

รายงานการศึกษา

โครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทาง
การสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

A Study and Development of a Guideline to Establish
a Net Zero Energy Public Health Facility Building Prototype

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข
กันยายน 2558

บทสรุปโครงการสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary

โครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

A Study and Development of a Guideline to Establish a Net Zero Energy Public Health Facility Building Prototype

การศึกษาเรื่องนี้มีความสำคัญเพื่อ กำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ในประเทศไทย โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บทใหญ่ ได้แก่ **บทที่ 1** ปรากฏการณ์โลกร้อน การใช้พลังงานของสถานบริการสุขภาพภาครัฐ และอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ ซึ่งกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของโครงการ อันได้แก่ ปรากฏการณ์โลกร้อน ปัญหาที่เกิดจากการใช้พลังงานที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานในสถานบริการภาครัฐ ที่มีความเข้มข้นการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity: EUI) เฉลี่ยสูงถึง 136.34 kWh ต่อตารางเมตร โดยทางออกหนึ่งของปัญหานี้คือการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐตามแนวคิด **อาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Buildings: NZEB)** ซึ่งหมายถึง อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูง (ประหยัดพลังงาน) และสามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน (เช่น รั้วลวดหนาม พลังงานลม ฯลฯ) ได้อย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ถูกใช้ในอาคาร โดยในบทที่ 1 นี้จะกล่าวถึงความหมาย นิยามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ NZEB ซึ่งวิธีการที่จะทำให้อาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐเป็น NZEB ได้นั้นถูกแจกแจงรายละเอียดของวิธีการ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในเนื้อหาตั้งแต่บทที่ 2 ถึง บทที่ 4

โดย **บทที่ 2** อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB) นั้นได้อธิบายถึง อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน ว่ามีความหมายเป็นอย่างไร และมีวิธีการใดที่จะทำให้อาคารบรรลุถึงการมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน โดยเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงปัจจัย 8 ข้อ ที่เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้อาคารนั้นประหยัดพลังงาน **บทที่ 3** แหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy Sources: RES) ได้กล่าวถึงแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆ ที่จะสามารถนำมาใช้สร้างพลังงานสำหรับการใช้งานในอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐได้ โดยพบว่าแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้จริง คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ แบบซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon: p-Si / Multi-crystalline Silicon: mc-Si) และพลังงานลม ด้วยการใช้กังหันลมแนวแกนนอน (HAWT) หรือ แนวแกนตั้ง (VAWT) **บทที่ 4** กระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) เพื่อการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ เนื่องจากเป็นกระบวนการออกแบบที่สามารถทำให้ผู้ออกแบบอาคาร สามารถทราบถึงข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารที่ตนกำลังออกแบบ ตั้งแต่เป็นแบบร่างจนถึงทำแบบก่อสร้าง ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ฯลฯ รวมถึงทราบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนแบบเป็นอย่างไรจะมีการใช้พลังงานเปลี่ยนไปเป็นอย่างไร ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ โดยไม่ต้องรอให้อาคารสร้างเสร็จ โดยในบทที่ 4 นี้ได้กล่าวถึง ความหมายและวิธีการของ

กระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ด้วยการใช้งานโปรแกรม Autodesk Revit เพื่อ การวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้วยระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (Building Performance Simulation: BPS) ด้วยโปรแกรมที่ใช้การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud-based Energy-analysis Software) คือ Autodesk Green Building Studio (GBS) และ การปฏิบัติการร่วม (Interoperability) ระหว่างระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) กับระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) ด้วย โครงสร้างข้อมูล gbXML (Green Building XML Schema) เพื่อสนับสนุนให้กระบวนการออกแบบบูรณาการนั้นประสบความสำเร็จ รวมถึงได้กล่าวถึงการบริการทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ Acknowledgements

โครงการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์นี้ จัดทำขึ้นด้วยการได้รับทุนเพื่อดำเนินการ จากกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก คุณวิโรจน์ นรไกร สถาปนิกเชี่ยวชาญ กองแบบแผน ที่ปรึกษาโครงการ คุณวรมน ขำขนิษฐ ประธานเจ้าหน้าที่บริหารและผู้ร่วมก่อตั้ง บริษัท อิมแพค อิเลคตรอน สยาม จำกัด และ รศ.วิวัฒน์ อุดมพิติทรัพย์ ผู้เชี่ยวชาญระบบแบบจำลองสารสนเทศ (Autodesk Revit Certified Professional) ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ และเสนอถึงวิธีการแก้ปัญหาต่าง จนโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ ด้วยความอดทน และด้วยความเมตตา

คณะทำงานทุกคน ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวนามมานี้ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของโครงการนี้ แต่มิได้กล่าวนามไว้ทุกท่าน ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทสรุปโครงการสำหรับผู้บริหาร	i
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
สารบัญสมการ	ix
บทที่ 1 ปრაกฏการณ์โลกร้อน การใช้พลังงานของสถานบริการสุขภาพภาครัฐ และอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์	1
1.1 ปრაกฏการณ์โลกร้อน และการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย	1
1.2 การใช้พลังงานภาคอาคาร และการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลของรัฐ	1
1.3 อาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB)	2
1.4 ความหมาย ของอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์	2
1.5 แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์	3
1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์	4
บทที่ 2 อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB)	8
2.1 ความหมายของอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB)	8
2.2 ปัจจัยที่ทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน	8
2.3 ปัจจัยด้านสถานที่ตั้งอาคาร (Site)	8
2.4 ปัจจัยด้านรูปทรงอาคาร (Building Shape)	9
2.5 ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร (Orientation)	9
2.6 ปัจจัยด้านลักษณะกรอบอาคาร (Building Envelope)	11
2.7 ปัจจัยด้านอุปกรณ์บังแดด (Shading on Buildings)	12
2.8 ปัจจัยด้านระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิถีธรรมชาติ (Passive Systems)	13
2.9 ปัจจัยด้านช่องเปิดกระจก (Glazing)	13
2.10 ปัจจัยด้านระบบแสงสว่าง (Lighting)	16
บทที่ 3 แหล่งพลังงานทดแทน	19
3.1 พลังงานแสงอาทิตย์	19
3.2 พลังงานน้ำ	22

สารบัญ (ต่อ)

หัวเรื่อง	หน้า
3.3 พลังงานลม	23
3.4 พลังงานชีวมวล	28
3.5 ระบบผลิตพลังงานร่วม	29
บทที่ 4 กระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) เพื่อการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์	36
4.1 ความหมายของ กระบวนการออกแบบบูรณาการ	36
4.2 การสร้างแบบจำลองอาคาร ด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร	38
4.3 การกำหนดระดับความละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศ	44
4.4 การวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้วยการปฏิบัติการร่วม (Interoperability) ระหว่างระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) กับระบบจำลองสมรรถนะ อาคาร (BPS)	46
4.5 การวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้วยระบบจำลองสมรรถนะอาคาร	48
4.6 ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) แบบการจำลองค่าพลังงานของอาคาร ทั้งหมด (Whole-Building Energy Simulation)	49
4.7 Autodesk Green Building Studio (GBS)	50
4.8 ระบบคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3-1	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุซับแสงในเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง	21
ตารางที่ 3-2	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติกังหันลมประเภท HAWT และ VAWT	24
ตารางที่ 3-3	สรุปข้อดี-ข้อเสีย-ต้นทุน การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานประเภทต่างๆ	29
ตารางที่ 4-1	สรุปความหมาย Level of Detail / Level of Development ในวรรณกรรมต่างๆ	44

สารบัญสมการ

ตารางที่		หน้า
สมการที่ 2-1	แบบจำลองหาความเหมาะสมของทิศทางการวางอาคาร สำหรับอาคารที่มีปัจจัยรูปร่างอาคาร ที่แตกต่างกัน	11
สมการที่ 2-2	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient: SC)	12

สารบัญภาพ

ตารางที่	หน้า	
รูปที่ 1-1	ขอบเขตระบบอาคาร (Building system boundary)	4
รูปที่ 1-2	ความเชื่อมโยงของอาคารกับระบบ Grids และแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	5
รูปที่ 2-1	เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์กับทิศทางหลักในประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย	10
รูปที่ 2-2	มุมทิศ (Azimuth)	10
รูปที่ 2-3	ระบบทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling)	13
รูปที่ 2-4	กลไกการเดินทางของแสง ผ่าน Angle-selective Glazing	15
รูปที่ 2-5	ตัวอย่าง Angle-selective Glazing ที่มีการติดตั้ง อุปกรณ์กำหนดมุมแสงส่องผ่าน (Angle-selective Devices) ที่เกิดภายในมีลักษณะโครงสร้างรูปร่างผึ้ง (Honeycomb Structure)	15
รูปที่ 3-1	กลไกการทำงาน ของวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำด้วยรูปแบบ Pump Storage	23
รูปที่ 3-2	ตัวอย่างโครงการ Pump Storage	23
รูปที่ 3-3	เปรียบเทียบกังหันลมแนวแกนนอน (HAWT) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT)	24
รูปที่ 3-4	แผนที่พลังงานลมเฉลี่ยรอบปี (ขณะลมสงบ) ประเทศไทย	25
รูปที่ 3-5	ลักษณะของกระแสลมที่ถูกเพิ่มความเร็วด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์	26
รูปที่ 3-6	ตัวอย่างอาคาร BIWT	27
รูปที่ 3-7	แผนภาพแสดงการทำงานของ Direct-fired Combustion Systems	29
รูปที่ 4-1	แผนภาพแสดงแนวความคิดกระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP)	36
รูปที่ 4-2	แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบแบบลำดับกับกระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP)	37
รูปที่ 4-3	โอกาสและต้นทุนในการปรับปรุงอาคาร ในช่วงขั้นตอนต่างๆในช่วงชีวิตอาคาร	37
รูปที่ 4-4	ประโยชน์ของการใช้งาน BIM ในกระบวนการออกแบบบูรณาการ	38
รูปที่ 4-5	ภาพอธิบายแนวคิดและประโยชน์ในการใช้ระบบ BIM	39
รูปที่ 4-6	ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม Autodesk Revit	40
รูปที่ 4-7	ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม ArchiCAD	40
รูปที่ 4-8	ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม MicroStation	41
รูปที่ 4-9	ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม Vectorwork	41
รูปที่ 4-10	แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746	42
รูปที่ 4-11	แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746	42
รูปที่ 4-12	แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างผนังในแบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746	43
รูปที่ 4-14 การแสดงตัวอย่างการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในระดับ Level of Development ตั้งแต่ 100 ถึง 500 ของแบบจำลองสารสนเทศเก้าอี้	45
รูปที่ 4-15 การแสดงตัวอย่างการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในระดับ Level of Detail ของแบบจำลองสารสนเทศเก้าอี้ตามการแบ่งระดับ AEC (UK) BIM Protocol	46
รูปที่ 4-16 กระบวนการใช้งานซอฟต์แวร์ Green Building Studio (GBS) เพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร (GBS Workflow)	51
รูปที่ 4-17 หน้าต่างการป้อนข้อมูลสถานที่ตั้งเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลสภาพอากาศ ในโปรแกรม Autodesk Revit	53
รูปที่ 4-18 ภาพวงกลมสภาพอากาศ (Weather Circle) ที่แสดงให้เห็นถึงแสดงรายละเอียดของ ค่าเมฆปกคลุมท้องฟ้า (Okta)	54
รูปที่ 4-19 กระบวนการใช้งานซอฟต์แวร์ Green Building Studio เพื่อการวิเคราะห์ สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารโดยการใช้องค์ประกอบอาคาร	55
รูปที่ 4-20 การตั้งค่าทางพลังงาน (Energy Settings) ในโปรแกรม Autodesk Revit	57
รูปที่ 4-21 หน้าต่างคำสั่งสร้าง แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model) ในโปรแกรม Autodesk Revit	58
รูปที่ 4-22 แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model) อาคารกลุ่มตัวอย่าง ในโปรแกรม Autodesk Revit	58
รูปที่ 4-23 แผงควบคุมการวิเคราะห์พลังงาน(Energy Analysis Panel) ในโปรแกรม Autodesk Revit	59
รูปที่ 4-24 หน้าจอแสดงผลการจำลองสมรรถนะอาคารใน Web Browser ของโปรแกรม GBS	59
รูปที่ 4-25 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS	60
รูปที่ 4-26 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS	60
รูปที่ 4-27 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS	61
รูปที่ 4-28 หน้าต่าง Home Page ของโปรแกรม PVWatts® Calculator	61
รูปที่ 4-29 หน้าต่างการตั้งค่าสถานที่ตั้งโครงการ ของโปรแกรม PVWatts® Calculator	62
รูปที่ 4-30 หน้าต่างการตั้งค่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ของโปรแกรม PVWatts® Calculator	62
รูปที่ 4-31 หน้าต่างการตั้งค่าคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม ของโปรแกรม Wind Turbine Comparison Calculator	63
รูปที่ 4-32 หน้าต่างการตั้งค่าคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมของโปรแกรม Online Wind Power Calculator	63

บทที่ 1

ปรากฏการณ์โลกร้อน การใช้พลังงานของสถานบริการสุขภาพภาครัฐ และอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

1.1 ปรากฏการณ์โลกร้อน และการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

เป็นที่ประจักษ์แล้วว่า ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา นับถึง พ.ศ. 2548 อากาศใกล้ผิวดินทั่วโลกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น 0.74 ± 0.18 องศาเซลเซียส ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติได้สรุปไว้ว่า “จากการสังเกตการณ์การเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกที่เกิดขึ้นตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ประมาณตั้งแต่ พ.ศ. 2490) ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นผลในรูปของปรากฏการณ์เรือนกระจก” แบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศที่สรุปโดย IPCC บ่งชี้ว่าอุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยที่ผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียส ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 (พ.ศ. 2544–2643) การที่อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น และคาดว่าทำให้เกิดภาวะลมฟ้าอากาศสุดโต่ง (extreme weather) ที่รุนแรงมากขึ้น ปริมาณและรูปแบบการเกิดหยาดน้ำฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบอื่น ๆ ของปรากฏการณ์โลกร้อนได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของผลิตผลทางเกษตร การเคลื่อนถอยของธารน้ำแข็ง การสูญพันธุ์พืช-สัตว์ต่าง ๆ รวมทั้งการกลายพันธุ์และแพร่ขยายโรคต่างๆ เพิ่มมากขึ้น (IPCC, 2007) ปรากฏการณ์เรือนกระจกตามธรรมชาติของโลกทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ ทว่า กิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) และการทำลายป่า ได้เพิ่มปรากฏการณ์เรือนกระจกธรรมชาติ ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน

ปี พ.ศ.2556 เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดถึง 26,598.14 MW ต่อวัน (Electricity Generating Authority of Thailand, 2014) การผลิตไฟฟ้ามีต้นทุนค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงสูงถึง 10,002.48 ล้านบาทต่อเดือน เป็นถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งเป็นถ่านหินที่ถูกจัดให้อยู่ในชั้นคุณภาพต่ำสุดของถ่านหิน (Muller, 2012) มากถึง 1,442,740 ตันต่อเดือน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากถ่านหินลิกไนต์ ทุกๆ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 0.99 กิโลกรัม (U.S. Energy Information Administration, 2015) นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) ในปริมาณที่สูงมาก (ไม่นับรวมพลังงานไฟฟ้าที่จัดซื้อจากผู้ผลิตเอกชน) โดยมีสัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานทดแทน (Renewable energy) เพียงร้อยละ 11.91 ในปี พ.ศ. 2557 โดยมีเป้าหมายให้เพิ่มเป็นร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2564 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2015)

1.2 การใช้พลังงานภาคอาคาร และการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลของรัฐ

ในแต่ละปี มีการใช้พลังงานภาคอาคาร (Building sector energy consumption) สูงถึงร้อยละ 20 – 27 ของปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศ (Energy Policy and Planning Office (EPPO), 2015) จากการศึกษาภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลของรัฐ พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในโรงพยาบาลขนาดเล็ก 12,790 kWh ต่อเดือน ในโรงพยาบาลขนาดกลาง 66,116 kWh ต่อเดือน และโรงพยาบาลขนาด

ใหญ่ 278,842 kWh ต่อเดือน (เทียบประชา, 1993) ซึ่งสามารถเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในโรงพยาบาลขนาดใหญ่หนึ่งแห่ง นั้นเทียบเท่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 197 ตันต่อเดือน (U.S. Environmental Protection Agency, 2015) ซึ่งเป็นปริมาณมหาศาล นอกจากนี้ ยังพบว่าโรงพยาบาลนั้น มีความเข้มข้นการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity: EUI) เฉลี่ยสูงถึง 136.34 kWh ต่อตารางเมตร (Yungchareon และ Limmeechokchai, 2004)

1.3 อาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB)

อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB) มิใช่เป็นเพียงแนวความคิดที่จับต้องไม่ได้อีกต่อไป แต่กลายเป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และลดการใช้พลังงานภาคอาคาร อย่างเป็นทางการ นำ ZEB มาใช้งานนั้นได้ถูกนำมาวิพากษ์และนำเสนอในกฎหมายและข้อบังคับ ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติอย่างมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การให้เป้าหมาย ZEB ของสององค์กรหลักคือ EU Directive on Energy Performance of Buildings (EPBD) คือ เมื่อสิ้นสุดปี ค.ศ.2020 อาคารใหม่ทั้งหมดควรมีการใช้พลังงานรวมเกือบเป็นศูนย์ และ US Department of Energy (DOE) ส่งเสริมให้บ้านพักอาศัยที่มีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ ได้รับการยอมรับในระบบตลาด ในปีค.ศ.2020 และอาคารพาณิชย์ที่มีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ ได้รับการยอมรับในระบบตลาด ในปีค.ศ.2025 เพื่อผลักดันให้เป้าหมายระยะยาวนั้นสามารถบรรลุผลให้ได้คือ อาคารพาณิชย์ที่สร้างใหม่ทั้งหมดมีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ในปี ค.ศ.2030 ร้อยละ 50 อาคารพาณิชย์ทั้งหมดมีเป้าหมายการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ในปี ค.ศ.2040 และอาคารพาณิชย์ทั้งหมดมีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ในปี ค.ศ.2050 (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012)

1.4 ความหมาย ของอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

มีความสับสนเรื่องความแตกต่างและความหมายของ อาคารที่มีการใช้พลังงานเท่ากับศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB) และ อาคารที่มีการใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB) โดยมีรายละเอียดดังนี้

อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building: ZEB) คือ อาคารที่มีผลรวมการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับพลังงานที่สร้างขึ้นได้จากแหล่งพลังงานทดแทน ทั้งในและนอก สถานที่ตั้ง และมีการปล่อยคาร์บอน รวมเป็นศูนย์ต่อปี โดย ZEB มักหมายถึงอาคารที่เป็นอิสระจากระบบพลังงาน โดยสามารถสร้างพลังงานด้วยตนเองอย่างเพียงพอ ไม่ต้องพึ่งพิงการนำพลังงานจากภายนอกเข้าสู่ระบบของอาคาร โดยการใช้แหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy Sources: RES) ในสถานที่ตั้งอาคารนั่นเอง (Autonomous, off-grid ZEB) ซึ่งอาคารประเภทนี้ถูกจัดให้เป็นเป้าหมายรองด้านอาคารเขียว (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Voss, Musall, และ Lichtmeß, 2011) เมื่อรวมกับคำว่าสุทธิ (Net) เป็นคำขยายความ ที่ชี้ให้เห็นชัดถึงภาพรวมระหว่างการใช้พลังงานของอาคารและผู้ใช้อาคาร เทียบกับพลังงานที่อาคารสามารถสร้างขึ้นได้จากแหล่งพลังงานทดแทน และสามารถจ่ายคืนกลับสู่ระบบเครือข่ายพลังงานนอก (Grid) ได้ (Hernandez และ Kenny, 2010; Voss, Musall, และ Lichtmeß, 2011) จากการถกเถียงในคำจำกัดความเรื่องนี้ในคณะกรรมการร่วม International Energy Agency (IEA) joint Solar Heating and Cooling (SHC) กลุ่มงานที่ 40 และ Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) ส่วนผนวกที่ 52 ที่ได้แยกการให้คำจำกัดความทั้งสองออกจากกัน ดังนั้น

สำหรับความหมายของ อาคารที่มีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB) นั้นในปัจจุบันยังไม่มีคำนิยามกลางที่เป็นข้อตกลงร่วมกันของทุกๆองค์กร (Deng, Wang, & Dai, 2014; Winter, 2014) เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของโครงการ เป้าหมายของผู้ออกแบบอาคาร หรือเป้าหมายของเจ้าของอาคาร (Deng, Wang, และ Dai, 2014) แต่โดยทั่วไปสามารถให้ความหมาย NZEB ได้โดยหมายถึง *อาคารที่สามารถสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้อย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ถูกใช้ในอาคาร และมีการเชื่อมระบบด้านพลังงานเข้ากับระบบสาธารณูปโภคในระดับที่ใหญ่กว่า และไม่ใช้อาคารที่ดำรงอยู่ได้ด้วยตนเอง (มิได้ปลดตนเองออกจากระบบพลังงานภายนอก) โดยใช้พลังงานรวมทั้งหมดเป็นศูนย์ต่อหนึ่งช่วงเวลา หรือสามารถสร้างพลังงานจ่ายกลับคืนสู่ระบบได้* ซึ่งอาคารประเภทนี้เป็นเป้าหมายที่องค์กรด้านพัฒนาอาคารเขียวพยายามมุ่งพัฒนาให้เกิดขึ้น ทั้ง LEED และ BREEAM เป็นต้น (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012; Sun, Huang, และ Huang, 2015) โดย อาคารที่มีการใช้พลังงานเป็นลบ หรือ อาคารที่มีผลลัพธ์ด้านพลังงานเป็นบวก (Plus-energy Building) คืออาคารที่สามารถสร้างพลังงานได้มากกว่าการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร

อาคารเขียว (Green Building) คือ อาคารที่มีการก่อสร้างโดยมีกระบวนการออกแบบและก่อสร้างที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมในภาพรวมทั้งหมด โดยมีได้มุ่งคำนึงแต่เรื่องประสิทธิภาพด้านพลังงานและการสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนเท่านั้น แต่ยังคงคำนึงระบบนิเวศในสถานที่ตั้ง แหล่งน้ำ แสง เสียง การปลดปล่อยสารพิษสู่ภายนอกและสู่ภายในอาคาร ตลอดช่วงอายุขัยของอาคาร ตั้งแต่การออกแบบ ก่อสร้าง ใช้งานอาคาร บำรุงรักษาอาคาร การปรับปรุงอาคาร จนถึงการปลดระวาง-ทุบทำลายอาคาร และยังคงมีความหมายที่กว้างไกลไปถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใช้งาน ความคงทนถาวร และการสร้างความสบายแก่ผู้ใช้อาคารอีกด้วย เพราะฉะนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า NZEB ซึ่งคำนึงด้านการใช้และการสร้างพลังงานนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของ Green Building เท่านั้น (Paul และ Taylor, 2008; U.S. Environmental Protection Agency, 2014)

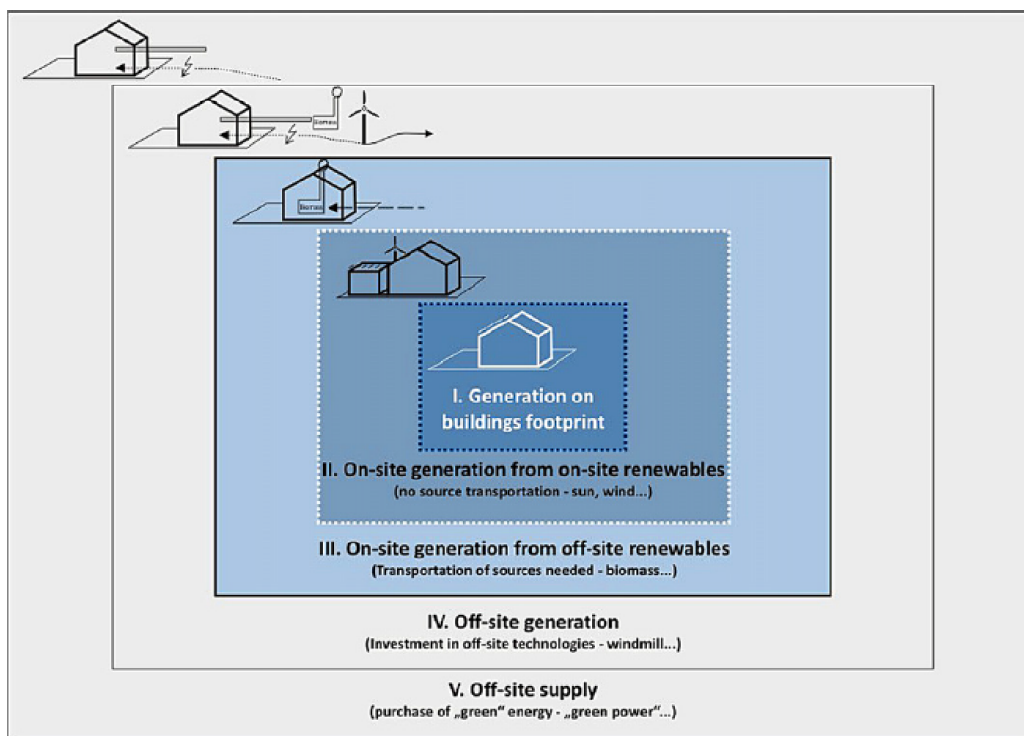
1.5 แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

ในการสร้างอาคารให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานรวมเป็นศูนย์ มีแนวคิดสำคัญ 2 ข้อคือ **ลดการใช้พลังงานในอาคาร** และ **ผลิตและจ่ายพลังงานส่วนเกินออกสู่ระบบพลังงานภายนอกอย่างเหมาะสม** (Voss, Musall, และ Lichtmeß, 2011) แต่แนวความคิดทั้งสองข้อนี้ต้องการแนวความคิดรองและกระบวนการที่เข้ามาสนับสนุน อันได้แก่ การตรวจวัดความสมดุล (Metric of the balance) ที่เหมาะสม การกำหนดขอบเขตระบบอาคาร (Building system boundary) ทั้งด้านระยะเวลา (Period of balance) และด้านประเภท (Type of balance) และ ประเภทของพลังงานที่ใช้และที่สร้างขึ้นได้จากแหล่งพลังงานทดแทน (Type of energy use and renewable supply options) (Voss, Musall, และ Lichtmeß, 2011; Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012)

การตรวจวัดความสมดุล (Metric of the balance) คือหน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดหรือคำนวณค่าด้านพลังงานของ NZEB ซึ่งมีอยู่หลายวิธีการ ได้แก่ การคำนวณจากค่าพลังงานนำเข้าอาคาร (Delivered energy) - ค่าพลังงานในการใช้งานจริงในอาคาร (End-use energy) - พลังงานคืนระบบ (Exported energy) หรือสามารถที่จะตรวจวัดความสมดุลได้จาก ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent emissions) หรือ ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของงานที่ทำให้เกิดกระบวนการและสร้างสมดุลให้กับระบบ (Exergy) (Kim และ Todorovic, 2013) เป็นต้น โดย Marszal et al ได้อ้างถึง Torcellini et al (Torcellini, 2006 in Marszal, et al., 2011) ว่าคำจำกัดความของ ZEB คือ อาคารที่มีจำนวนรวมของ

Exergy ที่ส่งผ่านขอบเขตของอาคาร ในขอบเขตของระบบพลังงาน ในขอบเขตด้านเวลาต่อปี เท่ากับศูนย์ ในทางกลับกัน Mertz et al และ Laustsen ได้กำหนดหน่วยที่ใช้ในการตรวจวัดความสมดุลเพียงสองหน่วย คือ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าและผลรวมของพลังงานเท่านั้น (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011)

การกำหนดขอบเขตระบบอาคาร (Building system boundary) เพื่อการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่เข้าและออกจากระบบอาคาร มีสองส่วนสำคัญคือ **ขอบเขตอาคารทางกายภาพ (Physical boundary)** เป็นสิ่งที่ใช้กำหนดว่าการสร้างพลังงานนั้นอยู่ในขอบเขตอาคาร (on-site) หรือ นอกขอบเขตอาคาร (เชื่อมโยงกับระบบพลังงานภายนอก: off-site) **ขอบเขตด้านความสมดุลพลังงาน (Balance boundary)** เป็นสิ่งเดียวกับ **ประเภทของการใช้พลังงาน (Type of energy use)** ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าการใช้พลังงานใดนั้นจะถูกนำมารวมในการคำนวณค่าความสมดุลพลังงาน เช่น พลังงานในการทำความร้อน ความเย็น ทำน้ำร้อน แสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า นำมาคิดหรือไม่ เป็นต้น **ขอบเขตด้านระยะเวลา (Period of balance)** คือช่วงเวลาที่ใช้เป็นกรอบการคำนวณค่าความสมดุลพลังงาน ซึ่งอาจมีความหลากหลายได้ตั้งแต่ระยะเวลา 50 ปี จนถึงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณปกติ คือ ระยะเวลาหนึ่งปี (Marszal, และคนอื่นๆ, 2011; Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012)

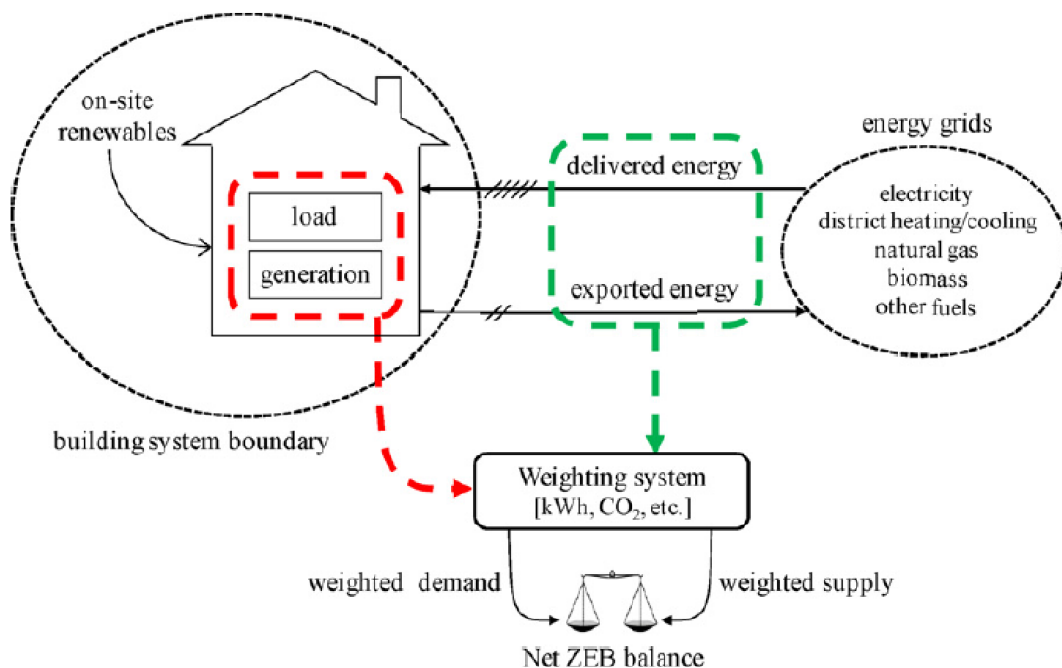


รูปที่ 1-1 ขอบเขตระบบอาคาร (Building system boundary) (Marzal, et al., 2011)

1.6 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012)

- ขอบเขตระบบอาคาร (Building system boundary)

- เครือข่ายสาธารณูปโภคพลังงาน (Energy grids / Grids) คือระบบตัวกลางในการขนส่ง/เชื่อมโยง/ขนถ่าย พลังงาน (ไฟฟ้า แก๊สธรรมชาติ ฯลฯ) จากแหล่งสร้างพลังงานไปยังสถานที่อีกแห่งหนึ่ง เครือข่ายนี้อาจเป็นการตัวกลางสำหรับการขนส่งทางเดียวหรือสองทางก็ได้
- พลังงานนำส่ง (Delivered energy) คือ ปริมาณพลังงานที่ถูกนำเข้ามาจาก Grids เข้าสู่อาคาร มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/y) หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²y)
- พลังงานคืนระบบ (Exported energy) เป็นทางกลับกันจากพลังงานนำส่งข้างต้น คือปริมาณพลังงานที่ถูกจ่ายจากอาคารกลับสู่ Grids
- ปริมาณการใช้พลังงาน (Load) คือความต้องการใช้พลังงานของอาคาร มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/y) หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²y)
- ปริมาณความสามารถผลิตพลังงาน (Generation) เป็นความสามารถในการสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนในอาคาร มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/y) หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²y)
- ค่าสมดุลพลังงานรวมเป็นศูนย์ (NZEB balance) คือสภาพที่ ปริมาณความต้องการใช้พลังงาน (Load) กับ ปริมาณผลิตพลังงาน (Generation) นั้นมีความสมดุลกัน



รูปที่ 1-2 ความเชื่อมโยงของอาคารกับระบบ Grids และแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของศัพท์ที่เกี่ยวข้อง (Sartori, Napolitano, และ Voss, 2012)

หนังสืออ้างอิง

Deng, S., Wang, R., & Dai, Y. (2014). How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. *Energy*, 1-16.

