

แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน*

Renovation strategies to improve energy saving for provincial health office

โสพิศ ชัยชนะ (Sopit Chaichana)**

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามเกณฑ์ที่กำหนด จากเดิมที่วัสดุกรอบอาคารมีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ คือมีค่า OTTV เท่ากับ 68.69 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 50 W/m^2 และมีค่า RTTV เท่ากับ 27.64 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 15 W/m^2 มีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ โปรแกรม Building Energy Code software version 1.0.6 (BEC v.1.0.6) สำหรับจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร เกณฑ์ในการเลือกแนวทางปรับปรุงคือ 1) สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่กรอบอาคาร 2) ไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง และ 3) ไม่เปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์ภายนอกของอาคาร แนวทางปรับปรุงที่เลือก ได้แก่ การติดตั้งฉนวนหรือการเว้นช่องอากาศและปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูปที่ผนังทับ การเปลี่ยนชนิดกระจกหน้าต่าง การติดฟิล์มที่กระจกใสเดิม การติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน และการทาสีสะท้อนความร้อนที่หลังคาตลาดฟ้า ประเมินความเหมาะสมของแนวทาง โดยพิจารณาจากปริมาณไฟฟ้าต่อปีที่ลดลง (kWh/Year) และใช้วิธีการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนด้วยการคำนวณแบบระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

ผลวิจัยพบว่า

1. แนวทางปรับปรุงผนังอาคารให้ผ่านค่า OTTV ใช้เงินลงทุนน้อยและคืนทุนเร็วที่สุด คือการปรับปรุงเฉพาะผนังทับ โดยติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนแบบขยายตัว (EPS) หนา 35 มม. ชนิดแผ่นสำเร็จรูปพร้อมแผ่นยิปซัม หนา 9 มม. มีค่า OTTV เท่ากับ 48.05 W/m^2 สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 8.16 ระยะคืนทุน 5.43 ปี ในกรณีที่ปรับปรุงทั้งผนังทับและผนังโปร่งแสง ทำได้โดยเว้นช่องอากาศ กว้าง 9 ซม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมบุพอยล์ หนา 12 มม. ที่ผนังทับ และเปลี่ยนกระจกโพลีใส 6 มม. เป็นกระจกโพลีใสเขียวเข้ม 6 มม. (SHGC 0.55) มีค่า OTTV เท่ากับ 41.11 W/m^2 สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 10.87 ระยะคืนทุน 4.93 ปี

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทฉบับที่ 1 เรื่องแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ทิพย์ พุดพิพโรจน์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญามัทธอนทวี เป็นที่ปรึกษาร่วม

This article is titled "Renovation strategies to improve energy saving for provincial health office" and published to fulfill the requirement for Master of Architecture Program in Architecture. Major advisor: Assoc.Prof.Pantuda Puthipiroj, Ph.D. and Co-advisor: Asst.Prof.Prechaya Mahattanatawe, Ph.D.

** นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail: chaichana.sp@gmail.com

Student of Master of Architecture Program in Architecture, Graduate School, Silpakorn University

2. การปรับปรุงหลังคาอาคารเพื่อให้ผ่านค่า RTTV ใช้เงินลงทุนน้อยและคืนทุนเร็วที่สุด คือการปูฉนวนใยแก้วแบบม้วนหนา 75 มม. หุ้มด้วยอลูมิเนียมพอยล์ เหนือฝ้าเพดานชั้น 3 มีค่า RTTV เท่ากับ 5.18 W/m^2 ลดปริมาณไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 6.26 ระยะคืนทุน 1.19 ปี

คำสำคัญ: ปรับปรุงอาคาร / สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด / กรอบอาคาร / ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

Abstract

This research aimed to find out ways to improve the efficiency of the building envelope of the provincial health office for reducing building energy consumption, and has standardized the heat transfer of building envelope value. The building has an OTTV of 68.69 W/m^2 higher than the OTTV code which was set at not more than 50 W/m^2 , and has a RTTV of 27.64 W/m^2 higher than the RTTV code which was set at not more than 15 W/m^2 , due to the low thermal resistance of building envelope materials. Whole building energy consumption was simulated by Building Energy Code software version 1.0.6 (BEC v.1.0.6). The improvement strategy was chosen according to three criteria: 1) can reduce the amount of heat transfer through the building envelope, 2) does not affect the strength of the structure, and 3) does not change the façade of the building, The selection strategies were the installation of wall insulation or having an air gap, covered with a precast lightweight partition board, replacement of a new type of window glass pane, application of a window insulation film to a glass window, installation of ceiling insulation, and a roof coated with reflective coating. The effectiveness of strategies was assessed by considering the reduced unit of building energy consumption per year (kWh/year). The value of investments was assessed by the payback period of calculation method.

The results showed that

1. a strategy to improve the building of walls to comply with the OTTV code which has the lowest cost and shortest payback period and improve the opaque wall component is the installation of 35-mm thick instant EPS insulation with 9-mm regular gypsum boards, this would have an OTTV equal to 48.05 W/m^2 , which can reduce energy consumption by 8.16 percent, and give a 5.43-year period for return on investment. Improving both the opaque wall and fenestration components requires the installation of a 12-mm thick foil back gypsum board with a 9-cm wide air gap at the opaque walls, and replacing window glass panes with 6-mm dark green float glass panes (SHGC 0.55); this would have the OTTV equal to 41.11 W/m^2 , which can reduce energy consumption by 10.87 percent and give a 4.93-year period for return on investment.

