed their communities after major earthquakes, in times of dire need. This manual will help you to take steps to prevent that from happening to your hospital. Let's begin by reviewing what can happen in an earthquake, based on the experience of a hospital located here in India.

An earthquake can cause damage to the hospital building itself and, in cases like that of the Bhuj Civil Hospital, could cause all or part of the building to collapse. Building collapse is the greatest threat to life safety in most earthquakes. Protect your patients, your staff and colleagues, and yourself by having a qualified engineer evaluate your buildings to determine if they need to be strengthened (i.e., seismically retrofitted).

Building safety is crucial to saving lives during an earthquake, but objects within a building can be a great hazard as well. Hospitals house a large number of objects that are required for operational and functional purposes. Some people refer to these objects as "non-structural" components because they are not part of the building structure that resists forces. Falling objects and damage to building systems and equipment have caused deaths, injuries, building functional loss, and economic loss in past earthquakes, even in cases where the building structure was essentially undamaged. In many cases, facilities were unusable for weeks or even months, due to earthquake damage to objects and building utility systems. Even smaller earthquakes that do not damage the building itself can break water pipes and damage equipment. This manual will help you to develop and carry out a plan to reduce the hazards posed by the major groups of objects found in hospital buildings: medical equipment and supplies, architectural elements, furnishings, and building utility systems and equipment. This plan should be part of a larger plan to reduce your hospital's earthquake risk.

Why Your Hospital Needs to Function After an Earthquake

Damage to your hospital's utility systems and equipment, architectural elements, and medical equipment may prevent the hospital from functioning, even if the building structure itself is undamaged. It is essential to address the safety hazards that these items pose, for the following reasons:

- **The community needs you.** Hospital buildings play a vital role in communities, especially right after an earthquake, when there is a sharp increase in demand for medical services. Numerous earthquake victims will come to the hospital, seeking medical assistance. The community will expect the hospital to provide immediate medical care to the injured, as well as help to those people who are suffering from the traumatic experience. Your hospital may need to provide these additional services for weeks or months after an earthquake.
- **Some patients cannot protect themselves or evacuate.** Patients already in the hospital could be injured, if these hazards are not addressed. Many patients will be unable to take protective actions, such as getting under sturdy furniture, during an earthquake or to evacuate afterwards; therefore, reducing falling hazards is crucial to their safety. Medical and emergency personnel need to be able to enter the building after the earthquake, in order to care for these patients.
- **Moving critical care patients can be difficult and dangerous.** It is in the hospital's best interest to avoid transferring their critical care patients to another hospital after an earthquake, because this transfer could be dangerous for the patient, as well as difficult and expensive. Patients could also be easily separated from their medical records during the transfer, making it difficult to identify and to provide the correct care for each patient.

Introduction

04

- **Earthquakes disproportionately affect the poor.** Earthquakes cause the most suffering among those segments of population that live below the poverty line. These people are injured or killed in an earthquake more often than are other groups, because they tend to live in more vulnerable types of buildings, due to a lack of resources. The poor also rely heavily on government and private charitable health facilities for routine care and do not have the resources to travel elsewhere for care, if the government facilities can't function. Lengthy closures of these facilities will compound the suffering of the poor.

Why Earthquake Damage Affects Hospitals More Severely Than Other Buildings

Earthquakes can have numerous consequences, ranging from minor to life-threatening. Unprepared hospitals tend to experience more serious consequences from earthquake damage than other buildings do, for the following reasons:

- **Hospitals have complex systems that are crucial to maintaining services.** Hospitals tend to be more complicated than other buildings, in terms of their components and systems (i.e., medical equipment, electrical and heating, ventilation and air conditioning systems, medical gas distribution systems, emergency power systems). Many of these systems are crucial to preventing the spread of infection, while others, such as life support systems, are necessary for keeping patients alive. Earthquake damage could interrupt the function of these vital systems, which could result in loss of life and disrupted hospital services.
- **Hospitals contain expensive medical equipment.** Studies have shown that the cost of components (i.e., equipment, furniture, partition walls) relative to the entire building cost is much higher for hospitals than for other buildings. This is chiefly due to hospitals' expensive medical equipment, such as scanning and imaging machines. Preventing damage to hospital equipment can greatly reduce the economic losses from earthquakes.
- **Hospitals house patients who may be incapacitated or reliant on life support.** Many of the patients in a hospital may not be able to protect themselves during earthquake shaking or to evacuate on their own after an earthquake. Earthquake damage that could cause minor injuries to, or merely inconvenience, healthy people might cause severe injury to incapacitated hospital patients. Patients on life support can die if life support systems fail during an earthquake.

Securing items that could fall, slide or topple during an earthquake will greatly reduce damage and its consequences.

How this Manual Can Help

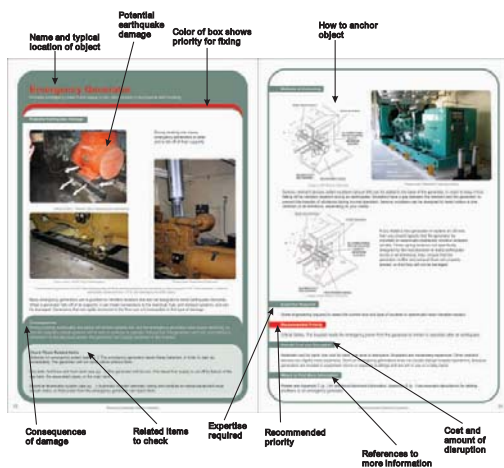
This manual is intended to help hospital administrators reduce their hospital's earthquake risk, including earthquake damage to their hospital's equipment systems and furnishings. In particular, the manual shows readers how to identify hazards, how to understand the various options available to mitigate these hazards (such as anchoring and bracing medical equipment), and outlines the level of difficulty and estimated cost for each option. With these tools in hand, administrators can decide how to prioritize mitigation efforts and how to assign responsibilities based on the hospital's staffing, conditions and budget. This manual only covers one of several aspects, however, of hospital earthquake preparedness. A full preparedness program would include checking the structural safety of your building, forming a hospital emergency preparedness committee, developing evacuation routes, making an earthquake preparedness plan, and conducting periodic drills, in addition to carrying out the recommendations in this manual.

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

05

What Types of Information the Manual Includes and Where to Find It

The section on Objects Typically Found in Major Rooms, which begins on page 16, gives a quick reference guide to the location of anchoring and bracing information for objects in eleven major rooms. If you want to anchor the objects in your work area, then this section is a good place to start, after you read the introductory sections. The section on Anchoring and Bracing Information for Specific Objects, which begins on page 51, gives information about each object on two facing pages, so that you can see everything at once. The first page describes an object's potential damage from an earthquake and the consequences of that damage, while the opposite page discusses solution options, costs, and expertise required. The illustration on the following page shows what these two pages look like for a sample object, and where you can find the information you need.



Detailed information and/or engineering drawings required for various objects are included in the appendices and are referenced in the corresponding sections.

Introduction

06

How to Determine Your Hospital's Earthquake Risk

Reducing earthquake risk begins with determining what is at risk. What could happen to your hospital in a damaging earthquake? The next two sections will help you to understand the severity of earthquake shaking to expect, based on your hospital's location, and what could happen to your hospital during that shaking.

How Earthquakes Can Damage and Affect Hospitals

Earthquakes can cause building damage or collapse, damage to equipment and objects inside the hospitals, and secondary effects, such as fires or spills of hazardous materials.

Building Damage

As the story of the Bhuj Civil Hospital shows, strong earthquakes can destroy hospital buildings that were not designed to resist earthquakes. Taller, more modern buildings can be just as vulnerable as older buildings. In the 1985 Mexico City earthquake, thirteen hospitals over six stories high either collapsed or were severely damaged, and the city lost approximately one-quarter of its hospital beds, as a result. Over 900 doctors, nurses, and other hospital personnel were killed, greatly reducing the city's ability to deal with the disaster.



Collapsed Hospital Juarez (left) and Hospital General (right) Mexico.



Photo credits: E.V. Leyendecker and Mehmet Çobeli, USGS.

During a strong earthquake, some buildings collapse, while others suffer very little damage. How can you determine what will happen to your building? To use a medical analogy, the only way to know for certain is to consult a "building doctor"—a structural engineer. Like the patients in your hospital, each building is unique and warrants a "check-up" from an engineer. However, there are some general principles that engineers use to "diagnose" earthquake vulnerabilities in buildings. The severity of earthquake damage that your building could suffer depends on the building's shape and size, the quality of its construction, its age, the type of materials used in construction, and the earthquake shaking intensity at that location. Refer to the section "How to Determine Your Earthquake Hazard" on page 2 to determine whether or not your hospital is located in an area of high seismic hazard (Seismic Zones IV and V on India's seismic hazard map), where the strongest ground shaking is likely to occur.

New buildings, built to comply with the latest building codes, are unlikely to collapse. If your building was built before 2002, when the latest building codes were adopted after the Gujarat earthquake, then you should have a structural engineer evaluate your building for earthquake resistance. Not all older buildings are likely to collapse in a strong earthquake, but past earthquakes have shown that some types of buildings are prone to collapse. If your building is a brick or stone bearing wall building without reinforcing steel or "bands" at the lintel (the top of the windows and doors), then it is crucial that you contact an engineer to evaluate its condition and to suggest ways to improve it. If your building is a reinforced concrete building with more than three stories that was built before 1980, it is also very important that you consult an engineer to determine whether or not your building might collapse. Preventing the collapse of your hospital's buildings in an earthquake should be your top priority in reducing earthquake risk.

Damage to Equipment, Contents, Architectural Elements, and Building Utility Systems

This manual focuses on preventing damage to equipment, conduits, partition walls, ceilings, and other objects. Damage to these components can result in many adverse effects, including death, injuries, loss of function, and economic losses. The following account illustrates why securing objects is crucial to keeping a hospital functional.

07

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

Olive View Medical Center

On February 9, 1971, a magnitude 6.6 earthquake struck the San Fernando Valley, near Los Angeles, California. Old buildings and highways were damaged, and some collapsed, but even more concerning was the severe damage to a new hospital. Olive View Medical Center had just opened a month before the earthquake struck. In that earthquake, the main hospital building's first story leaned alarmingly and was near collapse, and two stair towers collapsed. The first floor of the psychiatric building also collapsed; luckily, the patients and staff were on the second floor and survived. The ambulance canopy collapsed and crushed the parked ambulances beneath it.

The main building was so severely damaged that it had to be demolished. All of the damaged and collapsed buildings had met the technical requirements of the building codes in force at the time of their construction. Yet all had features that left them especially vulnerable to earthquake damage. After the San Fernando earthquake, engineers changed the building code, to prevent this type of damage from happening in the future. The damage to Olive View Medical Center was one of the main reasons that the State of California passed a law, the Hospital Seismic Safety Act, mandating that hospitals be designed, built, and inspected according to strict earthquake safety standards.



Damage to old main building (left); water damage in new main building (right). Photo credits: NISEE and FEMA 74.

For years following the 1971 San Fernando earthquake, patients of Olive View Medical Center had to be treated at an interim facility nearby. The hospital was carefully redesigned and in 1987, the new hospital was completed, exceeding the requirements of the new Hospital Seismic Safety Act. Seven years later, Olive View Medical Center was again put to the test. The Magnitude 6.7 Northridge earthquake hit the San Fernando Valley on January 17, 1994, causing damage throughout the region. The structural design of the hospital worked magnificently — there was little to no damage to the building itself. However, the new building's stiff and strong structural system transferred very high earthquake accelerations. This, combined with inadequately anchored equipment and architectural features, caused many unexpected problems. The earthquake accelerations broke the chiller water lines on the roof, causing flooding in portions of the top floors. Several lifts were severely damaged and unusable. Numerous pipes broke, causing leaks throughout the hospital.

Due primarily to water damage, the hospital decided to transfer all 377 of its resident patients, including patients in critical condition, to other facilities. Damage to building components and systems forced the hospital to shut its doors for 41 hours even though there was virtually no structural damage. Once again, the Olive View Medical Center was not operational at the community's time of greatest need.

Introduction

06

Consequences from earthquake damage

Consequences from earthquake damage vary widely. In order of importance, they are:

Loss of life

People can be killed or injured by objects that fall and/or fall. Falling objects are especially dangerous for patients who do not have the ability to protect themselves from falling debris during an earthquake. Falling objects that have caused injuries and deaths in past earthquakes include heavy furniture or equipment that toppled and pieces of masonry that fell. Just as serious, if certain equipment, such as life support equipment, fails, then that failure can lead to injuries and deaths.

Loss of function

It is also possible that many of the systems, equipment and supplies necessary to run a hospital will be heavily damaged and will render the hospital unusable or will reduce its functionality for a period of time. For example, serious damage to the operating or surgery rooms might prevent a hospital from using those facilities, until they were repaired and/or replaced. Damaged sterilizers, laundry facilities and air circulation systems might create an unclear environment, where disease can easily spread, making the hospital unusable.

Loss of property/money

Property including building components such as furniture, equipment, partitions, and windows can be severely damaged during an earthquake. Hospitals are especially vulnerable, since they contain very expensive medical equipment that is not easy to replace. Additionally, their electrical and mechanical systems are more complex than in standard buildings and therefore, more expensive to fix.

Loss of community confidence

If the hospital is not functional following the earthquake, then the population it serves can lose confidence in the hospital as a trusted, reliable institution. Private hospitals could lose patients to competitors who appear more reliable.

All of these losses can be caused either directly or indirectly by an earthquake. For example, a water pipe that breaks on the top floor might cause flooding in the building. Although direct costs only include replacing the pipe, indirect costs include fixing the flooding problem and repairing or replacing any components that were damaged, as well as downtime losses. Another example would be the failure of an emergency generator. Although the direct loss would only be functional, the lack of power might lead to deterioration of services to the critically ill and, in some cases, to death.

The following are earthquake damage examples of hospital objects that either failed or fell. The consequences of the fall or failure are indicated for each example.

Loss of Life

If someone were sitting at this desk, then that person would be likely to be seriously injured.



Photo credit: FEMA

06

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

Loss of Function

If emergency generators are not properly anchored, then they can fall off their supports and lose function after an earthquake, when they are needed most.



Photo credit: NISEE (Karl Steinbrugge)

Loss of Property/Money

Expensive equipment can be damaged in an earthquake and can become unusable. Repairing or replacing this equipment can be very costly. The X-ray machine below was damaged in the 1971 San Fernando, California earthquake.



Photo credit: FEMA

Introduction

10

What causes damage?

Earthquakes affect objects in a building in two primary ways. The ground motion shakes the building, and the building shakes everything that is either inside it or attached to it. Engineers call this motion acceleration. Objects can fall, slide or break due to the back-and-forth shaking. For example, tall and top-heavy cupboards are likely to tip over because of acceleration.

The second way that the earthquakes affect objects in a building is by causing the building to bend, as it sways back and forth. Engineers call this motion deformation. Objects that are connected to two different floors get stretched, and they can crack, bend, or break. For example, deformation often causes damage to partitions and pipes, because they must endure the movement between different building elements and across joints.

What factors affect damage?

In general, the level of earthquake damage caused by objects depends on various aspects of the object. The main factors affecting how likely an object is to fall/fail are an object's:

- **Shape, Size, and Weight.** An object that is tall and narrow is more likely to overturn. A good rule of thumb is that if an object is more than one and a half times taller than it is wide, it could topple. If the object is also top-heavy, it is even more likely to topple. You should anchor and/or brace an object of this type, if at all possible.
- **Location within Building.** Objects located on upper floors are more exposed to strong shaking than those closer to the ground floor. Equipment on the top floor of a hospital will experience higher accelerations than that on the ground floor. This is important to keep in mind when prioritizing mitigation actions, especially in tall hospital buildings.
- **Relative Location.** Heavy objects should be placed closer to the floor, whenever possible. For example, heavy books or electronics on shelves should be moved to the lower shelves. This prevents objects from falling and possibly hurting someone.
- **Anchorage/Bracing Condition.** Bracing or anchoring an object helps to reduce the likelihood that it will slide, overturn, or fall. However, the way that an object is braced/anchored and what it is braced/anchored to are crucial: inadequate anchorage designs can fail and cause major damage. For example, an object might be anchored, but if the anchor bolts are not long enough, then they can possibly pull out during an earthquake.
- **Connection to the Building.** Even if an object is adequately anchored/braced, if it is not connected to a strong component of the building, then the object might still fall or fail. For example, a braced object might fall, if the brace connects to a weak partition wall.
- **Pounding/Impact Possibility.** Although an object might be properly braced, other inadequately restrained objects nearby can potentially pound against it or impact it during earthquake shaking, possibly damaging it and making it unusable. Different parts of one building or two adjacent buildings can also pound against each other unless there is a large enough gap (called a seismic separation or joint) between them.
- **Interconnected Equipment/Systems.** Although the object of main concern might be properly restrained, if the interconnected systems and equipment necessary to make it function are not taken into consideration, then the object might not be useable after an earthquake. For example, an emergency generator might be properly anchored, but if the connection to its diesel fuel supply fails during an earthquake, then the emergency generator becomes useless.
- **Earthquake Shaking.** How much and for how long an earthquake shakes an object obviously affect that object's likelihood to fail. A hospital located in an area where strong earthquakes are expected should expect to suffer more damage than a hospital that is located in an area affected only by small or distant earthquakes.
 - The soil underlying the hospital also helps to determine how strong the shaking will be. Soft soils tend to amplify shaking a lot, while hard rock does not amplify shaking much. These factors are important when analyzing several hospitals and determining which one should be the first priority in terms of mitigation work. It is also important in helping you to understand how important earthquake mitigation work is for your hospital. To determine your earthquake-shaking hazard, read the section "How to Determine Your Earthquake Hazard."

Reducing Earthquake Risk in Hospitals

11

How to Determine Your Earthquake Hazard

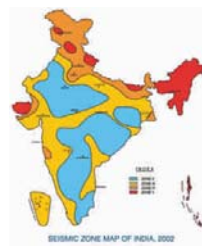


Image Credit: BMTPC

India's current seismic zoning map divides the country into four Seismic Zones that show how severe earthquake shaking is likely to be. Zone V (in red) is the area of very high risk, Zone IV (in orange) is the area of high risk, Zone III (in yellow) is the area of moderate risk, and Zone II (in blue) is the area of low risk. There is no Zone I (no risk), because all of India is at some risk of earthquakes. Very strong, destructive shaking is expected in Zones IV and V, with more moderate but damaging shaking expected in Zone III, and mildly damaging shaking expected in Zone II.

Use this map or the more detailed maps for each state found in the Vulnerability Atlas of India, available from the Building Materials & Technology Promotion Council (BMTPC), to determine in which zone your hospital is located. The BMTPC website (<http://www.bmtpc.org/risksseisaranmitigation.html>) also contains detailed maps that you can freely view and download.

The map shows that northern India along the Himalayas, the Northeast, parts of Gujarat, and the Andaman and Nicobar Islands are the areas most at-risk for earthquakes. The reason for this is that the Indian and Eurasian tectonic plates collide here, creating one of the world's most seismically active areas, which stretches in India alone from Kashmir to the Northeast, and down to the Andaman and Nicobar Islands. This plate collision formed the Himalayas, the world's tallest and fastest growing mountain range. As the tectonic plates collide, they flex, storing energy like a spring. When the plates' margin finally slips, then energy is released in the form of an earthquake. Earthquakes from the Himalayas can be very strong, greater than magnitude 8 in some cases, and can affect areas in India that are quite far from the Himalayan foothills. The tectonic collision in the Himalayas also causes the Indian plate to buckle, resulting in earthquakes away from the plate boundary.

What to Expect After an Earthquake

After a severe earthquake, people in an unprepared community will be in a state of shock and won't be able to function normally. People will probably have been killed, and a much larger number will be injured and seeking immediate medical assistance at your hospital. Their injuries will vary from minor to severe, and those trapped in the debris and rescued will be likely to have suffered crush injuries, which require special attention. The affected population will also need psychosocial support/psychiatric help.

Inside the hospital facility, doctors, hospital staff and patients might be injured and/or trapped and will require medical attention themselves. To make matters worse, your hospital will probably have a shortage of staff – some might be killed, others might be injured, and some might be trapped within collapsed buildings. Hospital employees will want to ensure the safety of their own family members and might consider rushing home. Those at home may have difficulty getting to the hospital because of damaged roads, and bridges, or streets blocked by debris. The hospital might suffer significant damage directly from the earthquake or indirectly through fires or flooding. Medical equipment might be damaged and stop working. The power will almost certainly fail. Medical supplies might fail and become unusable, or the stock of the supplies might not be adequate to meet the post-earthquake needs.

Communications will be interrupted. Cell phones will stop working. Aftershocks might cause even more destruction. Evacuations might be necessary, making it difficult to keep records of patients and their conditions. Damage to roads and bridges might make it especially difficult for emergency responders and relief supplies to reach the hospital.

The level of your hospital's preparedness will determine how severe the consequences will be. If your hospital is prepared, then much of the damage will be prevented, backup power will keep most medical equipment functioning, and prepared employees will remain calm and know how to react. If you aren't prepared, then your hospital will find itself in crisis, rather than responding to the needs of the community.

Introduction

12

How to Manage Your Hospital's Earthquake Risk

Managing a hospital's earthquake risk can be overwhelming. However, if done incrementally and carefully, it is something that any hospital can accomplish. In fact, managing your hospital's risk is not a one-time event but something that requires periodic assessments.

Here are some simple steps that can help you to get started:

Set up a Hospital Emergency Preparedness Committee

Forming an emergency preparedness committee is essential to ensure that your hospital will be prepared for earthquakes and other disasters and to continue risk reduction activities in the future. To avoid confusion and duplication of efforts, you should have one committee responsible for planning for all of the hazards that the hospital faces. The committee should develop a basic response plan with sections that deal with the specifics of each hazard response. The committee can have subcommittees for earthquakes, fires, floods, and any other hazard that the hospital faces, or the whole committee can address each hazard in turn. This committee should represent various functioning units of the hospital and should include a representative from each of the following groups or departments: hospital administrators, nurses (including the chief nursing officer), doctors, engineering/maintenance, security, transport, pharmacy, central supply, and environmental services. The members of the committee should develop Standard Operating Procedures (SOPs), assign specific duties and meet periodically to discuss issues and progress. The committee should also prioritize mitigation activities, develop emergency plans, and organize evacuation drills. The committee should coordinate the hospital's plan with disaster response plans for the city or district.

Conduct a Hazard Hunt

Identify hazards in your hospital by conducting a hazard hunt. This activity involves walking through your hospital and determining which objects might fall and/or fail in an earthquake. Note objects that are located close to patients' beds and to staff office desks, as well as objects that might block an exit. For example, bookshelves along a corridor leading to an exit are a hazard, since they might topple and block the exit. See Appendix A for a checklist to use during your hazard hunt.

Determine How to Fix Each Hazard

The two main options for fixing a hazard are:

1. **Relocate.** Some hazards are eliminated simply by relocating furniture, contents and equipment. For example, furniture can be placed so that it would not block an exit, if it were to tip over during an earthquake.
2. **Anchor/Brace/Secure.** Although relocating objects can eliminate many hazards, some objects present a hazard regardless of their location and must be secured, in order to prevent damage. To fix those hazards, you can:
 - **Do It Yourself.** Many furnishings and contents can be secured without the need to consult an engineer. For example, with the help of this manual, anyone can anchor a bookshelf or secure medical contents to keep them from falling and possibly hurting someone. Another easy example would be to place heavy objects closer to the ground. As an alternative, a handyman can also easily anchor items labeled in this manual as Do It Yourself.
 - **Consult an Engineer.** You will need to consult an engineer to determine how to anchor and brace objects heavier than 100 kilograms, sensitive medical equipment, containers of hazardous materials, and building utility systems. Most of the typical heavy equipment found in hospitals is covered by this manual, which provides pre-engineered solutions for some of the equipment. Your hospital's facilities engineers can use this manual and the documents that it references to fix many of these typical hazards. Certain equipment and systems, such as lifts, will require consultation with an external engineer with specialized expertise. The following are examples of when you will need to consult an engineer:
 - Anchoring/bracing objects that are heavier than 100 kilograms.
 - Hazards that recur throughout the hospital. A good example would be window-mounted coolers that need to be anchored. This type of hazard would require a customized solution.
 - Sensitive medical equipment, such as imaging equipment. You will need to consult the equipment manufacturer, in addition to an engineer. Many manufacturers provide guidance on how to seismically anchor their products.

Reducing Earthquake Risk in Hospitals

13

- Containers of and supply lines for hazardous materials, such as medical gas pipes.
- Battery packs for essential machinery. For example, the batteries for the emergency generator need to be properly anchored.
- Lifts. Lift systems are among the most complicated systems to protect against earthquake damage. You will need to consult a structural engineering specialist with experience in designing earthquake retrofit measures specifically for lift systems.
- Large architectural features. These would include stairways, sunshades and brick partitions.

The section on Anchoring and Bracing Information for Specific Objects identifies options for fixing hazards and the level of expertise required to implement the different solutions.

Estimate the Cost

The cost of fixing hazards varies significantly. The cost depends mostly on the level of expertise needed and the specific device used to fix the hazard, as well as the costs of materials and hardware in your area. For a summary of devices, see Appendix B.

Determine Possible Consequences for Each Hazard

For each hazard that you find, determine the worst consequence that it can cause: in the worst case scenario, could that hazard cause loss of life, loss of function, or loss of property/money? Important questions to keep in mind include:

- Would it seriously hurt someone?
- Would it interrupt life support?
- Would it risk a patient's health?
- Would it prevent the use of the emergency room and the operating room?

Refer to the pages for each object in the section Anchoring and Bracing Information for Specific Objects for more information on the consequences of a specific failure.

Prioritize Your Hazard Reduction Activities

The list of mitigation activities might seem overwhelming. Understanding how to prioritize activities is important in managing the work. If your hospital has a limited budget, then start with the hazards that are the most inexpensive within the critical safety category below. If the budget allows, then make it a goal to brace all of the objects in one of the following categories, depending on what is reasonable for your hospital's conditions. Assuming that your buildings suffer only minor damage, then bracing all of the objects in that category will allow your facility to achieve that level of performance.

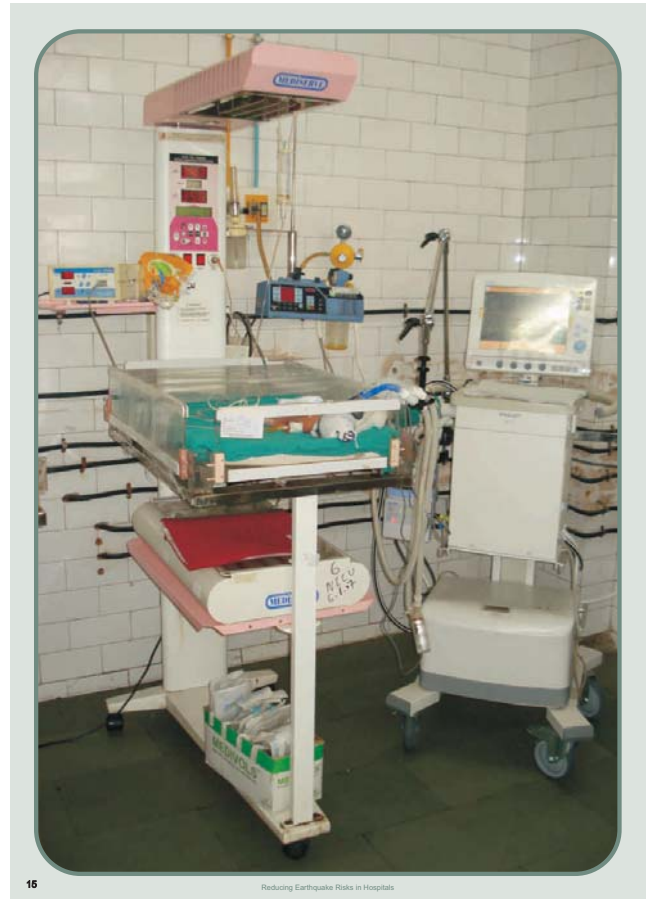
Critical Safety Objects and systems most critical to life safety and to allowing for evacuation are properly secured. This includes securing objects that might fall and kill/injure people, objects whose failure would interrupt life support, and objects that might obstruct exits. Objects that should be secured in order to achieve the critical safety level of performance are indicated in the manual by a red box around the title.

Essential Services Critical Safety requirements are met. In addition, objects in critical care areas are properly secured. A hospital in this category is expected to be able to care for its existing critical patients in place after the earthquake and to provide emergency care for earthquake victims. Objects that should be secured in order to achieve the essential services level of performance are indicated in the manual by an amber box around the title.

Continuous Service Essential Services requirements are met. All other hazards are properly secured, including expensive equipment that would be costly to replace. The hospital can provide care to existing patients in place and can admit earthquake victims if needed. Objects that should be secured in order to achieve the continuous service level of performance are indicated in the manual by a green box around the title.

Implement

Implementing hazard reduction activities is a gradual process and is best managed when a good plan is set from the beginning. Even small activities can have a life-saving effect during an earthquake. As mentioned previously, it is recommended that you form an earthquake safety committee and give the committee the responsibility of overseeing and managing long-term hazard reduction activities. The most important thing to keep in mind is that simply starting helps to reduce your community's earthquake hazard.



Where to Find Information about Specific Objects

The following pages show major rooms in the hospital and the typical objects found in each one that can pose a hazard. For each object, there is a reference to the pages where you can find more information about what could happen to that object during an earthquake (and to the hospital, as a result), and how you can anchor or brace the object, in order to keep that from happening.

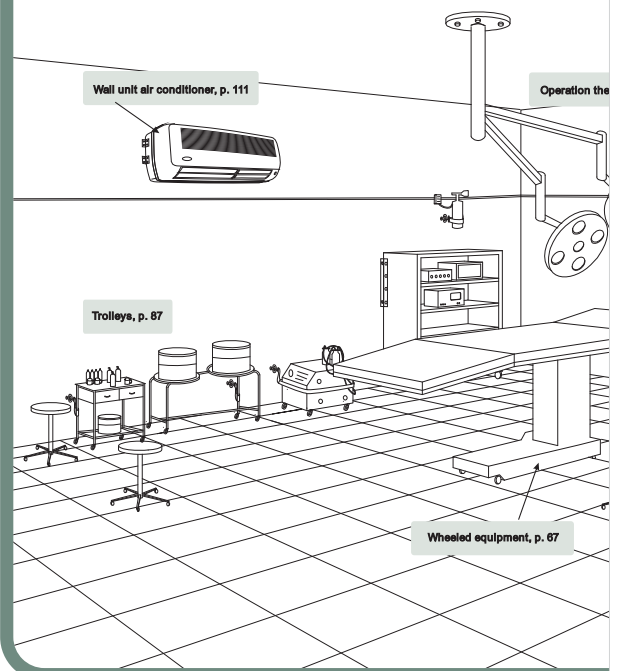
Objects Typically Found in Major Rooms:

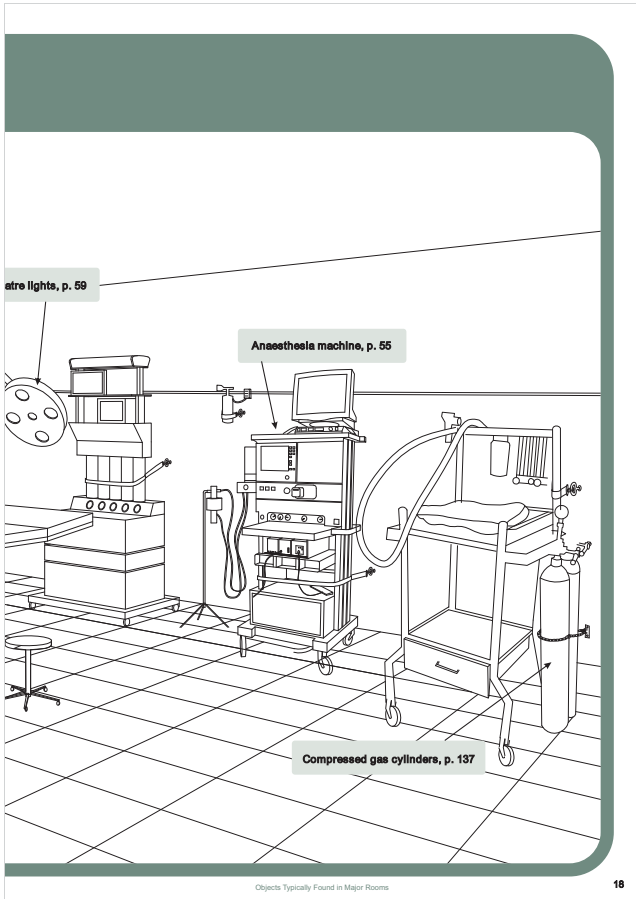
- Operation Theatre: p. 17
- Radiology Department: p. 19
- Intensive Care Unit (ICU): p. 23
- Emergency Ward: p. 25
- Neonatal Intensive Care Unit (NICU): p. 27
- Outpatient Department (OPD): p. 29
- Doctor's Office: p. 31
- Medical Records Room: p. 33
- Nurses' Station: p. 35
- Cardiac Catheterisation Laboratory: p. 37
- Laboratory: p. 39
- Sterilisation Room: p. 41
- Kitchen: p. 43
- Store Room: p. 45
- Physical Plant: p. 47, 49

Following the drawings of typical rooms, potentially hazardous or fragile objects are organized into separate sections by type:

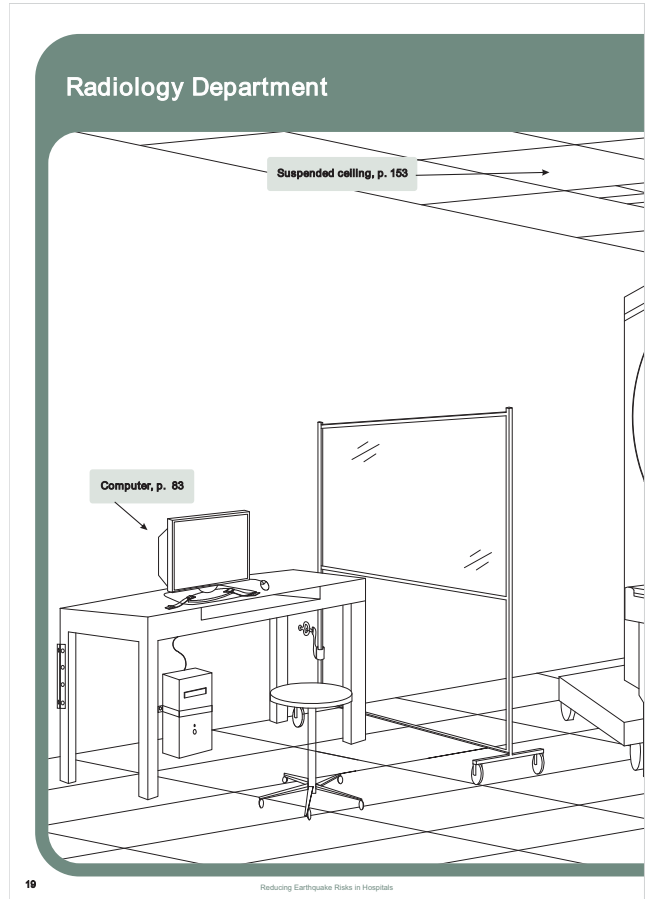
- Medical Equipment: p. 52
- Furnishings and Hospital Administrative Systems: p. 76
- Supplies: p. 86
- Mechanical and Electrical Equipment: p. 96
- Pipes, Ducts, and Conduits: p. 124
- Tanks and Medical Gas Storage: p. 136
- Architectural Elements: p. 146
- Lifts: p. 160