- Electricity Generating Authority of Thailand. (2014). *ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด*. Retrieved from การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116
- Energy Policy and Planning Office (EPPO). (2015). *Energy Statistics*. Retrieved from Energy Policy and Planning Office (EPPO): http://www.eppo.go.th/info/1summary_stat.htm
- Hernandez, P., & Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings* , 815-821.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Base* (p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kim, J. T., & Todorovic, M. S. (2013). Towards sustainability index for healthy buildings - Via intrinsic thermodynamics, green accounting and harmony. *Energy and Buildings* , 627-637.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, E., Sartori, I., et al. (2011). Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings* , 971-979.
- Muller, R. A. (2012). *Energy for future presidents: the science behind the headlines*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Paul, W. L., & Taylor, P. A. (2008). A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. *Building and Environment* , 1858-1870.
- Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings* , 220-232.
- Sun, Y., Huang, P., & Huang, G. (2015). A multi-criteria system design optimization for net zero energy buildings under uncertainties. *Energy and Buildings* , 196-204.
- U.S. Energy Information Administration. (2015). *How much carbon dioxide is produced per kilowatthour when generating electricity with fossil fue?* Retrieved from Frequently Asked Questions: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=74&t=11>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2014, October 10). *Green Building*. Retrieved from U.S. Environmental Protection Agency: <http://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2015). *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. Retrieved from Energy and the Environment: <http://www2.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>

- Voss, K., Musall, E., & Lichtmeß, M. (2011). From low-energy to net zero-energy buildings: Status and perspective. *Journal of Green Building* , 46-57.
- Winter, S. (2014, December 16). *Net Zero Energy Buildings*. Retrieved June 1, 2015, from Whole Building Design Guide:
<http://www.wbdg.org/resources/netzeroenergybuildings.php>
- Yungchareon, V., & Limmeechokchai, B. (2004). Energy analysis of the commercial sector in Thailand: Potential saving of selected options in commercial buildings. *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"* (pp. 496-501).
Hau Hin: Sustainable Energy and Environment (SEE).
- เทียบประชา, ว. (1993). *การจัดการพลังงานในโรงพยาบาลของรัฐ*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2015). *สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน*. Retrieved from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน:
http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_58/energy5_58_1.xls

บทที่ 2

อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB)

2.1 ความหมายของ อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB)

อาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy-efficient Buildings: EeB) หมายถึง *อาคารที่ลดการใช้พลังงานด้านอาคารให้ได้ต่ำที่สุดโดยที่สามารถตอบสนองการใช้งานและสามารถสร้างสภาวะแวดล้อมภายในอาคารให้ได้ตามต้องการรวมถึงสร้างภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคารได้* (Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012; Ionescu, Baracu, Vlad, Necula, และ Bedea, 2015) การจะทำให้อาคารบรรลุการมีประสิทธิภาพด้านพลังงานนั้นมีปัจจัยด้านการออกแบบอาคารเข้ามามีอิทธิพลอย่างมาก และจะต้องนำปัจจัยเหล่านั้นมาประกอบรวมกันอย่างเหมาะสมอีกด้วย โดยปัจจัยเหล่านั้นมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

2.2 ปัจจัยที่ทำให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน

ปัจจัยด้านการออกแบบอาคาร ที่ทำให้อาคารบรรลุการมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน มีดังต่อไปนี้ (National Renewable Energy Laboratory, n.d.; Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012)

- ปัจจัยด้านสถานที่ตั้งอาคาร (Site)
- ปัจจัยด้านรูปทรงอาคาร (Building Shape)
- ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร (Orientation)
- ปัจจัยด้านลักษณะกรอบอาคาร (Building Envelope)
- ปัจจัยด้านอุปกรณ์บังแดด (Shading on Buildings)
- ปัจจัยด้านระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิถีธรรมชาติ (Passive Systems)
- ปัจจัยด้านช่องเปิดกระจก (Glazing)
- ปัจจัยด้านระบบแสงสว่าง (Lighting)

2.3 ปัจจัยด้านสถานที่ตั้งอาคาร (Site)

อาคารควรใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางธรรมชาติของสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมรอบข้างให้มากที่สุด ซึ่งไม่เพียงเป็นการส่งเสริมให้มีภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคารและการลดการใช้พลังงานในอาคารเท่านั้น แต่ยังช่วยลดปัญหาที่อาคารนั้นจะก่อแก่สิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น ปัญหาน้ำท่วม และปัญหาเกาะความร้อน (Urban Heat Island) อีกด้วย

2.4 ปัจจัยด้านรูปทรงอาคาร (Building Shape)

รูปทรงอาคารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลโดยตรงกับการใช้พลังงานของอาคารเนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบอาคารสามารถเพิ่มความต้องการการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้สูงถึง 25% (Elasfour, Maraga, และ Tabbalat, 1991) นอกจากนี้รูปทรงของอาคารนั้นมีได้เพียงแค่ว่าเป็นตัวชี้ถึงพื้นที่รวมของเปลือกอาคารและหลังคาที่รับรังสีอาทิตย์เท่านั้น แต่ยังมีถึงปริมาณพื้นที่ของเปลือกอาคารที่อาจมีการรั่วไหลของอากาศที่ถูกปรับสถานะแล้วออกสู่ภายนอก เป็นสาเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานได้ สำหรับการออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศ สัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคารกับปริมาตรรวมของอาคารนั้นควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ พบว่ามีการศึกษาเพื่อค้นหารูปทรงของอาคารที่ส่งผลให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสุด ได้แก่ รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรง parallelepiped (รูปทรงลูกบาศก์มีด้านขนานกัน แต่ไม่เป็นมุมฉาก) รูปทรงกระบอกห้าเหลี่ยม และรูปทรงกระบอกแปดเหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งพบว่ารูปทรงดังกล่าวมักจะส่งผลให้อาคารมีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงขึ้น แต่กลับทำให้ประสบปัญหาด้านการใช้งานและส่งผลให้ยากลำบากในการก่อสร้างมากขึ้น

ตัวแปร (variables) ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านรูปทรงของอาคารที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศของอาคารนั้นประกอบด้วย (Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012)

2.4.1 **ดัชนีความกระชับของอาคาร (Compactness Index)** คืออัตราส่วนระหว่าง **ปริมาตรอาคารกับพื้นที่เปลือกอาคาร** ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเปลือกอาคารและการรั่วของอากาศในอาคารปรับอากาศ อาคารที่มีค่า Compactness Index สูงนั้นหมายถึงอาคารที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อย

2.4.2 **ปัจจัยรูปร่างอาคาร (ShapeFactor)** คืออัตราส่วนระหว่าง **ความกว้างกับความยาวของอาคาร** ปัจจัยรูปร่างอาคารนี้ใช้พิจารณาพร้อมกับทิศการวางอาคาร (orientation) จะเป็นการบอกถึงร้อยละของผิวผนังที่ทำมุมกับทิศหลักแต่ละทิศ (เหนือ ใต้ ออก ตก) (cardinal points) พบว่าเมื่อออกแบบอาคารให้มีปัจจัยรูปร่างอาคารร่วมกับทิศการวางอาคารที่เหมาะสมนั้นสามารถลดการใช้พลังงานได้มากถึง 36% (Aksoy และ Inali, 2006) ตัวอย่างเช่น หันด้านแคบของอาคารออกทิศตะวันออก-ตะวันตก

2.5 ปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร (Orientation)

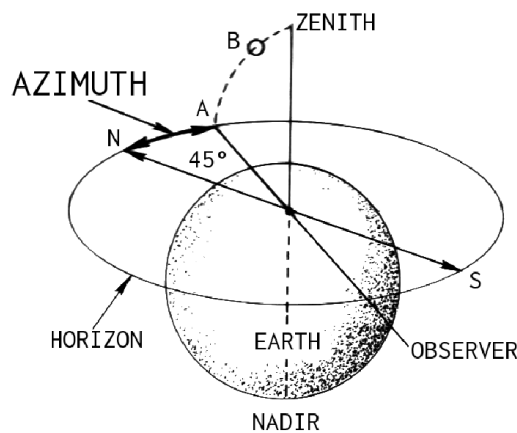
ในบรรดาปัจจัยต่างๆที่มีผลด้านการออกแบบอาคารที่สัมพันธ์กับรังสีอาทิตย์ **ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด** คือ ปัจจัยด้าน **ทิศทางการวางอาคาร (Orientation)** ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับของการรับรังสีอาทิตย์ของเปลือกอาคาร เนื่องจากรังสีอาทิตย์นั้นประกอบด้วยแสงสว่างและพลังงานความร้อน การกำหนดทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมนั้นจะทำให้อาคารสามารถใช้ประโยชน์จากรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งที่มีอยู่อย่างล้นเหลือในธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดทิศทางการวางอาคารได้อย่างเหมาะสมนั้นคือ **มุมทิศ (Azimuth)** คือการวัดขนาดของมุมทางราบที่วัดจากแนวทิศเหนือหลักเวียนตามเข็มนาฬิกามาบรรจบกับแนวเป้าหมายที่ต้องการ มุมทิศนี้มีค่าตั้งแต่ 0 - 360 องศา (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, n.d.) ที่อาคารถูกวางไว้ และเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดและกำหนดสมรรถนะของ **กรอบแสงอาทิตย์ (Solar Envelope)** ประโยชน์ของการกำหนดทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมนั้นคือ เป็นสิ่งที่ไม่มิต้นทุนด้านการก่อสร้างเมื่อนำมาคำนึงในขั้นตอนออกแบบอาคาร และจะมีผลให้ลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก สามารถทำให้ลดการใช้ระบบการปรับอากาศแวดล้อมภายใน

อาคารด้วยวิธีธรรมชาติที่มีความซับซ้อน (sophisticated passive systems) ประเด็นข้อคำนึงด้านทิศทางการวางอาคาร มีดังต่อไปนี้ (Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012)

2.5.1 ทิศทางการวางอาคารและการรับรังสีอาทิตย์ (Orientation and solar radiation received) นั้นเป็นประเด็นสำคัญเนื่องจาก อาคารในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทยนั้นจำเป็นต้องควบคุมการรับรังสีอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมตลอดทั้งปี ต่างจากประเทศที่อยู่ในเขตภูมิอากาศอบอุ่นหรือหนาวเย็น ที่มักมีการออกแบบให้รับรังสีอาทิตย์ให้มากที่สุดในวันหนาวและรับรังสีอาทิตย์ให้น้อยในวันร้อน ซึ่งในประเทศไทยแม้แต่ในวันหนาว การรับรังสีอาทิตย์โดยตรง ก็อาจทำให้ได้รับพลังงานความร้อนมากเกินไป เกิดเป็นภาระในการทำความเย็นในระบบปรับอากาศได้นอกจากนั้นการวางทิศทางอาคารนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ต่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) และระบบผลิตความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ดังตัวอย่างที่แสดงใน รูปที่ 2-1

ORIENTATION		HORIZONTAL	SOUTH	WEST	EAST
Inclination		0	20°	20°	20°
Nation	Area	kWh/kW _p	kWh/kW _p	kWh/kW _p	kWh/kW _p
China	Beijing	1096	1235	1064	1062
Philippines	Manila	1424	1448	1373	1384
India	New Dehli	1581	1763	1529	1537
Indonesia	Jakarta	1370	1274	1316	1330
Malaysia	Kuala Lumpur	1279	1238	1235	1232
Thailand	Bangkok	1444	1481*	1387	1406

รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สัมพันธ์กับทิศหลักในประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย (CPL Energy (Thailand) Co., Ltd., n.d.)



รูปที่ 2-2 มุมทิศ (Azimuth) (Foresman, 2014)

Gupta และ Ralegaonkar (Gupta และ Ralegaonkar, 2004) ได้เสนอแบบจำลองหาความเหมาะสมของทิศทางการวางอาคารสำหรับอาคารที่มีปัจจัยรูปร่างอาคาร (Shape Factor) ต่างๆ โดยมีแนวคิดเพื่อให้อาคารได้รับรังสีอาทิตย์ให้มากที่สุดในพื้นที่หน้าหนาวและรับรังสีอาทิตย์ให้น้อยในหน้าร้อนดังสมการต่อไปนี้

$$E = A \times \int_{\omega_1}^{\omega_2} (0.834 \times H) \times \left(\frac{\cos i}{\cos \theta_z} \right) d\omega$$

สมการที่ 2-1 แบบจำลองหาความเหมาะสมของทิศทางการวางอาคาร สำหรับอาคารที่มีปัจจัยรูปร่างอาคาร ที่แตกต่างกัน (Gupta และ Ralegaonkar, 2004)

โดย E คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ A คือ พื้นที่ผิวอาคาร H คือ ค่าเฉลี่ยของรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นราบแต่ละวันในรอบหนึ่งเดือน (the monthly mean daily global radiation on a horizontal surface) i คือ มุมตกกระทบบนพื้นราบของแสง $d\omega$ คือ จำนวนชั่วโมงตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนตก θ_z คือ มุม zenith angle หรือ polar angle จากการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้สรุปว่า **ทิศทางการวางอาคารที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้หันด้านที่ยาวที่สุดของอาคาร ไปยังทิศเหนือและใต้** หันด้านแคบของอาคาร ออกสู่ทิศตะวันออกและตะวันตก ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Aksoy และ Inalli (2006) (Aksoy และ Inali, 2006) และนอกจากนั้นยังสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Shaviv (Shaviv, 1981) ที่ให้ความเห็นว่าควรหันอาคารด้านที่มีผนังกระจกมากที่สุดไปยังทิศใต้ โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

2.5.2 **ทิศทางการวางอาคารและพื้นที่ฐานอาคาร (Orientation and ground plan)** โดย Morrissey และคณะ (2011) พบว่าอาคารที่มีพื้นที่ฐานอาคาร (Groundplan / Footprint) ขนาดเล็กนั้นจะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางการวางอาคารน้อย หมายถึงอาคารที่มีพื้นที่ฐานอาคารน้อย เมื่อนำไปเปลี่ยนแปลงทิศทางการวางอาคาร สมรรถนะด้านการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่มีพื้นที่ฐานอาคารมากกว่า (Morrissey, Moore, และ Horne, 2011)

2.6 ปัจจัยด้านลักษณะกรอบอาคาร (Building Envelope)

กรอบอาคาร (Building Envelope) เป็นส่วนของอาคารที่เป็นกรอบนอกสุด ที่กั้นสภาพแวดล้อมภายในอาคารออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก โดยกรอบอาคารได้แก่ ฐานราก หลังคา ผนัง ประตู และหน้าต่าง พบว่าโดยปกติแล้วภาระการปรับอากาศภายในอาคารนั้นจะเป็นผลมาจาก **ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกประมาณ 60% และที่เหลือจะเกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคารเอง** (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010) ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกจะเกิดจากรังสีอาทิตย์กระทบบนกรอบอาคาร และมีการส่งผ่านพลังงานเข้าสู่อาคารโดยตรง ผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง และหลังคาโปร่งแสง (Skylight) ผ่านพื้นผิวทึบแสงเช่น ผนังทึบ พื้น และหลังคา นอกจากนั้นสิ่งที่ควรคำนึงเพิ่มเติมคือ ความร้อนที่

เกิดจากการรั่วซึมของอากาศเข้า-ออกอาคาร (Infiltration) องค์ประกอบของกรอบอาคาร ที่เป็นส่วนสำคัญที่อิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร มีดังต่อไปนี้(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2009; Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012)

2.6.1 **ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient: U)** ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุกรอบอาคารต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ K)$ หรือ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) นั้นคือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน (R) คือ $U = 1/R$ โดยค่า U จะแสดงถึงอัตราการส่งผ่านความร้อนในวัสดุตัวอย่างเช่น ถ้าวัสดุมีค่า U มากนั้นหมายถึงวัสดุนั้นมีอัตราการส่งผ่านความร้อนมาก (ร้อนเร็ว) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นๆมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ไม่ดี แต่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เป็นต้น

2.6.2 **ค่าอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือ ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนัง (Window-to-Wall Ratio: WWR)** คือพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (ที่เป็นกระจก) หารด้วยพื้นที่ผนังทั้งหมด ค่า WWR นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.00 หรืออาจระบุเป็นค่าร้อยละ(%) ได้ ตัวอย่างเช่น ผนังหนึ่งมีค่า WWR เท่ากับ 0.6 หรือ 60% เป็นต้นโดยปกติแล้ว เมื่อออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศให้มีความ WWR ลดลง อาคารนั้นจะมีการใช้พลังงานลดลงไปด้วย (Lollini, Barozzi, Fasano, Meroni, และ Zinzi, 2006)

2.7 ปัจจัยด้านอุปกรณ์บังแดด (Shading on Buildings)

อุปกรณ์บังแดด คือองค์ประกอบของอาคาร/อุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณกรอบอาคารเพื่อใช้ควบคุมปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่อาคารโดยเฉพาะหน้าต่างกระจกและผนังโปร่งแสง สามารถทำให้ลดภาระการปรับอากาศและลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างมากโดยสิ่งที่ใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์บังแดดคือ **ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading Coefficient: SC)** คือ อัตราส่วนของค่าประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor หรือ Solar Heat Gain Factor) ของกระจกที่ต้องการวัดค่า กับ ค่าประกอบรังสีอาทิตย์ของกระจกอ้างอิง (กระจกใส หนา 3 มิลลิเมตร) ดังสมการ

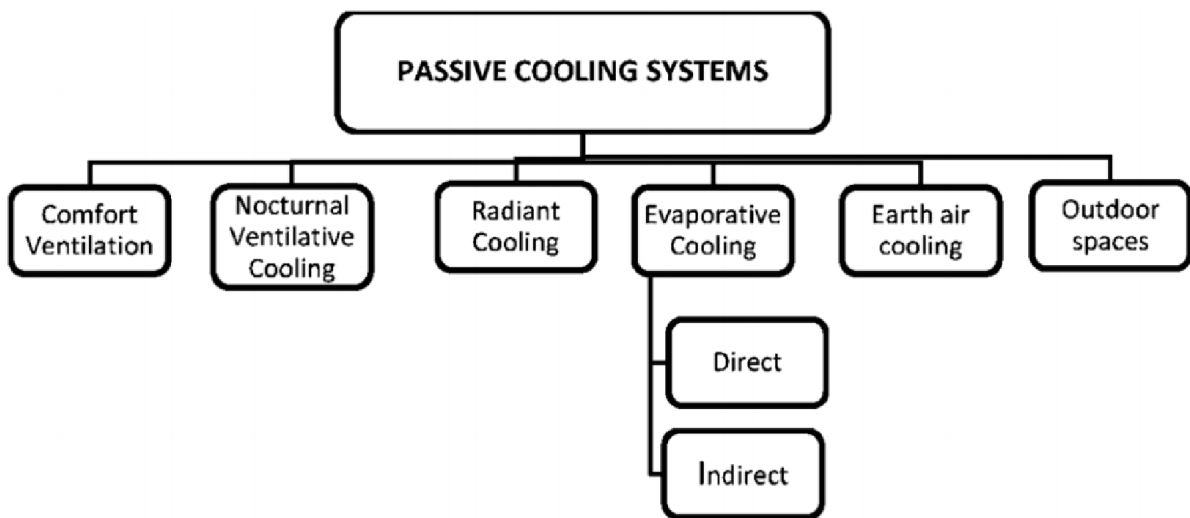
$$\text{Shading Coefficient} = \frac{\text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด}}{\text{Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร}}$$

สมการที่ 2-2 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด(Shading Coefficient: SC)
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010)

โดย **ค่าประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor หรือ Solar Heat Gain Factor หรือ Total Energy Transmission)** เป็นอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง เข้ามาในอาคาร ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010; Pacheco, Ordóñez, & Martínez, 2012) อย่างไรก็ตาม **อุปกรณ์บังแดดไม่ควรที่บวมเกินไป (มีค่า SC สูงเกินความจำเป็น)** (Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012) เนื่องจากอาจทำให้ปิดกั้นแสงสว่างจากธรรมชาติ และทำให้ผู้ใช้อาคารไม่สามารถมองเห็นสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ ส่งผลทำให้ สิ้นเปลืองพลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่างในเวลากลางวัน และอาจส่งผลกระทบต่อ **จังหวะรอบวัน (Circadian Rhythm)** และ **นาฬิกาชีวภาพ (Chronobiology)** ของผู้ใช้อาคารได้ (Wirz-Justice และ Fournier, 2010)

2.8 ปัจจัยด้านระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Systems)

อาคารควรใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางธรรมชาติของสถานที่ตั้งและสิ่งแวดล้อมรอบข้างให้มากที่สุด แม้แต่อาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศก็ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางธรรมชาติเพื่อการลดภาระการปรับอากาศให้ต่ำที่สุดและทำให้ประสิทธิภาพของสูงที่สุดระบบการสร้างสิ่งแวดล้อมอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Systems) ที่ใช้ในประเทศที่อยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot-humid Climate) นั้นมุ่งเน้นในการใช้งาน ระบบทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling) ได้แก่



รูปที่ 2-3 ระบบทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling) (Givoni, 1994)

2.8.1 ระบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation)

2.8.2 ระบบการทำความเย็นด้วยการพาความร้อนในเวลากลางคืน (Nocturnal Convective Cooling)

2.8.3 ระบบการทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี (Radiant Cooling)

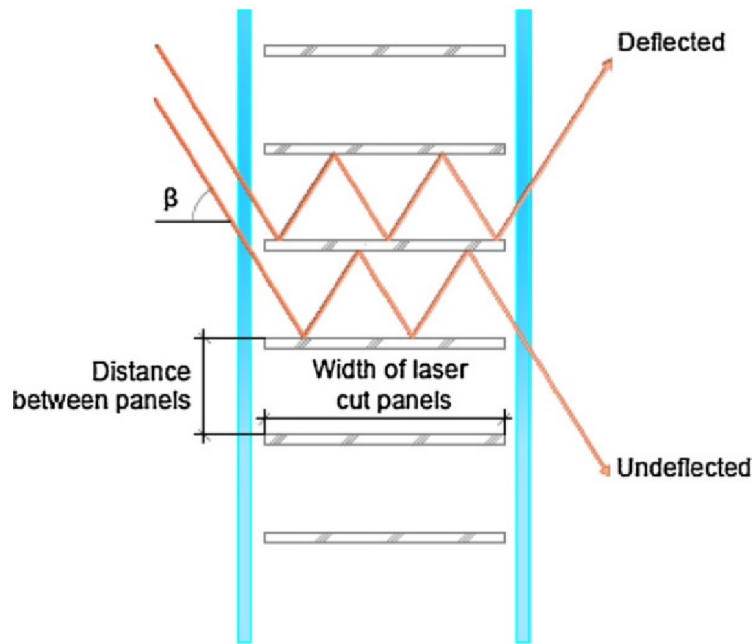
2.8.4 ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของไอน้ำในอากาศ (Evaporative Cooling)

2.8.5 ระบบการทำความเย็นด้วยกระแสลมใต้ดิน (Earth-airCooling)

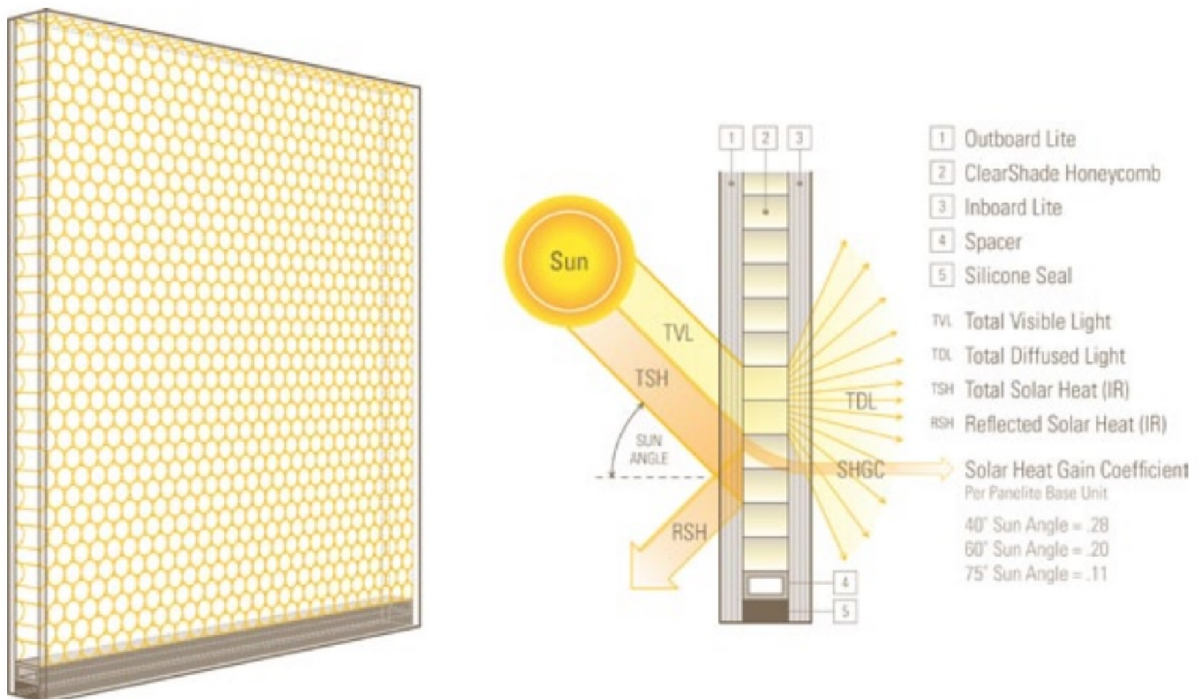
2.9 ปัจจัยด้านช่องเปิดกระจก (Glazing)

