

เทคโนโลยีอาคาร

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์ การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนหลังคาทั่วไป Comparative Study of Energy Performance of Radiant Barriers and Typical Roof Insulations

อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล¹ และ ดร. อรรถชน ศรีษะรูปตรา²
Aphichaya Athicombandhitkul¹ and Atch Sreshthaputra, Ph.D.²

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

บทคัดย่อ

ความร้อนจากภายนอกเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นให้อาคาร การออกแบบเปลือกอาคารควรเลือกใช้วัสดุที่ช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดี งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศของวัสดุกันความร้อนหลังคาที่มีอยู่ตามท้องตลาด ระหว่างฉนวนใยแก้วกันความร้อน และวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ได้แก่ แผ่นฟอยล์อลูมิเนียม และสีกันความร้อน โดยทำการทดลองด้วยกล่องทดลองจำลองระบบหลังคา ร่วมกับการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าคุณสมบัติที่ได้มาคำนวณผลการใช้พลังงานรวมในโปรแกรม VisualDoe 4.1 แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาความคุ้มค่าในการใช้งานของแต่ละวัสดุ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุกันความร้อนหลังคาต่อไป

Abstract

External heat is the main factor causing the excessive use of electrical energy for cooling, Effective resistant materials need to be considered as building envelop nowadays. The purpose of this study is to compare the energy performance of typical roof insulations with that of radiant barriers (aluminium foils and thermal barrier coatings). There is used to perform experiment with mathematical methods to calculate the thermal resistance of each roof system, the computer simulation part that use the data form test boxes to simulate the energy performance and financial feasibility study is conducted.

คำสำคัญ (Keywords): วัสดุสัมประสิทธิ์แผ่รังสีความร้อนต่ำ (Radiant Barriers), ฉนวนกันความร้อน (Roof Insulations), การจำลองผลการใช้พลังงาน (Energy Simulation)

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ซึ่งเป็นผลของความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ การหาวิธีลดความร้อนดังกล่าวจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในแง่ของการส่งเสริมภะวะนำสบายและการลดความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงานในอาคาร

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร มีฤดูร้อนยาวนานตลอดปี หลังคาจึงเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง หากลดความร้อนในส่วนนี้ได้ นอกจากจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศแล้ว ยังเป็นการช่วยลดอุณหภูมิส่งเสริมภะวะนำสบายในอาคารได้อีกด้วย

ปัจจุบันตามท้องตลาดมีผลิตภัณฑ์ป้องกันความร้อนวางจำหน่ายอยู่ทั่วไปหากมีการนำวัสดุเหล่านี้มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุน อาจทำให้เกิดแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคไม่มากนัก

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิรัช พรหมสิริแสง (2544) ได้กล่าวถึงการป้องกันความร้อนทางหลังคาที่มีประสิทธิภาพไว้หลายกรณี ได้แก่

- การใช้ฉนวนกันความร้อน โดยมีมวลสารของฉนวนหน่วงความร้อนให้เข้ามาได้ช้าลง
- การใช้ฟอยล์อลูมิเนียมซึ่งเป็นวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำสกัดกั้นไม่ให้อรังสีความร้อนลงสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร

งานวิจัยโดย ฉัญดา บุญเกียรติ (2537) มีการจำลองอาคารย่อยส่วนทิ้งไว้กลางแจ้ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุกันความร้อนพบว่า ฉนวนกันความร้อนมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอาคารจำลองมากกว่าวัสดุอื่น แต่มี

โอกาสที่ทำให้ระบายความร้อนได้ช้าลงในเวลากลางคืน ต่อมางานวิจัยของ วิกรม จำนงจิตต์ (2545) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการกันความร้อนกับอาคารพักอาศัยจริงพบว่า การใช้ฉนวนกันความร้อนเป็นวิธีที่ได้ประสิทธิผลจริง แต่ข้อมูลที่น่าสนใจว่า ฉนวนกันความร้อนทำให้เกิดการหน่วงความร้อน จนอุณหภูมิในหลังคาบ้านทดลองสูงขึ้นมากกว่ากรณีฟอยล์อลูมิเนียมและการระบายอากาศในเวลากลางคืน

ฉนวนกันความร้อนมวลสารเป็นตัวสะสมความร้อน ซึ่งอาจมีผลเป็นภาระการทำความร้อนเมื่อใช้งานเครื่องปรับอากาศตอนกลางวัน อาจเหมาะสมกับอาคารที่ใช้งานเวลากลางวันมากกว่า ขณะเดียวกันอาคารที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน เช่น บ้านพักอาศัย หากเลือกใช้วัสดุกันความร้อนที่มีมวลสารน้อยกว่า ความร้อนจะระบายกลับสู่ท้องฟ้าได้เร็ว ช่วยลดภาระในการทำความเย็นได้

งานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการศึกษาคือเปรียบเทียบวัสดุกันความร้อน ได้แก่ ฉนวนมวลสารกันความร้อน วัสดุแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำ (radiant barriers) และสีกันความร้อนอนุภาคซิลิกา ตามสมมติฐานว่า วัสดุกันความร้อนแต่ละชนิดมีผลต่อการใช้พลังงานปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภทได้ไม่เหมือนกัน

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร คุณสมบัติของวัสดุกันความร้อนและวิธีการติดตั้งใช้งาน กำหนดรูปแบบและจำนวนของระบบหลังคาที่จะทำการศึกษา ดังภาพประกอบ

3.2 กำหนดรูปแบบและตัวแปรที่จะทำการศึกษา

1) วัสดุกันความร้อน ได้แก่ ฉนวนใยแก้วกันความร้อน R-7 หนา 2 นิ้ว แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กันความร้อน สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี 0.05 และสีทากันความร้อนอนุภาคซิลิกา

2) ระบบหลังคาที่ทำการวิจัย ใช้หลังคาเมทัลชีท และ ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 12 มม. แบ่งเป็น หลังคาไม่มีฝ้าเพดานและหลังคามีสองว่างฝ้าแบบ 10 ซม. และ 20 ซม. ตามลำดับ

	ไม่มีฝ้าเพดาน	ช่องว่างฝ้า 10 cm	ช่องว่างฝ้า 20 cm
ไม่ใช้วัสดุกันความร้อน	_____	_____	_____
RADIANT BARRIER ได้หลังคา	_____	_____	_____
RADIANT BARRIER เหน้ระยะ 5 cm.	_____	_____	_____
SILICA COATING ทาได้หลังคา	_____	_____	_____
SILICA COATING ทาได้ฝ้าเพดาน	_____	_____	_____
ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	_____	_____	_____

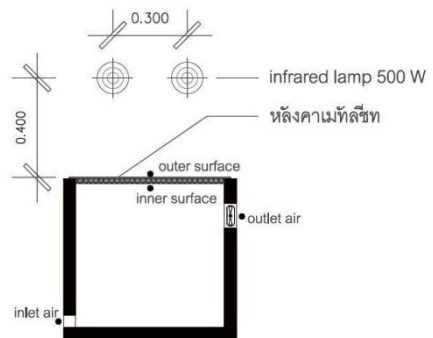
รูปที่ 1 ระบบหลังคาที่ทำการวิจัย

3.3 การเปรียบเทียบใช้พลังงานด้วยการป้อนค่าคุณสมบัติของวัสดุกันความร้อนในโปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน

ใช้โปรแกรม VisualDoe 4.1 ซึ่งเป็นคำนวณการใช้พลังงานและภาระการทำความร้อนในอาคารโดยอาศัยปัจจัย ได้แก่ รูปแบบและวัสดุประกอบอาคาร เวลาใช้งาน ความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและความร้อนของผู้ใช้อาคาร รวมทั้งข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ประวัติรกิตติชญาธิระ, 2553) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีใส่ค่าความต้านทานความร้อน (R-thermal resistance

- m^2K/W) ของระบบหลังคา (overall U factor/R value method) เป็นคุณสมบัติแทนค่าวัสดุกันความร้อนแต่ละชนิด

