

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน
ราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร
Guidelines for Increasing Energy Efficiency of Large Government
Office Buildings by Improving Building Envelope Materials

ปานุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล¹ และ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตร²
Panupong Yanwaisakul¹ and Atch Sreshthaputra, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: panupong88@gmail.com¹, atch.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลอง (Simulation research) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกณฑ์การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารในส่วนของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยใช้อาคารที่ทำการกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 เป็นอาคารกรณีศึกษา การศึกษา วิจัยจะประกอบด้วย การสร้างอาคารอ้างอิงด้วยการจำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยปรับปรุงอาคารสำนักงานอ้างอิงให้มีความสอดคล้องกับอาคารสำนักงานราชการ การใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพาราเมตริก (Parameterization) สัมประสิทธิ์ในสมการการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารตามกฎกระทรวงกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 การหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 10% จากฐานการใช้พลังงานเฉลี่ยของอาคารราชการ ผลการวิจัยเสนอสมการการคำนวณค่า OTTV ของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง เรียกว่า OTTV ราชการ แบ่งเป็น 2 สมการตามทิศทางของอาคาร ค่า OTTV ราชการ อาคารในทิศทาง A (หันด้านยาวของอาคารไปทิศเหนือและใต้) เท่ากับ 32.525 W/m^2 และค่า OTTV ราชการ อาคารในทิศทาง B, C และ D (หันด้านยาวของอาคารไปทิศทางอื่น) เท่ากับ 22.469 W/m^2 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการทิศทาง A ได้แก่ TDeq, ΔT และ ESR เท่ากับ 6.054, 3.375, 44.2 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการทิศทาง B C และ D ได้แก่ TDeq, ΔT และ ESR เท่ากับ 6.337, 3.496 และ 61.85 ตามลำดับ อาคารอ้างอิงใช้พลังงานไฟฟ้ารวม $112.94 \text{ kWh/m}^2\text{-year}$

Abstract

This is a simulation research with an aim to improve the criteria for evaluating overall heat transfer via the building envelope in large government office buildings in order to increase energy efficiency. The building of the Department of Public Works and Town & Country Planning Office, Rama 6 Road, was used as a case study. The research study comprised: the creation of the

reference building model using the Visual DOE 4.1 program, adjusting the reference building to be line with government office buildings, the use of statistical parameterization to find the average heat transfer co-efficients via the building envelope according to the Ministerial Regulation of the Ministry of Energy B.E. 2552, and the establishment of guidelines to increase the efficiency of energy use of large government office buildings by improving the building envelope materials so that they can reduce energy use by 10% from the basis of average energy use by government office buildings. The research results suggest equations for OTTV calculations for large government office buildings, referred to as official governmental OTTV. The equations are grouped into two types according to the building direction. The official governmental OTTV for buildings in A direction is 32.525 W/m² while that in B, C, D directions is 22.469 W/m². The average coefficients in the equation in the A direction are TDeq, ΔT and ESR of 6.054, 3.375, and 44.2 respectively. Meanwhile, those in the equation in the B, C, and D directions are TDeq, ΔT and ESR of 6.337, 3.496 and 61.85 respectively. The reference building uses a total of 112.94 kWh/m² per year of electrical power energy.

คำสำคัญ (Keywords): แนวทาง (Guidelines), ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency), การจำลองการใช้พลังงานในอาคาร (Building Energy Simulation), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV), อาคารอ้างอิง (Reference Building)

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารนับตั้งแต่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 กฎกระทรวง พ.ศ. 2538 และ กฎกระทรวง พ.ศ. 2552 กำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ความคุม
งานวิจัยเรื่อง “An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand” รายงานอาคารสำนักงานต้นแบบ (รูปที่ 1) และรายละเอียดของอาคารที่จำลองด้วยโปรแกรม DOE-2 เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ

OTTV และสมการพลังงาน (Chirarattananon, & Taveekun, 2004) โดยการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric Studies ในสูตรการคำนวณ (1)

$$OTTV = (U_w)(1-WWR)(TDeq) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (1)$$

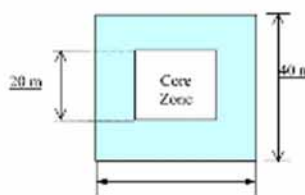


Fig. 4. A generic building model.

รูปที่ 1 สำนักงานต้นแบบที่ใช้ในพัฒนาสูตร OTTV และสมการพลังงาน

เมื่อพิจารณาอาคารต้นแบบซึ่งมีผนังอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบ่งโซนอาคารเป็น 4 โซน จะพบว่า มีลักษณะเหมือนอาคารสำนักงานเอกชนโดยทั่วไป ซึ่งมีความแตกต่างกับลักษณะทางกายภาพของอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษซึ่งผนังมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีระเบียบเพื่อติดตั้งระบบปรับอากาศ และมีตารางการเปิด-ปิดระบบปรับอากาศที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชน ทำให้ค่า OTTV และค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารสำนักงานราชการแตกต่างจากการคำนวณตามกฎหมายกระทรวง พ.ศ. 2552

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีขึ้นเพื่อพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) พัฒนาเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบและปรับปรุงอาคารราชการขนาดใหญ่พิเศษในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้า

2. ขั้นตอนการศึกษา

2.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

2.2 สรุปรวอาคารกรณีศึกษา

2.3 การสร้างอาคารสำนักงานราชการอ้างอิง

2.4 การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ แล้วจำลองอาคารต้นแบบด้วยการเปลี่ยนตัวแปรที่กำหนด หาค่าภาระการทำความเย็นของ Cooling Coil เมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์จาก Visual DOE 4.1 เพื่อหาค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มแบบพหุคูณด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ของค่า TDeq, ΔT และ ESR ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ OTTV

สำหรับอาคารราชการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะแทนด้วย OTTV ราชการ สมการ (2)

$$OTTV \text{ ราชการ} = (TDeq)(U_w)(1-WWR) + (\Delta T)(U_f)(WWR) + (ESR)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (2)$$

สมการ (2) ประกอบด้วย 3 เทอม ซึ่งเป็นผลของกลไกการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ดังนี้

- ค่าการนำความร้อนผ่านผนังที่บี

$$TDeq(1 - WWR)(U_w) = \frac{\sum_{1 \text{ year}} Q_{\text{wall, cond}}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (3)$$

- ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก

$$\Delta T(WWR)(U_f) = \frac{\sum_{1 \text{ year}} Q_{\text{win, cond}}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (4)$$

- ค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar radiation through glass windows)

$$(ESR)(WWR)(SHGC)(SC) = \frac{\sum_{1 \text{ year}} Q_{\text{win, rad}}}{\text{annual operating hours} \times A} \quad (5)$$

2.5 สรุปรผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาวิจัย

3. การสำรวจอาคาร และการจำลองการใช้พลังงานสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษอ้างอิง

อาคารกรณีศึกษาที่ใช้เป็นอาคารอ้างอิงมีผนังสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 16 เมตร และยาว 60 เมตรสูง 21 ชั้น มีพื้นที่สัญจรแนวตั้งที่ปลายอาคารทั้งสองข้าง WWR 33.48 % (เฉพาะผนังที่ปรับอากาศ) พื้นที่ทั้งอาคาร 19,776 ตร.ม. พื้นที่ปรับอากาศ 11,472 ตร.ม. พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 8,294 ตร.ม. เปลือกอาคารเป็นผนัง คสล.

และหน้าต่างอลูมิเนียมกระจกตัดแสงสีชา มีส่วนยื่นบังแดดประมาณ 1.50-2.40 เมตร ระบบปรับอากาศชนิด CAV เวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศ 9.00–16.00 น. ตั้งอุณหภูมิปรับอากาศ 25 °C

ผลจากจำลอง พบว่า อาคารอ้างอิง มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารรวม 112.94 kWh/m²-y สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิง ระบบปรับอากาศ 48% ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 27% และเครื่องใช้ไฟฟ้า 25%

4. การแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ (Parametric studies) เพื่อพัฒนาสูตรการคำนวณ OTTV

การกำหนดตัวแปรในงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอ้างอิงที่มีลักษณะแบบจำลองแตกต่าง 400 แบบ ได้แก่ ทิศทางการวางอาคาร 4 ทิศทาง (รูปที่ 2) ค่า Uf ของผนัง 5 ชนิด (0.568-4.285 W/m². °C) ,ค่า Uf ของกระจก 5 ชนิด (1.658-6.172 W/m².°C), ค่า SHGC ของกระจก 5 ชนิด (0.285-0.815), WWR 4 ค่า 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 และค่า OTTV ราชการ (ค่าภาระการทำความเย็นของจาก Visual DOE4.1 หารชั่วโมงทำงานและพื้นที่กรอบอาคาร)



รูปที่ 2 แสดงทิศทางการวางอาคารสำนักงานราชการอ้างอิง

สมการที่ใช้ในการในการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ในสมการ OTTV ราชการ คือ สมการ (2) ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ผลจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นของข้อมูล 400 ชุด ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์จากการ

วิเคราะห์ถดถอย (ตารางที่ 1) คือ TDeq, ΔT และ ESR เท่ากับ 6.266, 3.466 และ 57.439 ตามลำดับ ดังนั้น สมการ OTTV (เฉลี่ยทุกทิศ) สำหรับอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ คือ

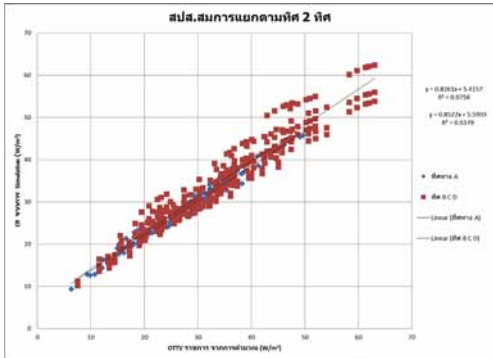
$$OTTV_{ราชการ} = (6.266)(U_w)(1-WWR) + (3.466)(U_f)(WWR) + (57.439)(WWR)(SHGC)(SC) \quad (6)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV ราชการ (W/m²_wall) ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (6) และ CR (Cooling Requirement, W/m²_wall) ความต้องการความเย็นต่อหน่วยพื้นที่ผนัง ซึ่งได้มาจากแบบจำลองใน Visual DOE ค่า R² เท่ากับ 0.882

จากการวิจัย พบว่า TDeq ΔT และ ESR ในสมการ OTTVราชการ ซึ่งได้จากการ Regression มีค่าลดลงจากกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 เนื่องจากผนังอาคารอาคารที่เป็นสีเหลี่ยมผืนผ้า และลักษณะการวางแกนสัจจทางตั้งที่ปลายทั้งสองข้างของอาคารอ้างอิงทำให้พื้นที่ปรับอากาศได้รับรังสีอาทิตย์เพียง 2 ด้าน และการมีอุปกรณ์บังแดดให้ช่องเปิดทำให้ลดผลกระทบจากรังสีอาทิตย์ได้มาก

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยของอาคารที่วางทิศทางต่างกัน

ทิศทางอาคาร	TDeq	Δ T	ESR
A	6.053	3.375	44.199
B	6.482	3.540	69.767
C	6.227	3.474	56.124
D	6.302	3.474	59.665
เฉลี่ย	6.266	3.466	57.439



แผนภูมิที่ 1 ความสัมพันธ์ของ OTTV ราชการ กับ CR

จากการแยกสูตรคำนวณค่า OTTV ราชการ ตามทิศทางอาคารทั้ง 4 ทิศแสดงให้เห็นว่า ทิศทางการวางอาคารมีผลต่อค่า OTTV ราชการ (ตารางที่ 1) ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร OTTV ราชการ ทิศทาง A มีค่า OTTV สูงสุด 50.671 และค่าต่ำสุด 6.389 W/m²_wall และค่า ESR เท่ากับ 44.2 ส่วนค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตร OTTV ราชการ ในทิศทาง B, C และ D มีค่า OTTV สูงสุด 68.523 และค่าต่ำสุด 7.181 W/m²_wall และค่า ESR ในทิศทาง B, C และ D เท่ากับ 69.768, 56.124 และ 59.665 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงแยกสมการเป็น 2 สมการ

ทิศทาง A OTTV ราชการ = (6.054)(U_w)(1-WWR) + (3.375)(U_f)(WWR) + (44.2)(WWR)(SHGC)(SC) (7)

ทิศทาง B, C, D OTTV ราชการ = (6.337)(U_w)(1-WWR) + (3.496)(U_f)(WWR) + (61.852)(WWR)(SHGC)(SC) (8)

ค่า R² ของสมการ OTTV ราชการ ทิศทาง A เท่ากับ 0.9756 และค่า R² ของสมการ OTTV ราชการ ในทิศทาง B C D เท่ากับ 0.9379 ตามแผนภูมิที่ 1

5. การพิจารณา Baseline ของ OTTV ราชการ ในแต่ละทิศทาง

การวิจัยครั้งนี้หา baseline ของ OTTV ราชการ (W/m²_wall) โดยใช้ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ (Cooling Energy, CE) ที่ได้รับการจำลองอาคารอ้างอิงในโปรแกรมหน่วย (kWh/m²_floor-year) ในทิศทาง A, B, C และ D ได้ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศอาคารอ้างอิง 42.062 kWh/m²-y แล้วนำมาแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV และ Cooling Energy (kWh/m²_floor-year) สมการ (9) และ (10) จะได้ค่า baseline ของ OTTV ราชการ ทิศทาง A เท่ากับ 32.525 W/m² และ baseline ของ OTTV ราชการ ทิศทาง B, C และ D เท่ากับ 22.469 W/m²_wall ตามแผนภูมิที่ 2

ทิศทาง A

CE (Cooling Energy) = 0.8047OTTV + 15.889 (9)

ทิศทาง B, C, D

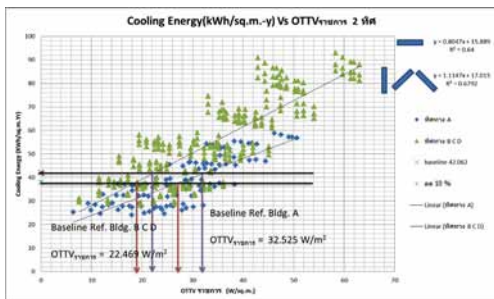
CE (Cooling Energy) = 1.1147OTTV + 17.015 (10)

การปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 10 % ซึ่งเป็นนโยบายโดยทั่วไปของภาครัฐ ฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของอาคารอ้างอิง ซึ่งมี WWR 32.29 ในพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร คือ 42.062 kWh/m²_floor-year (ค่า baseline OTTV ราชการ เท่ากับ 22.469 W/m²_wall) ซึ่งเมื่อปรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 10% แล้ว จะมีค่าพลังงานที่ใช้ในการทำควมเย็น (Cooling Energy) ของอาคารอ้างอิง 37.855 kWh/m²_floor-year (ค่า OTTV ราชการ เท่ากับ 18.696 W/m²_wall) การพิจารณากำหนดค่า U_w, U_f และ SHGC เบื้องต้น พิจารณาจากการแปรชนิดวัสดุให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ เพื่อให้สะดวกต่อ

ตารางที่ 3 ค่า Baseline (อาคารอ้างอิง WWR 32.29) ของ OTTV ราชการ และค่า OTTV ราชการ เมื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ (Cooling Energy) ลง 10% จาก Baseline

สูตรการคำนวณ	OTTVbaseline (W/m ²)	ลด 10 % จาก OTTVbaseline (W/m ²)
ทิศทาง A จากสมการ (7) $\text{OTTV}_{\text{ราชการ}} = (6.054)(U_w)(1-\text{WWR}) + (3.375)(U_f)(\text{WWR}) + (44.2)(\text{WWR})(\text{SHGC})(\text{SC})$	ไม่เกิน 32.525 U _w ไม่เกิน 3.5 U _f ไม่เกิน 7 SHGC ไม่เกิน 0.7	ไม่เกิน 27.298 U _w ไม่เกิน 3.3 U _f ไม่เกิน 6 SHGC ไม่เกิน 0.6
ทิศทาง B ,C และ D จากสมการ (8) $\text{OTTV}_{\text{ราชการ}} = (6.337)(U_w)(1-\text{WWR}) + (3.496)(U_f)(\text{WWR}) + (61.852)(\text{WWR})(\text{SHGC})(\text{SC})$	ไม่เกิน 22.469 U _w ไม่เกิน 1.2 U _f ไม่เกิน 3.3 SHGC ไม่เกิน 0.6	ไม่เกิน 18.696 U _w ไม่เกิน 0.3 U _f ไม่เกิน 3.3 SHGC ไม่เกิน 0.6

การพิจารณาค่า OTTV ราชการ ที่ต้องการ แล้วจึงไปเลือกวัสดุกรอบอาคารที่มีค่า U_w, U_f และ SHGC ใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 3 แล้วจึงนำไปคำนวณตามสมการ OTTV ราชการ เพื่อหาค่าที่ถูกต้องอีกครั้ง



แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง OTTV ราชการ แยกตามทิศ 2 ทิศ (W/m²_wall) กับ Cooling Energy (kWh/m²_floor-year)

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษที่มีการก่อสร้างในปัจจุบัน พบว่า มีการใช้งาน และลักษณะทางกายภาพของอาคารที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานเอกชนโดยทั่วไปซึ่งแตกต่างกับอาคารสำนักงานอ้างอิงที่ใช้ในการ

ออกกฎกระทรวง 2552 (Chirattananon & Taveekun, 2004) ตารางปิด-เปิดระบบปรับอากาศ แตกต่างจากอาคารอ้างอิงตามกฎกระทรวง ซึ่งมีลักษณะเป็นสำนักงานเอกชน (ใช้งาน 2,340 ชั่วโมงต่อปี ทำงาน 8.00-17.00 น.) การมีอุปกรณ์กันแดดให้ช่องเปิด และลักษณะการวางแปลนอาคารราชการที่มักมีขนาดใหญ่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่า OTTV ราชการ จึงมีค่าต่ำกว่าการคำนวณที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง 2552 เนื่องจากสมการคำนวณ OTTV ราชการ มีค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงพลังงาน 2552 ตามตารางที่ 4

สมการคำนวณค่า OTTV ในงานวิจัยอื่น ๆ มีรายละเอียดตามตารางที่ 5 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐาน และค่าพลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี (kWh/m²-year) ของอาคารอ้างอิงที่ใช้ในการวิจัยมีรายละเอียดตามตารางที่ 6

Chirattananon, Chaiwiwatworakul, Hien & Kubaha (2010) กำหนดพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในอาคารสำนักงานอ้างอิง 146.6 kWh/m²-year และค่า OTTV 61.40 W/m² โดยกำหนดจากฐาน

68 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษ ด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร ภาณุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล และ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่า TDeq, ΔT, ESR ที่ประกาศในกฎกระทรวง พ.ศ. 2552 และในงานวิจัยอื่น

ที่มา	TDeq	ΔT	ESR
กฎกระทรวง พ.ศ. 2552	7.1-27.8	5	185.06-267.41
ภาณุพงษ์ (2555)	(6.05 และ 6.34)	(3.375 และ 3.496)	(44.2 และ 61.85)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	สมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร
Chirarattanon และ Taveekun (2004)	$OTTV = 13.46(U_w)(1-WWR) + 4.47(U_f)(WWR) + 172.99(SC)(WWR)$ (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก)
Chua and Chou (2010)	$ETTV_{res} = 3.4(U_w)(1-WWR) + 1.3(U_f)(WWR) + 58.6(WWR)C(CF)(SC)$ (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก)
دنุสรณ์ (2554)	$OTTV_{condo} = 5.43(U_w)(1-WWR) + 0.97(U_f)(WWR) + 91.40(SC)(SHGC)(WWR)$ (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด)
ภาณุพงษ์ (2555)	สมการทิศทาง A $OTTV_{ราชการ} = 6.054(U_w)(1-WWR) + 3.375(U_f)(WWR) + 44.2(SC)(SHGC)(WWR)$ สมการทิศทาง B C และ D $OTTV_{ราชการ} = 6.337(U_w)(1-WWR) + 3.496(U_f)(WWR) + 61.85(SC)(SHGC)(WWR)$ (SC คือสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารในงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร	การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/m ² -year)
Chirarattanon และคณะ (2010)	OTTV = 61.40 W/m ²	146.6
Chirarattanon และคณะ (2011)	OTTV = 62.9 W/m ²	219.2
Chua and Chou (2011)	ETTV _{res} = 25 W/m ² (ในอนาคต=20 W/m ²)	N/A
دنุสรณ์ (2554)	OTTV _{condo} = 26.5 W/m ²	126.2
ภาณุพงษ์ (2555)	OTTV _{ราชการ} = 32.525 W/m ² (ทิศ A) OTTV _{ราชการ} = 22.469 W/m ² (ทิศ B C และ D)	112.94

ข้อมูล ของ พพ. และกำหนดค่าดัชนีพลังงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่พิเศษที่นำมาจำลองเป็นอาคารอ้างอิง 131.7 kWh/m²-year ซึ่งมีค่าสูงกว่าอาคารสำนักงานราชการอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้มาก (69 kWh/m²-year เมื่อคิดพื้นที่รวมทั้งอาคาร และ OTTV 37 W/m²)

References

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *คู่มือมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

دنุสรณ์ บัวขจร. (2554). *การพัฒนาวิธีการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและการใช้พลังงานรวมของอาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรถจันทร์ เศรษฐบุตร. (2550). *การพัฒนาการพัฒนากฎเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาว์นเฮ้าส์*. *วารสารวิจัยและสาธิตปฏิบัติกรรม/การผังเมือง*, 5(1), 30-61.