Operation Theatre

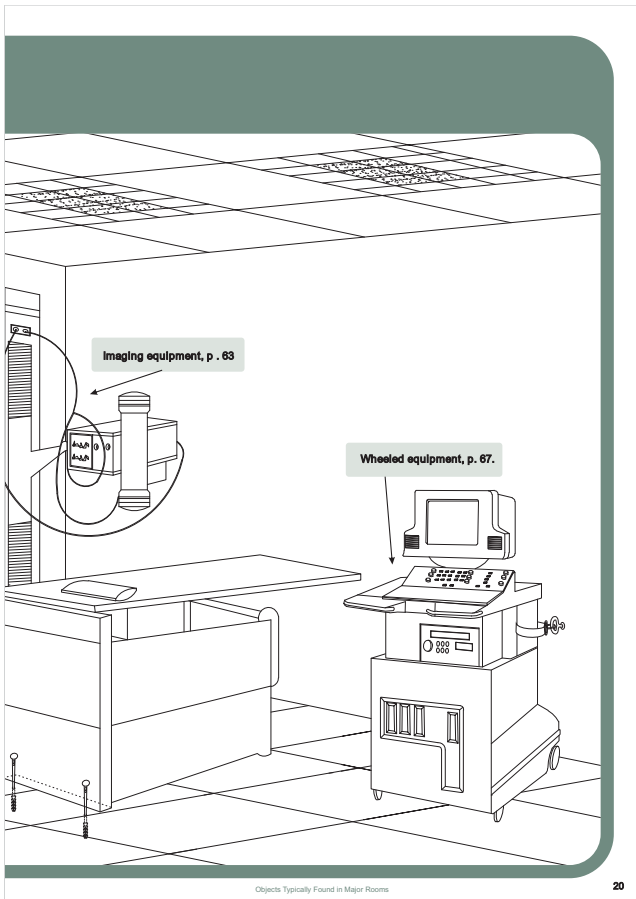




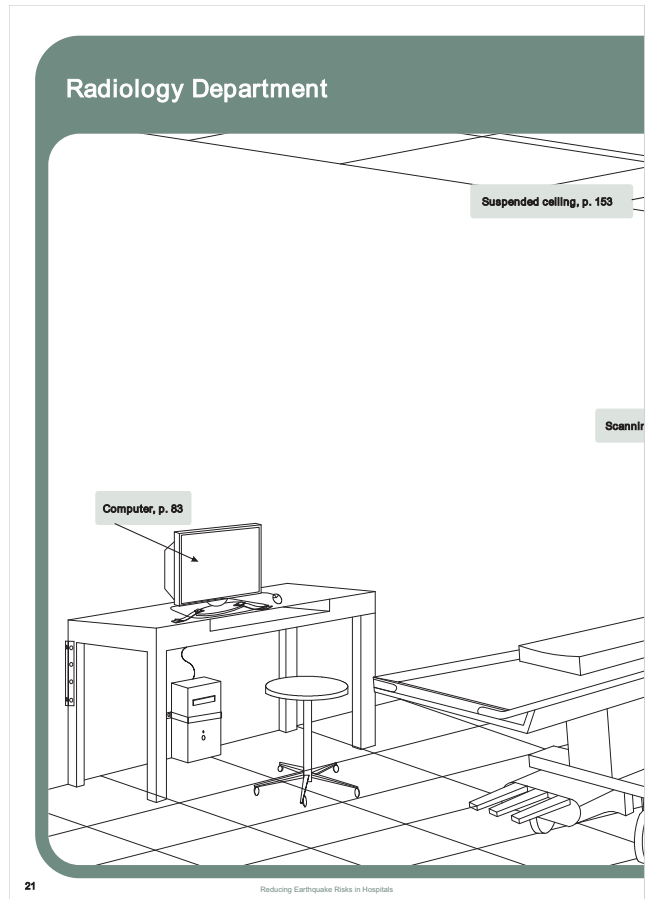
Objects Typically Found in Major Rooms



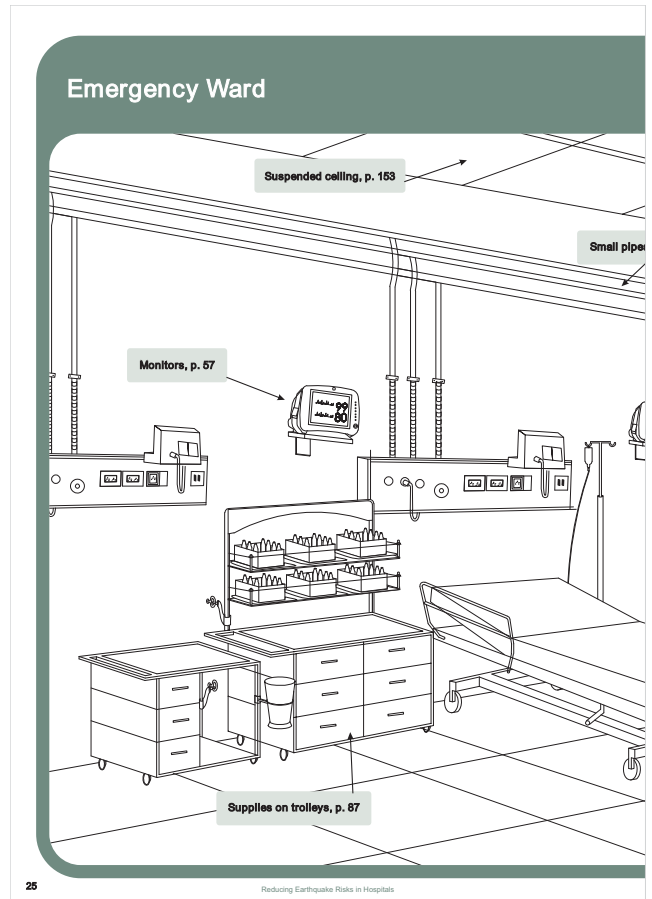
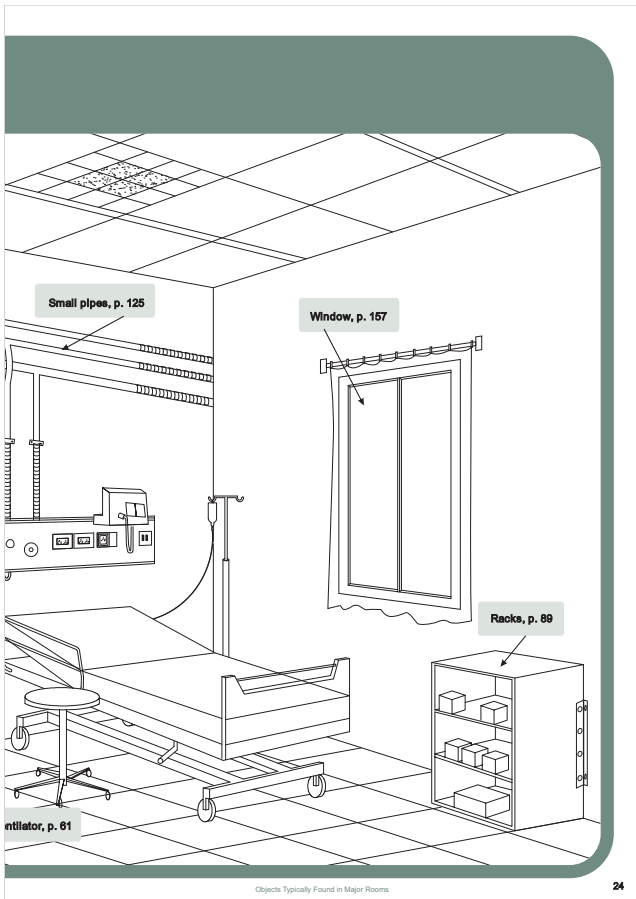
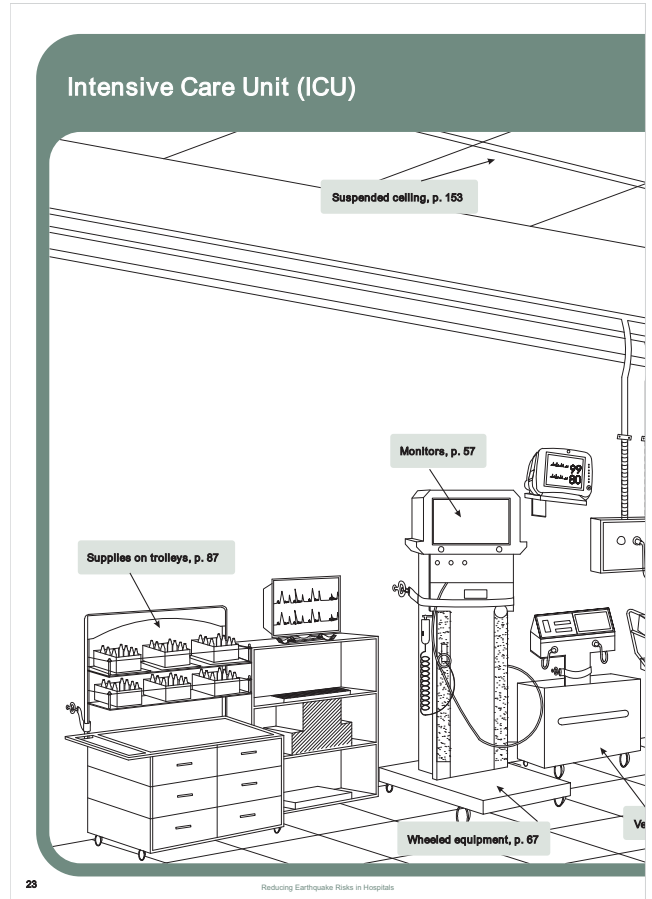
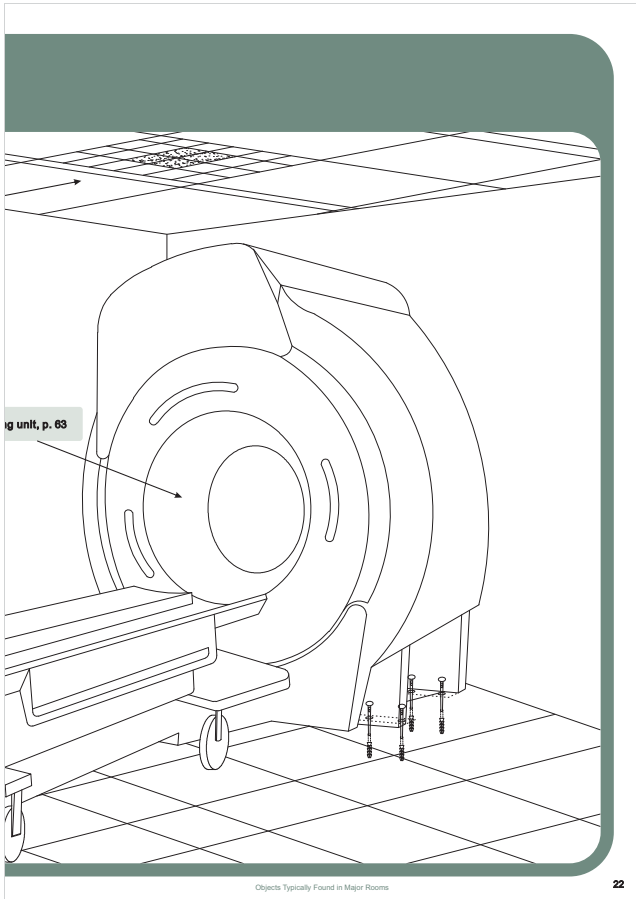
Reducing Earthquake Risks in Hospitals

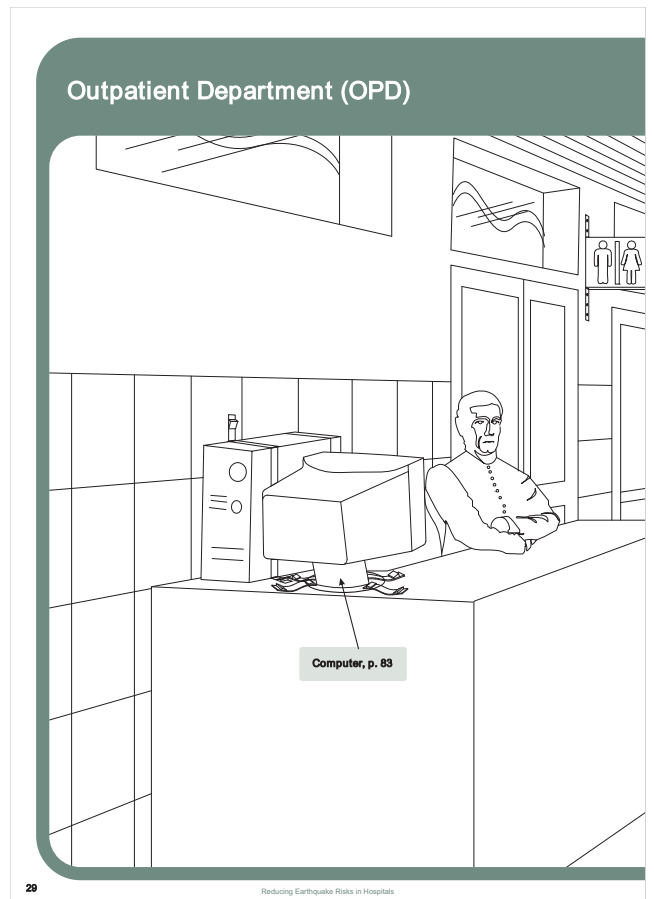
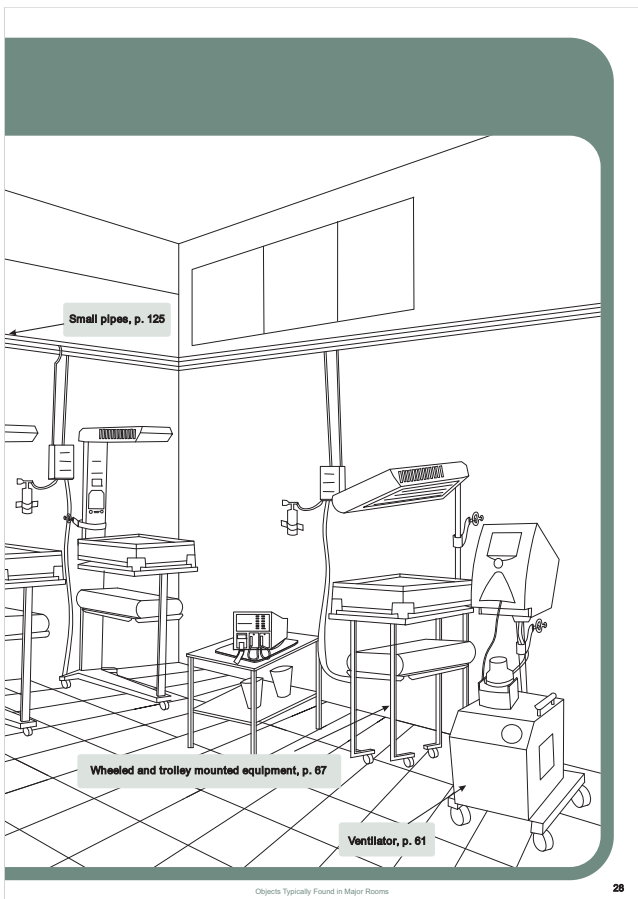
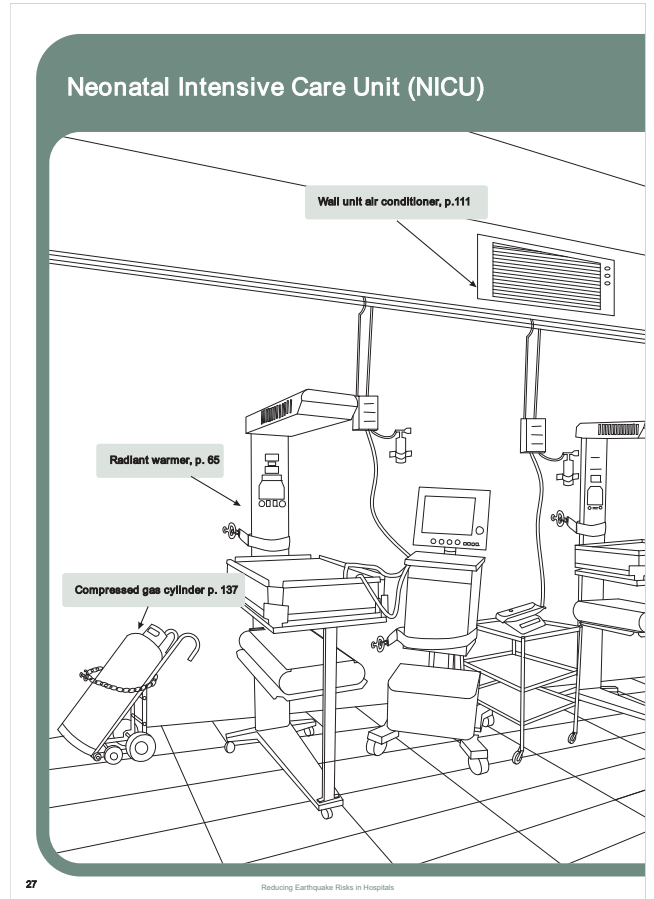
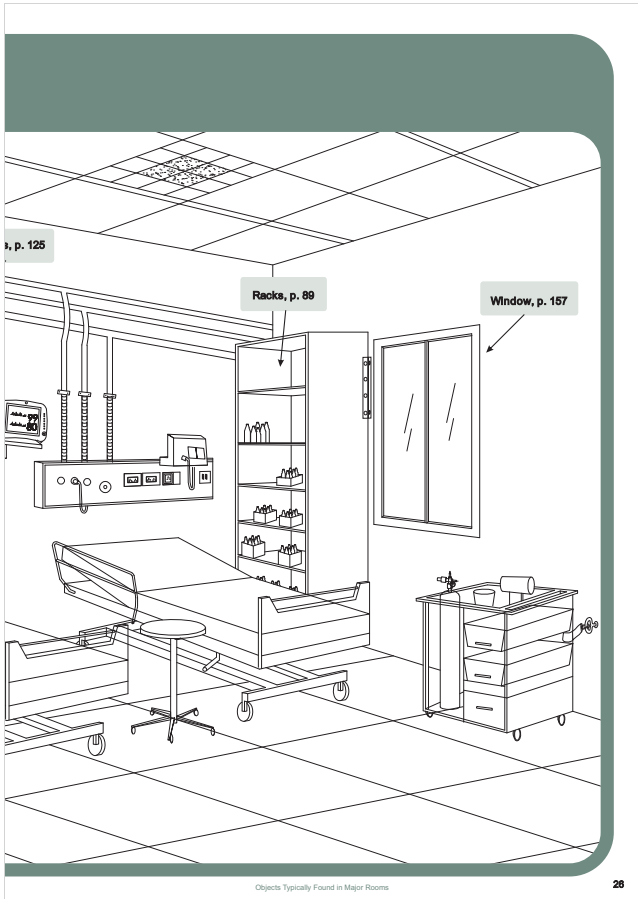


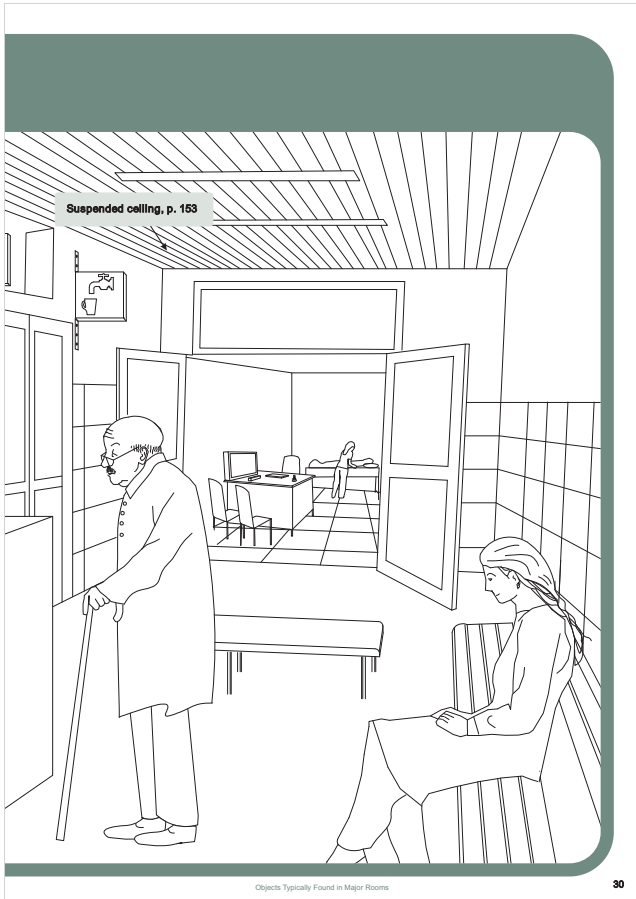
Objects Typically Found in Major Rooms



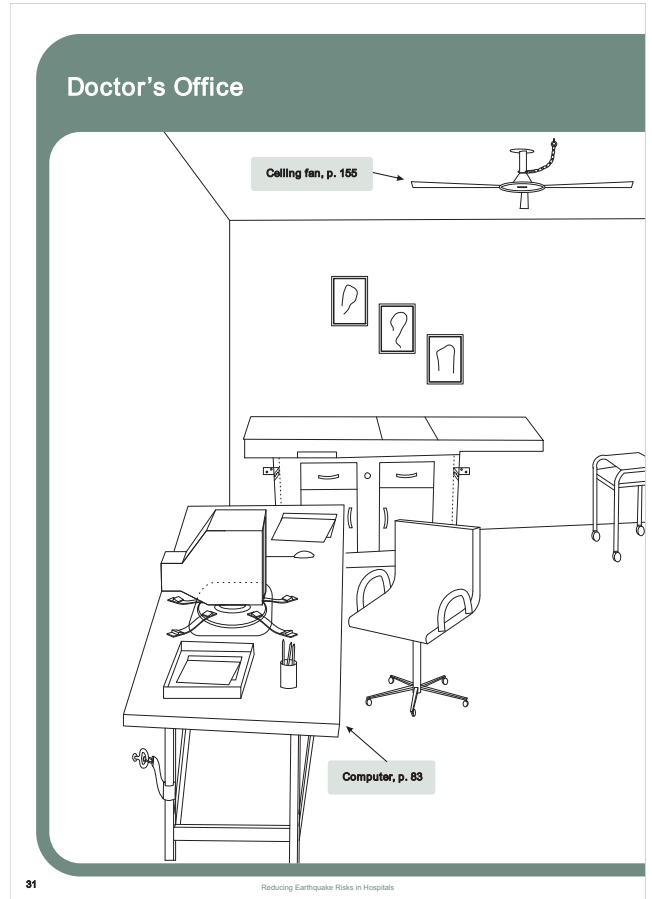
Reducing Earthquake Risks in Hospitals



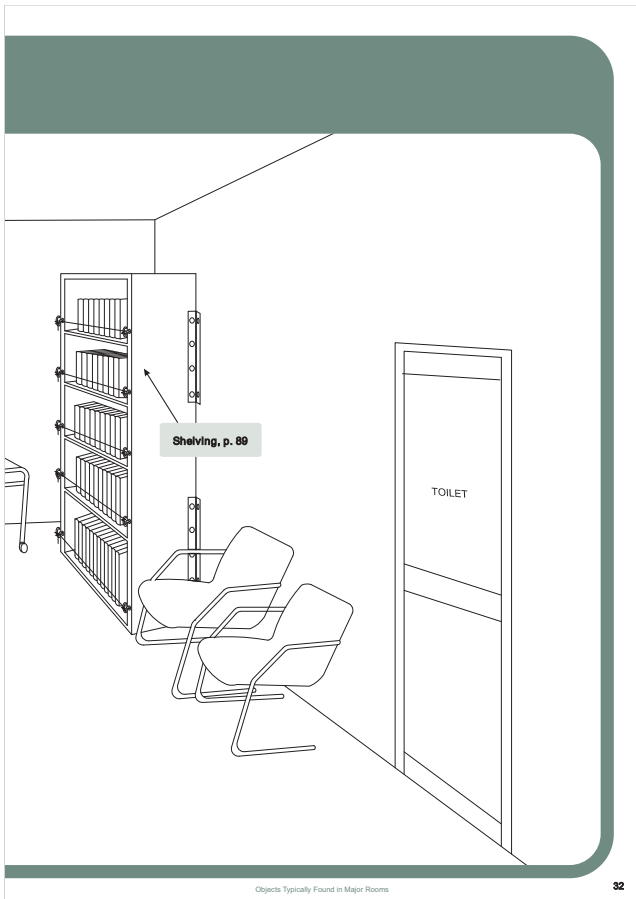




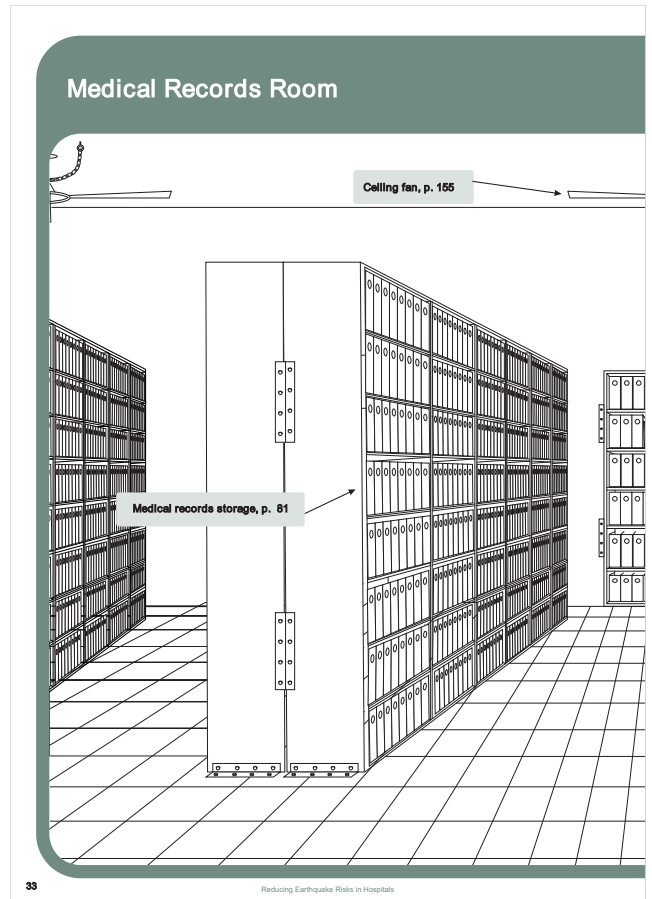
Objects Typically Found in Major Rooms



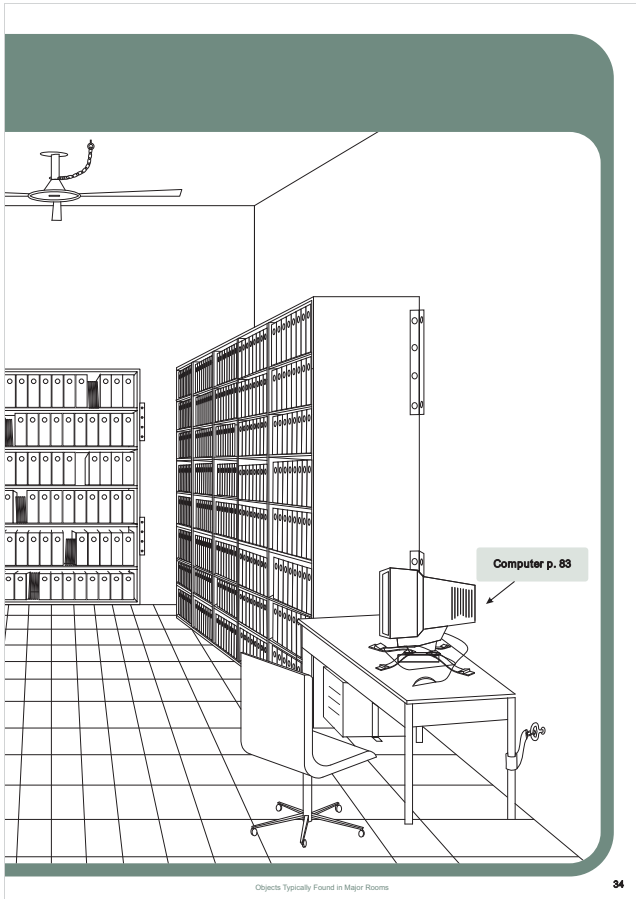
Reducing Earthquake Risks in Hospitals



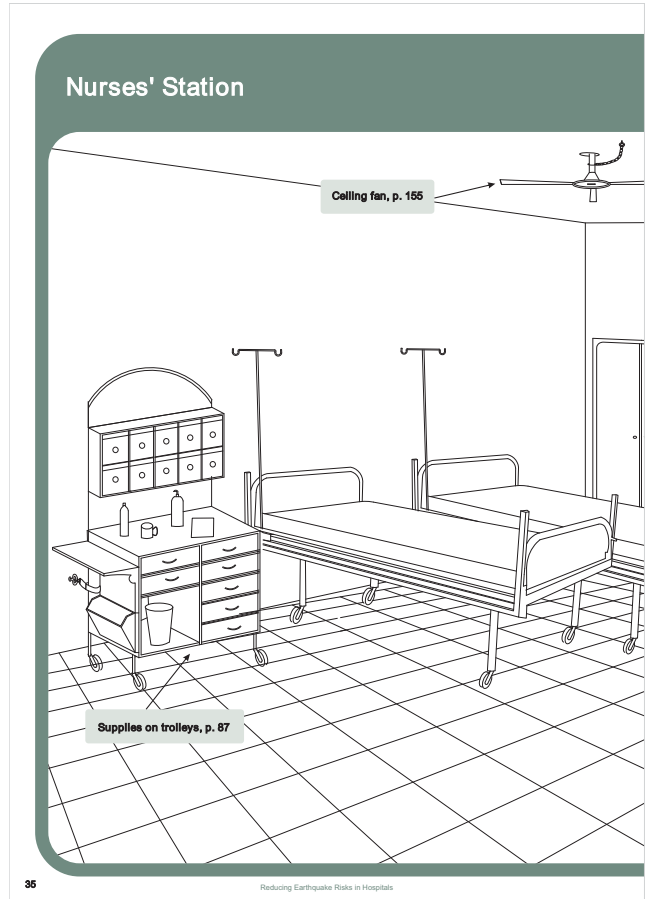
Objects Typically Found in Major Rooms



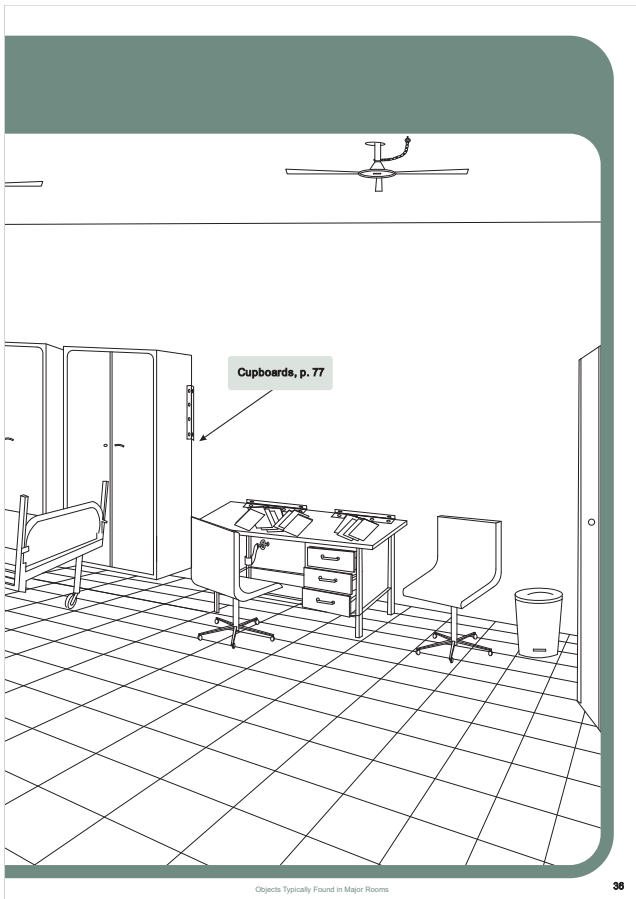
Reducing Earthquake Risks in Hospitals



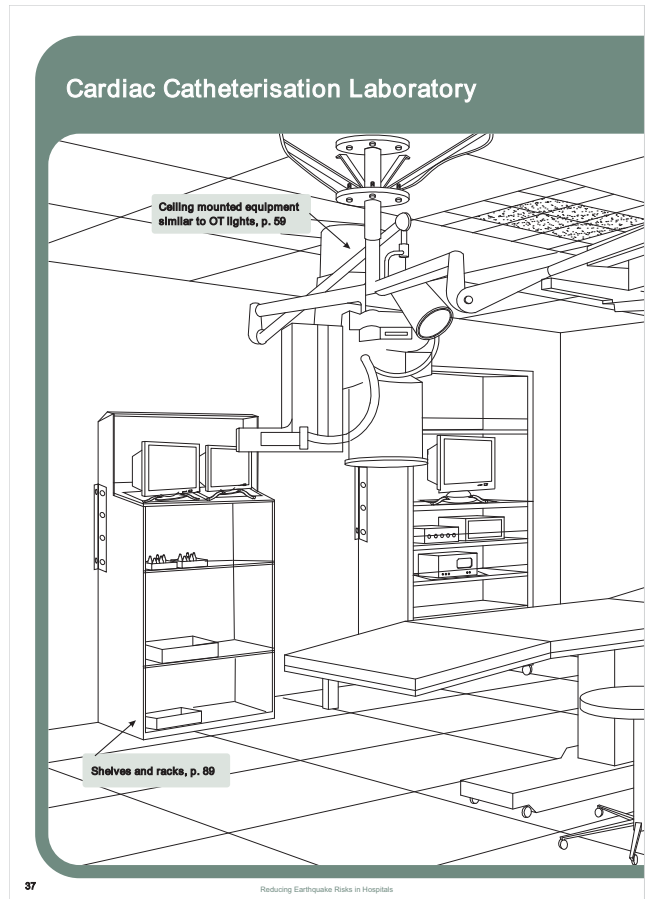
Objects Typically Found in Major Rooms



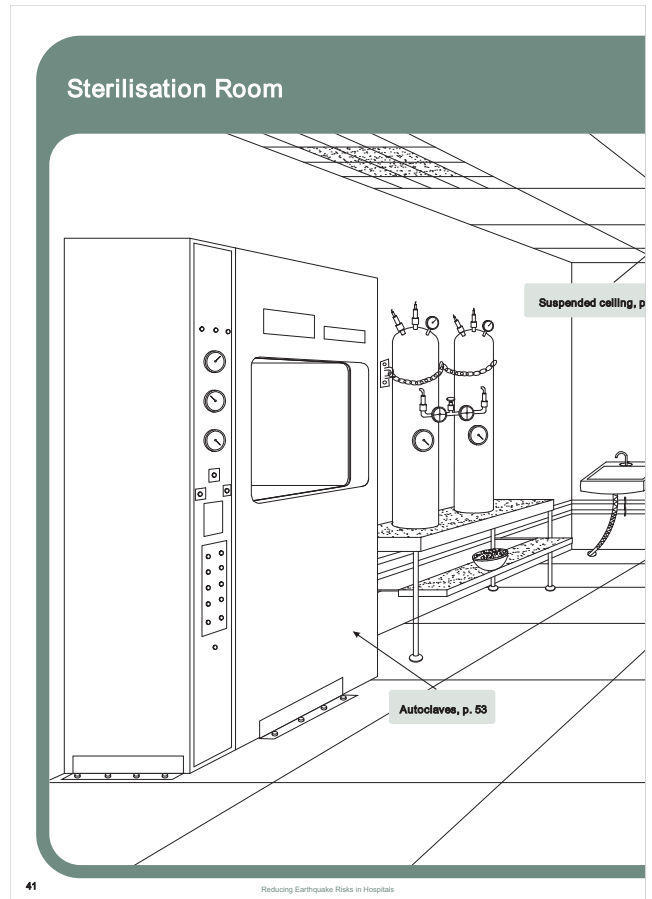
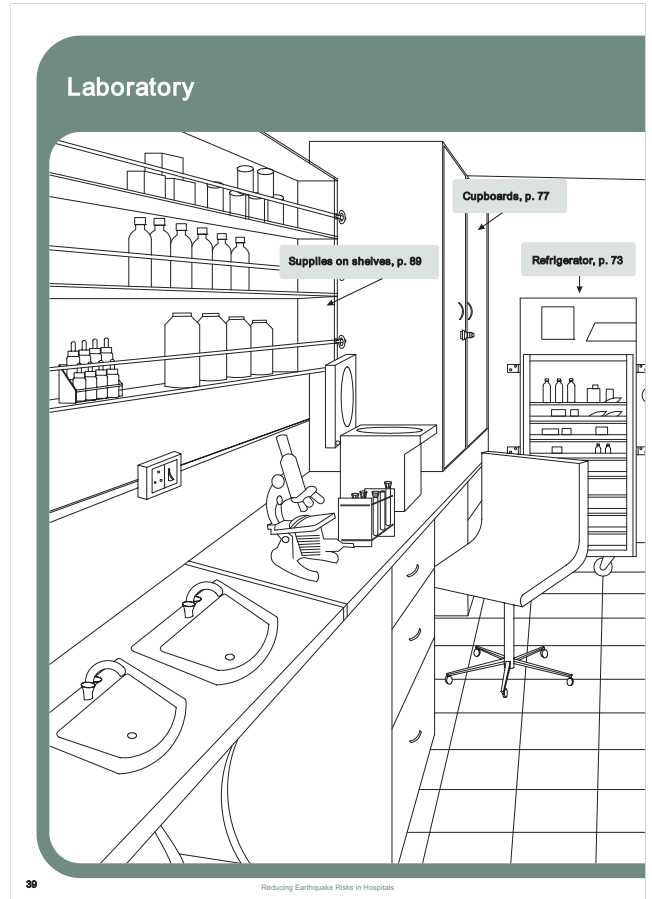
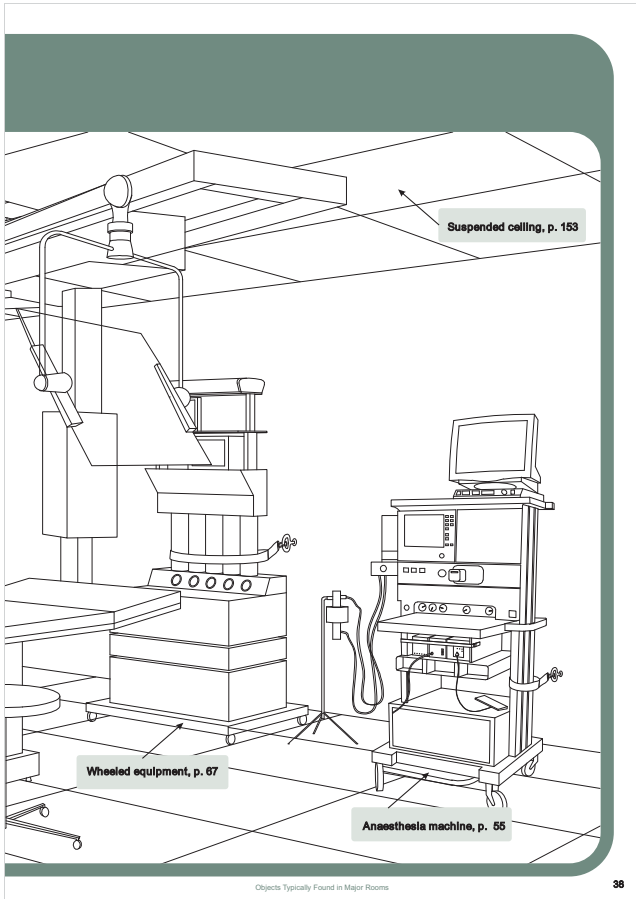
Reducing Earthquake Risks in Hospitals

