# การปรับปรุงอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษาแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ

# Improving Energy Efficiency in Building to Net Zero Energy Building : A Case Study Standard Government Office Building

| | |
|---|---|
| รับบทความ | 17/05/2019 |
| แก้ไขบทความ | 18/06/2019 |
| ยอมรับบทความ | 19/06/2019 |

ศรัณย์ ตันรัตนาวงศ์ ธนิต จินดาวณิค
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Sarun Tanrattanawong, Thanit Chindavanig
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
Tounzx2@Gmail.com, Cthanit@chula.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานโดยรวมสุทธิให้เท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building) โดยเลือกแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงานราชการ ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ในหลากหลายเขตพื้นที่ ตัวอาคารสำนักงานราชการมีความสูง 4 ชั้น พื้นที่ทั้งหมด 7,020 ตารางเมตร แบ่งเป็น 2 อาคารคือ อาคารที่ใช้ทำการและอาคารโรงอาหารซึ่งมีชั้นบนเป็นห้องประชุม พื้นที่ส่วนปรับอากาศมีพื้นที่ 1,295 ตารางเมตร การศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC V 1.06 (Building Energy Code) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน

อ้างอิงจากมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานจากกระทรวงพลังงาน แนวทางในการปรับปรุงที่สามารถทำให้การใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารเท่ากันศูนย์ (Net zero energy building) คือ 1) ใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กก./ลบ.ม.) ขนาด 50 มิลลิเมตรที่ผนังทึบ 2) กระจกสะท้อนแสงสีเขียว ขนาด 6 มิลลิเมตร มีค่าการส่งผ่านความร้อน (SHGC) ที่ 0.41 3) หลังคาเพิ่มฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. หนา 25 มิลลิเมตร 4) ปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยเปลี่ยนเป็นหลอด LED 5) ปรับปรุงระบบปรับอากาศ 6) ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้ภายในอาคารโดยเลือกแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ 17.1%

พลังงานจากอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงมีค่าการใช้พลังงานโดยรวมต่อปี 209,091.33 kWh/year เมื่อรวมแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ค่าการใช้พลังงานโดยรวม 94,963.32 kWh/year พลังงานลดลงจากเดิม 114,128.01 kWh/year หรือคิดสัดส่วนที่ลดลง 54.37% แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานโดยรวมต่อปี 147,713.84 kWh/year เมื่อรวมแนวทางการปรับปรุงและการใช้พลังงานทดแทนจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้การใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารสุทธิเท่ากับศูนย์โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 14.39 ปี อัตราผลตอบแทนที่ 4.87%

***คำสำคัญ**: อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ การประหยัดพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน พลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์*

## Abstract

The objective of this study is to increase the energy efficiency in the standard type of government office building, which has been built in many places, by reducing the energy consumption to net zero energy consumption. The government office building has 4 floors with a total area of 7,020 square meters, divided into 2 buildings: (1) office section and (2) canteen with a meeting room at the top floor. The air-conditioned area is 1,295 square meters in total. This study was conducted through a computer program called BEC (Building Energy Code) version 1.0.6 which is developed for checking the consistency of the building model towards the standard of energy conservation in the building by Thailand Ministry of Energy.

According to the energy conservation standards from the Ministry of Energy guidelines, the Net Zero Energy Building can be archived by: (1) using 50 mm. fiberglass insulation with a density of 32 kilogram / cubic meter (kg/$m^3$) in a solid wall, (2) using 6 mm. green reflective glass with 0.41 heat transmission value (SHGC), (3) adding a 25 mm thickness glass fiber insulation with density of 32 kg/$m^3$ to the rooftop, (4) changing the lighting system to LED, (5) improvement of the air conditioning system, and (6) using solar energy panels with 17.1% efficiency as a renewable energy.

In this case study, the selected building has the total energy consumption of 209,091.33 kWh/year before the improvement, and reduced to 94,963.32 kWh/year after the improvement by improving solid and translucent wall, roofing, air-condition system and lighting system. The total energy consumption is reduced by 114,128.01 kWh/year (54.37%). The solar panels can produce a total energy of 147,713.84 kWh/year. Including improvement guidelines and use renewable energy from solar panels Making the overall energy consumption in the building to net zero energy. The payback period is 14.39 years with 4.87% rate of return.