กระจกได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุอาคารเป็นเวลานานนับพันปี โดยมีคุณสมบัติเฉพาะคือ กระจกสามารถกั้นสิ่งแวดล้อมภายในอาคารออกจากภายนอกอาคาร โดยผู้ใช้อาคารยังสามารถมองเห็นสิ่งแวดล้อมภายนอกและสามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้ (Vigener และ Brown, 2009) ช่องเปิดกระจกนั้นเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร เนื่องจากช่องเปิดกระจกไม่เพียงแต่นำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร แต่ยังนำความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วยเพราะฉะนั้นในกระบวนการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นที่เกี่ยวข้องกับช่องเปิดกระจก ดังต่อไปนี้

- 2.9.1 สภาวะนำสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) และ ความสว่างจากแสงธรรมชาติ ภายในอาคาร (Indoor Illumination)
- 2.9.2 ประเภทของกระจก (Glazing Types)
- กระจกดูดความร้อน (Heat-absorbing Glass)
 - กระจกสะท้อนความร้อน (Heat-reflecting Glass)
 - กระจกแผ่รังสีความร้อนต่ำ (Low Radiation Glass)
- 2.9.3 การเคลือบกระจก (Film-plating Glazing) คือการเคลือบผิวกระจก (ด้านนอก หรือ ด้านใน หรือทั้งสองด้าน) ด้วยวัสดุต่างชนิดเพื่อการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของกระจกนั้นๆ (Pacheco, Ordóñez, และ Martínez, 2012) วัสดุดังกล่าวมักเป็นสารประกอบโลหะ (เช่น โครเมียม ไทเทเนียม เงิน และ เหล็กไนไตรด์) Metal Nitrides (CrN, TiN, ZrN) หรือ Metal Oxides (SnO₂, TiO₂, ZnO) โดยหน้าที่ของชั้นการเคลือบนั้นได้แก่ ฟิล์มเพื่อลดการแผ่รังสี ฟิล์มสะท้อนแสง ฟิล์มย้อมสีกระจก หรือการเคลือบเพื่ออนุญาตให้คลื่นแสงผ่านได้เฉพาะบางช่วงคลื่นแสง (Spectrally Selective Coating) เป็นต้นกระบวนการเคลือบกระจกนี้มีต้นทุนสูงและผู้ออกแบบอาคารจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้การเคลือบกระจกอย่างเหมาะสม เนื่องจากการใช้งานกระจกเคลือบนั้นอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงานของอาคารได้ เช่น กระจกย้อมสีบางชนิดอาจลดปริมาณแสงที่ส่องผ่านกระจกแต่มีการดูดซับความร้อนมาก ทำให้อาคารมืดแต่ร้อนโดยเฉพาะผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้กรอบอาคาร อาจรู้สึกร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นกระจก เป็นต้น (Chaiyapinunt, Phueakphongsuriya, Mongkornsaksit, และ Khomporn, 2005; Zissil.com, 2015) และควรระมัดระวังในการใช้งาน **กระจกย้อมสีในช่องเปิดอาคาร (tinted windows)** โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระจกย้อม สีชาหรือสีเทา เนื่องจากกระจกย้อมสีนี้ **ลดการส่องผ่าน** คลื่นแสงสีน้ำเงินในแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นคลื่นแสงสำคัญในการสร้างความตื่นตัวของ circadian rhythm ในมนุษย์ (Pechacek, Andersen, และ Lockley, 2008)
- 2.9.4 ช่องเปิดกระจกกำหนดมุมแสงส่องผ่าน (Angle-selective / Angular Selective Glazing) คือ ช่องเปิดกระจกที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำหนดมุมแสงส่องผ่าน โดยอาจติดตั้งที่พื้นผิวด้านนอก หรือด้านในของแผ่นกระจก หรือติดตั้งระหว่างแผ่นกระจกในกรณีที่เป็นช่องเปิดที่ใช้กระจกหลายชั้น อุปกรณ์กำหนดมุมแสงส่องผ่าน (Angle-selective Devices) ได้แก่ ม่านม้วน (Roller Blinds) เกล็ดแบบยึดกับที่หรือเคลื่อนย้ายได้ (Fixed / Mobile Louvers) อาจมีลักษณะเป็น เซลล์ที่มีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม เป็นต้น



รูปที่ 2-4 กลไกการเดินทางของแสง ผ่าน Angle-selective Glazing (Pacheco, Ordóñez, และ Martinez, 2012)



รูปที่ 2-5 ตัวอย่าง Angle-selective Glazing ที่มีการติดตั้ง อุปกรณ์กำหนดมุมแสงส่องผ่าน (Angle-selective Devices) ที่เกิดภายในมีลักษณะโครงสร้างรูปร่างผึ้ง (Honeycomb Structure) (Panalite, 2013)

2.10 ปัจจัยด้านระบบแสงสว่าง (Lighting)

ระบบแสงสว่างภายในอาคารนั้นเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งทางด้านการใช้งาน และทางด้านความรู้สึกของผู้ใช้อาคาร แต่ระบบแสงสว่างภายในอาคารนั้นก็ปัจจัยสำคัญต่อการใช้พลังงานของอาคาร โดยอาจมีใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างสูงถึง 15-25 % ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร (Nelson, 2014) ปัจจัยด้านระบบแสงสว่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร มีดังต่อไปนี้

- 2.10.1 หลอดไฟส่องสว่างเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมภายในอาคารมีสภาพแสงสว่างที่ดี ทั้งทางด้านประสิทธิภาพและด้านความงาม องค์ประกอบของการเลือกหลอดไฟส่องสว่างที่เหมาะสมนั้นมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ *ประสิทธิภาพของหลอดไฟ (Efficacy: Lumens per Watt) อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index: CRI)* อายุการใช้งาน และการบำรุงรักษา ความสะดวกในการซื้อหา ความเหมาะสมของอุปกรณ์ประกอบ (เช่น Switching) ความสามารถในการหรี่แสง (Dimming Capability) และราคา
- 2.10.2 **บัลลาสต์ (Ballasts)** เป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ ประเภทหลอดคายประจุความดันสูง โดยมีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขั้วหลอดให้มีค่าเหมาะสม สม่ำเสมอตามแต่ละประเภท หลอดแต่ละชนิด แต่ละรุ่น แต่ละขนาด บัลลาสต์ประหยัดพลังงานที่นิยมใช้กันมาก คือ บัลลาสต์โลว์ลอส (Low Loss Ballast) และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ (Electronic Ballast) อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ สามารถลดความสูญเสียประมาณ 10-12 วัตต์ต่อหลอดเมื่อเทียบกับบัลลาสต์ธรรมดา แต่จะมีราคาแพงกว่า สำหรับระยะเวลาการคืนทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดใช้งานของหลอดไฟ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, n.d.)
- 2.10.3 **โคมไฟ (Luminaires)** นั้นมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานเนื่องจาก โคมไฟที่ดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหลอดไฟส่องสว่าง ช่วยให้สามารถควบคุมแสงสว่างให้ตรงกับความต้องการ และส่งผลต่อการรับรู้ของผู้ใช้อาคารโดยตรงด้านความงามอีกด้วย

หนังสืออ้างอิง

- Aksoy, U. T., & Inali, M. (2006). Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Building and Environment*, 1742-1754.
- Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkornsaksit, K., & Khomporn, N. (2005). Performance rating of glass windows and glass winds with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. *Energy and Buildings*, 725-738.
- CPL Energy (Thailand) Co., Ltd. (n.d.). *CPL Energy (Thailand) Co., Ltd.* Retrieved August 3, 2015, from CPL Energy (Thailand) Co., Ltd.: http://www.cplthailand.com/energy/wp-content/uploads/FV_thailand_ENG.pdf
- Elasfour, A. S., Maraqa, R., & Tabbalat, R. (1991). Shading control by neighbouring buildings: application to buildings in Amman, Jordan. *International Journal of Refrigeration*, 112-116.

- Foresman, P. S. (2014, August 28). *Azimuth (PSF)*. Retrieved August 26, 2015, from Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azimuth_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azimuth_(PSF).png)
- Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Gupta, R., & Ralegaonkar, R. V. (2004). Estimation of Beam Radiation for Optimal Orientation and Shape Decision of Buildings in India. *Architectural Journal of Institution of Engineers India*, 27-32.
- Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G.-E., Necula, H., & Bedea, A. (2015). The historical evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 243-253.
- Lollini, Barozzi, Fasano, Meroni, & Zinzi. (2006). Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and environmental issues. *Building and Environment*, 1001-1003.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, E., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 971-979.
- Morrissey, J., Moore, T., & Horne, R. E. (2011). Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation. *Renewable Energy*, 568-577.
- National Renewable Energy Laboratory. (n.d.). *Educational Resources*. Retrieved May 21, 2015, from Workforce Development & Education Programs: http://www.nrel.gov/education/pdfs/educational_resources/middle_school/lesson_plan_buildings.pdf
- Nelson, D. (2014, August 25). *Energy Efficient Lighting*. Retrieved from Whole Building Design Guide: <https://www.wbdg.org/resources/efficientlighting.php>
- Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3559-3573.
- Panelite. (2013, August). Retrieved from [www.panelite.us](http://www.panelite.us/wp-content/uploads/2013/07/2013-07-Panelite_Product_Focus-ClearShade-Window-7-Integration.pdf): http://www.panelite.us/wp-content/uploads/2013/07/2013-07-Panelite_Product_Focus-ClearShade-Window-7-Integration.pdf
- Pechacek, C. S., Andersen, M., & Lockley, S. W. (2008). Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with the Applications to Healthcare Architecture. *The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 1-26.
- Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 220-232.
- Shaviv, E. (1981). The influence of the orientation of the main solar glazing on the total energy consumption of a building. *Solar Energy*, 26(5):453-454.

- Vigener, N. P., & Brown, M. A. (2009, June 1). *Building Envelope Design Guide - Glazing*. Retrieved March 27, 2015, from Whole Building Design Guide: https://www.wbdg.org/design/env_fenestration_glz.php
- Wirz-Justice, A., & Fournier, C. (2010). Light, Health, and Wellbeing: Implication from chronobiology for architectural design. *Design & Health Scientific Review*, 44-49.
- Zissil.com. (2015). *Heat Absorbing Glass Windows*. Retrieved from Zissil: Replacement Windows Encyclopedia: <http://zissil.com/topics/Heat-Absorbing-Glass-Windows>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2009). *เอกสารประกอบหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารภาคที่ 2: เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่*. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2010). *คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553*. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. Retrieved August 20, 2015, from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (n.d.). *บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์*. Retrieved from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: <http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20Technology8.htm>
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร. (n.d.). *Azimuth คืออะไร*. Retrieved August 20, 2015, from ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร: http://www.bangkokgis.com/modules.php?m=webboard&op=detailwebboard_data&No=681&gr=

บทที่ 3

แหล่งพลังงานทดแทน (Renewable Energy Sources: RES)

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

พลังงานแสงอาทิตย์นั้นนับเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ล้นเหลือที่สุด ไม่ลดน้อยลง และเป็นพลังงานสะอาด (Parida, Iniyar, และ Goic, 2011) พลังงานที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ตกกระทบผิวเปลือกโลกนั้นมีปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 90,000 - 120,000 terawatts ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าความต้องการใช้พลังงานของโลกถึงมากกว่า 7,000 เท่า (Blankenship, และคนอื่นๆ, 2011; Botkin และ Keller, 2011) ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรและมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรังสีดวงอาทิตย์สูง โดยพบว่าประเทศไทยมีระดับของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีสูงถึง 18.2 MJ/ตารางเมตร-วัน หรือ 4-5 kW/ชั่วโมง/ตารางเมตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, n.d.; ชีวะเกตุ, 2000) และมีระดับของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยระหว่างเดือน เมษายน - พฤษภาคม สูงถึง 20 - 24 MJ/ตารางเมตร-วัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, n.d.) พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) คืออุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง อุปกรณ์ดังกล่าวผลิตขึ้นมาจากสาร Semiconductor เช่น Silicon เป็นต้น โดยมีหลักการทำงานคือเมื่อมีรังสีดวงอาทิตย์มากระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ วัสดุที่เป็น Semiconductor จะดูดซับพลังงานไว้และจะไปกระตุ้นให้ Electron ในสาร Semiconductor หลุดออกจากวงโคจรและเคลื่อนที่อย่างอิสระการเคลื่อนที่หรือการไหลของ Electron นั้นก็คือการไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อนำหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะติดตั้งที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถนำกระแสไฟฟ้ามาใช้งานได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, n.d.) เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานที่มีการเติบโตสูงที่สุดในโลก โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตพลังงานประมาณ 35% ต่อปี นอกจากนั้นเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วอีกด้วย จากประสิทธิภาพการสร้างพลังงานจากรังสีอาทิตย์ 1-2% ของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทั่วไปขายในท้องตลาดเมื่อสอง-สามทศวรรษที่ผ่านมา พัฒนาเป็นถึงเกือบ 20% ในปัจจุบัน (Botkin และ Keller, 2011)

การสร้างพลังงานไฟฟ้าจากรังสีดวงอาทิตย์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) นั้นมี **องค์ประกอบ** หลายอย่าง ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเชื่อมต่อทางเครื่องกลและระบบไฟฟ้า อุปกรณ์/รางยึด รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่เป็นผลผลิตของระบบ (Parida, Iniyar, และ Goic, 2011) ขนาดของกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ PV คือ kWp (Peak Kilowatts) ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะได้ รับจากระบบ PV เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากตรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ต่อเมื่อมีรังสีดวงอาทิตย์มากระทบกับ **วัสดุดูดซับแสง (Light Absorbing Materials)** (Parida, Iniyar, และ Goic, 2011) ที่ถูกติดตั้งอยู่ในเซลล์แสงอาทิตย์ อันได้แก่

- **ซิลิคอนรูปผลึก (Crystallized Silicon)** ซึ่งมีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon / Monocrystalline Silicon: mono-Si) ที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยน

แสงอาทิตย์ ให้เป็นไฟฟ้าได้ประมาณ 15-20% และถือว่าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่สูง (Space Efficient) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถผลิตไฟฟ้ามากเป็นสี่เท่าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง (Thin Film Solar Panels) **เซลล์แสงอาทิตย์ mono-Si** นี้มีอายุการใช้งานและคงประสิทธิภาพยาวนาน นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพในสถานที่ที่มีอากาศร้อนและสภาพแสงน้อยที่ดีอีกด้วย แต่ราคาเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้มีราคาแพง เนื่องจาก Crystalline Silicon เป็นส่วนประกอบสำคัญของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จึงมีคุณค่าเพิ่ม (Value Added) ที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนั้นกรรมวิธีในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จาก Crystalline Silicon ที่จะต้องนำมาเลื่อยให้เป็นแผ่น (Wafer) บางๆ จึงทำให้เกิดการสูญเสีย ในลักษณะที่เลื่อยไปไม่น้อยกว่าครึ่ง ในการติดตั้งเพื่อใช้งานควรระมัดระวังไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของแผ่น (Panel) โดนบังแสง (partially covered with shade) เพราะอาจทำให้ระบบเสียหายได้ (ชีวะเกตุ, 2000; Parida, Iniyani, & Goic, 2011; Maehlum, Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film, 2015)

ข้อดี ประสิทธิภาพสูง (15-20%) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่สูง ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อสภาพแสงน้อยสูงเหมาะในการใช้งานในภูมิอากาศร้อนอายุการใช้งานยาวนาน (25-30 ปี)

ข้อเสีย แพง สูญเสียวัสดุเป็นขยะมาก ต้องระมัดระวังในการติดตั้งและการดูแลรักษา

- **ซิลิคอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon: p-Si / Multi-crystalline Silicon: mc-Si)** ซึ่งมีวิธีการผลิตด้วยการเทซิลิคอนหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ ไม่มีเศษซิลิคอนให้เหลือทิ้งเป็นขยะ ส่งผลให้มีราคาที่ถูกลงกว่าประเภท mono-Si แต่เซลล์แสงอาทิตย์ p-Si/mc-Si นี้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่น้อยกว่า คือ 13-17% เนื่องจากเซลล์มีความบริสุทธิ์ของซิลิคอนที่น้อยกว่า ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่นั้นต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ p-Si อีกด้วย (Khan, 2014; Maehlum, Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film, 2015)

ข้อดี ราคาถูกกว่า mono-Si ได้รับความนิยมสูง หาซื้อง่าย สูญเสียวัสดุเป็นขยะน้อย

ข้อเสีย ประสิทธิภาพต่ำกว่า mono-Si (13-17%) ประสิทธิภาพลดลงเมื่อติดตั้งในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง

- **ซิลิคอนที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous silicon: a-Si)** ซึ่งเป็นประเภทรอง (subcategory) ของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง (Thin-film) ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพ 5-7% และประสิทธิภาพเพิ่มเป็น 8-10% ในประเภท Double และ Triple Junction หรือเรียกว่า Stacking โดย Amorphous Silicon นี้สามารถเคลือบลงแผ่นกระจกหรือแผ่นโลหะ ทำให้ติดตั้งในส่วนที่เป็นวัสดุอาคารได้ แต่วัสดุชั้นแสงชนิดนี้มีจุดด้อยที่สำคัญคือมีการเสื่อมสภาพที่เร็วกว่า Crystalline Silicon (ชีวะเกตุ, 2000; Parida, Iniyani, และ Goic, 2011) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ใช้ซิลิคอนปริมาณเพียง 1% ที่ใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบอื่น แต่การ Stacking นั้นมีต้นทุนการผลิตสูง (Maehlum, Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film, 2015)

ข้อดี และ ข้อเสีย ดูใน **เซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง (Thin film Photovoltaic Cells: TFPV)**

- **Cadmium Telluride (CdTe) และ Cadmium Sulphide (CdS)**

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdTe/CdS นั้นเป็นประเภทรอง(Subcategory) ของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง (Thin-film) มีความสามารถสูงมากในการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์และปล่อยอิเล็กตรอน ด้วยความหนาของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เพียง 3 ไมครอน นั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึง 15% หรือมากกว่า (Muller, 2012; Clover, First Solar raises bas for CdTe with 21.5% efficiency record, 2015) และมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าปกติที่ 9-11% (Khan, 2014)

ข้อดี และ ข้อเสีย ดูใน *เซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง(Thin film Photovoltaic Cells: TFPV)*

■ **Copper Indium Gallium Selenide (CIGS/CIS)**

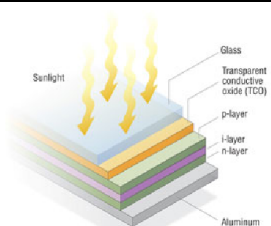
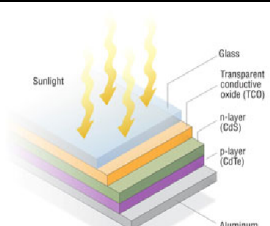
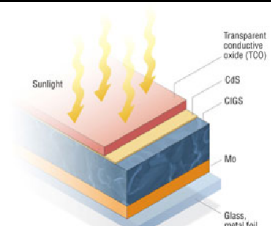
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIGS/CIS นั้นเป็นประเภทรอง (Subcategory) ของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง (thin-film) อีกหนึ่งประเภทที่มีวัสดุชั้นแสงเป็นสารประกอบของ Copper, Indium, Gallium และ Selenide ฉาบลงบนวัสดุแผ่นเรียบเช่น พลาสติกหรือกระจก ที่ประกอบด้วย Anode และ Cathode (Electrodes) ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIGS/CIS นี้มีประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ 11-14%

ข้อดี และ ข้อเสีย ดูใน *เซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง(Thin film Photovoltaic Cells: TFPV)*

■ **เซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง (Thin film Photovoltaic Cells: TFPV)**

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นการผสมผสานชั้นบางๆ ของวัสดุชั้นแสงจำนวนอย่างน้อยหนึ่งชั้นหรือมากกว่าบนพื้นผิว (Substrate) ต่างๆ โดยวัสดุชั้นแสงที่ใช้ผลิต TFPV นั้นได้แก่ Amorphous silicon (a-Si), Cadmium Telluride / Cadmium Sulphide (CdTe/CdS) และ Copper Indium Gallium Selenide (CIGS/CIS) โดยมีรายละเอียดด้านเทคนิค และการเปรียบเทียบข้อดี/ข้อเสีย ดังรายละเอียดใน **ตารางที่ 3-1**

ตารางที่ 3-1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุชั้นแสงในเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แผ่นบาง (Clover, First Solar raises bas for CdTe with 21.5% efficiency record, 2015; Maehlum, Best Thin Film Solar Panels - Amorphous, Cadmium Telluride or CIGS?, 2015)

คุณสมบัติ	a-Si	CdTe/CdS	CIGS/CIS
			
ประสิทธิภาพสูงสุด (ในห้องทดลอง)	13.4%	21.5%	20.4%
ประสิทธิภาพสูงสุด (ในการใช้งานจริง)	8.1%	14.4%	14.5%
ส่วนแบ่งการตลาด	32%	43%	25%
ข้อดี	เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามานาน เจริญเต็มที่ เหมาะสมในการใช้งานกับ	ต้นทุนการผลิตต่ำ	ประสิทธิภาพสูง เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับพื้นผิวกระจกและวัสดุ

คุณสมบัติ	a-Si	CdTe/CdS	CIGS/CIS
	อุปกรณ์ขนาดเล็ก		อาคารที่ติดตั้ง
ข้อเสีย	ประสิทธิภาพต่ำ และมีต้นทุนอุปกรณ์อื่นๆแพง	ประสิทธิภาพปานกลาง และมีส่วนประกอบคือ Cadmium ที่เป็นพิษร้ายแรง	มีราคาแพง และมีส่วนประกอบที่มีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคตคือ Indium (Muller, 2012)

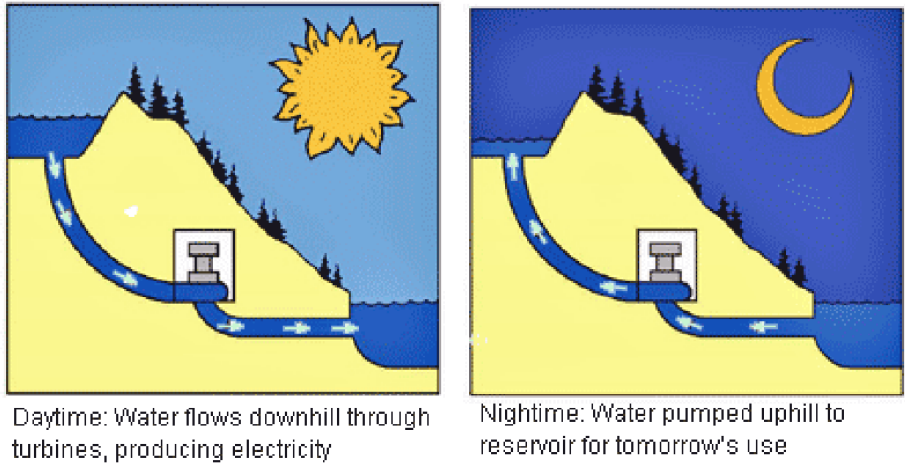
การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารนั้นมีสองประเภท ได้แก่ **ประเภทแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเข้ากับรางยึด (Rack-mounted PV systems)** ซึ่งเป็นประเภทที่ได้รับความนิยมสูงที่สุด และ **ประเภทการผสมผสานเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับวัสดุอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV)** ซึ่งยังมีจำนวนน้อยในปัจจุบันแต่มีการอัตราการเติบโตสูง โดยคาดการณ์ว่าจะมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบ BIPV เป็นปริมาณสูงถึง 1.15 GW ทั่วโลกในปี ค.ศ.2019 ซึ่งเติบโตจากปริมาณ การติดตั้ง 343.1 MW ในปี ค.ศ.2012 (James, Goodrich, Woodhouse, Margolis, และ Ong, 2011; Clover, BIPV sector to reach 1.15 GW by 2019, says report, 2014)

3.2 พลังงานน้ำ (Hydropower / Water Power)

พลังงานน้ำนั้นถือเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด โดยมีกลไกการได้มาของพลังงานคือการเก็บกักน้ำด้วยสิ่งก่อสร้างเช่นเขื่อน ให้ระดับน้ำเหนือเขื่อนสูงกว่าอีกด้านของเขื่อน (ท้ายเขื่อน) แล้วปล่อยน้ำจากที่ระดับน้ำสูงกว่าให้ไหลผ่านกังหันปั่นกระแสไฟฟ้าไปสู่ที่ระดับน้ำต่ำกว่า โดยในปีพ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำสูงถึง 3,497 MW และพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำสูงถึง 15,155 MW หรือนับเป็นสี่เท่าของกำลังการผลิตในปัจจุบัน (Aroonrat และ Wongwises, 2015)

การนำพลังงานน้ำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้านั้นมิได้ถูกจำกัดเพียงแค่การผลิตกระแสไฟฟ้าในเขื่อนขนาดใหญ่เท่านั้น แต่ยังสามารถนำมาใช้ในโครงการขนาดเล็กระดับอาคารได้อีกด้วย **ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small-scale hydropower systems)** คือ ระบบที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กน้อยกว่า 100 kW (Botkin & Keller, 2011) โดยสามารถติดตั้งระบบดังกล่าวในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการไหลของกระแสน้ำที่อยู่ไม่ไกลจากอาคาร โดยพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบขนาดเล็กนี้ได้ไม่น้อยกว่า 1,500 MW (Aroonrat และ Wongwises, 2015) ซึ่งความสามารถการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการไหลของน้ำในแหล่งน้ำเป็นหลัก และจำเป็นต้องคำนึงถึงการรบกวนต่อแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำนั้นๆเป็นสำคัญ เนื่องจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำสามารถรบกวนการดำรงชีพของสัตว์น้ำและอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำได้

นอกจากนี้ยังมีวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำด้วยรูปแบบที่เรียกว่า **Pump Storage** โดย **Pump Storage** คือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำที่ใช้ประโยชน์จากราคากระแสไฟฟ้าจากระบบสาธารณูปโภคภายนอกในช่วงเวลาที่มีราคาถูก (off-peak) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นช่วงเวลากลางคืน มาใช้สูบน้ำจากบริเวณแหล่งน้ำที่มีระดับต่ำกว่าไปสู่แหล่งเก็บน้ำที่มีระดับสูงกว่า เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง (เช่น ในช่วงบ่าย ที่ต้องการใช้ไฟฟ้าในการปรับอากาศ) จึงปล่อยน้ำที่เก็บกักไว้มาผลิตกระแสไฟฟ้า (Botkin และ Keller, 2011)



รูปที่ 3-1 กลไกการทำงาน ของวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำด้วยรูปแบบ Pump Storage (U.S. Geological Survey, 2015)



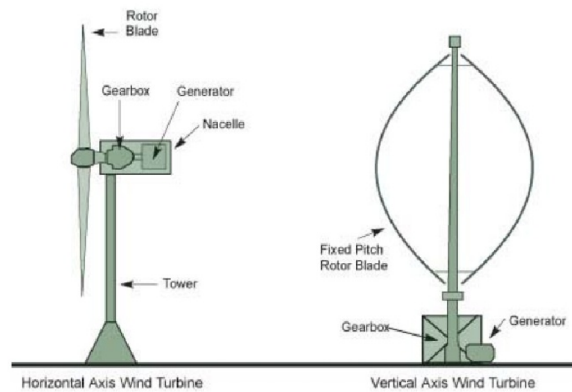
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างโครงการ Pump Storage (a) เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น (Lucky, 2012) และ (b) Seneca pumped storage generating station, Pennsylvania ประเทศสหรัฐอเมริกา (Wikipedia, 2015)

3.3 พลังงานลม (Wind Power)

พลังงานลมเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างล้นเหลือ มีอยู่ทั่วไปไม่ต้องซื้อหา และเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยมนุษย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม ด้วยการใช้กังหันลม (Wind Turbine) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์ของกระแสลม ด้วยการเปลี่ยนการไหลของกระแสลมผ่านใบกังหัน เป็นพลังงานกลด้วยการทำให้ใบกังหันหมุนรอบแกน จากนั้นจึงนำพลังงานกลนี้ไปเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, n.d.)

กังหันลมนั้นได้รับการพัฒนาจนเกิดเป็นรูปแบบที่หลากหลาย แต่สามารถสรุปได้เป็น สองประเภทหลัก นั่นคือ กังหันลมแนวแกนนอน และ กังหันลมแนวแกนตั้ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, n.d.)

- กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal axis wind turbine: HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานไปกับทิศทางกับทิศทางของกระแสลม เรียกว่า ทางเสื่อ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง กังหันลมประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน และกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบ Propeller เป็นต้น
- กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical axis wind turbine: VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของกระแสลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับกระแสลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง ซึ่งกังหันลมแบบนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 3-3 เปรียบเทียบกังหันลมแนวแกนนอน (HAWT) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT) (Sajuh, 2015)

กังหันลมทั้งสองประเภทนี้มีข้อได้เปรียบและความเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดที่ระบุใน ตารางที่ 3-2

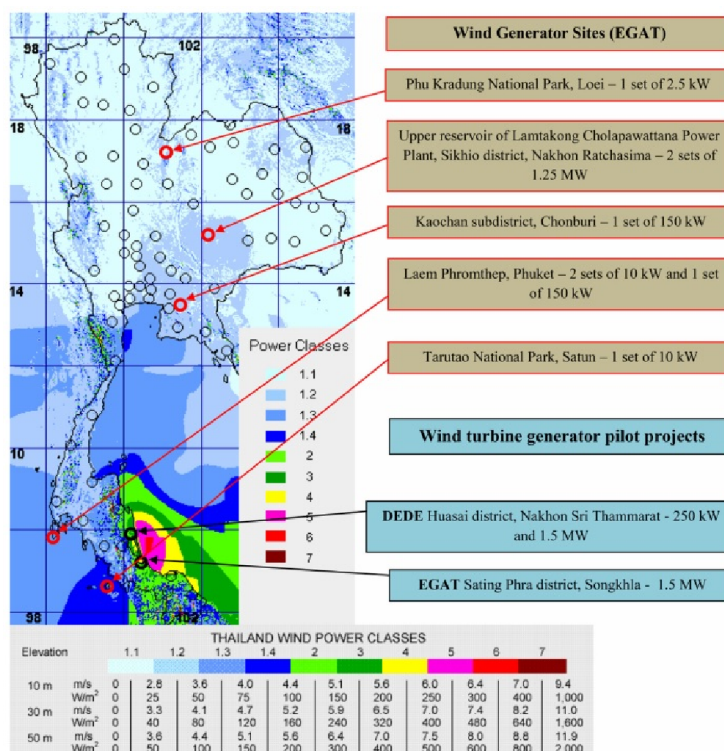
ตารางที่ 3-2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติกังหันลมประเภท HAWT และ VAWT (Aeolos Wind Turbine, n.d.; Bhutta, Hayat, Farooq, Ali, Jamil, และ Hussain, 2012)

คุณสมบัติ	กังหันลมแนวแกนนอน (HAWT)	กังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT)
ขนาดของเสา	ใหญ่	เล็ก
การก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	มี	ไม่มี
กลไกการสาย	มี	ไม่มี
ความทนทานต่อกระแสลมพายุ	ไม่ทนทาน	ทนทาน
การบำรุงรักษา	ซับซ้อน	สะดวก
ความเร็วกระแสลมต่ำสุดที่ต้องการ	ความเร็วสูง (2.5-5 เมตร/วินาที)	ความเร็วต่ำ (1.5-3 เมตร/วินาที)
ผลกระทบต่อมนุษย์	อาจทำให้เวียนศีรษะ	ไม่มี
ตำแหน่งติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ไม่ได้อยู่บนระดับพื้นดิน	อยู่บนระดับพื้นดิน
ความสูงจากระดับพื้นดิน	สูงจากระดับพื้นดิน	ใกล้กับระดับพื้นดิน

คุณสมบัติ	กังหันลมแนวแกนนอน (HAWT)	กังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWT)
รัศมีการหมุนของใบกังหัน	มาก	น้อย
การก่อให้เกิดเสียงรบกวน	ค่อนข้างมาก	น้อย
ทิศทางกระแสลม	ขึ้นกับทิศทางกระแสลม	เป็นอิสระจากทิศทางกระแสลม
การรบกวนต่อนก	มาก	น้อย
ประสิทธิภาพในอุดมคติ	50-60%	มากกว่า 70%

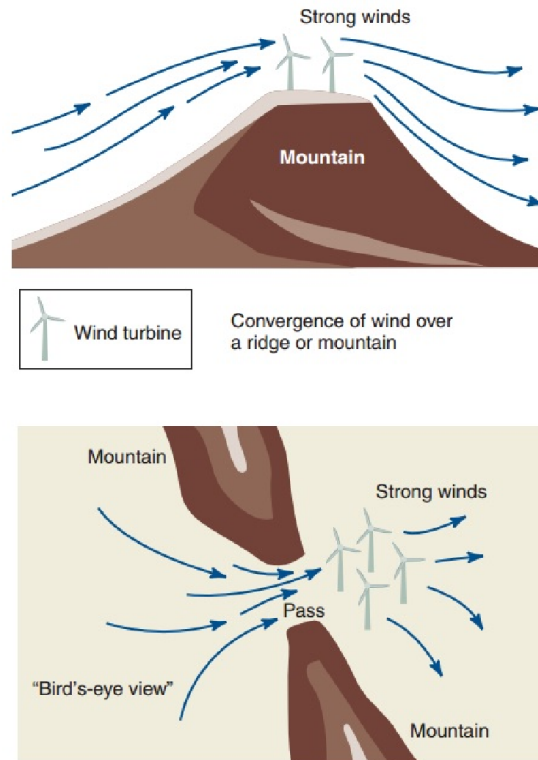
ปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม เป็นปริมาณถึง 11.7 MW และก้าวกระโดดเป็น 223 MW ในปี พ.ศ.2556 และมีการคาดการณ์ว่าจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้สูงถึง 1,800 MW ภายในปี พ.ศ. 2564 (Chingulpitak และ Wongwises, 2014; Greenpeace, 2014)

โดยทั่วไป ประเทศไทยมีศักยภาพด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีระดับความเร็วลมเฉลี่ย 3-5 เมตร/วินาที แต่ บริเวณที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมนี้ควรมีระดับความเร็วลมเฉลี่ยไม่ควรต่ำกว่า Class 3 ของมาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission) ซึ่งมีความเร็วลม 6.4-7.0 เมตร/วินาที หรือมีพลังงานลม 300-400 W/ตารางเมตร ณ ระดับความสูง 50 เมตร เพราะฉะนั้นจึงมีสถานที่จำนวนไม่มากในประเทศไทยที่มีความเร็วลมเฉลี่ยระดับนั้น เช่น ภาคใต้บริเวณชายฝั่งด้านอ่าวไทย อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช ที่มีระดับความเร็วลมเฉลี่ย Class 3 และอุทยานแห่งชาติไทร้มเย็น จ.สุราษฎร์ธานี ที่มีระดับความเร็วลมเฉลี่ย Class 6-7 (8.00-11.90 เมตร/วินาที หรือมีพลังงานลม 600 W/ตารางเมตร) เป็นต้น (Chingulpitak และ Wongwises, 2014)



รูปที่ 3-4 แผนที่พลังงานลมเฉลี่ยรอบปี (ขณะลมสงบ) ประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2001; Chingulpitak และ Wongwises, 2014)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม นั้นมีได้มีเพียงแต่ ทิศทาง ความเร็ว และความสม่ำเสมอของกระแสลม แต่ยังมี สภาพภูมิประเทศ และ ความแตกต่างของอุณหภูมิในบรรยากาศ อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดกระแสลมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอีกด้วย (Botkin และ Keller, 2011) ตัวอย่างเช่น ความเร็วของกระแสลมมักจะมีการเพิ่มความเร็วที่บริเวณยอดเนินเขาหรือช่องเขา เป็นต้น



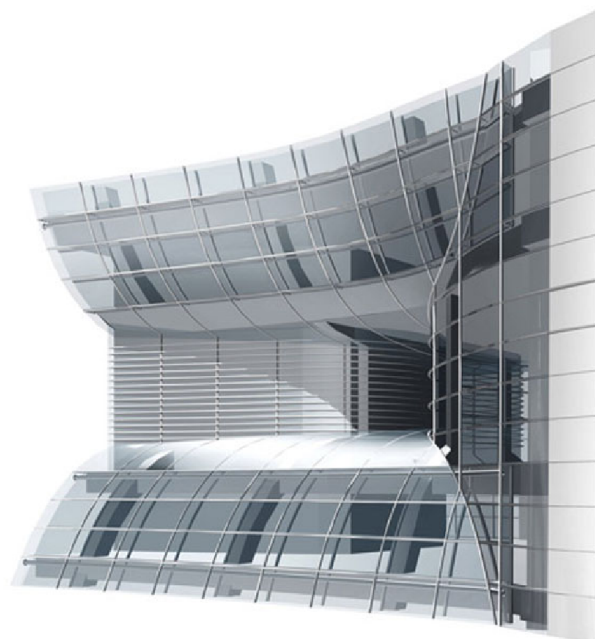
รูปที่ 3-5 ลักษณะของกระแสลมที่ถูกเพิ่มความเร็วด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์ (Botkin และ Keller, 2011)

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองและในอาคารเช่นโรงพยาบาลนั้นมีข้อจำกัดในการติดตั้งและใช้งานกังหันลมทั้งสองประเภทดังที่กล่าวไป เนื่องจากมีขนาดใหญ่และต้องการสถานที่ติดตั้งเฉพาะแต่สามารถทำได้ในรูปแบบ อาคารผสมผสานกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า (Building Integrated Wind Turbine: BIWT / Building Mounted Wind Turbine) ซึ่งมีการติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (ขนาดรวมไม่เกิน 100 kW) ผสานเป็นส่วนหนึ่งกับอาคาร (Smith, Forsyth, Sinclair, และ Oteri, 2012) ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งบริเวณจุดสูงสุดของอาคาร เนื่องจาก ความเร็วของกระแสลมจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความสูงจากพื้นดิน และได้รับผลกระทบน้อยจากอุปสรรคขวางกระแสลม เช่น ต้นไม้ และอาคารข้างเคียง วิธีการนี้มีข้อดีในการใช้พลังงานจากกระแสลมที่ไหลผ่านอาคาร เพื่อลดภาระการใช้ไฟฟ้าของอาคารจากระบบสาธารณูปโภค แต่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี BIWT ในปัจจุบัน พบว่าวิธีการนี้มีข้อจำกัดและข้อควรคำนึงมากมาย ดังต่อไปนี้ (Wilson, 2009; Tencer, 2010)

- พบว่าอาคาร BIWT จำนวนมากไม่สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าจากกระแสลมได้มากเท่ากับที่ออกแบบไว้ เนื่องจากติดตั้งระบบกังหันลมผิดตำแหน่ง เช่น ติดตั้งในตำแหน่งที่อับลม มีส่วนอื่นๆ ของอาคารบังลม เป็นต้น
- ลักษณะของกระแสลมที่เหมาะสมแก่การทำงานของกังหันลมมากที่สุดคือ **กระแสลมที่ไหลแรงอย่างราบเรียบ(strong laminar wind)** และ**ไหลไปในทิศทางเดียว(single direction)**ซึ่งเกิดขึ้นได้ยากในสถานที่จริงบนยอดของอาคาร ที่มักมี**กระแสลมที่แปรปรวน(turbulence)**โดยเฉพาะกระแสลมที่ไหลผ่านมุมของหลังคาหรืออาคาร จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกระแสลมแปรปรวน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสร้างพลังงานของกังหันลมนั้นลดลง
- ระบบกังหันลมมักสร้าง**เสียงรบกวนและแรงสั่นสะเทือน**ให้กับตัวอาคาร การออกแบบและก่อสร้างอาคารเพื่อกำจัดปัญหานี้ มักมีราคาแพงและสิ้นเปลืองทรัพยากรด้านอื่นๆ
- มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการติดตั้งระบบกังหันลมใน BIWT เช่น ถ้าระบบกังหันลมมีปัญหาอาจทำให้ใบกังหันลมหลุดกระเด็นออกนอกอาคาร ไปสร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนได้ เป็นต้น
- ประสิทธิภาพของระบบ BIWT ในสถานการณ์จริง มักต่ำกว่าข้อมูลที่ผู้ผลิตแจ้ง ทั้งข้อมูลด้านกำลังเฉลี่ยของระบบต่อระยะเวลา(power curves)และ ค่าพิกัดกำลังของระบบ (rated power output)



(a)



(b)

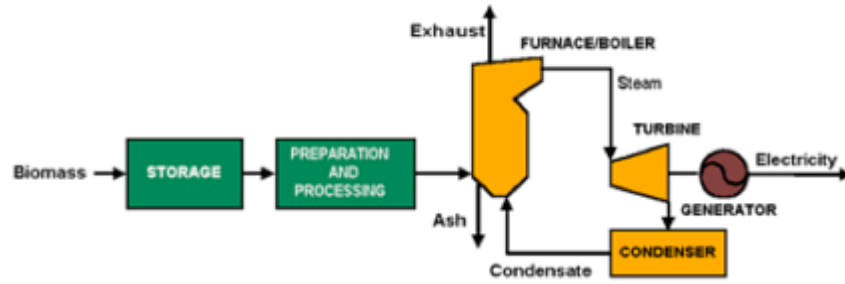
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างอาคาร BIWT (a) Pearl River Tower, Guangzhou, China
(b) ช่องลมสำหรับระบบกังหันลมของอาคาร Pearl River Tower (Wilson, 2009)

3.4 พลังงานชีวมวล (Biomass)

พลังงานชีวมวลนับเป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับคนไทยมาเป็นเวลายาวนาน ปัจจุบันที่สังคมไทยเปลี่ยนจากสังคมเกษตรกรรมมาเป็นสังคมอุตสาหกรรมมากขึ้น ความต้องการใช้พลังงานจากแหล่งชีวมวลนั้นไม่ได้ลดลงแต่กลับมากขึ้นตามลำดับ ทั้งการใช้พลังงานภาคครัวเรือนและภาคการผลิตอื่นๆ (Prasertsan & Sajjakulnakit, 2006) **ชีวมวล** หรือ **มวลชีวภาพ (Biomass)** คือสารอินทรีย์ต่างๆไปจากธรรมชาติ ที่จะสะสมพลังงานเก็บเอาไว้ในตัวของมันเอง และสามารถนำพลังงานของมันที่เก็บสะสมเอาไว้มาใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างของสารอินทรีย์เหล่านั้น เช่น **เศษหญ้า เศษไม้ เศษวัสดุเหลือทิ้ง**ที่ทิ้งจากการเกษตรหรือจากการอุตสาหกรรม เช่น **ขี้เลื่อย ฟาง แกลบ ขานอ้อย เป็นต้นรวมทั้งมูลสัตว์ เช่น ไก่ หมู วัว เป็นต้น** (Greenpeace, 2010; Thaibiotech.info, n.d.) การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งพลังงานนั้นสามารถทำได้สองวิธีคือ ใช้ในการทำความร้อน และ ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Torcellini, Pless, Deru, และ Crawley, 2006) แต่รูปแบบที่มีศักยภาพสูงได้แก่ การใช้กากของเหลือในโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงในระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมกัน (Cogeneration) ซึ่งจากรายงานของบริษัทที่ปรึกษาที่เสนอต่อคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ การใช้กากของเหลือมาผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีศักยภาพสูงถึง 3,000 MW แต่อุปสรรคของการพัฒนาพลังงานชีวมวลในประเทศไทย คือ ปัจจุบันในประเทศไทย มีผู้ผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแล้วไม่ต่ำกว่า 20 ราย ทั้งที่เป็นโรงงานน้ำตาล (ใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง) โรงสีข้าว (ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง) คิดเป็นกำลังการผลิตรวมถึง 440 เมกะวัตต์ ปัญหาที่ทำให้การพัฒนาพลังงานชีวมวลไม่เต็มศักยภาพที่มีอยู่จึงมีไขปัญหาด้านเทคโนโลยี แต่ปัญหาที่สำคัญคือ ราคารับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อยจากพลังงานชีวมวล (ประมาณ 1.26 บาทต่อหน่วย) นั้นยังต่ำกว่าราคารับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายใหญ่จากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) (ประมาณ 1.6 บาทต่อหน่วย) อยู่มาก ดังนั้นจึงทำให้แรงจูงใจในการลงทุนและการพัฒนาพลังงานจากชีวมวลลดลง (Greenpeace, 2010)

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานชีวมวลนั้น โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีเผาไหม้เพื่อต้มน้ำให้เกิดไอน้ำแรงดันสูงไปหมุนใบพัดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (**Direct-fired Combustion Systems**) นอกจากนั้นยังมีวิธีอื่นๆ ได้แก่ **กระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification)** เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในชีวมวลไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ **วิธีการ Pyrolysis** คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อนในสภาวะไร้อากาศ โดยเกิดการแตกของพันธะโมเลกุลในองค์ประกอบให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงและของเหลว (น้ำมัน) และ **วิธีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)** เป็นการย่อยสลายชีวมวลโดยแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจน เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพที่ประกอบด้วย Methane เป็นส่วนใหญ่ที่สามารถนำไปเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (U.S. Department of Energy, 2011)

Direct Combustion / Steam Turbine System



รูปที่ 3-7 แผนภาพแสดงการทำงานของ Direct-fired Combustion Systems (U.S. Department of Energy, 2011)

ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดในการวางแผนเพื่อก่อสร้างและใช้งานชีวมวลเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าคือการประเมินความเพียงพอของแหล่งชีวมวล (Resource Assessment) ซึ่งมีความจำเป็นเนื่องจาก แหล่งชีวมวลนั้น ต้องมีประเภทที่เหมาะสม ต้องมีปริมาณที่เพียงพอ และต้องขนส่งเข้าสู่โรงงานได้ตรงเวลาอีกด้วย นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญต่อมาคือ การปล่อยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion Emissions) จะต้องได้รับการตรวจวัดและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรอบคอบ เมื่อนำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลมาใช้ในอาคารนั้นจะมีปัจจัยที่ต้องคำนึงเพิ่มเติม ได้แก่ การเก็บแหล่งชีวมวลในอาคาร ที่จะต้องระมัดระวังเรื่องฝุ่นผงที่เกิดจากชีวมวลเหล่านั้น อันก่อให้เกิดความสกปรก และมีความเสี่ยงที่จะติดไฟและเกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้ถ้าการเก็บแหล่งชีวมวลมีความชื้นสูง ก็จะเป็นแหล่งสะสมและแพร่กระจายของจุลชีวะ เช่น เชื้อรา ได้ (U.S. Department of Energy, 2011)

3.5 ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration)

ระบบผลิตพลังงานร่วม หรือ ระบบโคเจนเนอเรชัน (Cogeneration) คือ ระบบที่ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกล และมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนควบคู่ไปด้วยในขณะเดียวกัน โดยอาศัยเชื้อเพลิงแหล่งเดียวกัน ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานความร้อนร่วมนั้นสูงถึง 80% เมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวที่มีประสิทธิภาพเพียง 40% เท่านั้นเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะถูกปล่อยทิ้งให้กับบรรยากาศโดยไม่ได้นำไปใช้งาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, n.d.)

ตารางที่ 3-3 สรุปข้อดี-ข้อเสีย-ต้นทุน การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานประเภทต่างๆ (Electricity Generating Co.,Ltd. (EGCO), 2008; Nuclear Society of Thailand; Muller, 2012)

ประเภทเชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย	ต้นทุน		
			Investing Cost (บาท/kW)	Production Cost (บาท/kW)	External Cost (บาท/kW)
น้ำมัน	<ul style="list-style-type: none"> เป็นเชื้อเพลิงที่นำมาใช้งานได้ง่าย สะดวกในการขนส่งและจัดเก็บ 	<ul style="list-style-type: none"> เป็นเชื้อเพลิงราคาสูงและมีราคาผันผวน ทำให้เกิดมลภาวะในอากาศ เนื่องจากมีการปล่อยก๊าซ CO₂, SO₂ 			

ประเภท เชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย	ต้นทุน		
			Investing Cost (บาท/kW)	Production Cost (บาท/kW)	External Cost (บาท/kW)
		และ NOx			
ก๊าซธรรมชาติ	<ul style="list-style-type: none"> ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพสูง มีความเหมาะสม ที่จะใช้ในปริมาณ มากๆ ราคาสมเหตุสมผล เสียค่าดำเนินการและค่าบำรุงรักษาต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> มีอยู่เฉพาะบางพื้นที่ และมีปริมาณสำรองเหลือน้อย การจัดเก็บและการขนส่งมีความเสี่ยงและมีต้นทุนสูง 	<p>17,500 ถึง 32,500</p>	<p>1.75 ถึง 3.00</p>	<p>0.35 ถึง 1.55</p>
ถ่านหิน	<ul style="list-style-type: none"> ราคาเชื้อเพลิงมีเสถียรภาพ และถูกกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ลดการพึ่งพาการผลิตไฟฟ้า จากก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา ที่มีราคาผันผวน มีปริมาณสำรองอยู่มาก มีเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ที่มีการอ้างว่าสามารถจัดการกับมลพิษที่เกิดขึ้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถขนส่งและจัดเก็บได้สะดวก 	<ul style="list-style-type: none"> แม้ถ่านหินจะมีอยู่ในปริมาณมาก แต่การทำเหมืองถ่านหินนั้นสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆอีกมาก ทั้งการตัดไม้ทำลายป่า ทำลายแหล่งต้นน้ำ และก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ทำให้เกิดมลภาวะในอากาศ เนื่องจากการใช้งานถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานนั้นต้องมีการเผาไหม้ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเกิดมลพิษเป็นอย่างมาก 	<p>40,000 ถึง 60,000</p>	<p>1.50 ถึง 1.75</p>	<p>0.95 ถึง 4.95</p>
พลังงานนิวเคลียร์	<ul style="list-style-type: none"> เป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง มี Capacity Factor สูงมาก (ปกติสูงกว่า 90%) ราคาต้นทุนราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและฝุ่นละอองที่เป็นมลพิษน้อยมาก 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างสูง และต้องเตรียม โครงสร้างพื้นฐานและการพัฒนาบุคลากร ให้มีความเชี่ยวชาญ อย่างแท้จริง ต้องพัฒนาและเตรียมการเกี่ยวกับการจัดการกากกัมมันตรังสี การดำเนินงานด้าน แผนฉุกเฉิน ทางรังสี และมาตรการควบคุม ความปลอดภัย เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ 	<p>40,000 ถึง 80,000</p>	<p>1.25 ถึง 1.50</p>	<p>0.12 ถึง 0.94</p>
พลังงานชีวมวล	<ul style="list-style-type: none"> หาวัตถุดิบในการผลิตพลังงานได้ง่ายในประเทศไทย เพราะเป็นผลผลิตจากภาคเกษตรกรรม สร้างมูลค่าเพิ่มให้เกษตรกร 	<ul style="list-style-type: none"> ปริมาณการจัดการเชื้อเพลิง ไม่มีความสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตร ในแต่ละช่วงเวลา ไม่เหมาะแก่การลงทุน ในเชิงพาณิชย์เนื่องจาก 	<p>67,500 ถึง 110,000</p>	<p>2.00 ถึง 5.50</p>	<p>0.10 ถึง 2.50</p>

ประเภท เชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย	ต้นทุน		
			Investing Cost (บาท/kW)	Production Cost (บาท/kW)	External Cost (บาท/kW)
	— เหมาะแก่การผลิตในระดับท้องถิ่น ในพื้นที่ซึ่งไม่ใช่แหล่งอุตสาหกรรม	ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำ			
พลังงานน้ำ	— เป็นพลังที่มีอย่างล้นเหลือและมีวัตถุดิบในการผลิตพลังงานที่ต่อเนื่อง — ต้นทุนในการผลิตต่ำ และมีเสถียรภาพ — เป็นพลังงานสะอาด และไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ	— อาจเกิดเหตุหมั่นทกภัยขึ้นได้ ในกรณีการพังทลายของเขื่อนกั้นน้ำ — ในการก่อสร้างเขื่อนนั้นมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์เป็นอย่างมาก — ต้องใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างสูง — ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ นั้นขึ้นตรงกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	100,000	1.50 ถึง 3.25	0.00 ถึง 0.30
พลังงาน แสงอาทิตย์	— เป็นแหล่งพลังงานที่มีอย่างล้นเหลือและมีวัตถุดิบในการผลิตพลังงานที่ต่อเนื่อง — ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม	— ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับวางแผงรับแสงอาทิตย์ — การได้รับพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีเวลาจำกัด ไม่สามารถผลิตพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง (เช่น ในเวลากลางคืน) — ต้องมีแหล่งเก็บสะสมพลังงาน — ขั้นตอนการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ มาเป็นพลังงานไฟฟ้า ยังเป็นเทคโนโลยีซับซ้อน แผงเซลล์ที่รับพลังงาน ยังมีต้นทุนสูง — ยังมีราคาแพงมาก หากเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยพลังงานที่ได้รับ กับแหล่งพลังงานประเภทอื่น	200,000 ถึง 450,000	12.50 ถึง 32.50	0.07 ถึง 0.17
พลังงานลม	— มีต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยพลังงานที่ได้รับต่ำ เนื่องจาก ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิง อาศัยจากแรงลม ในธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ได้ อย่างไม่มีวันหมด — ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เป็น	— ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า ในปริมาณมากในเชิงอุตสาหกรรมได้ — ต้องใช้พื้นที่มาก — อาจรบกวนการส่งสัญญาณ โทรศัพท์ และไมโครเวฟ — อาจก่อให้เกิดมลภาวะทางเสียง และส่งผล	200,000 ถึง 450,000	2.50 ถึง 6.00	0.03 ถึง 0.13

ประเภท เชื้อเพลิง	ข้อดี	ข้อเสีย	ต้นทุน		
			Investing Cost (บาท/kW)	Production Cost (บาท/kW)	External Cost (บาท/kW)
	อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม	กระทบต่อสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้นๆ ได้ (เช่น นก เป็นต้น) —สถานที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้านั้นมีจำกัด เนื่องจากต้องการสถานที่ตั้งที่มีความเร็วลมสูง และมีความเร็วลมที่สม่ำเสมอ			

หนังสืออ้างอิง

- Aeolos Wind Turbine. (n.d.). *Horizontal Axis Wind Turbine VS Vertical Axis Wind Turbine*. Retrieved May 21, 2015, from Aeolos Wind Turbine: <http://www.windturbinestar.com/hawt-vs-vawt.html>
- Aroonrat, K., & Wongwises, S. (2015). Current status and potential of hydro energy in Thailand: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 70-78.
- Bhutta, M. M., Hayat, N., Farooq, A. U., Ali, Z., Jamil, S. R., & Hussain, Z. (2012). Vertical axis wind turbine - A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 1926-1939.
- Blankenship, R. E., Tiede, D. M., Barber, J., Brudvig, G. W., Fleming, G., Ghirardi, M., et al. (2011). Comparing Photosynthetic and Photovoltaic Efficiencies and Recognizing the Potential for Improvement. *Science* , 805-809.
- Botkin, D. B., & Keller, E. A. (2011). *Environmental Science: Earth as a Living Planet* (8th Edition ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Chingulpitak, S., & Wongwises, S. (2014). Critical review of the current status of wind energy in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 312-318.
- Clover, I. (2014, April 28). *BIPV sector to reach 1.15 GW by 2019, says report*. Retrieved July 25, 2015, from PV Magazine: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/bipv-sector-to-reach-115-gw-by-2019--says-report_100014922/#axzz3gtmbbZLm
- Clover, I. (2015, February 6). *First Solar raises bar for CdTe with 21.5% efficiency record*. Retrieved April 15, 2015, from PV Magazine: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/first-solar-raises-bar-for-cdte-with-215-efficiency-record_100018069/#axzz3ierWpUzT

- Electricity Generating Co.,Ltd. (EGCO). (2008). *หลากหลายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า*. Retrieved from EGCO Group: http://www.egco.com/th/energy_knowledge_electricity_gen.asp
- Greenpeace. (2014, April 17). *Global Installed Wind Power Capacity*. Retrieved June 11, 2015, from Global Wind Energy Council: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/5_17-1_global-installed-wind-power-capacity_regional-distribution.jpg
- Greenpeace. (2010). *พลังงานชีวภาพ*. Retrieved from Greenpeace: <http://www.greenpeace.org/seasia/th/campaigns/climate-and-energy/solutions/bioenergy/>
- Hall, S. (2014, September 8). *Benefits of building integrated photovoltaics*. Retrieved July 26, 2015, from Design Quarterly: <https://www.reminetwork.com/articles/benefits-of-building-integrated-photovoltaics/>
- James, T., Goodrich, A., Woodhouse, M., Margolis, R., & Ong, S. (2011). *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Khan, E. W. (2014, August 10). *PV: Types of Solar Panel and Which one is the best PV Panel*. Retrieved July 8, 2015, from Electrical Technology: <http://www.electricaltechnology.org/2014/10/pv-types-of-solar-panel-best-pv-panel.html>
- Kim, J. T., & Todorovic, M. S. (2013). Towards sustainability index for healthy buildings - Via intrinsic thermodynamics, green accounting and harmony. *Energy and Buildings* , 627-637.
- Lucky, M. (2012, March 28). *Pump Up that Seawater! A Remix to Pumped-Storage Hydro*. Retrieved May 7, 2015, from Worldwatch Institute: <http://blogs.worldwatch.org/revolt/pump-up-that-seawater-a-remix-to-pumped-storage-hydro/>
- Maehlum, M. A. (2015, April 6). *Best Thin Film Solar Panels - Amorphous, Cadmium Telluride or CIGS?* Retrieved July 17, 2015, from Energy Informative: <http://energyinformative.org/best-thin-film-solar-panels-amorphous-cadmium-telluride-cigs/>
- Maehlum, M. A. (2015, May 18). *Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film*. Retrieved May 29, 2015, from Energy Informative: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- Muller, R. A. (2012). *Energy for future presidents: the science behind the headlines*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Nuclear Society of Thailand. (n.d.). *การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์กับโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น*. Retrieved from โรงไฟฟ้านิวเคลียร์: <http://www.nst.or.th/powerplant/pp04.htm>

- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable* , 1625-1636.
- Prasertsan, S., & Sajjakulnakit, B. (2006). Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renewable Energy* , 599-610.
- Sajuh, N. (2015, March 16). *Homemade vertical wind turbine design*. Retrieved July 8, 2015, from Green Power: <http://buildalternatif.blogspot.com/2015/03/homemade-vertical-wind-turbine-design.html>
- Smith, J., Forsyth, T., Sinclair, K., & Oteri, F. (2012). *Built-Environment Wind Turbine Roadmap*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Strong, S. (2011, December 27). *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)*. Retrieved July 25, 2015, from Whole Building Design Guide: <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>
- Tencer, R. M. (2010, February 18). *Analyzing building-integrated wind*. Retrieved March 28, 2015, from Windpower Engineering Development: <http://www.windpowerengineering.com/construction/projects/small-wind-design/analyzing-building-integrated-wind/>
- Thaibiotech.info. (n.d.). *ชีวมวล (Biomass) คือ อะไร*. Retrieved May 8, 2015, from เทคโนโลยีชีวภาพ แหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ: <http://www.thaibiotech.info/what-is-biomass.php>
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- U.S. Department of Energy. (2011, August 4). *Biomass for Electricity Generation*. Retrieved from Whole Building Design Guide: <https://www.wbdg.org/resources/biomasselectric.php>
- U.S. Geological Survey. (2015, August 7). *Hydroelectric power: How it works*. Retrieved August 10, 2015, from The USGS Water Science School: <http://water.usgs.gov/edu/hyhowworks.html>
- Wikipedia. (2015, July 2). *Seneca Pumped Storage Generating Station*. Retrieved August 1, 2015, from Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Seneca_Pumped_Storage_Generating_Station
- Wilson, A. (2009, April 29). *The Folly of Building-Integrated Wind*. Retrieved March 29, 2015, from BuildingGreen: <https://www2.buildinggreen.com/article/folly-building-integrated-wind>
- Yang, R. J. (2015). Overcoming technical barriers and risks in the application of building integrated photovoltaic (BIPV): hardware and software strategies. *Automation in Construction* , 92-102.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (n.d.). *แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์*. Retrieved มิถุนายน 25, พ.ศ.2558, from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: <http://www2.dede.go.th/dede/renew/sola/mapmenu.html>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2001, พฤศจิกายน). *แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย*. Retrieved เมษายน 7, 2015, from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: <http://www2.dede.go.th/dede/renew/Twm/MAIN.htm>

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (n.d.). *ชุดการจัดแสดงที่ 28: ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration)*. Retrieved May 30, 2015, from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay28%20Cogeneration.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay28%20Cogeneration.pdf)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (n.d.). *ชุดการจัดแสดงที่ 54 : การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Living Head/Photovoltaic Operation)*. Retrieved from กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Residential\(PDF\)/7_Bay%2054%20Solar%20cell_Rev1.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Residential(PDF)/7_Bay%2054%20Solar%20cell_Rev1.pdf)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (n.d.). *ไฟฟ้าจากพลังงานลม*. Retrieved เมษายน 5, 2015, from การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย: http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm

ชีวะเกตุ, ช. (2000, กรกฎาคม). *การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์*. Retrieved มีนาคม 1, 2015, from สำนักนโยบายและแผนพลังงาน: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html>

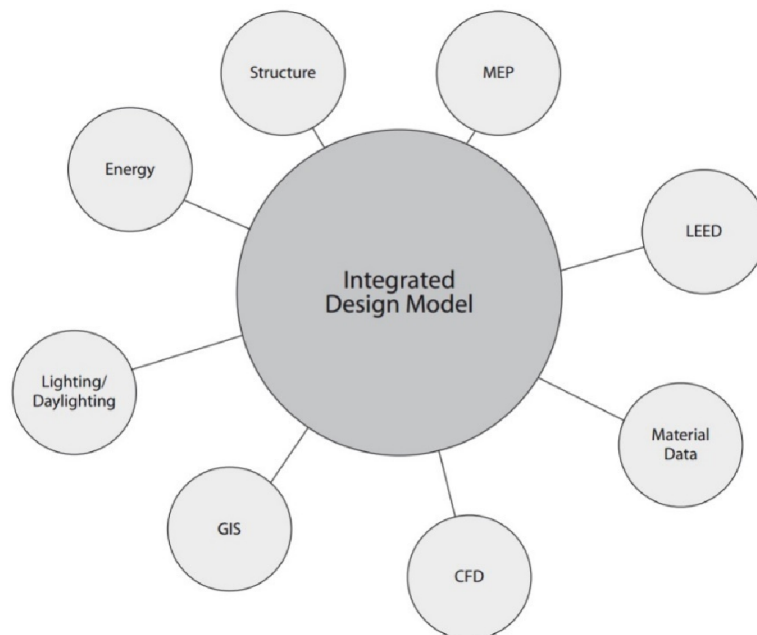
บทที่ 4

กระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) เพื่อการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

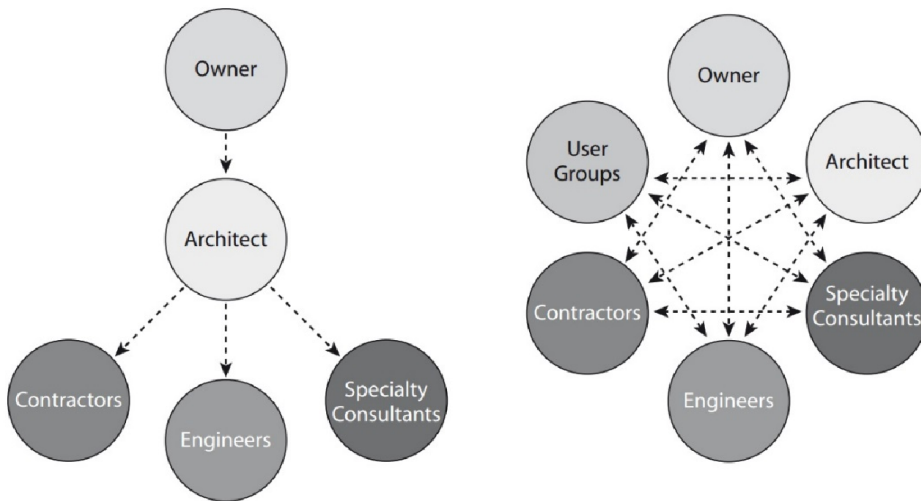
4.1 ความหมายของ กระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP)

The International council for Research and Innovation in Construction (CIB) ได้ให้ความหมายของกระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) ซึ่งหมายถึง กระบวนการออกแบบที่ใช้การทำงานและทักษะร่วมกัน โดยการบูรณาการ ระบบข้อมูล สารสนเทศ และการจัดการองค์ความรู้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างและกระบวนการ และเพื่อเพิ่มคุณค่าของงานระหว่างกระบวนการออกแบบ สร้าง และการใช้งานอาคาร รวมถึงข้ามไปยังโครงการก่อสร้างอื่นๆอีกด้วย (Hansen และ Knudstrup, 2005)

กระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP) นั้นถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนกระบวนการออกแบบแบบตามลำดับ (Traditional Sequential Process) ที่เป็นวิธีการแบบเก่า เนื่องจาก IDP นั้นเป็นการดำเนินการออกแบบอาคารร่วมกันแบบสหสาขา ทั้งสถาปนิก วิศวกร ผู้จัดการโครงการ เจ้าของโครงการ ฯลฯ ตั้งแต่เริ่มกระบวนการออกแบบ และยังร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบ ทั้งทางด้านรูปทรง การเลือกใช้วัสดุ การจัดการทรัพยากร การเลือกใช้พืชพรรณในโครงการก่อสร้าง และยังรวมถึงการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงาน การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนอีกด้วย (Rumming, 2013)

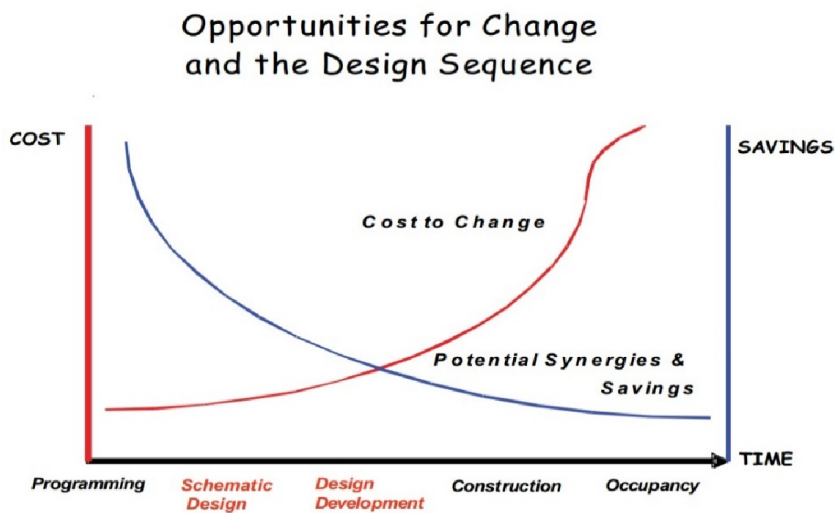


รูปที่ 4-1 แผนภาพแสดงแนวความคิดกระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP) (Krygiel และ Nies, 2008)



รูปที่ 4-2 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบแบบตามลำดับ (ซ้าย) กับกระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP) (ขวา) (Krygiel และ Nies, 2008)

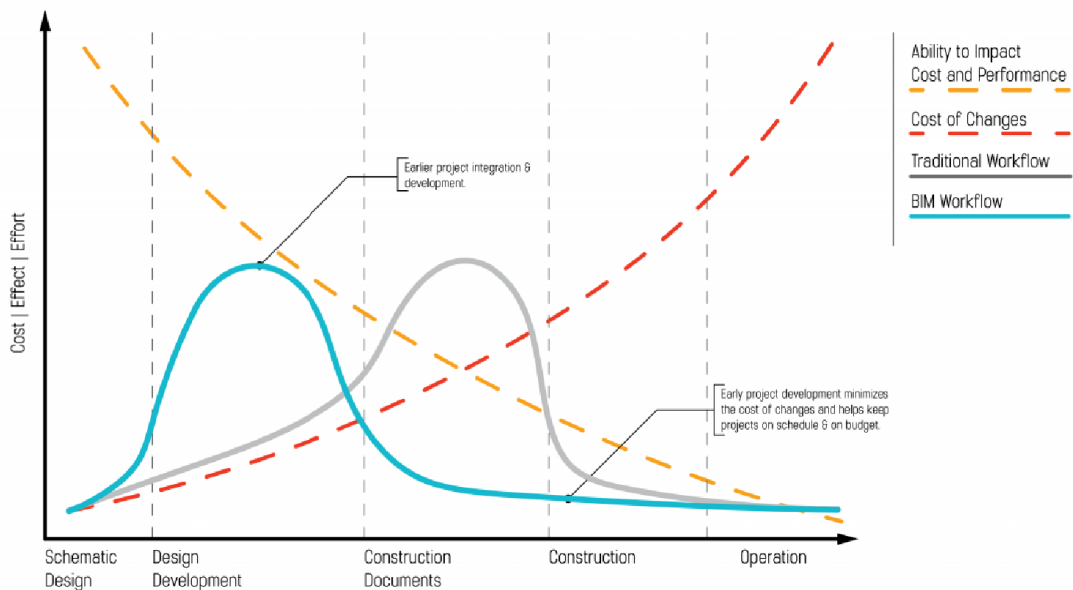
กระบวนการ IDP นี้ต้องมีการทุ่มสรรพกำลังของผู้เกี่ยวข้องในการออกแบบเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเริ่มต้นกระบวนการออกแบบ (Early Stages of Development) ซึ่งเป็นช่วงที่เป็นโอกาสที่ดีที่สุดในการปรับปรุงให้แบบอาคารมีความสมบูรณ์โดยมีต้นทุนต่ำสุด อันเป็นสิ่งที่แตกต่างจาก Sequential Process ที่ไม่มีการบูรณาการในกระบวนการออกแบบ มีการดำเนินกระบวนการออกแบบที่ละวิเศษ โดยไม่ได้มีการทำงานร่วมกัน เมื่อโครงการก่อสร้างได้ดำเนินการไปในขั้นตอน (Phases) ต่างๆ การปรับปรุงอาคารนั้นจะทำได้ยากขึ้นเรื่อยๆ และจะมีต้นทุนสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของขั้นตอนการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารเพิ่มขึ้น (Zimmerman, 2006) ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 โอกาสและต้นทุนในการปรับปรุงอาคาร ในช่วงขั้นตอน (Phases) ต่างๆ ในช่วงชีวิตอาคาร (Zimmerman, 2006)

กว่าทศวรรษที่ผ่านมาอุตสาหกรรมด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้างอาคาร (Architecture, Engineering, and Construction: AEC Industries) ได้เปิดรับเทคโนโลยีและกระบวนการที่เข้ามาสนับสนุนการทำงาน นั่นคือ ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เพื่อการสร้างแบบจำลองอาคารที่เที่ยงตรงในรูปแบบดิจิทัลอันเป็นตัวแทนอาคารที่จะก่อสร้างในขั้นตอนต่างๆในกระบวนการก่อสร้าง ทั้งทางด้านราคาชนิดและสารสนเทศของอาคารนั้นๆ ในขั้นตอนออกแบบ ก่อสร้าง แบ่งงวดงาน-งวดเงิน จนถึงขั้นตอนการส่งมอบอาคารโดยแบบจำลองสารสนเทศอาคารนี้สามารถสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารได้อย่างเที่ยงตรง รวมถึงการจัดทำเอกสารแบบก่อสร้างอาคารได้โดย BIM นั้นนับเป็นเทคโนโลยี-เครื่องมือ-กระบวนการที่สำคัญในการสนับสนุนกระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Processes: IDP) อันจะส่งผลให้เพิ่มคุณภาพของอาคารที่ก่อสร้าง โดยลดต้นทุนและระยะเวลาการก่อสร้างอีกด้วย (Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011)

นอกจากนั้นยังมี ประโยชน์ของการนำระบบ BIM มาใช้ในกระบวนการออกแบบ-ก่อสร้าง อีกมาก ได้แก่ การลดการเปลี่ยนแปลงแบบอาคารส่วนที่ไม่ได้ตั้งงบประมาณไว้ (Unbudgeted Change) ได้มากถึง 40% มีความเที่ยงตรงของการประมาณราคาโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3% ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการประมาณราคาค่าก่อสร้างลงได้มากกว่า 80%สามารถลดมูลค่าความเสียหายได้สูงถึง 10% จากการค้นพบความขัดแย้งในแบบ (Clash Detections) และสามารถลดเวลาดำเนินโครงการได้สูงถึง 7% (Azhar, 2011; ตั้งพฤษ์กุล และ สวัสดิ์สุข, 2015)



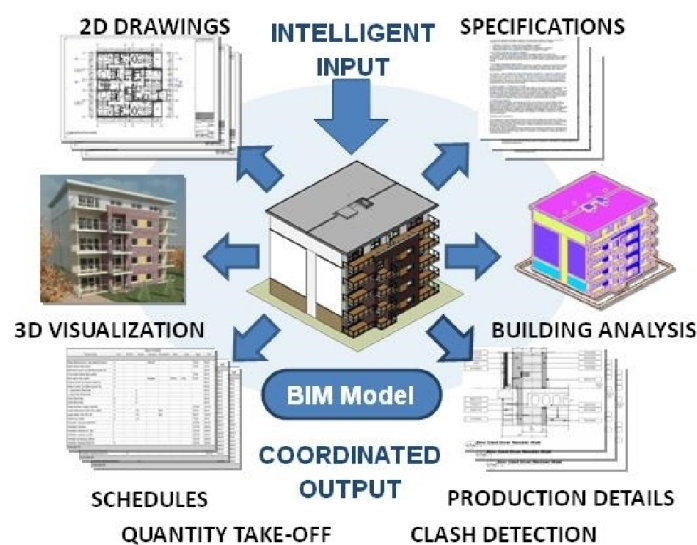
รูปที่ 4-4 ประโยชน์ของการใช้งาน BIM ในกระบวนการออกแบบบูรณาการ (IDP)
(Stevens Institute of Technology, 2015)

4.2 การสร้างแบบจำลองอาคาร ด้วยระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM)

ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) หมายถึง **แนวคิด กระบวนการ และเครื่องมือ** ที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการสร้างและจัดการสารสนเทศแบบจำลองโครงการ

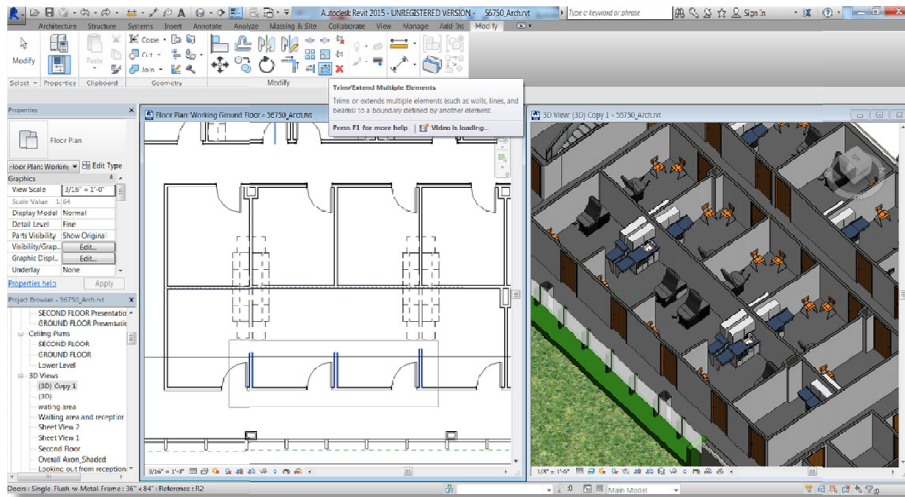
ก่อสร้างอย่างเป็นพลวัต ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ประกอบด้วยแบบจำลอง 3 มิติขององค์ประกอบต่างๆ ของโครงการ ที่มีการเชื่อมโยงสารสนเทศทั้งหมดเข้าด้วยกันตลอดช่วงชีวิตอาคาร และสามารถปฏิบัติการในสารสนเทศร่วมกัน (interoperable) ระหว่างผู้ถือผลประโยชน์ร่วมของโครงการได้อย่างสอดคล้องกัน (coordinated) และสามารถคำนวณได้ (computable) (Kymmell, 2008; Lamb, Reed, และ Khanzode, 2009; Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011; Aubin, 2012) เมื่ออธิบายอย่างง่าย BIM นั้นหมายถึง การสร้างแบบจำลองอาคารในรูปแบบดิจิทัล โดยมีการบูรณาการการสร้าง การสื่อสาร และการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารนั้นๆในกลุ่มของผู้มีส่วนร่วมทั้งข้อมูลกราฟิก (Graphics) ทั้ง 2 และ 3 มิติ เช่น ขนาด สี ระยะเวลา เป็นต้น และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-graphics) เช่น ข้อมูลผู้ผลิต รุ่น ราคา เป็นต้น (Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011; สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2015) โดยแบบจำลองสารสนเทศอาคารนั้น จะต้องมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011)

- องค์ประกอบอาคารในแบบจำลองอาคาร (Building Components) นั้นต้องมีภาพการแสดงผลและคุณลักษณะของข้อมูลที่สามารถใช้ได้ (Computable Graphic and Data Attributes) และในแบบจำลองจะต้องมีกฎที่สามารถคำนวณได้ (Parametric Rules) เพื่อให้สามารถจัดการกับแบบจำลองได้
- องค์ประกอบอาคารในแบบจำลองอาคาร (Building Components) นั้นต้องมีข้อมูลที่สนับสนุนกระบวนการออกแบบและการวิเคราะห์ เช่น ข้อมูลด้านราคา ข้อมูลด้านพลังงาน เป็นต้น
- องค์ประกอบอาคารในแบบจำลองอาคาร (Building Components) นั้นต้องมีข้อมูลดังที่กล่าวไปข้างต้น ที่ต้องมีความสอดคล้องไม่ขัดแย้งแต่ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน (Consistent and Nonredundant)
- ข้อมูลในแบบจำลองอาคารที่ทำงานประสานไปพร้อมกัน (Coordinated Data) นั้นจะต้องถูกนำเสนอในภาพต่างๆ (Views เช่น แพลน รูปด้าน รูปตัด ฯลฯ) อย่างประสานไปพร้อมกันเช่นกัน (Represented in a Coordinated Way)

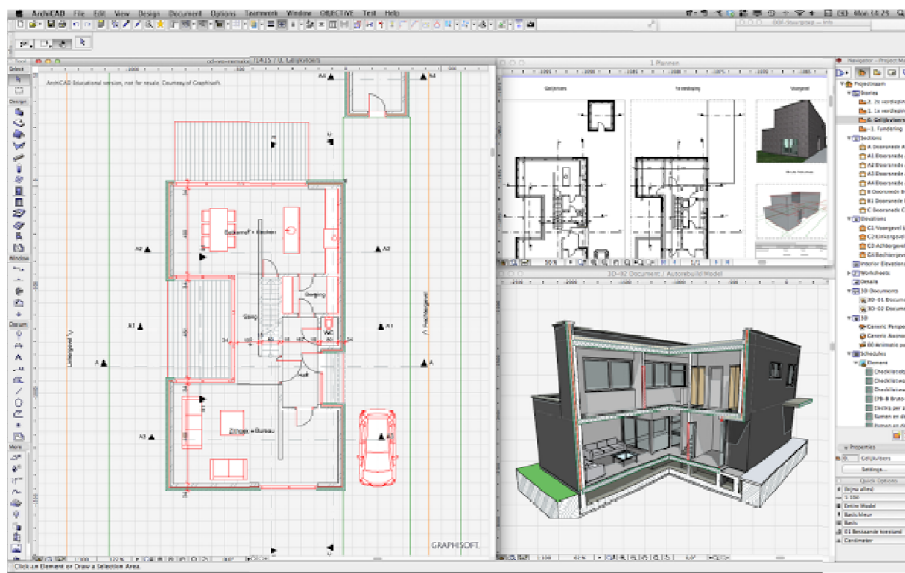


รูปที่ 4-5 ภาพอธิบายแนวคิดและประโยชน์ในการใช้ระบบ BIM (Crowley, 2013; สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2015)

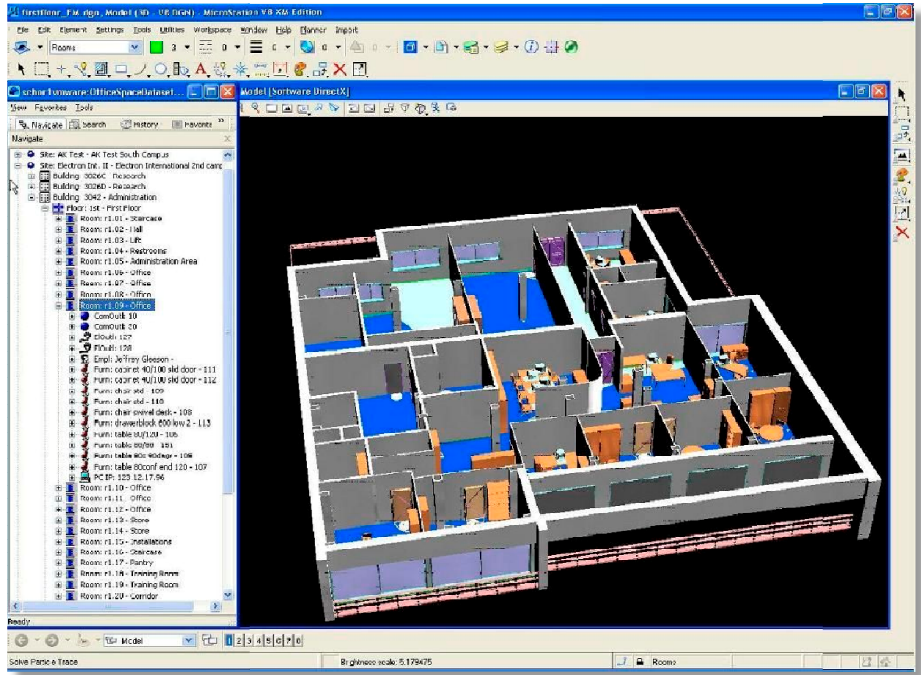
ปัจจุบันมีระบบ BIM ในรูปแบบซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจำหน่ายในท้องตลาดอยู่เป็นจำนวนมาก ได้แก่ Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Nemetschek Vectorwork, Bentley MicroStation เป็นต้น (CAD Addict, 2010; Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)



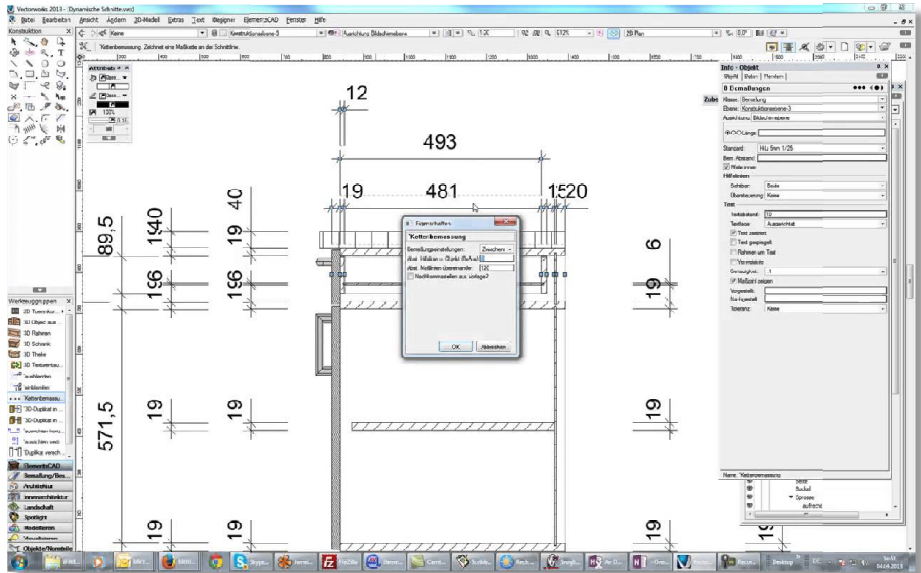
รูปที่ 4-6 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม Autodesk Revit



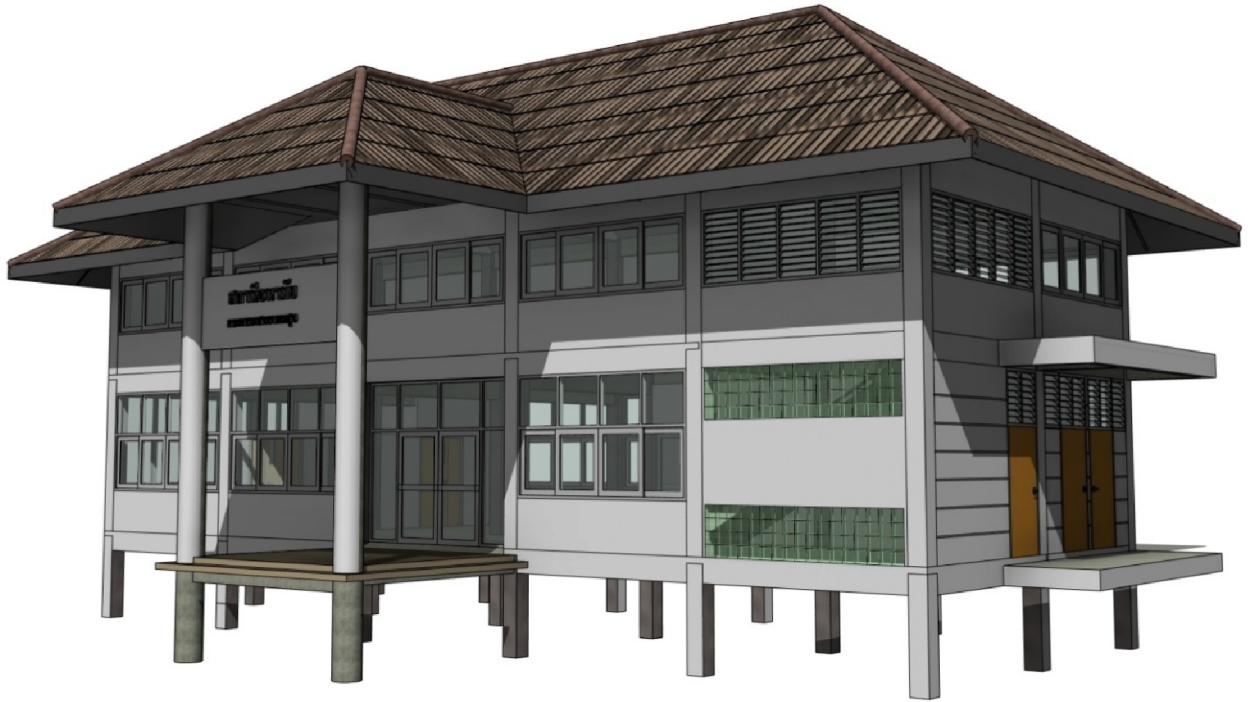
รูปที่ 4-7 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม ArchiCAD



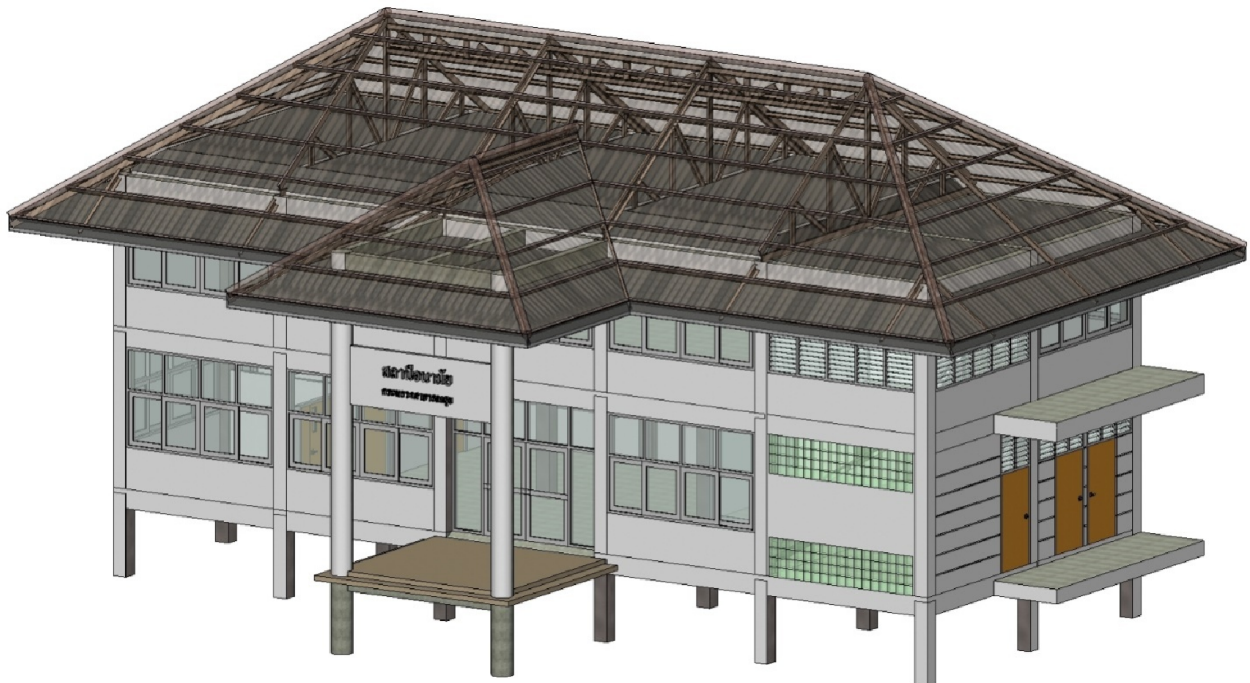
รูปที่ 4-8 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม MicroStation