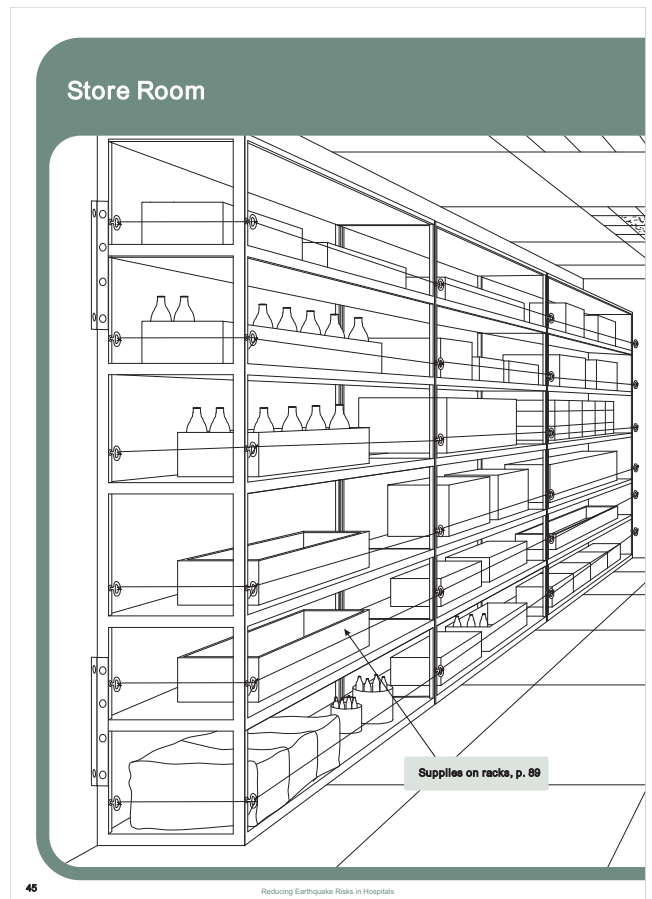
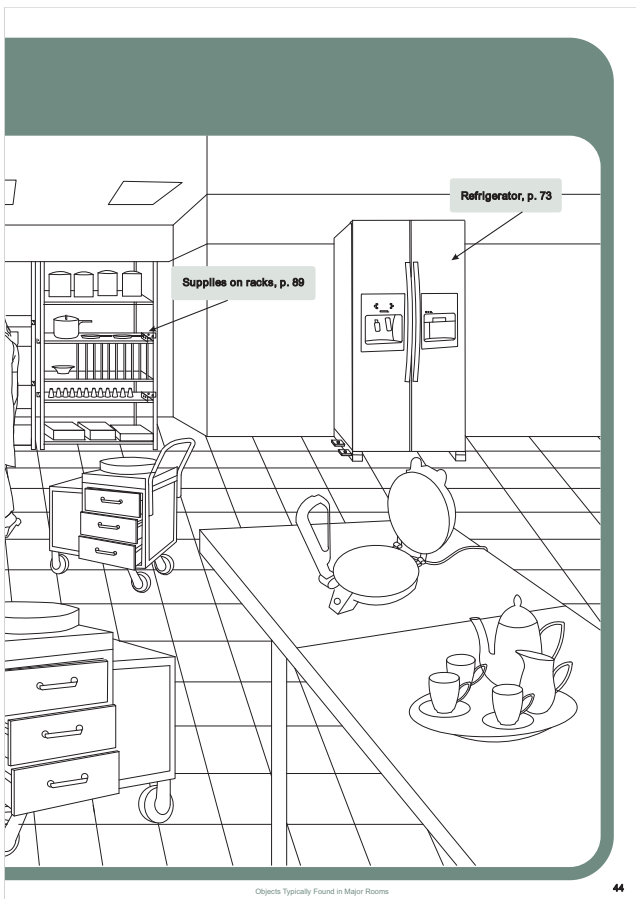
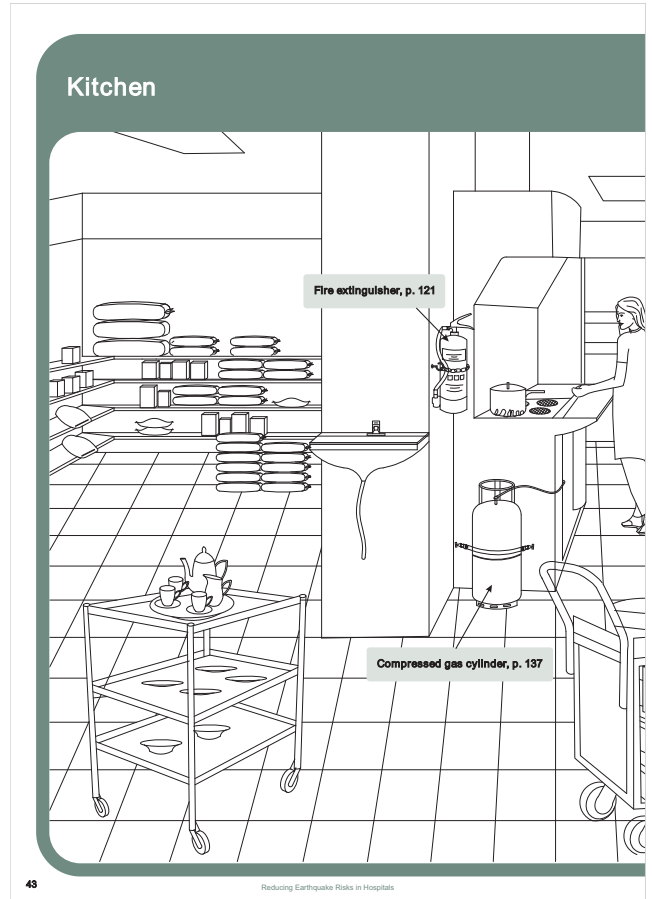
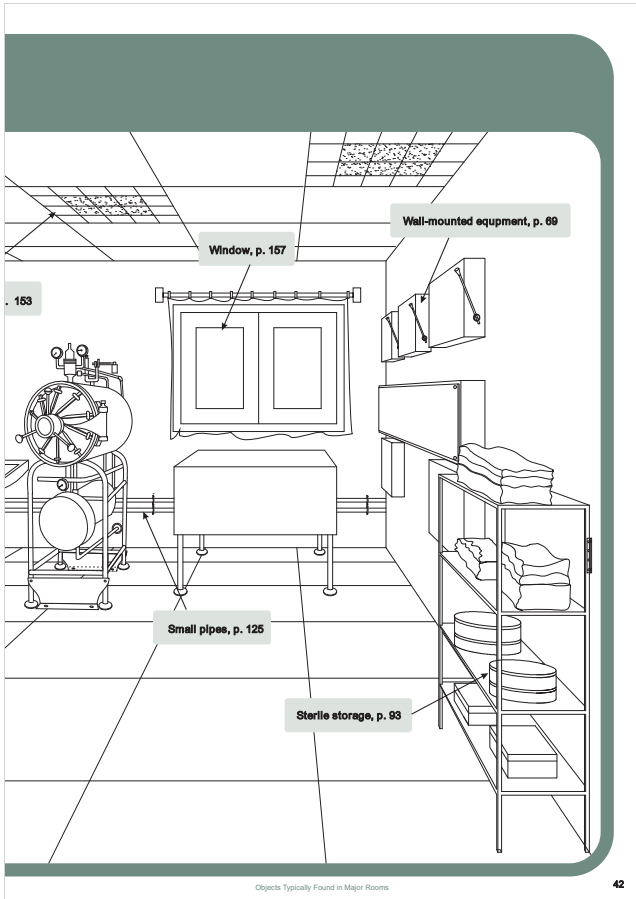


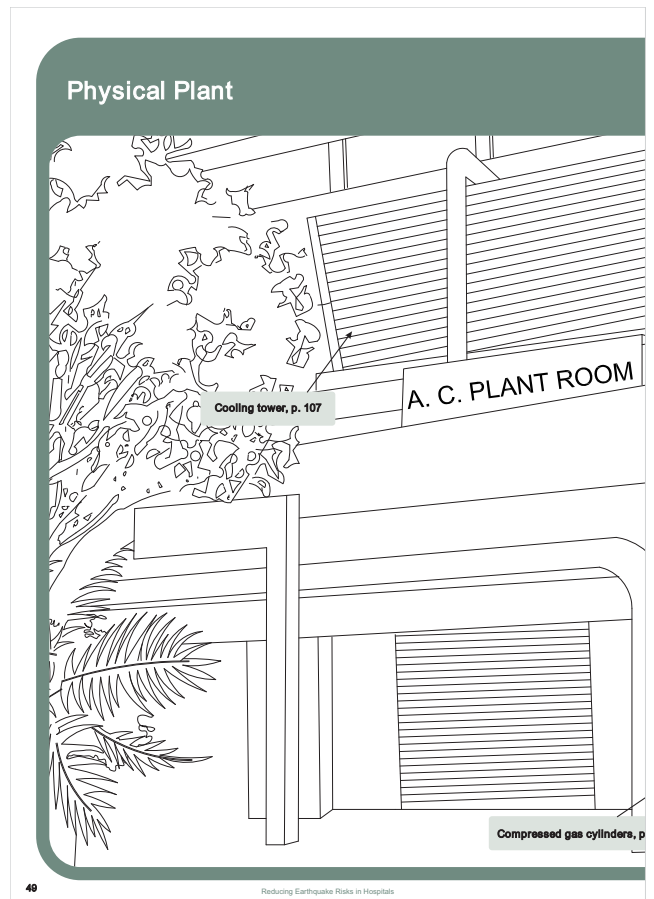
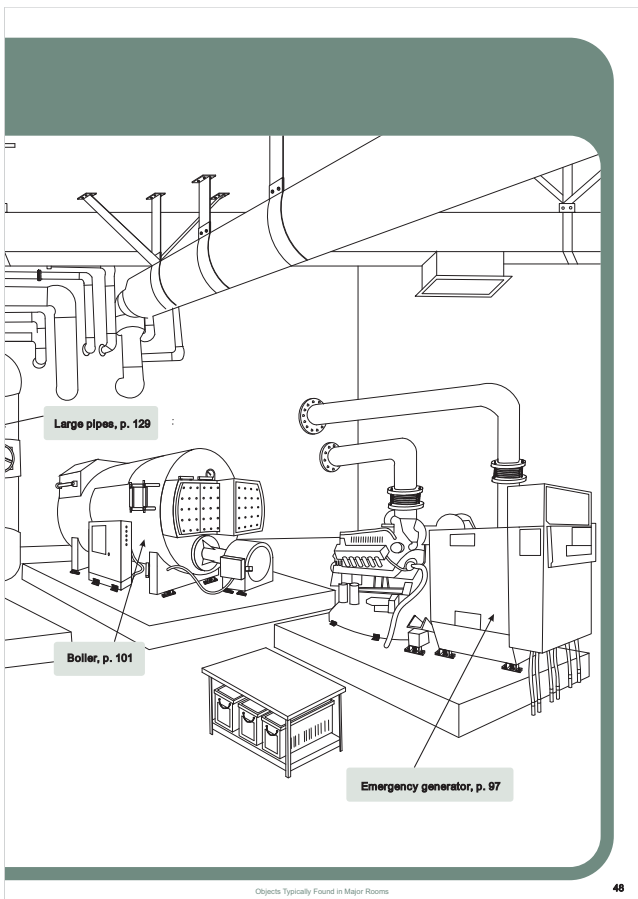
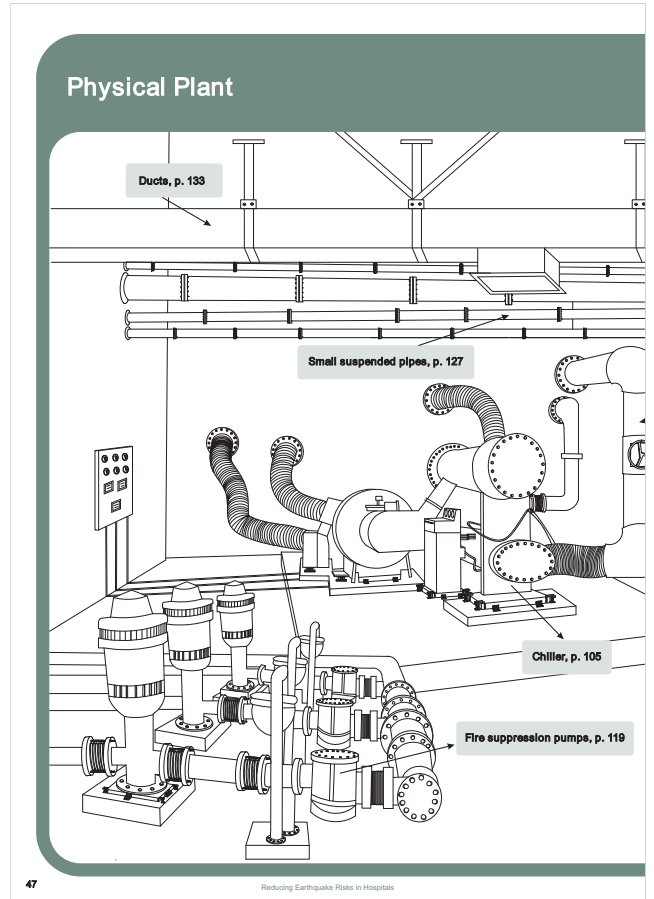
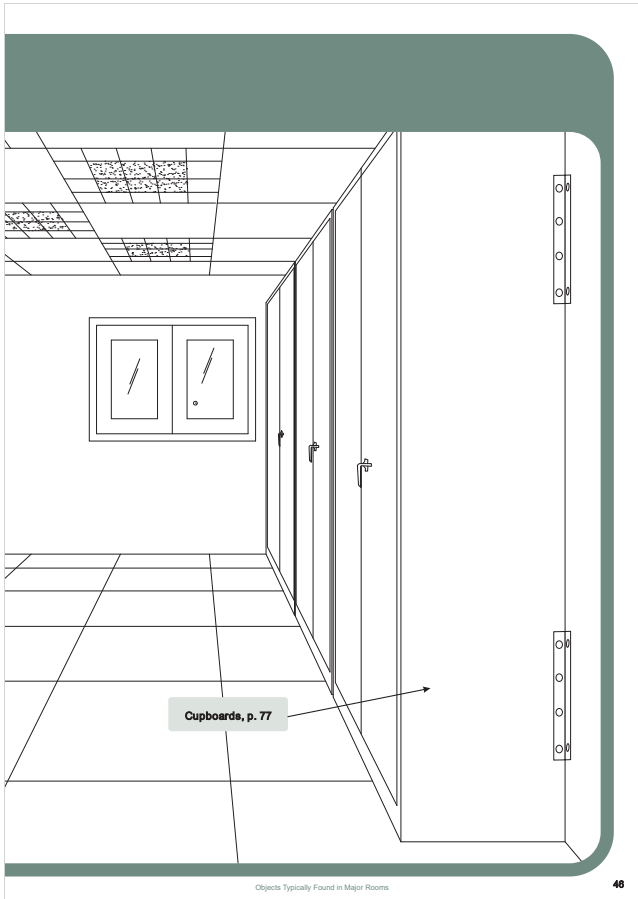
Objects Typically Found in Major Rooms

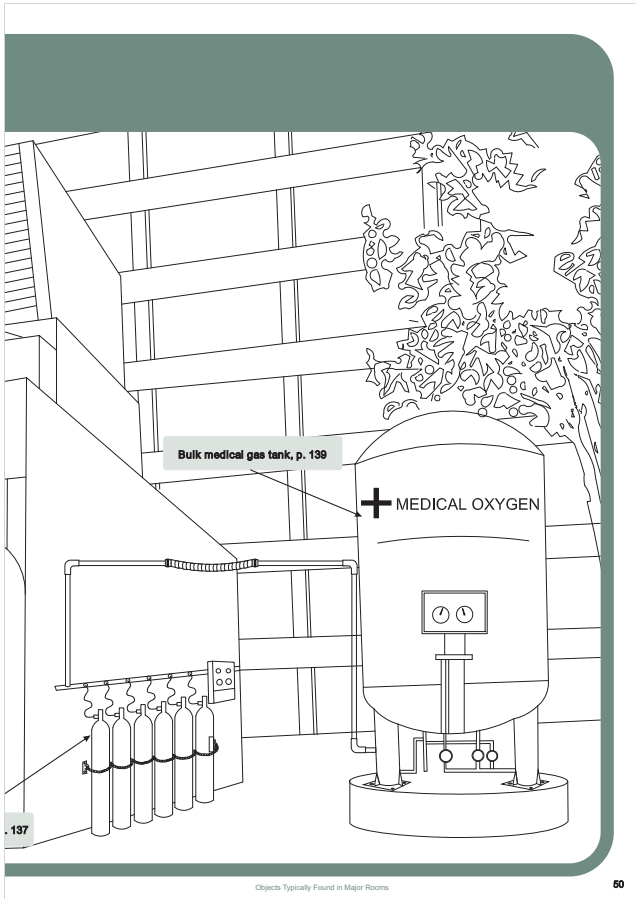


Reducing Earthquake Risks in Hospitals









Objects Typically Found in Major Rooms



Reducing Earthquake Risks in Hospitals

Medical Equipment

Doctors and hospital staff rely on medical equipment to provide care to patients. If an earthquake damages medical equipment, then that equipment is not available when needed in the post-earthquake period. It also may be costly to replace.

This section contains information on how to anchor the following types of medical equipment:

- Autoclaves – p. 53
- Anaesthesia machines – p. 55
- Monitors – p. 57
- Operation theatre lights – p. 59
- Ventilators – p. 61
- Imaging and scanning units – p. 63
- Radiant warmers – p. 65
- Wheeled or trolley-mounted equipment – p. 67
- Small wall-mounted equipment – p. 69
- Laboratory bench-mounted equipment – p. 71
- Blood bank refrigerators – p. 73

Consult the manufacturer or an engineer for information on how to anchor other types of large or very sensitive medical equipment. When purchasing new equipment, ask the manufacturer to supply seismic restraints along with the equipment. Manufacturers that sell medical equipment in areas (such as California) that have regulations regarding the seismic anchorage of equipment will be able to provide seismic restraint details for the equipment that they sell. These details may need to be modified for your hospital's conditions.

Certain types of equipment are not very vulnerable to earthquake damage or must be moved often for functional reasons. GHI does not recommend anchoring this equipment, which includes: roller mounted suction machines, operating tables, or roller mounted equipment with a height to base ratio of less than 1.5. Equipment anchorage should take into account each piece of equipment's necessary functions. Equipment that must be moved often cannot be anchored in the same way that stationary equipment can, and it may not be able to be anchored at all.

Autoclaves

Sterilise surgical instruments and laboratory equipment; located in sterilisation room.

Potential Earthquake Damage

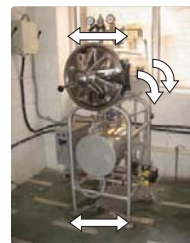


Photo credit: Kanchan Sabnis, GeoHazards Society



Photo credit: NISEE

Strong shaking can cause autoclaves to topple.



Photo credit: Degenkolb Engineers

Overturned tank with aspect ratio similar to autoclave (left); damaged equipment similar to autoclave (right).

Autoclaves are tall and narrow and are susceptible to toppling, unless they are properly anchored. Water lines to autoclaves can break, leaving the autoclaves without the water that they need to generate steam for sterilising.

Consequences

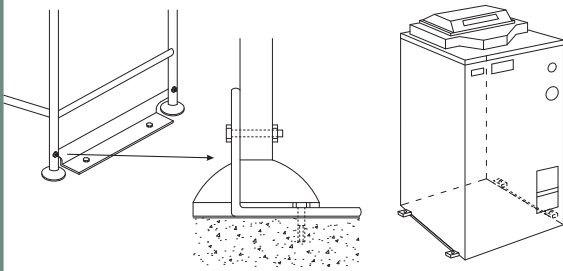
Toppling is likely to damage autoclaves. Without autoclaves, the hospital will not be able to sterilize the instruments that doctors need to perform surgeries on earthquake victims.

Check These Related Items

Sterile storage (see pg.93): The sterile storage area should remain functional, so that the hospital can continue its sterilization procedures and can keep doctors supplied with the instruments that they need.
Electrical distribution system (see pg.131): The autoclave needs electricity in order to function.

Water supply pipes (see pg.127): The autoclave needs water in order to function. Autoclaves in Kobe, Japan were rendered useless by the loss of city water supply after the 1995 earthquake.

Methods of Anchoring



Anchor freestanding autoclaves to the floor as shown above. You can anchor autoclave legs with either circular steel collars or L-brackets bolted to each leg and to the floor, or by concreting the legs at the base. If you are using concrete, then be sure to connect the new reinforced concrete pad to the existing floor using dowels. Anchor large chest-type autoclaves to the wall or the floor. You can use some of the same anchoring techniques as for blood bank refrigerators, which are found on p73



Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International

When anchoring a large chest-type autoclave to the wall, be sure to have an engineer check that the wall is strong enough to resist the earthquake forces generated by the autoclave. The engineer will also need to select the correct size anchoring devices. Make sure that pipes are connected to the autoclave using flexible connections, like those shown at left. Consider having a plumber install an alternate connection valve, so that you can supply water to the autoclave from a local source (a jug or jerry can) if pipes break, or if the hospital does not have a backup water supply.

Expertise Required

Some engineering required to design anchorage for autoclaves and to provide flexible connections.

Recommended Priority

Essential Services. The hospital needs the autoclave to sterilize instruments in the post-earthquake period, when many trauma patients will need surgery.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, moderate level of disruption. The parts used to anchor an autoclave and to install flexible connections are inexpensive. Anchoring will require that the autoclave be taken out of service for a period of several hours, so advance planning is required.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for more information.

Anaesthesia Machines

Supply anaesthetics, located in operation theatres, catheterization labs and radiology.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Manisha Dharan, THDT Designs

Strong shaking can cause anaesthesia machines and associated equipment to slide or topple off of the trolley.



Photo credit: MCEER

Medical electronic equipment similar to that in anaesthesia machine fell (left) and shifted (right) during earthquake simulation test in an engineering laboratory.

Anaesthesia machines are typically located on trolleys, along with related equipment and supplies. These trolleys can be tall and narrow, and equipment could slide or topple off of the trolley, especially from the higher shelves.

Consequences

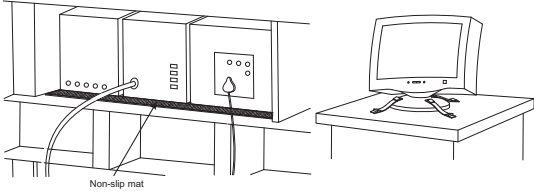
Equipment that falls can break and will not be available when needed after the earthquake. The equipment can also be expensive to replace. Falling equipment could also injure staff and/or patients.

Check These Related Items

Electrical distribution system and connections (see pg.131): The anaesthesia machine needs electricity in order to function; some machines have battery backup, but the battery does not last long.

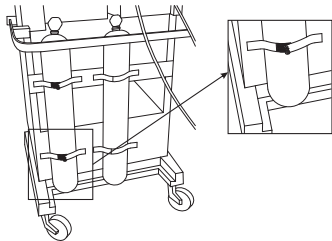
Medical gas supply (see pg.139 for pipes, pg.141 for tanks and pg.137 for cylinders): The anaesthesia machine needs medical gases in order to function. These are supplied by pipe or by local cylinders.

Methods of Anchoring



Non-slip mat

Attach box-shaped equipment to the trolley using straps or hold-downs like those used for computers, or provide a non-slip mat to keep the equipment from sliding off. Place heavy equipment on the lowest possible shelf of the trolley. Anchor heavier equipment, such as monitors, that needs to be at eye level. Provide support for attached cylinders, in addition to the mounting connection; this connection may not be strong enough on its own to resist earthquake forces.



Consider what would happen if the medical gas distribution system ceased to function: have spare cylinders available. Also, when purchasing a new anaesthesia machine, look for one with equipment that is integrally attached to the trolley and that is not too tall and narrow; tall and narrow machines can overturn.

Expertise Required

Some maintenance assistance required. You can attach straps yourself but may need maintenance staff to attach chest restraints or rails.

Recommended Priority

Essential Services. The hospital needs the anaesthesia machines in the post-earthquake period, when many trauma patients will need surgery.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring an anaesthesia machine is inexpensive. Work can be done when the machine is not in use (for instance, when no surgeries are scheduled) to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on installing restraints.

Monitors

Monitor patients' vital signs; located anywhere that patients need to be monitored.

Potential Earthquake Damage

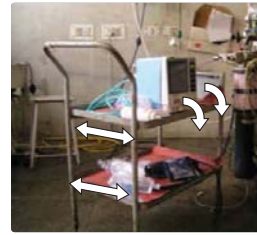
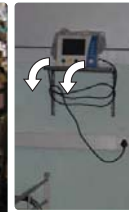


Photo credit: Karishan Sabnis, GeoHazards International



Strong shaking can cause unanchored small monitors to fall from shelves, wall mounts, or carts and to break.

Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International



Photo credit: MCEER



Photo credit: Khalid Mostafaei, University of California, Berkeley

Monitor fell from support bracket during earthquake simulation test in an engineering laboratory (left); monitor fell from shelf, 2009 L'Aquila earthquake (right).

Monitors are often placed on shelves or trolleys a meter or more above floor level; they can easily slide or fall off, if not anchored. Some monitors are mounted on walls and can fall, if the attachment is not strong enough to withstand earthquake forces. A fall from this height is likely to break the monitor.

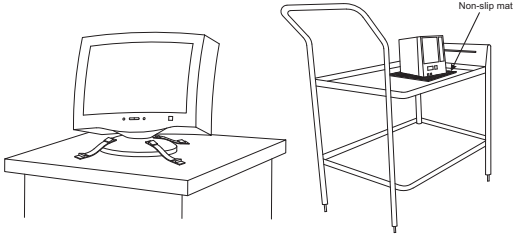
Consequences

If the monitor falls and breaks, then it no longer provides hospital staff with vital information on the status of the patient, and the patient could be in danger. The hospital will not have the option of using the monitor for other critical patients who arrive after the earthquake. Monitors located over beds could fall and injure patients, especially babies and small children. The monitor may also be expensive to replace, and replacements may not arrive for some time, since the transportation system in the area may be disrupted after the earthquake.

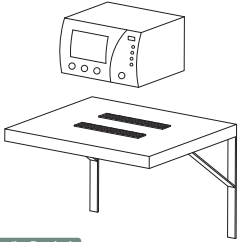
Check These Related Items

Electrical distribution system (see pg.131): The monitor will not function if power from the emergency generator cannot reach it, because the electrical distribution system is damaged.

Methods of Anchoring



Monitors can be easily anchored to counters, shelves, or trolleys using hook and loop tape (eg. Velcro) straps or small L-brackets. You could also use a trolley with rails or could install a shelf restraint, in order to keep the monitor from sliding off. Small monitors on wide shelves can be placed on non-skid mats, so that they will not slide off.



Overhead or wall-mounted monitors are often mounted using commercially available brackets. The monitor should be properly anchored to the bracket, so that it cannot fall during an earthquake. The bracket also has to be properly anchored to the wall and be able to withstand earthquake forces without breaking.

You can also relocate monitors that could fall onto patients, especially babies and small children.

Expertise Required

Do it yourself. Nearly anyone can anchor monitors or relocate them.

Recommended Priority

Continued Service. For most monitors.

Critical Safety. For monitors that can fall onto patients, especially onto particularly fragile ones.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring monitors is very inexpensive. Relocating costs virtually nothing. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on installing restraints.

Operation Theatre Lights

Provide bright light for surgical procedures; located in operation theatres.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause lights to sway, break off their supports, and fall.

Photo credit: Janine Rodgers, GeoHazards International



Photo credit: MCEER

Operation theatre light broke off arm and fell to floor during an earthquake simulation test at an engineering laboratory (left) and (right).

Many sets of operation theatre lights are not connected to the ceiling with mountings that are able to resist lateral forces, as well as gravity. These weak connections can break during an earthquake, and the entire light assembly can fall down and break.

Consequences

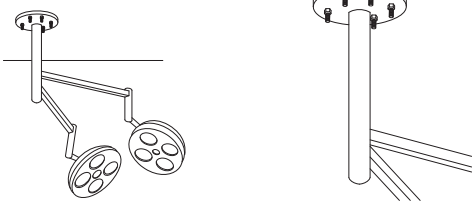
After an earthquake, there may be many trauma patients who need surgery, and the operation theatres need to be functional. Surgeons need bright lights in order to perform surgeries safely, so the operation theatre will not be functional, if its lights have fallen/damaged.

Check These Related Items

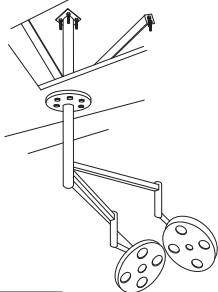
Electrical distribution system (see pg.131): Wiring and conduits to the emergency power system must remain intact, so that power from the emergency generator can reach the operation theatre.

Suspended (false) ceilings (see pg.153): If the lights are located in a false or suspended ceiling, then they can sway and cause parts of the ceiling to collapse.

Methods of Anchoring



Operation theatre lights should be anchored securely to the reinforced concrete ceiling using bolts. Have an engineer determine the anchor bolt size and anchorage arrangement required to resist earthquake forces.



If you have a suspended (false) ceiling in your operation theatre, then you will need to brace the lights back to the structural ceiling as shown at left. The suspended ceiling will not be strong enough to prevent the lights from swinging and falling.

Expertise Required

Some engineering required to select the correct size bolts or braces.

Recommended Priority

Essential Services. Doctors need to be able to perform operations after an earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Bolts are typically inexpensive. Bracing systems are more expensive. Work on operating theatre lights can be done at night, when no surgeries are scheduled, so as not to disrupt hospital operations.

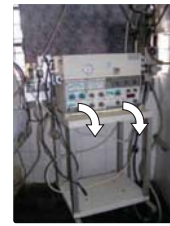
Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for more information.

Ventilators

Provide respiratory support to patients; located in intensive care units.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause ventilators to topple from stands or trolleys.

Photo credit: Kanchan Sabnis, GeoHazards International



Photo credit: NISEE (Robert Reithman)



Photo credit: Khalid Mosalam, University of California, Berkeley

Damage to equipment with similar aspect ratio to shelf mounted ventilators during the 1994 Northridge, California earthquake (left) and 2009 L'Aquila, Italy earthquake (right).

Ventilators are often placed on trolleys or stands at patients' bedsides in ICUs. They can slide or topple, if they are not anchored. Bottom-heavy ventilator units on wheels, or ventilators attached the wall are not very vulnerable to earthquake damage.

Consequences

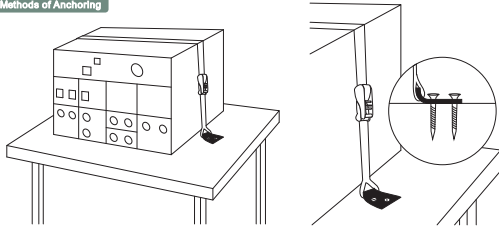
If the ventilator on a stand or trolley falls, then it could be damaged or break. It may also break connections with supply systems. The patient using the ventilator will have to be manually ventilated using a bag, which requires tremendous amounts of staff time and effort.

Check These Related Items

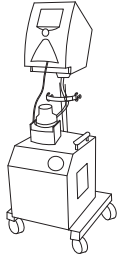
Electrical distribution system (see pg.131): Wiring and conduits in the emergency power system must remain intact, so that power from the emergency generator can reach the ventilator.

Medical gas supply (see pg.125 for pipes, pg.141 for tanks and pg.137 for cylinders): The ventilator needs oxygen, which is supplied by pipe or local cylinders, in order to function.

Methods of Anchoring



Anchor ventilators to trolleys or stands using straps. You can use straps similar to those used for computers and other equipment. Ensure that the ventilator has flexible connections to the oxygen supply, especially if the supply is from a pipe that is rigidly mounted to the wall.



When purchasing new ventilators, buy those that can be easily anchored or that are resistant to toppling. Ventilators built into or firmly anchored to the wall are the most resistant to earthquake damage. Ventilators on wheels should be bottom-heavy.

Expertise Required

Do it yourself. You can place straps on a ventilator, in order to anchor it to a stand.

Recommended Priority

Essential Services. Without the ventilator, patients that need help breathing will have to be manually ventilated, which takes a tremendous amount of staff time and effort.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Bolts are typically inexpensive. Bracing systems are more expensive. Work on operating theatre lights can be done at night, when no surgeries are scheduled, so as not to disrupt hospital operations.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on installing restraints

Medical Equipment

62

Imaging and Scanning Units

Provide medical imaging, located in radiology. Includes X-ray machines, CT scanners, and others.

Potential Earthquake Damage

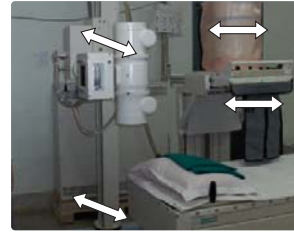


Photo credit: Karanah Salami, GeoHazards International



Photo credit: FEMA

Strong shaking can cause imaging units, which include X-ray machines, CT scanners, to slide, topple, or break.



Photo credit: California OSHPD

Badly damaged X-ray machine, 1971 San Fernando, California earthquake (left); imaging unit drum moved 75 cm, as indicated by the dark circle on floor, 1983 Coalinga, California earthquake (right).

The equipment can either slide or, in the case of equipment that is tall and narrow, topple during strong earthquake shaking. The unsupported arms or extended parts of some imaging equipment can vibrate excessively, leading to damage or breakage.

Consequences

Broken imaging equipment will not be available to use to help diagnose trauma injuries after an earthquake, when it will be needed. Broken equipment can also leak radiation, which is a serious health hazard.

Check These Related Items

Electrical distribution system (see pg.131); Scanning units need electricity from the emergency power system, in order to function.

63

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

Methods of Anchoring

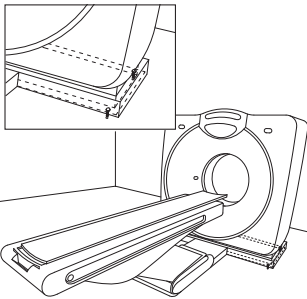


Photo credit: California OSHPD

First, consult the manufacturer of the equipment to see if it can provide seismic restraint devices or details. Manufacturers that sell equipment in areas of high seismicity, such as California or Japan, should be able to provide seismic restraints for their products. If the manufacturer can't provide seismic restraint information, then you will need to hire an engineer. Manufacturer-provided restraint information could be as simple as alerting you to the location of holes, where the equipment should be bolted to the floor. Your maintenance department could then bolt the equipment to the floor. Other restraint designs could be more complicated. Follow manufacturer's instructions carefully, in order to avoid damaging the equipment or voiding the warranty. Some imaging equipment is already well-attached to the floor, so that it can withstand the forces imposed by normal operations. Have an engineer check to see if this attachment is strong enough to resist the expected earthquake forces. If the manufacturer does not make seismic restraints for your imaging equipment, then you will need to anchor it yourself. A very simple anchoring solution (a chain) saved the imaging equipment at above right from damage during the 1995 Kobe, Japan earthquake. For large and heavy equipment such as CT scanners or MRI machines, consult an engineer, if the manufacturer does not provide restraints. Discuss the engineer's design with the manufacturer to be sure that it will work as intended.