Chirarattananon, S., & Taveekun, J. (2004). An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. *Energy and Buildings*, 36, 680-689. Retrieved May 28, 2012, from <http://www.sciencedirect.com>

Chua, K. J., & Chou, S. K. (2010). An ETTV-based approach to improving the energy performance of commercial buildings. *Energy and Buildings*, 42, 491-499. Retrieved May 28, 2012, from <http://www.sciencedirect.com>

Chua, K. J., & Chou, S. K. (2011). A performance-based method for energy efficiency improvement of buildings. *Energy and Buildings*, 52, 1829-1839. Retrieved May 28, 2012, from <http://www.sciencedirect.com>

Chua, K. J., & Chou, S. K. (2010). Energy performance of residential buildings in Singapore. *Energy*, 35, 667-678. Retrieved May 28, 2012, from <http://www.sciencedirect.com>

Pantong, K., Chirarattananon, S. & Chaiwiwatworakul, P. (2011). Development of energy conservation program for commercial buildings based on assessed energy saving. *Energy Procedia*, 9, 70-83. Retrieved May 28, 2012, from <http://www.sciencedirect.com>

การพัฒนาแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อ ประสิทธิภาพทางความร้อนสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร

The Development of Composite Board from Waste Paper and Glass Fiber for Thermal Efficiency in Building

ธนภรณ์ โภควรรณวิทย์¹ และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์²

Thanaporn Pokawanavit¹ and Pusit Lertwattanaruk, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: winter_story_winds@hotmail.com¹, lertwatt@gmail.com²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาเป็นแผ่นประกอบสำหรับเป็นผนังอาคาร สัดส่วนผสมของตัวอย่างประกอบด้วย กระดาษเหลือใช้ 4 ชนิด ได้แก่ กระดาษกล่องนม พาสเจอร์ไรส์ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษคราฟท์ และกระดาษพิมพ์เขียน โดยมีเส้นใยแก้วเหลือใช้ เป็นวัสดุผสมเพิ่มซึ่งใช้การแทนที่กระดาษต่าง ๆ ในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ และทำการศึกษาคคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 คุณสมบัติทางกลตามมาตรฐาน มอก. 878-2537 คุณสมบัติทางความร้อน รวมทั้งการจำลองการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศในอาคาร ผลการศึกษาด้านคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษกล่องนม พาสเจอร์ไรส์มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด โดยการเพิ่มขึ้นของเส้นใยแก้วทำให้ปริมาณความชื้นและการพองตัวเมื่อแช่น้ำลดลง สำหรับคุณสมบัติทางกล พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษคราฟท์มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด ด้านคุณสมบัติทางความร้อนและการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและการใช้พลังงานต่ำที่สุด โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีได้ร้อยละ 8.28 เมื่อเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

Abstract

This research aims to study the development of composite board for building wall construction. The mix proportions included 4 types of papers (pasteurized milk carton, newspaper, kraft paper and printing papers), and waste glass fiber was used as a partial replacement of paper at ratios of 0%, 10% and 20% by weight of paper. The physical and mechanical properties were investigated according to TIS876-2547 and TIS878-2537. The thermal properties of composite board specimens and simulation of the energy consumption for air-conditioning in buildings were also studied. Test results showed that the physical properties of composite boards made from pasteurized milk carton provided the highest quality.

Increasing the percentage replacement of glass fiber can reduce moisture content and thickness swelling. For the mechanical properties, the composite board made from kraft paper provided the best performance. The composite board made from newspaper yielded the best thermal properties and lowest energy consumption for air-conditioning in the building which can save the energy cost per year by 8.28% compared to masonry walls.

คำสำคัญ (Keywords): แผ่นประกอบ (Composite Board), กระดาษเหลือใช้ (Waste Paper), เส้นใยแก้วเหลือใช้ (Waste Glass Fiber), คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties), คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties), คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันรูปแบบการใช้วัสดุประกอบอาคารประเภทแผ่นประกอบมีความหลากหลายมากขึ้นซึ่งใช้ไม่ใช่วัตถุดิบหลัก ส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การขาดแคลนวัตถุดิบสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม จึงเริ่มมีการพัฒนาวัตถุดิบทดแทนอื่นมาใช้ในการผลิต

ในขณะที่ปริมาณวัสดุเหลือใช้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พบว่า คนไทยใช้กระดาษเฉลี่ยปีละ 3.9 ล้านตัน และมีปริมาณขยะกระดาษที่เกิดขึ้นในประเทศ 2.7 ล้านตันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) โดยกระดาษแต่ละชนิดสามารถนำมาทำแผ่นประกอบที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้งานสำหรับอาคาร เช่น วงกบ ผนัง วัสดุตกแต่งผนัง และฝ้าเพดาน (Okino, Santana & Souza, 2000) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันตามคุณภาพของเยื่อกระดาษ (เยื่อเคมี กึ่งเคมี และเชิงกล) นอกจากนี้ยังมีเส้นใยแก้วเหลือทิ้งจากโรงงาน ที่มีคุณสมบัติในการเสริมแรงและมีความเป็นฉนวนที่ดี ถูกกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ที่ดินในอนาคต ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการพัฒนาแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อประสิทธิภาพทางความร้อนสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตรภัณฑ์ประเภทแผ่นประกอบ

แผ่นประกอบผลิตจากวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไปคือ ไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นวัสดุหลักที่ให้ความแข็งแรง ผสมกับวัสดุประสานทำหน้าที่ประสานเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น เมื่อนำมาผสมกันจะมีคุณสมบัติที่ส่งเสริมกัน (วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2541)

2.2 กาวที่ใช้สำหรับแผ่นประกอบ

กาวที่นิยมใช้สำหรับแผ่นประกอบทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติและข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน โดยพบว่ากาวที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ผลิตแผ่นประกอบมากที่สุด คือ กาวไอโซยานेट (Mas-sijaya & Okuma, 2005)

2.2.1 กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

นิยมใช้กับงานไม้อัด ยึดติดไม้ดี แต่ไม่ทนทานความชื้นและอุณหภูมิสูง เก็บที่อุณหภูมิปกติได้ 2-3 ปี ทนทานต่อเห็ดรา แนวกาวมีสีอ่อน เก็บรักษาใช้งานง่าย และราคาถูก

2.2.2 กาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์

ใช้ยึดติดไม้และสามารถใช้กับงานภายนอกได้ เป็นของเหลวเหนียวสีน้ำตาลแดง ทนทานต่อ

การพัฒนาแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อประสิทธิภาพทางความร้อน สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร
ธนภรณ์ โภควรรณวิทย์ และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์

ดิน ฟ้า อากาศ น้ำเดือด จุลินทรีย์ น้ำเย็น ความร้อนในสภาพแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติได้ประมาณ 3 สัปดาห์

2.2.3 กาวไอโซไซยาเนต

ใช้ยึดติดไม้ ใช้กับงานภายนอกได้ เป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล ไม่ละลายน้ำ แอลกอฮอล์กรด และด่าง สามารถยึดเหนี่ยวทางเคมีกับเซลลูโลสได้ ความแข็งแรงสูง ปล่อยสารพิษในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ และซีเมนต์สนอบ (วรรณกรรม อุจน์จิตติชัย, 2548)

2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นด้านการต้านทานความร้อน

2.3.1 ความสามารถในการต้านทานความร้อน (R)

แปรผันตามความหนาและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยค่า R เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.3.2 ความสามารถในการนำความร้อน (C)

เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่งหรือสองวัตถุที่สัมผัสกัน มีทิศทางการเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยค่า C มีความสัมพันธ์แบบส่วนกลับกับค่า R ดังสมการที่ 1

$$R = 1 / C = \Delta X / k \quad (1)$$

R คือ ค่าการต้านทานความร้อน ($m^2 \cdot K/W$)

C คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m \cdot K$)

2.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

เป็นอัตราการไหลของความร้อนที่จุดหนึ่งซึ่งที่ผ่านมวลวัตถุและอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างพื้นผิวของวัตถุ โดยค่า k น้อยจะเป็นฉนวนที่ดี

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้ใช้กระดาษเหลือใช้ 4 ชนิด คือ กระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษคราฟท์ และกระดาษพิมพ์เขียนใช้เส้นใยแก้วเป็นวัสดุผสมเพิ่มในสัดส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ ยึดติดด้วยกาวเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (MDI) ในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุทั้งหมด เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางความร้อน ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อเสนอแนะแนวทางในการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับงานอาคาร

3.1 การผลิตแผ่นประกอบ

- (1) ย่อยกระดาษทั้ง 4 ชนิด และเส้นใยแก้ว
- (2) นำกระดาษที่ได้ผสมกับเส้นใยแก้วในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ
- (3) นำวัตถุดิบที่ได้มาผสมกาว MDI ในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบทั้งหมด
- (4) เทส่วนผสมเข้ากล่องเตรียมอัดที่รองด้วยแผ่นโลหะและกระดาษ Teflon อัดร้อนที่แรงอัด 150 บาร์ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที

3.2 การทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน

เตรียมแผ่นทดสอบ ขนาด $35 \times 35 \times 1$ ซม. เพื่อตัดทดสอบตามคุณสมบัติที่กำหนด ดังนี้ มาตรฐาน มอก. 876-2547 สำหรับการผลิตและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ มอก. 878-2537 สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางความร้อนโดยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser ด้วยเทคนิค TCA

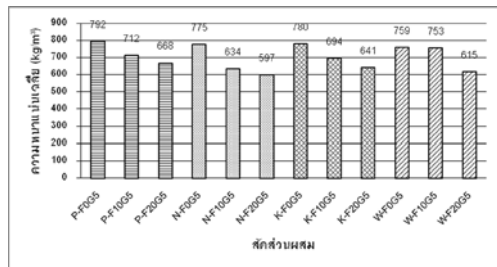
4. ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของแผ่นที่ผลิตส่วนมากมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด ยกเว้นแผ่นประกอบจากกระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 20 กระดาษหนังสือพิมพ์ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 10 และ 20 กระดาษคราฟท์ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 20 และกระดาษพิมพ์เขียนผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 20 คลาดเคลื่อนร้อยละ 10.98 15.45 20.34 14.55 และ 18.03 เนื่องจากเส้นใยแก้วทำให้เนื้อวัสดุไม่แน่น

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นจากกล่องนมพาสเจอร์ไรส์มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษคราฟท์ และหนังสือพิมพ์ ซึ่งสอดคล้องกับ (Massijaya & Okuma, 2005)

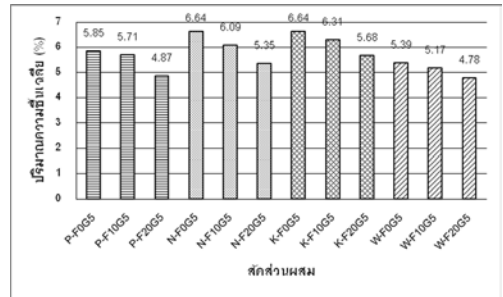


รูปที่ 1 ผลการทดสอบความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)

4.1.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของแผ่นที่ผลิตได้ทุกสัดส่วนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และเส้นใยแก้วยังทำให้การดูดความชื้นของแผ่นประกอบลดลงอีกด้วย

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นจากกระดาษคราฟท์มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือ หนังสือพิมพ์ กล่องนม และกระดาษพิมพ์เขียน

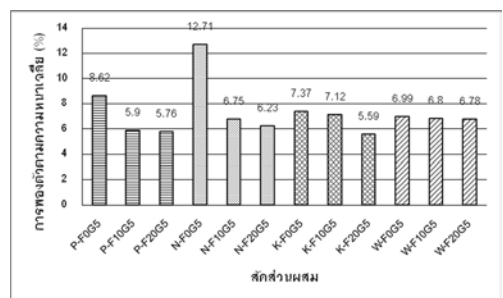


รูปที่ 2 ปริมาณความชื้น (%)

4.1.3 การพองตัวตามความหนา

การพองตัวตามความหนาของแผ่นที่ผลิตได้ส่วนมากผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ยกเว้นแผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 0 โดยกระดาษมีส่วนช่วยในการคงรูปร่าง และเส้นใยแก้วยังทำให้การพองตัวตามความหนา ลดลง

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีการพองตัวตามความหนาสูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ และกระดาษคราฟท์ ซึ่งสอดคล้องกับ (Massijaya & Okuma, 2005; Okino, Santana & Souza, 2000)



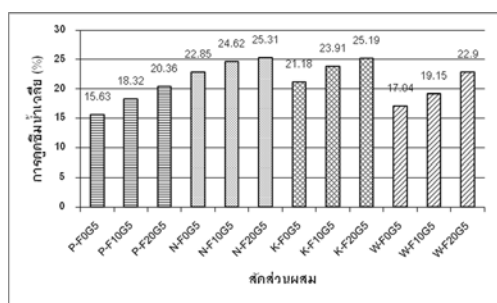
รูปที่ 3 การพองตัวตามความหนา (%)

4.1.4 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของแผ่นที่ผลิตได้มีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุประเภท hydrophilic แม้ว่าการพองตัวตามความหนาจะต่ำ แต่

เส้นใยแก้วทำให้การอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยแก้วทำให้วัสดุไม่แนบติดกันสนิท เกิดโพรงในเนื้อวัสดุ น้ำจึงเข้าไปแทนที่ช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้น

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด รองมาคือ กระดาษคราฟท์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งสอดคล้องกับ (Massijaya and Okuma, 2005) แต่แผ่นประกอบที่ผลิตได้ในงานวิจัยมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าแผ่นประกอบที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำ (%)

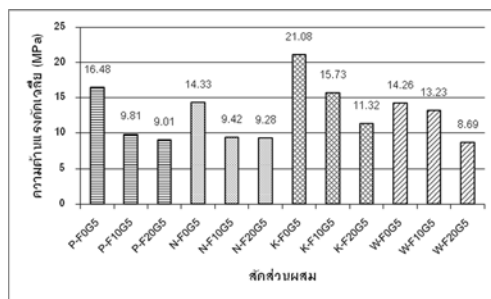
4.2 คุณสมบัติทางกล

4.2.1 ความต้านแรงดัด

ความต้านแรงดัดของแผ่นที่ผลิตได้ส่วนมากผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ยกเว้นแผ่นประกอบจากกระดาษพิมพ์เขียนผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 20 เส้นใยแก้วทำให้ความต้านแรงดัดลดลง เนื่องจากทำให้วัสดุหลักไม่แนบติดกันสนิท และเกิดโพรงในเนื้อวัสดุ

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นจากกระดาษคราฟท์มีความต้านแรงดัดสูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ และกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยเยื่อที่ใช้ทำกระดาษเป็นเยื่อเคมี เยื่อกึ่งเคมี และเยื่อ

เชิงกล ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของกระดาษและแผ่นประกอบ

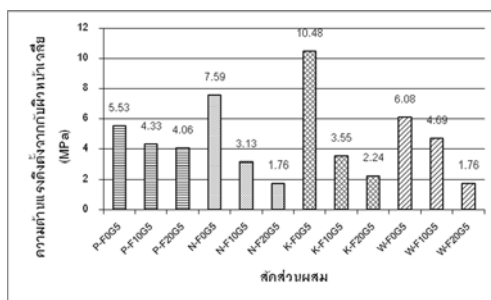


รูปที่ 5 ความต้านแรงดัด (MPa)

4.2.2 ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า

ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นที่ผลิตได้ในทุกสัดส่วนผสมผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด

แนวโน้มตามชนิดกระดาษ พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษคราฟท์มีความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าสูงที่สุด รองมาคือ กระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษหนังสือพิมพ์ และเส้นใยแก้วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าลดลงค่อนข้างมาก



รูปที่ 6 ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)

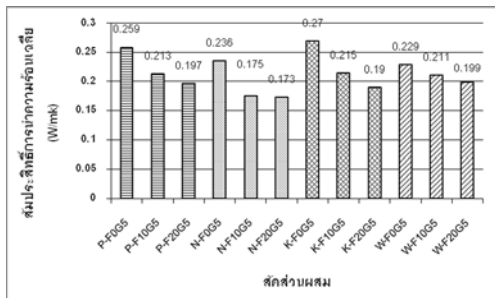
4.3 คุณสมบัติทางความร้อน

4.3.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นที่ผลิตได้ในทุกสัดส่วนผสมค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก

กระดาศมีค่า k ที่ค่อนข้างต่ำ และเมื่อใส่เส้นใยแก้วเพิ่มขึ้นค่า k ของแผ่นประกอบที่ผลิตได้ยิ่งมีค่าลดลง

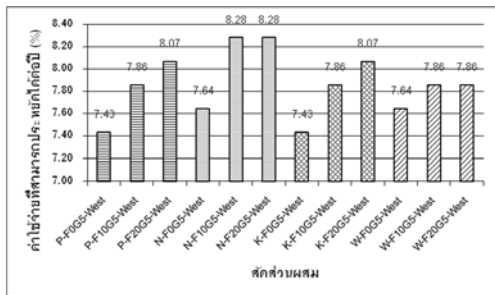
แนวโน้มตามชนิดกระดาศพบว่า แผ่นจากกระดาศคราฟท์มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด รองมาคือ กระดาศกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ กระดาศพิมพ์เขียน และกระดาศหนังสือพิมพ์



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mk)

4.3.2 การจำลองการใช้พลังงานต่อปีของอาคาร
 พลังงานต่อปีของอาคารที่ใช้แผ่นประกอบที่ผลิตขึ้น ทำให้การใช้พลังงานรวมของอาคารลดลงค่อนข้างมาก แผ่นประกอบจากกระดาศหนังสือพิมพ์ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 10 และ 20 ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 8.28 เมื่อเทียบกับอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน

แนวโน้มตามชนิดกระดาศพบว่า สอดคล้องตามการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



รูปที่ 8 ค่าใช้จ่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อปี (%)

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษา พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาศกล่องนมมีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด และกระดาศคราฟท์มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด เส้นใยแก้วยังช่วยลดความชื้นและการพองตัวคุณสมบัติทางความร้อนและการใช้พลังงาน พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาศหนังสือพิมพ์มีค่า k ต่ำที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการสำหรับการผลิตและทดสอบ รวมไปถึงบริษัท ฟริสแลนด์คัมพิน่า เฟรช (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท นิชิโกะ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์วัสดุสำหรับการวิจัย

References

กรมควบคุมมลพิษ. (2550). รายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2550. สืบค้นจาก จาก <http://infofile.pcd.go.th/mgt/Report50.pdf>

วรรณม อุจน์จิตติชัย. (2541). อุตสาหกรรมผลิตแผ่นปาร์ติเคิลและกรรมวิธีการผลิต. เอกสารวิชาการ เลขที่ ร.514. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

วรรณม อุจน์จิตติชัย. (2548). การปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์จากแผ่นบอร์ด. เอกสารประกอบการสอน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

76 การพัฒนาแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อประสิทธิภาพทางความร้อน
สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร
ธนภรณ์ โภควรรณวิทย์ และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
(2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ มอก. 876 – 2547.*
กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
(2537). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง มอก.
878 – 2537.* กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

Massijaya, M. Y. & M. Okuma. (2005).
Comparisons of boards properties made
from different waste papers. *Proceedings
of Scientific Session 90, XXII IUFRO World
Congress, 12 August 2005, Brisbane:*
Australia.

Okino, E.Y. A., Santana M. A. E. & Souza, M. R.
(2000). Utilization of waste paper to
manufacture low density boards.
Bioresource Technology, 73, 77-79.

ทางเลือกการออกแบบกระจกสำหรับอาคารสำนักงานประหยัดพลังงาน ด้วยกระจกเคลือบลายเซรามิก

Alternative Glazing Design for Energy Efficient Offices Using Ceramic Fritted Glass

ชุตีพงศ์ คุรุรัตน์พันธ์¹ และ ดร.จตุวัฒน์ วรริตมพันธ์²

Chutipong Kururattapun¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: chutipong.k@gmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้กระจกเป็นเปลือกอาคารได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของกระจกที่สามารถมองเห็นวิวทัศนียภาพภายนอกได้ สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ และยังก่อให้เกิดความสวยงามกับตัวอาคารอีกด้วย การนำกระจกมาใช้ในอาคารส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยเช่นกัน จึงมีการพัฒนากระจกขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อนให้กับอาคาร กระจกเคลือบลายเซรามิกเป็นกระจกหนึ่งที่สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ดีกว่ากระจกธรรมดา การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกระจกเคลือบลายเซรามิกในรูปแบบการเคลือบลายที่แตกต่างกัน ศึกษาแบบการเคลือบลายเซรามิกแต่ละแบบที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในอาคารสำนักงาน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกระจกใส และกระจกที่มีสภาพแผ่รังสีต่ำ และศึกษาผลด้านแสงสว่างที่เกิดขึ้นจากการใช้กระจกเคลือบลายเซรามิก โดยทำการทดลองจากโปรแกรมจำลองพลังงาน eQUEST 3.64 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการใช้พลังงานในอาคาร และโปรแกรมจำลองด้านแสงสว่าง Dialux 4.10 เป็นโปรแกรมที่คำนวณคุณภาพการส่องสว่างของแสง ผลการศึกษากระจกเคลือบลายเซรามิกประหยัดพลังงานได้ดีกว่ากระจกใส แต่น้อยกว่ากระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ และมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่ากระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ มีความคุ้มค่ากับการลงทุนมากกว่า

Abstract

Nowadays, glass is increasingly popular as a material for building facade. The transparent glass is utilized to show outside views and to make a building look contemporary; however, solar heat can radiate through the glass, increasing an overall cooling load of the building. Thus, the glass has been developed in an effort to reduce the heat radiation and cooling load of the building, consequently. The ceramic fritted glass is able to decrease the heat more effectively than is the clear glass. The purpose of this study is to take a closely look at heat transmitted efficiency of various fritted glass patterns, affecting building energy consumption.

To find the appropriate glass pattern used for building facade, the clear glass is compared with a Low-E glass. This study has been done using eQUEST 3.64, a simulated energy consuming program, and Dialux 4.10, a lighting simulation software. The result from this study is that using the ceramic fritted glass saves energy more than clear glass, but less than Low-E glass. Moreover it is shorter payback period than Low-E glass. Therefore using the ceramic fritted glass is worthy for investment.