2. a strategy to improve building roofs to comply with the RTTV code which has the lowest cost and shortest payback period is the installation of 75-mm thick fiberglass insulation wrapped with aluminum foil above the ceiling panels of the third floor room; this would have an RTTV equal to 5.18 W/m^2 , which can reduce energy consumption by 6.26 percent and give a 1.19-year period for return on investment.

Keywords: Renovation / Provincial health office / Building envelope / Energy saving

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการของประชาชน ภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม แต่ประเทศไทยมิได้มีแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์ภายในประเทศมากพอกับความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปัจจุบันมีมูลค่ากว่า 5 แสนล้านบาท (กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556: 2) แนวทางสำคัญที่จะช่วยลดอัตราการเพิ่มความต้องการใช้พลังงานของประเทศ คือการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดในทุกภาคส่วน คณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2555 จึงได้มีมติให้หน่วยงานของภาครัฐ ดำเนินมาตรการลดการใช้พลังงานลงให้ได้น้อยร้อยละ 10 เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคเอกชน และภาคประชาชน ในการช่วยลดรายจ่ายค่าพลังงานของประเทศ (กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556: 3)

เมื่อพิจารณาลักษณะของอาคารสำนักงานของภาครัฐ ที่ปฏิบัติงานอยู่ทั้งส่วนกลางและภูมิภาคพบว่า ส่วนใหญ่มีการพยายามออกแบบให้ประหยัดพลังงานตั้งแต่เริ่มแรกจะเห็นได้จากการออกแบบให้มีช่องเปิดจำนวนมากเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ หรือออกแบบพื้นที่เปิดโล่งเพื่อให้ลมพัดผ่าน โดยเฉพาะอาคารสำนักงานของภาครัฐที่มีการออกแบบและก่อสร้างในระยะ 10 - 15 ปีที่ผ่านมา แต่เมื่อพิจารณาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า กลับพบว่าปัญหาของอาคารเหล่านี้อยู่ที่การเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ เนื่องจากถูกกำหนดด้วยกรอบงบประมาณ และเวลาที่ใช้ดำเนินการในแต่ละขั้นตอน จึงเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีราคาถูกและก่อสร้างได้ง่ายในสมัยนั้น (กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, ม.ป.ป.) ประกอบกับบางอาคารไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ต้น

ปัจจัยที่ทำให้กรอบอาคาร ได้แก่ ผนัง และหลังคาอาคาร มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากวัสดุกรอบอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง จะนำความร้อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ ก่อให้เกิดภาระทำความเย็นปริมาณมาก (กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ส่งผลให้ต้องมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่สูง สำหรับอาคารสำนักงาน ได้ถูกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบกรอบอาคารไว้ โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบกรอบอาคารประเภทสำนักงาน ที่กำหนดในกฎกระทรวงฯ

เกณฑ์มาตรฐาน	ค่าที่กำหนด
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV)	$\leq 50 \text{ W/m}^2$
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)	$\leq 15 \text{ W/m}^2$

เมื่อพิจารณาลักษณะของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด แบบมาตรฐาน เลขที่แบบ 8491 มีลักษณะและปัญหาตามที่กล่าวข้างต้น คือวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่ากรอบอาคารของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด เชียงรายมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) เท่ากับ 68.69 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 50 W/m^2 และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) เท่ากับ 27.64 W/m^2 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 15 W/m^2 จึงมีการศึกษาและประเมินแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมทั้งด้านการประหยัดพลังงานและความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยมีอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงายเป็นอาคารกรณีศึกษา

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีปรับปรุงกรอบอาคารของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และเพื่อให้กรอบอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมตามเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552
2. เพื่อประเมินและสรุปผลแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ที่ประหยัดพลังงานและความเหมาะสมด้านการลงทุน

วิธีการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงรายได้แก่ ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ลักษณะทางกายภาพของอาคารจากแบบก่อสร้าง ลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ข้อมูลของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า สำหรับป้อนลงในโปรแกรม BEC v.1.0.6
2. เก็บรวบรวมข้อมูลด้านคุณสมบัติของวัสดุ ราคาวัสดุ และราคาค่าแรง ที่ใช้สำหรับการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน ได้แก่ ฉนวนกันความร้อน แผ่นผนังเบา กระฉกประหยัดพลังงาน ฟิล์มลดความร้อน และ สีทาสะท้อนความร้อน โดยค้นหาจากเว็บไซต์และสอบถามข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย
3. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการคำนวณค่าก่อสร้าง โดยค้นหาข้อมูลจากเอกสารเผยแพร่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่
 - บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2556 โดย กรมบัญชีกลาง

- หลักเกณฑ์และตารางคำนวณค่าวัสดุรวมต่อหน่วยในงานก่อสร้างอาคาร ตามมติ ครม.วันที่ 13 มีนาคม 2555 โดย สำนักมาตรฐานการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ กรมบัญชีกลาง