***keywords**: Net zero energy building, Energy savings, Energy conservation, Renewable energy, Solar energy*

## บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นไปด้วยซึ่งส่งผลกระทบต่อการจัดหาพลังงานในอนาคต นอกจากนี้ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน เช่น ภาวะโลกร้อน จึงเป็นสาเหตุที่จำเป็นต้องมีการอนุรักษ์การพลังงาน ซึ่งในบริบทนี้หมายถึง การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยหนึ่งในมาตรการที่จะช่วยลดภาระด้านพลังงานคือ การใช้พลังงานทางเลือก ซึ่งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพ แสงอาทิตย์ และลม โดยจัดเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด เฉลี่ยร้อยละ 5.8 ต่อปี ในช่วงปีพ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2583 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากแหล่งเหล่านี้มีต้นทุนน้อยลงแต่ประสิทธิภาพดีขึ้น (กระทรวงพลังงาน 2558)

นอกจากนี้ได้เริ่มมีกระแสการลดการใช้พลังงานโดยทำการปรับเปลี่ยนวัสดุและอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในอาคารให้ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานในการลดการใช้พลังงานควบคู่กับการใช้พลังงานทดแทน คืออาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์ (zero-energy building) เป็นอาคารที่ผลิตพลังงานได้ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าที่อาคารใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 ปี (อรรจน์ เศรษฐบุตร 2561) ได้ผลทางตรงคือ การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละอาคารและผลทางอ้อม คือลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ลดมูลค่านำเข้าพลังงานและการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงเกิดอาคารประเภท สำนักงาน โรงงาน ห้างสรรพสินค้า และที่อยู่อาศัยขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจและอาคารเหล่านี้ มีความต้องการพลังงานเป็นจำนวนมากในการดำเนินงานภายในอาคาร

ที่มาของการทำวิจัยนี้ ได้เล็งเห็นถึงการใช้พลังงานภายในอาคารประเภทสำนักงาน ซึ่งเป็นสถานที่ที่คนส่วนใหญ่ใช้เวลาอยู่ภายในอาคารเป็นประจำและมีช่วงเวลาการใช้พลังงานค่อนข้างแน่นอน ทำให้สามารถทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานภายในอาคารได้แม่นยำมากกว่าอาคารประเภทอื่น โดยงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารมากขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยรวมผ่านการจำลองอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ BEC (Building Energy Code) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองพลังงานของกระทรวงพลังงานเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานโดยรวมต่อปีภายในอาคารลงให้มากที่สุด และนำพลังงานหมุนเวียนคือ พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนพลังงานที่ใช้ไปภายในอาคาร เพื่อให้นำไปสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ นอกจากนี้ต้องมีความสัมพันธ์กับความคุ้มค่าและระยะเวลาในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์

## วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงาน
2. วิเคราะห์ปัจจัยการใช้พลังงานและแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารให้สามารถมีพลังงานโดยรวมต่อปีเท่ากับศูนย์
3. สรุปผลและเสนอแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการเพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานอาคารสุทธิเท่ากับศูนย์ และหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาโดยการจำลองค่าการถ่ายเทความร้อนและการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ทำการศึกษาผ่านโปรแกรมจำลองสภาพอาคาร BEC V 1.06 (Building Energy Code) และนำผลที่ได้มาเสนอแนะวิธีการปรับเปลี่ยนเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สู่การใช้พลังงานสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูล

1.1 ศึกษาแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการในด้านกายภาพ อาทิเช่น พื้นที่ จำนวนชั้น ช่วงเวลาทำการ และพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

1.2 ศึกษาข้อมูลวัสดุกรอบอาคาร ประเภทผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานราชการที่ทำการศึกษาและสรุปผลค่าไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารโดยรวมต่อปี

2. การทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยรวมภายในอาคารและหาค่าการใช้พลังงานรวมต่อปีของอาคารสำนักงานราชการที่ทำการศึกษาผ่านโปรแกรม BEC V 1.06 (Building Energy Code)

2.2 ปรับเปลี่ยนกรอบอาคาร ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง ระบบแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ให้มีการใช้พลังงานโดยรวมลดลง โดยเทียบกับ ค่าการใช้พลังงานจากการทดลองอาคารสำนักงานราชการที่ได้ทำการศึกษา

2.3 เสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนวัสดุเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารและใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เพื่อชดเชยพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร หาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละแนวทาง

2.4 หาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละแนวทาง

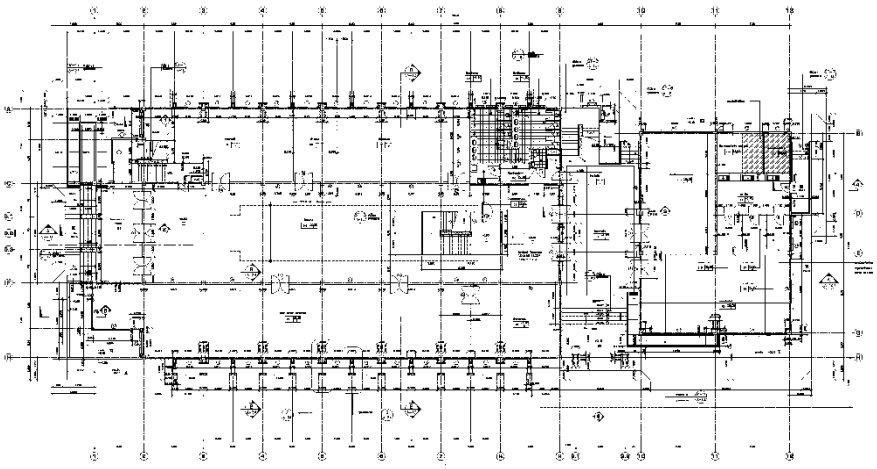
3. สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะแนวทาง

3.1 สรุปผลการปรับปรุงในแต่ละแนวทางเพื่อหาแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด

3.2 อภิปรายสรุปผล และเสนอแนวทางการออกแบบที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

**อาคารกรณีศึกษา**

อาคารที่ศึกษาที่นำมาใช้คือ แบบมาตรฐานของอาคารสำนักงานราชการที่ถูกใช้ก่อสร้างเป็นสำนักงานเขตในหลายพื้นที่ อาทิเช่น สำนักงานเขตทวีวัฒนา สำนักงานเขตทุ่งครุ สำนักงานเขตบางแค เป็นต้น รูปแบบอาคารคือ ประเภทสำนักงาน ความสูง 4 ชั้น รวมดาดฟ้า อาคารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อาคาร A เป็นส่วนสำนักงานอาคารและมีชั้นดาดฟ้า และอาคาร B ห้องรับประทานอาหารของพนักงานอยู่ชั้นหนึ่ง ชั้นสองเป็นส่วนของห้องประชุมใหญ่มีพื้นที่โดยรวมทั้งสองอาคารประมาณ 7,020 ตารางเมตร เปิดทำการวันจันทร์ ถึง วันศุกร์ ช่วงเวลาที่อาคารทำการคือ 8.30 ถึง 16.30 น. ภายในอาคารพื้นที่ส่วนปรับอากาศมีพื้นที่ 1,295 ตารางเมตร



ภาพ 1 ตัวอย่างผังอาคารจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ

## ข้อมูลวัสดุอาคารกรณีศึกษา

ในการศึกษาข้อมูลวัสดุอาคารจากแบบมาตรฐานอาคารสำนักงานราชการ สามารถแบ่งได้ดังนี้ ตาราง 1 วัสดุกรอบอาคาร ตาราง 2 ระบบแสงสว่าง และตาราง 3 ระบบปรับอากาศ

ตาราง 1 แสดงรายการวัสดุกรอบอาคารเดิมอาคารสำนักงานราชการ

| รายการวัสดุ | | พื้นที่ (ตารางเมตร) |
|---|---|---|
| ผนัง | คอนกรีตมวลเบา 10 ซ.ม. | 726.84 |
| กระจก | กระจกโฟลตใส ขนาด 6 ม.ม. | 349.07 |
| หลังคา | หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก | 850.63 |
| | หลังคาเมทัลชีท ใช้ร่วมกับฉนวน Polyurethane | 323.50 |

ตาราง 2 แสดงรายการระบบแสงสว่างและจำนวนอุปกรณ์แสงสว่างเดิมภายในอาคารสำนักงานราชการ

| **รวม 3 ชั้น** | | | |
|---|---|---|---|
| **ประเภท** | **จำนวนหลอด** | **วัตต์** | **จำนวนดวงโคม** |
| Fluorescent | 2 | 36 | 214 |
| Fluorescent | 2 | 18 | 17 |
| Fluorescent | 1 | 36 | 16 |
| Fluorescent (Daylight) | 1 | 18 | 1 |
| PL-C with Ballast | 2 | 26 | 208 |
| PL-C with Ballast | 2 | 18 | 121 |
| PL-C with Ballast | 1 | 13 | 17 |
| PL-C with Ballast | 1 | 18 | 8 |
| Incandescent | 1 | 100 | 38 |
| Incandescent | 1 | 60 | 30 |

ตาราง 3 แสดงรายการระบบปรับอากาศและจำนวนเครื่องภายในอาคารสำนักงานราชการ

| **ลำดับที่** | **ประเภทเครื่องปรับอากาศ** | **ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU/h)** | **ค่าบริโภคพลังงาน(kW)** | **จำนวนเครื่อง** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Split Type | 18000 | 1.63 | 2 |
| 2 | | 30000 | 2.72 | 4 |
| 3 | | 36000 | 3.27 | 33 |
| 4 | | 42000 | 3.818 | 4 |
| 5 | | 84000 | 7.63 | 3 |

**ผลของงานวิจัย**

จากการจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารผ่านโปรแกรม BEC V 1.06 (Building Energy Code) ของอาคารต้นแบบทำให้ทราบค่า (building consumption) ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ได้จากการจำลองมีการใช้พลังงานที่ 209,091.33 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/year) เมื่อเปรียบเทียบอาคารอ้างอิงในโปรแกรม (Net Energy Consumption Reference Building) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานอาคารที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงานทำให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่เนื่องด้วยจุดประสงค์ของการศึกษานี้ คือการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์จึงต้องหามาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานลง พลังงานจากอาคารต้นแบบสามารถแบ่งเป็นพลังงานจากระบบปรับอากาศ 108,791.86 kWh/year ระบบแสงสว่าง 85,557.15 kWh/year และจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ซึ่งได้จากการลงพื้นที่สำรวจในอาคารกรณีศึกษามีค่าพลังงานเท่ากับ 14,742.32 kWh/year ดังตาราง 4 และ 5

