การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์
กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เอกพงศ์ แสนหะวานนท์

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี
และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2563

Improvement of Building Study 3 at Dhurakij Pundit University in Bangkok to be a Nearly Zero Energy Building(NZEB)

Ekapong Sanehawanon

An Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2020

ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เสนอโดย เอกพงศ์ แสนหะวานนท์

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราธร พชรฐิติกุล)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 2 เดือน กันยายน พ.ศ. 2563

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ กรณีศึกษา อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ชื่อผู้เขียน	เอกพงศ์ แสนหะวานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทำการการปรับปรุงอาคารที่กำลังใช้งานสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยใช้กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สูง 10 ชั้นประกอบด้วยพื้นที่ ห้องสำนักงาน ห้องเรียน ห้องน้ำ ห้องเก็บของ อาคารมีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 7,260 m^2 มีพื้นที่ปรับอากาศ 386.75 m^2 โดยผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม EnergyPlus มีค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 52.93 kWh/m²/year ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปี 384,471 kWh/year ค่าจากแบบจำลอง PVsyst เพื่อหาพลังงานไฟฟ้าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ค่าพลังงานเท่ากับ 231,780 kWh/year การศึกษานี้มีมาตรการปรับปรุงอาคาร 5 มาตรการ คือ (1) เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูง Inverter (2) ติดยิปซั่มหนา 25 mm ที่ผนังเพิ่ม 1ชั้น (3) เปลี่ยนหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพสูง LED (4) เปลี่ยนกระจกให้มีประสิทธิภาพสูง Low-e และ (5) การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่าทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด คือ ทางเลือกที่ 2 โดยใช้ทุกมาตรการตั้งแต่มาตรการที่ 1 ถึง 5 มีค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 175,745 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 24.21 kWh/m²/year ค่าพลังงานสุทธิที่ลดลงได้ 265,065.96 kWh/year งบลงทุนประมาณ 8,011,599.00 บาท Payback Period เท่ากับ 11 ปี ค่า NPV เท่ากับ 9,311,169.61 บาท และ IRR เท่ากับ 9.52 % จากข้อมูลพบว่าได้ค่า NPV สูงที่สุดกว่าทุกทางเลือกทำให้ได้มูลค่าในการลงทุนสูงสุดเป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

Individual Study Title	Improvement of Building towards Nearly Zero Energy Building: A Case Study of Building 3, Dhurakij Pundit University
Author	Ekapong Sanehawanon
Individual Study Advisor	Assistant Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr.
Department	Engineering Management
Academic Year	2019

ABSTRACT

This study improves the existing building towards Nearly Zero Energy Building (nZEB). It used Building Number 3 at Dhurakij Pundit University for a case study. The building is 10 floors, consisting of office spaces, classrooms, toilets, and storage rooms. The building has a total useful area of 7,260 m² and air-conditioned area of 386.75 m². The energy simulation results for a case study building using EnergyPlus program are shown a total electricity consumption index of 52.93 kWh/m^2/year, the total energy used throughout the year of 384,471 kWh/year. The simulation result from PVsyst model was used to find the capacity of solar cell installation which is 231,780 kWh/year. This study proposes five energy-saving measures, including (1) Replacement with high efficiency air-conditioner with Inverter, (2) Installing one layer of gypsum wall with 25 mm thickness, (3) Replacement with high efficiency light bulb (LED), (4) Replacement with high efficiency glassing (Low-e), and (5) Provision of energy supply with installation of solar cells. The results showed that the most suitable option for renovating the building is option two that is implemented all measures from measures 1 to 5. It was found that the total energy use throughout the year from a model is 175,745 kWh/year, the electricity energy generated from solar cells is 231,780 kWh/year, the total electricity consumption index is 24.21 kWh/m²/year, the net energy use can be reduced to 265,065.96 kWh/year, the investment budget is about 8,011,599 Baht, Payback period is 11 years, NPV is 9,311,169.61 Baht, and IRR is 9.52%. From the results, it is found that the NPV value is the highest than other options, resulting in the highest investment value towards nZEB.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารายบุคคลฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ แนวทาง คำปรึกษาตลอดจนข้อชี้แนะเกี่ยวกับการศึกษารายบุคคล ตรวจทานข้อบกพร่องต่างๆ ให้การศึกษารายบุคคลสำเร็จเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อนๆ และผู้ให้ความช่วยเหลือทุกท่านที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ในที่นี้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา คุณประโยชน์อันใดที่จะก่อเกิดจากการศึกษารายบุคคลฉบับนี้สืบไป ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกพงศ์ แสนหะวานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 นิยามและทฤษฎีของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB)	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.3 การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) ที่เกี่ยวข้อง.....	18
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	22
3.1 บทนำ.....	22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	23
3.3 ข้อมูลทั่วไปและการใช้พลังงานของอาคาร.....	24
3.4 การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร โดยโปรแกรม Energy Plus.....	32
3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	35
4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	36
4.1 บทนำ.....	36
4.2 การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารต้นแบบ	37
4.4 มาตรการปรับปรุงอาคารเรียน 3 DPU เป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์	37
4.5 การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์	38
4.6 ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร	41
4.7 คำนวณหาค่าความคุ้มทุนในแต่ละทางเลือก (Playback Period)	42
5. สรุปผลการศึกษา	54
5.1 สรุปผลการศึกษา	54
5.2 สรุปผลการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์	55
5.3 ข้อจำกัดในการศึกษา	55
5.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษา	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	60
ก รูปแบบอาคาร ชนิด ขนาด ของระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง ของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	61
ข ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคารโดยใช้โปรแกรม Sketchup +Energy Plus+PVSYST	66
ค รายละเอียดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า	84
ประวัติผู้เขียน	89

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่าการใช้พลังงานสุทธิจากแบบจำลองอาคารกำลังใช้งานแต่ละประเภทในแต่ระดับความสามารถในการประหยัดพลังงานตามมาตรฐานของกระทรวงพลังงาน..... 5

2.2 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษาหรือ สำนักงาน..... 7

2.3 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารประเภทต่างแบ่งตามระบบต่าง ๆ..... 9

2.4 รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ ในอาคารสำนักงาน..... 10

2.5 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงและอาคารมาตรฐานตามพระราชบัญญัติ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปีพ.ศ. 2551..... 11

2.6 การกำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552..... 11

2.7 ค่ามาตรฐานความส่องสว่างที่กฎหมายกำหนด..... 14

2.8 แสดงค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของแต่ละประเทศ 17

3.1 ลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์..... 25

3.2 แสดงรายการอุปกรณ์ไฟฟ้า ชั้น 1-10..... 27

3.3 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่ใช้งานจริงของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์..... 28

3.4 ตารางค่าพลังงานไฟฟ้าอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ (kWh)..... 29

3.5 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลองพลังงานที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus..... 30

4.1 มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศธรรมดาเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง Inverter..... 39

4.2 มาตรการที่ 2 ติดยิปซั่ม หนา 25 mm.ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น..... 39

4.3 มาตรการที่ 3 เปลี่ยนหลอดไฟ Fluorescent เป็นหลอด LED ประสิทธิภาพสูง.. 40

4.4 มาตรการที่ 4 เปลี่ยนหน้าต่างจากกระจกธรรมดาเป็นกระจก Low- e..... 40

4.5 มาตรการที่ 5 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์..... 41

4.6 ทางเลือกการปรับปรุงอาคาร..... 41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.7 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 1 42
4.8 ตารางสรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ได้ดังนี้..... 43
4.9 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 2 43
4.10 สรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ทางเลือก 2 ได้ดังนี้..... 45
4.11 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 3 46
4.12 สรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ทางเลือกที่ 3 ได้ดังนี้..... 47
4.13 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period
สำหรับทางเลือกที่ 4..... 48
4.14 สรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ทางเลือก 4 ได้ดังนี้..... 49
4.15 แสดงค่าแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจ
บัณฑิตย์ ปี 2561 เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่
(หลังการปรับปรุงทางเลือกที่ 1) 50
4.16 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3 DPU ปี 2561
เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่ (หลังการปรับปรุงทาง
เลือกที่ 2) 51
4.17 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3DPU ปี 2561
เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่(หลังการปรับปรุงทาง
เลือกที่ 3) 52
4.18 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3DPU ปี 2561
เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่(หลังการปรับปรุง
ทางเลือกที่ 4) 53

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แหล่งความร้อนต่าง ๆของภาระการปรับอากาศ.....	13
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	23
3.2	ภาพแผนที่อาคาร 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ตัวอักศรแทนอาคาร C.....	26
3.3	ลักษณะการใช้พื้นที่อาคาร ชั้น 1-10.....	26
3.4	แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2560-2561.....	29
3.5	แสดงกราฟข้อมูลเปรียบเทียบกันแบบจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus ค่าความแตกต่าง 1.30 % แบบจำลองจึงสามารถนำไปใช้ได้.....	31
3.6	ขั้นตอนการใช้แบบจำลองการใช้พลังงาน.....	32
3.7	ภาพการจำลองแบบอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยโปรแกรม Sketch up และ โปรแกรม Energy Plus.....	33
3.8	โปรแกรมคำนวณหาการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้โปรแกรม PVSYST V6.43 และโปรแกรมพยากรณ์พลังงานที่จะผลิตได้ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดกี่หน่วย.....	34
5.1	รูปแสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของทางเลือก.....	55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้นด้วย สาเหตุเกิดจากการเพิ่มจำนวนของประชากร ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม ผลกระทบที่เกิดตามมาก็คือการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งขณะนี้ทั่วโลก จึงมีแนวความคิดที่ว่าจะพัฒนาการใช้พลังงานภายในอาคาร อย่างไรให้คุ้มค่าและคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมต่อสังคมในภาพรวมมากที่สุด (Sustainable Development) โดย จะต้องเป็นการพึ่งพาการใช้พลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้น้อยที่สุด และแนวคิดการประหยัด พลังงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้ได้ต่ำที่สุด โดยมีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Energy Building หรือ NZEB) จึงได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งก็จะมีหลักการว่าพลังงานไฟฟ้าที่รับจากระบบที่นำมาใช้หักกับพลังงานที่อาคารจัดหาได้จะมีค่าสุทธิที่เข้าใกล้ศูนย์ โดยที่ผู้ใช้งานภายในอาคารนั้นยังต้องมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่ดี (Indoor Environmental Quality)

กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ (อาคารกำลังใช้งาน) มีพื้นที่ใช้สอย 7,260 ตรม. โดยตั้งอยู่เลขที่ 110/1-4 ถนนประชาชื่น เขตหลักสี่ แขวงทุ่งสองห้อง กรุงเทพมหานคร

โดยมีหลักการว่า การนำพลังงานจากภายนอกเข้าอาคารลบกับพลังงานที่ผลิตได้เองในอาคารมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะเห็นได้ว่าสิ่งที่จะช่วยให้แนวคิดดังกล่าว สำเร็จได้นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วนส่วนแรก คือ เทคโนโลยีการประหยัดพลังงานที่นำมาใช้ในอาคาร เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง เปลือกอาคาร และการจัดการพลังงาน เป็นต้น สำหรับส่วนที่สอง คือ เทคโนโลยีการผลิตพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร เช่น การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

กรณีอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปีเป็นด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าต่างๆ โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมที่เกิดจากห้องเรียน จำนวน 50 ห้อง จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของส่วนอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เป็นการ

ใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 ใช้พลังงานไฟฟ้า 328,570 kWh. ปี พ.ศ.2561 ใช้พลังงานไฟฟ้า 389,530 kWh. ซึ่งเพิ่มขึ้น 60,960 kWh.

จึงสนใจที่จะหาแนวทางในการลดใช้พลังงานและทรัพยากรในการกำหนดมาตรการลดใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สามารถนำแบบจำลองพลังงานอาคารมาช่วยในการคำนวณหรือประเมินค่าการใช้พลังงานของอาคารได้ก่อนจะดำเนินการปรับปรุงอาคารจริง เนื่องจากแบบจำลองพลังงานทางคอมพิวเตอร์สามารถทดลองเปลี่ยนตัวแปรแล้ว ดูผลการคำนวณ เรื่องพลังงานที่ใช้ได้ เช่น หากต้องการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีสภาพเก่าเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงจะส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานลดลงเท่าไหร่ อีกทั้งแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะนำผลกระทบจากสภาพอากาศและสภาพการใช้งานอาคารที่เปลี่ยนแปลงตลอดปี ทางผู้จัดทำจึงได้หาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เพื่อนำผลการศึกษาเป็นฐานข้อมูลในการนำเสนอปรับปรุงการใช้พลังงานให้ได้ต่ำที่สุดโดยมีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อกรณีศึกษาการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สู่อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สู่อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงาน โดยให้พลังงานเฉลี่ยใน 1 ปี ต้องมีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับพลังงานที่จัดหาได้จากพลังงานแสงอาทิตย์
2. วิเคราะห์ความคุ้มทุนในการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์
3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาตามอายุการใช้งานอาคารเฉลี่ย 50 ปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

2. ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากอาคารที่วิจัยจะต้องมีมาตรการในการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสมที่สุด

3. เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการจัดหาพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ลดการใช้พลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลลงได้ ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาแนวคิดของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ (Net/Nearly Zero Energy Building : NZEB) เริ่มเป็นที่สนใจและศึกษาในระดับนานาชาติ ซึ่งในขณะนี้ทั่วโลก ต่างให้ความสนใจในการก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ โดยสหภาพยุโรป (EU)ได้มีแผนกำหนดเป้าหมายว่า หลังจากปี ค.ศ.2020 เป็นต้นไป อาคารที่จะสร้างใหม่ทุกหลังจะต้องเป็น Nearly Zero Energy Building (BPIE Factsheet NZEB definitions across Europe, 2015)โดยแม้อาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์หรือ NZEB จะเป็นที่สนใจแต่ในปัจจุบันในแต่ละประเทศ ยังไม่มีกรอบนิยามร่วมกันที่แน่นอน แม้สหภาพยุโรปจะกำหนดระยะเวลาดังที่แสดงไปข้างต้นแล้ว แต่หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินก็จะขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ของแต่ละประเทศโดยทั่วไปสามารถให้ความหมาย NZEB ได้โดยหมายถึงอาคารที่สามารถจัดหาพลังงานทดแทนได้ไม่น้อยกว่าพลังงานที่อาคารต้องการใช้ทั้งหมด โดยที่ผู้ใช้งานภายในอาคารนั้นยังต้องมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่ดี

2.1 นิยามและทฤษฎีของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB)

การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB) เครือข่ายที่มีการปรับปรุงหรือออกแบบการใช้พลังงานในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดและสามารถจัดหาพลังงานเพียงพอต่อความต้องการใช้งานได้ด้วยตนเองจนกระทั่งการใช้พลังงานสุทธิเท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ในรอบ 1 ปี นอกจากนี้ ยังรวมถึงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ด้วย โดยอาคารที่เป็น (NZEB) ยังคงใช้พลังงานทั่วไป ได้แก่ ไฟฟ้า หน่วยงานจัดหาพลังงานที่อาคารสร้างมาได้เกินความต้องการก็ส่งออกให้แหล่งพลังงานที่มีการใช้โดยรอบอาคารวิธีการจัดหาพลังงานหมุนเวียน เช่น การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ปารวี การจิตวิทยา, 2556)

สำหรับประเทศไทยการปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีกระทรวงพลังงานกำหนดเกณฑ์การประเมินและนิยามระดับของอาคารระดับต่างๆ กัน ดังนี้ การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าอาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของอาคารประเภทต่างๆ ในปัจจุบันที่เลือกกรณีอ้างอิง (Reference) กับค่าดังกล่าว ในกรณีที่มีการบังคับ

ใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code: BEC) และเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ในอนาคตโดยที่ค่าเฉลี่ยในกรณีอ้างอิงนั้นได้มาจากแบบจำลองการใช้พลังงานที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มอาคารที่อาศัยข้อมูลการตรวจการใช้พลังงานของทางราชการโดยเกณฑ์ใช้พลังงานในระดับที่สูงกว่า BEC มี 3 ระดับดังนี้

1. HEPS (High Energy Performance Standard) คือ ระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน

2. ECO (Economic building) คือ เป้าหมายในอนาคตอันใกล้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการลงทุนน้อย

3. ZEB/NZEB (Near/Zero Energy building) คือ เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เรื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่สามารถและยังมีการจัดหาพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย

อีกทั้ง ยังมีพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ ความร้อนผ่านกรองอาคารประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศภาพ การส่องสว่างของอุปกรณ์หลอดไฟ ผลการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ดังกล่าว ภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานตามแบบจำลองจะทำให้การใช้พลังงานสุทธิสำหรับอาคารแต่ละประเภทเปลี่ยนแปลงตาม ตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับการใช้พลังงานในกรณีที่มีประสิทธิภาพมาก NZEB มีค่าเพียง 1/4 ถึง 1/3 ของการใช้งานพลังงาน ในกรณีที่อ้างอิงในปัจจุบันซึ่งชี้ให้เห็นถึงโอกาสการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มอาการแต่ละประเภท (แผนการปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2554- 2573, กระทรวงพลังงาน)

ตารางที่ 2.1 ค่าการใช้พลังงานสุทธิจากแบบจำลองอาคารกำลังใช้งานแต่ละประเภทในแต่ระดับความสามารถในการประหยัดพลังงานตามมาตรฐานของกระทรวงพลังงาน

ประเภทอาคาร	**การใช้พลังงานภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/m²-y)**				
	Reference	**BEC**	**HEPS**	**Econ**	**NZEB**
อาคารสำนักงาน	219	171	141	82	57
อาคารห้างสรรพสินค้า	308	231	194	146	112
อาคารธุรกิจค้าปลีกและส่ง	370	298	266	161	126

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภทอาคาร	การใช้พลังงานภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/m²-y)				
	Reference	**BEC**	**HEPS**	**Econ**	**NZEB**
โรงแรม	271	199	160	116	97
สถานพยาบาล	244	195	168	115	81
สถานศึกษา	102	85	0.72	58	39
อาคารทั่วไป	182	134	110	66	50
คอนโดมิเนียม	256	211	198	132	95

ที่มา: แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573), กระทรวงพลังงาน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทางผู้วิจัยนี้จำเป็นต้องใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคาร โดยมีปัจจัยประกอบ หลายๆส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์ผลการจำลองพลังงานของอาคารทั้งสิ้น ประกอบด้วย

2.2.1 ทิศทาง

ทิศทางที่แตกต่างกัน มีค่ารังสีอาทิตย์ที่มี ผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation, ESR) ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการหันทิศทางของอาคาร การเลือกใช้วัสดุของแต่ละทิศของอาคารและผังภายในอาคาร ทำให้ความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารมีค่าที่แตกต่างกันจากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ทิศใต้เป็นทิศที่มีค่า ESR สูงที่สุด แต่จากทิศทางการหันของอาคารที่ทำการทางด้านทิศใต้เป็นทิศที่มีห้องสำนักงานมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถหันทิศทางของอาคารได้ จึงต้องศึกษาถึงวัสดุของผนังทึบและกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 2.2 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา หรือ สำนักงาน

มุมเอียง (องศา)	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้
-	437.38	437.38	437.38	437.38
15.00	405.00	421.74	433.61	440.00
30.00	358.99	390.20	412.96	425.48
45.00	309.68	348.31	379.58	397.17
60.00	255.37	301.60	337.61	358.44
75.00	212.39	255.60	291.21	312.65
90.00	185.06	215.84	244.53	263.14

ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ พ.ศ. 2552

2.2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

จากบทที่ 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (overall thermal transfer Value, OTTV) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และแผงบังแดด ซึ่งการเลือกวัสดุ และสัดส่วนผนังโปร่งแสงต่อผนังทึบ มีผลทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารมีผลที่แตกต่างกัน โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$OTTV = (W)(1 - WWR)(TD_{etl}) + (U_f)(WWR)(AT) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

เมื่อ OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อตารางเมตร (w/m^2)

W คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรองศา เซลเซียส ($w/(m^2. °C)$)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด ของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{etl} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศา เซลเซียส °C

u_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจกมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ ตารางเมตร - องศาเซลเซียส (W/ (m^2. °C))

At คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส °C

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2)

2.2.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (roof thermal transfer value, RTTV) ซึ่งการเลือกใช้วัสดุ และช่องว่างอากาศ มีผลต่อความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และจะส่งผลต่อการใช้พลังงานใน พื้นที่ปรับอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$RTTV_i = (w_i)\ (1 - SRR)\ (TD_{K1}) + (U_5)\ (SRR)\ (At) + (SRR)\ (SHGC)\ (sc)\ (ESR)$$

เมื่อ $RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณามีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อตารางเมตร (W/m^2)

W_i คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (W/ (m^2.°C))

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา TD_{etl}คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายในของหลังคาซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส °C

U_5 คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส (W/(m^2.°C))

At คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกหลังคา มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส °C

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านฯ หลังคาโปร่งแสง SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสงและ/หรือหลังคาทึบ แสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

2.2.4 ระบบไฟฟ้าในอาคาร

การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ เช่น ประเภทของอาคาร การออกแบบ รูปร่างอาคาร และวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารตำแหน่งที่ตั้งอาคาร ความต้องการของผู้ใช้อาคารชั่วโมงการใช้งานของอาคารดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารประเภทต่างแบ่งตามระบบต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	ระบบปรับอากาศ(%)	ระบบแสงสว่าง (%)	ระบบอื่น ๆ (%)
โรงแรม	60 – 70	15 – 20	10 – 25
สำนักงาน	50 – 60	20 – 30	10 - 20
ศูนย์การค้า	60 – 65	20 – 25	10 – 20
โรงพยาบาล	50 – 60	20 – 30	10 - 30
สถานศึกษา	30 – 45	30 – 50	5 - 40

ที่มา: ชลวิทย์ เผือกผาสุก, 2554, น. 10

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในอาคารแตกต่างกันได้มาก อาคารบางประเภทใช้แต่พลังงานไฟฟ้า ในขณะที่อาคารบางประเภทใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติ จากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แต่จากการสำรวจจะพบว่าอาคารต่าง ๆจะใช้พลังงานในกิจกรรมหลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และใช้ในระบบอื่น ๆซึ่งอาคารแต่ละประเภทก็ใช้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2 และรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ ในอาคารสำนักงาน ดังแสดงในตารางที่ 3 (ชลวิทย์ เผือกผาสุก, 2554, น. 10-11)

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ ในอาคารสำนักงาน

ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน 100%				
ระบบปรับอากาศ 50 - 60 %			**ระบบแสงสว่าง 20 – 30 %**	**ระบบอื่น ๆ 10 -20 %**
ชนิดแยกส่วน	ชนิดรวมศูนย์	ชนิดเป็นชุด	หลอดไฟชนิดต่าง ๆ	ปั๊มน้ำใช้สอย
แอร์spilt type	เครื่องทำน้ำเย็น	ปั๊มน้ำหล่อเย็น	บัลลาสต์	พัดลมระบายอากาศ
	ปั๊มน้ำเย็น	หอผึ่งน้ำ		ลิฟต์และบันไดเลื่อน
	ปั๊มน้ำหล่อเย็น			ระบบบำบัดน้ำเสีย
	หอผึ่งน้ำ			อุปกรณ์สำนักงาน
	เครื่องส่งลมเย็น			เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

ที่มา: ชลวิทย์ เผือกผาสุก, 2554, น. 11

การออกแบบก่อสร้างอาคารให้มีประสิทธิภาพพลังงานตั้งแต่ต้นจะง่ายและสิ้นเปลืองงบประมาณน้อยกว่าการปรับปรุงอาคารเดิมมากจากการประเมินโดยสอบถามผู้ประกอบการธุรกิจบ้านจัดสรรธุรกิจรับสร้างบ้านและการสำรวจราคาวัสดุอุปกรณ์ พบว่า การสร้างบ้านหรืออาคารประหยัดพลังงานจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่างร้อยละ 3 - 10 ของราคาก่อสร้าง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้แต่การปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพพลังงานค่าใช้จ่ายอาจเพิ่มเป็น 2 เท่า ของการก่อสร้างใหม่หรือบางส่วนก็ไม่สามารถแก้ไขปรับปรุงได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , ม.ป.ป., น. 1-4) ดังนั้น เจ้าของอาคารที่จะดำเนินการปรับปรุงอาคารเก่าจะต้องประเมินความคุ้มทุน หรือประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารที่จะปรับปรุงใน 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งหากสามารถหาข้อมูลย้อนหลัง 12 เดือนได้ก็จะแม่นยำขึ้นจะทำให้ทราบสัดส่วนการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยทั้งปีและทราบดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปีโดยหาได้จาก

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม } (kWh/m^2\text{-y}) = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดต่อปี (kWh/y)}}{\text{พื้นที่ใช้สอยอาคาร ไม่รวมที่จอดรถ } (m^2)}$$

ตารางที่ 2.5 ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงและอาคารมาตรฐานตามพระราชบัญญัติ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปีพ.ศ. 2551

ประเภทอาคาร	อาคารอ้างอิง kWh/m^2-y	อาคารมาตรฐานตาม พ.ร.บ. kWh/m^2-y
สำนักงาน	146.40	98.70
โรงแรม	173.20	117.00
โรงพยาบาล	148.80	123.90
ห้างสรรพสินค้า	556.00	394.30
สถานศึกษา	94.00	79.30
อาคารอื่น ๆ	139.70	117.20
อาคารชุด	118.40	105.30
ห้างสรรพสินค้าขายปลีกและขายส่ง	394.70	300.90

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป., น.4

2.2.5 ระบบปรับอากาศ

การออกแบบระบบปรับอากาศ ให้มีการใช้พลังงานน้อย ช่วยประหยัดพลังงานในอาคาร นั้น นอกจากจะต้องเลือกขนาดการทำความเย็นที่เหมาะสมกับห้องแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วย ซึ่งถูกกำหนดในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 การกำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2552

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (วัตต์)	ค่าประสิทธิภาพพลังงาน
ไม่เกิน 8,000	3.22-4.10
มากกว่า 8,000 แต่ไม่เกิน 12,000	3.22-4.10

ซึ่งสามารถดูค่าประสิทธิภาพพลังงานได้จากข้อมูลของผู้ผลิต และควรเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดพลังงาน เช่น ฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 เป็นต้น ระบบปรับอากาศในอาคารแบ่งได้ ดังนี้

2.5.1.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกสวน (Split type) เป็นระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานง่าย แต่มีประสิทธิภาพต่ำโดยส่วนใหญ่มีขนาดทำความเย็นไม่เกิน 40,000 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนประกอบ ของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนของคอยล์ทำความเย็น เรียกว่า คอยล์เย็น (fan coil unit) ติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอยล์ร้อน (condensing unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำ ความเย็น (compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร เหมาะสาหรับอาคารที่แบ่งเป็น พื้นที่ขนาดเล็กหลายๆ ส่วน เช่น อาคารชุดพักอาศัย สำนักงาน เป็นต้น ต้องเผื่อพื้นที่สำหรับวางคอยล์ร้อน

2.5.1.2 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (package) เป็นระบบที่ติดตั้งง่าย แต่สำหรับ เครื่องที่มีขนาดใหญ่ อาจจำเป็นต้องมีห้องเครื่องและระบบส่งจ่ายลมเย็น มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เหมาะสำหรับอาคารที่แบ่งพื้นที่เป็นชั้นและต้องการเปิด-ปิดการใช้งานอย่างอิสระ เช่น ระบบVRV และระบบ VRF เป็นต้น

2.5.1.3 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (chiller) หรือระบบปรับอากาศแบบรวม ศูนย์ เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการปรับอากาศทั้งอาคาร มีความ ยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบและติดตั้งมากกว่าระบบอื่น มีส่วนประกอบ คือ เครื่องทำน้ำเย็น ระบบระบายความร้อน ระบบท่อและอื่นๆ เป็นระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ต้องมีการ เผื่อพื้นที่ห้อง งานระบบและความสูงของชั้นเพื่อการเดินท่อ เหมาะสำหรับการใช้งานในสำนักงาน ขนาดใหญ่หรือคอนโดมิเนียม อาคารสำนักงานอาจกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดระบบปรับอากาศ เช่น เริ่มเปิดใช้งานเวลา 10.00 น. ถึง 12.00 น. และปิดช่วงเวลาพักเที่ยง เปิดใช้งานอีกเวลา 13.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นต้น “กฎกระทรวง กำหนดเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552” (2552, 8 เมษายน), ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 126 ตอนพิเศษ 23 ก, 25-27. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ระบบปรับอากาศ.” เอกสารเผยแพร่หมวดที่ 2, ม.ป.ท., (ม.ป.ป.), 2-5 ,7.