- ราคาวัสดุก่อสร้าง ปี 2558 : ภาคเหนือ : จังหวัดเชียงราย โดย สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์

4. เก็บรวบรวมข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้า จากอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ที่อัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (Time Of Use rate : TOU)

5. ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารเทียบกับเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ ด้วย โปรแกรม BEC v.1.0.6

6. กำหนดแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร ได้แก่ การปรับปรุงผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา เพื่อประหยัดพลังงาน

7. ประเมินผลแนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทาง โดยวิเคราะห์ในเชิงผลการประหยัดพลังงาน ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 และคำนวณค่าความทุน โดยใช้วิธีการคำนวณแบบระยะเวลาคืนทุน

8. สรุปผล แนวทางการปรับปรุงที่สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารให้ผ่าน เกณฑ์ และมีความเหมาะสมด้านการลงทุน

ผลการวิจัย

อาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย มีลักษณะเป็นอาคารสูง 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวม 2,293.51 ตร.ม. แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 1,424.66 ตร.ม. คิดเป็นร้อยละ 62.12 ของพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด อาคารมีโครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก มีลักษณะภายนอกดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

(ก) ภายนอกอาคารด้านทิศตะวันตก

(ข) ภายนอกอาคารด้านทิศตะวันออก



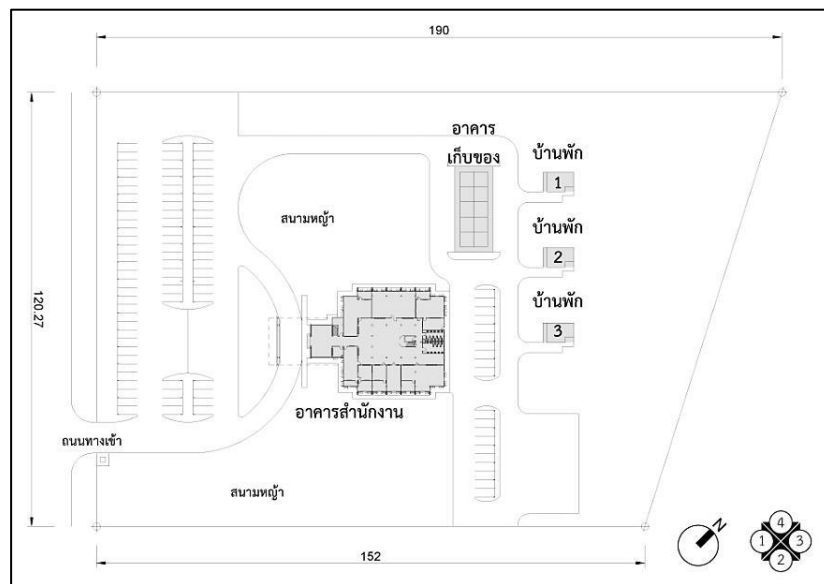
(ค)



(ง)

ภาพที่ 2 สภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

(ค) ภายนอกอาคารด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ง) ภายนอกอาคารด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



รูปที่ 1 แสดงผังบริเวณของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย

วัสดุกรอบอาคารบริเวณพื้นที่ปรับอากาศของอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย ได้แก่ ผนังทึบ คือ อิฐมวลเบาเรียบ หนา 10 ซม. ภายนอกทาสีเขียวอ่อน ผนังโปร่งแสง คือ หน้าต่างกระจกโพลีไคเอติก หนา 6 มม. และหลังคา คือ คอนกรีตหนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องว่างอากาศกว้าง 45 ซม. และฝ้าเพดาน แผ่นยิปซัมหนา 9 มม. มีรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุ ดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารส่วนผนังทึบ

วัสดุผนังทึบ	Thickness (m.)	K-Value (W/m K)	Density (Kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg K)
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
อิฐมวลเบา	0.07	0.498	1615	0.79
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสง

วัสดุผนังโปร่งแสง	Thickness (m.)	U-Value (W/m ² K)	SHGC	VT
กระจกโพลีไค	0.006	5.74	0.83	88

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารส่วนหลังคา

วัสดุหลังคา	Thickness (m.)	K-Value (W/m K)	Density (Kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg K)
คอนกรีต	0.15	1.442	2400	0.92
ฝ้าเพดานแผ่นยิปซัม	0.009	0.306	725	1.09
ช่องอากาศ	0.45	พื้นผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง R-Value = 0.154 m ² C/W		

เมื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ด้วยโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่า ส่วนของผนังอาคารมีค่า OTTV เท่ากับ 68.69 W/m² และหลังคามีค่า RTTV เท่ากับ 27.34 W/m² ดังรายละเอียดในตารางที่ 5 โดยมีค่าสูงกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ที่กำหนดให้มีค่า OTTV และ RTTV ไม่เกิน 50 และ 15 W/m² ตามลำดับ

ตารางที่ 5 รายละเอียดการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร

ผนังภายนอก	U-Value (W/m ² °C)		WWR	SC	SHGC	TD _{eq} (°C)	OTTV (W/m ²)
	ผนังทึบ	กระจก					
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (45°)	2.882	5.74	25.30	0.46	0.83	14.073	61.29
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (315°)	2.882	5.74	35.17	0.54	0.83	15.175	71.48
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (225°)	2.882	5.74	41.02	0.52	0.83	13.721	74.04
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (135°)	2.882	5.74	37.77	0.49	0.83	12.266	67.34
ค่า OTTV (W/m ²)							68.69
หลังคา	U-Value		1 - WWR		TD _{eq}		RTTV
หลังคาแดดฟ้าคอนกรีต	1.238		1		22.329		27.64
ค่า RTTV (W/m ²)							27.64