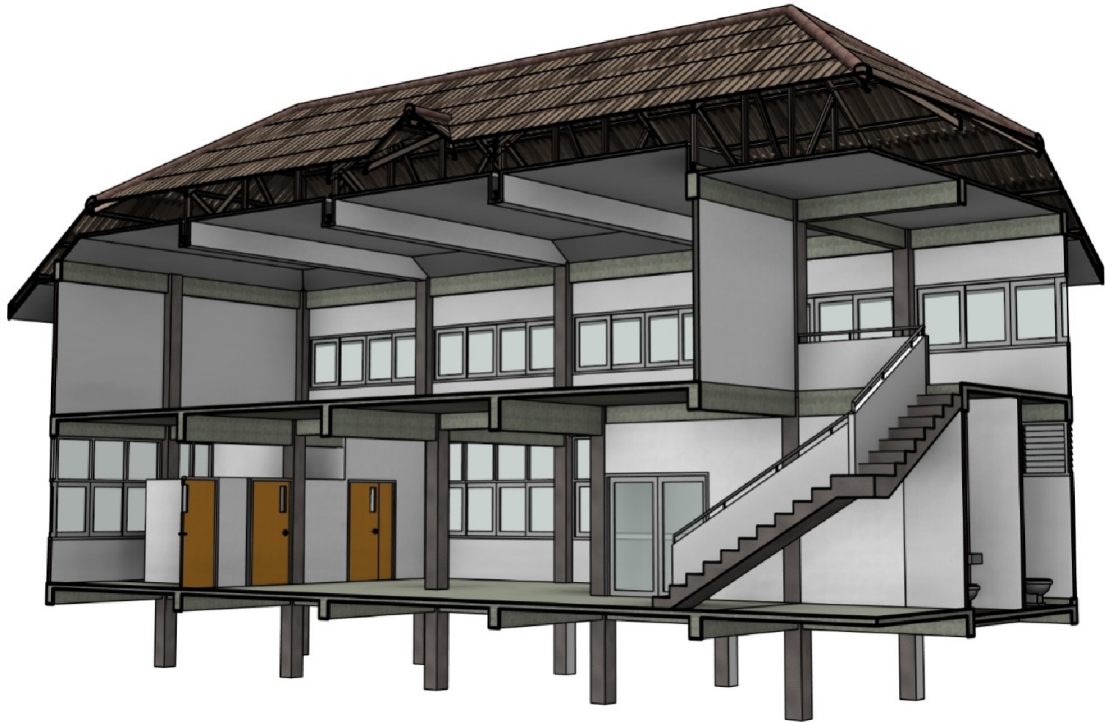
รูปที่ 4-9 ตัวอย่างภาพจากโปรแกรม Vectorwork



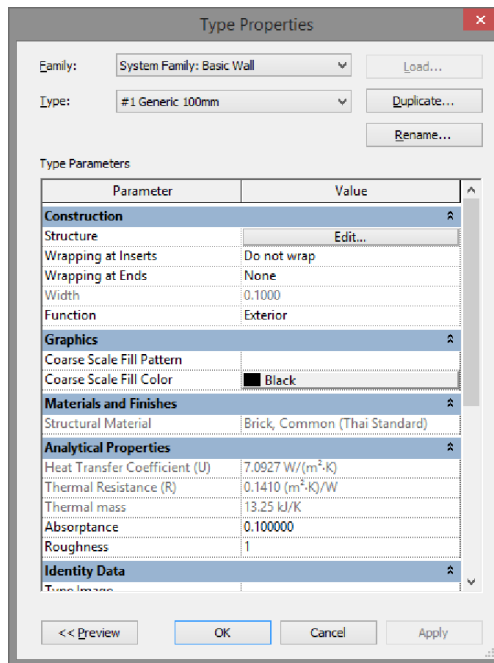
รูปที่ 4-10 แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746
ที่สร้างในโปรแกรม Autodesk Revit



รูปที่ 4-11 แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746
ที่สร้างในโปรแกรม Autodesk Revit



รูปที่ 4-12 แบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746
ที่สร้างในโปรแกรม Autodesk Revit



รูปที่ 4-13 ตัวอย่างผนังในแบบจำลองสารสนเทศอาคารสถานีอนามัย เลขที่แบบกองแบบแผน 10746
ที่มีคุณสมบัติทางพลังงาน เพื่อใช้ในการจำลองสมรรถนะอาคาร

4.3 การกำหนดระดับความละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศ (Level of Detail / Level of Development: LOD)

Level of Detail / Level of Development (LOD หรือ LoD) คือ การกำหนดระดับรายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองสารสนเทศอาคาร รวมทั้งข้อมูลสารสนเทศประกอบให้สอดคล้องกับการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ในงานออกแบบสถาปัตยกรรม (สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2015) จุดประสงค์สำคัญที่ทำให้เกิดการกำหนดระดับ LOD คือ (Bedrick J. , 2013)

- เพื่อช่วยให้ผู้มีส่วนร่วมในโครงการ (รวมถึงเจ้าของโครงการ) สามารถกำหนดรายละเอียดของการส่งมอบ BIM (BIM Deliverables) ให้กันและกันในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารได้
- เพื่อช่วยให้ผู้จัดการกระบวนการออกแบบ สามารถสื่อสารกับคณะผู้ออกแบบเกี่ยวกับสารสนเทศอาคารและรายละเอียดที่ต้องการในกระบวนการออกแบบแต่ละขั้นตอนได้
- เพื่อจัดให้มีมาตรฐานกลางที่สามารถใช้อ้างอิงในกระบวนการทำสัญญาจัดจ้างและการลงมือพัฒนา BIM ของโครงการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารนั้นๆ

โดย LOD สามารถหมายถึงได้ทั้ง Level of Detail หรือ Level of Development จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการให้คำจำกัดความที่ต่างกันดังที่แสดงใน ตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 สรุปความหมาย Level of Detail / Level of Development ในวรรณกรรมต่างๆ (Volk, Stengel, และ Schultmann, 2014)

Level of Detail	เรขาคณิตอย่างคร่าว / เรขาคณิตอย่างละเอียด / การขึ้นรูประดับอาคาร / การจัดทำเอกสารก่อสร้าง (Leite, Akcamete, Akinci, Atasoy, และ Kizitas, 2011)
	แบบแนวความคิด / เรขาคณิตอย่างคร่าว / เรขาคณิตอย่างละเอียด / การขึ้นรูปอาคาร / เสมือนอาคารสร้างเสร็จ (Bedrick J. , Organizing the development of a building information model, 2008; Bedrick & Aligning, Aligning LOD, LoD and OEM into a project collaboration framework, 2012)
	เสมือนแบบ / เสมือนอาคารสร้างเสร็จ / เสมือนอาคารขณะใช้งาน (Tang, Anil, Akinci, & Huber, 2011; Adan, Xiong, Akinci, & Huber, 2011)
	แบบร่าง / แบบละเอียด / ระดับของการขึ้นรูปอาคาร (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)
Level of Development	LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500 (American Institute of Architecture (AIA), 2013)

American Institute of Architecture (AIA) ได้กำหนดความหมายของ LOD (Level of Development) ดังต่อไปนี้ (Van, 2008; American Institute of Architecture (AIA), 2013)



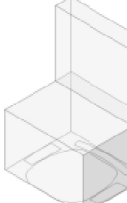


- **LOD 100:** มีการแสดงถึงองค์ประกอบอาคารเป็นเพียงสัญลักษณ์หรือการอธิบายทั่วไป ระดับข้อมูล LOD 100 นี้มีเพื่อใช้จัดทำแบบเพื่อการวิเคราะห์แบบร่างเท่านั้นแบบจำลอง (Model) ควร

ประกอบด้วยก้อนทรงอาคาร (Massing) ในภาพรวมอย่างคร่าวๆและข้อมูลประกอบโครงการต่างๆ เช่น ประเภทของอาคาร ปริมาตร ทิศทางการหันอาคาร เป็นต้น

- **LOD 200-400:** มีการสร้างองค์ประกอบอาคารให้เป็นวัตถุ(objects) โดยอาจมีการบันทึกข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลภาพ (Nongraphic Data) เข้าสู่วัตถุนั้น โดยวัตถุที่เป็นองค์ประกอบอาคารนี้จะต้องมีความถูกต้องของลักษณะทางเรขาคณิต (Accuracy of the geometry) ไม่ว่าจะเป็ น ปริมาณ ขนาด รูปทรง การวาง-ติดตั้ง และทิศทาง โดยเฉพาะระดับข้อมูล LOD 400 นั้นถือว่าเป็นต้องมีความละเอียดของเรขาคณิตและข้อมูลประกอบเทียบเท่า Shop Drawingและในวัตถุอาจมีข้อมูลด้านราคา ด้านผู้ผลิต ฯลฯ บันทึกอยู่ด้วย
- **LOD 500:** เรขาคณิตของวัตถุองค์ประกอบอาคารนั้นจะต้องถูกตรวจสอบความถูกต้อง วัตถุนั้นๆ อาจจะมีการบรรจุข้อมูลด้านการใช้อาคาร (Operation) และการบำรุงรักษาอาคาร (Maintenance) ไว้ด้วยและจะต้องมีความละเอียดของเรขาคณิตและข้อมูลประกอบเทียบเท่า As-built Construction

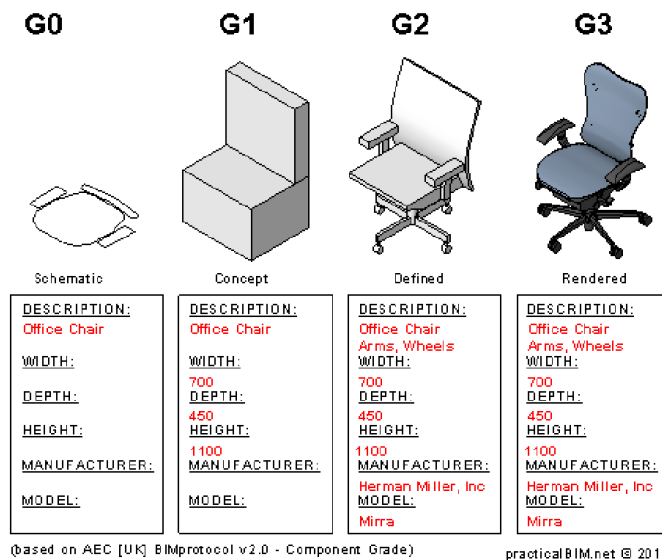
LOD นั้นเป็นเป็นสิ่งที่สะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้น(Cumulative) ตัวอย่างเช่น LOD 300 นั้นจะต้องมีลักษณะของความละเอียดข้อมูลที่คร่าวๆของ LOD 100 และ LOD 200 มาแล้วเป็นต้น และในโครงการก่อสร้างจริงนั้น การกำหนดระดับ LOD ให้เป็นค่าตายตัวในแต่ละขั้นตอนของโครงการนั้นทำได้ยาก ดังนั้นการเปิดกว้างให้วัตถุองค์ประกอบอาคารสามารถมี ระดับ LOD ที่แตกต่าง (Variable LODs) ภายในแบบจำลองสารสนเทศ (BIM) ในแต่ละขั้นตอนของโครงการก่อสร้างได้ (Dougherty, 2015) อย่างไรก็ตาม ผู้รับผิดชอบโครงการออกแบบอาคารนั้นจำเป็นต้องกำหนด LOD ในกระบวนการออกแบบแต่ละขั้นตอนให้เหมาะสม เนื่องจาก การเพิ่มระดับรายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองสารสนเทศอาคารขึ้นไปแต่ละขั้น LOD นั้น จำเป็นต้องใช้เวลาและความพยายามเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2 เท่า ถึง 11 เท่าตัว (Leite, Akcamete, Akinci, Atasoy, และ Kizitas, 2011)

LEVEL of DEVELOPMENT

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013
(Only data in red is useable)			practicalBIM.net © 2013	

รูปที่ 4-14 การแสดงตัวอย่างการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในระดับ Level of Development ตั้งแต่ 100 ถึง 500 ของแบบจำลองสารสนเทศเก้าอี้ (McPhee, 2013; สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2015)

LEVEL of DETAIL



รูปที่ 4-15 การแสดงตัวอย่างการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในระดับ Level of Detail ของแบบจำลองสารสนเทศก่อสร้าง ตามการแบ่งระดับ AEC (UK) BIM Protocol (McPhee, 2013)

4.4 การวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้วยการปฏิบัติการร่วม (Interoperability) ระหว่างระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) กับระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS)

ตั้งแต่อดีตที่ผ่านมา กระบวนการวิเคราะห์สมรรถนะอาคาร เช่น สมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร สมรรถนะด้านการสร้างภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้อาคารด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Design) ฯลฯ นั้นมีความซับซ้อนมีความเสี่ยงต่อความผิดพลาด ใช้เวลาในการวิเคราะห์มาก และจำเป็นต้องใช้ทักษะของผู้เชี่ยวชาญ เฉพาะด้านในการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยการใช้งาน ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (Building Performance Simulation: BPS) แต่ในปัจจุบัน ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) นั้นสามารถสร้างความสะดวกด้านการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารแก่ผู้ออกแบบอาคารได้ดียิ่งกว่าผู้เชี่ยวชาญดังกล่าว โดย BIM มีบทบาทสำคัญในการช่วยเหลือผู้ออกแบบอาคารให้มีความเข้าใจถึงสมรรถนะอาคารที่ตนกำลังออกแบบอยู่ และในการสร้างทางเลือกเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจแก่ผู้ออกแบบอาคาร ได้ตั้งแต่ช่วงแรกของกระบวนการออกแบบ เนื่องจาก BIM สามารถทำให้ขั้นตอนระหว่างการสร้างแบบจำลองอาคารด้านพลังงาน (Energy Model) และการประเมินทางเลือกด้านการออกแบบ (Evaluation Design Decisions) นั้นสั้นลง ด้วยเหตุผลที่องค์ประกอบอาคารใน BIM นั้นประกอบไปด้วยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารฝังตัวเป็นหนึ่งเดียวร่วมกับข้อมูลด้านเรขาคณิต เป็นการเอื้อให้สามารถนำข้อมูลอาคารนี้กลับมาทดลองซ้ำ (Iterations) ช่วยให้ออกแบบอาคารทำงานได้สะดวกขึ้นด้วยการแสดงภาพอาคารสามมิติ (Advanced Building Visualization) และสนับสนุนการปฏิบัติการร่วมระหว่างซอฟต์แวร์ (Interoperability) (Dougherty, 2015)

การปฏิบัติการร่วม (Interoperability) คือ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูล (The ability to exchange data) ระหว่างระบบหรือโปรแกรม (Applications) เป็นการสนับสนุนให้กระบวนการออกแบบนั้นมีความราบรื่นและอาจทำให้กระบวนการนั้นดำเนินไปได้อย่างอัตโนมัติ (Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011) ดังที่กล่าวไป ปัจจุบันระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) ได้มีความสามารถในการปฏิบัติการร่วม (Interoperability) กับการใช้งานระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) เนื่องจาก **อุปสรรค**

สำคัญในการใช้งานระบบ BPS คือ ความซับซ้อนในการป้อนข้อมูลที่มีอยู่มากมายเข้าสู่ระบบ ไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลเรขาคณิตของอาคาร ข้อมูลคุณสมบัติด้านพลังงานของวัสดุอาคาร ข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลด้านงานระบบเครื่องกลของอาคาร เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทั้งหมดมีปริมาณมากและมีความซับซ้อนสูง ต้องการเวลาในการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ BPS และยังมีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดอีกด้วยดังนั้นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสมรรถนะอาคาร และการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ BPS ด้วยระบบมือ (Manually Transforming Information) นั้นถือว่าเป็นกระบวนการที่ไม่มีมาตรฐานตายตัว (Non-standardized Process) ผู้จำลองสมรรถนะอาคาร (Energy Modeler) แต่ละคนจะมีวิธีการดำเนินการไม่เหมือนกัน และจะได้อัตราผลที่ไม่เหมือนกันอีกด้วย (Gupta, Cemesova, Hopfe, Rezgui, และ Sweet, 2014) การปฏิบัติการร่วม (Interoperability) ของระบบ BIM และ BPS จึงกำเนิดขึ้นเพื่อกำจัดอุปสรรคสำคัญนี้ เนื่องจากทำให้เกิดกระบวนการที่เป็นมาตรฐาน (Standardized Process) และดำเนินการโดยอัตโนมัติ ซึ่งไม่เพียงเป็นการกำจัดอุปสรรคดังที่ได้กล่าวไปยังทำให้กระบวนการจำลองสมรรถนะอาคารนั้น ปราศจาก การตัดสินใจโดยไม่มีเหตุผล-ผลการเดาสุ่ม (Arbitrary Judgment) ของผู้จำลองสมรรถนะอาคาร (Energy Modeler) อีกด้วย (Bazjanac, และคนอื่นๆ, 2011)

ในอดีต การปฏิบัติการร่วม (Interoperability) นั้นถูกจำกัดอยู่เพียงการแลกเปลี่ยนข้อมูลเรขาคณิต (Geometry) เท่านั้น เช่น ไฟล์รูปแบบ DXF (Drawing eXchange Format) และ IGES (Initial Graphic Exchange Specification) แต่นับจากการสร้างและเผยแพร่มาตรฐานใหม่ของการปฏิบัติการร่วม คือ แบบจำลองข้อมูล (Data Models) ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสนับสนุนการสร้างแบบจำลอง ผลิตภัณฑ์ (Product Model) และ วัตถุ (Object Model) เพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างภาคอุตสาหกรรมการออกแบบก่อสร้างอาคารโดยความพยายามผลักดันของ ISO-STEP International Standards

ในการใช้การปฏิบัติการร่วมนั้น หนึ่งใน แบบจำลองข้อมูลผลิตภัณฑ์ด้านอาคารหลัก (Main Building Product Data Models) ที่ใช้เป็นสื่อกลางในการปฏิบัติการร่วมนั้นได้แก่ International Foundation Classes (IFC) สำหรับการเป็นสื่อกลางเพื่อการวางแผน ออกแบบ ก่อสร้าง และบริหารจัดการโครงการก่อสร้าง โดย โครงสร้างข้อมูล IFC (IFC Schema) นั้นถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการออกแบบบูรณาการ (Integrated Design Process: IDP) ตลอดช่วงชีวิตของอาคาร โดยการผลักดันขององค์กร buildingSmart (เดิมคือ International Alliance for Interoperability: IAI) ตั้งแต่มีการพัฒนาขึ้นมาเมื่อกลางทศวรรษที่ 1990 (Hetherington, Laney, Peake, และ Oldham, 2011; Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011) แบบจำลอง IFC (IFC Models) นั้นมีความสมบูรณ์ของสารสนเทศอาคารแต่มีความซ้ำซ้อนเป็นอย่างมาก เปิดโอกาสให้นิยามข้อมูลอาคารได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งวัตถุอาคาร ความสัมพันธ์ของวัตถุอาคาร และคุณลักษณะของวัตถุอาคาร (Hetherington, Laney, Peake, และ Oldham, 2011)

อีกหนึ่งสื่อกลางของการปฏิบัติการร่วมนั้นคือ โครงสร้างข้อมูล gbXML (Green Building XML Schema) ซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรฐานกลางการส่งผ่านข้อมูลของอุตสาหกรรม AEC (Architecture, Engineering, and Construction: AEC Industries) โดย gbXML นั้นเป็นรูปแบบไฟล์ดิจิทัล (File Format) แบบหนึ่งซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ใช้ส่งผ่านข้อมูลสารสนเทศด้านพลังงานของอาคาร ระหว่างระบบ BIM และระบบ BPS (Hetherington, Laney, Peake, และ Oldham, 2011; Ham และ Golparvar-Fard, 2015) เนื่องจาก gbXML นั้นไม่ได้เป็นเพียงสื่อกลางในการแลกเปลี่ยน ข้อมูลด้านเรขาคณิต (Geometry) ของอาคารเท่านั้น แต่ยังสามารถแลกเปลี่ยน ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุอาคารด้านอุณหภาพ (Thermal Properties) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ของวัสดุจากระบบ BIM เข้าสู่ระบบ BPS ได้โดยตรง เป็นการลดระยะเวลาและขั้นตอนในการทำงานได้เป็น

อย่างมาก เนื่องจากทำให้ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองอาคารใน BPS ซ้ำ (Model Recreating) (Ham และ Golparvar-Fard, 2015)

4.5 การวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้วยระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (Building Performance Simulation: BPS)

ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (Building Performance Simulation: BPS) หมายถึง ระบบ หรือ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ หรือ เครื่องมือ ในการจำลองเพื่อการทำนายสมรรถนะของอาคารในมิติต่างๆ เช่น ด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร ด้านภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร ด้านสภาพแสงสว่างภายในอาคารและความสัมพันธ์กับภายนอกอาคาร เป็นต้น (Maile, Fischer, & Bazjanac, 2007) โดยระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) นั้นเป็นเครื่องมือสำคัญในการทำงานร่วมกับระบบ BIM เพื่อให้ผู้ออกแบบอาคารได้ทราบถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานและสมรรถนะอาคารด้านอื่นๆ ตั้งแต่กระบวนการออกแบบอาคาร ได้ทราบถึงปริมาณของการใช้ทรัพยากรด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอาคารนั้นๆ ได้โดยไม่ต้องรอให้อาคารสร้างเสร็จ และยังเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจและการตัดสินใจในการออกแบบอาคารอีกด้วย (Eastman, Teicholz, Sacks, และ Liston, 2011)

ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการออกแบบอาคารนั้นสามารถจำแนกออกเป็นประเภทตามความสามารถการจำลองสมรรถนะอาคารต่างๆ(Capabilities)ได้ดังต่อไปนี้ (พุฒิปาโรจน์, 2014; IBPSA-USA, 2015)

- ▣ การจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole-Building Energy Simulation)
- ▣ การคำนวณภาระการปรับอากาศ (Load Calculations)
- ▣ การคัดเลือกและกำหนดขนาดระบบปรับอากาศ (HVAC System Selection and Sizing)
- ▣ การวิเคราะห์ตัวแปรและการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Parametrics & Optimization)
- ▣ การปรับค่าการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองอาคาร (Model Input Calibration)
- ▣ การวัดค่าการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Measure)
- ▣ การปฏิบัติตามกฎหมาย (Code Compliance)
- ▣ การประเมินระดับและการรับรองการตรวจวัด (Ratings and Certificates)
- ▣ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภค (Utility Bill & Meter Data Analysis)
- ▣ การตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคาร (Building Energy Auditing)
- ▣ การสร้างเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร (Building Energy Benchmarking)
- ▣ การจำลองสมรรถนะด้านแสงสว่างของอาคาร (Lighting Simulation)
- ▣ การจำลองสมรรถนะด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality Simulation)
- ▣ การวิเคราะห์วงจรชีวิตของอาคาร (Life-cycle Analysis)
- ▣ การจำลองสมรรถนะของกรอบอาคาร (Detailed Envelope Simulation)
- ▣ การจำลองสมรรถนะของระบบประกอบอาคาร (Detail Component Simulation)

ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) บางระบบ (บางโปรแกรม) นั้น อาจมีความสามารถการจำลองสมรรถนะอาคารมากกว่าหนึ่งประเภท ตัวอย่างเช่น โปรแกรม EnergyPlus นั้นถูกจัดให้มีความสามารถสามประเภท ได้แก่ Whole-Building Energy Simulation, HVAC System Selection and Sizing และ Code Compliance และโปรแกรม Autodesk Green Building Studio นั้นถูกจัดให้มีความสามารถสามประเภท

ได้แก่ Whole-Building Energy Simulation, Parametrics & Optimization และ Energy Conservation Measure เป็นต้น (IBPSA-USA, 2015)

4.6 ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) แบบการจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole-Building Energy Simulation)

ระบบจำลองสมรรถนะอาคาร (BPS) แบบการจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole-Building Energy Simulation) นั้นมีความสามารถในการคำนวณ (จำลองสมรรถนะอาคาร) เพื่อทราบปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในอาคารให้มีสถานะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบอาคาร เช่น มีอุณหภูมิ ความชื้น เป็นอย่างไร เป็นต้น โดยมีการป้อนค่าข้อมูลประกอบการคำนวณที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานอื่นๆ เช่น ค่าสภาพอากาศ (Weather) ค่าการใช้อาคาร (Occupancy) ค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอก (Infiltration) ค่าด้านพลังงานขององค์ประกอบอาคาร (ผนัง หลังคา พื้น ฯลฯ) ค่าด้านการก่อกวนความร้อนภายในอาคาร (Internal Gain) ค่าด้านอุปกรณ์ภายในอาคาร เป็นต้นนอกจากนั้นระบบ BES แบบ Whole-Building Energy Simulation นั้นถูกจัดให้เป็นเครื่องมือจำลองสมรรถนะอาคารเพื่อการตรวจสอบตามข้อกำหนดทางกฎหมาย (Prognostic Law-driven Simulation Tools) อีกด้วย (Coakley, Raftery, และ Keane, 2014) โดยระบบ BPS แบบ การจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole-Building Energy Simulation) นั้นมี องค์ประกอบในการคำนวณสมรรถนะอาคาร ดังต่อไปนี้ (Le, 2014; Autodesk, 2015)

- 4.6.1 **เรขาคณิตของอาคาร (Building Geometry)** อันเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร อันได้แก่ รูปทรง พื้นที่ ปริมาตร รูปแบบอาคาร ทิศทางการหันของอาคาร พื้นที่ผนังโปร่งแสง และอุปกรณ์บังแดด เป็นต้น
- 4.6.2 **ที่ว่างภายในอาคารและภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Spaces and Thermal Comfort)** เนื่องจากที่ว่างภายในอาคารนั้นมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร โปรแกรมจำลองสมรรถนะอาคารนั้นจะนิยามให้ที่ว่างภายในอาคารเป็นตัวแทนของมวลอากาศภายในอาคาร โดยจะใช้สภาพของมวลอากาศนั้นในการคำนวณภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของผู้ใช้อาคาร
- 4.6.3 **พื้นผิวและการส่งผ่านความร้อน (Surfaces and Heat Transfer)** การถ่ายเทความร้อนระหว่างที่ว่างภายในอาคารและสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร นั้นจะเกิดขึ้นโดยมีพื้นผิวเป็นสื่อกลาง โดยพื้นผิวที่ได้นั้นได้แก่ ผนัง หลังคา พื้น และช่องเปิดของอาคาร
- 4.6.4 **คุณสมบัติของวัสดุอาคาร (Material Properties)** นั้นเป็นปัจจัยกำหนดกลไกการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิว โดยเฉพาะคุณสมบัติทางอุณหภูมิ (Thermal Properties) ซึ่งได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ
- 4.6.5 **ระบบประกอบอาคาร (Building Systems)** ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สะท้อนทั้งการใช้และผลิตพลังงานของอาคารเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้อาคาร โดยระบบประกอบอาคารนี้ได้แก่ระบบความร้อน ความเย็น และระบายอากาศ (Heating, Ventilation, Air Conditioning: HVAC) ระบบแสงสว่าง (Lighting Power Density: LPD) เครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Power Density: EPD) ระบบทำน้ำร้อน (Domestic Hot Water: DHW) และระบบกำเนิดไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนในสถานที่

- 4.6.6 ภาระการปรับอากาศจากการใช้อาคารและจากสิ่งแวดล้อมภายนอก (Loads from Occupancy and Exterior Conditions) ภาระการปรับอากาศนี้มีลักษณะเป็นพลวัต มีเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (Dynamic Loads) โดยมีต้นกำเนิดจากผู้ใช้อาคารที่มีกิจกรรมภายใน และจากสภาพทางสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร (บนพื้นฐานของข้อมูลสภาพอากาศ) โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้ ความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อาคาร การตั้งอุณหภูมิในระบบปรับอากาศ (Set Points) อุณหภูมิอากาศภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วและทิศทางของกระแสลม รังสีอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย (Direct and Diffuse Solar Radiation) และค่าการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)
- 4.6.7 การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลาการจำลองสมรรถนะอาคาร (Heat Transfer over Time) ซึ่งประกอบด้วยกลไกการถ่ายเทความร้อน คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)
- 4.6.8 การคาดการณ์ปริมาณการใช้และราคาพลังงาน (Energy Use and Cost Predictions) ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานนั้นคือ แหล่งพลังงาน (เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน เป็นต้น) และหน่วยใช้พลังงาน (เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เป็นต้น) โดยค่าการใช้พลังงานนี้จะเป็นสิ่งสะท้อนราคาพลังงานในท้ายที่สุด