คำสำคัญ (Keywords): กระจกเคลือบลายเซรามิก (Ceramic Fritted Glass), อาคารสำนักงาน (Office Building), พลังงานระบบปรับอากาศ (Cooling Energy), ประสิทธิภาพ (Performance)

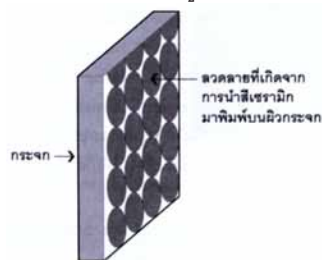
1. ที่มาและความสำคัญ

การออกแบบอาคารในปัจจุบันคำนึงถึงการ
ใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในอาคารด้วย เนื่องจาก
สภาพโลกที่เปลี่ยนแปลงไป ทรัพยากรที่จะหมดไป
จึงมีการคำนึงถึงการประหยัดพลังงานของโลก ด้าน
สถาปัตยกรรมมีส่วนช่วยประหยัดทรัพยากร
ให้กับโลกในด้านของการใช้พลังงาน ซึ่งปัจจุบัน
นิยมใช้กระจกกับเป็นกรอบอาคารมากขึ้น เพราะ
สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาและทำให้ตัว
อาคารมีความสวยงามมากขึ้น แต่ก็นำความร้อน
เข้ามาด้วยเช่นกัน ทำให้อาคารมีการใช้พลังงาน
ระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น จึงมีการพัฒนา
กระจกให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ยากขึ้น เพื่อ
เป็นการประหยัดพลังงาน กระจกเคลือบลาย
เซรามิกเป็นกระจกหนึ่งที่มีการเคลือบลายเซรามิก
บนกระจก สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้
การศึกษางานวิจัยนี้จึงมุ่งเพื่อเสนอทางเลือกหนึ่ง
ในการนำกระจกเคลือบลายเซรามิกมาใช้กับ
อาคารสำนักงาน แทนการใช้กระจกเดิมที่นิยม
ใช้กันทั่วไปตามท้องตลาด

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระจกเคลือบลายเซรามิก (Ceramic Fritted Glass) เป็นการนำกระจกใสหรือกระจก

สีมาพิมพ์ลวดลายด้วยสีเซรามิกลงบนพื้นผิว
กระจก ดังรูปที่ 1 เพื่อให้ได้ลวดลายและสีต่างๆ
แล้วนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วย
กระบวนการเทมเปอร์หรือฮีตสเตรงค์เทน จนสี
เซรามิกติดเป็นเนื้อเดียวกับกระจก ทำให้ลวดลาย
มีความคงทนต่อการขีดขูด ช่วยกันความร้อนได้ดี
การพิมพ์ลวดลายเซรามิกช่วยป้องกันความร้อน
ได้ การสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจากลวดลายเซรามิก
เป็นการสะท้อนแบบแสงกระจาย ทำให้แสงที่
สะท้อนออกภายนอกอาคารเป็นแสงที่นุ่มตาไม่
สร้างความเดือดร้อนให้กับอาคารข้างเคียง และ
ไม่สะท้อนความร้อนออกสู่ภายนอกอาคาร



รูปที่ 1 กระจกเคลือบลายเซรามิก

กระจกเคลือบลายเซรามิกมีสัดส่วนการ
เคลือบลายเซรามิกที่แตกต่างกัน จะมีค่าการ
ถ่ายเทความร้อนต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสัดส่วน
พื้นที่ของเซรามิกที่เคลือบต่อพื้นที่กระจก สีของ
เซรามิกที่เคลือบส่วนใหญ่ทั่วไปนิยมใช้สีขาว และ

สีดำ การเคลือบสีที่แตกต่างกันทำให้มีคุณสมบัติของกระจกนั้นแตกต่างกัน ตัวอย่างกระจกเคลือบลายเซรามิกที่ศึกษามีความหนาแน่นของลายเซรามิก ต่อพื้นที่กระจกเท่ากับความหนาแน่นที่ 40% ความหนาแน่นที่ 50% และความหนาแน่นที่ 60%

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน ได้แก่ การหาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ และการหาค่าความส่องสว่างของแสง ของอาคารที่มีการใช้กระจกเคลือบลายเซรามิก

3.1 เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองด้านพลังงานจะใช้โปรแกรม eQUEST 3.64 ในการทดลองด้านแสงสว่างใช้โปรแกรม Dialux 4.10

3.2 ระบุค่าตัวแปรในการทดลอง

ในการศึกษานี้จะศึกษาอาคารสำนักงาน โดยศึกษาขนาดอาคารสำนักงานทั่วไปของกรุงเทพมหานคร เพื่อกำหนดขนาดอาคารมาตรฐานในการทดลองให้สอดคล้องกับความจริงมากที่สุด

3.3 กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และค่าการใช้พลังงานในอาคาร

1) ความหนาแน่นของการเคลือบลายเซรามิกที่กระจก โดยจะศึกษารูปแบบของการไล่ลดลายของความหนาแน่นในการเคลือบลายเซรามิกที่สัดส่วนต่าง ๆ 8 รูปแบบ ได้แก่ ความหนาแน่นที่ 40% ความหนาแน่นที่ 50% ความหนาแน่นที่ 60% ความหนาแน่นที่ 40%:60%:50%

ความหนาแน่นที่ 40%:60%:50%:40% ความหนาแน่นที่ 40%:50%:60% ความหนาแน่นที่ 40%:60% และความหนาแน่นที่ 60%:50%:40%

2) ประเภทกระจกที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระจกใส (Clear glass) กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E glass) มีคุณสมบัติของกระจกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ

ประเภทกระจก	VT	SHGC
กระจกใส	81	89
กระจกที่มีสภาพแผ่รังสีต่ำ	70	37
เคลือบลายเซรามิก 40%	51	49
เคลือบลายเซรามิก 50%	46	47
เคลือบลายเซรามิก 60%	40	45

3) สัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคาร เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารในงานวิจัยนี้จะศึกษาที่สัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคาร 10 รูปแบบ ได้แก่ สัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคารที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100

4) ทิศทางการวางของตัวอาคาร เป็นตัวแปรที่มีผลต่อความร้อนที่เข้าสู่อาคาร กำหนดให้มีการวิเคราะห์ทิศทางทั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก

5) การติดตั้งแผงกันแดด ทำการวิเคราะห์ระยะยื่นของแผงกันแดดในระยะต่าง ๆ โดยพิจารณาที่ระยะ 0.50 เมตร 1.00 เมตร 1.50 เมตร 2.00 เมตร

3.4 ทดลองหาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

ใช้โปรแกรม eQUEST 3.64 ในการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ ตามตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กำหนด

3.5 ศึกษาค่าความส่องสว่างของแสง

โดยการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม Dialux 4.10 ซึ่งสามารถหาคุณภาพของแสงภายในห้องจากการกำหนดค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (visible light transmittance) ตามคุณสมบัติของกระจกเคลือบหลายเซรามิก และการกำหนดค่าตามลดทอนการเคลือบเซรามิก

- 1) กำหนดขนาดห้องขนาด 30.00 x 30.00 เมตร ความสูงฝ้า 2.70 เมตร
- 2) กำหนดขนาดสัดส่วนหน้าต่าง WWR 100
- 3) ลดทอนของการเคลือบเซรามิกทั้ง 8 รูปแบบ ได้แก่ ความหนาแน่นที่ 40% ความหนาแน่นที่ 50% ความหนาแน่นที่ 60% ความหนาแน่นที่ 40%:60%:50% ความหนาแน่นที่ 40%:60%:50%:40% ความหนาแน่นที่ 40%:50%:60% ความหนาแน่นที่ 40%:60% ความหนาแน่นที่ 60%:50%:40%
- 4) ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ วันที่ 22 มิถุนายน และ 22 ธันวาคม ช่วงเวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น.

3.6 ทดลองหาค่าความส่องสว่างของแสง

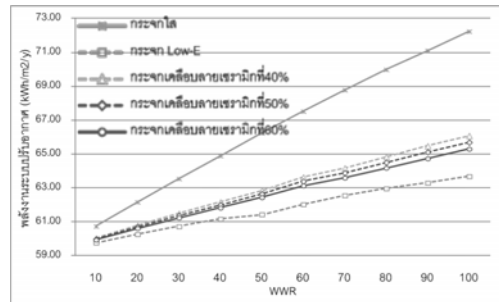
ใช้โปรแกรม Dialux 4.10 คำนวณหาค่าความส่องสว่างของแสงภายในห้อง ที่ระดับพื้นที่ทำงาน สูง 0.80 เมตร ตามตัวแปรต่างที่ได้กำหนด 3.7 เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบการใช้กระจกทั่วไปกับกระจกเคลือบหลายเซรามิก เพื่อหาค่าความคุ้มค่าของการนำกระจกชนิดนี้มาใช้

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดลองด้านพลังงาน

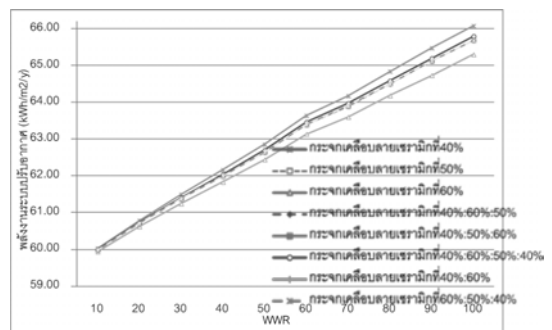
4.1.1 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของกระจกชนิดต่าง ๆ ในแต่ละทิศ พบว่า ค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศของกระจกชนิดต่าง ๆ ทางทิศ

ตะวันออก เป็นทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด ทิศเหนือเป็นทิศที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งกระจกใสเป็นกระจกที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุด และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด และกระจกเคลือบหลายเซรามิกในรูปแบบต่าง ๆ มีผลการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าการใช้พลังงานของกระจกชนิดต่าง ๆ ทางทิศตะวันออก

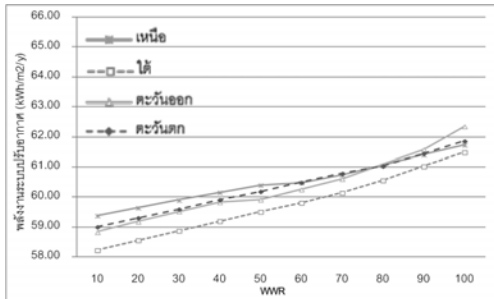
4.1.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของกระจกเคลือบหลายเซรามิกในแต่ละทิศ พบว่า การปรับเปลี่ยนรูปแบบลดทอนของการเคลือบเซรามิกในรูปแบบต่าง ๆ นั้นไม่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าการใช้พลังงานของกระจกเคลือบหลายเซรามิก รูปแบบต่าง ๆ ทางทิศตะวันออก

4.1.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของกระจกเคลือบหลายเซรามิกที่ 40%:60%:50% ร่วมกับแผงกันแดดระยะยื่น 2.00 เมตรทางทิศตะวันออก พบว่า ทางทิศใต้เป็นทิศที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

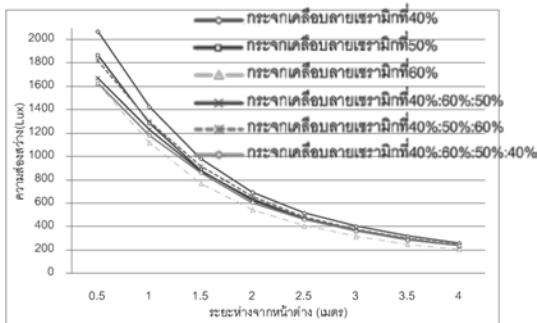
ที่ติดตั้ง WWR น้อยกว่า 60 ทิศเหนือมีการใช้พลังงานสูงที่สุดมากกว่าทิศอื่น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าการใช้พลังงานของกระจกเคลือบลายเซรามิกที่ 40%:60%:50% ร่วมกับแผงกันแดดระยะยื่น 2.00 เมตร

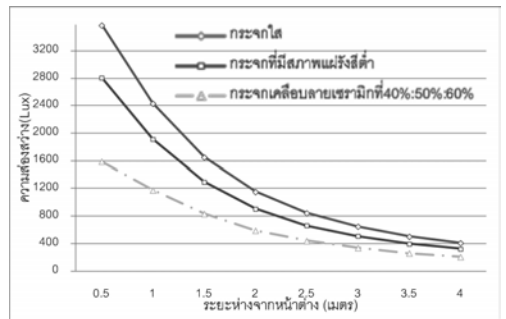
4.2 การทดลองด้านแสงสว่าง

4.2.1 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของกระจกเคลือบลายเซรามิกรูปแบบต่างๆ พบว่า กระจกเคลือบลายเซรามิกที่ 40% มีค่าความส่องสว่างสูงกว่ารูปแบบอื่น ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 0.50 เมตร ถึง 1.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างสูงกว่ารูปแบบอื่นมากกว่า 100 lux ขึ้นไป กระจกเคลือบลายเซรามิกที่ 50% และกระจกเคลือบลายเซรามิกที่ 40%:50%:60% มีค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน กระจกเคลือบลายเซรามิกที่ 60% มีค่าความส่องสว่างน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น การเลือกรูปแบบของการเคลือบลายเซรามิกแต่ละแบบจึงไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับผลความส่องสว่าง ดังรูปที่ 5



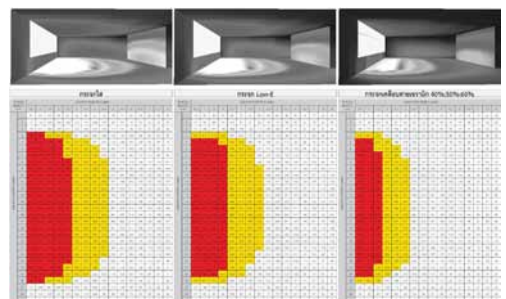
รูปที่ 5 ค่าความส่องสว่างกระจกเคลือบลายเซรามิก

4.2.1 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของกระจกใสกับกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำกับเคลือบลายเซรามิกที่ 40%:50%:60% พบว่า ค่าความส่องสว่างของการใช้กระจกเคลือบลายเซรามิกช่วยลดความสว่างของพื้นที่บริเวณริมหน้าต่างได้ แต่แสงธรรมชาติจะเข้ามาภายในห้องได้น้อยกว่ากระจกชนิดอื่น โดยกระจกใสและกระจกที่มีสภาพแผ่รังสีต่ำ จะมีแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่าและลึกกว่า ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าความส่องสว่างกระจกใส กับกระจกที่มีสภาพแผ่รังสีต่ำ และกระจกเคลือบลายเซรามิก

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความส่องสว่างที่เข้าไปภายในห้อง โดยสีค่าจะมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด สีเทามีค่าอยู่ในเกณฑ์และสีขาวไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด เห็นได้ว่ากระจกเคลือบลายเซรามิก ช่วยลดแสงที่เข้ามามากเกินไปได้ แต่ลึกเข้าไปภายในห้องก็ทำให้แสงไม่เพียงพอได้เช่นกัน



รูปที่ 7 ค่าความส่องสว่างกระจกใส กับกระจกที่มีสภาพแผ่รังสีต่ำ และกระจกเคลือบลายเซรามิก

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 ด้านการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ

5.1.1 การใช้กระจกชนิดต่าง ๆ กระจกใสใช้พลังงานมากที่สุด กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ ใช้พลังงานน้อยที่สุด กระจกเคลือบหลายเซรามิก แต่ละรูปแบบมีค่าการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยกระจกเคลือบหลายเซรามิกที่ 40%:50%:60% ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด

5.1.2 ทิศทางการวางอาคาร ในทิศเหนือมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ทิศตะวันออกใช้พลังงานมากที่สุด แต่ถ้าวางร่วมกับแผงกันแดด ทิศใต้จะใช้พลังงานน้อยที่สุด สามารถลดความร้อนได้ดีที่สุด

5.1.3 การใช้แผงกันแดด ระยะแผงกันแดดยังมีระยะยื่นมาก จะช่วยลดความร้อนที่เข้ามาได้ ทำให้การใช้พลังงานระบบปรับอากาศน้อยลง

5.2 ด้านความส่องสว่างของแสง

5.2.1 การเปลี่ยนกระจกชนิดต่าง ๆ กระจกที่มีค่า VT มากแสงสว่างจะเข้าได้มาก

5.2.2 รูปแบบลวดลายของการเคลือบหลายเซรามิก มีผลแตกต่างกันเล็กน้อย การเปลี่ยนรูปแบบลวดลายจึงไม่ส่งต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างเห็นได้ชัด กระจกเคลือบหลายเซรามิกที่ 40%:50%:60% นำแสงสว่างเข้ามาได้มากที่สุด

5.3 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.3.1 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ อาคารที่ใช้กระจกเคลือบหลายเซรามิกมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าอาคารที่ใช้กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ และการใช้แผงบังแดด หรือการเลือกทิศทางอาคารที่ถูกต้องสามารถทำให้คืนทุนได้เร็วมากขึ้น

5.3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) อาคารที่ใช้กระจกเคลือบหลายเซรามิกมีค่า NPV ที่สูงกว่าอาคารที่ใช้กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ จึงสมควรแก่การลงทุนมากกว่า

5.3.3 อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) ของกระจกเคลือบหลายเซรามิกมีค่าสูงกว่าอาคารที่ใช้กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ จึงสมควรแก่การลงทุนมากกว่า

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยขาดการทดลองจริงด้านพลังงานของการใช้กระจกเคลือบหลายเซรามิก และการทดลองด้านแสงสว่างจริงในห้อง เพื่อศึกษาเงาที่เกิดขึ้นจริง เมื่อมีการใช้กระจกเคลือบหลายเซรามิก

References

- สุนทร บุญญาธิการ. (2551). *นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนขึ้น*. นนทบุรี: คูณพันธ์. อธิวัฒน์ อิศวพิทยานนท์. (2553). *ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคาร จากการประยุกต์ใช้ผนังเอียงในเขตร้อนขึ้น*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ. (2552). *เทคโนโลยีสีภาวะแวดล้อมในการออกแบบสถาปัตยกรรมในเขตร้อน-ขึ้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ASHRAE. (2005). *2005 ASHRAE Handbook: Fundamentals SI Edition*. Atlanta: ASHRAE.
- IESNA. (2000). *IESNA Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

แนวทางการจัดวางหลอดไฟ LED เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
สำหรับสำนักงานแบบผังทำงานรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
Guideline for Arranging of LEDs Fluorescent Lamp
Open Plan Offices to Increase Energy Efficiency

อรจิรา นพพรมงคล¹ และ ดร.จตุวัฒน์ วจิตรมพันธ์²

Onjira Noppormongkol¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: vodka_amua@hotmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและจำลองการจัดวางหลอดแอลอีดีฟลูออเรสเซนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยเปรียบเทียบรูปแบบการวางผังระบบแสงประดิษฐ์ 3 รูปแบบในกรณีศึกษาพื้นฐานแล้วประเมินผลด้วยโปรแกรมจำลองสภาพแสง AGI32 โดยขนาดห้องที่ใช้เป็นกรณีศึกษา พื้นฐานมี 3 แบบที่ระดับความสูง 3 เมตร ระบายงานสูง 0.8 เมตร เกือบข้อมูลทุกกระยะ 0.5 เมตร ตัวแปรที่ใช้ในการจำลอง ได้แก่ ชนิดหลอดไฟ รูปแบบการวางผังระบบแสงประดิษฐ์ รูปแบบการติดตั้งดวงโคม จำนวนหลอดไฟต่อดวงโคม แล้วนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งค่าอุปกรณ์และค่าไฟฟ้า แล้ววิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์มาเป็นหลอดแอลอีดีฟลูออเรสเซนต์ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อหลอดลงได้ 21.5 วัตต์ และการจัดวางหลอดฟลูออเรสเซนต์แอลอีดีแบบสลับสามารถช่วยลดจำนวนดวงโคมลงได้ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง นอกจากนี้ ในดวงโคมสำหรับ 1 หลอด และ 2 หลอด ความกว้างดวงโคมที่ 30x120 เซนติเมตร ให้การส่องสว่างที่ดีกว่าและระยะเวลาคืนทุนสั้นลงโดยจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในระยะยาว แม้ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในขั้นแรกจะสูง

Abstract

The purpose of this research is to study and plans the LED bulbs position to provide the maximum potential of light source for open plan offices. The study compared 3 different arrangements of LED lamps by using AGI32 software to measure the level of brightness in every 0.5x0.5 m grid. The independent variable in this experiment is the width and length of the room. There are 3 different width and length of the room. Also, every room has the height of 3 m. To estimate the expense, these factors such as the type of bulbs, light planning, the arrangement of lamps, the number of bulbs in lamp and the type of installment of lamp have to be included. Then, it is crucial to analysis time taken to pay back the investment. The result

of this study shown LEDs fluorescence bulbs used 21.5 Watt of light energy less than the old fluorescence bulbs. Even though, LED bulbs are expensive replacement but it is a good long-term investment as provide high of return and significant reduce of electricity bills.