Expertise Required

Some maintenance assistance and engineering required. You will need to consult an engineer to design the anchoring system. You will need maintenance help to install either the manufacturer's or your engineer's system.

Recommended Priority

Essential Services. The hospital needs imaging equipment in the post-earthquake period to diagnose injuries.

Retrofit Cost and Disruption

Low to moderate cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Anchoring imaging equipment can be relatively inexpensive, if you only need to bolt it to the floor or tether it to the wall. Strengthening an existing anchorage or providing a custom-designed anchorage solution will be more expensive. The machine will have to be taken out of service while work is done, so advance planning is required.

Where to Find More Information

Contact your equipment's manufacturer, and see Appendix C, page 173 for more information.

Medical Equipment

64

Radiant Warmers

Keep premature or ill babies warm and monitor them; located in neonatal intensive care unit.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Manisha Dhanraj, THOT Designs

Strong shaking can cause radiant warmers to topple or roll and to break connections.



Photo credit: California OSHPD

X-ray equipment tall and narrow like a radiant warmer saved from damage by a tether during the 1995 Kobe, Japan earthquake (left); another similar piece of equipment toppled in the same earthquake (right).

Radiant warmers can rock and possibly topple. Equipment on the warmer's shelves could slide or topple. Since the warmer is on wheels, it could also roll far enough to break the connections with medical gas lines or electrical power.

Consequences

Fragile babies could be injured or could even die from a disruption in electrical power or medical gas supplying a ventilator, or from a fall to the ground, if the warmer overturns.

Check These Related Items

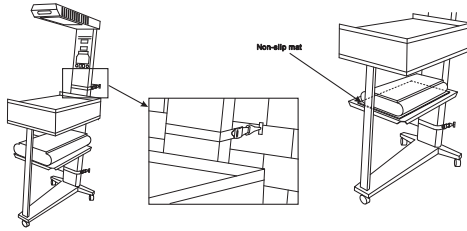
Electrical distribution system (see pg.131); Wiring and conduits in the emergency power system must remain intact, so that power from the emergency generator can reach the warmer.

Medical gas supply (see pg.139 for pipes, pg.141 for tanks and pg.137 for cylinders); Warmers often have equipment that supplies oxygen to help babies breathe. This supply must not be interrupted.

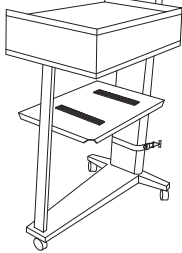
65

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

Methods of Anchoring



You can keep radiant warmers from toppling by attaching a tether at the top, as shown above. You should be able to detach the tether quickly, to move the incubator, if needed. Another option is a magnetic latch; this relies less on staff to remember to reattach the tether. Make sure that the latch is not positioned where it could interfere with electrical equipment.



Anchor other equipment located on the warmer's shelves using non-slip mats or hook and loop tape. Place such equipment as low to the floor as possible, to help the warmer to resist toppling. Try to keep wheels clean so that they roll easily, because this will also help the warmer to resist toppling.

Expertise Required

Do it yourself. Anyone can install a tether.

Recommended Priority

Essential Services. Radiant warmers provide essential care for very small or sick babies.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring radiant warmers is inexpensive. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

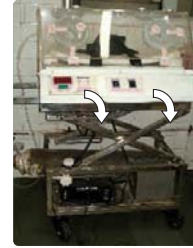
Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on installing a tether or other restraint.

Wheeled or Trolley-mounted Equipment

Varies; located throughout hospital.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause tall and narrow wheeled equipment to topple and equipment on trolleys to fall off of the trolley.

Photo credit: Manisha Dhanan, THOT Designs



Photo credit: California OSHPD

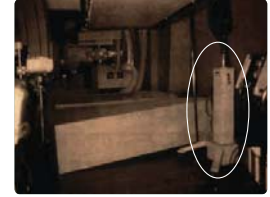


Photo credit: Degenklub Engineers

Wheeled hospital kitchen equipment rolled and damaged other items, 1983 Coalinga, California earthquake (left); undamaged bottom-heavy wheeled equipment next to toppled equipment in radiology department, 1995 Kobe, Japan earthquake (right).

Tall and narrow wheeled equipment can topple and break. Improperly anchored equipment on trolleys can fall to the floor and break.

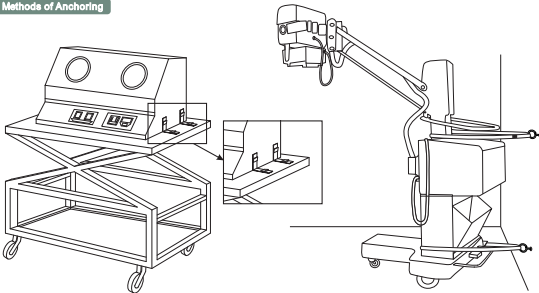
Consequences

The broken equipment will not be available for use and could be expensive to replace. Damage to equipment used to care for critically ill patients could disrupt the care of those patients or could endanger their health.

Check These Related Items

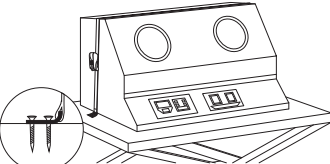
There are no related items to check.

Methods of Anchoring



Anchor equipment on trolleys using straps or provide rails or shelf restraints to keep the equipment from sliding or toppling off of the trolley. Wheeled equipment is difficult to secure, because it is frequently moved. You can design a "garage" or parking location for the heavy wheeled equipment when it is not in use, where the equipment can be anchored to a wall or post. For some equipment prone to toppling, you may have to accept the possibility that the equipment could break during earthquake shaking. For smaller or less expensive equipment, you could keep a properly anchored spare in storage.

When purchasing new wheeled equipment, try to find equipment that is either bottom-heavy or relatively short and squat. These types of wheeled equipment are less prone to toppling. You can test the toppling resistance of light wheeled equipment with a colleague. Have your colleague stand next to the equipment, ready to catch it if it starts to topple. Carefully give the equipment a sharp shove at the top. If it rolls instead of toppling, it is not likely to topple in an earthquake.



Expertise Required

Do it yourself. You can secure equipment to a trolley yourself.

Recommended Priority

Continued Service. The hospital needs wheeled and trolley-mounted equipment to care for patients.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring equipment to trolleys is typically inexpensive. Wheeled equipment can be more expensive to anchor, because solutions may be more complex, in order to account for functional requirements. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing restraints.

Small Wall-mounted Equipment

Varies; located throughout hospital.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause bench-mounted equipment in laboratories to fall.

Photo credit: Manisha Dhanan, THOT Designs



Photo credit: MCEER

Laboratory damage, 1994 Northridge, California earthquake (left) and (right).

Laboratories typically have an array of small and medium-sized equipment located on benches or tabletops. If not anchored, then these pieces of equipment can slide or topple from benches and break.

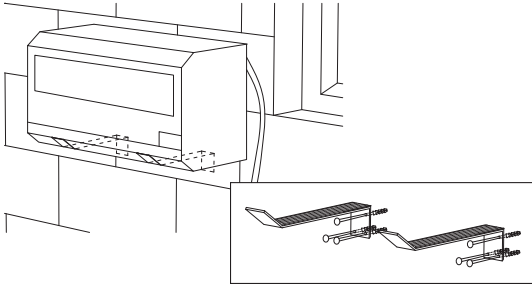
Consequences

If laboratory equipment breaks, then the hospital will lose vital diagnostic capabilities. The equipment may also be expensive to replace.

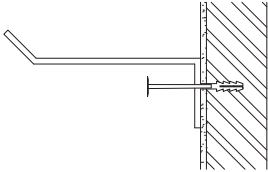
Check These Related Items

Electrical distribution system (see pg.131); Laboratory equipment typically needs electricity, in order to function.

Methods of Anchoring



Small wall-mounted equipment can be fixed to the wall using brackets or bolts. Some electronic equipment might require specialized mounting hardware. Several manufacturers produce mounting hardware. Some existing anchorages may be adequate for the expected earthquake forces.



When installing new wall-mounted equipment, be sure to anchor it properly. You may need to consult an engineer about how to anchor particularly heavy or sensitive equipment. The manufacturer may also be a good source of information about seismic anchorage, particularly if it sells the equipment in other high earthquake hazard areas like California and Japan.

Expertise Required

Do it yourself. Most wall-mounted equipment can be properly anchored by users following manufacturer's instructions.

Recommended Priority

Continued Service. The hospital needs the equipment to function normally.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring wall-mounted equipment properly is typically inexpensive. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

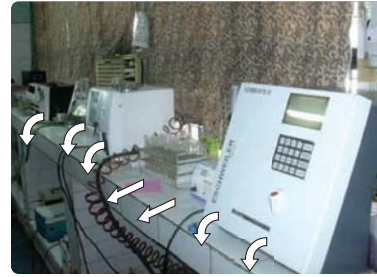
Where to Find More Information

Consult the manufacturer, and see Appendix B, page 167 for more information on anchoring equipment to walls.

Laboratory Bench-mounted Equipment

Used to perform laboratory tests; located in laboratory.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause inadequately anchored wall-mounted equipment to fall to the floor.



Wall-mounted monitor fell (left) after screws in attachment bracket sheared off during an earthquake simulation test at an engineering laboratory.



Improperly anchored wall-mounted equipment can fall to the floor and break.

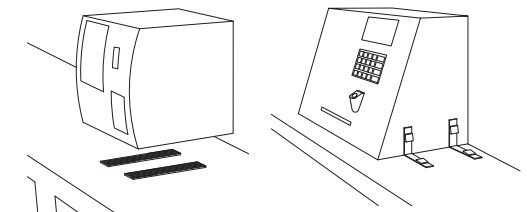
Consequences

The broken equipment will not be available for use and could be expensive to replace.

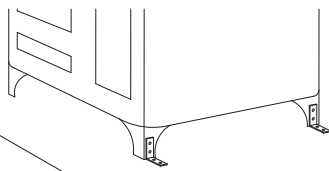
Check These Related Items

Electrical distribution system (see pg.131): Equipment typically needs electricity in order to function.

Methods of Anchoring



Laboratory equipment that does not need to be moved should be bolted to the bench/table through holes in the equipment itself or using an L-bracket, as shown below. Anchor other laboratory equipment using hook and loop tape (i.e. Velcro), or specially designed straps or leathers. Several manufacturers sell anchoring devices specifically made for use in laboratories.



Expertise Required

Do it yourself. Follow the manufacturer's instructions to install the restraint device.

Recommended Priority

Continued Service. The hospital needs its laboratory facilities to function normally.

Retrofit Cost and Disruption

Low to moderate cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring bench-mounted laboratory equipment is typically inexpensive, though some anchoring devices can be moderately expensive. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Consult your equipment's manufacturer, and see Appendix B, page 167 for more information on installing restraints.

Blood Bank Refrigerator

Stores blood for transfusions; located in blood bank.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause blood bank refrigerators to slide or topple.



Blood bank refrigerator moved approximately 100 cm during the 1994 Northridge, California earthquake. Close-up of leg showing movement (left); overall view of refrigerator (right).

Blood bank refrigerators could slide or topple during strong earthquake shaking and could break their electrical connections. Some blood banks use ordinary refrigerators intended for home use, these refrigerators do not typically have door latches, and the door is likely to come open in an earthquake. If the door does open, then blood bags could fall out onto the floor.

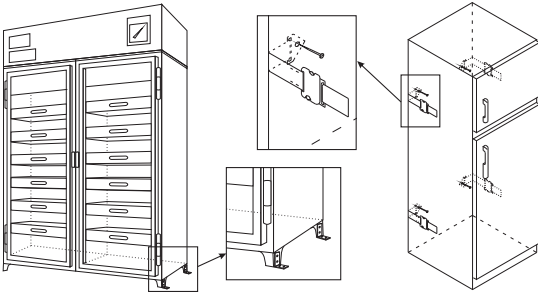
Consequences

Toppling could damage the refrigerator and cause it to lose power. Blood is highly perishable and will go bad if not promptly refrigerated again. Spilled blood bags could go bad, if they are not immediately retrieved and refrigerated. Blood will also be in high demand immediately after the earthquake.

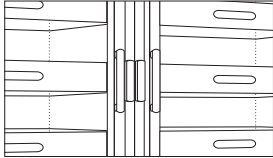
Check These Related Items

Electrical distribution system (see pg.131): Blood is highly perishable, and the refrigerator needs electrical power from the emergency power system to continue functioning.

Methods of Anchoring



Keep refrigerators from toppling by fastening the legs to the floor. The restraints are not actually connected to the refrigerator body (so they do not disturb the installation or void the warranty) but keep it from toppling. For smaller refrigerators, you could provide straps or connect the top of the refrigerator to the wall with a steel angle.



If your blood bank refrigerator does not have a door latch (but most commercial blood bank refrigerators do), then install one. A latch will keep the door from coming open and blood bags from falling out onto the floor. A proper latch will also ensure that the door is fully closed, which is essential to maintaining the proper temperature.

Expertise Required

Do it yourself. You can install most refrigerator anchorages and latches yourself. You will need an engineer to design the restraints if you decide to anchor the refrigerator at its base.

Recommended Priority

Essential Services. The hospital will need blood to treat those injured by the earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring refrigerators is inexpensive, if you use straps or top restraints. Base restraints are more expensive. Latches are very inexpensive. Work can often be done while the refrigerator is in operation, but blood should be temporarily shifted to another refrigerator during installation of restraints, if anchoring at the base.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on installing anchors.



Furnishings and Hospital Administrative Systems

Furnishings such as shelving and cupboards can topple during an earthquake, possibly causing injuries and blocking exits. The resulting loss of medical records or items needed to administer the hospital can also lead to confusion and can endanger patients.

This section contains information on how to anchor the following types of furnishings and elements of hospital administrative systems:

- Cupboards – p.77
- File cabinets – p.79
- Medical records storage – p.81
- Computers – p. 83

Cupboards

Store medical supplies, located in stockrooms, offices, wards, and sometimes other spaces.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause unanchored cupboards to slide or topple. If the doors are open or fall open during the earthquake, then the contents can fall out.

Photo credit: Kanchari Sabnis, Cupboards International



Photo credit: Ogenikob Engineers, FEMA 74



Photo credit: EERI 2003 Bam Iran Reconnaissance Report

Overturned cupboards in radiology department, 1995 Kobe, Japan earthquake (left); overturned cupboards in a hospital in the 2003 Bam, Iran earthquake (right).

Tall and narrow cupboards can topple in an earthquake, and more squat cupboards can slide. If the cupboard door is not latched, then it can open, and contents can spill. Even if the door stays closed, bottles or other fragile containers inside the cupboard can be tossed about and break during strong ground shaking.

Consequences

Hospital and staff can be injured by toppling or sliding cupboards. Cupboards located in corridors or near doorways can block exits. If the cupboard door opens, then chemicals, medicines or hazardous substances inside it can spill or mix, creating a hazard.

Check These Related Items

Items on shelves (see pg.89): If the cupboard contains chemicals or medicines on shelves, then those bottles need to be in bins or other containers to keep them from breaking and mixing.

Methods of Anchoring

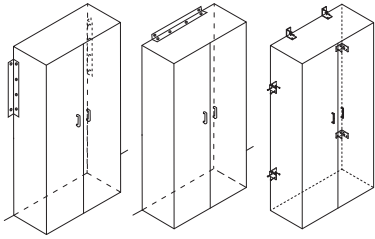
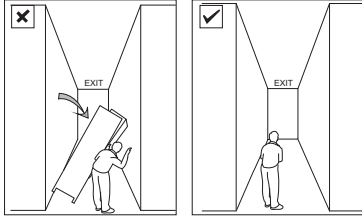


Photo credit: FEMA/IATC Training Course

Steel or wooden cupboards can be easily anchored to the wall using L-brackets or an angle bracket, masonry plugs or concrete screws (depending on the type of wall), and a drill machine. You can use two L-brackets at the top of the cupboard, and two more L-brackets each on the left and right sides, as shown above. For large cupboards (1 m x 2 m x 0.5 m or larger), use larger L-brackets. Alternatively, you can use a single long angle bracket across the top of the cupboard. Keep the door latch closed, so that the contents won't fly out during an earthquake. Place breakable contents in separate padded bins.



Cupboards can also be relocated away from doors and out of corridors, so they will not block exits. They can be moved away from patient areas and work areas, where they could fall on someone. However, even if cupboards are relocated, you should anchor any cupboards that contain items that would cause problems, if they were to spill.

Expertise Required

Do it yourself. Nearly anyone can relocate cupboards or learn to use a drill machine.

Recommended Priority

Continued Service: For most cupboards that store supplies not easily damaged.
Critical Safety: For cupboards that can block exits or fall on patients or staff members.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring cupboards to the wall is very inexpensive. Relocating cupboards costs virtually nothing to do. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing fasteners.

File Cabinets

Store records and information, located in offices.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Dr. Shakti Gupta, AAIMS

Strong shaking can cause unanchored file cabinets to topple, or drawers to slide out. Contents can fall out.



Photo credit: FEMA/74



Photo credit: National Geophysical Data Center

Overturned filing cabinets in the 1980 Livermore, California earthquake (left); filing cabinets damaged by the 1994 Northridge, California earthquake (right).

Drawers can slide out and/or cabinets can topple over.

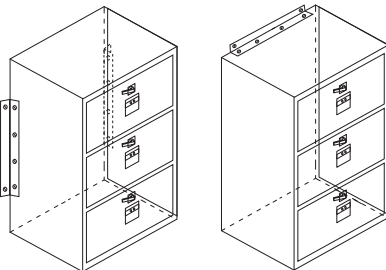
Consequences

Hospital staff working near filing cabinets can be injured by toppling file cabinets or by file drawers sliding out. File contents can be mixed up, if they spill out of drawers.

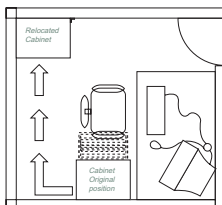
Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring



File cabinets can be easily anchored to the wall using L-brackets, angles, masonry plugs or concrete screws (depending on wall type), and a drill machine. You should use two L-brackets at the top of the cabinet, and two more L-brackets each on the left and right sides, as shown above.



File cabinets can also be relocated away from doors and out of corridors, so that they will not block exits. They can be moved away from work areas, where they could fall on someone.

Expertise Required

Do it yourself. Nearly anyone can relocate file cabinets or learn to use a drill machine.

Recommended Priority

Continued Service: For most file cabinets.
Critical Safety: For file cabinets that can block exits or fall on staff members.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring file cabinets to the wall is very inexpensive to do. Relocating file cabinets costs virtually nothing. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing fasteners.

Medical Records Storage

Stores patient medical records, located in central storeroom, with smaller units elsewhere.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Har Kumar, GeoFacts International

Strong shaking can cause unbraced shelving to deform or topple. Unrestrained files containing paper or film records can slide off of shelves.



Photo credit: California OSH/PO
 Workers stand atop piles of medical records more than one meter deep that spilled during the 1994 Northridge, California earthquake (left); toppled X-ray records cabinet, 1983 Coalinga, California earthquake (right).

Unbraced shelves can collapse or topple, spilling the files that they contain. Individual records can fall out of files and become mixed up with other records.

Consequences

Hospital staff working in the medical records storage area can be injured by toppling shelving. The medical records storage areas contain critical information for patient care, and such information will not be available, if the files fall from the shelves and can't be readily located.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

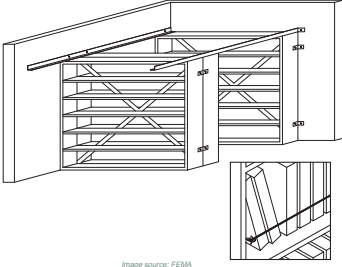


Image source: FEMA

Photo credit: California OSHF/D

Shelving for medical records can be attached securely to the wall or floor, or can be connected with bracing across the top to prevent the shelves from toppling. Restrain shelves in both directions. If shelves are open racks without a back, then brace shelving units with cross bracing to keep the units themselves from falling.

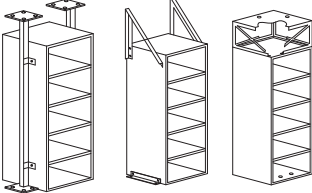


Image source: FEMA

You can keep records from falling out by installing lips on the shelves or shelf restraints such as elastic cords (shown above, inset). Ask the medical records staff for input on the shelf restraint system to use; a system that makes it difficult for them to work will likely be removed. Alternatively, you can make sure that the individual record sheets inside files are securely attached to the file, so that they will not get mixed up, if the file falls. If you choose this method, then be sure to designate some people to reshelve records after the earthquake.

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to design the bracing for the shelving system.

Recommended Priority

Continued Service. The hospital needs medical records to document care provided to patients and for reference.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Bracing systems for shelving can typically be built from inexpensive, readily available components. Work can be scheduled to minimize disruption. Files will need to be shifted one section at a time, as each shelving unit is braced.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on shelf restraints.

Computers

Store patient and administrative information; located in offices and patient registration areas.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause unanchored computers and monitors to slide or topple off desks and stands.

Photo credit: Alanisha Dhanraj, TNYD Design



Photo credit: NISEE (Robert Rothman)



Photo credit: Khalil Moushan, University of California, Berkeley

Monitor fell from desk during the 1994 Northridge, California earthquake (left); equipment similar in size to monitors and printers toppled from shelf and broke in the 2009 L'Aquila, Italy earthquake (right).

Computers, monitors, and peripheral hardware such as printers can slide or topple off of desks or stands. The impact can damage the computer or break the computer monitor screen.

Consequences

Computers contain vital data and records. These can be lost (or can be very expensive to retrieve), if the computer breaks due to impact from a fall, and if the data are not backed up offsite. If computers used to monitor patients should break, then medical staff will have much less information about the patient's current condition. The computer, monitor, and peripheral equipment may also be expensive to replace.

Check These Related Items

Offsite backup: Vital information stored on your hospital's computers should be backed up regularly to an off-site location. This is a good practice, even if you are not in earthquake country – many other things, from computer viruses to hardware malfunctions, can cause a computer to lose data or to break down without warning.

Methods of Anchoring

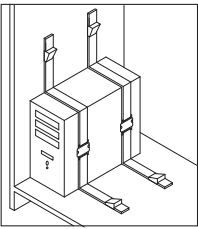
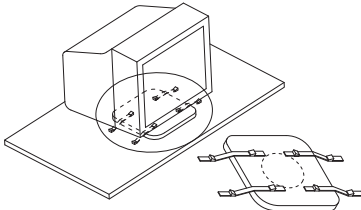


Photo credit: Rebecca Green, Western Washington University

Computer central processing units (CPUs) and monitors can be anchored using special, commercially available straps designed to anchor computers. Many of these straps and clips are self-adhesive. Anchor the CPU to the desk as shown. Anchor tower CPUs placed on the floor to the side of a desk or table. Anchor the monitor to the desk, stand, or CPU. Clean the surfaces very well with rubbing alcohol before using any type of adhesive fasteners. Self-adhesives are convenient to install but can start to peel off after a year or so. You can use self-adhesive tape from a hardware store if the original self-adhesive wears out.



If using self-adhesive clips, instruct hospital staff to check these clips as part of a yearly maintenance program and to replace either the self-adhesive or the entire clip, when it starts to peel off and whenever the electronic equipment is moved to a new location. In addition, your hospital should develop and practice back-up operating procedures as part of the emergency response plan, in case you lose all computers (i.e. revert to manual forms for admissions and records, etc.).

Expertise Required

Do it yourself. Nearly anyone can anchor a computer to a desk.

Recommended Priority

Continued Service. Hospitals need the critical data and information on computers to continue normal operations.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minor level of disruption. Anchoring computers to desks is inexpensive. Work can be done quickly and can be scheduled to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on anchoring computers.



Supplies

A hospital can't deliver medical care, if it does not have supplies. After an earthquake, it will be doubly important to have undamaged supplies ready to use, because demands will be greater, and normal supply distribution will be disrupted.

This section contains general information on how to seismically protect the following supplies:

- On trolleys – p. 87
- On racks – p. 89
- Pharmacy – p. 91
- Sterile storage – p. 93

Cupboards used to store supplies are found on p.77, while refrigerators used to store the blood supply are found on p. 73.

Supplies on Trolleys

Include bandages, instruments, and pharmaceuticals, located throughout hospital.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause trolleys to roll, and if they impact other objects, then unanchored items on them could fall or slide.

Photo credit: Manisha Dhanraj THOT Designs



Photo credit: Degenslob Engineers, FEMA 74



Photo credit: Khalid Mosalem, University of California, Berkeley

Chemical spill in a hospital due to fallen bottles, Costa Rica earthquake (left); spilled items on top shelf of trolley and fallen canisters, 2009 L'Aquila, Italy earthquake (right).

Trolleys are designed to be mobile, and may roll during strong shaking. Rolling tends to limit the earthquake forces that are transferred into the trolley itself but could cause the cart to impact another object. If the objects on the trolley aren't either fastened to the trolley, restrained, or contained in bins, then they could fall or slide due to the impact.

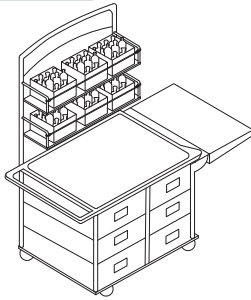
Consequences

Unanchored equipment on trolleys could fall and break. Items on certain trolleys, such as crash carts, must be accessed quickly in emergency situations. The cart could be rendered unusable, if emergency drugs spill and mix, or if emergency equipment falls off the cart and breaks. Sterile instruments and supplies that fall to the floor are no longer sterile.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring



Trolleys themselves cannot be anchored because they must move, in order to function. You could place trolleys in a "docking station" on the wall when not in use, but this requires additional staff effort to restrain the trolley. Instead, consider restraining the objects on the trolley so that they do not fall or slide off, if the trolley impacts another object. Many trolleys have rails or a lip on the shelves that will keep many items in place, but these are not always included on all four sides. Also, if there is no lip, then small items can slide between the rail and the shelf. Placing smaller items in bins could prevent this. Larger equipment that is tall enough to topple over the rails or lip should be anchored to the trolley using straps or other devices.



Pay particular attention to breakable glass bottles, especially those that contain chemicals or medicines that could mix or create a hazard, if they were to spill. Broken glass on the floor is also a hazard. Restraining objects on the trolley will also help to protect against spills and breakage due to accidental collisions during routine usage. Also, if the hospital is badly damaged in an earthquake, then a trolley with properly restrained items will be ready to be pulled outside and used to treat patients there.

Expertise Required

Do it yourself. Anyone can anchor equipment with straps or can place supplies in bins.

Recommended Priority

Continuous Service. Items on trolleys are an integral part of normal hospital operations.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor; minimal level of disruption. You can place supplies on trolleys into bins very easily and cheaply. This can be done during normal restocking of supplies and does not need to disrupt operations.

Where to Find More Information

Please see the Appendix B, page 167 for more information on installing restraints.

Supplies on Racks

Includes supplies on open racks or shelves, located in storage rooms or elsewhere as needed.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause the contents of racks to slide out and fall to the floor and can cause racks themselves to topple, if they are tall and narrow.

Photo credit: D.K. Paul, RT Rookies



Photo credit: Khalid Mosalem, University of California, Berkeley



Photo credit: Degenslob Engineers

Supplies in rack at left toppled and spilled; supplies in rack at right were in bins and did not. 2009 L'Aquila, Italy earthquake (left); supplies in a medical office fell from shelves, 1994 Northridge, California earthquake (right).

Many important supplies are stored on open racks. During an earthquake, these supplies can slide from shelves and fall to the floor, or unanchored racks can topple.

Consequences

Breakable supplies, such as glass bottles of laboratory chemicals and medicines, could break and spill, creating a chemical hazard. The fall from shelves could damage other supplies and render them unusable. The increased demand for services and the likely disruptions in normal supply deliveries after an earthquake will make any loss of supplies unacceptable. Hospital personnel will lose valuable time sorting and re-shelving items that fall off of racks, even if those supplies are not damaged.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

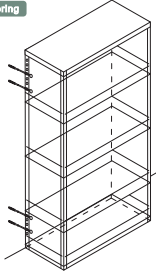
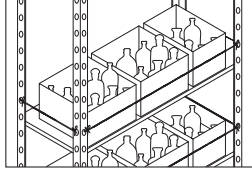


Photo credit: Rebekah Green, Western Washington University

First, anchor the rack to the wall with L-brackets, steel angles, cables, or chains to keep it from toppling. This is especially important for tall racks. Next, provide shelf restraints to keep the items on the shelves from sliding out and falling. There are several different options for shelf restraints, including elastic cord (shown above); metal springs; and clear plastic, wood, or metal strips. Bottles that could break and cause the chemicals inside to spill or mix should be placed in bins that are restrained with shelf restraints (below right), or in custom restraints (below left). Consult with the staff who work in the supply area to decide on a system of shelf restraints that will not impede their work; otherwise they are likely to remove the restraints.



Photo credit: FEMA 370



Expertise Required

Do it yourself. Virtually anyone can anchor racks and install shelf restraints.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs supplies on racks to continue functioning during the post-earthquake period.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minimal level of disruption. The parts required to anchor racks are very inexpensive. Shelf restraints range from very inexpensive to moderately expensive (for custom systems). Anchoring the racks and installing shelf restraints can be done between normal restocking and should not disrupt hospital operations.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing fasteners.

Pharmacy

Storage and dispensing of pharmaceuticals, located in a central pharmacy and other locations.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Shakti Gupta, AIMS

Strong shaking can cause glass to break, and pharmaceuticals to fall and possibly to spill.



Photo credit: U.S. National Geophysical Data Center (G. Reagin)

Fallen bottles and merchandise in a chemist shop, 1979 Imperial Valley, California earthquake (left); items fell off pharmacy shelves, 1994 Northridge, California earthquake (right).



Photo credit: NOISE (Robert Reithmann)

Unrestrained containers of pills can fall from shelves and can potentially spill or mix. Bottles of liquid medicine can also spill or mix, creating a potential chemical hazard.

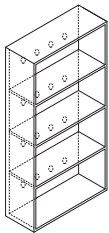
Consequences

Pills that spill from their containers may no longer be conclusively identifiable and may need to be discarded. Even if pills do not spill, picking up and reorganizing the containers can be a major undertaking, at precisely the time when the pharmacists most need to keep the hospital supplied with life-saving drugs.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

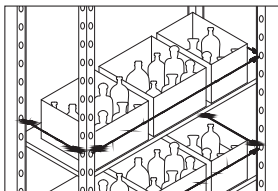
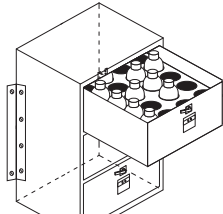


Fasten directly through back into wall



Photo credit: Degenkolb Engineers, FEMA 74

Anchor shelving, racks and cabinets in the pharmacy to the wall using the option above, L-brackets, or steel angles. Provide shelf restraints, such as the Plexiglas lip shown at above right, to keep pharmaceuticals on shelves. The clear lip allows the pharmacy staff to see the medicines. The shelf lip can also hold labels to help to track and organize pharmaceuticals. Be sure to consult with the staff who work in the pharmacy to decide on an appropriate system of shelf restraints that will not impede their work.



Expertise Required

Do it yourself. Virtually anyone can anchor racks and shelving and install shelf restraints.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs pharmaceuticals, in order to continue functioning after an earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minimal level of disruption. Anchoring pharmacy shelves and providing shelf restraints is inexpensive. Work can be scheduled for less busy periods (such as when the pharmacy is closed to the public) and can be phased to minimize disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing fasteners.

Sterile Storage

Sterile items, located in sterilization room and distributed as needed.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Shakti Gupta, AIMS

Strong shaking can cause unanchored racks storing sterile items to topple, and sterile items can fall from shelves.



Photo credit: California OSHPD



Photo credit: University of Washington

Toppled light-gauge racks in hospital, 1995 Kobe, Japan earthquake (left); books fell and light-gauge racks similar to those in sterile storage areas were damaged in the 2001 Nisqually, Washington earthquake(right).

Unanchored racks containing sterile items could topple, or the sterile items could fall from shelves.

Consequences

Sterile items that fall to the floor are no longer sterile. Damage to sterile storage can leave the hospital without enough sterilized instruments, precisely when the demand for surgery and trauma care will be highest.

Check These Related Items

Autoclaves/sterilisers (see pg.53): There won't be anything to store, unless the sterilisers are working.

Methods of Anchoring



Photo credit: FEMA 74

Anchor racks and shelves for sterile storage to the wall or floor using L-brackets or smooth cables. The moveable rack at left is anchored to the floor with removable eye bolts and connected to the adjoining rack, which is also anchored to the floor. The angled lip at the front of the shelves and dividers keep contents from falling or getting mixed up. The racks below are connected together and anchored to the floor. Ensure that the anchoring hardware and shelf restraints can be easily cleaned and will not readily trap dust or dirt.

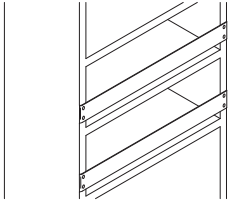


Photo credit: FEMA 74

Expertise Required

Do it yourself. Virtually anyone can anchor racks and shelving and install shelf restraints.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs sterile storage, in order to continue functioning after an earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minimal level of disruption. Work on sterile storage racks is very inexpensive and need not disrupt hospital operations. Sterile items can be placed in temporary sterile locations, such as on trolleys, while the shelves are being anchored and shelf restraints are being installed. The local area will need to be re-sterilized after holes are drilled in the walls, since this generates dust.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for information on installing fasteners.

Supplies

04



Photo credit: Mital Ash (CHI)

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

05

Mechanical and Electrical Equipment

Mechanical and electrical equipment keep the hospital's systems functioning. Equipment provides electricity, heat, air conditioning, domestic water (i.e., not fire-fighting water) and fire protection to the hospital. If an earthquake damages equipment or renders it inoperable, then the hospital will not be able to operate normally. The potential consequences of equipment damage can range from mild discomfort (due to failure of the air conditioning system) to death (due to loss of life support systems caused by failure of the emergency generator). However, most equipment can be properly anchored to be able to resist earthquake loads, at a low to moderate cost and with minimal disruption to hospital operations.

This section contains information on how to anchor the following types of mechanical and electrical equipment:

- Emergency generators – p. 97
- Batteries for emergency power – p. 99
- Boilers – p. 101
- Geysers – p. 103
- Chillers – p. 105
- Cooling towers – p. 107
- Curb-Mounted Rooftop Units – p. 109
- Window unit air conditioners – p. 111
- Window unit air coolers – p. 113
- Electrical cabinets and switchgear – p. 115
- Transformers – p. 117
- Fire suppression pumps – p. 119
- Fire extinguishers – p. 121

For rigidly-mounted mechanical equipment that is not listed here, follow the anchoring methods for boilers. For equipment on vibration isolators that is not listed here, follow the anchoring methods for emergency generators. For roof-mounted equipment, follow the anchoring methods for air handling units. For suspended equipment and other configurations not common in most hospitals, please see FEMA-74, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide, for more information.

Communications racks and cabinets can be anchored using the methods for electrical cabinets on p115 For large roof-mounted communications equipment, you will need to consult an engineer.

Mechanical and Electrical Equipment

06

Emergency Generator

Provides emergency power if grid supply is lost, often located in the physical plant building.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International

Strong shaking can cause emergency generators to slide and to fall off of their supports.



Photo credit: NISEE (Karl Steinbrugge)



Photo credit: Degenkolb Engineers

The emergency generator at Olive View Hospital (left) fell off its vibration isolators and slid nearly a meter during the 1971 San Fernando, California earthquake (Ayres and San, 1973), also damaging its muffler (right).

Many emergency generators are supported on vibration isolators that are not designed to resist earthquake demands. When a generator falls off of its supports, it can break connections to the electrical, fuel, and exhaust systems, and can be damaged. Generators that are rigidly anchored to the floor are not susceptible to this type of damage.

Consequences

During a strong earthquake, the power will almost certainly fail, and the emergency generator must supply electricity, so that the hospital's critical systems will be able to continue to operate. Without fuel, the generator can't run, and without a connection to the electrical system, the generator can't supply electricity to the hospital.

Check These Related Items

Batteries for emergency power (see pg.99): The emergency generator needs these batteries, in order to start up immediately. The generator will not come online without them.

Day tank, fuel lines and main tank (see pg.125, pg.143): The generator will not run, if its diesel fuel supply is cut off by failure of the day tank, the associated pipes, or the main tank.

Electrical distribution system (see pg.115, pg.131): Automatic transfer switches, wiring and conduits to critical equipment must remain intact, so that power from the emergency generator can reach them.