หมายเหตุ : อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด (WWR) พิจารณาเฉพาะส่วนที่ติดกับพื้นที่รับอากาศ

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม BECv.1.0.6การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารมีค่าเท่ากับ 167,451.10 kWh/Year โดยแบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 91,506.86 kWh/Year คิดเป็นร้อยละ

54.65 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ 53,246.28 kWh/Year คิดเป็นร้อยละ 31.80 และระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า เท่ากับ 22,698 kWh/Year คิดเป็นร้อยละ 13.55

การหาแนวทางการปรับปรุง จึงมุ่งเน้นไปที่การทำให้กรอบอาคารบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ มีค่าการต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ แต่วิธีการปรับปรุงกรอบอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว มีความแตกต่างกับการออกแบบอาคารที่สร้างใหม่ เนื่องจากต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุง โดยงานวิจัยนี้มีเกณฑ์การเลือกแนวทางปรับปรุงดังตารางที่ 6 คือ โดยวิธีที่เลือกต้องผ่าน (✓) ทั้ง 3 เกณฑ์ คือ

เกณฑ์ A สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้

เกณฑ์ B ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร

เกณฑ์ C ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายนอกของอาคาร

ตารางที่ 6 เกณฑ์และผลการเลือกวิธีปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มค่าการต้านทานความร้อนให้กรอบอาคาร

วิธีการปรับปรุง	เกณฑ์การเลือกวิธีปรับปรุง			ผลการเลือก
	A	B	C	
ปรับปรุงผนังทึบภายนอก				
- เปลี่ยนชนิดของผนัง	✓	✗	✓	ไม่เลือก
- ติดตั้งฉนวน	✓	✓	✓	เลือก (1)
ปรับปรุงผนังโปร่งแสงภายนอก				
- เปลี่ยนชนิดของกระจก	✓	✓	✓	เลือก (2)
- ติดตั้งฟิล์มลดความร้อน	✓	✓	✓	เลือก (3)
ปรับปรุงหลังคาแดดฟ้า				
- ติดตั้งหลังคาคลุมแดดฟ้า	✓	✗	✗	ไม่เลือก
- ทาสีสะท้อนความร้อน	✓	✓	✓	เลือก (4)
- ติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน	✓	✓	✓	เลือก (5)
ติดตั้งแผงบังแดดภายนอกอาคาร	✓	✓	✗	ไม่เลือก

ได้แนวทางปรับปรุงทั้งหมด 5 แนวทาง โดยมีลักษณะและขอบเขตการปรับปรุง ดังนี้

(1) การติดตั้งฉนวนที่ผนังทึบ เป็นวิธีการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับผนัง (เพิ่มค่า R ให้สูงขึ้น) โดยการติดตั้งหรือฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านนอกอาคาร หรือใช้ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ (Air-Gap) อยู่ระหว่างชั้นของผนังเป็นอากาศหรือฉนวนเพื่อกันความร้อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548: 9) งานวิจัยนี้เลือกใช้ฉนวนที่สามารถใส่ในโครงคร่าวได้สะดวก และปลอดภัยต่อผู้ใช้ อาคาร คือ ฉนวนใยแก้วแบบแผ่นชนิดหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ฉนวนโพลีสไตรีนแบบขยายตัวชนิดแผ่นสำเร็จรูป การเว้นช่องอากาศ และปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป

(2) การเปลี่ยนชนิดกระจก เลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ต่ำ และมีค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแสงต่อความร้อน (LSG) สูง งานวิจัยนี้เลือกเฉพาะกระจกแผ่นเดียวหนา 6 มม. สำหรับเปลี่ยนใสในวงกบหน้าต่างเดิม

(3) การติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกใสเดิม งานวิจัยนี้เลือกเฉพาะฟิล์มสีใสและสีอ่อน

(4) การทาสีสะท้อนความร้อนที่หลังคาคอนกรีต ให้สีภายนอกของหลังคาเป็นสีอ่อนหรือสีขาวจะช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งมีผลต่อภาระของระบบปรับอากาศได้ เนื่องจากสีอ่อนหรือสีขาวมีค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังที่เข้าสู่ตัวอาคารต่ำ (Ho, 1997: 88) งานวิจัยนี้เลือกใช้สีสะท้อนความร้อนเซรามิก

(5) การติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน เป็นวิธีการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับหลังคา (เพิ่มค่า R ให้สูงขึ้น) เช่นเดียวกับที่ผนังทึบ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ฉนวนใยแก้วแบบม้วนชนิดหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบ โดยการติดตั้งฉนวน การเว้นช่องอากาศ และปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป ในบริเวณห้องที่มีการปรับอากาศ ซึ่งมีพื้นที่ปรับปรุง 606 ตร.ม. กำหนดเป็นวิธีปรับปรุง ได้ 7 วิธี (W01-W07) ดังตารางที่ 7 ซึ่งประกอบด้วยวัสดุปรับปรุง คือ