3.3.1 การใช้กล่องทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่า ความต้านทานความร้อนรวม (R_t) ของระบบหลังคาแต่ละระบบ เพื่อนำค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_t) แทนค่าคุณสมบัติของหลังคาในโปรแกรม VisualDoe 4.1 แต่เนื่องจากค่าต้านทานความร้อนวัสดุหลังคาที่ระบุในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 แก้ไขโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ไม่ครอบคลุมรูปแบบตัวแปรระบบหลังคาที่ทำการศึกษาและวัสดุกันความร้อนที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ตามท้องตลาด เช่น สีอนุภาคซิลิกา ดังนั้น จึงใช้กล่องทดลองตามรูปแบบที่ได้ศึกษาจาก Chang (2008) และ Soubdhan (2005) ดังภาพ



รูปที่ 2 กล่องทดลองพร้อมตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

กล่องทดลองทำจากโฟมโพลิสไตรีนหนา 2 นิ้ว ที่วางภายใน .60x.60x.60 ลบ.ม. เจาะช่องอากาศเข้า (inlet) และช่องอากาศออกติดพัดลมระบายอากาศ CFM 20.89 ft³/minute ด้านบนสุดวางระบบหลังคาที่ทำการศึกษา ให้ความร้อนด้วยไฟอินฟราเรด 500 V จำนวน 2 หลอด ใช้

เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger - U12-013 บันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่คงที่ แล้ว ตามจุดต่างๆ แล้วนำมาเข้าสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่า R_t ดังนี้

$$Q_1 = (U_r)A\Delta T_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = CFM(1.08)\Delta T_2 \quad (2)$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$(U_r)A\Delta T_1 = CFM(1.08)\Delta T_2 \quad (3)$$

กำหนดให้

Q_1 คือ ปริมาณความร้อนรวมที่ถ่ายเทเข้ามา (Btu/h)

U_r คือ ค่าการนำความร้อนรวม (U factor - W/m²K)

A คือ พื้นที่หลังคาที่ได้รับความร้อน (ft²)

ΔT_1 คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว 2 ด้านที่ความร้อนถ่ายเท ในที่นี้คือ อุณหภูมิพื้นผิวบนสุดและอุณหภูมิพื้นผิวใต้สุดของระบบหลังคา (F°)

Q_2 คือ ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)

CFM คือ ปริมาณการไหลของอากาศในกล่องทดลองที่เกิดจากพัดลมระบายอากาศ (ft₃/minute)

ΔT_2 คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิช่องอากาศเข้า (inlet) และอุณหภูมิช่องระบายอากาศออก (outlet) (F°)

เมื่อเข้าสมการแล้ว จะทราบค่า U_r ซึ่งค่า $U_r = 1/\Sigma R_t$ หรือ $1/R_t$ จากนั้น นำค่า R_t ที่ได้ไปใช้คำนวณการใช้พลังงานรวมของอาคารจำลองในโปรแกรม VisualDoe4.1 ต่อไป

3.3.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบหลังคาด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1

จำลองการใช้พลังงานในอาคาร 4 ประเภท ซึ่งอ้างอิงรูปแบบอาคาร ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศ จากงานวิจัยของ อรรถน ศรีษฐบุตร (2550; 2552) และ Chirarattananon (2002) ตามลำดับ

- อาคารพักอาศัย ซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศเวลากลางคืน (18.00 – 7.00 น.)
- อาคารสำนักงาน เปิดใช้เครื่องปรับอากาศช่วงกลางวัน (8.00 – 18.00 น.)
- อาคารร้านค้า ซึ่งมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกึ่งกลางวันกึ่งกลางคืน (10.00 – 22.00 น.)
- อาคารโรงพยาบาล ซึ่งเป็นอาคารที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ใส่ค่า U factor หรือ R_t สำหรับระบบหลังคาชนิดต่าง ๆ จัดทำเป็นกรณีทางเลือกสำหรับอาคารจำลองทั้ง 4 ประเภท สำหรับบ้านพักอาศัยทำการจำลองเฉพาะค่า R จากระบบหลังคากรณีช่องใต้ฝ้าเพดานสูง 20 ซม. เท่านั้น เนื่องจาก อาคารตัวอย่างเป็นอาคารที่มีหลังคาทรงสูง มีการไหลเวียนอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของในช่องอากาศถือว่าใกล้เคียงกับกรณีช่องใต้ฝ้า 20 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่อากาศนี้เริ่มเกิดจากไหลเวียน ส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนช่องอากาศไม่สูงขึ้นไปกว่าระดับนี้อีก (กระทรวงพลังงาน, 2552; ASHRAE, 1998.)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุกันความร้อน พิจารณาจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อ (kWh/sq.m.-year) เป็นหลัก

3.4 การพิจารณาความคุ้มทุน

ใช้วิธีคำนวณ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานอาคาร 20 ปี (life cycle cost)

4. ผลการศึกษา

4.1 ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ของระบบหลังคาจากกล่องทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ได้จากการคำนวณจากอุณหภูมิในกล่องทดลอง (m^2K/W)

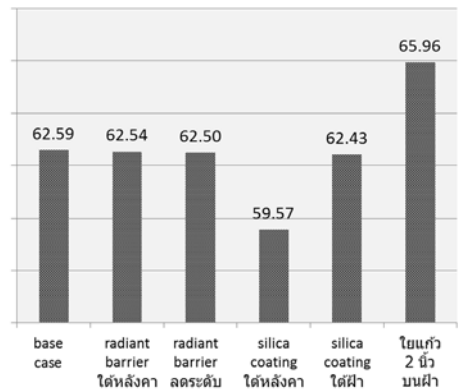
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Ri -m2KW)		
	ไม่มีฝ้าเพดาน	ช่องว่างใต้ฝ้า 10 ซม.	ช่องว่างใต้ฝ้า 20 ซม.
ไม่ใช้วัสดุกันความร้อน	0.03	0.39	0.38
radiant barrier ใต้หลังคา	0.15	0.73	0.71
radiant barrier ใต้หลังคา 5 ซม.	0.43	0.76	1.11
silica coating ใต้หลังคา	0.02	0.14	0.14
silica coating ใต้ฝ้าเพดาน		0.38	0.36
ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ววางบนฝ้า	0.55	1.17	1.18

จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่ามวลสารอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ใยแก้วมีค่า R_t สูงสุดในระบบหลังคา 3 กรณี หลังคาใช้พอยล์อลูมิเนียม ให้ค่า R_t มากกว่าหลังคาที่ไม่ใช้วัสดุกันความร้อน โดยพอยล์อลูมิเนียมจะยังมีประสิทธิผลมากขึ้น เมื่อลดการนำความร้อนจากหลังคาโดยการเว้นช่องอากาศลงมา 5 ซม. การที่มีช่องอากาศมากกว่าหนึ่งด้านเป็นการเสริมประสิทธิภาพให้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ ส่วนสีกันความร้อนอนุภาคซิลิกาแม้จะทำตามวิธีใช้ของผู้ผลิต แต่กลับให้ค่า R_t ที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีหลังคาไม่ใช้วัสดุกันความร้อน

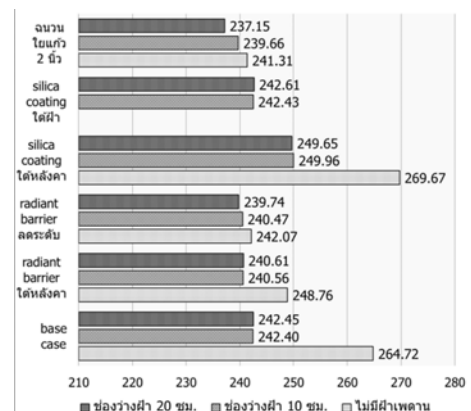
4.2 การจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยโปรแกรม VisualDoe4.1 และแนวทางในการใช้วัสดุกันความร้อน

ผลการจำลองการใช้พลังงานอาคารพักอาศัย หลังคาที่ใช้วัสดุกันความร้อนที่ให้ความต้านทานความร้อนรวม (R_t) สูง โดยเฉพาะฉนวนใยแก้ว ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด สำหรับสีอนุภาคซิลิกา และอลูมิเนียมพอยล์ ที่ให้ค่า

