ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน

โดย
นายณรงค์ พรหมศร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน

โดย
นายณรงค์ พรหมศร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

OPTIMUM BUILDING PERFORMANCE SCORES WHEN APPLYING DIFFERENT ENERGY CONSERVATION MEASURES (ECMS) SORTING SCHEMES

By

MR. Narong PROMSORN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)

Department of MECHANICAL ENGINEERING

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน
โดย	ณรงค์ พรหมศร
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิบดินทร์ แสงสว่าง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

58406201 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ผลประหยัดด้านพลังงาน, การเปรียบเทียบมาตรฐาน, มาตรฐานอาคารเขียว, การใช้พลังงานในอาคาร, การเรียงลำดับมาตรการ

นาย ณรงค์ พรหมศร: ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ

ในการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร จำเป็นจะต้องทำมาตรการต่างๆ เพื่อให้ได้ผลประหยัดหรือระดับคะแนนตามที่ต้องการ โดยในการทำมาตรการนั้น สามารถเรียงลำดับมาตรการได้หลายแบบ ซึ่งอาจแบ่งการเรียงลำดับมาตรการออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) การเรียงลำดับขั้นต้น ได้แก่ เงินลงทุนจากน้อยไปมาก ผลประหยัดจากมากไปน้อย และระดับคะแนนจากมากไปน้อย 2) การเรียงลำดับขั้นที่สอง ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย เป็นที่น่าสนใจว่า ถ้าเรียงลำดับตามดัชนีทั้ง 6 ตัวข้างต้น จะให้จุดคุ้มทุนเป็นจุดเดียวกันหรือไม่ โดยจุดคุ้มทุน คือ จุดที่เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้ว ทำให้คะแนนที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เกณฑ์การประเมินพลังงานของอาคารเขียว LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2, TREES V. 1.1 และ Building EQ เป็นเครื่องมือในการประเมินระดับคะแนน ส่วนอาคารกรณีฐานได้เลือกใช้สำนักงานขนาดใหญ่ (12,567 m^2) สำนักงานขนาดเล็ก (1,581 m^2) ศูนย์การค้า (8,280 m^2) และโรงแรม (11,448 m^2) โดยอาคารทั้งหมดใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จากการวิจัยพบว่าหากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว จะทำให้จุดคุ้มทุนเป็นจุดเดียวกัน (แต่ใช้จำนวนมาตรการไม่เท่ากัน) ซึ่งถ้าเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน NPV และ IRR จะพบว่า มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ เงินลงทุนที่ใช้กับการทำมาตรการจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก ในขณะที่ ถ้าอยากได้ผลประหยัดหรือระดับคะแนนมากๆ ตั้งแต่ต้น จะต้องแลกกับการใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูงตั้งแต่แรก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเงินลงทุนต่อแต้มระหว่างมาตรฐาน พบว่ามาตรฐานอาคารเขียวไทย (TREES V. 1.1) จะใช้เงินลงทุนต่อแต้มต่ำที่สุด ข้อสังเกตเพิ่มเติม คือ ขนาดของอาคารจะมีผลต่อจุดคุ้มทุน เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นตัวตัดสินจุดคุ้มทุน ซึ่งอาคารขนาดใหญ่มีความเหมาะสมต่อการลงทุนมาตรการนี้มากกว่า เนื่องจากเงินลงทุนรายมาตรการต่อเงินลงทุนรวมของอาคารต่ำกว่า

58406201 : Major (ENERGY ENGINEERING)
Keyword : ENERGY SAVING. BENCHMARKING ENERGY USE ASSESSMENT. GREEN BUILDING STANDARD. ENERGY USE. ENERGY CONSERVATION MEASURE SORTING SCHEME

MR. NARONG PROMSORN : OPTIMUM BUILDING PERFORMANCE SCORES WHEN APPLYING DIFFERENT ENERGY CONSERVATION MEASURES (ECMS) SORTING SCHEMES THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR THOSAPON KATEJANEKARN

To save energy in a building and achieve performance scores according to standards, energy conservation measures (ECMs) must be applied. However, they can be sorted in several schemes. The scheme may be divided into two groups: 1) primary sorting schemes comprising investment cost (ascending order), energy saving (descending order), and earning scores (descending order) 2) secondary sorting schemes comprising simple payback period (ascending order), net present value (NPV, descending order), and internal rate of return (IRR, descending order). It was of interest that when applying the six schemes above, would the optimum point be the same? The optimum point was considered to be the point where the next ECM caused the scores to changed by no more than 5%. In this research LEED, BEAM Plus, TREES, and Building EQ were used as the tool to evaluate the performance scores. Baseline buildings were selected to be a large office building (12,567 m^2), a small office building (1,581 m^2), a department store (8,280 m^2), and a hotel (11,448 m^2). The results showed that the optimum points when applying the six sorting schemes were the same (but number of ECMs applied was different). When ECMs were sorted by the payback period, NPV, and IRR, the trends looked similar that the investment cost would gradually increase. On the contrary, If energy saving or performance scores were needed from the beginning, it would have to trade off with high investment from the beginning as well. When comparing the investment per performance scores among the standards, Thai green building standard (TREES V. 1.1) had the lowest value. A further observation is that the size of the building would affect the optimum point. In this research, ECM P1 installing solar photovoltaic panels was the key measure to justify the optimum point. Larger buildings would be more suitable for this kind of ECM since the ratio of the investment of the ECM to the total investment of the building is lower.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ส่งผลให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิบดินทร์ แสงสว่าง ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล กรรมการภายนอก ที่ได้เสียสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้ และได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความคิดเห็นที่มีต่อวิทยานิพนธ์นี้ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณครอบครัว และผู้มีพระคุณที่คอยสนับสนุน และให้คำชี้แนะจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยให้คำปรึกษา และให้กำลังใจ ตลอดจนความรู้ และคำแนะนำที่สามารถประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ กระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ณรงค์ พรหมศร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 12
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 12
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 12
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 14
2.1 มาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V.4) 14
2.2 มาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus Version V. 1.2) 30
2.3 เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานในอาคารของ ASHRAE (Building EQ) 47
2.4 เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES V. 1.1) 60
2.5 โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus 68
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 78
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 83
3.1 การวางแผนการวิจัย 83

3.2 สถานที่ทำการวิจัย 84
3.3 ระยะเวลาการวิจัย 84
3.4 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย 87
3.5 อาคารกรณีศึกษา 87
3.6 วิธีการวิจัย 95
3.7 มาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์การประเมินมาตรฐานอาคารเขียว 95
3.8 การวิเคราะห์ฐานข้อมูลของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงาน (Source site ratio) 97
3.9 การวิเคราะห์ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Building EQ ในประเทศไทย 99
3.10 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย 100
บทที่ 4 ผลการวิจัย 103
4.1 ผลการศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม 103
4.2 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Building EQ 109
4.3 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4 118
4.4 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 126
4.5 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว TREES V. 1.1 134
4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานของเกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1 143

4.7 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างประเภทอาคาร โดยใช้เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1 157

4.8 ภาพรวมของงานวิจัย 159

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 160

5.1 สรุปผลการวิจัย 160

5.2 ข้อเสนอแนะ 161

รายการอ้างอิง 162

ประวัติผู้เขียน 166

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร [5] 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างมาตรการประหยัดพลังงานในอาคาร 8

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของ LEED, BEAM Plus, TREES และ Building EQ 9

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบหมวดพลังงานของ LEED, BEAM Plus, TREES และ Building EQ 10

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ LEED NC 17

ตารางที่ 6 คะแนนเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารของ LEED V. 425

ตารางที่ 7 คะแนนของการใช้พลังงานทดแทนของ LEED V. 4 29

ตารางที่ 8 คะแนนของพลังงานจากพลังงานสีเขียวหรือคาร์บอนชดเชยของ LEED V. 4 30

ตารางที่ 9 ระดับเปอร์เซ็นต์การประเมินของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus 31

ตารางที่ 10 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus (Version 1.2 for New buildings) 32

ตารางที่ 11 ระดับคะแนนของ Building EQ 49

ตารางที่ 12 ค่า Source site ratio สำหรับ Portfolio manager energy meter types สำหรับ Building EQ 53

ตารางที่ 13 การคำนวณ Source site ratio สำหรับพลังงานไฟฟ้าในสหรัฐอเมริกา 54

ตารางที่ 14 การคำนวณ Source site ratio สำหรับแก๊สธรรมชาติในสหรัฐอเมริกา 55

ตารางที่ 15 การศึกษา LEM สำหรับ Highway diesel fuel 56

ตารางที่ 16 ค่า Source site ratio สำหรับการผลิตไอน้ำ 57

ตารางที่ 17 ค่า Source site ratio สำหรับชิลเลอร์ไฟฟ้า 59

ตารางที่ 18 รายละเอียดตามหมวดการประเมินของ TREES 62

ตารางที่ 19 คะแนนในการประเมินพลังงานของ TREES V1.1 66
ตารางที่ 20 ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปีตามประเภทของอาคารของ TREES V. 1.1 ... 67
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบการคำนวณในด้านต่างๆ ของแต่ละโปรแกรม 72
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบลักษณะทั่วไปของแต่ละโปรแกรม 73
ตารางที่ 23 ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย 86
ตารางที่ 24 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ 88
ตารางที่ 25 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 90
ตารางที่ 26 รายละเอียดของศูนย์การค้า 92
ตารางที่ 27 รายละเอียดของโรงแรม 93
ตารางที่ 28 รายละเอียดของมาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้กับอาคารกรณีศึกษา 95
ตารางที่ 29 ราคาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) 96
ตารางที่ 30 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2558 ของประเทศไทย [32] 98
ตารางที่ 31 รายละเอียดการคำนวณค่า Source site ratio ของประเทศไทย 98
ตารางที่ 32 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในปี พ.ศ. 2553 – 2556 ของประเทศไทย 99
ตารางที่ 33 ข้อมูลการใช้พลังงานของศูนย์การค้าในปี พ.ศ. 2553 – 2556 ของประเทศไทย 100
ตารางที่ 34 หลักการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 101
ตารางที่ 35 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดเล็ก 104
ตารางที่ 36 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดเล็ก 104
ตารางที่ 37 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดใหญ่ 105
ตารางที่ 38 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดใหญ่ 106
ตารางที่ 39 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของศูนย์การค้า 106
ตารางที่ 40 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของศูนย์การค้า 107
ตารางที่ 41 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของโรงแรม 108

ตารางที่ 42 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของโรงแรม 108
ตารางที่ 43 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ Building EQ 109
ตารางที่ 44 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ Building EQ 110
ตารางที่ 45 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ Building EQ 110
ตารางที่ 46 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ Building EQ 110
ตารางที่ 47 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ LEED V. 4 119
ตารางที่ 48 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ LEED V. 4 119
ตารางที่ 49 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ LEED V. 4 119
ตารางที่ 50 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ LEED V. 4 120
ตารางที่ 51 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2 126
ตารางที่ 52 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2 127
ตารางที่ 53 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2 127
ตารางที่ 54 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2 128
ตารางที่ 55 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES V. 1.1 134
ตารางที่ 56 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ TREES V. 1.1 135
ตารางที่ 57 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ TREES V. 1.1 135
ตารางที่ 58 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ TREES V. 1.1 136
ตารางที่ 59 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของสำนักงานขนาดใหญ่ 158
ตารางที่ 60 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของสำนักงานขนาดเล็ก 158
ตารางที่ 61 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของศูนย์การค้า 158
ตารางที่ 62 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของโรงแรม 158

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 แนวโน้มการใช้พลังงานของโลก ปี ค.ศ. 2007 – 2035 [1] 1

รูปที่ 2 มูลค่าการใช้พลังงานในเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2560 [3] 2

รูปที่ 3 การใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาของปี 2559 [4] 3

รูปที่ 4 สัดส่วนคะแนนของ TREE NC V 1.1 [10] 5

รูปที่ 5 เกณฑ์การให้คะแนนของ Building EQ [10] 5

รูปที่ 6 ภาพรวมของโปรแกรม EnergyPlus 71

รูปที่ 7 การทำงานร่วมกันระหว่างการคำนวณภาระการปรับอากาศและการคำนวณระบบปรับอากาศของ EnergyPlus 74

รูปที่ 8 ตัวอย่างของโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน EnergyPlus 76

รูปที่ 9 ส่วนประกอบย่อยของส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ 77

รูปที่ 10 แผนการวิจัย “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” 85

รูปที่ 11 อาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 ประเภท 88

รูปที่ 12 การเปรียบเทียบ Percent credit ระหว่างมาตรฐาน 102

รูปที่ 13 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่ 112

รูปที่ 14 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก 113

รูปที่ 15 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า 116

รูปที่ 16 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม 117

รูปที่ 17 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่ 121

รูปที่ 18 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก 123

รูปที่ 19 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า 124

รูปที่ 20 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม 125

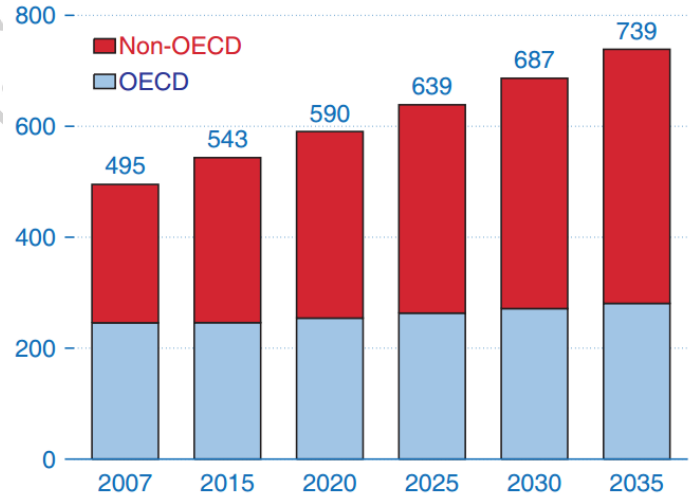
รูปที่ 21 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ 129
รูปที่ 22 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก 130
รูปที่ 23 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า..... 132
รูปที่ 24 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม..... 133
รูปที่ 25 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ 137
รูปที่ 26 แนวโน้มเงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES .. 138
รูปที่ 27 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก..... 140
รูปที่ 28 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า..... 141
รูปที่ 29 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม..... 143
รูปที่ 30 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่..... 144
รูปที่ 31 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่ 145
รูปที่ 32 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่ 145
รูปที่ 33 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่ 146
รูปที่ 34 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่ 146
รูปที่ 35 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่ 147
รูปที่ 36 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 147
รูปที่ 37 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 148
รูปที่ 38 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ... 148
รูปที่ 39 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดเล็ก 149
รูปที่ 40 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 149

รูปที่ 41 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดเล็ก 150
รูปที่ 42 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของศูนย์การค้า..... 150
รูปที่ 43 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของศูนย์การค้า 151
รูปที่ 44 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของศูนย์การค้า 151
รูปที่ 45 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของศูนย์การค้า 152
รูปที่ 46 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของศูนย์การค้า 152
รูปที่ 47 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของศูนย์การค้า 153
รูปที่ 48 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของโรงแรม 154
รูปที่ 49 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของโรงแรม 154
รูปที่ 50 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของโรงแรม 155
รูปที่ 51 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของโรงแรม 155
รูปที่ 52 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของโรงแรม.... 156
รูปที่ 53 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของโรงแรม 156

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบัน พบว่า การใช้พลังงานของโลกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี สังเกตได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานของโลกในช่วง ค.ศ. 2007 – 2035 ในรูปที่ 1 จะเห็นว่าในปัจจุบันมีความต้องการพลังงานประมาณ 543 Quadrillion Btu โดยเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 9.69% เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2007 และในอนาคตยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 36% ในปี ค.ศ. 2035 เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2015 [1] ในขณะเดียวกันพลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ แต่แหล่งพลังงานมีอยู่อย่างจำกัด ประเทศต่างๆ จึงให้ความสำคัญต่อการแสวงหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น และลดการใช้แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงน้อยลง เช่น รัฐบาลอินเดียได้วางแผนพัฒนาไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตั้งงบประมาณไว้ถึง 1 แสนล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อสนับสนุนการลงทุนจากต่างประเทศเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ถึง 100 กิกะวัตต์ในปี 2565 [2] เป็นต้น

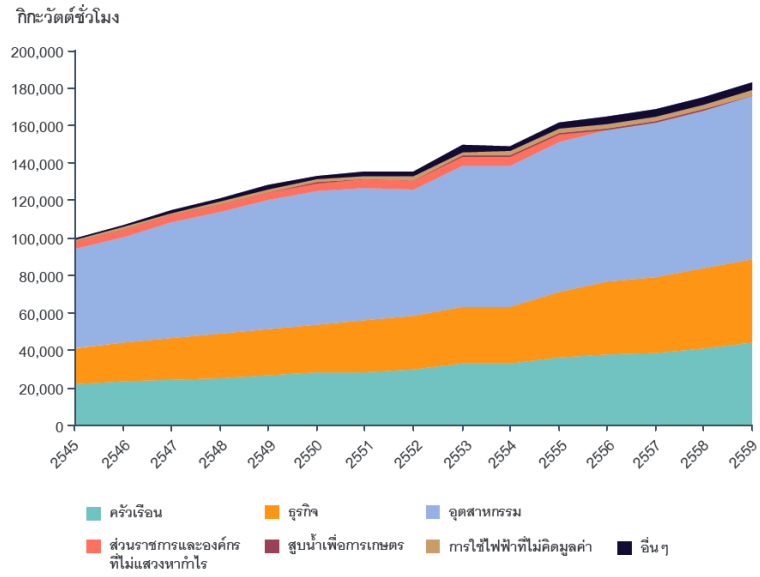


รูปที่ 1 แนวโน้มการใช้พลังงานของโลก ปี ค.ศ. 2007 – 2035 [1]

สำหรับประเทศไทยนั้น การใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยหากพิจารณาในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า ในเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2560 การใช้พลังงานมีปริมาณ 66,074 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2559 คิดเป็น 0.4% ซึ่งมีมูลค่ากว่า 856,911 ล้านบาท โดยน้ำมันสำเร็จรูปและไฟฟ้าจัดเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้มากที่สุด คิดเป็นปริมาณ 50.6% และ 21.0% ตามลำดับ [3]

รูปที่ 2 มูลค่าการใช้พลังงานในเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2560 [3]

หากพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี โดยจากสถานการณ์การใช้พลังงานปี พ.ศ. 2559 รูปที่ 3 พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 182,847 กิกะวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2558 เท่ากับ 4.6% โดยภาคครัวเรือน และภาคธุรกิจ มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 24.0% และ 24.4% ตามลำดับ ส่วนภาคอุตสาหกรรมมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 47.5% [4] ซึ่งหากพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือนและอาคารพาณิชย์ พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกใช้ในระบบปรับอากาศเป็นหลัก นอกจากนี้การใช้พลังงานไฟฟ้าในครัวเรือนและอาคารพาณิชย์จะถูกใช้ในระบบแสงสว่าง และเครื่องใช้สำนักงานต่างๆ [5] ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 การใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาของปี 2559 [4]

ตารางที่ 1 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร [5]

ประเภทอาคาร	ระบบปรับอากาศ	ระบบแสงสว่าง	เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ
อาคารสำนักงาน	50	25	25
โรงแรม	61	15.3	23.7
สถานพยาบาล	77.5	14.7	7.8

การใช้พลังงานภายในอาคารย่อมส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การปลดปล่อยคาร์บอนภายในอาคารสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นตัวการของปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นต้น ในหลายๆ ประเทศได้มีความตระหนักการใช้พลังงานของอาคารต่อสิ่งแวดล้อมจึงได้มีการจัดตั้งองค์กรต่างๆ เพื่อควบคุมก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยเพิ่มศักยภาพในการทำงานและสุขภาพของผู้ใช้อาคารที่ดีขึ้น โดยในปี ค.ศ. 1996 Hong Kong Green Building Council Limited (HKGBC) ได้พัฒนาระบบอาคารเขียวโดยใช้ชื่อว่า Hong Kong Building Environmental Assessment Method, HK-BEAM [6] และต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น BEAM Plus โดยมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องและมีการปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อปี ค.ศ. 2012 [7] ในสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดตั้งองค์กรเอกชนขึ้นโดยใช้ชื่อว่า US Green Building Council (USGBC) โดยจุดมุ่งหมาย คือ การที่จะปรับเปลี่ยนการออกแบบอาคาร การก่อสร้าง และการใช้สอยจากรูปแบบเดิม ไปสู่รูปแบบที่ยั่งยืนบน

ผลตอบแทนที่ดี ทั้งในโลกธุรกิจและโลกของสิ่งแวดล้อม โดยมีการพัฒนาระบบการแบ่งลำดับขั้นเป็นมาตรฐานและลำดับคะแนน ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ชื่อเรียกว่า Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) โดย LEED 1.0 ได้มีการสร้างขึ้นในปี ค.ศ.1998 (Lee and Burnett, 2008) และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันได้พัฒนาเป็น LEED 2013 V. 4 [8]

สำหรับในประเทศไทยได้มีการก่อตั้ง “สถาบันอาคารเขียวไทย” ขึ้นเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาโครงการอาคารเขียว และได้มีการจัดทำแนวทางการประเมินอาคารเขียวของไทยขึ้นมา ชื่อว่า Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation (TREES – NC) ซึ่งจะมุ่งในส่วนของการก่อสร้างอาคารใหม่หรือการปรับปรุงอาคารครั้งใหญ่ โดยมีการปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2555 [9]

มาตรฐานอาคารเขียวของไทย (TREES - NC 1.1) จะแบ่งการประเมินอาคารออกเป็น 4 ระดับ คือ Certified (ระดับผ่านเกณฑ์) 30 - 37 คะแนน, Silver (ระดับเงิน) 38 - 45 คะแนน, Gold (ระดับทอง) 46 – 60 คะแนน และ Platinum (ระดับแพลทินัม) 61 คะแนนขึ้นไป ซึ่งคะแนนที่ได้จะประเมินจากเกณฑ์โดยจะแบ่งออกเป็น 8 หมวด [9] คือ

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building management)

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and landscape)

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water conservation)

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and atmosphere)

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรการก่อสร้าง (Material and resources)

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายใน (Indoor environmental quality)

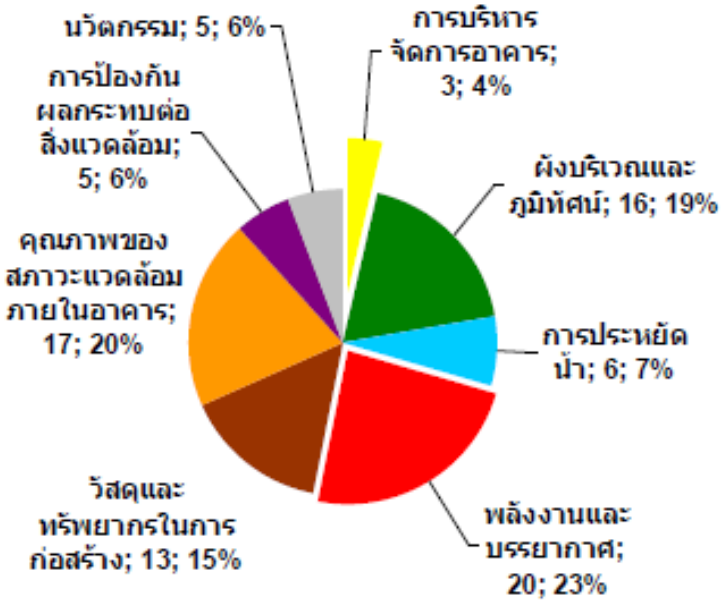
หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental protection)

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green innovation)

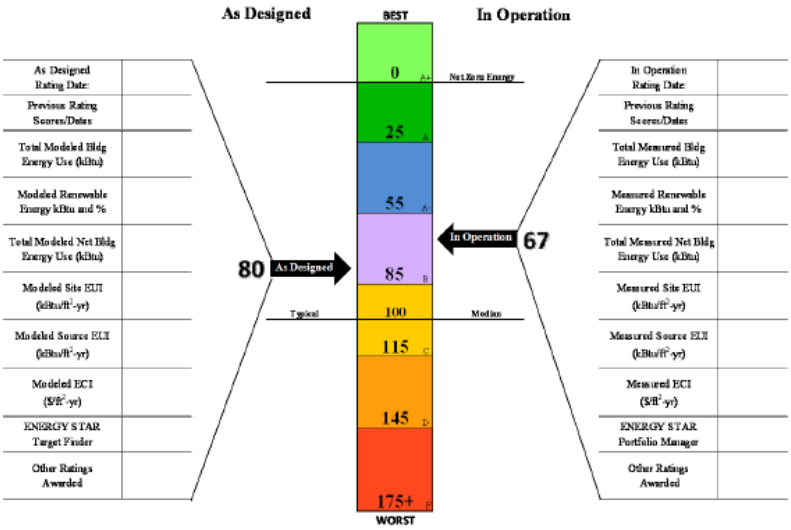
รวมทั้ง 8 หมวด มีคะแนนทั้งหมด 85 คะแนน ซึ่งแต่ละหมวดจะมีสัดส่วนคะแนนไม่เท่ากันดังรูปที่ 4 และมีเกณฑ์บังคับในแต่ละหมวดรวม 9 ข้อบังคับ ซึ่งการผ่านมาตรฐานอาคารเขียวจะต้องผ่านข้อบังคับทั้ง 9 ข้อนี้ จึงจะสามารถประเมินคะแนนในระดับต่างๆ ได้ [9]

ในปี ค.ศ. 2011 The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ได้พัฒนาโปรแกรมการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารของอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน (In operation rating) เพื่อใช้ประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารกับฐานข้อมูลอาคารตัวอย่าง (Median EUI) ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 ASHRAE ได้พัฒนาโปรแกรมการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารของการก่อสร้างอาคารใหม่ (As designed rating) โดยแบ่งระดับการประเมินออกเป็น 7 ระดับ (ASHRAE Building Energy Quotient, 2012) คือ Unsatisfactory (F, > 145), Inefficient (D, > 116 - 145), Average (C, 86 - 115), Efficient (B, 56 – 85), Very efficient

(A-, 26 – 55), High performance (A, 1 – 25), Zero net energy (A+, ≤ 0) [10] ซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 สัดส่วนคะแนนของ TREE NC V 1.1 [10]



รูปที่ 5 เกณฑ์การให้คะแนนของ Building EQ [10]

ตารางที่ 3 ได้แสดงการเปรียบเทียบรายละเอียดการประเมินอาคารเขียวของมาตรฐาน LEED V. 4 – 2013, BEAM Plus V. 1.2, TREES V. 1.1 และ Building EQ จะเห็นได้ว่ามาตรฐาน LEED, BEAM

Plus และ TREES มีระดับการรับรองและน้ำหนักของหมวดการประเมินที่แตกต่างกัน และมีระดับคะแนนของหมวดพลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับหมวดอื่นๆ โดยคิดเป็น 30%, 32.8%, 15% และ 23.5% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การทำอาคารให้เป็นอาคารเขียวตามหมวดพลังงานของมาตรฐาน จะส่งผลต่อระดับคะแนนที่เพิ่มขึ้นของมาตรฐานอาคารเขียวมากสุดเมื่อเทียบกับหมวดอื่นๆ และส่งผลให้อาคารมีการใช้พลังงานน้อยลง ประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในประเทศจีนมีการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร Data center จำนวน 2 อาคาร ตามมาตรฐานของจีนและ ASHRAE พบว่า China Code Building และ ASHRAE Budget Building สามารถประหยัดพลังงานต่อปีได้ 27% และ 21% ตามลำดับ เทียบกับอาคารอ้างอิงและคิดเป็น 4 คะแนนของ LEED credit energy performance [11] ในประเทศอินเดียได้มีการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารตามมาตรฐาน LEED ซึ่งพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 34% และมีมูลค่าการใช้พลังงานลดลง 8.5% [12] ในสวีเดนมีการศึกษาถึงความเต็มใจจ่ายสำหรับอพาร์ทเมนต์สีเขียวโดยพิจารณาเงื่อนไขระหว่างอาคารที่มีการใช้พลังงานต่ำกับอาคารที่ได้รับการรับรองจากมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด 477 กลุ่มที่อาศัยอยู่ในอาคารทั่วไปและอาคารเขียว ซึ่งพบว่าผลตอบรับจากกลุ่มเป้าหมายมีความเต็มใจจ่ายเงินเพิ่มขึ้นสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานต่ำ แต่ไม่มีความเต็มใจจ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับอาคารที่ได้รับการรับรองด้านสิ่งแวดล้อม โดยผู้เช่าส่วนใหญ่จะมีความเต็มใจจ่ายเพิ่มขึ้นในกรณีที่สามารถมองเห็นประโยชน์ที่เกิดขึ้นได้ [13]

ในประเทศไทยนั้น มีการประเมินความคุ้มค่าของการสร้างอาคารเขียวตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารเขียวไทย (TREE NC) โดยเลือกใช้อาคารสำนักงานเป็นอาคารกรณีฐานจำนวน 1 อาคาร โดยพบว่าควรปรับปรุงอาคารให้ผ่านการรับรองระดับฉลากเงิน ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 30.20% ลดการใช้น้ำประปาได้ 66.70% โดยต้องลงทุนเพิ่ม 4.36% ซึ่งทำให้มีระยะคืนทุน 4.42 ปี [14] และมีการศึกษาการประเมินอาคารสำนักงาน 1 อาคาร เป็นอาคารกรณีฐานเพื่อประเมินผลประหยัดพลังงานตามมาตรฐานอาคารเขียวไทย พบว่าอาคารกรณีฐานที่ไม่ผ่านการปรับปรุงจะใช้พลังงานอยู่ที่ 347.97 GJ คิดเป็น 23 คะแนน ซึ่งไม่ผ่านการรับรองตามมาตรฐานอาคารเขียวไทย และเมื่อมีการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารเขียวที่ผ่านการรับรอง จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ 30.02% จากอาคารกรณีฐาน [15] เป็นต้น จากการพิจารณางานวิจัยของนันทวรรณ หิรัญญาการ และลดาวัลย์ ตั้งวิชัย [14] และงานวิจัยของนพดล กิตติวรรณโชติ, จันทกานต์ ประคองใจ [15] บ่งชี้ว่าหมวดที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายของอาคารที่สามารถประหยัดได้จริงในมาตรฐานอาคารเขียวคือ หมวดพลังงานและการใช้น้ำ โดยถ้าหากพิจารณาว่าสร้างอาคารเขียวและจะคุ้มหรือไม่คุ้มต่อการลงทุน ควรพิจารณาจากหมวดพลังงานและหมวดการใช้น้ำเป็นหลัก โดยเฉพาะหมวดพลังงานซึ่งเป็นหมวดที่มีผลประโยชน์ตอบแทนในรูปของผลประหยัดต่อระดับคะแนนสูงสุดและมีผลต่อความเต็มใจจ่ายของผู้เช่าและผู้ซื้อมากที่สุด

ในขณะเดียวกัน Building EQ เป็นโปรแกรมการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารโดยเฉพาะ ซึ่งมีการประเมินการใช้พลังงานที่เข้มงวด โดยมีวัตถุประสงค์สูงสุดของแบบประเมิน คือ อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (*Net zero energy*) ดังนั้นระดับคะแนนที่ได้จึงเป็นตัวบ่งชี้สมรรถนะการใช้พลังงานของอาคาร ศักยภาพในการทำงานและสุขภาพของผู้ใช้อาคาร โดย Building EQ มีหลักการประเมิน คือ การเปรียบเทียบอาคารประเมินกับอาคารทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกาผ่านข้อมูลการดำเนินการของอาคารที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน

ในการออกแบบอาคาร การเลือกใช้มาตรฐานการรับรองด้านสิ่งแวดล้อม ถือเป็นเหตุผลสำคัญต่อการออกแบบ เนื่องจากมาตรฐานการรับรองด้านสิ่งแวดล้อมในแต่ละมาตรฐานมีการกำหนดความต้องการและกฎเกณฑ์ที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้มาตรฐานการรับรองด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารจึงควรเป็นไปตามความต้องการของเจ้าของอาคารหรือผู้ออกแบบ เช่น ถ้าต้องการสร้างอาคารตามมาตรฐานอาคารเขียวซึ่งมีเนื้อหาการประเมินครอบคลุมหลายหมวดการประเมินควรเลือกใช้มาตรฐานอาคารเขียว LEED, BEAM Plus และ TREES แต่ถ้าต้องการสร้างอาคารเน้นด้านพลังงานควรเลือกใช้ Building EQ ในการประเมิน เป็นต้น สำหรับในกรณีต้องการสร้างอาคารเพื่อทำคะแนนตามมาตรฐานอาคารเขียว LEED, BEAM Plus และ TREES ควรจะต้องพิจารณาจากหมวดพลังงานเป็นหลักเนื่องจากเป็นหมวดที่ให้ผลตอบแทนเป็นตัวเงินชัดเจนกว่าหมวดอื่นๆ และเป็นหมวดที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในระยะยาวของอาคาร ซึ่งในแต่ละมาตรฐานมีความต้องการในการประเมินและระดับคะแนนของหมวดพลังงานที่แตกต่างกัน นำไปสู่ผลการประเมินที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ในฮ่องกงได้มีการศึกษาเปรียบเทียบอาคารอ้างอิงโดยใช้อาคารสำนักงานในการประเมินภายใต้มาตรฐาน HK – BEAM, BREEAM, LEED พบว่า การประเมินของหมวดพลังงานตามมาตรฐาน HK – BEAM และ LEED ส่งผลให้ระดับคะแนนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น ในขณะที่ BREEAM มีแนวโน้มการทำคะแนนค่อนข้างยากเมื่อเทียบกับมาตรฐาน HK – BEAM และ LEED [6] เป็นต้น

หากพิจารณาการทำคะแนนในหมวดพลังงาน สามารถทำได้จากมาตรการหลายๆ ประเภท ดังตัวอย่างตารางที่ 2 โดยประเภทของมาตรการสามารถแบ่งตามจุดประสงค์ได้เป็น 2 ประเภท คือ มาตรการเพื่อการประหยัดพลังงานและมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น ปิดระบบไฟฟ้าในเวลา 12:00 – 13:00 น. [16], ใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง [11], ใช้บัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แทนบัสลาสต์ธรรมดา [16] และใช้ระบบดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ [16] เป็นต้น แต่ถ้าแบ่งประเภทของมาตรการตามเงินลงทุน จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) ไม่ต้องลงทุน (Housekeeping) เช่น ปรับอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 26 องศาเซลเซียส [17] ปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจาก 6.2 องศาเซลเซียส เป็น 7.2 องศาเซลเซียส [16] เป็นต้น 2) ลงทุนน้อย (Minor change) เช่น ติดตั้งอุปกรณ์แบบปรับความเร็วรอบที่มอเตอร์ของปั๊ม [17] เป็นต้น 3) ลงทุนมาก (Major change) เช่น เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีค่า COP สูง [18] เป็นต้น และถ้าแบ่ง

ประเภทมาตรการตามระบบของอาคารจะสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ 1) กรอบอาคาร เช่น ติดตั้งฉนวนกันความร้อนกับหลังคาและผนังอาคาร [17] เป็นต้น 2) ระบบแสงสว่าง เช่น เปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ [16] เป็นต้น 3) อุปกรณ์ เช่น ปิดอุปกรณ์เมื่อไม่ใช้งาน [18] เป็นต้น 4) ระบบปรับอากาศ เช่น ติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ VAV [16] เป็นต้น และ 5) อื่นๆ เช่น ติดตั้งแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [19]

ตารางที่ 2 ตัวอย่างมาตรการประหยัดพลังงานในอาคาร

มาตรการ	**ประเภทอาคาร**	**ผลประหยัดด้านพลังงาน**
1. ติดตั้งฟิล์มกระจก (SC = 0.39) [16]	สำนักงาน	7.12%
2. ใช้กระจกสองชั้นหรือติดม่านภายใน [16]	โรงแรม	5.71%
3. ติดตั้งแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [19]	สถานีดับเพลิง	9.34%
4. ติดตั้ง Timer ตรวจจับคนเพื่อเปิดแสงสว่าง [19]	สถานีดับเพลิง	2.07%
5. ใช้กรอบอาคารประสิทธิภาพสูง และที่บังแดด [11]	สำนักงาน	0.23%
6. ใช้ระบบดูดความชื้น [16]	โรงพยาบาล	11.6%
7. ปิดแสงสว่างในเวลา 12:00 – 13:00 น. [16]	สำนักงาน	0.82%
8. ใช้เครื่องปรับอากาศ Split type แบบปรับความเร็วรอบได้ [17]	สำนักงาน	7.70%
9. ติดตั้งช่องว่างอากาศระหว่างผนัง 20 mm กับยิปซัม บอร์ดที่ผนัง 9 mm [16]	สำนักงาน	3.65%
10. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเคลื่อนไหว [19]	สถานีดับเพลิง	0.72%
11. เปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์ **[16]**	สำนักงาน	0.51%
12. ติดตั้ง Dimmer เพื่อวัด Daylighting [11]	สำนักงาน	2.25%
13. ใช้ระบบ Ice storage [11]	สำนักงาน	0.76%
14. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ [17]	สำนักงาน	13.67%
15. ติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วที่ผนังอาคาร [17]	สำนักงาน	7.11%

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของ LEED, BEAM Plus, TREES และ Building EQ

	LEED V. 4 - 2013	BEAM Plus V. 1.2 New buildings	TREES V 1.1	Building EQ (As designed)
องค์กรรับรอง	USGBC - U.S. Green Building Council	Hong Kong Green Building Council Limited (HKGBC)	Thai Green Building Institute, TGBI	ASHRAE
ประวัติ **เวอร์ชั่นแรก** **เวอร์ชั่นล่าสุด**	 1998 (Version 1) 2013 (Version 4)	 1996 (HK-BEAM) 2012 (BEAM Plus V1.2)	 2551 (ASA and EIT ก่อตั้งงานอาคารเขียว) 2555 (TREES – NC version 1.1)	 2011 (In operation rating launched) 2012 (As designed rating launched)
มาตรฐาน	– New construction and major renovations – Existing buildings – Commercial interiors, Core and shell, Schools, Retail, Healthcare, Homes , Neighborhood development	– New buildings – Existing buildings	– New construction – major renovations	– New buildings – Existing buildings
ระดับการรับรอง	ผ่านการรับรอง (40 – 49 points) ระดับเงิน (50 – 59 points) ระดับทอง (60 – 79 points) ระดับแพลตินัม (80 points and above)	ไม่ผ่านการรับรอง Bronze (40% overall) ระดับเงิน (55% overall) ระดับทอง (65% overall) ระดับแพลตินัม (75% overall)	ผ่านการรับรอง (30 – 37 points) ระดับเงิน (38 – 45 points) ระดับทอง (46 – 60 points) ระดับแพลตินัม (61 points and above)	ไม่ผ่านการรับรอง (F, > 145) ไม่มีประสิทธิภาพ (D, > 116 - 145) ระดับค่าเฉลี่ย (C, 86 - 115) ระดับมีประสิทธิภาพ (B, 56 – 85) ระดับมีประสิทธิภาพดี (A-, 26 – 55) ระดับที่มีประสิทธิภาพสูง (A, 1 – 25) พลังงานรวมเป็นศูนย์ (A+, ≤ 0)
หมวดการประเมินและน้ำหนักคะแนน (เมื่อใช้งาน)	กระบวนการบูรณาการ 1 ลำดับความสำคัญในระดับภูมิภาค 4 สถานที่ตั้งและการขนส่ง 16 ผังบริเวณ 10 การใช้น้ำ 11 พลังงานและบรรยากาศ 33 การใช้วัสดุ 13 คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร 16 นวัตกรรมในการออกแบบ 6	การบริหารจัดการอาคาร 22 + 3B การใช้วัสดุ 22 + 1B การใช้พลังงาน 42 + 2B การใช้น้ำ 9 + 1B คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร 32 + 3B นวัตกรรมและอื่นๆ 5B + 1	การบริหารจัดการอาคาร 3 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ 16 การประหยัดน้ำ 6 พลังงานและบรรยากาศ 20 วัสดุและทรัพยากร 13 คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร 17 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 5 นวัตกรรมการออกแบบ 5	พลังงาน 100%

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบหมวดพลังงานของ LEED, BEAM Plus, TREES และ Building EQ

	LEED V. 4 - 2013	BEAM Plus V. 1.2 New buildings	TREES V. 1.1 - 2555	Building EQ (As designed)
วิธีการ	เปอร์เซ็นต์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	ค่าพลังงาน หรือค่าใช้จ่ายพลังงาน	ดัชนีการใช้พลังงาน (EUI)
เครื่องมือการจำลอง	DOE-2, BLAST หรือ EnergyPlus หรือปฏิบัติตามเครื่องมือมาตรฐาน ASHRAE/IESNA 90.1-2010	Building Energy Code (BEC) ปฏิบัติตามเครื่องมือในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 – 2007	เครื่องมือการจำลองการใช้พลังงานหรือปฏิบัติตามเครื่องมือในมาตรฐาน ASHRAE 90.1 – 2007	ปฏิบัติตามข้อมูลที่ให้ไว้ใน Appendix G Performance Rating Method (PRM) มาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2010
ความต้องการของ baseline case	**1. Whole-building energy simulation** คำนวณประสิทธิภาพของ Baseline building ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 – 2010, Appendix G **2. Prescriptive compliance: ASHRAE Advanced Energy Design Guide** ปฏิบัติตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1–2010 **3. Prescriptive Compliance: Advanced BuildingsTM Core PerformanceTM Guide** ปฏิบัติตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1–2010	**1. Latest edition of Building Energy Cods (BEC) หรือ** **2. ASHRAE 90.1 – 2007**	**1. Whole-building simulation** ตามรายละเอียดในกฎกระทรวงและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 **2. ใช้ ASHRAE 90.1 – 2007 Appendix G** ใช้ baseline และproposed จาก ใช้ ASHRAE 90.1 – 2007 Appendix G 3. **ใช้การประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM)**	ปฏิบัติตาม Standardized Model ตาม As Designed rating
อ้างอิง	www.usgbc.org/credits (V4-LEED V4)	www.beamsociety.org.hk	สถาบันอาคารเขียวไทย (TREES V. 1.1)	http://www.buildingenergyquotient.org

เมื่อจะลงมือทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ต้องมีการเรียงลำดับว่าจะทำมาตรการใดก่อนหลัง เช่น ในงานของ นันทวรรณ หิรัญญการ, ลดาวัลย์ ตั้งวิชัย [14], เสฏฐวุฒิ สมุทรโสภากุล, อัญชร หลักบุญ [20], ฐิตานันท์ จันทร์สว่าง, มนัญญา อ้นวิเศษ [21] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าต่อการลงทุนการสร้างอาคารเขียวว่าระดับฉลากใดจึงจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด ได้เรียงลำดับมาตรการเป็น 4 กลุ่ม ด้วยหลักแนวคิดว่า เรียงจาก ไม่ลงทุน แต่ได้ผลประหยัด, ไม่ลงทุน ไม่ได้ผลประหยัด, ลงทุน แต่ได้ผลประหยัด และลงทุน ไม่ได้ผลประหยัด พบว่า ระดับทอง (Gold) คุ้มสุด แต่ในความเป็นจริงสามารถเรียงลำดับมาตรการได้หลายแบบ เช่น เรียงจาก เงินลงทุนน้อยก่อน ประหยัดมากก่อน คืนทุนเร็วก่อน เป็นต้น ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับลำดับการเรียงมาตรการก่อนหลัง โดยอาจเป็นไปได้ว่า การเรียงลำดับมาตรการในแนวทางข้างต้น อาจทำให้โครงการ มีความคุ้มค่าที่ระดับ Gold แต่การเรียงลำดับมาตรการแบบอื่น อาจจะคุ้มที่ระดับฉลากอื่นก็เป็นไปได้

ในงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจศึกษาระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสมของอาคารจากการเรียงลำดับมาตรการที่ต่างกันโดยจะเรียงลำดับมาตรการทั้งหมด 6 แบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) การเรียงลำดับมาตรการขั้นต้น (Primary) ซึ่งประกอบด้วย ผลประหยัดด้านพลังงาน เงินลงทุน และระดับคะแนน 2) การเรียงลำดับมาตรการขั้นที่สอง (Secondary) ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน NPV และ IRR ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อาคาร 3 ประเภท ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย ได้แก่ อาคารสำนักงาน 2 แห่ง ห้างสรรพสินค้า 1 แห่ง และโรงแรม 1 แห่ง โดยเลือกใช้ LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2, TREES V. 1.1 และ Building EQ เป็นเครื่องมือในการประเมินระดับคะแนน และกำหนดให้อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบเงินลงทุนต่อระดับคะแนน ณ จุดคุ้มทุนของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ห้างสรรพสินค้า และโรงแรม เมื่อเรียงมาตรการตามดัชนี 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบเงินลงทุนต่อระดับคะแนนของมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2, TREES V. 1.1 และ Building EQ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษามาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ)

1.3.2 ใช้อาคารสำนักงานขนาดเล็ก อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ห้างสรรพสินค้า และโรงแรม (อาคารใหม่) เป็นอาคารตัวอย่างในการประเมินระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคาร

1.3.3 มีการตั้งสมมติฐานที่จำเป็น ในการประเมินระดับคะแนนของหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว คือ สถานที่ตั้งของอาคารตั้งในจังหวัดนครปฐม และอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก

1.3.4 ใช้โปรแกรม EnergyPlus V.7.0.0.036 ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร

1.3.5 ใช้ข้อมูลสภาพอากาศในประเทศไทยในการวิเคราะห์

13.6 อาคารมีการใช้พลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว

13.7 อาคารมีอายุการใช้งาน 20 ปี

13.8 จุดที่เหมาะที่สุด กำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมากจนไม่คุ้มที่จะทำเพิ่ม ส่วนการเรียงลำดับมาตรการจะเรียงทั้งหมด 6 แบบ คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบว่าเมื่อต้องการทำมาตรการประหยัดพลังงานให้ถึงจุดคุ้มค่าต่อการลงทุน จะต้องเรียงลำดับมาตรการแบบใดจึงจะเหมาะสุด

1.4.2 ทราบถึงมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบอาคาร เมื่อพิจารณาเงินลงทุนต่อแต้มเป็นหลัก

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษามาตรฐานการประเมินอาคารเขียวของ ฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ) และมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 นำแบบอาคารตัวอย่างมาประเมินระดับคะแนนของหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว โดยอาจต้องตั้งสมมติฐานที่จำเป็นเพื่อให้ครอบคลุมตามหมวดพลังงานที่ใช้ในการประเมิน

1.5.3 คำนวณหาค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ทำตามมาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ) เพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง

1.5.4 วิเคราะห์หาระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดของอาคาร โดยพิจารณาจากจุดคุ้มทุน โดยกำหนดให้ใช้เงื่อนไขที่จุดคุ้มทุนว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้คะแนนที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมาก ส่วนการเรียงลำดับมาตรการจะเรียงทั้งหมด 6 แบบ คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานอาคารเขียวที่ใช้ในการศึกษา คือ มาตรฐานอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฮ่องกง ไทย และ ASHRAE เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการประเมินระดับของความเป็นอาคารเขียว และมาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร และได้กล่าวถึงโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณพลังงานภายในอาคาร โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

2.1 มาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V. 4)

2.2 มาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus Version V. 1.2)

2.3 เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารของ ASHRAE (Building EQ)

2.4 เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES V. 1.1)

2.5 โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus Version 7.0.0.036

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V.4)

การออกแบบเพื่อความเป็นผู้นำทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) เป็นมาตรฐานการประเมินอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา ที่ตระหนักถึงวิธีการปรับเปลี่ยนการออกแบบ โครงสร้าง การบำรุงรักษา และการดำเนินการของอาคารทั่วโลกให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาคารที่ได้รับการรับรองของ LEED จะสามารถประหยัดเงิน ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และมีผลกระทบเชิงบวกต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร ในขณะที่มีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานที่สะอาด [8]

องค์กร United Stated Green Building Council (USGBC) ได้พัฒนาเกณฑ์การประเมินการออกแบบเพื่อความเป็นผู้นำทางด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม (Leadership in Energy

and Environmental Design, LEED) ในปี 1998 โดยใช้ชื่อว่า LEED New Construction V. 1.0 แล้วปรับปรุงเป็น LEED New Construction V. 2.0 และ LEED New Construction V. 2.2 ในปี 2005 ต่อมาในปี 2009 ได้ปรับปรุงเป็น LEED V. 3 (ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น LEED 2009) และล่าสุดในปี 2013 ได้รับการแก้ไขเป็น LEED V. 4 ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ล่าสุดเพื่อการออกแบบอาคารเขียวที่มีประสิทธิภาพสูง โดย LEED V. 4 จะมีความโดดเด่นและมีความเฉพาะมากขึ้น ในปัจจุบัน อาคารที่ได้รับการออกแบบใหม่สามารถเลือกใช้เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว LEED ได้ 2 เกณฑ์ คือ LEED 2009 และ LEED V. 4

การประเมินของมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4 ได้ถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้กับอาคารได้หลายประเภท โดยได้จัดทำเกณฑ์การประเมินที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ประเภท คือ

— เกณฑ์การประเมินสำหรับอาคารออกแบบใหม่ หรือมีการปรับปรุงใหญ่ (LEED for Building Design and Construction, LEED BD + C)

— เกณฑ์การประเมินแนวทางการตกแต่งภายในสำหรับผู้เช่าอาคารและผู้ออกแบบ (Interior Design and Construction, LEED ID + C)

— เกณฑ์การประเมินสำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วที่ต้องการดูแลอาคารให้เป็นอาคารเขียว (Building Operations and Maintenance, LEED O + M)

— เกณฑ์การประเมินแนวทางการพัฒนาชุมชน หมู่บ้าน การเข้าถึงบริการขนส่งสาธารณะ และการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับพื้นที่พาณิชยกรรม (Neighborhood Development, LEED ND)

— เกณฑ์การประเมินสำหรับบ้านพักอาศัย (LEED for Homes)