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

07

Methods of Anchoring

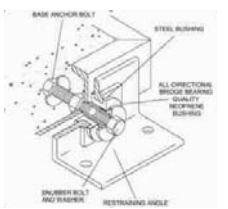


Image credit: Mason Industries

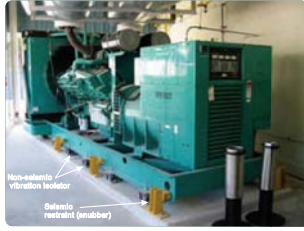


Photo credit: FEMA/NATC Training Course

Seismic restraint devices called snubbers (above left) can be added to the base of the generator, in order to keep it from falling off its vibration isolators during an earthquake. Snubbers have a gap between the restraint and the generator, to prevent the transfer of vibrations during normal operation. Seismic snubbers can be designed to resist motion in one direction or all directions, depending on your needs.

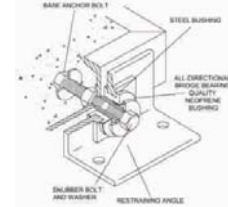


Image credit: Mason Industries

If you install a new generator or replace an old one, then you should specify that the generator be mounted on seismically-restrained vibration isolators (at left). These spring isolators are specifically designed by the manufacturer to resist earthquake forces in all directions. Also, ensure that the generator muffler and exhaust flues are properly braced, so that they will not be damaged.

Expertise Required

Some engineering required to select the correct size and type of snubber or seismically rated vibration isolator.

Recommended Priority

Critical Safety. The hospital needs the emergency power from the generator to remain in operation after an earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Snubbers are moderately expensive. Other restraint devices are slightly more expensive. Work on emergency generators does not usually disrupt hospital operations, because generators are located in equipment rooms or separate buildings and are not in use on a daily basis.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information. Appendix D, page 179 has example calculations for adding snubbers to an emergency generator.

Batteries for Emergency Power

Provide uninterrupted power if grid supply is lost; often located near equipment they power.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: O.K. Paul, IT Floorcare

Strong shaking can cause batteries to topple from their racks and become disconnected from the power system.



Photo credit: Degenkolb Engineers



Photo credit: FEMA 74

Failed battery racks, 1971 San Fernando earthquake (left) and (right).

There are two types of batteries in the emergency power system. The first type supplies uninterrupted power from the moment when grid power goes out, until the emergency generator starts. These batteries are stored in racks that can topple. The second type starts the emergency generator. These batteries can slide and become disconnected from the generator.

Consequences

During a strong earthquake, the power will almost certainly fail. Life support systems need the uninterrupted power that is supplied by the batteries. The emergency generator also needs batteries to start, so that it can supply electricity to the hospital's critical systems.

Check These Related Items

Emergency generator (see pg.97): The emergency generator needs to be mounted on seismically-rated vibration isolators or else, to be kept from sliding by snubbers.

Electrical distribution system (see pg.131): Wiring and conduits to critical equipment and systems must remain intact, so that power from the batteries can reach them.

Methods of Anchoring

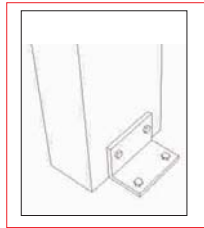


Photo credit: Eduardo Fierro, BFP Engineers (Bertero, Fierro, Perry)

Provide a strong rack, which will not collapse, for the hospital's batteries. Anchor the rack to the floor or wall, so that it will not topple. Shorter racks, such as the ones shown above, are less susceptible to toppling than tall ones are. Restrain the batteries within the rack, so that they cannot topple out of it.



Photo credit: Eduardo Fierro, BFP Engineers (Bertero, Fierro, Perry)

Anchor batteries for emergency generators by providing a tie-down to keep them in their rack or by anchoring them within the emergency generator housing.

Expertise Required

Some engineering required to select the correct size and type of bracing or anchorage.

Recommended Priority

Critical Safety. The hospital needs the emergency power from the batteries to keep critical systems in operation after an earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Work on emergency battery systems does not usually disrupt hospital operations, because batteries are located in equipment rooms or separate buildings and are not in use on a daily basis.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information snubbers to an emergency generator.

Boilers

Provide heat; often located in the physical plant building.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Hari Kumar, GeoHazards International

Strong shaking can cause boilers to slide off of their supports and to break water and fuel connections.



Photo credit: Degenkolb Engineers

Boiler slid off its supports during the 1999 Izmit, Turkey earthquake (left); one end of Olive View hospital boiler slid 1 m in the 1971 San Fernando, California earthquake, breaking pipe connections (right).

Boilers are large and heavy and can slide off of their supports if not bolted to a concrete pad or the floor. The movement can cause them to break their connections, which include water, steam, and fuel connections. Broken fuel connections can cause fuel to spill.

Consequences

The hospital will not have heat without the boiler, which could present problems in the case of a winter earthquake in a cold region. Fuel spills are a fire hazard.

Check These Related Items

Pipes and connections (see pg.127): The pipes that supply hot water must remain intact, so that hot water from the boiler can reach critical locations in the hospital.

Ducts (see p.133): The ducts that distribute steam and hot air from the boiler and heating system to the hospital must remain intact, so that the heat can reach the hospital.

Fuel system and connections (see pg.125): Connections to the fuel system must remain intact, so that the boiler can function.

Methods of Anchoring

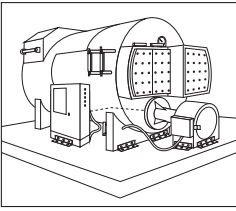


Photo credit: Janise Rodgers, Geohazards International

Boilers are typically rigidly-mounted, and should be bolted to a concrete pad or to the floor. If bolted to a pad as shown above, then the pad should be properly reinforced and connected to the floor as shown below at right. Poorly anchored pads can be reinforced against sliding, as shown below at left. Provide flexible connectors to all pipes. Flexible connectors must be designed for the expected motion and to limit forces on the pipes and boiler.



Photo credit: Eduardo Fiano, BFP Engineers (Bartolo, Fiano, Perry)

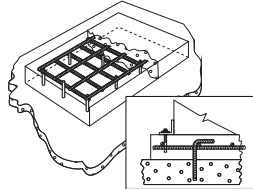


Image credit: FEMA 412

Expertise Required

Some engineering required to design anchorage system for boilers.

Recommended Priority

Essential Services. Hospitals in cold regions need the heat provided by the boiler, in order to maintain acceptable temperatures in critical patient areas during winter.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring a boiler and attaching flexible connections are relatively inexpensive and can be done with minimal disruption to hospital operations. Boilers are located in equipment rooms or separate buildings, and the work can be scheduled (for example, for warmer periods when heat is not needed).

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Geysers

Provide hot water, if central hot water not provided; located in various rooms.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: DJ K. Paul, RT Florence

Strong shaking can cause geysers to topple from their wall mounts and to break water connections.



Photo credit: Mason Industries



Photo credit: NISEE

Toppled hot water heaters (left) and tank (right) similar in shape to geysers.

Geysers are typically mounted on walls at a height of 1.5 to 2 meters, so if they are not properly attached to the wall, then they create a falling hazard. Toppling geysers can also break connections and leak hot water. Most geysers have flexible connections, but these are not very long and will break before the geysers falls all of the way to the floor.

Consequences

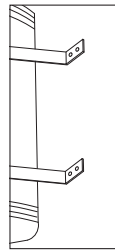
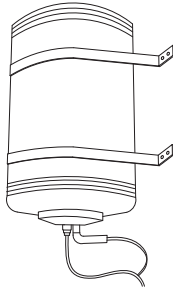
A falling geysers could injure someone, and hot water could spill on someone and scald that person. Most geysers are not located near patient beds or other areas where people congregate; however, some are located in bathrooms.

Check These Related Items

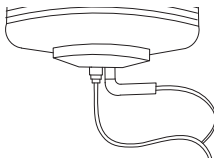
Pipes and connections (see pg.127): The pipes that supply water to the geysers must remain intact, so that the geysers can function.

Electrical system and connections (see pg.131): Connections to the electrical system must remain intact, so that the geysers can function.

Methods of Anchoring



Geysers should be anchored to the wall with bolts that are sized to resist the horizontal forces caused by the expected level of earthquake shaking. The geysers should have straps around the top and bottom that attach to the bolts. These bolts must be properly installed, so that they will not pull out, and the wall must be strong enough to resist the forces from the geysers without failing.



Geysers should have flexible connections to the water lines. Check to make sure that your geysers has flexible connections.

Expertise Required

Some engineering required to select appropriate bolts and straps.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the hot water from the geysers for hand-washing and sanitation.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring a geysers and attaching flexible connections can be done with minimal disruption to hospital operations. You can properly anchor geysers one at a time, to reduce disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Chillers

Provide cold water for air conditioning; often located in the physical plant building.

Potential Earthquake Damage

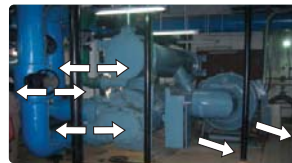


Photo credit: L. Thomas Fobin, Geohazards International

Strong shaking can cause chillers to slide off of their supports and to break water and other connections.



Photo credit: FEMA 74

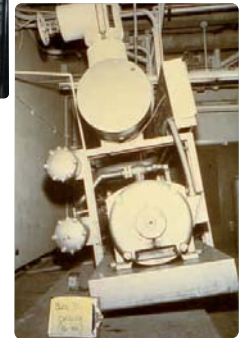


Photo credit: FEMA, Making Hospitals Safe in Earthquakes

Chiller mounts failed due to inadequate uplift resistance during the 1994 Northridge, California earthquake (left); chiller at the old Olive View Hospital slid off its supports in the 1971 San Fernando, California earthquake (right).

Unanchored chillers can slide off of their supports, which can damage the chiller and break water pipes or other connections. Chillers on vibration isolators are particularly at risk.

Consequences

Damaged chillers prevent central air conditioning systems from working. Broken water pipes could cause local water damage or flooding, depending on the location of the chiller.

Check These Related Items

Pipes and connections (see pg.127): The pipes that supply water to the chiller must remain intact, so that the chiller can function.

Ducts (see p.133): The ducts that distribute cool air from the air conditioning system to the hospital must remain intact, so that the cool air reaches the hospital.

Fuel system and connections (see pg.125): Connections to the fuel system must remain intact, so that the chiller can function.

Methods of Anchoring



Photo credits: Mason Industries

Vibration-isolated chillers should be restrained with special seismic restraint devices called snubbers or with seismically restrained spring mounts. Using spring isolators without snubbers or without seismically restrained housing will actually increase earthquake forces and cause the springs to fail. The chiller above is mounted on spring isolators and restrained with snubbers. The photo at right shows a chiller on seismically restrained spring mounts. Provide flexible connections for all pipes.

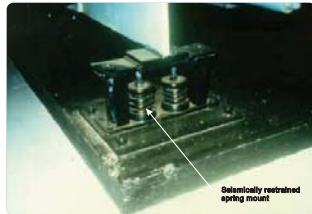


Photo credits: Mason Industries

Expertise Required

Some engineering required to design anchorage for chillers.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the cool air from the chiller to maintain temperatures for patient comfort during hot weather.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring a chiller and attaching flexible connections can be done with minimal disruption to hospital operations. Chillers are located in equipment rooms or separate buildings, and the work can be scheduled (for example, for cooler periods when air conditioning is not needed).

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Cooling Towers

Provide cooling for air conditioning; often located on the roof.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause cooling towers to slide off their supports and to break water and fuel connections.

Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International



Photo credit: Mason Industries



Photo credit: NISEE (Haili Szean)

Failure of support frame for rooftop cooling tower due to inadequate cross-bracing during the 1994 Northridge earthquake (left); complete collapse of large cooling tower (in foreground), 1999 Izmit, Turkey earthquake (right).

Cooling towers can slide off their supports during strong shaking or be damaged by high accelerations, especially if located on the roof. Differential movement can break water connections.

Consequences

Without the cooling tower, the central air conditioning system won't work. Broken water pipes can cause flooding and water damage, particularly if the cooling tower is located on the roof.

Check These Related Items

Pipes and connections (see pg.127): The pipes that supply water to the cooling tower must remain intact, so that the cooling tower can function.

Ducts (see p.133): The ducts that distribute cool air from the air conditioning system to the hospital must remain intact, so that the cool air reaches the hospital.

Electrical system and connections (see pg.131): Connections to the electrical system must remain intact, so that the cooling tower can function.

Methods of Anchoring

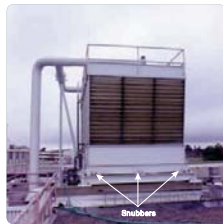
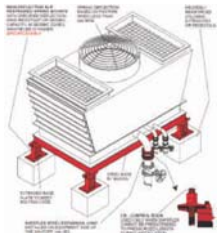


Photo and image credits: Mason Industries

Have an engineer check to see if your cooling tower is adequately anchored. The engineer will need to check the adequacy of the supports and their connections to both the cooling tower and the roof or concrete pad. Reinforce inadequate anchorages by adding new bolts, angles or support members. The cooling tower at above right was reinforced with seismic snubbers. The photo below shows the details of the support frame.



You should also consider having an engineer check the structural integrity of the cooling tower itself, especially if it is located on the roof. In this location, the seismic forces can be very high, and the cooling tower will need to be able to resist them without damage. If the cooling tower isn't strong enough to be point-supported on piers, then you can strengthen it by placing a support frame around it to help it resist the forces.

Expertise Required

Some engineering required to design anchorage systems for cooling towers.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the cool air from the cooling tower to maintain temperatures in critical patient areas during hot weather.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring a cooling tower and attaching flexible connections can be done with minimal disruption to hospital operations. Cooling towers are often located on the roof, and the work can be scheduled (for cooler periods when air conditioning is not needed, for instance).

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information. Appendix D, page 179 has example calculations for anchoring a cooling tower.

Curb-Mounted Rooftop Units

Circulate air for ventilation and air conditioning; located on the roof.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause inadequately supported rooftop units to slide off their supports and break supply connections.

Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International

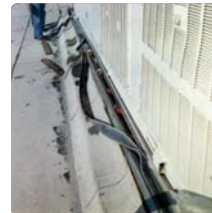


Photo credits: Mason Industries

Damaged curb-mounted isolation system, 1994 Northridge, California earthquake (left); independent rails without cross-bracing twisted and failed, 1994 Northridge, California earthquake (right).

Rooftop curb mounting units (also called packaged air conditioning units) can be subjected to high seismic forces transmitted by the building, and their supports can fail. Units on vibration isolators without properly designed support systems are especially vulnerable. When the support system fails, it can break supply connections and damage ductwork.

Consequences

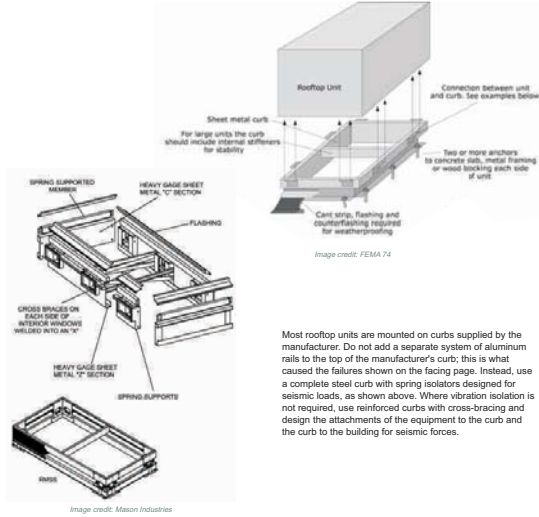
The hospital's central air conditioning system won't work properly without the rooftop unit.

Check These Related Items

Ducts (see p.133): The ducts that distribute cool air from the air conditioning system to the hospital must remain intact, so that the cool air reaches the hospital.

Electrical system and connections (see pg.131): Connections to the electrical system must remain intact, so that the air handling unit can function.

Methods of Anchoring



Most rooftop units are mounted on curbs supplied by the manufacturer. Do not add a separate system of aluminum rails to the top of the manufacturer's curb; this is what caused the failures shown on the facing page. Instead, use a complete steel curb with spring isolators designed for seismic loads, as shown above. Where vibration isolation is not required, use reinforced curbs with cross-bracing and design the attachments of the equipment to the curb and the curb to the building for seismic forces.

Expertise Required

Some engineering required to design anchorage system for rooftop units.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the cool air from the air conditioning system to maintain temperatures in critical patient areas during hot weather.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring a rooftop unit and attaching flexible connections can be done with minimal disruption to hospital operations. Units are located on the roof, and the work can be scheduled (for example, for cooler periods when air conditioning is not needed).

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Window or Wall Unit Air Conditioners

Provide air conditioning for a single room; located in various rooms.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Kanchan Sabnis, GeoHazards Society

Strong shaking could cause window or wall unit air conditioners to fall into the room.



Photo credit: NISEE (Ralph Tower Taylor)



Photo credit: California OSHPD

Air conditioner similar in size to window unit dislodged, 1952 Kern County, California earthquake (left); earthquake forces from window unit pulled window frame away from wall, 1994 Northridge earthquake (right).

Window or wall unit air conditioners are typically mounted at window height or in specially made wall penetrations closer to the ceiling, so they can create a falling hazard, if they are not properly attached to the wall. These air conditioners are often larger in dimension inside the building than outside it, making them more likely to fall into the room than outside onto the ground.

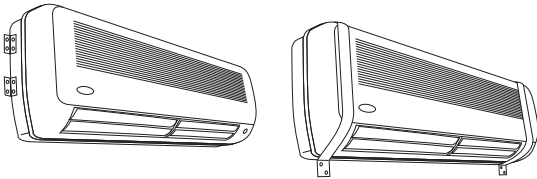
Consequences

A falling air conditioner could injure a staff member or patient below it. The air conditioner will likely break due to the impact and won't be able to provide cool air to the room.

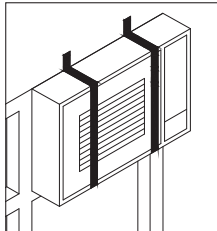
Check These Related Items

Electrical system and connections (see pg.131). Connections to the electrical system must remain intact, so that the air conditioning unit can function.

Methods of Anchoring



Window unit air conditioners should be anchored to the wall or a frame with bolts that are sized to resist the horizontal forces caused by the expected level of earthquake shaking. These bolts must be properly installed so that they will not pull out, and the frame and wall must be strong enough to resist the forces without failing.



Alternatively, you can keep the air conditioner unit from falling into the room by providing two restraint straps or cables (depending on the configuration of the unit) across the face of the air conditioner, and securely attaching the straps to the window frame or wall on both sides. Provide straps on the outside for window units that can slide out of the opening and fall outside.

Expertise Required

Some engineering required to properly anchor window or wall unit air conditioners.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the cool air from the window unit to maintain patient and staff comfort.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring window or wall unit air conditioners can be done with minimal disruption to hospital operations. You can properly anchor units one at a time, to reduce disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Window Unit Air Coolers

Provides evaporative cooling for a single room; located in various rooms.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International



Strong shaking could cause window unit air coolers to topple off of their support frames and to fall from the exterior of the building.



Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International



Photo credit: Khalid Mozalem, University of California, Berkeley

Relatives of patients gather in a courtyard underneath the air coolers shown above (left); equipment with similar size, shape, and supports fall from shelf during the 2009 L'Aquila, Italy earthquake (right).

Window unit air coolers are typically mounted on light metal support frames or shelves outside windows. Air coolers are heavy and create a serious falling hazard for anyone near the exterior of the building. At many hospitals, the family members of patients gather in courtyards and other open spaces near buildings with numerous air coolers in the windows above them.

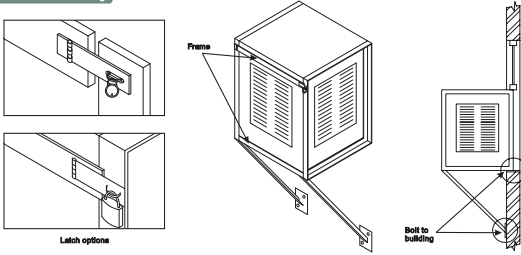
Consequences

A falling air cooler could injure or kill anyone below it. Air coolers could also fall during aftershocks, when areas near the building's exterior may be in use to treat mass casualties.

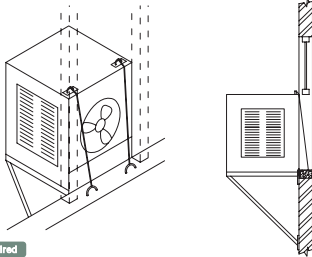
Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring



Window unit air coolers should be supported on a special frame (above) or fastened to the building with cables (below). Attach cables to the steel grill or to strong portions of the window or wall. Security measures designed to prevent the theft of air coolers can be adapted to prevent toppling. Since a typical hospital has many air coolers that must be installed and removed seasonally, the engineering staff should develop a detail that can be used for all coolers.



Expertise Required

Some engineering required to keep window unit air coolers from falling.

Recommended Priority

Critical Safety. Air coolers are a major falling hazard and can injure or kill people outside the building near the façade.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring window unit air coolers can be done with minimal disruption to hospital operations. The retrofit can be done at the time when air coolers are installed.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Electrical Cabinets

House various types of electrical equipment; located in the physical plant and elsewhere.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking could cause tall and narrow electrical cabinets to topple over.

Photo credit: Jansse Rodgers, Geohazards International



Photo credits: Degenkolt Engineers, FEMA 74

Toppled electrical cabinets, 1985 Mexico City earthquake (left); toppled cabinets and damaged equipment (right).

Tall and narrow electrical cabinets could topple, if they are not secured. Damage to electrical cabinets has not been particularly widespread in past earthquakes, in cases where the cabinets were anchored.

Consequences

Toppling could damage the equipment in the cabinets and create an electric shock hazard or fire hazard. In addition, the equipment could be expensive to repair or replace. This could cut off electricity to some parts of the hospital.

Check These Related Items

Electrical system and connections (see pg.131). Connections to the electrical system must remain intact, so that the air cooler unit can function.

Methods of Anchoring



Anchorage at the base can prevent lightweight electrical cabinets from overturning. Bolt the base to the floor, or use steel angles. Heavier cabinets may need restraints at the top, as well. As with any electrical installation, use caution when designing solutions for and working on electrical cabinets.

Expertise Required

Some engineering required to design the anchorage for electrical cabinets.

Recommended Priority

Critical Safety. Cabinets containing equipment needed to operate the emergency power system must remain functional. Give lower priority to cabinets containing less critical equipment.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Electrical cabinets can be anchored with simple, inexpensive parts. Anchoring electrical cabinets can be done with some disruption to hospital operations. Ensure that you turn off electrical power to the cabinet during installation of restraints, to prevent electric shock.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional information. FEMA 413, freely downloadable from www.fema.gov, provides additional information on anchoring electrical equipment.

Transformers

Convert high-voltage electrical power for building use; often located outside the building.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking could cause transformers to slide and break their connections.

Photo credit: D. K. Paul, IT Rootline



Photo credit: NISEE (Haili Sezen)

Damage at base of transformer (left); large transformer overturned in the 1999 Izmit, Turkey earthquake (right).

Transformers are large and heavy, and they can slide. They are not typically susceptible to overturning, because they are usually short and wide. However, sliding can break a transformer's electrical connections.

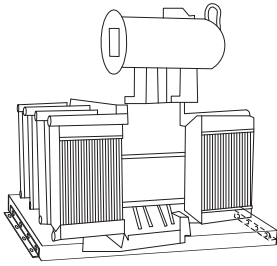
Consequences

The hospital can't receive power from the grid, if the transformer is not functioning or has broken its connections. The hospital will want to use grid power as soon as it is available, because it may be difficult to keep the emergency generators supplied with diesel fuel for long periods of time.

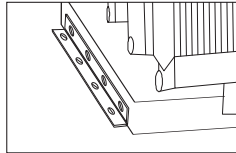
Check These Related Items

Electrical system and connections (see pg.131). Connections to the electrical system must remain intact, so that the transformer can function.

Methods of Anchoring



Anchor transformers at the base to prevent them from sliding. The type of restraint used will depend on the type of transformer and on its size and location. Possible restraints include angle brackets, snubbers, bolts, and welds. Large transformers require specialized engineering and electrical expertise.



Working on high-voltage equipment such as transformers is extremely hazardous. Be sure to consult both an electrician and an engineer to arrive at an appropriate anchoring solution. Shut off power to the transformer and take appropriate safety measures before starting work.

Expertise Required

Some engineering required to design the restraint system. Also, consult an electrician to make sure that the restraint system is electrically safe.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the transformer to be able to receive power from the grid, once it is restored.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, moderate cost for labor, low level of disruption. Anchoring a transformer can normally be done with readily available parts, but it requires an electrician and an engineer. Anchoring may require some disruption to hospital operations. Electrical power to the transformer will need to be turned off during installation of restraints, to prevent electric shock.

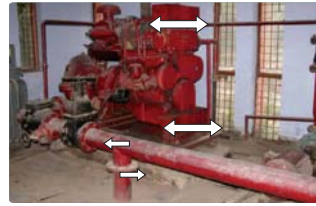
Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional information. FEMA 413, freely downloadable from www.fema.gov, provides additional information on anchoring electrical equipment.

Fire Suppression Pumps

Supply water for fighting fires, typically found in the physical plant.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking could cause improperly anchored pumps to slide and break their connections.

Photo credit: D. K. Paul, IT Rootkee



Photo credit: Mason Industries

Damage to water pumps during the 1994 Northridge, California earthquake. Flexible connections on the pump at left prevented valve damage.

Fire suppression pumps can slide off their supports and break water lines and other connections.

Consequences

Failure of the fire suppression pump means that the hospital's fire suppression systems won't work. Broken pipe connections can cause local flooding and will drain the fire-fighting water out of the system.

Check These Related Items

Pipes and connections (see pg.127): The pipes that supply fire-fighting water to the hospital must remain intact, so water can reach the location of the fire.

Electrical system and connections (see pg.131): Connections to the electrical system must remain intact, so that the pump can function.

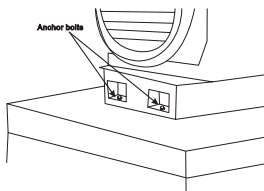
Electrical cabinets (see pg.115): The electrical panel that controls the pump must remain intact, so that the pump can function.

Methods of Anchoring



Photo credit: Eduardo Fiano, BPP Engineers (Bertero Fiano Piny)

The properly anchored fire suppression pump and associated piping and controls were not damaged in the 2001 Peru earthquake. Fire suppression systems are governed by relevant codes published by Bureau of Indian Standards.



Seismic protection of fire suppression systems requires several actions. The fire suppression pump must be properly anchored to its concrete pad or to the floor. The pump must have flexible connections, and fire water pipes must be braced. For pipes that penetrate masonry walls, the penetration must be large enough that relative motion during the earthquake won't damage the pipe or wall.

Expertise Required

Some engineering required to design the anchoring system for the fire suppression pump and associated pipes.

Recommended Priority

Critical Safety. The hospital needs its fire protection system in the event of a fire after the earthquake.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring requires minimal disruption of hospital operations. Fire protection pumps are typically located in the physical plant, where work will not interfere with hospital operations. The fire protection system may need to be taken off-line temporarily, during work to install restraints and flexible connections. Develop a backup fire-fighting plan with the fire service, in case there is a fire while the system is off-line.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page for additional technical information.

Fire Extinguishers

Put out small fires before they spread, distributed throughout areas without fire sprinklers.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking could cause improperly mounted extinguishers to fall from their mountings and roll.

Photo credit: D. K. Paul, IT Rootkee



Photo credit: OSHPD



Photo credit: Khalid Mosalam, University of California, Berkeley

Anchored fire extinguisher in hospital maintenance room did not fall during the 1983 Coalinga, California earthquake (left); fallen cylinders similar in size to extinguisher canisters, 2001 L'Aquila, Italy earthquake (right).

Improperly mounted or unmounted fire extinguisher canisters can fall and roll.

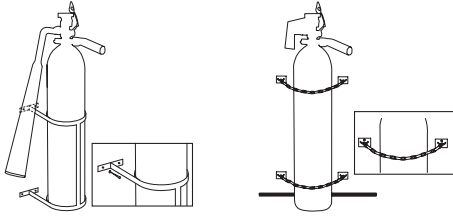
Consequences

The impact could damage the canister and prevent it from working properly. The canister could also roll under other items and not be readily available when needed. Hunting for a fire extinguisher that is not where it should be wastes valuable time. During the time that it takes to locate the extinguisher, the fire could spread from something small enough to be put out with the extinguisher to something larger and more difficult and dangerous to extinguish.

Check These Related Items

There are no other items to check.

Methods of Anchoring



The canister's attachment to the wall must be strong enough to resist the lateral forces from the fire extinguisher's movement. The canister will swing back and forth. The attachment can permit motion but must not allow the canister to fall. Canisters can also be placed in small wall-mounted cabinets.

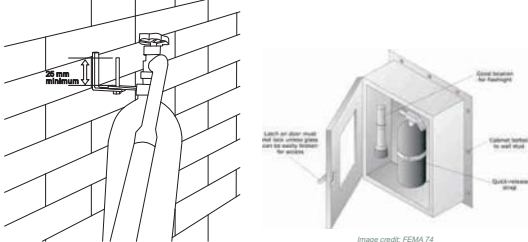


Image credit: FEMA 74

Expertise Required

Do it yourself. Anyone can install a proper attachment for a fire extinguisher.

Recommended Priority

Critical Safety. Fire extinguishers need to remain in the locations where people expect them to be. Fires spread quickly – looking for a fire extinguisher wastes precious time.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Anchoring fire extinguishers is very inexpensive and requires minimal disruption of hospital operations.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page for information on installing fasteners.



Pipes, Ducts and Conduits

The distribution systems for building utilities such as electricity, water, medical gases, cool air, steam, or telecommunications are vulnerable to earthquake damage. Leaks from water pipes in particular can cause damage or can even flood portions of the hospital. Leaks from medical gas pipes can be a fire hazard. Damage to electrical conduits can shut down power to portions of the hospital or cause a fire hazard. Damage to telecommunications conduits can shut down communication systems.

This section contains information on how to seismically protect the following:

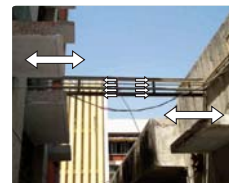
- Small rigidly-attached pipes – p. 125
- Small suspended pipes – p. 127
- Large pipes – p. 129
- Conduits and electrical distribution – p. 131
- Ductwork – p. 133

For the purposes of this manual, small pipes are those with nominal pipe size of 50 mm or less.

Small Rigidly-Attached Pipes

Distribute water, medical gases, and other utilities; attached to walls throughout the hospital.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause portions of the building or of separate buildings to move differently, which can damage or break pipes.

Photo credit: Manish Dhawan, THOT Designs



Photo credit: Mason Industries

Broken pipes and damaged pipes, 1994 Northridge California earthquake.

Rigidly attached pipes are often attached directly to walls near the ceiling. These pipes must be able to move with the walls during an earthquake. At expansion joints, building separations, and other locations where the pipe is connected to two walls that can move differently, the pipe can break, as it is pulled in different directions by the two different walls. The top photo shows medical gas pipes rigidly connected between two buildings.

Consequences

Pipe breaks cause whatever is in the pipe to leak. For water pipes, a break could cause localized flooding and water damage. Hospitals have had to be evacuated before, due to pipe breaks. For medical gas pipes, a leak can cause a major safety hazard.

Check These Related Items

Connected equipment and tanks: Anchor equipment, tanks and cylinders that are connected to pipes. Provide flexible connections between pipes, equipment, and tanks. Flexible connections must be designed for the anticipated differential motion and to minimize forces on pipes, equipment and tanks.

Methods of Anchoring



Photo credit: FEMA 74

The best way to prevent breaks in pipes that are rigidly attached to walls is to install flexible connections in those locations where you expect differential movement. These locations include all expansion joints and building separations. Also, be sure to install flexible connections wherever pipes connect to equipment, even if the equipment is properly braced. Flexible connections must be designed for the anticipated differential movement, and to minimize forces on pipes and connected equipment or tanks.



Photo credit: Mason Industries

Expertise Required

Some engineering required to select flexible connectors.

Recommended Priority

Continuous Service. The utility distribution systems are necessary for the hospital to function normally.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, moderate level of disruption. Having a plumber or maintenance staff install flexible connectors is inexpensive. The distribution system being worked on will have to be shut off during the installation, so advance planning will be required, especially for medical gas pipes. You can use cylinders to provide gas during that time.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, located on page , for additional technical information and types of flexible connectors. FEMA 414, freely downloadable from www.fema.gov, is a good resource for information on pipes and includes additional flexible connection details.

Small Suspended Pipes

Distribute water, medical gases, and other utilities; located throughout the hospital.

Potential Earthquake Damage

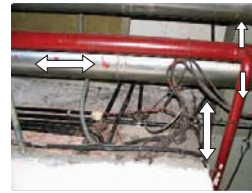


Photo credit: Melvyn Green, Melvyn Green & Associates

Strong shaking can cause suspended pipes to swing, which can damage or break pipes at joints.



Photo credit: Degenkolb Engineers, FEMA 74



Photo credit: Mason Industries

Water damage to ceiling due to a pipe break (left); inadequately braced fire water pipe moved and bent, 1994 Northridge, California earthquake (right).

Suspended pipes that are not braced can swing and break or be damaged, especially at joints. They can impact other pipes or ducts in the same area. At expansion joints and building separations, the pipe can break, as it is pulled in different directions by the two different floor slabs or walls to which it is attached.

Consequences

Pipe breaks cause whatever is in the pipe to leak. For water pipes, a break could cause localized flooding and water damage. Hospitals have had to be evacuated before, due to pipe breaks. For medical gas pipes, a leak can cause a major safety hazard.

Check These Related Items

Suspended (false) ceilings (see pg.153): Suspended pipes are often located in the space above suspended ceilings. These ceilings can swing and impact the pipes during earthquakes.

Connected equipment and tanks: Anchor equipment, tanks and cylinders that are connected to pipes. Be sure to provide flexible connections between pipes, equipment, and tanks.

Methods of Anchoring



Photo credit: Mason Industries

Anchor suspended pipes either with special clamps or with other special hardware called clevises, which hold the pipe. Use cables (shown at left), angle braces (shown below right), or an equivalent locally-designed system to brace the pipe. Brace the pipe at regular intervals in all three directions: transverse, longitudinal, and vertical. Many manufacturers make hardware to seismically anchor pipe systems, or an engineer can design a system using locally available components. Provide properly designed flexible connections at building separations (below left) and equipment connections.



Photo credit: Mason Industries

Expertise Required

Some engineering required to design bracing/anchoring systems and to select proper flexible connectors.

Recommended Priority

Continuous Service. The utility distribution systems are necessary for the hospital to function normally. Prioritize installing flexible connections and bracing pipes that supply the most important areas.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Having a plumber or maintenance staff install flexible connectors is inexpensive. Installing bracing systems for pipes is moderately expensive. The distribution system being worked on will have to be shut off during the installation, so advance planning is necessary.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page for additional technical information and types of flexible connectors. FEMA 414, freely downloadable from www.fema.gov, is a good resource for information on pipes.

Large Pipes

Distribute water or steam to or from equipment; typically located in the physical plant.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: D.K. Paul, RT Roofco

Strong shaking can cause large pipes to move and break at joints or at connections to equipment.



Photo credit: Mason Industries

Large iron pipe elbow joint (left) and cast connector between large pipe and equipment (right) fractured due to differential movement between equipment and pipes, 1994 Northridge, California earthquake.

Large pipes that are not braced can vibrate excessively and break at joints or at connections with equipment. Large pipes are much heavier than small pipes and can generate large seismic forces. Standard cast connectors have often broken in past earthquakes.

Consequences

Pipe breaks cause whatever is in the pipe to leak. For water pipes, a break could cause local flooding and water damage.

Check These Related Items

Connected equipment and tanks: Large pipes often connect to large equipment. Be sure to anchor equipment and provide flexible connections between pipes and equipment that are able to accommodate the expected relative displacement. Rigid, cast connectors are very vulnerable to breakage.

Methods of Anchoring



Photo credit: Mason Industries

Anchor large pipes to special support members or to the structural framing. Provide flexible connections at those places where pipes connect to equipment or to the structure. Flexible connections are very important for large pipes, which are less flexible than smaller pipes. Large pipes connected to both the ceiling and floor-mounted equipment will experience the full relative displacement between the floor and ceiling, which can be larger than many conventional, non-seismic flexible connectors can accommodate. Several manufacturers produce flexible connectors such as those at left that can accommodate these large relative displacements.

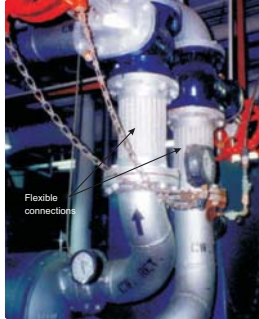
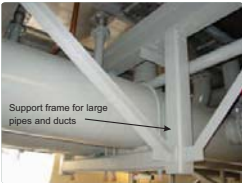


Photo credit: FEMA 74



Support frame for large pipes and ducts

Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International

Expertise Required

Some engineering required to design bracing and flexible connections.