4.7 Autodesk Green Building Studio (GBS)

4.7.1 คุณลักษณะของโปรแกรม Autodesk Green Building Studio (GBS)

Autodesk Green Building Studio (GBS) คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์สมรรถนะอาคาร แบบจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole-building Energy Analysis) ที่สามารถทำงานร่วม (Interoperable) กับระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารด้านพลังงานที่ใช้การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud-based Energy-analysis Software) มีความสามารถเข้าถึงและใช้ข้อมูลอากาศแบบละเอียด (Detailed Weather Data) สนับสนุนการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารตามเกณฑ์อาคารเขียว Energy Star และ LEED มีความสามารถสร้างรายงานการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน (Carbon Emission Reporting) สามารถวิเคราะห์การใช้แสงธรรมชาติ (Daylighting) สามารถวิเคราะห์ปริมาณการใช้และราคาน้ำใช้ของอาคาร (Water Usage and Costs) และสามารถวิเคราะห์ศักยภาพการใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation Potential) ได้ (Autodesk, 2015)

GBS เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์สมรรถนะอาคารที่ทำงานในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่ใช้การส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติจากระบบ BIM คือ โปรแกรม Autodesk Revit โดยมีการสนับสนุนการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารในกระบวนการออกแบบที่ครบถ้วน ทั้งในขั้นตอนการทำแบบร่าง (Conceptual Forms) และขั้นตอนการทำแบบละเอียด (Detailed Architectural Models) หัวใจของกลไกการวิเคราะห์สมรรถนะอาคารของ GBS คือการใช้ DOE-2.2 เป็นเครื่องจักรจำลองสมรรถนะอาคาร (Simulation Engine) ซึ่งไม่เพียงเป็นหน่วยคำนวณสมรรถนะด้านพลังงานของอาคารเท่านั้น แต่ยังสามารถในการสร้างข้อมูลด้านเรขาคณิตที่เที่ยงตรงจากแบบจำลองอาคาร ให้เป็นข้อมูลนำเข้าโปรแกรมวิเคราะห์สมรรถนะอาคารอื่น เช่น EnergyPlus ได้อีกด้วย (IBPSA-USA, 2015)

GBS ใช้ภาษากลางด้านการปฏิบัติการร่วม (Interoperability) กับระบบ BIM คือ โครงสร้างข้อมูล gbXML (Green Building XML Schema) ซึ่งเป็นมาตรฐานกลางการส่งผ่านข้อมูลของอุตสาหกรรม AEC (Architecture, Engineering, and Construction: AEC Industries) ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.5

4.7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของซอฟต์แวร์ (Software Validation) ของโปรแกรม Autodesk Green Building Studio (GBS)

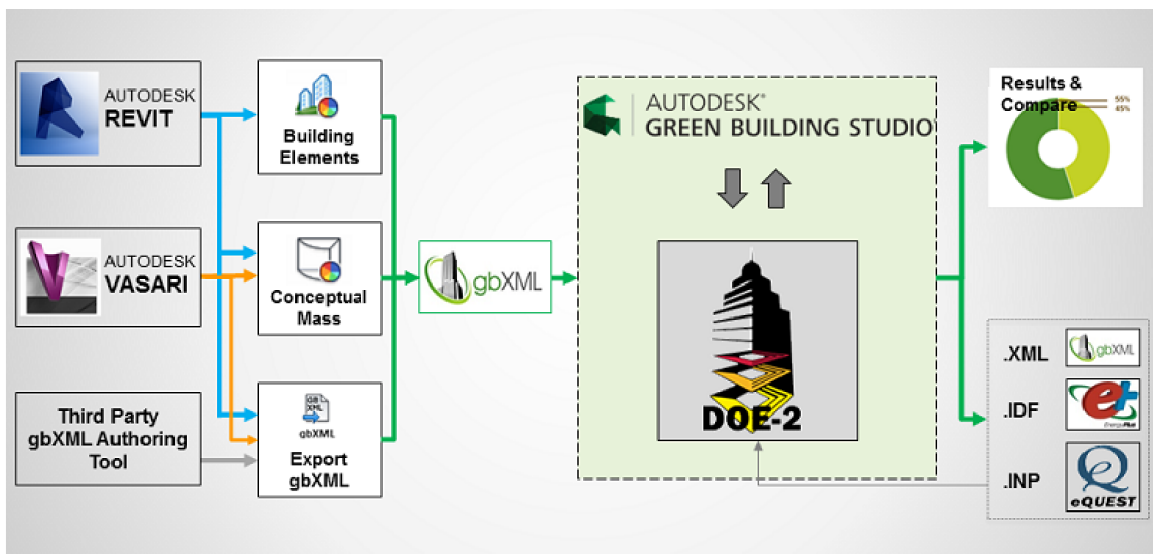
Green Building Studio (GBS) นั้นถูกตรวจสอบความถูกต้องอย่างสม่ำเสมอโดยมาตรฐานระดับนานาชาติ คือ ANSI/ASHRAE Standard 140 และชุดคำนวณสมรรถนะอาคาร (Simulation Engine) ใน GBS คือ DOE-2.2 นั้นถูกตรวจสอบความถูกต้องโดย Lawrence Berkeley National Laboratory และ Los Alamos National Laboratory (Autodesk, 2014)

4.7.3 การตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงของการจำลองศักยภาพของสมรรถนะอาคารด้านการสร้างพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Potential Validation) ของโปรแกรม Autodesk Green Building Studio(GBS)

GBS ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงของการคำนวณด้านการสร้างพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic Calculations) โดยการใช้ระเบียบวิธีการตรวจสอบของ National Renewable Energy Labs (NREL) และ Perez methods (Autodesk, 2014)

4.7.4 กระบวนการทำงาน (Workflows) ของโปรแกรม Autodesk Green Building Studio(GBS)

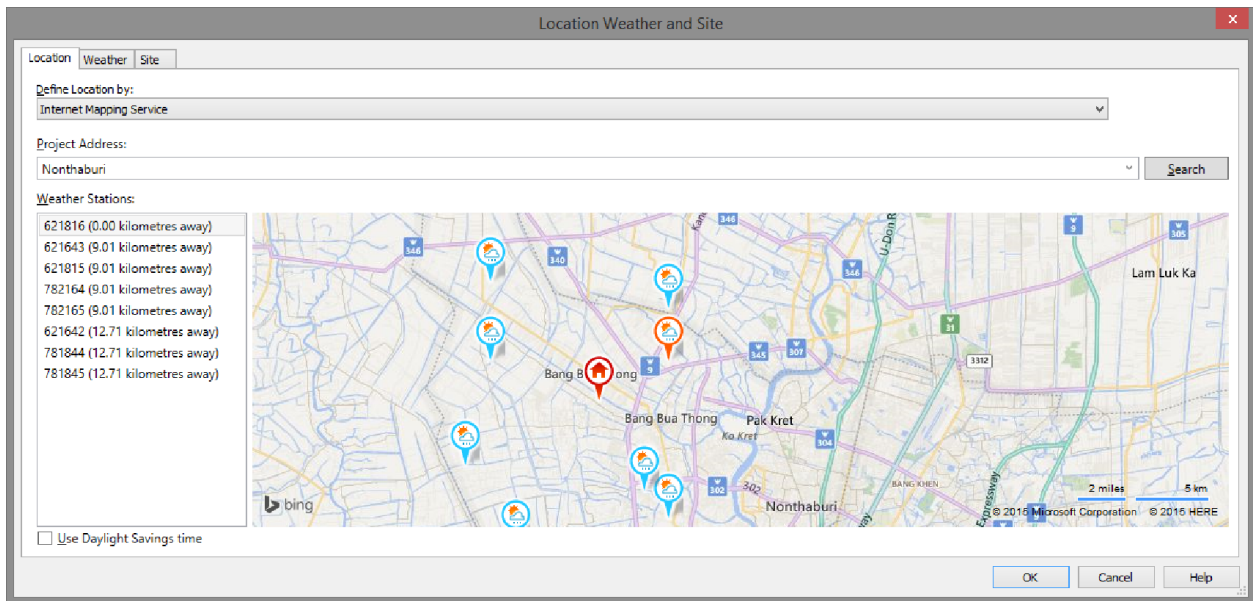
การจำลองสมรรถนะอาคารด้วย GBS นั้นสามารถทำได้ในสองขั้นตอนของกระบวนการออกแบบ คือ ในขณะที่เป็นแบบร่าง (จำลองสมรรถนะอาคารจาก Mass Model) และขณะที่เป็นแบบอาคารที่มีรายละเอียดแล้วจากรายละเอียดที่แสดงใน รูปที่ 4-16 จะเห็นได้ว่าผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลอาคารเข้าสู่ GBS ได้สามวิธี คือ องค์ประกอบอาคาร (Building Elements คือ แบบจำลองอาคารที่มีรายละเอียด) ก้อนอาคาร (Conceptual Mass) และ ไฟล์ gbXML จากซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองอาคารอื่นๆ



รูปที่ 4-16 กระบวนการใช้งานซอฟต์แวร์ Green Building Studio (GBS) เพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร (GBS Workflow) (Autodesk, 2015)

แบบจำลองสารสนเทศอาคารที่ต้องการตรวจวัดสมรรถนะด้วยโปรแกรม GBS นั้นต้องมีการป้อนค่านำเข้า (Input) ที่มีความสำคัญในหลายขั้นตอน (Phases) ของกระบวนการพัฒนาแบบจำลองอาคารโดยเบื้องต้นนั้น การตั้งค่าพื้นฐานของโครงการ (Project) นั้นจะประกอบด้วย ข้อมูลประเภทอาคาร (Building Type) ข้อมูลตารางเวลาการใช้อาคาร (Building Operation Schedule) และ ข้อมูลสถานที่ตั้งโครงการ (Project Location) ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Autodesk, 2015)

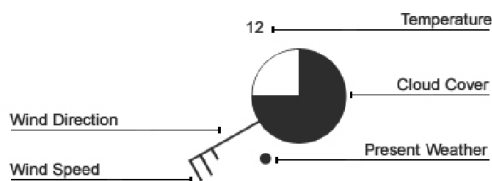
- **ข้อมูลประเภทอาคาร (Building Type)** มีรายละเอียดข้อมูลที่เป็นค่าตั้งต้น (GBS Default Values) ที่ประกอบด้วย **ประเภทอาคาร (GBS Building Types)**ซึ่งในโครงการนี้อาคารกลุ่มตัวอย่างคือ อาคารประเภทโรงพยาบาลหรือสถานบริการสุขภาพ (HospitalOrHealthcare) มีข้อมูล EPD (Equipment Power Density) 1.18 W/ft^2 มีข้อมูล LPD (Lighting Power Density) 1.2 W/ft^2 มีข้อมูล Outside Air Flow/Person (cfm/person) 27.55 ลูกบาศก์ฟุตนาทีต่อคน มีข้อมูล Outside Air Flow/Area (cfm/ft²) 0.2 ลูกบาศก์ฟุตนาทีต่อตารางฟุต และ ค่าการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration Flow) 0.1 ACH
- **ข้อมูลตารางเวลาการใช้อาคาร (Building Operation Schedule)** เป็นข้อมูลที่คาดถึงการใช้อาคารสำหรับอาคารประเภทต่างๆที่มีพื้นฐานมาจาก **มาตรฐาน ASHRAE** (ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, ASHRAE 62.1) และ **จากข้อมูล CBECS** (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) (Autodesk, 2014; U.S. Energy Information Administration, 2015)
- **ข้อมูลสถานที่ตั้งโครงการ (Project Location)** โดย GBS นั้นทำงานร่วมกับ GoogleTM Maps ด้านสถานที่ตั้งโครงการและยังเชื่อมต่อ **ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data)** โดยอัตโนมัติอีกด้วย การป้อนข้อมูลสถานที่ตั้งโครงการนี้ต้องกระทำโดยการป้อนข้อมูล Location Weather and Site ในระบบแบบจำลองสารสนเทศ Autodesk Revit เนื่องจากข้อมูลสภาพอากาศนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการจำลองสมรรถนะอาคาร สภาพอากาศของภูมิภาคประเทศและสถานที่แต่ละแห่งนั้นมีความแตกต่างกัน ถึงแม้สถานที่นั้นจะตั้งอยู่ไม่ห่างกันมากก็ตาม GBS นั้นเชื่อมต่อเพื่อเรียกใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากศูนย์ข้อมูล Autodesk ที่เชื่อมต่อกับ **สถานีสภาพอากาศ (Weather Station)** ที่มีมากกว่า 1.6 ล้านสถานีทั่วโลก ซึ่งทำให้การจำลองสมรรถนะอาคารนั้นจะได้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่เป็นข้อมูลจริงภายในระยะ 14 กิโลเมตร จากสถานที่ตั้งโครงการโดยข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data) ดังกล่าวนั้นเป็น **ข้อมูลสภาพอากาศจริงภายในรอบปีนั้นๆ (Actual Year)** และ **ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไป (Typical Year Weather Data)** ที่มีพื้นฐานจากการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลายาวนานถึง 30 ปี ในรูปแบบ TMY2 และรูปแบบอื่นๆ ข้อมูลสภาพอากาศนี้จึงเป็นตัวแทนของสภาพทั่วไปของภูมิภาคในสถานที่ตั้งโครงการได้ มิใช่เป็นเพียงสภาพอากาศในขณะนั้นเท่านั้น (Le, 2014; Autodesk, 2015)



รูปที่ 4-17 หน้าต่างการป้อนข้อมูลสถานที่ตั้งเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรม Autodesk Revit

ข้อมูลสภาพอากาศของโปรแกรม Green Building Studio(GBS's Weather Data) มีรายละเอียดข้อมูลรายชั่วโมง (Hourly Data) ในแต่ละรอบปีดังนี้ (Le, 2014; Autodesk, 2015)

- รังสีอาทิตย์รวมแนวระนาบ (Global Horizontal Radiation) มีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร (Wh/m^2)
- รังสีอาทิตย์ส่องตรงกระทบพื้นผิว (Direct Normal Radiation) มีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร (Wh/m^2)
- รังสีอาทิตย์กระจายแนวราบ (Diffuse Horizontal Radiation) มีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร (Wh/m^2)
- ค่าเมฆปกคลุมท้องฟ้า (Total Sky Cover) มีหน่วยเป็น Okta มีการวัดค่าออกเป็น 10 ค่า (ค่า 0-9) คือ ตั้งแต่ค่า 0 หมายถึง ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆเลย ค่า 1-8 จะแบ่งพื้นที่ท้องฟ้าออกเป็น 8 ส่วน แต่ละค่าที่เพิ่มขึ้นหมายถึงมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าเพิ่มขึ้นค่าละ 1 ส่วน เช่นค่า 1 หมายถึง มีเมฆปกคลุมท้องฟ้า 1 ใน 8 ส่วน ค่า 2 หมายถึง มีเมฆปกคลุมท้องฟ้า 2 ใน 8 ส่วน เป็นต้น จนถึงค่า 8 หมายถึง มีเมฆปกคลุมท้องฟ้า 8 ใน 8 ส่วน ค่า 9 หมายถึง ท้องฟ้าถูกบังจากการมองเห็น (Autodesk, 2015; The British Broadcasting Corporation (BBC), 2015) ดังรายละเอียดที่แสดงใน รูปที่ 4-18



Symbols used on a weather chart

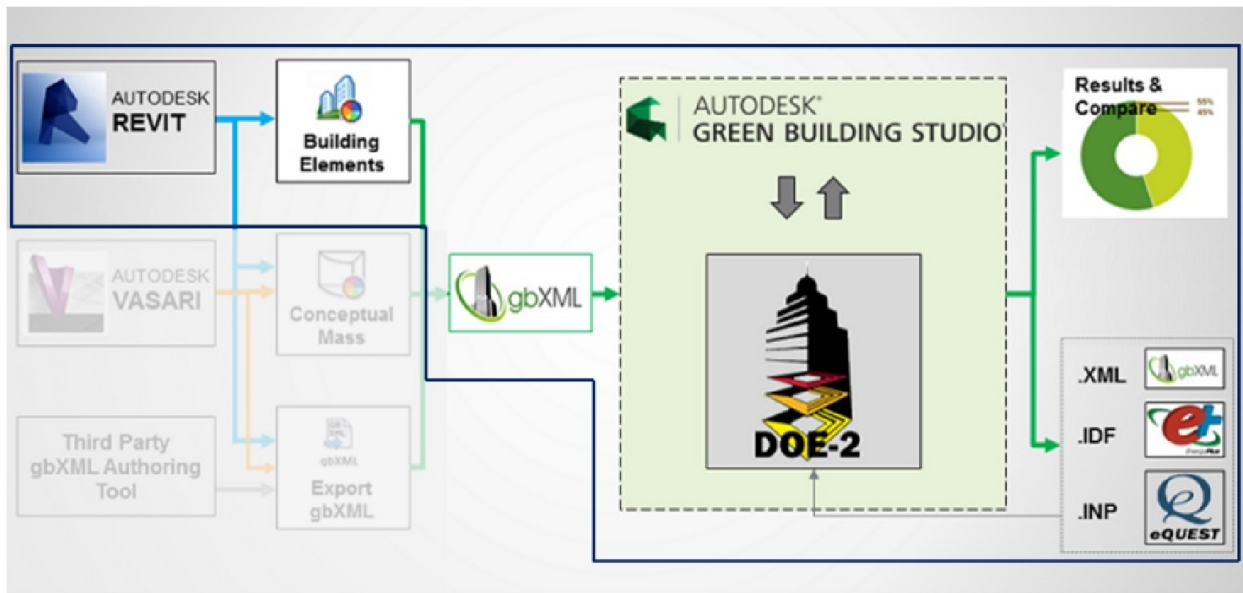
Symbol	Precipitation	Circles	Cloud Cover	Circles	Wind Speed
☉	Drizzle	○	Clear Sky	○	Calm
▽	Shower	◐	One Okta	○	1 - 2 Knots
●	Rain	◑	Two Oktas	○	5 Knots
★	Snow	◒	Three Oktas	○	10 Knots
△	Hail	◓	Four Oktas	○	15 Knots
⚡	Thunderstorm	◔	Five Oktas	○	20 Knots
		◕	Six Oktas	○	50 Knots or more
●●●	Heavy Rain	◖	Seven Oktas		
●★	Sleet	◗	Eight Oktas		
★▽	Snow Shower	⊗	Sky Obscured		
≡	Mist				
≡≡	Fog				

รูปที่ 4-18 ภาพวงกลมสภาพอากาศ (Weather Circle) ที่แสดงให้เห็นถึงแสดงรายละเอียดของค่าเมฆปกคลุมท้องฟ้า (Okta) (The British Broadcasting Corporation (BBC), 2015)

- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)
- ความดันอากาศ (Pressure) มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ (Millibars)
- ทิศทางของกระแสลม (Wind Direction) มีหน่วยเป็นองศา (°)
- ความเร็วของกระแสลม (Wind Speed) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

4.7.5 กระบวนการตั้งค่าทางพลังงาน (Energy Settings) ของโปรแกรม Autodesk Green Building Studio (GBS) โดยการใช้องค์ประกอบอาคาร (Building Elements)

การจำลองสมรรถนะอาคารด้วย GBS โดยการใช้ องค์ประกอบอาคาร (Building Elements) คือแบบจำลองอาคารที่มีรายละเอียด นั้นโปรแกรม Autodesk Revit จะสร้าง แบบจำลองอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model: EAM) โดยอัตโนมัติจากองค์ประกอบอาคารต่างๆ (เช่น ผนัง พื้น หลังคา หน้าต่าง ฝ้าเพดาน เป็นต้น) ที่อยู่ในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model) นั้นๆ และจะส่งข้อมูลดังกล่าวสู่โปรแกรม Green Building Studio (GBS) เพื่อจำลองสมรรถนะอาคาร



รูปที่ 4-19 กระบวนการใช้งานซอฟต์แวร์ Green Building Studio (GBS) เพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของอาคารโดยการใช้องค์ประกอบอาคาร (Building Elements) (Autodesk, 2015)

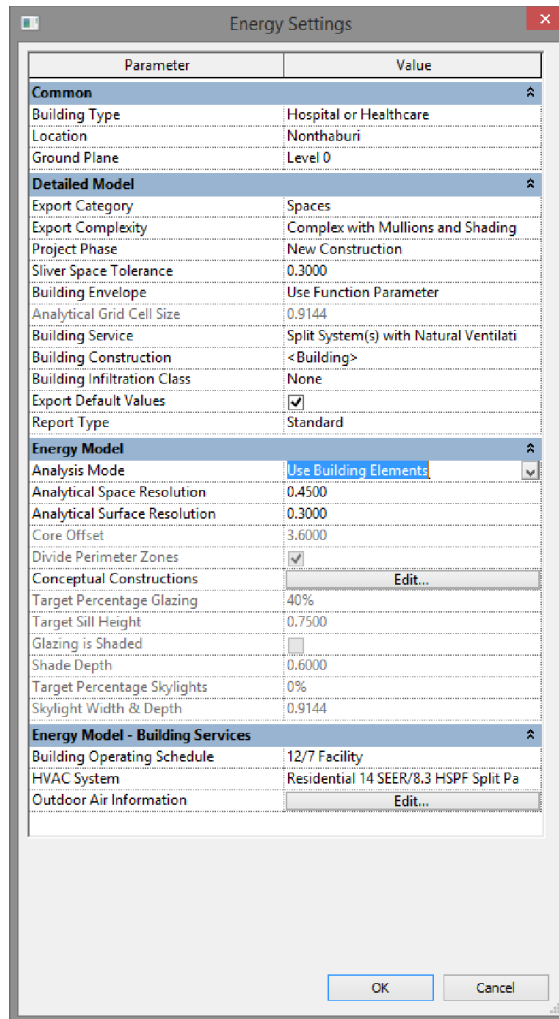
ในการใช้งานจำลองสมรรถนะอาคารด้วยโปรแกรม GBS ซึ่งใช้การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่ใช้การส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติจากระบบ BIM นั้น ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีบัญชีที่สามารถใช้งานบริการ Autodesk 360 ได้โดย Autodesk 360 คือ ระบบบริการบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆเพื่อเป็นศูนย์กลางการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการออกแบบอาคาร (Autodesk, 2015) เมื่อแบบจำลองสารสนเทศอาคารได้รับการพัฒนาจนมีรายละเอียดและต้องกำหนดให้แต่ละพื้นที่ของอาคารมีองค์ประกอบ Room ในแต่ละพื้นที่ โดย Room คือ ปริมาตรสามมิติสมมุติที่เป็นตัวแทนของห้องหรือที่ว่างจริงๆในอาคารโดย Room จะถูกกำหนดบริเวณโดยวัตถุรอบข้างทั้งแนวราบและแนวตั้งที่มีคุณสมบัติ Room-bounding (เช่น ผนัง พื้น หลังคา ฝ้าเพดาน เสา เป็นต้น) เพื่อใช้ในการคำนวณระยรอบ พื้นที่ และปริมาตร ของ Room นั้นๆ (Revit Zone, 2015)

อันดับแรกของการจำลองสมรรถนะอาคารคือ การตั้งค่าทางพลังงาน (Energy Settings) ให้กับแบบจำลองสารสนเทศ โดยการตั้งค่าทางพลังงานนี้แบ่งออกเป็น 4 หมวดใหญ่ๆ (Autodesk, 2015) ได้แก่

- การตั้งค่าทั่วไป (Common Settings) เป็นการกำหนดค่า (1) ประเภทอาคาร (Building Type) (2) ระนาบพื้น (Ground Plane) และ (3) ค่าสถานที่ที่ตั้งอาคาร (Location) ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ใน หัวข้อที่ 4.7.4
- การตั้งค่าแบบจำลองอาคารอย่างละเอียด (Detailed Model Settings) ได้แก่ (1) ประเภทของการส่งข้อมูลออก (Export Category) อันเป็นการให้กำหนดการนำข้อมูลออกสู่ GBS เป็นข้อมูลของ Rooms หรือ Spaces (2) ระดับความซับซ้อนของข้อมูลส่งออก (Export Complexity) (3) การเลือกใช้คุณสมบัติทางพลังงานขององค์ประกอบอาคาร (Building Construction) เพื่อจำลองสมรรถนะอาคาร ซึ่งมีสองวิธีการให้เลือกคือ ใช้ค่าเริ่มต้น

(Default Settings) ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติทางพลังงานขององค์ประกอบอาคารเช่น หลังคา ผนังด้านนอก ผนังด้านใน ฝ้าเพดาน ฯลฯ ที่ติดตั้งมาจากผู้พัฒนาโปรแกรม ซึ่งค่าทางพลังงานเหล่านี้เป็นค่าที่มีที่มาจากมาตรฐานต่างๆ เช่น ASHRAE, CIBSE และอื่นๆ ซึ่งค่าทางพลังงานเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบไฟล์ XML ที่เป็นค่าตั้งต้นของโปรแกรม อีกวิธีการคือ **การใช้ค่าทางพลังงานขององค์ประกอบอาคารที่อยู่ในแบบจำลองสารสนเทศ โดยไม่ใช้ค่า Default** ซึ่งเป็นวิธีการที่ Revit จะส่งค่า Thermal Properties จริงขององค์ประกอบอาคารแต่ละชิ้นสู่ GBS เพื่อการจำลองสมรรถนะอาคาร (4) ขั้นตอนในการก่อสร้างของแบบจำลองสารสนเทศ (Project Phase) (5) การกำหนดพื้นที่พิเศษ (Sliver Space Tolerance) คือการกำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์ว่า พื้นที่ห้องในอาคารนั้นมีความกว้างน้อยกว่าเท่าใด โปรแกรมจะจัดให้พื้นที่นั้นๆกลายเป็นพื้นที่พิเศษ

- การ**ตั้งค่าทางพลังงานของแบบจำลองสารสนเทศ (Energy Model Settings)** ได้แก่ (1) ความละเอียดของ**ช่องว่าง**เพื่อการวิเคราะห์ (Analytical Space Resolution) เป็นการความกว้างสูงสุดของ**ช่องว่าง**ระหว่างวัตถุอาคาร เพื่อเป็นการควบคุมไม่ให้มีจุดรั่วของที่ว่างเพื่อการวิเคราะห์ (Analytical Spaces) โดยมีค่าเริ่มต้น(Default) คือ 457.2 มิลลิเมตร (2) ความละเอียดของ**พื้นผิว**เพื่อการวิเคราะห์ (Analytical Surface Resolution) เป็นการกำหนดระดับความละเอียดของ Analytical Surfaces เพื่อสร้างขอบเขตในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด Analytical Surface Resolution ยังมีขนาดเล็กลง ขอบเขตในการวิเคราะห์ก็จะยิ่งเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ค่าเริ่มต้น (Default) จะมีขนาด 304.8 มิลลิเมตร

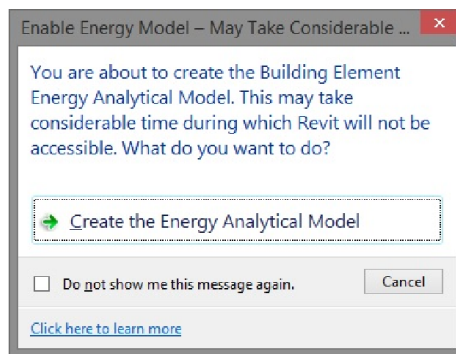


รูปที่ 4-20 การตั้งค่าทางพลังงาน (Energy Settings) ในโปรแกรม Autodesk Revit

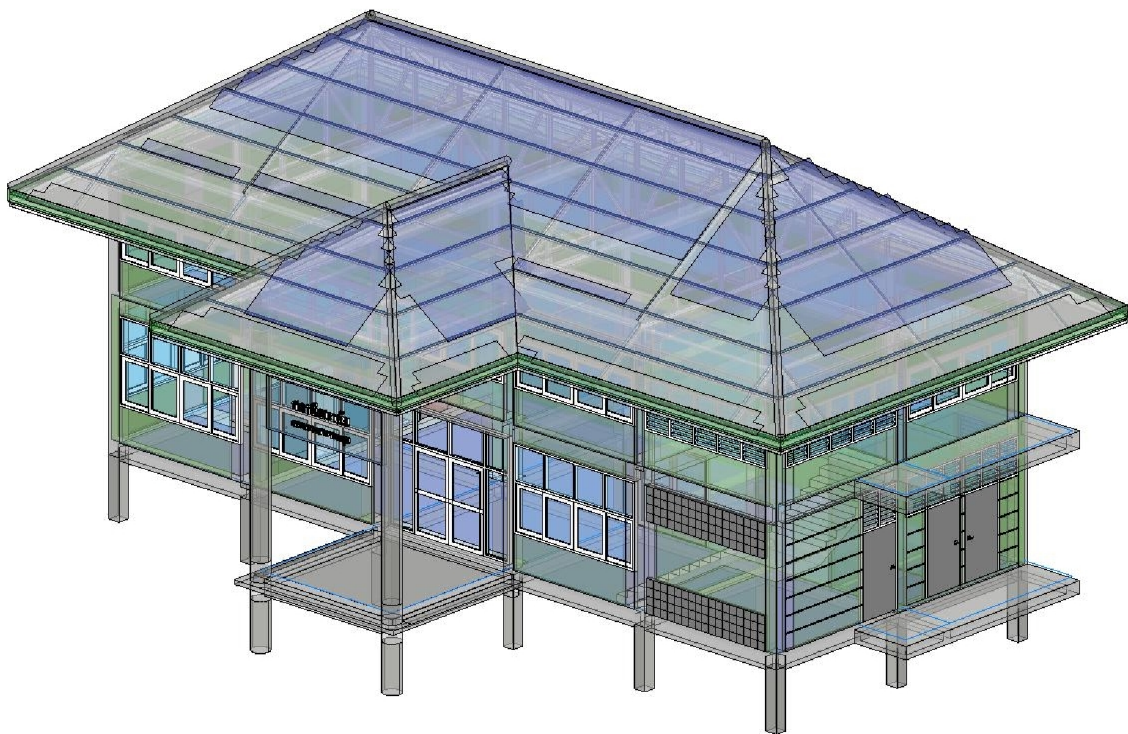
- การตั้งค่าทางพลังงานของแบบจำลองสารสนเทศด้านงานระบบอาคาร (Energy Model -Building Services) เป็นการกำหนดค่า (1) ข้อมูลตารางเวลาการใช้อาคาร (Building Operation Schedule) ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ใน หัวข้อที่ 4.7.4 (2) ระบบความร้อน ความเย็น และระบายอากาศ (Heating, Ventilation, Air Conditioning: HVAC System) และ (3) ข้อมูลอากาศภายนอกอาคาร (Outdoor Air Information) ซึ่งประกอบด้วย อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อคน (Outdoor Air per Person) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อคน อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อพื้นที่ (Outdoor Air per Area) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อหนึ่งตารางฟุตของพื้นที่ใช้งาน และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air Changes per Hour) มีหน่วยเป็น จำนวนเท่าของปริมาตรรวมของปริมาตรอากาศภายในอาคารที่ถูกแทนที่ด้วยอากาศภายนอก
- ศัพท์สำคัญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Seasonal Energy Efficiency Ratio(SEER) = Btu/Wh มีการใช้งานในปัจจุบันที่ SEER 13 (ค่า SEER ยิ่งสูง แสดงว่าระบบปรับอากาศยิ่งมีประสิทธิภาพสูง หมายถึงยิ่งสูงยิ่งดี) Energy Efficiency Ratio (EER) (อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน) = Btu/Wh เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 คือ EER 11 (ยิ่งสูงยิ่งดี) และ