คำสำคัญ (Keywords): หลอดฟลูออเรสเซนต์แอลอีดี (LEDs Fluorescent Lamp), อาคารสำนักงานแบบผังทำงานรวม (Open Plan Office), การจัดวางระบบแสงประดิษฐ์ (Lighting Design), ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period)

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีด้านการส่องสว่างได้พัฒนานวัตกรรมในการให้แสงสว่างแบบใหม่ คือ เทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสง (lighting emitted diode) เป็นนวัตกรรมที่เข้ามาแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ จากข้อมูลทางสถิติ พบว่า ในหนึ่งปีมีปริมาณซากหลอดไฟกว่า 41 ล้านหลอด (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) หากมีการเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แอลอีดีแทนที่จะสามารถลดมลพิษทางอากาศจากสารปรอทที่เกิดจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้นอกจากนี้หลอดแอลอีดียังใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าถึง 40% และมีอายุการใช้งานที่มากกว่า 50,000 ชั่วโมง (Lekise lighting, 2012) ประกอบกับสำนักงานแบบผังทำงานรวมจัดเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ระบบแสงสว่างกว่า 60% ของพื้นที่ทั้งหมดจากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น (Myer, 2009; จตุวัฒน์ วิศวกรรมพันธ์, 2553; Ryckaert, 2011; Richman, 2011) เป็นการประเมินค่าความสว่างและพลังงานที่ใช้ของหลอดแอลอีดีเมื่อแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ในดวงโคมแบบต่าง ๆ แต่ไม่ได้กล่าวถึงการออกแบบผังแสงประดิษฐ์ให้เหมาะสมต่อการนำหลอดแอลอีดีมาแทนที่ ส่วนงานวิจัยของ (Tsuei, 2008) พบว่า

การกระจายเม็ดเงินแอลอีดีให้ทั่วบริเวณห้องช่วยทำให้ค่าความสม่ำเสมอแสงดีกว่าการแทนที่ในตำแหน่งดวงโคมไฟฟ้าเดิมภายในห้อง ดังนั้นในการวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการจัดวางผังระบบไฟฟ้าสำหรับดวงโคมแบบกระจายแสงทางตรงสำหรับหลอดแอลอีดีเพื่อสรุปเป็นแนวทางการจัดวางที่เหมาะสมด้านค่าความสว่างและประหยัดพลังงานโดยสมมติฐานคาดว่าว่าการกระจายหลอดแอลอีดีไปทั่วบริเวณจะช่วยส่งผลให้ค่าความสว่างดีกว่าการวางหลอดแอลอีดีไว้ใกล้กัน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) สำรวจ ศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดแอลอีดีฟลูออเรสเซนต์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์
- 2) สำรวจการจัดวางพื้นที่ทำงานรวมและรูปแบบการให้แสงสว่างในพื้นที่ทำงานรวมในอาคารสำนักงาน
- 3) ศึกษา และจำลองการจัดวางหลอดแอลอีดีฟลูออเรสเซนต์ในโปรแกรมจำลองสภาพแสงเพื่อเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ และคุณภาพของระบบส่องสว่างของรูปแบบการจัดวางระบบแสงประดิษฐ์แต่ละรูปแบบเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และสรุปเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

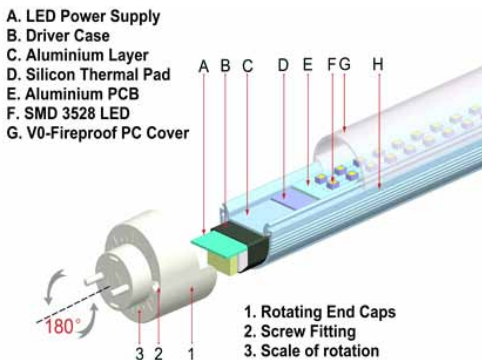
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น

2.1.1 การส่องสว่าง (Illuminance) ปริมาณความส่องสว่างมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ (lux)

2.1.2 อัตราส่วนเปรียบเทียบต่าง (luminance Ratio) การเปรียบเทียบความสว่างของระนาบหรือวัตถุที่มองกับความสว่างบริเวณแวดล้อมอื่นระหว่างขึ้นงานกับสภาพแวดล้อมข้างเคียงอยู่ที่ 1:3 หรือ 3:1 ตัวอย่างเช่น โต๊ะกับผนังคอกกั้นทำงาน

2.2 เทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสง

2.2.1 หลักการทำงาน วัสดุสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้เมื่ออิเล็คตรอนเคลื่อนที่สู่วัสดุที่ปล่อยพลังงานออกมาแต่จะสามารถมองเห็นแสงได้ก็ต่อเมื่อความถี่ของพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้เมื่อไดโอดให้แสงออกมาแล้วถ้าไม่ควบคุมทิศทางแสงจะกระจัดกระจาย ภายในหลอดประกอบด้วยแผงวงจร PCB ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังเม็ด LED ที่อยู่บนแผงวงจร (2012)



รูปที่ 1 โครงสร้างภายในของหลอดแอลอีดี (ที่มา: Ledison Lighting, 2010)

2.3 การจัดพื้นที่ทำงานรวมในอาคารสำนักงาน

พื้นที่ทำงานรวมในอาคารสำนักงานมี

การนำแผ่นกันมาสร้างสภาพแวดล้อมให้แก่พนักงานเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการก่อสร้างและค่าไฟฟ้าจากระบบส่องสว่างและระบบปรับอากาศ (Baldry, 2010; Barnes, 2010) โดยคอกกั้นที่ทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกถึงความเป็นส่วนตัวมีความสูงที่ 1.4 เมตร ขนาดคอกกั้นทำงานขึ้นอยู่กับขนาดเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งมีดังนี้ 2.4x2.4 เมตร, 2.4x3.0 เมตร และ 2.4x3.6 เมตร โดยที่ขนาดของพื้นที่สัญจรอยู่ที่ 1.5 เมตร (Panero,1979; Zelnik, 1979)

2.4 การออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารสำนักงาน

การออกแบบระบบแสงสว่างในอาคารสำนักงานเป็นการให้แสงสว่างแบบทั่วๆไปเน้นให้ความสม่ำเสมอทั่วบริเวณ (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2546)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทความวิจัยเรื่อง Simulating the illuminance and the efficiency of the LED and fluorescent lights used in indoor lighting design (2008) ผลการทดลอง พบว่า การกระจายเม็ดแอลอีดีให้ทั่วบริเวณห้องช่วยทำให้ค่าความสม่ำเสมอแสงดีกว่าการแทนที่ในตำแหน่งดวงโคมไฟฟ้าเดิมภายในห้อง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

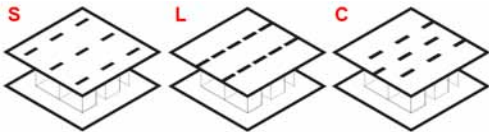
งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแปรกรณีการให้แสงสว่างในพื้นที่สำนักงานทั่วไปและตัวแปรกรณีปรับปรุงระบบแสงประดิษฐ์

3.1.1 ตัวแปรการให้แสงสว่างในพื้นที่สำนักงานทั่วไป

1) ผังการวางระบบแสงประดิษฐ์ แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ S กระจาย L ต่อเนื่อง และ C สลับ



รูปที่ 2 รูปแบบการวางผังระบบแสงประดิษฐ์

2) ทิศทางการวางดวงโคม แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ L ตามยาว และ C ตามขวาง (สำหรับการวางผังแบบกระจาย และแบบสลับ เท่านั้น)

3) ดวงโคม แบ่งเป็น 4 รูปแบบ คือ ดวงโคมขนาด 30x120 เซนติเมตร สำหรับ 1 และ 2 หลอด และดวงโคมขนาด 60x120 เซนติเมตร สำหรับ 2 และ 3 หลอด

3.1.2 ตัวแปรกรณีปรับปรุงระบบแสงประดิษฐ์

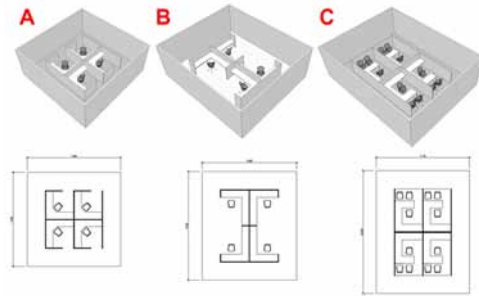
1) ระดับฝ้า แบ่งเป็น 2 แบบ คือ 2.5 เมตร และ 2.7 เมตร

2) การเพิ่มจำนวนดวงโคม ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางและดวงโคมที่ใช้

3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2.1 การตั้งค่าสำนักงานแบบผังทำงานรวมที่ใช้ในโปรแกรม

ทำการจำลองด้วยโปรแกรม AGI32 2.3 กำหนดขนาดของผังทำงานรวม 3 รูปแบบ คือ A 7.8x7.8 เมตร B 9.05x7.85 เมตร และ C 10.15x7.75 เมตร สูง 3 เมตร และกำหนดค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุ คือ พื้น เพดาน คอกกั้น และเฟอร์นิเจอร์ 20% 70% 70% และ 30% ตามลำดับ

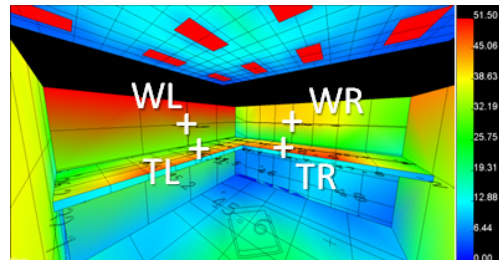


รูปที่ 3 รูปแบบผังทำงานรวม

3.2.2 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล

1) ค่าการส่องสว่าง เก็บข้อมูล 2 ส่วนคือ บริเวณพื้นที่ทำงานที่ระดับ 0.8 เมตร และ เส้นทางสัญจร โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ ระยะ 0.5 เมตร ดังรูปที่ 8

2) คุณภาพแสง เก็บข้อมูลที่ 4 ตำแหน่ง คือ บริเวณระนาบทำงานฝั่งซ้าย (TL) และขวา (TR) และผนังคอกกั้นทำงานฝั่งซ้าย (WL) และขวา (WR)



รูปที่ 4 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลคุณภาพแสง

3.3 ขั้นตอนการประเมินผล

3.3.1 พิจารณาค่าการส่องสว่าง ค่าการส่องสว่างในระนาบทำงาน อย่างน้อย 300 ลักซ์ และพื้นที่สัญจรที่ 100 ลักซ์ ส่วนค่าการส่องสว่างที่คนสามารถรับรู้ได้ที่ 30 ลักซ์ ตามเกณฑ์ของ IES โดยนำมาประเมินกรณีพื้นฐานและกรณีศึกษา

3.3.2 พิจารณาคุณภาพแสง พิจารณาตามเกณฑ์ IES ที่ 1:3 หรือ 3:1

3.3.3 พิจารณาระยะเวลาดำเนินการ พิจารณาค่าใช้จ่าย 2 ส่วน คือ

1) ค่าใช้จ่ายราคาก่อสร้าง และอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบรวมถึงพิจารณาอายุการใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2) ค่าไฟฟ้า คิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาการใช้งาน (TOU) สำหรับกิจการขนาดกลาง แรงดันไฟฟ้า 12-24 กิโลโวลต์ อาคารสำนักงาน เปิดทำการวันจันทร์ถึงเสาร์ เวลาทำการ 8.00-12.00 น. ซึ่งคิดเป็น 312 ชั่วโมงต่อเดือน

4. ผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบการส่องสว่างในเชิง

ปริมาณการส่องสว่าง

4.1.1 *กรณีพื้นฐานและกรณีศึกษา* ดวงโคมขนาด 30x120 เซนติเมตร สำหรับ 1 หลอด หลอดฟลูออเรสเซนต์แอลอีดีสามารถให้ค่าการส่องสว่างที่เทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ ไม่น้อยกว่า 30 ลักซ์ของกรณีพื้นฐานในการจัดผังแบบกระจาย ในส่วนของดวงโคมแบบอื่น หลอดแอลอีดีไม่สามารถแทนที่

4.1.2 *กรณีศึกษาปรับปรุงโดยการลดระดับฝ้า* การลดระดับฝ้าที่ระดับ 2.5 เมตรช่วยให้หลอดแอลอีดีในดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 1 หลอด ให้ค่าการส่องสว่างเทียบเท่ากับหลอด T8 ในการจัดวางผังแบบต่อเนื่องและสลัป สำหรับดวงโคมแบบติดลอยการลดระดับฝ้าส่งผลให้ค่าการส่องสว่างของดวงโคมสำหรับ 1 หลอด เทียบเท่ากับหลอด T8 ในการจัดวางผังทุกแบบ และหลอดแอลอีดีในดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 2 หลอด ให้ค่าการส่องสว่างเทียบเท่าในการจัดวางผังแบบสลัป สรุปการลดระดับฝ้าส่งผลให้ค่าการส่องสว่างเพิ่มขึ้น 10 – 50 ลักซ์

4.1.3 *กรณีศึกษาปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนดวงโคม* การเพิ่มจำนวนดวงโคมทำให้ค่าการส่องสว่างดีขึ้นในทุกกรณี หลอดแอลอีดีในดวงโคม

ขนาด 30x120 สำหรับ 1 และ 2 หลอด เพิ่มดวงโคมจำนวน 1-2 ดวงโคม หลอดแอลอีดีดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 2 หลอดเพิ่ม จำนวน 3-7 ดวงโคม และหลอดแอลอีดีดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 2 หลอด การเพิ่มจำนวน 2-10 ดวงโคม ค่าการส่องสว่างจึงดีขึ้นเทียบเท่าหลอด T8

4.1.4 *กรณีศึกษาปรับปรุงโดยการจัดวางแบบอื่น* ดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 1 หลอด โดยการวางผังแบบกระจายสามารถวางผังแบบต่อเนื่องและแบบสลัปได้ในจำนวนดวงโคมที่เท่ากับกรณีพื้นฐาน ดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 2 หลอด โดยการวางผังแบบกระจายสามารถวางผังแบบสลัปแทนได้โดยลดจำนวนดวงโคมที่ใช้ลงได้ 2 ดวงโคม ดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 2 หลอด โดยการวางผังแบบกระจาย สามารถจัดวางแบบต่อเนื่องโดยเพิ่มจำนวนดวงโคม 1 ดวงโคม แต่หากจัดผังแบบสลัปจะสามารถจัดได้ในจำนวนดวงโคมเท่าเดิม ดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 3 หลอด สามารถจัดวางผังแบบต่อเนื่องและแบบสลัปได้แต่ต้องเพิ่ม 2 ดวงโคมจึงทำให้ค่าความสว่างไม่ต่ำกว่า 30 ลักซ์ เมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน

4.2 ประเมินคุณภาพแสงของกรณีศึกษาที่ผ่านเกณฑ์การส่องสว่าง

อัตราส่วนเปรียบต่างอยู่ในช่วง 1:3 หรือ 3:1 ในทุกกรณี

4.3 ประเมินระยะเวลาคืนทุนที่ผ่านเกณฑ์การส่องสว่างเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

ดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 1 หลอด คืนทุนที่ระยะเวลา 8 ปี 5 เดือน โดยวางผังแบบต่อเนื่องและแบบสลัป ดวงโคมขนาด 30x120 สำหรับ 2 หลอด คืนทุนที่ระยะเวลา 6 ปี 4 เดือน โดยการแทนที่ในดวงโคมเดิมแต่ถ้าวางผังแบบสลัปจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4 ปี 4 เดือน ดวงโคม

ขนาด 60x120 สำหรับ 2 หลอด คำนวณที่ระยะเวลา 8 ปี โดยการจัดวางแบบต่อเนื่องแต่ถ้าวางผังแบบสลับจะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 6 ปี 7 เดือน ดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 3 หลอด คำนวณที่ระยะเวลา 22 ปี ในการจัดวางทุกรูปแบบ

5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

1) การเลือกใช้หลอดแอลอีดีควรเลือกใช้ในกลุ่มดวงโคมแบบ 1-2 หลอด เนื่องจากให้การกระจายแสงเทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์

2) การวางผังแบบสลับทำให้ค่าการส่องสว่างดีเทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ในจำนวนดวงโคมที่น้อยกว่าช่วยทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง

3) หลอดฟลูออเรสเซนต์แอลอีดีไม่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับดวงโคมขนาด 60x120 สำหรับ 3 หลอด

References

กรมควบคุมมลพิษ (2547). *แนวทางการจัดการจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2556, จาก <http://www.pcd.go.th>

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (2546). *ข้อเสนอแนะระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย TIEA-GD003*. คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน. สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2556, จาก <http://www.thaiengineering.com>

AGI32. (2007). *AGI32 lighting software description*. Lighting Analysis (7 pages).

Baldry, C. & Barnes, A. (2010). The open-plan academy: Space, control and the undermining of professional identity.

Sage. Retrieved September 12, 2012, from <http://www.sagepublications.com>

Ledison Lighting. (2010). *Ledison T8 LED Tube 120cm 20W*. Retrieved March 21, 2013, from <http://www.ledison-led-lights.co.uk>

Lekise Lighting. (2012). *Lekise T8 LED Tube 120cm 20W*. Retrieved March 21, 2013, from <http://lekise.co.th>

Myer, M. A., Paget, M. L. & Lingard, R. D. (2009). *Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps*. Caliper Benchmark Report, Retrieved September 20, 2012, from <http://www.eere.energy.gov/buildings/ssl/benchmark.html>

Richman, E. E., Kinzey, B. R. and Miller, N. J. (2011). Laboratory Evaluation of LED T8 Replacement Lamp Products. *Pacific Northwest National Laboratory*, Retrieved September 20, 2012, from <http://www.ntis.gov/ordering.htm>

Ryckaert, W. R., Roelandts, I., Van Gils, M., Durinck, G., Forment, S., Audenaert, J., & Hanselaer, P. (2011). *Performance of LED linear replacement lamps*. 27th session of the CIE. Retrieved September 20, 2012, from <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/313513>

Tsuei, C. H., Pen J. W. & Sun, W. S. (2008). Simulating the illuminance and the efficiency of the LED and fluorescent lights used in indoor lighting design. *Optics express 18692*, 16(23), Retrieved September 15, 2012, from <http://www.opticsinfobase.org>

แนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อเพิ่มการระบายอากาศและลดความร้อน ภายในอาคารประเภทโรงงาน

Design of Opening to Enhance Ventilation and Reduce Heat in Factory Buildings

ปัทมทัต เพ็ชรดี¹ และ ดร. สุดาภรณ์ ชุงลู่²

Pannatat Petchdee¹ and Sudaporn Chungloo, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: pannatat_wut@hotmail.com¹, chungloo@tu.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบช่องเปิดเพื่อเพิ่มการระบายอากาศและลดความร้อนภายในอาคารประเภทโรงงานโดยใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสบายเชิงคุณภาพของผู้ใช้อาคาร การวิจัยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic; CFD) FLUENT 13.0 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การทดลองประสิทธิภาพในการระบายอากาศของอาคารในปัจจุบัน และการทดลองเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศของอาคาร การประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในที่ระดับความสูง 1.2 (ระดับทำงาน) 4.0 8.0 และ 10.0 เมตร ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ รูปแบบหลังคา ตำแหน่งและรูปแบบช่องเปิดที่ผนัง ผลการวิจัยพบว่า ควรใช้หลังคาที่มีช่องเปิดด้านบนหลังคาและมีความลาดเอียงพอเหมาะ เพื่อช่วยในการระบายความร้อนใต้หลังคาโดยอาศัยการลอยตัวของอากาศร้อนและการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความกดอากาศต่ำ ตำแหน่งของช่องเปิดที่ผนังส่วนบนและบนสุดช่วยลดความร้อนบริเวณใต้หลังคามากที่สุด รูปแบบของช่องเปิดส่งผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิภายในน้อยและมีทิศการเคลื่อนของลมคล้ายคลึงกัน ทิศทางของลมที่เกิดขึ้นในทุกกรณีมีลักษณะวนกลับส่งผลให้เกิดการสะสมของความร้อนภายในอาคาร สัดส่วนและขนาดของช่องเปิดของอาคารที่ไม่เหมาะสมและลมวนบริเวณด้านหลังอาคารทำให้การระบายอากาศไม่เพียงพอและอุณหภูมิสูงขึ้น ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารประเภทโรงงานที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติต่อไป

Abstract

This paper presents the opening designs to increase the ventilation and decrease the heat accumulated within the factory building. The study is divided into 2 parts; the testing of current ventilation system and determining the most efficient way of increasing the ventilation of factory building. The research carries out simulation using FLUENT 13.0, a Computational

Fluid Dynamics program to investigate average temperature within the building at different heights: 1.2, 4.0, 8.0, and 10.0 meters. The independent variables includes roof shapes, positions of air flow openings, and louver types. The results showed that the roof should have ventilation opening and built with appropriate angle of slope, not too low, which will help decrease the heat that appear under the roof by buoyancy force and the movement of air that caused by low air pressure. The position of ventilation opening locating on the upper part of the wall and also at the highest part help decrease the accumulation of heat under the roof. The type of the ventilation channel shows little effect on the temperature distribution and result in similar movement of air. Recirculation of air found in every experiments returns back into the building and increases the accumulated heat within. The appropriate size of ventilation channel according to the building proportion is required. The lack of air flow and will generate warm air accumulating within the leeward of the building, which also decreases the efficiency of ventilation. The results from this research can be use as a guideline for designing the factory building which using natural ventilation.

คำสำคัญ (Keywords): การออกแบบช่องเปิด (Opening Design), การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation), ความร้อนในอาคาร (Heat in Building), แนวทางการออกแบบ (Design Guidelines), อาคารประเภทโรงงาน (Factory Buildings), การคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics)

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันอาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของอาคารส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นไม่ส่งเสริมต่อการระบายอากาศและลดปริมาณความร้อนภายในอาคาร ผู้ใช้งานจึงต้องทนกับความร้อนที่เกิดการสะสมอยู่ภายในอาคารเป็นเวลานาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ผลผลิตลดลง และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพในการระบายอากาศและความร้อนของอาคารในปัจจุบัน โดยมุ่งศึกษาผลของการระบายอากาศและลดความร้อนที่เกิดจากลักษณะบานเกล็ดของช่องเปิด ตำแหน่งของช่องเปิด และรูปทรงหลังคา ผลที่ได้จากการศึกษา

สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบช่องเปิดอาคารเพื่อเพิ่มการระบายอากาศและลดความร้อนภายในอาคารประเภทโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นการนำเอาอากาศเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราที่ช้า โดยเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีดังนี้

1) การถ่ายเทอากาศโดยให้ลมพัดผ่าน (cross ventilation) คือ การถ่ายเทอากาศโดยให้

ลมพัดผ่านจากช่องทางเข้าด้านที่มีความกดอากาศสูงไปยังช่องทางออกที่มีความกดอากาศต่ำและควรวางตำแหน่งของช่องเปิดให้ตรงกัน เพื่อให้อากาศไหลผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องคำนึงถึง ทิศทางและอัตราเร็วของลม อัตราความกดอากาศ ขนาดและจำนวนช่องเปิด สิ่งกีดขวางภายใน รูปร่างและลักษณะช่องเปิด และการกระจายของลมที่พัดผ่านอาคาร

2) การถ่ายเทอากาศโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ (stack effect) คือ การเคลื่อนที่ของอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดความกดอากาศที่ต่างกันและทำให้อากาศเกิดเคลื่อนที่ วิธีนี้เหมาะกับพื้นที่ที่มีความสูงหรือมีความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่างช่องทางเข้าและออกมาก เช่น การระบายอากาศทางปล่อง โดยอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นด้านบนและอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่

2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศรอบอาคาร

เมื่ออากาศเคลื่อนที่ปะทะอาคารจะทำให้ด้านปะทะอาคารเกิดความกดอากาศสูงขณะที่ด้านหลังอาคารเกิดความกดอากาศต่ำ ระยะของการเกิดความกดอากาศต่ำจะมีระยะประมาณ 2-7 เท่าของความยาวอาคารจึงจะมีความเร็วลมเท่ากับความเร็วลมก่อนปะทะอาคาร (Michael G Malaragns, 1982) เมื่ออากาศไหลปะทะอาคารในทิศตั้งฉาก การเคลื่อนที่ของอากาศที่ระดับความสูง 1-2 ของความสูงอาคาร จะมีทิศทางไหลลง และช่วงที่ 3 จะมีทิศไหลขึ้น (ASHRAE, 2005)

2.3 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติของโรงงาน วิธีการในระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติของโรงงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1) การเปิดช่องเปิดที่ผนังและหลังคา โดยตำแหน่งของช่องเปิดที่ผนังจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกันตามยุคสมัย คือ ช่องเปิดส่วนบนสุดของ

ผนัง ส่วนบนของผนัง และส่วนล่างของผนังที่ระดับความสูง 1 เมตร ตามลำดับ ในส่วนของช่องเปิดที่หลังคาจะช่วยให้ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในอาคารระบายออกภายนอกได้ดีแต่ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

2) การเลือกใช้ช่องเปิด (บานเกล็ด) ส่งผลต่อทิศการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร หากบานเบี่ยงเกล็ดมีความถี่มากจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของลมมากส่งผลให้ลมเข้าภายในอาคารน้อยกว่าการใช้บานเกล็ดที่มีความถี่น้อย