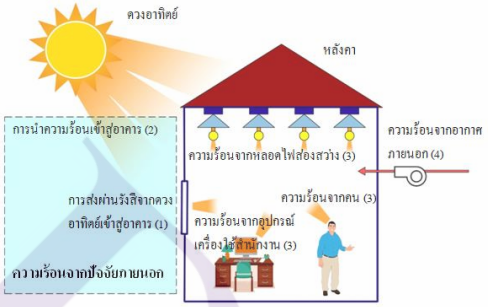
ภาระการปรับอากาศเป็นผลจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคารและจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากภายในตัวอาคารเองโดยปกติแล้วความร้อนจากที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ ภาพที่ 2.1 แสดงแหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศซึ่งประกอบด้วย

1. การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร โดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง, หลังคาโปร่งแสง (skylight)

2. การนำความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยผ่านทางผนังภายนอก (ผนังทึบและผนังกระจก) พื้นและหลังคา

3. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน, หลอดไฟส่องสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ภายในอาคาร

4. ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่นำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายในหรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร เช่น อากาศที่ผ่านเข้าทางประตูหรือหน้าต่างในส่วนที่เปิดไว้



ภาพที่ 2.1 แหล่งความร้อนต่าง ๆของภาระการปรับอากาศ

สำหรับกระจกใสซึ่งนิยมใช้ในอาคารเก่าความร้อนจากภายนอกจะผ่านทะลุเข้าตัวอาคารได้มาก (ร้อยละ 83) และมีแสงสว่างที่ตามองเห็นทะลุผ่านสูง (ร้อยละ 88) ดังนั้นกระจกใสจะให้แสงสว่างเข้ามามากแต่ในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนผ่านเข้ามามากด้วยดังนั้นวิธีป้องกันความร้อนที่ผ่านกระจกใสคือติดฟิล์มกรองแสงที่ผิวกระจกด้านในซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนได้สูงหรือเปลี่ยนเป็นกระจกเขียว Low-e เป็นกระจกที่ได้แสงสว่างเข้ามาได้แต่พาความร้อนเข้ามาน้อย (พรเทพ พินัยนิติศาสตร์, 2554,น. 33)

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติได้เสนอแนะให้มีการตั้งอุณหภูมิที่ $25^{O}C$ ในบริเวณที่ทำงานทั่วไปและพื้นที่ส่วนกลางตั้งอุณหภูมิที่ $24^{O}C$ ในบริเวณพื้นที่ทำงานใกล้หน้าต่างกระจกตั้งอุณหภูมิที่ $22^{O}C$ ในห้องคอมพิวเตอร์ ซึ่งการปรับเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ $1^{O}C$ จะช่วยประหยัดพลังงานประมาณร้อยละ 10 ของเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิที่เหมาะสมของการใช้งานระบบปรับอากาศสำหรับอาคารทั่วไปในประเทศไทย คือ 24.50 – 26.50 ^{O}C ดังนั้น ถ้าตั้งอุณหภูมิเทอร์โมสตัทไว้ที่ $25^{O}C$ จะช่วยประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด (พรเทพ พินัยนิติศาสตร์, 2554, น. 31)

2.2.6 ระบบแสงสว่าง

โดยค่าความสว่างภายในอาคารที่ทำการทุกห้องจะต้องเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด โดยมีค่า ความส่องสว่างตามกำหนดของกฎกระทรวงฉบับที่39(พ.ศ. 2537)และกฎกระทรวงอาชีวอนามัยเรื่อง สภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ดังตารางที่ 2.7 รวมทั้งจะต้องออกแบบให้มีค่าการใช้พลังงานใกล้กับการใช้พลังงานที่สุดด้วย

ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานความส่องสว่างที่กฎหมายกำหนด

ประเภทห้อง	**ค่ามาตรฐานความส่องสว่าง (LUX)**	
	กฎกระทรวง ฉบับที่ 39	**Safety 2549**
ห้องโถง/ห้องพักรอ	-	200
สำนักงาน	300	400
ห้องควบคุมและห้องสวิตซ์	-	200
ห้องน้ำ	100	100
ประเภทห้อง	กฎกระทรวงฉบับ39	Safety 2549
ห้องเก็บของ	-	100
ห้องเครื่องปั๊ม	-	100
ห้องครัว	-	200
ห้องประชุม	300	300
ห้องถ่ายเอกสาร	-	300

ที่มา : กฎกระทรวงฉบับที่39 (พ.ศ. 2537) และกฎกระทรวงอาชีวอนามัยเรื่องสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549

2.2.7 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

อาคารที่มีการจัดหาพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคารสามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่จัดหาได้ ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร เพื่อนำมาคิดเป็นพลังงานรวมสุทธิ โดยมีสมการคำนวณ ดังนี้

$$PVE = \frac{(5)(365)(A_{m\,0\,d})(N_{sy\,5})\,(ESR_{pv})}{1{,}000}$$

เมื่อ PVE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่จัดหาโดยเซลล์แสงอาทิตย์มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ ชั่วโมง (kWh)

(5X365) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจัดหากระแสไฟฟ้าได้ใน 1 ปี โดย (5) คือ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีแสงอาทิตย์ใน 1 วันและ (365) คือ จำนวนวันใน 1ปี

A_{mod} คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง หน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

N_{sys} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ

ESRpv คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงและทิศทางที่ตรงกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) ให้ใช้ค่าที่กำหนดตามตารางที่ 1พลังงานแสงอาทิตย์

2.2.7.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 5.56 - 6.67 kWh/m²/day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมบางส่วน ของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จง หวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และจังหวัดลพบุรี ซึ่งพื้นที่ของประเทศไทยทั้งหมด ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 5.00 - 5.28 kWh/m²/day เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากทุกพื้นที่เป็นค่ารายวันเฉลี่ยต่อปี ได้เท่ากับ 5.00 kWh/m²/day เห็นได้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของแต่ละประเทศ

ประเทศ	**ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ($kWh/m^2/day$)**
อังกฤษ	2.5
ไอร์แลนด์	2.8

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

ประเทศ	ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ($kWh/m^2/day$)
ญี่ปุ่น	3.6
สหรัฐอริกา	4.4
ออสเตรเลีย	5.4
อินเดีย	5.6
ไทย	5.0

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, “พลังงานแสงอาทิตย์” ในคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2, (ม.ป.ท., ม.ป.ป.), 1-5. 4. ดัดแปลงโดยผู้วิจัย

ค่าพลังงานรวมสุทธิทั้งอาคาร คือค่าการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร โดยคำนวณค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ดังกล่าวในรอบ 1 ปี มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรปี ($kWh/m^2/year$) ซึ่งกระทรวงพลังงานได้กำหนดว่าอาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ต้องมีค่าไม่เกิน 94 $kWh/m^2/year$ และอาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.00 $kWh/m^2/year$

2.2.8 การวิเคราะห์ทางการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อใช้ในการประเมินโครงการความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการนี้ โดยใช้เครื่องมือดังนี้

2.2.8.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB) ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุนเพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุน คุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไประยะเวลาคืนทุนเป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำโดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่าเมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้วจะใช้ระยะเวลาจำงวดในการคืนทุนสามารถแสดงการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$PB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

2.2.8.2 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period หรือ DPB) เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำ โดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่าเมื่อมีการลงทุน ในโครงการนั้นแล้ว จะใช้ระยะเวลาจำงวดในการคืนทุน โดยใช้วิธีคิดจากกระแสเงินสดสะสมที่จะได้รับในอนาคต ให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present Value of Cash Flows) เสียก่อน การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคิดลด แสดงได้ดังสมการดังนี้

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}}$$

2.2.8.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) เป็นการหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิของโครงการลงทุนในแต่ละปี ซึ่งเท่ากับมูลค่า ปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้า (Cash Inflows) หักด้วยมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดออก (Cash Outflows) โดยใช้ต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเงินทุนของโครงการเป็นอัตราคิดลด (WACC) เมื่อรวมกระแสเงินสดที่คิดมูลค่าปัจจุบันแล้วผลลัพธ์ที่ได้คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณหาได้ จากสมการดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \left(\frac{CFt}{(1+r)^2} \right)$$

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

CFt = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา t

n= ช่วงอายุของโครงการลงทุน

r= อัตราคิดลด หรือ ต้นทุนถัวเฉลี่ยของเงินทุน

เกณฑ์ในการประเมิน สรุปได้ว่าหากโครงการลงทุนใดที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV > 0 ผู้วิเคราะห์สามารถ ยอมรับโครงการลงทุนนั้นได้ ในทางตรงกันข้าม หากโครงการลงทุนใด มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV <0 ผู้วิเคราะห์สามารถปฏิเสธ โครงการนั้นได้ และหากโครงการลงทุนใดที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV = 0 ผู้วิเคราะห์อาจยอมรับหรือปฏิเสธ โครงการก็ได้ เนื่องจากมูลค่าขององค์กร จะไม่มีความแตกต่าง ไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธโครงการ

2.3 การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) ที่เกี่ยวข้อง

ประพัทธ์ ชื่นชุมศรี (2560) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยอาคารนี้เป็นอาคารก่อสร้างใหม่ สูง 4 ชั้น ประกอบด้วยพื้นที่สำนักงาน ห้องประชุม และห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 2,273.81 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่าทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร คือ การใช้มาตรการ เปลี่ยนวัสดุกระจกเป็นชนิด Clear Color Single Silver Low-E coat on Ocean Green 6 mm (6-6-6), มาตรการการปรับปรุงอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างชนิดน1 ประมาณ ร้อยละ 25, มาตรการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และมาตรการจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากมาตรการทั้งหมดทำให้มีค่า OTTV ลดลง, RTTV, Lighting Power Density และค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี 82,195.43 kWh/year ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ 82,555.55 kWh/year ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นบวก คือ สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้เท่ากับ 360.12 kWh/year งบประมาณลงทุนประมาณ 7,701,066.15 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดที่ 28 ปี ทั้งหมด ทำให้มีค่า OTTV ลดลงเป็น 30.168 W/m , RTTV เท่ากับ 6.018 W/m , Lighting Power Density เท่ากับ 6.697 W/m ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดปี 82,195.43 kWh/year ค่าพลังงานรวมที่จัดหาได้ 82,555.55 kWh/year ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นบวก คือ สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าที่ใช้เท่ากับ 360.12 kWh/year งบประมาณลงทุน 7,701,066.50 บาท และมีค่าระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดที่ 28 ปี

วงศิยา อนุศักดากุล (2559) แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ผลการศึกษา พบว่า อาคารทั้ง 3 รูปแบบก่อนปรับปรุงมีการใช้พลังงานสูงกว่าที่ผลิตได้เองโดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RT TV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ซึ่งประเมินด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) มีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดผ่านเกณฑ์ทุกอาคาร แต่ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบางอาคารต่ำกว่าเกณฑ์ จึงแบ่งแนวทางลดการใช้พลังงาน ดังนี้ แนวทางที่ 1 ปรับปรุงกรอบอาคารเพียงอย่างเดียว ให้ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย คือ OTTV<50 วัตต์ต่อตารางเมตร และ RTTV<15 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเปลี่ยนวัสดุผนังทึบและกระจก เพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคา ซึ่งพบว่าความต้องการพลังงานรวมทุกอาคารยังสูงกว่าที่สามารถผลิตได้ จึงยังเป็นอาคารที่ใช้ พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ไม่ได้ แนวทางที่ 2 ปรับปรุงการจัดการระบบภายในอาคาร โดยเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟประสิทธิภาพสูงแอลอีดี (LED) เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นใช้อุปกรณ์สำนักงานและคอมพิวเตอร์ที่มีเครื่องหมายประหยัดพลังงาน Energy Star โดยไม่ปรับปรุง

กรอบอาคาร ซึ่งพบว่าแนวทางนี้สามารถลดพลังงานรวมในทุกอาคารได้มากกว่าแนวทางแรก จนสามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้

ยุทธจักร หินทอง (2556) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร: กรณีศึกษาอาคารอำนวยการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยนำโปรแกรม e Quest ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคารทำการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารพบว่าค่าภาระการทำความเย็นภายในอาคารโดยรวมมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยของภาระการทำความเย็นเท่ากับ 882 Btu/hr/m^2 สามารถแยกสัดส่วนได้ดังนี้ (1) ความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกมีค่า 415 Btu/hr/m^2 (2) อากาศแทรกซึมตามรอยร้าวมีค่า 379 Btu/hr/m^2 และ (3) องค์ประกอบอื่นๆ มีค่า 89 Btu/hr/m^2 ผู้วิจัยได้ทำการเสนอแนวทางปรับปรุงคือ (1) ลดพื้นที่ผนังโปร่งแสงลงจากเดิมสัดส่วนผนังต่อกระจก 75% ลดลงเหลือ 40% พบว่าองค์ประกอบภาระทำความเย็นลดลงเหลือเพียง 229 Btu/hr/m^2 หรือลดลงไป 44.82% (2) เปลี่ยนกระจกที่มีคุณสมบัติการป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์ (Low-E) พบว่าองค์ประกอบค่าภาระทำความเย็นลดลงเหลือเพียง 323 Btu/hr/m^2 หรือลดลงไป 22.17% และ (3) การลดอากาศแทรกซึมให้มีค่าน้อยที่สุดพบว่าองค์ประกอบค่าภาระทำความเย็นลดลงเหลือเพียง 1 Btu/hr/m^2 หรือลดลงไป 99.74% จากทั้ง 3 แนวทาง แนวทางที่ประหยัดที่สุดคือแนวที่ 1 การลดพื้นที่โปร่งแสงทำโดยการติดตั้งผนังยิปซัมบอร์ดเพื่อลดพื้นที่กระจก มีค่าดำเนินการ 320 บาท/ตรม. คิดเป็นเงินมูลค่าเท่ากับ 354,240 บาท โดยมีระยะคืนทุนอยู่ที่ 0.70 ปี

คมสัน วิสาวะโท (2560) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องสมุดในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 8 แห่ง โดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร Energy Plus สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของอาคารห้องสมุดเพื่อการเรียนรู้ทั้ง 8 แห่ง โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.03-7.30 % สำหรับมาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 16 มาตรการ พบว่ามาตรการที่ 16 (Set T. + LED + Film + A/C + PV) เป็นมาตรการที่สามารถลดค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารมากที่สุดในทุกห้องสมุดที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์พบว่าทุกห้องสมุดที่ทำการศึกษามาตรการที่ 6 (Set T. + LED) เป็นมาตรการที่เหมาะสมในการลงทุนมากที่สุดเนื่องจากเป็นมาตรการที่มีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ (2555) ทำการศึกษาอาคารประเภทสถานศึกษาจำนวน 2 อาคารและอาคารสำนักงาน 1 งาน โดยใช้โปรแกรม BEC และ Energy Plus ในการทำแบบจำลองพลังงาน ในการประเมินอาคารที่กำลังใช้งานทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้อาคาร การสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยใช้โปรแกรม Energy Plus วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล ของอาคารจาก

ผู้ดูแลอาคาร และในการศึกษารายบุคคลได้ทำการเสนอแนะวิธีทำให้อาคารมีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์คือการนำระบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเป็นพลังงานที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์ NZEB สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Sketch up + Energy Plus เพื่อนำเสนอมาตรการลดใช้พลังงานภายในอาคารเพื่อให้อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ไปสู่การใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์ NZEB

วัศพล ธีรวนพันธุ์ (2558) ได้ทำการศึกษาอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1.0 พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV และ RTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดและมีค่าอากาศรั่วซึมมากกว่าเกณฑ์ โดยแนวทางปรับปรุงที่ดีที่สุด ซึ่งประกอบด้วยการปิดไฟและเครื่องปรับอากาศในช่วงพักกลางวันและการเปิด-ปิดห้องเรียนตามเวลาใช้งาน การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนยื่น 60 ซม. การเปลี่ยนหลอดไฟ LED การเปลี่ยนกระจกสีเขียว การเปลี่ยนกระจกบานเกร็ดเป็นบานติดตาย ติดตั้งยางกันรั่วซึมบริเวณขอบประตูไม้ การปูฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว เหนือฝ้า การกรุผนังทุกด้านด้วยใยแก้ว 2 นิ้ว สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 25% มีค่าการลงทุน 6,302,520 บาท และมีระยะการคืนทุนอยู่ที่ 4 ปี 9 เดือน

จิตรภณ ศัลยวิทย์ (2562) ได้ทำการศึกษาการศึกษาเพื่อทำการประเมินอาคารตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน) โดยใช้อาคาร โรงแรมดีพียูเพลส มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ระดับคะแนนการประเมินอยู่ที่ 46 คะแนน (ระดับ Silver) ในการศึกษาความเหมาะสมในการลงทุนเมื่อพิจารณาในภาพรวม มาตรการที่ 3 (LED) เป็นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนน้อย แต่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มาก จึงเป็นมาตรการที่น่าสนใจในการลงทุน เนื่องจากเป็นมาตรการที่มีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการสูงที่สุดและมีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดใช้เงินลงทุนประมาณ 62,673.75 บาท ค่าไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 8,512.34 kWh/y หรือเท่ากับ 36,517.93 บาท/ต่อปี มีระยะการคืนทุนอยู่ที่ 1.72 ปี การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม เท่ากับ 203,833 kWh/y ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 111.82 kWh/m^2/year

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีมาตรการที่ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะทางพลังงานของอาคารดังนี้

1. เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง INVERTER
2. ติดตั้งผนังยิปซัมหนา 25 มม. เพิ่ม 1 ชั้น
3. เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างประสิทธิภาพสูง LED
4. เปลี่ยนกระจกหน้าต่างเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e
5. การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

6. ปรับปรุงกรอบอาคารโดยการลดขนาดหน้าต่างลงร้อยละ 25

7. ใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

8. เพิ่มฉนวนใยแก้วประสิทธิภาพบนหลังคา

9. เปลี่ยน Printer และคอมพิวเตอร์ที่ได้รับเครื่องหมาย Energy Star

10. เพิ่มแผงบังแดดแนวนอนความลึก 1.20 ม. เหนือหน้าต่างส่วนบริเวณพื้นที่ปรับอากาศภายนอกอาคาร

ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว พบว่า มาตรการต่างๆ ข้างต้นนี้มีความเป็นไปได้สำหรับการศึกษานี้ คือ 1. เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง INVERTER, 2. ติดตั้งผนังยิปซัมหนา 25 มม. เพิ่ม 1 ชั้น, 3. เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างประสิทธิภาพสูง LED, 4. เปลี่ยนกระจกหน้าต่างเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e, 5. การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มีระเบียบวิธีการวิจัยโดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 บทนำ

3.2 ขั้นตอนดำเนินการ

3.3 ข้อมูลทั่วไปและการใช้พลังงานของอาคาร

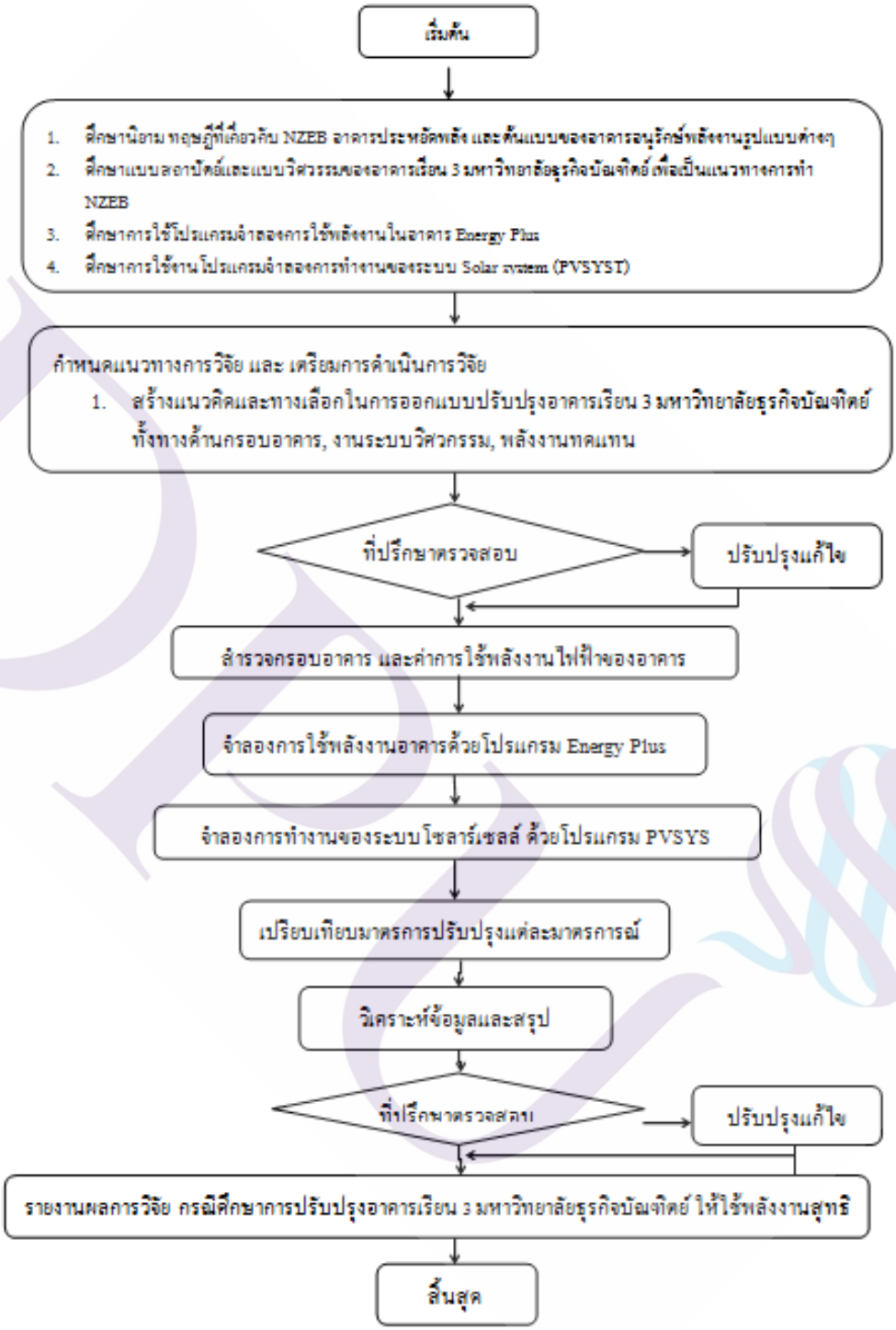
3.4 การสร้างแบบจำลองอาคาร

3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.1 บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ด้วยสาเหตุเกิดจากการเพิ่มจำนวนของประชากร และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม ผลกระทบที่เกิดตามมาคือ การเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งขณะนี้ทั่วโลกจึงมีแนวความคิดที่ว่าจะพัฒนาการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างไรให้คุ้มค่าและคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและต่อสังคมในภาพรวมมากที่สุด (Sustainable Development) โดย จะต้องเป็นการพึ่งพาการใช้พลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้น้อยที่สุด และแนวคิดการประหยัด พลังงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้ได้ต่ำที่สุด โดยมีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Energy Building หรือ NZEB) จึงได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งก็จะมีหลักการว่าพลังงานไฟฟ้าที่รับจากระบบที่นำมาใช้ หักกับพลังงานที่อาคารจัดหาได้จะมีค่าสุทธิที่เข้าใกล้ศูนย์ โดยที่ผู้ใช้งานภายในอาคารนั้นยังต้องมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารที่ดี และไม่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเพราะใช้พลังงานทดแทนคือระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังมีมาตรการปรับปรุงกรอบอาคารให้มีความร้อนเข้ามาได้น้อยลงจะลดภาระของเครื่องปรับอากาศ มีการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าให้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Energy Plus จำลองขึ้นมาให้สามารถใส่มาตรการต่างๆไปเพื่อพิจารณาหามาตรการที่เหมาะสมที่สุดและคุ้มค่ามากที่สุด

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

จากภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาธุรกิจบัณฑิตย์ ให้เข้าสู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับอาคารระหว่างใช้งานและทำการกำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พร้อมทั้งศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาตามอายุการใช้งานของอาคารเฉลี่ย 50 ปี

3.3 ข้อมูลทั่วไปและการใช้พลังงานของอาคาร

3.3.1 ข้อมูลทั่วไป

อาคารเรียน 3 มหาวิทยาธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 10 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 7,260 ตารางเมตร จากตารางที่ 3.1 โดยแบ่งพื้นที่ชั้น 1 -10 ในส่วนพื้นที่ห้องทำงาน (Office room) ส่วนของพื้นที่ห้องเรียน (Class room) ห้องน้ำ (Toilet) ห้องเก็บของ (Storage room) ส่วนของห้องเรียนจำนวน 50 ห้อง เปิดให้บริการจันทร์ – เสาร์ จำนวน 7 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.2 – 3.4