เนื่องจากเกณฑ์การประเมินของ LEED มีเกณฑ์การประเมินที่แตกต่างกันในแต่ละมาตรฐานโดยที่นี้ จะขอกล่าวเฉพาะเกณฑ์การประเมินของ LEED New Construction V. 4 ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้

2.1.1 ลักษณะเด่นของมาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V. 4)

— มุ่งเน้นรายละเอียดวัสดุของอาคารซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีผลต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

— ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารเพื่อความสบายของผู้ใช้อาคาร

— ให้ภาพที่ชัดเจนของประสิทธิภาพการใช้น้ำ โดยการประเมินการใช้น้ำทั้งหมดของอาคาร

2.1.2 การรับรองการประเมินและหมวดการรับรองของมาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V. 4)

เกณฑ์การประเมินของ LEED V. 4 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เกณฑ์บังคับและเกณฑ์ที่มีคะแนน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 เกณฑ์บังคับ (Prerequisite) เกณฑ์บังคับนี้ไม่มีคะแนนให้ แต่ต้องผ่านทุกเกณฑ์ เช่น ประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศภายในอาคารขั้นต่ำ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ เป็นต้น ถ้าไม่ผ่านจะไม่สามารถเป็นอาคารเขียวได้

2.1.2.2 เกณฑ์ที่มีคะแนน เป็นเกณฑ์ที่มีคะแนนให้ โดยในแต่ละหมวดมีระดับคะแนนไม่เท่ากัน เช่น หมวดพลังงานและบรรยากาศ มีคะแนนรวม 33 คะแนน ในระหว่างที่หมวดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ มีระดับคะแนน 11 คะแนน เป็นต้น

โดยมาตรฐานการประเมินอาคารเขียว LEED New Construction V. 4 สามารถแบ่งการประเมินออกเป็น 8 หมวดหลัก โดยมีเกณฑ์บังคับรวม 12 ข้อ และเกณฑ์ที่มีคะแนนรวม 110 คะแนน ดังนี้

กระบวนการบูรณาการ	1	คะแนน
หมวดที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง	16	คะแนน
หมวดที่ 2 สถานที่ตั้งเพื่อความยั่งยืน	10	คะแนน
หมวดที่ 3 การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	11	คะแนน
หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ	33	คะแนน
หมวดที่ 5 วัสดุและการก่อสร้าง	13	คะแนน
หมวดที่ 6 คุณภาพสภาพแวดล้อมอาคาร	16	คะแนน
หมวดที่ 7 นวัตกรรมในการออกแบบ	6	คะแนน

หมวดที่ 8 การจัดอันดับความสำคัญในระดับภูมิภาค 4 คะแนน

สำหรับอาคารที่ผ่านการรับรองอาคารเขียวนั้น จะต้องผ่านเกณฑ์บังคับครบทุกข้อ และได้คะแนนในหมวดต่างๆ รวมกันอย่างน้อย 40 คะแนน ตามระดับความเป็นอาคารเขียวดังนี้

Certified	40 - 49	คะแนน
Silver	50 - 59	คะแนน
Gold	60 - 79	คะแนน
Platinum	80 - 110	คะแนน

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ LEED NC

รายละเอียด	**ระดับคะแนน**
Credit กระบวนการบูรณาการ	1
หมวดที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง (Location and transportation)	**16**
LT Credit LEED สำหรับการพัฒนาพื้นที่ใกล้เคียง	16
LT Credit การป้องกันที่ดินที่มีความสำคัญ	1
LT Credit พื้นที่ที่มีความสำคัญสูง	2
LT Credit ความหนาแน่นโดยรอบและการใช้งานที่หลากหลาย	5
LT Credit การเข้าถึงของการขนส่งที่มีคุณภาพ	5
LT Credit สิ่งอำนวยความสะดวกของรถจักรยาน	1
LT Credit การลด Footprint ของโรงจอดรถ	1
LT Credit ยานพาหนะเขียว	1
หมวดที่ 2 สถานที่ตั้งเพื่อความยั่งยืน (Sustainable sites)	**10**
SS Credit การป้องกันมลพิษจากกิจกรรมการก่อสร้าง	ข้อบังคับ
SS Credit การประเมินพื้นที่ของโครงการ	1
SS Credit การพัฒนาโครงการ – การป้องกันหรือการเรียกคืนที่อยู่อาศัย	2
SS Credit พื้นที่เปิดโล่ง	1
SS Credit การจัดการน้ำฝน	3
SS Credit การลดเกาะความร้อน	2
SS Credit การลดมลพิษจากแสง	1

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ LEED NC (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
หมวดที่ 3 การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water efficiency)	**11**
WE Credit การลดการใช้น้ำภายนอกอาคาร	ข้อบังคับ
WE Credit การลดการใช้น้ำภายในอาคาร	ข้อบังคับ
WE Credit การวัดระดับน้ำของอาคาร	ข้อบังคับ
WE Credit การลดการใช้น้ำนอกอาคาร	2
WE Credit การลดการใช้น้ำในอาคาร	6
WE Credit การใช้น้ำใน Cooling tower	2
WE Credit การวัดระดับน้ำ	1
หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and atmosphere)	**33**
EA Credit การตรวจสอบพื้นฐาน	ข้อบังคับ
EA Credit ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ	ข้อบังคับ
EA Credit การวัดระดับพลังงานของอาคาร	ข้อบังคับ
EA Credit การจัดการสารทำความเย็นพื้นฐาน	ข้อบังคับ
EA Credit การตรวจสอบเพิ่มเติม	6
EA Credit ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด	18
EA Credit การวัดพลังงานขั้นสูง	1
EA Credit การตอบสนองต่อความต้องการ	2
EA Credit การผลิตพลังงานทดแทน	3
EA Credit การจัดการสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น	1
EA Credit พลังงานเขียวและคาร์บอนออฟเซ็ต	2
หมวดที่ 5 วัสดุและการก่อสร้าง (Materials and resources)	**13**
MR Credit การจัดเก็บและการรวบรวมของรีไซเคิล	ข้อบังคับ
MR Credit การก่อสร้างและการจัดการของเสียการรื้อถอน	ข้อบังคับ

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ LEED NC (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
MR Credit วงจรอาคาร - การลดผลกระทบต่อวงจร	5
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - คำประกาศด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์	2
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - การจัดหาวัตถุดิบ	2
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - ส่วนผสมวัสดุ	2
MR Credit การจัดการของการก่อสร้างและการรื้อถอนเสีย	2
หมวดที่ 5 วัสดุและการก่อสร้าง (Materials and resources)	**13**
MR Credit การจัดเก็บและการรวบรวมของรีไซเคิล	ข้อบังคับ
MR Credit การก่อสร้างและการจัดการของเสียการรื้อถอน	ข้อบังคับ
MR Credit วงจรอาคาร - การลดผลกระทบต่อวงจร	5
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - คำประกาศด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์	2
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - การจัดหาวัตถุดิบ	2
MR Credit การเปิดเผยข้อมูลผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของอาคาร - ส่วนผสมวัสดุ	2
MR Credit การจัดการของการก่อสร้างและการรื้อถอนเสีย	2
หมวดที่ 6 คุณภาพสภาพแวดล้อมอาคาร (Indoor environmental quality)	**16**
EQ Credit ประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศภายในอาคารขั้นต่ำ	ข้อบังคับ
EQ Credit การควบคุมควันบุหรี่ของสิ่งแวดล้อม	ข้อบังคับ
EQ Credit การปรับปรุงกลยุทธ์คุณภาพอากาศภายในอาคาร	3

ตารางที่ 5 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ LEED NC (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
EQ Credit วัสดุที่มีการปลดปล่อยรังสีต่ำ	2
EQ Credit การวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร	1
EQ Credit การประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร	2
EQ Credit ภาวะความสบาย	1
EQ Credit ระบบแสงสว่างภายในอาคาร	2
EQ Credit แสงธรรมชาติ	3
EQ Credit คุณภาพการมองเห็น	1
EQ Credit ประสิทธิภาพของเสียง	1
หมวดที่ 7 นวัตกรรมในการออกแบบ (Innovation)	**6**
Credit นวัตกรรมในการออกแบบ	5
Credit การรับรองของ LEED แบบมืออาชีพ	1
หมวดที่ 8 การจัดอันดับความสำคัญในระดับภูมิภาค (Regional priority)	**4**
Credit การจัดลำดับความสำคัญในภูมิภาค: คะแนนที่เฉพาะเจาะจง	
Credit การจัดลำดับความสำคัญในภูมิภาค: คะแนนที่เฉพาะเจาะจง	1
Credit การจัดลำดับความสำคัญในภูมิภาค: คะแนนที่เฉพาะเจาะจง	1
Credit การจัดลำดับความสำคัญในภูมิภาค: คะแนนที่เฉพาะเจาะจง	1
	1
รวม	**110**

ในงานวิจัย “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” นี้ จะขอกล่าวรายละเอียดของหมวดพลังงานเป็นหลัก เนื่องจากเป็นรายละเอียดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.3 หมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียวของสหรัฐอเมริกา (LEED V. 4)

2.1.3.1 Fundamental commissioning and verification (บังคับ) มีการทดสอบระบบพลังงานภายในอาคาร และแต่งตั้งผู้รับผิดชอบในการทดสอบ (Commissioning authority, C_xA) โดยผู้ทดสอบจะต้องมีประสบการณ์อย่างน้อย 2 โครงการ และต้องไม่เป็นบุคคลเดียวกับผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา สำหรับโครงการขนาดเล็กกว่า 20,000 ตารางฟุต (1,860 ตารางเมตร) C_xA อาจจะเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิของการออกแบบหรือทีมงานก่อสร้าง แต่ไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม C_xA จะต้องรายงานผลการดำเนินงานโดยตรงกับเจ้าของโครงการ ซึ่งสิ่งที่ผู้รับผิดชอบในการทดสอบระบบจะต้องทำคือ

- ทบทวน OPR, BOD และการออกแบบของโครงการ
- พัฒนาและวางแผนการทดสอบระบบ
- ยืนยันความต้องการในการทดสอบระบบในเอกสารการก่อสร้าง
- พัฒนารายการการตรวจสอบการก่อสร้าง
- พัฒนาขั้นตอนการทดสอบระบบ
- ตรวจสอบการดำเนินการทดสอบระบบ
- เก็บปัญหาและผลประโยชน์ตลอดกระบวนการทดสอบระบบอาคาร
- จัดทำรายงานกระบวนการทดสอบระบบ
- จัดทำเอกสารผลการทดสอบและข้อเสนอแนะทั้งหมดเพื่อรายงานแก่เจ้าของอาคาร

2.1.3.2 Minimum energy performance (บังคับ) อาคารจะต้องมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งทำได้โดยการจำลองค่าพลังงานของอาคารทั้งหมด (Whole building simulation) ด้วยโปรแกรมการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แล้วนำประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่ออกแบบมาเปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิง (Baseline building) ที่ทำตามวิธีการคำนวณใน ASHRAE 90.1 – 2010 Appendix G ทั้งนี้อาคารต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่ออกแบบสูงกว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิง 5% สำหรับอาคารใหม่ 3% สำหรับอาคารที่มีการปรับปรุงใหม่และ 2% สำหรับโครงการที่พิจารณาเฉพาะแกนและเปลือกอาคาร (Core and shell)

สำหรับอาคารสำนักงานที่มีขนาดเล็กกว่า 100,000 ตารางฟุต (9,290 ตารางเมตร) อาจปฏิบัติตาม ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings หรือทำตามข้อกำหนดใน Advanced Buildings™ Core Performance™ Guide แต่สามารถใช้กับโครงการที่มีขนาดไม่เกิน 100,000 ตารางฟุต (9,290 ตารางเมตร) เท่านั้น และไม่สามารถใช้ได้กับโครงการของห้องปฏิบัติการ สถานพยาบาล และคลังสินค้าได้

2.1.3.3 Building - level energy metering (บังคับ) มีการติดตั้งระบบการวัดการใช้พลังงานรวมของอาคาร หรือมีการติดตั้งระบบการวัดการใช้พลังงานย่อยแล้วนำมารวมกันเพื่อเป็นตัวแทนแสดงการใช้พลังงานรวมของอาคาร แบ่งปันของมูลการใช้พลังงานรวมและข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคารให้กับองค์กร USGBC เป็นเวลา 5 ปี นับตั้งแต่วันที่โครงการได้รับการรับรองโดย LEED โดยขั้นต่ำแล้ว จะต้องมีการติดตามการใช้พลังงานเป็นเวลาอย่างน้อย 1 เดือน โดยทั่วไปการดำเนินการนี้จะต้องดำเนินการเป็นเวลา 5 ปี หรือจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเจ้าของอาคารหรือผู้เช่า

2.1.3.4 Fundamental refrigerant management (บังคับ) ไม่ใช้สารทำความเย็นชนิดคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ในระบบการระบายความร้อน ระบบปรับอากาศ และเครื่องทำความเย็นระบบใหม่ หากใช้ระบบเก่าจะต้องนำเอาสาร CFC ออกจากระบบเก่าให้หมดก่อนโครงการเสร็จสิ้น ส่วนหน่วยทำความเย็นขนาดเล็กและระบบอื่นๆ ที่มีสารทำความเย็นน้อยกว่า 225 กรัม จะได้รับการยกเว้น

2.1.3.5 Enhanced commissioning (2 – 6 คะแนน) เป็นกระบวนการทดสอบระบบเพิ่มเติมซึ่งสามารถเลือกปฏิบัติได้ 2 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 Enhanced systems commissioning **(**3 - 4 คะแนน**)**

ตัวเลือกที่ 1 Enhanced commissioning **(**3 คะแนน**)** กระบวนการทดสอบระบบจะต้องเป็นตาม ASHRAE Guideline 0–2005 และ ASHRAE Guideline 1.1–2007 โดยผู้ทดสอบระบบควรทำดังนี้

- ทบทวนเอกสารของผู้รับเหมา
- ตรวจสอบความต้องการของระบบในเอกสารการก่อสร้าง
- ตรวจสอบความต้องการการฝึกอบรมในเอกสารการก่อสร้าง

- ตรวจสอบการทดสอบตามช่วงเวลา
- ทบทวนการดำเนินการของอาคารในระยะเวลา 10 เดือน หลังเสร็จสิ้นการก่อสร้าง
- การพัฒนาแผนการทดสอบระบบ

ตัวเลือกที่ 2 Enhanced and monitoring - based commissioning (4 คะแนน) พัฒนาวิธีการและการตรวจวัดในแผนการทดสอบระบบ ดังนี้

- หน้าที่และความรับผิดชอบ
- ความต้องการของระบบวัด
- จุดที่ได้รับการติดตาม ความถี่และระยะเวลาสำหรับแนวโน้มการตรวจสอบ
- ข้อจำกัดของค่าที่ยอมรับได้สำหรับจุดติดตามและค่ามิเตอร์
- องค์ประกอบที่ใช้ประเมินผลการดำเนินงาน รวมทั้งความขัดแย้งของระบบ
- แผนการดำเนินการสำหรับการระบุเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องในการดำเนินงาน
- การฝึกอบรมเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด
- การวางแผนการซ่อมบำรุงเพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำงาน
- ความถี่การวิเคราะห์ในปีแรกของการใช้งาน

ทางเลือกที่ 2 Envelope commissioning (2 คะแนน) เป็นการตรวจสอบกรอบอาคารนอกเหนือไปจากการตรวจสอบระบบเครื่องกล ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่นๆ โดยขั้นตอนการทดสอบระบบกรอบอาคารจะปฏิบัติตาม ASHRAE Guideline 0–2005 and the National Institute of Building Sciences (NIBS) Guideline 3–2012, Exterior Enclosure Technical Requirements for the Commissioning Process ส่วนผู้ทดสอบระบบควรทำดังนี้

- ทบทวนเอกสารผู้รับเหมา
- ตรวจสอบความต้องการของระบบในเอกสารการก่อสร้าง
- ตรวจสอบความต้องการของการฝึกอบรมในเอกสารการก่อสร้าง
- ตรวจสอบการปรับปรุงคู่มือระบบ

— ตรวจสอบการทดสอบตามช่วงเวลา

— ทบทวนการดำเนินการของอาคารในระยะเวลา 10 เดือน หลังเสร็จสิ้นการก่อสร้าง

— การพัฒนาแผนการทดสอบระบบ

สำหรับโครงการขนาดเล็กที่มีภาระการระบายความร้อนสูงสุดน้อยกว่า 2,000,000 Btu/h (600 kW) หรือภาระการระบายความร้อนสูงสุดในห้องคอมพิวเตอร์น้อยกว่า 600,000 Btu/h (175 kW) ผู้ทดสอบควรทำตามกิจกรรมดังนี้

— ดำเนินการอย่างน้อย 1 การทดสอบเพื่อทบทวนการตรวจสอบความต้องการของเจ้าของอาคาร พื้นฐานการออกแบบ เอกสารการออกแบบก่อนการพัฒนาเอกสารการก่อสร้าง

— ตรวจสอบข้อเสนอแนะทั้งหมดตามการออกแบบ

— ดำเนินการตรวจสอบรูปแบบเพิ่มเติม 95% ของเอกสารการออกแบบและพื้นฐานของการออกแบบ

สำหรับโครงการที่มีภาระการระบายความร้อนสูงสุด 2,000,000 Btu/h (600 kW) หรือมากกว่านั้น หรือภาระการระบายความร้อนสูงสุดในห้องคอมพิวเตอร์ 600,000 Btu/h (175 kW) หรือมากกว่านั้น ผู้ทดสอบจะต้องดำเนินการกิจกรรมดังต่อไปนี้

— ทบทวนเอกสารการออกแบบก่อนการปรับปรุงเอกสาร

— ตรวจสอบเอกสารการออกแบบก่อนถึงเอกสารการดำเนินการครึ่งโครงการ

— ตรวจสอบเอกสารการออกแบบ ขั้นสุดท้าย ความสำเร็จของการตรวจสอบของความต้องการเจ้าของโครงการและพิจารณาการตรวจสอบความคิดเห็นก่อนหน้านี้

2.1.3.6 Optimize energy performance (1 – 20 คะแนน) สร้างเป้าหมายประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยจะต้องใช้ในหน่วย กิโลบีทียูต่อตารางฟุตต่อปี (kBtu per square foot-year) ของแหล่งพลังงาน

ทางเลือกที่ 1 การจำลองการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร (Whole - building energy simulation), (1–18 points except Schools and Healthcare, 1–16 points Schools, 1–20 points Healthcare)

ปฏิบัติตามเกณฑ์ขั้นต่ำของหมวดพลังงาน ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเมื่อเทียบกับอาคารอ้างอิง คะแนนที่ได้แสดงได้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คะแนนเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารของ LEED V. 4

อาคารใหม่	**อาคารปรับปรุงใหม่**	**อาคารที่พิจารณาเฉพาะแกนและเปลือกอาคาร**	**คะแนน (ยกเว้นโรงเรียนและสถานพยาบาล)**	**คะแนนสำหรับสถานพยาบาล**	**คะแนนสำหรับโรงเรียน**
6%	4%	3%	1	3	1
8%	6%	5%	2	4	2
10%	8%	7%	3	5	3
12%	10%	9%	4	6	4
14%	12%	11%	5	7	5
16%	14%	13%	6	8	6
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
32%	30%	29%	13	15	13
35%	33%	32%	14	16	14
38%	36%	35%	15	17	15
42%	40%	39%	16	18	16
46%	44%	43%	17	19	-
50%	48%	47%	18	20	-

างเลือกที่ 2 ใช้ Prescriptive compliance: ASHRAE Advanced Energy Design Guide โดยแบ่งออกเป็น 4 เกณฑ์ คือ

เกณฑ์ที่ 1 ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings ประกอบด้วย

- ระบบกรอบอาคารประเภททึบแสง (1 คะแนน)
- ระบบกรอบอาคารประเภทกระจก (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายในอาคาร (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร (1 คะแนน)
- อุปกรณ์และการควบคุม (1 คะแนน)

เกณฑ์ที่ 2 ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for Medium to Large Box Retail Buildings ประกอบด้วย

- ระบบกรอบอาคารประเภททึบแสง (1 คะแนน)
- ระบบกรอบอาคารประเภทกระจก (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายในอาคาร (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายในอาคารเพิ่มเติม (1 คะแนน)
- อุปกรณ์และการควบคุม (1 คะแนน)

เกณฑ์ที่ 3 ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for K–12 School Buildings ประกอบด้วย

- ระบบกรอบอาคารประเภททึบแสง (1 คะแนน)
- ระบบกรอบอาคารประเภทกระจก (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายในอาคาร (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร (1 คะแนน)
- อุปกรณ์และการควบคุม (1 คะแนน)

เกณฑ์ที่ 4 ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for Large Hospitals ประกอบด้วย

- ระบบกรอบอาคารประเภททึบแสง (1 คะแนน)

- ระบบกรอบอาคารประเภทกระจก (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายในอาคาร (1 คะแนน)
- ระบบแสงสว่างภายนอกอาคาร (1 คะแนน)
- อุปกรณ์และการควบคุม (1 คะแนน)

2.1.3.7 Advanced energy metering (1 คะแนน) เพิ่มการติดตั้งระบบวัดการใช้พลังงานขั้นสูง โดยติดตั้งระบบการวัดพลังงานขั้นสูง ดังต่อไปนี้

- วัดการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารและ
- พลังงานขั้นสุดที่ใช้เป็นตัวแทนของ 10% หรือมากกว่าของการใช้พลังงานรายปี

การวัดการใช้พลังงานขั้นสูงจะต้องมีลักษณะดังนี้

- จะต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดอย่างถาวร และบันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านั้น จากนั้นส่งข้อมูลไปยังตำแหน่งในระยะไกล
- อุปกรณ์วัดไฟฟ้าจะต้องบันทึกทั้งการใช้พลังงานและความต้องการพลังงาน และอาจบันทึกแฟกเตอร์กำลัง (Power factor) ได้ตามความเหมาะสม
- ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลต้องใช้เครือข่ายท้องถิ่น ระบบอัตโนมัติของอาคาร เครือข่ายไร้สาย หรือโครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสาร
- ระบบจะต้องมีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดเป็นเวลาอย่างน้อย 36 เดือน
- ข้อมูลควรจะเข้าถึงได้ในระยะไกล
- เครื่องมือวัดทั้งหมดในระบบจะต้องมีความสามารถในการรายงานการใช้พลังงานรายชั่วโมง รายเดือน และรายปีได้

2.1.3.8 Demand response (1 – 2 คะแนน) แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 โปรแกรมตอบสนองความต้องการที่มีจำหน่าย (2 คะแนน)

- มีส่วนร่วมในการตอบสนองของโปรแกรมความต้องการที่มีอยู่ (DR) โดยจะต้องมีการออกแบบระบบที่สามารถใช้งานได้ในเวลาจริง
- โปรแกรมความต้องการที่มีอยู่ (DR) ทำงานอัตโนมัติบนพื้นฐานโดยเริ่มต้นจากผู้ให้บริการโปรแกรม DR

— โปรแกรมความต้องการที่มีอยู่ (DR) ทำงานกึ่งอัตโนมัติ อาจถูกนำมาใช้ในทางปฏิบัติ

กรณีที่ 2 การตอบสนองความต้องการที่ไม่สามารถใช้โปรแกรมได้ (1 คะแนน)

— ติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อบันทึกช่วงเวลาที่มีความสามารถในการสื่อสารและระบบอาคารโดยอัตโนมัติ

— แผนพัฒนาที่ครอบคลุมอย่างน้อย 10% ของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของอาคารโดยประมาณ

— ติดต่อตัวแทนในท้องถิ่นเพื่อหารือเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในโปรแกรม DR อนาคต

2.1.3.9 Renewable energy production (1 - 3 คะแนน) ใช้ระบบพลังงานทดแทนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการใช้ระบบพลังงานทดแทนจากสมการที่ 2.1

$$\% \text{ Renewable energy} = \frac{\text{Equivalent cost of renewable energy system}}{\text{Total building annual energy cost}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ % Renewable energy คือ เปอร์เซ็นต์พลังงานหมุนเวียน

Equivalent cost of renewable energy system คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานเทียบเท่าของพลังงานที่ผลิตโดยพลังงานทดแทน

Total building annual energy cost คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานทั้งหมดของอาคารต่อปี

คะแนนของการใช้พลังงานทดแทนจะเป็นไปตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนนของการใช้พลังงานทดแทนของ LEED V. 4

เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทดแทน (%)	คะแนน (ยกเว้น CS)	คะแนน (CS)
1	1	1
3	-	2
5	2	3
10	3	-

2.1.3.10 Enhanced refrigerant management (1 คะแนน) เพื่อลดการสูญเสียโอโซน โดยเลือกปฏิบัติตามทางเลือก 2 ทางเลือก คือ

ทางเลือกที่ 1 ไม่มีสารทำความเย็นหรือใช้สารทำความเย็นที่มีผลกระทบต่ำ (1 คะแนน) โดยอย่าใช้สารทำความเย็น หรือใช้สารทำความเย็นที่มีศักยภาพการสูญเสียโอโซน (ODP) เป็นศูนย์ และมีศักยภาพของภาวะโลกร้อน (GWP) น้อยกว่า 50

ทางเลือกที่ 2 การคำนวณผลกระทบของสารทำความเย็น หากเลือกใช้สารทำความเย็นในระบบ จะต้องมีการคำนวณดังนี้

สำหรับหน่วย IP จะได้ว่า

$$LCGWP + LCODP \times 10^5 \leq 100 \quad (2.2)$$

สำหรับหน่วย SI จะได้ว่า

$$LCGWP + LCODP \times 10^5 \leq 13 \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$LCODP = [ODP \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life \quad (2.4)$$

$$LCGWP = [GWP \times (Lr \times Life + Mr) \times Rc] / Life \quad (2.5)$$

โดย LCODP คือ ศักยภาพของวัฏจักรการสูญเสียโอโซน (lb CFC 11/ton – year, kg CFC 11/(kW/year))

LCGWP คือ ศักยภาพของวัฏจักรของการเกิดภาวะโลกร้อนโดยตรง (lb CO_2/ton-year, kg CO_2/kW-year)

2.1.3.11 Green power and carbon offsets (1 - 2 คะแนน) หาเปอร์เซ็นต์ของพลังงานสีเขียวซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของการใช้พลังงานที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยสามารถหาคะแนนได้จากตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนนของพลังงานจากพลังงานสีเขียวหรือคาร์บอนชดเชยของ LEED V. 4

เปอร์เซ็นต์ของพลังงานสีเขียว	คะแนน
50%	1
100%	2

2.2 มาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus Version V. 1.2)

กระบวนการประเมินอาคารทางสิ่งแวดล้อม (Building Environmental Assessment Method, BEAM) ได้ให้การรับรองคุณภาพโดยรวมของอาคารทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า อาคารที่ได้รับการรับรองของ BEAM จัดเป็นอาคารที่ปลอดภัย ส่งเสริมสุขภาพของผู้ใช้งานอาคาร มีความสะดวกสบายมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากกว่าอาคารอื่นๆ ที่ไม่ได้รับการรับรอง โดยลักษณะของ BEAM [7] คือ

- เป็นผู้นำการประเมินประสิทธิภาพของอาคารในฮ่องกง
- เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมการประเมินอาคารทุกประเภท
- เป็นการประเมินและปรับปรุงประสิทธิภาพของอาคาร
- เป็นการรับรองที่ส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.1 วัตถุประสงค์ของมาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง BEAM Plus

- เพิ่มคุณภาพอาคารในฮ่องกง
- ส่งเสริมการใช้งานอาคารอย่างยั่งยืนมากขึ้น และให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของอาคาร
- ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานอาคารตลอดวงจรของอาคาร
- เพื่อพิจารณาการออกแบบและขั้นตอนการวางแผนของอาคารที่เหมาะสมต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.2 ระบบการประเมินคะแนนตามมาตรฐาน BEAM Plus

ในระบบคะแนน จำนวนคะแนนจะสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะในแต่ละหมวดการประเมิน การให้คะแนนหรือน้ำหนักคะแนนในมาตรฐาน BEAM Plus จะส่งผลกระทบต่อการประเมินอย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำหนักของคะแนนเป็นดังนี้

การบริหารจัดการอาคาร (S_A)	25%
การใช้วัสดุ (M_A)	8%
การใช้พลังงาน (E_U)	35%
การใช้น้ำ (W_U)	12%
คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (I_{EQ})	20%
รวม	**100%**

ระดับการประเมินจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของคะแนนในแต่ละหมวดการประเมิน โดยเปอร์เซ็นต์ขั้นต่ำในแต่ละหมวดการประเมินที่ต้องได้รับ ในระดับต่างๆ จะเป็นไปตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระดับเปอร์เซ็นต์การประเมินของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus

	เปอร์เซ็นต์รวม	S_A	E_u	I_{EQ}	I_A **(คะแนน)**	
แพลนตินัม (Platinum)	75%	70%	70%	70%	3	ดีเยี่ยม (Excellent)
ทอง (Gold)	65%	60%	60%	60%	2	ดีมาก (Very good)
เงิน (Silver)	55%	50%	50%	50%	1	ดี (Good)
บรอนซ์ (Bronze)	40%	40%	40%	40%	-	สูงกว่าปกติ

ตารางที่ 10 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus (Version 1.2 for New buildings)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Site Aspects, SA) **Credit SA P1** พื้นที่ภูมิทัศน์ขั้นต่ำ **Credit SA 1** ที่ดินซึ่งปนเปื้อน **Credit SA 2** การขนส่งในท้องถิ่น **Credit SA 3** สิ่งอำนวยความสะดวกของพื้นที่ใกล้เคียง **Credit SA 4** การประเมินการออกแบบโครงการ **Credit SA 5** ผลกระทบต่อระบบนิเวศ **Credit SA 6** มรดกทางวัฒนธรรม **Credit SA 7** สวนและการปลูกต้นไม้ **Credit SA 8** แหล่งน้ำรอบอาคาร **Credit SA 9** การเข้าถึงของแสงสว่างของพื้นที่ใกล้เคียง **Credit SA 10** การวางแผนการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม **Credit SA 11** มลพิษทางอากาศในระหว่างการก่อสร้าง **Credit SA 12** เสียงรบกวนในระหว่างการก่อสร้าง **Credit SA 13** มลพิษทางน้ำในระหว่างการก่อสร้าง **Credit SA 14** เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ของอาคาร **Credit SA 15** มลพิษทางแสง	**22 + 3B**
หมวดที่ 2 การใช้วัสดุ (Materials Aspects, MA) **Credit MA P1** การใช้ไม้แปรรูปสำหรับงานชั่วคราว **Credit MA P2** การใช้สารทำความเย็นที่ไม่ใช่สาร CFC **Credit MA P3** แผนการจัดการขยะจากการรื้อถอนและการก่อสร้าง **Credit MA P4** สิ่งอำนวยความสะดวกของขยะรีไซเคิล **Credit MA 1** วัสดุที่นำมาใช้ใหม่ภายในอาคาร **Credit MA 2** การออกแบบระบบโมดูลและได้มาตรฐาน **Credit MA 3** การทำเตรียมไว้ก่อน **Credit MA 4** การปรับตัวและโครงสร้าง	**22 + 1B**

ตารางที่ 10 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus (Version 1.2 for New buildings) (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
Credit MA 5 วัสดุทดแทนอย่างรวดเร็ว **Credit MA 6** ผลิตภัณฑ์ป่าไม้อย่างยั่งยืน **Credit MA 7** วัสดุรีไซเคิล **Credit MA 8** สารทำลายโอโซน **Credit MA 9** วัสดุที่ผลิตในระดับภูมิภาค **Credit MA 10** ลดของเสียการรื้อถอน **Credit MA 11** ลดของเสียจากการก่อสร้าง	
หมวดที่ 3 การใช้พลังงาน (Energy Use, EU) **Credit EU P1** ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ **Credit EU 1** การลดการปลดปล่อย CO_2 **Credit EU 1** ตัวเลือกที่ 2 เลือกเส้นทางการออกแบบพาสซีฟ (Passive design) **Credit EU 2** การลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า **Credit EU 3** พลังงานสะสมในส่วนประกอบโครงสร้างของอาคาร	**42 + 2B**
Credit EU 4 ระบบระบายอากาศในโรงจอดรถ **Credit EU 5** ระบบแสงสว่างในโรงจอดรถ **Credit EU 6** ระบบพลังงานทดแทน **Credit EU 7** หน่วยของระบบปรับอากาศ **Credit EU 8** สิ่งอำนวยความสะดวกในการอบแห้งเสื้อผ้า **Credit EU 9** เครื่องใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ **Credit EU 10** การทดสอบระบบ **Credit EU 11** การดำเนินงานและการบำรุงรักษา **Credit EU 12** การวัดและการตรวจสอบ **Credit EU 13** รูปแบบพลังงานของอาคารที่มีประสิทธิภาพ	

ตารางที่ 10 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus (Version 1.2 for New buildings) (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
หมวดที่ 4 การใช้น้ำ (Water Use, WU) **Credit WU P1** การสำรวจคุณภาพน้ำ **Credit WU P2** ประสิทธิภาพการประหยัดน้ำขั้นต่ำ **Credit WU 1** การใช้น้ำรายปี **Credit WU 2** การตรวจสอบและการควบคุม **Credit WU 3** น้ำชลประทานที่มีประสิทธิภาพ **Credit WU 4** การรีไซเคิลของน้ำ **Credit WU 5** อุปกรณ์สำหรับน้ำที่มีประสิทธิภาพ **Credit WU 6** การปล่อยน้ำทิ้งทางท่อระบายน้ำ	**9 + 1B**
หมวดที่ 5 คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality, IEQ) **Credit IEQ P1** ประสิทธิภาพการระบายอากาศขั้นต่ำ **Credit IEQ 1** ความปลอดภัย **Credit IEQ 2** ท่อประปาและการระบายน้ำ **Credit IEQ 3** การปนเปื้อนทางชีวภาพ **Credit IEQ 4** สิ่งอำนวยความสะดวกของการกำจัดของเสีย **Credit IEQ 5** การจัดการ IAQ ของการก่อสร้าง **Credit IEQ 6** แหล่งภายนอกของมลพิษทางอากาศ **Credit IEQ 7** แหล่งภายในของมลพิษทางอากาศ **Credit IEQ 8** IAQ ในโรงจอดรถ **Credit IEQ 9** การระบายอากาศที่เพิ่มขึ้น **Credit IEQ 10** พื้นหลังของการระบายอากาศ **Credit IEQ 11** การระบายอากาศในท้องถิ่น **Credit IEQ 12** การระบายอากาศในพื้นที่ทั่วไป **Credit IEQ 13** ภาวะสบายในอากาศ – สถานที่ปรับอากาศ **Credit IEQ 14** ภาวะสบายในสถานที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกตามธรรมชาติ	**32 + 3B**

ตารางที่ 10 ระดับคะแนนตามหัวข้อของหมวดการประเมินต่างๆ ของ BEAM Plus (Version 1.2 for New buildings) (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
Credit IEQ 15 แสงธรรมชาติ **Credit IEQ 16** แสงสว่างภายในพื้นที่ที่ใช้งานตามปกติ **Credit IEQ 17** แสงสว่างภายในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานตามปกติ **Credit IEQ 18** เสียงภายในห้อง **Credit IEQ 19** การกำจัดเสียงรบกวน **Credit IEQ 20** พื้นหลังของเสียงรบกวน **Credit IEQ 21** การสั่นสะเทือนในอาคาร **Credit IEQ 22** การเข้าถึงของบุคคลพิการ **Credit IEQ 23** คุณลักษณะของสิ่งอำนวยความสะดวก	
หมวดที่ 6 นวัตกรรมและอื่นๆ (Innovations and Additions, IA) **Credit IA 1** เทคนิคการสร้างนวัตกรรม **Credit IA 2** การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน **Credit IA 3** BEAM แบบมืออาชีพ	**5B + 1**

2.2.3 ระบบการประเมินคะแนนของหมวดพลังงานตามมาตรฐาน BEAM Plus for New buildings 1.2

2.2.3.1 Minimum energy performance (บังคับ) ปฏิบัติตามเกณฑ์ Building Energy Codes (BEC) เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการดำเนินงานของอาคาร

2.2.3.2 Reduction of CO_2 emissions (15 คะแนน) ลดใช้แหล่งทรัพยากร-ธรรมชาติและลดมลพิษที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยจำนวนของคะแนนจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างรายปีเปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิง (Baseline building) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(a) อาคารเชิงพาณิชย์และโรงแรม (Commercial and Hotel buildings) ได้ 1 - 15 คะแนนสำหรับการลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างรายปี 3%, 5%, 7%, 9%, 11%, 14%, 17%, 20%, 23%, 26%, 29%, 33%, 37%, 41% และ 45% ตามลำดับ

(b) อาคารสถานศึกษา (Educational buildings) ได้ 1 - 15 คะแนนสำหรับการลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีฐานรายปี 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 9%, 11%, 13%, 15%, 17%, 19%, 21%, 24%, 27% และ 30% ตามลำดับ

(c) อาคารที่อยู่อาศัย (Residential buildings) ได้ 1 - 15 คะแนนสำหรับการลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างรายปี 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 16%, 18% และ 20% ตามลำดับ

(d) อาคารประเภทอื่นๆ (Other building types) ได้ 1 - 15 คะแนนสำหรับการลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือปริมาณการใช้พลังงานของอาคารตัวอย่างรายปี 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18% และ 20% ตามลำดับ

การคำนวณจะอยู่ในรูปของ CO_2 – kg/year หรือ kWh/year ตัวแปลงหน่วย (Conversion factor) ที่ถูกใช้จะอ้างอิงตาม The Carbon Audit Guideline ใน Appendix 8.3 โดยการจำลองพลังงานในอาคารทั้งหมดจะรวมถึงพลังงานที่ใช้ในระบบการทำความร้อน ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และอื่นๆ

การจำลองพลังงานจะอ้างอิงตาม Building Energy Code (BEC) หรือ Appendix G of ASHRAE 90.1-2007 หรือเทียบเท่า

2.2.3.2.1 ทางเลือกที่ 2 Alternative route: Passive design (20 คะแนน) โดยใช้ทางเลือกที่พิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- การวางแผนที่ดินและการวางแนวอาคาร
- การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร

— การระบายอากาศโดยธรรมชาติ

— การออกแบบแสงอาทิตย์

— การบริการในพื้นที่ทั่วไป

การออกแบบแบบ Passive design route ถูกพัฒนาสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย ดังนี้

Passive building design

(a) การวางแผนที่ดินและการวางแนวอาคาร

— การวางแผนที่ดิน

1 คะแนนถ้าการซึมผ่านของที่ดินเป็นไปตาม APP 152

2 คะแนนถ้าการซึมผ่านของที่ดิน 33% หรือมากกว่านั้นในแผนการก่อสร้างเป็นไปตาม APP 152 หรือสามารถทำได้โดย การประเมินประสิทธิภาพที่แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศของกรณีตัวอย่างเปรียบเทียบกับการซึมผ่านของที่ดิน 33%

— การวางแนวอาคาร

1 คะแนนถ้าการฉายรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมดเฉลี่ยของอาคาร ≤ 80% ของค่าการฉายรังสีแสงอาทิตย์อ้างอิง (Baseline solar irradiation value) เป็น 395 kWhr/m^2/ apr-oct

(b) กรอบอาคาร

— วิธีการที่กำหนด

1 คะแนนสำหรับ 28.0 W/m^2 ≤ OTTV < 30.0 W/m^2

2 คะแนนสำหรับ 26.0 W/m^2 ≤ OTTV < 28.0 W/m^2

3 คะแนนสำหรับ 24.0 W/m^2 ≤ OTTV < 26.0 W/m^2

4 คะแนนสำหรับ 22.0 W/m^2 ≤ OTTV < 24.0 W/m^2

5 คะแนนสำหรับ 20.0 W/m^2 ≤ OTTV < 22.0 W/m^2

(c) การระบายอากาศตามธรรมชาติ

— วิธีการที่กำหนด

1 คะแนนสำหรับ 20% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการการระบายอากาศตามธรรมชาติ

2 คะแนนสำหรับ 40% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการการระบายอากาศตามธรรมชาติ

3 คะแนนสำหรับ 60% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการการระบายอากาศตามธรรมชาติ

4 คะแนนสำหรับ 80% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการการระบายอากาศตามธรรมชาติ

5 คะแนนสำหรับ 100% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการการระบายอากาศตามธรรมชาติ

— วิธีการปฏิบัติงาน

1 คะแนนสำหรับ 20% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการ Area-Weighted Average Wind Velocity (AAWV)

2 คะแนนสำหรับ 40% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการ Area-Weighted Average Wind Velocity (AAWV)

3 คะแนนสำหรับ 60% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการ Area-Weighted Average Wind Velocity (AAWV)

4 คะแนนสำหรับ 80% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการ Area-Weighted Average Wind Velocity (AAWV)

5 คะแนนสำหรับ 100% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่ตอบสนองต่อความต้องการ Area-Weighted Average Wind Velocity (AAWV)

(d) แสงอาทิตย์ 1 คะแนนถ้า 80% ของพื้นที่อยู่อาศัยที่มีกระจกและมี Vertical daylight factor (VDF) 50% ซึ่งสูงกว่าความต้องการขั้นต่ำใน APP 130

(e) ระบบอาคารที่ใช้งาน (Active building systems)

— ปฏิบัติตาม Building Energy Codes (BEC) โดยกำหนดตัวเลือก

— ในกรณีที่เครื่องปรับอากาศให้บริการโดยนักพัฒนา ซึ่งจะต้องเลือกระดับ 1 ถัง 2 ภายใต้มาตรฐานการรับรองประสิทธิภาพอาคารโดยรัฐบาลสำหรับห้องทำความเย็น

— ระบบ HVAC ในพื้นที่ทั่วไป:

1 คะแนนสำหรับ 20% ของการลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับ BEC ในปัจจุบัน

2 คะแนนสำหรับ 25% ของการลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับ BEC ในปัจจุบัน

— ระบบแสงประดิษฐ์ในพื้นที่ทั่วไป:

1 คะแนนสำหรับ 20% ของการลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับ BEC ในปัจจุบัน

2 คะแนนสำหรับ 25% ของการลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบ-เทียบกับ BEC ในปัจจุบัน

3 คะแนนสำหรับ 30% ของการลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับ BEC ในปัจจุบัน

— การลำเลียงแนวตั้งในพื้นที่ทั่วไป:

1 คะแนนสำหรับ 10% ของการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

2.2.3.3 Peak electricity demand reduction (3 คะแนน) ส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานและวิธีลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยเกณฑ์การประเมินมีดังนี้

(a) อาคารเชิงพาณิชย์และโรงแรม (Commercial and Hotel buildings) ได้ 1 – 3 คะแนนสำหรับการลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 15%, 23% และ 30% ตามลำดับ

(b) อาคารสถานศึกษาและอาคารพักอาศัย (Educational and Residential buildings) ได้ 1 – 3 คะแนนสำหรับการลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 8%, 12% และ 15% ตามลำดับ

(c) อาคารประเภทอื่นๆ (Other building types) ได้ 1 – 3 คะแนนสำหรับการลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 8%, 12% และ 15% ตามลำดับ

จำนวนคะแนนจะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อเดือนกับปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อปีระหว่างอาคารกรณีฐานกับอาคารอ้างอิง โดยการประเมินจะอยู่บนพื้นฐานการใช้พลังงานรายปีของโครงการ

2.2.3.4 Embodied energy in building structural elements (1 คะแนน + 1 คะแนนโบนัส) ส่งเสริมให้มีการออกแบบองค์ประกอบโครงสร้างและการเลือกใช้วัสดุที่ใช้พลังงานต่ำ โดยการประเมินจะครอบคลุมองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในอาคาร กรอบอาคาร ผนัง และอื่นๆ ซึ่งส่วนประกอบหลักของโครงสร้างอาคารจะรวมถึงซุ้มอาคารและโครงสร้างอื่นๆ แต่ไม่รวมระบบการบริการของอาคาร และจะต้องมีการจัดทำรายงานเกี่ยวกับรายละเอียดและผลจากการประเมินในข้อนี้ วิธีการประเมินจะต้องประเมินตลอดวัฏจักรของอาคาร รวมถึงส่งเสริมให้ใช้เครื่องมือ EMSD หรือเครื่องมือเทียบเท่าอื่น ๆ ในการดำเนินการประเมินตลอดวัฏจักรอาคาร ส่วนคะแนนพิเศษจะพิจารณาจากการเปลี่ยนการออกแบบโครงสร้างหลัก ตัวอย่างเช่น ใช้วัสดุค่อนข้างน้อยหรือทางเลือกการก่อสร้างอื่นๆ เป็นต้น

2.2.3.5 Ventilation systems in car parks (2 คะแนน) ส่งเสริมให้มีการออกแบบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีการควบคุมระบบระบายอากาศเชิงกลในโรงจอดรถ โดยปฏิบัติตามเกณฑ์การระบายอากาศของอาคารบทที่ 123J เกณฑ์ที่ 4 ซึ่งมีหลักการประเมินโดยเกณฑ์ประสิทธิภาพขั้นต่ำ (Baseline) ของระบบการระบายอากาศเชิงกลควรจะปฏิบัติดังนี้

— ระบบระบายอากาศเชิงกลต้องใช้กำลังของพัดลม 2 W ต่อ l/s ของอัตราการระบายอากาศทั้งหมดในพื้นที่ระบายอากาศในอาคาร และ

— กรณีพื้นที่ถูกให้บริการทั้งระบบจ่ายและระบบถอน ซึ่งกำลังของพัดลมในระบบจะต้องเท่ากับผลรวมของกำลังพัดลมของระบบจ่ายและระบบถอน ในขณะที่อัตราการระบายอากาศจะต้องเท่ากับอัตราการไหลในระบบจ่ายหรืออัตราการไหลในระบบถอนแล้วระบบใดจะมีค่ามากกว่ากัน

นอกจากการลดการใช้พลังงานแล้วระบบควบคุมสำหรับการระบายอากาศมีไว้เพื่อลดการใช้พลังงาน

ตัวอย่างของระบบควบคุม จะอ้างถึงการควบคุมความเร็วของพัดลม พัดลมระบายอากาศหลายหน่วยจะต้องสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอออกไซด์ (CO) ในโรงจอดรถ

เอกสารที่จะต้องส่งเพื่อแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งจะต้องตอบสนองต่อความต้องการเบื้องต้นและความต้องการในข้อนี้ มีดังนี้

— เกณฑ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบระบายอากาศ

— ถ้าใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติ หลักฐานที่จะต้องส่งที่เกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนมอนอออกไซด์ (CO) และสารมลพิษอื่นๆ ในโรงจอดรถจะต้องเป็นไปตามความต้องการที่กำหนดไว้ใน ProPECC PN 2/96

— การคำนวณอัตราการระบายอากาศ

— ผลการดำเนินการออกแบบและรูปแบบการดำเนินงานของส่วนประกอบระบายอากาศ

— การทำนายการใช้พลังงานสำหรับกรณีพื้นฐานและกรณีออกแบบสำหรับการติดตั้งระบบระบายอากาศ

— รายงานการทดสอบการรั่วไหลของอากาศ

— ผลการดำเนินงานของอุปกรณ์ระบบปรับอากาศในอาคาร

— การรั่วไหลของอากาศในท่อทำงานจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่ให้ไว้ใน Code of Practice for Energy Efficiency of Air Conditioning Installations และวิธีการทดสอบจะต้องอยู่บนพื้นฐาน DW143, SMACNA หรือวิธีเทียบเท่า

2.2.3.6 Lighting system in car parks (2 คะแนน) ส่งเสริมให้มีการใช้อุปกรณ์แสงสว่างและการควบคุมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะได้ 1 คะแนนเมื่อใช้หลอดไฟและบัลลัสต์ซึ่งจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความต้องการพื้นฐาน (Zero - credit) 20% หรือมากกว่านั้น และได้ 2 คะแนนเมื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 25% หรือมากกว่านั้น โดยการประเมินมีดังนี้

— การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 40 ในแต่ละหลอดใช้อุปกรณ์ควบคุม 10 W ผลิตความสว่างได้ 2,400 lm และ

— การใช้จำนวนโคมไฟขั้นต่ำในการปฏิบัติงานตามที่กำหนดข้างต้นจะช่วยให้ระดับการส่องสว่างที่จำเป็นในสถานที่ต่าง ๆ ในอาคารดีขึ้น

ระดับการส่องสว่างที่จำเป็นในรูปแบบต่างๆ ของอาคารประเมินจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำที่ให้ไว้ในคู่มือการออกแบบระบบแสงสว่าง เช่น CIBSE Code for interior lighting เป็นต้น การกำหนดจำนวนขั้นต่ำของอุปกรณ์แสงสว่างที่จำเป็นจะต้องอยู่บนพื้นฐานของ

สมการลูเมน ค่าการใช้ประโยชน์ (UF) เท่ากับ 0.45 และค่าการสูญเสียพลังงานแสง (LLF) เท่ากับ 0.8

เอกสารที่จะต้องส่งเพื่อแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งจะต้องตอบสนองต่อความต้องการเบื้องต้นและความต้องการในข้อนี้ มีดังนี้

— เกณฑ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่าง

— ถ้าใช้แสงธรรมชาติในพื้นที่ หลักฐานที่ต้องให้จะต้องแสดงการลดการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้อง โดยระดับความสว่างที่แนะนำในโรงจอดรถจะต้องไม่เกิน 10,000 ลักซ์ ภายใต้สภาวะท้องฟ้ามีเมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast sky)

— ปริมาณของอุปกรณ์แสงที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในสถานที่ต่าง ๆ วัตต์ของอุปกรณ์แต่ละรูปแบบที่เหมาะสมและการดำเนินงานของระบบแสงสว่างนั้น และ

— การทำนายการใช้พลังงานสำหรับกรณีพื้นฐาน (Zero - credit) และกรณีออกแบบของการติดตั้งระบบแสงสว่าง

2.2.3.7 Renewable energy systems (5 คะแนน) ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานในอาคารจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยมีรายละเอียดการคิดคะแนน ดังนี้

— 1 – 5 คะแนน เมื่อการใช้พลังงานภายในอาคาร 0.5% - 2.5% หรือมากกว่านั้นได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน

— 1 – 5 คะแนน เมื่อ 20% - 100% ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ด้วยแผงพลังงานแสงอาทิตย์หรือผลิตจากพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ หรือเทียบเท่า

โครงการจะต้องส่งรายงานแสดงรายละเอียดของการติดตั้งและการคำนวณพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ในโครงการ

ในกรณีของระบบที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น แผงแสงอาทิตย์ เป็นต้น จะต้องคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าโดยประมาณที่ผลิตได้จากระบบเพื่อใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ของอาคาร

ในกรณีที่มีการใช้ระบบผลิตโดยตรงจากแหล่งพลังงานทดแทน ซึ่งจะต้องใช้เชื้อเพลิงหรือกระแสไฟฟ้าในการผลิตระบบเหล่านั้น เช่น น้ำร้อนซึ่งจ่ายจากแผงโซลาร์เซลล์

หรือน้ำเย็นซึ่งจ่ายจากเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งขับเคลื่อนด้วยความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น จำนวนการใช้ไฟฟ้าเทียบเท่าจะไม่ใช้ในการคำนวณ

การคำนวณจะจำลองเงื่อนไขตามสภาพแวดล้อมรายวัน และตามฤดูกาล เช่น ปริมาณของแสงอาทิตย์ ความเร็วลม เป็นต้น โดยในการคำนวณจะหักลบค่าการสูญเสียพลังงานของระบบและการใช้พลังงานอื่นๆ การใช้พลังงานรวมจะต้องอ้างอิงจากค่าการออกแบบซึ่งคำนวณได้จาก Credit EU 1 Reduction of CO_2 emission

2.2.3.8 Air - conditioning units (1 คะแนน) เพื่อส่งเสริมให้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียวให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีหลักการประเมินดังนี้

เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง จะต้องมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 8.4 และ 8.5 ใน Section 8.4 ของมาตรฐาน

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จะต้องมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นไปตามตารางที่กำหนดในมาตรฐาน

การปฏิบัติตามข้อกำหนดจะต้องแสดงให้เห็นถึงประเภทเครื่องปรับอากาศในแต่ละส่วน หรือแต่ละประเภทของห้องต่างๆ ยกเว้นจะแสดงให้เห็นว่าสามารถปฏิบัติตามไม่เกิน 10% ของการติดตั้งหรือหากไม่ปฏิบัติตามจะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศในห้องทำความเย็นหรือส่วนกำจัดความร้อน โดยจะต้องมีการยืนยันว่าการติดตั้งระบบปรับอากาศจะสอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างน้อย 4 ข้อต่อไปนี้

— เพื่อลดการซึมผ่านของเสียงจะต้องติดบนผนังที่ไม่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่สำคัญ

— เพื่อลดการนำเข้าของอากาศปนเปื้อนจะต้องติดอยู่ในกำแพง

— สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของเสียงและการไหลเวียนที่ดีขึ้น การปลดปล่อยภายในจะต้องอยู่ใกล้กับศูนย์กลางของผนังที่ติดตั้งอยู่

— เพื่อลดเสียงรบกวนจากฝน และลดการหยดของน้ำ แผ่นหินจะต้องหนุนและปกคลุมไว้

— เพื่อส่งเสริมให้มีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม การติดตั้งของเครื่องปรับอากาศจะต้องมีการเคลื่อนย้ายที่สะดวกและปลอดภัย

— เมื่อเครื่องปรับอากาศให้บริการโดยนักวิจัย เครื่องปรับอากาศจะต้องมีการรับรองที่ระดับ 1 หรือ 2 ภายใต้โครงการการติดฉลากประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับห้องพักคูลเลอร์ของรัฐบาล

2.2.3.9 Clothes drying facilities (1 คะแนน) เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นสำหรับการอบแห้งเสื้อผ้า ซึ่งคิดเป็น 1 คะแนนสำหรับการให้บริการสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมในการอบแห้งเสื้อผ้า โดยใช้ประโยชน์จากสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ โดยจะต้องแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานที่มีความต้องการต่อไปนี้

— แต่ละพื้นที่สำหรับการอบแห้งเสื้อผ้าจะต้องมีการใช้แสงแดดหรือลม 1 ชั่วโมงสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงในฤดูหนาวหรือความเร็วลมอย่างน้อย 0.5 เมตรต่อวินาทีภายใต้เงื่อนไขในฤดูหนาว (ทิศทางและความเร็ว)

— ถ้ามีการติดตั้งอีกครั้งหรือถูกนำมาใช้เหมือนกัน มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้และบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นของสิ่งรบกวน โดยสถานที่อบแห้งเสื้อผ้าต้องห่างจากระบบปรับอากาศ 0.5 เมตร และห่างจากแหล่งปล่อยไอเสียของห้องครัว 1.5 เมตร

2.2.3.10 Energy efficient appliances (2 คะแนน) เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ 1 คะแนน เมื่อ 60% ของกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ถูกรับรองผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน และได้ 2 คะแนน เมื่อ 80% ของกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ถูกรับรองผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน ซึ่งจะต้องให้ข้อมูลการติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ทั้งหมดในอาคารและแสดงหลักฐานการจัดอันดับประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทและแต่ละขนาด และปริมาณการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองด้านพลังงาน โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมและอุปกรณ์ต้องได้รับการรับรองประสิทธิภาพด้านพลังงานระดับ 1 หรือ 2 ภายใต้การรับรองการใช้พลังงานหรือมาตรฐานเทียบเท่าอื่นๆ

2.2.3.11 Testing and commissioning (4 คะแนน + 1 คะแนนพิเศษ) เพื่อให้แน่ใจได้ว่าการทดสอบระบบไฟฟ้าและเครื่องจักรกลที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของระบบมีค่าเพียงพอ ประสิทธิภาพและการดำเนินการของระบบเป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยมีหลักการประเมินคือ

— ข้อกำหนดการทดสอบระบบ (1 คะแนน) จะต้องส่งรายละเอียดเกี่ยวกับความต้องการของการทดสอบระบบของแต่ละอุปกรณ์ และ/หรือรายละเอียดค่าใช้จ่ายของการทดสอบระบบ โดยจะต้องเป็นไปตามความต้องการที่ให้ไว้ใน Section 8.5.1 ของมาตรฐาน

— แผนงานการทดสอบระบบ (1 คะแนน) ผู้ทดสอบระบบจะต้องเป็นวิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านระบบเครื่องกลและไฟฟ้า โดยผู้ทดสอบระบบมีหน้าที่รับผิดชอบตรวจสอบและอนุมัติข้อกำหนดของการทดสอบระบบ พัฒนาแผนการทดสอบระบบ รวมถึงการระบุและการบันทึกข้อมูลจะต้องสอดคล้องกับเอกสารการก่อสร้าง โดยจะต้องเป็นไปตามความต้องการที่ให้ไว้ใน Section 8.5.2 ของมาตรฐาน

— การทดสอบระบบ (1 คะแนน) จะต้องเป็นไปตามความต้องการที่ให้ไว้ใน Section 8.5.3 ของมาตรฐาน

— รายงานการทดสอบระบบ (1 คะแนน) จะต้องครอบคลุมความต้องการที่ให้ไว้ใน Section 8.5.4 ของมาตรฐาน

— อิสระของผู้ทดสอบระบบ (1 คะแนนพิเศษ) ในกรณีผู้ทดสอบมีคุณสมบัติต่อไปนี้ ผู้ทดสอบระบบมีประสบการณ์อย่างน้อย 2 โครงการ ไม่ใช่ผู้รับผิดชอบด้านการออกแบบโครงการหรือผู้ดูแลการก่อสร้างใดๆ ต้องไม่ใช่บุคคลของบริษัทที่รับผิดชอบในการออกแบบ ต้องไม่ใช่ลูกจ้างหรือทำสัญญาผ่านผู้รับเหมา และอาจเป็นบุคคลที่เป็นพนักงานหรือที่ปรึกษาของเจ้าของโครงการ

2.2.3.12 Operation and maintenance (3 คะแนน) โดยมีการปฏิบัติดังนี้

— การดำเนินงานและการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (1 คะแนน) จัดทำคู่มือการบำรุงรักษาและการจัดการด้านพลังงาน จะต้องมีรายละเอียดตาม Section 8.5.6 ของมาตรฐานเป็นอย่างน้อย

— การจัดการด้านพลังงาน (1 คะแนน) ในกรณีที่มีการดำเนินงานและการบำรุงรักษาด้วยตนเองหรือได้ให้คู่มือการบริหารจัดการพลังงานโดยเฉพาะและตรงตามความต้องการของ Section 8.5.7 เป็นอย่างน้อย

— การฝึกอบรมผู้ประกอบการและสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา (1 คะแนน) โปรแกรมการฝึกอบรมจะต้องครอบคลุมรายการที่ระบุไว้ใน Section 8.5.8 ของมาตรฐาน รายละเอียดของสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เช่นการประชุมเชิงปฏิบัติการ (s), ที่พักสำนักงาน, สถานคอมพิวเตอร์ ฯลฯ เป็นต้น

2.2.3.13 Metering and monitoring (1 คะแนน) เจ้าของหรือผู้ประกอบการต้องจัดให้มีรายละเอียดของการวัดและการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ติดตั้งและมีการบันทึกการทดสอบระบบของการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการทำงานที่เครื่องทำความเย็น เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้ไฟฟ้าและประสิทธิภาพการทำงานที่สามารถตรวจสอบได้ตามที่ระบุไว้

การตรวจวัด Central chiller plant จะประเมินอยู่บนพื้นฐาน BSRIA Technical Note TN 7/94 หรือข้อกำหนดที่เหมือนกัน ระบบการตรวจสอบจะช่วยให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบปรับอากาศส่วนกลางและชิลเลอร์ที่จะได้รับการพิจารณาสำหรับการดำเนินงานและช่วงสภาพการใช้งานทุกรูปแบบ

การวัดกำลังไฟฟ้า (สำหรับกำลังไฟฟ้าขาเข้าและปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด) จะวัดที่หม้อแปลงซึ่งจะต้องเป็นตามมาตรฐาน BS EN และระดับความถูกต้องอย่างน้อย Class 1 สำหรับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ส่วนการวัดอัตราการไหลและความดันจะต้องมีความถูกต้องขั้นต่ำตาม ASHRAE Standard 114 หรือเทียบเท่า

ข้อกำหนดของการวัดจะต้องระบุรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์จัดการด้านอากาศ เช่น หน่วยจัดการอากาศส่วนกลางสำหรับพื้นที่ที่กำหนดขนาดใหญ่ เป็นต้น

ข้อกำหนดของการวัดจะต้องระบุรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบขนาดใหญ่ที่ถูกป้อนจากแผงวงจรหลัก เช่น แสงสว่างของโครงการและกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กการขนส่ง ระบบประปาและระบบการระบายน้ำ อุปกรณ์ในการจัดการทางอากาศที่สำคัญ เช่น หน่วยจัดการอากาศส่วนกลางสำหรับพื้นที่ที่กำหนดขนาดใหญ่ เป็นต้น

2.2.3.14 Energy efficient building layout (2 คะแนน) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารผ่านการวางแผนด้านสิ่งแวดล้อมและการออกแบบทางสถาปัตยกรรม โดยได้ 1 คะแนนหากแสดงให้เห็นถึงการปฏิบัติตามอย่างน้อย 3 รายการจากกลยุทธ์ที่กำหนด และ 2 คะแนนสำหรับการปฏิบัติตามกลยุทธ์ทั้งหมดที่กำหนดไว้

สำหรับการพัฒนาที่อยู่อาศัย

a) แบบจำลองการใช้พลังงานจะต้องแสดงให้เห็นว่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยของอาคารทั้งหมดต่ำกว่า 395 kWhr/m^2/ apr-oct

b) แสดงให้เห็นว่าการซึมผ่านของพื้นที่ 20% สามารถทำได้ระหว่างการประเมินอาคารและอาคารใกล้เคียง / สิ่งกีดขวาง

c) แสดงให้เห็นว่า 20% ของพื้นที่อยู่อาศัยใช้ระบายอากาศตามธรรมชาติไม่ว่าจะโดยวิธีการที่กำหนดหรือแนวทางการปฏิบัติงานอื่นๆ

d) แสดงให้เห็นว่าค่า OTTV ของพื้นที่อยู่อาศัยค่าน้อยกว่า 30 W/m^2 และ

e) แสดงให้เห็นว่า VDF ของพื้นที่อยู่อาศัยมีค่า 50% หรือมากกว่าความต้องการพื้นฐาน

สำหรับทุกประเภทอาคาร ยกเว้นที่อยู่อาศัย

a) พิจารณารูปแบบที่สร้างขึ้นและการวางแนวอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงาน

b) การพิจารณาการวางแผนเชิงพื้นที่ที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงาน

c) การพิจารณาข้อกำหนดการซึมผ่านของการก่อสร้างตามลักษณะอาคารเพื่อเพิ่มการใช้ระบบระบายอากาศตามธรรมชาติ

d) จัดให้มีอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารแบบถาวรหรือแบบเคลื่อนที่ได้

e) จัดให้มีอุปกรณ์บังแดดภายนอกที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ซุ้มหน้าต่างห้องโถงใหญ่ หรือกระจก

2.3 เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานในอาคารของ ASHRAE (Building EQ)

Building Energy Quotient (Building EQ) เป็นโปรแกรมการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารซึ่งให้ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทการประเมิน คือ As designed และ In operation ทั้งสองแบบการประเมินจะอยู่บนพื้นฐานวิธีการของมาตรฐาน ASHRAE และประสบการณ์ของผู้ดำเนินการที่มีคุณภาพ ส่วนเจ้าของอาคารจะได้รับการรับรองอาคารที่น่าเชื่อถือ และผลลัพธ์มีความสอดคล้องกัน รวมถึงได้รับข้อเสนอแนะ [10]

2.3.1 ผู้ดำเนินการที่ผ่านการรับรอง Building EQ

เลือกบุคคลที่สามารถส่งเอกสารการประเมินถึง ASHRAE เพื่อตรวจสอบและให้ใบรับรองคะแนนการจัดอันดับอาคารของ ASHRAE ดังนี้

2.3.1.1 วิศวกรมืออาชีพ (PE) ที่ได้รับอนุญาตในพื้นที่ที่อาคารตั้งอยู่เพื่อรับการจัดอันดับ

2.3.1.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร ASHRAE

2.3.1.3 ผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินการใช้พลังงานของอาคาร ASHRAE

2.3.2 การพัฒนาของโปรแกรมการประเมิน Building EQ

Building EQ ถูกพัฒนาโดย ASHRAE ซึ่งเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรของวิศวกรและผู้เชี่ยวชาญด้านอื่นๆ ที่อุทิศตนเพื่อความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอาคารและเพื่อประโยชน์ของประชาชน และเป็นองค์กรมีประสบการณ์ด้านอาคารมากกว่า 100 ปี โดยได้เลือกคณะกรรมการการออกแบบอาคารและผู้เชี่ยวชาญโปรแกรมการรับรองของ Energy star และ European union เพื่อสร้างเกณฑ์การประเมินและเอกสารการประเมินของ Building EQ

2.3.3 การรับรองระดับคะแนนของ Building EQ

Building EQ ได้แบ่งระดับคะแนนออกเป็น 7 ระดับ คือ Unsatisfactory (F, > 145), Inefficient (D, > 116 - 145), Average (C, 86 - 115), Efficient (B, 56 – 85), Very efficient (A-, 26 – 55), High performance (A, 1 – 25), Zero net energy (A+, $\leq$ 0) ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระดับคะแนนของ Building EQ

ระดับคะแนน	ระดับการรับรอง	คำอธิบาย
≤ 0	A+	พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Zero net energy)
1 – 25	A	ประสิทธิภาพสูง (High performance)
26 – 55	A-	ดีมาก (Very good)
56 – 85	B	มีประสิทธิภาพ (Efficient)
86 – 115	C	ค่าเฉลี่ย (Average)
116 – 145	D	ไม่มีประสิทธิภาพ (Inefficient)
> 145	F	ไม่น่าพอใจ (Unsatisfactory)

2.3.4 การประเมิน As designed

การประเมิน As designed เป็นการประเมินพฤติกรรมโครงสร้างและระบบการดำเนินงานของอาคาร ซึ่งมีความเป็นอิสระของเงื่อนไขผู้ใช้งานและการดำงานของอาคาร โดยแบบประเมินนี้สามารถใช้ประเมินได้ทั้งอาคารออกแบบใหม่และอาคารเก่าซึ่งอยู่บนพื้นฐานการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างแบบจำลองของมาตรฐานการประเมินการใช้พลังงานของ ASHRAE (Standardized energy model) กับอาคาร Baseline

การประเมิน As designed จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคารที่เป็นไปตามความต้องการใน ภาคผนวก G (Appendix G Performance Rating Method (PRM)) ของมาตรฐาน ANSI / ASHRAE/IES 90.1-2010 (Energy standard for buildings except low - rise residential buildings) ซึ่งจะได้ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคารแยกตามประเภทของแหล่งพลังงานที่ใช้งาน (Site energy) จากนั้นนำปริมาณการใช้พลังงานที่ได้คูณด้วยค่า Source site ratio ของแต่ละแหล่งพลังงานเพื่อหาพลังงานที่ใช้ของอาคารในรูปของ Source energy จากนั้นหาพลังงานรวมที่ใช้ในอาคาร (Total building source energy use) ตามสมการที่ 2.6

$$Source\ energy = \sum(Site\ energy \times Source\ site\ ratio) \qquad (2.6)$$

ในกรณีอาคารมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน จะสามารถหาพลังงานสุทธิของอาคาร (Net energy use) ได้จากสมการที่ 2.7

Source energy = Source energy - Renewable energy (2.7)

จากนั้นหา Source EUI ของอาคารได้จากสมการที่ 2.8 เมื่อ E คือ พลังงานรวมของอาคาร (Net energy use, kBtu) และ A คือ พื้นที่รวมของอาคาร (Gross floor area, ft^2)

$$SourceEUI = \frac{E}{A} \tag{2.8}$$

จากสมการที่ 2.3 สามารถหา Building EQ rating ได้จากสมการที่ 2.9

$$BuildingEQ = \frac{SourceEUI}{MedianEUI} \times 100 \tag{2.9}$$

เมื่อ Source EUI คือ ดัชนีการใช้พลังงานรวมของอาคารกรณีฐาน

Median EUI คือ ค่ากลางของดัชนีการใช้พลังงานของอาคารจากฐานข้อมูลอาคาร

การจัดอันดับของ Building EQ จะอยู่บนพื้นฐานการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารกับค่ากลางของดัชนีการใช้พลังงานของอาคารจากฐานข้อมูลของ U.S. Department of Energy (DOE) Energy Energy Information Administration (EIA) Commercial และ Residential Energy Consumptions Surveys (CBECS 2003 and RECS 2005)

ค่ากลางของดัชนีการใช้พลังงาน (Median EUI) สามารถหาได้จากตาราง Median EUI ในคู่มือ Building EQ As designed โดยข้อมูลในตารางจะถูกปรับปรุงมาจากตารางที่ 1 CBECS /RECS Total Site-Based Energy Use Intensities ในภาคผนวก AF ของมาตรฐาน ASHRAE 100 และข้อมูล Median Energy Use Index (Median EUI) จะอยู่บนพื้นฐานของ U.S. Department of Energy (DOE) Energy Information Administration (EIA) Commercial and Residential Energy Consumptions Surveys (CBECS 2003 and RECS 2005) ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 169-2006

2.3.5 การประเมิน In operational

การประเมิน In operational เป็นการโปรแกรมประเมินการใช้พลังงานของอาคารสำหรับอาคารที่มีข้อมูลการดำเนินงานของอาคารอย่างน้อย 12 – 18 เดือน โดยอยู่บนพื้นฐานการตรวจวัดการใช้พลังงานจริงของอาคารเปรียบเทียบกับอาคาร Baseline โดยสามารถคำนวณระดับคะแนนได้จากสมการที่ 2.10

$$BuildingEQ = \frac{EUI_{measured}}{EUI_{median}} \times 100 \qquad (2.10)$$

เมื่อ $EUI_{measured}$ คือ ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารซึ่งเกิดจากการวัดจริง

EUI_{median} คือ ค่ากลางของดัชนีการใช้พลังงานของอาคารจากฐานข้อมูลอาคาร ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล CBECS ตามสภาพอากาศ

รายละเอียดการประเมิน In operational จะรวมอยู่ใน ASHRAE Level 1 Energy audit และเอกสารการประเมินจะใช้ Building EQ In operation workbook ซึ่งรูปแบบของแอกสารเป็นดังนี้

- ข้อตกลงและเงื่อนไขของ Building EQ
- คำแนะนำทั่วไป (รวมถึงคำจำกัดความ)
- ตารางการใช้งานอาคารประเภทต่างๆ
- Form 1 – โครงสร้างของอาคาร
- Photographs - ใส่รูปอาคารในพื้นที่ที่กำหนด
- Form 2 – การคำนวณการใช้พลังงานของ In operation rating
- Form 3 – คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ)
- Form 4 - คำแนะนำสำหรับการประหยัดพลังงานเพิ่มเติม
- Form 5 – รายละเอียดการใช้พลังงานขั้นสุด (เพิ่มเติม)
- Form 6 – การใช้น้ำ (ตัวเลือก)
- อื่นๆ

2.3.6 แหล่งพลังงาน (Source energy)

ในอาคารทั่วไปมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น พลังงานไฟฟ้า แก๊สธรรมชาติ น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำร้อน เป็นต้น การคำนวณประสิทธิภาพของอาคารเหล่านี้จะต้องทำให้พลังงานทุกประเภทมีหน่วยเดียวกันเสียก่อน ในระดับการประเมินด้านพลังงานของอาคาร แหล่งพลังงาน (Source energy) เป็นหน่วยเทียบเท่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และช่วยให้การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารมีความสมบูรณ์มากขึ้น

Site energy คือ ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าของอาคารที่แสดงในบิลค่าสาธารณูปโภค แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

— Primary energy เป็นเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาเผาไหม้เพื่อสร้างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า เช่น แก๊สธรรมชาติหรือน้ำมัน

— Secondary energy เป็นพลังงานที่สร้างจากเชื้อเพลิงหลัก เช่น ไฟฟ้า หรือความร้อนที่ได้จากระบบไอน้ำ เป็นต้น

หน่วยการใช้พลังงานของ Primary energy และ Secondary energy ของโครงการไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากส่วนหนึ่งแสดงในรูปของปริมาณเชื้อเพลิง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งแสดงในรูปของเชื้อเพลิงซึ่งถูกแปลง ในที่สุด อาคารต้องการพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงาน และย่อมมีความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและระบบการส่งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าเสมอ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของอาคารจำเป็นต้องแปลงกลับเป็นข้อมูลเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าให้แก่ระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งเกิดการสูญเสียในระบบได้บ้างและช่วยให้การประเมินความร้อนเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบ

ตารางที่ 12 ได้สรุปค่าอัตราส่วนที่ใช้ใน Portfolio manager เพื่อแปลงเป็นแหล่งพลังงาน (Source energy) โดยจะใช้ค่าอัตราส่วนเฉลี่ยของชาติเป็นตัวแปลงเป็นแหล่งพลังงาน (Source energy)

ตารางที่ 12 ค่า Source site ratio สำหรับ Portfolio manager energy meter types สำหรับ Building EQ

ประเภทพลังงาน	U.S. ratio	Canadian ratio
พลังงานไฟฟ้า (จากการสั่งซื้อ)	3.14	2.05
พลังงานไฟฟ้า (ที่ผลิตได้ในโครงการ เช่นพลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น)	1.00	1.00
แก๊สธรรมชาติ	1.05	1.02
น้ำมันเชื้อเพลิง (เช่น ดีเซล น้ำมันแก๊ส เป็นต้น)	1.01	1.01
โพรเพนและโพรเพนเหลว	1.01	1.03
ไอน้ำ	1.20	1.20
น้ำร้อน	1.20	1.20
น้ำเย็น	1.00	0.71
ไม้	1.00	1.00
ถ่าน	1.00	1.00
อื่นๆ	1.00	1.00

2.3.6.1 Source site ratios ตามประเภทพลังงานในสหรัฐอเมริกา

2.3.6.1.1 พลังงานไฟฟ้า (จากการสั่งซื้อ) เป็นพลังงานที่ใช้ในอาคารซึ่งถูกผลิตขึ้นจากความหลากหลายของกระบวนการผลิต โดยรวมถึงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงานนิวเคลียร์ และจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล เป็นต้น Source site ratio จะต้องสะท้อนให้เห็นถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากระบบ เมื่อเชื้อเพลิงเหล่านี้ถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า และความสูญเสียที่เกิดจากการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังอาคาร

การคำนวณจะใช้หลักการคำนวณโดยตรงจากแผนภาพกระแสไฟฟ้า (Electricity flow diagram) และข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี (Energy information administration's annual energy review) โดยผลผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมในสหรัฐอเมริกาจะอยู่ที่ประมาณ 66% เป็นพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล 21% เป็นพลังงานนิวเคลียร์ และ 13% เป็นพลังงานหมุนเวียน (น้ำ, ชีวมวล, แสงอาทิตย์, ลม, ความร้อนใต้พิภพ) Source site ratio ถูกคำนวณเป็น Primary energy โดยแบ่งออกเป็นการสูญเสียเพียงเล็กน้อยจากระบบส่งออกจากการผลิตและการ

สูญเสียในระบบสายส่ง (Net generation less transmission and distribution (T&D) losses) การคำนวณทั้งหมดจะสรุปได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การคำนวณ Source site ratio สำหรับพลังงานไฟฟ้าในสหรัฐอเมริกา

ปี	การใช้พลังงานหลัก (Primary energy) ในการผลิต	การผลิตสุทธิ	การสูญเสียในระบบสายส่ง	Source site ratio
2007	42.09	14.19	1.34	3.28
2008	40.67	14.02	1.04	3.13
2009	38.89	13.49	1.00	3.11
2010	40.26	14.06	1.04	3.09
2011	40.04	14.01	1.04	3.09
เฉลี่ย (2007-2011)				3.14

ตัวอย่างการคำนวณของปี 2007 คือ (42.09 / (14.19 – 1.34) = 3.28

แหล่งข้อมูล: แผนภาพกระแสไฟฟ้า (Electricity flow diagram, รูปที่ 8.0) ในรายงานการใช้พลังงานประจำปี (Annual energy review) แสดงในหน่วย Quadrillion Btus (Quads).

2.3.6.1.2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในโครงการ (พลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์) แหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานที่ผลิตในโครงการ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลมซึ่งจัดเป็นรูปแบบที่สองของพลังงาน (Secondary energy) เชื้อเพลิงเหล่านี้ไม่มีการสูญเสีย เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าสามารถผลิตได้โดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลมซึ่งไม่ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงอินทรีย์หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าถูกผลิตในโครงการ ทำให้ไม่มีระบบการส่งกระแสไฟฟ้าหรือการกระจายกระแสไฟฟ้า ดังนั้น Source site ratio ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม มีค่าเท่ากับ 1

2.3.6.1.3 แก๊สธรรมชาติ (Natural gas) เป็นพลังงานหลัก (Primary energy) ซึ่งถูกเผาไหม้ภายในโครงการเพื่อผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า Source site ratio จะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากการส่งออกหรือการกระจายของก๊าซธรรมชาติภายในท่อ

ค่าเหล่านี้ได้จากการใช้ก๊าซธรรมชาติรายปีที่ระบุไว้ในข้อมูลบริหารจัดการพลังงาน (Energy information administration) Source site ratio ถูกคำนวณโดยตรงจากข้อมูลในตารางที่ 14 ซึ่งใช้การคำนวณแยกตามรายปี โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณตั้งแต่ปี 2007 – 2011 ดังนั้น Source site ratio ของก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 1.05

ตารางที่ 14 การคำนวณ Source site ratio สำหรับแก๊สธรรมชาติในสหรัฐอเมริกา

ปี	ผลรวมของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้า/ภายในท่อและปริมาตรการจัดส่งแก่ผู้บริโภค	ผลรวมของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้าและภายในท่อ	ปริมาตรการจัดส่งแก่ผู้บริโภค	Source site ratio
2007	22,242,729	986,687	21,256,042	1.05
2008	22,412,895	1,003,546	21,409,349	1.05
2009	21,996,848	1,032,183	20,964,665	1.05
2010	23,170,000	1,042,954	22,127,046	1.05
2011	23,446,216	1,067,963	22,378,253	1.05
ค่าเฉลี่ย (2001-2005)				1.05

ตัวอย่างการคำนวณของปี 2007, (986,687 + 21,256,042 = 22,242,749) / 21,256,042 = 1.05

แหล่งข้อมูล: ตารางที่ 1 ตารางสรุปสถิติการใช้แก๊สธรรมชาติรายปีของสหรัฐอเมริกาในปี 2007 – 2011 โดยค่าทั้งหมดจะแสดงในหน่วยล้านลูกบาศก์ฟุต (Million cubic feet) ไม่รวมน้ำมันเชื้อเพลิงที่สอดคล้องกับวิธีการผลิตไฟฟ้า

2.3.6.1.4 น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil) ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นปิโตรเลียมเป็นพลังงานประเภทพลังงานหลัก (Primary energy) ซึ่งถูกเผาไหม้ภายในโครงการเพื่อสร้างความร้อนหรือไฟฟ้า โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะรวมถึงน้ำมันเตา (# 1, 2, 4, 5, 6) น้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด Source site ratio ที่ถูกคำนวณจะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากการจำหน่าย การเก็บและการจ่ายของเชื้อเพลิง ซึ่ง EIA ไม่ได้ให้ข้อมูลรายงานประจำปีเกี่ยวกับการประเมินการสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการจำหน่าย การเก็บและการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม รายงานข้อมูลอื่นๆ ถูกตรวจสอบเพื่อสำรวจความต้องการพลังงานตลอดวงจรในการขนส่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และรายงานที่เหมาะสม

ที่สุดสำหรับการประเมินที่ต้องการถูกกำหนดเป็น A Lifecycle Emissions Study (LEM) ซึ่งดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยของแคลิฟอร์เนีย จากการศึกษาพบว่าการประเมินที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการกระจายของน้ำมันดีเซล (Highway diesel fuel) ถูกกำหนดให้เป็นเชื้อเพลิงประเภทเชื้อเพลิงให้ความร้อนที่พบในอาคารพาณิชย์ การศึกษา LEM ได้ระบุพลังงานที่จำเป็นสำหรับการจัดจำหน่าย การจัดเก็บ การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและสัดส่วนที่สัมพันธ์กันของการใช้พลังงานส่วนนี้กับการใช้พลังงานทั้งหมด ในตารางที่ 15 สัดส่วนของน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการจัดจำหน่าย การจัดเก็บและการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ประมาณ 1% ของการส่งมอบทั้งหมดให้กับลูกค้า ดังนั้น Source site ratio สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีค่า 1.01

ตารางที่ 15 การศึกษา LEM สำหรับ Highway diesel fuel

Highway diesel fuel lifecycle	ความต้องการพลังงาน (Btu/mile)	สัดส่วนของพลังงานกับการใช้พลังงานขั้นสุด
การกระจายและการจัดเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง	189	0.8%
การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	45	0.2%
การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงขั้นสุด	24,600	100%
รวม	**24,834**	**101.0%**

แหล่งข้อมูล: ตารางที่ 5.1B การศึกษา LEM, p. 400

2.3.6.1.5 โพรเพน (Propane) เป็นเชื้อเพลงประเภทหนึ่งที่เกิดจากการกลั่นน้ำมันดิบหรือกระบวนการของก๊าซธรรมชาติ โพรเพนถูกพิจารณาเป็นเชื้อเพลิงหลัก (Primary energy) ซึ่งใช้ในการเผาไหม้ภายในโครงการเพื่อผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า Source site ratio ที่ถูกคำนวณจะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากการกระจาย การจัดเก็บและการจ่ายของเชื้อเพลิง ซึ่ง EIA ไม่ได้ให้ข้อมูลรายงานประจำปีเกี่ยวกับการประเมินการสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการกระจาย การจัดเก็บและการจ่ายโพรเพน สำหรับโพรเพนค่าการสูญเสียเหล่านี้จะถูกพิจารณาเช่นเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้น Source site ratio สำหรับโพรเพนจึงมีค่า 1.01

2.3.6.1.6 ไอน้ำ (District steam) เป็นเชื้อเพลงประเภทที่สอง (Secondary energy) ซึ่งถูกผลิตนอกโครงการและถูกส่งเข้ามาเพื่อใช้งานในโครงการ Source site ratio ที่

ถูกคำนวณจะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงหลัก (Primary fuel) ถูกแปลงเป็นพลังงานรอง (Secondary energy) และค่าการสูญเสียบางค่าจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานรอง (Secondary energy) ถูกกระจายไปยังสถานที่ ไอน้ำ (District steam) ถูกสร้างจากการใช้ทั้งเทคโนโลยีหม้อไอน้ำธรรมดาและเทคโนโลยีพลังงานความร้อนร่วม ทั้งสองระบบถูกรวมอยู่ใน Source site ratio ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 80% - 85% ที่เงื่อนไขการทำงานเต็มที่ ประสิทธิภาพของโหลดบางส่วนมีค่าอยู่ระหว่าง 90% - 97% ของประสิทธิภาพการออกแบบ การคำนวณ Source site ratio สำหรับไอน้ำ (District steam) การผลิตจะถูกประเมินที่ค่ากลางของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (82.5%) และประสิทธิภาพสูงสุด (97%) เนื่องจากการดำเนินการของระบบทำความร้อนที่ปัจจัยโหลดประจำปีค่อนข้างสูง เมื่อไอน้ำที่ถูกสร้างขึ้นจะมีค่าการสูญเสียความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการจำหน่ายประมาณ 6% - 9% ค่ากลางของช่วง 7.5% ถูกใช้ในการวิเคราะห์ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำโดยทั่วไปเป็น 74% นั่นหมายความว่า 1.35 kBtu ของความต้องการของแหล่งพลังงาน (Source energy) จะให้ 1 kBtu ของพลังงานที่ใช้ในอาคาร ดังนั้น Source site ratio สำหรับไอน้ำจึงมีค่า 1.35 ตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่า Source site ratio สำหรับการผลิตไอน้ำ

รายละเอียด	**เปอร์เซ็นต์**
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	82.5%
การปรับโหลดบางส่วน (Part load)	97.0%
ประสิทธิภาพการผลิต — (ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ x การปรับโหลดบางส่วน (Part load))	80.0%
ค่าการสูญเสียการกระจายความร้อน	7.5%
ประสิทธิภาพหลังสูญเสียความร้อน — ประสิทธิภาพการผลิต – (การสูญเสียจากการกระจาย x ประสิทธิภาพการผลิต)	74.0%
Source - site ratio สำหรับไอน้ำปกติ (Conventional steam) (1 / ประสิทธิภาพหลังสูญเสียความร้อน)	**1.35**

2.3.6.1.7 น้ำเย็น (District chilled water) เป็นพลังงานประเภทที่สอง (Secondary energy) ซึ่งถูกผลิตนอกโครงการและถูกส่งเข้ามาเพื่อใช้งานในโครงการ Source site ratio ที่ถูกคำนวณจะมีการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงหลัก (Primary fuel) ถูกแปลงเป็นพลังงานรอง (Secondary energy) และค่าการสูญเสียบางค่าจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานรอง (Secondary energy) ถูกกระจายไปยังสถานที่ การสร้างน้ำเย็นจะถูกระบุด้วยสองเทคโนโลยีหลักที่โดดเด่น คือ ชิลเลอร์ไฟฟ้าและชิลเลอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยไอน้ำ ทั้งสองระบบถูกรวมอยู่ใน Source site ratio

ประสิทธิภาพของชิลเลอร์ไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ในรูปของ COP (Coefficient of performance) โดยสำหรับชิลเลอร์ไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.9 – 4.4 ชิลเลอร์ไฟฟ้าจะมีการสูญเสียเพิ่มเป็น 10% เนื่องจากการดำเนินงานของโหลดบางส่วน ช่วง COP จะดีกว่าค่าที่อยู่ระหว่าง 2.6 – 4.0 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการผลิตสุทธิ Source site ratio จะมีการสูญเสียเนื่องจากการจำหน่ายอยู่ในช่วง 2% - 3% เมื่อหักค่าเปอร์เซ็นนี้จากค่า COP จะทำให้ค่า COP อยู่ในช่วง 2.5-3.9 ค่ากลางของช่วงคือ 3.2 สำหรับ kBtu ของพลังงานที่จำเป็นของชิลเลอร์ไฟฟ้า จะมีค่าประมาณ 3.2 kBtu ของพลังงานที่ส่งไปยังอาคาร ค่า COP สุทธิมีค่า 3.2 พลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นมีค่า 0.3125 kBtu ที่ทำให้ชิลเลอร์ระบายความร้อนได้ 1 kBtu ในอาคาร อย่างไรก็ตาม Btu ที่จำเป็นในการขับเคลื่อนชิลเลอร์คือพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าจัดเป็นพลังงานประเภทพลังงานรอง (Secondary energy) ดังนั้นเพื่อปริมาณความต้องการพลังงานทั้งหมด ความต้องการพลังงานของชิลเลอร์จะต้องคูณด้วย Source site ratio ของไฟฟ้า (มีค่า 3.14) ดังนั้นสำหรับชิลเลอร์ไฟฟ้า Source site ratio จะมีค่า 0.98 ตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่า Source site ratio สำหรับชิลเลอร์ไฟฟ้า

รายละเอียด	**ค่าต่ำสุด**	**ค่าสูงสุด**
ค่า COP ของชิลเลอร์	2.9	4.4
ค่า COP ของโหลดบางส่วน	2.6	4.0
ค่า COP รวมถึงการสูญเสียจากการกระจาย	2.5	3.9
ค่า COP โดยเฉลี่ย	3.2	
พลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่ชิลเลอร์ (kBtu) เพื่อทำความเย็น 1 kBtu (1/COP)	0.3125	
Source energy ที่ให้แก่ชิลเลอร์ (kBtu) เพื่อทำความเย็น 1 kBtu (พลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่ชิลเลอร์ x Source site ratio ของพลังงานไฟฟ้า)	0.98	
Source site ratio สำหรับชิลเลอร์ไฟฟ้า	0.98	

2.3.6.1.8 ไม้ (Wood) จัดเป็นพลังงานหลัก (Primary energy) ที่ถูกเผาไหม้ในโครงการเพื่อผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า ในการคำนวณ Source site ratio จะมีค่าการสูญเสียบางค่าที่เกิดจากการจัดเก็บ การขนส่ง และการส่งมอบไม้มายังอาคาร หากไม่พิจารณาค่าการสูญเสียที่เกิดจากการขนส่งและการกระจายบางค่าที่เกี่ยวข้องกับการส่งไม้มายังโครงการ จะทำให้ Source site ratio ของไม้มีค่าเท่ากับ 1.0

2.3.6.1.9 ถ่าน (Coal) จัดเป็นพลังงานหลัก (Primary energy) ที่ถูกเผาไหม้ในโครงการเพื่อผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า ในการคำนวณ Source site ratio จะมีค่าการสูญเสียบางค่าที่เกิดจากการจัดเก็บ การขนส่ง และการส่งมอบถ่านมายังอาคาร หากไม่พิจารณาค่าการสูญเสียของถ่านที่เกิดจากจากการจัดเก็บ การขนส่ง และการส่งมอบมายังโครงการ จะทำให้ Source site ratio ของถ่านมีค่าเท่ากับ 1.0

2.3.6.1.10 อื่นๆ (Other) Portfolio manager รวมถึงสมรรถภาพของเชื้อเพลิงหลายประเภท ในกรณีที่อาคารมีการใช้เชื้อเพลิงภายในโครงการ เช่น ชีวมวล ขยะ เป็นต้น ผู้ใช้อาจต้องเลือกหมวดหมู่ “อื่นๆ” และใช้ Source site ratio is 1.0

2.4 เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES V. 1.1)

เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวที่ใช้ในการศึกษามีชื่อว่า “เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยสำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่” (Thai’s Rating of Energy and Environmental Sustainability For New Construction and Major Renovation: TREES – NC Version 1.0) จัดทำขึ้นโดย คณะอนุกรรมการจัดทำหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวที่มีตัวแทนมาจากสองสมาคม คือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการเดินหน้าเรื่องอาคารเขียวในประเทศไทยอย่างเต็มรูปแบบเป็นครั้งแรกนั่นเอง ซึ่งเกณฑ์การประเมิน TREES - NC นี้ เป็นจุดเริ่มต้นที่มุ่งเน้นการประเมินโครงการอาคารสาธารณะที่สร้างขึ้นใหม่หรือมีการปรับปรุงครั้งใหญ่ [9]

2.4.1 การผ่านการประเมิน TREES - NC Version 1.1

ในการผ่านเกณฑ์การประเมิน TREES - NC Version 1.1 นี้ ผู้เข้าร่วมประเมินต้องส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องในแต่ละหัวข้อคะแนนเพื่อยืนยันว่าได้มีการดำเนินกิจกรรมในการทำคะแนนในหัวข้อต่างๆ จริง (เอกสารที่ต้องนำส่งตลอดจนช่วงเวลาในการส่งจะถูกระบุไว้ในเอกสารการประเมินฉบับเต็ม) ทางสถาบันจะมีการตรวจสอบในรูปแบบต่างๆ เพื่อยืนยันว่ากิจกรรมต่างๆ เป็นไปตามที่ผู้เข้าร่วมประเมินได้กล่าวอ้าง ซึ่งหากทางสถาบันพบว่ามีการบิดเบือน ปลอม หรือ สร้างหลักฐานเท็จ ทางสถาบันขอสงวนสิทธิ์ในการยกเลิกการรับรองและถอดถอนรางวัลที่ได้มอบให้จากเจ้าของโครงการ ซึ่งในการประเมินนั้น ทางสถาบันอาคารเขียวจะทำหน้าที่ประเมินหลักฐานต่างๆ ตลอดจนวิธีการดำเนินการว่ามีความถูกต้องและสอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ของหัวข้อคะแนนต่างๆ และสมควรได้รับการรับรองคะแนนหรือไม่

การรับรองอาคารที่เข้าร่วมประเมินนั้นจะแบ่งรางวัลเป็น 4 ระดับ ตามคะแนนที่ได้ดังนี้

Platinum	61	คะแนน ขึ้นไป
Gold	46-60	คะแนน
Silver	38-45	คะแนน
Certified	30-37	คะแนน

ซึ่งในการผ่านการประเมินทุกระดับนั้น ผู้เข้าร่วมประเมินต้องผ่านการทำคะแนนข้อบังคับ 9 ข้อ หากไม่สามารถทำคะแนนข้อบังคับข้อใดข้อหนึ่ง ทางสถาบันจะถือว่าไม่สามารถเข้าร่วมการประเมินได้

2.4.2 หมวดการประเมิน TREES - NC Version 1.1

TREES - NC Version 1.1 ได้แบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 8 หมวด ดังนี้

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (3 คะแนน)

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (16 คะแนน)

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (6 คะแนน)

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (20 คะแนน)

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (13 คะแนน)

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (17 คะแนน)

หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (5 คะแนน)

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (5 คะแนน)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 18 รายละเอียดตามหมวดการประเมินของ TREES

รายละเอียด	ระดับคะแนน
หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร	**3**
BM P1 การเตรียมความพร้อมความเป็นอาคารเขียว	บังคับ
BM 1 การประชาสัมพันธ์สู่สังคม	1
BM 2 คู่มือและการฝึกอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร	1
BM 3 การติดตามประเมินผลขณะออกแบบ ก่อสร้างและเมื่ออาคารแล้วเสร็จ	1
หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์	**16**
SL P1 การหลีกเลี่ยงที่ตั้งที่ไม่เหมาะกับการสร้างอาคาร	บังคับ
SL P2 การลดผลกระทบต่อพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติ	บังคับ
SL 1 การพัฒนาโครงการบนพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว	1
SL 2 การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว	4
SL 3 การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน	3
SL 3.1 มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินของโครงการ	1
SL 3.2 มีต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร	1
SL 3.3 ใช้พืชพรรณพื้นถิ่นที่เหมาะสม	
SL 4 การซึมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม	1
SL 5 การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ	4
SL 5.1 มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง	4
SL 5.2 มีพื้นที่ดาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่	2
โครงการ	1
SL 5.3 มีต้นไม้ยืนต้นทางทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ที่บังแดดได้	
อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อความเสียหายกับตัวอาคาร	1
หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ	**6**
WC 1 การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	6
หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ	**20**
EA P1 การประกันคุณภาพอาคาร	บังคับ
EA P2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ	บังคับ
EA 1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	16
EA 2 การใช้พลังงานทดแทน	2

ตารางที่ 18 รายละเอียดตามหมวดการประเมินของ TREES (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
EA 3 การตรวจสอบและพิสูจน์ผลเพื่อยืนยันการประหยัดพลังงาน มีแผนการตรวจสอบและพิสูจน์ผลตามข้อกำหนด IPMVP	1
EA 4 สารทำความเย็นไม่ทำลายชั้นบรรยากาศไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22	1
หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง	**13**
MR 1 การใช้อาคารเดิม เก็บรักษาพื้นหรือหลังคาของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50 - 75 ของพื้นที่ผิว	2
MR 2 การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง นำขยะไปใช้หรือรีไซเคิล ร้อยละ 50	2
MR 3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10	2 2
MR 4 การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นมูลค่าร้อยละ 10 - 20	2
MR 5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ การใช้วัสดุที่ ขุด ผลิต ประกอบ พื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 - 20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	3
MR 6 วัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ	
MR 6.1 ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทยร้อยละ 10-20	2
MR 6.2 ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	1
หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร	**17**
IE P1 ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร – อัตราการระบายอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	บังคับ
IE P2 ความส่องสว่างภายในอาคาร ขั้นต่ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	บังคับ
IE 1 การลดผลกระทบมลภาวะ	5
IE 1.1 ช่องนำอากาศเข้าไม่อยู่ตำแหน่งที่มีความร้อนหรือมลพิษ	1
IE 1.2 ความดันเป็นลบ (Negative pressure) สำหรับห้องพิมพ์งาน ถ่ายเอกสาร เก็บสารเคมี และห้องเก็บสารทำความสะอาด	1
IE 1.3 ควบคุมแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร	1
IE 1.4 พื้นที่สูบบุหรี่ห่างจากประตูหน้าต่าง/ช่องนำอากาศเข้าไม่น้อยกว่า 10 m	1
IE 1.5 ประสิทธิภาพการกรองอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	1

ตารางที่ 18 รายละเอียดตามหมวดการประเมินของ TREES (ต่อ)

รายละเอียด	ระดับคะแนน
IE2 การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	4
IE 2.1 การใช้วัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้น ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.2 การใช้สี และวัสดุเคลือบผิว ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.3 การใช้พรมที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.4 การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 3 การควบคุมแสงสว่างภายในอาคาร - แยกวงจรแสงประดิษฐ์ทุก 250 ตารางเมตรหรือตามความต้องการ	1
IE 4 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร – ออกแบบให้ห้องที่มีการใช้งานประจำได้รับแสงธรรมชาติอย่างพอเพียง	4
IE 5 สภาวะน่าสบาย – อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนที่มีการปรับอากาศเหมาะสมตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	3
หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	**5**
EP P1 การลดมลพิษจากการก่อสร้าง	บังคับ
EP P2 การบริหารจัดการขยะ	บังคับ
EP 1 ใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในระบบดับเพลิง	1
EP 2 ตำแหน่งเครื่องระบายความร้อน	1
EP 3 การใช้กระจกภายนอกอาคาร	1
EP 4 การควบคุมโรคที่เกี่ยวข้องกับอาคาร	1
EP 5 ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย	1
หมวดที่ 8 นวัตกรรม	**5**
GI 1 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 2 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 3 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 4 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 5 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1

2.4.3 หมวดพลังงานและบรรยากาศ (Energy and atmosphere)

2.4.3.1 การประกันคุณภาพอาคาร (บังคับ) เจ้าของโครงการต้องจัดหาผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบที่มีประสบการณ์และความชำนาญในลักษณะงานดังต่อไปนี้ งานออกแบบ ติดตั้งและใช้งานระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน งานบริหารจัดการควบคุมการทดสอบและปรับแต่งระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ควรให้ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบมีส่วนร่วมในกระบวนการออกแบบให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบสามารถให้ข้อคิดเห็นในการวางแผน และเข้าใจความต้องการของเจ้าของโครงการตลอดจนช่วยตรวจสอบ เอกสารแสดงแนวคิดและเจตนารมณ์ในการออกแบบ เพื่อให้มีความสอดคล้องกันตั้งแต่เริ่มแรก

2.4.3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ (บังคับ) ผู้ออกแบบอาคารต้องคำนึงถึงการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงาน โดยมีการออกแบบและเลือกใช้ระบบกรอบอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับภูมิอากาศและมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาตรฐานทั่วไป เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานรวมต่ำกว่าอาคารอ้างอิงตามข้อกำหนดการใช้พลังงานตามกฎหมายสำหรับอาคารสร้างใหม่ตามทางเลือกที่กำหนดไว้

2.4.3.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (16 คะแนน) พัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารให้สูงกว่าอาคารมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 หรือ กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ภายใต้ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 หรือการเทียบค่าจากการประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดมาจากการใช้พลังงาน โดยเทียบคะแนนได้จากตารางที่ 19

ตารางที่ 19 คะแนนในการประเมินพลังงานของ TREES V1.1

คะแนน	**กฎกระทรวง พ.ศ.2552 (ค่าพลังงาน)**		**ASHRAE 90.1-2007 Appendix G (ค่าใช้จ่ายพลังงาน)**		**คะแนนการประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM)**	
	อาคารปรับปรุง	**อาคารใหม่**	**อาคารปรับปรุง**	**อาคารใหม่**	**อาคารปรับปรุง**	**อาคารใหม่**
4	0 - 5	6 - 10	0 - 5	6 - 10	51 - 55	51 - 55
6	6 - 10	11 - 15	6 - 10	11 - 15	56 - 60	56 - 60
8	11 - 15	16 - 20	11 - 15	16 - 20	61 - 65	61 - 65
10	16 - 20	21 - 25	16 - 20	21 - 25	66 - 70	66 - 70
12	21 - 25	26 – 30	21 - 25	26 – 30	>= 71	>= 71
14	26 - 30	31 - 35	26 - 30	31 - 35		
16	31 - 35	36 - 40	31 - 35	36 - 40		