ตาราง 4 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี) ภายในอาคารสำนักงานราชการโดยยังไม่ได้ปรับปรุง

| building consumption | Net energy consumption<br>Reference Building |
|---|---|
| 209,091.33 kWh/year | 248,060.63 kWh/year |

ตาราง 5 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี) โดยแบ่งแต่ละระบบภายในอาคารสำนักงานราชการ

| พลังงานโดยรวมต่อปีจากระบบปรับอากาศ | พลังงานโดยรวมต่อปีจากระบบแสงสว่าง | พลังงานโดยรวมต่อปีจากอุปกรณ์ไฟฟ้า |
|---|---|---|
| 108,791.86 kWh/year | 85,557.15 kWh/year | 14,742.32 kWh/year |

และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของการถ่ายเทความร้อนรวมจาก กระทรวงพลังงานทำให้ทราบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) จากอาคารสำนักงานราชการที่ยังไม่ได้ปรังปรุงมีค่า 75.798 วัตต์ต่อตารางเมตร ($W/m^2$) ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่กระทรวงพลังงานกำหนดที่ 50 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่ในส่วนหลังคาซึ่งมีการใช้ฉนวน PU (Polyurethane) ในหลังคาเหล็กทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) เท่ากับ 11.422 $W/m^2$ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กระทรวงพลังงานกำหนดที่ 15 W/m ดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงค่ามาตรฐานค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV)และผ่านหลังคา (RTTV) โดยเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองพลังงานภายในอาคารสำนักงานราชการ

| รายละเอียด | ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2$) | เกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมอาคารสำนักงาน | สรุปผล |
|---|---|---|---|
| OTTV | 75.798 $W/m^2$ | 50 $W/m^2$ | ไม่ผ่าน |
| RTTV | 11.422 $W/m^2$ | 15 $W/m^2$ | ผ่าน |

การใช้ไฟฟ้าโดยรวมต่อปีของอาคารสำนักงานราชการที่ไม่ได้รับการปรับปรุงมีค่า 209,091.33 kWh/year และการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จึงต้องกำหนดมาตรการลดการใช้พลังงานลงเพื่อให้สามารถ ทำให้พลังงานที่ใช้โดยรวมภายในอาคารสุทธิเท่ากับศูนย์ (Net Zero Energy Building) โดยมีมาตรการดังนี้

1. ปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารผนังทึบโดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมของอาคาร
2. การปรับปรุงการส่งผ่านความร้อนผ่านกรอบอาคารผนังโปร่งแสงโดยคงขนาดและรูปแบบเดิมไว้
3. การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคาร

## ระบบกรอบอาคารและหลังคาที่ปรับปรุง

ซึ่งวัสดุที่นำมาปรับเปลี่ยนได้ผ่านการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม BEC Ver 1.0.6 ทำให้ทราบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) แบ่งได้ตามตาราง 7 วัสดุผนังทึบ ตาราง 8 วัสดุผนังโปร่งแสง และตาราง 9 วัสดุหลังคา

ตาราง 7 รายการวัสดุผนังทึบที่นำมาปรับเปลี่ยนพร้อมราคาและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV)

| ผนัง | | | |
|---|---|---|---|
| รหัส | รายการ | ราคา (บาท) ตร.ม. | OTTV ($W/m^2$) |
| A1 | ปูนฉาบ+อิฐมวลเบา+ปูนฉาบ (วัสดุอาคารต้นแบบ) | - | 75.798 |
| A2 | (วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 58.00 | 69.653 |
| A3 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. ขนาด 50 มม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 254.00 | 56.441 |
| A4 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม.ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 263.00 | 56.403 |
| A5 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม.ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 208.00 | 56.933 |
| A6 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน Polystyrene หนาแน่น 20 กก./ลบ.ม. ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 238.00 | 56.459 |
| A7 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน Polystyrene หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม.ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 268.00 | 56.439 |
| A8 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน Polystyrene หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม.ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 153.00 | 56.997 |

ตาราง 8 รายการวัสดุผนังโปร่งแสงที่นำมาปรับเปลี่ยนพร้อมราคาและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV)

| กระจก | | | | |
|---|---|---|---|---|
| รหัส | รายการ | SHGC | ราคา (บาท) | OTTV ($W/m^2$) |
| | | | ตร.ฟ. | |
| B1 | กระจกโฟลตใสขนาด 6 mm (วัสดุอาคารต้นแบบ) | 0.82 | - | 75.798 |
| B2 | กระจกโฟลตสีเขียว ความหนา 6 mm | 0.60 | 20.00 | 63.315 |
| B3 | กระจกสะท้อนแสงสีเขียว ความหนา 6 mm | 0.41 | 250.00 | 51.739 |
| B4 | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส ความหนา 6 mm | 0.48 | 205.00 | 56.506 |
| B5 | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีฟ้าใส ความหนา 6 mm | 0.46 | 435.00 | 55.371 |