ต้านทานความร้อนรวมต่ำกว่า ซึ่งหวนวงความร้อนน้อยกว่า ทำให้มีการคายความร้อนสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืนได้เร็ว ซึ่งช่วยลดความร้อนสะสมตั้งแต่ตอนกลางวันซึ่งเป็นภาระในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน ในอาคารสำนักงาน ซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน กรณีที่ใช้ฉนวนใยแก้ว โดยเฉพาะในหลังคาช่องใต้ฝ้าสูง 20 ซม. ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ และการใช้สีอนุภาคซิลิกาซึ่งค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด ให้ความร้อนเข้าสู่อาคารค่อนข้างเร็วเป็นภาระต่อระบบปรับอากาศ จนต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

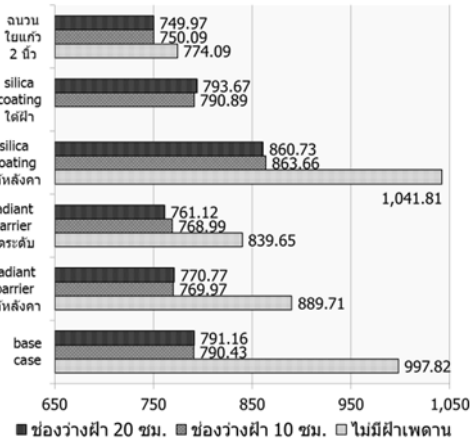


แผนภูมิที่ 1 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปี (kWh/sq.m.-year) ของอาคารพักอาศัย



แผนภูมิที่ 2 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปี (kWh/sq.m.-year) ของอาคารสำนักงาน

กรณีอาคารร้านค้าซึ่งใช้งานเครื่องปรับอากาศกึ่งกลางวันกึ่งกลางคืน พบว่า วัสดุที่มีค่าต้านทานความร้อนสูง เช่น ฉนวนกันความร้อนลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นอันดับแรก ๆ ส่วนสีกันความร้อนอนุภาคซิลิกาทำให้อาคารใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด สอดคล้องกับสิ่งที่เกิดขึ้นในอาคารสำนักงาน



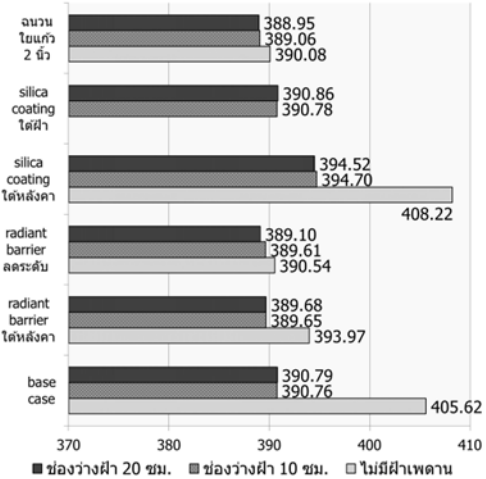
แผนภูมิที่ 3 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปี (kWh/sq.m.-year) ของอาคารร้านค้า

อาคารโรงพยาบาลซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง พบว่า ควรใช้ฉนวนมวลสารห่อความร้อนไว้ให้มากที่สุด เหมือนในอาคารสำนักงาน และอาคารร้านค้า ยิ่งใช้วัสดุที่ต้านทานความร้อนต่ำหรือเป็นมวลสารน้อย ยิ่งสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

4.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ในบ้านพักอาศัยแม้ว่าสีกันความร้อนอนุภาคซิลิกาและอลูมิเนียมฟอยล์ ช่วยลดการใช้พลังงานได้ดี แต่กลับมีรายจ่ายตลอดอายุ 20 ปี สูงมาก เนื่องจากต้นทุนและค่าบำรุงรักษาสูง หากคำนึงถึงผลทางการเงินเป็นหลัก อาจต้องเลือกใช้หลังคาที่ไม่ใช้วัสดุกันความร้อน เพราะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ในอาคารสำนักงาน โรงพยาบาล และ

อาคารร้านค้า ฉนวนกันความร้อนมีประสิทธิภาพทั้งในแง่ลดพลังงานและลดรายจ่ายตลอด 20 ปี เนื่องจากต้นทุนต่ำกว่าวัสดุอื่น และแทบไม่มีค่าบำรุงรักษาใดๆ ตลอดการใช้งาน



แผนภูมิที่ 4 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายปี (kWh/sq.m.-year) ของอาคารโรงพยาบาล

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยแสดงให้เห็นว่าอาคารที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ ควรเลือกใช้วัสดุฉนวนมวลสารเพื่อห่อความร้อนให้เข้ามาเป็นภาวะในระบบปรับอากาศน้อยที่สุด ส่วนอาคารที่ใช้งานเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ ควรเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีลักษณะเป็นมวลสารห่อความร้อน เพื่อให้ความร้อนคายสู่ท้องฟ้าได้เร็ว ลดภาวะของระบบปรับอากาศที่เปิดใช้เวลากลางคืน

การวิจัยครั้งต่อไปควรจำลองการใช้พลังงานในอาคารโดยเลือกเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่หลากหลายขึ้น เช่น บ้านพักอาศัยที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศเวลากลางวัน อาคารร้านค้าที่มีช่วงเวลาใช้งานกลางคืนสั้นลง กลางคืนมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศนานขึ้น เป็นต้น

References

- กระทรวงพลังงาน. (2552). ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
- จัญดา บุญเกียรติ. (2537). *การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หลังคา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประวิตร กิตติชาญธีร. (2553). *ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น: กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยเขตกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิกรม จ้านงจิตต์. (2545). *ประสิทธิผลของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิรักษ์ พรหมศิริแสง. (2544). *การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรถนัย เศรษฐสุบุตร. (2550). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. ในงานประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. จัดโดย เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย วันที่ 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมไบเบกสกาย, กรุงเทพฯ.
- อรรถนัย เศรษฐสุบุตร. (2552). *การจัดทำมาตรฐานค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารสำหรับอาคารในประเทศไทย ด้วยวิธี Life Cycle Assessment (LCA) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์*. โครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูงกองทุนรัชดาภิเษก.
- Chang, P. C., Chiang, C. M., & Lai, C. M. (2008). Development and preliminary evaluation of double roof prototypes incorporating RBS (radiant barrier system). *Energy and Buildings*, 40(2), 140-147.
- Chirattananon, S., & Taweekun, J. (2003). A technical review of energy conservation programs for commercial and government buildings in Thailand. *Energy Conversion & Management*, 44, 743-762.
- Pedersen, C. O., Fisher, D. E., Spitler J. D., & Liesen R. J. (1998). *Cooling and heating load calculation principles*. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.
- Soubdhan, T., Feuillard, T., & Bade, F. (2005). Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate. *Solar Energy*, 79, 311-320.

การจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น

The Simulation of Modular Green Roof Performance for Building in Tropical Region

เฉลิมพล ถนอมกลาง¹ และ ดร. จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์²

Chalermpol Thanomklang¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: chalearnpol.fu@gmail.com¹, jatuwat@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

สวนหลังคาโมดูลาร์ไม่เพียงน้ำหนักเบาและใช้งานง่ายแต่ยังมีประโยชน์ในแง่ของประสิทธิภาพทางพลังงานอีกด้วย ซึ่งประเด็นปัญหาที่สำคัญในงานวิจัยนี้มี 2 ประเด็น ประเด็นแรกเกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสวนหลังคาโมดูลาร์ในอาคารสำนักงานขนาดเล็ก และประเด็นที่สองเกี่ยวกับการจำลองสภาพสวนหลังคาที่ยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะกับโปรแกรมการจำลองสภาพที่ใช้กันอย่างแพร่หลายดังเช่น eQUEST โดยมุ่งเน้นปรับตัวแปรในโปรแกรมดังกล่าวให้มีผลให้ค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับการลดความร้อนด้วยกระเบื้องน้ำของพืชบนสวนหลังคา ซึ่งผลที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จาก Energyplus ที่มีแบบจำลองสวนหลังคาโมดูลาร์สามารถลดค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นได้ถึง 18.08% นอกจากนี้พบว่า การปรับค่าการดูดซับความร้อนร่วมกับค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคาโดยติดฉนวนความหนา 5 นิ้ว คอนกรีต 20 ซม. และกรวด 5 ซม. ที่มีค่าการดูดซับความร้อน 0.75 จะทำให้แบบจำลอง eQUEST มีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับสวนหลังคาโมดูลาร์

Abstract

Modular green roof is not only lightweight and easy to use but also increases building energy performance. There are two major issues of this new green roof product. The first issue relates to the energy performance of modular green roof in a small office building. The second issue is directly related to limitation of green roof simulation in the well-recognized simulation program like eQUEST. The objective is to propose the appropriate solution to accurately simulate the modular green roof by using alternative method to replicate the complex effect of mass and evaporation of a green roof which the results were compared with the output from Energyplus. This research is not only found that the modular green roof decrease electric energy consumption up to 18.08% but also found that combination of Insulation 5 inches,

concrete 20 cm. and roof gravel 5 cm. with absorptance 0.75 can simulate in eQUEST could reduce electric energy consumption closely to modular green roof.