2.4.3.4 การใช้พลังงานทดแทน (2 คะแนน) ใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในโครงการ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น ให้ได้เป็นมูลค่าร้อยละ 0.5 - 1.5 ของค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคารต่อปี ที่อาจคำนวณได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยคิดเป็น 1 คะแนน ถ้าสามารถผลิตพลังงานทดแทน ให้มีมูลค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร และคิดเป็น 2 คะแนน เมื่อผลิตพลังงานทดแทน ให้มีมูลค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร

ในกรณีใช้ทางเลือกที่ 3 ใน EA 1 ใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานต่อพื้นที่อาคารแต่ละประเภทตามตาราง 20 ซึ่งปรับค่าให้เป็นค่าใช้จ่ายทางพลังงาน โดยใช้ค่าเฉลี่ยค่าไฟที่ 3.5 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 20 ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปีตามประเภทของอาคารของ TREES V. 1.1

อาคาร	ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี
1. สำนักงาน	หน่วย kWh/ปี/m^2
1.1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	215.80
1.2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	199.90
1.3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	218.50
2. ศูนย์การค้า	หน่วย kWh/ปี/m^2
2.1 ดิสเคาท์สโตร์ (Discount store)	336.40
2.2 ห้างสรรพสินค้า (Department store)	240.60
2.3 ช็อปปิ้งพลาซ่า (Shopping plaza) หรือพื้นที่ให้เช่า	204.20
2.4 ซุปเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket)	418.40
3.โรงพยาบาล	ดัชนีการใช้พลังงานต่อปริมาณคนไข้ในต่อปี หน่วย MJ/Bed-Day (ในหน่วยปี)
3.1 โรงพยาบาลรัฐ	262.00
3.2 โรงพยาบาลเอกชน	625.00
4.อาคารประเภทอื่นๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้	240 kWh/ปี/m^2

2.4.3.5 การตรวจสอบและพิสูจน์ผลเพื่อยืนยันการประหยัดพลังงาน (1 คะแนน) จัดให้มีแผนการตรวจสอบและประเมินผลการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับ International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) Volume III. Concepts and Options for Determining Energy Saving in New Construction: Option D: Calibrated simulation (Saving estimation method 2) หรือ Option B: Energy Conservation Measure Isolation และแผนที่จะทำการตรวจสอบและประเมินผลในข้อ 1 ต้องดำเนินการภายใน 1 ปี หลังการเปิดใช้อาคารและมีการใช้งานที่เสถียรแล้ว

2.4.3.6 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ (1 คะแนน) ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 ในเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องที่ใช้สารความเย็นมากกว่า 0.3 กิโลกรัม ขึ้นไปเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า 0.3 กิโลกรัม ให้ถือเป็นข้อยกเว้น

ในกรณีที่อาคารใหม่มีการต่อเติมเข้ากับอาคารเก่า (ที่มีการประเมินอาคารเก่าร่วมด้วย) อาคารเก่าต้องเปลี่ยนสารทำความเย็นด้วย ให้เป็นแบบไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 เว้นแต่มีการจัดทำแผนการลดปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็น

2.5 โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960) ได้มีการใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารอย่างแพร่หลาย รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ให้การสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งโปรแกรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ โปรแกรม DOE-2 และ BLAST ในส่วนของโปรแกรม DOE-2 ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960) โดยกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Department of Energy, DOE) ส่วนโปรแกรม BLAST ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970) โดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Department of Defense, DOD) และโปรแกรมทั้งสองได้มีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมามากกว่า 20 ปี จนเกิดความซับซ้อนในตัวโปรแกรม จึงทำให้การจะใช้งานหรือพัฒนาโปรแกรมเป็นเรื่องยาก ต้องอาศัยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในตัวโปรแกรมเป็นอย่างดี

ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1996) รัฐบาลสหรัฐอเมริกาจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารขึ้นมาใหม่ ใช้ชื่อโปรแกรมว่า “EnergyPlus” ซึ่งเกิดจากความร่วมมือกันของกลุ่มองค์กร เช่น US Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL), University of Illinois (UI), Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Oklah-oma State University (OSU), GARD analytics และกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา

การพัฒนาโปรแกรม EnergyPlus จะเลือกจุดเด่นของโปรแกรม DOE-2 และ BLAST มาประยุกต์รวมกัน ตัวอย่างเช่น ในส่วนของโปรแกรม DOE-2 จะคิดคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Heat gain) และภาระการปรับอากาศ (Cooling loads) โดยใช้วิธีฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อน (Transfer function method) ซึ่งรวดเร็วและแม่นยำพอสมควร แต่โปรแกรม BLAST จะคิดคำนวณจากสมดุลความร้อน (Heat balance) ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งช้ากว่าแต่ก็แม่นยำกว่า โปรแกรม EnergyPlus จะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้เลือกว่าจะทำการคำนวณด้วยวิธีใด ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองมาตรฐาน (Base case) ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และตัวโปรแกรมยังสามารถพัฒนารูปแบบการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้ได้

2.5.1 โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร EnergyPlus

จากที่กล่าวมาในเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าโปรแกรม DOE-2 และ BLAST มีภาษาที่ซับซ้อน ยากต่อความเข้าใจในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป ส่วนหนึ่งเนื่องจากใช้ภาษาฟอร์แทรนแบบเก่า (Old fortran) ในการเขียน

ในการประชุมระหว่างกระทรวงกลาโหมกับกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกาได้เล็งเห็นว่าโปรแกรม DOE-2 และ BLAST นั้นมีความเป็นไปได้ยากที่จะพัฒนาให้ดีขึ้นเนื่องจากจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายฟุ่มเฟือยเกินไป จึงได้มอบหมายให้กระทรวงพลังงานทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม EnergyPlus ขึ้นมาโดยอาศัยโครงสร้างของโปรแกรม DOE-2 และ BLAST เป็นตัวเริ่มต้นในการสร้าง ซึ่งโปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษาฟอร์แทรน 90 (Fortran 90) ทำให้ตัวโปรแกรมไม่ต้องเชื่อมต่อหลายๆ ส่วนเข้าไว้ภายในโปรแกรมเดียว แต่จะประกอบขึ้นจากโปรแกรมย่อยอยู่ภายนอกโปรแกรมหลักและจะถูกเรียกใช้เฉพาะโปรแกรมที่ต้องการใช้งานเท่านั้น จึงทำให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วมากขึ้น และยังง่ายต่อการพัฒนาต่อไปในอนาคต

โปรแกรม EnergyPlus ออกแบบให้ใช้ได้ร่วมกับโปรแกรมหลายๆ ชนิด ในการออกแบบเมื่อเริ่มต้นได้เลือกใช้ภาษาซี (C/C++) และภาษาฟอร์แทรน 90 ถึงอย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาจะเห็นว่าภาษาซีไม่เหมาะสมกับโครงสร้างของโปรแกรม จึงได้ตัดสินใจเลือกฟอร์แทรน 90 ในการออกแบบเพราะ

- มีความทันสมัยสามารถเขียนในลักษณะที่เป็นโมดูลาร์ (Modular) คือเป็นโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรมที่เป็นอิสระต่อกันได้
- สามารถใช้ร่วมกับภาษาซีและภาษาอื่นๆ ได้
- เริ่มมีลักษณะเป็นภาษาเชิงอิงวัตถุ (Object - base) เพิ่มเติมจากลักษณะภาษาเชิงโครงสร้างแบบเดิม
- สามารถตั้งชื่อตัวแปรได้มากถึง 32 ตัวอักษร
- สามารถใช้โปรแกรมกับโครงสร้างภาษาเก่าได้

2.5.2 โครงสร้างของโปรแกรม EnergyPlus

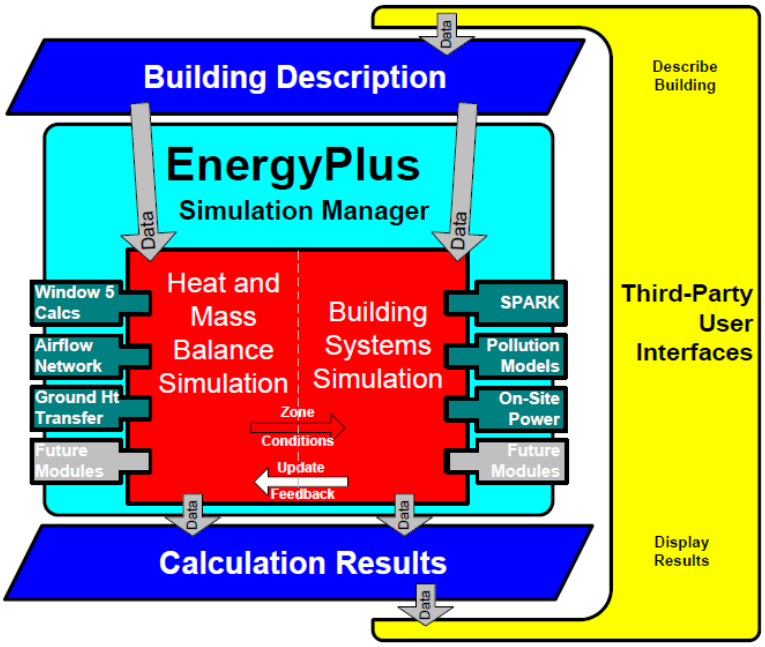
จากการประชุมร่วมกันของคณะทำงานจากกระทรวงพลังงานและกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคารตัวใหม่ ได้ผลสรุปว่า โปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนั้น ควรจะมีความยืดหยุ่นแต่แม่นยำและเสถียรในการทำงาน และครอบคลุมไปถึงการวิเคราะห์ในด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ ความปลอดภัย และความรู้สึกสบายของผู้ใช้อาคาร ในเมื่อต้องการโปรแกรมที่มีความแม่นยำสูง ตัวโปรแกรมจึงต้องมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นสิ่งที่ตรงกันข้ามกับความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม

ที่ประชุมจึงได้ลงมติเห็นชอบว่า เพื่อให้โปรแกรม EnergyPlus เป็นโปรแกรมที่มีความง่ายต่อการใช้งาน มีความซับซ้อนน้อยลงกว่าโปรแกรมแบบเก่า และให้ความแม่นยำที่สูงจึงได้ออกแบบโปรแกรมให้สามารถคำนวณภาระการปรับอากาศโดยใช้วิธีการทำสมดุลความร้อนและให้ผู้ใช้สามารถกำหนดความถี่ของช่วงเวลา (Time - step) ในการคำนวณได้ เช่น คิดภาระการปรับอากาศทุกๆชั่วโมง ทุกๆ 15 นาที หรือทุก 1 นาที ฯลฯ และในส่วนของแบบจำลองการทำงานของระบบปรับอากาศก็สามารถกำหนดได้เช่นกัน ภาระการปรับอากาศส่วนเกินของช่วงเวลาปัจจุบันก็จะถูกยกยอดไปคิดในช่วงเวลาต่อๆ ไปตามการแบ่งความถี่ของช่วงเวลา การที่สามารถปรับความถี่ของช่วงเวลาได้ รวมถึงการเพิ่มความสามารถในการถ่ายข้อมูลกลับไปมาระหว่างโปรแกรมส่วนที่คำนวณภาระการปรับอากาศ (Cooling load) และส่วนที่คำนวณระบบปรับอากาศ จึงเป็นผลทำให้ได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นของแต่ละพื้นที่ในอาคารเข้าใกล้ค่าจริงมากที่สุด ซึ่งต่างจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ที่มีการส่งข้อมูลจากโปรแกรมส่วนที่คำนวณภาระการปรับอากาศไปยังส่วนที่คำนวณระบบปรับอากาศเพียงทิศทางเดียวโดยไม่มีการป้อนกลับ

ข้อดีอื่นๆ ของโปรแกรม EnergyPlus ได้แก่

- ระบบควบคุมมีความสมจริงมากขึ้น
- สามารถคำนวณความชื้นทั้งส่วนที่คายและดูดซับของวัสดุในพื้นที่ปรับอากาศ
- สามารถคำนวณการทำความร้อนและความเย็นแบบแผ่รังสีได้
- สามารถคำนวณการไหลของอากาศที่ผ่านไปมาระหว่างแต่ละพื้นที่ภายในอาคารได้

2.5.3 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม EnergyPlus



รูปที่ 6 ภาพรวมของโปรแกรม EnergyPlus

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า ในส่วนของข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร (Building description) เป็นส่วนของข้อมูลโครงสร้างอาคาร (เช่น ขนาด ทิศทางที่ตั้ง ชนิดของวัสดุ ช่วงเวลาการใช้งาน ฯลฯ) และสภาพภูมิอากาศ (เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ฯลฯ) ในแต่ละชั่วโมงของวันตลอดทั้งปี และข้อมูลในส่วนนี้จะถูกส่งไปยังส่วนของการคำนวณภาระการปรับอากาศ (Heat and mass balance simulation) เพื่อทำการคำนวณและแสดงผลในรูปของความร้อนที่ส่งผ่านสู่อาคาร (Heat gain) กับภาระการปรับอากาศ (Cooling load) โดยสมมติให้พื้นที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิและความชื้นที่คงที่ โปรแกรมส่วนนี้ยังสามารถเรียกใช้โปรแกรมย่อยต่างๆ ได้ เช่น Window 5 Comis ฯลฯ ตามที่ผู้ใช้กำหนดมา ส่วนของแบบจำลองการทำงานของระบบปรับอากาศ (Building systems simulation) เป็นการเลือกระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบ ได้อย่างอิสระ จากนั้นส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager) จะเป็นตัวเชื่อมข้อมูล 2 ส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อหาค่าอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศขึ้นมาใหม่หลังจากที่คำนึงถึง

ผลกระทบจากการทำงานของระบบปรับอากาศแล้ว โดยคำนวณกลับไปกลับมาคล้ายวิธีการคำนวณแบบวนรอบ (Iteration) ผลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงมากขึ้นกว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ในภาระการปรับอากาศ ส่วนการคำนวณเพราะเป็นค่าที่สมมติขึ้น เมื่อสิ้นสุดการคำนวณทั้งหมดของระบบจะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการออกมา เช่น ปริมาณการใช้และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของแต่ละพื้นที่และทั้งอาคาร สภาวะอากาศในแต่ละพื้นที่ของอาคาร ฯลฯ

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบการคำนวณในด้านต่างๆ ของแต่ละโปรแกรม

ภาระที่เกิดขึ้น	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
การคำนวณโดยใช้หลักการของสมดุลความร้อน	✗	✓	✓	✓
การคำนวณการพาความร้อนของผิวด้านใน				
- ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศ	✗	✓	✓	✓
- คำนึงถึงการสะสมความร้อนในเนื้อมวลสาร	✓	✓	✓	✓
การคำนวณการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างผิววัสดุกับอากาศ	✗	✗	✓	✓
การคำนวณด้านความรู้สึกสบายของผู้ใช้อาคาร	✗	✓	✓	✓
การคำนวณบนสมมติฐานเรื่องความสว่างของท้องฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ (Anisotropic sky model)	✓	✗	✗	✓
การคำนวณระบบหน้าต่างแบบพิเศษ เช่น มู่ลี่แบบปรับได้ กระจกกรองแสงปรับความทึบด้วยกระแสไฟฟ้า ฯลฯ	✓	✗	✗	✓
การคำนวณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกหน้าต่างหลากหลายประเภท				
- กระจกแบบธรรมดาและแบบพิเศษ เช่น กระจกกรองแสง กระจกสองชั้น ฯลฯ	✓	✗	✗	✓
- กระจกหลายชนิดที่ติดตั้งเรียงกันเป็นชั้นๆ ตามที่ผู้ใช้กำหนด	✗	✗	✗	✓
การคำนวณการใช้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (Daylighting)	✓	✗	✗	✓

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบลักษณะทั่วไปของแต่ละโปรแกรม

ลักษณะทั่วไป	DOE-2	BLAST	IBLAST	Energy Plus
การคำนวณแบบวนรอบ (Iteration)	✗	✗	✓	✓
การกำหนดความถี่ของช่วงเวลาโดยผู้ใช้ (Time - Step)	✗	✗	✓	✓
แก้ไขตัวโปรแกรมได้โดยไม่ต้องตรวจสอบใหม่ (Recompile)	✓	✗	✗	✓
รูปแบบรายงาน				
- มาตรฐานตามแบบของโปรแกรม	✓	✓	✓	✓
- ผู้ใช้กำหนดเองได้	✓	✗	✗	✓

2.5.4 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม EnergyPlus

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

2.6.4.1 ส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager)

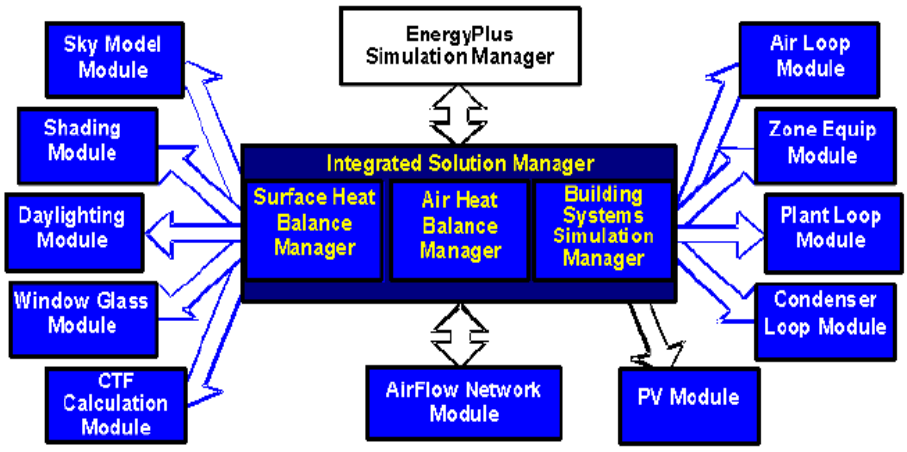
2.6.4.2 ส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศ (Heat and mass balance simulation)

2.6.4.3 ส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building systems simulation)

2.6.4.4 สภาพภูมิอากาศ (Weather data)

2.5.4.1 ส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager)

เป็นตัวเชื่อมการทำงานระหว่างส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศ ซึ่งอาศัยหลักการทำสมดุลความร้อนและสมดุลมวลกับส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศและยังใช้ควบคุมการติดต่อกับโปรแกรมย่อยอื่นๆ ข้อดีของโปรแกรม EnergyPlus ที่มีส่วนของส่วนควบคุมหลักคือ ช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนของตัวโปรแกรม และรองรับโปรแกรมย่อยที่เขียนด้วยภาษาอื่นๆ หรือที่จะมีการพัฒนาขึ้นมาใหม่เพิ่มเติมในอนาคตได้



รูปที่ 7 การทำงานร่วมกันระหว่างการคำนวณภาระการปรับอากาศและการคำนวณระบบปรับอากาศของ EnergyPlus

2.5.4.2 ส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศ (Heat and mass balance simulation)

โปรแกรม EnergyPlus จะทำการสมมติค่าอุณหภูมิและความชื้นเพื่อใช้ในการคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคารและภาระการปรับอากาศโดยอาศัยข้อมูลจากส่วนของข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร และส่วนนี้ยังสามารถเรียกใช้โปรแกรมย่อยต่างๆ ตามความเหมาะสมของข้อมูลที่รับมาตามที่ผู้ใช้กำหนด เช่น Window 5 ใช้คำนวณเกี่ยวกับความร้อนที่ผ่านกระจก Comis ใช้คำนวณเกี่ยวกับการไหลเวียนของอากาศภายในอาคาร ฯลฯ

การคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Heat gain) แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

2.5.4.2.1 ภาระความร้อนจากภายนอก (External heat gain)

โปรแกรม EnergyPlus จะคำนวณทั้งในรูปของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่เข้ามาจากด้านนอกอาคาร ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดวิธีการคิดคำนวณของโปรแกรมได้ทั้งแบบวิธีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อนหรือแบบการคำนวณสมดุลความร้อนแบบตรงไปตรงมาก็ได้ โดยภาระความร้อนที่อาคารได้รับจากภายนอกนั้นจะมาจากหลายทาง เช่น การแผ่

รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างทั้งทางตรงและทางอ้อม ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังและหลังคา เป็นต้น

2.5.4.2.2 ภาระความร้อนจากภายใน (Internal heat gain)

โปรแกรม EnergyPlus จะคำนวณทั้งในรูปของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่มาจากแหล่งภายในอาคาร เช่น ภาระความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภาระความร้อนจากหลอดไฟฟ้ามอเตอร์ และภาระความร้อนจากบุคคลที่ใช้งานภายในห้องนั้น เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมนี้ยังสามารถคำนวณความร้อนที่สะสมในแต่ละชั่วโมงการใช้งานเพื่อคิดเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในชั่วโมงต่อๆ ไปได้

2.5.4.2.3 ภาระความร้อนจากอากาศระบาย (Ventilation air)

อากาศในส่วนนี้ถูกนำเข้ามาในระบบปรับอากาศเพื่อประโยชน์ในด้านความสบายและสุขภาพของผู้อาศัย ซึ่งภาระความร้อนโดยเฉพาะความร้อนแฝงที่อากาศระบายนำเข้ามามักสูงกว่าภาระความร้อนจากแหล่งความร้อนภายในห้องมาก จึงส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศด้วย

2.5.4.2.4 ภาระความร้อนจากอากาศรั่ว (Infiltration air)

อากาศในส่วนนี้เป็นอากาศที่ไม่ต้องการให้เข้ามาในระบบปรับอากาศ แต่จะเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศทางรอยรั่วตามขอบหน้าต่าง ประตู กระจก ฝ้า ผนัง หรือหลังคา รวมทั้งการเปิดประตูเข้าออกและการเปิดหน้าต่าง ซึ่งต้องคำนวณผลจากความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่อากาศรั่วนำเข้ามาภายในห้องปรับอากาศด้วย จึงส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น

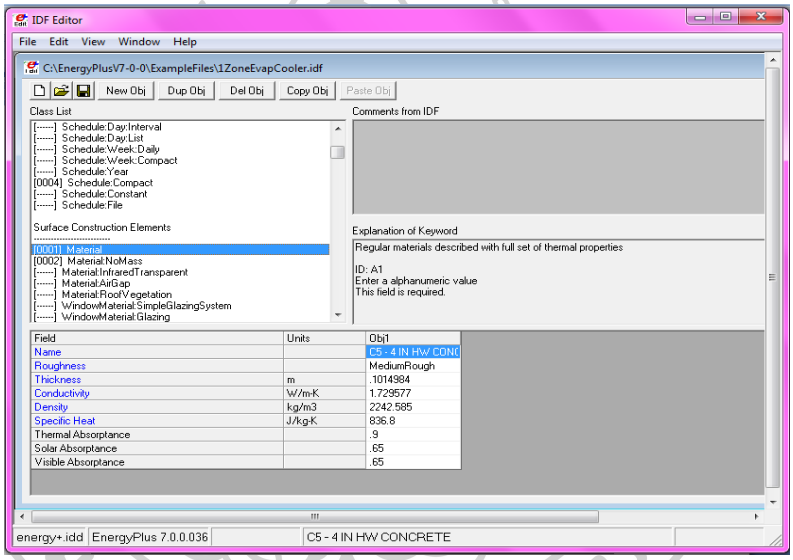
ในการคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานEnergyPlus ผู้ที่ใช้งานต้องใส่ข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ ลงในโปรแกรม ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

- ทิศทางและตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร
- พิกัดและขนาดของห้องหรือพื้นที่ต่างๆ ในอาคาร
- การแบ่งห้องต่างๆ ที่ใช้งานเหมือนๆ กันให้เป็นกลุ่มพื้นที่หรือโซน (Zone)

- ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำผนัง พื้น หน้าต่าง และหลังคา เช่น ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ความหนาแน่นของวัสดุ ฯลฯ

- ข้อมูลช่วงเวลาการใช้งานของบุคคล เครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่าง และเครื่องปรับอากาศ ฯลฯ

ซึ่งมีข้อมูลอีกมากมายที่ผู้ใช้ต้องใส่ลงในโปรแกรม ข้อมูลทั้งหมดสามารถดูได้จากหน้าจอที่ใช้ป้อนข้อมูลของโปรแกรม EnergyPlus โดยสามารถดูตัวอย่างได้จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 8 ตัวอย่างของโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน EnergyPlus

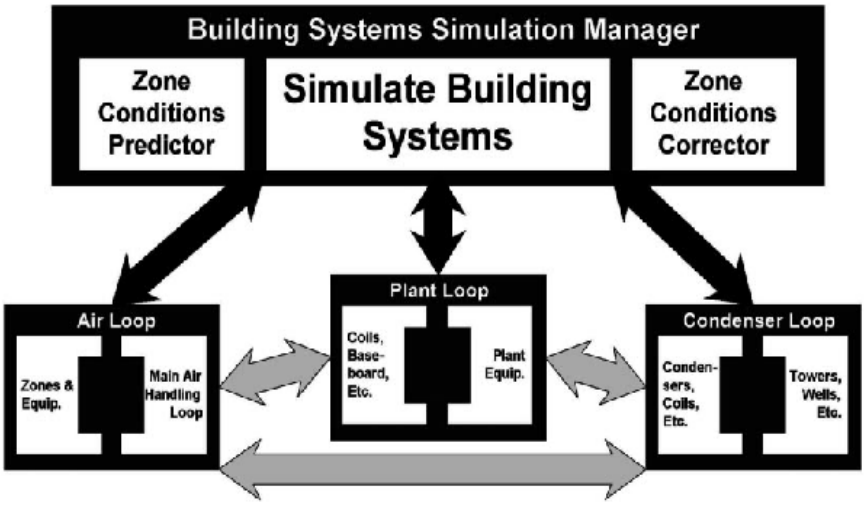
2.5.4.2.5 ภาระการปรับอากาศ (Cooling load)

เมื่อผู้ใช้งานโปรแกรมกรอกข้อมูลต่างๆ ตามรูปแบบที่โปรแกรม EnergyPlus ต้องการเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะสามารถคำนวณภาระการปรับอากาศที่เกิดขึ้นได้ในพื้นที่ปรับอากาศ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดความละเอียดในการคิดคำนวณ เช่น คิดทุกชั่วโมง ทุก 15 นาที เป็นต้น และข้อดีของโปรแกรมนี้ คือ ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยต่างๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณ

ภาระการปรับอากาศตามความเหมาะสม เช่น ใช้โปรแกรม Window 5 ในการคำนวณความร้อนผ่านกระจก ใช้โปรแกรม Comis ในการคำนวณที่เกิดจากอากาศหมุนเวียน ฯลฯ

2.5.4.3 ส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building systems simulation)

เป็นส่วนของข้อมูลในระบบปรับอากาศของอาคารโดยโปรแกรม EnergyPlus จะสามารถป้อนข้อมูลของระบบปรับอากาศได้อย่างอิสระคือ สามารถกำหนดการต่อเชื่อมของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบปรับอากาศตามแบบที่ใช้งานจริงในอาคารนั้นได้ ผู้ที่ใช้งานโปรแกรมสามารถกำหนดการต่อท่อ (Pipe) ต่างๆ กับจุดเชื่อม (Nodes) เข้ากับระบบปรับอากาศตามรูปแบบของเครื่องปรับอากาศนั้นได้โดยตรง ซึ่งจะต่างจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ที่มีการกำหนดรูปแบบของระบบปรับอากาศมาตรฐานมาให้ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้การคำนวณต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากกว่าการใช้โปรแกรม DOE-2 และ BLAST โดยกระบวนการการส่งผ่านข้อมูลจะแสดงไว้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ส่วนประกอบย่อยของส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ

ผลลัพธ์ที่จะได้จากส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศจะประกอบด้วย พฤติกรรมการทำงานของระบบปรับอากาศ สภาวะของอากาศในแต่ละพื้นที่ของอาคารในแต่ละช่วงเวลา ตลอดจนพลังงานที่ใช้

2.5.4.4 สภาพภูมิอากาศ (Weather data)

ส่วนนี้จะเป็นข้อมูลของสภาพอากาศตลอดทั้งปีของบริเวณที่สนใจศึกษา โดยส่วนประกอบของข้อมูล เช่น อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิผิวดิน ปริมาณความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ฯลฯ โดยอาจเก็บค่าทุกๆ 15 นาที ทุกๆ ชั่วโมง ตลอดทั้งปี ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน เป็นต้น ซึ่งถ้าข้อมูลมีความละเอียดมากเท่าใด โปรแกรม EnergyPlus ก็จะสามารถคำนวณภาระระบบปรับอากาศได้ละเอียดขึ้นด้วย

2.5.5 หลักการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus

โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน EnergyPlus จะนำข้อมูลพื้นฐานที่ผู้ใช้ใส่ข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคารและภาระการปรับอากาศ โดยใช้วิธีฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อน (Transfer function method) ซึ่งมีการคำนวณความร้อนในส่วนของความร้อนที่ถูกสะสมในเนื้อมวลสารที่จะมาเป็นภาระการปรับอากาศในชั่วโมงถัดๆ ไป และมีการปรับแก้สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) และความสามารถในการทำความเย็น ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลาตามจริง ทำให้การคิดความร้อนเข้าสู่อาคารและภาระการปรับอากาศมีความแม่นยำและรวดเร็วพอสมควร เมื่อเทียบกับการคิดคำนวณแบบสมดุลความร้อนอย่างง่ายด้วยมือ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W.L. Lee, J. Burnett ได้ศึกษาเปรียบเทียบหมวดการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 2, BREEAM 98, HK BEAM 96 ซึ่งได้ใช้อาคารสำนักงานใหม่ในฮ่องกงเป็นอาคารกรณีศึกษา และได้มีการเปรียบเทียบผลประหยัดด้านพลังงานที่ได้จากแต่ละมาตรฐานตามสมการที่ 2.15

$$\Delta AEU = \frac{AEU_b - AEU_a}{AEU_b} \times 100\% \quad (2.11)$$

จากการวิจัยพบว่า มาตรฐานอาคารเขียว BREEAM เป็นมาตรฐานที่ทำคะแนนด้านพลังงานได้ยากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ [6]

W.L. Lee ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารตามมาตรฐานอาคารเขียว LEED 2009, BREEAM 2011, BEAM Plus 2010, CASBEE 2008 และ ESGB 2006 โดยใช้อาคารสำนักงานใหม่ในฮ่องกงเป็นอาคารกรณีศึกษา ซึ่งผลการวิจัยพบว่า มาตรฐานอาคารเขียว LEED เป็นมาตรฐานที่มีความเข้มงวดและไม่มีความยืดหยุ่นอย่างมาก และพบว่ามาตรฐานอาคารเขียว LEED และ BEAM Plus มีแนวทางการปฏิบัติที่ดี โดยอ้างอิงการประเมินจากมาตรฐานของ ASHRAE [22]

Hua Chen, W.L. Lee, Xiaolion Wang ได้ศึกษาเปรียบเทียบความเหมือนกันและความแตกต่างกันของการใช้พลังงานของอาคารมาตรฐานอาคารเขียวในจีน โดยใช้อาคารสำนักงานในจีนเป็นอาคารกรณีศึกษา ซึ่งมาตรฐานที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์คือ มาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 2.2 ปี 2009 และมาตรฐานพลังงาน CBEC จากการวิจัยพบว่า เกณฑ์พื้นฐานของมาตรฐานอาคารเขียว LEED มีความเข้มงวดกว่า CBEC ในส่วนของกรอบอาคาร สภาพแวดล้อมภายใน และระบบปรับอากาศ แต่จะมีค่าของความสว่างและอุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงกัน [23]

จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัยของ W.L. Lee, J. Burnett (2008), W.L. Lee (2012) และ Hua Chen, W.L. Lee, Xiaolion Wang (2015) ได้ชี้ให้เห็นว่าการทำคะแนนของอาคารตามหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียวนั้น จะให้ระดับพลังงานต่อคะแนนที่สูงขึ้นของมาตรฐานไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจของนักออกแบบอาคาร ถ้าต้องการทำอาคารประหยัดพลังงานตามมาตรฐานอาคารเขียว

Yiqun Pan, Rongxin Yin, Zhizhong Huang ได้ศึกษาเปรียบเทียบมาตรการประหยัดพลังงานของ Data center ของอาคารสำนักงานสองแห่งในประเทศจีน โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานของจีนกับมาตรฐานของ ASHRAE 90.1 – 2004 มาตรการที่เลือกใช้มี 4 มาตรการคือ ใช้กรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง ติดตั้งอุปกรณ์ปรับแสงสว่างภายในพื้นที่ ใช้ระบบ Air free cooling และใช้ระบบ Ice storage ในช่วงกลางคืน [11]

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า มาตรการประหยัดพลังงานที่เลือกใช้กับอาคาร จะให้ระดับผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไม่เท่ากัน โดยมาตรการการปรับปรุงระบบปรับอากาศจะให้ผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานค่อนข้างมาก ในขณะที่มาตรการการปรับปรุงด้านกรอบอาคารจะให้ผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานค่อนข้างน้อย แต่การปรับปรุงด้านกรอบอาคารจะส่งผลโดยตรงต่อภาวะความสบายของผู้ใช้อาคาร

Ross Montgomer, P.E. Fellow ASHRAE, Timothy G. Wentz, P.E. Fellow ASHRAE ได้ศึกษาการประเมินอาคารสถานีดับเพลิงทั้งสี่สถานีในฟลอลิดา สหรัฐอเมริกา ซึ่งได้ใช้ bEQ Program ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พบว่า ก่อนการประเมิน สถานีดับเพลิงทั้งสี่สถานีได้รับรางวัลของมาตรฐานอาคารเขียว LEED ในระดับ LEED Certified, ไม่ผ่านการรับรอง, เงิน (Silver) และระดับ LEED Certified เมื่อใช้ bEQ Program ในการประเมินพบว่า สถานีดับเพลิงทั้งสี่สถานีได้รับรางวัลในระดับ C, B, A- และ C ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประเมินของ bEQ Program จะให้ผลการประเมินที่แตกต่างจากมาตรฐานอาคารเขียว เพราะการประเมินของ bEQ Progam จะเป็นการประเมินการใช้พลังงานของอาคารเป็นหลัก ดังนั้นระดับคะแนนที่ได้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร [19]

Thosapon Katejanekarn, Worawit Pinpiti ได้ศึกษาระดับความคุ้มทุนของระดับอาคารเขียวตามมาตรฐานอาคารเขียวไทย ซึ่งใช้อาคารใหม่ในประเทศไทย ประเภทอาคารสำนักงาน อาคารสถานศึกษา อาคารสถานพยาบาลเป็นอาคารกรณีศึกษา มาตรการที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ ไม่มีการลงทุน แต่มีผลประหยัด, ไม่มีการลงทุน ไม่มีผลประหยัด, มีการลงทุน มีผลประหยัด, มีการลงทุน ไม่มีผลประหยัด โดยสมมติว่าอาคารมีการบำรุงรักษา 5% ของเงินลงทุนต่อปี และอาคารมีอายุการใช้งาน 20 ปี ระดับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะพิจารณาจาก

- อาคารมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าครึ่งอายุของอาคาร
- อาคารมี NPV เป็นบวก
- อาคารมีค่า IRR มากกว่า 8%

จากการวิจัย พบว่า อาคารเขียวจะมีผลประหยัดด้านพลังงานอยู่ในช่วง 30.20 – 33.29% ระดับการรับรองอาคารเขียวที่ดีที่สุดคือระดับทองสำหรับอาคารสำนักงานและอาคารสถานศึกษา โดยหมวดของอาคารเขียวที่สามารถให้ผลประหยัดเป็นตัวเงินได้อย่างชัดเจนที่สุดคือ หมวดพลังงาน [24]

Agnieszka Zalejska-Jonsson ได้ศึกษาความเต็มใจจ่ายของอาคารปกติและอาคารเขียว รวมถึงความเต็มใจจ่ายสำหรับอาคารเขียวและอาคารประหยัดพลังงานในสวีเดน โดยใช้ข้อมูลจาก 477 กลุ่มข้อมูล ผลวิจัยพบว่า ผู้ตอบรับมีความเต็มใจจ่ายมากขึ้นสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานต่ำ แต่ไม่พร้อมที่จะจ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับอาคารที่ได้รับการรับรองด้านสิ่งแวดล้อม และ มีความเต็มใจจ่ายเงินเพิ่มขึ้น 5% ของราคาซื้อขายหรือคาราค่าเช่าสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นเหตุผลในการพิจารณาการลงทุนสร้างอาคารเขียวต่อไป [13]

A.P. Melo, M.J. Sorgato, R. Lamberts ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารในบราซิลระหว่างกฎหมายของบราซิลและมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 90.1 – 2007 อาคารที่เลือกใช้ศึกษาเป็นอาคารเชิงพาณิชย์และอาคารที่พักอาศัย และใช้ใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการวิเคราะห์ จากการวิจัยพบว่าเมื่อนำมาตรฐานของ ASHRAE 90.1 – 2007 มาใช้กับอาคารในบราซิล จะให้ระดับคะแนนที่แตกต่างจากกฎหมายของบราซิล โดยอาคารเชิงพาณิชย์ (Commercial) ที่ทำตามมาตรฐานของ ASHRAE จะมีลักษณะเทียบเท่ากฎของบราซิลระหว่างระดับ A ถึงระดับ C ในขณะที่อาคารที่พักอาศัย (Residential) ที่ทำตามมาตรฐานของ ASHRAE 90.1 – 2007 จะมีการใช้พลังงานสูงกว่ากฎของบราซิลในระดับ C ในทุกสภาพภูมิอากาศที่พิจารณา [25]

Hua Chen, W.L. Lee ได้ศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานของจีนตามมาตรฐานอาคารเขียว LEED v. 2.2 และ BEAM Plus V. 1.1 โดยเลือกอาคารสำนักงานใหม่ในประเทศจีนเป็นอาคารกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่า LEED มีความเข้มงวดมากกว่า BEAM Plus ในเงื่อนไขการออกแบบภายในอาคารและกำลังปั๊มคอนเดนเซอร์ และผลการประเมินของอาคารทั้งสามอาคารในเทอมของคะแนนเครดิตของทั้งสองมาตรฐานถูกเปรียบเทียบกัน ซึ่งได้ 2 – 5 คะแนนจากคะแนนสูงสุด 10 คะแนน [26]

Yair Schwartz, Rokia Raslan ได้ศึกษาเปรียบเทียบเครื่องมือการจำลองการใช้พลังงานของอาคารคือ Tas, EnergyPlus และ IES - VE และเปรียบเทียบระดับคะแนนที่ได้จากหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว BREEAM และ LEED โดยใช้อาคารที่พักอาศัยในประเทศอังกฤษเป็นอาคารกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ผลของเครื่องมือการจำลองที่แตกต่างกัน จะให้ค่าการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน แต่มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการประเมินคะแนนของเครดิตด้านการใช้พลังงานของ

มาตรฐานอาคารเขียว LEED และ BREEAM และอาคารกรณีศึกษาจะได้รับระดับคะแนนที่แตกต่างกันในแต่ละระดับ [27]

S. Thomas Ng, Yuan Chen, James M.W. Wong ได้ศึกษาเปรียบเทียบการปลดปล่อยคาร์บอนของอาคารตามมาตรฐานการใช้พลังงานทั้ง 6 มาตรฐานคือ BREEAM, BEAM Plus (since 2010 the new version of HK-BEAM has been renamed as BEAM Plus), LEED, Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE), Green Mark และ Green Star โดยจะใช้อาคารสำนักงานใหม่ในฮ่องกงเป็นอาคารกรณีศึกษา การวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารจะอยู่บนพื้นฐานการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม eQUEST ในการศึกษานี้จำนวนคาร์บอนที่ปล่อยออกมาในการดำเนินงานถูกประเมินโดยอ้างอิงกับการใช้พลังงานขององค์ประกอบอาคารต่างๆ และการใช้พลังงานจะกลายเป็นคาร์บอน โดยใช้ค่า Conversion factors ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้ยืนยันว่าการประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนมีบทบาทสำคัญต่อมาตรฐานอาคารเขียวทั้ง 6 มาตรฐาน [28]

Hadas Gabay, Isaac A. Meir, Moshe Schwartz, Elia Werzberger ได้ศึกษาการประเมินการลงทุนการสร้างอาคารเขียวในอิสราเอลและวิเคราะห์ความไวของการลงทุนและผลประหยัดด้านพลังงานของการลงทุนสร้างอาคารเขียว โดยใช้อาคารสำนักงานเป็นอาคารกรณีศึกษาและอยู่บนพื้นฐานของ IS 5281 จากการศึกษาพบว่า อาคารเขียวยังคงเป็นอาคารที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจอยู่ดี และแม้ราคาค่าไฟฟ้าจะมีการลดลงโดยเฉลี่ยต่อปี ผลประหยัดพลังงานก็ยังคงสร้างผลกำไรโดยตรงเสมอ ส่วนประโยชน์ทางอ้อมของการสร้างอาคารเขียวคือ สามารถลดมลพิษเนื่องจากการลดการใช้พลังงาน และมีเพียง 3% ที่มาจากการใช้น้ำที่ลดลง [29]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานของการวิจัยเรื่อง “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” โดยใช้มาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ) ซึ่งทำตามข้อกำหนดของเกณฑ์การประเมิน แล้วทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยมาตรการที่กำหนด โดยนำแต่ละมาตรการมาหาผลประหยัดด้านพลังงาน ระดับคะแนน และมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำมาตรการสะสมโดยเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย แล้ววิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการที่มีผลต่อระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่จุดคุ้มทุนสำหรับอาคาร โดยคุ้มทุนกำหนดให้ใช้เงื่อนไขเมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมากจนไม่คุ้มที่จะทำเพิ่ม แล้วพิจารณาว่าการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 6 แบบ จะส่งผลให้จุดคุ้มทุนแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้งหมดได้แสดงไว้ดังรูปที่ 10 และตาราง 23

3.1 การวางแผนการวิจัย

การวิจัยหัวข้อ “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” มีแผนการวิจัย ดังนี้

3.1.1 ศึกษามาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ)

3.1.2 หาแบบอาคารตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยอาคารสำนักงาน 2 อาคาร ศูนย์การค้า 1 อาคาร และโรงแรม 1 อาคาร เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

3.1.3 ใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus V. 7.0.0.036 จำลองการใช้พลังงาน

3.1.4 ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยมาตรการที่กำหนด

3.1.5 คำนวณหาผลประหยัด, เงินลงทุน, ระดับคะแนน, ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

3.1.6 เรียงลำดับมาตรการเพื่อทำมาตรการสะสม ตาม 6 แบบ คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย

3.1.7 หาจุดคุ้มทุนเมื่อเรียงลำดับมาตรการเพื่อทำมาตรการสะสม ตาม 6 แบบ และแต่ละมาตรฐานของของอาคารทั้ง 3 ประเภท โดยพิจารณาจากเงินลงทุนต่อแต้มคะแนนเป็นหลัก และทำการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุน สำหรับการเรียงมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบ

3.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยระบบการใช้พลังงานภายในอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

3.3 ระยะเวลาการวิจัย

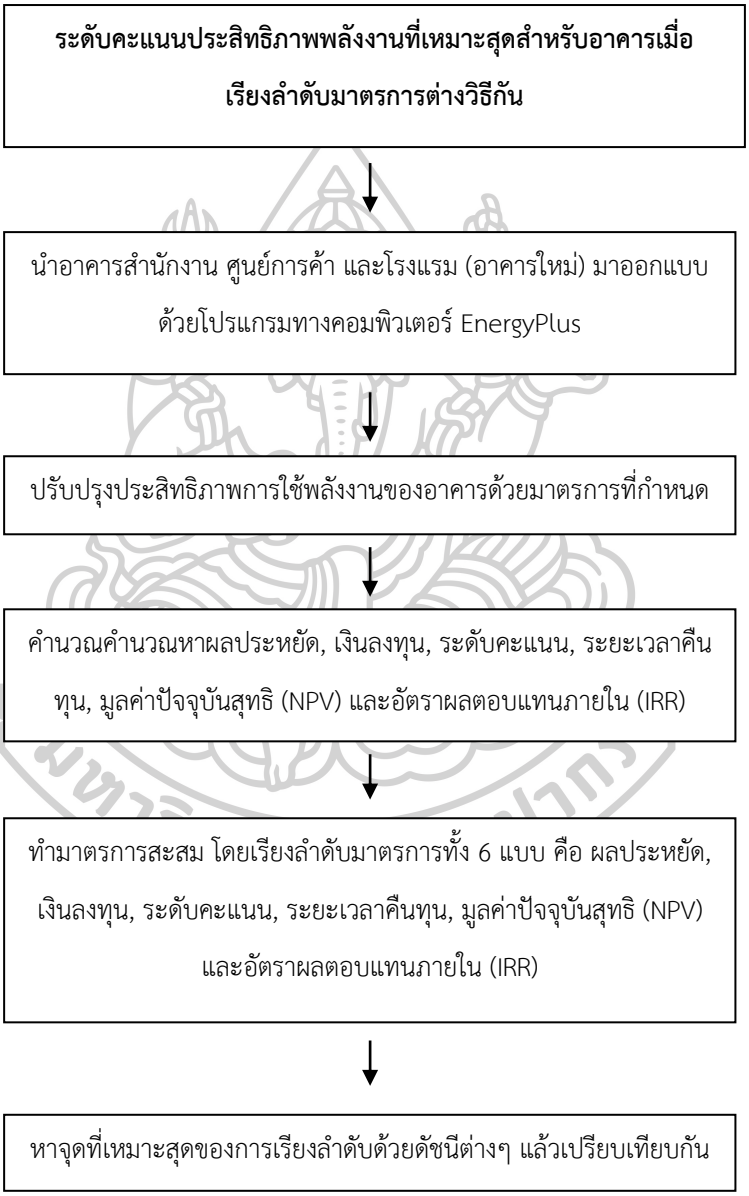
การดำเนินงานของงานวิจัย “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” ผู้วิจัยได้มีการวางแผนการดำเนินงานไว้ 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษามาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ASHRAE Building Energy Quotient (Building EQ) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2559 เป็นต้นไป

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการค้นหาแบบอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (EnergyPlus) พร้อมปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วยมาตรการที่กำหนด ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2559 – เมษายน 2560

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาผลประหยัด, เงินลงทุน, ระดับคะแนน, ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของอาคารทั้ง 3 ประเภท พร้อมทำมาตรการสะสมโดยเรียงลำดับมาตรการ 6 แบบ ตั้งแต่เดือนเมษายน 2560 จนถึงเดือนสิงหาคม 2560

ขั้นตอนที่ 4 หาจุดคุ้มทุน โดยพิจารณาจากเงินลงทุนต่อแต้มคะแนนเป็นหลัก และทำการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุน สำหรับการเรียงมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบ พร้อมเขียนรายงายวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2560 ถึงเดือนตุลาคม 2560 ซึ่งระยะเวลาการดำเนินงานตลอดการวิจัยสามารถเขียนเป็นตารางสรุปได้ดังตาราง 3.1



รูปที่ 10 แผนการวิจัย “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน”

ตารางที่ 23 ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย

	2559			2560										
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. ศึกษามาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ)	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
2. หาแบบอาคารตัวอย่าง เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	←	—	—	—	—	—	→							
3. ประเมินปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	←	—	—	—	—	—	→							
5. ปรับปรุงมาตรการการใช้พลังงานของอาคารต่างๆ และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	←	—	—	—	—	—	→							
6. ทำมาตรการสะสมโดยเรียงลำดับมาตรการทั้ง 6 แบบ คือ ผลประหยัด, เงินลงทุน, ระดับคะแนน, ระยะเวลาคืนทุน, NPV และ IRR							←	—	—	—	→			
7. เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนสำหรับการเรียงมาตรการทั้ง 6 แบบ											←	—	→	

3.4 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะใช้อาคารใหม่เป็นอาคารกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วย อาคารสำนักงาน 2 อาคาร ศูนย์การค้า 1 อาคาร และโรมแรม 1 อาคาร เป็นอาคารตัวอย่างที่นำมาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินปริมาณผลประหยัดด้านพลังงานของอาคาร โดยสามารถแบ่งองค์ประกอบของงานวิจัยเป็น 9 ส่วนหลัก ดังนี้

3.4.1 โปรแกรม EnergyPlus Version 7.0.0.036

3.4.2 มาตรฐานอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (LEED V. 4)

3.4.3 มาตรฐานอาคารเขียวฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2)

3.4.4 มาตรฐานอาคารเขียวไทย (TREES V. 1.1)

3.4.5 เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของ ASHRAE (Building EQ)

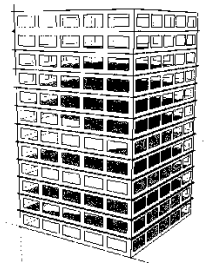
3.4.6 แบบก่อสร้างและระบบของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม (อาคารใหม่)

3.4.7 มาตรการการประหยัดพลังงานของอาคาร

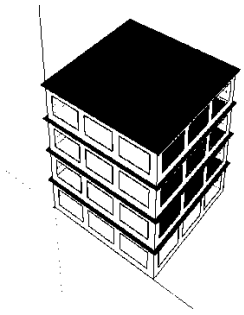
3.4.8 เครื่องมือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

3.5 อาคารกรณีศึกษา

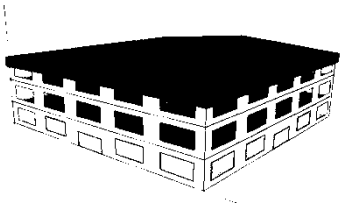
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อาคาร 3 ประเภท คือ อาคารสำนักงานจำนวน 2 ขนาด เพื่อเปรียบเทียบจุดคุ้มค่าต่อการลงทุนและการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารที่มีขนาดต่างกัน คือ อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ 12,567.00 ตารางเมตร และอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 1580.72 ตารางเมตร, ศูนย์การค้า 8,280.00 ตารางเมตร และโรงแรม 11,448.00 ตารางเมตร โดยมีโครงสร้างตามรูปที่ 11 โดยทั้ง 3 อาคารตั้งอยู่ในประเทศไทย และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว



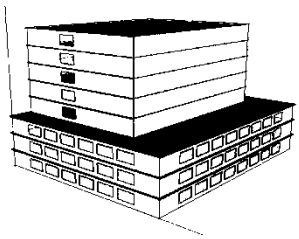
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 11 อาคารกรณีศึกษาทั้ง 3 ประเภท
(ก) อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ (ข) อาคารสำนักงานขนาดเล็ก
(ค) ศูนย์การค้า (ง) โรงแรม

อาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม เป็นอาคารใหม่ที่ใช้กระจกใสหนา 6 mm ผนังอาคารเป็นแบบก่ออิฐฉาบปูน โดยระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารจะเป็นแบบเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งการประเมินการใช้พลังงานของอาคารจะใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการคำนวณ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 2 - 5% [30, 31] ส่วนรายละเอียดโครงสร้างและสภาวะการออกแบบภายในของอาคารเป็นไปตามตารางที่ 24 – 27

ตารางที่ 24 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
โครงสร้างอาคาร				
จำนวนชั้น	12	12	12	12
พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	6,934.00	6,934.00	6,934.00	6,934.00
พื้นที่กระจก (m^2)	3,051.00	3,051.00	3,051.00	3,051.00
พื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (%)	44.00	44.00	44.00	44.00
พื้นที่หลังคา (m^2)	1,047.25	1,047.25	1,047.25	1,047.25
พื้นที่ใช้งาน (m^2)	12,567.00	12,567.00	12,567.00	12,567.00

ตารางที่ 24 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ (ต่อ)

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (W/m^2-K)	3.34	2.21	2.21	3.34
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/m^2-K)	2.27	0.34	0.34	2.27
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของพื้นอาคาร (W/m^2-K)	3.23	1.26	1.27	3.23
ระบบปรับอากาศ	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 500 ตัน จำนวน 1 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 250 ตัน จำนวน 2 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 250 ตัน จำนวน 2 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 500 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
เงื่อนไขการออกแบบภายใน				
ความหนาแน่นของคน (m^2/per)	14.29	14.29	14.29	14.29
กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (W/m^2)	13.00	11.00	9.69	13.00
กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (W/m^2)	16.46	16.46	16.46	16.46
อุณหภูมิควบคุม, T_i (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
เงื่อนไขการออกแบบภายใน				
อัตราอากาศรั่วไหล (ACH)	0.35	0.35	0.35	0.35
อัตราอากาศระบาย (m^3/s-m^2)	0.000556	0.00047	0.00047	0.000556

ตารางที่ 24 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ (ต่อ)

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
วันทำการ	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์
เวลาทำการ	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00

ตารางที่ 25 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
โครงสร้างอาคาร				
จำนวนชั้น	4	4	4	4
พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	1,419.83	1,419.83	1,419.83	1,419.83
พื้นที่กระจก (m^2)	610.20	610.20	610.20	610.20
พื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (%)	42.98	42.98	42.98	42.98
พื้นที่หลังคา (m^2)	395.18	395.18	395.18	395.18
พื้นที่ใช้งาน (m^2)	1,580.72	1,580.72	1,580.72	1,580.72
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (W/m^2-K)	3.34	2.20	2.21	3.34
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/m^2-K)	2.27	0.34	0.34	2.27
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของพื้นอาคาร (W/m^2-K)	3.23	1.26	1.27	3.23

ตารางที่ 25 รายละเอียดของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก (ต่อ)

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
ระบบปรับอากาศ	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 70 ตัน จำนวน 1 เครื่อง	Direct Expansion Fan ใช้ระบบ VAV	Direct Expansion Fan ใช้ระบบ VAV	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 70 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
เงื่อนไขการออกแบบภายใน				
ความหนาแน่นของคน (m^2/per)	14.29	14.29	14.29	14.29
กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (W/m^2)	13.00	11.00	9.69	13.00
กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (W/m^2)	16.46	16.46	16.46	16.46
อุณหภูมิควบคุม, T_i (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
อัตราอากาศรั่วไหล (ACH)	0.35	0.35	0.35	0.35
อัตราอากาศระบาย ($m^3/s\text{-}m^2$)	0.000556	0.00047	0.00047	0.000556
วันทำการ	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์	จันทร์ – เสาร์
เวลาทำการ	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00	08:00 – 17:00

ตารางที่ 26 รายละเอียดของศูนย์การค้า

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
โครงสร้างอาคาร				
จำนวนชั้น	3	3	3	3
พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	3,304.52	3,304.52	3,304.52	3,304.52
พื้นที่กระจก (m^2)	1,208.00	1,208.00	1,208.00	1,208.00
พื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (%)	36.56	36.56	36.56	36.56
พื้นที่หลังคา (m^2)	2,771.22	2,771.22	2,771.22	2,771.22
พื้นที่ใช้งาน (m^2)	8,280.00	8,280.00	8,280.00	8,280.00
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (W/m^2-K)	3.34	2.20	2.21	3.34
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/m^2-K)	2.27	0.34	0.34	2.27
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของพื้นอาคาร (W/m^2-K)	3.23	1.26	1.26	3.23
ระบบปรับอากาศ	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 400 ตัน จำนวน 1 เครื่อง	Direct Expansion Fan ใช้ระบบ VAV	Direct Expansion Fan ใช้ระบบ VAV	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 400 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
เงื่อนไขการออกแบบภายใน				
ความหนาแน่นของคน (m^2/per)	5.00	5.00	5.00	5.00
กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (W/m^2)	14.33	16.00	15.07	14.33
กำลังไฟฟ้าอุปกรณ์ (W/m^2)	20.64	20.64	20.64	20.64

ตารางที่ 26 รายละเอียดของศูนย์การค้า (ต่อ)

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
อุณหภูมิควบคุม, T_i (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
อัตราอากาศรั่วไหล (ACH)	0.35	0.35	0.35	0.35
อัตราอากาศระบาย ($m^3/s\text{-}m^2$)	0.000556	0.00132	0.00132	0.000556
วันทำการ	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์
เวลาทำการ	10:00 – 21:00 น.	10:00 – 21:00 น.	10:00 – 21:00 น.	10:00 – 21:00 น.