- ฉนวนใยแก้วแบบแผ่นชนิดหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ความหนาแน่น 24 กก/ลบ.ม. หนา 65 มม. และชนิดความหนาแน่น 32 กก/ลบ.ม. หนา 50 มม. เมื่อติดตั้งที่ผนังทึบและปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมหนา 12 มม. จะมีค่า R ของผนังหลังปรับปรุง เท่ากับ 2.24 และ 1.90 m^2C/W ตามลำดับ

- ฉนวนโพลีสไตรีนแบบขยายตัว (ฉนวน EPS) ความหนาแน่น 25 กก/ลบ.ม. ชนิดแผ่นสำเร็จรูปติดกับแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. เมื่อฉนวนมีความหนา 35 และ 50 มม. เมื่อติดตั้งที่ผนังทึบ จะมีค่า R ของผนังหลังปรับปรุง เท่ากับ 1.83 และ 2.40 m^2C/W ตามลำดับ

- ใช้การต้านทานความร้อนของอากาศ โดยเว้นช่องอากาศที่ผนัง กว้าง 9 ซม. ตามขนาดความกว้างของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี แล้วปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป ได้แก่ แผ่นยิปซัมหนา 12 มม. แผ่นยิปซัมชนิดบุด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ หนา 12 มม. และแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 8 มม. มีค่า R ของผนังหลังปรับปรุง เท่ากับ 0.54, 0.99 และ 0.57 m^2C/W ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลที่ได้ของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ

วิธี	ฉนวน	แผ่นผนังสำเร็จรูป	ราคา (บาท/ตร.ม.)	OTTV (W/m^2)	ปริมาณ การใช้ไฟฟ้า	ระยะคืนทุน (ปี)
W01	ฉนวนใยแก้ว หนา 65 มม.	แผ่นยิปซัม	560	47.10	ลดลง 8.53%	5.56
W02	ฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม.	แผ่นยิปซัม	632	47.80	ลดลง 8.26%	6.49
W03	ฉนวน EPS หนา 35 มม.	แผ่นยิปซัม	522.75	48.05	ลดลง 8.16%	5.43
W04	ฉนวน EPS หนา 50 มม.	แผ่นยิปซัม	593.75	46.89	ลดลง 8.61%	5.84
W05	ช่องอากาศ กว้าง 9 มม.	แผ่นยิปซัม	300	59.43	ลดลง 3.72%	6.84
W06	ช่องอากาศ กว้าง 9 มม.	แผ่นยิปซัมบุฟอยล์	378.25	52.25	ลดลง 6.52%	4.92
W07	ช่องอากาศ กว้าง 9 มม.	แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	325	58.70	ลดลง 4.00%	6.88

จะเห็นได้ว่า วิธีปรับปรุงผนังทึบโดยติดตั้งฉนวนใยแก้วความหนา 65 มม. (วิธี W01) มีค่า R สูงกว่า ฉนวนใยแก้วที่ความหนา 50 มม. (วิธี W02) และมีราคาถูกกว่า ส่งผลให้มีระยะคืนทุนที่เร็วกว่า เมื่อพิจารณาที่ค่า OTTV พบว่า วิธีปรับปรุงที่สามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่ 68.94 W/m^2 ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 50 W/m^2 ได้ มีทั้งหมด 4 วิธี โดยเป็นวิธีที่ใช้ฉนวนในการเป็นค่าการต้านทานความร้อนที่ผนังทั้งหมด (วิธี W01-W04) สำหรับ วิธีการเว้นช่องว่างอากาศแล้วปิดทับด้วยแผ่นผนังสำเร็จรูป (วิธี W07- W09) แม้ว่าวิธีการเว้นช่องอากาศกว้าง 9 มม. และปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมบุฟอยล์ (W06) จะมีระยะคืนทุนเร็วที่สุดในบรรดาวิธีปรับปรุงผนังทึบทั้งหมด แต่ก็ไม่สามารถทำให้ค่า OTTV ของผนังผ่านเกณฑ์ได้

การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสง โดยการเปลี่ยนชนิดกระจกหน้าต่าง มีพื้นที่ปรับปรุง 335 ตร.ม. (3,607 ตร.ฟ.) กำหนดเป็นวิธีปรับปรุง ได้ 3 วิธี (G01-G03) และการติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจก เดิม กำหนดเป็นวิธีปรับปรุง ได้ 3 วิธี (F01-F03) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลที่ได้ของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

วิธี	กระจก	U	SHGC	ราคา (บาท/ตร.ฟ.)	OTTV (W/m^2)	ปริมาณ การใช้ไฟฟ้า	ระยะคืนทุน (ปี)
G01	กระจกโพลต สีเขียว	6.23	0.58	33	59.74	ลดลง 3.59%	5.16
G02	กระจกโพลต สีเขียวเข้ม	5.80	0.55	39	57.80	ลดลง 4.35%	4.95
G03	กระจก Low-E สีเขียว	4.09	0.41	120	49.23	ลดลง 7.70%	8.11
F01	กระจกใสติดฟิล์มไร้สี	5.62	0.48	170	54.70	ลดลง 5.56%	15.42
F02	กระจกใสติดฟิล์มสีฟ้าใส	5.62	0.46	150	53.91	ลดลง 5.87%	12.89
F03	กระจกใสติดฟิล์มสีเทาอ่อน	5.62	0.50	100	55.50	ลดลง 5.25%	9.61

หมายเหตุ: ค่า U และ SHGC ของวิธี F01-F03 เป็นค่าเมื่อติดตั้งฟิล์มลงบนกระจกโพลตใส หนา 6 มม.