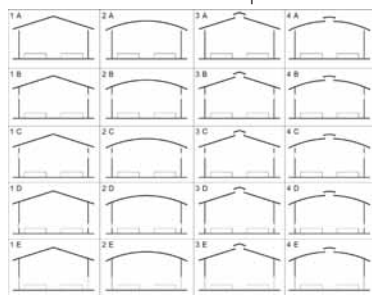
3) การแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอก โดยทั่วไปจะพบว่าใช้งานอยู่ 2 วิธี คือ การใช้ปล่องระบายอากาศ และการใช้ลูกหมุนระบายอากาศ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดที่ส่งผลต่อการระบายอากาศและความร้อนภายในอาคาร โดยศึกษาจากลักษณะอาคารที่มีในปัจจุบันและเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเฉลี่ยและทิศการเคลื่อนที่ของลมภายในอาคาร เพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบให้มีการระบายอากาศและความร้อนที่เหมาะสม

3.1 การกำหนดตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ รูปทรงหลังคาและตำแหน่งของช่องเปิด รวมทั้งหมด 20 กรณี โดยกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

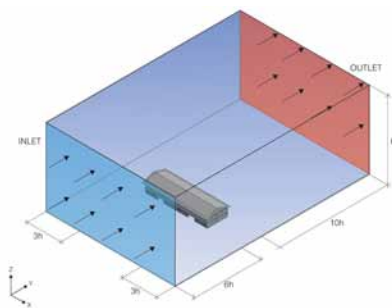


รูปที่ 1 กรณีศึกษา

- 1 คือ หลังคาจั่ว
- 2 คือ หลังคาโค้ง
- 3 คือ หลังคาจั่วที่มีช่องเปิดด้านบน
- 4 คือ หลังคาโค้งที่มีช่องเปิดด้านบน
- A คือ ตำแหน่งช่องเปิดส่วนบนสุดของผนัง
- B คือ ตำแหน่งช่องเปิดส่วนบนของผนัง
- C คือ ตำแหน่งช่องเปิดส่วนบนและบนสุดของผนัง
- D คือ ตำแหน่งช่องเปิดส่วนล่างของผนัง
- E คือ ใช้ประตูเป็นช่องเปิด

3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS FLUENT โดยกำหนดขนาดตัวอย่างอาคารที่ใช้ในการศึกษา คือ กว้าง 19.10 เมตร ยาว 58.00 เมตร สูง 10.61 เมตร และกำหนดขนาดกล่องทดลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขนาด กว้าง 60 เมตร ยาว 180 เมตร สูง 60 เมตร ซึ่งแบบจำลองอาคารที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้แบบจำลองครึ่งอาคารเนื่องจากหากอาคารมีลักษณะสมมาตรสามารถกำหนดค่าในโปรแกรมให้จำลองเสมือนมีอาคารทั้งอาคาร



รูปที่ 2 แบบจำลองอาคารที่ใช้ในการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการประเมินผล

3.3.1 การพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคาร

ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1.2 เมตร (ระดับทำงาน) 4 เมตร 8 เมตร 10 เมตร (พื้นที่ใต้หลังคา)

3.3.2 การพิจารณาทิศการเคลื่อนที่ของลมภายในอาคาร

พิจารณาควบคู่ไปกับผลที่ได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของการเคลื่อนที่ของลมต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้น

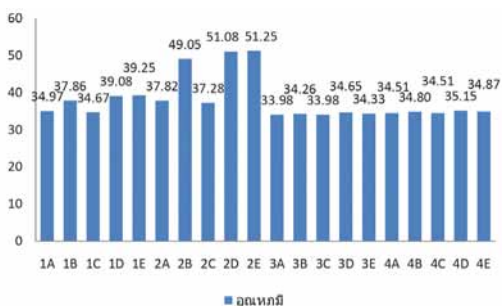
4. ผลการทดลอง

4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคาร

ผลการทดลอง พบว่า ความร้อนภายในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1.1 ความร้อนบริเวณใต้หลังคา

พบว่า รูปทรงหลังคาที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ หลังคาโค้ง หลังคาจั่ว หลังคาโค้งที่มีช่องเปิดด้านบน และหลังคาจั่วที่มีช่องเปิดด้านบนตามลำดับ ดังภาพที่ 3 เนื่องจากช่องเปิดด้านบนหลังคาช่วยในการนำอากาศและความร้อนภายในออกสู่ภายนอกเป็นผลมาจากความกดอากาศภายในที่มากกว่าภายนอก ต่างจากหลังคาที่ไม่มีช่องเปิดด้านบนทำให้ความร้อนไม่สามารถออกภายนอกจึงเกิดการสะสมของความร้อน

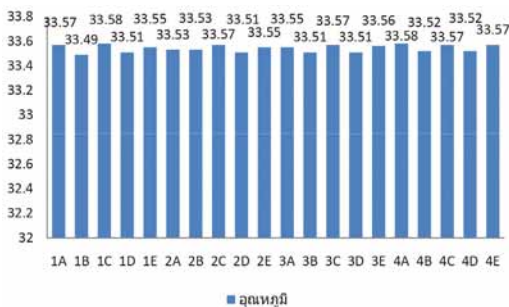


รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับความสูง 10 เมตร

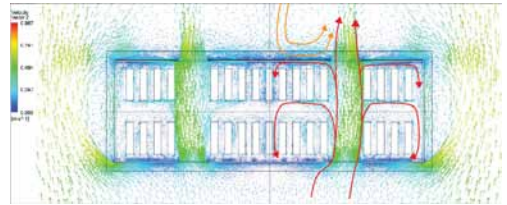
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตำแหน่งช่องเปิดที่ผนังกับหลังคา พบว่า ช่องเปิดที่ตำแหน่งบนสุดของผนังให้อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณใต้หลังคาต่ำที่สุด รองลงมาคือ ส่วนบนและบนสุด ส่วนบน ส่วนล่าง และประตู ตามลำดับ เนื่องจากหากมีช่องเปิดใกล้กับบริเวณที่มีความร้อนจะทำให้ความร้อนสามารถระบายออกด้านนอกได้

4.1.2 ความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงาน

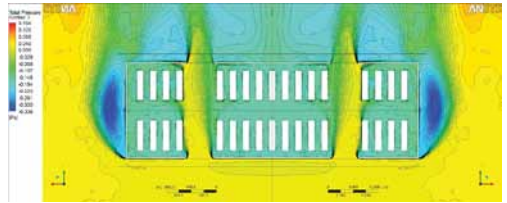
พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับทำงานในทุก การทดลองมีความใกล้เคียงกัน ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นความร้อนจากเครื่องจักรที่เกิดการสะสมภายในอาคารเป็นผลมาจากอิทธิพลของความดันที่แตกต่างกันของภายนอกและภายในดังภาพที่ 5 ก ความดันที่แตกต่างกันส่งผลต่อทิศทางเคลื่อนที่ของลม ทิศทางของลมภายในอาคารจะมีลักษณะวนกลับดังภาพที่ 5 ข เนื่องจากความดันบริเวณพื้นที่ทำงานมีต่ำกว่าความดันบริเวณประตูทางเข้าออก เมื่อลมมีลักษณะวนกลับทำให้เกิดการปะทะของลมภายในส่งผลให้เกิดบริเวณที่ความร้อนสะสมดังภาพที่ 6 นอกจากนี้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในอาคาร คือ ทิศการเคลื่อนที่ของลมไม่สัมพันธ์กับลักษณะของบานเกล็ดดังภาพที่ 7 ทำให้ปริมาณลมจากภายนอกเข้าภายในอาคารได้น้อย ในขณะที่เดียวกันลมจากภายนอกด้านหลังอาคารจะมีทิศสวนทางกับลมที่ออกจากอาคาร ทำให้ลมบางส่วนเข้าภายในอาคารส่งผลให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศออกจากอาคารลดลงดังภาพที่ 8 นอกจากนี้ การเปิดช่องเปิดที่ตำแหน่งบนสุดของผนังยังส่งผลต่อการสะสมความร้อนอีกทางหนึ่ง เนื่องจากลมที่ผ่านช่องเปิดจะมีลักษณะวนลงด้านล่างและจะเกิดลักษณะของลมวนกลับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1.2 เมตร

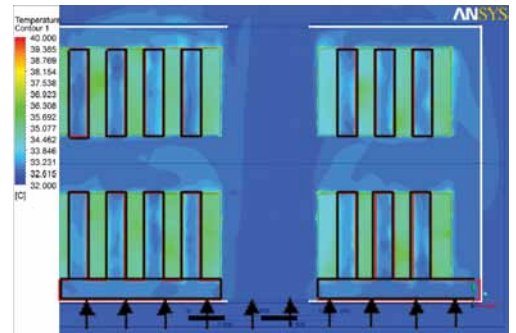


(ก) ทิศการเคลื่อนที่ของลม

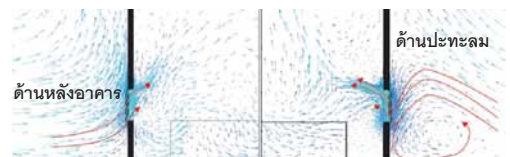


(ข) ความดันภายนอกและภายในอาคาร

รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ของลมเนื่องจากความแตกต่างของความดัน



รูปที่ 6 บริเวณที่เกิดการสะสมความร้อน (กรอบสีแดง)



รูปที่ 7 การเคลื่อนที่ของลมผ่านผนังเกล็ด

5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 ความร้อนภายในอาคาร แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1.2 ความร้อนบริเวณใต้หลังคา

1) หลังคาที่มีช่องเปิดด้านบนสามารถช่วยลดการสะสมของความร้อนบริเวณใต้หลังคา

2) หลังคาที่มีความชันต่ำ (หลังคาโค้ง) จะมีการกระจายตัวของความร้อนทั่วทั้งหลังคาและมีอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณใต้หลังคาส่งกว่าหลังคาที่มีความชันสูง (หลังคาจั่ว) ที่ความร้อนจะสะสมอยู่บริเวณส่วนยอด

5.1.2 ความร้อนบริเวณพื้นที่ทำงาน

ทิศทางลมภายในอาคารมีลักษณะวนกลับทำให้เกิดการสะสมความร้อนเนื่องจากการเลือกใช้ลักษณะและตำแหน่งของช่องเปิดที่ไม่เหมาะสม

5.1.3 ลักษณะและตำแหน่งของช่องเปิด

1) ช่องเปิดที่ใช้ในปัจจุบันไม่สัมพันธ์กับทิศการเคลื่อนที่ของลมเข้าอาคาร

2) ตำแหน่งของช่องเปิดที่เหมาะสมในการลดความร้อนภายในอาคารคือตำแหน่งส่วนล่างของผนัง

3) ควรหลีกเลี่ยงการเปิดช่องเปิดที่ส่วนบนและบนสุดของผนังเนื่องจากจะทำให้ลมและความร้อนจากด้านบนไหลลงมารวมกับความร้อนด้านล่าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลองได้กำหนดเฉพาะทิศทางลมตั้งฉากกับอาคาร ดังนั้น จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในทิศทางลมอื่นๆ เพื่อให้ครอบคลุมในการนำไปใช้งาน

2) ควรศึกษาผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลเพิ่มในการพิจารณาเลือกใช้ช่องเปิด

3) ควรศึกษาลักษณะช่องเปิดในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มการระบายอากาศภายในอาคาร

4) ผลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบช่องเปิดให้มีความเหมาะสมกับอาคารประเภทโรงงาน

References

มาลินี ศรีสุวรรณ. (2543). การศึกษาความสัมพันธ์ทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคารสำหรับอากาศร้อนขึ้นในประเทศไทย. *หน้าจั่ว*, 44(17), 152-168.

ศรีเดช ใจสูง. (2552). *ประสิทธิภาพในการใช้ผนังช่องเกิดและช่องเปิดเพื่อเพิ่มการระบายอากาศกรณีศึกษา: ศูนย์ซ่อมบำรุงยานยนต์. วิทยาลัยพณิชยกรรมมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.*

สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ. (2546). *ผลของช่องเปิดอากาศโรงงานที่มีต่อค่าความสบายโดยการถ่ายเทอากาศแบบธรรมชาติ. วิทยาลัยพณิชยกรรมมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.*

ASHRAE. (2001). *ASHRAE handbook-fundamentals (SI) 2001*. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

Givoni. B. (1994). *Passive and low energy cooling of building*. New York: John Wiley & Sons.

Goodfellow. H. (2001). *Industrial ventilation design guidebook*. California: Harcourt Science and Technology Company.

Meinders, E. R. & Hanjali, K. (1999). Vortex structure and heat transfer in turbulent flow over a wall-mounted matrix of cubes. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20, 2555-267.

การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการรื้อถอนอาคาร และการทำลายอาคาร

Analysis of Carbon Emission from the Process of Building Demolition

สุดตภา ใจแสน¹ และ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตร²

Suttapa Jaisan¹ and Atch Sreshthaputra, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: suttapa.jai@gmail.com¹, atch.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการรื้อถอนอาคารและทำลายอาคาร โดยสอบถามผู้รับเหมารื้อถอนอาคาร โดยใช้บ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงานเป็นอาคารกรณีศึกษา ผลการวิจัย พบว่า บ้านพักอาศัยมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 3,877.66 KgCO₂e หรือเท่ากับ 14.69 KgCO₂e/m² และอาคารสำนักงานมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 44,469.04 kgCO₂e หรือเท่ากับ 3.91 KgCO₂e/m² โดยวัสดุประเภทที่เป็นโลหะและอิฐ รวมถึงอิฐมอญและคอนกรีต เป็นวัสดุที่มีการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด โดยแนวทางการลดการปล่อยคาร์บอน คือ การออกแบบอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการเลือกใช้วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เช่น ไม้ เป็นต้น

Abstract

This research analyzed the carbon emission in the process of building demolition and collected data by questionnaire from contractors on they demolish the building. The residential building and office building used as the reference case in this study. The results indicate that the process of house demolition has carbon emissions equal to 3,877.66 KgCO₂e or 14.69 KgCO₂e/m² and the process of building demolition of office building has carbon emissions equal to 44,469.04 kgCO₂e or 3.91 KgCO₂e/m². It can be summarized that Metal and non-metal materials include brick and concrete is most the source of carbon emissions in the process of building demolition. So Building design that is friendly to the environment by using recuse materials such as wood, etc.

คำสำคัญ (Keywords): การรื้อถอนอาคาร (Greenhouse Gas Emission), การทำลายอาคาร (Carbon Emission), การปล่อยคาร์บอน (Demolition Process)

1. บทนำ

การรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคาร (Process of Building Demolition) เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานจากเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในกระบวนการขนส่งและกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในการทำงาน รวมทั้งพลังงานจากเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน โดยที่การใช้พลังงานในการดำเนินการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคารนั้น ย่อมนำมาซึ่งการปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยที่ปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่เกิดขึ้นนั้นจะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon dioxide equivalent, CO₂e) ซึ่งเป็นค่าที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคารของผู้รับเหมารื้อถอนอาคารในประเทศไทย โดยวิเคราะห์จากขั้นตอนกระบวนการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคารตั้งแต่ขั้นตอนการรื้อถอนวัสดุอาคาร การทำลายอาคาร จนกระทั่งขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุที่ได้หลังการรื้อถอนและทำลายอาคาร เนื่องจากในทุกขั้นตอนมีการใช้พลังงานในการปฏิบัติการ และยังส่งผลกระทบต่อการปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศด้วยเช่นกัน

2. วิธีการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยโดยเลือกทำการสำรวจเก็บข้อมูลเฉพาะผู้รับเหมารื้อถอนอาคารและทำลายอาคารที่เป็นวิศวกรคุมงานและประกอบกิจการภายในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น โดยใช้แบบสอบถาม เพื่อทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินงาน เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ใน

การดำเนินงาน โดยที่ในการวิจัยนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะรูปแบบการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคารในส่วนของงานสถาปัตยกรรม เช่น ประตูหน้าต่าง วัสดุผนังหลังคา ฯลฯ และส่วนที่เป็นโครงสร้างอาคาร เช่น คาน เสา พื้น ผนัง เป็นต้น ไม่รวมการปรับปรุง ซ่อมแซม การรื้อถอนถนนรอบอาคาร การรื้อถอนเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคาร การรื้อถอนระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร และได้เลือกอาคารกรณีศึกษา 2 ประเภท คือ ประเภทที่เป็นบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงาน

โดยในส่วนของ การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนที่ได้จากการใช้พลังงานในการดำเนินการรื้อถอนและทำลายอาคารของผู้รับเหมา นั้นได้อ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (Emission Factor) จากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (อบก.) โดยใช้จากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ส่วนในส่วนของ การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากวัสดุอาคารได้ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.3.3 ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนจากวัสดุอาคาร

ซึ่งรายละเอียดของอาคารกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

2.1 บ้านพักอาศัย

การวิจัยนี้ได้เลือกบ้านพักอาศัยที่มีลักษณะที่เป็นบ้านจัดสรรทั่วไปมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชั้นล่างเป็นที่สำหรับการจอดรถ และมีระเบียงชั้นบน ขนาดพื้นที่ใช้สอยประมาณ 264 m² สูง 2 ชั้น โดยที่เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยมีรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในบ้านพักอาศัย ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในบ้านพักอาศัย
 ขนาด 264 ตารางเมตร

วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย
คอนกรีต	88.53	m ³
เหล็ก RB6	2155.80	m
เหล็ก DB12	2477.20	m
อิฐมอญ	239.36	m ²
ปูนฉาบ	4.79	m ³
เหล็กโครงหลังคา (1x2)	557.90	m
เหล็กโครงหลังคา (2x4)	185.30	m
เหล็กโครงหลังคา (2x6)	110.80	m
กระเบื้องหลังคาซีแพคโมเนีย	204.38	m ²
ฝ้ายิปซัมบอร์ด	218.49	m ²
ฝ้าซีเมนต์แผ่นเรียบ	0.18	m ³
โครงฝ้า (อลูมิเนียม)	239.50	m
พื้นไม้	94.39	m ²
พื้นกระเบื้องเซรามิค	124.10	m ²
วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม แบบ Powder coat	474.90	m
ลูกฟักกระจกใส	52.08	m ²
วงกบประตูไม้	29.60	m ³
ประตูไม้	4.08	m ²
ประตู MDF	0.18	m ²

2.2 อาคารสำนักงาน

การวิจัยนี้ได้เลือกอาคารสำนักงานเป็นอาคารกรณีศึกษา โดยเลือกจากอาคารสำนักงานทั้งไปที่พบเห็นได้ในประเทศไทยที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร หรือ 7 ชั้น และส่วนใหญ่มีลักษณะของอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อการใช้ประโยชน์ภายในอาคารได้อย่างเต็มที่ และมีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 10,000 ตารางเมตร ดังนั้น การ

วิจัยนี้จึงเลือกใช้อาคารสำนักงานที่มีความสูง 7 ชั้น และมีพื้นที่ใช้สอย 11,375 m² ซึ่งเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ผ่นังก่ออิฐฉาบปูน โดยรายละเอียดของวัสดุอาคารแสดงไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในอาคารสำนักงาน
 ขนาด 11,375 ตารางเมตร

วัสดุ	ปริมาณ	หน่วย
คอนกรีต	3,053.84	m ³
เหล็ก RB6	88,256.33	m
เหล็ก DB12	14,208.00	m
อิฐมอญ	11,628.96	m ²
ปูนฉาบ	74.44	m ³
ฝ้ายิปซัมบอร์ด	10,375.75	m ²
โครงฝ้า T- bar	34,585.83	m
พื้นกระเบื้องยางไวนิล	10,375.75	m ²
วงกบและบานกรอบ อลูมิเนียม	10,949.75	m
ลูกฟักกระจกใส	1,288.00	m ²
ประตูบานกระจก	28.00	m ²

3. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการรื้อถอนและการทำลายอาคารจากการเก็บข้อมูลจากผู้รับเหมามีปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่แบ่งตามประเภทของอาคารได้ดังนี้

3.1 บ้านพักอาศัย

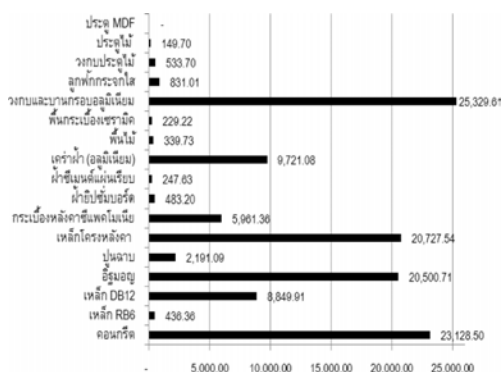
พบว่า กระบวนการรื้อถอนและทำลายบ้านพักอาศัยมีการปล่อยคาร์บอนทั้งสิ้น 3,877.86 kgCO₂e โดยที่ในขั้นตอนการรื้อถอนและทำลายบ้านพักอาศัยมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 2,612.34 kgCO₂e และในขั้นตอนการ

จัดการเศษวัสดุจากบ้านพักอาศัยมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 1,265.52 kgCO₂e และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัย พบว่า มีค่าเท่ากับ 14.69 KgCO₂e/m² โดยแสดงได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากบ้านพักอาศัย ขนาดพื้นที่ใช้สอย 264 ตารางเมตร

ขั้นตอน	ปริมาณคาร์บอน (kgCO ₂ e)
1. ขั้นตอนการรีดถนนและทำลาย	2,612.34
2. ขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุ	1,265.52
รวม	3,877.86
ปริมาณคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอย	14.69 KgCO ₂ e/m ²

วัสดุที่เป็นวงกบและบานกรอบอลูมิเนียมของบ้านพักอาศัย มีการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือวัสดุประเภทคอนกรีตตามด้วยวัสดุประเภทเหล็กโครงหลังคาของบ้านพัก โดยแสดงดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 การปล่อยคาร์บอนจากวัสดุของบ้านพักอาศัย (kgCO₂e)

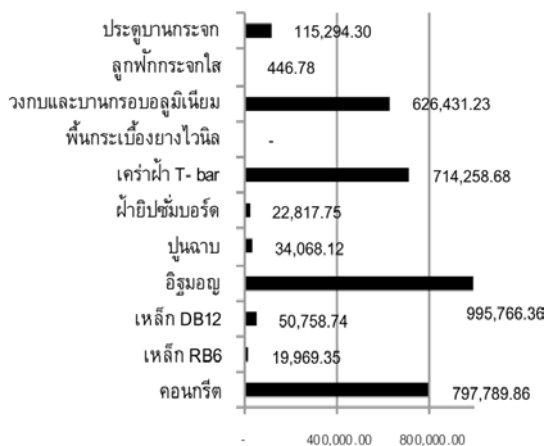
3.2 อาคารสำนักงาน

พบว่า กระบวนการรีดถนนและทำลายอาคารสำนักงานมีการปล่อยคาร์บอนทั้งสิ้น 44,469.04 kgCO₂e โดยที่ขั้นตอนการรีดถนนและทำลายอาคารสำนักงานมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 6,298.76 kgCO₂e และจากขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุจากอาคารสำนักงานมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 38,170.28 kgCO₂e และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำนักงาน พบว่า มีค่าเท่ากับ 3.91 KgCO₂e/m² โดยแสดงได้ดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากอาคารสำนักงาน ขนาดพื้นที่ใช้สอย 11,375 ตารางเมตร

