วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การบูรณาการระหว่างเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และการประเมินวัฏจักรชีวิตในการปรับปรุงกรอบอาคาร กรณีศึกษา อาคารผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลสารภี

Integration between building energy code and life cycle assessment in building envelope improvement; a case study of outpatient building in Sarapee hospital

ประวีณ จิณานุกุล ยุทธนา ทองท้วม*

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Praween Jinanukul Yuttana Thongtuam*

Faculty of Architecture, Chiangmai University Chiangmai 50200

* Corresponding author.

E-mail: yuttana.t@cmu.ac.th; Telephone: 098 742 9461

วันที่รับบทความ 24 ธันวาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 1 กุมภาพันธ์ 2564 ; วันที่ตอบรับบทความ 24 กุมภาพันธ์ 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อให้ได้อาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ผนวกกับการประเมินวัฏจักรชีวิต ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิตวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง และการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากรูปแบบของกรอบอาคาร ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบทางเลือกของกรอบอาคารเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดจากการทดลองในโปรแกรม BEC Web-Base และการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้างอิงจากการคำนวณจากคณะกรรมการระหว่างรัฐว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ในบทความวิจัยนี้จะนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ซึ่งเป็นโรงพยาบาลชุมชนที่ใช้แบบมาตรฐานอาคารผู้ป่วยนอกเลขที่ 3130 ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง และหลังคาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ผลการวิจัยพบว่า แนวทางที่ดีที่สุดในส่วนของผนัง คือการติดตั้งผนังยิปซั่มพร้อมกับฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. (หนา 65 มม.) และการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. (หนา 25 มม.) ภายใต้หลังคาเดิม ทำให้อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคาเท่ากับ 24.55 W/m^2 และ 8.56 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ แม้ว่าแนวทางการปรับปรุงทำให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากวัสดุรวม 1,507.07 $kgCO_2e$ แต่ทำให้อาคารสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศได้ปีละ 7,818.61 $kgCO_2e$ นอกจากนี้ผลกำไรจากการขายคาร์บอนเครดิตจากการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และค่าไฟฟ้าที่ลดลงสามารถคืนทุนจากต้นทุน ในระยะเวลา 1.20 ปี ทั้งนี้ในการศึกษาต่อไปผู้วิจัยเสนอให้พิจารณาทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงวัฏจักรชีวิตของอาคาร เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

คำสำคัญ

กรอบอาคาร โรงพยาบาล มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ การประเมินวัฏจักรชีวิต

Abstract

This research presents the building renovation model for designing the Environmentally-friendly buildings prior to the standardization of Building Energy Code and Life Cycle Assessment in terms of greenhouse gas emission from the material production and the power consumption in air conditioning system which results from

the building envelope. This leads to specify the alternatives of building envelope in order to look for the finest simulation model with a BEC Web-Base program and to calculate the amount of greenhouse gas emission regarding the calculation of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). This research provides the model measure for a community hospital's outpatient building, Sarapee Hospital. This building was constructed with a standard plan No.3130, which the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) and Roof Thermal Transfer Value (RTTV) were not meet the standard criteria regarding to the Building Energy Code. The result showed that the finest wall model is to frame the gypsum wall along with the density of 12 kg/m^3 for insulation (thickness 65 mm.), while the ceiling should be framed the density of 24 kg/m^3 for insulation (thickness 25 mm.). This could positively change the Overall Thermal Transfer Value and Roof Thermal Transfer Value at 24.55 W/m^{2}and 8.56 W/m^2, respectively. These numbers of thermal transfer value could meet the standard criteria of the Building Energy Code even the measure caused higher amount of greenhouse gas emission from material at approximately 1,507.07 kgCO_2e, contrarily, there was a lower amount of greenhouse gas emission from power consumption in the air conditioning system at around 7,818.61 kgCO_2e per year. Moreover, the profits of carbon credits sale from decreasing greenhouse gases and power consumption were able to pay back the cost within 1.20 years. In addition, for further study in this field, the researchers suggest to consider other factors that affect the environment in overall stages of building life cycle as to attain an obvious breakeven conclusion.

Keywords

building envelope; hospitals; building energy code; life cycle assessment

1. บทนำ

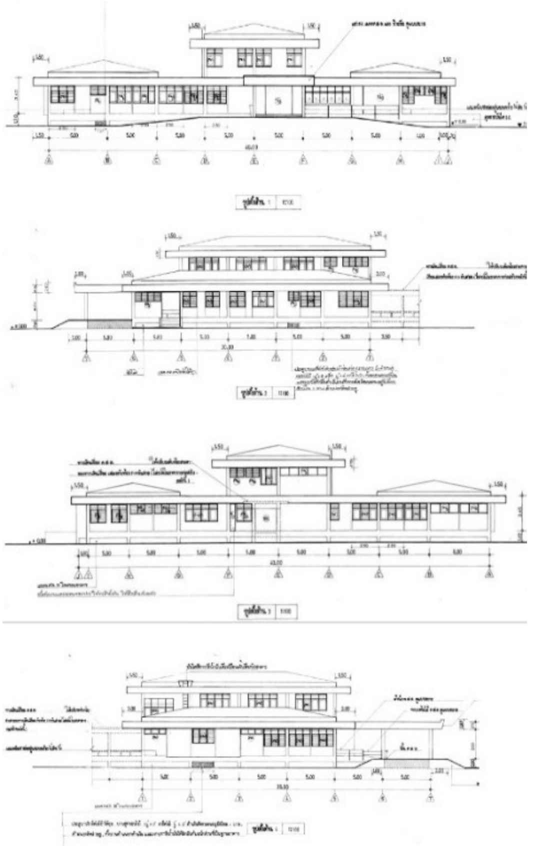
จากการเติบโตทางด้านประชากร เศรษฐกิจ ส่งผลต่อความต้องการใช้พลังงานของอาคารประเภทต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ทำให้การใช้พลังงานในปัจจุบันอยู่ในขั้นวิกฤติ เนื่องจากเมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร พบว่ามีการบริโภคทรัพยากรจำนวนมหาศาล โดยเฉพาะช่วงของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอันส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานในภาคอาคารสูงถึงร้อยละ 17.6 [1] ของความต้องการพลังงานรวมทั่วประเทศ ดังนั้น กระทรวงพลังงานจึงได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (Building Energy Code, BEC) ซึ่งได้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall Thermal Transfer Value; OTTV) และหลังคา (Roof Thermal Transfer Value; RTTV) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 1 [2] รวมทั้งอาคารประเภท “สถานพยาบาล” โดยเฉพาะโรงพยาบาลชุมชน [3] ที่มีสัดส่วนจำนวนเตียงมากที่สุดถึงร้อยละ 36.3 [4] ซึ่งเกือบทั้งหมดใช้แบบมาตรฐานอาคารผู้ป่วยนอกเลขที่ 3130 จากกระทรวงสาธารณสุข นอกจากนี้ยังเป็นประเภทอาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศถึงร้อยละ 50-70 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร รวมทั้งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้ามากกว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงถึง 2-3 เท่า [5]

