อิทธิพลของช่องเปิดและวัสดุอาคารต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

Influence of Building Fenestrations and Materials on Cooling Load

วิรดา ดีราษฎร์วิเศษ* และ ชูพงษ์ ทองคำสมุทร**

Wirada Deeratwisate and Choopong Thongkamsamut

* นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา
** ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail:
wirada_dee@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดช่องเปิด ชนิดของวัสดุอาคาร และขนาดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนภายนอกอาคารที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานขนาดกลาง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารในลักษณะดังกล่าวเพื่อส่งเสริมให้เกิดสภาวะน่าสบายกับผู้ใช้อาคาร และช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่นเป็นตัวแทนสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำการทดลองด้วยโปรแกรม Ener-Win ในการจำลองอาคารให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 30 x 30 เมตร มีทั้งหมด 6 ชั้น แต่ละชั้นสูง 3.5 เมตร (ระดับพื้นถึงพื้น) โดยทดสอบปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (Window-to-Wall Ratio; WWR) 10% 30% 50% 70% และ 90% ตามกลุ่มวัสดุอาคาร 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 2) ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ 3) ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบปูนด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 4) ผนัง EIFS และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ ผลการทดลองพบว่าอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมาก (WWR 90%) ที่ใช้ผนัง EIFS และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ มีค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่า โดยคิดเป็น 1.6 เท่า ของอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารน้อย (WWR 10%) ที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมีอิทธิพลในการเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศมากกว่าวัสดุอาคาร ถึงแม้จะใช้วัสดุอาคารที่มีประสิทธิภาพดี หากมีพื้นที่ช่องเปิดที่มากเกินไปจะทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศมากขึ้น

Abstract

The purpose of this research was to study the influence of building fenestrations, materials, and overhangs on cooling load of office building in order to be a guideline on designing the building that helps occupants to be in a comfort zone and reduce using energy. Khon Kaen weather data were used to be representative data of hot-humid weather in the Northeast of Thailand. The test was conducted by using Ener-Win program. The representative office building in the test was a square-shape building which has 30 x 30 meters, 6 storeys, and 3.5 meters (Floor to Floor). This research was tested on the building that has Window-to-Wall ratio (WWR) 10% 30% 50% 70% and 90% in 4 building material

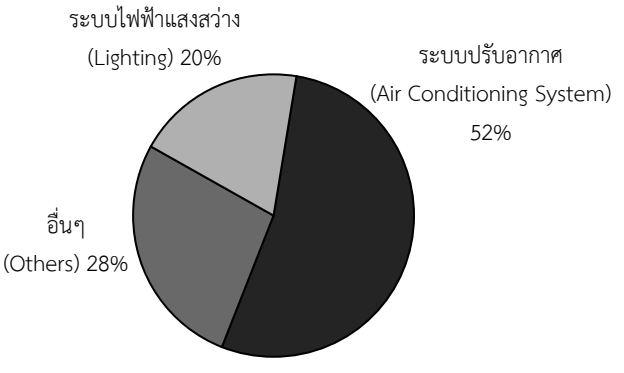
groups including 1) brick and float glass, 2) brick and double low-e glass, 3) exterior insulation and finished system (EIFS) and float glass, and 4) EIFS and double low-e glass. The results show that the high WWR building (WWR 90%) that uses EIFS and double low-e glass has higher cooling energy 1.6 times comparing to the low WWR building (WWR 10%) that uses brick and float glass. It can be concluded that Window-to-Wall ratio has higher influence on increasing cooling load comparing to building materials. Although using the effective building materials, the building that has too high WWR will also have high cooling load.

คำสำคัญ: ภาระการทำความเย็น อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร ช่องเปิด วัสดุอาคาร
Keywords: Cooling Load, Window-to-Wall Ratio, Fenestrations, Building Materials

บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นระหว่างละติจูดที่ 5 ถึง 21 องศาเหนือ และระหว่างลองติจูดที่ 97 ถึง 105 องศาตะวันออก ในเขตสภาพอากาศแถบศูนย์สูตร ส่งผลให้ลักษณะสภาพอากาศของประเทศไทยค่อนข้างร้อน และมีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี อีกทั้งปัญหาภาวะโลกร้อนในปัจจุบันยังส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง และอยู่นอกขอบเขตสภาวะน่าสบาย อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส ในขณะที่สภาพอากาศในฤดูร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556) ดังนั้นในสภาพแวดล้อมของอาคารที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้ความเย็นสบายจากการพึ่งพาธรรมชาติ (Passive Cooling) ได้อย่างเพียงพอ จึงมีความจำเป็นในการสร้างความเย็นสบายด้วยการใช้กลไก (Active Cooling) หรือการนำระบบปรับอากาศเข้ามาช่วยในการสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร ส่งผลถึงการใช้พลังงานของประเทศในปริมาณที่สูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณจากการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานในปัจจุบัน ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารที่มีจำนวนอาคารคิดเป็นร้อยละ 38.6 ของอาคารควบคุมทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

ลักษณะการใช้งานของอาคารสำนักงานส่วนใหญ่ถูกใช้งานในช่วงกลางวันเวลา 8.00 – 17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิสูง จึงทำให้มีการใช้ระบบปรับอากาศและการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในการทำงานอยู่ในปริมาณสูงตามไปด้วย และจากการประเมินการใช้พลังงานจากฐานข้อมูลอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพบว่า ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 52% ส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่างประมาณ 20% และระบบอื่นๆ ประมาณ 28% (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547) ดังภาพที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าระบบปรับอากาศเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานที่มีค่าสูงสุดของอาคาร ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศเป็นการประหยัดพลังงานในภาพรวมของอาคารสำนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