คำสำคัญ (Keywords): การจำลองประสิทธิภาพ (Performance Simulation), สวนหลังคาโมดูลาร์ (Modular Green Roof), โปรแกรม eQUEST (eQUEST Software), โปรแกรม Energyplus (Energyplus Software)

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สวนหลังคา (green roof) เริ่มเป็นที่นิยมตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 ในแถบทวีปยุโรป ปัจจุบันสวนหลังคาเป็นที่รู้จักและใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก ซึ่งประโยชน์ของสวนหลังคามีทั้งลดการไหลบ่าของน้ำ ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ลดการแผ่รังสีของหลังคา ลดการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน เพิ่มความหลากหลายทางธรรมชาติรวมถึงการลดมลพิษทางอากาศและเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียง (Kristin, et al., 2006) ซึ่งสวนหลังคาโมดูลาร์ คือเทคโนโลยีสวนหลังคาในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้มีน้ำหนักเบา และเป็นระบบโมดูล (module)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงฤดูร้อนอาจมีอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส (วิรัช มณีสาร, 2538) ผลจากความร้อนเป็นผลให้อาคารใช้พลังงานมากขึ้นโดยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารร้อยละ 60 ใช้ในระบบปรับอากาศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2551) เมื่อเทียบขนาดพื้นที่ที่เท่ากัน บริเวณหลังคาอาคารจะมีการส่งผ่านความร้อนมากกว่าผนังอาคารถึง 3 เท่า (กฎกระทรวง, 2552) เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้น การ

ลดความร้อนที่ผ่านทางหลังคาจึงเป็นการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ดีที่สุด

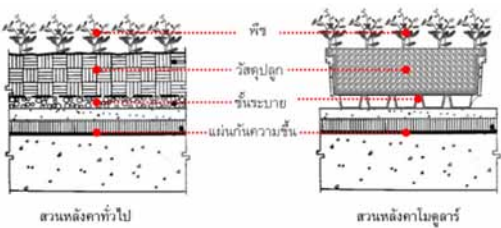
โปรแกรมจำลองพลังงานถือเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สถาปนิกและนักออกแบบนิยมใช้ประเมินการใช้พลังงานอาคารรายปี โปรแกรม Energyplus (US DOE, 2012) เป็นโปรแกรมใหม่ในท้องตลาด มีจุดเด่นที่ตัวโปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองสวนหลังคาได้ แต่ร้อยละ 50 ของผู้ใช้โปรแกรมจำลองพลังงานใช้ eQUEST (Shady, et al., 2009) ซึ่ง eQUEST (James, et al, 2010) มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจำลองสวนหลังคาได้ ดังที่กล่าวมาจึงเป็นที่มาของการวิจัยเรื่องการจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น โดยมุ่งหวังว่างานวิจัยนี้นอกจากจะช่วยส่งเสริมการใช้งานสวนหลังคาในอาคารมากขึ้นแล้วยังเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานโปรแกรม eQUEST ที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถจำลองสวนหลังคาได้

1.2 สวนหลังคา

สวนหลังคา คือ หลังคาที่มีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ข้างบนในลักษณะพืชคลุมดิน ไม้เลื้อยหรือลักษณะใด ๆ ก็ตาม ปกคลุมอยู่บนหลังคา (กนกวลี สุธีธร, 2548) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Scholz-Barth, 2001)

- หลังคาเขียวใช้สอย (Intensive green roof) คือ หลังคาเขียวที่มุ่งประโยชน์ใช้สอย เช่น ใช้เป็นสวนหลังคาหรือพื้นที่นันทนาการของอาคาร

- หลังคาเขียวไม่ใช้สอย (Extensive green roof) คือ หลังคาเขียวที่เน้นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นหลังคาเขียวที่มีความลึกดิน 1-5 นิ้ว ปลูกพืชพันธุ์ขนาดเล็ก เช่น หญ้าหรือพืชคลุมดิน สวนหลังคาโมดูลาร์ (Modular green roof) เป็นสวนหลังคาไม่ใช้สอยรูปแบบหนึ่ง โดยปกติโครงสร้างของสวนหลังคาจะประกอบ 4 ส่วนหลัก ได้แก่ พืช วัสดุปลูก ชั้นระบาย และแผ่นกันความชื้น (รูปที่ 1) ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างสวนหลังคาทั่วไปกับสวนหลังคาโมดูลาร์จะอยู่บริเวณชั้นระบาย สวนหลังคาแบบทั่วไปจะใช้วัสดุจำพวกกรวดหรือทรายเป็นวัสดุชั้นระบายในขณะที่สวนหลังคาโมดูลาร์จะใช้การเจาะรูระบายที่กระเบื้องปลูกแทนการใช้กรวดหรือทราย ทำให้สวนหลังคาโมดูลาร์เบาว่าสวนหลังคาแบบทั่วไป



รูปที่ 1 ระบบโครงสร้างสวนหลังคา

2. โปรแกรมจำลองพลังงาน

ในการจำลองสภาพการใช้พลังงานนั้น ผู้วิจัยได้เลือกโปรแกรม Energyplus v.7.2 และ eQUEST v.3.64 เป็นเครื่องมือในการทดลองเพื่อจำลองสภาพการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศรายปี โดยทั้ง 2 โปรแกรม มีคุณสมบัติที่สามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้ (Tianzhen, et al., 2008)

โปรแกรม Energyplus ถูกพัฒนาโดยดึงลักษณะเด่นของโปรแกรม BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) และ DOE-2.1E (2012) นำมาใช้ในโปรแกรม ในขณะที่โปรแกรม eQUEST อาศัยพื้นฐานของโปรแกรม DOE-2.2 จะเห็นได้ว่า ทั้ง 2 โปรแกรมอาศัยพื้นฐานในการคำนวณสมดุลพลังงานใกล้เคียงกัน แต่ในแง่ของการกำหนดความละเอียดในการจำลอง พบว่า โปรแกรม Energyplus จะสามารถคำนวณได้ละเอียดกว่าเนื่องจากสามารถกำหนดความละเอียดในการคำนวณได้เป็นในระดับนาที่ ในขณะที่โปรแกรม eQUEST จะสามารถคำนวณสมดุลพลังงานเป็นรายชั่วโมง สำหรับแบบจำลองสวนหลังคาในโปรแกรม Energyplus อิทธิพลของการระเหยของน้ำจากพืชและวัสดุปลูกจะถูกนำมาคิดรวมในการคำนวณสมดุลพลังงานในรูปของความร้อนแฝงด้วย (US DOE, 2012)

3. แนวทางการวิจัย

การวิจัยนี้มีลักษณะเป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งมีการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์ ด้วยการจำลองการใช้พลังงานของสำนักงานที่ติดตั้งสวนหลังคาโมดูลาร์เทียบกับหลังคาทั่วไป ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาคอนกรีตติดฉนวน (1 นิ้ว 3 นิ้ว 6 นิ้ว) และสวนหลังคาทั่วไป ด้วยโปรแกรมจำลองพลังงาน Energyplus