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมไม่เกิน (W/m^2)		ประเภทอาคาร
OTTV)	(RTTV)	
50	15	สถานศึกษา สำนักงาน
40	12	โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ อาคารชุมนุมคน
30	10	สถานพยาบาล อาคารชุด โรงแรม

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลชุมชน ตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำสำหรับอาคารประเภทสถานพยาบาล ผนวกกับการประเมินวัฏจักรชีวิตในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งในช่วงของขั้นตอนในการการผลิตวัสดุก่อสร้าง

ที่ใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคาร และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศซึ่งเป็นตัวแปรตามของรูปแบบกรอบอาคาร บทความวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการ และแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยใช้อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี เป็นอาคารกรณีศึกษา ซึ่งใช้แบบมาตรฐานอาคารผู้ป่วยนอกเลขที่ 3130 ขนาด 30 เตียง ดังรูปที่ 1 จากกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลชุมชนทั่วประเทศ โดยอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ในปัจจุบันนั้น มีการต่อเติม และปรับปรุงเฉพาะในส่วนด้านหน้าของอาคาร เพื่อตอบสนองการใช้งานในปัจจุบันดังรูปที่ 2 สำหรับในงานวิจัยนี้จะเป็นการหาแนวทางในการปรับปรุงอาคาร โดยบูรณาการระหว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้เป็นอาคารที่มิตรต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ในช่วงของการใช้วัสดุในการปรับปรุงไปจนถึงการใช้ไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 1 แบบอาคารผู้ป่วยนอกเลขที่ 3130 จากกระทรวงสาธารณสุข

รูปที่ 2 อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารจะใช้โปรแกรม BEC Web-Base [6] โดยภายในโปรแกรมได้บรรจุค่าเกณฑ์มาตรฐาน คุณสมบัติความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร และสมการการคำนวณตามกฎกระทรวงในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม รวมทั้งสมการการคำนวณปริมาณไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ดังสมการที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

$$OTTVi = (Uw)(1-WWR)(TDeq)+(Uf)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (1)$$

$$RTTVi = (Ur)(1-SRR)(TDeq)+(Us)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2)$$

เมื่อ

OTTVi คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอก ด้านที่พิจารณา (W/m^2)

RTTVi ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาด้านที่พิจารณา (W/m^2)

Uw คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m^2-°C)

Uf สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง (W/m^2-°C)

Ur คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (W/m^2-°C)

Us คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง (W/m^2-°C)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง หรือของผนังโปร่งแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

SRR อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาด้านที่พิจารณา

TDeq คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (°C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง หรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบ (W/m^2)

$$Epa = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{Awi(OTTVi)}{COPi} + \frac{Ari(RTTVi)}{COPi}\right]nh \qquad (3)$$

เมื่อ

Epa คือ ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร (เฉพาะระบบกรอบอาคารที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ) (Wh)

OTTVi คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา (W/m^2)

RTTVi คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาด้านที่พิจารณา (W/m^2)

COPi คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำของระบบปรับอากาศขนาดที่ใช้งานสำหรับพื้นที่ i

Awi คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง หรือผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

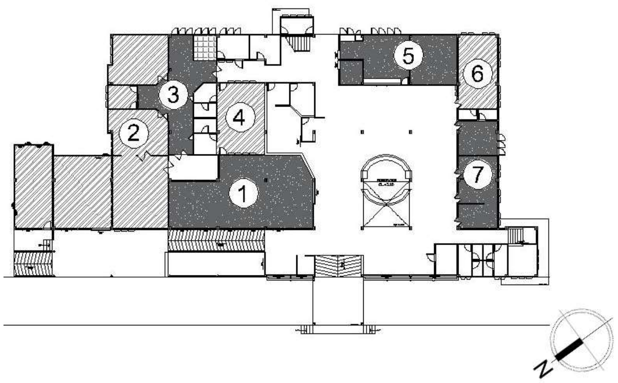
Ari คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบ และพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

Nh จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในอาคารต่อปี

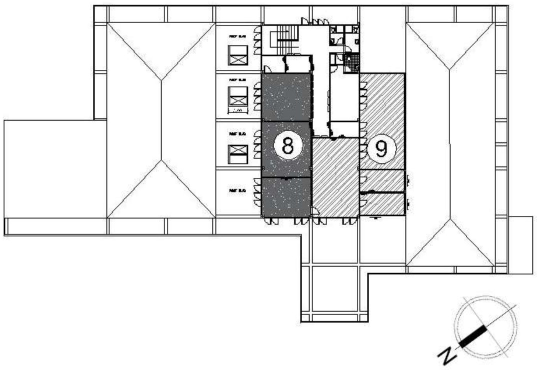
ตารางที่ 2 พื้นที่ใช้งานในแต่ละส่วนของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

โซนที่	ห้อง	พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)
1	ห้องอุบัติเหตุฉุกเฉิน	18.92	63.43
2	ห้องทำบัตร ห้องคลอด ห้องผ่าตัด	129.72	178.17
3	โถงปลอดเชื้อ	11.78	52.80
4	ห้องพักแพทย์ และพยาบาล	-	34.78
5	ห้องจ่ายยา ห้องเก็บเงิน ห้องคลังยา	39.23	49.56
6	ห้องงานโรคติดต่อไม่เรื้อรัง	41.89	34.97
7	ห้องปฏิบัติการ ห้องตรวจ	31.04	45.92
8	ห้องสำนักงาน ห้องไอที	44.12	79.42
9	ห้องผู้อำนวยการ ห้องการเงิน ห้องประชุม	70.31	95.80

ทั้งนี้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารจะพิจารณาเฉพาะผนังภายนอกเท่านั้น และสามารถรวมห้องต่าง ๆ ในอาคารให้เป็นโซนใหญ่ ๆ ได้ดังตารางที่ 2 รูปที่ 3 และ 4 โดยมีข้อแม้คือ ต้องเป็นกรอบอาคารที่มีทิศทางเดียวกัน [2]