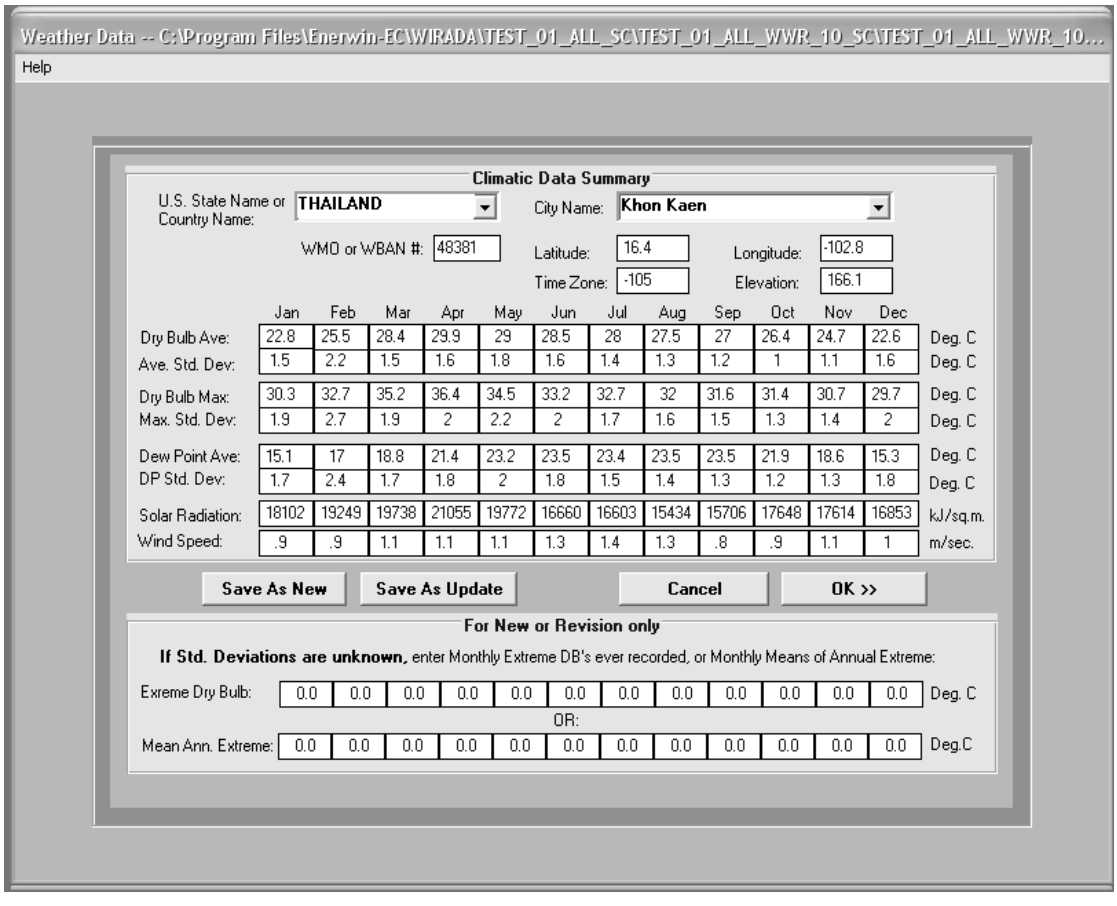
ภาพที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารประเภทสำนักงาน
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547

ปัจจุบันปัญหาวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ทางรัฐบาลได้ออกกฎระเบียบขึ้นมาควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร อันจะเห็นได้จากพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2538 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ซึ่งตามมาตราที่ 17 ในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2535) ได้ระบุไว้ว่าการลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร การปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ การรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

ดังนั้นเพื่อประโยชน์สูงสุดในด้านการออกแบบและการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของช่องเปิดและวัสดุอาคารต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงาน เนื่องจากช่องเปิดเป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่ความร้อนและความชื้นจากภายนอกสามารถผ่านเข้ามาภายในอาคารได้ ซึ่งหากมีการออกแบบปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ทิศทางการวางแนวอาคาร รวมถึงการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ไม่เหมาะสมจะเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในอาคารสำนักงานเพิ่มมากขึ้น

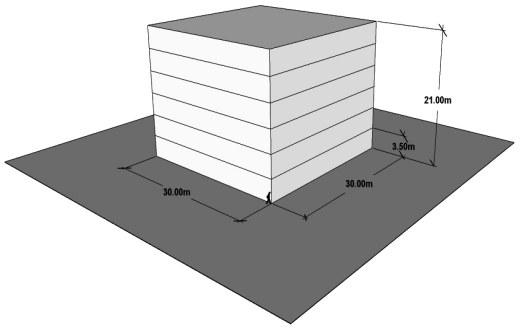
วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดข้อมูลสภาพอากาศ (Weather Data) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่นเป็นตัวแทนสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการทดลองใช้รูปแบบข้อมูล International Weather for Energy Calculation (IWEC) โดยมีการตั้งค่าข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่นในโปรแกรม Ener-Win ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การตั้งค่าข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่น ในโปรแกรม Ener-Win

2. ข้อมูลอาคารที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการสำรวจและคำนวณค่าเฉลี่ยของขนาดอาคารสำนักงานทั่วไปในจังหวัดขอนแก่น และความเป็นไปได้ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในพื้นที่อาคาร ซึ่งจากผลการวิเคราะห์นี้ ขอบเขตข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นอาคารสำนักงานขนาดกลาง มีพื้นที่ใช้สอยในอาคารรวมทั้งหมดขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร และมีความสูงไม่เกิน 23 เมตร (ไม่ใช่อาคารสูง) โดยกำหนดให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 30 x 30 เมตร มีทั้งหมด 6 ชั้น แต่ละชั้นสูง 3.5 เมตร (ระดับพื้นถึงพื้น) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะอาคารจำลองที่ใช้ทำการวิจัย

3. จัดกลุ่มวัสดุผนังอาคาร โดยแยกเป็นพื้นที่ช่องเปิดและพื้นที่ผนังอาคาร ออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

(1) ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส (Float Glass) เป็นวัสดุอาคารที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน และมีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนสูง หรือมีความต้านทานความร้อนต่ำทั้งสองชนิด

(2) ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) ซึ่งผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวเป็นวัสดุอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนสูง แต่กระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนต่ำ

(3) ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส (Float Glass) ซึ่งผนัง EIFS เป็นวัสดุอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนต่ำ หรือมีความต้านทานความร้อนสูง ในขณะที่กระจกใสมีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนสูง หรือมีความต้านทานความร้อนต่ำ

(4) ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) เป็นวัสดุอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนต่ำทั้งสองชนิด หรือมีความต้านทานความร้อนสูง แต่มีราคาแพง

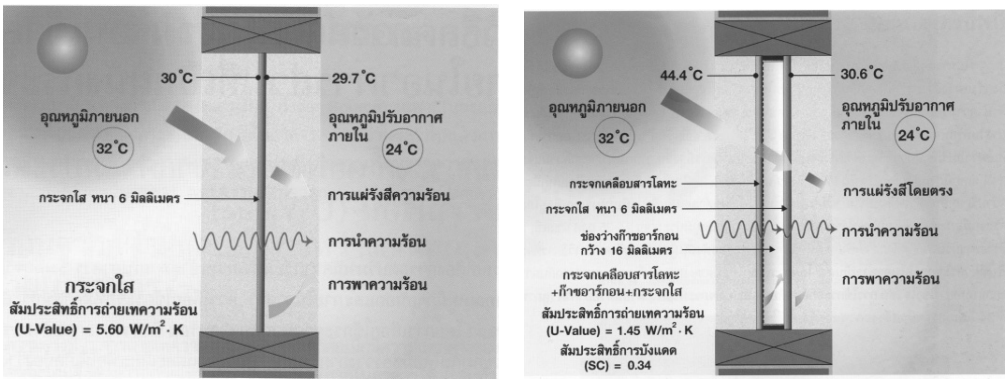
คุณสมบัติและภาพตัดของวัสดุช่องเปิดและวัสดุผนังอาคารส่วนผนังทึบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติของวัสดุช่องเปิด (Fenestrations)