ตาราง 9 รายการวัสดุหลังคานำมาปรับเปลี่ยนพร้อมราคาและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV)

| หลังคา | | | |
|---|---|---|---|
| รหัส | รายการ | ราคา (บาท) | RTTV ($W/m^2$) |
| | | ตร.ม. | |
| R0 | 1.คอนกรีต+Airgap+แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 50 มม.+Air gap 10 ซ.ม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | - | 11.442 |
| R1 | 1.คอนกรีต+Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. หนา 50มม.+ แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 50 มม.+Air gap 10 ซ. ม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 205 | 4.133 |
| R2 | 1.คอนกรีต+Air gap+ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม.หนา 25มม.+ แผ่นยิปซั่มบอร์ด , 2.แผ่นหลังคาเหล็ก+ฉนวน PU ขนาด 50 มม.+Air gap 10 ซ. ม.+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | 150 | 4.475 |

## การใช้วัสดุผนังทึบและวัสดุผนังโปร่งแสง

ในการเลือกแนวทางการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง แนวทางในการเลือกคือ 1) เลือกวัสดุที่มีราคาถูกที่สุด ผนังทึบ คือผนัง A2 เว้นช่องอากาศและเพิ่มแผ่นยิปซั่มบอร์ดมีราคาที่ 58 บาทต่อตารางเมตร และผนังโปร่งแสง คือกระจก B4 กระจกโฟลตสีใสติดฟิล์มใส ราคา 205 บาทต่อตารางฟุต ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานที่กระทรวงพลังงานกำหนด คือผนังโปร่งแสงต้องมีค่า SHGC อยู่ที่ 0.3 ถึง 0.55 2) เลือกวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนัง (OTTV) น้อยที่สุด ซึ่งในวัสดุผนังทึบมีแนวทางที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันหลายตัวจึงต้องทำการเลือกชนิดและขนาดที่ต่างกันเพื่อหาวัสดุที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนที่สุด โดยผนังทึบ A4 A5 เป็นฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เท่ากัน โดยผนัง A4 มีความหนาตัวแผ่นที่ 50 มิลลิเมตร ราคา 263 บาทต่อตารางเมตร ผนัง A5 ความหนา 25 มิลลิเมตรมีราคา 208 บาทต่อตารางเมตร และผนัง A8 ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน (Polystyrene, PS) ความหนาแน่น 24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาตัวแผ่น 25 มิลลิเมตร ราคา 153 บาทต่อตารางเมตร ถือว่าถูกที่สุดในทางเลือกการบุฉนวนและมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังมีความใกล้เคียงกับการบุฉนวนในทางเลือกอื่น ในส่วนผนังโปร่งแสงวัสดุที่มีค่า OTTV น้อยที่สุดคือ B3 กระจกสะท้อนแสงสีเขียว มีค่า OTTV เท่ากับ 51.739 $W/m^2$ ราคา 250 บาทต่อตารางฟุต เมื่อวัสดุผนังทึบใช้ร่วมกับผนังโปร่งแสง ค่า OTTV และค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี จะได้ดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงการใช้วัสดุผนังทึบร่วมกับผนังโปร่งแสง และแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (OTTV) และค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

| ผนัง + กระจก | | | | |
|---|---|---|---|---|
| รหัส | รายการ | | OTTV ($W/m^2$) | พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year) |
| | ผนังทึบ | ผนังโปร่งแสง | | |
| A2+B3 | (วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกสะท้อนแสงสีเขียว | 45.594 | 185524.77 |
| A2+B4 | (วัสดุอาคารต้นแบบ)เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม. + แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส | 50.361 | 189243.87 |
| A4+B3 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม.ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกสะท้อนแสงสีเขียว | 32.344 | 175186.11 |
| รหัส | รายการ | | OTTV ($W/m^2$) | พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year) |
| | ผนังทึบ | ผนังโปร่งแสง | | |
| A4+B4 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ขนาด 50 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส | 37.110 | 178905.21 |
| A5+B3 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ขนาด 25 มม | กระจกสะท้อนแสงสีเขียว | 32.874 | 175600.10 |
| A5+B4 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวนใยแก้วหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ขนาด 25 มม | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส | 37.641 | 179319.14 |
| A8+B3 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกสะท้อนแสงสีเขียว | 32.938 | 175649.95 |
| A8+B4 | (วัสดุอาคารต้นแบบ) เพิ่ม Airgap 10 ซ.ม.+ฉนวน PS หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. ขนาด 25 มม+แผ่นยิปซั่มบอร์ด | กระจกโฟลตใสติดฟิล์มสีใส | 37.705 | 179368.10 |

## แนวทางการเลือกใช้ระบบกรอบผนังทึบและผนังโปร่งแสงร่วมกับวัสดุหลังคา

เมื่อนำทางเลือกราคาถูกที่สุดและทางเลือกที่มีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ดีที่สุดผ่านการจำลองพลังงานร่วมกับหลังคาจะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง หลังคา และพลังงานโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี) ดังตาราง 11