Recommended Priority

Continuous Service. The utility distribution systems are necessary for the hospital to function normally.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Having a plumber or maintenance staff install flexible connectors is moderately expensive. Installing bracing systems for pipes can be expensive. The distribution system being worked on will have to be shut off during the installation, so advance planning is necessary.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page for additional technical information and types of flexible connectors. FEMA 414, freely downloadable from www.fema.gov, is a good resource for information on pipes and includes additional flexible connection details.

Conduits and Electrical Distribution

Distribute electrical wires and communications lines; located throughout the hospital.

Potential Earthquake Damage

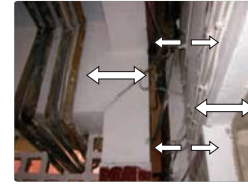


Photo credit: D. K. Paul, IIT Roorkee

Strong shaking or differential motion across expansion joints can cause conduits to fall or separate at the couplings.



Photo credit: Mason Industries

Fallen electrical conduit, 1994 Northridge, California earthquake (left); conduit in a hospital separated at couplings during the 2009 L'Aquila, Italy earthquake (right).



Photo credit: Khalid Masoud, University of California, Berkeley

At expansion joints and building separations, the conduit can separate at the couplings, as it is pulled in different directions by the two different floor slabs or walls to which it is attached. Poorly anchored conduits can fall. Conduits carry electrical wiring and telecommunications lines that can be damaged by a conduit break.

Consequences

Broken electrical wires can cause parts of the hospital to lose power, and they can be a fire hazard. Broken telecommunications lines can shut down parts of the hospital's communication system.

Check These Related Items

Electrical cabinets (see pg.115): The electrical cabinets connected to conduits should be properly anchored to prevent them from toppling.

Telecommunications racks (see pg.115): The telecommunications equipment connected to conduits should be properly anchored to keep the communications system functioning.

Connected equipment: Anchor equipment connected to conduits. Provide flexible connections between conduits and equipment.

Methods of Anchoring



Photo credit: California OSHPD

The best way to prevent breaks in conduits that are rigidly attached to walls is to install flexible connections in locations where you expect differential movement to occur. These locations include all expansion joints and building separations. The conduit shown at left has a flexible connection across a building separation. The part of the building on the right is on sliders, called base isolators, while the part on the left is not. The two sides will move differently in an earthquake, so a flexible connection that has been properly designed for the expected displacement is necessary, in order to keep the conduit from breaking. The conduit's couplings must also be installed properly to keep the conduit from separating. You can have the conduits in your hospital inspected to determine if couplings were properly installed.

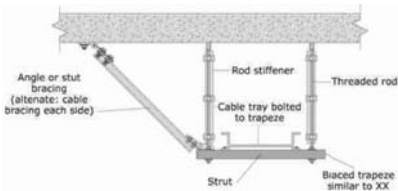


Image credit: FEMA 74

Suspended conduits require bracing similar to that used for suspended pipes. Raceways and cable trays should be braced in all three directions using cables, angle braces or an equivalent bracing system.

Expertise Required

Some engineering required to design bracing system for conduits and select flexible connectors.

Recommended Priority

Continuous Service. The electrical and telecommunications distribution systems are necessary for the hospital to function normally.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. An electrician will need to install flexible connections for conduits, and power will need to be shut off to the area while they are installed. This requires some advance planning.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page for additional technical information.

Ductwork

Distributes cool or hot air; typically located in centrally cooled or heated areas.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Melvyn Green, Melvyn Green & Associates

Strong shaking can cause ducts to swing, separate at joints and fall.



Photo credit: Mason Industries
Fallen ductwork (left) and (right); duct crushed by swinging pipes (center) 1994 Northridge, California earthquake.



Suspended ducts that are not braced can swing or move and might separate at joints. Separated pieces might fall. Ducts can also impact swinging pipes or other objects, which might damage or crush the duct's lightweight walls. Smaller ducts are less prone to damage than larger ducts are. Proper duct construction has prevented damage in past earthquakes.

Consequences

Disconnected or crushed ducts will no longer deliver cool or hot air to the hospital or circulate air properly. Ducts are not usually falling hazards, because they are relatively lightweight and are not usually located where they can fall on people.

Check These Related Items

Suspended pipes (see pg.127): Brace suspended pipes in the vicinity of ducts, so that they will not swing and damage the ducts.

Connected equipment: Pay attention to connections between ducts and equipment, because separations can occur due to differential movement.

Methods of Anchoring

Brace large suspended ducts with either cable or angle bracing in all three directions: longitudinal, transverse, and vertical, as shown below. Construct ducts in accordance with accepted standards. For instance, ducts constructed to Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association (SMACNA) standards have performed reasonably well in earthquakes in the United States.

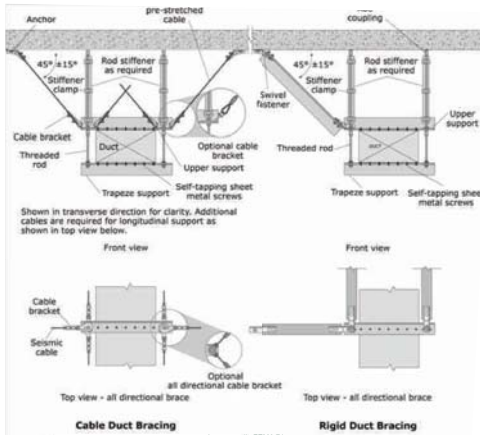


Image credit: FEMA 74

Expertise Required

Some engineering required to design bracing system.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the ducts to circulate cool or hot air.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Installing bracing systems for ducts is moderately expensive. The distribution system being worked on may need to be shut off during the installation, so advance planning is necessary.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page for additional technical information. FEMA 414, freely downloadable from www.fema.gov, is a good resource for information on ducts.



Tanks and Medical Gases

Medical gas, supplied by bulk medical gas tanks or individual compressed gas cylinders, is critical for surgery, life support, and other important hospital functions. Medical gas storage systems have been shown in past earthquakes to be among the most vulnerable systems, if tanks and cylinders are not properly anchored. Most hospitals also have several other kinds of tanks that serve important functions, including rooftop water tanks and diesel fuel day tanks for emergency generators.

This section contains general information on how to seismically protect tanks and medical gases:

- Compressed-gas cylinders – p.137
- Bulk medical gas tanks – p.139
- Rooftop water tanks – p. 141

Other tanks:

- Horizontally oriented cylindrical tanks – p. 143

Compressed-gas Cylinders

Store nitrogen, oxygen or other medical gases, located in a central room and on carts.

Potential Earthquake Damage

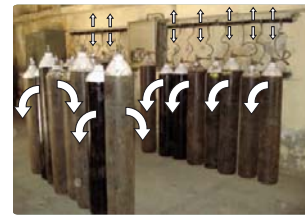


Photo credit: Manisha Dhanraj, THOT Designs

Strong shaking can cause unrestrained cylinders to topple. Cylinders connected to manifolds can break their connections.



Photo credit: FEMA 370



Photo credit: California OSHPD

Toppled cylinders (left); cylinders anchored with chains did not topple, but unanchored cylinders did in the 1983 Coalinga, California earthquake (right).

Cylinders provide necessary medical gases such as oxygen, nitrogen and nitrous oxide, and are often attached to manifolds. In hospitals without bulk medical gas tanks, cylinders are the sole means of providing medical gases. During an earthquake, unrestrained cylinders can topple and break their connection with the manifold, which is not strong enough to hold the cylinder upright. Cylinders on carts inside the hospital can fall and break connections, if they are not properly anchored to the cart. Cylinders with broken connections can leak gas.

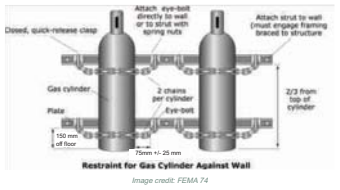
Consequences

If cylinders break free from manifolds, then the supply of medical gas will be interrupted. This could pose a danger to patients. Medical gas leaks can be dangerous, especially inside the hospital building.

Check These Related Items

Rigidly attached pipes (see pg.125): Medical gas distribution systems must also remain intact, in order for gases from the cylinders attached to manifolds in yards to reach the patients that need them.

Methods of Anchoring



Anchoring compressed-gas cylinders is easy and inexpensive. Install chains with quick-release clasps to struts (light channel sections shown at left) or angles that are fastened securely to the wall. Place one strut at two-thirds the height of the cylinders, and the other near the bottom of the cylinders. Fasten the chains around the cylinders. Confirm that the wall is strong enough to resist the forces that the cylinders generate. Anchor cylinders on carts using chains in a similar manner.

Restraint for Gas Cylinder Against Wall
Image credit: FEMA 74

Another option is to install a special rack for the cylinders, as shown at right. The manifolds are built in to the rack, and the rack is secured to the wall. The cylinders are firmly anchored to the rack but can easily be removed by loosening the wing nut and turning the restraint ninety degrees. The rack of nitrogen cylinders at right was undamaged during the 2001 Peru earthquake. This approach is more expensive, but cylinders can be spaced much more closely than when using the chain and strut solution.



Photo credit: Eduardo Fierro, BFP Engineers (Bartero Fierro, Parry)

Expertise Required

Some maintenance assistance required. A handyman will need to install the struts/ channels and cut the chains to length. Special racks need to be designed by an engineer.

Recommended Priority

Critical Safety. Interruptions in medical gas supply could lead to death for critical patients. Leaking medical gas is a hazard.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, low level of disruption. Chains and struts are very inexpensive. Racks are more expensive but can be fabricated from commonly available, inexpensive parts. Cylinders are commonly located in a separate building or yard (open area near building), so work on them will not disrupt hospital operations.

Where to Find More Information

See Appendix C, page for additional technical information.

Bulk Medical Gas Tanks

Provides storage for bulk medical gas, often located outdoors.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause bulk medical gas tank supports to fail, and the tank can topple.

Photo credit: L. Thomas Tobin, Geofazards International



Photo credit: California OSHPD



Photo credit: NISEE

Medical oxygen tank overturned due to inadequate anchorage in 1984 Northridge, California earthquake (left); similar failure of liquid nitrogen tank in 1971 San Fernando, California earthquake (right).

Most medical gas tanks are tall compared to their diameter (a height to base ratio of 2.5 is typical), which generates large forces on the supports, when the tank tries to move during earthquake shaking. Often, the anchor bolts holding the tank to the concrete or the support frame are too weak to resist these forces, and the tank topples.

Consequences

When a tank topples, it typically breaks connections to the medical gas distribution system. This cuts off the supply of medical gas to the hospital and could cause a leak. Many medical gas tanks supply oxygen. Patients with breathing difficulties or on life support could die without the oxygen supplied by the bulk medical gas tank. Leaking oxygen is also a fire hazard, and the area might need to be evacuated.

Check These Related Items

Rigidly attached pipes (see pg.125): The medical gas will not be able to reach the hospital, if the supply system pipes or their connections to the tank are damaged.

Methods of Anchoring

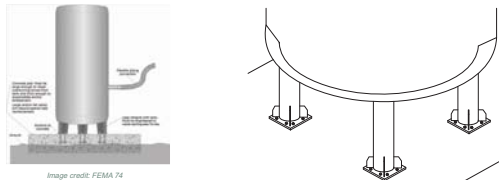


Image credit: FEMA 74

First, have an engineer determine if the tank's support system is strong enough to resist the expected level of earthquake shaking. The engineer should check the anchor bolts, the tank legs themselves, and the welds that connect the legs to the tank. Strengthen tanks with undersized or non-existent anchor bolts by adding new, properly sized bolts able to resist the expected seismic forces. If the existing bolt holes are not adequate, then weld clip angles to the tank legs and bolt them to the slab. In some cases, you may need a stronger foundation, which increases costs. You may also need to reinforce the tank legs or support frame, as shown below, if they are not strong enough. In all cases, replace rigid connections to the supply system with flexible connections.



Photo credit: Eduardo Fierro, BFP Engineers (Bartero Fierro, Parry)

If you install a new tank or replace an old one, you should specify that the tank be properly anchored with bolts and a support frame designed by an engineer to resist earthquake forces in all directions. All connections to the supply system should be flexible connections.

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to check the tank's anchorage and support system and design strengthening measures if needed.

Recommended Priority

Critical Safety. Interruptions in medical gas supply could lead to death for critical patients. Leaking medical gas is a hazard.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, moderate cost for labor, minimal disruption. Bolts and steel members used to reinforce tank supports are readily available and thus, relatively inexpensive. Work on bulk medical gas tanks requires planning to provide another supply of gas (such as cylinders), if the tank will be disconnected from the supply system. Tanks are usually located in areas where work does not disrupt other hospital operations.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Rooftop Water Tanks

Store water for domestic use; located on the rooftop.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause rooftop water tanks to break their supply pipe connections. Unanchored plastic tanks can slide and break their connections or fall from the roof, if located close to the edge.

Photo credit: Melynn Green, Melynn Green & Associates



Photo credits: NISEE (Karl Steinbrugge and Harold M. Engle)

Wooden rooftop water tank fell from high roof (left) and damaged grain silos and ruined grain at a four mill (center), 1965 Puget Sound, Washington earthquake; building front damaged by falling rooftop water tank, 1933 Long Beach, California earthquake (right).

There are two major types of rooftop water tanks: cast-in-place reinforced concrete tanks, and smaller flat-bottomed fibre-glass or plastic tanks. Cast-in-place tanks must be designed for seismic forces per the building code, so if the building was built to code recently, then the tank is probably adequately anchored. However, the connections to water supply pipes can break. Fibre-glass or plastic tanks are often unanchored and may be perched at the edge of the building, to provide simpler plumbing. These tanks can slide and break their connections or fall from the roof, if located too close to the edge. An unreinforced brick parapet will not be strong enough to keep a full water tank from toppling off the roof.

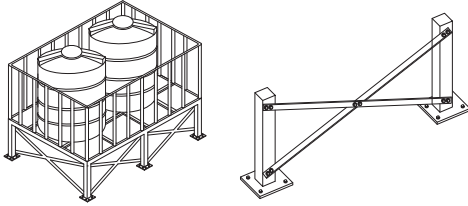
Consequences

Breaks in water pipe connections allow the water in the tank to leak and potentially to flood areas of the hospital. This happened in hospitals in both the 1994 Northridge, California and 1995 Kobe, Japan earthquakes. Plastic tanks falling from the roof are a major falling hazard.

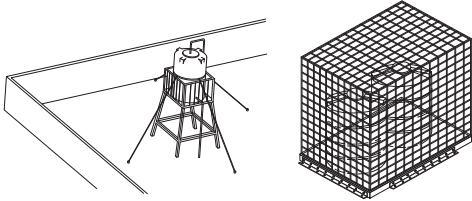
Check These Related Items

Rigidly attached pipes (see pg.125): Water distribution systems must remain intact, in order for water from the rooftop tanks to reach the hospital.

Methods of Anchoring



Have an engineer check the strength and condition of reinforced concrete tanks. Over time, the steel reinforcement in tank supports can corrode. Anchor fibre glass or plastic water tanks by surrounding them with steel enclosures or rails. If you already have cage-type enclosures designed to keep monkeys out of the water tanks, then have an engineer check them – they may not now be strong enough to keep the tank from sliding or toppling, but they could be reinforced to become so. Keep in mind that some plastic tanks are more likely to slide than to topple, because their height to base ratio is 1.5 or less. Do not anchor tanks to parapets – unreinforced parapets are not strong enough and will often fail on their own during an earthquake, even without additional forces from a heavy tank.



Expertise Required

Some engineering required to design the anchorage system for plastic tanks.

Recommended Priority

Continuous Service. For most water tanks. The hospital needs water to continue functioning during the post-earthquake period.

Critical Safety. Plastic water tanks located close to the edge of the roof can fall and kill anyone below.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, minimal level of disruption. Steel enclosures or rails to keep plastic tanks from sliding can be constructed from inexpensive, readily available parts. Work on rooftop water tanks does not typically disturb hospital operations, except perhaps during drilling, when doweling anchors into the roof slab.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Horizontally-Oriented Cylindrical Tanks

Store fuel, water, or other fluids, located in physical plant or yards.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause tanks to fall from their supports and break their connections.

Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International



Photo credit: California OSHPD



Photo credit: Degenkub Engineers

Tank shifted off of support curb at Granada Hills Hospital in 1994 Northridge, California earthquake (left); tank slid on its supports and broke pipe connections (right).

Day tanks are smaller tanks that contain a supply of diesel fuel to power the emergency generator for a short period of time. The day tank must remain connected, in order for the emergency generator to function. Other types of tanks include water treatment tanks and storage tanks. Horizontal tanks can still topple about their longitudinal axis, as shown above, or slide off their supports and break supply connections.

Consequences

Failure of a day tank or its connections will prevent the emergency generator from functioning, because it will not have a fuel supply. The failure of other types of tanks will keep the systems such as water purification or hot water systems that those tanks serve from working properly. Broken connections can also cause hazardous fuel spills, or water damage.

Check These Related Items

Rigidly attached pipes (see pg.125): Distribution systems into and out of tanks must remain intact, in order for the tank to perform its function.

Emergency generator (see pg.87): The emergency generator must be properly anchored and have flexible connections, so that it will remain connected to the fuel supply system.

Methods of Anchoring

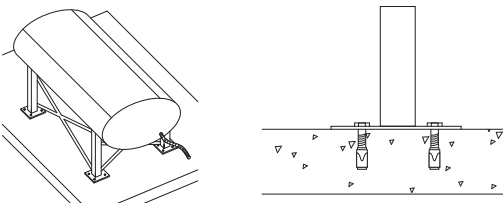


Image credit: FEMA 74

Anchor day tanks and other tanks by providing a structural support frame that can resist earthquake forces and is bolted to the floor or foundation. The photos below show one option for increasing the strength of an existing support system. The anchorage system should protect against both overturning and sliding. Provide flexible connections to all supply lines and pipes.



Additional base strengthening

Photo credits: FEMA/ATC Training Course

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to evaluate and strengthen the tank's anchorage if needed.

Recommended Priority

Critical Safety. For day tanks that power the emergency generator.

Continuous Service. For other tanks.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, minimal level of disruption. Work on day tanks takes place in the physical plant, where it will not affect hospital operations. Provide a backup fuel connection to the emergency generator while working on the day tank. Work on other types of tanks will disrupt the system that the tank is part of, but this can be managed with advance planning.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.



Architectural Elements

Hospital buildings have a number of architectural elements that are an integral part of the building but that don't resist loads in the way that the structural "backbone" of the building does. These elements enhance the functionality, comfort, and aesthetics of the building.

This section contains general information on how to seismically protect the following types of architectural elements:

- Parapets – p. 147
- Sunshades – p. 149
- Masonry partition walls (these walls do not help carry the weight of the building) – p. 151
- Suspended (false) ceilings – p. 153
- Pendant light fixtures and ceiling fans – p. 155
- Windows and glass – p. 157

Other exterior architectural features such as balcony walls can be evaluated and strengthened using techniques similar to those used for sunshades and parapets. Consult an engineer for guidance on strengthening particularly large or heavy elements, such as entrance canopies. Decorative masonry elements (jallies) are generally not a cause for concern, unless they are larger than 1 m by 1 m in size. For decorative ceramic tiles applied as a veneer attached to wall plaster, determine whether falling tiles could injure someone or block the exit. If so, then consider either replacing the tiles in these areas with properly anchored veneer or removing them.

Parapets

Provide a safety wall and hide equipment from street-level view; located at roof edges.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause unbraced brick parapets to topple from the roof edge onto whatever lies below.

Photo credit: L. Thomas Tobin, Geohazards International



Photo credit: Rabintra Vasu



Photo credit: National Geophysical Data Center

Fallen parapet, 2001 Gujarat, India earthquake (left); car crushed by fallen parapet, 1992 Petrolia, California earthquake (right).

Unbraced, unreinforced brick or stone parapets with height to thickness ratios of 1.5 to 1 (meaning they are one and a half times as tall as they are thick) or more in Seismic Zones IV and V, or with height to thickness ratios of 2.5 to 1 in Seismic Zones II and III, are likely to topple. Unbraced parapets have fallen in many small earthquakes. The bricks or stones often fall several storeys from the edge of the roof.

Consequences

Unbraced brick parapets are one of the greatest falling hazards: they can kill anyone outside who is near to the building's walls. They can also crush cars or mechanical equipment located in the fall zone. Parapets have fallen in many small earthquakes and killed people. People on sidewalks and those who try to run out of buildings are particularly at risk.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring



Photo credit: FEMA 74

Parapets must be braced back to the roof to prevent them from toppling. Steel braces spaced along the parapet length are the most common solution. An engineer will need to design the braces to resist the forces that the masonry applies under the expected level of earthquake shaking. Connect the braces to the parapet by drilling a hole through the masonry and then inserting a bolt first through the parapet and then through a steel plate. The steel plate spreads out the earthquake forces. You can use a plate with decorative motifs or a plate color that blends with the brick, as shown below, to improve the exterior appearance.



If you can't brace the parapet right away, you can provide landscaping that discourages pedestrians from standing near the walls where they could be hit by a falling parapet. Maintaining the landscaping and making it uninviting to pedestrians are very important. Grassy areas are likely to attract people, not to keep them away from the walls. Choose shrubs, bushes or taller plants instead.

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to design the bracing system.

Recommended Priority

Critical Safety. Falling parapets can kill.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, minimal level of disruption. Parapets can be braced with steel braces at reasonable cost; installing a new parapet is significantly more expensive. Disruption is minimal, because work takes place on the roof, and all buildings systems can remain in operation. Coordinate the drilling of holes in the parapet with the users in the storeys below the parapet, as drilling causes both noise and vibrations.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Sunshades

Reduce sunlight, heat and glare entering the windows; located on exterior façade.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause the sunshades to fall from the building's exterior.

Photo credit: Melvyn Green, Melvyn Green and Associates



Photo credit: California OSHPD



Photo credit: Degenkolb Engineers, FEMA 74

Displaced sunshade now hanging by one attachment, 1994 Northridge, California earthquake (left); concrete panel similar to a sunshade that fell and killed one pedestrian, 1987 Whittier Narrows, California earthquake (right).

Sunshades that are not properly anchored to the building could detach and fall during strong earthquake shaking. Deterioration of sunshades and corrosion of reinforcing steel can cause pieces of the sunshade to fall, even if the entire sunshade does not.

Consequences

Falling sunshades could kill people outside the building near the walls, and could possibly block the exits.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

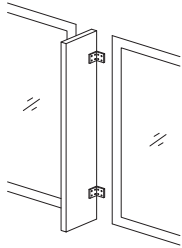


Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International

An engineer will need to check the anchorage details of sunshades to determine whether or not the anchoring mechanism can withstand the expected earthquake forces. If sunshades are not well anchored, then you can provide supplementary support brackets like those shown above. You can also create a landscaped area near the building, in order to keep pedestrians away from the area where sunshades are likely to fall. Maintaining the landscaping and making it uninviting to pedestrians are very important. Grassy areas are likely to attract people, not to keep them away from the walls. You can also reinforce the canopies over exits (or can install new canopies), so that falling sunshades will not block the exits.



Photo credit: Jorge Meneses

If sunshades have been damaged by exposure to the elements, then you might replace them with new, properly anchored sunshades. Sunshade replacement can drastically improve a building's appearance, but it is expensive. The sunshades on the building at left were replaced as part of a rehabilitation project.

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to check the anchorage and condition of sunshades and to design any strengthening measures.

Recommended Priority

Continuous Service. Falling sunshades are a hazard.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, moderate cost for labor, moderate level of disruption. Adding support brackets to sunshades is moderately expensive, because scaffolding and special safety measures will be required. Sunshade replacement can be expensive. Work on sunshades can be disruptive, due to noise and vibrations, even though the work takes place on the exterior of the structure.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Masonry Partition Walls

Non-loadbearing walls that divide rooms; located throughout concrete frame buildings.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Melvyn Green, Melvyn Green and Associates

Strong shaking can cause masonry partition walls to crack or to fall into rooms.



Photo credit: NISEE (Hall Sezen)



Photo credit: California OSHPD

Unreinforced brick partitions that are only one brick thick can crack and fall into rooms or outward to the ground outside, as the building moves back and forth in an earthquake. Bricks, large portions of the wall, or even the whole wall can topple into rooms. If the wall is not anchored to the concrete beams and columns in some way. Thicker partial-height masonry walls can cause the adjacent concrete columns to fail. Column failures are considered major structural damage.

Engineers refer to this type of failure as the "short column" or "captive column" effect, because the walls restrain a portion of the column from moving. As a result, all of the deformation has to occur within a short segment of the column. Most columns aren't designed to withstand these demands and often fail.

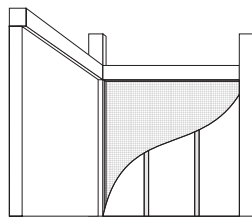
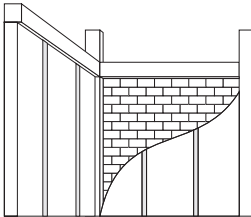
Consequences

Falling bricks could injure or kill people next to the wall. Bricks that fall in stairwells could prevent people from safely exiting the building after the earthquake. Partial-height masonry walls can cause major structural damage that could make the building unsafe.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring



Anchor partition walls using steel members connected floor to ceiling, shown above at left. Another option is to provide a fiber-reinforced polymer or microconcrete (with woven wire mesh reinforcement) overlay, shown above at right. Full-height partitions can also be detached from the columns, and a steel angle used to connect the top of the wall to the ceiling to prevent topping. However, this is disruptive, and gaps in walls raise fire protection concerns that will need to be addressed. Partial-height partitions should be detached from the columns, however, because they can cause major structural damage due to the "captive column" effect.

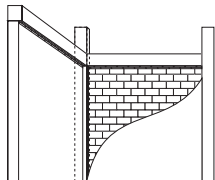


Image credit: FEMA 74

Expertise Required

Some engineering required. An engineer will need to design the restraints for the walls.

Recommended Priority

Continuous Service. Fallen infill walls can prevent the hospital from functioning after an earthquake. Fixing all partitions is very disruptive and not recommended as a standalone project. Consider anchoring partitions in critical areas only.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, high level of disruption. Work on masonry partition walls is very disruptive, because there are typically large number of partitions located throughout the hospital. Work on partitions must be phased. Work may also be more economical and less disruptive, if it is done in conjunction with a remodel or structural retrofit.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on anchoring to partition walls, and Appendix C, page for additional technical information.

Suspended (False) Ceilings

Can be a suspended grid or metal panels, often located in centrally air conditioned spaces.

Potential Earthquake Damage

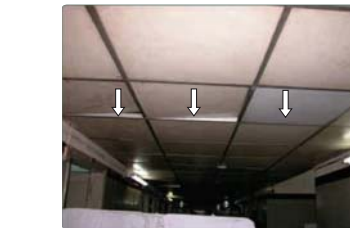


Photo credit: D. K. Paul, IT Roofline

Strong shaking can cause panels in suspended grid ceilings to fall and metal panels to buckle.



Photo credit: William T. Holmes, Rutherford & Chelene



Photo credit: EERI 2003 Bam, Iran Earthquake Reconnaissance Report
Damage to an operation theatre ceiling at Kona Community Hospital, 2006 Hawaii earthquake (left); buckled panels in a hospital corridor suspended metal panel ceiling, 2003 Bam, Iran earthquake (right).

Suspended grid ceiling panels can fall out during earthquake shaking, though these panels are lightweight and typically don't injure anyone. Light fixtures supported by the ceiling system could fall. Metal panels are much less likely to fall, though they may bend and twist.

Consequences

Falling ceiling panels will drop accumulated dust down into clean or sterile spaces such as operation theatres. Fallen panels in corridors could partially block the exit pathway.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

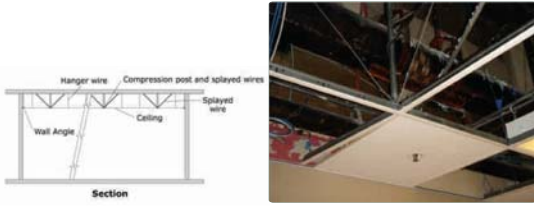


Image credit: FEMA 74

Photo credit: FEMA 74

Anchor suspended grid systems by adding bracing wires and compression struts from the ceiling grid to the floor slab or beams above. The recommended layout of the braces and struts is shown in section view above. Connect the bracing wires and hanger wires to the concrete slab as shown below. GHI does not recommend retrofit of suspended metal panel ceilings, because panels are unlikely to fall and attaching them to their supports would impede access to the ceiling space.

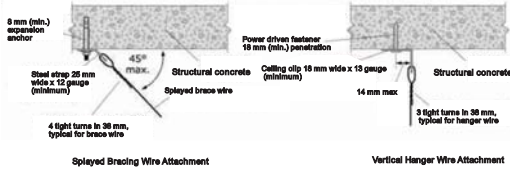


Image credit: FEMA 74

Expertise Required

Some engineering required to design the spacing and orientation of the wire braces for suspended grid ceilings.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital's operations will not be impaired by ceiling damage, except in operation theatres, critical care/sterile areas, and exit corridors.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, moderate level of disruption. Suspended grid ceilings are often found in operation theatres and critical care areas that are centrally air conditioned. Disturbing these areas to brace the ceiling grid requires careful planning to minimize disruption.

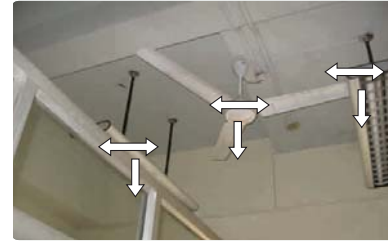
Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Pendant Light Fixtures and Ceiling Fans

Provide lighting and air circulation in many rooms; hang from ceiling.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause weakly attached pendant light fixtures and ceiling fans to swing, break their connections, and fall.

Photo credit: Hari Kumar, GeoHazards International



Photo credit: FEMA



Photo credit: National Geophysical Data Center

Failed pendant light fixture hanging dangerously over patient beds, 1971 San Fernando, California earthquake (left); fallen pendant light, 1983 Coalinga, California earthquake (right).

Pendant light fixtures and ceiling fans on rods will swing and can break the connection at the ceiling. Light fixtures and fans on chains, wire ropes, or cables are safe, provided that the chain/rope/cable is attached securely with a closed circle hook or other device, so that it can't slip off.

Consequences

Lights often have sharp metal parts that can cut people as they swing and fall. Fluorescent tubes can fall out of light fixtures and break, and people can step on the shards and cut themselves. Fans are heavy and can be particularly dangerous, if they are spinning rapidly when they fall.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

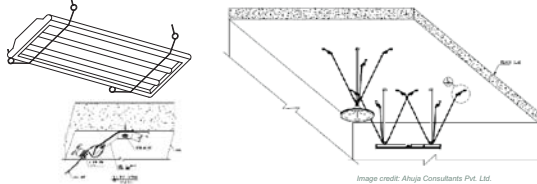


Image credit: Atuja Consultants Pvt. Ltd.

You can limit the swing of a light fixture or fan on rods by providing wires that attach the light or fan body to the ceiling. This should prevent the connection at the ceiling from falling. Alternatively, you can replace the rod with a chain, wire rope, or cable and allow the light to swing. Swinging will not harm the light, if the fluorescent tubes have restraint devices like the wires around the fixture shown above right, to keep them from falling out. Screw-in globe bulbs do not need additional restraints.

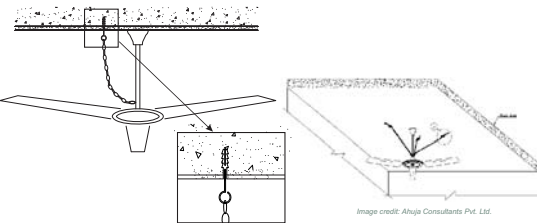


Image credit: Atuja Consultants Pvt. Ltd.

Expertise Required

Maintenance/tradesman support required. An electrician from the maintenance department will need to assist in replacing rods with chains, wire ropes, or cables.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs lights to continue functioning after an earthquake. Fix the pendant lights in the most critical areas first.

Retrofit Cost and Disruption

Low cost for parts, low cost for labor, moderate level of disruption. Work on light fixtures should be phased and scheduled to minimize disruption. However, there are typically a large number of pendant light fixtures in a hospital, so addressing them will cause some level of disruption.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for additional information on anchoring devices.

Windows and Glass

Includes windows, glass doors, and glass partitions; located on exterior and interior.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: Janise Rodgers, GeoHazards International

Strong shaking can cause glass that is not annealed or tempered to break into sharp shards that fall out of the frame.



Photo credit: EERI 2003 Bam, Iran Earthquake Reconnaissance Report



Photo credit: FEMA 74

Shattered glass door in a hospital, 2003 Bam, Iran earthquake (left); shard of untempered glass that fell from a broken window, 1994 Northridge, California earthquake (right).

There are several types of glass used in windows, doors and other glazing. Plain glass shatters into sharp shards that can fall from the frame. Annealed, tempered, and safety glass do not, and are much safer.

Consequences

Glass falling from upper story windows is very hazardous for anyone outside the building below. In addition to the falling hazards, broken glass on the ground or floor can cause major cuts to the feet of people who are not wearing sturdy shoes. Glass on the ground at exit doors can slow or stop people who are trying to exit.

Check These Related Items

There are no related items to check.

Methods of Anchoring

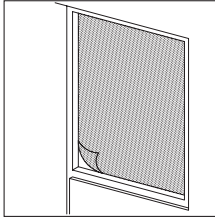


Photo credit: FEMA 72

GHI recommends replacing or placing film over large panes of glass that are directly above or at exits. It is very expensive to replace all plain glass with tempered, annealed, or safety glass, and these options are not recommended. For large panes of glass on the exterior of the building, you can provide landscaping that discourages pedestrians from loitering or congregating where glass shards could fall. Ensure that such landscaped areas are uninviting to pedestrians by planting dense shrubs, bushes, or tall plants such as those shown at above right.



Photo credit: NISEE (Karl Steinbrügge)

When installing new glass, be sure that it is tempered glass, annealed glass, or safety glass. These types of glass are also much safer, if glass is accidentally broken or vandalized.

Expertise Required

Do it yourself. You can arrange for the maintenance staff to apply film to glass, or make sure to order the right type of glass for new installations.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs for exits to be free and clear of glass shards, so that people can exit the building safely after an earthquake, if needed.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, low cost for labor, minimal level of disruption. Film is moderately expensive. Replacement glass costs more; the cost depends on the size of the glass panel and the difficulty of installation. Film can be installed quickly and scheduled during less-busy times, to minimize disruption to entrances and exits.

Where to Find More Information

Please see Appendix B, page 167 for more information on protecting glass.



Photo credit: Minnal Nath of GHI

Lifts

Lifts are one of the most complex equipment systems found in a hospital. They are also highly vulnerable to earthquake damage. The design of earthquake protection measures for existing lift systems should be handled by a specialist with specific structural engineering experience in the seismic strengthening of lift systems.

This section contains general information on how to seismically protect the following portions of lift systems:

Lift rail systems – p. 161

Lift motors and generators – p. 163

Information on how to anchor lift electrical and control panels can be found in the Electrical and Mechanical equipment section under Electrical Cabinets, on page . Lift electrical and control panels are similar to other types of electrical cabinets and switchgear; an ordinary engineer can anchor them properly. You do not need a specialist.

Lift Rail Systems

Guide lift cars and counterweights, located in lift shafts.

Potential Earthquake Damage



Strong shaking can cause lift and counterweight guide rails to deflect excessively and can cause counterweights to derail.



Photo credit: California OSHA



Photo credit: NISEE (Ayles and Sun)

Derailed counterweights in new Olive View Hospital, 1994 Northridge earthquake (left). The counterweights in this lift derailed in the 1971 San Fernando earthquake (right) and impacted the top of the car (Ayles and Sun, 1973). (right).

Lift and counterweight guide rails are often not properly designed to withstand seismic forces. Lift guide rails are typically designed for some lateral forces, due to the forces applied when the lift is in operation. They are constructed from larger sections and are less prone to damage than counterweight rails, which are often designed for no horizontal forces at all.

Consequences

Counterweights can derail due to excessive deflection of the rails. If the lift is restarted without anyone first checking for damage, then the counterweights can collide with the lift car, inflicting further damage and possibly injuring anyone in the car. In the case of derailed counterweights, the lift will not operate properly. Damage to the lift system can be expensive to repair.

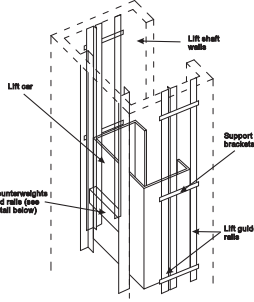
Check These Related Items

Lift motors and generators (see pg.163): The lift will not work, if its motor and generator are not also operational.