รูปที่ 3 ผังพื้นแสดงหมายเลขในแต่ละโซนของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ชั้นที่ 1



รูปที่ 4 ผังพื้นแสดงหมายเลขในแต่ละโซนของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ชั้นที่ 2

จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมในส่วนของผนัง ของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ดังตารางที่ 3 พบว่า มีค่าเท่ากับ 33.06 W/m2 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำที่กำหนดให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังสำหรับอาคารประเภทสถานพยาบาลไม่เกิน 30 W/m2 โดยเมื่อแยกตามโซนพบว่า โซนที่ 2, 5, 6 และ 8 มีค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังมากกว่า 30 W/m2 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีส่วนของผนังทึบ และหน้าต่างที่สัมผัสกับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าทิศอื่น ๆ

ในส่วนหลังคา ดังตารางที่ 3 พบว่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 11.09 W/m2 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำสำหรับอาคารประเภทสถานพยาบาลที่กำหนดให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาไม่เกิน 10 W/m2 โดยเมื่อพิจารณาแยกตามโซนพบว่าบริเวณโซนที่ 1, 4 และ 5 มีค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคามากกว่า 10 W/m2 เนื่องจากบริเวณที่ไม่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวเป็นหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าวัสดุกระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็กและฉนวนกันความร้อน ซึ่งเป็นวัสดุมุงหลังคาในโซนที่ผ่านเกณฑ์ [2]

ตารางที่ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

โซนที่	OTTV (W/m^2)	สถานะ	RTTV (W/m^2)	สถานะ
1	25.81	ผ่าน	15.62	ไม่ผ่าน
2	33.60	ไม่ผ่าน	9.62	ผ่าน
3	29.64	ผ่าน	6.51	ผ่าน
4	ผนังไม่สัมผัสกับอากาศภายนอก		19.72	ไม่ผ่าน
5	30.39	ไม่ผ่าน	14.62	ไม่ผ่าน
6	36.43	ไม่ผ่าน	9.58	ผ่าน
7	26.36	ผ่าน	9.60	ผ่าน
8	45.76	ไม่ผ่าน	9.16	ผ่าน
9	28.82	ผ่าน	9.60	ผ่าน
ทุกโซน	33.06	ไม่ผ่าน	11.09	ไม่ผ่าน

จากค่าการถ่ายเทความร้อนรวมในส่วนของผนัง และหลังคาที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำอันส่งผลต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ในโปรแกรม BEC Web Base โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศที่ใช้จริง ดังตารางที่ 4 ซึ่งในโปรแกรมดังกล่าวจะกำหนดให้อาคารที่ประเมินประเภทสถานพยาบาลมีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง หรือ 8,760 ชั่วโมงต่อปี โดยการประเมินอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภีมีกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศปีละ 87,467.07 kWh ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะใช้เป็นตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารที่ดีที่สุดต่อไป

ตารางที่ 4 รายละเอียดผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศที่ใช้ในแต่ละโซนของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

โซน	เครื่องปรับอากาศ / ขนาด (BTU/ชั่วโมง) / กำลังไฟฟ้า (kW) / จำนวน (เครื่อง)	COP	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)
1	Daisenko / 25,600 / 2.60/ 1	2.89	9,831.50
2	Daisenko / 12,500 / 3.242 / 2 Daisenko / 25,600 / 2.60 / 1 Trane / 40,900 / 3.60 / 1	3.18	25,276.14
3	Trane / 22,500 / 1.00 / 1	2.89	2,384.18
4	Daisenko / 25,600 / 2.60 / 1		4,168.46
5	Trane / 40,900 / 3.60 / 1 Daisenko / 12,500 / 2.60 / 1 Daisenko / 25,600 / 2.60 / 1	3.17	9,262.56
6	Trane / 40,900 / 3.60 / 1	3.33	7,503.64
7	Panasonic / 11,900 / 1.040 / 3	3.35	5,286.16
8	Daisenko / 25,600 / 2.60 / 4	2.89	12,793.96
9	Daisenko / 25,600 / 2.60 / 2 Panasonic / 8,530 / 0.50 / 5	3.85	10,960.47
รวม		-	87,467.07

3. การเสนอทางเลือกในการปรับปรุงอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ในการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี จะปรับปรุงเฉพาะโซนที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำเท่านั้น โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ในหัวข้อที่ 2 ไปทำการปรับปรุง ทั้งนี้ โสพิศ ชัยชนะ (2559) กล่าวว่าอาคารที่กำลังเปิดใช้งานอยู่ มีข้อจำกัดในการปรับปรุง ซึ่งต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ ซึ่งอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี มีลักษณะดังกล่าว ดังนั้นวิธีการปรับปรุงกรอบอาคารจึงต้องอยู่ภายใต้เกณฑ์ทั้ง 3 ข้อ ดังนี้ [7]

1) เป็นวิธีปรับปรุงที่ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างหลักของอาคาร [8]

2) ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเดิม รวมทั้งไม่เปลี่ยนแปลงขนาด และตำแหน่งของช่องเปิด

3) เป็นวิธีปรับปรุงที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยการเพิ่มค่าการต้านทานความร้อน หรือลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร [9]

จากเกณฑ์ทั้ง 3 ข้อที่กำหนดขึ้นมาจะนำมาสู่การวิเคราะห์เพื่อหาทางเลือกตามเกณฑ์ดังกล่าว ดังตารางที่ 5 [7] โดยผลการวิเคราะห์ทางเลือกต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการทาสีสะท้อนความร้อน ติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับผนัง เปลี่ยนชนิดกระจก ทาสีสะท้อนความร้อนบริเวณหลังคา และติดตั้งฉนวนกันความร้อนแนบไปกับหลังคาเดิม โดยในแต่ละทางเลือกในการปรับปรุง จะทำการเลือกวัสดุก่อสร้างตามประกาศอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ. 2555

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดความค่าการถ่ายเทความร้อนรวม [7]