วัสดุช่องเปิด (Fenestrations)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หรือ U ($W/m^2.K$)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา หรือ SC	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์หรือ SHGC	ค่าสภาพเปล่งรังสี หรือ Emissivity	ค่าส่องผ่านรังสีอาทิตย์ หรือ Daylight Transmission (%)
กระจกใส (Float Glass) หนา 6 มิลลิเมตร	5.60*	0.84*	0.73*	0.85**	80**
กระจกใส 2 ชั้น เคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass)	1.45*	0.34*	0.30*	0.30**	51**

*ที่มา : * กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2542)*

*** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)*



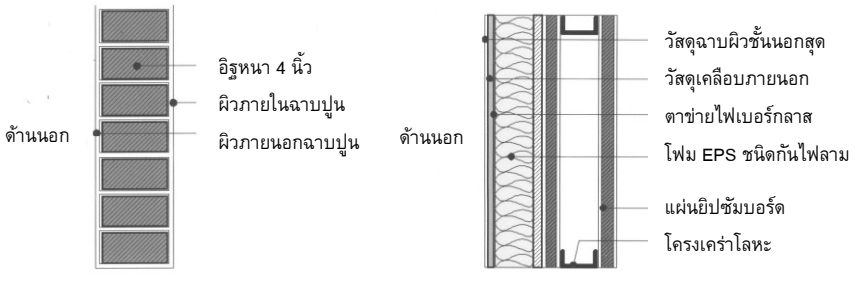
(a) (b)

ภาพที่ 4 (a) ภาพตัดกระจกใส หนา 6 มิลลิเมตร (b) ภาพตัดกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542)

ตารางที่ 2 ค่าคุณสมบัติของผนังอาคารส่วนผนังทึบ (Walls)

ผนังทึบ (Walls)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ K (W/m.K)	ค่าความต้านทานความร้อน หรือ R (m^2K/W)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน หรือ U ($W/m^2.K$)	ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ หรือ Solar Absorptivity	ค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน หรือ Time Lag (ชั่วโมง)
ผนังก่ออิฐฉาบปูน สีขาว (Brick) หนา 0.10 เมตร	0.81*	0.19*	2.58*	0.3**	2***
ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS)	0.04*	2.82*	0.32*	0.3**	4***

*ที่มา : * ชูพงษ์ ทองคำสมุทร (2555)*
*** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552)*
**** รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ (2543)*

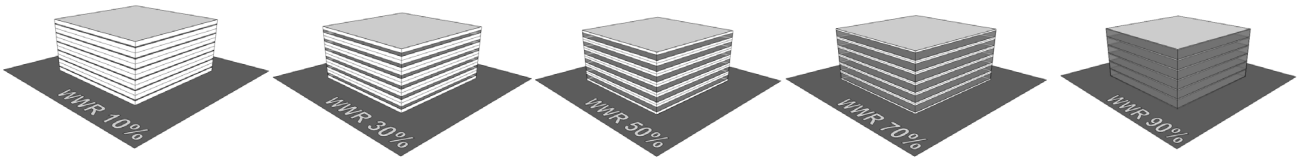


(a) (b)

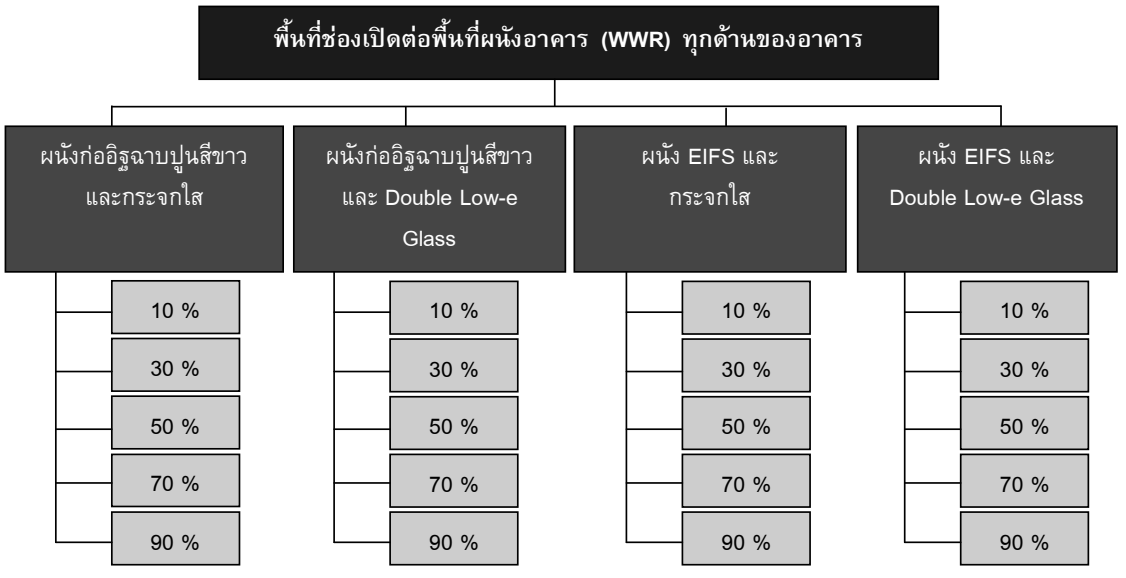
ภาพที่ 5 (a) ภาพตัดผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (b) ภาพตัดระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS)
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2545

4. ดำเนินการทดสอบค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานที่มีวัสดุช่องเปิดและวัสดุผนังอาคารต่างชนิดกัน ในการทดสอบปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) 10% 30% 50% 70% และ 90% ตามกลุ่มวัสดุที่กำหนดในทุกด้านของอาคาร 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 6 และ 7 และได้พิจารณาถึงการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Overhang) 5 รูปแบบความยาวตั้งแต่ 0 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร

ในการทดลองครั้งนี้ได้จำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรม Ener-Win ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Degelman Engineering Group (2007) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมคำนวณการบริโภคพลังงานของอาคารซึ่งแสดงข้อมูลในลักษณะโปรแกรมเคลื่อนไหว (Dynamic Program) ตามข้อมูลที่กำหนดประกอบด้วย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ ข้อมูลวัสดุอาคาร ข้อมูลพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ข้อมูลช่วงเวลาการใช้อาคาร ข้อมูลอุปกรณ์ประกอบอาคารที่ต้องใช้พลังงาน และอื่นๆ โปรแกรมจะนำข้อมูลทั้งหมดมาคิดคำนวณประมวลผล แล้วแสดงผลเป็นข้อมูลในลักษณะการบริโภคพลังงานรายปี โดยแยกตามลักษณะต่างๆ เช่น ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting) แสดงค่าใช้จ่ายพลังงานรายเดือน (Monthly Utility Cost) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Ener-Win มาใช้เนื่องจากข้อดีของโปรแกรมที่สามารถคำนวณผลค่าพลังงานอาคารในรูปแบบวัตต์ต่อตารางเมตรซึ่งแปรผันไปตามลักณะและเวลาการใช้งานอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร รวมไปถึงลักษณะสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีความเป็นธรรมในการคิดคำนวณค่าพลังงานของอาคารใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากกว่าโปรแกรมที่มีการคำนวณผลแบบคงที่ (Static Program) (ไกรทอง โชติวุฒิพัฒนา, 2548)



ภาพที่ 6 ปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ทุกด้านของอาคาร

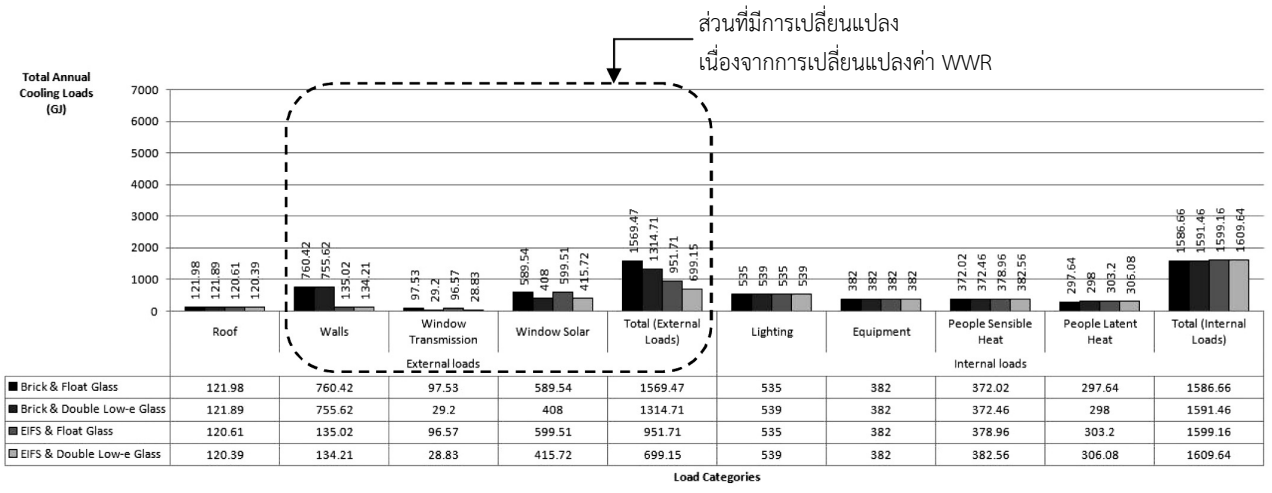


ภาพที่ 7 รูปแบบการทดลองปริมาณพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ทุกด้านของอาคาร

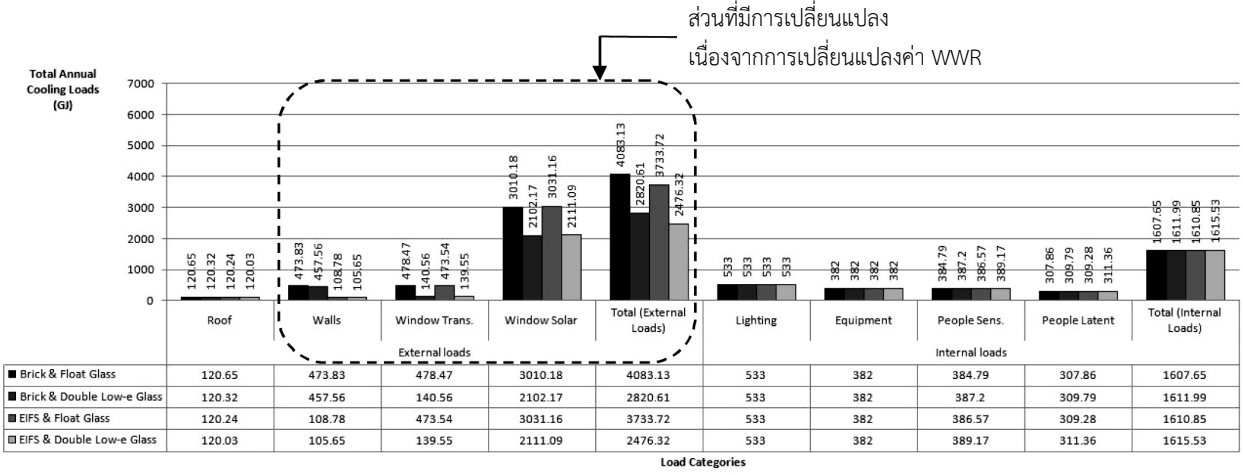
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการทดลองภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่มีขนาดช่องเปิดและวัสดุอาคารต่างกันในอาคารสำนักงานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม Ener-Win สามารถนำมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรและเปรียบเทียบอิทธิพลของช่องเปิดและวัสดุอาคาร ได้ดังนี้

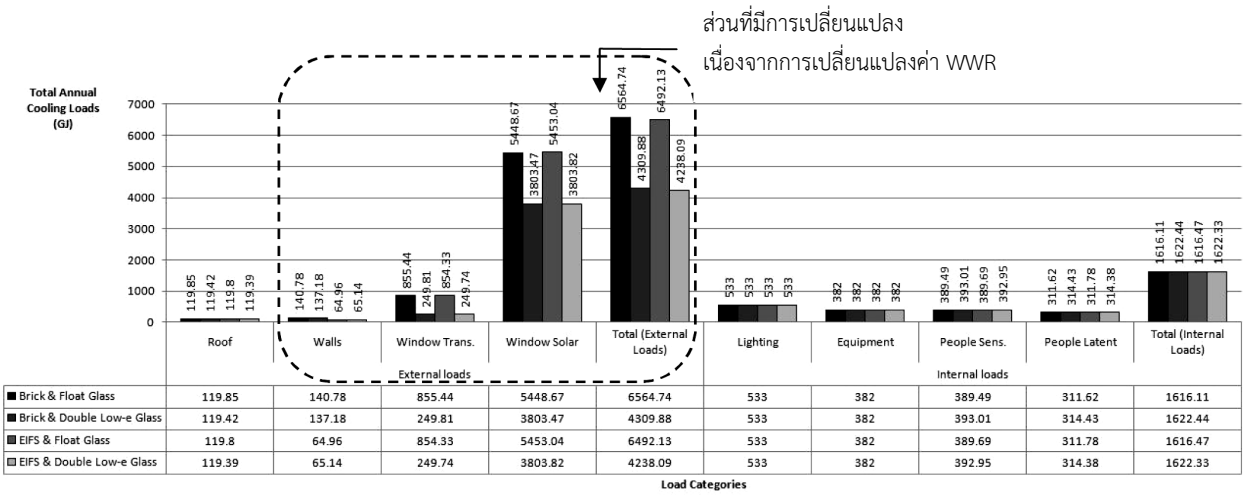
1. ภาระการทำความเย็นแต่ละประเภทของอาคารสำนักงาน (Total Annual Cooling Loads) ในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของช่องเปิดและวัสดุอาคารที่มีผลเฉพาะต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) อิทธิพลจากภายนอกอาคาร (External Loads) และ 2) อิทธิพลจากภายในอาคาร (Internal Loads) ซึ่งอิทธิพลจากภายนอกอาคารนี้ ได้แก่ ความร้อนบนหลังคา (Roof) ความร้อนผ่านผนังทึบ (Walls) ความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (Windows Transmission) และความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Windows Solar) ส่วนอิทธิพลจากภายในอาคาร ได้แก่ ความร้อนจากแสงประดิษฐ์ (Lighting) ความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า (Equipment) ความร้อนสัมผัสจากคน (People Sensible Heat) และความร้อนแฝงจากคน (People Latent Heat) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 8 – 10