ซึ่งในการออกแบบอาคารเน้นใช้แสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารในช่วงกลางวันส่วนอาคารเรียน (Class room) แต่ด้วยขนาดและชนิดของกระจกที่นำมาใช้เป็นเหตุให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานจากภาระของเครื่องปรับอากาศ

ชื่ออาคาร	:	อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ชื่อหน่วยงาน	:	คณะการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ที่อยู่	:	110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่
		จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10210
เบอร์โทรติดต่อ	:	02-954-7300
จำนวนชั้นทั้งหมด	:	10 ชั้น
พื้นที่		
ปรับอากาศ	:	6,085 ตารางเมตร
ไม่ปรับอากาศ	:	315 ตารางเมตร
ทางเดิน	:	860 ตารางเมตร
รวม	:	7,260 ตารางเมตร
ประเภทอาคาร	:	อาคารเรียน

โซน

จำนวน	:	50 โซน
พื้นที่ใช้สอยส่วนใหญ่	:	7,260 ตารางเมตร
ปีที่อาคารสร้างเสร็จ	:	พ.ศ. 2545
วันและเวลาทำการ	:	จันทร์ – เสาร์ จำนวน 8 ชั่วโมง
จำนวนผู้ดูแลอาคาร	:	4 คน

ตารางที่ 3.1 ลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ชั้น	**ลักษณะการใช้พื้นที่**
1	ห้องสำนักงาน 5 ห้อง
2	ห้องสำนักงาน 5 ห้อง
3	ห้องสำนักงาน 5 ห้อง
4	ห้องสำนักงาน 5 ห้อง
5	ห้องเรียน 5 ห้อง
6	ห้องเรียน 5 ห้อง
7	ห้องเรียน 5 ห้อง
8	ห้องเรียน 5 ห้อง
9	ห้องเรียน 5 ห้อง
10	ห้องเรียน 5 ห้อง

ภาพที่ 3.2 ภาพแผนที่อาคาร 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ตัวอักศรแทนอาคาร C

ที่มา: https://www.dpu.ac.th/

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการใช้พื้นที่อาคาร ชั้น 1-10

ที่มา: https://www.dpu.ac.th/

3.3.2 การใช้พลังงานของอาคารรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

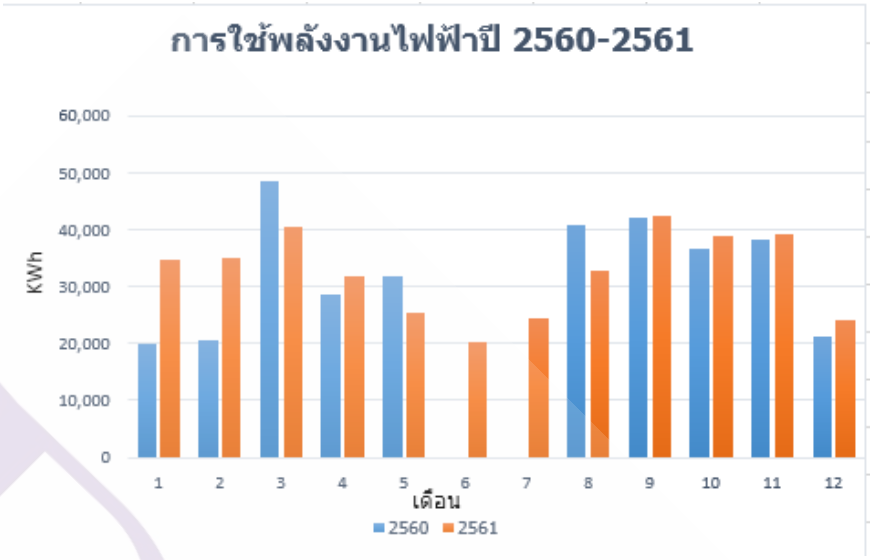
การใช้พลังงานของอาคาร 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าเหมือนกันดังตารางที่ 3.2 แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนนักศึกษาในแต่ละช่วงเวลาของการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทโดยได้ทำการสำรวจและได้ข้อมูลการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรายการอุปกรณ์ไฟฟ้า ชั้น 1-10

ชั้น	อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า	จำนวน (ชุด)
1-10	ลิฟท์	7.5kW	2
	เครื่องคอมพิวเตอร์	300W	200
	ตู้เย็น	750W	4
	เครื่องปริ้นเตอร์	200W	10
	เครื่องฉายภาพโปรเจคเตอร์	200W	50
	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 36,000 Btu.	3kW	100
	หลอด Flu ขนาด 1 x 28W(ก่อนปรับปรุง)	28W	280
	หลอด Flu ขนาด 2 x 28W(ก่อนปรับปรุง)	56W	320
	หลอด LED ขนาด 1x 14W(หลังปรับปรุง)	14W	280
	หลอด LED ขนาด 2x 14W(หลังปรับปรุง)	28W	320

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่ใช้งานจริงของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เดือน	อาคาร 3	
	ปี 2560	ปี 2561
มกราคม	20,028	34,810
กุมภาพันธ์	20,626	34,940
มีนาคม	48,500	40,420
เมษายน	28,746	31,960
พฤษภาคม	31,740	25,390
มิถุนายน	0.00	20,170
กรกฎาคม	0.00	24,460
สิงหาคม	40,700	32,650
กันยายน	42,000	42,430
ตุลาคม	36,670	38,910
พฤศจิกายน	38,350	39,370
ธันวาคม	21,210	24,020
รวม	**328,570**	**389,530**
ค่าเฉลี่ย	**27,381 kWh/year**	**32,461 kWh/year**



ภาพที่ 3.4 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2560-2561

จากภาพที่ 3.4 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2560-2561 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้ห้องเรียนและสำนักงาน

ค่าพลังงานไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของอาคารเรียน ปี 2560 กับ 2561 กรณีนี้จะสังเกตุว่าจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของปี 2560 และ ปี 2561 มีอัตราเพิ่มขึ้นโดยนำจำนวนหน่วยการใช้งานจริง ของปี 2561 มาวิเคราะห์เพื่อนำมาเป็นมาตราการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ให้เป็น NZEB

ตารางที่ 3.4 ตารางค่าพลังงานไฟฟ้าอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ (kWh)

เดือน	ปี 2560	ปี2561	ค่าพลังงานเพิ่ม
มกราคม	20,028	34,810	42.46
กุมภาพันธ์	20,626	34,940	40.97
เมษายน	48,500	40,420	-19.99
พฤษภาคม	28,746	31,960	10.06

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

เดือน	ปี 2560	ปี2561	ค่าพลังงานเพิ่ม
มิถุนายน	31,740	25,390	-25.01
กรกฎาคม	0	20,170	100.00
สิงหาคม	0	24,460	100.00
กันยายน	40,700	32,650	-24.66
ตุลาคม	42,000	42,430	1.01
พฤศจิกายน	36,670	38,910	5.76
ธันวาคม	38,350	39,370	2.59
รวม	328,570	389,530	16%
ค่าเฉลี่ย	27,381 kWh/year	32,461 kWh/year	16%

จากตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2560-2561 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับจำนวนที่ใช้ห้องเรียนค่าพลังงานเพิ่มขึ้น 16 %

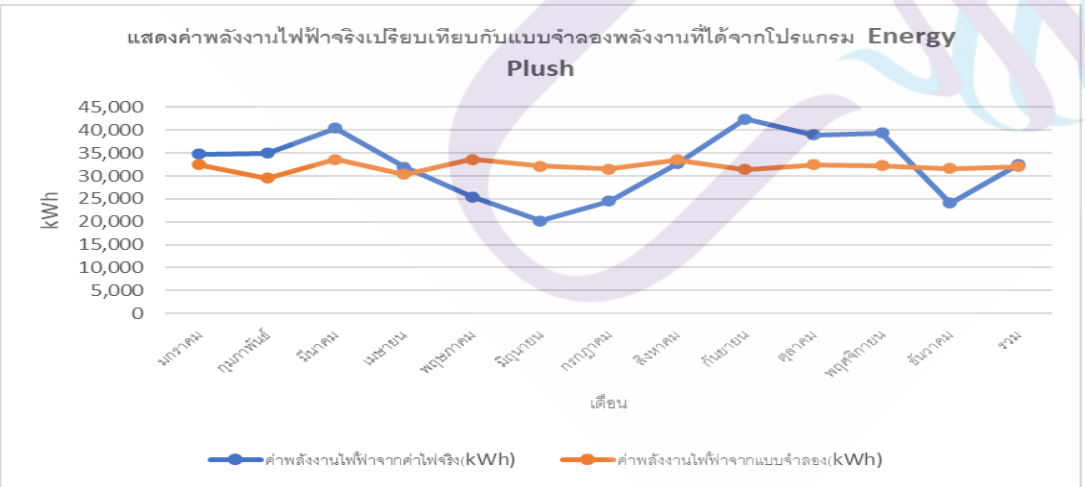
ตารางที่ 3.5 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจริงเปรียบเทียบกับแบบจำลองพลังงานที่ได้จากโปรแกรม Energy Plus

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า จากค่าไฟจริง(kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้า จากแบบจำลอง(kWh)	ความต่างของแบบ จำลองกับค่าไฟจริง (%)
มกราคม	34,810.00	32,449.36	6.78
กุมภาพันธ์	34,940.00	29,546.50	15.44
มีนาคม	40,420.00	33,626.85	16.81
เมษายน	31,960.00	30,376.26	4.96
พฤษภาคม	25,390.00	33,567.09	-32.21
มิถุนายน	20,170.00	32,184.07	-59.56
กรกฎาคม	24,460.00	31,560.26	-29.03

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า จากค่าไฟจริง(kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้า จากแบบจำลอง(kWh)	ความต่างของแบบ จำลองกับค่าไฟจริง (%)
สิงหาคม	32,650.00	33,538.49	-2.72
กันยายน	42,430.00	31,427.33	25.93
ตุลาคม	38,910.00	32,409.85	16.71
พฤศจิกายน	39,370.00	32,199.82	18.21
ธันวาคม	24,020.00	31,586.07	-31.50
ค่าเฉลี่ย	32,460.83 kWh/year	32,039.33 kWh/year	1.30

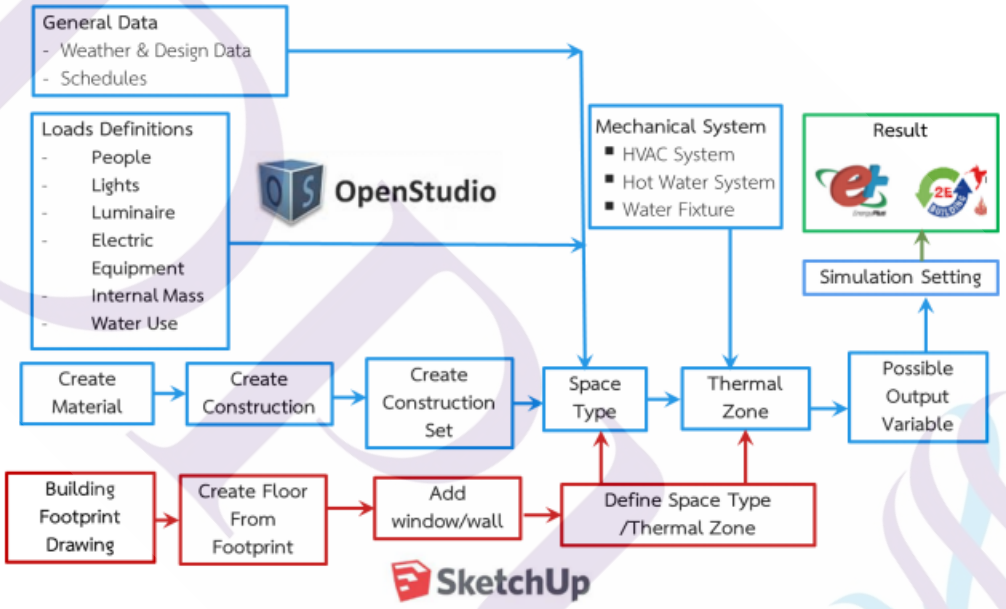
จากตารางที่ 3.5 กราฟแสดงค่า % ความต่างของค่าพลังงานไฟฟ้าใช้จริงจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ปี 2561 อาคารเรียน3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เปรียบเทียบกันแบบจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus ค่าความแตกต่าง 1.30 % แบบจำลอง จึงสามารถนำไปใช้ได้ในการใช้ปรับปรุงตามมาตรการและแนวทางการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์



ภาพที่ 3.5 แสดงกราฟข้อมูลเปรียบเทียบกันแบบจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Energy Plus ค่าความแตกต่าง 1.30 % แบบจำลองจึงสามารถนำไปใช้ได้

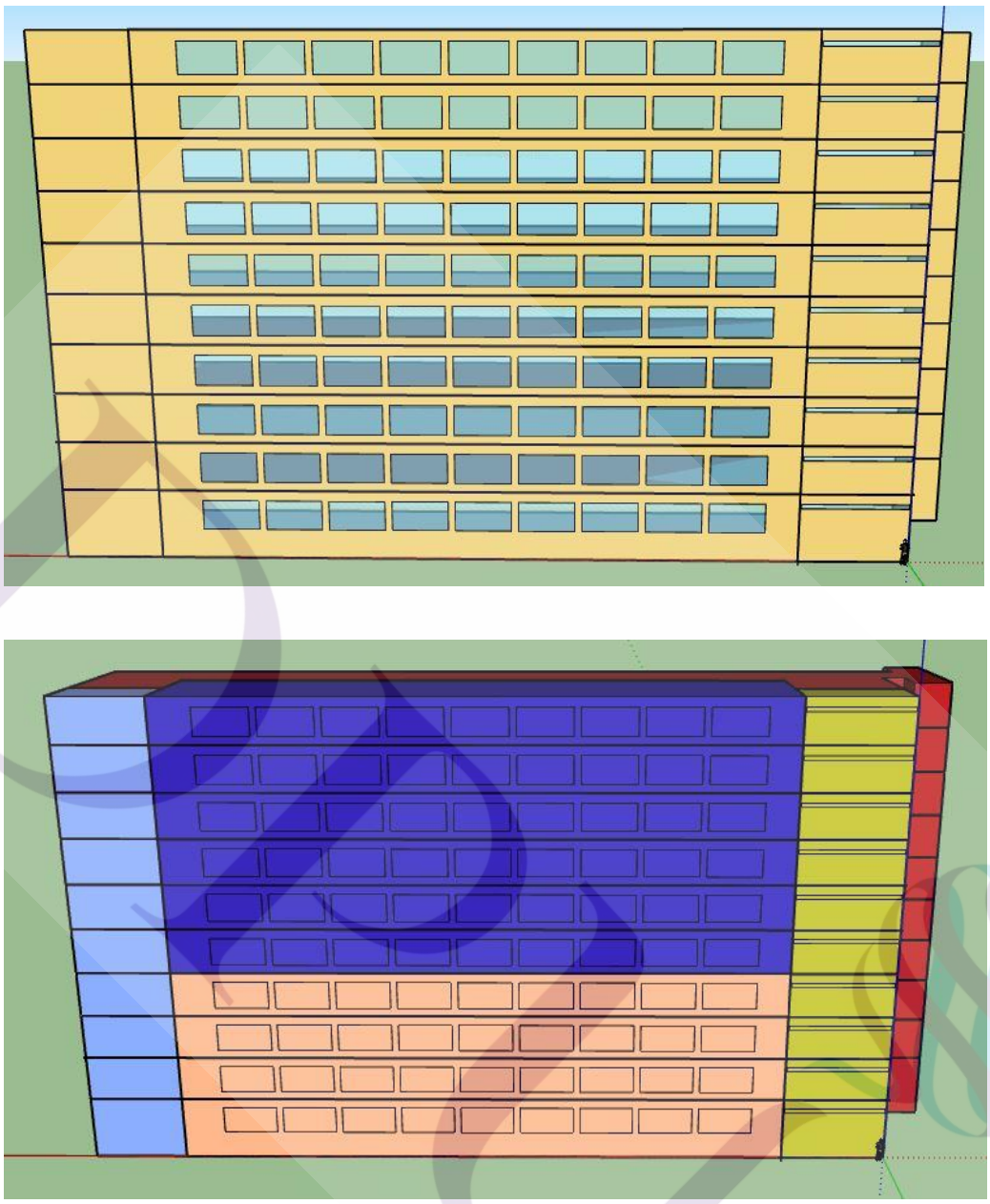
3.4 การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารโดยโปรแกรม Energy Plus

ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร Energy Plus สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของอาคาร 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรมและใส่ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร อาทิเช่น ตำแหน่งขนาดและรูปร่างของอาคาร3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ลักษณะภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของอาคารการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแต่ละโซน วัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคาร ผนัง พื้น ประตู หน้าต่าง และหลังคา ระบบปรับอากาศในอาคารจำนวนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละโซนลักษณะการใช้งานของอาคารช่วงเวลาการใช้งานของแต่ละโซนฯลฯ



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการใช้แบบจำลองการใช้พลังงาน

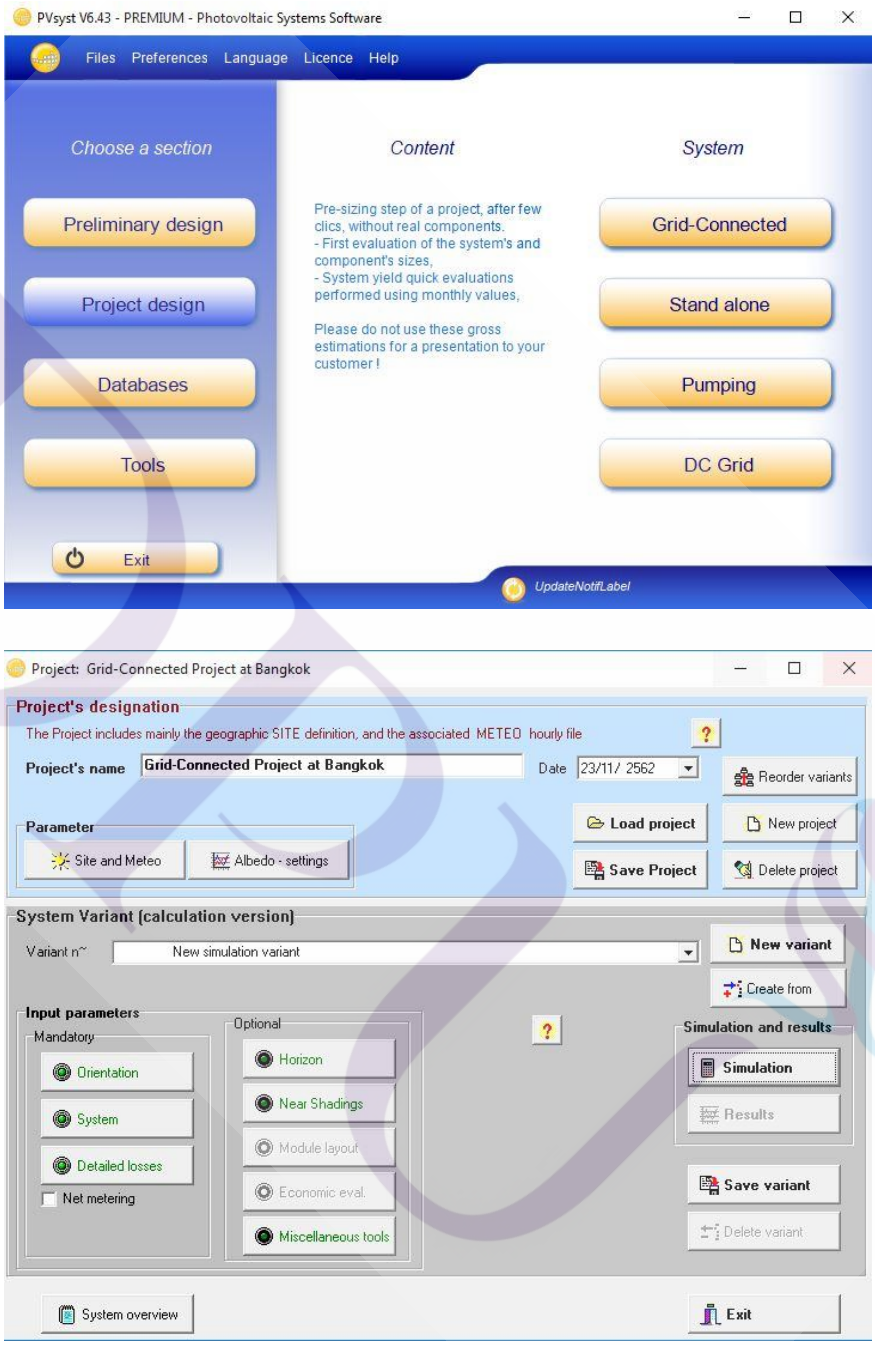
ที่มา: คู่มือการใช้งานโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร BESM



ภาพที่ 3.7 ภาพการจำลองแบบอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยโปรแกรม Sketch up และ โปรแกรม Energy Plus

จากภาพที่ 3.7 การจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยในภาพที่ 1 เป็นลักษณะทางกายภาพของอาคาร องค์ประกอบหลักคือ กรอบภายนอกของอาคาร ในภาพที่ 2 จะเป็นการแบ่งลักษณะการใช้งานอาคารตาม Space Type

3.4.1 การใช้โปรแกรม PVSYST V6.43 คำนวณหาการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.8 โปรแกรมคำนวณหาการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้โปรแกรม PVSYST V6.43 และโปรแกรมพยากรณ์พลังงานที่จะผลิตได้ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดกี่หน่วย

3.5 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย

ทางผู้วิจัยรวบรวมข้อมูล และทดลองผลการวิจัยกับโปรแกรมแบบจำลองทั้งหมดแล้ว นำผลการวิจัยมาวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์มาตรการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยมีการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานสำหรับแต่ละมาตรการ และสรุปออกมาเป็นทางเลือกได้ 4 ทางเลือกที่จะปรับปรุง

3.5.2 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์สู่การใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยมีการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่สามารถลดได้จากโปรแกรมจำลอง Energy Plus และโปรแกรม PVSYST ในการผลิตพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ภายในอาคารได้ โดยคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ยหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย มูลค่าวัสดุและค่าแรงโดยนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หา NPV, PB, IRR ของทั้ง 4 ทางเลือก

3.5.3 วิเคราะห์เลือกทางเลือกที่ต้องการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ นี้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาวิจัย ของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาคารให้ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ NZEB โดยใช้โปรแกรม Energy Plus เป็นเครื่องมือในการศึกษา เพื่อหาแนวทางปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ เข้าสู่การใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์ NZEB ซึ่งก็จะมีหลักการว่า พลังงานไฟฟ้าที่รับจากระบบที่นำมาใช้ หักกับพลังงานที่อาคารจัดหาได้จะมีค่าสุทธิที่เข้าใกล้ศูนย์ โดยมีมาตรการการปรับปรุงอาคาร 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ทั้งหมด 5 มาตรการ 4 ทางเลือก ซึ่งแต่ละทางเลือกสามารถเปรียบเทียบความคุ้มทุนระหว่างมาตรการได้โดยใช้เครื่องมือ คำนวณหาค่าความคุ้มทุน (Playback Period) และสามารถหาค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าของอาคารได้

4.2 การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร Energy Plus สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของอาคารเรียน 3 DPU มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรมและใส่ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารเพื่อเป็นอาคารต้นแบบสำหรับการปรับปรุงการใช้พลังงานภายในอาคาร การใช้พลังงานของอาคารการกำหนดตำแหน่งและขนาดของแต่ละโซนวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคาร ผนัง พื้น ประตู หน้าต่าง และหลังคาระบบปรับอากาศในอาคารจำนวนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละโซนลักษณะการใช้งานของอาคาร ช่วงเวลาการใช้งานของแต่ละโซน ฯลฯ

เมื่อใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร Energy Plus สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของอาคารเรียน 3 DPU พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารตามแบบจำลอง มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารตามใบเสร็จค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 32,460.83 kWh. โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1.30 % จึงสามารถใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของอาคารเรียน 3 DPU ที่สร้างขึ้นนี้เป็นตัวแทนการศึกษามาตรการปรับปรุงอาคารให้ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

โดยทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานย้อนหลัง 1 ปี ในปี 2561 โดยมีค่าเฉลี่ย 32,039.33 kWh. โดยมีมาตรการการปรับปรุงอาคาร 3 DPU ทั้งหมด 5 มาตรการ 4 ทางเลือก ซึ่งแต่ละมาตรการสามารถเปรียบเทียบความคุ้มทุนระหว่างมาตรการได้โดยใช้เครื่องมือ คำนวณหาค่าความคุ้มทุน (Playback Period) ดังนี้

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลอาคารต้นแบบ

กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ มีข้อมูลดังนี้ วัตถุประสงค์และข้อมูลทั่วไปของอาคารจัดทำขึ้นเพื่อเป็นอาคารสำนักงานในชั้นที่ 1-4 และชั้นที่ 5-10 เป็นห้องเรียน โดยเป็นอาคารกำลังใช้งานสูง 10 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 7,260 ตรม. แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 3,867.50 ตรม. พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 3,392.50 ตรม. โดยประกอบไปด้วย ห้องสำนักงาน ห้องเรียน โถงทางเดิน ห้องน้ำ ห้องเก็บของ

4.4 มาตรการปรับปรุงอาคารเรียน 3 DPU เป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

มาตรการที่สนใจเรื่องการใช้งานระยะยาวตามอายุของอาคาร มาตรการที่ทำสนใจเรื่องประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเป็นหลักและเหมาะสมกับสถานศึกษา มาตรการที่นำมาพิจารณาได้แก่

มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง INVERTER

มาตรการที่ 2 ติดยิบซั่มหนา 25 มม. ที่ผนังเพิ่ม 1ชั้น

มาตรการที่ 3 เปลี่ยนหลอดไฟจากปัจจุบันเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาเป็นหลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะสามารถลดหลอดไฟจาก 2 หลอด/โคม เหลือ 1 หลอด/โคม ได้โดยที่ความสว่างลดลงได้ไม่เกิน 10 % และลดพลังงานจากการไม่มีบัลลาสต์ในหลอด LED ซึ่งบัลลาสต์ทำให้มีการสูญเสียพลังงานแต่ถ้าเปลี่ยนเป็นหลอดไฟ LED จะไม่มีการสูญเสียพลังงาน