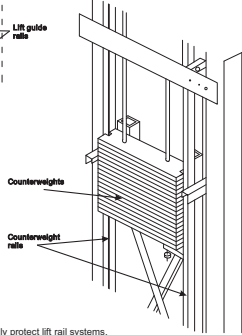
Lift electrical and control panels (see pg.115): The lift will not function, if the control panel is not working.

Electrical distribution system (see pg.131): Wiring and conduits to the lift motor and controls must remain intact, so that emergency power can reach them.

Methods of Anchoring



Lift rail systems are typically retrofitted (strengthened to better resist earthquake forces) by adding new support brackets to the rails and by strengthening existing support brackets to resist earthquake forces, as well as by providing safety brackets (also called guide rail retainer plates) to keep the lift car from derailing. The walls in the lift shaft must be examined to determine if they can withstand the earthquake forces imposed by the lift cars and the counterweights, once anchored; if not, then the walls will need to be strengthened. A structural engineering specialist should design the retrofit measures for the lift system. This specialist will need to evaluate the strength of the lift enclosure and to properly design strengthening measures for both the shaft and lift rail system, if necessary.



If you install a new lift or replace an old one, then you should specify that the entire system be seismically designed for the level of shaking expected in your area. New systems can be equipped with sensors to detect derailment or to shut down the system in the event of an earthquake. If your new lift system has an automated seismic shutoff feature, then be sure to have a procedure in place to restart the lift quickly, so that normal operations can continue post-earthquake.

Expertise Required

Specialized engineering expertise required to seismically protect lift rail systems.

Recommended Priority

Continuous Service. The lift system is necessary for transferring patients, unless the hospital has ramps that service all levels.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate to high cost for parts, moderate to high cost for labor, high level of disruption. Lift systems can be among the most costly and disruptive systems to retrofit. If the lift shaft requires retrofit, then the lift and surrounding areas will be out of service for some time. If only the lift rails need retrofit, the lift will still be out of service for a limited time.

Where to Find More Information

Please see the Applied Technology Council's report ATC-51-2, Recommended US-Italy collaborative guidelines for bracing and anchoring nonstructural components in Italian hospitals, pages 83-94, for a design example of a lift system retrofit.

Lift Motors and Generators

Operate lifts; typically located in mechanical penthouse above lift shaft.

Potential Earthquake Damage



Photo credit: L. Thomas Tobin, GeoHazards International



Photo credit: California OSHPD

Broken electrical connections resulted from large displacement of an improperly anchored lift generator (left); view of one of four generators moved from anchorage, 1994 Northridge, California earthquake (right).

Lift motors and generators that are not well-anchored can slide off their supports and prevent the lift from operating. The lift motor and generator are often installed on vibration isolators to keep vibrations from normal operation from shaking the building. Vibration-isolated equipment is particularly vulnerable to damage, unless the isolators are seismically rated. Most are not.

Consequences

If the lift motor slides off its supports, then the lift cannot function. If the lifts are not working, then the hospital staff will have difficulty moving patients or evacuating them if needed, unless the building has ramps that service each floor.

Check These Related Items

Lift rail systems (see pg.161): The lift will not operate properly, if the counterweights have derailed or if the rails have suffered other damage.

Lift electrical and control panels (see pg.115): The lift will not function, if the control panel is not working.

Electrical distribution system (see pg.131): Wiring and conduits to the lift motor and controls must remain intact, so that emergency power can reach them.

Methods of Anchoring

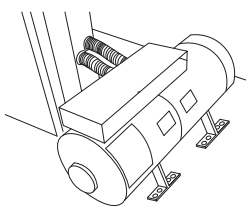


Photo credit: California OSHPD

Anchor fixed-base lift motors and generators by bolting them securely to the floor or the supporting steel base. The properly anchored lift motor above was undamaged in the 1994 Northridge earthquake. An engineer will need to calculate the number of bolts needed (use no fewer than four, with one located at each corner), based on the weight of the equipment and the expected earthquake shaking for your area. Anchor vibration-isolated lift motors and generators by installing special seismic restraints called snubbers (below left), or replace the isolators with new, seismically restrained spring mounts (below right).

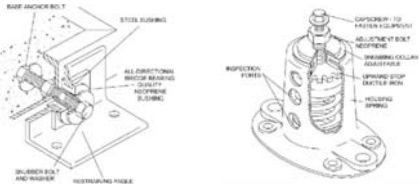


Image credit: Mason Industries

Expertise Required

Some engineering required to select the correct size and type of anchorage. Lifts must be inspected after an earthquake before usage.

Recommended Priority

Continuous Service. The hospital needs the lifts to perform normal functions, such as transporting patients to and from surgery. Lifts are also very helpful if the hospital must be evacuated.

Retrofit Cost and Disruption

Moderate cost for parts, moderate cost for labor, high level of disruption. Work on lift systems can be very disruptive to hospital operations. If the hospital has multiple lifts, then you can minimize disruption by working on one lift at a time. If the hospital has ramps, then you can use these to move patients, while the lift is out of service.

Where to Find More Information

Please see Appendix C, page 173 for additional technical information.

Appendix A

Hazard Hunt Checklist For Hospital Safety
For Hospital Safety

Section/Block:	Date of Hazard Hunt:
Room Number/Use:	Hazard Hunt Conducted By:

Potential Hazards	Check if item is present	Total no. of units	Does item need to be Moved	Anchored	Engineering required?	Supplies and tools needed
Medical Equipment						
Autoclaves	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Anesthesia machines	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Monitors	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Operation theatre lights	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ventilators	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Imaging and scanning units	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Radiant warmers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Wheeled or trolley-mounted equipment	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Small wall-mounted equipment	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Laboratory bench-mounted equipment	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Blood bank refrigerators	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Other:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Furnishings and Hospital Administrative Systems						
File cabinets	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Medical records storage	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Computers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Other:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Supplies						
On trolleys	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
On racks	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Pharmacy	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Sterile storage	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Other:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Potential Hazards	Check if item is present	Total no. of units	Does item need to be Moved Anchored	Engineering required?	Supplies and tools needed
Mechanical and Electrical Equipment					
Emergency generators	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Batteries for emergency power	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Boilers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Geysers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Chillers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cooling towers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Air handling units	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Window unit air conditioners	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Window unit air coolers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Electrical cabinets and switchgear	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Transformers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fire suppression pumps	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fire extinguishers	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Other:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pipes, Ducts and Conduits					
Small rigidly-attached pipes	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Small suspended pipes	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Large pipes	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Conduits and electrical distribution	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ductwork	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tanks and Medical Gases					
Compressed-gas cylinders	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Bulk medical gas tanks	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rooftop water tanks	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Horizontally oriented cylindrical tanks	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vertically oriented cylindrical tanks	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Other tanks:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Architectural Elements					
Parapets	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sunshades	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Masonry partition walls	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Suspended (false) ceilings	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pendant light fixtures and ceiling fans	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Windows and glass	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Jalises larger than 1mX1m	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Entrance canopy	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Other:	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lifts					
Lift rail systems	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lift motors and generators	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lift control panel/cabinet	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Notes:





Appendix B

Do It Yourself Resources

The information in this appendix will help you anchor and brace the items labeled "Do It Yourself" in the main body of the manual. You can also use this information to instruct a handyman to properly anchor and brace "Do It Yourself" items. This appendix contains information on anchoring and bracing hardware, parts, and supplies, as well as guidance on how to properly install fasteners.

Common Fasteners

The table below provides guidance on which fasteners to use, depending on the type of wall to which you are anchoring and the weight of the object to be anchored.

How heavy is your object?	What is the wall or other structural element made of? Select appropriate anchors.			
	Brick masonry	Concrete	Gypsum board	Timber
				
	Plastic Masonry Wall Plugs	Standard Wall Plugs	Expansion bolts	Winged Gypsum Wall Plugs
0-5 kg	For light objects use size 6 Standard Wall Plugs			Size 2 or 3
5-50 kg	Size 6	Size 7	Size 6	For items this heavy, attach directly to studs or use a wall bridge.
50-100 kg	Size 8	Size 8	Size 8	
100 + kg	Consult an engineer for proper anchorage.			
Notes:			Leave a 16 cm space between expansion bolts	Use Size 2 for 10 mm board. Size 3 for 12 mm board

Photographs of Common Fasteners

L-brackets



Expansion anchors (bolts)



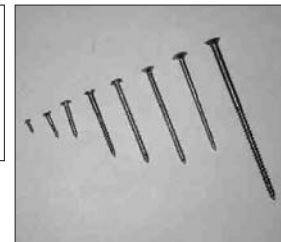
Plastic dowels



J-hooks



Screws



Chain and carabiner link



Elastic cord



Loop tape



Clips and woven straps



Magnetic latch



Polyester film



Non-slip mat (EVA sheet)



170

How to Properly Install Fasteners

If you are installing fasteners into concrete or brick walls, then you will need to follow these steps:

1. Drill a hole of the correct size and depth for the fastener that you are using. Drill the hole straight, using a smooth motion. Drill a few practice holes in a scrap piece of concrete or brick before trying to drill a hole in a wall. When drilling in reinforced concrete, avoid drilling into rebar.
2. Clean the hole following the manufacturer's instructions for the type of anchor that you are using. The most common methods of cleaning the hole are using compressed air or a wire brush. You can use a shop vacuum or industrial vacuum to clean most of the dust out of the hole first to avoid getting dust everywhere.
3. Line up the hole on the L-bracket or equipment. For some anchors that use a nut to attach the bracket or equipment, this should be done after you insert the anchor. Read the manufacturer's instructions for details.
4. Insert the anchor following the manufacturer's instructions. Most anchors other than adhesive (i.e., epoxy) anchors need to be tapped in carefully using a hammer.
5. Align the bracket or equipment, set the anchor and tighten. The method for setting the anchor will vary with the type of anchor. Follow the manufacturer's instructions very precisely.

It is best not to drill into reinforced concrete floors or beams yourself. Have maintenance/engineering personnel or specialty contractors use a special piece of equipment called a rebar locator to find the rebar in the area where you want to drill; in this way, they will make sure that they don't hit the reinforcing steel. If the floor is pre-stressed or post-tensioned concrete, then DO NOT let anyone drill into it without first consulting an engineer and specialty contractor to locate the post-tensioning strands. Otherwise, you could jeopardize the structural safety of the building.

FEMA 412, *Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment*, contains a section (starting on p. 96) that explains the proper installation of various types of anchors in concrete, brick, and concrete block in more detail. Manufacturers of anchors also provide detailed instructions on how to install their products properly.

How to Determine if a Wall is Strong Enough to Use for Anchoring

In buildings with masonry walls, anchor objects that are less than 100 kg to walls that are at least two bricks thick (225 mm or more). For heavier objects, you will need to consult an engineer to determine whether the wall is strong enough to anchor to or not. Anchor only very lightweight objects (10 kg or less) to partition walls that are only one brick thick (110 mm). Ensure that you insert masonry anchors into the bricks themselves, rather than into the mortar joints.

Before you anchor an object, check the condition of the wall to which you plan to anchor. Brick walls should be in good condition, with sound brick and mortar. If the mortar is exposed and you can scrape it away with your fingernail or a coin, then it is not sound. If the wall is not sound or is not thick enough, then anchor the object to the floor instead, or consult an engineer to reinforce the wall.

For walls with timbers (such as dhajji-dewari construction), anchor items to vertical timbers spanning from floor to ceiling (where possible) using wood screws. Before anchoring, check to ensure that the timbers are in good condition and have not deteriorated, due to rotting or insect attack.

In general, anchoring to random rubble stone masonry walls is not recommended. Anchoring to dressed stone walls is possible, but it may be difficult to drill holes into the stone. If the stones are thicker than about 250 mm, then you may be able to anchor to a wall with a single wythe of stones. It is always better to anchor to double wythe stone walls, though. Check double-wythe walls to see if there are cross-stones that connect the two wythes together. Otherwise, you will be anchoring to what is essentially a single wythe wall, because the two wythes act independently, if they are not connected. Also, consult an anchor manufacturer to ensure that you select the proper anchor for the type of stone in your wall.

171

How to Properly Install Restraints for Computers

Follow the manufacturer's advice for installing self-adhesive clips used to anchor computers. Ensure that surfaces are very, very clean before using the self-adhesive on the clips. Rubbing alcohol is the most appropriate cleaner. Leave some length of straps outside the clips, so that the restraint can be re-fastened after cleaning.

You can re-install a clip after moving the computer by replacing the self-adhesive on the clip with double-sided self-adhesive tape (found in some hardware supply shops). The original self-adhesive may also wear out, and you can repair the restraint using the same self-adhesive tape. Instruct hospital staff to check clips for wear as part of a yearly maintenance program and to replace the self-adhesive or the entire clip when it starts to peel off and whenever the electronic equipment is moved to a new location.



172

Appendix C

Further Information and Technical Resources for Engineers

This appendix contains additional information on anchoring mechanical equipment, electrical equipment, major medical equipment, pipes, conduits, ducts, and concrete pads.

Codes and Standards

The Indian Standard for earthquake-resistant design, IS 1893, does not currently have provisions for anchoring and bracing equipment and other nonstructural items, except for cast-in-place rooftop tanks. Some draft provisions have been proposed, but none have yet been adopted. These draft provisions can be found in a paper by Mondal and Jain in the October 2005 issue of the *Indian Concrete Journal* entitled, "Proposed draft for IS 1893 on design of non-structural elements." The paper can be obtained from the National Information Centre of Earthquake Engineering at Indian Institute of Technology, Kanpur. The design examples in Appendix D are based on the draft provisions outlined in this paper. For more general information on earthquake-resistant design of buildings and other structures, the National Information Centre of Earthquake Engineering (NICEE) at Indian Institute of Technology, Kanpur has produced commentaries on current Bureau of Indian Standards (BIS) codes. These commentaries, produced in partnership with the Gujarat State Disaster Management Authority (GSDMA), explain the code provisions. NICEE also produced *Earthquake Tips* that explain basic principles of earthquake resistant design. Both the commentaries and *Earthquake Tips* can be downloaded from the NICEE website at www.nicee.org.

Additional Information on Installing Anchors and Concrete Pads for Equipment

FEMA 412, *Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment*, contains a section (starting on p. 96) that explains the proper installation of various types of anchors used for mechanical equipment. FEMA 412 also has a special section on how to reinforce, construct, and install concrete pads (also called housekeeping pads) for equipment, beginning on p. 135. This section is for new installations only; to strengthen an existing pad, you can install a reinforced concrete beam around the perimeter, which is dove-tailed into the underlying slab. FEMA 413, *Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment*, contains a section (starting on p. 104) on how to install the types of anchors used for electrical equipment and conduits. FEMA 414, *Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe*, also contains a section (starting on p. 107) on the proper installation of anchors used to brace pipes, ductwork, and in-line equipment. All three documents can be downloaded for free from www.fema.gov.

Additional Information on Anchoring Vibration-Isolated Equipment

FEMA 412, *Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment*, contains a section with more information on anchoring vibration-isolated equipment, beginning on p. 77.

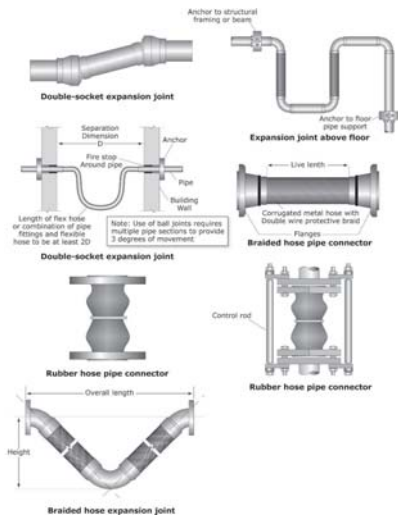
Additional Information on Flexible Connectors

There are a number of types of flexible connectors, shown below, that you can use to connect pipes across expansion joints or building separations, or to connect pipes to equipment. If these connectors are not available in your area, then you can substitute equivalent flexible connectors.

Be sure to provide a connector that will accommodate the amount of differential movement that you expect. For pipes that cross separations between buildings, you will need to calculate how much the buildings will move with respect to each

173

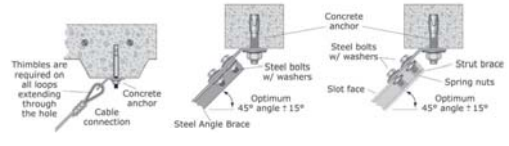
other. The maximum differential displacement will be the sum of the displacements of each building at the level of the pipe. Flexible connections for pipes attached to the ceiling and to equipment near the floor should be designed for the amount of relative deformation between the ceiling and the floor. Calculate this deformation by subtracting the building displacement at the ceiling level from the building displacement at the floor level.



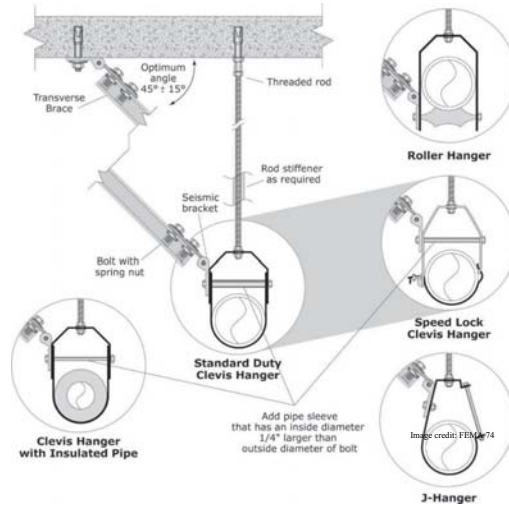
Types of flexible connectors
Image credit: FEMA 74

Additional Information on Bracing Suspended Pipes, Ducts and Conduits

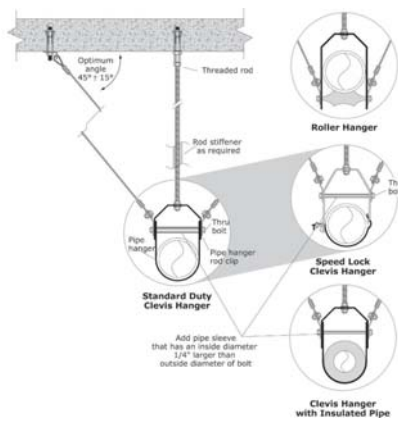
The following drawings from FEMA 74 show conceptual designs for bracing suspended pipes and conduits. You can also use other designs that brace the pipes to prevent them from swaying and breaking, such as small moment frames constructed from steel angles. For more information on bracing pipes and ducts, see FEMA 414, Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe, which contains a large amount of additional information on bracing both suspended and rigidly mounted pipes, as well as ductwork. The document covers seismic restraints for valves and other plumbing components that may be installed in-line with pipes, and suspended equipment that may be installed in-line with ducts. For more information on bracing electrical and communications conduits, raceways, and cable trays, see FEMA 413, Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment, which contains a large amount of additional information on bracing conduits as well as all manner of electrical equipment. FEMA 413 and 414 are freely downloadable from www.fema.gov



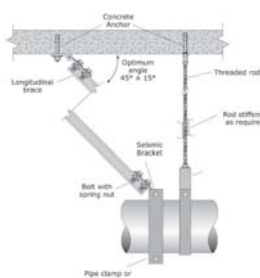
Anchorage for cable and rigid bracing
Image credit: FEMA 74



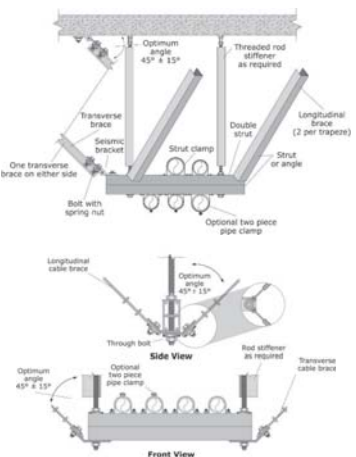
Types of suspended pipe hangers for bracing a single pipe in the transverse direction with rigid bracing
Image credit: FEMA 74



Types of suspended pipe hangers for bracing a single pipe in the transverse direction with cable bracing
Image credit: FEMA 74



Rigid bracing for a single pipe in the longitudinal direction
Image credit: FEMA 74



Rigid and cable bracing options for trapeze-supported pipes and conduits
Image credit: FEMA 74

California Office of Statewide Health Planning and Development (OSHPD) Pre-Approval Index

The U.S. State of California requires that certain types of equipment and building utility systems be anchored or braced against earthquake forces. All newly installed equipment must meet these requirements, and eventually, existing equipment must as well. The Office of Statewide Health Planning and Development (OSHPD) maintains an index of anchoring and bracing details that its engineers have certified meet these requirements. The details are proprietary, meaning that you will have to get permission to use them, and you may have to pay to use them. However, they can be a useful resource for certain specific types of equipment. The list of pre-approvals can be downloaded from the following website: <http://www.oshpd.ca.gov/FDD/Pre-Approval/OPAIndex.pdf>. New pre-approvals are continually being added. This list includes major medical equipment, such as CT scanners and other imaging equipment. The index lists the name, product number, and manufacturer of the equipment being anchored, as well as the company that designed the pre-approved detail. Manufacturers sometimes provide pre-approved details for the equipment that they sell, as part of their marketing efforts. Any company that sells major equipment to California hospitals (i.e., most major medical equipment manufacturers) will likely have pre-approved details for anchoring their equipment. You can use the OSHPD pre-approval index to find out whether a solution already exists for a piece of equipment that you need to anchor. If your hospital is buying new equipment, then be sure to tell the manufacturer that the equipment needs to be seismically anchored when it is installed, so that they can supply you with anchorage details.

Details and Guidelines Provided by Manufacturers and Others

There are a number of companies that manufacture and sell devices to seismically restrain equipment, building utility systems, and other items. These manufacturers provide design drawings and example calculations for how to use their products. These can be very helpful references. These manufacturers include:

- Mason Industries publishes Seismic Restraint Guidelines for Suspended Piping, Ductwork and Electrical Systems and for Floor Mounted Equipment, which can be downloaded for free from www.masonindustries.com. Also available at the website are complete seismic anchorage specifications for various pieces of equipment and a report on causes of earthquake damage to mechanical equipment.
- Unistrut provides drawings and specifications for rigid bracing systems for pipes and conduits at www.unistrut.com.

Several other helpful resources exist, but you will have to order and pay for them. These include:

- Applied Technology Council report 51-2, Recommended US-Italy collaborative guidelines for bracing and anchoring nonstructural components in Italian hospitals. Contains engineering details for common items, recommendations, and design examples. Available from the Applied Technology Council, 201 Redwood Shores Parkway, Suite 240, Redwood City, California, 94065 USA; www.atcouncil.org.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), "Seismic and Wind Restraint Design" in Applications Handbook. Available from ASHRAE, 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329 USA; www.ashrae.org. Also available on a CD with A Practical Guide to Seismic Restraint and Seismic Restraint Manual: Guidelines for Mechanical Systems.
- A Practical Guide to Seismic Restraint. Available from ASHRAE, 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329 USA; www.ashrae.org.
- Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Seismic Restraint Manual: Guidelines for Mechanical Systems. Available from SMACNA, 4201 Lafayette Center Drive Chantilly, Virginia 20151-1209 USA.

178

Appendix D

Example Calculations for Engineers

This section contains two examples of calculations required for anchoring equipment. These calculations are based on draft provisions for IS 1893 in a paper by Mondal and Jain in the October 2005 issue of the Indian Concrete Journal entitled, "Proposed draft for IS 1893 on design of non-structural elements." The paper can be obtained from the National Information Centre of Earthquake Engineering at Indian Institute of Technology, Kanpur.

Example 1: Design for anchorage of a cooling tower

Problem Statement

A 50 kN cooling tower, shown in Fig. 1, will be installed on the roof of a one-storey air conditioning plant building in seismic zone IV. It is attached by four anchor bolts, one at each corner of the cooling tower, embedded in the roof concrete slab. The height of the building is 5.0 m. Determine the shear and tension demands on the anchor bolts during earthquake shaking.

Solution

Zone factor, $Z = 0.24$ (for zone IV, Table 2 of IS 1893 (part 1): 2002)

Height of point of attachment of the cooling tower above the base of the building, $x = 5.0$ m

Height of the building, $h = 5.0$ m

Cooling tower is not listed table3, however it can be considered as a stack.

Amplification factor of the cooling tower, $a_p = 2.5$ (stack, Table 3 of Mondal and Jain)

Response modification factor $R_p = 2.5$ (Table 3 of Mondal and Jain)

Importance factor $I_p = 1.0$ (not life safety component, Table 4 of Mondal and Jain)

Weight of the cooling tower, $W_p = 50$ kN

$$\begin{aligned} \text{The design seismic force, } F_p &= \frac{Z}{2} \left(1 + \frac{x}{h}\right) \frac{a_p}{R_p} I_p W_p \\ &= \frac{0.24}{2} \left(1 + \frac{5.0}{5.0}\right) \frac{2.5}{2.5} \times 1 \times 50 \text{ kN} \\ &= 12 \text{ kN} \end{aligned}$$

The minimum design seismic force, $F_{p, \min} = 0.1W_p = 5.0$ kN

Hence, the design seismic force, for the cooling tower

$$F_p = 12 \text{ kN}$$

The anchorage of equipment to the building must be designed for twice this force (Clause 1.3.4).

Shear per anchor bolt:

$$\begin{aligned} V &= \frac{2F_p}{4} \\ &= 2 \times \frac{12}{4} \text{ kN} \\ &= 6.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

179

Reducing Earthquake Risks in Hospitals

The overturning moment is 1m

$$\begin{aligned} M_o &= 2.0 \times 5.0 \text{ kN} \times 1 \text{ m} \\ &= 24 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

The resisting moment using 0.9D load combination from the weight of the unit is

$$\begin{aligned} 0.9M_r &= 0.9 \times 50 \text{ kN} \times 1.5 \text{ m} \\ &= 67.5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_o < 0.9M_r$$

Hence, there is no tension in the anchor bolt.

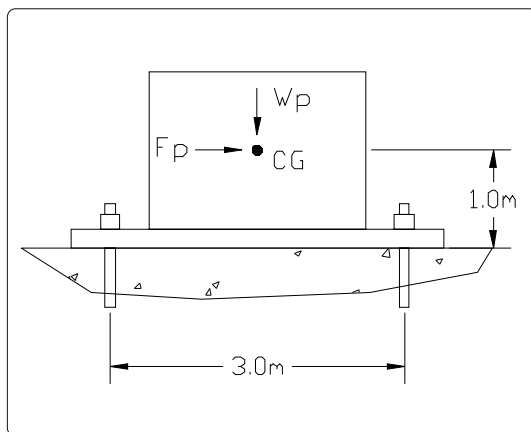


Fig. 1. Cooling tower installed at roof

180

Example 2: Design anchorage for an emergency generator supported on open springs

Problem Statement

An existing emergency generator is located at ground level in a single-storey physical plant building in Zone V. It is mounted on six open springs, one at each corner of the unit and one at the midpoint of each side, to damp the vibrations generated during operation. The medical superintendent has given an urgent order that the generator be restrained with snubbers so it will not fall off its supports during the expected earthquake. You have proposed that the snubbers be located as shown in Fig. 2. Now, you need to determine the shear and tension demands on the bolts that will anchor the snubbers to the concrete pad, and the compression demand in the spring supports.

Solution

Zone factor, $Z = 0.36$ (for zone V, Table 2 of IS 1893 (part 1): 2002)

Height of point of attachment of the emergency generator above the base of the building, $x = 0.0$ m

Amplification factor of the emergency generator, $a_p = 2.5$ (flexible component, Table 3 of Mondal and Jain)

Response modification factor $R_p = 2.5$ (vibration isolated, Table 3 of Mondal and Jain)

Importance factor $I_p = 1.5$ (life safety component, Table 4 of Mondal and Jain)

Weight of the emergency generator, $W_p = 100$ kN

$$\begin{aligned} \text{The design seismic force, } F_p &= \frac{Z}{2} \left(1 + \frac{x}{h}\right) \frac{a_p}{R_p} I_p W_p \\ &= \frac{0.36}{2} (1+0) \frac{2.5}{2.5} \times 1.5 \times 100 \text{ kN} \\ &= 27 \text{ kN} \end{aligned}$$

The minimum design seismic force, $F_{p, \min} = 0.1W_p = 10$ kN

Hence, the design seismic force for the emergency generator is

$$F_p = 27 \text{ kN}$$

Since the generator is mounted on flexible spring supports, the design force is doubled per clause 1.3.3, that is,

$$\begin{aligned} F_p &= 2 \times 27 \text{ kN} \\ &= 54 \text{ kN} \end{aligned}$$

The anchorage of equipment to the building must be designed for twice this force (Clause 1.3.4).

By inspection the transverse direction loading will result in the worst-case demands for design.

For overturning forces, the compression forces will be resisted by the spring supports and the tension forces (if any) will be resisted by the snubbers and the associated anchor bolts.

The overturning moment is

$$\begin{aligned} M_o &= 2.0 \times 54 \text{ kN} \times 0.75 \text{ m} \\ &= 81 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

The resisting moment using 0.9D load combination from the weight of the unit is

$$\begin{aligned} 0.9M_r &= 0.9 \times 100 \text{ kN} \times 1 \text{ m} \\ &= 90 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_o < 0.9M_r$$

Hence, there is no tension in the spring supports. Note that if tension forces are present, the snubber should be designed to resist the uplift force.

181

The compression force in the spring support is,

$$F_c = \frac{81kNm}{1.0m \times 3} + \frac{100kN}{6}$$

$$= 43.7kN$$

The shear load will be resisted by the snubber on one side of the unit for each loading direction.

Since the shear force is applied to the snubber at an elevated position, the anchor bolts, which row is closest to the unit will experience both shear and tension forces, Fig 3.

With the proposed layout, the shear force will be resisted by 8 anchor bolts and tension force by 4 anchor bolts, Fig 2.

Shear per anchor bolt:

$$V = \frac{2F_s}{8}$$

$$= 2 \times \frac{54}{8} kN$$

$$= 13.5kN$$

Tension per anchor bolt, assuming a moment arm of 2/3 times the distance from the center of the anchor to the edge of the snubber:

$$V = \frac{2 \times 54kN \times 15cm}{3 \times 33cm \times 4}$$

$$= 18.4kN$$

Note that if tension force is present due to overturning moment of the unit, then the anchors will also need to be designed for the additional tension force.

Use the forces calculated above to design the snubbers out of steel angles as shown in Fig. 3, or select them from a manufacturer.

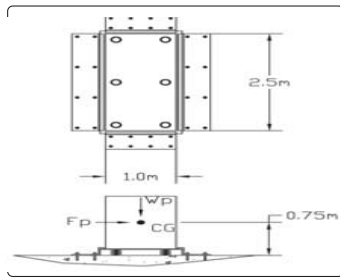


Fig 2: Emergency generator installed at ground level

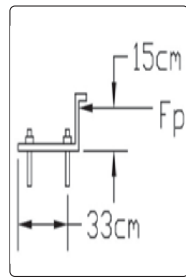


Fig 3: Snubber load diagram

182

Abbreviations and References

Abbreviations

ATC	Applied Technology Council
BIS	Bureau of Indian Standards
BMTPC	Building Materials & Technology Promotion Council
BU-KOERI	Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
CT	Computed Tomography
DDMA	Delhi Disaster Management Authority
FEMA	Federal Emergency Management Agency (United States)
GSDMA	Gujarat State Disaster Management Authority
GSI	Geological Survey of India
ICU	Intensive Care Unit
IIT	Indian Institute of Technology
IS	Indian Standard
MCEER	Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (University at Buffalo)
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NDMA	National Disaster Management Authority
NICU	Neonatal Intensive Care Unit
NICEE	National Information Centre of Earthquake Engineering (IIT Kanpur)
NISEE	National Information Service for Earthquake Engineering (University of California Berkeley)
OSHPD	Office of Statewide Health Planning and Development (U.S. State of California)
OT	Operation Theatre
USGS	United States Geological Survey

References

- ATC (2003)**, Recommended US-Italy collaborative guidelines for bracing and anchoring nonstructural components in Italian hospitals, ATC-51-2 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.
- ATC (2008)**, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: State-of-the-Art and Practice Report, ATC-69, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA.
- Ayres, J. M. and Sun, T.-Y. (1973)**, "Nonstructural Damage," San Fernando, California Earthquake of February 9, 1971, Vol. 1 Part B, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC, USA, p. 735-776.
- BIS (2002)**, Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, IS 1893:2002, Part 1, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- BMTPC (2006)**, Vulnerability Atlas of India, First Revision, Building Materials & Technology Promotion Council, New Delhi.
- BU-KOERI (2003)**, Nonstructural Risk Mitigation Handbook, Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Turkey.
- California Hospital Association (1990)**, Hospital Earthquake Preparedness: Issues for Action, A Report on the Loma Prieta Earthquake, Sacramento, California, USA.
- Earthquake Hazard Centre (2002)**, "Base isolation in the rebuilding of a hospital in Bhuj, India," Earthquake Hazard Centre Newsletter, Vol. 5, No. 4, Wellington, New Zealand.
- EERI (1985)**, Northridge Earthquake Reconnaissance Report, Vol. 1, Earthquake Spectra, Vol. 11 Supplement C.

183

- EERI (1986)**, Northridge Earthquake Reconnaissance Report, Vol. 2, Earthquake Spectra, Vol. 11 Supplement C.
- EERI (2002)**, Bhuj, India, Earthquake of January 26, 2001 Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Vol. 18 Supplement A.
- EERI (2004)**, Bam, Iran, Earthquake of December 26, 2003 Reconnaissance Report, CD-ROM, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, USA.
- FEMA (1994)**, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide, FEMA 74, Third Edition, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- FEMA (2002)**, Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment, FEMA 412, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- FEMA (2004)**, Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment, FEMA 413, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- FEMA (2004)**, Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe, FEMA 414, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- FEMA (2007)**, Design Guide for Improving Hospital Safety in Earthquakes, Floods, and High Winds: Providing Protection to People and Buildings, FEMA 577, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- FEMA (2008)**, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide, FEMA 74, Fourth Edition, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.
- GHI (2007)**, Nonstructural Risk Reduction Handbook for Schools, GeoHazards International, SEEDS, and Delhi Disaster Management Authority, Delhi.
- Jain, Sudhir, et al. (2001)**, The Republic Day Earthquake in the land of M. K. Gandhi, Father of the Nation, National Information Centre of Earthquake Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur.
- Mason Industries (1985)**, A Pictorial Study of Seismic Damage and the Use of Proper Safeguards, Hauppauge, New York, USA.
- Mason Industries (2007)**, Seismic Restraint Guidelines for Suspended Piping, Ductwork, Electrical Systems and Floor Mounted Equipment, Seventh Edition, Hauppauge, New York, USA.
- Mondal, Gautam, and Jain, Sudhir (2005)**, "Proposed draft for IS 1893 on design of non-structural elements," Indian Concrete Journal, October 2005 edition, p. 39-45.
- Nanda, Sundip K. (2008)**, "Safe hospital initiative in the aftermath of the 2001 earthquake in Gujarat (India)," Proceedings, Regional Consultation of SEAR Member Countries on Keeping Health Facilities Safe from Disasters, New Delhi.
- OSHPD (1996)**, The Northridge Earthquake: A Report to the Hospital Building Safety Board on the Performance of Hospitals, Facilities Development Division, State of California Office of Statewide Health Planning and Development, Sacramento, California, USA.
- Retamalae, R., Mosqueda, G., Filatrait, A. and Reinhold, A.M. (2006)**, "New experimental capabilities and loading protocols for seismic qualification and fragility assessment of nonstructural systems," Technical Report MCEER 08-0026, University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, New York, USA.
- State of California (1998)**, Observations on Hospital Performance in the Great Hanshin-Awaji (Kobe) Earthquake of January 17, 1995, Hospital Building Safety Board and State of California Office of Statewide Health Planning and Development, Sacramento, California, USA.
- State of California (2003)**, Guide and Checklist for Nonstructural Earthquake Hazards in California Schools, Governor's Office of Emergency Services, Division of the State Architect, Seismic Safety Commission, and Department of Education, Sacramento, California, USA.