ภาพที่ 8 ค่าภาระการทำความเย็นแต่ละประเภทของอาคารสำนักงาน (Total Annual Cooling Loads) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 10%



ภาพที่ 9 ค่าภาระการทำความเย็นแต่ละประเภทของอาคารสำนักงาน (Total Annual Cooling Loads) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 50%



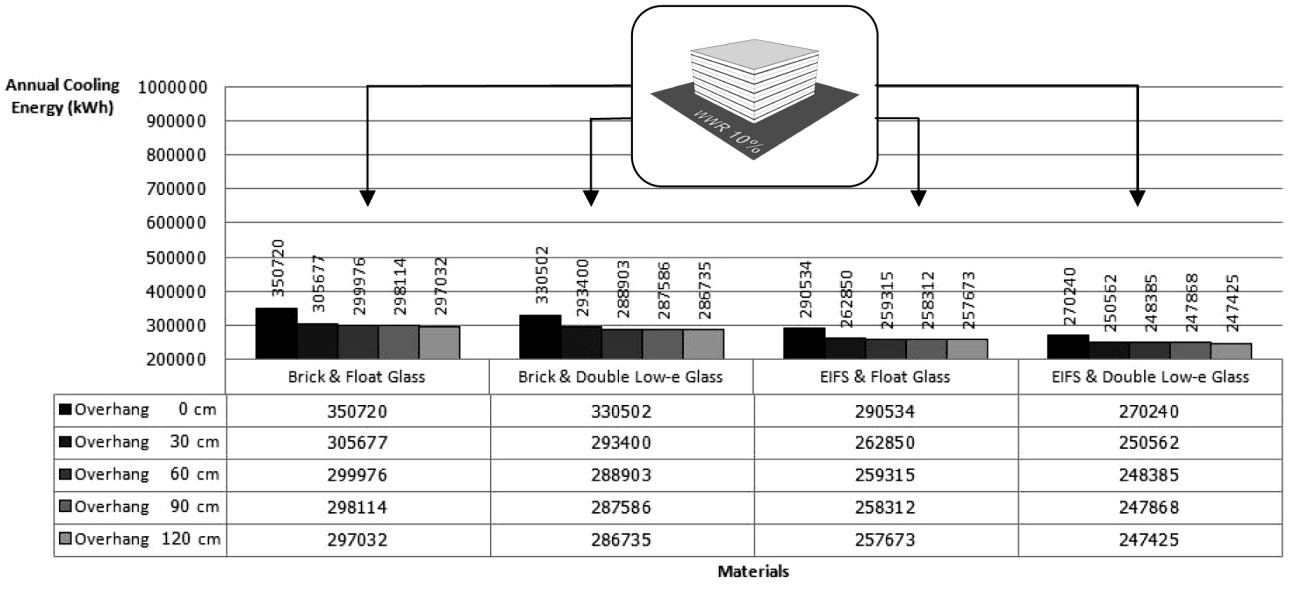
	Roof	Walls	Window Trans.	Window Solar	Total (External Loads)	Lighting	Equipment	People Sens.	People Latent	Total (Internal Loads)
Brick & Float Glass	119.85	140.78	855.44	5448.67	6564.74	533	382	389.49	311.62	1616.11
Brick & Double Low-e Glass	119.42	137.18	249.81	3803.47	4309.88	533	382	393.01	314.43	1622.44
EIFS & Float Glass	119.8	64.96	854.33	5453.04	6492.13	533	382	389.69	311.78	1616.47
EIFS & Double Low-e Glass	119.39	65.14	249.74	3803.82	4238.09	533	382	392.95	314.38	1622.33

ภาพที่ 10 ค่าภาระการทำความเย็นแต่ละประเภทของอาคารสำนักงาน (Total Annual Cooling Loads) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 90%