มาตรการที่ 4 เปลี่ยนกรอบอาคารจากหน้าต่างกระจกธรรมดาเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e โดยกระจกจะแผ่ความร้อนน้อยกว่ากระจกธรรมดาเป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงในพื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด

มาตรการที่ 5 ติดระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Rooftop บนพื้นที่หลังคาทั้งหมด 726 ตรม. ได้กำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งจากโปรแกรม PVSYS 127.50 kWp. คิดต่อวันได้ 637 kWh. ต่อวัน

4.5 การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

จากมาตรการที่ได้ตั้งแต่มาตรการที่ 1ถึง 5 จะไปกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมกับอาคารเรียน 3 DPU โดยเป็นการอาศัยโปรแกรม Energy Plus ประมวลผลระบบกรอบอาคาร OTTV, RTTV ระบบไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ ระบบไฟแสงสว่าง ที่ได้เปลี่ยนโดยใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้มีประสิทธิภาพใช้พลังงานได้ประหยัดลงเปลือกอาคารได้เปลี่ยนกระจกเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e และผนังติดยิบซัมหนา 25 มม. เพิ่ม 1 ชั้น เพื่อลดความร้อนที่จะเข้ามาในเปลือกอาคาร ให้น้อยลงไฟฟ้าแสงสว่างที่ได้เปลี่ยนแปลงจากหลอด fluorescentไปเป็นหลอด LED ใช้พลังงานน้อยลงช่วยลดหลอดไฟจาก 2 หลอดต่อ 1โคมเหลือกำลังวัตต์เพียงครึ่งหนึ่งของหลอดเดิมและคลายความร้อนน้อยลงด้วย เนื่องจากไม่มีบัลลาสต์ที่เป็นภาระการทำความเย็นหายไป ของระบบปรับอากาศเปลี่ยนใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้ทำงานได้มีประสิทธิภาพลดการใช้พลังงานลงไปได้ มีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ลดพลังงานที่ใช้ในอาคารเรียน 3 DPU โดยไม่มีการขายไฟคืนให้การไฟฟ้าผลิตเพื่อใช้ในอาคารเหลือต่อเอาไปใช้ในอาคารข้างเคียงในมหาวิทยาลัย มาตรการการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ซึ่งในการปรับปรุงอาคารจะมีมาตรการทั้งหมด 5 มาตรการ ที่จะสามารถทำให้อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยจะหาค่าความคุ้มทุนในการคำนวณหาของแต่ละมาตรการโดยใช้เครื่องมือการคำนวณค่าความคุ้มทุน (Payback Period) ดังนี้

มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศธรรมดาเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง Inverterโดยเครื่องปรับอากาศมีจำนวนทั้งหมด 100 เครื่อง ขนาด 36,000 BTU. พื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด 3,867.50 ตรม. ราคาเครื่องปรับอากาศ 39,990 บาทต่อเครื่องรวมค่าติดตั้ง โดยค่าเครื่องปรับอากาศเก่าขายได้ มีมูลค่าปัจจุบัน 15,000 บาทต่อเครื่อง ใช้เงินลงทุน จำนวน 2,499,999 บาท

ตารางที่ 4.1 มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศธรรมดาเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง Inverter

มาตรการที่ 1	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศคุณภาพสูง	2,499,999.00	144,159.00	648,715.00	3.85

มาตรการที่ 2 ติดยิปซั่ม หนา 25 mm. ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น โดยพื้นที่ที่จะติดทั้งหมดเป็นพื้นที่รับความร้อนจากแสงแดดบริเวณพื้นที่มีการปรับอากาศที่ความร้อนจะแผ่ผ่านเข้ามาด้านผนังพื้นที่ทั้งหมด 1,460 ตารางเมตร ค่าใช้จ่ายเหมา 225 บาทต่อตารางเมตร ใช้เงินลงทุน 328,500 บาท

ตารางที่ 4.2 มาตรการที่ 2 ติดยิปซั่ม หนา 25 mm.ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น

มาตรการที่ 2	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
ติดยิปซั่ม หนา 25 mm. ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น	328,500.00	46,263.96	208,187.82	1.58

มาตรการที่ 3 เปลี่ยนหลอดไฟจากปัจจุบันเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาเป็นหลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูงสามารถลดหลอดไฟจาก 2 หลอดต่อโคมเหลือ 1 หลอดต่อโคมได้ โดยที่ความสว่างลดลงได้ไม่เกินร้อยละ 10 และลดพลังงานจากการไม่มีบัลลาสต์ในหลอด LED ซึ่งทำให้มีการสูญเสียพลังงานเราใช้หลอด LEDจะไม่มีการสูญเสียพลังงาน

ตารางที่ 4.3 มาตรการที่ 3 เปลี่ยนหลอดไฟ Fluorescent เป็นหลอด LED ประสิทธิภาพสูง

มาตรการที่ 3	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
เปลี่ยนหลอดไฟ Fluorescent เป็น LED ประสิทธิภาพสูง	395,600.00	80,013.00	333,958.50	1.18

มาตรการที่ 4 เปลี่ยนหน้าต่างจากกระจกธรรมดาเป็นกระจก Low-e กระจกจะแผ่ความร้อนน้อยกว่ากระจกธรรมดา เป็นกระจกมีประสิทธิภาพสูงในพื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด จำนวน 640 ตรม. ราคาค่าเปลี่ยนกระจกจ้างเหมาตารางเมตรละ 2,500 บาท/ตรม. ใช้เงินลงทุน 1,600,000 บาท

ตารางที่ 4.4 มาตรการที่ 4 เปลี่ยนหน้าต่างจากกระจกธรรมดาเป็นกระจก Low- e

มาตรการที่ 4	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
เปลี่ยนหน้าต่างจากกระจกธรรมดาเป็นกระจก Low- e	1,600,000.00	65,715.96	295,721.82	5.41

มาตรการที่ 5 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์คุณภาพสูง 340 W. ติดตั้งตำแหน่งหลังคาอาคารและไฟที่เหลือส่งไปใช้งานอาคารข้างเคียงยงในมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์โดยติดตั้งเต็มพื้นที่หลังคา 726 ตรม.กำลังการผลิต127.50 kWp. คิดเวลาที่ผลิตไฟได้ต่อวันที่ 5 ชั่วโมงต่อวันหาการผลิตต่อปีได้จากโปรแกรม PVSYST ได้เท่ากับ 231,780 kWh/year ราคาจ้างเหมาที่ 25 บาท/วัตต์ ใช้เงินลงทุน 3,187,500 บาท

ตารางที่ 4.5 มาตรการที่ 5 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

มาตรการที่ 5	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	3,187,500.00	148,271.04	667,219.68	4.78

4.6 ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร

การวิจัยนี้จะเสนอทางเลือกในการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ออกเป็นทางเลือกได้ 4 ทางเลือกโดยจะนำมาตรการที่ได้กล่าวขั้นต้นไว้มาจัดทางเลือกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะทำให้อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์มีค่าการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ตามจุดประสงค์ของการศึกษา โดยคิดระยะโครงการที่ 25 ปี ตามอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยคิดค่าดอกเบี้ยตามการคิดของธนาคารแห่งประเทศไทย Discount Rate 7% จาก MRL ข้อมูลธนาคารแห่งประเทศไทย, ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 3.5 % (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558) ค่าบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปีละ 30,000 บาท โดยค่าซากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากผ่านไป 25 ปีคิดที่ 20 % ของมูลค่าแผงที่ลงทุน (Tom Hootman, 2012)

ตารางที่ 4.6 ทางเลือกการปรับปรุงอาคาร

	ทางเลือกที่ 1	**ทางเลือกที่ 2**	**ทางเลือกที่ 3**	**ทางเลือกที่ 4**
มาตรการที่ 1	√	√		√
มาตรการที่ 2	√	√	√	√
มาตรการที่ 3	√	√	√	√
มาตรการที่ 4	√	√	√	
มาตรการที่ 5		√	√	√

4.7 คำนวณหาค่าความคุ้มทุนในแต่ละทางเลือก (Playback Period)

ทางเลือกที่ 1 ใช้มาตรการที่ 1-4 รวมกันโดยยกเว้น มาตรการที่ 5 คือไม่มีการจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูง, เปลี่ยนหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพสูง, เปลี่ยนกระจกหน้าต่างให้มีประสิทธิภาพสูง, ติดยิบซัม หนา 25 มม. ที่ผนังเพื่อให้ทั้ง 4 มาตรการช่วยลดการใช้พลังงานลงได้

ตารางที่ 4.7 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 1

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (มูลค่าปัจจุบัน) (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
0	(4,824,099.00)				
1		913,166.82	0.9346	853,445.71	853,445.71
2		913,166.82	0.8734	797,559.90	1,651,005.61
3		913,166.82	0.8163	745,418.08	2,396,423.69
4		913,166.82	0.7629	696,654.97	3,093,078.65
5		913,166.82	0.7130	651,087.94	3,744,166.60
6		913,166.82	0.6663	608,443.05	4,352,609.65
7		913,166.82	0.6227	568,628.98	4,921,238.63
8		913,166.82	0.5820	531,463.09	5,452,701.72
9		913,166.82	0.5439	496,671.43	5,949,373.15
10		913,166.82	0.5083	464,162.69	6,413,535.84
11		913,166.82	0.4751	433,845.56	6,847,381.40
12		913,166.82	0.4440	405,446.07	7,252,827.47
13		913,166.82	0.4150	378,964.23	7,631,791.70
14		913,166.82	0.3878	354,126.09	7,985,917.79
15		913,166.82	0.3624	330,931.66	8,316,849.45

ตารางที่ 4.8 ตารางสรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ได้ดังนี้

ทางเลือกที่ 1	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV	IRR
มาตรการ 1-4	4,824,099.00	209,112.00	913,166.82	6.11	8,316,849.45	17.17 %

ทางเลือกที่ 1 ใช้มาตรการที่ 1-4 รวมกันโดยยกเว้น มาตรการที่ 5 พลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 175,745.00 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 24.21 kWh/m²/year โดยทางเลือกที่ 1 มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี - งบลงทุนต่ำสุด,ได้ค่า IRR สูงที่สุด

ข้อเสีย - ไม่สามารถเป็นอาคารที่มีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์,ลดการใช้พลังงานได้น้อย

ทางเลือกที่ 2 รวมมาตรการทั้งหมดโดยไม่มีการขายไฟฟ้าส่วนเกินให้กับทางการไฟฟ้าทำใช้ภายในถ้าเหลือเอาไปใช้อาคารข้างเคียงเป็นทางเลือกที่ได้ใช้มาตรการประหยัดพลังงานที่ทางผู้วิจัยได้ศึกษาว่าเหมาะสมกับอาคารมากที่สุดกับอีกทั้งก่อให้เกิดความสบายในการใช้อาคาร

ตารางที่ 4.9 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 2

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลงมูลค่าปัจจุบัน (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
0	(8,011,599.00)				
1		1,166,696.82	0.9346	1,090,394.85	1,090,394.85
2		1,157,363.25	0.8734	1,010,841.06	2,101,235.91
3		1,138,845.43	0.8163	929,639.53	3,030,875.43
4		1,111,513.14	0.7629	847,973.38	3,878,848.81
5		1,075,944.72	0.7130	767,148.59	4,645,997.40
6		1,032,906.93	0.6663	688,225.89	5,334,223.29

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
7		983,327.40	0.6227	612,317.97	5,946,541.26
8		928,261.07	0.5820	540,247.94	6,486,789.20
9		868,852.36	0.5439	472,568.80	6,959,358.00
10		806,294.99	0.5083	409,839.74	7,369,197.74
11		741,791.39	0.4751	352,425.09	7,721,622.83
12		676,513.75	0.4440	300,372.10	8,021,994.93
13		611,568.43	0.4150	253,800.90	8,275,795.83
14		547,965.31	0.3878	212,500.95	8,488,296.78
15		486,593.20	0.3624	176,341.37	8,664,638.15
16		428,202.01	0.3387	145,032.02	8,809,670.17
17		373,392.15	0.3166	118,215.96	8,927,886.13
18		322,610.82	0.2959	95,460.54	9,023,346.67
19		276,154.86	0.2765	76,356.82	9,099,703.49
20		234,179.32	0.2584	60,511.94	9,160,215.43
21		196,710.63	0.2415	47,505.62	9,207,721.05
22		163,663.25	0.2257	36,938.79	9,244,659.84
23		134,858.51	0.2109	28,441.66	9,273,101.50
24		110,044.55	0.1971	21,689.78	9,294,791.28
25		88,915.99	0.1842	16,378.33	9,311,169.61

ตารางที่ 4.10 สรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ทางเลือก 2 ได้ดังนี้

ทางเลือกที่ 2	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV	IRR
มาตรการ 1-5	8,011,599.00	265,065.96	1,166,696.82	11.00	9,311,169.61	9.52%

ทางเลือกที่ 2 รวมมาตรการทั้งหมดโดยไม่มีการขายไฟฟ้าส่วนเกินให้กับทางการไฟฟ้าทำใช้ภายในถ้าเหลือเอาไปใช้อาคารข้างเคียงค่าพลังงานเฉลี่ยตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 175,745.00 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780.00 kWh/year, ค่าไฟลดลงสุทธิ (จากการใช้แบบจำลองเดิมและแบบจำลองของทางเลือกที่2 หักลบกันกับแบบจำลองผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รวมกันได้ลดค่าไฟสุทธิลดลง) 265,065.96 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 36.51 kWh/m²/year โดยทางเลือกที่ 2 มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี -ได้ค่า NPV สูงที่สุดกว่าทุกทางเลือก,เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB),ได้ใช้มาตรการณ์ครบทั้งหมดในอาคารจากทางเลือก

ข้อเสีย - การลงทุนสูงสุด,ระยะเวลาคืนทุนนานที่สุดของทุกทางเลือก

ทางเลือกที่ 3 ใช้มาตรการที่ 2-5 รวมกันโดยยกเว้นมาตรการที่ 1 เป็นมาตรการที่ไม่เลือกเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง Inverter ทำให้สามารถลดพลังงานที่ได้จากแบบจำลองลงไปได้น้อยสุด

ตารางที่ 4.11 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 3

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (มูลค่าปัจจุบัน) (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
0	(5,511,600.00)				
1		594,148.50	0.9346	555,291.19	555,291.19
2		589,395.31	0.8734	514,777.87	1,070,069.05
3		579,964.99	0.8163	473,425.42	1,543,494.47
4		566,045.83	0.7629	431,836.36	1,975,330.83
5		547,932.36	0.7130	390,675.77	2,366,006.61
6		526,015.07	0.6663	350,483.84	2,716,490.45
7		500,766.34	0.6227	311,827.20	3,028,317.65
8		472,723.43	0.5820	275,125.04	3,303,442.68
9		442,469.13	0.5439	240,658.96	3,544,101.64
10		410,611.35	0.5083	208,713.75	3,752,815.39
11		377,762.44	0.4751	179,474.94	3,932,290.33
12		344,519.35	0.4440	152,966.59	4,085,256.92
13		311,445.49	0.4150	129,249.88	4,214,506.80
14		279,055.16	0.3878	108,217.59	4,322,724.39
15		247,800.98	0.3624	89,803.08	4,412,527.47
16		218,064.86	0.3387	73,858.57	4,486,386.03
17		190,152.56	0.3166	60,202.30	4,546,588.34
18		164,291.81	0.2959	48,613.95	4,595,202.28
19		140,633.79	0.2765	38,885.24	4,634,087.53
20		119,257.46	0.2584	30,816.13	4,664,903.65
21		100,176.26	0.2415	24,192.57	4,689,096.22

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (มูลค่าปัจจุบัน) (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
22		83,346.65	0.2257	18,811.34	4,707,907.56
23		68,677.64	0.2109	14,484.11	4,722,391.67
24		56,040.95	0.1971	11,045.67	4,733,437.35
25		45,281.09	0.1842	8,340.78	4,741,778.12

ตารางที่ 47

ทางเลือกที่ 3	ลงทุน (บาท)	ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)	ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)	NPV	IRR
มาตรการ 2-5	5,511,600.00	137,833.00	594,148.50	เกินระยะเวลาโครงการ	(769,821.88)	-

ทางเลือกที่ 3 ใช้มาตรการที่ 2-5 รวมกันโดยยกเว้นมาตรการที่ 1 พลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 246,638.00 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780.00 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้า รวมเท่ากับ 33.97 kWh/m²/year, ค่าพลังงานที่ลดลงได้ 137,833.00 kWh/year ค่าไฟลดลงสุทธิจากแบบจำลอง 594,148.50 บาท/ปี โดยทางเลือกที่ 3 มีข้อดีข้อเสีย ดังนี้ ข้อดี - ระยะคืนทุนเร็วที่สุดจากทางเลือกทั้ง 4 ทางเลือก, เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB) ข้อเสีย – เครื่องปรับอากาศที่ใช้จะเป็นเครื่องธรรมดาที่ไม่ได้เป็นเครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเหมือนทางเลือกอื่น

ทางเลือกที่4 ใช้มาตรการที่ 1, มาตรการที่ 2, มาตรการที่ 3, มาตรการที่ 5 ยกเว้นมาตรการที่ 4 เป็นการไม่เลือกเปลี่ยนกระจกหน้าต่างจากกระจกธรรมดาเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e บริเวณพื้นที่ปรับอากาศทำให้แสงเข้ามาในอาคารมากเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 4.13 ตารางคำนวณค่า NPV, IRR, Discounted Payback Period สำหรับทางเลือกที่ 4

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (มูลค่าปัจจุบัน) (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
0	(6,411,599.00)				
1		916,222.50	0.9346	856,301.55	856,301.55
2		908,892.72	0.8734	793,826.90	1,650,128.45
3		894,350.44	0.8163	730,058.26	2,380,186.71
4		872,886.03	0.7629	665,924.75	3,046,111.46
5		844,953.67	0.7130	602,451.97	3,648,563.43
6		811,155.53	0.6663	540,472.93	4,189,036.36
7		772,220.06	0.6227	480,861.43	4,669,897.79
8		728,975.74	0.5820	424,263.88	5,094,161.67
9		682,321.29	0.5439	371,114.55	5,465,276.22
10		633,194.16	0.5083	321,852.59	5,787,128.81
11		582,538.62	0.4751	276,764.10	6,063,892.91
12		531,275.23	0.4440	235,886.20	6,299,779.11
13		480,272.80	0.4150	199,313.21	6,499,092.32
14		430,324.43	0.3878	166,879.81	6,665,972.14
15		382,128.10	0.3624	138,483.22	6,804,455.36
16		336,272.72	0.3387	113,895.57	6,918,350.93
17		293,229.82	0.3166	92,836.56	7,011,187.49
18		253,350.56	0.2959	74,966.43	7,086,153.92
19		216,868.08	0.2765	59,964.02	7,146,117.95

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ปีที่	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท)	Present Value Factor	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (มูลค่าปัจจุบัน) (บาท)	กระแสเงินสดเข้าสะสม
20		183,904.13	0.2584	47,520.83	7,193,638.77
21		154,479.47	0.2415	37,306.79	7,230,945.57
22		128,526.92	0.2257	29,008.53	7,259,954.09
23		105,906.18	0.2109	22,335.61	7,282,289.71
24		86,419.44	0.1971	17,033.27	7,299,322.98
25		69,826.91	0.1842	12,862.12	7,312,185.10

ตารางที่ 4.14 สรุป NPV, Discounted Payback Period, IRR ทางเลือก 4 ได้ดังนี้

ทางเลือกที่ 4	**ลงทุน (บาท)**	**ค่าไฟลดลงต่อปีจากแบบจำลอง (kWh/y)**	**ลดลงมูลค่า (บาท/ปี)**	**ระยะเวลาคืนทุน (ปี)**	**NPV**	**IRR**
มาตรการ1,2,3,5	6,411,599.00	181,048.00	916,222.50	12.18	7,312,185.10	9.19%

ทางเลือกที่ 4 ใช้มาตรการที่ 1, มาตรการที่ 2, มาตรการที่ 3, มาตรการที่ 5 ยกเว้นมาตรการที่ 4 พลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 203,423 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 28.02 kWh/m²/year ค่าไฟฟ้าลดลงสุทธิจากแบบจำลอง 916,222.50 บาท โดยทางเลือกที่ 4 มีข้อดีข้อเสียดังนี้ ข้อดี - เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ (NZEB), สามารถทำการปรับปรุงได้ง่ายไม่ต้องทำหน้าต่างใหม่เพื่อติดกระจก ข้อเสีย – จุดคุ้มทุนใช้เวลานานที่สุดจากทุกทางเลือก

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ปี 2561 เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่ (หลังการปรับปรุงทางเลือกที่ 1)

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองก่อนปรับปรุง (kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือก (kWh)	(%) ลดค่าพลังงาน
มกราคม	32,449.36	15,453.27	52.38
กุมภาพันธ์	29,546.50	13,342.10	54.84
มีนาคม	33,626.85	15,746.32	53.17
เมษายน	30,376.26	14,525.15	52.18
พฤษภาคม	33,567.09	15,076.75	55.08
มิถุนายน	32,184.07	14,211.24	55.84
กรกฎาคม	31,560.26	14,148.82	55.17
สิงหาคม	33,538.49	15,187.05	54.72
กันยายน	31,427.33	14,265.72	54.61
ตุลาคม	32,409.85	14,845.58	54.19
พฤศจิกายน	32,199.82	14,437.66	55.16
ธันวาคม	31,586.07	14,505.53	54.08
ค่าเฉลี่ย	32,039.33 kWh/year	14,645.43 kWh/year	54.29

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือกที่ 1 14,645.43 kWh/year

ค่าเฉลี่ยปริมาณไฟฟ้าที่ PV ผลิตได้ 0.00 kWh/year (ยังไม่มีการติดตั้ง PV)

พลังงานที่ผลิตได้ – พลังงานไฟฟ้าโปรแกรมจำลองทางเลือกที่ 1 = 14,645.43 kWh/year

(กรณีนี้ไม่เป็น NZEB เนื่องจากพลังงานที่หักลบกันไม่เข้าใกล้ศูนย์)

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3 DPU ปี 2561 เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่ (หลังการปรับปรุงทางเลือกที่ 2)

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองก่อนปรับปรุง (kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือก (kWh)	(%) ลดค่าพลังงาน
มกราคม	32,449.36	15,453.27	52.38
กุมภาพันธ์	29,546.50	13,342.10	54.84
มีนาคม	33,626.85	15,746.32	53.17
เมษายน	30,376.26	14,525.15	52.18
พฤษภาคม	33,567.09	15,076.75	55.08
มิถุนายน	32,184.07	14,211.24	55.84
กรกฎาคม	31,560.26	14,148.82	55.17
สิงหาคม	33,538.49	15,187.05	54.72
กันยายน	31,427.33	14,265.72	54.61
ตุลาคม	32,409.85	14,845.58	54.19
พฤศจิกายน	32,199.82	14,437.66	55.16
ธันวาคม	31,586.07	14,505.53	54.08
ค่าเฉลี่ย	32,039.33 kWh/year	14,645.43 kWh/year	54.29

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือกที่ 2 14,645.43 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ PV ผลิตได้ 19,315.00 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ผลิตได้ – ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าโปรแกรมจำลองทางเลือกที่ 2

= 4,669.57 kWh/year (กรณีนี้เป็น NZEB เนื่องจากพลังงานที่หักลบกันเข้าใกล้ศูนย์)

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3DPU ปี 2561 เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่(หลังการปรับปรุงทางเลือกที่ 3)

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองก่อนปรับปรุง (kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือก (kWh)	(%) ลดค่าพลังงาน
มกราคม	32,449.36	21,654.41	33.27
กุมภาพันธ์	29,546.50	18,816.18	36.32
มีนาคม	33,626.85	21,940.19	34.75
เมษายน	30,376.26	20,174.93	33.58
พฤษภาคม	33,567.09	21,260.34	36.66
มิถุนายน	32,184.07	20,086.02	37.59
กรกฎาคม	31,560.26	20,001.08	36.63
สิงหาคม	33,538.49	21,215.90	36.74
กันยายน	31,427.33	20,047.93	36.21
ตุลาคม	32,409.85	20,724.81	36.05
พฤศจิกายน	32,199.82	20,396.69	36.66
ธันวาคม	31,586.07	20,319.61	35.67
ค่าเฉลี่ย	32,039.33 kWh/year	20,553.17 kWh/year	35.85

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือกที่ 3 20,553.17 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ PV ผลิตได้ 19,315.00 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ผลิตได้ – ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าโปรแกรมจำลองทางเลือกที่ 3

= -1,238.17 kWh/year (กรณีนี้ไม่เป็น NZEB เนื่องจากพลังงานที่หักลบกันไม่เข้าใกล้ศูนย์ติดลบ)

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าการจำลองการใช้พลังงานของอาคารเรียน3DPU ปี 2561 เข้าสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์หรือไม่(หลังการปรับปรุงทางเลือกที่ 4)

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองก่อนปรับปรุง (kWh)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือก (kWh)	(%) ลดค่าพลังงาน
มกราคม	32,449.36	17,806.16	45.13
กุมภาพันธ์	29,546.50	15,590.45	47.23
มีนาคม	33,626.85	18,114.13	46.13
เมษายน	30,376.26	16,371.86	46.10
พฤษภาคม	33,567.09	17,622.17	47.50
มิถุนายน	32,184.07	16,661.92	48.23
กรกฎาคม	31,560.26	16,419.15	47.98
สิงหาคม	33,538.49	17,609.38	47.50
กันยายน	31,427.33	16,497.78	47.50
ตุลาคม	32,409.85	17,067.65	47.34
พฤศจิกายน	32,199.82	16,925.91	47.43
ธันวาคม	31,586.07	16,736.62	47.01
ค่าเฉลี่ย	32,039.33	16,951.93	47.09
	kWh/year	kWh/year	

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองทางเลือกที่ 4 16,951.93 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ PV ผลิตได้ 19,315.00 kWh/year

ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ผลิตได้ – ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าโปรแกรมจำลองทางเลือกที่ 4

= 2,363.07 kWh/year (กรณีนี้เป็น NZEB เนื่องจากพลังงานที่หักลบกันเข้าใกล้ศูนย์)