ส่วนที่ 2 ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการจำลองสภาพหลังคาด้วยโปรแกรม eQUEST ที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกับสวนหลังคาโมดูลาร์ด้วย การปรับเปลี่ยนตัวแปรที่

คาดว่าจะมีผลการใช้พลังงานใกล้เคียงกับอิทธิพลของการระเหยน้ำของพืชและดินบนสวนหลังคาซึ่งตัวแปรที่ทำการปรับเปลี่ยนได้แก่

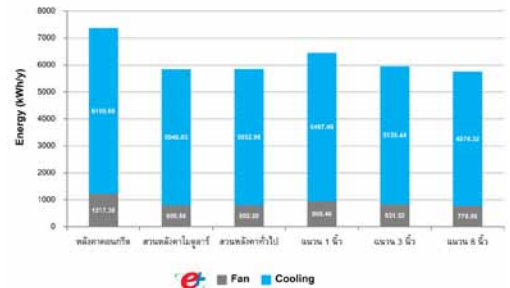
- สีหลังคา เพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยการปรับค่าการดูดซับความร้อนของหลังคาที่ 0.12, 0.21, 0.30, 0.40, 0.51, 0.61, 0.75 และ 0.80

- ปรับความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคา ด้วยการปรับเปลี่ยนวัสดุประกอบหลังคา รวมไปถึงความหนาของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีต (ความหนา 10 ซม. 15 ซม. 20 ซม. 25 ซม. 30 ซม.) กรวดโรยหลังคา (ความหนา 2.5 ซม. 5 ซม. 7.5 ซม. 10 ซม.) ติดตั้งกระเบื้องปูพื้นแดดฟ้า (solar slap) และใช้ฉนวนเพื่อเพิ่มความต้านทานความร้อน ด้วยการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3/4 นิ้ว 1 นิ้ว 1.25 นิ้ว 2 นิ้ว 3 นิ้ว 4 นิ้ว 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว

4. ผลการศึกษา

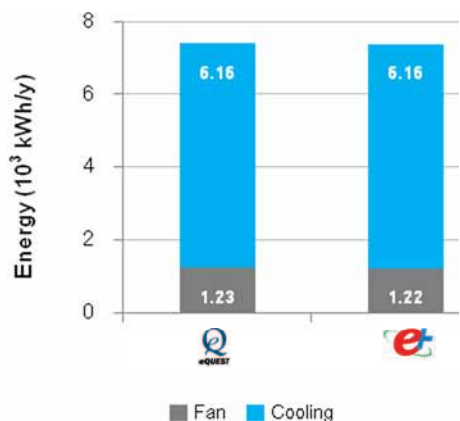
จากการศึกษาเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารที่มีสวนหลังคาโมดูลาร์เทียบกับหลังคาทั่วไปๆ ได้แก่ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทน ที่มีความหนา 1 นิ้ว 3 นิ้ว 6 นิ้ว และสวนหลังคาทั่วไป พบว่า สวนหลังคาโมดูลาร์ และสวนหลังคาทั่วไปสามารถลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้ 18.08% เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีต นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของสวนหลังคาทั้ง 2 ชนิดพบว่า ทั้งสวนหลังคาโมดูลาร์ และสวนหลังคาทั่วไป มีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน โดยสวนหลังคาโมดูลาร์จะให้พลังงานน้อยกว่าสวนหลังคาทั่วไปประมาณ 0.11% ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเทียบค่าการใช้พลังงานสวนหลังคาโมดูลาร์กับหลังคาที่มีการติดตั้งฉนวน พบว่า สวนหลังคาโมดูลาร์

สามารถลดการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกับหลังคาคอนกรีตที่ติดตั้งฉนวนภายใน 6 นิ้ว (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของสวนหลังคาโมดูลาร์เทียบกับหลังคาประเภทต่าง ๆ ต่อปี ในแบบจำลอง energyplus

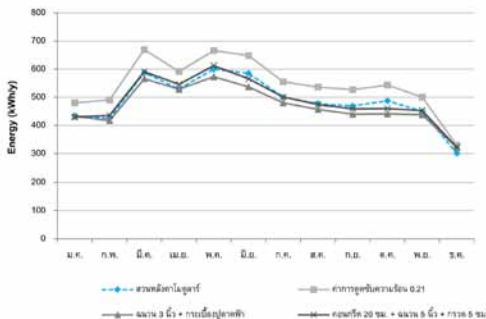
สำหรับการศึกษาแนวทางในการจำลองสภาพหลังคาด้วยโปรแกรม eQUEST ที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกับสวนหลังคาโมดูลาร์นั้น พบว่า ค่าการใช้พลังงานปรับอากาศของแบบจำลองหลังคาคอนกรีตในโปรแกรม eQUEST และ Energyplus นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 3) โดยมีค่าการใช้พลังงาน 7,385.40 kWh/y (29.54 kWh/m²/y) และ 7,377.06 kWh/y (29.51 kWh/m²/y) ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลองพลังงานสวนหลังคาโมดูลาร์มีค่าการใช้



รูปที่ 3 ค่าการใช้พลังงานของแบบจำลองหลังคาคอนกรีตโปรแกรม eQUEST และ Energyplus

พลังงาน 5,846.63 kWh/y (23.39 kWh/m²/y) ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลองสวนหลังคานี้จะถูกนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อหาค่าการใช้พลังงานในแบบจำลอง eQUEST ที่มีค่าใกล้เคียงกันต่อไป

ในการศึกษาด้วยการปรับค่าการดูดซับความร้อนของหลังคา พบว่า หลังคาคอนกรีตที่มีค่าการดูดซับความร้อนเท่ากับ 0.21 จะทำให้ค่าการใช้พลังงานในแบบจำลอง eQUEST มีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองสวนหลังคาโมดูลาร์อยู่ที่ 5,644.80 kWh/y (22.57 kWh/m²/y) ในขณะที่ค่าการใช้พลังงานที่เกิดของการเปลี่ยนความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคา พบว่า หลังคาติดฉนวน 3 นิ้ว และติดตั้งกระเบื้องปูพื้นลาดฟ้า (รูปที่ 4) สามารถลดค่าพลังงานในการปรับอากาศได้ใกล้เคียงค่าการใช้พลังงานสวนหลังคาโมดูลาร์อยู่ที่ 5,845.20 kWh/y (23.38 kWh/m²/y) นอกจากนี้ จากการศึกษาอิทธิพลร่วมกันระหว่างการปรับค่าการดูดซับความร้อน และการปรับความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคา ยิ่งทำให้ค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงค่าพลังงานของสวนหลังคาโมดูลาร์มากยิ่งขึ้น ดังเช่นในกรณี หลังคาคอนกรีตหนา 20 ซม. ติดฉนวน 5 นิ้ว และกรวด



รูปที่ 4 ผลการจำลองการใช้พลังงานรายเดือนของหลังคาในแบบจำลอง eQUEST

5 ซม. ที่มีค่าการดูดซับความร้อน 0.75 จะใช้พลังงาน 5,849.70 kWh/y (23.39 kWh/m²/y) ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับแบบจำลองสวนหลังคาในโปรแกรม Energyplus มากที่สุด

5. วิเคราะห์และสรุปผล

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสวนหลังคาโมดูลาร์สามารถลดการใช้พลังงานในแบบจำลองได้จริง โดยพบว่าแบบจำลองสวนหลังคาโมดูลาร์และแบบจำลองสวนหลังคาทั่วไปมีค่าใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ จากการศึกษาด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนค่าการดูดซับความร้อนร่วมกับการปรับเปลี่ยนความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคาจะทำให้แบบจำลองมีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับค่าพลังงานของสวนหลังคาโมดูลาร์มากกว่าการปรับเปลี่ยนตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงอย่างเดียว

References

กนกวลี สุธีธร. (2548). หลังคาเขียว: ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ฉบับงานบริการวิชาการสู่สังคม*, 1, 128-129.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). *ศูนย์รวมองค์ความรู้ด้านอนุรักษ์พลังงาน: ระบบปรับอากาศ*. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2554, จาก <http://ee.dede.go.th/knowledge/ContentLevel3.aspx?gt=3&abs=3000000&abs2=3010000>

กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2554). *ประหยัดพลังงานในที่ทำงาน*. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2554, จาก <http://www.eppo.go.th/index-T.html>

- วิรัช มณีสาร. (2538). *ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่างๆ ในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- Hirsch, J. J. & Associates. (2010). *Building energy use and cost analysis program (DOE-2.2)*, New features, Version 41-47. Camarillo, CA: eQUEST.
- Kristin L. G. & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roof in sustainable development. *Hortscience*, 41(5), 1276-1285.
- Shady, A., Liliana, B., Andre, D. H. & Jan, H. (2009). Architect friendly: A comparison of ten different building performance simulation tools. *11th International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland.
- Scholz-Barth, K., (2001). Green roofs: Storm water management from the top down. Troy, Michigan: Environment Designn Construction.
- USDOE. (2012). *EnergyPlus 7.2 Getting Start*. Washington, DC: US Department of Energy.
- USDOE. (2012). *EnergyPlus 7.2 Engineering Reference. Green roof model description*. Washington, DC: US Department of Energy.

การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไผ่ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย

Mechanical Properties of Thai Bamboo for Simple Structure

สุทธิชา บรรจงรัตน์¹ และ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์²
Sutthicha Banjongrat¹ and Supreedee Rittironk, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: almanac.pume@gmail.com¹, supreedee@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

ในงานสถาปัตยกรรมคุณสมบัติของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับลักษณะของงาน งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณสมบัติของไผ่ตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) ของไผ่ไทย 5 สายพันธุ์ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุทางเลือก ผลการศึกษา พบว่า ไผ่ตงสามารถรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนได้ดี และเหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ที่รับแรงอัดมากกว่าแรงดึงและแรงเฉือน ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้เป็นโครงสร้างหลัก ไผ่ซางมีคุณสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด สามารถนำไปใช้งานได้ค่อนข้างหลากหลาย รวมถึงใช้เป็นโครงสร้างหลัก ไผ่สีสุกสามารถรับแรงดัดและแรงเฉือนได้ดีกว่าการรับแรงอัด จึงเหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีรูปทรงอิสระและมีขนาดเล็ก ไผ่เลี้ยงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักเพราะสามารถรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนได้ดี และมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวค่อนข้างสูง สุดท้ายไผ่รวกมีคุณสมบัติต่ำกว่าไผ่อื่น ๆ ซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้สำหรับโครงสร้างขนาดเล็กที่มีการรับแรงน้อย

Abstract

Material properties are an important factor in deciding the use of materials in architecture. This research aims to study the properties depends on ISO 3129-1975(E) standard of Thai structural bamboo and provides the design guideline of that material. The results of research show that Phai Tong performed better in compressive strength perpendicular to grain. It is suitable for large scale structure or used as the main structure is under compression than tension and shear. Phai Sang is the best of 5 species. It can be used for a variety of applications and can be used as the main structural strength. Phai Seesuk is better in resistant bending and shear strength than compressive strength. It is suitable for free form structure. Phai Liang is suitable for adoption as the main structure due to compression perpendicular to grain and modulus of rupture are good. The last, Phai Ruak is lower than the other 5 species of bamboo. It is suitable for small structures that carry light load.

คำสำคัญ (Keywords): โครงสร้างเรียบง่าย (Simple Structure), คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties), คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties), ไผ่ไทย (Thai Bamboo)

1. บทนำ

“ไม้เปรียบเสมือนโครงสร้างใหญ่โครงสร้างหนึ่งของวัฒนธรรมตะวันออก” (เจนจบ ยิ่งสุมล, 2540, น. 8) ประเทศไทยก็เป็นอีกหนึ่งในตะวันออก ซึ่งมีความผูกพันกับไม้มายาวนาน ทั้งด้านหัตถกรรมและสถาปัตยกรรม เนื่องจากไม้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นและแตกต่างจากไม้ชนิดอื่น แต่มีข้อจำกัดค่อนข้างมากจึงทำให้การนำไม้มาใช้ในการก่อสร้างมักเป็นไปในรูปแบบของอาคารที่พักอาศัยชั่วคราวโดยใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบเดียวกับเรือนเครื่องผูก ปัจจุบันรูปแบบของงานสถาปัตยกรรมไทยมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่งานสถาปัตยกรรมสมัยใหม่มากขึ้น โจน จันได (ผู้เชี่ยวชาญการสร้างบ้านดินและไม้ไผ่) กล่าวว่า “ในอดีตการสร้างบ้านที่ทำจากไม้ไผ่อายุของการใช้งานประมาณ 4-5 ปี ก็ผุพัง ต้องซ่อมแซม ทำให้เกิดการสืบสานของวัฒนธรรมการสร้างจากรุ่นสู่รุ่น แต่ในปัจจุบันบ้านเป็นสิ่งก่อสร้างที่คงทนด้วยวัสดุใหม่ ๆ มรดกทางวัฒนธรรมก็ขาดหายไป” แม้ว่าปัจจุบันมีสถาปนิกหลายท่านหันมาให้ความสนใจกับสถาปัตยกรรมไม้ไผ่และนำไม้ไผ่สายพันธุ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาผสมผสานเข้ากับงานสถาปัตยกรรมสมัยใหม่ด้วยเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทั้งในขั้นตอนการปรับสภาพวัสดุก่อนการใช้งานและการก่อสร้าง จนเกิดเป็นรูปทรงของอาคารที่มีความสวยงาม แข็งแรง แตกต่างหลากหลายไปจากเดิม แต่การพัฒนาในรูปแบบของงานสถาปัตยกรรมไม้ไผ่มีการพัฒนาในเรื่องของวัสดุ รูปแบบเทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้าง รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุทางด้านคุณสมบัติของสายพันธุ์ไม้ที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นยังน้อย ส่งผลให้การนำไม้มาใช้งานในรูปของสถาปัตยกรรมนั้นยังไม่ค่อยมีความเหมาะสม เนื่องจากผู้ออกแบบคำนึงถึงความสวยงามเป็นหลัก โดยไม่ได้คำนึงถึง

คุณสมบัติของวัสดุที่แท้จริงว่ามีจุดเด่น-จุดด้อยอย่างไร มีความเหมาะสมกับรูปแบบสถาปัตยกรรมเหล่านั้นหรือไม่ หากมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุอย่างแท้จริง อาจส่งผลให้การออกแบบงานสถาปัตยกรรมในรูปแบบนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติความเป็นวัสดุธรรมชาติราคาถูกลง ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุทางเลือกในงานสถาปัตยกรรมได้

2. ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไม้ในประเทศไทย

สายพันธุ์ไม้ในโลกมีประมาณ 1,500 สายพันธุ์ จะพบมากในทวีปเอเชีย ทวีปอเมริกา และทวีปแอฟริกา ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 17.6 ล้านตารางเมตร ประกอบด้วยไม้ 17 ตระกูล 72 สายพันธุ์ ซึ่งไม้ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป คือ *Cephalostachyum*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Bambusa* และ *Thrysostachys*

ตารางที่ 1 ไม้สำคัญ 10 ชนิดของประเทศไทย

ชื่อท้องถิ่น	ชื่อวิทยาศาสตร์
ไผ่ตง	<i>Dendrocalamus Asper</i>
ไผ่รวก	<i>Thrysostachys siamensis</i>
ไผ่สีสุก	<i>Bambusa blumeana</i>
ไผ่เลี้ยง	<i>Bambusa nana</i>
ไผ่รวกดำ	<i>Thrysostachys oliveri</i>
ไผ่ป่า	<i>Bambusa bambos</i>
ไผ่ชางนวล	<i>Dendrocalamus membranaceus</i>
ไผ่ชาง	<i>Dendrocalamus strictus</i>
ไผ่หวาน	<i>Bambusa burmanica</i>
ไผ่ข้าวหลาม	<i>Cephalostachyum pergracile</i>

ที่มา: Malanit, 2009

2.2 คุณสมบัติของไม้

ไม้จัดอยู่ในจำพวกพืษ้ำตระกูลปาล์มชนิดที่มีใบเดี่ยวแตกออกจากเมล็ด แล้วเปลี่ยนแปลงไปจนกลายเป็นเนื้อไม้ที่แข็งแรงที่สุด