ตาราง 11 แสดงรายการ ผนังทึบแสง ผนังโปร่งแสง หลังคา ราคาลงทุน ค่าพลังงานโดยรวมต่อปี และระยะคืนทุน

| รหัส | ราคา (บาท) | OTTV ($W/m^2$) | RTTV ($W/m^2$) | พลังงานโดยรวมต่อปี (kWh/year) | ค่าพลังงานที่ลดลงเทียบกับอาคารต้นแบบ(kWh/year) | ระยะคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A2+B3+R1 | 1,221,854 | 45.594 | 4.133 | 181,612.34 | 27,478.99 | 11.11 |
| A2+B3+R2 | 1,157,276 | 45.594 | 4.475 | 181,796.03 | 27,295.30 | 10.59 |
| A4+B3+R1 | 1,370,857 | 32.344 | 4.133 | 171,273.68 | 37,817.65 | 9.06 |
| A4+B3+R2 | 1,306,279 | 32.344 | 4.475 | 171,457.37 | 37,633.96 | 8.67 |

โดยแนวทางการเปลี่ยนกรอบอาคารและหลังคาที่นำมาเลือกใช้ปรับปรุงร่วมกับระบบแสงสว่างและไฟฟ้าคือ A4+B3+R2 ราคาต้นทุนที่ 1,306,279 บาท ค่าพลังงานโดยรวมต่อปีที่ 171,457.37 kWh/year ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด

## แนวทางการใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์

ตาราง 12 แสดงแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่เลือกใช้ ประสิทธิภาพแผง จำนวนแผ่นที่ใช้และพลังงานที่ผลิตได้โดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

| ผลิตภัณฑ์ | พื้นที่ (ตารางเมตร) | ประสิทธิภาพ | จำนวนแผ่น | ราคาต่อแผ่น (บาท) | ราคาเครื่อง Inverter (บาท) | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/year) | เงินลงทุน (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Astronergy | 595.44 | 17.10 | 307 | 3,500 | 602,700 | 147,713.84 | 2,012,640 |

จากตาราง 12 ในการติดตั้งได้ติดตั้งบริเวณหลังคาคอนกรีตของตัวอาคาร ซึ่งมีพื้นที่ติดตั้ง 595.44 ตารางเมตร โดยหันแผ่นไปทางทิศใต้ทำมุม 15 องศา และทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านโปรแกรม BEC เท่ากับ 147,713.84 kWh/year การติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้องมีการติดตั้งเครื่องสลับกระแส (Invertor) และต้องมีค่าดำเนินการซึ่งจะคิดที่ 20% เมื่อนำค่าพลังงานของแนวทางปรับปรุง กรอบอาคาร และหลังคาที่มีระยะคืนทุนน้อยที่สุดคือ A4 B3 R2 มาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ทราบว่า ยังไม่เพียงพอต่อการทำให้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ทำให้เกิดมาตรการเพิ่มเติมอีก 2 มาตรการคือ 1. การเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างภายในอาคาร 2. การเปลี่ยนเครื่องปรับความเย็นให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดการใช้พลังงานลง

## ระบบแสงสว่าง

มาตรการใช้การเปลี่ยนระบบแสงสว่างจะเปลี่ยนจากหลอดฟูลออเรสเซนต์ (fluorescent) ไปใช้ หลอด LED หลอด PL - C จะเปลี่ยนทั้งดวงโคมไปใช้ดาวน์ไลท์ (downlight) และหลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent) เปลี่ยนไปใช้หลอด LED Bulb ซึ่งสามารถลดค่าไฟฟ้าในระบบแสงสว่างลงได้ดังตาราง 13 และผลการใช้ไฟฟ้าโดยรวมต่อปีที่ลดลงจากหลอดเดิมดังตาราง 14

ตาราง 13 แสดงการปรับปรุงหลอดไฟเดิมไปสู่หลอดไฟใหม่

| ลำดับที่ | หลอดไฟเดิม | | | หลอดไฟใหม่ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ประเภท | Luminous Flux | วัตต์รวม | ประเภท | Luminous Flux | วัตต์รวม | ราคาปรับปรุง (บาท) |
| 1 | Fluorescent | 5,200 | 72 | LED 1 | 5,000 | 32 | 2,600 |
| 2 | Fluorescent | 2,060 | 36 | LED 2 | 2,100 | 20 | 300 |
| 3 | Fluorescent | 2,600 | 36 | LED 3 | 2,500 | 16 | 1,300 |
| 4 | Fluorescent | 1,030 | 18 | LED 4 | 1,050 | 10 | 300 |
| 5 | PL-C with Ballast | 2,400 | 36 | Downlight 1 | 2,300 | 22 | 5,600 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | PL-C with Ballast | 3,600 | 52 | Downlight 2 | 3,500 | 34 | 4,000 |
| 7 | PL-C with Ballast | 900 | 13 | Downlight 3 | 900 | 11 | 600 |
| 8 | PL-C with Ballast | 1,200 | 18 | Downlight 4 | 1,100 | 11.5 | 2,000 |
| 9 | Incandescent | 1380 | 100 | LED Bulb 1 | 1400 | 13 | 250 |
| 10 | Incandescent | 630 | 60 | LED Bulb 2 | 600 | 6.5 | 150 |