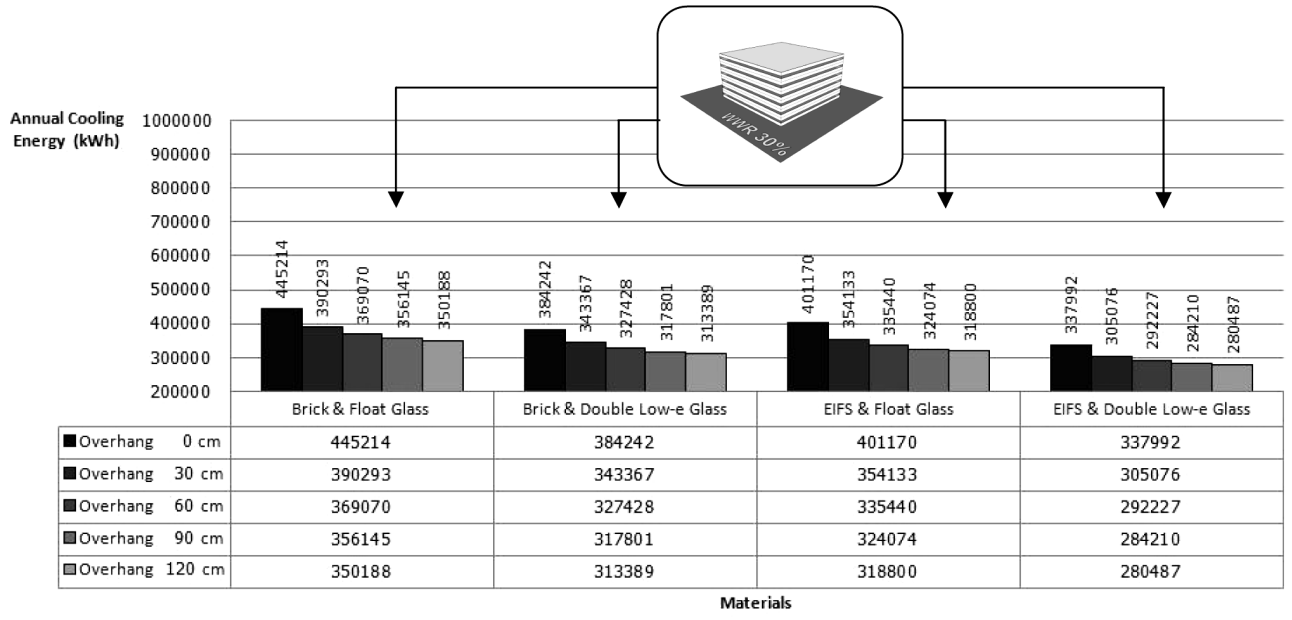
จากผลการทดลองในตารางที่ 8 – 10 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบวัสดุอาคารในกลุ่มเดียวกัน ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอิทธิพลภายนอกอาคารและภายในอาคารสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีอาคารที่ใช้กระจกใสเป็นวัสดุช่องเปิด โดยอิทธิพลจากภายนอกอาคารมีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศมากกว่าภายในอาคาร ซึ่งอาคารสำนักงานขนาดกลางได้รับอิทธิพลความร้อนจากหลังคาต่ำ หากเป็นอาคารที่มีความสูงน้อยกว่า โดยเฉพาะบ้านพักอาศัย อิทธิพลความร้อนจากหลังคาจะมีมากขึ้น ในอาคารสำนักงานขนาดกลางนี้ ส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ คือ ความร้อนผ่านผนังทึบ (Walls) ความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (Windows Transmission) และความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Windows Solar) ดังนั้นหากสามารถลดค่าความร้อนเหล่านี้ได้ ค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยรวมจะลดลง อย่างไรก็ตามถึงแม้จะใช้วัสดุอาคารที่มีประสิทธิภาพดี หากไม่มีการทำอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิดจากอิทธิพลภายนอกอาคารยังคงสูงมาก ดังนั้นการเพิ่มอุปกรณ์การบังแดดจึงมีส่วนสำคัญในการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

การเปลี่ยนวัสดุช่องเปิดจากกระจกใส (Float Glass) เป็นกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) ค่าการลดลงของความร้อนผ่านกระจกโดยการนำความร้อน (Windows Transmission) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71% ในทางกลับกันค่าการลดลงของความร้อนผ่านกระจกโดยการแผ่รังสีความร้อน (Windows Solar) มีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30% ส่วนค่าการลดลงของภาระการทำความเย็นที่มีอิทธิพลจากภายนอกอาคาร (External Loads) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมากขึ้น ในขณะที่การเปลี่ยนวัสดุผนังอาคารจากผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) เป็นระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) ในอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเท่ากัน มีผลต่อการป้องกันความร้อนผ่านผนังทึบ (Walls) การเปลี่ยนวัสดุผนังอาคารทำให้มีผลต่อค่าภาระการทำความเย็นที่มีอิทธิพลจากภายนอกอาคารลดลง โดยค่าการลดลงของความร้อนผ่านผนังทึบ (Walls) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75% ส่วนค่าการลดลงของภาระการทำความเย็นที่มีอิทธิพลจากภายนอกอาคาร (External Loads) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมากขึ้น

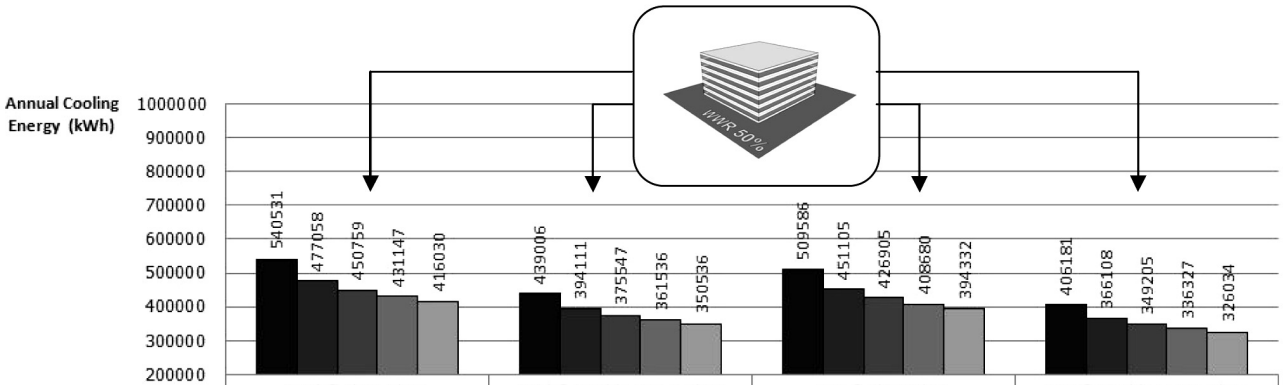
2. ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) เท่ากัน แต่มีวัสดุช่องเปิดและวัสดุผนังอาคารต่างชนิดกัน รวมถึงเปรียบเทียบอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Overhang) ที่มี 5 รูปแบบความยาวตั้งแต่ 0 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร



ภาพที่ 11 ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 10%



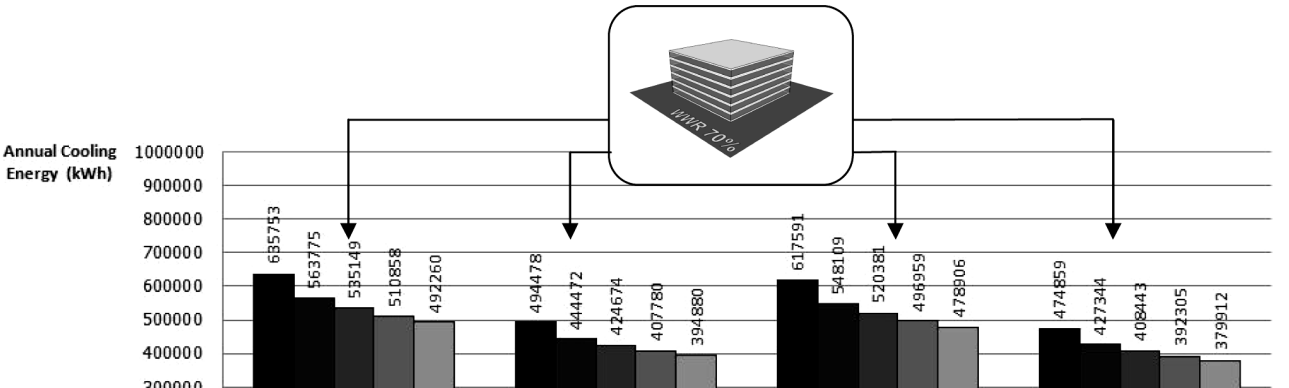
ภาพที่ 12 ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 30%