ขั้นตอน	ปริมาณคาร์บอน (kgCO ₂ e)
1. ขั้นตอนการรีดถนนและทำลาย	6,298.76
2. ขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุ	38,170.28
รวม	44,469.04
ปริมาณคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอย	3.91 KgCO ₂ e/m ²

โดยที่วัสดุที่ประเภทอิฐมวลฉนวน มีการปล่อยคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือวัสดุประเภทคอนกรีต และตามด้วยวัสดุที่เป็นโครงฝ้า T- Bar และวัสดุที่เป็นวงกบและบานกรอบอลูมิเนียม โดยแสดงดังรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 การปล่อยคาร์บอนจากวัสดุของอาคารสำนักงาน (kgCO₂e)

4. สรุปผลการวิจัย

ปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการรีดถอนอาคารและทำลายอาคารนั้น มีลักษณะที่แปรผันตรงกับการใช้พลังงานในการปฏิบัติการรีดถอนและทำลายอาคาร โดยอาคารที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น อาคารสำนักงานจะมีการปล่อยคาร์บอนที่มากกว่าอาคารขนาดเล็ก นั่นคือ บ้านพักอาศัย แต่เมื่อเปรียบเทียบต่อพื้นที่ตารางเมตรของอาคารแล้วกลับพบว่า ในกระบวนการรีดถอนและทำลายบ้านพักอาศัยนั้นมีการปล่อยคาร์บอนต่อตารางเมตรในปริมาณที่มากกว่าการรีดถอนและทำลายอาคารสำนักงาน ทั้งนี้ เนื่องจาก อาคารสำนักงานมีวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่ซีเมนต์และโครงสร้างที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่มีผนังภายในที่ซับซ้อน เหมือนบ้านพักอาศัย ด้วยสาเหตุนี้จึงมีผลต่อการปฏิบัติงาน ที่สามารถกระทำได้รวดเร็วและใช้พลังงานในการปฏิบัติการรีดถอนและทำลายบ้านพักอาศัยที่น้อยกว่า ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำนักงานมีค่าที่น้อยกว่าปริมาณการปล่อย

คาร์บอนต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัย

จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุที่ได้จากอาคารนั้นจะมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่มาก สาเหตุเนื่องจากอาคารที่มีขนาดใหญ่ย่อมมีปริมาณวัสดุจำนวนมาก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการขนส่งเศษวัสดุที่ได้จากอาคารไปยังสถานที่รับซื้อเศษวัสดุจากอาคาร ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนในปริมาณมาก

เมื่อพิจารณาถึงการปล่อยคาร์บอนจากวัสดุของอาคาร พบว่า วัสดุประเภทโลหะและอลูมิเนียม คอนกรีต และอิฐมอญ เป็นวัสดุที่มีค่าการปล่อยคาร์บอนมากที่สุดทั้งจากบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงาน ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุประเภทโลหะและอลูมิเนียม เมื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปวัสดุเป็นวัสดุทุติยภูมินั้นมีการใช้พลังงานที่มากกว่าวัสดุประเภทอื่น ๆ ส่วนวัสดุประเภทคอนกรีตและอิฐมอญนั้น เนื่องจากเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในอาคารทั้ง 2 ประเภท จึงมีปริมาณของวัสดุในปริมาณมาก และเมื่อวิเคราะห์ถึงการปล่อยคาร์บอนจึงพบว่า มีปริมาณคาร์บอนในปริมาณที่มากเช่นเดียวกัน ส่วนวัสดุประเภทไม้ กลับเป็นวัสดุที่มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนต่ำสุด เนื่องจากเป็นวัสดุที่มารณากลับมาใช้ซ้ำได้ทันทีโดยไม่ผ่านกระบวนการใดๆ

5. ข้อเสนอแนะ

นอกจากการเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือในการรีดถอนอาคารและการทำลายอาคารที่เหมาะสมกับรูปแบบของอาคารแล้ว การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพย่อมนำไปสู่การลดการปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศได้เช่นเดียวกัน โดยการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างอาคารที่ลดการเกิดของเสีย เช่น การออกแบบอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการเลือกใช้

วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ เช่น ไม้ เป็นส่วนประกอบหลักของอาคาร ทั้งนี้ เนื่องจากการรีไซเคิลและทำลายอาคารนั้น ในส่วนของวัสดุที่เป็นไม้ผู้รับเหมาจะสามารถตัดแยกเพื่อนำไปใช้ซ้ำได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ เหมือนวัสดุประเภทอื่น ๆ เช่น เหล็กและอลูมิเนียม เป็นต้น

นอกจากนี้ การวางแผนการจัดการเศษวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิลอาคารและการทำลายอาคารที่มีประสิทธิภาพย่อมส่งผลให้มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่ลดลงได้เช่นกัน กล่าวคือ การเลือกใช้ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งเศษวัสดุจากอาคารที่มีความเหมาะสมกับปริมาณของวัสดุ เช่น วัสดุปริมาณ 12 ตัน ถ้าผู้รับเหมาเลือกใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ในการบรรทุกเศษวัสดุแทนรถบรรทุก 6 ล้อเล็ก ในการขนส่งไปยังสถานที่รับซื้อเศษวัสดุในระยะทาง 20 กม. พบว่า การใช้รถบรรทุก 10 ล้อ สามารถลดจำนวนเที่ยวของการบรรทุกได้จากเดิม 2 เที่ยวและลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้ถึง 18.67% จากการปล่อยคาร์บอนด้วยการขนส่งเศษวัสดุด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ

References

- กรมควบคุมมลพิษ. (2550). *รายงานการศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- กรมควบคุมมลพิษ และคณะ. (2550). *แนวทางการปฏิบัติในการจัดการของเสียจากการก่อสร้างและการรีไซเคิล* (รายงานการศึกษา). กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- นลินี อเนกแสน. (2554). *ค่าคาร์บอนอินเทนซิตีของบ้านพักอาศัยในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรรถน ศรีษฐบุตร. (2552). *การจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธี Life Cycle Assessment (LCA) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์*. โครงการส่งเสริมการวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช.
- อุษณีย์ อุยะเสถียร และคณะ. (2550). การประเมินปริมาณและองค์ประกอบของเสียและการรีไซเคิลในกรุงเทพมหานคร. *Environment and Natural Resources Journal*, 5(2), 133-140.
- องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. (2553). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์*. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: บริษัทอัมรินทร์พรีนติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

การประยุกต์ใช้มวลอุณหภาพเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานเขียว

Application of Thermal Mass for Energy Conservation of Green Office Building

ธีรวัต วงษ์กมลเศรษฐ์¹ และ ดร.จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์²
Teerawat Wongkamolseth¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: teerawat36983@hotmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้มวลอุณหภาพเพื่อลดพลังงานปรับอากาศในอาคารสำนักงาน โดยใช้คุณสมบัติการหน่วงเหนี่ยวและการกักเก็บความร้อนของวัสดุมวลอุณหภาพ การศึกษาแนวทางการลดพลังงานปรับอากาศโดยใช้มวลอุณหภาพและพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังอาคาร จำแนกเป็นมวลอุณหภาพกรอบอาคารและพื้น ตามรูปแบบการก่อสร้างที่นิยม รูปแบบการทดลองเป็นการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (eQUEST 3.64) เพื่อหาค่าพลังงานปรับอากาศที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า นอกจากคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของมวลอุณหภาพแล้วยังมีปัจจัยที่สำคัญอื่น ๆ เกี่ยวข้องด้วย ได้แก่ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังอาคารก็จะมีส่วนสำคัญมากเช่นกัน โดยมวลอุณหภาพที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนที่เหมาะสม จะต้องไม่มากหรือน้อยเกินไป จึงจะสามารถประหยัดพลังงานได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกวัสดุมวลอุณหภาพส่วนต่าง ๆ ของอาคารให้เหมาะสมกับขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งในอาคารที่ก่อสร้างใหม่และอาคารที่ต้องการปรับปรุงเพื่อลดพลังงานให้กับอาคารสำนักงาน

Abstract

This article proposes the design guidelines of applying thermal mass concept for reducing cooling energy in office buildings. The energy conservation can be achieved by two important properties of the thermal mass materials which are time lag effect and heat capacity. This research is to conserve the cooling energy by using the thermal mass and window-to-wall-ratios. The thermal mass is divided into envelope and floor thermal mass. The experiments is simulated through a computer program called eQUEST 3.64 to obtain the cooling energy. The results show that, in addition to the heat capacity of the thermal mass, other factors (i.e., heat transfer coefficient and window-to-wall-ratio) are also important. The efficiency of cooling

energy conservation can be significantly improved by using the envelope and floor thermal mass (the heat capacity weight and density of thermal mass should be optimal.) with a suitable window-to-wall-ratio. Furthermore, other practical designs with the thermal mass design in the first experiment can improve energy efficiency. The outcome of this research can be applied to the selection of the thermal mass materials in various parts of the buildings with the suitable window-to-wall-ratios. Moreover, it can be used in both new and renovated buildings in order to reduce the energy consumption in the office buildings.

คำสำคัญ (Keywords): มวลอุณหภาพ (Thermal Mass), พลังงานปรับอากาศ (Cooling Energy), อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังอาคาร (Window-to Wall Ratio), อาคารสำนักงาน (Office Building), การประหยัดพลังงาน (Energy Conservation)

1. ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในอาคารสำนักงานพบว่าเครื่องปรับอากาศมีการใช้พลังงานที่สูงในช่วงเวลาการทำงานอาคาร คือ ช่วงเวลา 8:00 – 18:00 น. โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงที่สุด เครื่องปรับอากาศก็จะมีการใช้พลังงานที่สูงที่สุด (peak cooling load) ตามไปด้วย (Lam, Danny & Cheung, 2003) ซึ่งวิธีในการลดพลังงานเครื่องปรับอากาศมีหลายวิธีด้วยกัน และแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ คือ การใช้มวลอุณหภาพอาคาร (thermal mass) ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการออกแบบอาคารปัจจุบันมีการออกแบบมวลอุณหภาพที่ไม่เหมาะสมทำให้ความร้อนจากภายนอกสามารถผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้ทันทีทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพื่อจัดการกับความร้อนที่เข้ามาภายในพื้นที่ ซึ่งประสิทธิภาพของมวลอุณหภาพเป็นคุณสมบัติวัสดุในการกักเก็บความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวการส่งผ่านความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคารทันทีได้ รวมทั้งยังลด

การแกว่งของอุณหภูมิภายใน

ปัจจัยของมวลอุณหภาพประกอบด้วย ความหนาแน่น ความหนาของวัสดุและค่าความจุความร้อนของวัสดุนั้น ๆ โดยวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนที่สูงจะเป็นวัสดุมวลอุณหภาพมากและจะทำให้เกิดอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวเวลา (time lag effect) ซึ่งจะสามารถเลื่อนเวลาการคายความร้อนที่สะสมไว้ในวัสดุเข้าสู่ภายในอาคารออกไปในช่วงเวลาหลังการทำงานอาคาร และคายความร้อนส่วนหนึ่งออกไปภายนอกอาคาร ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนที่ต่ำจะเป็นวัสดุมวลอุณหภาพน้อย แต่การเลือกใช้มวลอุณหภาพนั้นจะมีจุดที่เหมาะสม คือ จะต้องไม่มากหรือน้อยเกินไป จะทำให้สามารถลดพลังงานเครื่องปรับอากาศได้ 18-20 % (Balaras, 1996)

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาปริมาณและชนิดของมวลอุณหภาพที่เหมาะสมเพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศภายในอาคารสำนักงาน

2. วิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อลดพลังงานปรับอากาศจากรังสีความร้อนที่ผ่านเข้าทางผนังโปร่งแสง

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 มวลอุณหภาพ

องค์ประกอบสำคัญของมวลอุณหภาพในการกักเก็บความร้อน จะขึ้นอยู่กับปริมาณมวลวัสดุและค่าความจุความร้อนของวัสดุ ยิ่งวัสดุมวลอุณหภาพมีปริมาณมวลและความสามารถในการจุความร้อนสูงความสามารถในการกักเก็บความร้อนจะมากตามไปด้วยเช่นกัน

ผลของความสามารถในการกักเก็บความร้อนที่มากจะทำให้เกิดอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag effect) เกิดขึ้น แต่ในเชิงของการประหยัดพลังงานจะเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

2.2 มวลอุณหภาพกับการถ่ายเทความร้อน

2.2.1 อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารในช่วงแรก อุณหภูมิผนังภายในและภายนอกจะมีค่าเท่ากัน เมื่อกรอบอาคารภายนอกได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวอาคารภายนอกกับภายในจะเกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน เมื่ออุณหภูมิผนังอาคารเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในเวลากลางวันจนถึงช่วงบ่าย อุณหภูมิผนังอาคารจะสูงเท่าอุณหภูมิภายนอกและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารอย่างช้า ๆ เนื่องจากการกักเก็บความร้อนของมวลอุณหภาพ จากนั้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาเย็น ความร้อนที่สะสมไว้ในกรอบอาคารก็จะถูกถ่ายเทเข้าสู่ภายในส่วนหนึ่ง

และสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอีกส่วนหนึ่ง จากการถ่ายเทความร้อนดังกล่าว เรียกว่าอิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag effect) ความร้อนจะไม่เข้าสู่อาคารในทันที ทำให้ช่วยลดภาระการปรับอากาศและอุณหภูมิภายใน

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยของ Lam, C. J. และ Danny, H. W. (2003) พบว่า การเพิ่มมวลอุณหภาพโดยใช้เทคนิคการเพิ่มการเก็บความร้อนให้กับอาคาร (fabric energy storage technique) จะสามารถช่วยลดพลังงานการปรับอากาศได้ 17 - 20 %

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญ คือ ค่า U ของวัสดุ สรญา ประวิตรางกุล (2543) ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานปรับอากาศของผนังมวลอุณหภาพ โดยปัจจัยที่สนใจคือ ค่า U และ น้ำหนักของผนังและจากการทดลองนี้เห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลกับการลดภาระการทำความเย็นมากที่สุดคือ ค่า U ของวัสดุ และน้ำหนักของผนังที่ใช้ เนื่องจากผนังที่มีค่า U มากจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้น้อย ความร้อนจะถ่ายเทเข้าและออกได้ในอัตราที่เร็วกว่า

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) โดย การศึกษาจะใช้โปรแกรม eQUEST เป็นหลักในการทดลอง

3.1 การกำหนดตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรต้นในการศึกษาปริมาณและชนิดมวลอุณหภาพที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ คือ

ชนิดของมวลอุณหภาพกรอบอาคาร ความหนาแน่นมวลอุณหภาพ ความหนาแน่นพื้นอาคาร เมื่อนำเกณฑ์มาวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุ มวลอุณหภาพสามารถเลือกรูปแบบวัสดุ มวลอุณหภาพกรอบอาคารได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ผนังคอนกรีต ผนังก่ออิฐ และผนังคอนกรีตปิดผิวด้วยหิน โดยจะมีค่า U 0.87 Btu/h ft² F, 0.74 Btu/h ft² F และ 0.10 Btu/h ft² F ตามลำดับ กำหนดความหนา 10 cm. เท่าๆ กัน โดยเพิ่มความหนาแน่นตั้งแต่ช่วง 20 – 500 lb/ft³ ช่วงละ 20 lb/ft³ รวมเป็น 25 ช่วง ขณะที่รูปแบบพื้นอาคารใช้พื้นคอนกรีตหนา 10 cm. เพียงอย่างเดียว ความหนาแน่นตั้งแต่ 20 – 300 lb/ft³ รวมเป็น 15 ช่วง

พื้นที่ช่องเปิดต่อผนังอาคาร

ตัวแปรในการศึกษาอิทธิพลพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ที่มีผลต่อภาระการทำความร้อน จะมีการจัดตัวแปรร่วมกับการทดลองวัสดุ มวลอุณหภาพ โดยมีการควบคุมตัวแปรชนิดกระจกจะเลือกใช้กระจกลามิเนตสีเขียวหนา 3 mm. + 3 mm. ช่วงระหว่าง WWR 100, 80, 60 ในการทดลอง WWR จะทดลองร่วมกับมวลอุณหภาพกรอบอาคารและพื้นอาคาร

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

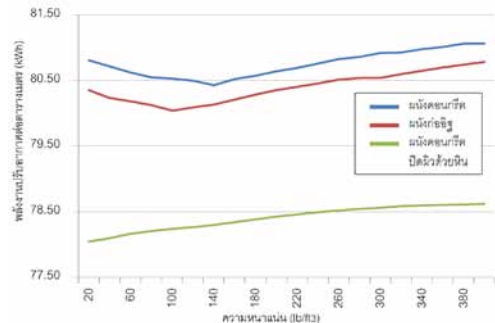
ในการทดลองศึกษาขนาด ชนิด และมวลอุณหภาพที่มีผลต่อภาระการทำความร้อน ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานปรับอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดและความหนาแน่นมวลอุณหภาพกรอบอาคารและพื้นอาคาร และเมื่อใช้ทั้งสองส่วนร่วมกัน โดยจะค่อยๆ เพิ่มความหนาแน่นของวัสดุ

การทดลองศึกษาพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่

ผนังอาคารที่มีผลต่อภาระการทำความร้อนผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานปรับอากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดและขนาดของมวลอุณหภาพร่วมด้วย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานเมื่อใช้ร่วมกับมวลอุณหภาพ

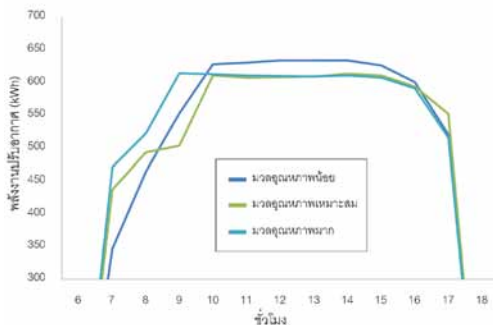
4. ผลการทดลอง

จากการทดลองมวลอุณหภาพกรอบอาคารและพื้น พบว่า การเลือกใช้มวลอุณหภาพที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ใช้พลังงานสูง การเลือกใช้ที่เหมาะสมจะต้องเลือกปริมาณมวลอุณหภาพที่พอเหมาะในการทดลองหาจุดสมดุลมวลอุณหภาพพื้นคอนกรีตที่มีค่าความหนาแน่นที่ 20 - 500 lb/ft³ เมื่อใช้ร่วมกับมวลอุณหภาพพื้นคอนกรีตที่เหมาะสม ได้ผลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าความหนาแน่นมวลอุณหภาพกรอบอาคารที่เหมาะสม

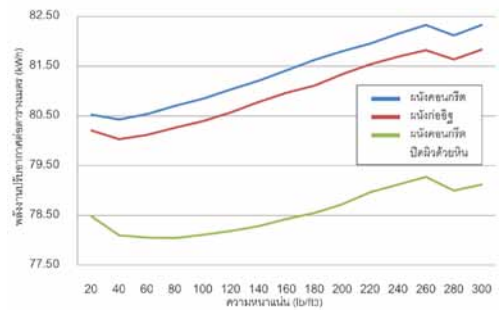
เห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้มวลอุณหภาพพื้นที่เหมาะสม มวลอุณหภาพผนังคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 140 lb/ft³ จะมีใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยผนังก่ออิฐและผนังคอนกรีตปิดผิวด้วยหินจะใช้ความหนาแน่น 120 lb/ft³ และ 20 lb/ft³ ตามลำดับ หากใช้น้อยหรือมากกว่านี้จะทำให้ใช้พลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ เช่นกัน



รูปที่ 2 การใช้พลังงานปรับอากาศใน 1 วัน

จากรูปที่ 2 การใช้มวลดุณหภูมิที่น้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้พลังงานในช่วงบ่ายสูง เนื่องจากความสามารถในการจุความร้อนต่ำ ความร้อนจะเข้าสู่อาคารได้ทันที แต่ถ้าใช้มวลดุณหภูมิมากเกินไปจะทำให้ใช้พลังงานในช่วงการเปิดใช้งานสูงมาก เนื่องจากความร้อนที่ถูกสะสมไว้ ถ่ายเทออกได้ไม่หมดในช่วงที่ไม่มีการใช้งานอาคาร ถึงแม้ในช่วงบ่ายจะสามารถหน่วงความร้อนไว้ได้มากก็ตาม การใช้พลังงานในช่วงเริ่มต้นที่สูงทำให้ใช้พลังงานรวมมากกว่าผนังมวลดุณหภูมิน้อยที่มีช่วงสั้นเปลี่ยนที่น้อยกว่า และค่าพลังงานที่สั้นเปลี่ยนน้อย การใช้มวลดุณหภูมิที่เหมาะสมถึงแม้จะใช้พลังงานเริ่มต้นที่มากกว่า มวลดุณหภูมิที่น้อย แต่เนื่องจากมีความเหมาะสม ปริมาณความร้อนที่สะสมจึงมีน้อยกว่ามวลดุณหภูมิมาก และในช่วงบ่ายก็สามารถหน่วงความร้อนไว้ได้เช่นกัน ซึ่งมีความแตกต่างกับมวลดุณหภูมิที่มากเกินไป เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในส่วนของมวลดุณหภูมิพื้นไม่ว่าจะเลือกใช้ผนังที่มีมวลดุณหภูมิมากเท่าไรก็ตาม การเลือกใช้พื้นที่ที่มีมวลดุณหภูมิที่น้อยจะสามารถประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด เนื่องจากไม่มีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอกจึงไม่มีความจำเป็นในการกักเก็บความร้อนเพื่อคายความร้อนออกในเวลาหลังการใช้งาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าความหนาแน่นมวลดุณหภูมิพื้นที่ที่เหมาะสม