ตาราง 14 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี) ระหว่างหลอดไฟเดิมและหลอดไฟใหม่

| พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างโดยรวมต่อปี (kWh/year) | |
|---|---|
| ค่าพลังงานไฟฟ้าหลอดเดิม | ค่าพลังงานไฟฟ้าหลอดใหม่ |
| 85557.15 kWh/year | 41093.94 kWh/year |

## ระบบปรับอากาศ

การเปลี่ยนระบบปรับอากาศต้องเพิ่มค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อการลดค่าไฟฟ้าลงโดยค่าประสิทธิภาพที่ใช้ต้องอยู่ในเกณฑ์ฉลากเบอร์ 5 ที่การไฟฟ้าส่วนฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) กำหนดใหม่ของปีพ.ศ. 2562 จะได้ดังตาราง 15 ซึ่งจากตารางเครื่องปรับอากาศขนาด 84,000 ไม่มีรุ่นที่ได้ตามมาตรฐานของฉลากเบอร์ 5 จึงต้องเปลี่ยนขนาดเครื่องปรับอากาศลงและใช้รุ่นที่มีขนาด 60,700 และเพิ่มจำนวนเครื่องขึ้นแทน จากการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ได้ตามมาตรฐาน กฟผ. ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปีลดลงเมื่อเทียบกับเครื่องเดิมจะได้ดังตาราง 16

ตาราง 15 แสดงรุ่นเครื่องปรับอากาศ ชนิด ประเภทเครื่องปรับอากาศ ขนาดที่เปลี่ยน ค่าประสิทธิภาพ และราคา

| **เครื่องหมายการค้า** | **ชนิด** | **ประเภท** | **ขนาด บีทียู / ชั่วโมง** | **ค่าประสิทธิภาพ (SEER) บีทียู / ชั่วโมง / วัตต์** | **ระดับ** | **ราคา(บาท)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DAIKIN | CONCEALED/DUCT TYPE | INVERTER | 18,010 | 20.1 | 5 ★★ | 31,700 |
| DAIKIN | CONCEALED/DUCT TYPE | INVERTER | 30,900 | 19.2 | 5 ★★ | 43,800 |
| DAIKIN | CONCEALED/DUCT TYPE | INVERTER | 36,170 | 19 | 5 ★★ | 56,800 |
| DAIKIN | CONCEALED/DUCT TYPE | INVERTER | 42,000 | 16.42 | 5 | 58,100 |
| Carrier | CONCEALED/DUCT TYPE | INVERTER | 60,700 | 16.50 | 5 | 67,800 |

ตาราง 16 แสดงค่าไฟฟ้าโดยรวมต่อปี(กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี) ระหว่างเครื่องปรับอากาศเดิมและเครื่องปรับอากาศใหม่

| พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยรวมต่อปี (kWh/year) | |
|---|---|
| ก่อนปรับปรุง | หลังปรับปรุง |
| 108,791.86 kWh/year | 65,210.41 kWh/year |

เมื่อเพิ่มมาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศแล้วทำให้การใช้พลังงานโดยรวมต่อปีเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบก่อนปรับปรุงค่าไฟฟ้าลดลง 114,128.01 kWh/year ระยะคืนทุนที่ 12.77 ปี ดังตาราง 17

ตาราง 17 แสดงการปรับปรุงกรอบอาคาร ร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง แสดงค่าไฟฟ้าที่ลดลงและระยะเวลาคืนทุน

| รหัส | OTTV ($W/m^2$) | RTTV ($W/m^2$) | ราคา | พลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปี (kWh/y) | พลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่อปีที่ลดลงเทียบกับอาคารต้นแบบ (kWh/y) | ระยะคืนทุน (ปี) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A4+B3+R2+ปรับอากาศ+ระบบแสงสว่าง | 32.344 | 4.133 | 5,832,279 | 94,963.32 | 114,128.01 | 12.77 |

จากตาราง 16 เมื่อนำกรอบอาคารมารวมกับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ทำให้การใช้พลังงานโดยรวมทั้งอาคารลดลงเหลือ 94,963.32 kWh/year น้อยกว่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ 147,713.84 kWh/year

## การวิเคราะห์ความคุ้มทุน

จากการปรับปรุงลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงเพื่อหาแนวทางที่ช่วยตัดสินใจในการลงทุนจึงต้องทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Life Cycle Cost, LCC) ในรูปแบบ Present Worth (PW) โดยอ้างอิง อายุการใช้งานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอายุ 20 ปี และสร้างทางเลือก 5 แบบคือ 1) แบบไม่มีการปรับปรุง 2) ทางเลือก 1 เปลี่ยนกรอบอาคาร หลังคา ร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง 3) ทางเลือก 2 เปลี่ยนเฉพาะกรอบอาคารและหลังคา 4) ทางเลือก 3 เปลี่ยนกรอบอาคาร หลังคา ร่วมกับระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการสร้างพลังงานทดแทน 5) ทางเลือก 4 เปลี่ยนเฉพาะระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง โดยในทางเลือกที่ 1 2 และ 4 ไม่สามารถสร้างพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ แต่เป็นการปรับปรุงเพื่อให้สามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารและลดค่าไฟฟ้าโดยรวมภายในอาคารลง รายละเอียดดังตาราง 18