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

คุณสมบัติเชิงกลมีความสำคัญมากในงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กล่าวคือเป็นข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบวัสดุโดยทั่วไปจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำและไม่ว่าแรงนั้นจะอยู่ในลักษณะใดก็ตามย่อมทำให้เกิดความเค้นและความเครียดกับวัสดุ เป็นการตอบสนองแรงที่มากระทำ ทั้งนี้ ประสิทธิภาพการรับแรงอัดและแรงดึงจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไม้อยู่ในสภาวะสดและสภาวะแห้ง ไม้สดมีความชื้นประมาณร้อยละ 60 โดยความชื้นจะมีมากในส่วนกลางของลำต้น และมีค่าลดลงในส่วนปลายของลำต้น

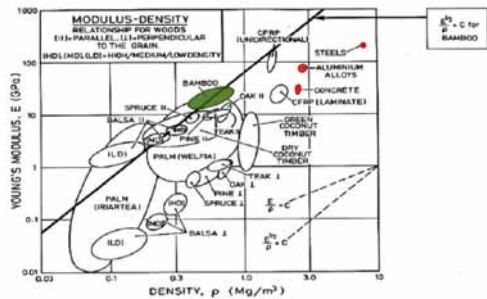
ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตามมาตรฐาน ASTM D5456

คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล	แหล่งที่มา		
	Dransfield	Othman et al.	Pakkerree
ความชื้นในสภาวะสด	55%	66.5%	46%
ความถ่วงจำเพาะ การทดสอบ	0.70	0.67	0.77
- ตามแนวรัศมี	5%	6.5%	1.3%
- ตามแนวขนาน	4.5%	8.5%	2.5%
- ตามความยาว	-	-	0.20
โมดูลัสการแตกกร้าว(MPa)	92.5	85.65	135
โมดูลัสความยืดหยุ่น(MPa)	-	63,000	13,115
ความต้านทานแรงดึง(MPa)	-	-	314
ความต้านทานแรงอัด (MPa)	27.1	31.45	72
ความต้านทานแรงเฉือน (MPa)	7.15	5.35	14

ที่มา: Malanit, 2009

จากตาราง พบว่า ไม้ที่ทำารทดสอบมีค่าความชื้นในสภาวะสดและความถ่วงจำเพาะที่ใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดและคุณสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ อาจจะเป็นเนื่องมาจากขนาดและความหนาของเนื้อไม้ที่แตกต่างกันส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับแรงที่ได้แตกต่างกัน

ไม้มีค่าความต้านทานแรงดึงสูง แต่มีค่าความต้านทานแรงเฉือนค่อนข้างต่ำ และยังมีค่าโมดูลัสของยังค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น ๆ จัดอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับคอนกรีต แต่มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีต ดังรูปที่ 1

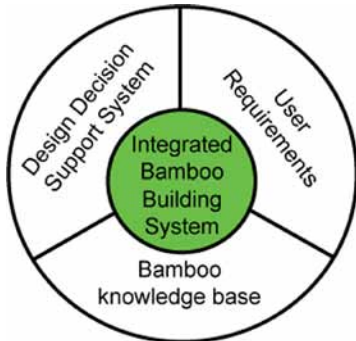


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสของยังและความหนาแน่นของวัสดุ (Ghavamli, 2005)

2.2.2 พฤติกรรมการแตกและหักของไม้

ไม้มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนกับไม้ เนื่องจากความแตกต่างของเนื้อไม้ไม้มีลักษณะเนื้อไม้ภายนอกมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อไม้ภายใน เมื่อผิวภายนอกของไม้แตกเป็นร่องจะส่งผลให้ไม้สูญเสียความแข็งแรงไปโดยปริยาย อาจนำไปสู่ความเสียหายได้ในทันทีหากมีการถ่ายแรงไปในทิศทางตามยาวขนานกับเนื้อไม้ เมื่อมีแรงเพิ่มขึ้นตามยาวจะมีการถ่ายเทแรงที่ไม่มี ความสม่ำเสมอบริเวณที่เป็นร่องไม้จะเกิดแรงเฉือนบริเวณผิวของไม้จนเกิดการแตกหักได้ ดังนั้น จึงควรระวังบริเวณผิวของไม้ให้มาก พยายามอย่าให้เกิดรอยหรือแตก (Rottker, 2011)

2.2.3 ปัจจัยการพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารด้วยไม้



รูปที่ 2 ปัจจัยการพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ (Mardjono, 2005)

การพัฒนาระบบการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ต้องคำนึงถึงปัจจัย 3 ส่วน ดังนี้

- 1) การก่อสร้างอาคารไม้ไม่ควรมีการพัฒนาและปรับปรุงอันเกิดจากการพัฒนาขององค์ความรู้เดิมที่มีอยู่ ซึ่งเทคนิคการก่อสร้างสามารถทำได้ง่ายโดยใช้ช่างทั่วไปในชนบท (วิวัฒน์ เตมียพันธ์, 2541)
- 2) การพัฒนาอันเกิดจากความต้องการของผู้อยู่อาศัย ซึ่งเปลี่ยนไปตามความเป็นอยู่และความต้องการในปัจจุบัน
- 3) การนำปัญหาและความต้องการในปัจจุบันมาทำการพัฒนาและออกแบบ โดยอยู่บนพื้นฐานขององค์ความรู้เดิมที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และช่างท้องถิ่นสามารถก่อสร้างได้

3. การดำเนินการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไทย 5 สายพันธุ์ ตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างไม้ในงานสถาปัตยกรรม และเสนอ

แนวทางการเลือกใช้วัสดุให้มีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก พร้อมทั้งมีความเหมาะสมกับรูปแบบของโครงสร้าง

3.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไทย 5 สายพันธุ์ ตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) ทำให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพของวัสดุ อันเป็นปัจจัยในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุสำหรับงานสถาปัตยกรรม

3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้กับไม้อื่นๆ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณสมบัติต่างๆ ของไม้และไม้ชนิดอื่น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเพิ่มเติมในการนำไปใช้ในงานสถาปัตยกรรม

3.3 เสนอแนะแนวทางในการออกแบบอาคารไม้ และการเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับลักษณะการรับแรงของโครงสร้าง

ไม้แต่ละสายพันธุ์มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพวัสดุในการรับน้ำหนักของโครงสร้างนั้นแตกต่างกัน ดังนั้น การเลือกใช้ไม้สำหรับงานสถาปัตยกรรม ย่อมขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคารและลักษณะการรับน้ำหนักของโครงสร้าง

4. คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลของไม้ไทย 5 สายพันธุ์

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไทย 5 สายพันธุ์ ตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของไฟ

สาย พันธู์ & ตำแหน่ง	Result		
	ความหนาแน่น สภาวะสด (g/cm ³)	ความหนาแน่น สภาวะแห้ง (g/cm ³)	ความชื้น (%)
ไฟดง			
โคน	0.701	0.586	25.971
กลาง	0.696	0.628	11.032
ปลาย	0.722	0.669	8.018
ไฟขวาง			
โคน	0.625	0.572	9.222
กลาง	0.754	0.686	9.826
ปลาย	0.793	0.731	8.595
ไฟสี่สูก			
โคน	0.741	0.630	17.917
กลาง	0.739	0.681	8.627
ปลาย	0.686	0.639	7.348
ไฟเฉียง			
โคน	0.786	0.672	17.498
กลาง	0.752	0.685	9.711
ปลาย	0.801	0.726	10.458
ไฟรวก			
โคน	0.628	0.561	11.832
กลาง	0.554	0.487	11.735
ปลาย	0.523	0.472	11.081

จากตารางที่ 3 พบว่า ไฟส่วนบนจะมีค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะสูงกว่าส่วนอื่น ยกเว้นไฟสี่สูกและไฟรวกที่ไฟส่วนบนมีค่าต่ำกว่าส่วนอื่น ๆ