	Brick & Float Glass	Brick & Double Low-e Glass	EIFS & Float Glass	EIFS & Double Low-e Glass
Overhang 0 cm	540531	439006	509586	406181
Overhang 30 cm	477058	394111	451105	366108
Overhang 60 cm	450759	375547	426905	349205
Overhang 90 cm	431147	361536	408680	336327
Overhang 120 cm	416030	350536	394332	326034

Materials

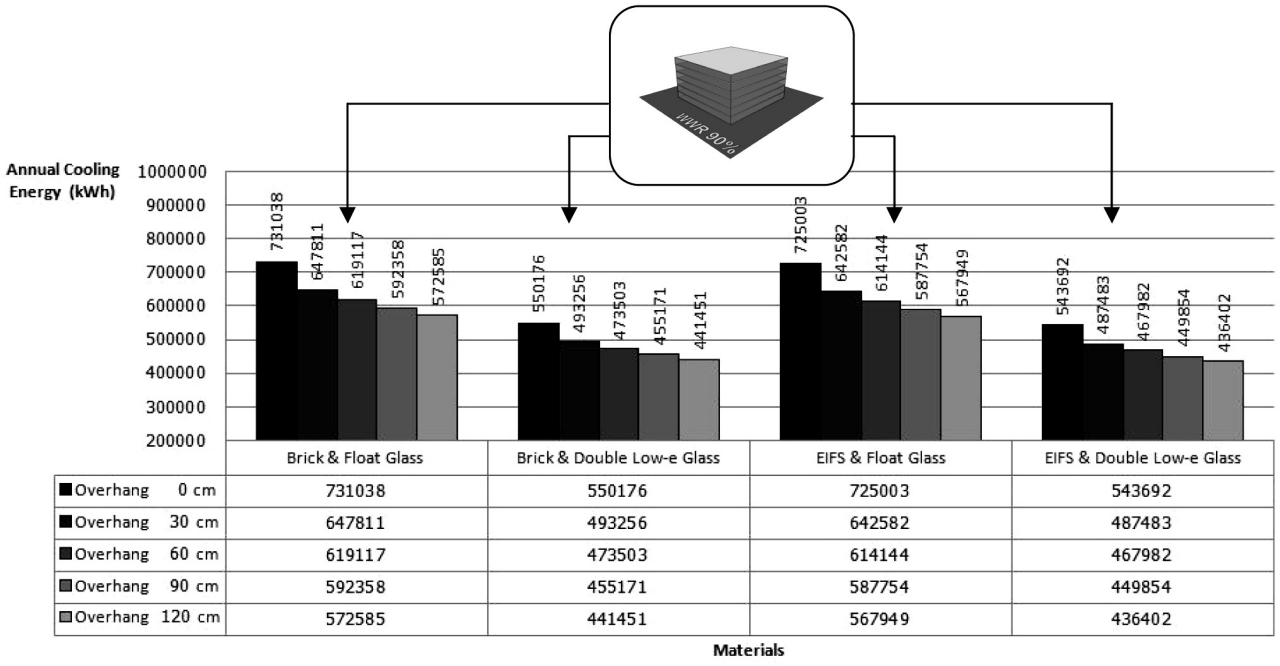
ภาพที่ 13 ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 50%



	Brick & Float Glass	Brick & Double Low-e Glass	EIFS & Float Glass	EIFS & Double Low-e Glass
Overhang 0 cm	635753	494478	617591	474859
Overhang 30 cm	563775	444472	548109	427344
Overhang 60 cm	535149	424674	520381	408443
Overhang 90 cm	510858	407780	496959	392305
Overhang 120 cm	492260	394880	478906	379912

Materials

ภาพที่ 14 ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 70%



ภาพที่ 15 ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน แบบรายปี (Annual Cooling Energy) ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร WWR 90%

จากผลการทดลองในภาพที่ 11 – 15 พบว่าการเลือกใช้วัสดุผนังอาคารที่เป็นระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) มีประสิทธิภาพในการลดค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวเมื่ออาคารสำนักงานมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารน้อย ส่วนในอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมาก การเปลี่ยนวัสดุช่องเปิดจากกระจกใส (Float Glass) เป็นกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) มีประสิทธิภาพดีกว่าการการเปลี่ยนวัสดุผนังอาคารจากผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) เป็นระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) เนื่องจากช่องเปิดมีอิทธิพลในการลดการถ่ายเทความร้อนมากกว่าผนังอาคารส่วนผนังทึบ ซึ่งในกรณีที่อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารน้อย การเลือกเปลี่ยนวัสดุผนังอาคารส่วนผนังทึบจากผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวเป็นผนัง EIFS จะช่วยลดค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้มากถึง 18.23% แต่ในกรณีที่อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมาก การเลือกเปลี่ยนวัสดุช่องเปิดจากกระจกใสเป็นกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ จะช่วยลดค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงานได้มากถึง 25% และเมื่อพิจารณาถึงการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนภายนอกอาคาร พบว่าค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวของอุปกรณ์บังแดดมากขึ้นตามลำดับ

อาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมาก (WWR 90%) ที่ใช้ผนัง EIFS และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ มีค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่า โดยคิดเป็น 1.6 เท่า ของอาคารสำนักงานที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารน้อย (WWR 10%) ที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารมีอิทธิพลในการเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศมากกว่าวัสดุอาคาร ถึงแม้จะใช้วัสดุอาคารที่มีประสิทธิภาพดี หากมีพื้นที่ช่องเปิดที่มากเกินไปจะทำให้ค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและการคำนวณหาสมการ Multiple Regression ในแต่ละกลุ่มวัสดุอาคาร โดยการคำนวณหาสมการในโปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย IBM (2013) เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

- สมการของอาคารสำนักงานที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass)

y = 404,966.5(WWR) – 89,754.3(OVH) + 318,515.6 (R Square = 0.974) สมการที่ 1

- สมการของอาคารสำนักงานที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีสูง (Double Low-e Glass)

y = 233,291.9(WWR) – 64,103.9(OVH) + 308,773.6 (R Square = 0.966) สมการที่ 2

- สมการของอาคารสำนักงานที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass)

y = 454,582.5(WWR) – 82,363.2(OVH) + 264,218.1 (R Square = 0.978) สมการที่ 3

- สมการของอาคารสำนักงานที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีสูง (Double Low-e Glass)

y = 282,473.7(WWR) – 56,761.1(OVH) + 253,484 (R Square = 0.973) สมการที่ 4

โดยที่ y = ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแบบรายปี Annual Cooling Energy (kwh)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร หรือ Window-to-Wall Ratio (%)