จะเห็นได้ว่า วิธีการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกเดิม เป็นกระจก Low-E สีเขียว (SHGC 0.41) จะมีราคาสูงกว่า และคืนทุนช้ากว่าการเปลี่ยนเป็นกระจกโพลตสีเขียวและสีเขียวเข้ม (วิธี G01 และ G02) แต่เมื่อพิจารณาค่า OTTV พบว่าการเปลี่ยนกระจกเดิมเป็นกระจก Low-E สีเขียว เป็นวิธีเดียวที่สามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่ 68.94 W/m^2 ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 50 W/m^2 ได้ นอกจากนี้วิธีการติดฟิล์มลดความร้อนที่เลือก แม้จะสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้มากกว่าการเปลี่ยนเป็นกระจกโพลต แต่ก็มีระยะคืนทุนที่นานกว่ามาก และ ก็ไม่สามารถลดค่า OTTV ให้ผ่านเกณฑ์ได้ สำหรับวิธีปรับปรุงที่มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด คือการเปลี่ยนเป็นกระจก โพลตสีเขียวเข้ม (G02) มีระยะคืนทุนที่ 4.95 ปี แต่การปรับปรุงวิธีดังกล่าววิธีเดียว ไม่สามารถให้อาคารมีค่า OTTV ของกรอบอาคารที่ผ่านเกณฑ์ได้ จึงมีการศึกษาวิธีปรับปรุงโดยการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโพลต ร่วมกับการปรับปรุงผนังทึบโดยการเว้นช่องอากาศ ได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลที่ได้ของแนวทางการปรับปรุงผนังโดยการเว้นช่องอากาศที่ผนังทึบและเปลี่ยนชนิดกระจก

ที่	ผนังทึบ	กระจก	OTTV (W/m ²)	ปริมาณ พลังงานไฟฟ้า	ค่าปรับปรุง (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)
1	W07	G01	50.23	ลดลง 7.31%	399,890.37	6.01
2	W07	G02	48.28	ลดลง 8.07%	427,431.98	5.82
3	W08	G01	43.06	ลดลง 10.11%	460,236.43	5.00
4	W08	G02	41.11	ลดลง 10.87%	487,778.04	4.93
5	W09	G01	49.50	ลดลง 7.59%	419,170.26	6.07
6	W09	G02	47.55	ลดลง 8.36%	446,711.87	5.88

พบว่าวิธีปรับปรุงโดยการเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. ที่ผนังทึบ แล้วปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม ชนิดบุ อลูมิเนียมพอยล์ หนา 12 มม. (W08) และเปลี่ยนเป็นกระจกโพลีคาร์บอเนต 6 มม. SHGC 0.55 (G02) มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และสามารถทำให้ผนังอาคารมีค่า OTTV เท่ากับ 41.11 W/m² ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดได้

การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคา โดยวิธีการติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดานชั้น 3 และทาสีสะท้อนความร้อนที่หลังคาคอนกรีต ซึ่งมีพื้นที่ 668 ตร.ม. กำหนดเป็นวิธีปรับปรุง ได้ 5 วิธี (R01-R05) ดังตารางที่ 9 ซึ่งประกอบด้วยวัสดุปรับปรุง คือ

- ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 75 และ 150 มม. หุ้มด้วยอลูมิเนียมพอยล์ ปูเหนือฝ้าเพดานชั้น 3 มีค่า R ของหลังคาหลังปรับปรุง เท่ากับ 1.98 และ 3.97 m²C/W ตามลำดับ
- สีสสะท้อนความร้อนสำหรับทาที่หลังคาคอนกรีต มีค่าการสะท้อนความร้อน ร้อยละ 95

ตารางที่ 10 ผลที่ได้ของแนวทางการปรับปรุงหลังคา

วิธี	ฉนวน	หลังคาคอนกรีต	ราคา (บาท/ตร.ม.)	RTTV (W/m ²)	ปริมาณ การใช้ไฟฟ้า	ระยะคืนทุน (ปี)
R01	ไม่ติดตั้งฉนวน	ทาสีสะท้อนความร้อน	141.5	12.68	ลดลง 4.17%	3.17
R02	ฉนวนใยแก้ว หนา 75 มม.	ไม่ทาสี	80	5.18	ลดลง 6.26%	1.19
R03	ฉนวนใยแก้ว หนา 150 มม.	ไม่ทาสี	113	3.53	ลดลง 6.73%	1.57
R04	ฉนวนใยแก้ว หนา 75 มม.	ทาสีสะท้อนความร้อน	221.5	2.37	ลดลง 7.05%	2.94
R05	ฉนวนใยแก้ว หนา 150 มม.	ทาสีสะท้อนความร้อน	254.5	1.62	ลดลง 7.26%	3.28