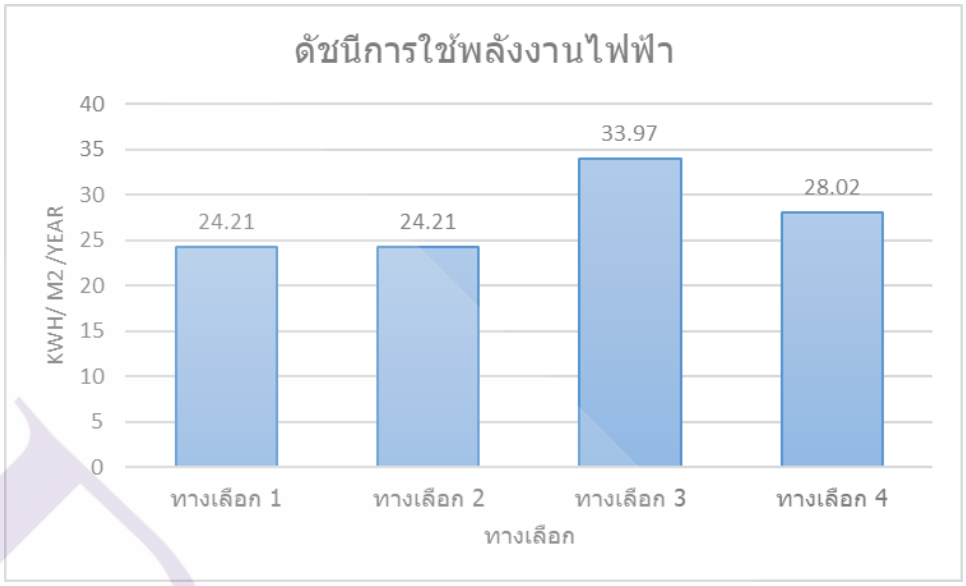
บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาเพื่อทำการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สู่อาคารใช้งานพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน) โดยใช้อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ สามารถทำให้เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ได้ ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตรงตามวัตถุประสงค์และมีค่า NPV สูงที่สุด คือ ทางเลือกที่ 2 ประกอบด้วย 5 มาตรการ ดังนี้

1. มาตรการที่ 1 เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง INVERTER
2. มาตรการที่ 2 ติดตั้งยิปซั่ม 25 มม. ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น
3. มาตรการที่ 3 เปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูง
4. มาตรการที่ 4 เปลี่ยนกระจกธรรมดาเป็นกระจกประสิทธิภาพสูง Low-e
5. มาตรการที่ 5 การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จึงทำให้มีค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปี ตามแบบจำลอง 175,745.00 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780.00 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 24.21 kWh/m^2/year, ค่าพลังงานสุทธิที่ลดลงได้ 265,065.96 kWh/year, มีมูลค่างบลงทุนประมาณ 8,011,599.00 บาท และ playback period 11.00 ปี, NPV = 9,311,196.69 บาท และ IRR = 9.52 % จากข้อมูล พบว่า ได้ค่า NPV สูงที่สุดกว่าทุกทางเลือกทำให้ได้มูลค่าในการลงทุนสูงสุดเป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (NZEB) มีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานศึกษาไม่เกิน 39.00 kWh/m^2/year อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ มีค่าน้อยกว่า จึงอยู่ในเกณฑ์อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์



ภาพที่ 5.1 รูปแสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของทางเลือก

จากรูปแสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของทางเลือกทั้งหมด 4 ทางเลือก พบว่ามีทางเลือกที่สามารถเลือกได้ตรงตามวัตถุประสงค์ คือ ทางเลือกที่ 2 เนื่องจากมีค่าดัชนีพลังงานการใช้ไฟฟ้า 24.21 kWh/m^2/year

5.2 สรุปผลการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ พบว่า ทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด และมีค่า NPV สูงที่สุดจากทุกทางเลือก จึงเป็นทางเลือกที่น่าลงทุนที่สุด ถึงแม้จะมีระยะเวลาคืนทุนนาน แต่ถ้าคำนึงถึงระยะเวลาโครงการที่จะต้องใช้อาคารในระยะยาวไม่ต่ำกว่า 25 ปี ถือว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าและได้อาคารที่ในอนาคตจะต้องเข้าสู่การประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงานในอนาคตอีกด้วย

5.3 ข้อจำกัดในการศึกษา

ข้อจำกัด คือ ระบบจัดหาไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่สามารถทำงานได้ในขณะที่ไม่มีแสงแดด ทำให้ต้องอาศัยไฟฟ้าจากการไฟฟ้า อาคารนี้จัดทำขึ้นเพื่อลดค่าไฟฟ้าในอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ แม้ว่าทางเลือกในการจัดหาระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าได้มากกว่าปริมาณการใช้งานจริงของอาคาร แต่ยังไม่มีอุปกรณ์ในการเก็บสำรองไฟฟ้าที่ผลิตได้ไว้ใช้งาน เนื่องจากการเก็บสำรองไฟฟ้าต้องใช้แบตเตอรี่ ซึ่งมีราคาที่สูงมากและอายุการใช้งานสั้น จึงยังไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

จึงไม่สามารถเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ได้ (Net Zero Energy Building) แต่ยังสามารถเป็นอาคารที่มีพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Energy Building) จนจบอายุโครงการตามวัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัยเล่มนี้ได้ (ตามกระทรวงพลังงานได้กำหนดว่า อาคารที่มีค่าพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ต้องมีค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 39.00 kWh/m^2/year

5.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษา

ทางผู้วิจัยขอเสนอแนะมาตรการหรือแนวทางเพื่อช่วยปรับลดระยะเวลาคืนทุนลง ดังนี้

5.4.1 โดยในปัจจุบันแผงเซลล์แสงอาทิตย์คุณภาพสูงที่มีประสิทธิภาพของแผงไม่น้อยกว่า 19.70 % มีราคาสูงทำให้การลงทุนของโครงการมีมูลค่าสูง ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนที่นานขึ้น ตามไปด้วยหากในอนาคตทางภาครัฐช่วยสนับสนุนผลิตและวิจัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือช่วยลดภาษีในการนำเข้าคาดว่าราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีราคาที่ถูกลงและมีประสิทธิภาพของแผ่นที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้อาคารมีค่าการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ได้ง่ายยิ่งขึ้นพร้อมทั้งงบลงทุนของโครงการก็จะน้อยลงตาม

5.4.2 ภาครัฐควรสนับสนุนการผลิตวัสดุสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน เช่น ผนัง หรือกระจกที่มีประสิทธิภาพสูง หรือ ฉนวนกันความร้อนต่างๆ เพื่อให้การก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานมีราคาที่ถูกลงและมีกฎหมายออกมาควบคุมให้มีการออกแบบอาคารต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานของอาคารประหยัดพลังงาน

5.4.3 สิ่งสำคัญที่จะช่วยในการประหยัดพลังงานในอาคารอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ การใช้อาคารพลังงานอย่างมีคุณค่าควรจะกำหนดมาตรการต่างๆสำหรับการใช้งานอาคาร เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน เช่น การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส เปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าเท่าที่จำเป็น รายการอบรมให้ผู้ใช้อาคารรอบรู้และเข้าใจการใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า โดยจัดทำป้ายบอกถึงวิธีการใช้อาคาร จัดทำป้ายเตือน เช่น ก่อนออกจากห้องน้ำควรปิดไฟทุกครั้ง การใช้เครื่องปรับอากาศควรปรับอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ช่วงพักเที่ยงมีการปิดเครื่องปรับอากาศ 1 ชม. เครื่องใช้ไฟฟ้าควร เปิด-ปิด เท่าที่จำเป็น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ประพัทธ์ ชื่นชุมศรี. (2560). *การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงอาคารที่ทำการสถานีไฟฟ้าแรงสูงอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์.* สารนิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

จิตรภณ ศัลยวิทย์. (2562). *ทำการศึกษาการศึกษาเพื่อทำการประเมินอาคารตามเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน) โดยอาคารโรงแรมดีพียูเพลส มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.* สารนิพนธ์.คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

วงศิยา อนุศักดากุล. (2559). *แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์.* วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

คมสัน วิสาวะโท. (2560*). การศึกษามาตรการประหยัดพลังงานและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารประเภทห้องสมุด กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดเพื่อการเรียนรู้ของกรุงเทพมหานคร*.วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ยุทธจักร หินทอง. (2556*). การศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร กรณีศึกษา อาคารอำนวยการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต.* วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์. (2555). *แนวทางการพัฒนาเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในแบบประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย.* วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาสถาปัตยกรรม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วัศพล ธีรวนพันธุ์. (2558). *แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต: สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันอาคารเขียวไทย. (2561). *การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยสำหรับอาคารระหว่างใช้งาน(TREES-EB).* สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2562,

จาก http://www.tgbi.or.th/tag/show/4

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2550). *พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน(ฉบับที่ 2).* สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2562, จาก http://www.eppo.go.th/admin/cab/law/2-1.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2538). *พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538.*ค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2562, จาก www.dede.go.th/download/energysaving58/162552.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2552). *กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบ อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.* สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2562, จาก www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=40824

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). *โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารธุรกิจ peecb.* สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2562, จาก www.dede-peecb.bright-ce.com/document/(FInal)%20BESM%20manual%2021_10_59.pdf

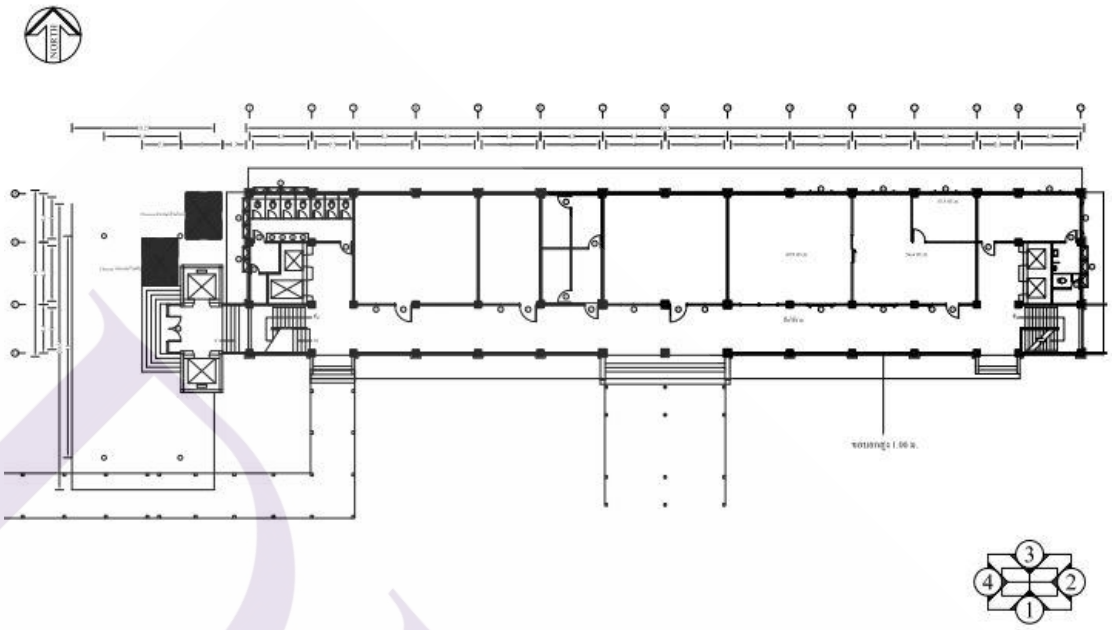
สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). *คู่มือการใช้งานโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร BESM.*สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2562, จาก www.dede-peecb.brightce.com/document/(FInal)%20BESM%20manual06_02_2018%20NCC.pdf

ภาคผนวก

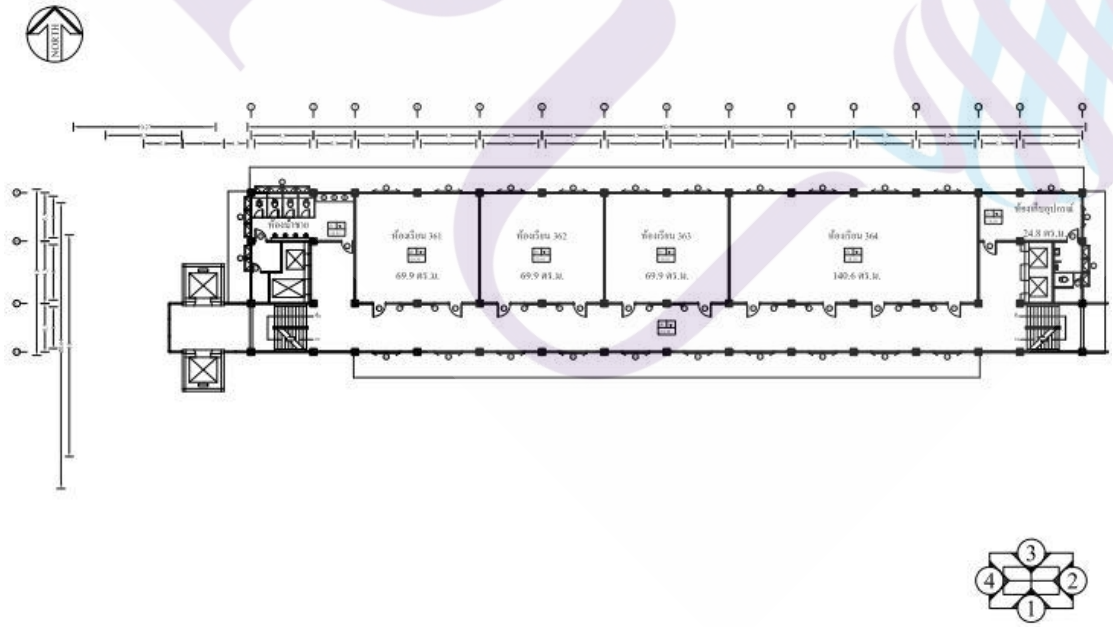
ภาคผนวก ก

รูปแบบอาคาร ชนิด ขนาด ของระบบปรับอากาศและไฟฟ้าแสงสว่าง ของอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

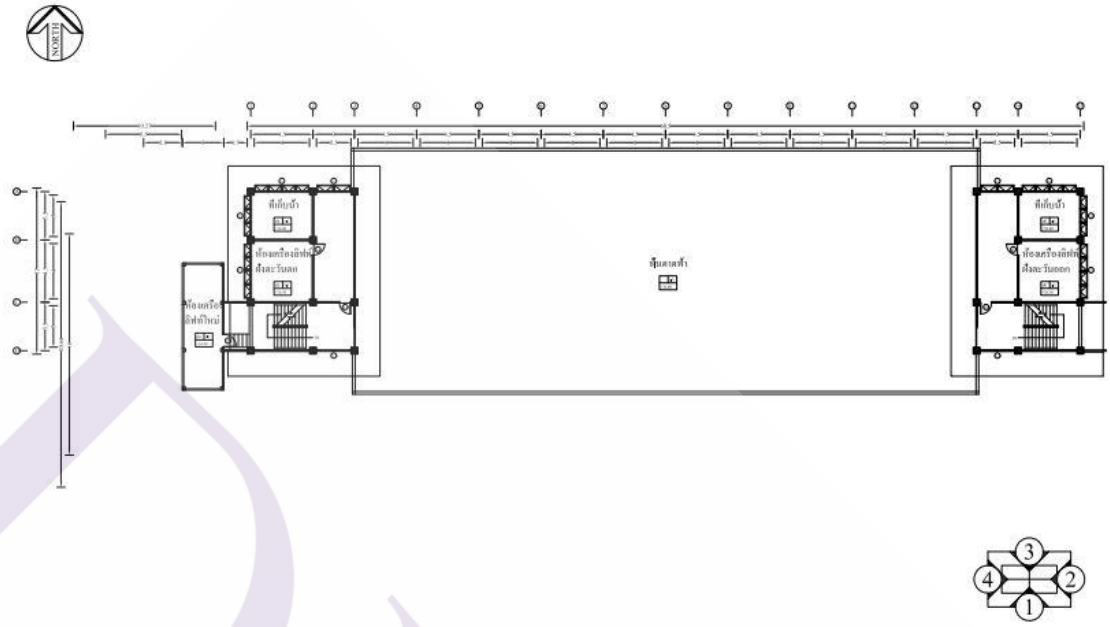
ภาพที่ ก.1 แบบแปลนพื้นที่ชั้น 1-4 ของอาคารเรียน 3 DPU



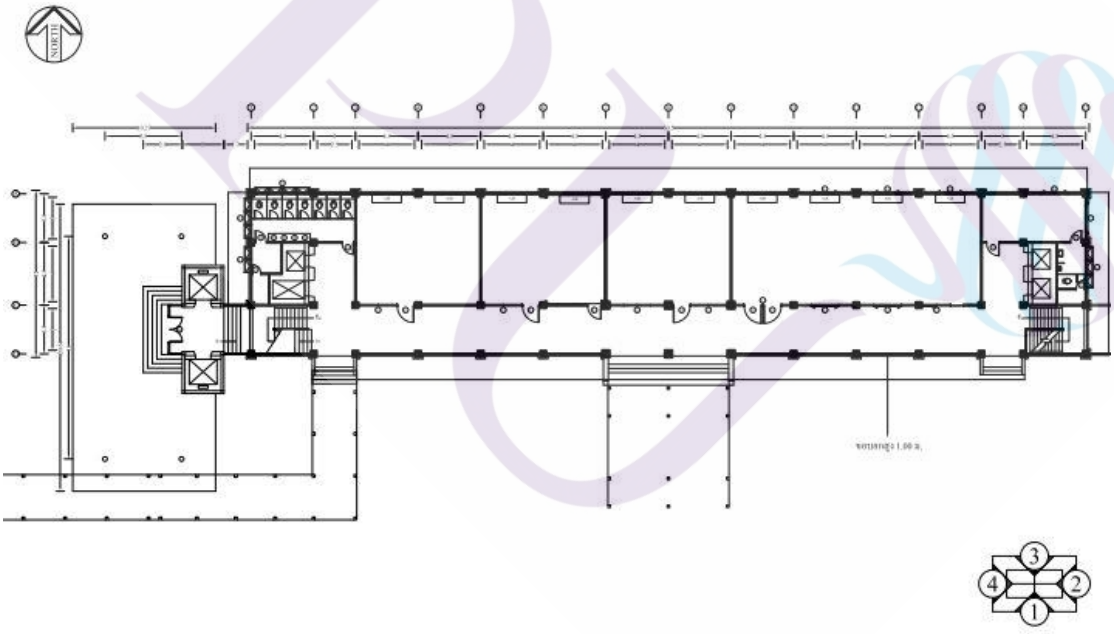
ภาพที่ ก.2 แบบแปลนพื้นที่ชั้น 5-10 ของอาคารเรียน 3 DPU



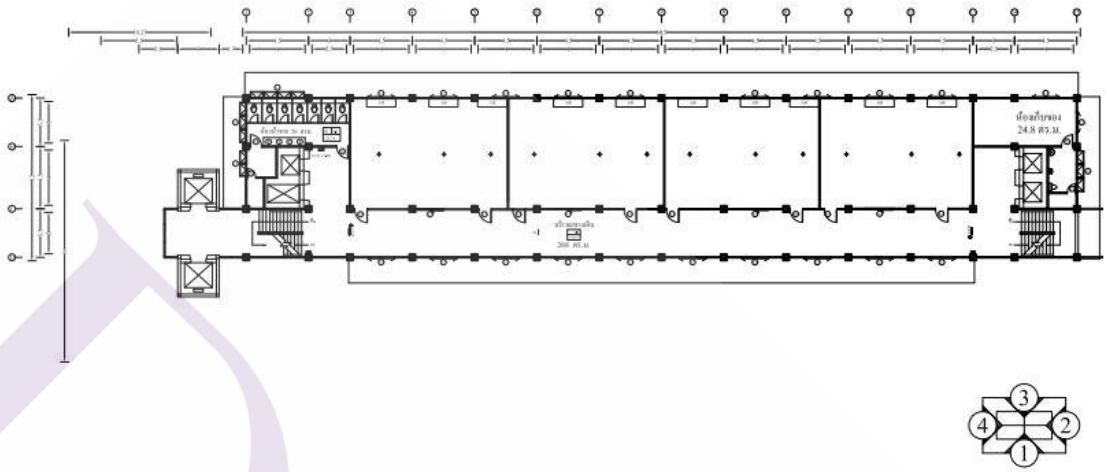
ภาพที่ ก.3 แบบแปลนดาดฟ้าของอาคารเรียน 3 DPU



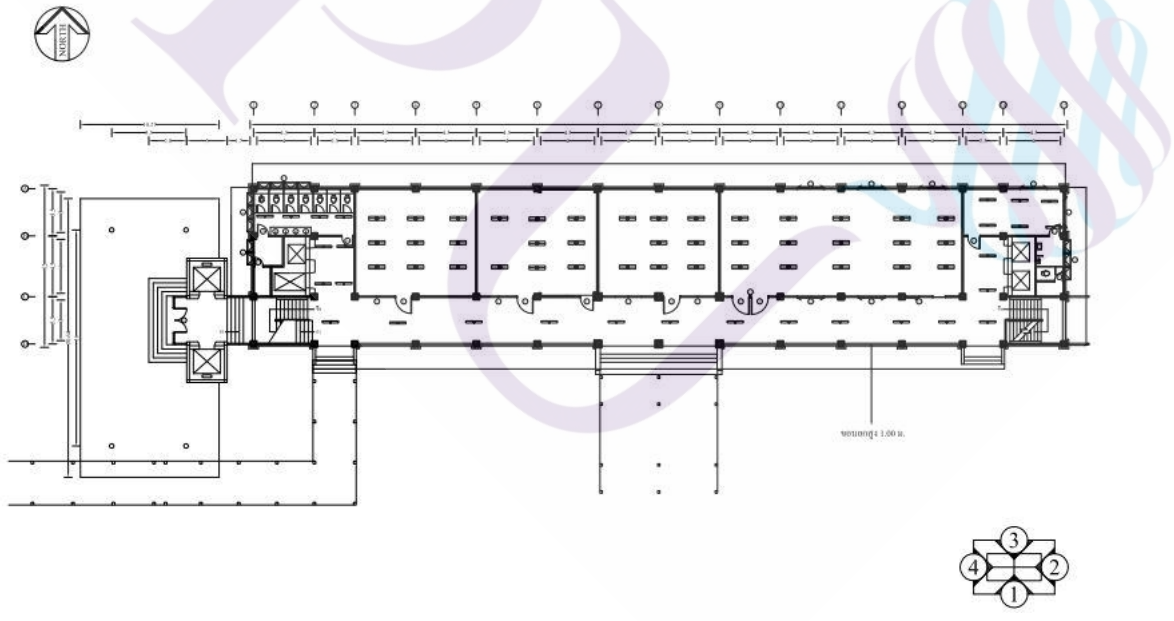
ภาพที่ ก.4 ตำแหน่ง ขนาด ของระบบปรับอากาศชั้น 1-4



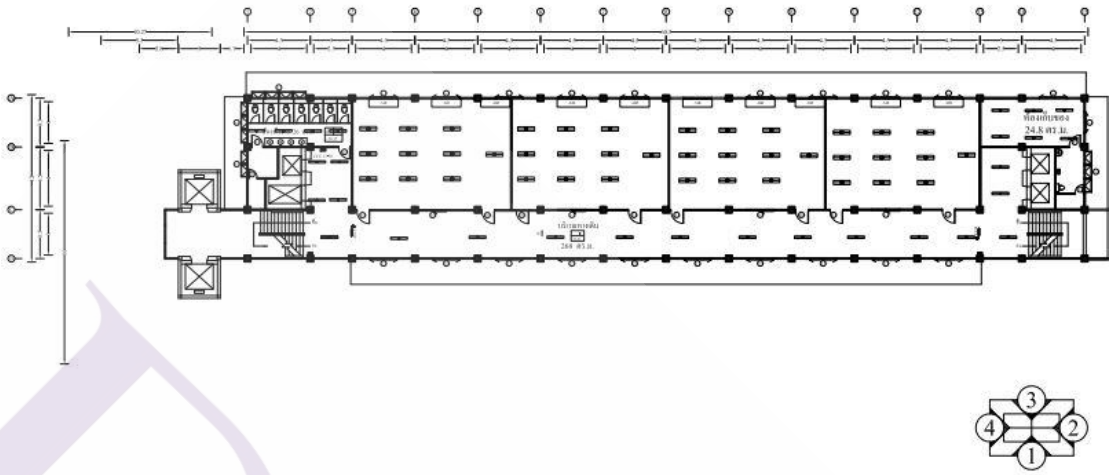
ภาพที่ ก.5 ตำแหน่ง ขนาด ของระบบปรับอากาศชั้น 5-10



ภาพที่ ก.6 ตำแหน่ง ขนาด ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้น 1-4



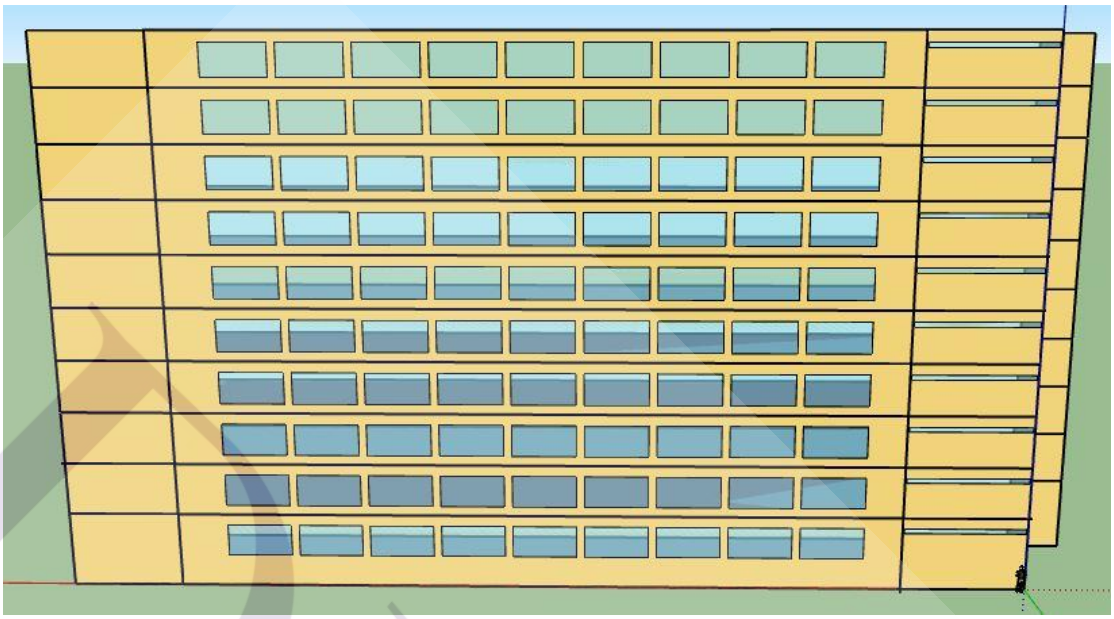
ภาพที่ ก.7 ตำแหน่ง ขนาด ของระบบไฟฟ้าแสงสว่างชั้น 5-10