ตารางที่ 27 รายละเอียดของโรงแรม

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
โครงสร้างอาคาร				
จำนวนชั้น	8	8	8	8
พื้นที่ผนังทั้งหมด (m^2)	4,319.00	4,319.00	4,319.00	4,319.00
พื้นที่กระจก (m^2)	733.93	733.93	733.93	733.93
พื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (%)	16.99	16.99	16.99	16.99
พื้นที่หลังคา (m^2)	3,052.80	3,052.80	3,052.80	3,052.80
พื้นที่ใช้งาน (m^2)	11,448.00	11,448.00	11,448.00	11,448.00
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร ($W/m^2\text{-}K$)	3.34	2.21	2.21	3.34
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา ($W/m^2\text{-}K$)	2.27	0.34	0.34	2.27
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของพื้นอาคาร ($W/m^2\text{-}K$)	3.23	1.26	1.26	3.23

ตารางที่ 27 รายละเอียดของโรงแรม (ต่อ)

รายละเอียด	**อาคารกรณีฐาน**	**ASHRAE 90.1 - 2007**	**ASHRAE 90.1 - 2010**	**Building EQ**
ระบบปรับอากาศ	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 600 ตัน จำนวน 1 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 300ตัน จำนวน 2 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 300ตัน จำนวน 2 เครื่อง	เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 600 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
เงื่อนไขการออกแบบภายใน				
ความหนาแน่นของคน (m^2/per)	5.00	5.00	5.00	5.00
กำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง (W/m^2)	8.71	11.00	10.76	8.71
กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (W/m^2)	5.53	5.53	5.53	5.53
อุณหภูมิควบคุม, T_i (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
อัตราอากาศรั่วไหล (ACH)	0.35	0.35	0.35	0.35
อัตราอากาศระบาย ($m^3/s\text{-}m^2$)	0.000556	0.000556	0.000556	0.000556
วันทำการ	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์	จันทร์ – อาทิตย์
เวลาทำการ	24 ชม.	24 ชม.	24 ชม.	24 ชม.

3.6 วิธีการวิจัย

3.6.1 ศึกษามาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ASHRAE Building Energy Quotient (Building EQ)

3.6.2 นำแบบอาคารตัวอย่างมาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (EnergyPlus) โดยนำค่าตัวแปรต่างๆ ที่ต้องคำนวณป้อนให้กับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ EnergyPlus Ver.7.0.0.036

3.6.3 ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารด้วยมาตรการต่างๆ ที่กำหนดไว้ และคำนวณหาผลประหยัด, เงินลงทุน, ระดับคะแนน, ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

3.6.4 นำมาตรการมาเรียงด้วยตัวแปรทั้ง 6 ตัวเพื่อทำมาตรการสะสม แล้ววิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการที่มีผลต่อระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่จุดคุ้มทุนสำหรับอาคาร โดยจุดคุ้มทุนกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมากจนไม่คุ้มที่จะทำเพิ่ม แล้วทำการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนสำหรับการเรียงมาตรการทั้ง 6 แบบ

3.7 มาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์การประเมินมาตรฐานอาคารเขียว

มาตรการประหยัดพลังงานที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ จะเป็นมาตรการเดียวกันทั้งอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม ซึ่งประกอบด้วย 11 มาตรการ ตามตารางที่ 28 ซึ่งเป็นมาตรการที่อาคารทั่วไปนิยมใช้ในการประหยัดพลังงาน และสามารถทำได้ไม่ยาก เช่น ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส เป็นต้น

ตารางที่ 28 รายละเอียดของมาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้กับอาคารกรณีศึกษา

มาตรการ	ชื่อมาตรการ
S1	เพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเป็น 26 องศาเซลเซียส
S2	ปิดระบบไฟฟ้าในเวลา 12.00 - 13.00 น.
S3	เพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 6.7 องศาเซลเซียส เป็น 7.2 องศาเซลเซียส
A1	ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) ที่ปั๊ม
L1	ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แทนบัลลาสต์ธรรมดา

ตารางที่ 28 รายละเอียดของมาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้กับอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)

มาตรการ	ชื่อมาตรการ
L2	ใช้หลอดไฟฟ้าแบบ LED แทนหลอดไฟฟ้าธรรมดา
P1	ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
E1	ใช้อิฐเขียวแทนอิฐมอญปกติ
E3	ติดตั้งฉนวนกันความร้อนขนาด 2 นิ้ว บริเวณหลังคา
E4	ติดตั้งฉนวนกันความร้อนขนาด 2 นิ้ว บริเวณผนังอาคาร
E5	ใช้กระจกสะท้อนความร้อน (Low E) แทนกระจกใส

การประมาณราคาของอุปกรณ์ต่างๆ จะอ้างอิงตามราคาตามท้องตลาด และราคากลางของอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.7.1 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)

ราคาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) จะเป็นไปตามตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ราคาอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)

ขนาดพิกัด (kW)	ราคากลาง (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)
4	17,983.00	1,798.30
22	52,300.00	5,230.00
45	112,800.00	11,280.00
55	131,600.00	13,160.00

3.7.2 อุปกรณ์ไฟฟ้า

3.7.2.1 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	45.00	บาทต่อหลอด
3.7.2.2 หลอดไฟฟ้า LED	299.00	บาทต่อหลอด
3.7.2.3 บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา	85.00	บาทต่อชิ้น
3.7.2.4 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	145.00	บาทต่อชิ้น

3.7.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3.7.3.1 ราคากลาง	65,000.00	บาทต่อกิโลวัตต์
3.7.3.2 ราคาค่าติดตั้ง	4,440.00	บาทต่อกิโลวัตต์

3.7.3.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	635.96	บาทต่อกิโลวัตต์ต่อปี
3.7.4 กรอบอาคารทึบแสง		
3.7.4.1 ปูนซีเมนต์	140.00	บาทต่อถุง
3.7.4.2 ปูนซีเมนต์ขาว	420.00	บาทต่อถุง
3.7.4.3 ทรายละเอียด	45.00	บาทต่อถุง
3.7.4.4 ทรายหยาบ	43.00	บาทต่อถุง
3.7.4.5 อิฐมอญ	157.00	บาทต่อก้อน
3.7.4.6 อิฐเขียว	17.00	บาทต่อก้อน
3.7.4.7 ฉนวนกันความร้อนขนาด 2 นิ้ว	179.00	บาทต่อม้วน
3.7.5 กรอบอาคารโปร่งใส		
3.7.5.1 กระจกใสขนาด 6 มิลลิเมตร	19.00	บาทต่อตารางฟุต
3.7.5.2 กระจกสะท้อนแสง (Low E)	500.00	บาทต่อตารางเมตร

3.8 การวิเคราะห์ฐานข้อมูลของค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงาน (Source site ratio)

ค่า Source site ratio ในงานวิจัยนี้ จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งได้เลือกใช้ข้อมูล Heat rate ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2558 โดยการวิเคราะห์ค่า Source site ratio จะอยู่บนพื้นฐานของค่า Heat rate และการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งต่างๆ ในช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2558 ซึ่ง Heat rate ของถ่านหิน (เฉลี่ย) จะอยู่ที่ 10,219.91 kJ/kWh และ Heat rate ของน้ำมันและก๊าซธรรมชาติจะอยู่ที่ 9,919.14 kJ/kWh ส่วนความร้อนที่ป้อนเข้ากับเชื้อเพลิง (Heat input) ประเภทถ่านหิน (รวม) จะอยู่ที่ 58,593,510.00 GJ และน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ (รวม) จะอยู่ที่ 114,690,779.00 GJ เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะใช้ข้อมูลจากในช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2558 ซึ่งจะสามารถหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้ดังตารางที่ 30

$$\text{Source site ratio} = \frac{\text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง}}{\text{ปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุด}} \qquad (3.1)$$

ตารางที่ 30 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2558 ของประเทศไทย [32]

เชื้อเพลิง	สัดส่วน (%)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (GWh)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (KJ)
ก๊าซธรรมชาติ	69.91	41,170.70	404,736,562,874,990.00
น้ำมัน	0.63	370.40	32,759,547,403.61
ถ่านหิน	18.46	10,873.40	111,125,159,509,091.00
พลังงานน้ำ	2.14	1,260.30	12,404,617,340,206.40
อื่นๆ	2.65	1,559.60	15,350,504,803,448.30
นำเข้า	6.20	3,652.60	35,951,047,605,203.50
รวม	100.00	58,887.00	579,600,651,680,343.00

การคำนวณปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ จะใช้ Heat rate เฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักระหว่างถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดในช่วงมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2558 จะมีค่า 54,838.45 GWh ตามตารางที่ 31 โดยสามารถคำนวณค่า Source site ratio ได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งได้ Heat rate มีค่าเท่ากับ 2.75

ตารางที่ 31 รายละเอียดการคำนวณค่า Source site ratio ของประเทศไทย

<table>
<tr><td>Heat Rate ของถ่านหิน (เฉลี่ย)</td><td>10,219.91</td><td>kJ/kWh</td><td rowspan="3">Heat Rate ของเชื้อเพลิงความร้อนโดยเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก</td><td rowspan="3">9842.590923</td><td rowspan="3">kJ/kWh</td></tr>
<tr><td>Heat Rate ของน้ำมัน (เฉลี่ย)</td><td>88.44</td><td>kJ/kWh</td></tr>
<tr><td>Heat Rate ของก๊าซธรรมชาติ (เฉลี่ย)</td><td>9,830.69</td><td>kJ/kWh</td></tr>
<tr><td>การใช้พลังงานขั้นสุด</td><td>54,838.45</td><td>GWh</td><td>การผลิตไฟฟ้าทั้งหมด</td><td>58,887.00</td><td>GWh</td></tr>
<tr><td>การใช้พลังงานขั้นสุด</td><td>1.97418E+14</td><td>kJ</td><td>Source Site Ratio</td><td colspan="2">2.75</td></tr>
</table>

3.9 การวิเคราะห์ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Building EQ ในประเทศไทย

ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทย จะเลือกใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในปี พ.ศ. 2553 – 2556 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.9.1 อาคารสำนักงาน

ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในประเทศไทยจะแสดงอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็น แหล่งพลังงานต้นทาง (Source energy) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 32 ซึ่งเมื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวทำนายแนวโน้มการใช้พลังงานในปี 2558 จะพบว่า ค่ากลางของการใช้พลังงาน (Median EUI) ของอาคารสำนักงานอยู่ที่ 994.078 MJ/m^2

ตารางที่ 32 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในปี พ.ศ. 2553 – 2556 ของประเทศไทย

ปี	Median Site (MJ/m^2)	Mean Site (MJ/m^2)	Median Source (MJ/m^2)	Mean Source (MJ/m^2)
2553	374.0460829	552.2743009	1016.323737	1504.563248
2554	345.0006955	664.5658036	947.6478449	1817.767216
2555	365.5842546	1193.122208	1006.52472	3275.663832
2556	362.5701609	1119.135749	998.5182231	3073.154368

3.9.2 ศูนย์การค้า

ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของศูนย์การค้าในประเทศไทยจะแสดงอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็น แหล่งพลังงานต้นทาง (Source energy) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 33 ซึ่งเมื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวทำนายแนวโน้มการใช้พลังงานในปี 2558 จะพบว่า ค่ากลางของการใช้พลังงาน (Median EUI) ของศูนย์การค้าอยู่ที่ 2,863.122 MJ/m^2

ตารางที่ 33 ข้อมูลการใช้พลังงานของศูนย์การค้าในปี พ.ศ. 2553 – 2556 ของประเทศไทย

ปี	Median Site (MJ/m^2)	Mean Site (MJ/m^2)	Median Source (MJ/m^2)	Mean Source (MJ/m^2)
2553	1179.890903	1302.14339	3212.539224	3450.28904
2554	1131.560167	1221.677734	3111.928857	3338.048369
2555	1175.27533	1214.714467	3210.711855	3321.080293
2556	1066.136497	1110.643774	2936.139912	3057.396614

3.9.3 โรงแรม

ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงแรมในประเทศไทยจะอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า [16] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 171.00 kWh/m^2-yr หรือ 615.6 MJ/m^2

3.10 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

3.10.1 การวิเคราะห์ผล

3.10.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการต่างๆ

เป็นการคำนวณหาผลประหยัดด้านพลังงาน (% Energy saving), เงินลงทุน (Investment), ระดับคะแนน (Building EQ Scores), ระยะเวลาคืนทุน (Payback period), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) ของแต่ละมาตรการที่ใช้ในการประเมิน โดยได้เลือกใช้อัตราคิดลด (Discount rate, r) ที่มีค่าเท่ากับ 8.2644% ซึ่งอ้างอิงจากอัตราคิดลดของธนาคารแห่งประเทศไทย อาคารมีอายุการใช้งานเท่ากับ 20 ปี และใช้มาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ASHRAE Building Energy Quotient (Building EQ) ในการคิดคะแนน ซึ่งหลักการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะเป็นไปตามตารางที่ 34

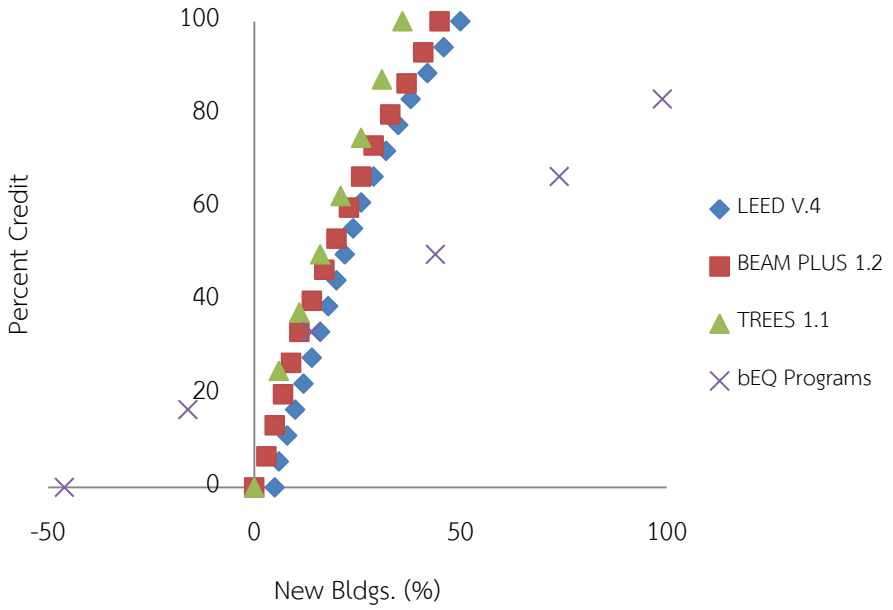
ตารางที่ 34 หลักการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เครื่องมือวิเคราะห์	ยอมรับเมื่อ	ปฏิเสธเมื่อ
ระยะเวลาคืนทุน	ระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุอาคาร	ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าครึ่งหนึ่งของอายุอาคาร
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	NPV > 0	NPV < 0
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	IRR > r	IRR < r

3.10.1.2 การวิเคราะห์มาตรการสะสมที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 6 แบบ

การวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของอาคารโดยเรียงลำดับมาตรการทั้ง 6 แบบ คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย โดยหาจุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจุดที่เหมาะที่สุดกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่าเมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมากจนไม่คุ้มที่จะทำเพิ่ม แล้วเปรียบเทียบจุดที่เหมาะสุดสำหรับการเรียงมาตรการทั้ง 6 แบบ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับคะแนนของแต่ละมาตรฐาน จะอยู่ในรูปของ Percent credit ของแต่ละมาตรฐาน โดยจะนำคะแนนของแต่ละมาตรฐานมาตั้งสเกลใหม่จาก 0 – 100 ตามรูปที่ 12 และทำการเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบ Percent credit ระหว่างมาตรฐาน

3.10.2 การสรุปผลการวิจัย

การสรุปผลการวิจัย จะพิจารณาจุดที่เหมาะสมที่สุดที่เกิดจากการเรียงลำดับตามดัชนีทั้ง 6 ตัว แล้วพิจารณาว่าการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 6 แบบ จะส่งผลให้จุดที่เหมาะสุดแตกต่างกันหรือไม่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” โดยเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัด, เงินลงทุน, ระดับคะแนน, ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ซึ่งสามารถแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 8 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลการศึกษามาตรการประหยัดพลังงานของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม

4.2 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Building EQ

4.3 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4

4.4 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2

4.5 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว TREES V. 1.1

4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานของเกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1

4.7 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างประเภทอาคาร โดยใช้เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1

4.8 ภาพรวมของงานวิจัย

4.1 ผลการศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม

หากพิจารณาผลประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากมาตรการต่างๆ ของสำนักงานจำนวน 2 อาคาร คือ สำนักงานขนาดใหญ่ (12,567 m^2) และสำนักงานขนาดเล็ก (1,580 m^2) ตามตารางที่ 35 – 38 พบว่า มาตรการที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่างจะมีผลประหยัดพลังงานที่ค่อนข้างสูงกว่ามาตรการอื่นๆ (ยกเว้นมาตรการติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์) และมีระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างเร็ว ในขณะที่มาตรการติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะสามารถประหยัดพลังงานได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการผลิต

พลังงานไฟฟ้าได้เองในอาคาร แต่เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วถือว่ามาตรการนี้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่าครึ่งหนึ่งของอายุอาคาร มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าน้อยกว่าอัตราผลตอบแทนภายในที่กำหนด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ และการติดตั้งมีค่าค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้มาตรการนี้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ถ้าทำมาตรการเดียวโดดๆ แต่ถ้าทำร่วมกับมาตรการอื่นๆ ก็อาจคุ้มค่าได้ ส่วนมาตรการด้านกรอบอาคารส่วนใหญ่จะให้ผลประหยัดที่ค่อนข้างน้อย และไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

ตารางที่ 35 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดเล็ก

มาตรการ	พลังงานที่ใช้	ผลประหยัดด้านพลังงาน			ระดับคะแนน
	kWh/yr	kWh/yr	Bath/yr	%	Building EQ
กรณีฐาน	282,977.31	-	-	-	178.54
S1	278,934.12	4,043.19	15,837.83	1.43	175.99
S2	275,372.36	7,604.95	29,789.81	2.69	173.74
S3	281,854.96	1,122.34	4,396.41	0.40	177.84
A1	280,493.85	2,483.45	9,728.10	0.88	176.98
L1	265,181.55	17,795.75	69,708.87	6.29	167.31
L2	241,425.74	41,551.57	162,764.26	14.68	152.33
P1	199,741.14	83,236.17	326,049.66	29.41	126.03
E1	282,220.42	756.89	2,964.86	0.27	178.07
E3	282,659.38	317.93	1,245.38	0.11	178.34
E4	281,751.78	1,225.52	4,800.58	0.43	177.77
E5	280,932.48	2,044.83	8,009.92	0.72	177.25

ตารางที่ 36 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดเล็ก

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
กรณีฐาน	-	-	-	-
S1	-	-	152,485.67	-
S2	-	-	286,814.50	-

ตารางที่ 36 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดเล็ก (ต่อ)

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
S3	-	-	42,328.33	-
A1	19,781.30	2.03	73,880.21	0.492
L1	26,820.00	0.38	600,548.71	2.595
L2	23,691.00	0.15	1,536,194.02	6.870
P1	2,986,614.40	9.16	-110,777.50	0.078
E1	29,470.53	9.94	-925.00	0.078
E3	41,369.70	33.22	-29,379.23	-0.044
E4	84,639.45	17.63	-38,419.77	0.012
E5	216,366.45	27.01	-139,247.40	-0.027

ตารางที่ 37 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดใหญ่

มาตรการ	พลังงานที่ใช้	ผลประหยัดด้านพลังงาน			ระดับคะแนน
	kWh/yr	kWh/yr	Bath/yr	%	Building EQ
กรณีฐาน	2,043,809.23	-	-	-	162.2
S1	2,016,238.88	27,570.35	84,689.32	1.35	160.01
S2	1,983,125.61	60,683.62	179,480.35	2.97	157.39
S3	2,035,735.77	8,073.46	26,002.88	0.39	161.56
A1	2,008,451.30	35,357.93	99,796.97	1.73	159.4
L1	1,900,965.01	142,844.21	441,320.30	6.99	150.87
L2	1,711,079.30	332,729.93	1,028,018.37	16.28	135.79
P1	1,845,906.86	197,902.37	584,308.86	9.68	146.5
E1	2,040,753.26	3,055.97	8,540.00	0.15	161.96
E3	2,041,594.14	2,215.09	6,148.87	0.11	162.02
E4	2,038,592.46	5,216.77	14,404.17	0.26	161.79
E5	2,026,807.09	17,002.14	52,223.71	0.84	160.85

ตารางที่ 38 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของสำนักงานขนาดใหญ่

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
กรณีฐาน	-	-	-	-
S1	-	-	815,383.71	-
S2	-	-	1,728	-
S3	-	-	250,354.15	-
A1	144,760.00	1.45	816,079.17	0.69
L1	213,120.00	0.48	3,687,963.53	2.06
L2	188,256.00	0.18	9,652,234.00	5.461
P1	7,043,299.20	12.05	-2,038,663.02	0.04
E1	141,341.20	16.55	-59,118.59	0.02
E3	109,504.74	17.81	-50,303.82	0.01
E4	405,863.00	28.18	-267,108.54	-0.03
E5	1,081,832.25	20.33	-569,397.59	-0.002

หากพิจารณาผลประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากมาตรการต่างๆ ของศูนย์การค้า ตามตารางที่ 39 – 40 จะให้ผลการศึกษาทำนองเดียวกับอาคารสำนักงาน

ตารางที่ 39 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของศูนย์การค้า

มาตรการ	พลังงานที่ใช้	ผลประหยัดด้านพลังงาน			ระดับคะแนน
	kWh/yr	kWh/yr	Bath/yr	%	Building EQ
กรณีฐาน	2,156,533.18	-	-	-	90.19
S1	2,132,107.63	24,425.55	74,107.07	1.13	89.17
S2	2,105,251.00	51,282.18	151,294.94	2.38	88.04
S3	2,149,106.29	7,426.89	23,347.08	0.34	89.88
A1	2,093,559.59	62,973.59	187,352.50	2.92	87.55
L1	2,009,210.19	147,322.99	449,627.88	6.83	84.03
L2	1,813,105.80	343,427.38	1,047,693.39	15.92	75.83

ตารางที่ 39 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของศูนย์การค้า (ต่อ)

มาตรการ	พลังงานที่ใช้ kWh/yr	ผลประหยัดด้านพลังงาน			ระดับคะแนน Building EQ
		kWh/yr	Bath/yr	%	
P1	1,622,535.72	1,578,606.76	1,578,606.76	24.76	67.86
E1	2,148,098.39	8,434.79	26,521.99	0.39	89.84
E3	2,133,774.24	22,758.94	69,702.16	1.06	89.24
E4	2,139,295.86	17,237.32	53,663.93	0.80	89.47
E5	2,146,203.94	10,329.23	31,944.79	0.48	89.76

ตารางที่ 40 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของศูนย์การค้า

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
กรณีฐาน	-	-	-	-
S1	-	-	713,498.45	-
S2	-	-	1,456,658.53	-
S3	-	-	224,784.33	-
A1	124,080.00	0.66	1,679,738.61	1.51
L1	154,740.00	0.34	3,921,634.67	2.90
L2	136,687.00	0.13	9,908,904.20	7.665
P1	18,334,937.60	11.61	-4,752,919.61	0.05
E1	76,313.33	2.88	179,038.83	0.35
E3	289,662.30	4.16	381,425.89	0.24
E4	219,218.80	4.09	297,454.31	0.24
E5	428,336.07	13.41	-120,773.58	0.04

หากพิจารณาผลประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากมาตรการต่างๆ ของโรงแรม ตามตารางที่ 41 – 42 จะให้ผลการศึกษาทำนองเดียวกับอาคารสำนักงาน และศูนย์การค้า

ตารางที่ 41 ผลประหยัดพลังงานของแต่ละมาตรการของโรงแรม

มาตรการ	พลังงานที่ใช้	ผลประหยัดด้านพลังงาน			ระดับคะแนน
	kWh/yr	kWh/yr	Bath/yr	%	Building EQ
กรณีฐาน	2,420,330.82	-	-	-	340.50
S1	2,394,027.35	26,303.47	79,835.14	1.09	336.80
S2	2,410,463.76	9,867.07	29,158.04	0.41	339.11
S3	2,417,949.36	2,381.46	7,424.86	0.10	340.16
A1	2,212,353.25	207,977.57	614,437.06	8.59	311.24
L1	2,330,993.89	89,336.93	275,077.95	3.69	327.93
L2	2,212,009.48	208,321.35	640,700.97	8.61	311.19
P1	2,202,192.84	218,137.98	644,891.75	9.01	309.81
E1	2,402,166.05	18,164.78	55,833.86	0.75	337.94
E3	2,396,132.07	24,198.76	74,648.89	1.00	337.09
E4	2,385,969.51	34,361.32	105,989.40	1.42	335.66
E5	2,413,743.09	6,587.73	20,267.87	0.27	339.57

ตารางที่ 42 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของโรงแรม

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
กรณีฐาน	-	-	-	-
S1	-	-	768,647.90	-
S2	-	-	280,731.81	-
S3	-	-	71,486.13	-
A1	57,530.00	0.09	5,858,233.03	10.68
L1	130,080.00	0.47	2,305,996.27	2.107
L2	114,904.00	0.18	6,018,808.32	5.576
P1	7,714,089.60	11.96	-2,185,313.03	0.041
E1	130,496.55	2.34	407,068.47	0.428
E3	319,125.00	4.28	399,590.03	0.23

ตารางที่ 42 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละมาตรการของโรงแรม (ต่อ)

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)
E4	374,723.05	3.54	645,736.50	0.281
E5	260,238.99	12.84	-65,101.12	0.047

4.2 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Building EQ

หากพิจารณาผลจากการเรียงลำดับมาตรการที่ต่างกันของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม โดยพิจารณาที่จุดคุ้มทุนที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนี 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ดังตารางที่ 43 – 46 ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินพลังงานภายในอาคาร Building EQ ในการประเมินระดับคะแนน ส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้นจะพิจารณาจากเงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้ ณ จุดคุ้มทุน โดยจุดคุ้มทุนถูกกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมากจนไม่คุ้มที่จะทำเพิ่ม

ตารางที่ 43 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ Building EQ

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E3	E1	A1	L2	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4
(จ) NPV	L2	S2	A1	S1	S3	E3	E1	E4	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4

ตารางที่ 44 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ Building EQ

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E3	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E4	E5	E3
(จ) NPV	L2	S2	S1	A1	S3	E1	E3	E4	P1	E5
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	E1	P1	E4	E5	E3

ตารางที่ 45 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ Building EQ

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E1	A1	E4	E3	L2	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S2	S1	E3	E4	S3	E1	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5

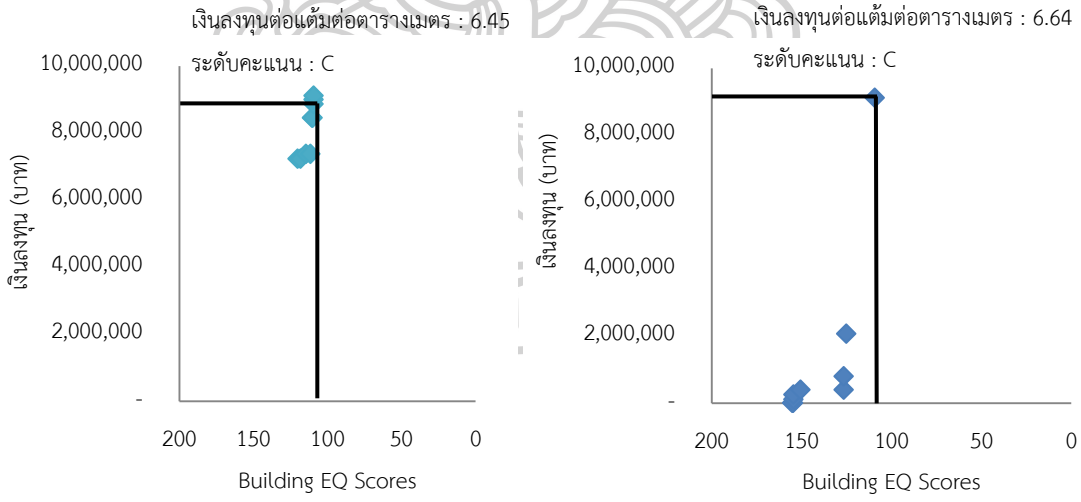
ตารางที่ 46 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ Building EQ

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ข) เงินลงทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E5	E3	E4	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S1	E4	E1	E3	S2	S3	E5	P1
(ฉ) IRR	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	E5	P1

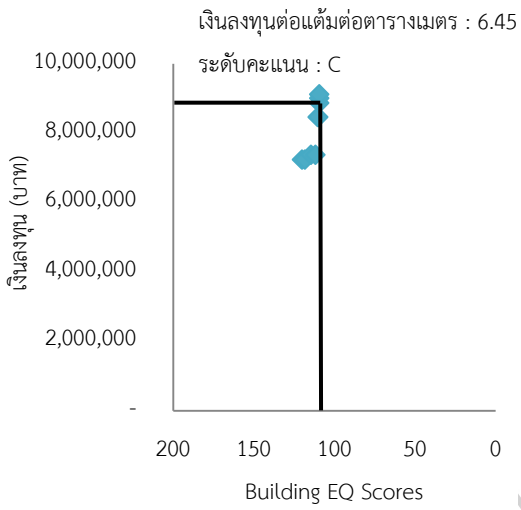
จากการเรียงลำดับมาตรการตามตารางที่ 4.9 – 4.12 จะสังเกตได้ว่า สามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยหากเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดกับระดับคะแนน จะมีลำดับการเรียงคล้ายๆ กัน ส่วนถ้าเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะคล้ายกัน และระยะเวลาคืนทุน กับอัตราผลตอแทนภายใน ก็จะมีลำดับการเรียงมาตรการที่คล้ายๆ กันด้วยเช่นกัน

4.2.1 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่

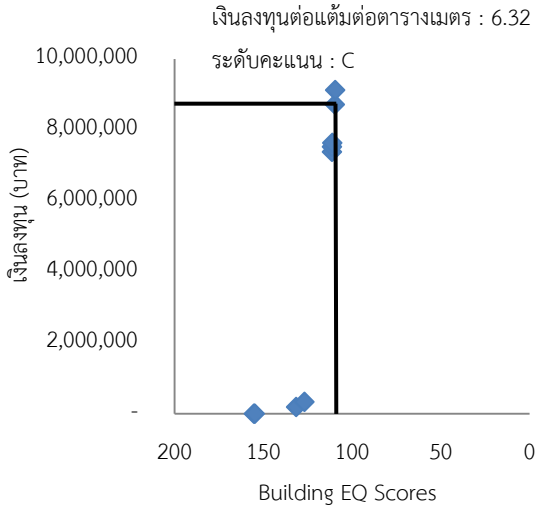
เมื่อพิจารณาการเรียงลำดับของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ตามรูปที่ 13 พบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนเป็น 6.45, 6.64, 6.45, 6.32, 6.64, 6.32 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ที่ระดับคะแนน Building EQ เท่ากับ C โดยค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 5.06% ซึ่งจะเห็นได้ว่า เงินลงทุนต่อแต้มมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า หากต้องการทำมาตรการประหยัดพลังงานของอาคารสำนักงาน เพื่อให้ถึงจุดคุ้มทุน จะเรียงลำดับมาตรการแบบใดก็ได้ เพราะสุดท้ายแล้วจะให้จุดคุ้มทุนใกล้เคียงกัน



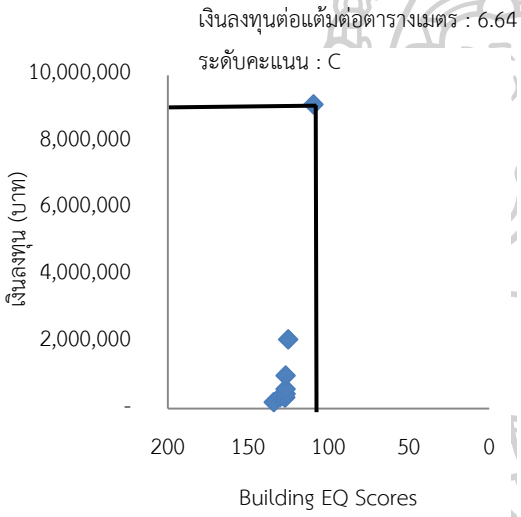
ก) ผลประหยัดพลังงาน ข) เงินลงทุน



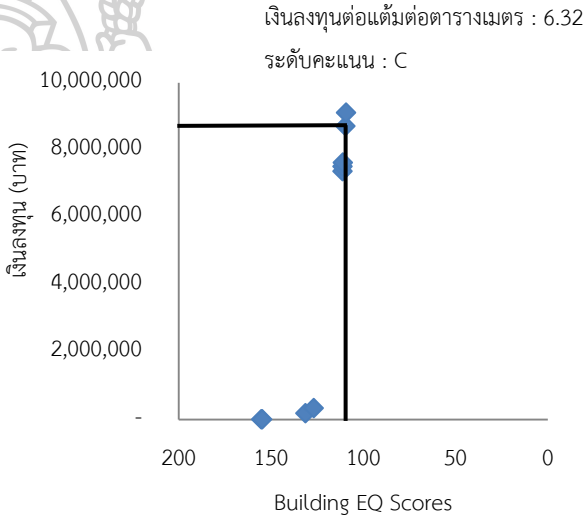
ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน



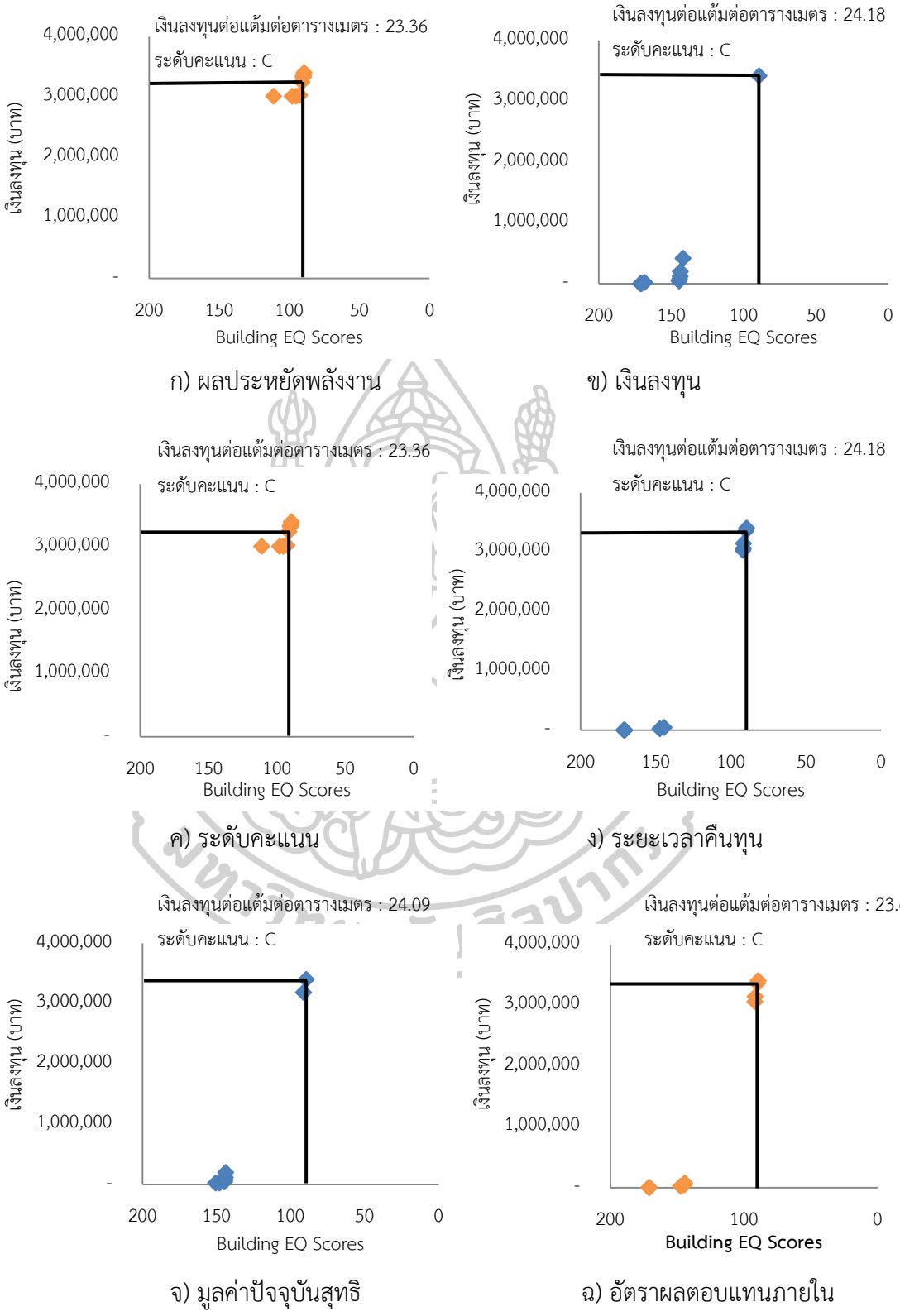
จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ



ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

รูปที่ 13 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่

4.2.2 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก



รูปที่ 14 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก

หากพิจารณาภาพรวมของการเรียงลำดับมาตรการของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ตามรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุน ซึ่งเรียงตามดัชนีทั้ง 6 ตัว จะอยู่ที่ 23.36, 24.18, 23.36, 24.18, 24.09, 23.69 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นระดับคะแนน Building EQ เท่ากับ C โดยค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 3.51%

จากตารางที่ 43 – 44 และรูปที่ 13 – 14 จะเห็นได้ว่า เมื่อเรียงมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว จะต้องทำมาตรการถึงจุดคุ้มทุนไม่เท่ากัน เช่น พิจารณาอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ เมื่อเรียงมาตรการตามผลประหยัดพลังงาน และระดับคะแนน จะต้องทำมาตรการแค่ 8 มาตรการ ก็ถึงจุดคุ้มทุน แต่ก็ต้องแลกกับการลงทุนสูงตั้งแต่แรก

เมื่อเรียงตามเงินลงทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จะพบว่า ต้องทำมาตรการครบ 10 มาตรการ จึงจะถึงจุดคุ้มทุน แต่เงินลงทุนก็จะเริ่มจากลงทุนน้อยไปหามาก

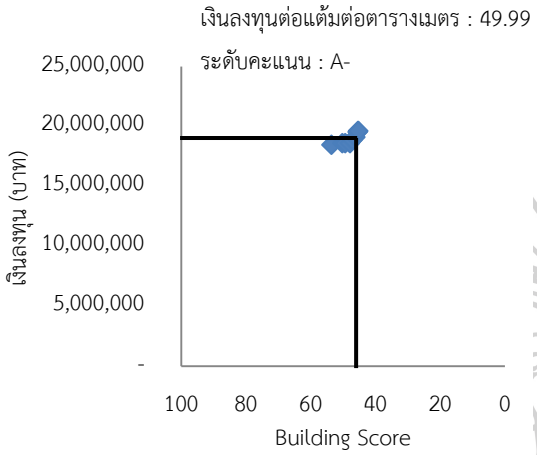
และเมื่อเรียงตามระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จะพบว่า ต้องทำ 9 มาตรการ จากทั้งหมด 10 มาตรการ จึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนเงินลงทุนก็จะเริ่มจากลงทุนน้อยไปหามาก

ในการตัดสินใจจะลงทุนทำมาตรการจริงๆ จะขึ้นอยู่กับเจ้าของอาคารเป็นหลัก ว่าจะมีแนวคิดในการเลือกใช้ดัชนีตัวใดในการเรียงลำดับการทำมาตรการ

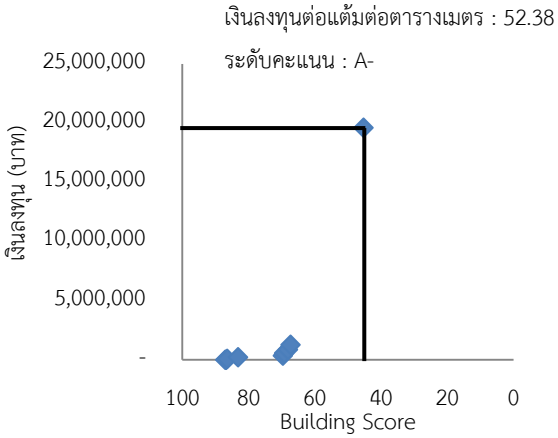
จากตารางที่ 13 – 14 และรูปที่ 13 – 14 ยังให้ข้อสังเกตเพิ่มเติมว่า ถ้าสิ่งที่ใช้พิจารณาในการเรียงลำดับการทำมาตรการก่อนหลังเกี่ยวกับดัชนีเกี่ยวกับเงินลงทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ การเรียงลำดับมาตรการจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากดัชนีทั้งสองดัชนี มีการพิจารณาเกี่ยวกับมูลค่าของเงินลงทุนเป็นหลักเหมือนกัน โดยเงินลงทุนจะพิจารณามูลค่าทางการเงินในตอนเริ่มต้น แต่มูลค่าปัจจุบันสุทธิจะพิจารณามูลค่าทางการเงินตลอดอายุอาคาร ซึ่งทั้งสองดัชนีมีแนวโน้มเงินลงทุนคล้ายกัน คือ เงินลงทุนที่ใช้กับการทำมาตรการก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามาก ถ้าพิจารณาดัชนีเกี่ยวกับระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน ก็จะให้แนวโน้มที่คล้ายกัน เนื่องจากทั้งสองดัชนี มีการพิจารณามูลค่าทางการเงินตลอดอายุอาคารเหมือนกัน แต่ถ้าพิจารณาดัชนีเกี่ยวกับผลประหยัดหรือระดับคะแนน จะสังเกตได้ว่า ระดับคะแนนจะมีค่าสูงตั้งแต่แรก แต่ต้องแลกด้วยการใช้เงินลงทุนที่สูงตั้งแต่แรกเช่นกัน โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 13 – 14 ซึ่งในงานวิจัยนี้ มาตรการที่เป็นตัวตัดสินจุดคุ้มทุนคือ มาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมาตรการที่ต้องลงทุนสูง แต่ก็ได้ผลประหยัดสูง อย่างไรก็ตาม สำนักงานจะมีแนวโน้มของเงินลงทุนต่อคะแนนที่

เพิ่มขึ้นคล้ายกันคือ เงินลงทุนต่อแต้มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงหลัง

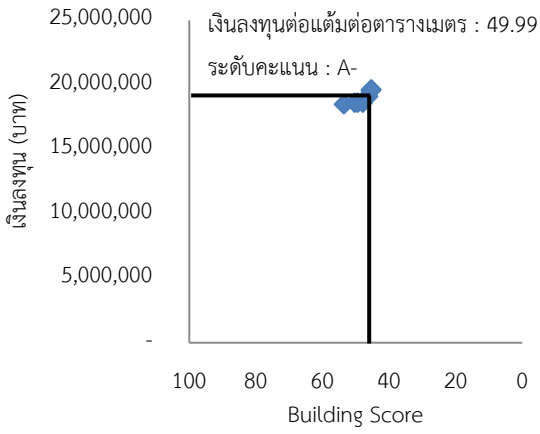
4.2.3 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า