ตาราง 18 แสดงแนวทางการลงทุนตลอดอายุการใช้งานอาคาร และสัดส่วนผลตอบแทน

| รายละเอียด | อาคารต้นแบบ | ทางเลือก 1 | ทางเลือก 2 | ทางเลือก 3 | ทางเลือก 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| รายละเอียดทางเลือก | ไม่มีการปรับปรุง | เปลี่ยนกรอบอาคาร A4+B3+R2ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง | เปลี่ยนเฉพาะกรอบอาคาร A4+B3+R2 | เปลี่ยนกรอบอาคาร A4+B3+R2 และระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง พร้อมแผงพลังงานแผงอาทิตย์ | เปลี่ยนเฉพาะระบบปรับอากาศและแสงสว่าง |
| Total P.W. (LCC) (บาท) | 9,591,437.49 | 10,188,437.09 | 9,171,371.15 | 11,184,772.91 | 9,896,711.19 |
| สัดส่วนผลตอบแทน | - | 4.48% | 1.64% | 4.87% | 3.71% |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี) | - | 12.77 | 8.67 | 14.39 | 12.29 |

หมายเหตุ 1. ในการศึกษาคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท

2. $[A \rightarrow P]_{i=7}^{y=20}$ = 11.468

3. ราคาต้นทุนไม่รวมค่าแรงในการติดตั้งหรือดำเนินงาน

4. สัดส่วนผลตอบแทนคือ Rate of return

## สรุปผลการศึกษา

จากตาราง 18 ได้เลือกทางเลือก 3 ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมภายในอาคารเหลือ 94,963 kWh/year ซึ่งเมื่อเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 147,713.84 kWh/year ทำให้พลังงานที่ผลิตได้มีค่ามากกว่าพลังงานที่ใช้โดยรวมภายในอาคาร ซึ่งสามารถทำให้การใช้พลังงานสุทธิภายในอาคารเท่ากับศูนย์ (Net zero energy building) โดยมีสัดส่วนผลตอบแทนที่ 4.87% ซึ่งถือว่าคุ้มค่าในการลงทุนและมีระยะเวลาคืนทุนที่ 14.39 ปี

ในทางเลือก 1 2 และ 4 คือการหาความคุ้มค่าในการลงทุนที่ต้องการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร แต่ไม่ได้มีจุดประสงค์ที่ต้องการให้พลังงานโดยรวมภายในอาคารเท่ากับศูนย์ โดยทางเลือก 1 เปลี่ยนกรอบอาคาร หลังคา ร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง สัดส่วนผลตอบแทนที่ 4.48% ระยะคืนทุน 12.77 ปี ทางเลือก 2 เปลี่ยนเฉพาะกรอบอาคารและหลังคา สัดส่วนผลตอบแทนที่ 1.64% ระยะคืนทุน 8.67 ปี และทางเลือก 4 เปลี่ยนเฉพาะระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง สัดส่วนผลตอบแทนที่ 3.71% ระยะคืนทุน 12.29 ปี

## บรรณานุกรม


“กฎกระทรวง กำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” ***ราชกิจจานุเบกษา***. เล่ม 126 ตอนพิเศษ 23 ก หน้า 50 (2552, 8 เมษายน).

กระทรวงพลังงาน. ***“แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579.”*** สืบค้น 20 เมษายน 2562. http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf.

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. “อาคารใช้พลังงานเป็นศูนย์.” ***Journal of Architectural Research and Studies*** (2559*):* 13.

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์และโสภิตสุดา ทองโสภิต. “การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.” ***วารสารวิจัยพลังงาน*** 12, 2 (2558): 59-74.

“ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตราฐานความเข้มของแสงสว่าง.” ***ราชกิจจานุเบกษา.*** เล่ม 135 ตอนพิเศษ 39 ง หน้า 15. (2561, 21 กุมภาพันธ์).

“ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552.” ***ราชกิจจานุเบกษา***. ตอนพิเศษ 122 ง หน้า 21. (2552, 28 สิงหาคม).

ปารวี ตั้งจิตวิทยา. ***“การออกแบบกรอบอาคารบ้านเดี่ยว เพื่อนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์.”*** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2556.

สัทธา ปัญญาแก้วและชนิกานต์ ยิ้มประยูร. **คู่มือการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับอาคารในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558.

สุรเชษฐ์ ณ เชียงใหม่. ***การพัฒนาอาคารสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย***. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. ***อาคารเขียว.*** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มติชนปากเกร็ด, 2561.