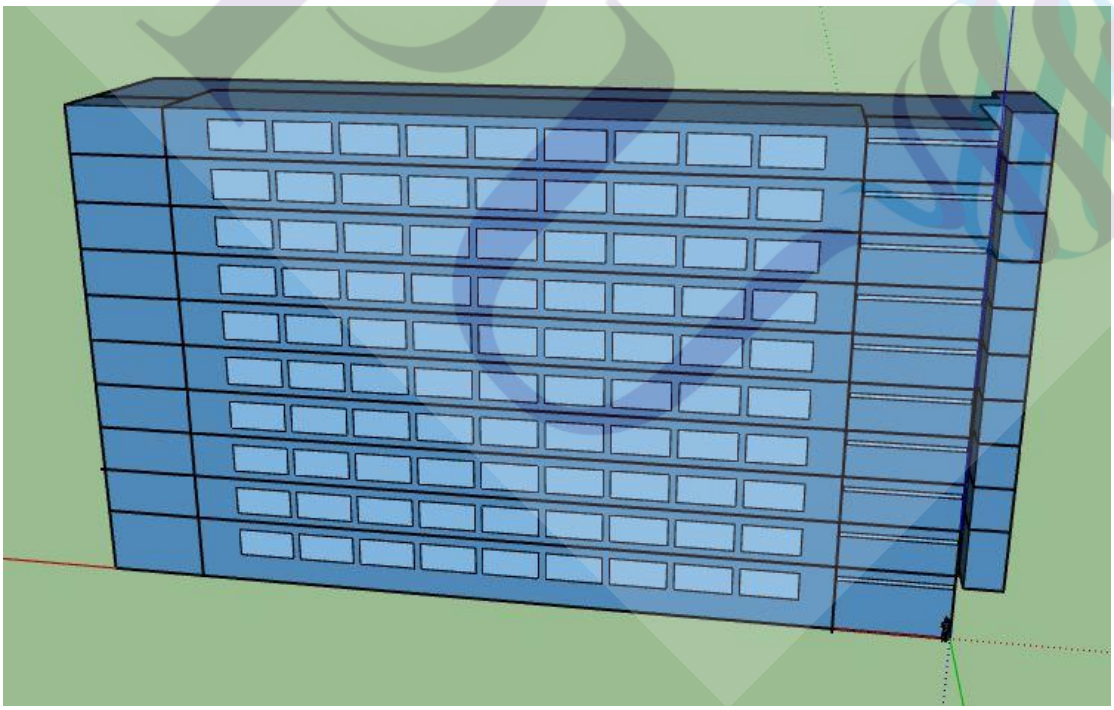
ภาคผนวก ข

ข้อมูลการสร้างแบบจำลองของอาคารโดยใช้โปรแกรม Sketchup +Energy Plus+PVSYST

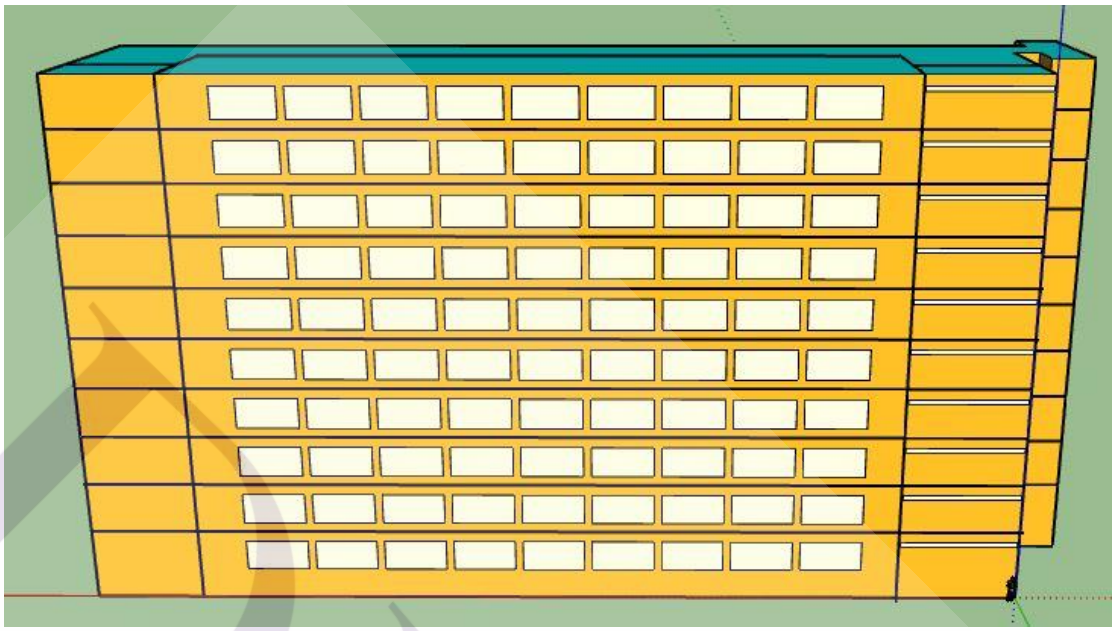
ภาพที่ ข.1 แบบอาคาร Render by surface type



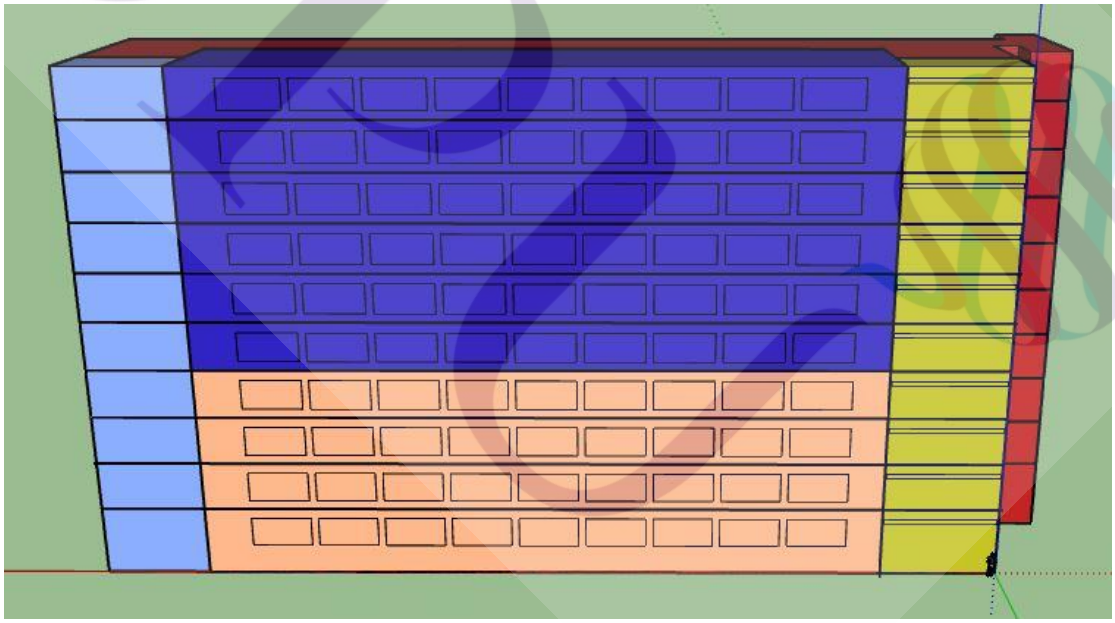
ภาพที่ ข.2 แบบอาคาร Render by Boundary conditions



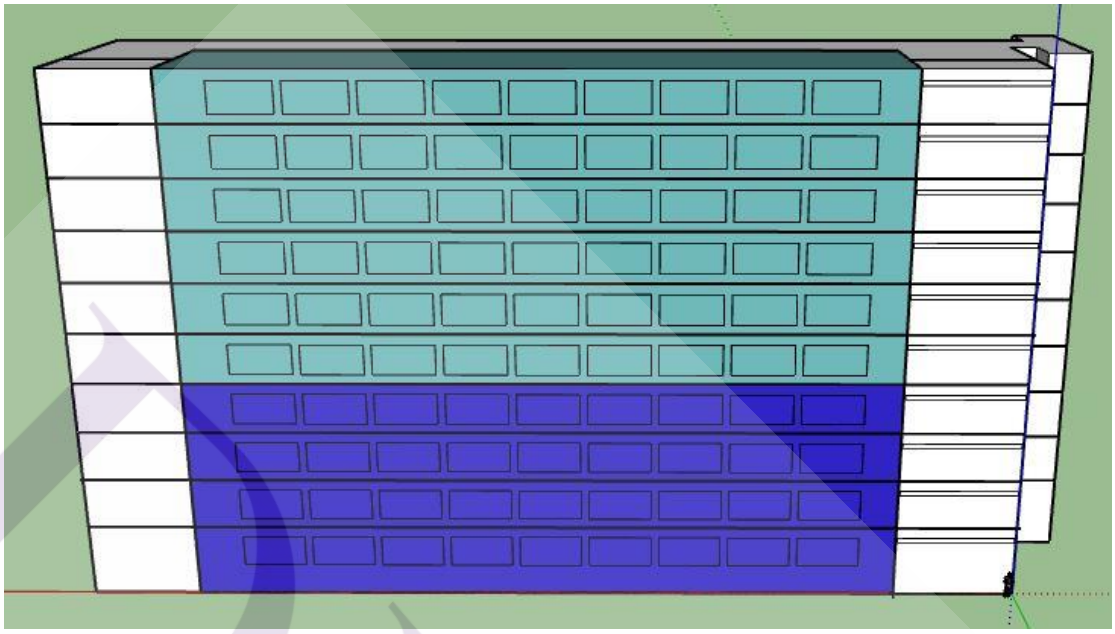
ภาพที่ ข.3 แบบอาคาร Render by Contructions



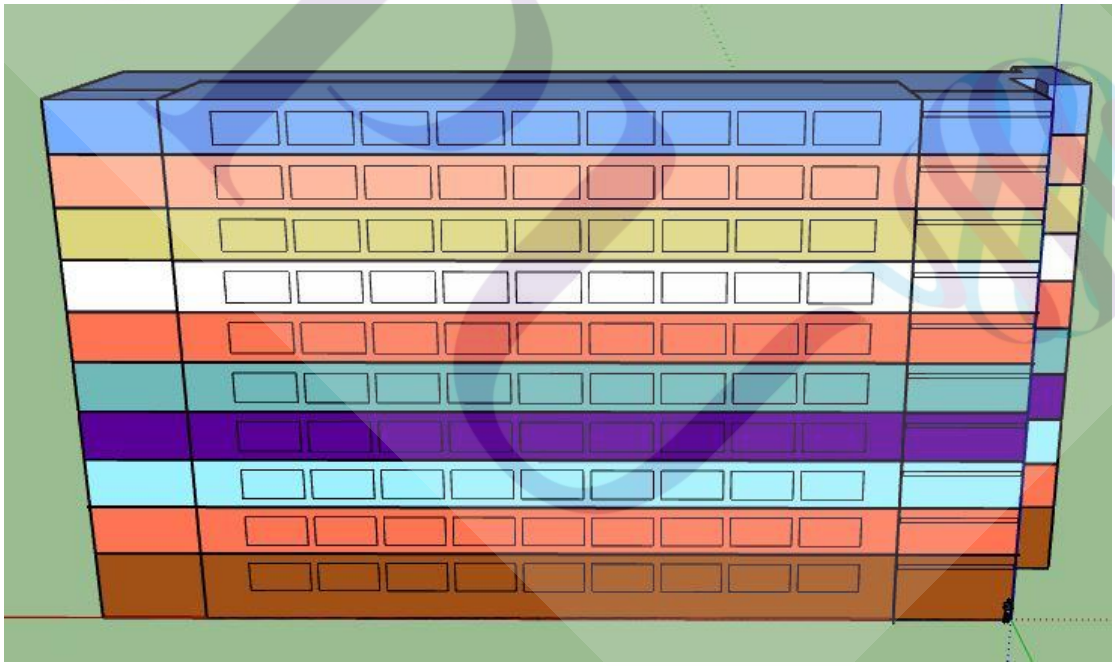
ภาพที่ ข.4 แบบอาคาร Render by Space type



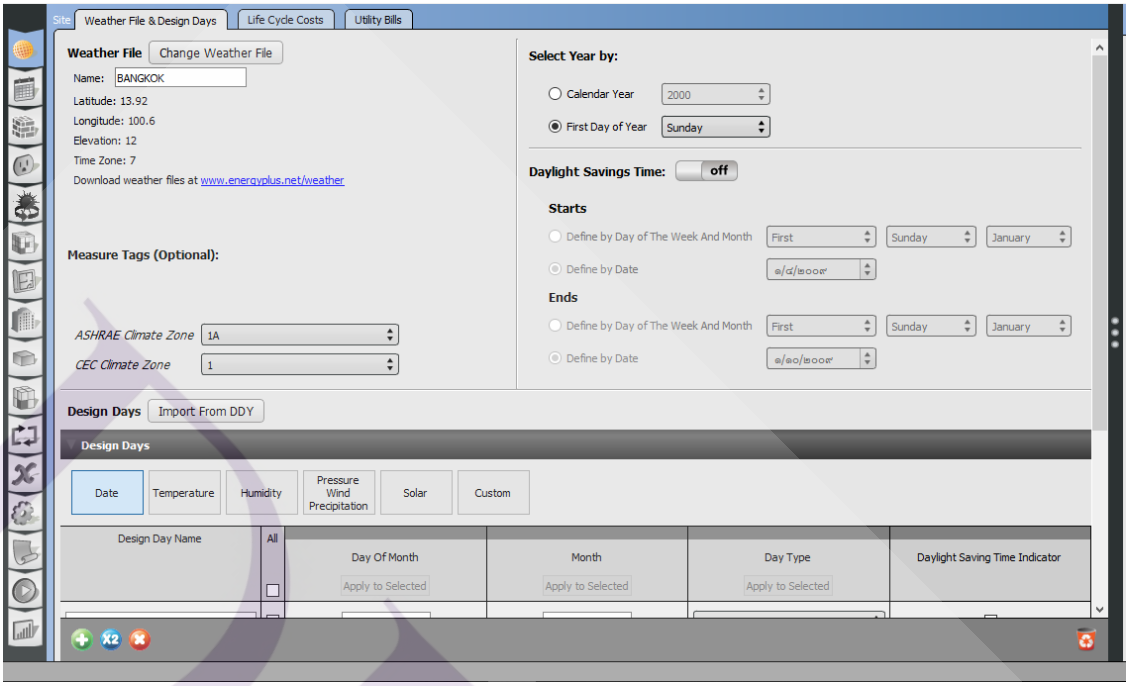
ภาพที่ ข.5 แบบอาคาร Render by Thermal Zone



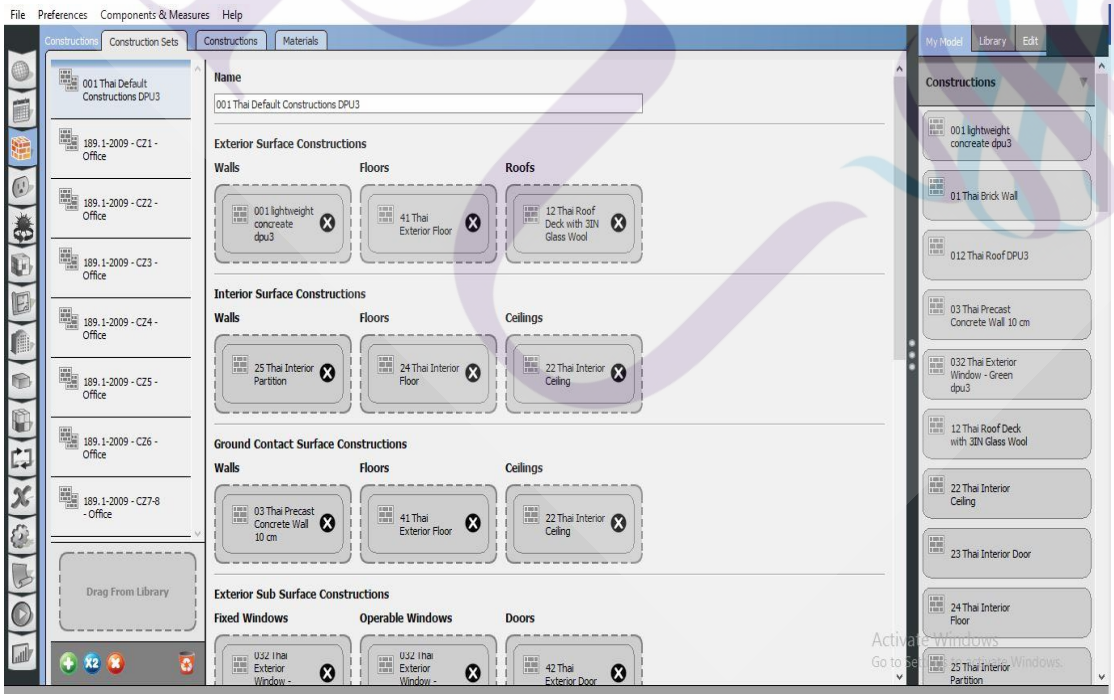
ภาพที่ ข.6 แบบอาคาร Render by Building Story



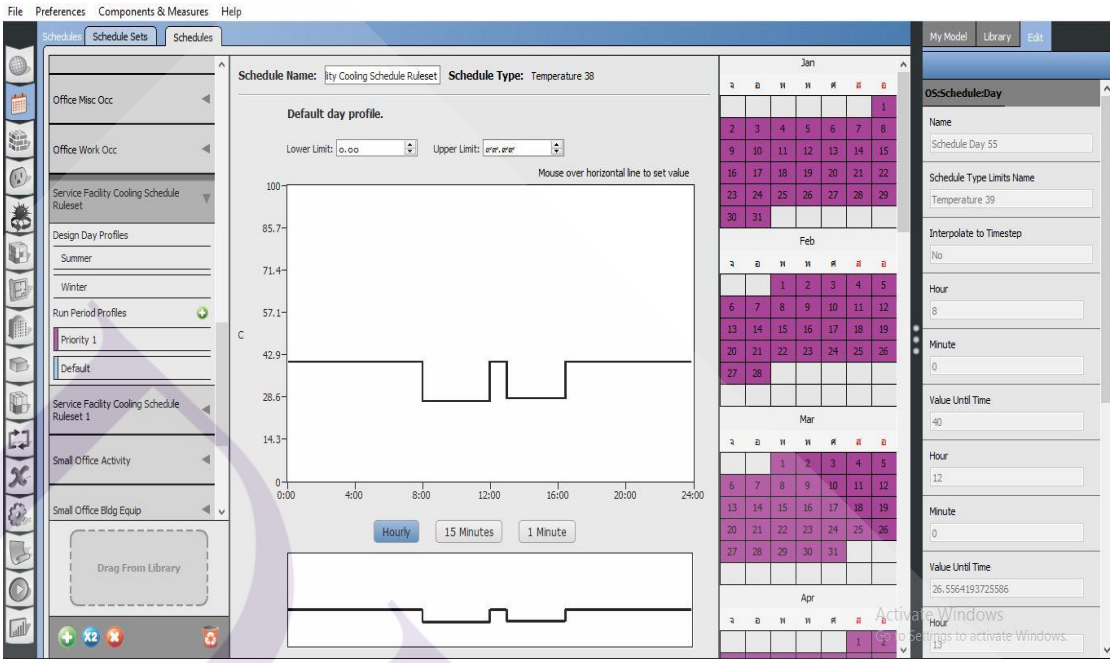
ภาพที่ ข.7 รายละเอียดหน้า Site



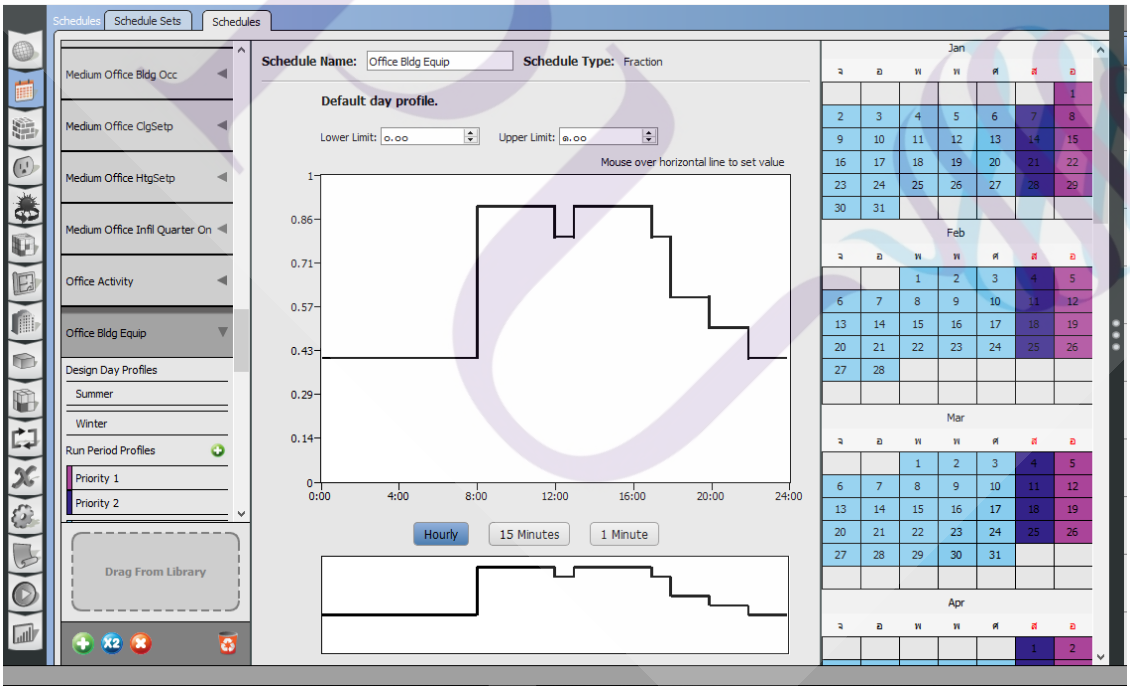
ภาพที่ ข.8 รายละเอียดหน้า Construction 3 DPU



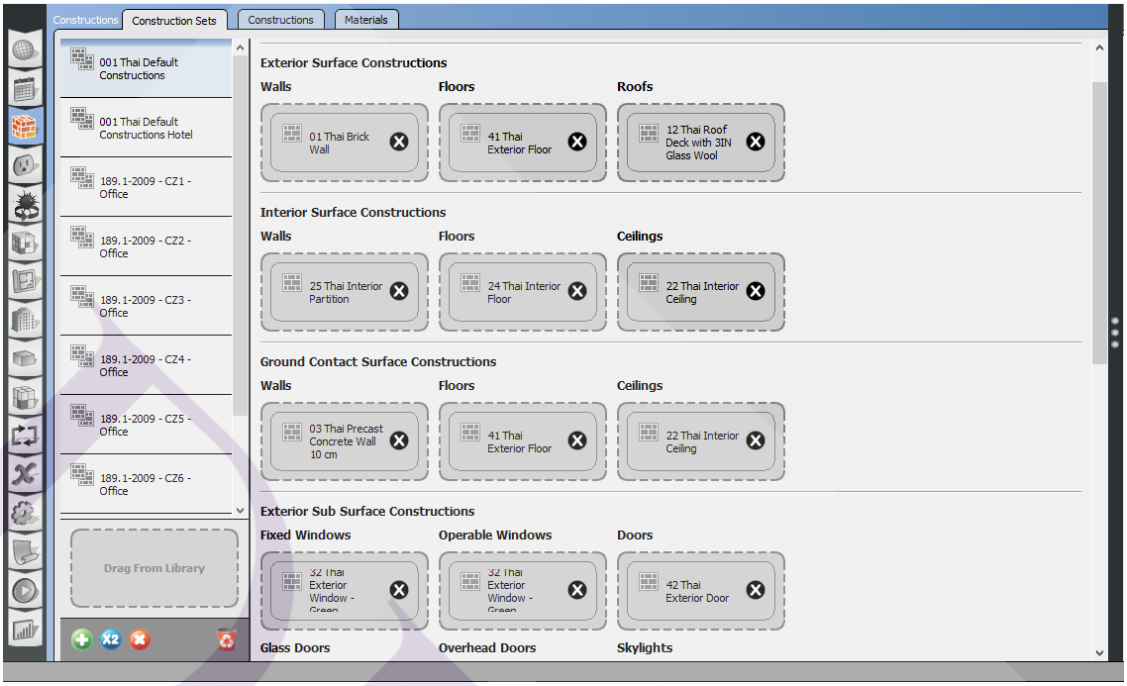
ภาพที่ ข.9 รายละเอียดหน้า service Facility cooling schedule



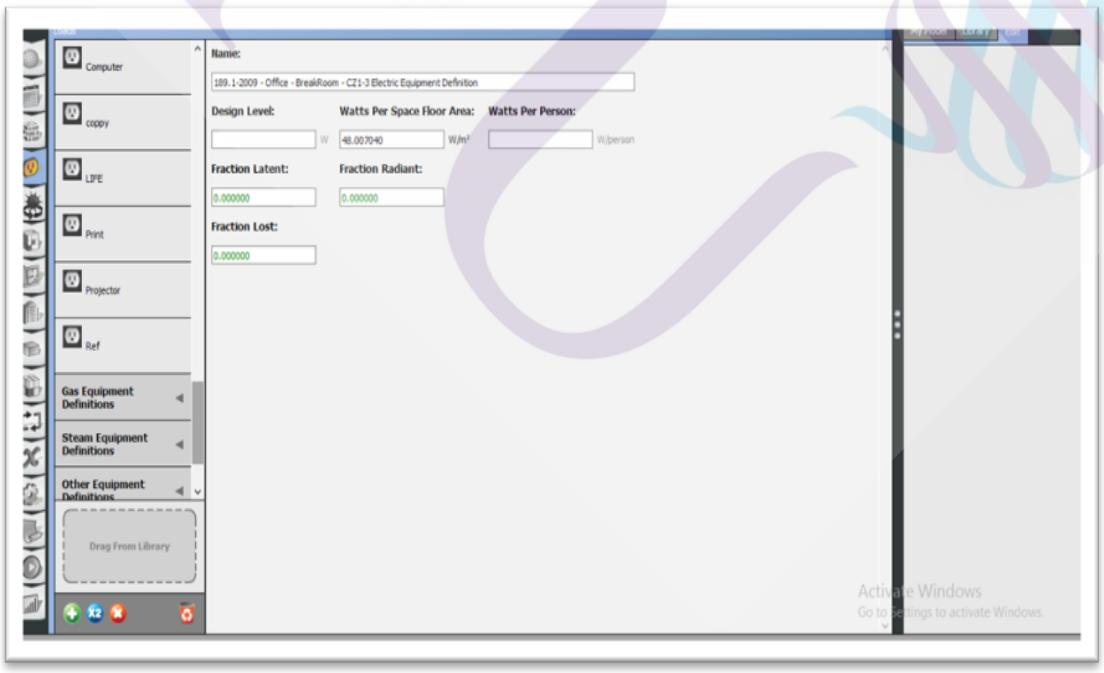
ภาพที่ ข.10 รายละเอียดหน้า Office Bldg Equip