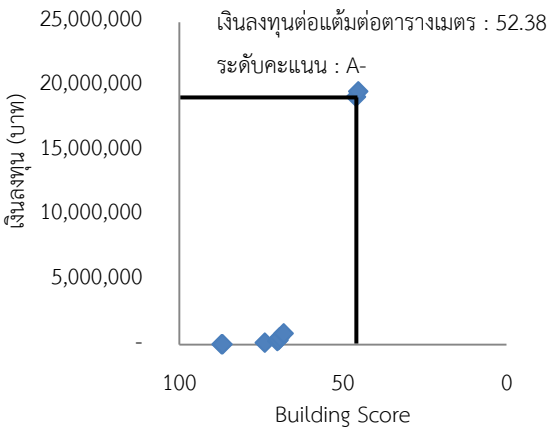
ก) ผลประหยัดพลังงาน



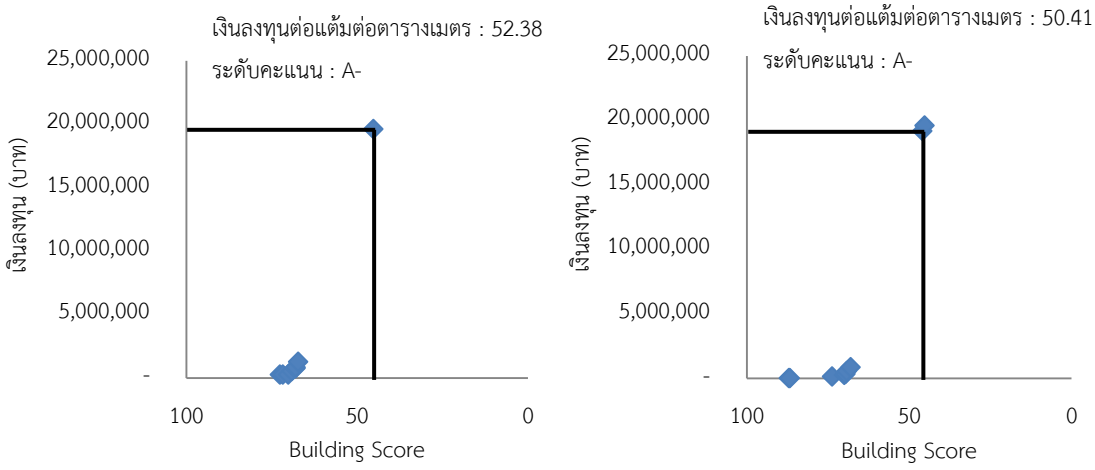
ข) เงินลงทุน



ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน

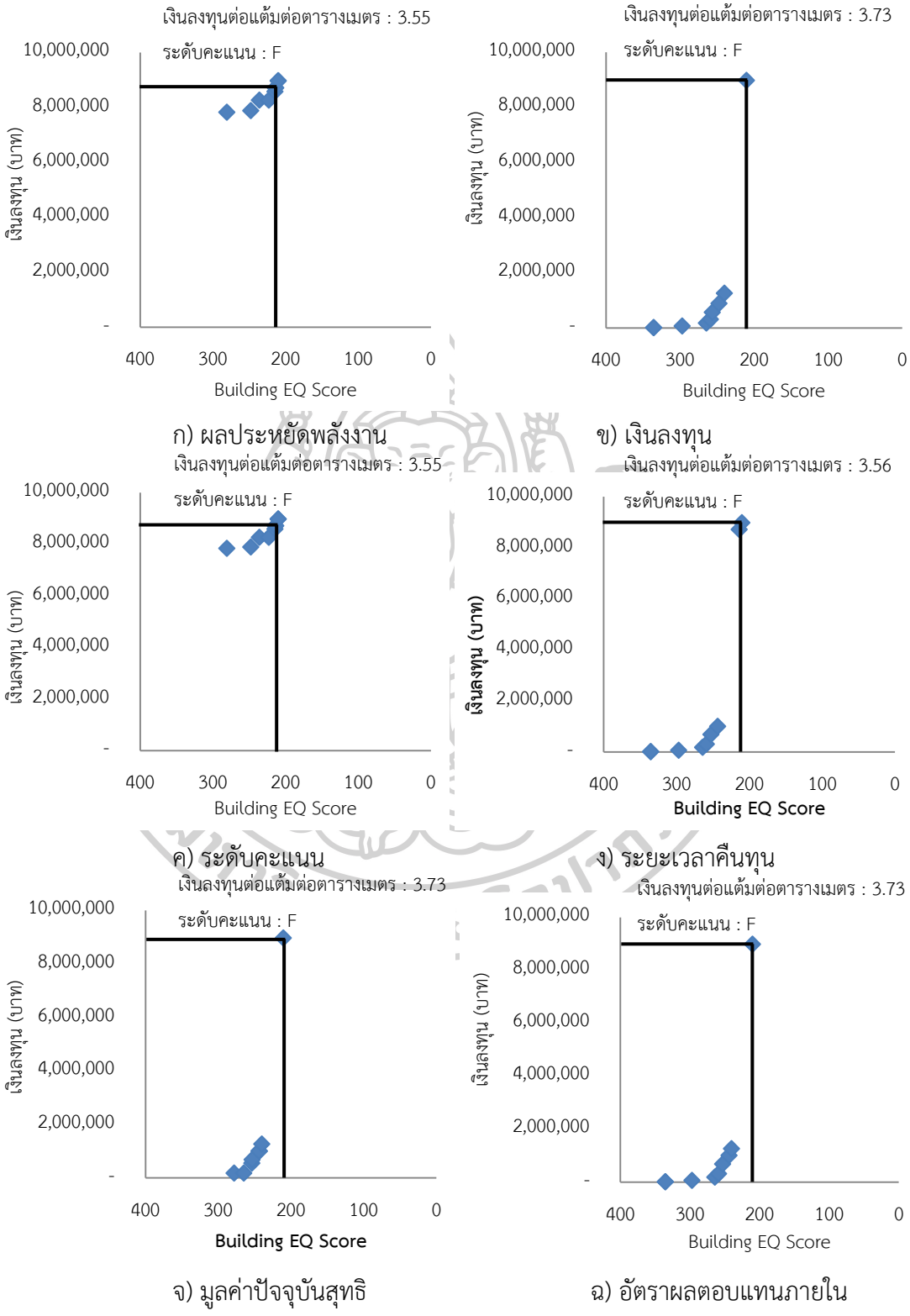


จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

รูปที่ 15 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า

หากพิจารณาภาพรวมของศูนย์การค้า ดังรูปที่ 15 ซึ่งเรียงตามดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 49.99, 52.38, 49.99, 52.38, 52.38, 50.41 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ คิดเป็นระดับคะแนน Building EQ เท่ากับ A- โดยค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 4.78% ส่วนข้อสังเกตเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของเงินลงทุนและคะแนนเป็นไปในทำนองเดียวกับอาคารสำนักงาน

4.2.4 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม



รูปที่ 16 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม

หากพิจารณาภาพรวมของโรงแรม ดังรูปที่ 16 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.55, 3.73, 3.55, 3.56, 3.73, 3.73 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ คิดเป็นระดับคะแนน Building EQ เท่ากับ F โดยค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 5.1% ส่วนข้อสังเกตเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของเงินลงทุนและคะแนนเป็นไปในทำนองเดียวกับอาคารสำนักงานและศูนย์การค้า

4.2.5 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก สำนักงานขนาดใหญ่ ศูนย์การค้า และโรงแรม

เมื่อพิจารณาภาพรวมของทั้ง 4 อาคาร พบว่า การเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ดัชนี จะต้องทำลำดับมาตรการเพื่อให้ถึงจุดคุ้มทุนไม่เท่ากัน เช่น บางดัชนีทำแค่ 8 มาตรการก็ถึงจุดคุ้มทุนในขณะที่บางดัชนีต้องทำทั้ง 10 มาตรการถึงจะถึงจุดคุ้มทุน เป็นต้น แต่สุดท้ายแล้ว เมื่อเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว จะส่งผลให้จุดคุ้มทุนมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณี นั่นหมายความว่า ถ้าเจ้าของอาคารต้องการทำมาตรการให้ถึงจุดคุ้มทุน จะสามารถเรียงลำดับมาตรการแบบใดก็ได้ โดยจุดคุ้มทุนเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน แต่ถ้าเลือกตามจุดประสงค์อื่น เช่น อยากได้ผลประหยัด หรือระดับคะแนนสูงๆ ตั้งแต่แรก ก็จะต้องแลกมาด้วยเงินลงทุนที่สูงตั้งแต่แรก

4.3 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4

หากพิจารณาผลจากการเรียงลำดับมาตรการที่ต่างกันของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม โดยพิจารณาที่จุดคุ้มทุนที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนี 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ดังตารางที่ 47 – 50 ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว LEED V. 4 ในการประเมินระดับคะแนน โดยจะเห็นได้ว่า การเรียงลำดับมาตรการจะเหมือนกับการเรียงลำดับมาตรการที่ประเมินด้วย Building EQ ส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้นจะพิจารณาจากเงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้ ณ จุดคุ้มทุน โดยจุดคุ้มทุนถูกกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จาก

มาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมาก

ตารางที่ 47 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ LEED V. 4

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E3	E1	A1	L2	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4
(จ) NPV	L2	S2	A1	S1	S3	E3	E1	E4	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4

ตารางที่ 48 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ LEED V. 4

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E3	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E4	E5	E3
(จ) NPV	L2	S2	S1	A1	S3	E1	E3	E4	P1	E5
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	E1	P1	E4	E5	E3

ตารางที่ 49 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ LEED V. 4

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E1	A1	E4	E3	L2	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3

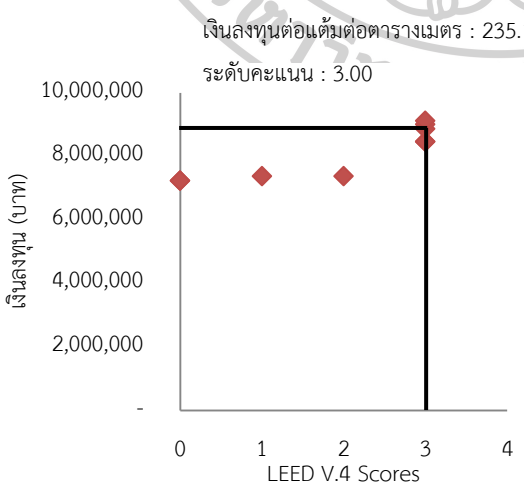
ตารางที่ 49 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ LEED V. 4 (ต่อ)

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S2	S1	E3	E4	S3	E1	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5

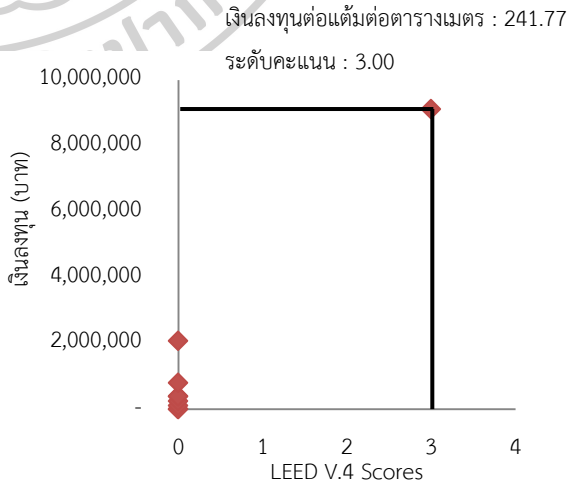
ตารางที่ 50 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ LEED V. 4

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ข) เงินลงทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E5	E3	E4	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S1	E4	E1	E3	S2	S3	E5	P1
(ฉ) IRR	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	E5	P1

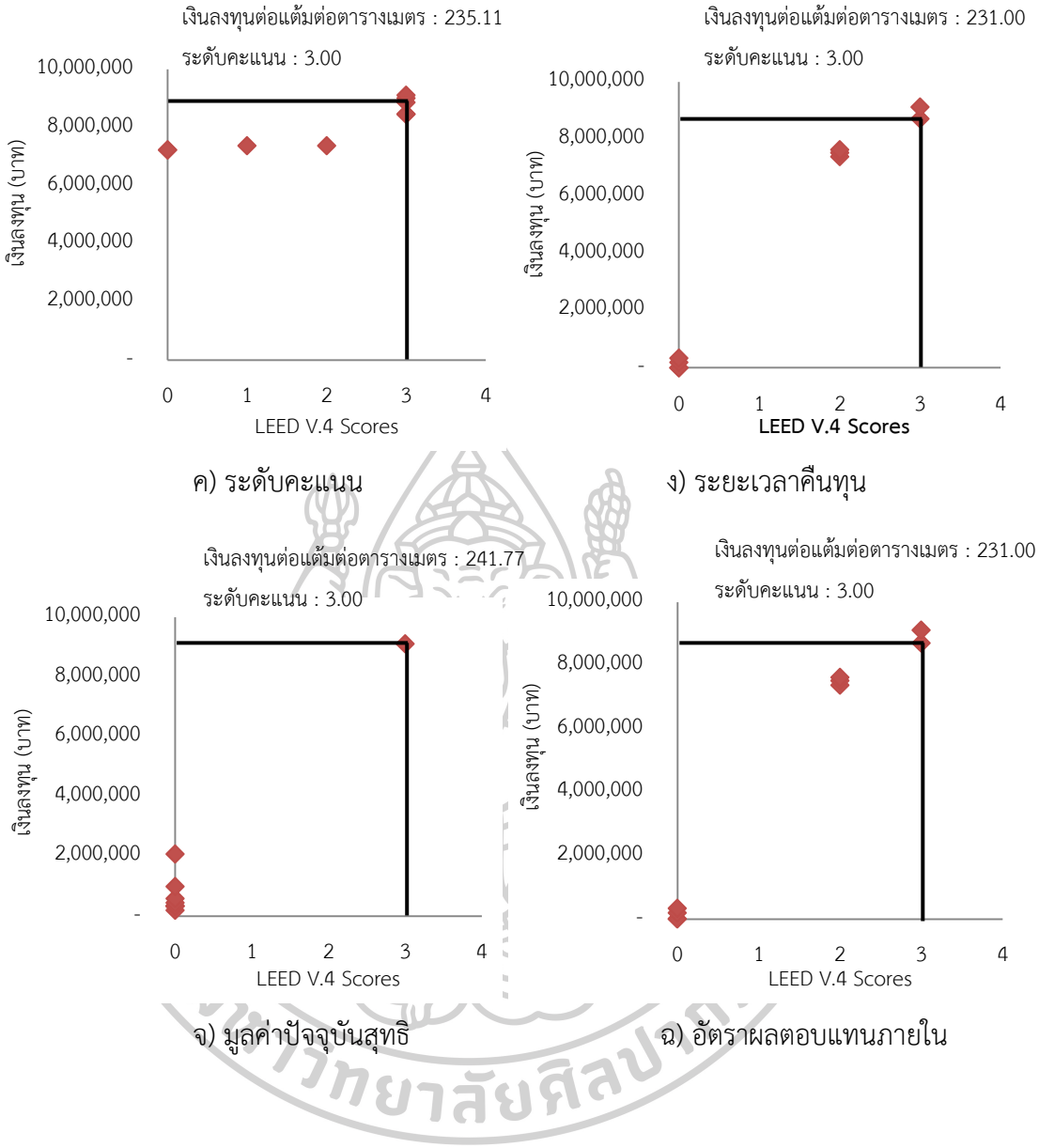
4.3.1 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่



ก) ผลประหยัดพลังงาน



ข) เงินลงทุน

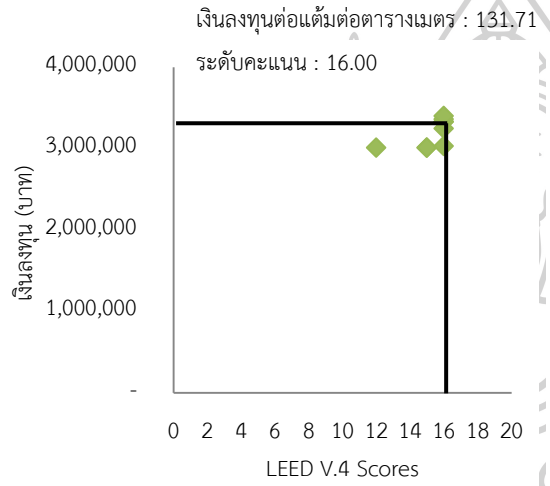


รูปที่ 17 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่

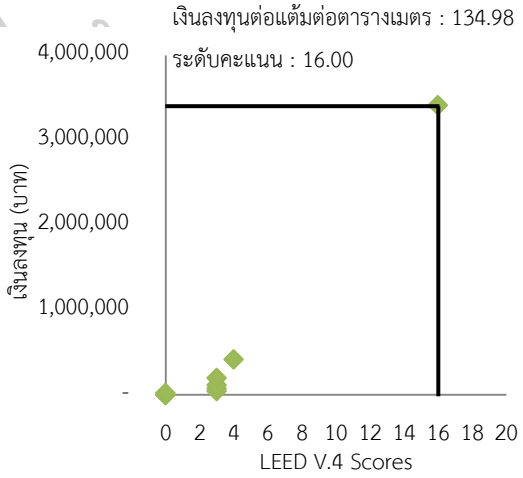
หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 17 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 11 มาตรการของอาคารสำนักงาน ซึ่งเรียงตามดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ส่วนเครื่องมือการคำนวณคะแนนจะใช้ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว

LEED V. 4 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 235.11, 241.77, 235.11, 231.00, 241.77, 231.00 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 4.66% ส่วนระดับคะแนนของ LEED V. 4 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

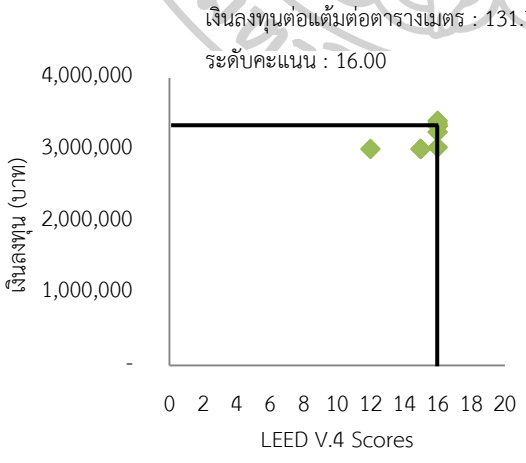
4.3.2 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก



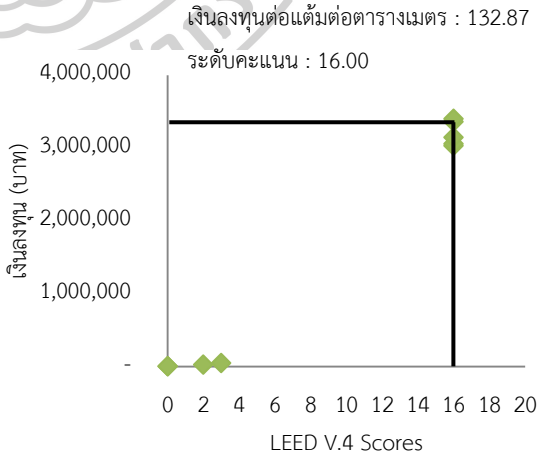
ก) ผลประหยัดพลังงาน



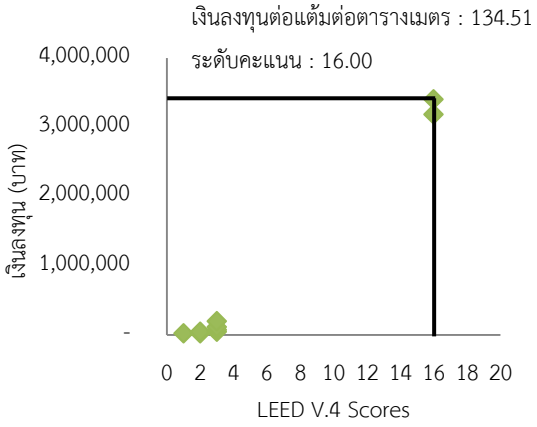
ข) เงินลงทุน



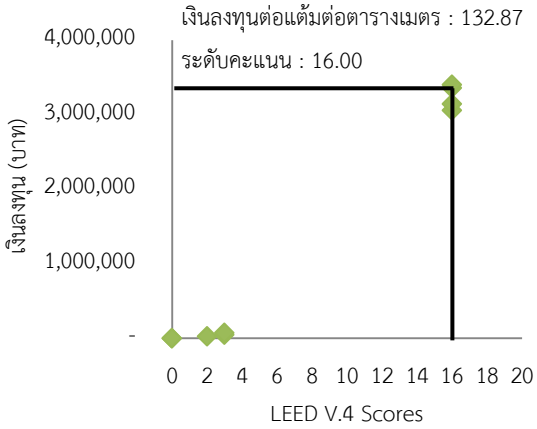
ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน



จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

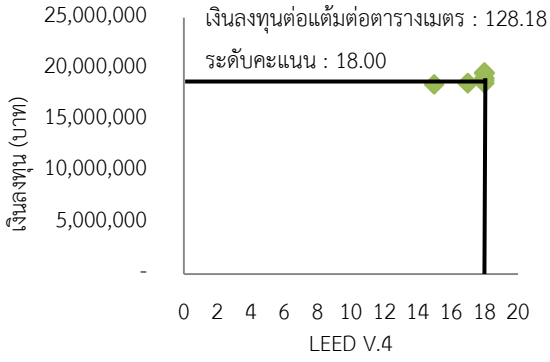


ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

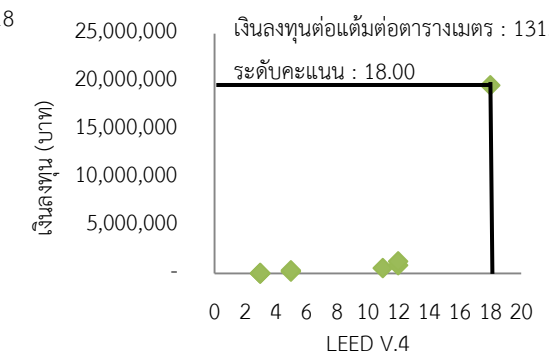
รูปที่ 18 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก

หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ดังรูปที่ 18 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว ของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ส่วนเครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว LEED V. 4 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 131.71, 134.98, 131.71, 132.87, 134.51, 132.87 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 2.48% ส่วนระดับคะแนนของ LEED V. 4 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก เกือบจะเป็นจุดเดียวกันเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

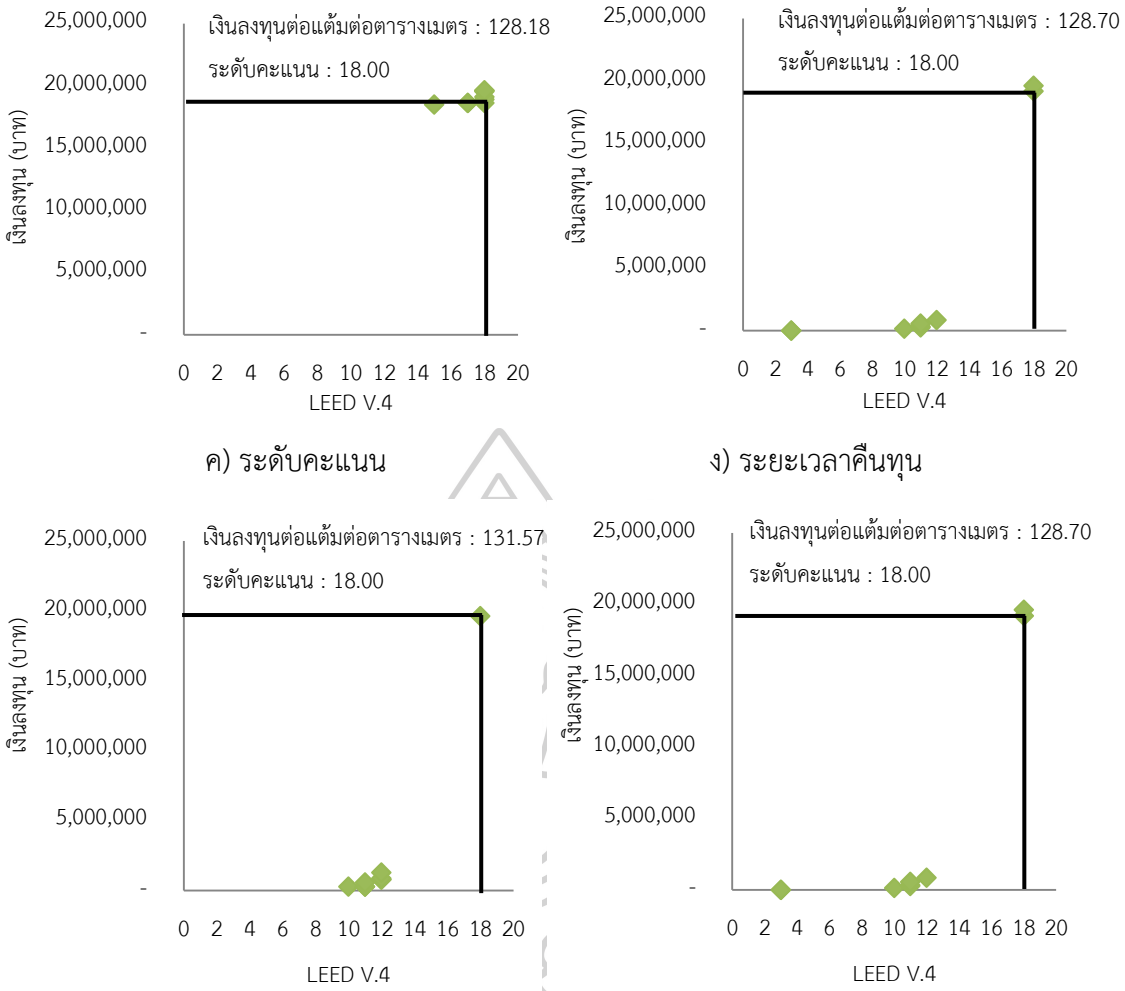
4.3.2 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า



ก) ผลประหยัดพลังงาน



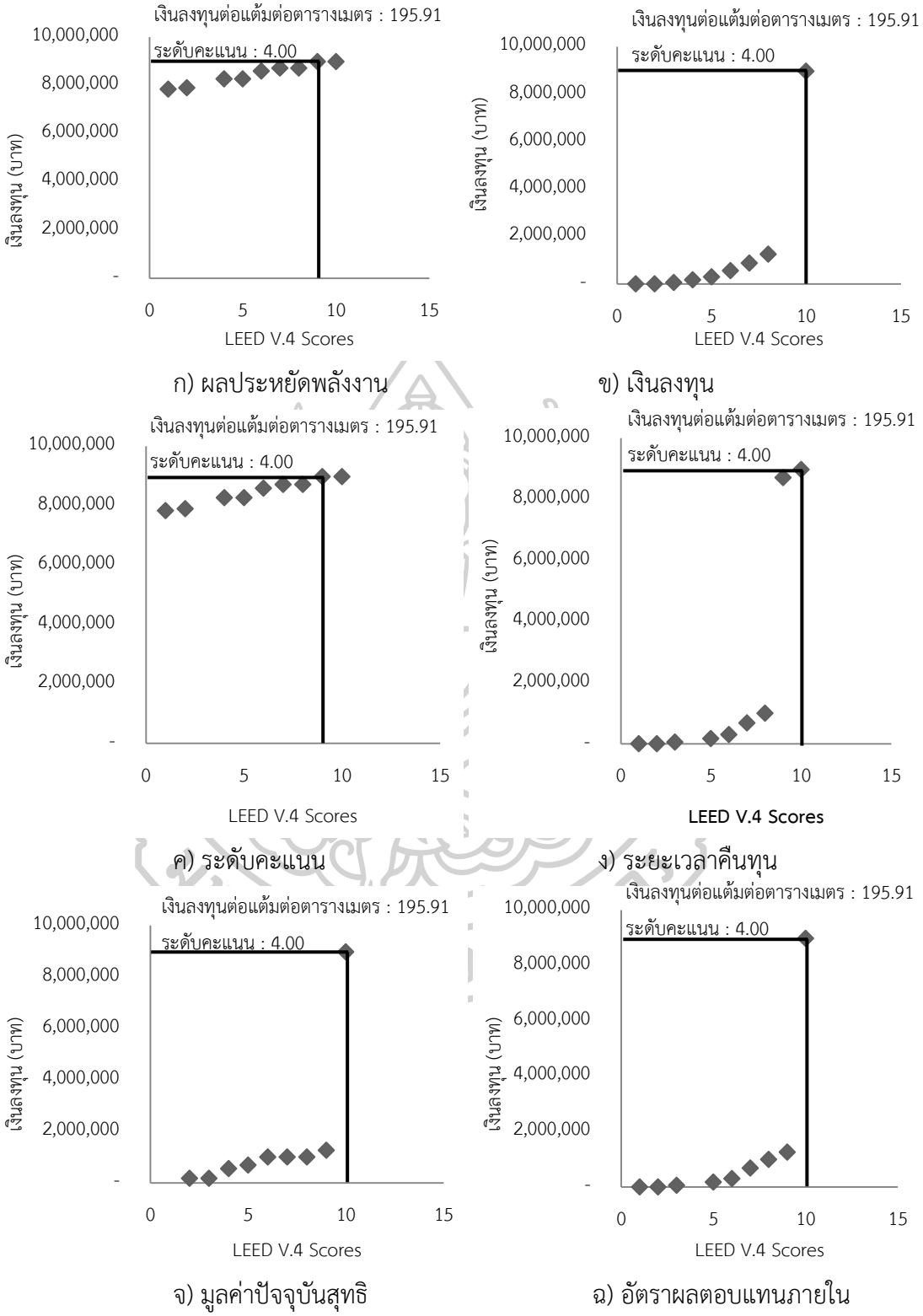
ข) เงินลงทุน



รูปที่ 19 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า

หากพิจารณาภาพรวมของศูนย์การค้า ดังรูปที่ 19 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 11 มาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนน คือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว LEED V. 4 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 128.18, 131.57, 128.18, 128.70, 131.57, 128.70 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 2.64% ส่วนระดับคะแนนของ LEED V. 4 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 18.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของศูนย์การค้าเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

4.3.3 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม



รูปที่ 20 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม

หากพิจารณาภาพรวมของโรงแรม ดังรูปที่ 20 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว ของโรงแรม โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนน คือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว LEED V. 4 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 195.91, 195.91, 195.91, 195.91, 195.91, 195.91 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 0% ส่วนระดับคะแนนของ LEED V. 4 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 4.00 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของโรงแรมเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

4.4 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2

หากพิจารณาผลจากการเรียงลำดับมาตรการที่ต่างกันของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม โดยพิจารณาที่จุดคุ้มทุนที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนี 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ดังตารางที่ 51 – 54 ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 ในการประเมินระดับคะแนน โดยจะเห็นได้ว่า การเรียงลำดับมาตรการจะเหมือนกับการเรียงลำดับมาตรการที่ประเมินด้วย Building EQ และ LEED V. 4 ส่วนผลกระทบจะพิจารณาจากเงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้ ณ จุดคุ้มทุน โดยจุดคุ้มทุนถูกกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้คะแนนที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมาก

ตารางที่ 51 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E3	E1	A1	L2	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4

ตารางที่ 51 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2 (ต่อ)

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(จ) NPV	L2	S2	A1	S1	S3	E3	E1	E4	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4

ตารางที่ 52 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E3	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E4	E5	E3
(จ) NPV	L2	S2	S1	A1	S3	E1	E3	E4	P1	E5
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	E1	P1	E4	E5	E3

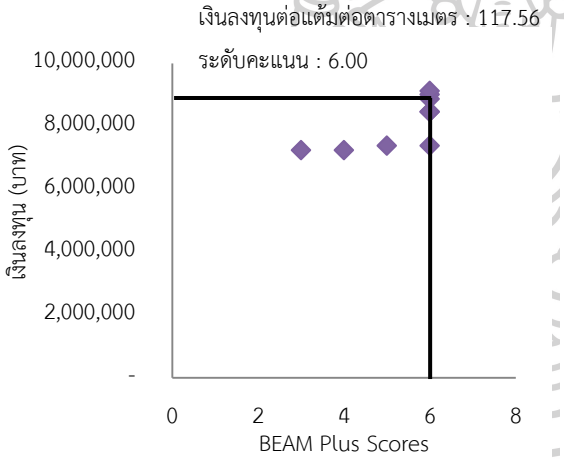
ตารางที่ 53 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E1	A1	E4	E3	L2	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S2	S1	E3	E4	S3	E1	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5

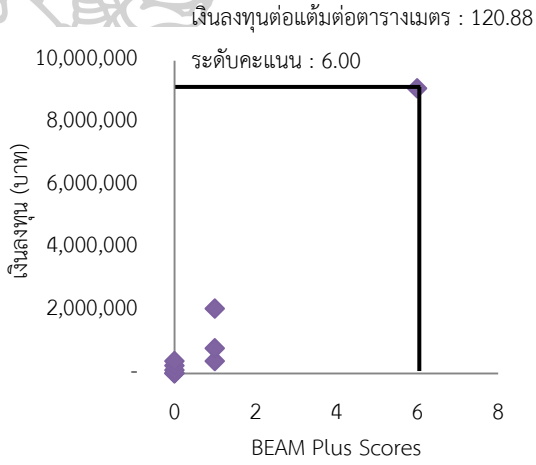
ตารางที่ 54 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ BEAM Plus V. 1.2

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ข) เงินลงทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E5	E3	E4	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S1	E4	E1	E3	S2	S3	E5	P1
(ฉ) IRR	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	E5	P1

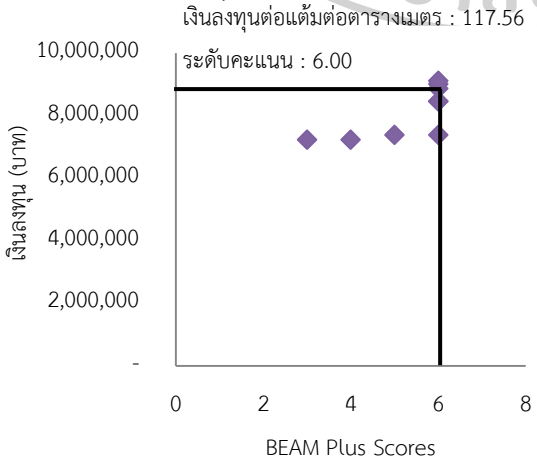
4.4.1 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่



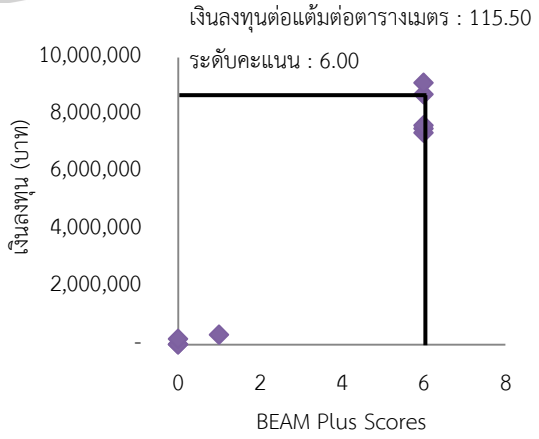
ก) ผลประหยัดพลังงาน



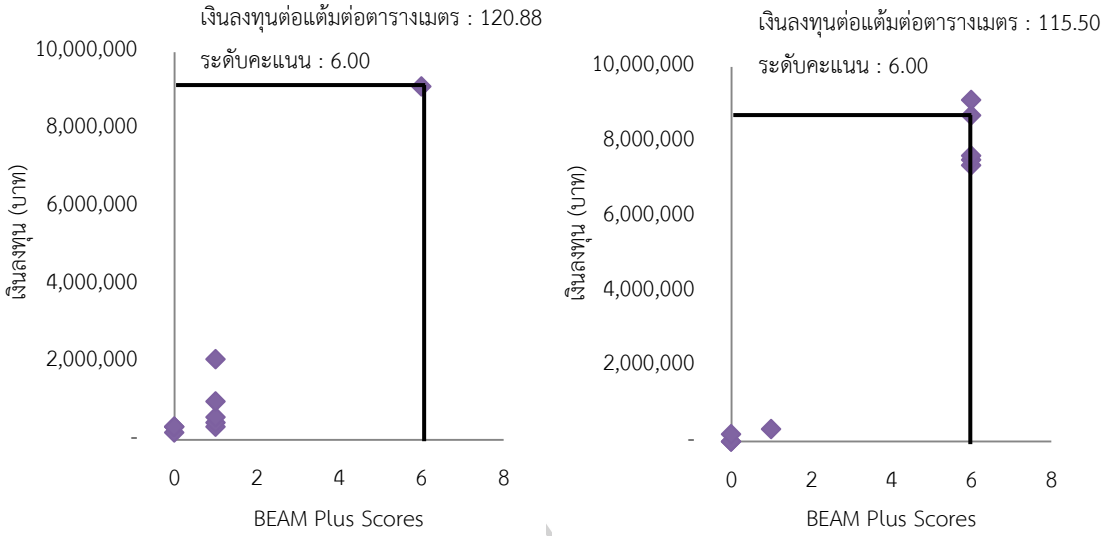
ข) เงินลงทุน



ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน

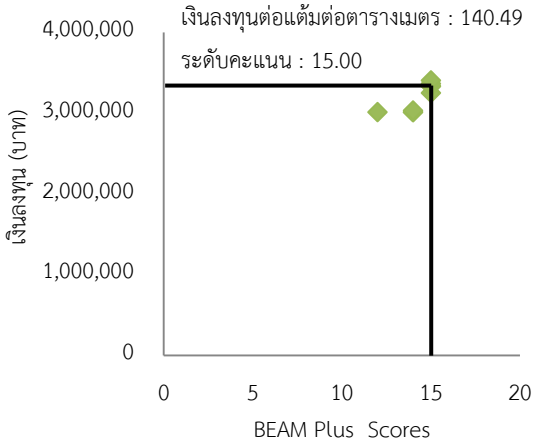


จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

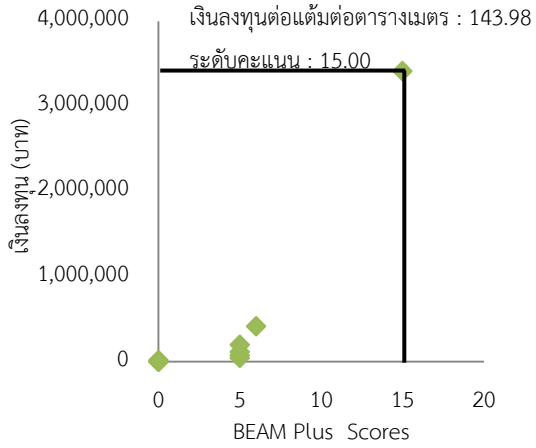
รูปที่ 21 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 21 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 11 มาตรการของอาคารสำนักงาน ซึ่งเรียงตามดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ส่วนเครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 117.56, 120.88, 117.56, 115.50, 120.88, 115.50 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 4.66% ส่วนระดับคะแนนของ BEAM Plus V. 1.2 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 6.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

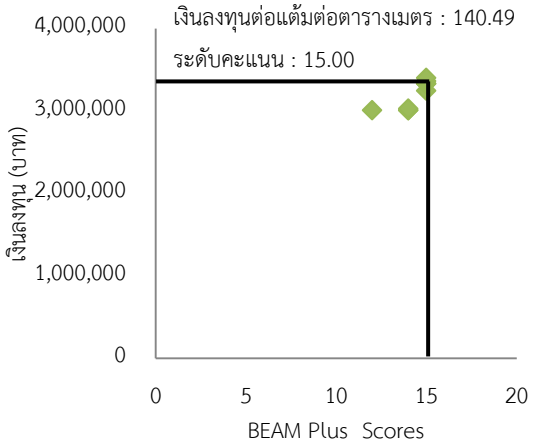
4.4.2 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก



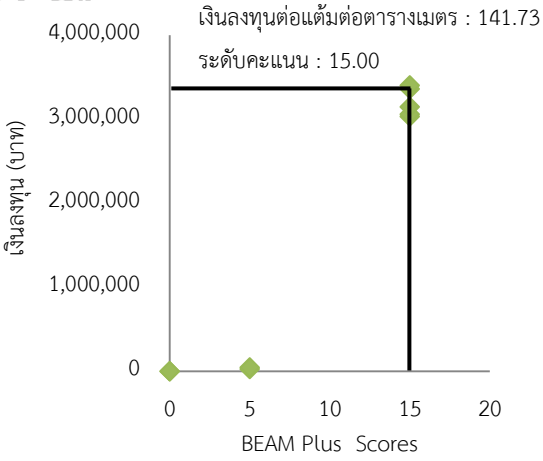
ก) ผลประหยัดพลังงาน



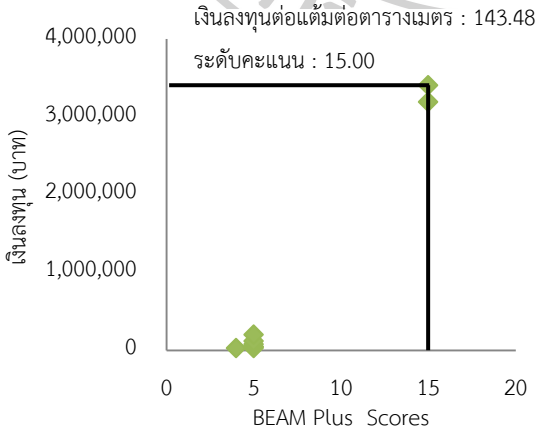
ข) เงินลงทุน



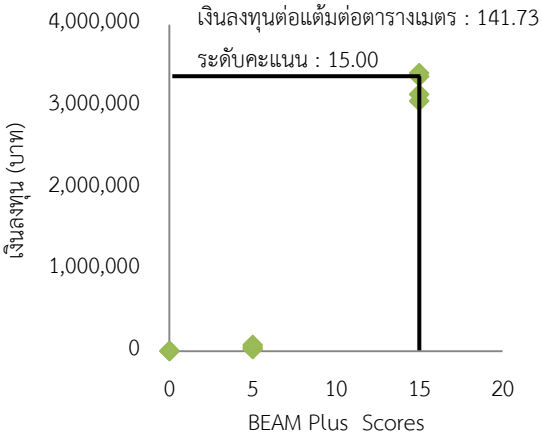
ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน



จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

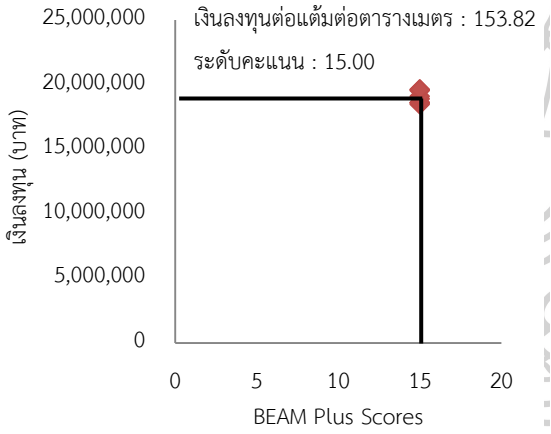


ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

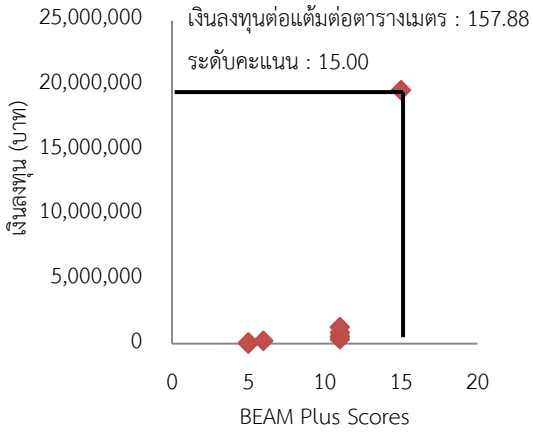
รูปที่ 22 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก

หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ดังรูปที่ 22 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 140.49, 143.98, 140.49, 141.73, 143.48, 141.73 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 2.13% ส่วนระดับคะแนนของ BEAM Plus V. 1.2 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 15.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก เกือบจะเป็นจุดเดียวกันเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

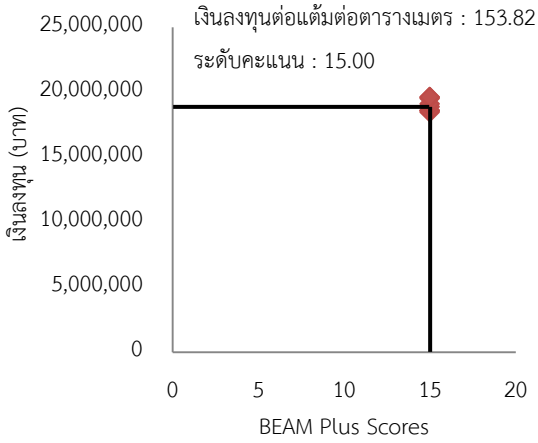
4.4.3 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า



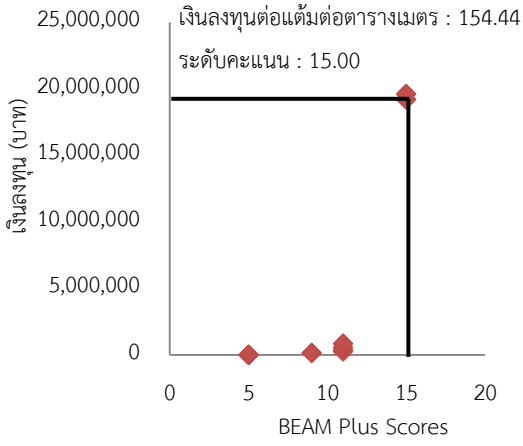
ก) ผลประหยัดพลังงาน



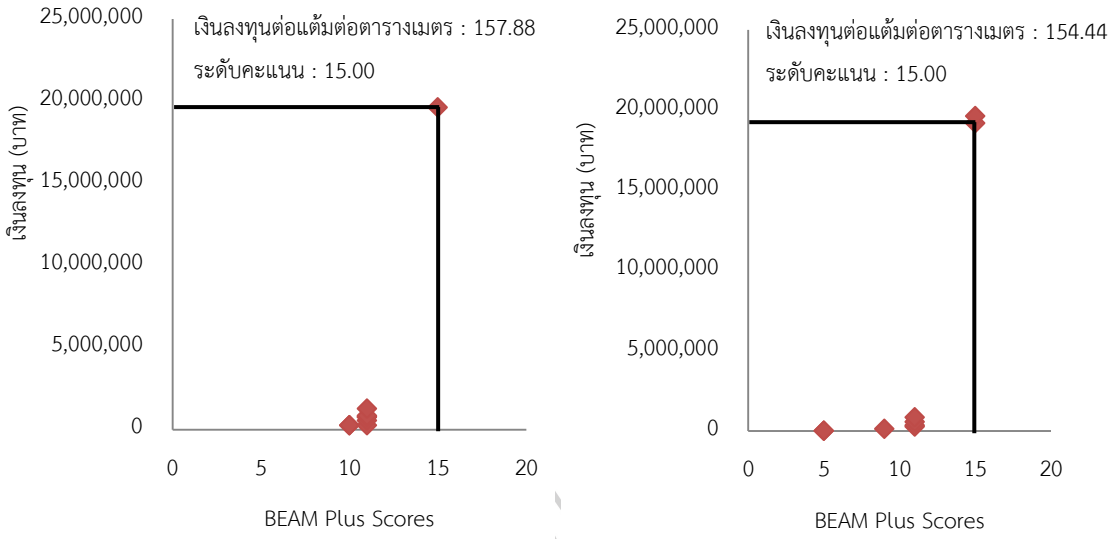
ข) เงินลงทุน



ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน

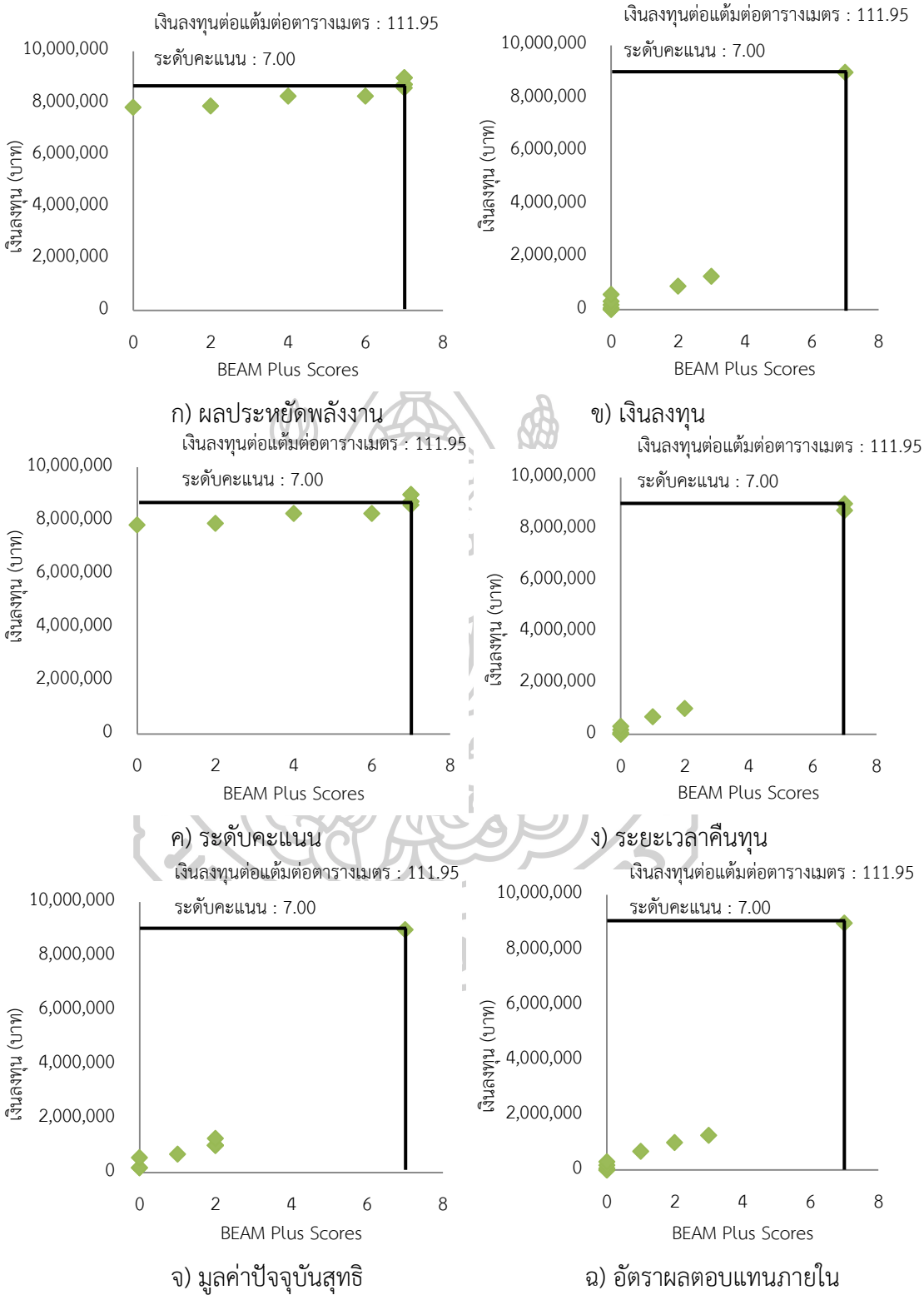


จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

รูปที่ 23 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า

หากพิจารณาภาพรวมของศูนย์การค้า ดังรูปที่ 23 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนน คือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 153.82, 157.88, 153.82, 154.44, 157.88, 154.44 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 2.64% ส่วนระดับคะแนนของ BEAM Plus V. 1.2 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 15 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของศูนย์การค้าเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