4.1 ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับมวลดุณหภูมิ

จากรูปที่ 1 และ 3 เห็นได้ว่า ผนังก่ออิฐที่มีค่า U ต่ำกว่าผนังคอนกรีตจะมีการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าแต่รูปแบบแนวโน้มจะไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากค่า U ที่มากกว่าจะทำให้มวลดุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนน้อยกว่า ความร้อนสามารถถ่ายเทเข้าออกได้ในอัตราที่เร็วกว่า และผนังที่มีค่า U ต่ำกว่าจะสามารถลดขนาดของมวลดุณหภูมิให้น้อยลงได้ ในการทดลองนี้ผนังที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด คือ คอนกรีตปิดผิวด้วยหิน ผนังก่ออิฐ และผนังคอนกรีตตามลำดับ การติดตั้งฉนวนทำให้มีการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารก่อนแล้ว และการติดตั้งฉนวนยังทำให้ลดค่า U ของผนังลงได้มากอีกด้วย ดังนั้น ผนังที่ติดตั้งฉนวนจึงไม่จำเป็นต้องใช้ผนังที่มีมวลดุณหภูมิมาก

ปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ การลดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารจะทำให้ลดพลังงานได้อย่างชัดเจนมากที่สุดเนื่องจากการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าทางช่องเปิดโดยตรง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของผนังมวลดุณหภูมิให้มากขึ้นอีกด้วยแต่การลดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารจะทำให้พื้นที่ที่กรอบอาคารมากขึ้นเช่นกัน จึงจำเป็นต้องใช้ผนังที่มีมวลดุณหภูมิมากขึ้นตามไปด้วย

5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

1) มวลอุณหภาพกรอบอาคารที่เหมาะสมจะต้องมีความจุความร้อนที่ไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยจุดที่เหมาะสมที่สุดจะแตกต่างกันออกไปตามขนาดของมวลอุณหภาพพื้นที่เลือกใช้

2) มวลอุณหภาพพื้นที่เหมาะสมไม่ควรจะมากเกินไป 60 lb/ft³ เนื่องจากพื้นอาคารไม่มีความจำเป็นต้องกักเก็บความร้อนสูง เพราะไม่ได้สัมผัสสภาพแวดล้อมภายนอก การสะสมความร้อนของพื้นอาคารจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานตลอดช่วงวันมากขึ้นเรื่อยๆ และปัจจัยค่า U จะไม่ส่งผลกับพื้นอาคาร

3) หากมีความจำเป็นต้องเลือกพื้นที่ที่มีมวลอุณหภาพมากควรจะมีการใช้ร่วมกับผนังที่มีมวลอุณหภาพที่มากเช่นกัน จะสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่าการเลือกใช้ผนังมวลอุณหภาพน้อย เนื่องจากผนังจะช่วยป้องกันความร้อนที่จะผ่านเข้าภายในอาคารและจะกักเก็บความร้อนไว้ในพื้นที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานปรับอากาศมากขึ้น

4) การเลือกใช้ผนังที่มีค่า U ยิ่งน้อยจะยิ่งดี เนื่องจากความร้อนจะถ่ายเทเข้าออกได้ในอัตราที่ช้ากว่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานให้กับผนังมวลอุณหภาพ และยังสามารถลดขนาดของผนังมวลอุณหภาพให้มีความหนาแน่นที่ลดลงได้อีกด้วย

5) การลดขนาดพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารจะเป็นการลดพลังงานปรับอากาศได้ดีที่สุดในทุก ๆ วัสดุ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการคำนึงถึงมวลอุณหภาพภายในอื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อพลังงานปรับอากาศ เช่น รูปแบบผนังภายใน น้ำหนักเฟอร์นิเจอร์และรูปแบบการจัดผังอาคาร รวมถึงมวลอุณหภาพของหลังคาอาคาร

References

- กัญญาภักดิ์ แต่พิพัฒน์พงษ์. (2553). *การศึกษาวัสดุและอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อการลดการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สรญา ประวิตรวงกุล. (2543). *อิทธิพลของมวลสาร ผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและภาระการปรับอากาศในการออกแบบอาคาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ASHRAE. ASHRAE Handbook. (2007). *Fundamentals, Chapter 1*. Atlanta, GA: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Balaras, C. A. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and Buildings*, 24, 1-10.
- Moore, F. (1993). *Environmental control systems: heating cooling lighting*. Singapore: McGraw-Hill.
- Braun, E. J., Montgomery, W. K., & Chaturvedi, N. (2001). Evaluating the performance of building thermal mass control strategies. *HVAC & Research*, 7, 1-14.
- Lam, J. C., Danny, H. W., & Cheung, S. O. (2003). An analysis of electricity end-use in air-conditioned office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 38, 493-498.
- Yang, L. & Li, Y. (2008). Cooling load reduction by using thermal mass and night ventilation. *Energy and Buildings*, 40, 2052-2058.

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน
เมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศ

The Energy Performances of Glazing Area Allocation on
Office Building Facades with Different Orientations

ภาณิตภัทร ศิริสวัสดิวัฒนา¹ และ ดร. จตุวัฒน์ วจโรดมพันธ์²

Phanitphat Sirisawadwattana¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: phanitphat.ung@gmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเมื่อมีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กระจกและทิศของกระจก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาอิทธิพลของการกำหนดพื้นที่กระจกตามทิศ มีตัวแปรที่สำคัญคือ อัตราส่วนพื้นที่กระจก (WWR) ตั้งแต่ WWR 80% - WWR 20% มีการกำหนดพื้นที่กระจก ตั้งแต่ 90% - 10% ในแต่ละทิศทางของสัดส่วนอาคาร 1:1 1:1.3 1:1.7 และ 1:3 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปี ส่วนที่สองเป็นการศึกษาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก โดยการเปลี่ยนคุณสมบัติกระจกและการติดตั้งแผงบังแดด ในการทดลองใช้การจำลองโมเดลผ่านโปรแกรม eQUEST_3.64 และมีข้อจำกัดว่าต้องมีพื้นที่กระจกในทุกทิศของผนัง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกำหนดพื้นที่กระจกขนาดใหญ่ในทิศใดทิศหนึ่ง เมื่อ WWR น้อยลง จะมีแนวโน้มการใช้พลังงานน้อยกว่าการกำหนดพื้นที่กระจกเท่ากันทุกทิศ อีกทั้งการเปลี่ยนคุณสมบัติกระจกช่วยลดอิทธิพลของพื้นที่กระจกทิศตะวันออกได้ดีกว่าทิศใต้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านสถาปัตยกรรม เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกรอบอาคารชั้นเบื้องต้น รวมถึงการออกแบบที่มีข้อจำกัดด้านที่ตั้งที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมได้

Abstract

The modern technology of construction leads to the change in office building facades to be more sophisticated and variety. The glass is used as a main element of building facades which result in high air-conditioning energy usage. One solution to reduce energy consumption is to design the glazing area of building to conform with building orientation and proportion. The objective of this research is to study the energy performances when the combination of glazing area and glazing orientations changed. There are two main sections in this study; the

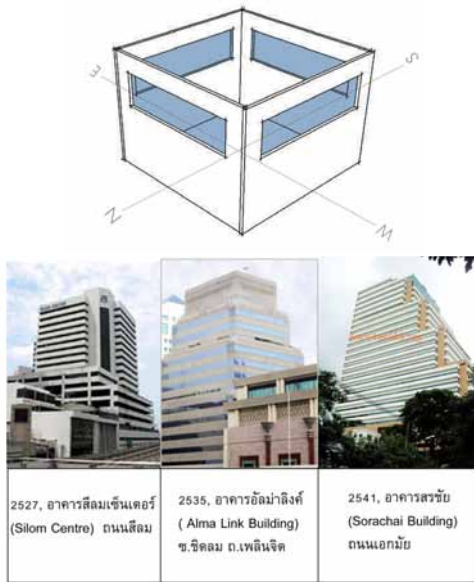
first one aims at the impact of variables, including window to wall ratios (WWR), ranged from WWR 80% to WWR 20%. The glazing area allocation from 90% to 10% in each orientations and building proportions 1:1, 1:1.3, 1:1.7 and 1:3. Energy consumption per year will be used as a comparison. The second part focuses on reducing heat transfers through glass by changing glass property and using shading devices. Simulation model by eQUEST_3.64 was employed for this study with an assumption that each building side must have glass. The research finding revealed that having larger glazing area on one orientation in low WWR can reduce energy consumption than having equal glazing area in all orientation. The result of this research can not only improve knowledge of architecture that applies to preliminary facades design, but also alternate design solution with specific sites.

คำสำคัญ (Keywords): อาคารสำนักงาน (Office Building), ทิศทาง (Orientation), สัดส่วนอาคาร (Building Proportion), อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อผนังอาคาร (Window to Wall Ratio: WWR), การกำหนดพื้นที่กระจก (Glazing Area Allocation)

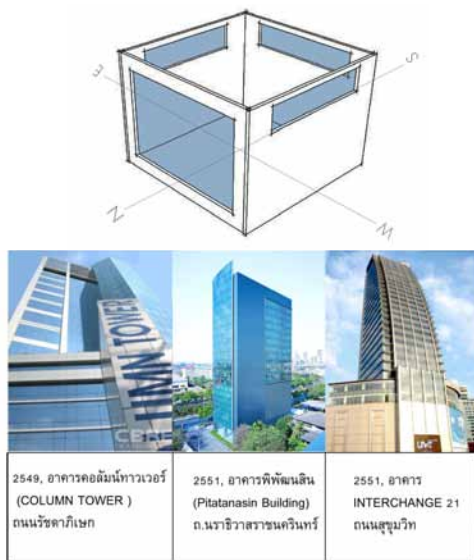
1. บทนำ

กรอบอาคารสำนักงานในปัจจุบันมีกระจกเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ และอาคารขนาดเล็ก กระจกเมื่อเทียบกับผนังที่บจะมีการถ่ายเทความร้อนมากกว่า 3 - 5 เท่า เป็นเหตุให้สูญเสียพลังงานในการปรับอากาศอย่างมหาศาล การออกแบบกรอบอาคารจึงต้องให้ความสำคัญเรื่องการใช้พลังงาน โดยมีหลักคือ ออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ (Olgyay, 1992) จากการศึกษา พบว่า ทุกทิศของกรอบอาคารจะได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ในปริมาณที่ต่างกัน โดยทิศที่มีผลต่อภาระการทำความร้อนมากที่สุด คือ ทิศใต้ 21% ส่วนทิศที่มีผลต่อภาระการทำความร้อนน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ 6% และพื้นที่กระจกจะแปรผันตามภาระการทำความร้อน ดังนั้น ทิศทางและขนาดของพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่

ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แต่ในงานวิจัยอื่นมีการศึกษาพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารที่กำหนดให้ทุกทิศเท่ากันหรือแยกเฉพาะแต่ละทิศ ดังรูปที่ 1 ซึ่งไม่สอดคล้องกับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังไม่พบวรรณกรรมที่มีการศึกษาในประเด็นเรื่องการกำหนดพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารตามทิศอย่างชัดเจนเท่าที่ควร และนอกจากเรื่องของพลังงาน ยังมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ตั้งในเขตชุมชนเมือง รวมถึงการออกแบบกรอบอาคารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้พื้นที่กระจกของผนังแต่ทิศไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2 ซึ่งจากประเด็นดังกล่าวจึงนำไปสู่การวิจัยที่มุ่งแสวงหาแนวทางการออกแบบกรอบอาคารเมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารตามทิศให้เหมาะสมกับสัดส่วนอาคาร ที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานมากที่สุด



รูปที่ 1 WWR ที่ศึกษาในงานวิจัยอื่น และตัวอย่างสำนักงานในอดีต



รูปที่ 2 WWR ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ และตัวอย่างสำนักงานในปัจจุบัน

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบกรอบอาคารประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่ พื้นที่ผิว

ภายนอกอาคาร ทิศการวางอาคาร WWR ชนิดของผนังและกระจก การติดตั้งแผงบังแดด เป็นต้น ทั้งนี้ มีการศึกษาหลายแนวทางเพื่อนำมาออกแบบกรอบอาคารที่ช่วยลดการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตามการศึกษาสัดส่วนอาคารและ WWR พบว่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ คือ 1: 1.3 และ 1: 1.7 รวมทั้ง WWR ที่สูงขึ้นส่งผลต่อภาระการทำความเย็นที่มากขึ้น (ณัฐภูมิ รัชคำอินทร์, 2552) การศึกษาการแนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงาน พบว่า การเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติและมีความสูง จะมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดเมื่อมี WWR น้อยกว่าร้อยละ 40 (สวิชญา ดาวประกายมงคล, 2552) และการศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบาของอาคาร โดยการปรับชนิดผนังร่วมกับสัดส่วนอาคารและ WWR ใน 3 รูปแบบ คือ 1) ทั้ง 4 ทิศมีพื้นที่กระจก ร้อยละ 60 2) ทั้ง 3 ทิศมีพื้นที่กระจก ร้อยละ 60 80 100 และอีก 1 ทิศมีพื้นที่กระจก ร้อยละ 30 และ 3) มีพื้นที่กระจก ร้อยละ 60 เท่ากัน 2 ทิศ จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนอาคารที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดคือ สัดส่วน 1 ต่อ 1 และการกำหนดพื้นที่กระจกในรูปแบบที่ 2 จะมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด (กอบกุล วิจิตรมงคลไชย, 2542) แต่การศึกษาในแต่ละรูปแบบยังไม่สามารถนำผลมาเปรียบเทียบกันได้อย่างชัดเจน เพราะมีพื้นที่กระจกรวมในแต่ละกรณีไม่เท่ากัน เนื่องจากพื้นที่กระจกที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังที่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยอื่น งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงอ้างอิงพื้นที่กระจกรวมเท่ากับ WWR ในแต่ละกรณีที่มีการกำหนดพื้นที่กระจกทุกทิศเท่ากัน เพื่อศึกษาอิทธิพลต่อการใช้พลังงานเมื่อมีทิศทางและขนาดพื้นที่กระจกเปลี่ยนไป

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (simulation research) โดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 ช่วงหลัก คือ ช่วงแรกคำนวณผลการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ eQUEST_3.64 เมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศร่วมกับตัวแปรต่างๆ และในช่วงที่สองเป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานเมื่อเปลี่ยนคุณสมบัติกระจกและติดตั้งแผงบังแดดร่วมกับการกำหนดพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารตามทิศ เพื่อลดปริมาณรังสีความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารทางกระจก

3.1 การสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ

(Base case Building)

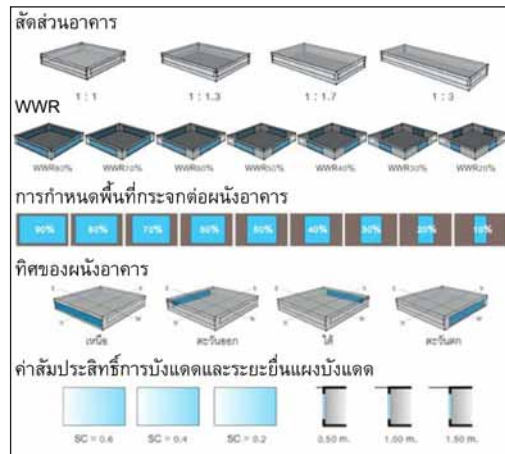
เพื่อให้ผลวิจัยถูกต้องและน่าเชื่อถือ จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารสำนักงานในปัจจุบันมากที่สุด ทั้งขนาดและรูปทรงอาคาร วัสดุผนัง และชนิดกระจก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพื้นฐานของแบบจำลองอาคาร

Building type	Office
Total building area	58,590 sq.m.
Total occupied area	45,960 sq.m.
Building height	30 stories
Floor to floor	3.96 m.
Roof type	Concrete Slab
Wall type	Aluminium Cladding
Glass type	Green Tint Laminated Glass
HVAC system	Chilled water coils

3.2 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

ตัวแปรที่เลือกศึกษาในงานวิจัย เป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกรอบอาคาร ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ สัดส่วนอาคาร WWR การกำหนดพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารตามทิศ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก และระยะยื่นแผงบังแดด โดยรายละเอียดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย

4. ผลการทดลอง

ผลจากการจำลองการใช้พลังงาน แสดงในหน่วย กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²/yr) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

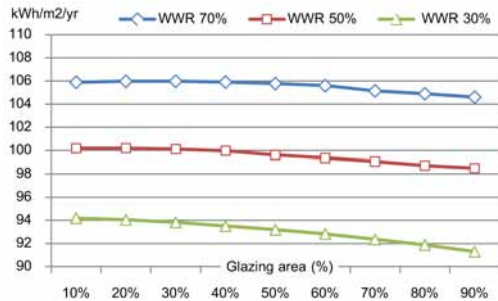
4.1 เมื่อกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารทุกทิศเท่ากัน ใน WWR และสัดส่วนอาคารต่างกัน

ความต่างของการใช้พลังงานเมื่อ WWR สูงขึ้นจะเห็นชัดเจนกว่าเมื่อสัดส่วนอาคารเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วน 1 ต่อ 1.3 มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดในทุก WWR และสัดส่วน 1 ต่อ 3 มีการใช้พลังงานมากที่สุดในทุก WWR เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ WWR

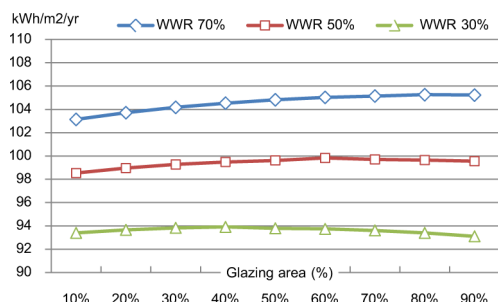
ที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งผลในส่วนนี้จะนำไปใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับผลในส่วนถัดไป

4.2 เมื่อกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศต่างกัน ใน WWR และสัดส่วนอาคารต่างกัน

4.2.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานที่สัดส่วนอาคารเดียวกัน แต่มี WWR ต่างกัน การใช้พลังงานที่สัดส่วน 1 ต่อ 1 สรุปได้ว่า เมื่อ WWR ต่ำลงการใช้พลังงานมีรูปแบบเดียวกัน โดยแปรผันตามขนาดของพื้นที่กระจกในทิศนั้น ๆ ทิศเหนือพื้นที่กระจกมากขึ้นการใช้พลังงานน้อยลง ดังรูปที่ 4 และทิศใต้พื้นที่กระจกมากขึ้นการใช้พลังงานมากขึ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 การใช้พลังงานเมื่อกำหนดพื้นที่กระจกตามทิศในทิศเหนือ



รูปที่ 5 การใช้พลังงานเมื่อกำหนดพื้นที่กระจกตามทิศในทิศใต้

4.2.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานที่สัดส่วนอาคารต่างกัน แต่มี WWR เท่ากัน

การใช้พลังงานที่ WWR 70% สรุปได้ว่า เมื่อสัดส่วนอาคารต่างกัน อิทธิพลของพื้นที่กระจกในแต่ละทิศแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

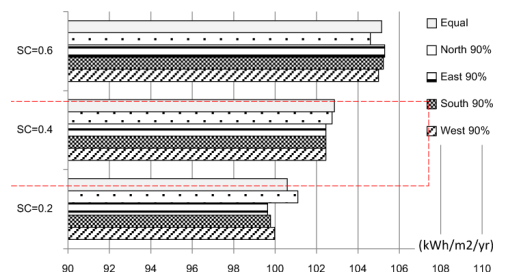
ตารางที่ 2 สรุปอิทธิพลของพื้นที่กระจกในแต่ละทิศที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

สัดส่วนอาคาร	ทิศพื้นที่กระจกมีผลต่อพลังงาน	
	มาก	น้อย
1 ต่อ 1	ทิศใต้ ตะวันออก	ทิศเหนือ
1 ต่อ 1.3	ทิศใต้	ทิศเหนือ ตะวันตก
1 ต่อ 1.7	ทิศใต้ เหนือ	ทิศตะวันตก
1 ต่อ 3	ทิศใต้ เหนือ	ทิศตะวันออก - ตก

จากตารางที่ 2 พื้นที่กระจกทิศเหนือจะมีผลต่อการใช้พลังงานมากขึ้นเมื่อสัดส่วนอาคารมากขึ้น ขณะที่พื้นที่กระจกทิศตะวันออกจะมีผลน้อยลง

4.3 เมื่อเปลี่ยนคุณสมบัติกระจกและระยะยื่นแผงบังแดด ร่วมกับการกำหนดพื้นที่กระจก

การเปลี่ยนค่า SC = 0.4 ในทิศตะวันออกใต้และตะวันตก จะมีการใช้พลังงานเท่ากัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การใช้พลังงานเมื่อกำหนดพื้นที่กระจก 90% ต่อผนังอาคาร ในทิศต่างๆ ที่ SC 0.6, 0.4 และ 0.2

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

หลักการกำหนดพื้นที่กระจกของผนังอาคารตามทิศ จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของทิศทางและขนาดพื้นที่กระจก ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานด้วย ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 ทิศของพื้นที่กระจก

ขึ้นอยู่กับสัดส่วนอาคารที่เปลี่ยนไป แต่ทิศได้จะมีผลต่อการใช้พลังงานในทุกสัดส่วนอาคาร ดังนั้น การมีพื้นที่กระจกทิศใต้ขนาดเล็ก จะทำให้มีแนวโน้มการใช้พลังงานน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่จะต้องมีพื้นที่กระจกทิศใต้ สามารถอาศัยการกำหนดพื้นที่กระจกในทางเลือกอื่นที่มีผลการใช้พลังงานใกล้เคียงกันได้

5.1.2 ขนาดของพื้นที่กระจก

ขึ้นอยู่กับ WWR และสัดส่วนอาคาร การกำหนดพื้นที่กระจกให้ทิศหนึ่งมีขนาดใหญ่ จะเหมาะสมเมื่อ WWR ต่ำ ๆ และสัดส่วนอาคารที่มีความกว้างต่อความยาวอาคารไม่มาก เพราะอย่างไรก็ตามการมีพื้นที่กระจกทิศใต้ขนาดใหญ่ย่อมทำให้การใช้พลังงานมากขึ้น

5.1.3 การลดปริมาณรังสีความร้อนที่ผ่านทางกระจก

เมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกตามทิศ โดยให้ทิศหนึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นส่วนทิศอื่นเล็กลง แต่มีการใช้พลังงานเท่าเดิม อาศัยหลักการ ดังนี้

1) การเปลี่ยนค่า SC จะเหมาะสมกับอาคารที่มีพื้นที่กระจกทิศตะวันออกและตะวันตกขนาดใหญ่

2) การเปลี่ยนระยาระยั้งแสงบังแดด จะเหมาะสมกับอาคารที่มีพื้นที่กระจกทิศใต้ขนาดใหญ่

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ไม่ได้มีค่านิ่งความแตกต่างของวัสดุผนังภายนอกอาคาร และการใช้พลังงานที่เกิดจากระบบแสงสว่าง ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานที่มากขึ้นเมื่อพื้นที่กระจกมีขนาดเล็ก

References

- กอบกุล วิวิธมงคลไชย. (2542). *การลดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไม่รับน้ำหนักชนิดเบาของสำนักงานอาคารสูง*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐภูมิ รับคำอินทร์. (2552). *อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สวิษฐา ดาวประกายมงคล. (2552). *แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศ เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ASHRAE Standard 90.1 (2007). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings I-P edition*. Atlanta, GA: ANSI/ASHRAE.
- Olgay, V. (1992). *Design with Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism* (4th ed.). New Jersey: Princeton University Press.

การบูรณาการเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติร่วมกับการออกแบบ
องค์ประกอบอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงาน
Integration of Automatic Daylight-dimming System with the Design
of an Office Building Components for Energy Conservation

กวิน บวรธนจรรญา¹ และ ดร.จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์²

Kawin Borvontanajunya¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: k_ar_rom_de@hotmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการลดใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน เนื่องจาก การพัฒนาและขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทยนำไปสู่การเพิ่มจำนวนของอาคารประเภท อาคารสำนักงาน และเมื่อตรวจสอบจากสถิติการใช้พลังงานอาคารประเภทต่าง ๆ ในประเทศจะเห็นว่า อาคารสำนักงานนั้นมีแนวโน้มการใช้พลังงานสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารประเภทอื่น ๆ เป็นสาเหตุ ทำให้การใช้พลังงานภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องด้วยอาคารสำนักงานนั้นมีช่วงเวลาการใช้งานอยู่ที่ 8:00 น. ถึง 17:00 น. เป็นช่วงเวลาที่แสงสว่างเพียงพอต่อการใช้งานภายในอาคารทำให้เป็นที่มา ของการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารสำนักงานควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ โดยวิธีการที่ใช้เป็นการจำลองบริบทอาคารสำนักงาน และทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรตั้งต้นเพื่อตรวจสอบ ค่าพลังงานของการผลิตแสงสว่างควบคู่ไปกับค่าพลังงานการปรับอากาศ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถ บอกถึงแนวทางการออกแบบรวมทั้งตำแหน่งการติดตั้งเทคโนโลยีให้ได้ประสิทธิภาพของการใช้งานที่ เหมาะสมที่สุด

Abstract

This research aims to study guideline the energy conservation of office buildings owing to the economic growth and development in Thailand. This led to an increasing quantity of office buildings. Moreover, monitoring of statistics on energy use in buildings show about the various offices tend to use high energy when compared with other building types. It can cause an increase in domestic consumption, but the office building is in use at the time of the 8.00 a.m. to 5.00 p.m. during daylight time, which is sufficient of daylight to use in the building as a result of a study in building design conjunction with daylight-dimming system. By using simulation model buildings and adjust the default variables to determine the lighting energy conjunction with air conditioning energy. The results can guide the building design and installation of daylight-dimming system in optimum performance.

คำสำคัญ (Keywords): เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ (Daylight-dimming System), องค์ประกอบอาคาร (Building Component), อาคารสำนักงาน (Office Building), การประหยัดพลังงาน (Energy Conservation), การออกแบบ (Design)

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการใช้พลังงานของประเทศไทยนั้นมาจากการเพิ่มจำนวนของอาคารต่าง ๆ โดยประเภทอาคารที่มีสัดส่วนการเพิ่มจำนวนมากที่สุดคือ อาคารประเภทอาคารสำนักงานคิดเป็นอัตราเพิ่มขึ้นปีละ 2.5 เปอร์เซ็นต์ในทุก ๆ ปี โดยอาคารสำนักงานนั้นจะมีค่าการใช้พลังงานหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วน คือ พลังงานการปรับอากาศคิดเป็น 47 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานแสงสว่างคิดเป็น 28 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องด้วยอาคารสำนักงานส่วนมากจะมีระยะเวลาการใช้งานอาคารอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8:00 น. จนถึง 17:00 น. ทำให้เป็นที่มาของการเลือกใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติเพื่อการช่วยลดค่าพลังงานแสงสว่างของอาคาร ร่วมกับการศึกษาแนวทางการออกแบบองค์ประกอบของอาคารเพื่อการสร้างสมดุลของการใช้พลังงานภายในอาคาร และด้วยเหตุผลที่ว่าประเทศไทยยังไม่มีการใช้งานของเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปัจจัยด้านราคาที่ยังค่อนข้างสูงรวมทั้งยังไม่มีกรยืนยันของความคุ้มค่าในการเลือกใช้เทคโนโลยีประเภทนี้ทำให้งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อตอบข้อสงสัยในส่วนนี้รวมทั้งหาแนวทางการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานให้สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1) ศึกษา และวิเคราะห์องค์ประกอบทาง

สถาปัตยกรรมที่ส่งผลต่อค่าพลังงานของอาคารสำนักงาน

2) วิเคราะห์เปรียบเทียบเรื่องพลังงานความเหมาะสมของการวางตำแหน่งเครื่องตรวจจับปริมาณแสง และนำเสนอทางเลือกในการออกแบบอาคาร

3) ศึกษาวิเคราะห์ระดับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการเลือกใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความส่องสว่าง

ความส่องสว่าง คือ ความหนาแน่นของหลักการส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใด ๆ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ได้แก่ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือเรียกว่า 1 ลักซ์ (lux: lx) และ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือเรียกว่า 1 ฟุตแคนเดิล (fc.)

2.2 เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ

เทคโนโลยีการปรับหรือแสงอัตโนมัติ คือ ระบบที่ทำการตรวจจับค่าปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น ณ จุดนั้น ๆ เพื่อทำการปรับหรือแสงประดิษฐ์ให้ปริมาณค่าความส่องสว่างรวมได้ตรงตามความต้องการ และเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานในกิจกรรม ณ ตำแหน่งนั้นที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ โดยระบบจะเป็นการตรวจจับปริมาณความส่องสว่างของแสงจากนั้นระบบจะทำการลดหรือเพิ่มปริมาณไฟฟ้า (วัตต์; W) ที่จ่ายเข้าสู่หลอดไฟเพื่อให้ปริมาณความส่องสว่างของหลอดลดลงหรือ

เพิ่มขึ้น จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 16-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบและบริบทแวดล้อมของแต่ละประเทศ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมของการออกแบบองค์ประกอบของอาคารสำนักงานร่วมกับการใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติเพื่อการประหยัดพลังงานด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (eQUEST) โดยมีการวางตำแหน่งการติดตั้งเทคโนโลยีภายในอาคารจำลองเพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานของแต่ละตำแหน่งที่ระยะ 1 2 3 4 และ 5 เมตร วัดจากระยะช่องเปิดโดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ ทิศของการวางอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด ค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจก ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุผนังกับวัสดุฝ้าเพดาน และระยะยื่นของแผงกันแดดเพื่อหารูปแบบการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดในการใช้พลังงานโดยการเปรียบเทียบกับค่าพลังงานของอาคารมาตรฐาน

3.1 การทดสอบด้านพลังงาน

ในการทดสอบจะทำการอ้างอิงจากค่าพลังงานแสงสว่าง และพลังงานการปรับอากาศจากมาตรฐานโดยจำลองอาคารด้วยโปรแกรม eQUEST เพื่อเก็บค่าพลังงานทั้งพลังงานแสงสว่าง และพลังงานการปรับอากาศโดยมีตัวแปรหลัก ๆ คือ

3.1.1 ทิศการวางอาคาร

ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองที่ทิศหลัก ๆ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

3.1.2 สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด

จะแบ่งออกเป็น 3 สัดส่วน คือ ที่สัดส่วนช่องเปิดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนช่องเปิดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนช่องเปิดที่ 100 เปอร์เซ็นต์

3.1.3 ค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจก

ค่าการส่องผ่านจะเป็นตัวบ่งบอกปริมาณแสงที่สามารถผ่านวัสดุกระจกโดยจะมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 1 ในงานวิจัยนี้จะมีตั้งแต่ค่า 0.5 0.6 0.7 และ 0.8

3.1.4 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุผนัง และฝ้าเพดาน

ในงานวิจัยนี้ตั้งค่าการสะท้อนแสงวัสดุผนังที่ค่า 0.3 0.5 และ 0.8 ส่วนวัสดุฝ้าเพดานจะมี 0.7 และ 0.9

3.1.5 ระยะยื่นของแผงกันแดด

ในงานวิจัยจะมีระยะยื่นที่ความยาว 0.5 เมตรเท่านั้น

3.1.6 ตำแหน่งการติดตั้งระบบ

เป็นตำแหน่งที่ใช้วัดปริมาณค่าความส่องสว่างโดยทำการติดตั้งไว้กลางห้องที่ระยะความลึกวัดจากขอบช่องเปิดที่ระยะ 1 2 3 4 และ 5 เมตร

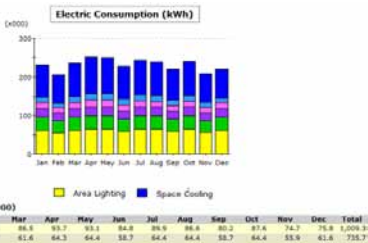
3.2 การทดสอบด้านเศรษฐศาสตร์

วัดความคุ้มค่าของการเลือกใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติในบริบทสภาพอากาศของประเทศไทยว่าสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้กี่เปอร์เซ็นต์ และหาระยะเวลาการคืนทุน

4. ผลการทดลอง

4.1 ค่าการใช้พลังงานเบื้องต้นของอาคารมาตรฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

เมื่อทำการจำลองเพื่อตรวจสอบค่าพลังงานของอาคารมาตรฐานจากข้อมูลเบื้องต้นด้วยโปรแกรม eQUEST พบว่า อาคารมาตรฐานจะมีค่าการใช้พลังงานปรับอากาศอยู่ที่ 1,009,300 kWh/yr คิดเป็น 49.23 kWh/sq.m/yr และพลังงานแสงสว่างอยู่ที่ 735,700 kWh/yr คิดเป็น 35.89 kWh/sq.m/yr ดังแสดงในภาพที่ 1



รูปที่ 1 ค่าการใช้พลังงานของอาคารมาตรฐาน

4.2 เปรียบเทียบค่าพลังงานระหว่างอาคารมาตรฐานกับอาคารที่มีการใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ

จากการทดลอง พบว่า เมื่ออาคารที่มีการเลือกใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติในบริบทของประเทศไทยนั้นจะสามารถลดค่าการใช้พลังงานแสงสว่างลงไปได้ประมาณ 7.00 – 8.00 kWh/sq.m/yr คิดเป็นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังงานแสงสว่างโดยเปรียบเทียบกับอาคารมาตรฐาน

4.3 เปรียบเทียบค่าพลังงานระหว่างการติดตั้งเทคโนโลยีในทิศที่แตกต่างกัน

ค่าพลังงานแสงสว่างในทิศใต้จะมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากมีแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้ดีที่สุดแต่เมื่อแสงเข้าอาคารได้มากก็ทำให้ค่าพลังงานการปรับอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามทำให้ทิศที่เหมาะสมเรื่องพลังงานการปรับอากาศคือทิศเหนือ

4.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานของการออกแบบที่มีค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจกต่างกัน

เมื่อเปลี่ยนค่าการส่องผ่านแสง พบว่า ค่าพลังงานของการปรับอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะปริมาณค่าความสว่างในห้องถูกควบคุมให้มีเท่าเดิมโดยเทคโนโลยีทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะพลังงานแสงสว่างยิ่งเพิ่มค่าการส่องผ่านให้มากขึ้นปริมาณพลังงานแสงสว่างก็จะมีค่าลดลง

4.5 เปรียบเทียบค่าพลังงานของการออกแบบที่มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุผนังต่างกัน

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาระดับค่าการสะท้อนแสงของผนังที่ 3 ระดับ คือ ค่าน้อยที่ 0.3 ค่ากลางที่ 0.5 และค่ามากที่ 0.8 เมื่อเพิ่มระดับค่าการสะท้อนแสงของวัสดุผนังสามารถลดการใช้พลังงานแสงสว่างลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อพลังงานการปรับอากาศเนื่องจากอาคารจำลองเป็นลักษณะพื้นที่ว่างที่ยังไม่มีการกันห้องภายใน

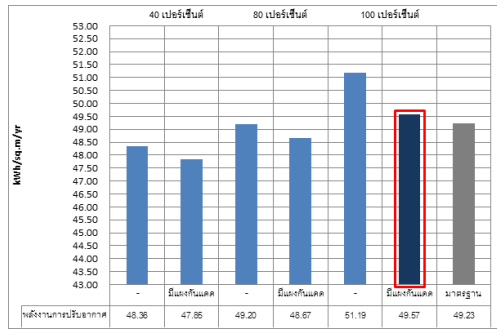
4.6 เปรียบเทียบค่าพลังงานของการออกแบบที่มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุฝ้าเพดานต่างกัน

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุฝ้าเพดานในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เพียง 2 ค่า คือ ที่ค่า 0.7 และ 0.9 เท่านั้น โดยเมื่อระดับค่าการสะท้อนแสงพบว่า พลังงานแสงสว่างมีแนวโน้มที่จะลดลงโดยจะส่งผลเล็กน้อยต่อค่าพลังงานการปรับอากาศ

4.7 เปรียบเทียบค่าพลังงานของการออกแบบที่มีค่าระยະยั้งแฉงกันแดดที่ต่างกัน

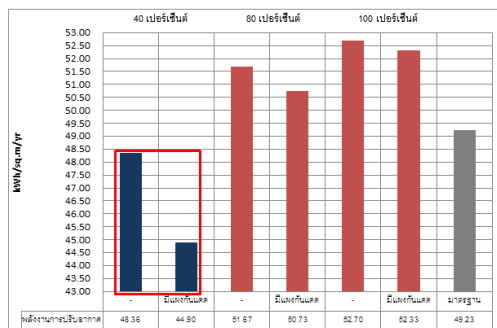
การติดตั้งกันแดดแม้จะเป็นการเพิ่มการใช้พลังงานแสงสว่างของอาคารแต่ก็ช่วยได้มากในการลดภาระการทำควมเย็นของเครื่องปรับ

อากาศโดยในแต่ละทิศจะมีการลดพลังงานแสงสว่างที่มีค่าใกล้เคียงกันแต่พลังงานการปรับอากาศจะมีความแตกต่างกันออกไปของการติดแผงกันแดดให้กับอาคารในทิศต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 8 - 11



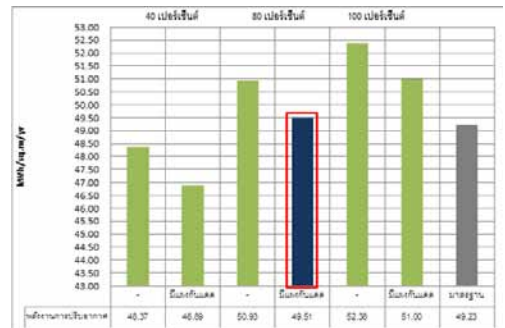
รูปที่ 8 ค่าพลังงานปรับอากาศเมื่อติดแผงกันแดดเฉพาะทิศเหนือ

จากตารางพลังงานการปรับอากาศทางทิศเหนือ พบว่า แนวทางการเลือกใช้แผงกันแดดที่จะส่งผลให้ค่าพลังงานมีความเหมาะสมระหว่างค่าพลังงานแสงสว่าง และพลังงานการปรับอากาศคือรูปแบบการเลือกสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และทำการติดแผงกันแดดแม้พลังงานการปรับอากาศจะมีค่ามากกว่าแต่ก็ถูกชดเชยด้วยการลดปริมาณการลดพลังงานแสงสว่างทำให้ค่าพลังงานใกล้เคียงกับอาคารมาตรฐานแต่สามารถมีช่องเปิดที่มีสัดส่วนมากกว่า

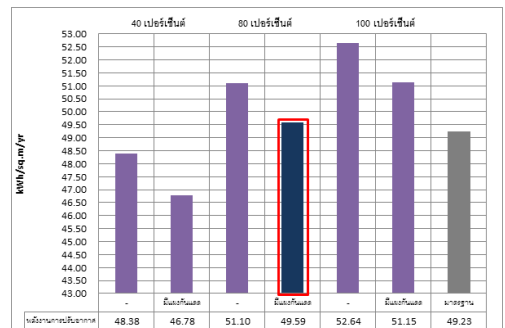


รูปที่ 9 ค่าพลังงานปรับอากาศเมื่อติดแผงกันแดดเฉพาะทิศใต้

ในทิศใต้สัดส่วนพื้นที่กระจกที่เหมาะสมกับการติดตั้งแผงกันแดดเมื่อดูจากกราฟสัดส่วนจะอยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อทำการจำลองอาคารที่สัดส่วนพื้นที่กระจกมากกว่านี้จะทำให้ค่าพลังงานการปรับอากาศนั้นเพิ่มขึ้นมากจนไม่สามารถใช้ส่วนทดแทนจากการลดพลังงานแสงสว่างมาทดแทนได้



รูปที่ 10 ค่าพลังงานปรับอากาศเมื่อติดแผงกันแดดเฉพาะทิศตะวันออก



รูปที่ 11 ค่าพลังงานปรับอากาศเมื่อติดแผงกันแดดเฉพาะทิศตะวันตก

ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกนั้นหากต้องการออกแบบอาคารให้เหมาะสมต่อการใช้งาน และสามารถประหยัดพลังงานควรเลือกออกแบบให้มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการติดตั้งแผงกันแดดที่ระยะยื่น 0.50 เมตร จะทำให้ระดับพลังงานการปรับอากาศมีค่าใกล้เคียงกับระดับค่าพลังงานการปรับ

อากาศของอาคารมาตรฐาน แต่จะสามารถลดค่าพลังงานแสงสว่างลงไปได้อีก ทั้งยังได้สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดที่เพิ่มมากขึ้น

5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 ความเหมาะสมของเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติในประเทศไทย

จากการทดลอง พบว่า เมื่อเลือกใช้เทคโนโลยีร่วมกับอาคารสำนักงานในบริบทสภาพอากาศของประเทศไทยสามารถลดการใช้พลังงานแสงสว่างได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 7.00 – 8.00 kWh/sq.m/yr

5.1.2 องค์ประกอบของอาคารที่ส่งผลต่อค่าพลังงาน

(1) ทิศที่เหมาะสมต่อการใช้เทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติเพื่อการประหยัดพลังงานคือทิศเหนือเพราะสามารถเปิดช่องเปิดได้มาก เนื่องจากเป็นทิศที่รับแดดโดยตรงน้อยทำให้ค่าพลังงานการปรับอากาศน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 4 ทิศทำให้สามารถใช้ประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ผ่านช่องเปิดมาได้เต็มที่ และทิศที่ควรจะมีเปิดช่องเปิดน้อย ๆ คือทิศใต้เนื่องจากได้รับแสงแดดโดยตรงมากที่สุด

(2) เมื่อเพิ่มขนาดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดของอาคารที่มีการติดตั้งเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติจะเป็นการลดค่าการใช้พลังงานแสงสว่างลง แต่จะเป็นการเพิ่มค่าพลังงานการปรับอากาศ

(3) อาคารที่มีการติดตั้งเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติสามารถที่จะลดพลังงานด้านแสงสว่างลงได้หรือสามารถเพิ่มความลึกของการติดตั้งเครื่องตรวจจับเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ทำงาน

โดยที่ไม่ส่งผลต่อค่าพลังงานการปรับอากาศเมื่อทำการเพิ่มค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจกและค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้อง

(4) อาคารที่มีการติดตั้งเทคโนโลยีปรับหรือแสงอัตโนมัติ เมื่อทำการติดตั้งแผงกันแดดจะช่วยลดพลังงานการปรับอากาศของอาคารได้แต่จะเป็นการเพิ่มพลังงานแสงสว่าง

5.1.3 แนวทางการออกแบบที่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุดในแต่ละทิศ

(1) ทิศเหนือสามารถเลือกออกแบบให้มีสัดส่วนช่องเปิด 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องทำการติดตั้งแผงกันแดด และเลือกค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุผนังไว้ที่ 0.8 ค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดานไว้ที่ 0.9 ซึ่งจะทำให้ค่าพลังงานของอาคารนั้นใกล้เคียงกับอาคารมาตรฐานแต่มีขนาดช่องเปิดมากกว่า

(2) ทิศใต้ไม่ควรมีส่วนพื้นที่ช่องเปิดเกิน 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าพลังงานการปรับอากาศจะมากเกินอาคารมาตรฐานทำให้ไม่สามารถประหยัดพลังงานได้ควรเลือกใช้แนวทางการกระจายแสงภายในห้องด้วยการเพิ่มค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจก และค่าการสะท้อนของวัสดุต่าง ๆ

(3) ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกการออกแบบที่เหมาะสมเมื่อตรวจสอบจากค่าพลังงาน คือ การเลือกเปิดสัดส่วนพื้นที่กระจกที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และทำการติดตั้งแผงกันแดด ก็จะได้ค่าพลังงานที่ใกล้เคียงกับอาคารมาตรฐาน แต่หากต้องการลดพลังงานแสงสว่างลงอีกก็สามารถทำได้โดยเลือกเพิ่มค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุกระจก และค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบไม่ได้มีการคำนึงถึงพื้นที่ที่มีค่าความส่องสว่างมากเกินไปจนทำให้ อาจเกิดเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานจึง อาจเป็นแนวทางในการศึกษาต่อของผู้ที่สนใจ เลือกลงงานวิจัยขึ้นไปพัฒนาหาแนวทางการแก้ไข ปัญหาเพิ่มเติมในอนาคต

References

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2542). *แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2542-2554*. เอกสารประกอบการบรรยาย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

บุรพล แจ็งสว่าง. (2548). *แนวทางการใช้แสงธรรมชาติของอาคารสำนักงาน*. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ การผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุวีพรรณ สุพรรณสมบุญ. (2544). *อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ในอาคารสูง*. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Choi, A. S. & Mistrick, R. G. (1998). Analysis of daylight responsive dimming system performance. *Building and Environment*, 34(3), 231-243.

Ehrlich, C., Papamichael, K., Lai, J., & Revzan, K. (2002). A method for simulating the performance of photosensor-based lighting controls. *Energy and Buildings*, 34(9), 883-889.

Kim, S. K. & Kim, J. J. (2007). The impact of daylight fluctuation on a daylight dimming control system in a small office. *Energy and Buildings*, 39, 935-944.

Parise, G. & Martirana, L. (2009). *Combined electric light and daylight systems eco-design*. Proceedings of Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 9-13 October 2011, Rome, Italy.