ทางเลือกในการปรับปรุง		ทาสีสะท้อนความร้อน	ติดตั้งฉนวนกันความร้อน	ติดตั้งผนังเบา	เปลี่ยนรูปแบบอาคาร	ลดขนาดหน้าต่าง	เปลี่ยนชนิดกระจก
เกณฑ์ในการเลือกวิธีการปรับปรุงในส่วนของผนัง	ลดการถ่ายเทความร้อน	/	/	/	/	/	/
	รูปแบบอาคารไม่เปลี่ยน	/	/	/	/	×	/
	ไม่กระทบต่อโครงสร้างเดิม	/	/	/	×	×	/
	สรุปผล	เลือก	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก
เกณฑ์ในการเลือกวิธีการปรับปรุงในส่วนของหลังคา	ลดการถ่ายเทความร้อน	/	/	-	/	-	-
	รูปแบบอาคารไม่เปลี่ยน	/	/	-	×	-	-
	ไม่กระทบต่อโครงสร้างเดิม	/	/	-	×	-	-
	สรุปผล	เลือก	เลือก	-	ไม่เลือก	-	-

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภีเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต [10] โดยวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ เพื่อนำมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการปรับปรุงในปริมาณ และสัดส่วนเทียบเท่ากับที่ใช้จริง ไปจนถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศในอาคาร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะแสดงในรูปของหน่วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ดังสมการที่ 4 โดยอ้างอิงการคำนวณจากคณะกรรมการระหว่างรัฐว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [11] ซึ่งคำนวณได้จากผลคูณของปริมาณวัสดุแต่ละชนิด (Activity Data) กับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้าง หรือพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Emission Factor)

$$CO_2e = Activity\ Data\ x\ Emission\ Factor \quad (4)$$

ผู้วิจัยได้เสนอทางเลือกในการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผนัง และหลังคา โดยในส่วนของผนังได้กำหนดทางเลือกในการปรับปรุงได้แก่ การทาสีสะท้อนแสง (W1) การติดตั้งผนังเบา (W2) การติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W3) และการเปลี่ยนวัสดุกระจกชนิดต่าง ๆ (G1-G3) ในส่วนของหลังคา ได้แก่ การทาสีสะท้อนความร้อนบริเวณหลังคา (R1) และการติดตั้งฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ (R1-R2) โดยทางเลือกในการปรับปรุงมีรายละเอียดของวัสดุในแต่ละทางเลือกที่ใช้ในการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนด้านวัสดุรวมค่าแรงในการปรับปรุง ดังตารางที่ 6 ซึ่งราคาวัสดุ และค่าแรง จะอ้างอิงราคาตามท้องตลาดที่หาได้ในท้องถิ่นทั่วไป เช่น บริษัท โฮม โปรดักส์ เซ็นเตอร์ จำกัด, บริษัท วันสต๊อกโฮม จำกัด และ บริษัท กิจศิริซีเมนต์ จำกัด เป็นต้น

ตัวชี้วัดในการเลือกแนวทางที่ดีที่สุดในการปรับปรุงคือเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทางเลือกต่าง ๆ จะถูกวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในช่วงการผลิตจากวัสดุก่อสร้าง และปริมาณก๊าซเรือนกระจกในช่วงของการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้าระบบปรับอากาศของอาคาร โดยงานวิจัยนี้จะค้นหาทางเลือกในการปรับปรุงที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ และจากการใช้ไฟฟ้ารวมกันน้อยที่สุด หรือมีปริมาณลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศของอาคารก่อนการปรับปรุง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้พิจารณาในแง่ของระยะเวลาในการคืนทุนประกอบกับการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 ซึ่งพิจารณาจากรายได้จากขายคาร์บอนเครดิตในข้อกำหนดของโครงการพัฒนาที่สะอาดตามพิธีสารเกียวโต [17] ที่คำนวณได้จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง กับรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตที่หายไป และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงซึ่งถือเป็นต้นทุนในการปรับปรุง กับรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตและค่าไฟฟ้าที่ลดลง โดยถือว่าเป็นผลกำไรที่ได้รับ ทั้งนี้ราคาการซื้อขายคาร์บอนเครดิตจะอ้างอิงราคาจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ตามมาตรฐานของประเทศไทย โดยมีมูลค่าการซื้อขายตันละ 25.15 บาท (พ.ศ.2563) [18]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{ต้นทุน (บาท)}}{\text{ผลกำไรต่อปี}} \quad (5)$$

4. ผลการวิจัย

อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศปีละ 60,640.92 kgCo2e ดังตารางที่ 7 โดยคำนวณจากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกำลังไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6933 kgCo2e/kWh และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศที่คำนวณได้ ปีละ 87,467.07 kWh ทั้งนี้สามารถคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศได้ปีละ 700,841.65 บาท โดยอ้างอิงราคาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 6 รายละเอียดของวัสดุในแต่ละทางเลือกที่ใช้ในการทดลอง

ทางเลือกในการปรับปรุง		วัสดุที่ใช้	สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก			ต้นทุนด้านวัสดุ		
			หน่วย	$kgCO_2e$ /หน่วย	อ้างอิง	หน่วย	ราคารวมค่าแรง/หน่วย	อ้างอิง
ผนัง	W1	ทาสีสะท้อนแสง	ตร.ม.	0.87	[13]	ตร.ม.	141	[12]
	W2	แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน 12 มม.	กก	0.39	[13]	ตร.ม.	116.68	[12]
		โครงเคร่าเหล็ก C	กก.	2.77	[14]	ม.	30.7	[12]
		โครงเคร่าเหล็ก U	กก.	2.77	[14]	ม.	40.75	[12]
		สกรูยึดแผ่นยิปซั่ม	กก.	2.89	[14]	กล่อง	77	[15]
		สกรูยึดโครงเคร่า	กก.	2.89	[14]	ตัว	119	[15]
		ปูนฉาบยิบซั่ม	กก.	7.37	[13]	กก.	0.17	[12]
	W3	ฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. หนา 65 มม.	กก.	2.1	[13]	ตร.ม.	212.03	[16]
		แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน 12 มม.	กก	0.39	[13]	ตร.ม.	116.68	[12]
		โครงเคร่าเหล็ก C	กก.	2.77	[14]	ม.	30.7	[12]
		โครงเคร่าเหล็ก U	กก.	2.77	[14]	ม.	40.75	[12]
		สกรูยึดแผ่นยิปซั่ม	กก.	2.89	[14]	กล่อง	77	[15]
		สกรูยึดโครงเคร่า	กก.	2.89	[14]	ตัว	119	[15]
		ปูนฉาบยิบซั่ม	กก.	7.37	[13]	กก.	0.17	[12]
	G1	กระจกสีชาดำ หนา 6 มม.	กก.	1.27	[13]	ตร.ฟ.	93	[12]
	G2	กระจกสะท้อนแสง หนา 6 มม. สีฟ้าเขียว	กก.	1.7043	[13]	ตร.ฟ.	98.33	[12]
	G3	กระจกละมิเนต 2 ชั้น หนา 6 มม. (6-0.76-6) สีฟ้าน้ำทะเล	กก.	2.4449	[13]	ตร.ฟ.	179	[12]
หลังคา	R1	ทาสีสะท้อนแสง	ตร.ม.	0.87	[13]	ตร.ม.	141	[12]
	R2	ฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม. (หนา 25 มม.)	กก.	2.1	[13]	ตร.ม.	89.33	[12]
	R3	ฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. (หนา 25 มม.)	กก.	2.1	[13]	ตร.ม.	115.56	[15]