Coefficient of Performance (COP) คือ ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ ที่แสดงในรูปของค่าสมรรถนะการทำความเย็น ค่า COP สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ ซึ่งนิยามด้วย อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้

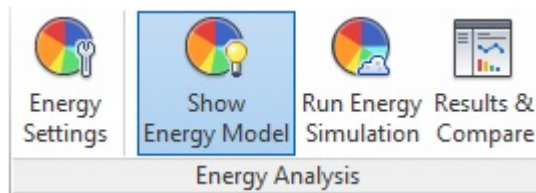
เมื่อดำเนินการตั้งค่าตั้งค่าทางพลังงาน (Energy Settings) ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model) และดำเนินการจำลองสมรรถนะอาคารได้



รูปที่ 4-21 หน้าต่างคำสั่งสร้าง แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model) ในโปรแกรม Autodesk Revit



รูปที่ 4-22 แบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analytical Model) อาคารกลุ่มตัวอย่าง ในโปรแกรม Autodesk Revit



รูปที่ 4-23 แผงควบคุมการวิเคราะห์พลังงาน(Energy Analysis Panel)ในโปรแกรม Autodesk Revit

4.7.6 การอ่านค่าผลลัพธ์จากโปรแกรมAutodesk Green Building Studio(GBS)

เมื่อ GBS ดำเนินการจำลองสมรรถนะอาคารเสร็จสิ้น GBS จะแสดงผลลัพธ์ใน Web Browser ดังรายละเอียดใน รูปที่ 4-24 โดยหน้าจอแสดงผลนั้นประกอบด้วยผลลัพธ์สองส่วน คือผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะ Base Run (ข้อมูลฐาน) และ Alternative Runs (ข้อมูลทางเลือกเมื่อเปลี่ยนองค์ประกอบอาคารเป็นอย่างอื่น) โดยผลลัพธ์จะถูกแจกแจงออกในรูปตารางที่สามารถสืบค้นได้ (1 kWh เท่ากับ 3.6 MJ)

My Projects > 10746_Comparison_Final

Run List | Run Charts | Project Defaults | Project Details | Project Members | Utility Information | Weather Station

Actions | Display Options

Name	Date	User Name	Floor Area (m ²)	Energy Use Intensity (MJ/m ² year)	Electric Cost (kWh)	Fuel Cost (MJ)	Total Annual Cost ¹			Total Annual Energy ¹			Carbon Emissions (Mg)	Compare	Potential Energy Savings
							Electric	Fuel	Energy	Electric (kWh)	Fuel (MJ)	Energy			
Project Default Utility Rates															
Project Default Utility Rates															
Base Run															
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01	10/21/2015 6:40 PM	DON_NUTTASIT	251	1,260.0	\$0.08	\$0.007	\$6,289	\$110	\$6,399	83,853	14,954	22.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alternate Run(s) of Comparison_Final_01															
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_ASHRAE 90.1-2010	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	1,315.2	\$0.08	\$0.007	\$6,578	\$110	\$6,688	87,711	14,954	23.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 01a	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	959.3	\$0.08	\$0.007	\$4,714	\$110	\$4,823	62,851	14,954	16.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 02a	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	963.5	\$0.08	\$0.007	\$4,736	\$110	\$4,845	63,142	14,954	16.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 03a	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	969.7	\$0.08	\$0.007	\$4,768	\$110	\$4,878	63,577	14,954	18.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 01b	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	957.6	\$0.08	\$0.007	\$4,705	\$110	\$4,815	62,735	14,954	18.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 02b	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	962.2	\$0.08	\$0.007	\$4,729	\$110	\$4,839	63,053	14,954	18.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 03b	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	972.7	\$0.08	\$0.007	\$4,784	\$110	\$4,894	63,787	14,954	18.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 01c	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	958.4	\$0.08	\$0.007	\$4,709	\$110	\$4,819	62,790	14,954	18.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 02c	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	962.9	\$0.08	\$0.007	\$4,733	\$110	\$4,842	63,102	14,954	18.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_HiPer 03c	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	973.4	\$0.08	\$0.007	\$4,788	\$110	\$4,897	63,839	14,954	16.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_Base Model	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	1,260.7	\$0.08	\$0.007	\$6,293	\$110	\$6,402	83,906	14,954	22.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Comparison_Final_01_Uninsulated	10/21/2015 6:41 PM	DON_NUTTASIT	251	1,277.9	\$0.08	\$0.007	\$6,363	\$110	\$6,473	85,107	14,954	24.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

รูปที่ 4-24 หน้าจอแสดงผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารใน Web Browser ของโปรแกรม GBS

ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารจากโปรแกรม GBS ที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB) นั้นได้แก่ข้อมูลความเข้มข้นในการใช้พลังงานต่อตารางเมตร (Energy Use Intensity: EUI) และ ข้อมูลศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทน (Renewable Energy Potential) ของอาคารที่จำลองสมรรถนะ เนื่องจากทำให้ผู้ออกแบบอาคารได้ทราบถึงการทำนายว่าอาคารที่ตนกำลังออกแบบนั้นจะมีรูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานเป็นอย่างไร และทำให้ทราบได้ถึงศักยภาพ ที่อาคารนั้นจะสามารถผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน จากพลังงานแสงอาทิตย์

ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเข้ากับรางยึดบนหลังคาอาคาร (Roof Mounted PV System) และจากพลังงานลมด้วย กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดความกว้างใบ 15 นิ้ว

Building Performance Factors

Location:	Nonthaburi
Weather Station:	621816
Outdoor Temperature:	Max: 38°C/Min: 14°C
Floor Area:	252 m ²
Exterior Wall Area:	132 m ²
Average Lighting Power:	12.92 W / m ²
People:	49 people
Exterior Window Ratio:	0.96
Electrical Cost:	\$0.08 / kWh
Fuel Cost:	\$0.77 / Therm

Energy Use Intensity

Electricity EUI:	333 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	59 MJ / sm / yr
Total EUI:	1,260 MJ / sm / yr

Life Cycle Energy Use/Cost

Life Cycle Electricity Use:	2,515,591 kWh
Life Cycle Fuel Use:	448,610 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$87,148

*30-year life and 5.1% discount rate for costs

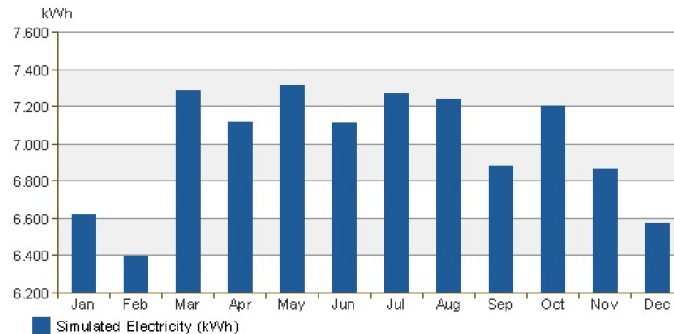
Renewable Energy Potential

Roof Mounted PV System (Low efficiency):	14,985 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	29,970 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	44,956 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	343 kWh / yr

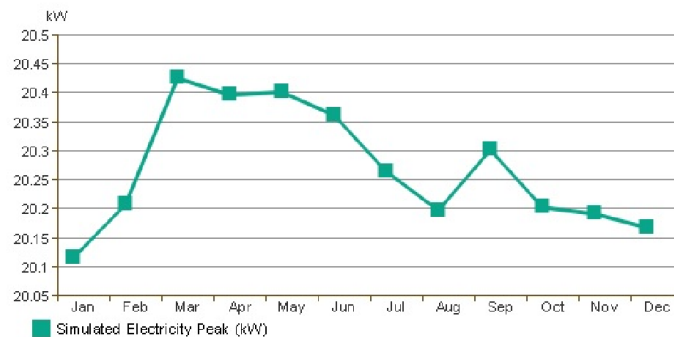
*PV efficiencies are assumed to be 5%, 10% and 15% for low, medium and high efficiency systems

รูปที่ 4-25 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS

Monthly Electricity Consumption

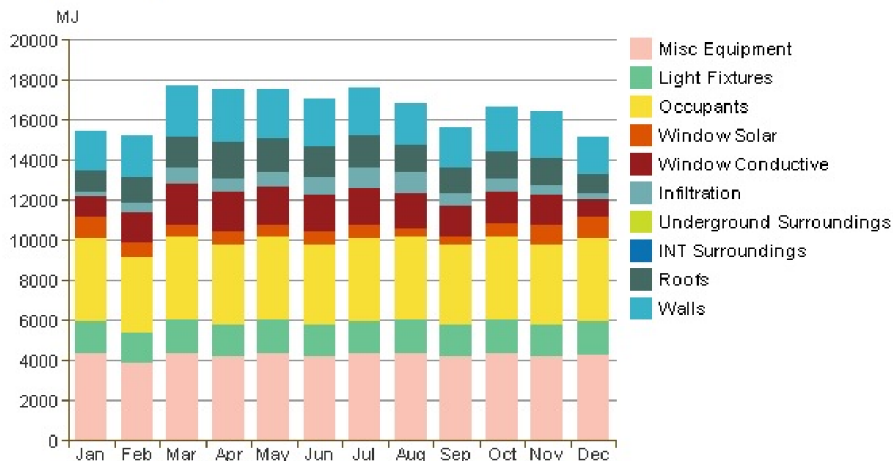


Monthly Peak Demand



รูปที่ 4-26 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS

Monthly Cooling Load



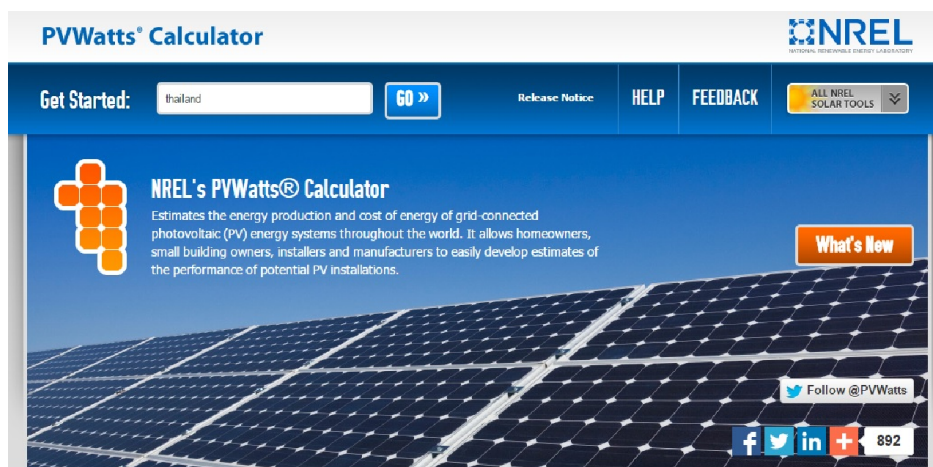
รูปที่ 4-27 ผลลัพธ์การจำลองสมรรถนะอาคารของโปรแกรม GBS

4.8 ระบบคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน

ในกระบวนการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์ (NZEB) นั้น เมื่อทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานในรอบปีของอาคารจากการจำลองสมรรถนะอาคารแล้ว จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวนี้มาคำนวณเพื่อออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนต่อไปได้ ได้แก่ การคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม

4.8.1 ระบบคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องมือเพื่อคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีอยู่มากมาย ตัวอย่างเช่น การใช้บริการ โปรแกรมคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ PVWatts® Calculator (National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2015) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย National Renewable Energy Laboratory (NREL) ซึ่งเป็นหน่วยงานในสังกัดของ U.S. Department of Energy โดย PVWatts® Calculator นั้นเป็นโปรแกรมที่ให้บริการบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถใช้งานบน Web Browser ที่ <http://pwwatts.nrel.gov>



รูปที่ 4-28 หน้าต่าง Home Page ของโปรแกรม PVWatts® Calculator

SOLAR RESOURCE DATA

The recommended weather data source is initially listed below. This is usually a good choice for your location, but you can optionally change the weather data using the map below.

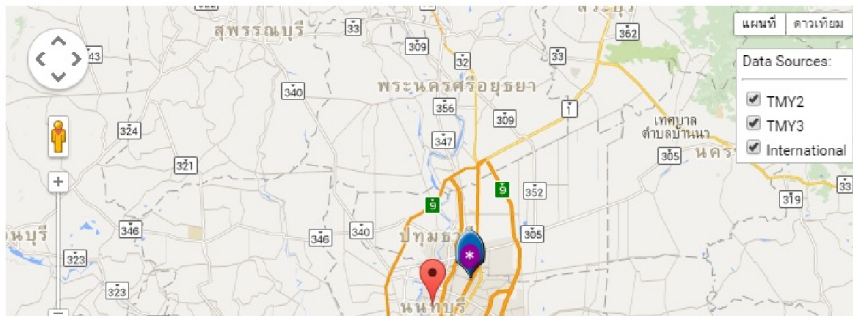
Selected weather data for your location

(INTL) BANGKOK, THAILAND

7.0 mi

Optionally, Select Different Weather Data

Currently, PVWatts® defaults to the closest TMY2 weather file (or international file). This will be the standard for the foreseeable future. We also offer the TMY3 locations and a 10 km gridded data set from SolarAnywhere®. We will not be including the older 40 km gridded data from PVWatts Version 2 as the other datasets are superior. The selected weather source pin is wrapped with a blue background. Click a different pin to select that source. If you enable SolarAnywhere® data for the continental US, then double-click anywhere on the map to select that grid cell (it must be enabled for each location). Refer to [Help](#) for more detailed information.



รูปที่ 4-29 หน้าต่างการตั้งค่าสถานที่ตั้งโครงการ ของโปรแกรม PVWatts® Calculator

SYSTEM INFO

Modify the inputs below to run the simulation.

DC System Size (kW):	<input type="text" value="30"/>	i
Module Type:	<input type="text" value="Standard"/>	i
Array Type:	<input type="text" value="Fixed (open rack)"/>	i
System Losses (%):	<input type="text" value="14"/>	i Loss Calculator
Tilt (deg):	<input type="text" value="13"/>	i
Azimuth (deg):	<input type="text" value="180"/>	i

RESTORE DEFAULTS

Draw Your System

Click below to customize your system on a map. (optional)

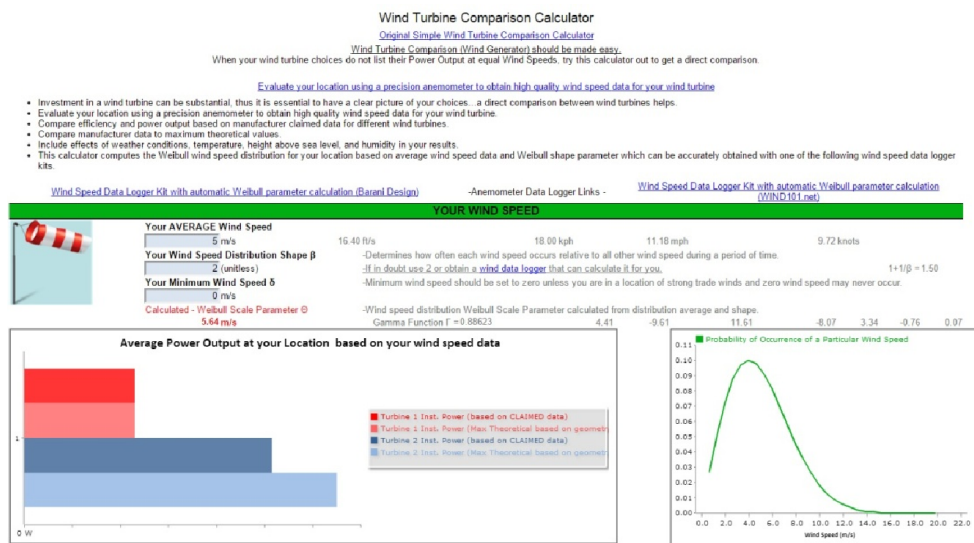


รูปที่ 4-30 หน้าต่างการตั้งค่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ของโปรแกรม PVWatts® Calculator

4.8.2 ระบบคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม

เครื่องมือเพื่อคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม ที่เป็นโปรแกรมคำนวณที่ให้บริการในระบบอินเทอร์เน็ตนั้นได้แก่ Wind Turbine Comparison Calculator (Wind101, 2015) สามารถใช้งานได้ที่ <http://www.wind101.com/misc/wind101/> และ Online Wind Power Calculator (The Engineering

ToolBox, 2015) ซึ่งสามารถใช้งานได้ที่ http://www.engineeringtoolbox.com/wind-power-d_1214.html เป็นต้น



รูปที่ 4-31 หน้าต่างการตั้งค่าคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม ของโปรแกรม Wind Turbine Comparison Calculator

Online Wind Power Calculator

The calculator below can be used to calculate available power from a windmill:

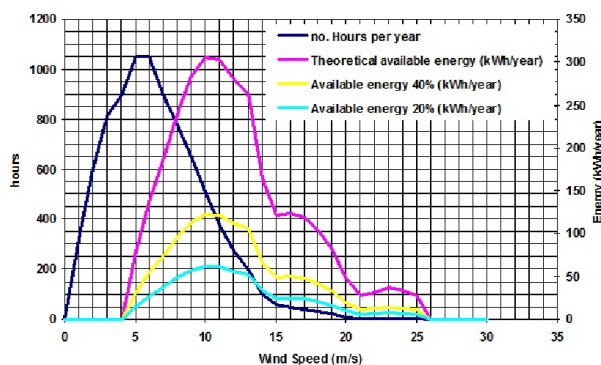
Density (kg/m^3)
 Efficiency - ξ
 Wind velocity (m/s)
 Windmill diameter (m)

Generated Wind Energy

The energy generated by a windmill depends on the power generation as indicated above - and how often, or how many hours the wind blows - or more scientifically - the "wind speed frequency distribution" at the actual location.

The total energy generated over a year can be calculated by summarizing the power generation for all velocities (ranging from the actual windmill cut-in speed to the shut-down speed) multiplied with the no. of hours the wind blows at the actual speeds.

A typical wind speed frequency distribution diagram with energy produced at the different velocities are indicated below.



รูปที่ 4-32 หน้าต่างการตั้งค่าคำนวณการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม ของโปรแกรม Online Wind Power Calculator

หนังสืออ้างอิง

- Adan, A., Xiong, X., Akinci, B., & Huber, D. (2011). Automatic Creation of Semantically Rich 3D Building Models from Laser Scanner Data. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)* (pp. 343-348). Seoul, Korea: International Association for Automation and Robotics in Construction.
- American Institute of Architecture (AIA). (2013). *Guide, Instruction, and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents*.
- Aubin, P. F. (2012, March 28). *Advanced Modeling in Revit Architecture with Paul F. Aubin*. Carpinteria, CA, United States.
- Autodesk. (2014, July 2). *Assumption and Default Values in GBS*. Retrieved from Autodesk Green Building Studio: <http://knowledge.autodesk.com/support/green-building-studio/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-051B623C-279A-400A-BDE0-06BB54FED673-htm.html>
- Autodesk. (2015). *Autodesk 360 FAQ*. Retrieved from Autodesk Knowledge Network: <http://knowledge.autodesk.com/customer-service/account-management/subscription-management/subscription-types/cloud-service-subscription/autodesk-360-faq>
- Autodesk. (2015). *Common Settings*. Retrieved from Autodesk Revit 2014: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ENU/?guid=GUID-291FB8FB-C7BB-4FA3-9691-344B82B2C81C>
- Autodesk. (2015). *Energy Settings*. Retrieved from Autodesk Revit 2014: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ENU/?guid=GUID-C524B6AE-EE0A-49F5-A33A-FEFF601E7818>
- Autodesk. (2015). *Green Building Studio*. Retrieved June 10, 2015, from Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>
- Autodesk. (2014, July 2). *Green Building Studio Validation*. Retrieved June 10, 2015, from Autodesk Knowledge Network: <http://knowledge.autodesk.com/support/green-building-studio/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-EF68E7D5-C0A5-4805-BFE5-7C74C57B712E-htm.html>
- Autodesk. (2015). *How Whole Building Energy Simulation Works*. Retrieved from Autodesk Building Performance Analysis: http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-30BE9353-50D0-4EA9-83C3-B40F74721A29
- Autodesk. (2014, July 2). *Photovoltaic Potential Validation*. Retrieved June 10, 2015, from Autodesk Green Building Studio: <http://knowledge.autodesk.com/support/green-building-studio/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-60277CBF-D220-4EDF-996F-B8E91B1EACC6-htm.html>

- Autodesk. (2015). *Project in Green Building Studio*. Retrieved from Autodesk Building Performance Analysis: Help:
http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-4CE6308F-FC55-4C71-BB1F-E04B18EEEE044
- Autodesk. (2015). *Weather Variables and File Formats*. Retrieved from Autodesk Building Performance Analysis:
http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-B82244EC-9798-4CF7-8F53-1D79B6B4A53C
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering* , 241-252.
- Bazjanac, V., Maile, T., Rose, C., O'Donnell, J. T., Mrazovic, N., Morrissey, E., et al. (2011). An assessment of the use of Building Energy Performance Simulation in early design. *Proceedings of Building Simulation 2011* (pp. 1579-1585). Sydney: International Building Performance Simulation Association.
- Bedrick, J. (2013, May 16). *A Level of Development Specification for BIM Processes*. Retrieved from AECbytes: http://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_68.html
- Bedrick, J. (2008, September 20). *Organizing the development of a building information model*. Retrieved from AECbytes: <http://m.aecpe.com/08-08-20%20MPS.pdf>
- Bedrick, J., & Aligning, D. D. (2012). Aligning LOD, LoD and OEM into a project collaboration framework. *Journal of Building Information Modeling* , 25-26.
- CAD Addict. (2010). *List of BIM Software & Providers*. Retrieved from CAD Addict:
<http://www.cad-addict.com/2010/03/list-of-bim-software-providers.html>
- Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 123-141.
- Crowley, C. (2013, February 19). *Building Information Modeling*. Retrieved from Surveyors Blog: <https://surveyorsblog.wordpress.com/2013/02/19/building-information-modelling/>
- Dougherty, J. M. (2015). *Claims, Disputes, and Litigation Involving BIM*. New York: Routledge.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, k. (2011). *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gupta, A., Cemesova, A., Hopfe, C. J., Rezgui, Y., & Sweet, T. (2014). A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard. *Automation in Construction* , 166-181.
- Ham, Y., & Golparvar-Fard, M. (2015). Mapping actual thermal properties to building elements in gbXML-based BIM for reliable building energy performance modeling. *Automation in Construction* , 214-224.

- Hansen, H. T., & Knudstrup, M. (2005). The Integrated Design Process (IDP): A More Holistic Approach to Sustainable Architecture. *Action for Sustainability: The 2005 World Sustainable Building Conference* (pp. 894-901). Tokyo, Japan: Tokyo National Conference Board.
- Hetherington, R., Laney, R., Peake, S., & Oldham, D. (2011). Integrated Building Design, information and simulation modelling: The need for a new hierarchy. *Building Simulation 2011*. Sydney, Australia: International Building Performance Simulation Association.
- IBPSA-USA. (2015). *Best Directory - Building Energy Software Tools*. Retrieved from International Building Performance Simulation Association (IBPSA) USA: <http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>
- Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. New York: McGraw-Hill.
- Lamb, E., Reed, D., & Khanzode, A. (2009). *Transcending the BIM Hype: How to Make Sense and Dollars from Building Information Modeling*. Retrieved 2009, from AECbytes: www.aecbytes.com/viewpoint/2009/issue_48.html
- Le, M. K. (2014). *Autodesk Green Building Studio for an energy efficient, sustainable building*. Hämeenlinna, Finland: Häme University of Applied Sciences (HAMK).
- Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G., & Kizitas, S. (2011). Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*, 601-609.
- Maile, T., Fischer, M., & Bazjanac, V. (2007). *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering at Stanford University.
- McPhee, A. (2013, March 1). *What is this thing called LOD*. Retrieved from practical BIM: <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2015). *PVWatt Calculator*. Retrieved from National Renewable Energy Laboratory (NREL): <http://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
- Revit Zone. (2015). *Rooms: A basic introduction*. Retrieved from Revit Zone: <http://www.revitzone.com/revit-fundamentals/137-rooms-a-basic-introduction>
- Rumming, Y. (2013). Sustainability in the Built Environment. In Y. Rumming, *Design and Management Sustainable Built Environments* (p. 9). London: Springer.
- Stevens Institute of Technology. (2015, April 5). *Building Information Modeling: How the Construction Industry is Getting 'Smart'*. Retrieved June 26, 2015, from SU+RE House: <http://surehouse.org/building-information-modeling-how-the-construction-industry-is-getting-smart/>

- Tang, P., Anil, E. B., Akinci, B., & Huber, D. (2011). Efficient and Effective Quality Assessment of As-Is Building Information Models and 3D Laser-Scanned Data. *Computing in Civil Engineering* (pp. 486-493). Miami, Florida: American Society of Civil Engineers.
- The British Broadcasting Corporation (BBC). (2015). *Weather Circles*. Retrieved from Synoptic charts and weather:
http://www.bbc.co.uk/bitesize/standard/geography/weather_climate/synoptic_charts/revision/2/
- U.S. Energy Information Administration. (2015, March 4). *Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS)*. Retrieved from U.S. Energy Information Administration:
<http://www.eia.gov/consumption/commercial/>
- Van, J. (2008, December 29). *All Things BIM*. Retrieved from AIA BIM Protocol (E202):
<http://www.allthingsbim.com/2008/12/aia-bim-protocol-e202.html>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 109-127.
- Wind101. (2015). *Wind Turbine Comparison Calculator*. Retrieved from Wind Turbine Comparison Calculator: <http://www.wind101.com/misc/wind101/>
- Zimmerman, A. (2006). *Integrated Design Process Guide*. Retrieved from Government of Alberta:
http://www.infrastructure.alberta.ca/content/doctype486/production/leed_pd_appendix_7a.pdf
- ตั้งพทุทธิกุล, ส., & สวัสดิ์สุข, ณ. (2015). การใช้งานและแนวทางการผลักดัน Building Information Modeling (BIM) ในประเทศไทย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20*. ชลบุรี: คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พุดมิไพโรจน์, พ. (2014, เมษายน 29). *การออกแบบและก่อสร้างอาคารเขียว ตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED*. Retrieved from สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม:
<http://www.onep.go.th/eia/images/7handbook/LEED.pdf>
- สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์. (2015). *แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์.



คำสั่งกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ

ที่ กศร ๒๕๕๗

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการโครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐ
ต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

ด้วยในปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ ได้อนุมัติให้กองแบบแผนจัดทำ
โครงการการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวมเท่ากับศูนย์

เพื่อให้การดำเนินงานโครงการบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ กองแบบแผน จึงแต่งตั้ง
คณะกรรมการเพื่อกำหนดแนวทางการสร้างอาคารสถานบริการสุขภาพภาครัฐต้นแบบที่ใช้พลังงานรวม
เท่ากับศูนย์ ประกอบด้วยผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

- | | | |
|-------------------------|--------------|------------------------|
| ๑. นายวิโรจน์ | นรไกร | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| ๒. นายณัฐสิทธิ์ | สมบูรณ์วิทย์ | ประธานคณะกรรมการ |
| ๓. นายชาติศักดิ์กรินทร์ | พาหุกุล | คณะกรรมการ |
| ๔. นางสาวนงลักษณ์ | ควรเจริญ | คณะกรรมการและเลขานุการ |

โดยมีหน้าที่ดังนี้

๑. ดำเนินการตามแผนงานที่กำหนดไว้ในโครงการ
๒. รายงานผลการดำเนินงานให้กองแบบแผนทราบ ตามกรอบระยะเวลาที่กองแบบแผนกำหนด

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๒ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๗

(นายเสรี ลาภยุติธรรม)

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ (ด้านออกแบบและคำนวณ)
รักษาการในตำแหน่งวิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ (ด้านมาตรฐานอาคารและสิ่งก่อสร้าง)
รักษาราชการแทนผู้อำนวยการกองแบบแผน