หมายเหตุ: ในโปรแกรม BEC v.1.0.6 ให้ Outer Surface Color ของหลังคาคอนกรีตไม่ทาสีเป็น Surface of slightly dark color และหลังคาคอนกรีตทาสีเป็น Reflective and white surface

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าทุกวิธี (R01, R02, R03, R04 และ R05) สามารถลดค่า RTTV จากเดิมที่ 27.64 W/m² ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 15 W/m² ได้ โดยวิธีติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 150 มม. เหนือฝ้าเพดานชั้น 3 (วิธี R03) สามารถเพิ่มค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า R ได้มากกว่าการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 75 มม. (วิธี R02) และมีระยะคืนทุนที่เร็วกว่า เมื่อทาสีสะท้อนความร้อนที่พื้นหลังคาคอนกรีต (วิธี R1) แม้จะไม่สามารถ

เพิ่มค่า R ให้สูงขึ้น แต่ก็เป็น การลดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ช่วยให้เกิดการสะท้อนความร้อน วิธีนี้สามารถลดค่า RTTV ลงให้เหลือ 12.68 W/m^2 และหากปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดานและทาสีสะท้อนความร้อน จะสามารถลดค่า RTTV ให้ต่ำลงอีก

สรุปผลการวิจัย

1) แนวทางปรับปรุงให้กรอบอาคารมีค่า OTTV และ RTTV ที่ผ่านเกณฑ์

แนวทางปรับปรุงผนังอาคารที่สามารถลดค่า OTTV จากเดิมที่เท่ากับ 68.69 W/m^2 ให้ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 50 W/m^2 โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) และสีภายนอกของอาคาร ได้แก่

- การปรับปรุงเฉพาะผนังทึบ จากเดิม คือผนังอิฐมวลเบาเรียบ หนา 10 ซม. ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 50 หรือ 65 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ และปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมชนิดธรรมดา หรือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หรือการติดตั้งฉนวนโพรสไตรนแบบขยายตัว (EPS) หนา 35 หรือ 50 มม. ชนิดแผ่นสำเร็จรูปพร้อมแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. วิธีนี้สามารถลดค่า OTTV ให้เหลือเฉลี่ย 47.42 W/m^2

- ปรับปรุงเฉพาะผนังโปร่งแสง จากเดิม คือกระจกโพลีใส หนา 6 มม. ปรับปรุงโดยเปลี่ยนชนิดกระจกเป็น Low-E สีเขียว (SHGC 0.41) สามารถลดค่า OTTV ให้เหลือ 49.23 W/m^2

- ปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสง นอกจากวิธีที่กล่าวข้างต้น ทำได้โดยการเว้นช่องอากาศกว้าง 9 ซม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม หรือแผ่นยิปซัมชนิดบุอลูมิเนียมพอยล์ หรือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ที่ผนังทึบ และเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโพลีสีเขียว (SHGC 0.58) หรือสีเขียวเข้ม (SHGC 0.55) สามารถลดค่า OTTV ให้เหลือเฉลี่ย 46.62 W/m^2

ในส่วนของหลังคา เดิมคือ หลังคาคอนกรีตหนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องอากาศกว้าง 45 ซม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. แนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ค่า RTTV จากเดิมที่เท่ากับ 27.64 W/m^2 ผ่านเกณฑ์ที่ไม่เกิน 15 W/m^2 ได้แก่ การปูฉนวนใยแก้ว หนา 75 หรือ 150 มม. ชนิดหุ้มอลูมิเนียมพอยล์ เหนือฝ้าเพดานชั้น 3 สามารถลดค่า RTTV ให้เหลือเฉลี่ย 4.35 W/m^2 หรือการทาสีสะท้อนความร้อนที่หลังคาคอนกรีต สามารถลดค่า RTTV ให้เหลือ 12.68 W/m^2 และหากปูฉนวนใยแก้วบนฝ้าเพดานร่วมกับการทาสีสะท้อนความร้อนที่หลังคา จะสามารถลดค่า RTTV เหลือเฉลี่ย 2 W/m^2

2) แนวทางปรับปรุงให้กรอบอาคารมีค่า OTTV และ RTTV ที่ผ่านเกณฑ์ โดยลงทุนน้อย และคืนทุนเร็วที่สุด

- ปรับปรุงเฉพาะผนังทึบโดยติดตั้งฉนวน EPS หนา 35 มม. ชนิดแผ่นสำเร็จรูปพร้อมแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. มีค่า OTTV เท่ากับ 48.05 W/m^2 สามารถลดปริมาณไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 8.16 ระยะคืนทุน 5.43 ปี

- ปรับปรุงทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง โดยเว้นช่องอากาศ กว้าง 9 ซม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมบุพอยล์ หนา 12 มม. ที่ผนังทึบ และเปลี่ยนจากกระจกโพลีใส 6 มม. เป็นกระจกโพลีสีเขียวเข้ม หนา 6 มม. (SHGC 0.55) มีค่า OTTV เท่ากับ 41.11 W/m^2 สามารถลดปริมาณไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 10.87 ระยะคืนทุน 4.93 ปี

- ปรับปรุงหลังคา โดยปูฉนวนใยแก้วแบบม้วนหนา 75 มม.ชนิดหุ้มด้วยอลูมิเนียมพอยล์ เนื้อฝ้าเพดานชั้น 3 มีค่า RTTV เท่ากับ 5.18 W/m² ลดปริมาณไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 6.26 ระยะคืนทุน 1.19 ปี