ตารางที่ 7 รายละเอียดด้านไฟฟ้าของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

กำลังไฟฟ้า (kWh/ปี)	สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCo_2e/kWh$)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCo_2e$/ปี)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)
87,467.07	0.6933	60,640.92	700,841.65

จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คำนวณได้จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศข้างต้น จะใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ ในการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ว่าสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในปริมาณเท่าไร ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการเสนอทางเลือกที่ดีที่สุดโดยแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผนัง และหลังคา ซึ่งในทั้ง 2 ส่วน ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศมากที่สุด

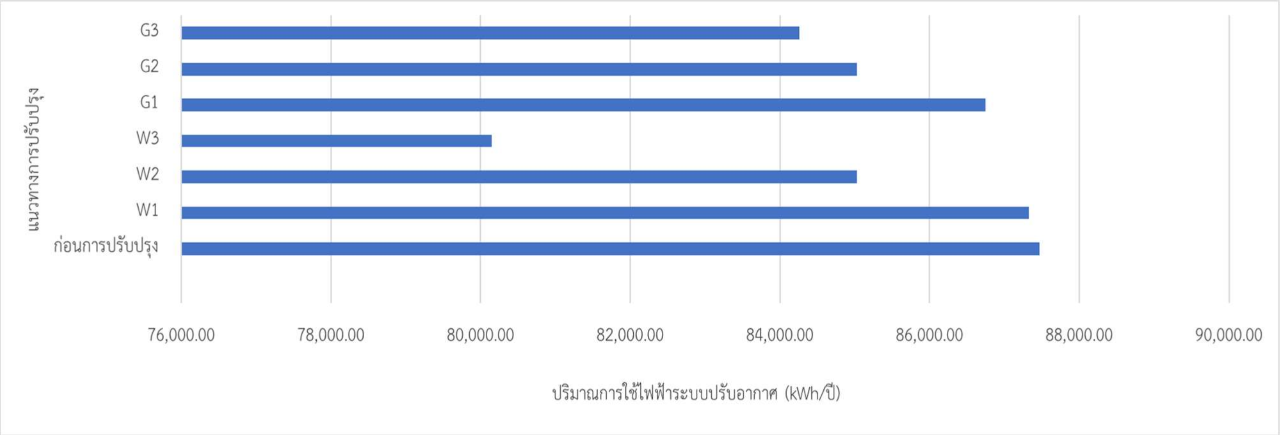
4.1 ผลการวิจัยในส่วนของผนัง

จากการทดลองการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนของผนังอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภีในโซนที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ได้แก่ โซนที่ 2, 5, 6 และ 8 พบว่า การติดตั้งผนังเบา (W2) การติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W3)

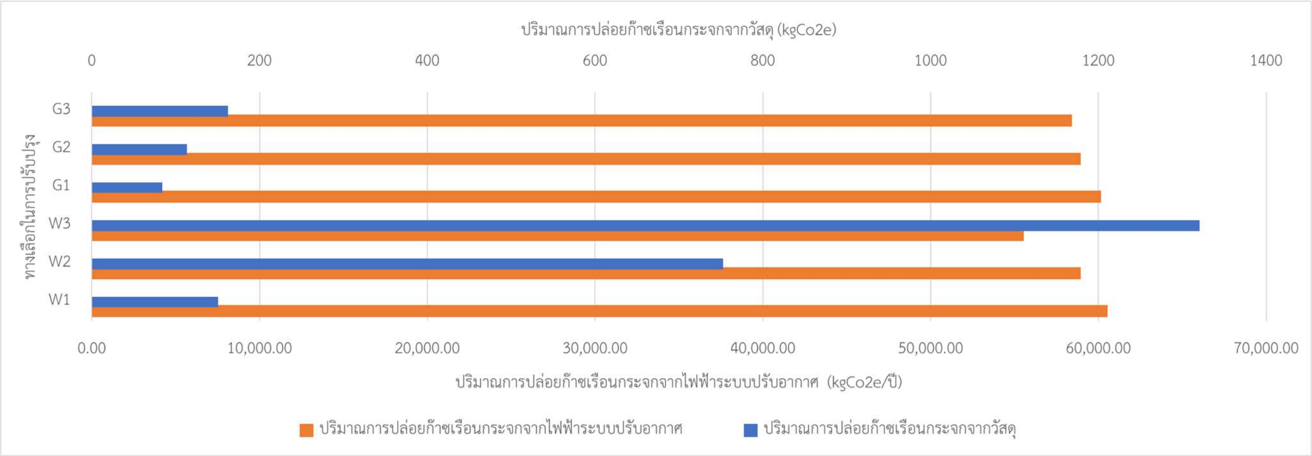
การเปลี่ยนหน้าต่างเป็นกระจกสะท้อนแสง หนา 6 มม. สีฟ้าเขียว (G2) และเปลี่ยนหน้าต่างเป็นกระจกลามิเนต 2 ชั้น หนา 6 มม. สีฟ้าน้ำทะเล (G3) มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังเท่ากับ 28.77, 24.55, 29.63 และ 29.65 W/m2 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ โดยผู้วิจัยได้เสนอเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุง คือ การติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W3) เนื่องจากทางเลือกดังกล่าวทำให้อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศได้มากที่สุด ดังรูปที่ 5 ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารก่อนการปรับปรุงถึงปีละ 7,322.40 kWh เหลือ 80,144.67 kWh ต่อปี อีกทั้งยังสามารถทำให้อาคารลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศได้มากที่สุดถึงปีละ 3,755.74 kgCo2e หรือคิดเป็นร้อยละ 6.19 เมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ ถึงแม้ว่าทางเลือกดังกล่าวมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงถึง 1,320.88 kgCo2e ซึ่งมีปริมาณมากกว่าทางเลือกอื่น ๆ ดังกราฟในรูปที่ 6 แต่เมื่อรวมกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาระการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศหลังจากการปรับปรุงซึ่งมีค่าเท่ากับ 55,564.30 kgCo2e พบว่า มีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองปรับปรุงในส่วนของผนังอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ทางเลือกในการปรับปรุง	OTTV (W/m^2)	สถานะ	กำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศ (kWh/ปี)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCo_2e$)			ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าลดลง	
				จากวัสดุ	จากไฟฟ้า	รวม	$kgCo_2e$/ปี	ร้อยละ
ก่อนปรับปรุง	33.06	ไม่ผ่าน	87,467.07	-	60,640.92	60,640.92	-	-
W1	32.48	ไม่ผ่าน	87,330.48	150.92	60,546.22	60,697.14	-56.22 (ไม่ลดลง)	-0.09 (ไม่ลดลง)
W2	28.77	ผ่าน	85,029.63	752.59	58,951.04	59,703.63	937.29	1.55
W3	24.55	ผ่าน	80,144.67	1,320.88	55,564.30	56,885.17	3,755.74	6.19
G1	31.13	ไม่ผ่าน	86,746.77	84.40	60,141.53	60,225.94	414.98	0.68
G2	29.63	ผ่าน	85,028.99	113.27	58,950.60	59,063.87	1,577.05	2.60
G3	29.65	ผ่าน	84,260.24	162.49	58,417.62	58,580.11	2,060.81	3.40