OVH = ความยาวของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Overhang) ในทุกด้าน (เมตร)

จากสมการที่ 1 – 4 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 1 และ 2 อาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) มากกว่าอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) 1.7 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารลดลง เมื่อวัสดุช่องเปิดมีประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้กระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมีประสิทธิภาพดีกว่ากระจกใส 6 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ลดลง โดยคิดเป็น 1.4 เท่า ในขณะที่ค่าคงที่ (Constant) ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ของทั้ง 2 กลุ่มวัสดุอาคารมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 6 มิลลิเมตร มีค่ามากกว่า 9,742 หน่วย (kwh)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 3 และ 4 พบว่าอาคารที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) มากกว่าอาคารที่ใช้ผนัง EIFS และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) 1.6 เท่า เช่นเดียวกับอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ลดลง โดยคิดเป็น 1.5 เท่า เนื่องจากวัสดุช่องเปิดมีประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนน้อยกว่า ซึ่งในกรณีนี้กระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมีประสิทธิภาพดีกว่ากระจกใส 6 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าคงที่ของทั้ง 2 กลุ่มวัสดุอาคารมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอาคารที่ใช้ผนัง EIFS และกระจกใส มีค่ามากกว่า 10,734.1 หน่วย (kwh)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 1 และ 3 พบว่าอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) น้อยกว่าอาคารที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) 1.1 เท่า ในขณะที่อิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนมากกว่า โดยคิดเป็น 1.1 เท่า และค่าคงที่ในอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 6 มิลลิเมตร ที่มีค่ามากกว่า 54,297.5 หน่วย (kwh)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2 และ 4 พบว่าอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) น้อยกว่าอาคารที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) 1.2 เท่า ในขณะที่อิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนมากกว่า โดยคิดเป็น 1.1 เท่า และค่าคงที่ในอาคารที่ใช้ผนังก่อ

อิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำที่มีค่ามากกว่า 55,289.6 หน่วย (kwh)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 1 และ 4 พบว่าอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) มากกว่าอาคารที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) 1.4 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารลดลง เมื่อวัสดุช่องเปิดและผนังอาคารมีประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ผนัง EIFS และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมีประสิทธิภาพดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 6 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ลดลง โดยคิดเป็น 1.6 เท่า ส่วนค่าคงที่ในอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 6 มิลลิเมตร มีค่ามากกว่า 65,031.6 หน่วย (kwh)

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2 และ 3 พบว่าอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว (Brick) และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-e Glass) มีค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) น้อยกว่าอาคารที่ใช้ระบบผนังโฟมโครงคร่าวโลหะฉาบด้วยวัสดุชนิดพิเศษ (EIFS) และกระจกใส 6 มิลลิเมตร (Float Glass) 1.9 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมีประสิทธิภาพดีกว่าผนัง EIFS และกระจกใส 6 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่เพิ่มขึ้น โดยคิดเป็น 1.3 เท่า ส่วนค่าคงที่ในอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาวและกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำ มีค่ามากกว่า 44,555.5 หน่วย (kwh)

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและจำลองเฉพาะอาคารสำนักงานขนาดกลาง ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยในอาคารรวมทั้งหมดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร และมีความสูงไม่เกิน 23 เมตร โดยกำหนดให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 30 x 30 เมตร มีทั้งหมด 6 ชั้น แต่ละชั้นสูง 3.5 เมตร (ระดับพื้นถึงพื้น) เท่านั้น การศึกษาและเปรียบเทียบอาคารสำนักงานขนาดอื่นอาจได้ผลที่แตกต่าง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป

2. การวิจัยนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิดจากอิทธิพลของ ดวงอาทิตย์เท่านั้นโดยไม่รวมถึงภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) และอิทธิพลของสิ่งปลูกสร้างรอบอาคาร

3. การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบเพียง 5 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารในทุกด้านของอาคาร การศึกษาพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารโดยกำหนดทิศทาง (ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก) จึงเป็นเรื่องที่ควรทำการศึกษาเพื่อทำให้ทราบถึงอิทธิพลของทิศทางต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

4. การวิจัยนี้ทำการศึกษาวัสดุช่องเปิดและวัสดุผนังอาคารเพียง 4 ชนิดเท่านั้น ซึ่งในอนาคตนอกจากผนังก่ออิฐฉาบปูนสีขาว ผนัง EIFS กระจกใส และกระจกใส 2 ชั้นเคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำแล้ว วัสดุอื่นอาจมีความสามารถในการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ดี ดังนั้นการเลือกวัสดุอื่นมาทดสอบเปรียบเทียบกัน อาจได้ข้อมูลที่น่าสนใจยิ่งขึ้น

5. ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุอาคาร นอกจากจะพิจารณาถึงเรื่องภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงเรื่องราคาต่อหน่วยของวัสดุด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2547. **โครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม.** [ออนไลน์] [เมื่อ 18 ธันวาคม 2555], เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/dede/handbookbuild/finalreport/FR.pdf.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. **หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร แต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร.** [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2555], เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/dede/images/stories/lawpdf/p01[1].pdf.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553.** [ออนไลน์] [เมื่อ 18 ธันวาคม 2555], เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13.pdf.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2542. **การใช้กระจก.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม. กรมอุตุนิยมวิทยา. (2556). **ภูมิอากาศของประเทศไทย.** [ออนไลน์] [อ้างเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2556,] เข้าถึงได้จาก http://www.tmd.go.th//info/info.php? FileID=22.

ไกรทอง โชติวุฒิพัฒนา. 2548. **เอกสารแปลคู่มือการใช้ Ener-Win 97.2000.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. 2555. **เปลือกอาคารสำเร็จรูปประหยัดพลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทยต่อยอดองค์ความรู้บ้านประหยัดพลังงาน.** กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2535. **การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.** [ออนไลน์] [อ้างเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2556,] เข้าถึงได้จาก http://www.onep.go.th/download/energy/energy_law2.pdf.

รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. 2543. **อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนทร บุญญาธิการ. 2545. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า.** กรุงเทพฯ: โอเอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.

Degelman Engineering Group. 2007. **Ener-Win Energy Simulation Software for Buildings.** [Retrieved August 23, 2012], from, http://pages.suddenlink.net/enerwin/.

IBM. (2013). **SPSS Software.** [Online] Retrieved June 18, 2013, from, http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/.

พิมพ์ที่ : หจก.โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา 232/199 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
Tel. 0-4332-8589-91 Fax. 0-4332-8592 E-mail : klungpress@hotmail.com 2557 รหัส 08