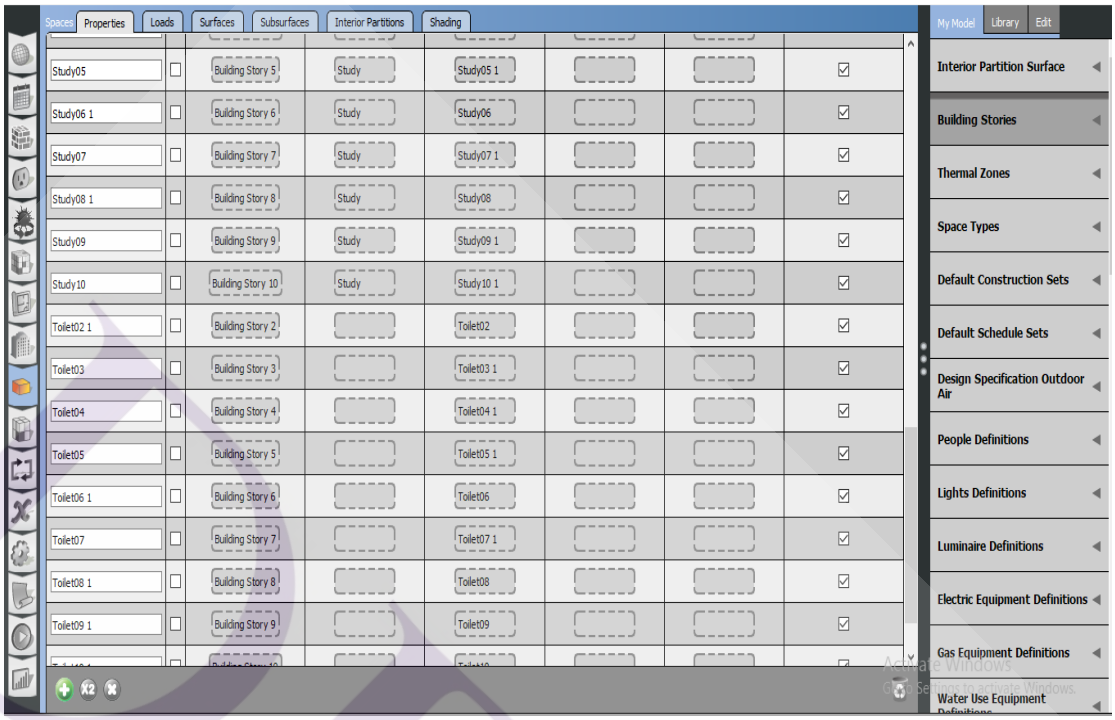
ภาพที่ ข.11 รายละเอียดหน้า Construction



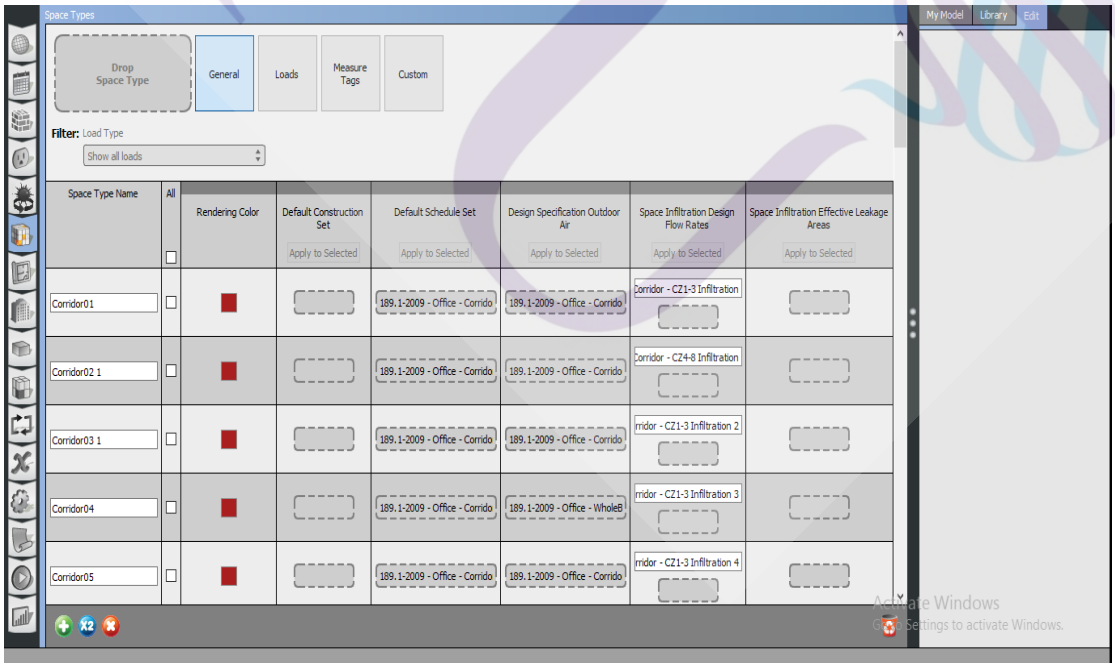
ภาพที่ ข.12 รายละเอียดหน้า Load



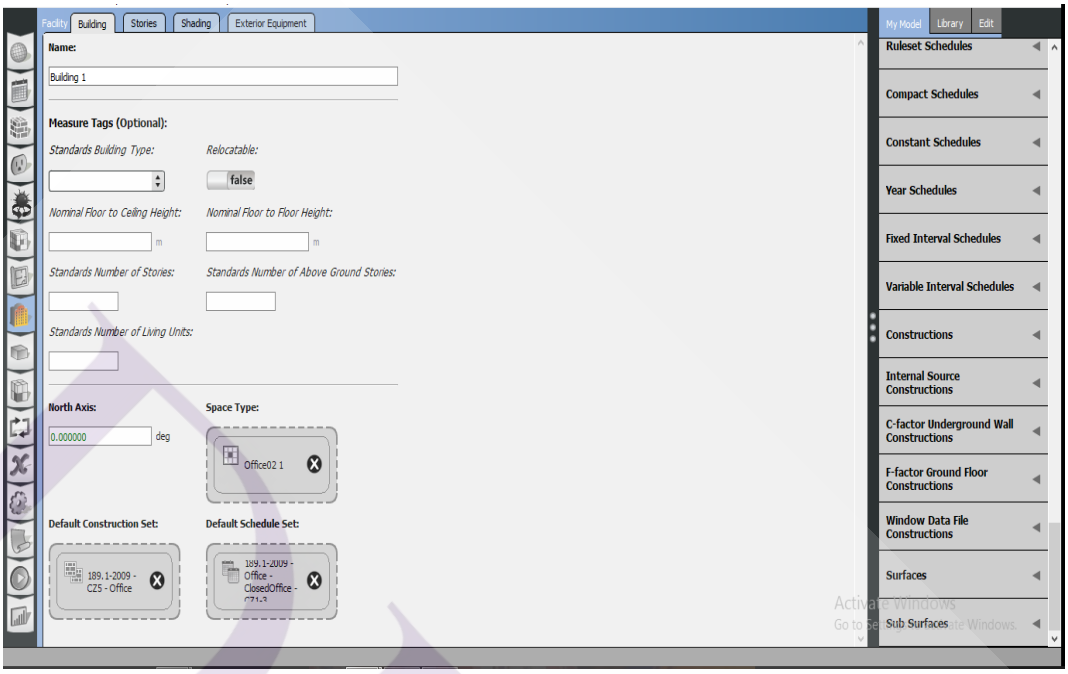
ภาพที่ ข.13 รายละเอียดหน้า Space



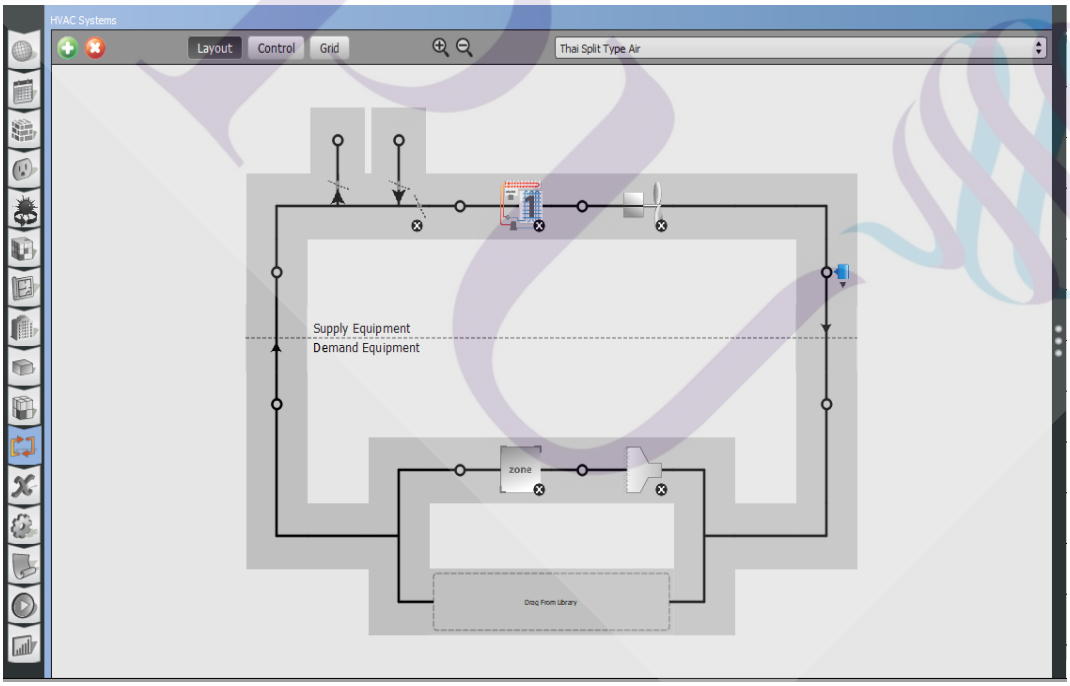
ภาพที่ ข.14 รายละเอียดหน้า Space type



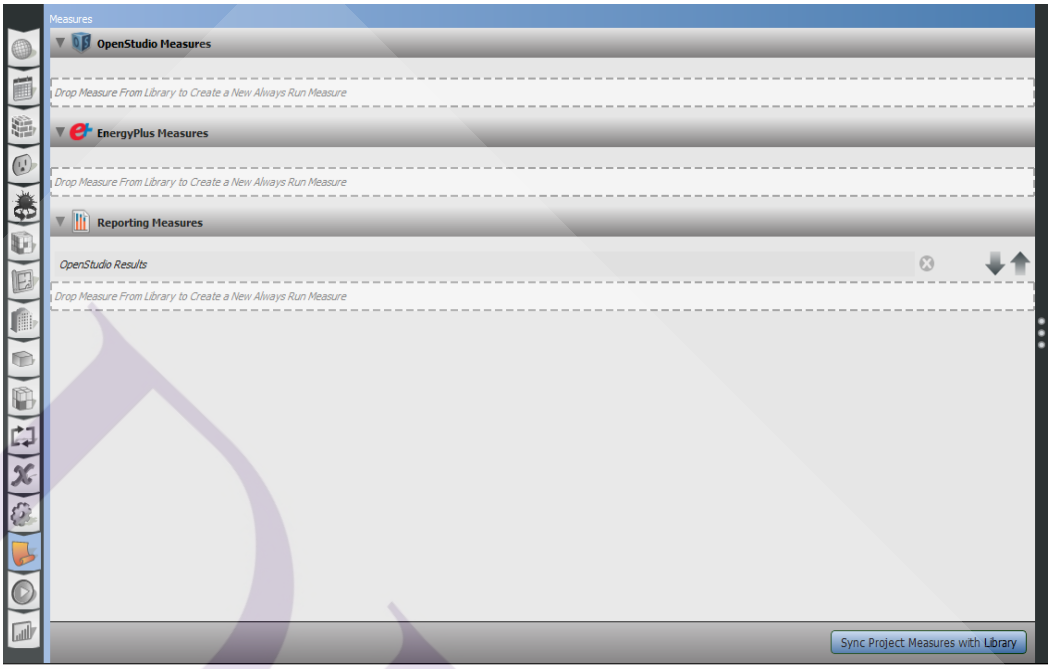
ภาพที่ ข.15 รายละเอียดหน้า facility



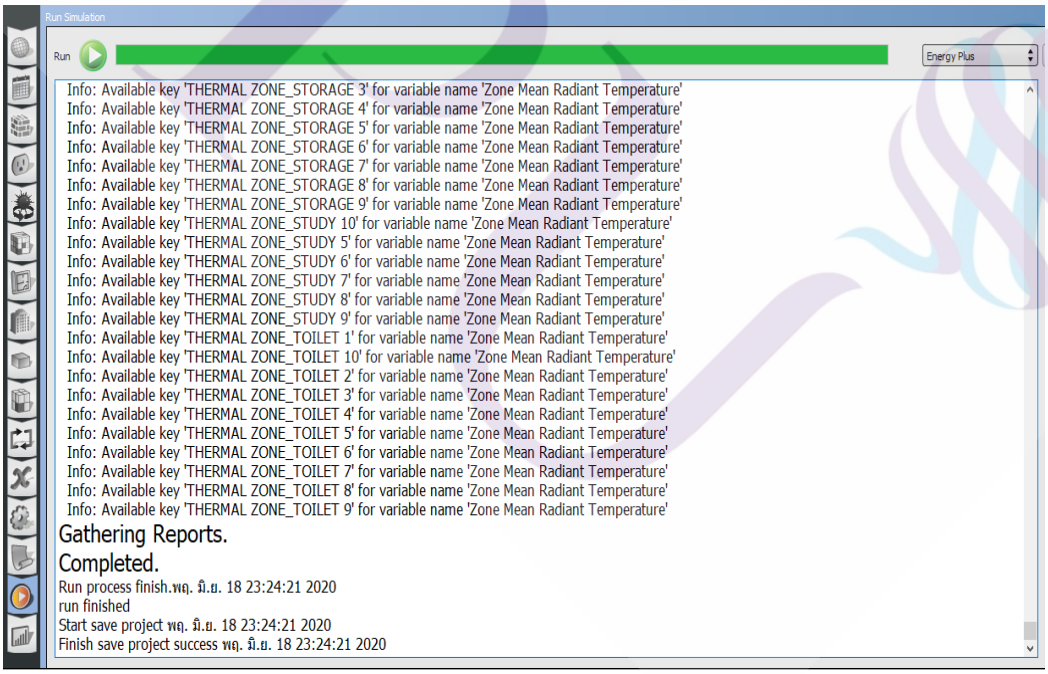
ภาพที่ ข.16 รายละเอียดหน้า HVAC system



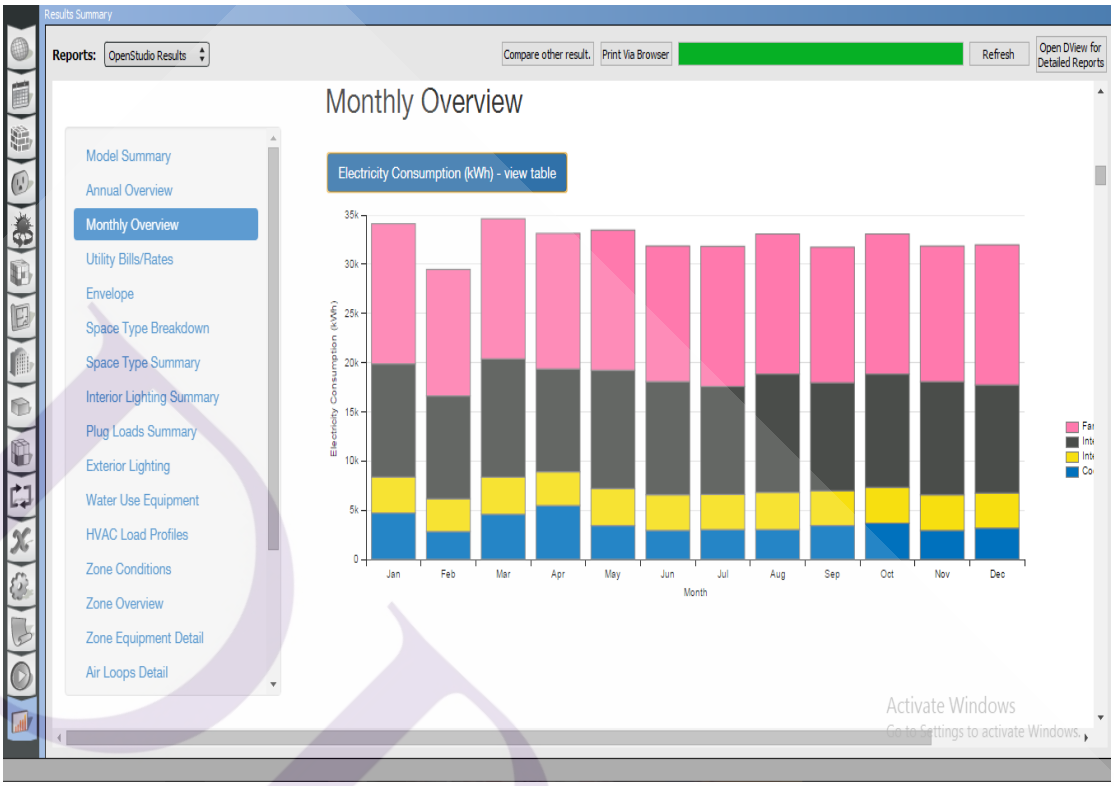
ภาพที่ ข.17 รายละเอียดหน้า Measures



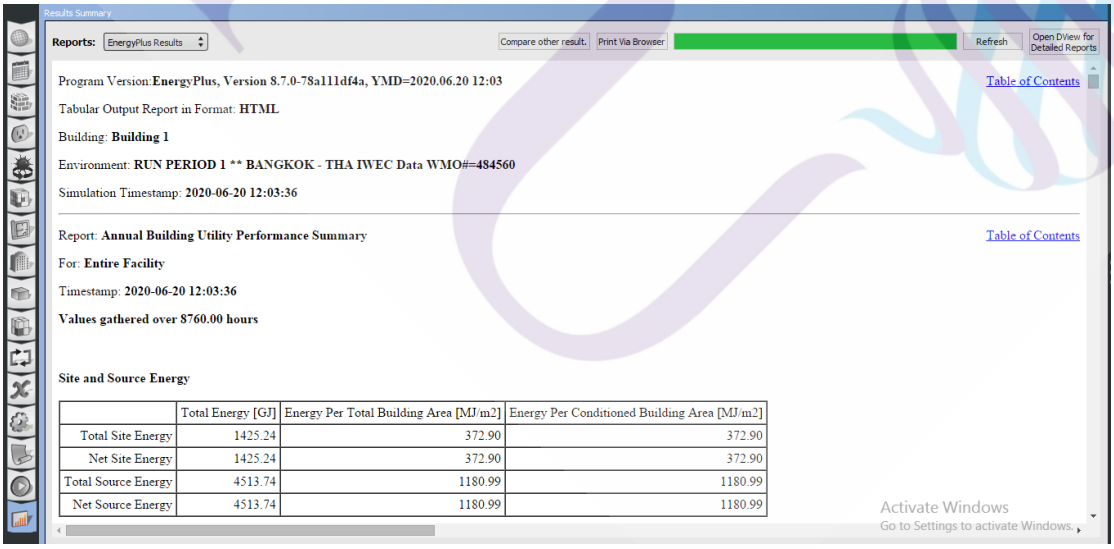
ภาพที่ ข.18 รายละเอียดหน้า Run Simulations



ภาพที่ ข.19 รายละเอียดหน้า Reports Openstudios

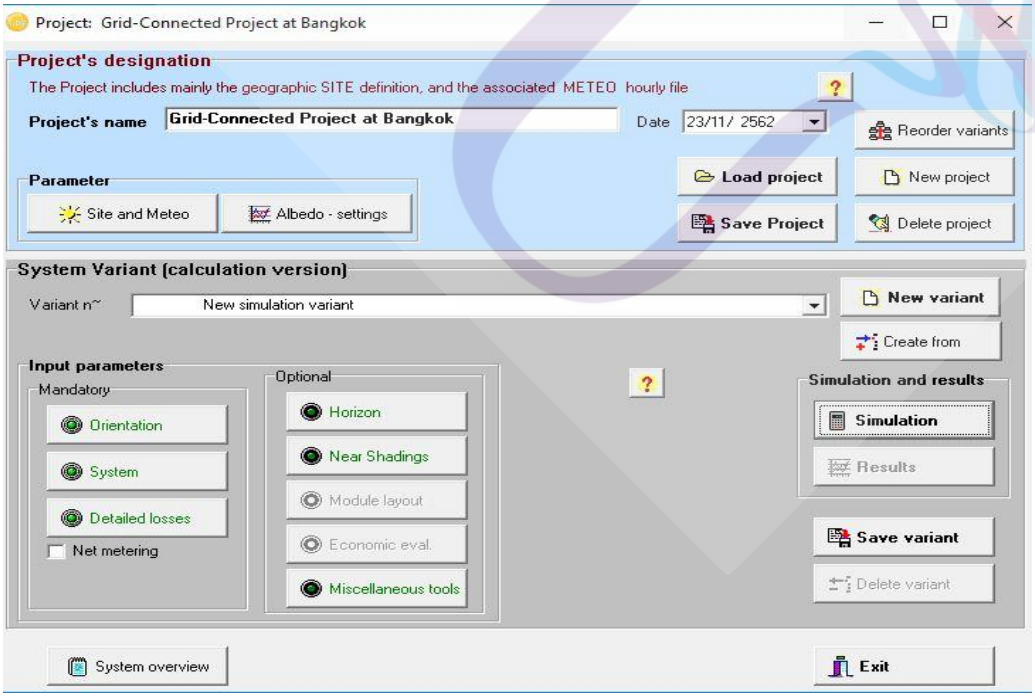


ภาพที่ ข.20 รายละเอียดหน้า Reports Energy plus



ภาพที่ ข.21 รายละเอียดหน้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ PVSYS

ภาพที่ ข.22 รายละเอียดหน้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ PVSYS กรอกรายละเอียดเพื่อคำนวณหาจำนวนหน่วยค่าไฟที่ใช้ได้



ภาพที่ ข.23 รายละเอียดหน้า Grid-Connected System. Simulation parameters

PVSYST V6.43			14/06/20	Page 1/3

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :	**Grid-Connected Project at Bangkok**			
Geographical Site	**Bangkok**		Country	**Thailand**
Situation	Latitude	13.7°N	Longitude	100.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	3 m
	Albedo	0.20		
Meteo data:	**Building 3 DPU**	MeteoNorm 7.1 station - Synthetic		

Simulation variant :	**New simulation variant**	
	Simulation date	14/06/20 22h45

Simulation parameters

Collector Plane Orientation	Tilt	15°	Azimuth	0°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	No Shadings			

PV Array Characteristics

PV module	Si-mono	Model	**JAM6(R)-72-340**		
Original PVsyst database		Manufacturer	JA Solar		
Number of PV modules		In series	17 modules	In parallel	22 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	374	Unit Nom. Power	340 Wp
Array global power		Nominal (STC)	**127 kWp**	At operating cond.	115 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	578 V	I mpp	198 A
Total area		Module area	**725 m²**	Cell area	655 m²

Inverter		Model	**Sunny Tripower 25000TL-JP-30**		
Original PVsyst database		Manufacturer	SMA		
Characteristics		Operating Voltage	390-800 V	Unit Nom. Power	25.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	8 * MPPT 50 %	Total Power	100 kWac

PV Array loss factors

Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	49 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrizat	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1	bo Param.	0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

ภาพที่ ข.24 รายละเอียดหน้า Grid-Connected System Main resulth

PVSYST V6.43		14/06/20	Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : Grid-Connected Project at Bangkok

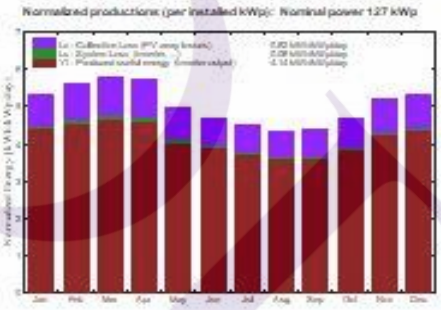
Simulation variant : New simulation variant

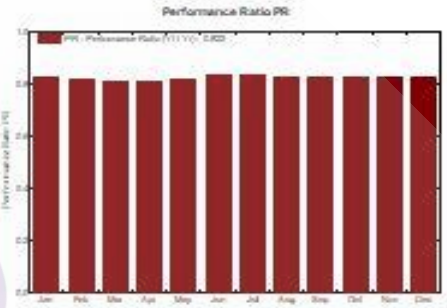
Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	JAM6(R)-72-340	Pnom	340 Wp
PV Array	Nb. of modules	374	Pnom total	**127 kWp**
Inverter		Sunny Tripower 25000TL-JP-30	Pnom	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	4.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

System Production — **Produced Energy** 192.3 MWh/year — Specific prod. 1512 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR 82.2 %





New simulation variant

Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	DiffArrR %	DiffSysR %
January	145.0	27.53	165.6	160.5	17.71	17.29	14.75	14.49
February	143.7	28.69	156.6	152.1	16.62	16.32	14.62	14.36
March	174.4	29.62	190.0	174.4	19.68	19.53	14.46	14.20
April	174.6	30.46	171.9	166.4	18.04	17.70	14.49	14.24
May	163.4	29.92	153.4	147.7	16.26	15.99	14.64	14.38
June	152.0	29.16	140.7	135.4	15.13	14.87	14.63	14.38
July	148.9	29.35	139.7	134.4	15.07	14.81	14.68	14.43
August	136.7	29.18	134.6	129.6	14.45	14.19	14.61	14.35
September	130.0	29.35	130.9	126.4	14.00	13.75	14.75	14.49
October	137.7	28.77	145.2	140.6	15.67	15.39	14.70	14.43
November	139.6	28.03	155.6	151.0	16.58	16.26	14.71	14.43
December	141.9	27.63	164.9	160.2	17.60	17.26	14.72	14.46
Year	1790.1	28.91	1808.2	1779.0	195.84	192.30	14.69	14.42

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation — EArray Effective energy at the output of the array

T Amb Ambient Temperature — E_Grid Energy injected into grid

GlobInc Global incident in coll. plane — DiffArrR Diffc. Eoutarray / rough area

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings — DiffSysR Diffc. Eoutsystem / rough area