รูปที่ 5 กราฟปริมาณไฟฟ้าระบบปรับอากาศในแต่ละทางเลือกในการปรับปรุงในส่วนของผนังของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี



รูปที่ 6 กราฟปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละทางเลือกในการปรับปรุงในส่วนของผนังของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

เมื่อพิจารณาในแง่ของระยะเวลาคืนทุนของทางเลือกที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ดังตารางที่ 9 พบว่าทางเลือกการติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อน (W3) มีระยะเวลาในการคืนทุน 1.92 ปี ซึ่งใช้เวลาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ โดยมีต้นทุนในด้านของรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตที่หายไป 33.22 บาท และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงเท่ากับ และ 113,165.90 บาท โดยการปรับปรุงด้วยทางเลือกดังกล่าวสามารถทำผลกำไรทั้งในด้านของการขายคาร์บอนเครดิตจากการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศ 94.46 บาท และผลกำไรจากค่าไฟฟ้าจากการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลงปีละ 58,847.14 บาท

ตารางที่ 9 รายละเอียดด้านผลกำไร และต้นทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนของผนังของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ทางเลือกในการปรับปรุง	ผลกำไร		ต้นทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตที่หายไป (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านการปรับปรุง (บาท)	
W2	23.57	19,809.15	18.93	76,385.05	3.84
W3	94.46	58,847.14	33.22	113,165.90	1.92
G2	39.66	19,817.13	2.85	70,316.73	3.53
G3	51.83	25,954.53	4.09	128,004.62	4.91

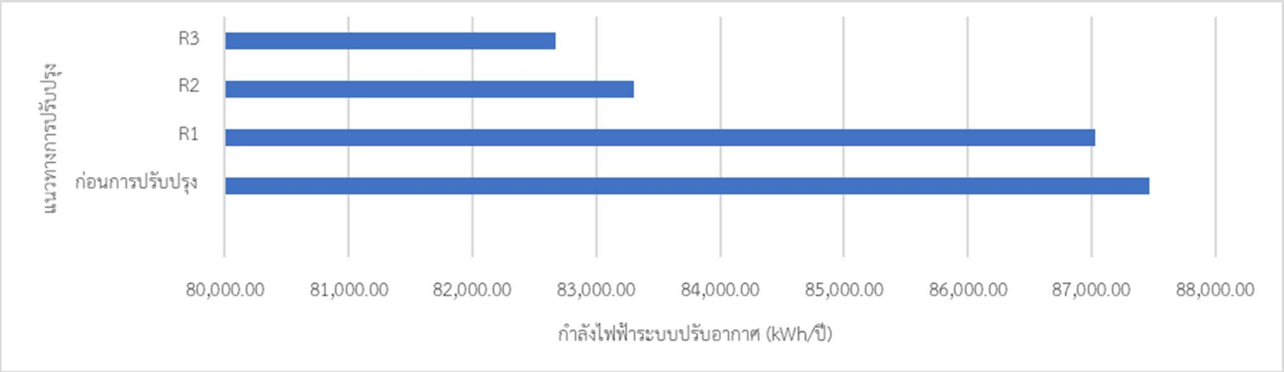
4.2 ผลการวิจัยในส่วนของหลังคา

จากปัญหาในโซนที่ 1, 4 และ 5 ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงเฉพาะโซนดังกล่าว โดยผลการทดลองการปรับปรุงด้วยทางเลือกในส่วนของหลังคาต่าง ๆ พบว่า มีทางเลือกที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ ได้แก่ การติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 16 กก./ลบม. (หนา 25 มม.) (R2) และการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบม. (หนา 25 มม.) (R3) โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเท่ากับ 8.90 และ 8.56 W/m2 ตามลำดับ โดยมีทางเลือกที่ดีที่สุดคือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบม. (หนา 25 มม.) (R3) โดยคิดเป็นปริมาณไฟฟ้าระบบปรับอากาศปีละ 82,672.80 kWh โดยสามารถประหยัดไฟฟ้าระบบปรับอากาศได้มากที่สุดดังรูปที่ 7 หรือสามารถประหยัดได้ 4,794.27 kWh ต่อปี ทั้งนี้ยังมีผลรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุที่ใช้การปรับปรุง และจากไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเท่ากับ 57,503.24 kgCo2e ดังตารางที่ 10 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ อีกทั้งทางเลือกดังกล่าวไม่ใช่เป็นทางเลือกที่มี