4.4.4 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม



รูปที่ 24 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม

หากพิจารณาภาพรวมของโรงแรม ดังรูปที่ 24 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนน คือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว BEAM Plus V. 1.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 111.95, 111.95, 111.95, 111.95, 111.95, 111.95 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 0.00% ส่วนระดับคะแนนของ BEAM Plus V. 1.2 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 7.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของโรงแรมเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

4.5 ผลการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว ด้วยเกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานมาตรฐานอาคารเขียว TREES V. 1.1

หากพิจารณาผลจากการเรียงลำดับมาตรการที่ต่างกันของอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม โดยพิจารณาจากจุดคุ้มทุนที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนี 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ดังตารางที่ 55 – 58 ซึ่งใช้เกณฑ์การประเมินของหมวดพลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว TREES V. 1.1 ในการประเมินระดับคะแนน โดยจะเห็นได้ว่า การเรียงลำดับมาตรการจะเหมือนกับการเรียงลำดับมาตรการที่ประเมินด้วย Building EQ, LEED V. 4 และ BEAM Plus V. 1.2 ส่วนผลกระทบจะพิจารณาจากเงินลงทุนสะสมต่อแต้มที่ได้ ณ จุดคุ้มทุน โดยจุดคุ้มทุนถูกกำหนดให้ใช้เงื่อนไขว่า เมื่อทำมาตรการเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เงินลงทุนสะสมต่อแต้มต่อตารางเมตรที่ได้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% จากมาตรการก่อนหน้า หมายความว่า ถึงจะทำคะแนนเพิ่มขึ้นก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่เงินลงทุนที่ใช้เพิ่มขึ้นมาก

ตารางที่ 55 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES V. 1.1

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E3	E1	A1	L2	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	L2	P1	S2	A1	S1	E5	S3	E4	E1	E3

ตารางที่ 55 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES V. 1.1 (ต่อ)

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4
(จ) NPV	L2	S2	A1	S1	S3	E3	E1	E4	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E3	E5	E4

ตารางที่ 56 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับอาคารสำนักงานขนาดเล็กเมื่อใช้ TREES V. 1.1

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E3	E4	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	S2	S1	A1	E5	E4	S3	E1	E3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	L2	A1	P1	E1	E4	E5	E3
(จ) NPV	L2	S2	S1	A1	S3	E1	E3	E4	P1	E5
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	L2	A1	E1	P1	E4	E5	E3

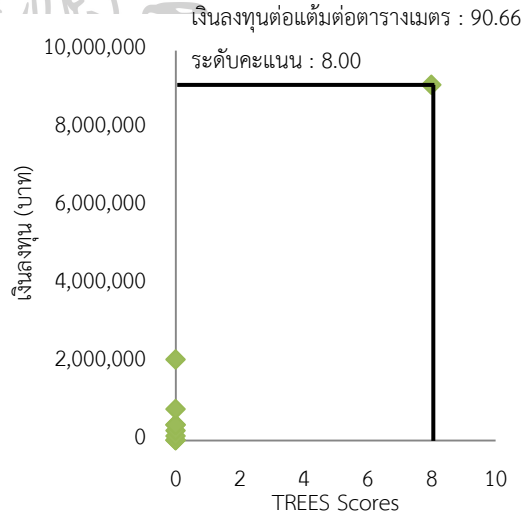
ตารางที่ 57 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับศูนย์การค้าเมื่อใช้ TREES V. 1.1

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ข) เงินลงทุน	S2	S1	S3	E1	A1	E4	E3	L2	E5	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	S2	S1	E3	E4	E5	E1	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S2	S1	E3	E4	S3	E1	E5	P1
(ฉ) IRR	S2	S1	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5

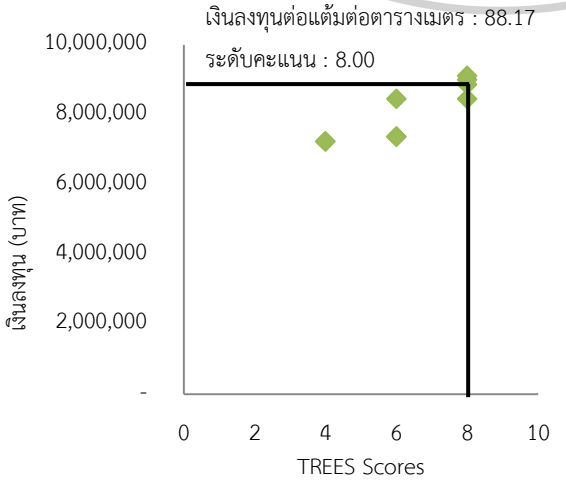
ตารางที่ 58 การเรียงลำดับมาตรการสำหรับโรงแรมเมื่อใช้ TREES V. 1.1

ดัชนี	ลำดับมาตรการ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(ก) ผลประหยัด	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ข) เงินลงทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E5	E3	E4	P1
(ค) ระดับคะแนน	P1	L2	A1	L1	E4	E3	E1	S2	E5	S3
(ง) ระยะเวลาคืนทุน	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	P1	E5
(จ) NPV	L2	A1	S1	E4	E1	E3	S2	S3	E5	P1
(ฉ) IRR	S1	S2	S3	A1	L2	E1	E4	E3	E5	P1

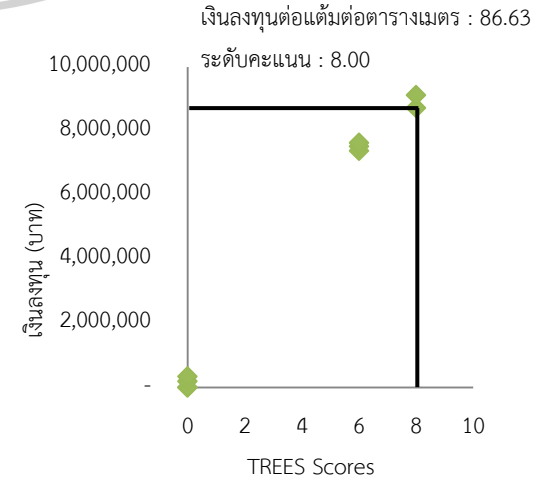
4.5.1 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดใหญ่

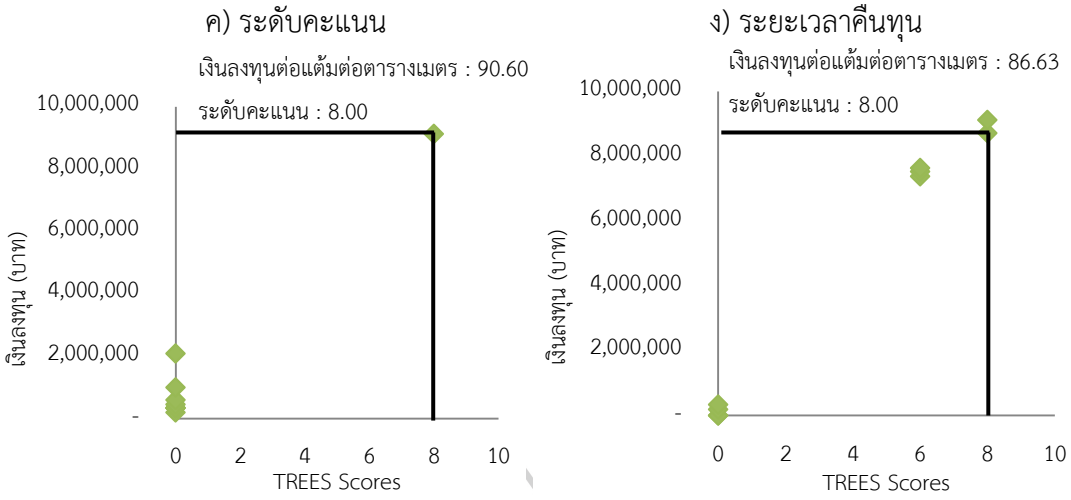


ก) ผลประหยัดพลังงาน



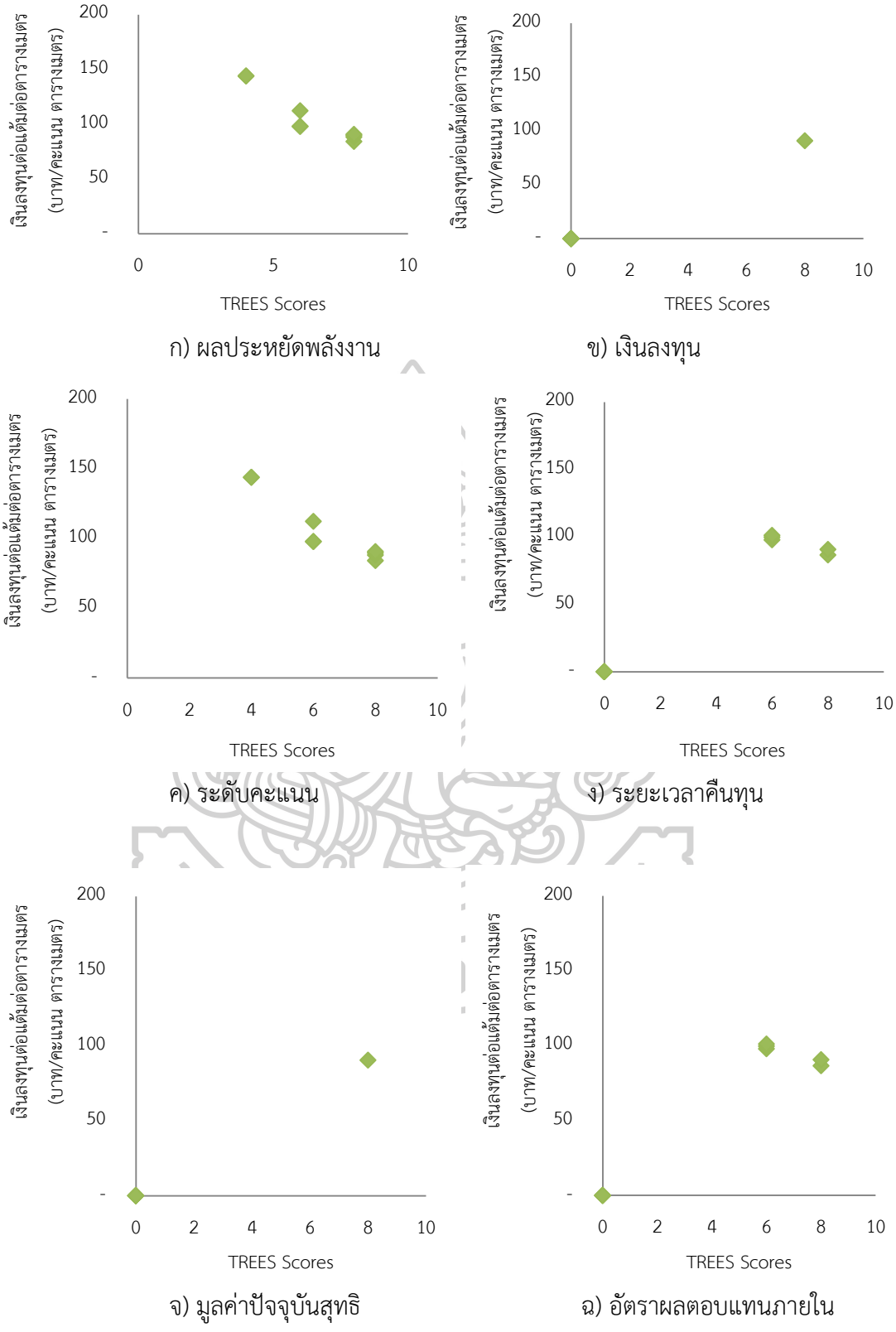
ข) เงินลงทุน





รูปที่ 25 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

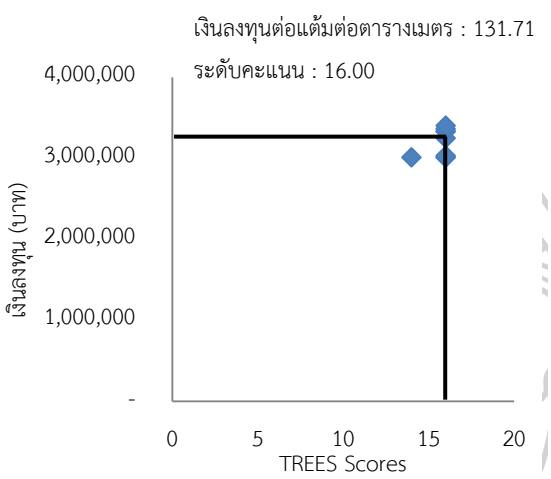
หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 25 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 11 มาตรการของอาคารสำนักงาน ซึ่งเรียงตามดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย ส่วนเครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว TREES V. 1.1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 88.17, 90.66, 88.17, 86.63, 90.66, 86.63 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 4.65% ส่วนระดับคะแนนของ TREES V. 1.1 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 8 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน



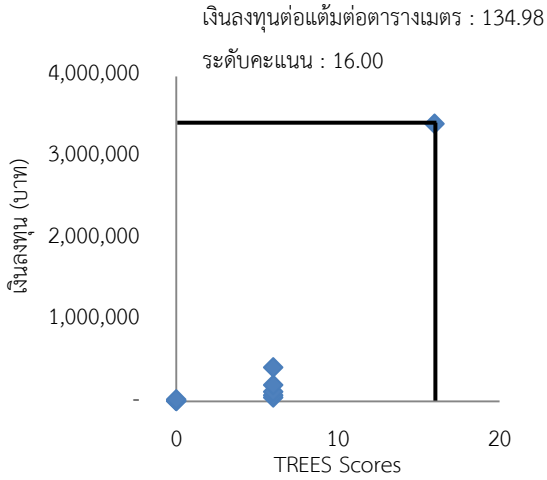
รูปที่ 26 แนวโน้มเงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES

จากรูป 26 ได้แสดงแนวโน้มของเงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่เมื่อใช้ TREES ในการประเมิน จะเห็นได้ว่า หากทำมาตรการเพิ่มขึ้น เงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรจะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตาม Economy of scale

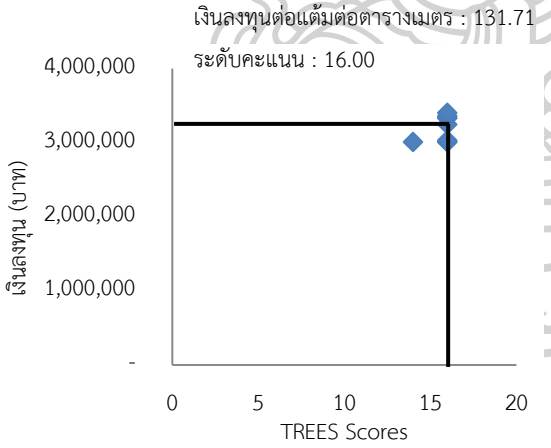
4.5.2 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของสำนักงานขนาดเล็ก



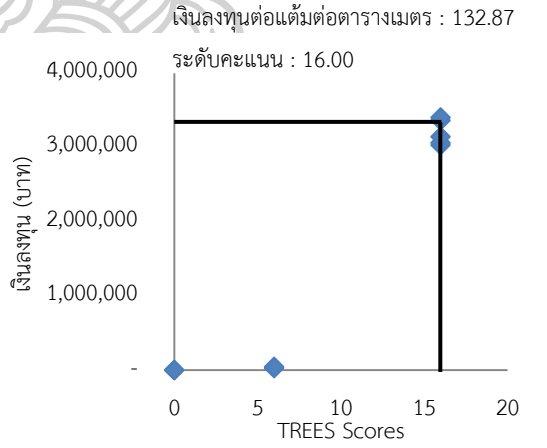
ก) ผลประหยัดพลังงาน



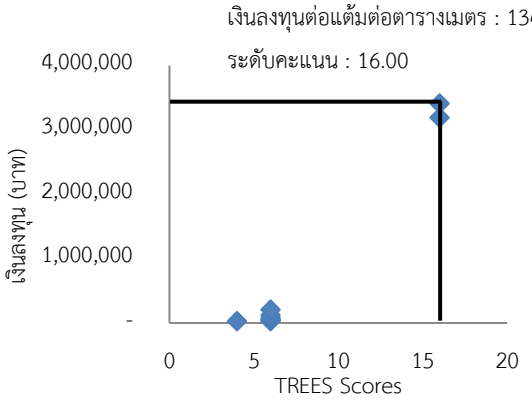
ข) เงินลงทุน



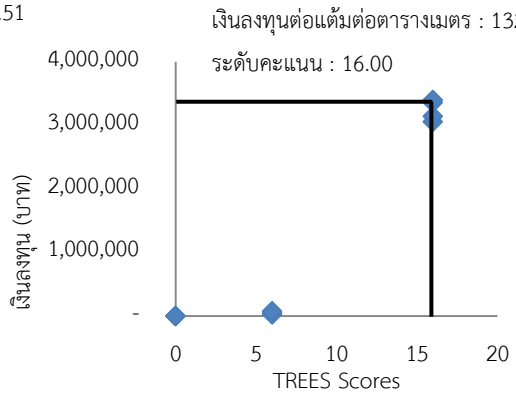
ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน



จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

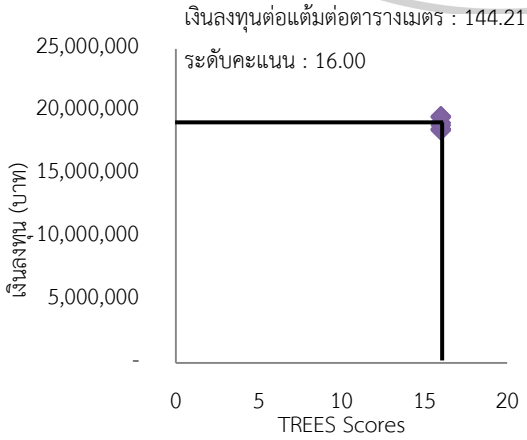


ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

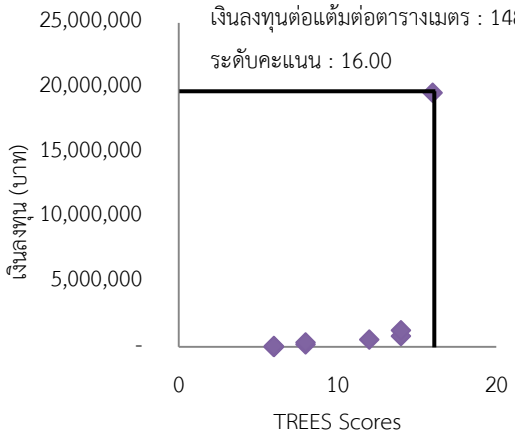
รูปที่ 27 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก

หากพิจารณาภาพรวมของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ดังรูปที่ 27 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว TREES V. 1.1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 131.71, 134.98, 131.71, 132.87, 134.51, 132.87 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 2.48% ส่วนระดับคะแนนของ TREES V. 1.1 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก เกือบจะเป็นจุดเดียวกันเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

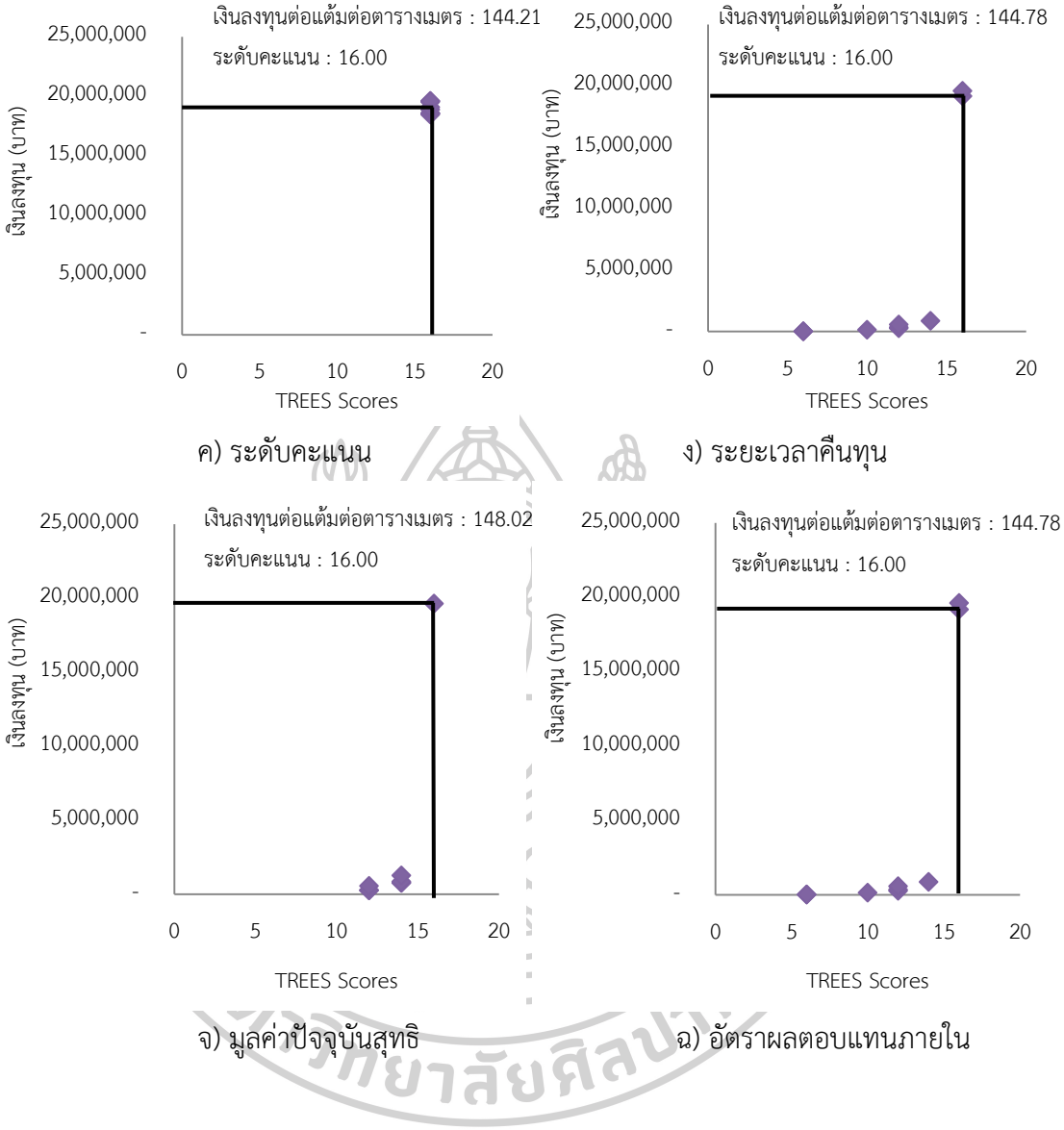
4.5.3 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า



ก) ผลประหยัดพลังงาน



ข) เงินลงทุน

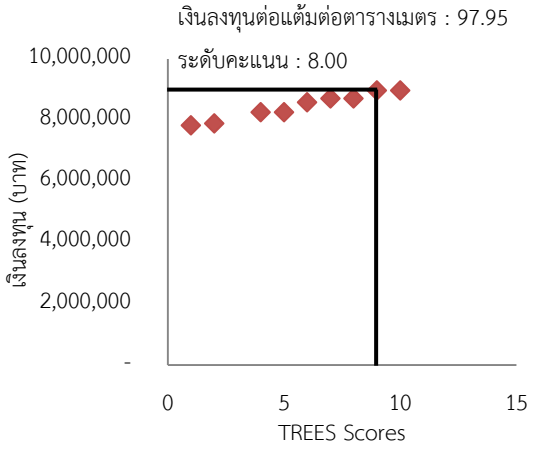


รูปที่ 28 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของศูนย์การค้า

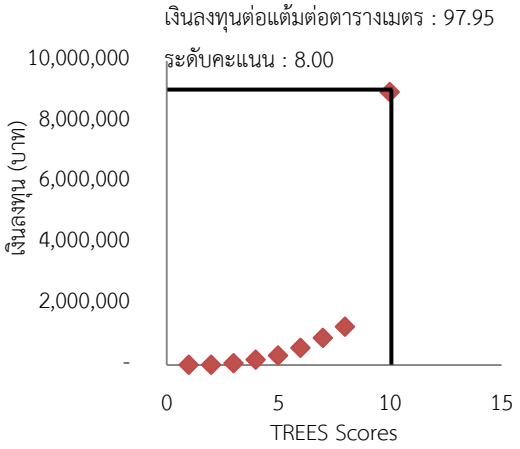
หากพิจารณาภาพรวมของศูนย์การค้า ดังรูปที่ 28 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว TREES V. 1.1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 144.21, 148.02, 144.21, 144.78, 148.02, 144.78 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ

2.64% ส่วนระดับคะแนนของ TREES V. 1.1 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 16.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของศูนย์การค้าเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

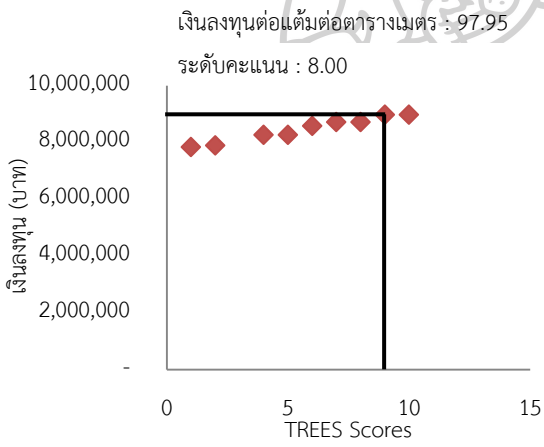
4.5.4 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม



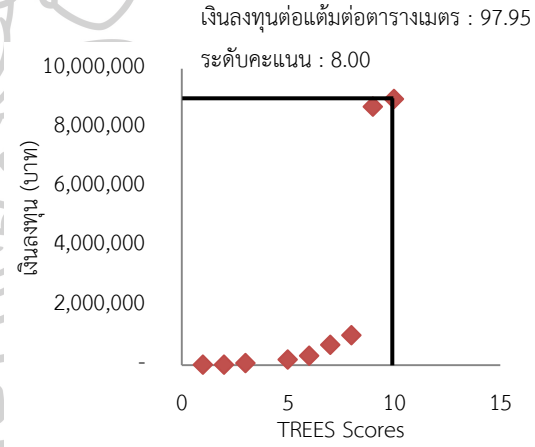
ก) ผลประหยัดพลังงาน



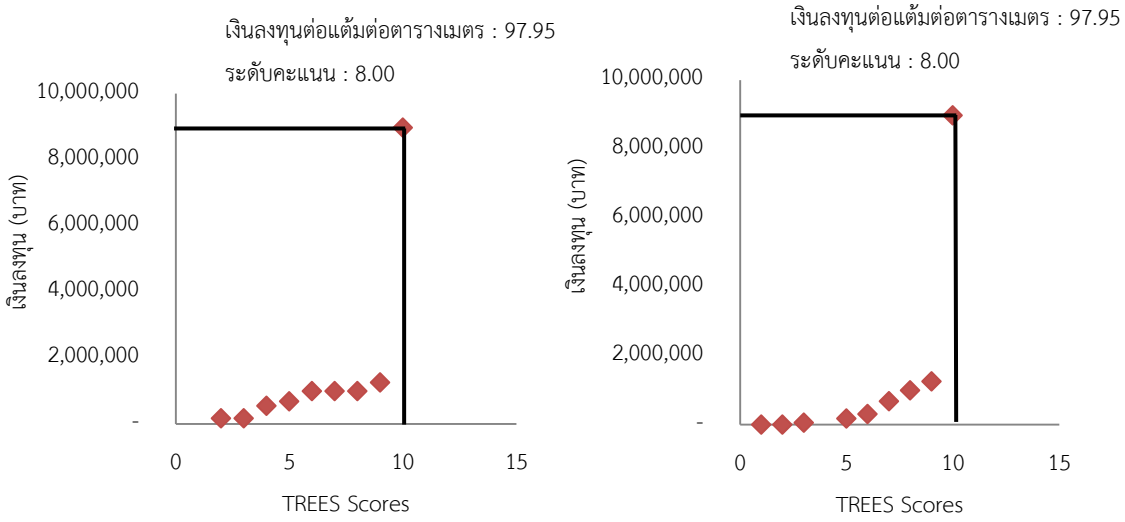
ข) เงินลงทุน



ค) ระดับคะแนน



ง) ระยะเวลาคืนทุน



จ) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ฉ) อัตราผลตอบแทนภายใน

รูปที่ 29 ผลการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัวของโรงแรม

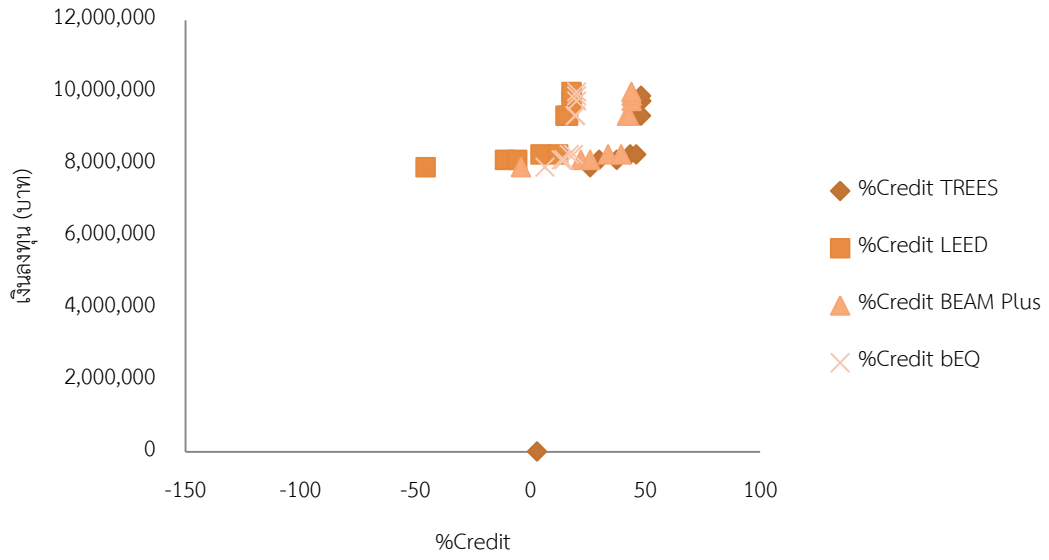
หากพิจารณาภาพรวมของโรงแรม ดังรูปที่ 29 เป็นผลการศึกษาที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัว โดยใช้เครื่องมือการคำนวณคะแนนคือ เกณฑ์การประเมินหมวดพลังงานของอาคารเขียว TREES V. 1.1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หากเรียงลำดับมาตรการตามดัชนีทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งผลให้เงินลงทุนต่อคะแนน ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 97.95, 97.95, 97.95, 97.95, 97.95, 97.95 บาทต่อคะแนนต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดมีความแตกต่างกันประมาณ 0.00% ส่วนระดับคะแนนของ TREES V. 1.1 ณ จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 8.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดของการเรียงลำดับด้วยดัชนีทั้ง 6 แบบของโรงแรมเกือบจะเป็นจุดเดียวกัน

4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานของเกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1

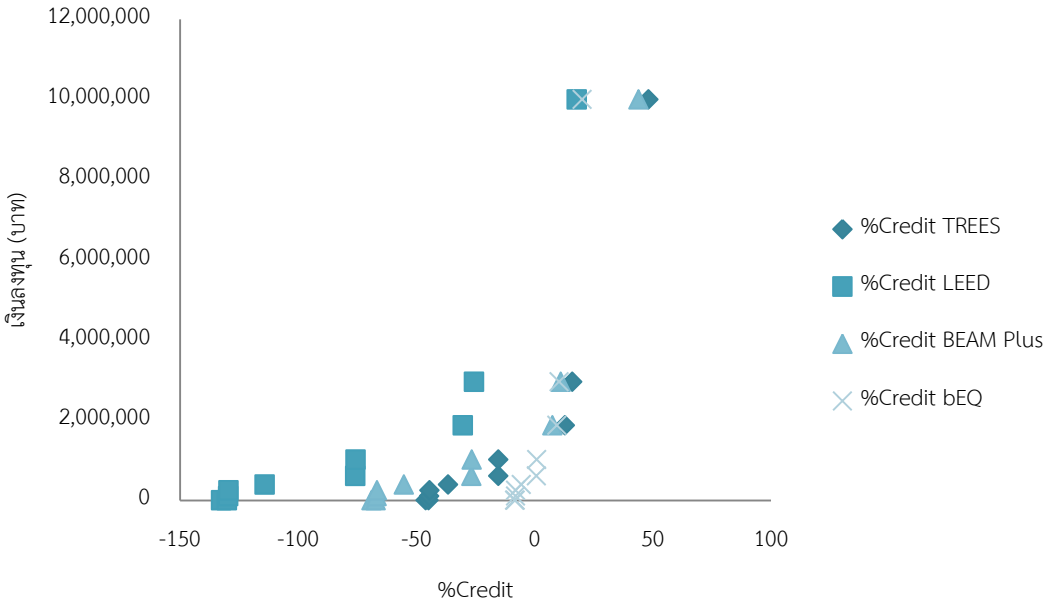
รูปที่ 30 – 35 ได้แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คะแนนที่มีผลต่อเงินลงทุนของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ซึ่งสังเกตได้ว่าที่ระดับคะแนนเดียวกันมาตรฐานการประเมินของ TREES V. 1.1 และ BEAM Plus V. 1.2 จะใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ LEED V. 4 และ Building EQ ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานอื่นๆ สาเหตุเนื่องมาจากมาตรฐาน LEED V. 4 ได้ใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวดมากขึ้น เช่น ระบบแสงสว่างที่ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาตรฐานอื่น ในขณะที่ Building

EQ ใช้เกณฑ์การประเมินที่เทียบการใช้พลังงานของตนเองกับอาคารอ้างอิงที่ได้จากฐานข้อมูลจริง (Median EUI) ซึ่งถ้าค่ามัธยฐานการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิงมีค่าต่ำ จะส่งผลให้การประเมินระดับคะแนนยากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่ามัธยฐานการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยปี พ.ศ. 2553 – 2556 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำจึงทำให้ได้ระดับคะแนนค่อนข้างน้อย

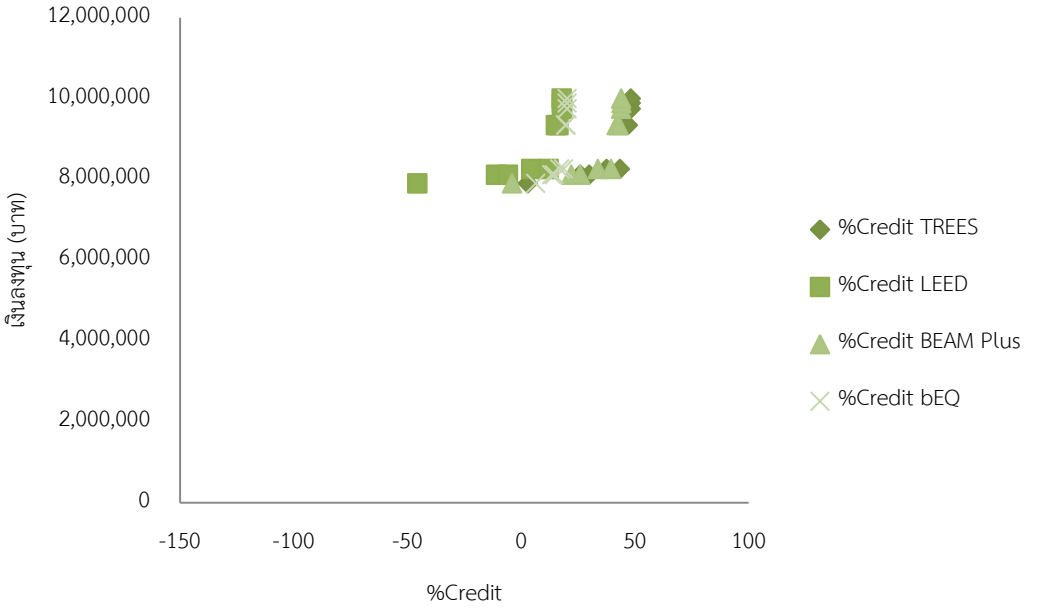
ข้อสังเกตเพิ่มเติมของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรก Building EQ ทำคะแนนได้ค่อนข้างเร็ว เนื่องจากเกณฑ์การประเมินของ Building EQ ในช่วงแรก จะยอมให้อาคารประเมินใช้พลังงานมากกว่าอาคารอ้างอิงได้ ในขณะที่การทำคะแนนของ Building EQ ในช่วงหลังจะทำคะแนนได้ค่อนข้างยากขึ้น เนื่องจาก Building EQ มีเกณฑ์การประเมินที่ระดับคะแนนสูงสุดคือ Zero net energy



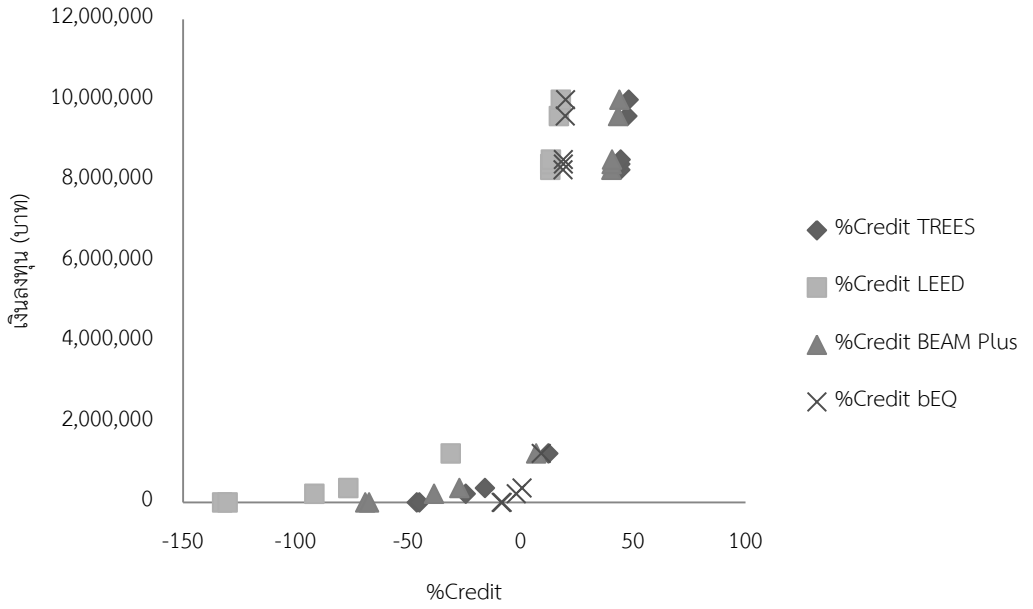
รูปที่ 30 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่



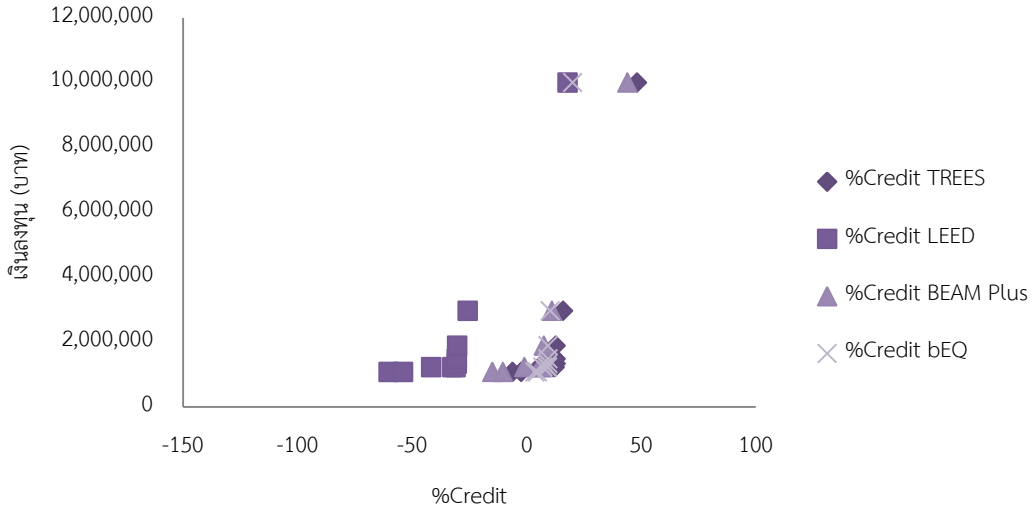
รูปที่ 31 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่



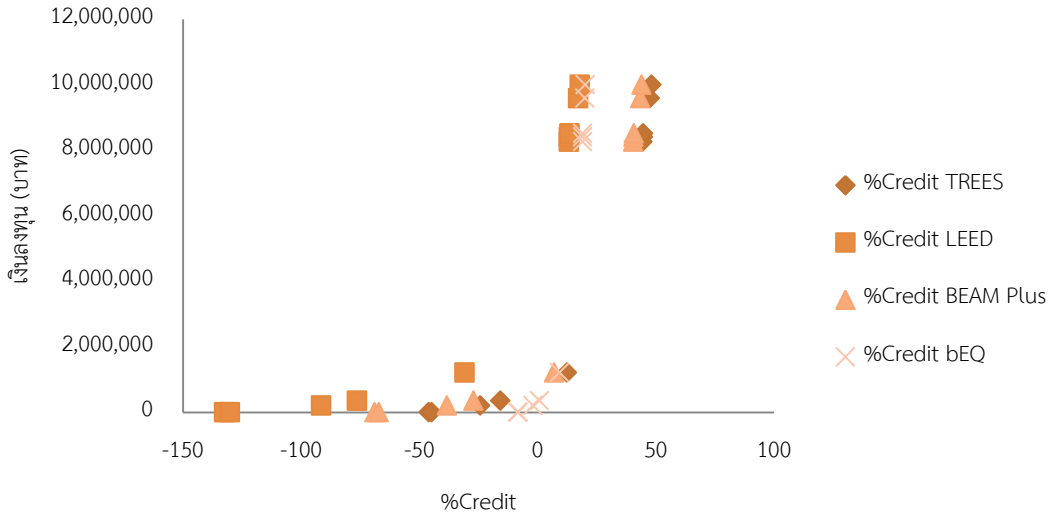
รูปที่ 32 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่



รูปที่ 33 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่

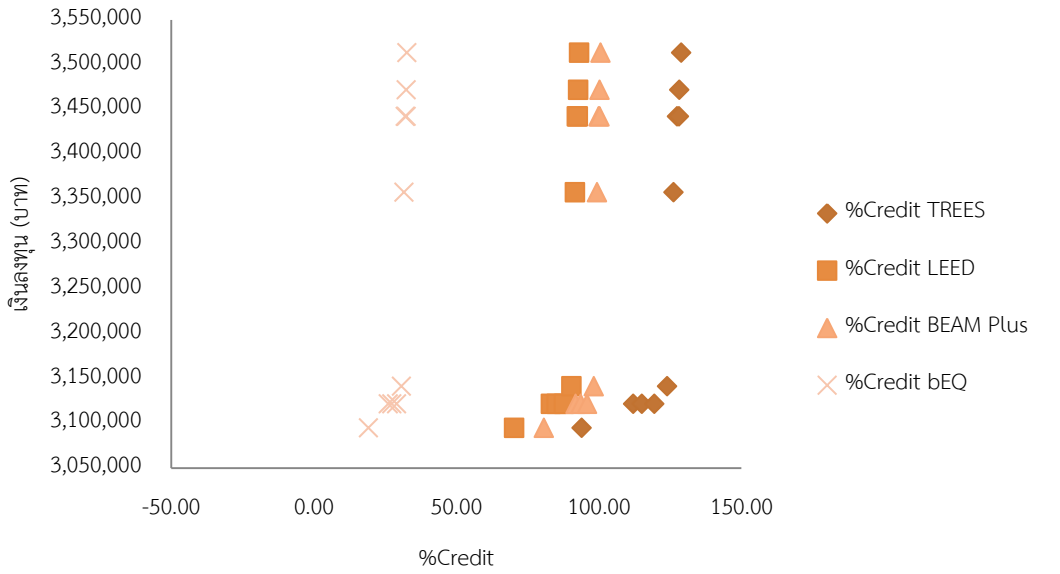


รูปที่ 34 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของสำนักงานขนาดใหญ่

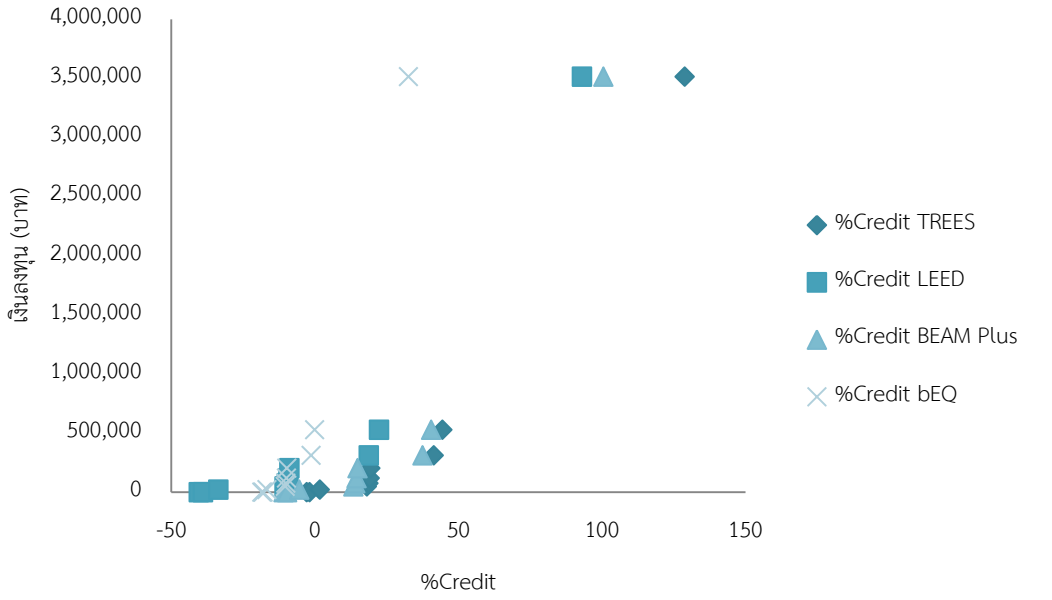


รูปที่ 35 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดใหญ่

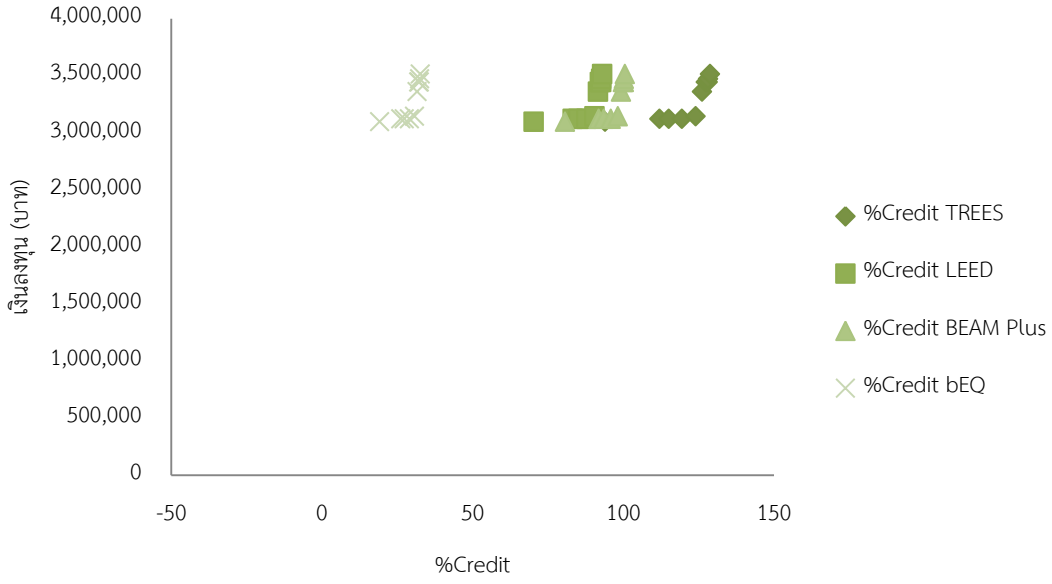
หากพิจารณาอาคารสำนักงานขนาดเล็ก จะให้ผลการเปรียบเทียบเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ตามรูปที่ 36 – 41 โดยที่ระดับคะแนนเดียวกันมาตรฐานการประเมินของ TREES V. 1.1 และ BEAM Plus V. 1.2 จะใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ Building EQ และ LEED V. 4 จะใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่