ภาพที่ ข.25 รายละเอียดหน้า Grid-Connected Loss diagram

PVSYST V6.43		14/06/20	Page 3/3

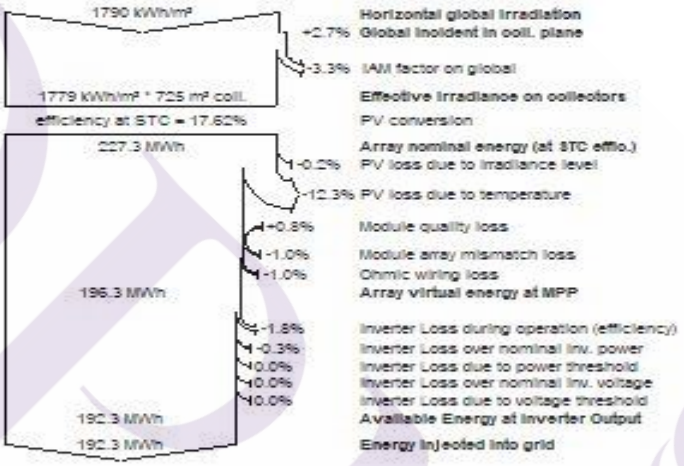
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : **Grid-Connected Project at Bangkok**

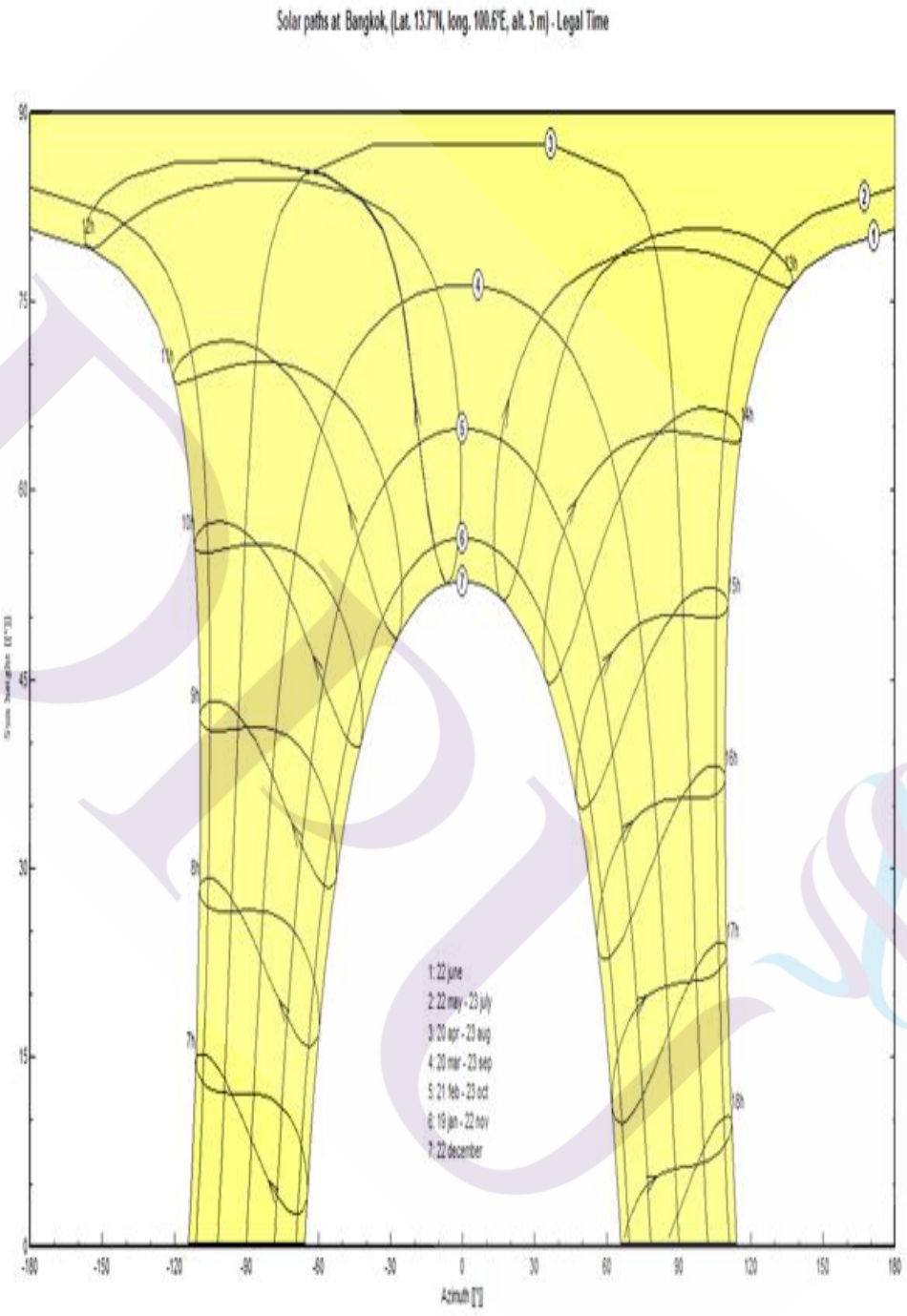
Simulation variant : **New simulation variant**

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	15°	azimuth	0°
PV modules	Model	JAM6(R)-72-340	Pnom	340 Wp
PV Array	Nb. of modules	374	Pnom total	**127 kWp**
Inverter		Sunny Tripower 25000TL-JP-30	Pnom	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	4.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ ข.26 แสดงการโคจรของแสงอาทิตย์ที่ทำงานใน 1 ปีของโปรแกรม PVSYST



ภาพที่ ข.27 รายละเอียดหน้า Hourly meteorological data

PVSYST V6.43 | 17/11/19

Hourly meteorological data

Meteo data : **Bangkok;MeteoNorm 7.1 station;Synthetic**
File Bangkok_MN71_Synthetic.MET of 00/00/00 00h00

Situation
Time defined as
Latitude 13.7°N
Legal Time Time zone UT+7
Longitude 100.6°E
Altitude 3 m

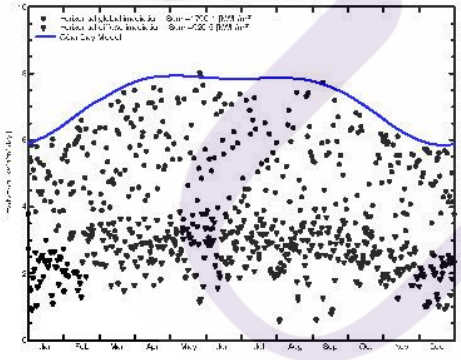
Source file characteristics Synthetic Data generation, Monthly renormalisation
Monthly Meteo Values Source Meteonorm 7.1 (1991-2010)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Hor. global	145.0	143.7	174.4	174.6	163.4	152.0	148.9	138.7	130.0	137.7	139.8	141.9	1790.1	kWh/m².mth
Hor. diffuse	64.8	68.9	85.3	82.6	84.8	81.4	90.3	79.6	82.3	78.6	66.7	55.2	920.5	kWh/m².mth
Extraterrestrial	260.8	259.9	312.3	317.0	329.9	317.0	327.4	326.8	306.9	295.4	259.0	251.6	3563.9	kWh/m².mth
Clearness Index	0.556	0.553	0.559	0.551	0.495	0.479	0.455	0.424	0.424	0.466	0.540	0.564	0.502	
Amb. temper.	27.5	28.7	29.8	30.5	29.9	29.2	29.4	29.2	28.4	28.8	28.0	27.6	28.9	°C
Wind velocity	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	m/s

Hourly meteo, monthly sums

Interval beginning	Global kWh/m².mth	Diffuse kWh/m².mth	T.Amb °C
January	145.0	64.80	27.53
February	143.7	68.90	28.69
March	174.4	85.30	29.82
April	174.6	82.60	30.48
May	163.4	84.80	29.92
June	152.0	81.40	29.18
July	148.9	90.30	29.35
August	138.7	79.60	29.18
September	130.0	82.30	28.35
October	137.7	78.60	28.77
November	139.8	66.70	28.09
December	141.9	55.20	27.63
Year	1790.1	920.50	28.91

Meteo for Bangkok - Synthetically Generated Data



ภาพที่ ข.28 รายละเอียดหน้า Characteristics of a grid Inverter

PVSYST V6.43 | 16/11/19 23h26

Characteristics of a grid inverter

Manufacturer, model : **SMA, Sunny Tripower 25000TL-JP-30**

Availability : Prod. from 2015

Data source : Manufacturer 2015

Input characteristics (PV array side)

Operating mode		**MPPT**			
Minimum MPP Voltage	**Vmin**	**390 V**	Nominal PV Power	Pnom DC	26 kW
Maximum MPP Voltage	**Vmax**	**800 V**	Maximum PV Power	Pmax DC	26 kW
Absolute max. PV Voltage	Vmax array	1000 V	Maximum PV Current	Imax DC	N/A A
Min. Voltage for PNom	Vmin PNom	390 V	Power Threshold	Pthresh.	84 W
Multi MPPT capability			Number of MPPT inputs		2
Behaviour at Vmin/Vmax		Limitation	Behaviour at Pnom		Limitation

Output characteristics (AC grid side)

Grid Voltage	Unom	420 V	**Nominal AC Power**	**Pnom AC**	**25 kWac**
Grid frequency	Freq	50/60 Hz	Maximum AC Power	Pmax AC	25 kWac
		Triphased	Nominal AC current	Inom AC	34 A
			Maximum AC current	Imax AC	38 A
Efficiency defined for 3 voltages		390 V	625 V	800 V	
Maximum efficiency		97.4 %	98.7 %	98.0 %	
European average efficiency		97.1 %	98.4 %	97.7 %	

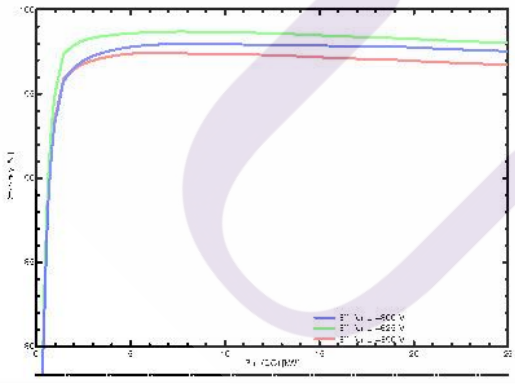
Remarks and Technical features

Array isolation monitoring, Internal DC switch,
Output Voltage disconnect adjustement, ENS protection,

Technology: TL, 16 kHz, SG, IGBT
Protection: -25 - +60°C, IP 65: outdoor installation possible
Control: Graphic
for japanese market

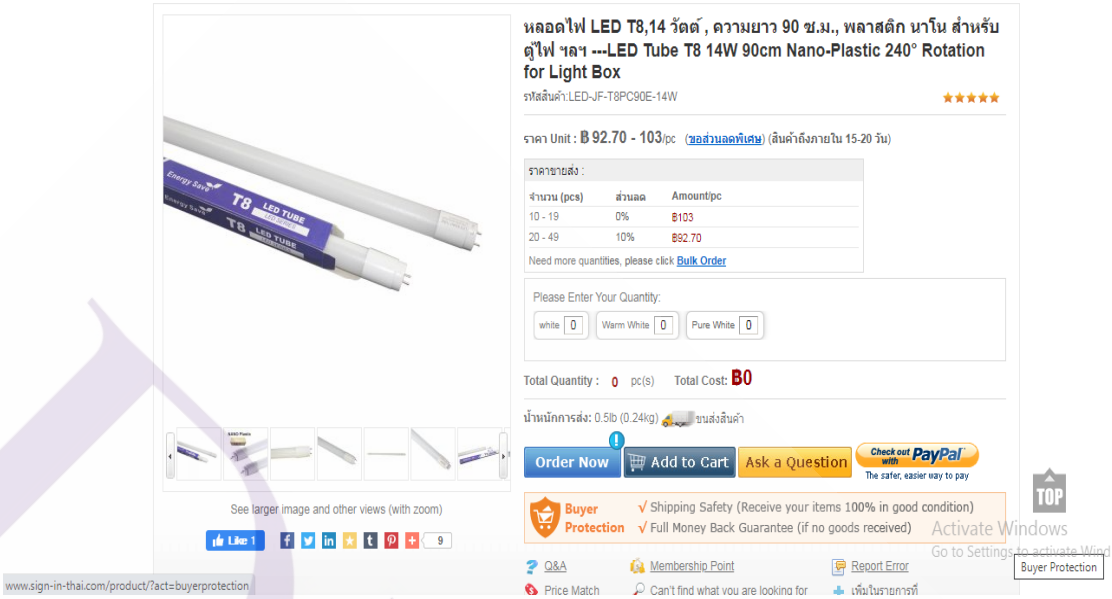
Sizes: Width 661 mm
Height 682 mm
Depth 264 mm
Weight 61.00 kg

Efficiency profile vs Input power



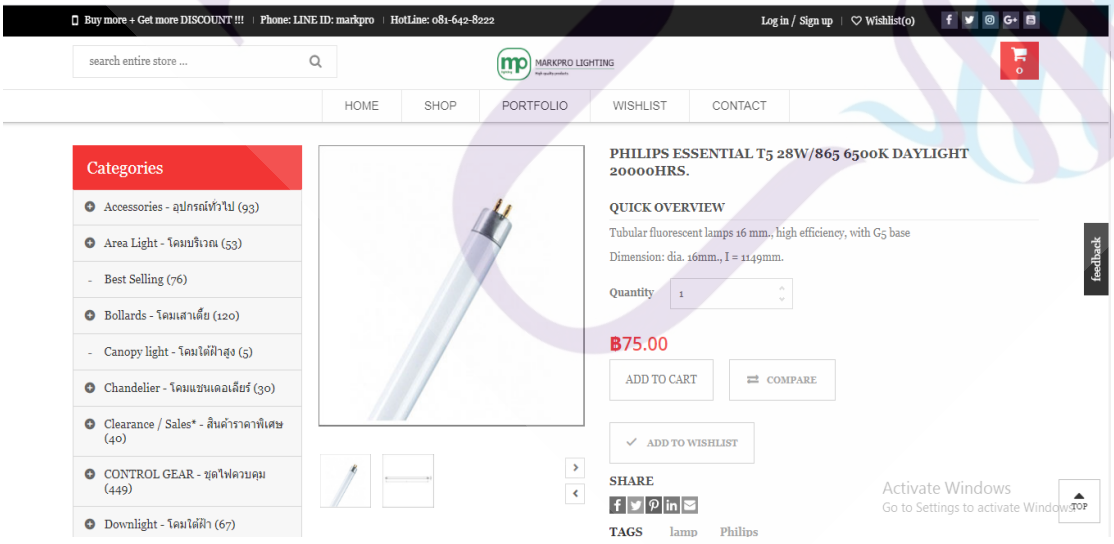
ภาคผนวก ค
รายละเอียดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ภาพที่ ค.1แสดงตัวอย่างหลอด LED แทนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์



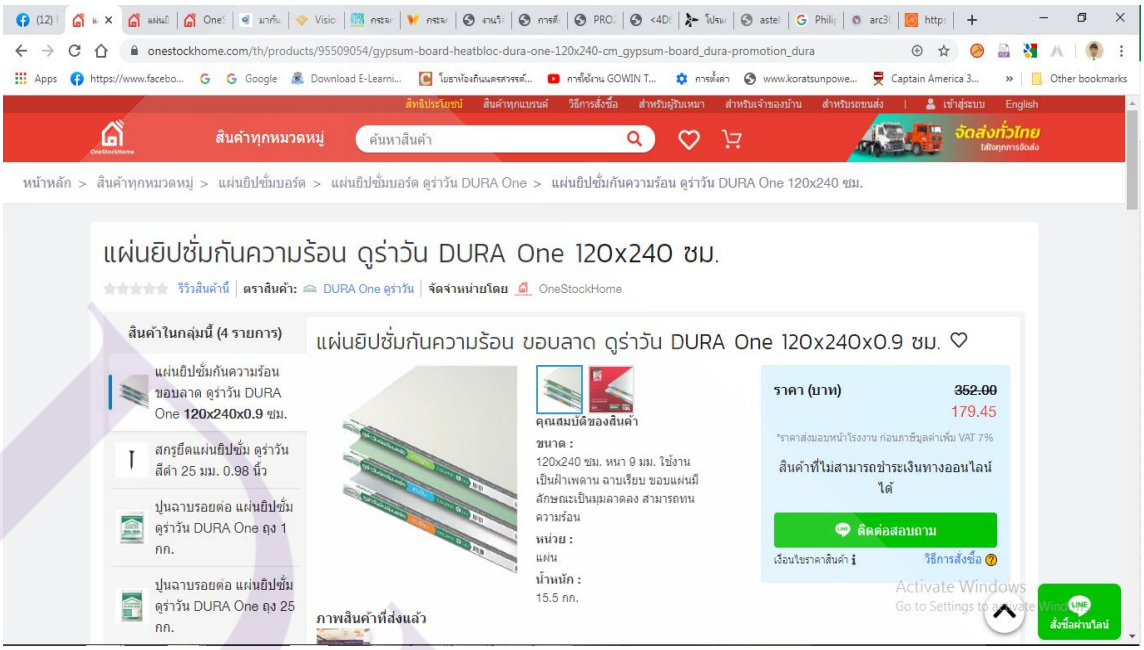
ที่มา: http://www.thianthong.com/product/led-bulb/

ภาพที่ ค.2แสดงตัวอย่างหลอด LED แทนหลอดฮาโลเจน



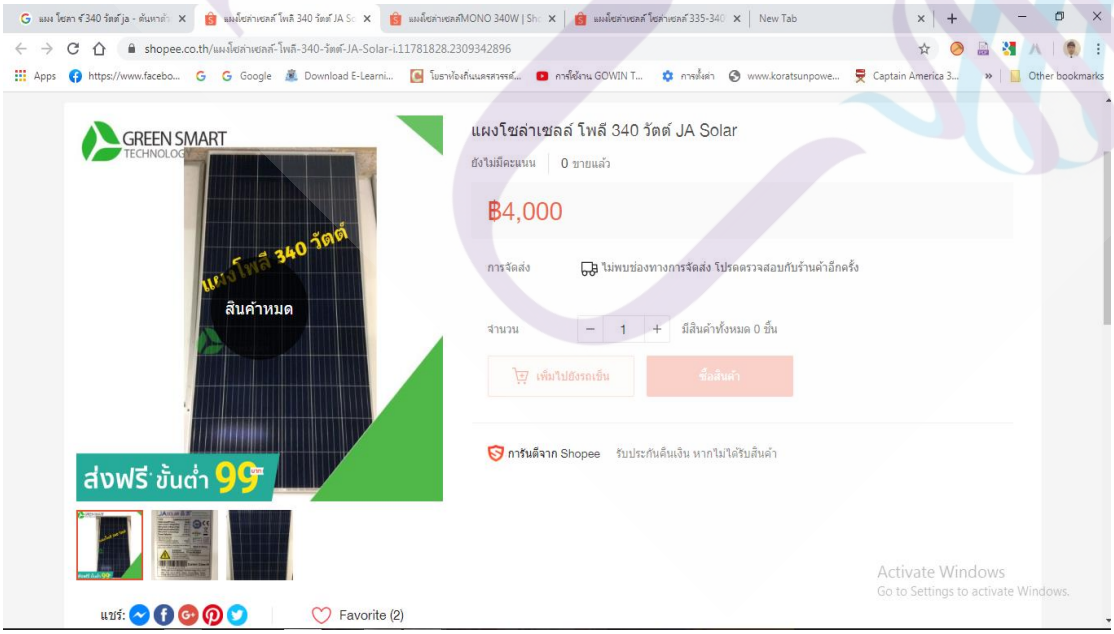
ที่มา: http://www.thianthong.com/product/

ภาพที่ ค.3 แสดงตัวอย่างฝ้ายิปซัมผนังหนา 25 มม.



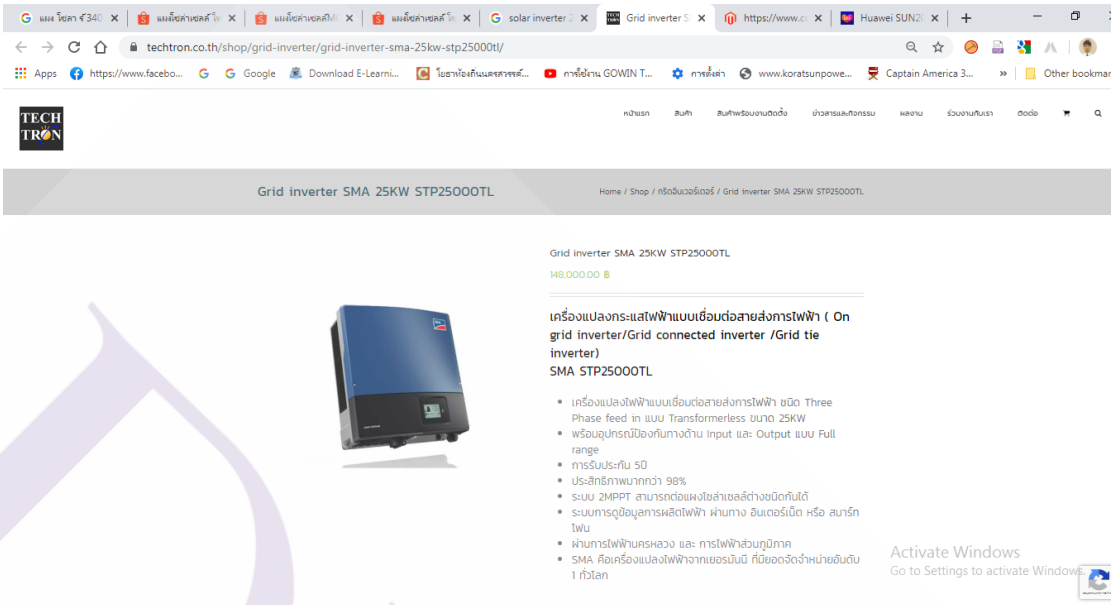
ที่มา: http://www.onestockhome.com

ภาพที่ ค.4 แสดงตัวอย่างแผงโซลาร์พลังงานแสงอาทิตย์ 340 Wp.



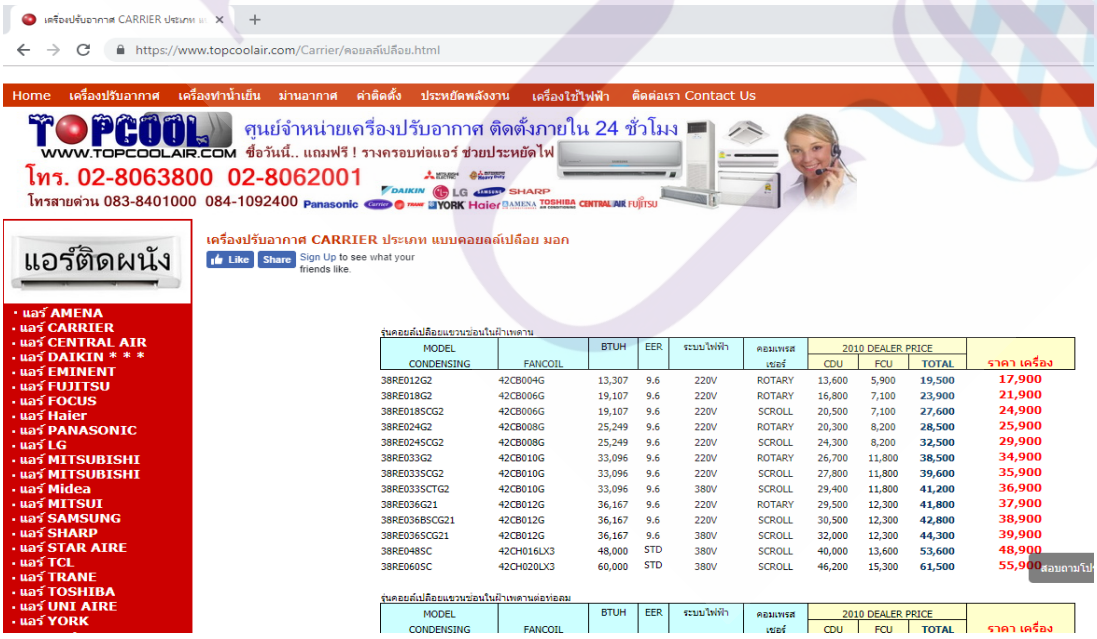
ที่มา: http://www.shoepee.com

ภาพที่ ค.4 แสดงตัวอย่างinverter solar 25 KWp.



ที่มา: http://www.techtron.co.th

ภาพที่ ค.5 แสดงตัวอย่างราคาเครื่องปรับอากาศ

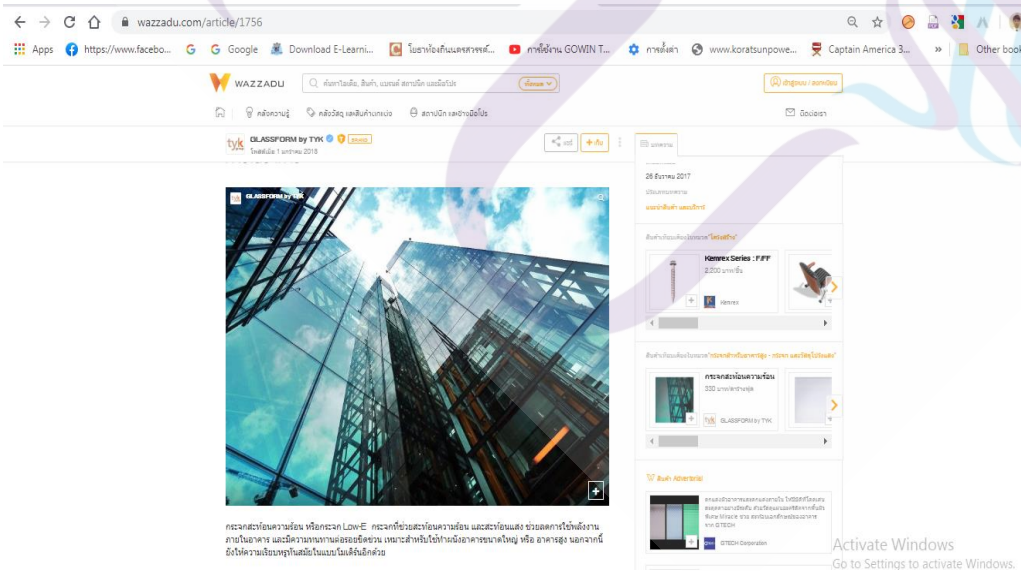


ที่มา :https://www.topcoolair.com/

ภาพที่ ค.6 แสดงตัวอัตราค่าบริการล้างเครื่องปรับอากาศ

ที่มา :https://www.topcoolair.com/

ภาพที่ ค.7 แสดงตัวอย่างกระจก Low-e



ที่มา :https://www.wazzadu.com

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	เอกพงศ์ แสนหะวานนท์
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2556 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกรโครงการ บริษัท สีทองเพียฟาร์ม จำกัด

DPU