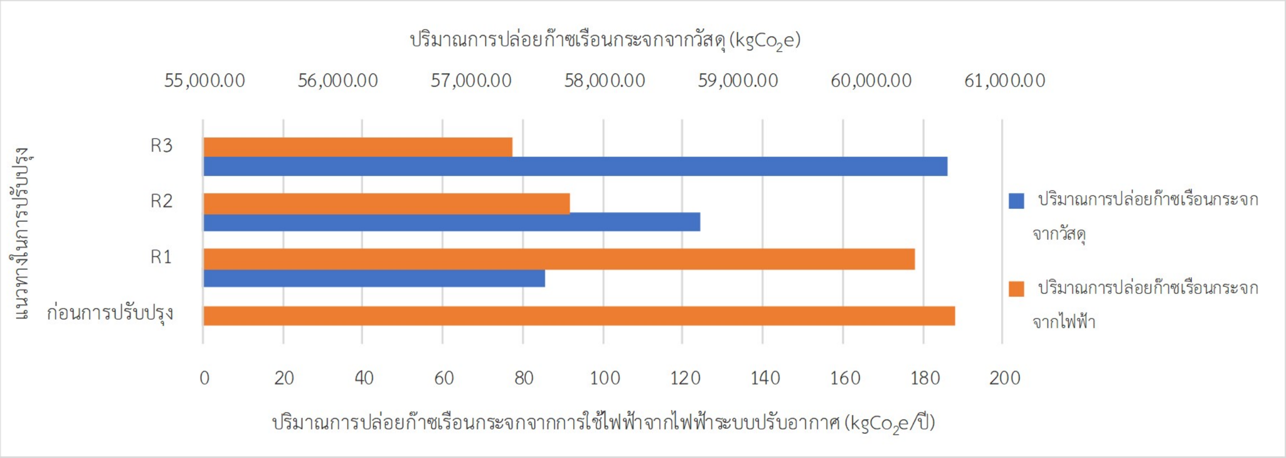
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ ดังกราฟในรูปที่ 8 นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศได้ 3,137.68 kgCo2e หรือคิดเป็นร้อยละ 5.17 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 10 ผลการทดลองปรับปรุงในส่วนของหลังคาอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ทางเลือกในการปรับปรุง	RTTV (W/m^2)	สถานะ	กำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศ (kWh/ปี)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCo_2e$)			ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าลดลง	
				จากวัสดุ	จากไฟฟ้า	รวม	$kgCo_2e$	ร้อยละ
ก่อนปรับปรุง	11.09	ไม่ผ่าน	87,467.07	-	60,640.92	60,640.92	-	-
R1	10.86	ไม่ผ่าน	87,033.26	85.35	60,340.16	60,425.50	215.42	0.36
R2	8.90	ผ่าน	83,304.49	124.13	57,755.00	57,879.13	2,761.79	4.55
R3	8.56	ผ่าน	82,672.80	186.19	57,317.05	57,503.24	3,137.68	5.17



รูปที่ 7 กราฟปริมาณไฟฟ้าระบบปรับอากาศในแต่ละทางเลือกในการปรับปรุงในส่วนของหลังคาของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี



รูปที่ 8 กราฟปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละทางเลือกในการปรับปรุงในส่วนของหลังคาของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ในการพิจารณาในแง่ของระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนของหลังคา มีข้อสังเกตว่า แนวทางการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 16 กก./ลบม. (หนา 25 มม.) (R2) มีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยที่สุด โดยใช้เวลา 0.39 ปี ดังตารางที่ 11 ซึ่งทางเลือกที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดจะไม่ตรงกับทางเลือกในการปรับปรุงหลังคาเมื่อพิจารณา

ในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. (หนา 25 มม.) (R3) แนบไปกับหลังคาเดิมของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ซึ่งแนวทางดังกล่าว เป็นแนวทางส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดตามวัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 11 รายละเอียดด้านผลกำไร และต้นทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนของหลังคาของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

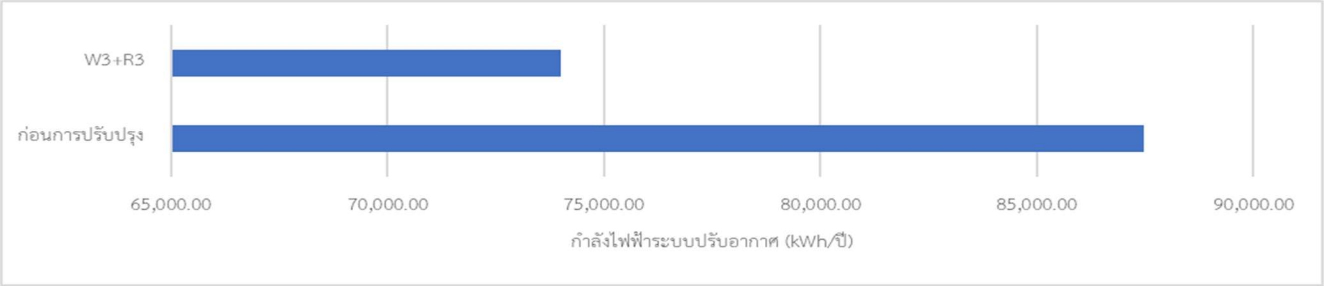
แนวทางการปรับปรุง	ผลกำไร		ต้นทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตที่หายไป (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านการปรับปรุง (บาท)	
R2	69.46	33,668.25	3.12	13,200.29	0.39
R3	78.91	38,730.03	4.68	17,076.30	0.44