184

Index

Air circulation systems	9	CT scanners	63
Anaesthesia Machines	55	Cupboards	77
Anchor bolt	60	Cylindrical tanks	136
Anchoring and bracing hardware, parts, and supplies	167	Damage to equipment and objects	7
Anchoring and Bracing Information for Specific Objects	6	Day tank	143
Anchoring and Bracing Information for Specific Objects	51	Decorative ceramic tiles	146
Annealed, tempered, and safety glass	157	Deformation	11
Architectural elements	4	Dhaji-dewari construction	171
Architectural Elements	146	Diesel fuel day tanks	136
Autoclaves	53	Differential motion	125
Automated seismic shutoff feature	162	Disaster Response Plans	13
Back-up operating procedures	84	Do it Yourself Resources	167
Balcony walls	146	Docking station	88
Base restraints	74	Doctor's Office	31
Bhuj Civil Hospital	3	Door latches	73
Blood Bank Refrigerator	73	Double-wythe walls	171
Breakable supplies	89	Drilling into rebar	171
Building codes	7	Duct and Pipe	173
Building Damage	7	Ductwork	133
Building utility systems and equipment	4	Earthquake accelerations	8
Bulk Medical Gas Tanks	139	Earthquake preparedness plan	5
Cable trays	132	Earthquake Risk	7
Cables	90	Earthquake shaking intensity	7
Cardiac Catheterization Laboratory	37	Earthquake vulnerabilities in buildings	7
Cast-in-place reinforced concrete tanks	141	Electrical Equipment	173
Celling fans	155	Emergency generator	9
Chairs	90	Emergency power systems	5
Chiller	8	Emergency Ward	25
Clevises	128	Entrance canopies	146
Collapse	3,4,7,8	Essential Services	14
Common Fasteners	167	Evacuations	12
Compressed-gas Cylinders	137	Example Calculations for Engineers	179
Computer central processing units (CPUs)	84	Eyewitness account	3
Computers	83	Falling objects	9
Concrete screws	80	False or suspended ceiling	59
Conduits and Electrical Distribution	131	Fiber-reinforced polymer or microconcrete	152
Continuous Service	14	Fibre-glass or plastic tanks	141
Cost of fixing Hazards	14	File Cabinets	79
Counterweights	161	Fires	7
Couplings	131	Fixed-base lift motors and generators	164
Crash carts	87	Flexible connections	54
Critical care patients	4	Flexible Connectors	173
Critical safety category	14	Flooding	9

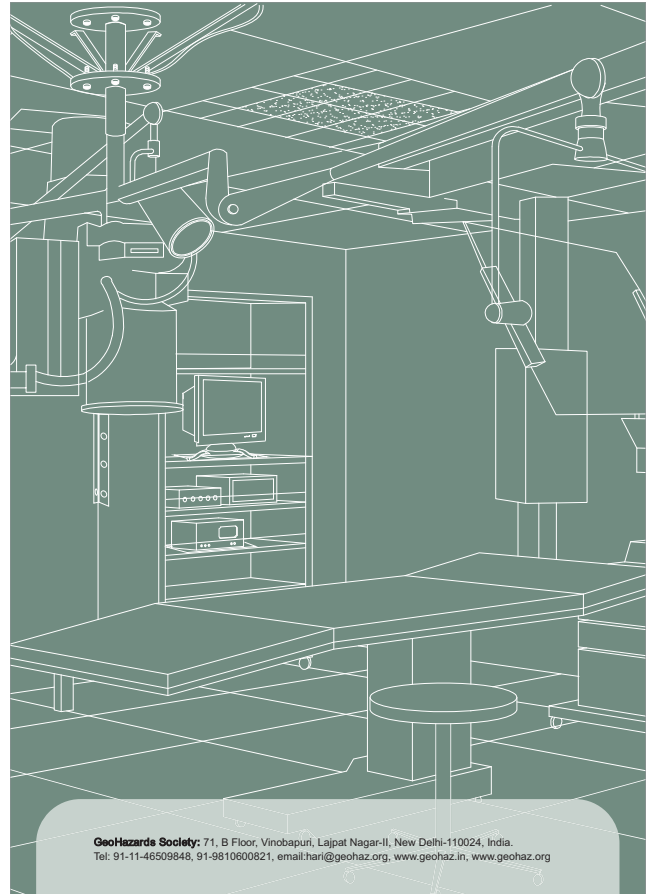
185

Floor Mounted Equipment	178	Objects Typically Found in Major Rooms	6,16
Furnishings	4	Offsite backup	83
Furnishings and Hospital Administrative Systems	76	Olive View Medical Center	8
Guidelines for Mechanical Systems	178	Operating tables	52
Hazard Hunt	13	Operation Theatre	59
Hazard Hunt Checklist	165	Operation Theatre Lights	17
Hazardous fuel spills	143	Parapets	147
Heat	96	Partial-height masonry walls	151
Horizontally-Oriented Cylindrical Tanks	143	Pendant light fixtures	155
Hospital emergency preparedness committee	5	Pharmaceuticals	91
Hospital Emergency Preparedness Committee	13	Pharmacy	91
Hospital Seismic Safety Act	8	Physical Plant	47, 49
How to Determine Your Earthquake Hazard	12	Piping	125-129
How to properly install fasteners	1, 67, 171	Plain glass	157
How to Properly Install Restraints for Computers	172	Preparedness program	5
Imaging and Scanning Units	63	Printers	83
Information and Technical Resources for Engineers	173	Prioritizing Hazard Reduction Activities	14
Intensive Care Unit (ICU)	23	Rack for cylinders	138
IS 1893	173	Racks	89
Jalies	146	Radiant Warmers	65
Laboratory Bench-mounted Equipment	71	Radiation	63
Large Pipes	129	Radiology Department	19
L-brackets	168	Relocating Furniture, Contents and Equipment	13
Life support systems	5	Restraints	52
Lift core	162	Roller mounted equipment	52
Lift Motors and Generators	163	Rooftop Water Tanks	141
Lift Rail Systems	161	Scanning and imaging machines	63
Lifts	8, 160	Seismic separation or joint	11
Loss of community confidence	9	Seismic zoning map	12
Loss of function	9,10	Self-adhesive straps	84
Loss of Life	9	Shelf lip or rail	88
Loss of Property/Money	9,10	Shelf restraints	90
Magnetic latch	66	Shelving	81
Masonry Partition Walls	151	Short column" or "captive column" effect	151
Masonry plugs	80, 168	Single wythe wall	171
Mechanical and Electrical Equipment	96	Small Suspended Pipes	127
Medical Equipment	52	Small Wall-mounted Equipment	69
Medical gas storage systems	136	Soil	11
Medical Records Room	33, 81	Spills and breakage	88
Medical Records Storage	81	Standard Operating Procedures (SOPs)	13
Medical supplies	12, 91	Sterile Storage	93
Monitors	57	Sterile storage racks	42, 94
Mounting hardware	70, 168	Sterilization Room	41
MRI machines	64	Sterilizers	53
Neonatal Intensive Care Unit (NICU)	27	Straps or hold-downs	55
Non-loadbearing walls	151	Structural support frame	144
Non-structural components	4	Sunshades	149
Nurses' Station	35	Supplies	86

Supplies on Racks	89
Supplies on Trolleys	87
Suspended (False) Ceilings	153
Suspended pipe hangers	175
Systems for pipes and conduits	174
Tanks and Medical Gases	136 - 140
Tether	66
Trolleys	67, 87
Ventilators	61
Vulnerability Atlas of India	12
What to Expect After an Earthquake	12
Wheeled or Trolley-mounted Equipment	67
Windows and Glass	157
BIS Bureau of Indian Standards	183
BMTPC Building Materials Technology	183
CT Computed Tomography	183
DDMA Delhi Disaster Management Authority	183
FEMA Federal Emergency Management	183
GSDMA Gujarat State Disaster Management Authority	183
GSI Geological Survey of India	183
ICU Intensive Care Unit	183
IIT Indian Institute of Technology	183
IS Indian Standard	183
MRI Magnetic Resonance Imaging	183
NDMA National Disaster Management Authority	183
NICU Neonatal Intensive Care Unit	183
OSHPD Office of Statewide Health Planning	183
OT Operation Theatre	183
USGS United States Geological Survey	183
Promotion Council	183
Agency (United States)	183
and Development (U.S. State of California)	183

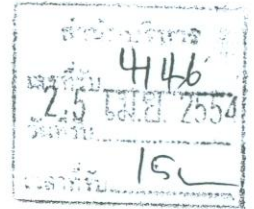


Reducing Earthquake Risks in Hospitals





บันทึกข้อความ



27 / 4

ส่วนราชการ กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ โทร. ๐๒๕๕๐-๑๘๕๙
 ที่ สธ ๐๗๐๓ / ๕๐๒ วันที่ ๒๕ เมษายน ๒๕๕๔
 เรื่อง ขออนุมัติจัดโครงการอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)”



เรียน อธิบดีกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ (ผ่านผู้อำนวยการสำนักบริหาร)

ความเป็นมา

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการใช้พลังงานที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง และการผลิตกระแสไฟฟ้า การเผาผลาญพลังงานดังกล่าวทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในปริมาณมาก ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่งผลกระทบให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ปัญหาผลกระทบเป็นพิษภัยพิบัติทางธรรมชาติรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากขึ้นและถี่ขึ้น ในช่วงปีที่ผ่านมา ได้เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงเกิดขึ้นในต่างประเทศรอบบ้านเรา บางครั้งรับรู้ถึงการสั่นไหวได้หลายจังหวัดในประเทศไทย

โรงพยาบาลเป็นหน่วยงานสำคัญ ต้องมีอาคารเพื่อรองรับผู้ได้รับผู้บาดเจ็บภายหลังจากการเกิดภัยพิบัติต่างๆ แพทย์ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และประชาชนต้องมีความเชื่อมั่นต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร กองแบบแผน ตระหนักถึงภัยพิบัติจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว และการเตรียมความพร้อมเพื่อลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น และตระหนักถึงสาเหตุหนึ่งที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้ากันอย่างฟุ่มเฟือย จึงจัดทำโครงการอบรมสัมมนาวิชาการ เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)” ถ่ายทอดแก่ผู้บริหารของหน่วยงานและโรงพยาบาล ในพื้นที่กลุ่มเสี่ยง เพื่อให้ตื่นตัวรู้ทันและเตรียมพร้อมต่อสถานการณ์การเกิดแผ่นดินไหว และพร้อมกันนี้ได้จัดให้มีการถ่ายทอดความรู้เรื่อง “การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคาร” เพื่อเป็นการส่งเสริมตามแนวนโยบายของรัฐ เพื่อให้เกิดพลังร่วมมือกันในการประหยัดพลังงาน ช่วยลดผลกระทบด้านมลพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อพิจารณา

กองแบบแผนจึงขออนุมัติ จัดทำโครงการอบรมสัมมนาวิชาการ เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)” AWARENESS AND PREPARATION FOR EARTHQUAKE SCENARIOS ในระหว่างวันที่ ๘-๑๐ มิถุนายน ๒๕๕๔ ณ โรงแรม มิวราเคิล

แกรนด์ ...

แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร โดยเบิกค่าใช้จ่ายในการนี้จากงบประมาณ โครงการ
ออกแบบ ค๑ รหัสแผน BPO๑๒๐๑๐๑-๑๓๕ รหัสงบประมาณ ๓๐-๑๑๒-P๐๑๒-๐๑ รหัส
GFMIS ๒๑๐๐๗๑๐๐๐F๔๒๕๒ ดังรายละเอียดโครงการที่แนบมา

ข้อเสนอ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาเห็นชอบ ขอตได้โปรดอนุมัติดังต่อไปนี้ด้วย จะเป็น
พระคุณ

๑. อนุมัติจัดโครงการอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง“ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก
(แผ่นดินไหว)” ระหว่างวันที่ ๘ - ๑๐ มิถุนายน ๒๕๕๔
๒. ลงนามเห็นชอบอนุมัติโครงการอบรมสัมมนาวิชาการฯ ที่แนบมา




นายอิสระ กิจเกื้อกุล
ผู้อำนวยการกองแบบแผน

อนุมัติ
ลงนามแล้ว



(นายประสาท ตราচারัตพิชัย)
ผู้อำนวยการสำนักบริหาร
๒๕ เม.ย. ๒๕๕๔

น.ค. 
(บุญเรือง ไตรเรืองวรวัฒน์)
รองอธิบดี ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ
๒๖ เม.ย. ๒๕๕๔

โครงการอบรมสัมมนาวิชาการ

เรื่อง

“ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)”

AWARENESS AND PREPARATION FOR EARTHQUAKE SCENARIOS

๑. หลักการและเหตุผล

โลกในช่วงเวลาที่ผ่านมาเป็นสังคมที่มีการบริโภคทรัพยากรกันอย่างฟุ่มเฟือย มีการใช้พลังงานที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้า การเผาผลาญพลังงานดังกล่าวทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในปริมาณมาก ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่งผลกระทบให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ปัญหามลภาวะเป็นพิษ ภัยพิบัติทางธรรมชาติรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากขึ้น และถี่ขึ้น ในช่วงปีที่ผ่านมาได้เกิดแผ่นดินไหวรุนแรงเกิดขึ้นในต่างประเทศรอบบ้านเราหลายครั้ง เช่น ประเทศเฮติ เมืองไคร์สเชิร์ต ประเทศนิวซีแลนด์ มณฑลยูนนาน ประเทศจีน การเกิดแผ่นดินไหวและคลื่นสึนามิที่เมืองเซนได ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งในแต่ละครั้งได้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตของมนุษย์เป็นจำนวนมาก และการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยพม่า เมื่อวันที่ ๒๔ มีนาคม ๒๕๕๔ รับรู้ถึงการสั่นไหวได้หลายจังหวัดในประเทศไทย ปัจจุบันภัยพิบัติต่างๆมีผลกระทบโดยตรงต่อประเทศไทยอาทิเช่น สภาพอากาศแปรปรวนรุนแรง การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล และแผ่นดินไหว จากตารางสถิติแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย แม้ว่ายังไม่พบความเสียหายรุนแรง แต่ทำให้สัมผัสได้ว่าภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวนั้นอยู่ใกล้ตัวมากกว่าก่อน จึงควรตระหนักและเตรียมพร้อมให้มากขึ้น

สถิติแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย				
วันที่	เวลา	ขนาด / ความรุนแรง	ศูนย์กลาง / ตำแหน่งที่รู้สึก	บันทึกเหตุการณ์
๖ เมษายน ๒๕๕๔	๒๐:๕๗	๓.๙	ประเทศลาว ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของ อ.แม่สาย จ.เชียงราย ประมาณ ๔๗ กม.	รู้สึกสั่นไหวได้หลายจังหวัด ในประเทศไทย
๒๔ มีนาคม ๒๕๕๔	๒๐:๕๕	๖.๗	ประเทศพม่า ทางทิศเหนือ อ.แม่สาย จ.เชียงราย ประมาณ ๕๖ กิโลเมตร	รู้สึกสั่นไหวได้หลายจังหวัด ในประเทศไทย และกทม.
๒๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๔	๒๒:๕๓	๕.๓	ประเทศลาว ห่างจาก อ.เมือง จ.น่าน ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ ๑๐๐กม	รู้สึกสั่นไหวได้หลายจังหวัด เช่น เลย น่าน แพร่ อุตรดิตถ์ หนองคายและหนองบัวลำภู
๖ กรกฎาคม	๒๒:๒๓	๔.๕	ประเทศพม่า ห่างจาก อ.แม่สาย จ.	รู้สึกสั่นไหวได้ทั่วไปบริเวณ อ.แม่

๒๕๕๓			เชียงราย ทางทิศตะวันตก ประมาณ ๖ กม. (๒๐.๔๒N,๙๙.๘๓E)	สาย อ.แม่จัน อ.แม่ฟ้าหลวง อ. เชียงแสน และ อ.เมือง จ. เชียงราย
๙ พฤษภาคม ๒๕๕๓	๑๙:๕๙	๗.๓	ชายฝั่งตอนเหนือของเกาะสุมาตรา อินโด ๗ (๓.๕๙N,๙๖.๐๔E)	รู้สึกสั่นไหวได้บนอาคารสูงบาง แห่งใน จ.ภูเก็ต, จ.พังงา, จ.สุราษฎร์ธานี, จ.สงขลา และ กทม.
๕ เม.ย. ๒๕๕๓	๐๖:๔๒:๕๒	๓.๕	อ.เวียงชัย จ.เชียงราย (๑๙.๙๔N,๙๙.๙๕E)	รู้สึกสั่นไหวบริเวณ อ.เมือง จ. เชียงราย
๒๐ มี.ค. ๕๓	๐๒:๕๓	๕.๐	ประเทศพม่า ห่างจากพรมแดนไทย(แม่สาย) ประมาณ ๘๐ กิโลเมตร ๒๑.๒ N ๑๐๐.๓ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ จ.เชียงราย
๓๐ ก.ย.๕๒	๑๗.๑๖ น.	๗.๙	ตอนกลางเกาะสุมาตรา ๑.๑S ๙๙.๑E	รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงในกรุงเทพฯ ประเทศอินโดนีเซียมีผู้เสียชีวิต ประมาณ ๑๐๐๐ คน
๒๓ ธ.ค.๕๑	๑๓.๓๘ น.	๔.๑	อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี ๘.๖๕ N ๙๘.๙๙ E	รู้สึกสั่นไหวในบริเวณ อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี
๒๒ ก.ย.๕๑	๒๐.๓๐ น.	๕.๒	ชายฝั่งตอนใต้ของพม่า ๑๕.๗ N ๙๖.๒ E	รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงหลายแห่งใน กรุงเทพฯ
๒๑ ส.ค.๕๑	๑๙.๒๔ น.	๕.๗	พรมแดนพม่า-จีน ๒๕.๑ N ๙๗.๘๒ E	รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงในกรุงเทพฯ หลายแห่ง ประเทศจีนมีผู้เสียชีวิต ๑ คน บาดเจ็บหลายคน
๑ ก.ค.๕๑	๑๖.๔๕ น.	๓.๘	อ.พร้าว เชียงใหม่ ๑๙.๒๖ N ๙๙.๒๔ E	รู้สึกสั่นไหวได้ที่ จ.เชียงใหม่
๑๒ พ.ค.๕๑	๑๓.๒๗ น.	๗.๘	มณฑลเสฉวน ,จีน ๓๑.๗ N ๑๐๒.๗ E	รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงในกรุงเทพฯ หลายแห่ง ประเทศจีนมีผู้เสียชีวิต ประมาณ ๒๐,๐๐๐ คน
๒๒ เม.ย.๕๑	๐๒.๓๑ น.	๓.๙	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ๑๘.๘๙N ๙๘.๙๗E	รู้สึกสั่นไหวได้ที่ อ.แม่ริม จ. เชียงใหม่
๒๐ ก.พ.๕๑	๑๕.๐๕ น.	๗.๕	ตอนเหนือเกาะสุมาตรา ๒.๗๐N ๙๕.๙๐E	รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงในกรุงเทพฯ และจ.ภูเก็ต อาจเกิดสึนามิขนาดเล็กบริเวณใกล้ศูนย์กลาง
๒๘ ธ.ค. ๒๕๕๐	๑๒.๒๔ น.	๕.๗	ตอนเหนือของสุมาตรา ๕.๔๒ N ๙๕.๙๑E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้บนอาคารสูง จ. ภูเก็ต จ.พังงา
๒ พ.ย. ๒๕๕๐	๐๒.๐๕ น.	๕.๗	พรมแดนพม่า-ลาว-จีน ๒๑.๕๗ N ๑๐๐.๙๒ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ จ.เชียงราย
๑๖ ต.ค. ๒๕๕๐	๑๓.๔๗ น.	๕.๐	ตอนเหนือของลาว ๒๐.๘๔ N ๑๐๐.๙๓ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ จ.เชียงราย
๑๓ ก.ย. ๒๕๕๐	๑๐.๓๕ น.	๗.๑	ตอนใต้ของสุมาตรา ๒.๖๕ S ๙๙.๘๗ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ บนอาคารสูง บางแห่ง ในกรุงเทพมหานคร

๑๒ ก.ย. ๒๕๕๐	๑๘.๑๐ น.	๘.๔	ตอนใต้ของสุมาตรา ๓.๘ S ๑๐๒.๐ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้บนอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร
๒๓ มิ.ย. ๒๕๕๐	๑๕.๑๗,๑๕.๒๗ น.	๕.๕,๕.๒	พม่า ๒๑.๒๗ N ๙๙.๘๒ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.เชียงแสน จ.เชียงราย และอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร
๑๙ มิ.ย. ๒๕๕๐	๑๒.๐๖ น.	๔.๕	อ.แมริม จ.เชียงใหม่ ๑๘.๙ N ๙๙.๐ E	รู้สึกสั่นสะเทือนได้ที่ อ.แมริม จ.เชียงใหม่ และ จ.ลำพูน

ข้อมูลจาก สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา

ภัยพิบัติจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศเฮติ ขนาด ๗.๓ ริกเตอร์ มีผู้เสียชีวิตสูงถึง ๑.๕ แสนคน ในขณะที่ประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นประเทศที่ตื่นตัวและเตรียมพร้อมต่อสถานการณ์แผ่นดินไหวอันดับต้นๆของโลก ล่าสุดมีแผ่นดินไหวขนาด ๘.๙ ริกเตอร์ และถูกคลื่นซึนามิซ้ำเติม แต่มีผู้เสียชีวิตเพียงหมื่นกว่าคน แสดงให้เห็นว่าการเตรียมความพร้อมช่วยลดอัตราการสูญเสียได้มาก ในอนาคตหากประเทศไทยต้องเผชิญกับกรณีภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว รุนแรงกว่าที่เคยผ่านมา ไม่ว่าจะเกิดที่ภาคส่วนใดของประเทศ อาคารของโรงพยาบาลในพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติดังกล่าว ต้องมีความพร้อมที่สามารถทนทานต่อแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวเพื่อห้วงเวลาความเสียหายของโครงสร้างให้สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเครื่องมือแพทย์ได้อย่างปลอดภัย หรือทำให้อาคารดังกล่าวเกิดความเสียหายน้อยที่สุดเพื่อให้สามารถรองรับผู้บาดเจ็บจากกรณีภัยพิบัติได้ การเตรียมอาคารให้มีความพร้อมต่อการต้านทานแผ่นดินไหวจึงถือเป็นเรื่องสำคัญมาก ต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก การลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ต้องเริ่มต้นที่การถ่ายทอดความรู้ที่สำคัญให้แก่หน่วยงานและโรงพยาบาล เพื่อให้มีความตื่นตัว นำความรู้ไปบริหารจัดการเตรียมอาคารให้พร้อมในการรับมือกับสถานการณ์แผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้น

เรื่องสำคัญอีกเรื่องหนึ่งที่กล่าวมาแล้วคือ การใช้พลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการทำให้เกิดสถานะโลกร้อนและภัยพิบัติต่างๆตามมา พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยมีกำลังการผลิตมาจากเชื้อเพลิงที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งที่เป็นก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและน้ำมัน ถึงร้อยละ ๙๒ จากพลังงานน้ำร้อยละ ๕ และจากพลังงานอื่นๆร้อยละ ๓ จึงควรหันมาให้ความสำคัญในการบริหารจัดการพลังงาน การรวมพลังร่วมมือช่วยกันลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้ความร่วมมือกัน โรงพยาบาลจัดเป็นหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเป็นอันดับต้นๆของประเทศ หากทุกๆโรงพยาบาลพร้อมใจกันช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง จะส่งผลในภาพรวมให้เห็นเป็นรูปธรรม ช่วยลดต้นทุนการสำรองพลังงานไฟฟ้าของประเทศ ส่งผลโดยตรงต่ออนุรักษ์พลังงานจากธรรมชาติ และช่วยลดมลภาวะมลพิษที่ส่งผลให้เกิดภัยพิบัติต่างๆตามมา

กองแบบแผน ตระหนักถึงความสำคัญของหลักการและเหตุผลดังกล่าว จึงจัดทำโครงการอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)” ถ่ายทอดแก่ผู้บริหารของหน่วยราชการสำคัญ อาทิ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด โรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป ในพื้นที่กลุ่มเสี่ยง เพื่อให้ตื่นตัวรู้ทันและเตรียมพร้อมต่อสถานการณ์การเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งหน่วยราชการดังกล่าวส่วนใหญ่มีอาคารสูงตั้งแต่ ๓ ชั้นขึ้นไป มีอายุการใช้งานมานาน และส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกออกแบบให้ต้านทานต่อแรงสั่นสะเทือนจาก

แผ่นดินไหว และพร้อมกันนี้ได้จัดให้มีการถ่ายทอดความรู้เรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคาร เพื่อเป็นการส่งเสริมตามแนวนโยบายของรัฐที่กำหนดตัวชี้วัด “ระดับความสำเร็จของการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน” เป็นหนึ่งในกรอบการประเมินผลการปฏิบัติราชการของส่วนราชการ เพื่อให้เกิดพลังร่วมมือกันในการประหยัดพลังงาน ช่วยลดผลกระทบต่อด้านมลพิษและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

๒. วัตถุประสงค์

- ๒.๑ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เข้ารับการอบรมสัมมนาได้รับการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับแผ่นดินไหว และการเตรียมอาคารอย่างไรให้พร้อมในการรับมือกับสถานการณ์แผ่นดินไหว ตามหัวข้อการอบรมที่กำหนด
- ๒.๒ เมื่อผู้เข้ารับการอบรมได้รับความรู้ตามหัวข้อที่กำหนดแล้ว ที่ประชุมสัมมนาร่วมกันหาข้อสรุปกำหนดแนวทางการดำเนินการในอนาคต สรุปเป็นข้อมูลเพื่อการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง
- ๒.๓ เพื่อส่งเสริมให้กลุ่มเป้าหมายมีการลดปริมาณการใช้พลังงานในหน่วยงาน

๓. เป้าหมาย

เจ้าหน้าที่กองแบบแผน ผู้ตรวจราชการกระทรวงสาธารณสุข ผู้บริหารและผู้ที่เกี่ยวข้องในสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด โรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลทั่วไป จำนวน ๓๐๐ คน

๔. กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินการ

- ๔.๑ แต่งตั้งคณะทำงาน
- ๔.๒ จัดทำแผนการดำเนินการโครงการอบรมสัมมนา
 - ๔.๒.๑ จัดทำกำหนดการอบรม
 - ๔.๒.๒ จัดเตรียมสถานที่อบรม
 - ๔.๒.๓ จัดทำการประชาสัมพันธ์
 - ๔.๒.๔ จัดทำแบบตอบ-รับการเข้าร่วมอบรม
 - ๔.๒.๕ จัดเตรียมเอกสารการอบรมและการประเมิน
- ๔.๓ จัดประชุมอบรมสัมมนาเชิงวิชาการ
- ๔.๔ ประเมิน สรุปผลดำเนินงาน
- ๔.๕ จัดทำรายงานผลการดำเนินการ

๕. ขั้นตอนและระยะเวลาการทำงาน

วันที่ ๘ มิถุนายน ๒๕๕๔ คณะทำงานเตรียมความพร้อมของสถานที่อบรม
วันที่ ๙ - ๑๐ มิถุนายน ๒๕๕๔ ดำเนินการอบรมสัมมนา

๖. งบประมาณ

เบิกจ่ายจากหน่วยงานต้นสังกัดของผู้เข้ารับการอบรม ดังนี้

- ๖.๑ ค่าใช้จ่ายในส่วนของผู้เข้ารับการอบรม และค่าใช้จ่ายในการเตรียมงาน ใช้งบประมาณ ๑๖๓,๘๐๐ บาท (หนึ่งแสนหกหมื่นสามพันแปดร้อยบาท) จากโครงการออกแบบ รหัส ศด
รหัสแผน BPO๑๒๐๑๐๑-๑๓๕

รหัสงบประมาณ ๓๐-๑๑๒-P๐๑๒-๐๑

รหัสGFMIS ๒๑๐๐๗๑๐๐๐F๔๒๕๒

ค่าจัดทำเอกสาร	๘๐,๐๐๐ บาท
ค่าจ้างทำเอกสารวิชาการสำหรับจัดทำกระดานวิชาการและประชาสัมพันธ์	๑๕,๐๐๐ บาท
ค่าใช้จ่ายในการบันทึกภาพและเสียง	๓,๐๐๐ บาท
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	๓,๐๐๐ บาท
ค่าที่พักคณะทำงาน ๑๒คน (๗๐๐บาท x ๑๒คน)	๑๖,๘๐๐ บาท
ค่าอาหาร อาหารว่างและเครื่องดื่ม คณะทำงาน ๔๖ คน (ประชุมวันแรก ๖๕๐บาทx๑วันx๔๖คน) (ประชุมวันที่สอง ๓๕๐บาทx๑วันx๔๖คน)	๔๖,๐๐๐ บาท
รวมประมาณการงบประมาณ	๑๖๓,๘๐๐ บาท

๖.๒ ค่าเบี้ยเลี้ยง และค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้เข้ารับการอบรมจากภูมิลำเนาต้นสังกัดถึงสถานที่อบรม ไป-กลับ เบิกจ่ายตามจริงจากต้นสังกัด

๖.๓ ค่าลงทะเบียน เก็บจากผู้เข้ารับการอบรม เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ วันที่ ๙ - ๑๐ มิถุนายน ๒๕๕๔ เรียกเก็บคนละ ๓,๒๐๐บาท (สามพันสองร้อยบาท)

๖.๒.๑. ค่าเช่าที่พัก

๖.๒.๒. ค่าอาหาร

๖.๒.๓. ค่าอาหารว่าง และเครื่องดื่ม

๖.๒.๔. ค่าสมนาคุณวิทยากรและวัสดุอุปกรณ์การอบรม

โดยค่าใช้จ่ายในการจัดการฝึกอบรมเป็นไปตาม “ระเบียบกระทรวงการคลัง” ว่าด้วยค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรม การจัดงาน และการประชุมระหว่างประเทศ พ.ศ.๒๕๔๙

๗. ผลผลิตและตัวชี้วัด

๗.๑ ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้ตามหัวข้อการอบรม

๗.๒ ความพึงพอใจของผู้เข้ารับการอบรม

๘. เกณฑ์การประเมินโครงการ

ร้อยละความสำเร็จตามตัวชี้วัด ๗.๑

ระดับ ๑	ระดับ ๒	ระดับ ๓	ระดับ ๔	ระดับ ๕
ร้อยละ ๖๐	ร้อยละ ๗๐	ร้อยละ ๘๐	ร้อยละ ๙๐	ร้อยละ ๑๐๐

ร้อยละความสำเร็จตามตัวชี้วัด ๗.๒

ระดับ ๑	ระดับ ๒	ระดับ ๓	ระดับ ๔	ระดับ ๕
ร้อยละ ๖๐	ร้อยละ ๗๐	ร้อยละ ๘๐	ร้อยละ ๙๐	ร้อยละ ๑๐๐

๙. หน่วยงานที่รับผิดชอบ

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข

๑๐. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

๑๐.๑ ผู้เข้าอบรมได้รับความรู้เกี่ยวกับสถานะการณ์แผ่นดินไหว ตามหัวข้อที่กำหนด

๑๕/๖

- ๑๐.๒ ที่ประชุมสัมมนาร่วมกันหาข้อสรุปแนวทางการดำเนินการในอนาคต สรุปเป็นข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ
ของผู้บริหารระดับสูง
- ๑๐.๓ สร้างความตระหนักถึงสาเหตุของการเกิดภัยพิบัติ และผลกระทบจากกรณีเกิดภัยพิบัติแผ่นดินไหว
อันอาจจะเป็นการส่งผลถึงการลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและเสียชีวิตของบุคคลที่อยู่ในเหตุการณ์
ลดความเสียหายของอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่อยู่ในอาคารที่อาจเกิดขึ้นจากกรณีแผ่นดินไหว
- ๑๐.๔ ผู้เข้าอบรมได้รับความรู้ด้านการบริหารจัดการเพื่อการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร
- ๑๐.๕ ช่วยกระตุ้นจิตสำนึกต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงาน การลดมลพิษ และการเป็นมิตร
ต่อสิ่งแวดล้อม

ผู้เสนอโครงการ ลงชื่อ



(นายชาติรี ปัญญาพรวิทยา)
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

ผู้เห็นชอบโครงการ ลงชื่อ



(นายอิสระ กิจเกื้อกุล)
ผู้อำนวยการกองแบบแผน

ผู้อนุมัติโครงการ ลงชื่อ

น.ต.



(บุญเรือง ไตรเรืองวรวัฒน์)

รองอธิบดี ปฏิบัติราชการแทน
อธิบดีกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ



คำสั่งกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ

ที่ ๗๑ /๒๕๕๔

แต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำโครงการสัมมนาวิชาการ

เรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)”

AWARENESS AND PREPARATION FOR EARTHQUAKE SCENARIOS

เนื่องจากในช่วงที่ผ่านมามีการใช้ทรัพยากรกันอย่างฟุ่มเฟือย ส่งผลกระทบให้เกิดสภาวะโลกร้อน เกิดปัญหาหมอกควันเป็นพิษ เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากขึ้น กองแบบแผน ได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้จัดโครงการสัมมนาวิชาการเรื่อง “ตื่นตัว เตรียมพร้อม ภัยพิบัติเขย่าโลก (แผ่นดินไหว)” AWARENESS AND PREPARATION FOR EARTHQUAKE SCENARIOS เพื่อให้ความรู้กับผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของสถานบริการสุขภาพ และผู้มีความสนใจในเรื่องดังกล่าว ดังนั้น เพื่อให้โครงการสัมมนาวิชาการดังกล่าว สำเร็จตามวัตถุประสงค์ กองแบบแผน จึงแต่งตั้งคณะกรรมการประกอบด้วย

๑. นายอิสระ	กิจเกื้อกูล	ที่ปรึกษาโครงการ
๒. นายเชียรพรรณ	ธนูบรรพ์ภากร	ที่ปรึกษาโครงการ
๓. นายภูวดล	พัฒนภักดี	ที่ปรึกษาโครงการ
๔. นายวิโรจน์	นรไกร	ที่ปรึกษาโครงการ
๕. นายสุเทพ	ลิมพุทธอักษร	ที่ปรึกษาโครงการ
๖. นายเสรี	ลาภยุดิธรรม	ที่ปรึกษาโครงการ
๗. นายพล	วังส์दान	ที่ปรึกษาโครงการ
๘. นายกำพล	สุลีสถิต	ที่ปรึกษาโครงการ
๙. นายวุฒิพร	อัมระนันท์	ที่ปรึกษาโครงการ
๑๐. นายสมชาติ	ตันติรุ่งกิจ	ที่ปรึกษาโครงการ
๑๑. นายชาติรี	ปัญญาพรวิทยา	ประธานคณะกรรมการ
๑๒. นายสมศักดิ์	อัคนวเสวี	คณะกรรมการ
๑๓. นายสรารุช	งามผ่องใส	คณะกรรมการ
๑๔. นายพงศ์พันธุ์	จิวิสุวรรณ	คณะกรรมการ
๑๕. นายสายัณห์	ด้วงผึ้ง	คณะกรรมการ
๑๖. นายนิรันดร์	คชรัตน์	คณะกรรมการ
๑๗. นายพรกฤษณ์	แท่นแก้ว	คณะกรรมการ
๑๘. นายจวน	นาคนิยม	คณะกรรมการ

๑๙.นายวินัย	บานเพียร	คณะทำงาน
๒๐.นายเศรษฐสิทธิ์	พจนศึกษากุล	คณะทำงาน
๒๑.นายรัชชัย	พูนแก้ว	คณะทำงาน
๒๒.นายเจตสิทธิ์	รุ่งศิริศราวังศ์	คณะทำงาน
๒๓.นายอุดมศักดิ์	เฟื่อนเผ่างาม	คณะทำงาน
๒๔.นายไพรัช	พงศธรกุล	คณะทำงาน
๒๕.นายวรสิทธิ์	พันธ์เกษร	คณะทำงาน
๒๖.นางวัชรภรณ์	งามผ่องใส	คณะทำงาน
๒๗.นายเฉลิมพงษ์	เนตรพรหม	คณะทำงาน
๒๘.นายปรีชา	น่วมทงค์	คณะทำงาน
๒๙.นางพนมกร	หาระบุตร	คณะทำงาน
๓๐.นายธารินทร์	บุญยิ่งเหลือ	คณะทำงาน
๓๑.น.ส.นงลักษณ์	ควรเจริญ	คณะทำงาน
๓๒.นายอนิวัฒน์	อารีย์กิจ	คณะทำงาน
๓๓.นายบุสโร	เจ๊ะแซ	คณะทำงาน
๓๔.นางกานดา	หาญโรจนกุล	คณะทำงาน
๓๕.นางอำพรรณ	ทองทวี	คณะทำงาน
๓๖.นางสุภัทรา	แดงพวงไพบูลย์	คณะทำงาน
๓๗.น.ส.ทิพวรรณ	รักแจ้ง	คณะทำงาน
๓๘.นายขวัญชัย	บุญมาพาด	คณะทำงาน
๓๙.น.ส.สุดใจ	น้อมบุญ	คณะทำงาน
๔๐.น.ส.ผกามาศ	ฟองโกลัย	คณะทำงาน
๔๑.น.ส.อุไรวรรณ	ชูพุล	คณะทำงาน
๔๒.น.ส.ชูชื่น	อรัญพฤษ์	คณะทำงาน
๔๓.นายวรวิษญ์	สิงหนาท	คณะทำงานและเลขานุการ
๔๔.น.ส.จารุวัลย์	สมานอารีย์	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
๔๕.นางจันทร์ฉาย	คำสุข	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
๔๖.น.ส.เบญจวรรณ	จันทร์ภักดี	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๒ เมษายน พ.ศ.๒๕๕๔


(นายอิสระ กิจเกื้อกุล)
ผู้อำนวยการกองแบบแผน