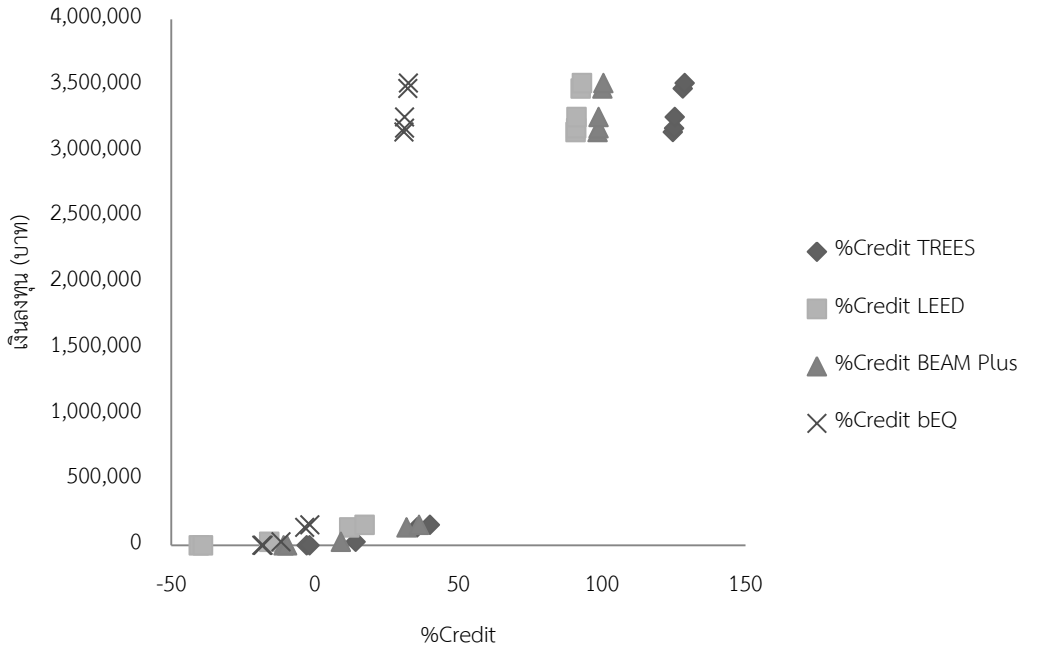
รูปที่ 36 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก



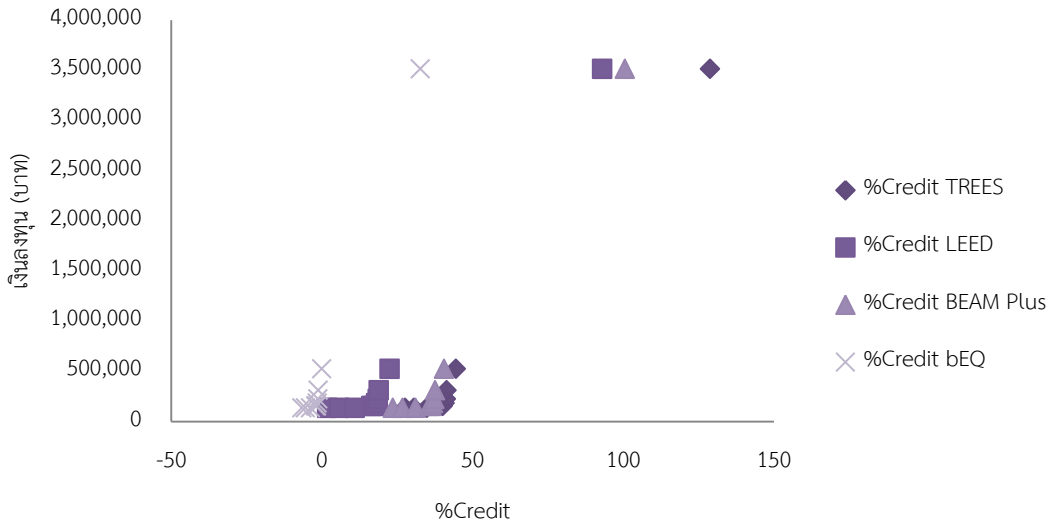
รูปที่ 37 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก



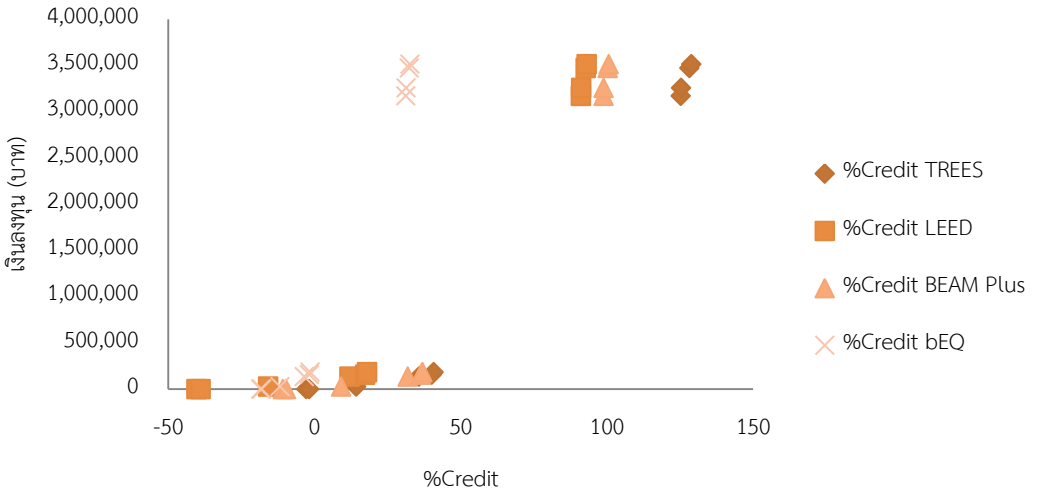
รูปที่ 38 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก



รูปที่ 39 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดเล็ก

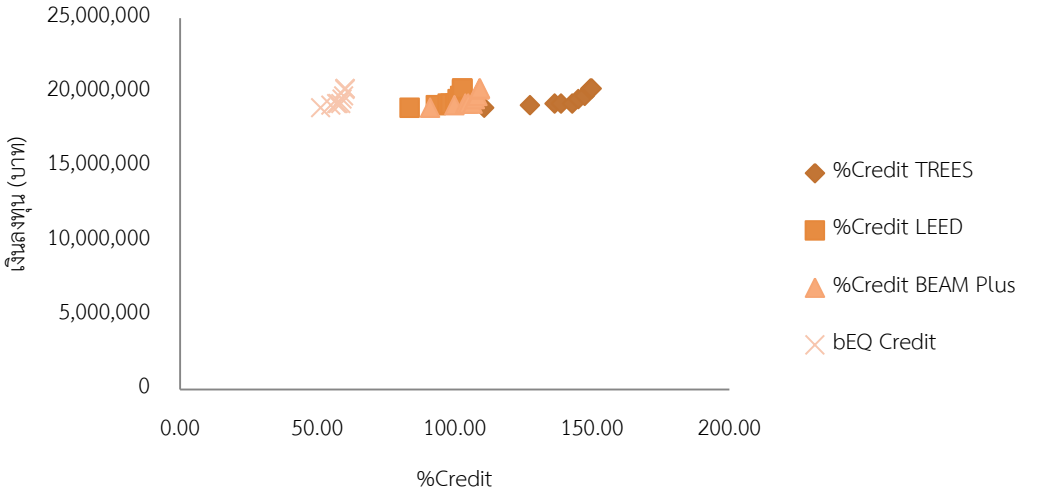


รูปที่ 40 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก

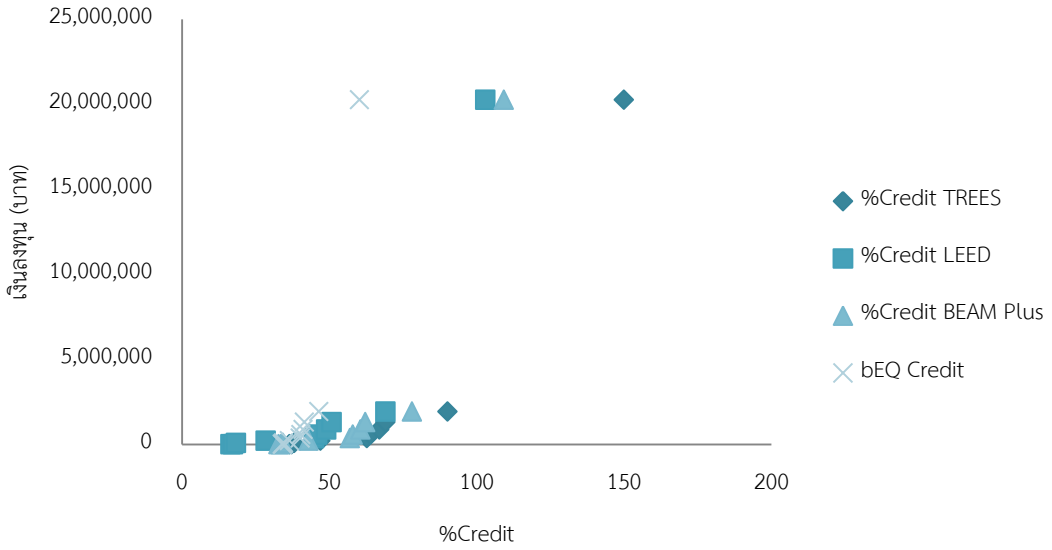


รูปที่ 41 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของสำนักงานขนาดเล็ก

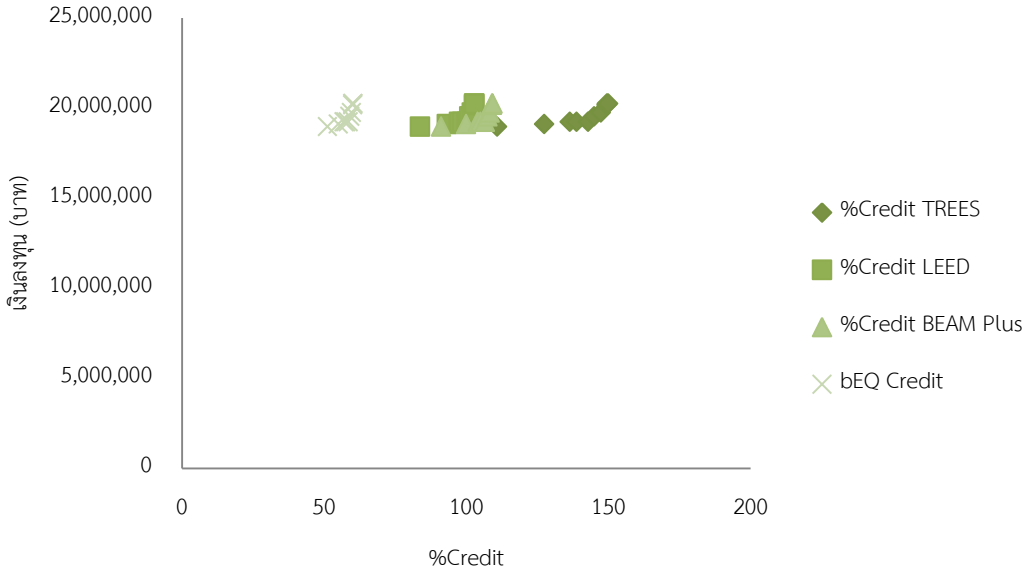
หากพิจารณาศูนย์การค้า ที่ระดับคะแนนเดียวกันมาตรฐานการประเมินของ TREES V. 1.1 จะใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ Building EQ และ LEED V. 4 จะใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งให้ผลการศึกษาเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดเล็กและอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 42 – 47



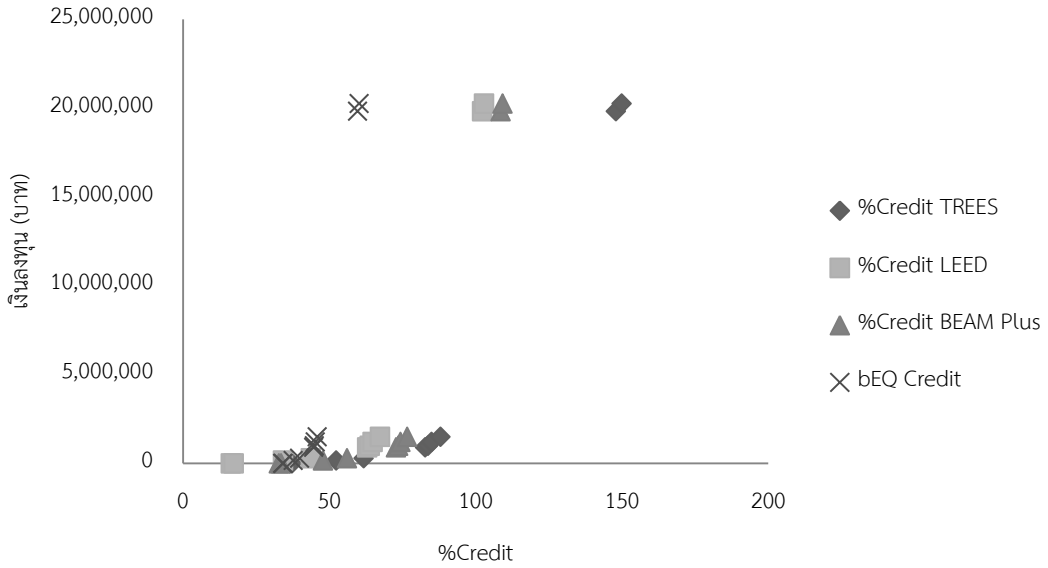
รูปที่ 42 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของศูนย์การค้า



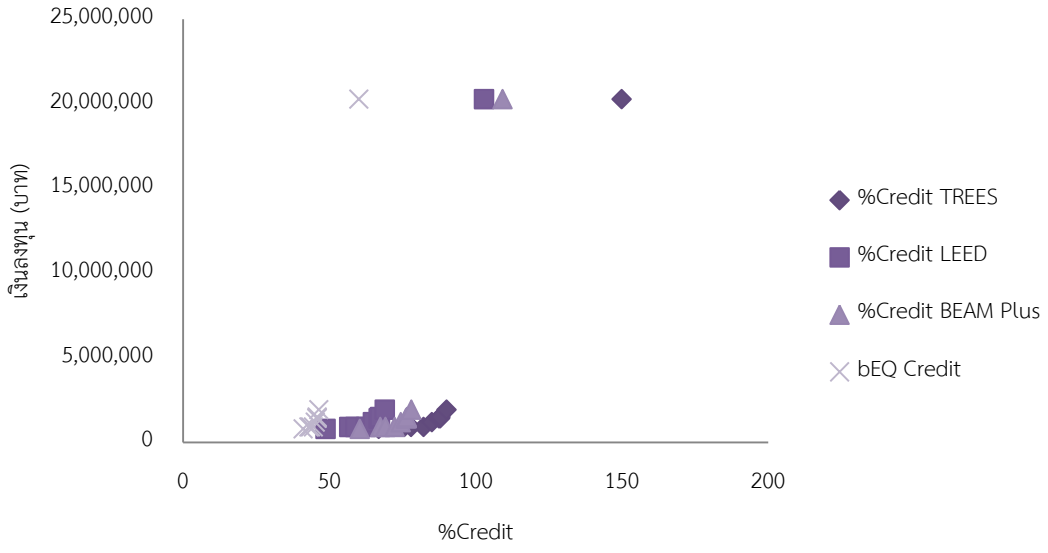
รูปที่ 43 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของศูนย์การค้า



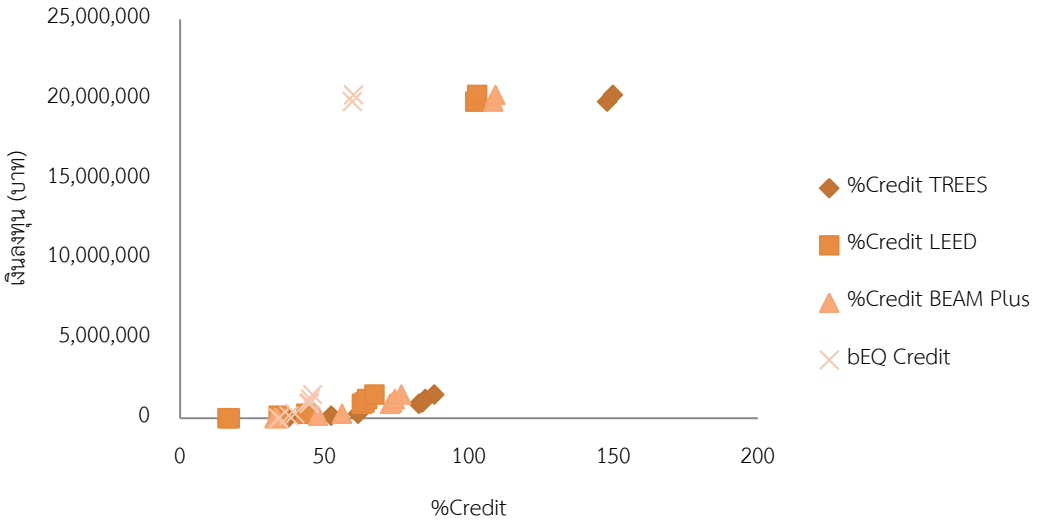
รูปที่ 44 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของศูนย์การค้า



รูปที่ 45 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของศูนย์การค้า

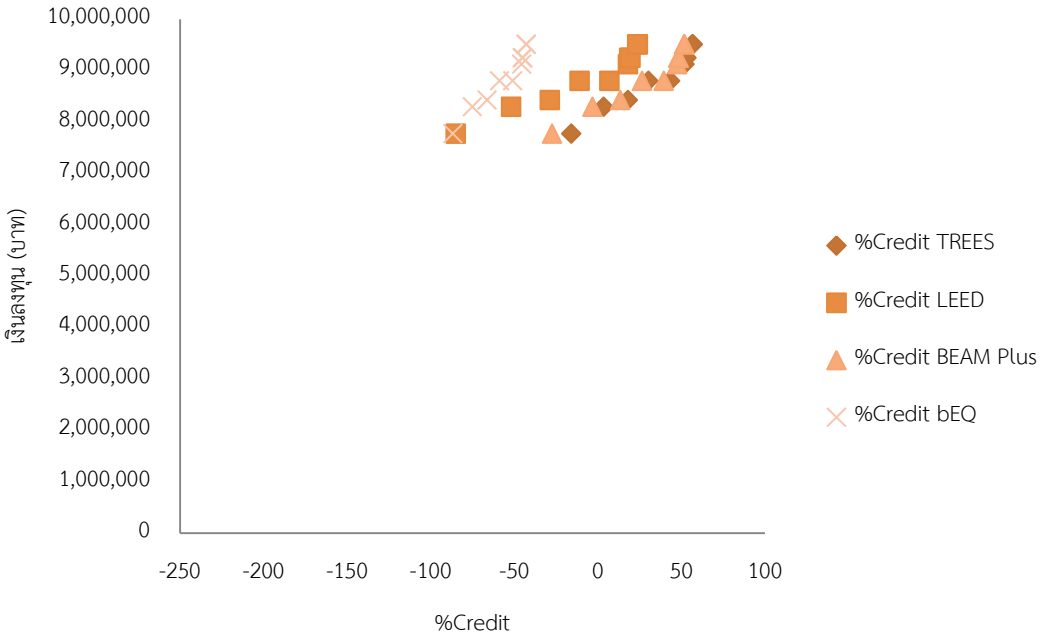


รูปที่ 46 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของศูนย์การค้า

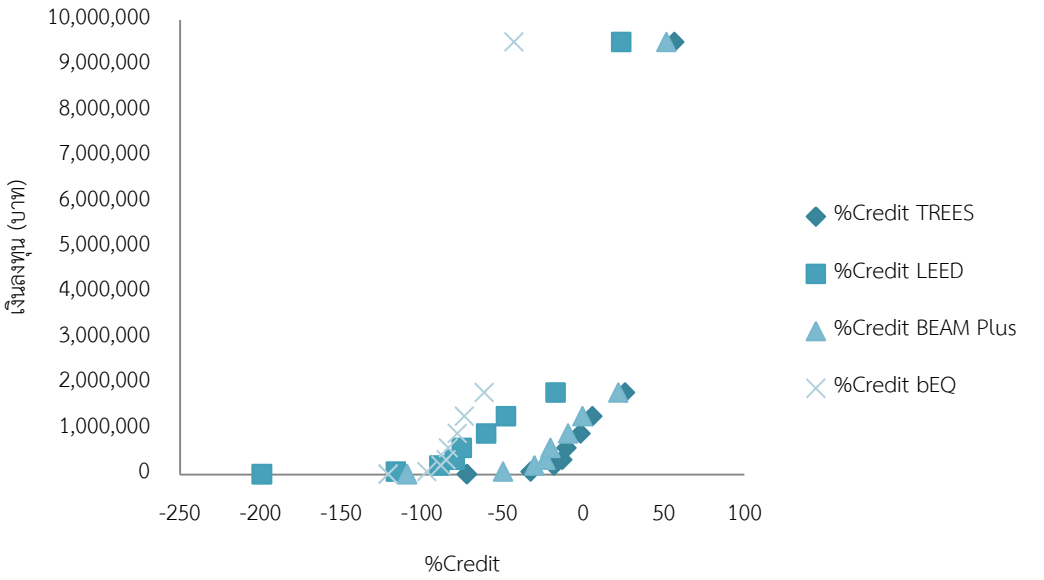


รูปที่ 47 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของศูนย์การค้า

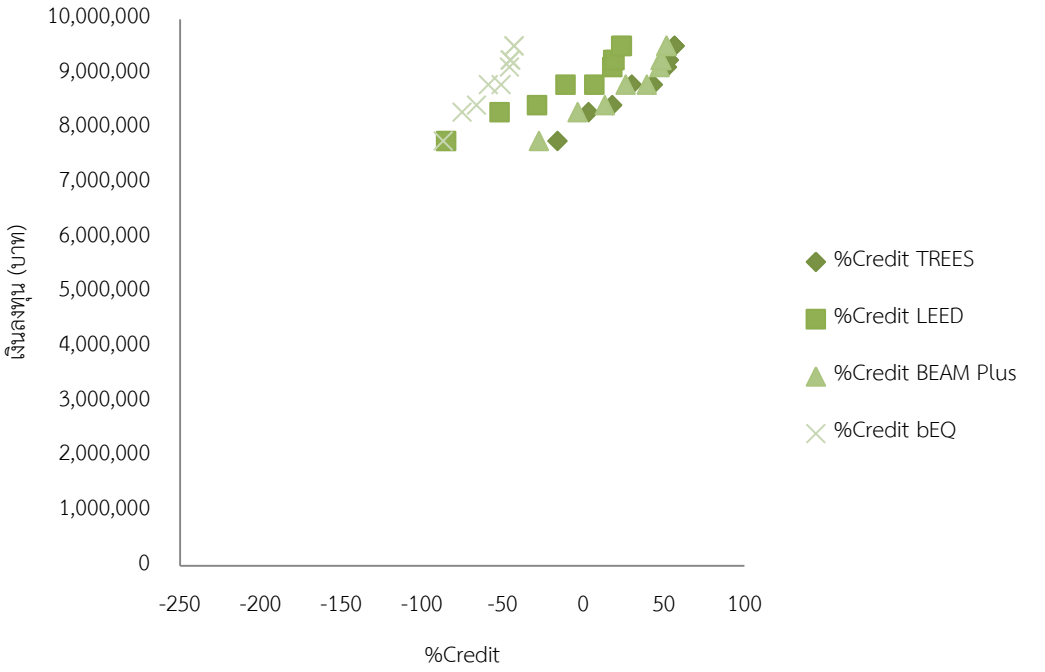
หากพิจารณาโรงแรม ที่ระดับคะแนนเดียวกันมาตรฐานการประเมินของ TREES V. 1.1 จะใช้เงินลงทุนต่ำที่สุด ในขณะที่ Building EQ และ LEED V. 4 ใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งให้ผลการศึกษาเช่นเดียวกับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ อาคารสำนักงานขนาดเล็ก และศูนย์การค้า ดังรูปที่ 48 – 53



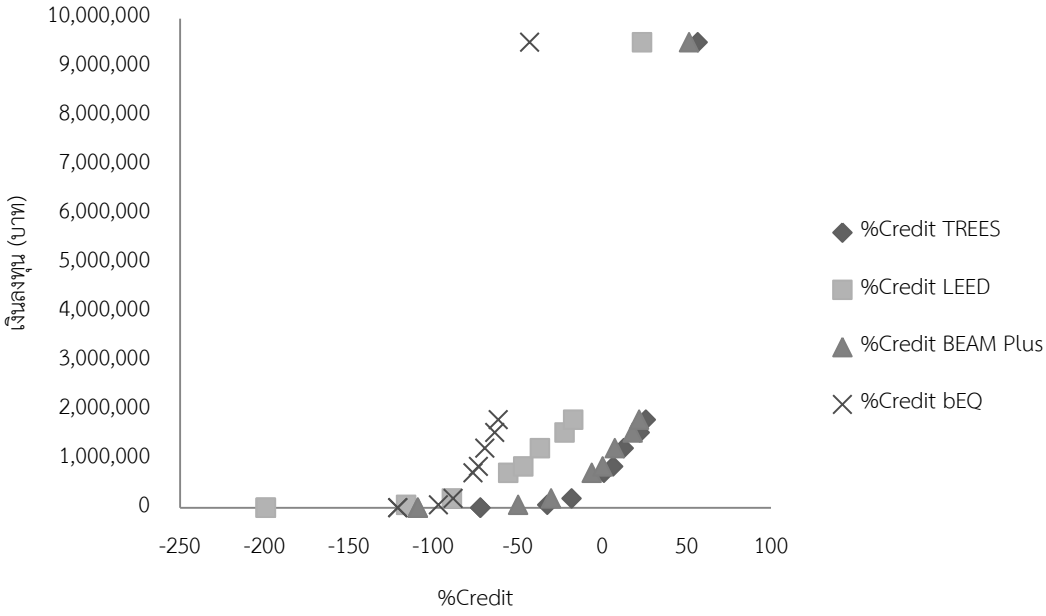
รูปที่ 48 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามผลประหยัดจากมากไปน้อยของโรงแรม



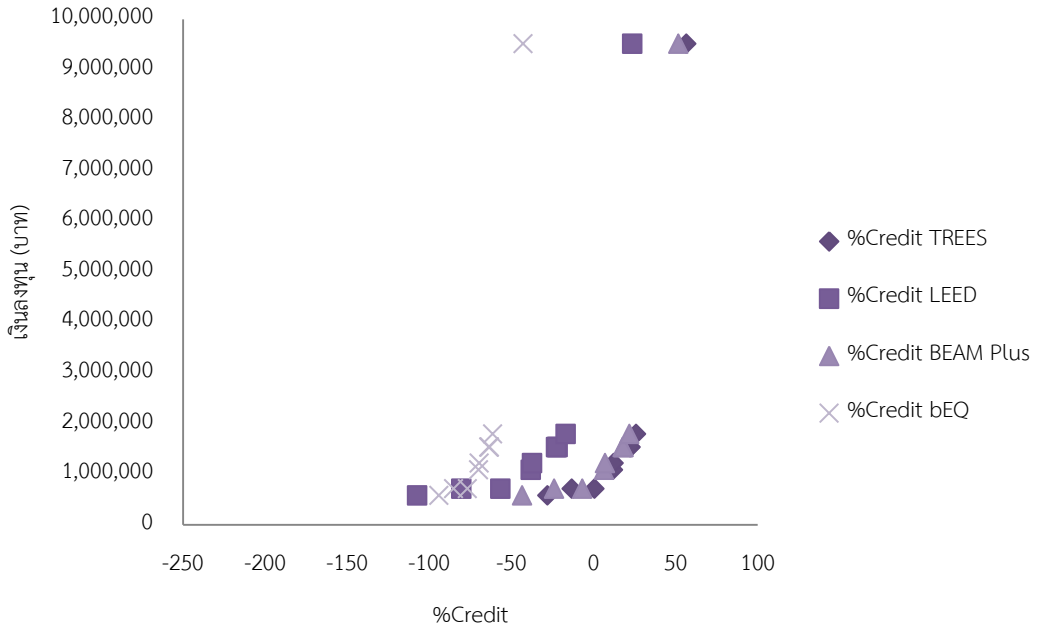
รูปที่ 49 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามเงินลงทุนจากน้อยไปมากของโรงแรม



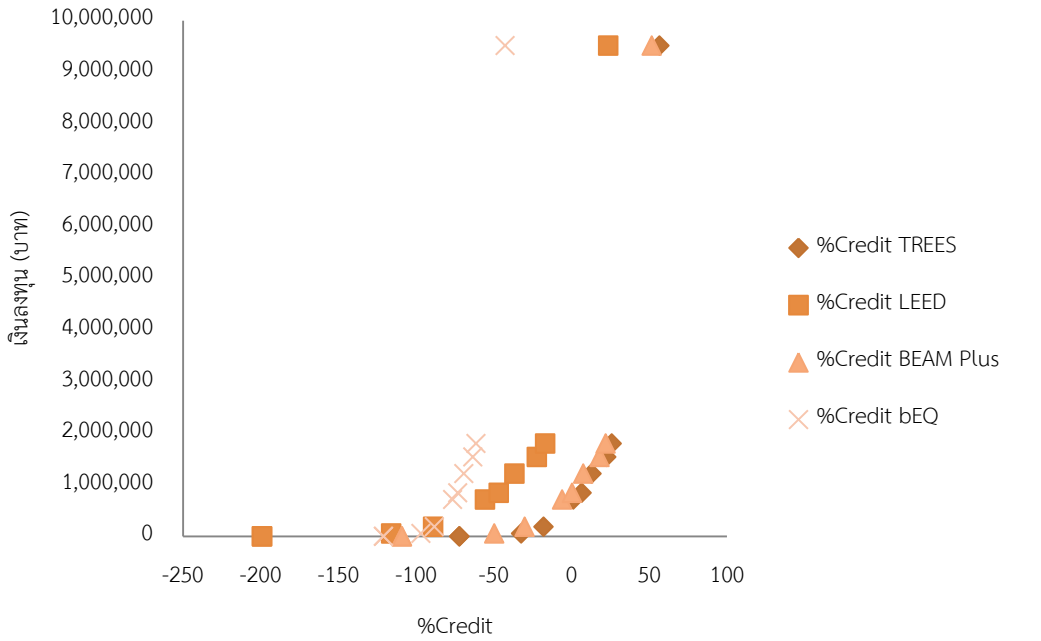
รูปที่ 50 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามคะแนนจากมากไปน้อยของโรงแรม



รูปที่ 51 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมากของโรงแรม



รูปที่ 52 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อยของโรงแรม



รูปที่ 53 ผลการเรียงลำดับมาตรการตามอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากน้อยไปมากของโรงแรม

จากรูปที่ 30 - 53 จะสามารถสรุปได้ว่า

4.6.1 ที่ระดับคะแนนเดียวกันมาตรฐานการประเมินของ TREES V. 1.1 และ BEAM Plus V. 1.2 จะใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ LEED V. 4 และ Building EQ ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานอื่นๆ สาเหตุเนื่องมาจากมาตรฐาน LEED V. 4 ได้ใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวดมากขึ้น เช่น ระบบแสงสว่างที่ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาตรฐานอื่น ในขณะที่ Building EQ ใช้เกณฑ์การประเมินที่เทียบการใช้พลังงานของตนเองกับอาคารอ้างอิงที่ได้จากฐานข้อมูลจริง (Median EUI) ซึ่งถ้าค่ามัธยฐานการใช้พลังงานของอาคารอ้างอิง มีค่าต่ำ จะส่งผลให้การประเมินระดับคะแนนยากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่ามัธยฐานการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยปี พ.ศ. 2553 – 2556 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำจึงทำให้ได้ระดับคะแนนค่อนข้างน้อย

4.6.2 ในช่วงแรก Building EQ ทำคะแนนได้ค่อนข้างเร็ว เนื่องจากเกณฑ์การประเมินของ Building EQ ในช่วงแรก จะยอมให้อาคารประเมินใช้พลังงานมากกว่าอาคารอ้างอิงได้ ในขณะที่การทำคะแนนของ Building EQ ในช่วงหลัง จะทำคะแนนได้ค่อนข้างยากขึ้น เนื่องจาก Building EQ มีเกณฑ์การประเมินที่ระดับคะแนนสูงสุด คือ Zero net energy

4.7 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างประเภทอาคาร โดยใช้เกณฑ์การประเมินการใช้พลังงานของมาตรฐานอาคารเขียว ASHRAE (Building EQ), LEED V. 4, BEAM Plus V. 1.2 และ TREES V. 1.1

ตารางที่ 59 - 62 แสดงผลการเปรียบเทียบของเงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของอาคารสำนักงานจำนวน 2 อาคาร ศูนย์การค้า และโรงแรม โดยจะสังเกตเห็นว่าอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ และโรงแรม จะมีเงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของอาคารใกล้เคียงกัน ส่วนอาคารสำนักงานขนาดเล็ก และศูนย์การค้า ก็จะมีเงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของอาคารใกล้เคียงกัน เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่ามาตรการ P1 ของอาคารทั้ง 4 ประเภท เป็นมาตรการหลักในการตัดสินจุดคุ้มทุน โดยหากพิจารณาอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ และอาคารสำนักงานขนาดเล็ก พบว่ามาตรการ P1 ของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะใช้เงินลงทุนรายมาตรการนี้อยู่ที่ 7,043,299.20 บาท และสามารถประหยัดพลังงานได้ 9.68% แต่เมื่อพิจารณาเงินลงทุนรายมาตรการนี้ต่อเงินลงทุนรวมของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะอยู่ที่ 2.27% ส่วนอาคารสำนักงานขนาดเล็ก จะใช้เงินลงทุนรายมาตรการนี้อยู่ที่ 2,986,614.40 บาท และสามารถประหยัดพลังงานได้ 29.41% แต่เมื่อพิจารณาเงินลงทุนรายมาตรการนี้ต่อเงินลงทุนรวม

ของอาคารสำนักงานขนาดเล็ก จะอยู่ที่ 7.70% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อาคารขนาดใหญ่จะมีความเหมาะสมต่อการลงทุนมาตรการ P1 ได้มากกว่าอาคารขนาดเล็กเนื่องจากเงินลงทุนรายมาตรการต่อเงินลงทุนรวมของอาคารมีค่าน้อยกว่า

ตารางที่ 59 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของสำนักงานขนาดใหญ่

มาตรฐาน	ผลประหยัด	เงินลงทุน	ระดับคะแนน	ระยะเวลาคืนทุน	NPV	IRR
Building EQ	3.008	3.220	3.008	2.660	3.220	2.660
LEED V. 4	3.008	3.220	3.008	3.089	3.220	3.089
TREES	3.008	3.220	3.008	3.089	3.220	3.089
BEAM Plus	3.008	3.220	3.008	3.089	3.220	3.089

ตารางที่ 60 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของสำนักงานขนาดเล็ก

มาตรฐาน	ผลประหยัด	เงินลงทุน	ระดับคะแนน	ระยะเวลาคืนทุน	NPV	IRR
Building EQ	8.660	9.061	8.660	8.102	9.061	8.178
LEED V. 4	8.102	9.061	8.102	8.102	9.061	8.178
TREES	8.102	9.061	8.102	8.102	9.061	8.178
BEAM Plus	8.102	9.061	8.102	8.102	9.061	8.178

ตารางที่ 61 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของศูนย์การค้า

มาตรฐาน	ผลประหยัด	เงินลงทุน	ระดับคะแนน	ระยะเวลาคืนทุน	NPV	IRR
Building EQ	8.368	8.678	8.368	8.494	8.68	8.494
EED V. 4	8.368	8.678	8.368	8.494	8.68	8.494
TREES	8.244	8.678	8.244	8.494	8.68	8.494
BEAM Plus	8.244	8.678	8.244	8.494	8.68	8.494

ตารางที่ 62 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของโรงแรม

มาตรฐาน	ผลประหยัด	เงินลงทุน	ระดับคะแนน	ระยะเวลาคืนทุน	NPV	IRR
Building EQ	3.610	3.765	3.610	3.765	3.765	3.765
LEED V. 4	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765

ตารางที่ 62 เงินลงทุนของมาตรการสะสมที่จุดคุ้มทุนต่อเงินลงทุนรวมของโรงแรม (ต่อ)

มาตรฐาน	ผลประหยัด	เงินลงทุน	ระดับคะแนน	ระยะเวลาคืนทุน	NPV	IRR
TREES	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765
BEAM Plus	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765	3.765

4.8 ภาพรวมของงานวิจัย

จากการศึกษาการเรียงลำดับมาตรการทั้ง 11 มาตรการกับอาคาร 3 ประเภท คือ สำนักงานขนาดใหญ่ 12,567.00 ตารางเมตร และสำนักงานขนาดเล็ก 1580.72 ตารางเมตร, ศูนย์การค้า 8,280.00 ตารางเมตร และโรงแรม 11,448.00 ตารางเมตร โดยใช้มาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus V. 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V. 4) ไทย (TREES V. 1.1) และ ASHRAE (Building EQ) เป็นเครื่องมือในการประเมินระดับคะแนน จากการศึกษา พบว่า

4.8.1 ถ้าต้องการทำถึงจุดคุ้มทุน ทุกอาคาร ทุกมาตรฐาน จะเรียงมาตรการด้วยดัชนีตัวใดก็ได้ เพราะจะได้จุดคุ้มทุนเป็นจุดเดียวกัน (แต่จำนวนในการทำมาตรการไม่เท่ากัน)

4.8.2 ถ้าไม่ต้องการทำถึงจุดคุ้มทุน ทุกอาคาร ทุกมาตรฐาน การเรียงลำดับจะมีแนวโน้มแตกต่างกัน โดย หากเรียงมาตรการตามดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ คือ เงินลงทุน ระยะเวลาคืนทุน NPV และ IRR เงินลงทุนที่ใช้กับการทำมาตรการก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามาก แต่ถ้าอยากได้ผลประหยัดหรือระดับคะแนนมากๆ ตั้งแต่มาตรการแรกๆ ก็จะต้องแลกกับการใช้เงินลงทุนที่สูงตั้งแต่แรก

4.8.3 มาตรฐานอาคารเขียวของไทย TREES V. 1.1 และ BEAM Plus V. 1.2 จะใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ LEED V. 4 และ Building EQ ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานอื่นๆ สาเหตุเนื่องมาจากมาตรฐาน LEED V. 4 ได้ใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวดมากขึ้น เช่น ระบบแสงสว่างที่ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาตรฐานอื่น ในขณะที่ Building EQ มีจุดมุ่งหมายสูงสุด คือ Zero net energy

4.8.4 อาคารขนาดใหญ่ และอาคารขนาดเล็ก มีจุดคุ้มทุนแตกต่างกัน เนื่องจาก มาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอาคารทั้ง 4 ประเภท เป็นมาตรการหลักในการตัดสินจุดคุ้มทุน โดยอาคารขนาดใหญ่จะเหมาะต่อการลงทุนมาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้เหมาะกว่าอาคารขนาดเล็กเนื่องจากเงินลงทุนรายมาตรการต่อเงินลงทุนรวมของอาคารมีค่าน้อยกว่า

4.8.5 หากทำมาตรการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น จะทำให้เงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตาม Economy of scale

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง “ระดับคะแนนประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสุดสำหรับอาคารเมื่อเรียงลำดับมาตรการต่างวิธีกัน” โดยศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนีทั้ง 6 ตัว คือ ผลประหยัดจากมากไปน้อย, เงินลงทุนจากน้อยไปมาก, ระดับคะแนนจากมากไปน้อย, ระยะเวลาคืนทุนจากน้อยไปมาก, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จากมากไปน้อย และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จากมากไปน้อย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ถ้าต้องการทำถึงจุดคุ้มทุน ทุกอาคาร ทุกมาตรฐาน จะเรียงมาตรการด้วยดัชนีตัวใดก็ได้ เพราะจะได้จุดคุ้มทุนเป็นจุดเดียวกัน (แต่จำนวนในการทำมาตรการไม่เท่ากัน)

5.1.2 ถ้าไม่ต้องการทำถึงจุดคุ้มทุน ทุกอาคาร ทุกมาตรฐาน การเรียงลำดับจะมีแนวโน้มแตกต่างกัน โดย หากเรียงมาตรการตามดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ คือ เงินลงทุน กับ NPV จะคล้ายกัน ส่วนระยะเวลาคืนทุน กับ IRR ก็จะคล้ายกัน คือ เงินลงทุนที่ใช้กับการทำมาตรการก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามาก แต่ถ้าอยากได้ผลประหยัดหรือระดับคะแนนมากๆ ตั้งแต่มาตรการแรกๆ ก็จะต้องแลกกับการใช้เงินลงทุนที่สูงตั้งแต่แรก

5.1.3 หากพิจารณาจุดคุ้มทุน จากการใช้มาตรฐานอาคารเขียวที่แตกต่างกันทั้ง 4 มาตรฐาน คือ มาตรฐานอาคารเขียวของฮ่องกง (BEAM Plus 1.2) สหรัฐอเมริกา (LEED V.4) ไทย (TREES 1.1) และ ASHRAE (Building EQ) สามารถสรุปได้ว่า มาตรฐานอาคารเขียวของไทย TREES V. 1.1 และ BEAM Plus V. 1.2 จะใช้เงินลงทุนค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ LEED V. 4 และ Building EQ ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานอื่นๆ สาเหตุเนื่องมาจากมาตรฐาน LEED V. 4 ได้ใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวดมากขึ้น เช่น ระบบแสงสว่างที่ต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาตรฐานอื่น ในขณะที่ Building EQ มีจุดมุ่งหมายสูงสุด คือ Zero net energy

5.1.4 หากพิจารณาจุดคุ้มทุนของอาคารทั้ง 4 อาคาร คือ อาคารสำนักงานจำนวน 2 อาคาร ศูนย์การค้า 1 อาคาร และโรงแรม 1 อาคาร พบว่า อาคารขนาดใหญ่ และอาคารขนาดเล็ก มีจุดคุ้มทุนแตกต่างกัน เนื่องจาก มาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของอารคารทั้ง 4 ประเภท เป็นมาตรการหลักในการติดสินจุดคุ้มทุน เพราะเป็นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนสูงสุด โดยอาคารขนาดใหญ่จะเหมาะต่อการลงทุนมาตรการ P1 ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์ ได้เหมาะกว่าอาคารขนาดเล็กเนื่องจากเงินลงทุนรายมาตรการต่อเงินลงทุนรวมของอาคารมีค่าน้อยกว่า

5.1.5 หากทำมาตรการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น จะทำให้เงินลงทุนต่อแต้มต่อตารางเมตรมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตาม Economy of scale

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเรียงลำดับมาตรการด้วยดัชนี 6 ตัว โดยใช้ Building EQ ซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพียงเกณฑ์เดียวกับมาตรฐานอาคารเขียวอื่นๆ โดยในงานวิจัยต่อไป ควรใช้เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารอื่นๆ เช่น Energy Star เป็นต้น เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มระหว่างมาตรฐาน

5.2.2 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Building EQ เป็นเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยต้องอาศัยฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทย ซึ่งข้อมูลที่ใช้งานเป็นข้อมูลของปีเก่าๆ โดยไม่มีข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน เนื่องจาก พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 ได้เปลี่ยนแปลงแนวคิดของกฎหมายเป็นระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งไม่บังคับให้ต้องทำการสำรวจตรวจวัดการใช้พลังงานทุกระบบในอาคารอีก ดังนั้น ฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารจะหายไป ถ้าอยากสะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด ควรจะมีฐานข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในประเทศไทยของปีปัจจุบัน

5.2.3 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากับอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า และโรงแรม ซึ่งในงานวิจัยต่อไป ควรจะเลือกใช้อาคารประเภทอื่นๆ เป็นอาคารกรณีศึกษา เพื่อตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเรียงลำดับด้วยดัชนีที่กำหนด

5.2.4 ในงานวิจัยที่ผ่านของ การศึกษาจุดคุ้มค่าต่อการลงทุนของอาคารเขียว ได้มีการเรียงลำดับมาตรการ คือ ไม่ลงทุน แต่ได้ผลประหยัด, ไม่ลงทุน ไม่ได้ผลประหยัด, ลงทุน แต่ได้ผลประหยัด และลงทุน ไม่ได้ผลประหยัด โดยถ้าหากเรียงด้วยแนวคิดดังกล่าว จะทำให้จุดคุ้มค่าต่อการลงทุนของอาคารเขียวอยู่ที่ ระดับทอง (Gold) เป็นที่น่าสนใจว่า ถ้ามีการเรียงลำดับมาตรการของอาคารเขียว โดยใช้ดัชนีตัวอื่นๆ เช่น เงินลงทุน ผลประหยัด ระดับคะแนน ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) จะทำให้จุดคุ้มค่าต่อการลงทุน อยู่ที่จุดเดียวกันหรือไม่

รายการอ้างอิง

1. Administration, U.S.E.I., *International Energy Outlook* 2010. 2010.
2. เมืองเจนไน, ส.ณ. อินเดียเร่งอัตราการเติบโตด้วยไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์. 2558 [cited 2560 15 สิงหาคม 2560].
3. Efficiency, D.o.A.E.D.a., สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม - ตุลาคม 2560. 2560.
4. EPPO, *Energy Statistics of Thailand* 2016. 2016.
5. Laboratory, L.B., *Energy Conservation in Commercial Building*. 2528.
6. Lee, W.L. and J. Burnett, *Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED.* Building and Environment, 2008. 43(11): p. 1882-1891.
7. (HKGBC), H.K.G.B.C., *BEAM Plus New Buildings Version* 1.2 2012.
8. Council, U.S.G.B., *LEED version* 4 *for building design and construction*. 2015.
9. (TGBI), T.G.B.I., *TREES – NC Reference Guide Version* 1.1. 2555.
10. (ASHRAE), A.S.o.H.R.a.A.-C.E. *Building Energy Quotient (bEQ)*. 2015 [cited 2017 access on 28/04/2017]; Available from: URL: http://www.buildingenergyquotient.org.
11. Yiqun Pan, R.Y., Zhizhong Huang, *Energy modeling of two office buildings with data center for green building design.* Energy and Buildings 40, 2008: p. 1145–1152.
12. Sabapathy, A., et al., *Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India.* Energy and Buildings, 2010. 42(11): p. 2206-2212.
13. Zalejska-Jonsson, A., *Stated WTP and rational WTP: Willingness to pay for green apartments in Sweden.* Sustainable Cities and Society, 2014. 13: p. 46-56.
14. Nantawan Hirunyakran, L.T., *Feasibility Analysis for a Construction of a Green Building*, in *Department of Mechanical Engineering* 2012, Silpakorn Universiry. p. 173.
15. Jantakan Prakongjai, N.K., *Evaluation of Constructing a Building to Conform to Thailand's Green Building Standard*, in *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology*. 2012, Silpakorn University.
16. Surapong Chirarattananon and Juntakan Taweekun, *A technical review of energy*

conservation programs for commercial and government buildings in Thailand. Energy Conversion and Management, 2003. **Vol.** 44(5): p. pp. 743–762.

17. Pinpiti, W., *Feasibility stugy of constructing office buildings to comply with green building standards*, in *Department of Mechanical Engineering*. 2016, Silpakorn University. p. 248.
18. Voranop Yungchareon and Bundit Limmeechokchai, *Energy analysis of the commercial sector in Thailand: potential savings of selected options in commercial buildings*, in *paper presented in Sustainable Energy and Environment (SEE)*. 2004: Hua Hin, Thailand. p. 496-501.
19. ROSS MONTGOMERY, P.E.F.A.A.T.G.W., P.E. FELLOW ASHRAE, *Putting bEQ in Practice.* ASHRAE Journal, 2014: p. 62-70.
20. Setthawut Samutsopakul, A.L., *Comparison of Financially Optimum Green Building Label between LEED 2009 and LEED v.4*, in *Department of Mechanical Engineering*. 2016, Silpakorn University. p. 206.
21. Titanan Chantrasawang, M.O., *Financially Optimum Green Building Level for an Office Building*, in *Department of Mechanical Engineering*. 2016, Silpakorn University. p. 208.
22. Lee, W.L., *Benchmarking energy use of building environmental assessment schemes.* Energy and Buildings, 2012. 45: p. 326-334.
23. Chen, H., W.L. Lee, and X. Wang, *Energy assessment of office buildings in China using China building energy codes and LEED 2.2.* Energy and Buildings, 2015. 86: p. 514-524.
24. Pinpiti, T.K.a.W., *Optimum Green Building Label for Buildings in Thailand*, in *The 6th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB VI)*. 2014: Apsara Angkor Resort & Conference, Siem Reap, Kingdom of Cambodia.
25. Melo, A.P., M.J. Sorgato, and R. Lamberts, *Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation.* Energy and Buildings, 2014. 70: p. 372-383.
26. Chen, H. and W.L. Lee, *Energy assessment of office buildings in China using LEED 2.2 and BEAM Plus 1.1.* Energy and Buildings, 2013. 63: p. 129-137.

27. Schwartz, Y. and R. Raslan, *Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study.* Energy and Buildings, 2013. 62: p. 350-359.

28. Ng, S.T., Y. Chen, and J.M.W. Wong, *Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions.* Environmental Impact Assessment Review, 2013. 38: p. 131-141.

29. Gabay, H., et al., *Cost-benefit analysis of green buildings: An Israeli office buildings case study.* Energy and Buildings, 2014. 76: p. 558-564.

30. Nyuk Hien Wong, Alex Yong Kwang Tan, Puay Yok Tan, Ngian Chung Wong, *Energy simulation of vertical greenery systems.* Energy and Buildings, 2009. **Vol.** 41(12): p. pp. 1401–1408.

31. พงษ์นรินทร์ ชมชื่น, ภ.ส., การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์, in ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 2549, มหาวิทยาลัยศิลปากร. p. 161.

32. EPPO, *Energy Statistics of Thailand* 2015. 2015.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายณรงค์ พรหมศร
วัน เดือน ปี เกิด	15 สิงหาคม 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	96/4 หมู่ 3 ต. ลำเหย อ. ดอนตูม จ. นครปฐม 73150
ผลงานตีพิมพ์	2016 Student Knowledge Management Activity The Eighth International Conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being
รางวัลที่ได้รับ	2017 - Certificate of Participation of paper International Conference on Mechanical Engineering - Honorable Mention in Energy Technology and Management International Conference on Mechanical Engineering - Certificate of Participation International Conference on Mechanical Engineering - Paper was “Influential Factors on Implementation of ASHRAE Building EQ in Thailand” Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand 2017 Honorable Mention in Energy Technology and Management

มหาวิทยาลัยศิลปากร