4.3 ผลการวิจัยในส่วนของผนัง และหลังคา

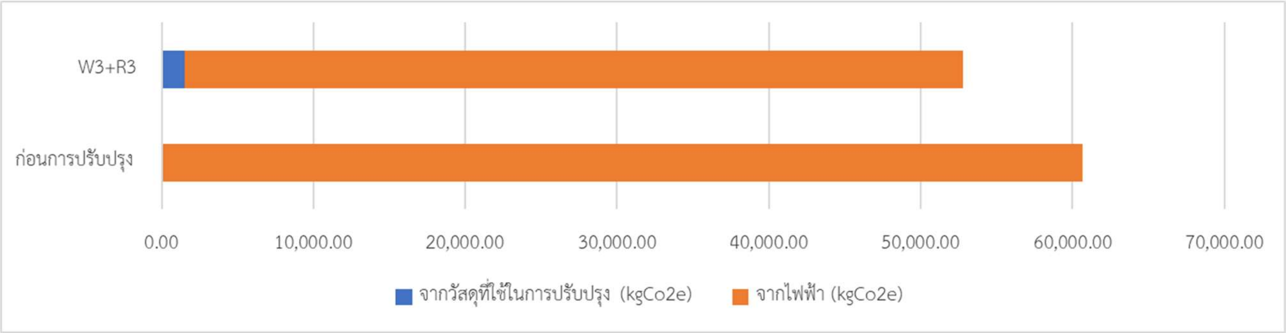
จากการทดลองทางเลือกในการปรับปรุงผนัง และหลังคาของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี ทำให้ทราบว่าควรการติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. (W3) และการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น 24 กก./ลบม. (R3) แนบไปกับหลังคาเดิมของอาคาร โดยทั้ง 2 ทางเลือกดังกล่าวทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคา ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำสำหรับอาคารประเภทสถานพยาบาล ซึ่งเมื่อรวมแนวทางการปรับปรุงในส่วนของผนังและหลังคาแล้วทำให้มีปริมาณการปล่อยการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศลดลงปีละ 13,451.14 kWh เหลือ 74,015.93 kWh ต่อปี ดังตารางที่ 12 และรูปที่ 9 นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าจะทำให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุเพิ่มขึ้น 1,507.07 kgCo$_2$e แต่แนวทางในการปรับปรุงดังกล่าวทำให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศเหลือปีละ 51,315.25 kgCo$_2$e ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภีก่อนการปรับปรุง 7,818.61 kgCo$_2$e หรือคิดเป็นร้อยละ 12.89 ดังตารางที่ 12 และรูปที่ 10 อีกทั้งปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง สามารถขายเป็นคาร์บอนเครดิตได้ปีละ 196.64 บาท ทั้งนี้ต้นทุนในการปรับปรุงสามารถได้รับคืนได้จากรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต และค่าไฟฟ้าที่ลดลงในระยะเวลา 1.20 ปี โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ผลการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

แนวทางการปรับปรุง	กำลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศ (kWh/ปี)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCo$_2$e)			ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าลดลง	
		จากวัสดุ	จากไฟฟ้า	รวม	kgCo$_2$e	ร้อยละ
ก่อนการปรับปรุง	87,467.07	-	60,640.92	60,640.92	-	-
W3+R3	74,015.93	1,507.07	51,315.25	52,822.31	7,818.61	12.89



รูปที่ 9 กราฟปริมาณไฟฟ้าระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุงในส่วนของหลังคาของอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี



รูปที่ 10 กราฟปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

ตารางที่ 13 ความคุ้มทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี

แนวทางการปรับปรุง	ผลกำไร		ต้นทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (บาท/ปี)	รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตที่หายไป (บาท)	ค่าใช้จ่ายด้านการปรับปรุง (บาท)	
W3+R3	196.64	10,8065.37	37.90	130,242.20	1.20

5. อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภี พบว่าในส่วนของผนัง ผู้วิจัยเสนอให้ติดตั้งผนังเบาพร้อมกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อนความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. แนบไปกับผนังเดิมของอาคาร และในส่วนของหลังคาควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา ความหนาแน่น 24 กก./ลบ.ม. แนบไปกับหลังคาเดิม เนื่องจากทางเลือกในการปรับปรุงทั้ง 2 ส่วนดังกล่าว ทำให้กรอบอาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสารภีมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคาผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพขั้นต่ำสำหรับอาคารประเภทสถานพยาบาล อีกทั้งยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ

ในการศึกษาต่อไปผู้วิจัยเสนอให้มีการพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุก ๆ ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น

ถึงแม้ผลกำไรจากรายได้ในการขายคาร์บอนเครดิตจะมีสัดส่วนที่น้อยกว่าค่าไฟฟ้าที่ลดลง แต่ก็สามารถเป็นต้นแบบของการออกแบบโดยบูรณาการระหว่างเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ และการประเมินวัฏจักรชีวิตของการออกแบบที่คำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดอายุขัยของอาคาร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงพยาบาลสารภี ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย รวมทั้งอำนวยสถานที่ในการสำรวจ และการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] German International Cooperation. *แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม*. 2016. Available from: https://www.thai-german-cooperation.info/th/giz-eppo-launched-an-architectural-guidebook-for-high-energy-efficient-building-design/.[Accessed 15th November 2020]

[2] กระทรวงพลังงาน. *เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552*. กรุงเทพฯ; 2552.

[3] Pongyen N, Waroonkun T. Design guidelines for improving outpatient building of a community

hospital in order to increase satisfaction. *Journal of Environmental Design*. 2014;1(2):49-80.

[4] Roumchat T. *Improving community hospital by using green building guidelines and standard for healthcare*: Silpakorn University.

[5] Ridthplake S, Boonkham W. Greenhouse gasses (carbon dioxide gas) assessment from municipal solid waste management system in ban-yang, buriram province. *Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College*. 2020;7(1):29-37.

[6] Bec web-based. *Ministry of energy 2018*. Available from: https://bec.energy.in.th/ dashboard#. [Accessed 16th October 2020]

[7] Chaichana S. Renovation strategies to improve energy saving for provincial health office. *Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)*. 2016;9(1):1703-16.

[8] กฎกระทรวงฉบับที่ 11 พ.ศ. 2528. *ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522*. เล่ม 102 ตอนที่ 134. ราชกิจจานุเบกษา 26 กันยายน 2528.

[9] Tuhus-Dubrow D, Krarti M. Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and environment*. 2010;45(7):1574-81.

[10] Sharma A, Saxena A, Sethi M, Shree V. Life cycle assessment of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(1):871-5.

[11] Suwan C, Somjai T. Comparative greenhouse gas evaluation of house construction: A conventional house versus an interlocking block house. *The Journal of KMUTNB*. 2020;30(4):570-7.

[12] Onestockhome co., ltd. 2020. Available from: https://www.onestockhome.com/th. [Accessed 15th October 2020]

[13] Carbon label & carbon footprint for organization. *Carbon footprint of product*. Available from: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/ productsapproval/productsapproval.pnc. [Accessed 9th October 2020]

[14] Surachotivet T. Anlysis *life cycle energy of building construction: a case study multi-purpose building of silpakorn university*. Graduate school. Bangkok, Thailand: Silpakorn University; 2018.

[15] kitsiri. 2020. Available from: https://www.Cementhaihomemart.com/?___store=en&___from_store=th. [Accessed 11st October 2020]

[16] Home product center public company limited. 2020. Available from: https://www.homepro.co.th/. [Accessed 11 Nov 2020]

[17] Gupta MY. Carbon credit: A step towards green environment. *Global Journal of Management and Business Research*. 2011;11(5).

[18] Thailand Greenhouse Gas Management Organization. *Volume and Turnover of Carbon Credits from the T-Ver Project*. 2020. Available from: http:// carbonmarket.tgo.or.th/#weekly. [Accessed 14th October 2020]