ตารางที่ 11 สรุปแนวทางปรับปรุงกรอบอาคารที่ลงทุนน้อยและคืนทุนเร็วที่สุด

แนวทางปรับปรุง	OTTV (W/m ²)	RTTV (W/m ²)	ลดปริมาณ ไฟฟ้า	งบลงทุน (บาท)	คืนทุน (ปี)
อาคารกรณีศึกษา (ก่อนปรับปรุง) ผนังทึบ: อิฐมวลเบาปูเรียบหนา 10 ซม. ผนังโปร่งแสง: กระฉากโพลีใสหนา 6 มม. หลังคา: หลังคาคอนกรีตหนา 15 ซม. ด้านล่างเป็นช่องอากาศกว้าง 45 ซม. และฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมหนา 9 มม.	68.69	27.64	-	-	-
A) ผนังทึบ: ติดตั้งฉนวน EPS หนา 35 มม. ชนิดแผ่นสำเร็จรูปพร้อมแผ่นยิปซัมหนา 9 มม.	48.05	27.64	ลดลง 8.16%	403,142.50	5.43
B) ผนังทึบ: เว้นช่องอากาศ กว้าง 9 ซม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัมพอยล์ หนา 12 มม. ผนังโปร่งแสง: เปลี่ยนเป็นกระฉากโพลีคาร์บอเนตซี่โครงซี่หนา 6 มม. SHGC 0.55	41.11	27.64	ลดลง 10.87%	487,778.04	4.93
C) หลังคา: ปูฉนวนใยแก้วแบบม้วนหนา 75 มม. หุ้มด้วยอลูมิเนียมพอยล์ เนื้อฝ้าเพดาน	68.69	5.18	ลดลง 6.26 %	68,007.74	1.19

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาแนวทางปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงเฉพาะระบบกรอบอาคารเดิม ที่มีผลต่อการลดค่า OTTV และ RTTV เท่านั้น ทั้งนี้ แนวทางในการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น การแยกอุปกรณ์ที่มีความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศ หรือการลดการรั่วซึมของอากาศในห้องปรับอากาศ ก็สามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้เช่นกัน จึงควรมีการศึกษาแนวทางปรับปรุงเหล่านี้ร่วมกับการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อให้อาคารมีการประหยัดพลังงานมากขึ้น

2. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ราคาวัสดุ และราคาค่าแรง มาจากการสอบถามราคาขายทั่วไปจากบริษัทผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย การนำไปใช้จริงจึงต้องพิจารณาราคาของวัสดุปรับปรุงที่อาจสูงหรือต่ำกว่าในแต่ละพื้นที่ รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าขนส่ง ประกอบด้วย และอนาคตอาจมีการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในด้านการต้านทานความร้อนที่ดีขึ้น จึงควรมีการศึกษาผลการประหยัดพลังงานและความเหมาะสมด้านการลงทุนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมบัญชีกลาง. (2544). **ตารางอายุการใช้งานและอัตราค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน**. เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก <http://www.moe.go.th/webfnd/mo29.htm>
- กรมบัญชีกลาง. (2555). **หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างอาคาร**. เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก <http://www.gprocurement.go.th/>
- กรมบัญชีกลาง. (ม.ป.ป.). **Factor F งานก่อสร้างอาคาร**. เข้าถึงเมื่อ 25 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงจาก <http://www.gprocurement.go.th/>
- กระทรวงพลังงาน. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2556). **โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐปีงบประมาณ 2557**. เข้าถึงเมื่อ 25 ตุลาคม 2557. เข้าถึงจาก <http://www.ereport.energy.go.th>
- กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2557). **ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. เข้าถึงเมื่อ 16 สิงหาคม 2557. เข้าถึงจาก <http://www.2ebuilding.com/article.php?cat=knowledge&id=173>
- กระทรวงพลังงาน, ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **ความเป็นมาของโครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ**. เข้าถึงเมื่อ 25 กันยายน 2557. เข้าถึงจาก <http://www.2e-building.com/governmentbuilding/about-us.php?cat=company&id=5>
- “กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.” (2552). **ราชกิจจานุเบกษา** เล่ม 126, ตอนที่ 12 ก (20 กุมภาพันธ์) : 10-13.
- กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2548). **การเลือกใช้วัสดุเพื่ออนุรักษ์พลังงาน**. หนังสือชุดรู้รักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ม.ป.ท.
- กระทรวงพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **Building Energy Code Software: BEC Software [โปรแกรมคอมพิวเตอร์]**. กรุงเทพฯ
- กระทรวงพลังงาน. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน.(ม.ป.ป.). **หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์**. เข้าถึงเมื่อ 29 มิถุนายน 2557. เข้าถึงจาก <http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm>

ภาษาต่างประเทศ

- Ho, Paul H.K. (1997). “Computer software for overall thermal transfer value calculation for building in Hong Kong.” **ASR Journal**, no. 83-90. Accessed May 12 2014. Available from http://anzasca.net/wpcontent/uploads/2014/08/12_ANZASC_1997_Ho.pdf