จากผลการทดสอบ พบว่า คุณสมบัติเชิงกลของไฟตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) พบว่า ส่วนปลายของไฟมีค่าความถ่วงจำเพาะและประสิทธิภาพในการรับแรงสูงกว่าส่วนโคน เนื่องจากเนื้อไม้ส่วนปลายมีการเรียงตัวของเส้นใยภายในค่อนข้างหนาแน่นและสม่ำเสมอ ซึ่งต่างจากเนื้อไม้ส่วนโคนที่มีการเรียงตัวของเส้นใยภายในหนาแน่นบริเวณส่วนที่ใกล้กับผิวภายนอกและเรียงตัวเบาบางบริเวณใกล้กับผนังภายใน เนื้อไม้ส่วนที่มีการเรียงตัวของเส้นใยภายในหนาแน่นจะเกิดการเสียหายจากแรงที่มากกระทำได้ยาก ไฟที่ทำการทดสอบทั้ง 5 สายพันธู์มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.50-0.80 โมดูลัสการแตกร้าอยู่ในช่วง 105-200 เมกะพาสคัล โมดูลัสความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 11850-19300 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดในแนวขนาน

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงกลของไฟ

สายพันธู์ & ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ						
	ความถ่วง จำเพาะ	โมดูลัสการ แตกร้า (MPa)	โมดูลัสความ ยืดหยุ่น (MPa)	ความต้านทานแรง อัดขนานเสี้ยน (MPa)	ความต้านทานแรง อัดตั้งฉากเสี้ยน (MPa)	ความต้านทาน แรงเฉือน (MPa)	ความต้านทาน แรงดึง (MPa)
ไฟดง							
โคน	0.701	130.199	11895.805	40.412	7.429	9.796	249.399
กลาง	0.696	165.887	14659.599	56.336	8.361	12.065	147.366
ปลาย	0.722	174.608	14741.253	73.059	11.207	13.647	-
ไฟขวาง							
โคน	0.625	163.007	13950.775	61.629	6.726	14.003	159.866
กลาง	0.754	198.463	17478.146	74.140	4.322	13.025	182.840
ปลาย	0.793	189.430	16285.835	86.639	3.303	14.634	-
ไฟสี่สูก							
โคน	0.741	174.145	18464.106	51.644	5.074	13.030	189.553
กลาง	0.739	195.036	18287.033	69.225	4.891	14.091	-
ปลาย	0.686	159.336	14216.435	62.751	4.015	11.179	-
ไฟเฉียง							
โคน	0.786	184.277	18447.377	41.860	6.466	11.455	103.802
กลาง	0.752	172.246	17293.677	74.708	5.941	12.508	-
ปลาย	0.801	175.821	19273.242	72.531	3.766	9.917	-
ไฟรวก							
โคน	0.628	109.888	12620.593	48.164	2.407	11.331	-
กลาง	0.554	112.678	12091.628	41.079	1.838	8.835	-
ปลาย	0.523	106.207	11832.992	41.606	1.599	5.314	-

เสี้ยนอยู่ในช่วง 41-87 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนอยู่ในช่วง 1.50-11.26 เมกะพาสคัล และมีค่าต้านทานแรงเฉือนอยู่ในช่วง 5.25-14.75 เมกะพาสคัล ส่วนความต้านทานแรงดึงนั้นสามารถทำการทดสอบได้ในส่วนโคนและส่วนกลางของไผ่บางชนิดที่มีขนาดใหญ่และความหนาเนื้อไม้ประมาณ 0.07-0.13 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุธรรมชาติและเครื่องมือในการทำการทดสอบ

5. เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่กับวัสดุอื่น ๆ จากกรณีศึกษา

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่กับไม้อื่น ๆ

ค่าเฉลี่ยโดยรวมของไผ่ตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะจัดอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับไผ่สายพันธุ์มาเลเซีย ซึ่งจัดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะของไม้เนื้ออ่อน มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นอยู่ในช่วงของไม้เนื้อแข็ง มีค่าโมดูลัสของการแตกร้าว ความต้านทานแรงเฉือน ความต้านทานแรงดึงแนวตั้งฉากเสี้ยนและขนาดเสี้ยนต่ำกว่าไม้เนื้ออ่อนมาก แต่มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงของไผ่จากกรณีศึกษาในตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าสูงกว่าไผ่สายพันธุ์มาเลเซีย ทั้งนี้พบว่า ไผ่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดัดและแรงดึงที่ค่อนข้างสูง แต่ไผ่มีจุดอ่อนในเรื่องการรับแรงเฉือน

ความแตกต่างของประสิทธิภาพวัสดุระหว่างไผ่ที่ทำการทดสอบและไผ่จากกรณีศึกษา อาจเกิด

ประเภท	วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสการแตกร้าว (MPa)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)	ความต้านทานแรงอัด/เสี้ยน (MPa)	ความต้านทานแรงอัดLเสี้ยน (MPa)	ความต้านทานแรงเฉือน (MPa)
ตัวอย่างทดสอบ	ไผ่ตง	0.63	156.90	13765.54	56.60	8.90	11.84
	ไผ่ชาง	0.66	183.66	15904.92	74.14	4.80	13.89
ตัวอย่างทดสอบ	ไผ่สีสุก	0.65	176.17	16989.19	61.22	4.66	12.77
	ไผ่เลี้ยง	0.69	177.45	18338.10	63.03	5.39	11.29
	ไผ่รวก	0.51	109.59	12181.74	43.62	1.95	8.49
ตัวอย่างอ้างอิงจากตารางที่ 2	ซุดที่ 1	-	92.50	-	27.10	-	7.15
	ซุดที่ 2	-	85.65	63000	31.45	-	5.33
	ซุดที่ 3	-	135.00	13115	72.00	-	14.00
ไผ่สายพันธุ์มาเลเซีย	B.blumeana	0.43-0.60	43.1-156.4	2600-5600	19.5-28.5	-	4.0-4.9
	B.vulgaris	0.27-0.57	46.1-78.4	4100-8100	20.5-30.0	-	3.3-4.8
	D.asper	0.55-0.78	48.9-122.4	3800-8800	28.3-34.6	-	4.4-6.3
	G.levis	0.65-0.94	37.6-119.4	37.3-6500	37.3-42.8	-	3.7-5.8
ไม้เนื้ออ่อนมาก	กระทอน	0.57	485.00	74927	194.00	71.00	66.00
	จำปาป่า	0.51	553.00	76102	279.00	71.00	157.00
	ยางขาว	0.70	612.00	89929	312.00	65.00	161.00
ไม้เนื้ออ่อน	สัก	0.62	641.00	81537	327.00	80.00	134.00
	อินทนิล	0.65	697.00	92720	340.00	77.00	157.00
	ยางแดง	0.76	739.00	113651	367.00	65.00	166.00
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	ยูง	0.75	806.00	120586	364.00	68.00	174.00
	ตะแบก	0.72	808.00	112556	374.00	105.00	175.00
	ตะเคียนทอง	0.77	816.00	104940	354.00	116.00	123.00
ไม้เนื้อแข็ง	เต็ง	1.07	924.00	115464	443.00	184.00	146.00
	มะค่าโมง	0.85	996.00	101721	463.00	121.00	167.00
	รัง	1.15	1108.00	153607	296.00	182.00	176.00
ไม้เนื้อแข็งมาก	เข้ตั้ง	1.10	1206.00	1097795	725.00	267.00	235.00
	ตีนนก	0.99	1283.00	181021	482.00	225.00	208.00
	บุนนาค	1.12	1519.00	230689	591.00	211.00	129.00

ที่มา: Malanit, 2009; Mohmad & Liese, 1990; สิทธิชัย แสงอาทิตย์, ม.ป.ป.

จากปัจจัยในเรื่องของสภาพแวดล้อม ซึ่งแต่ละประเทศจะมีลักษณะของสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของไผ่

6. สรุปผล

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปคุณสมบัติของไผ่ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย ดังนี้

1) ไผ่แต่ละตระกูลย่อมมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน และต่างกันเล็กน้อยสำหรับต่างสายพันธุ์ ทั้งนี้ปัจจัยในเรื่องของสภาพแวดล้อมในการปลูกก็มีผลต่อคุณสมบัติดังกล่าว เพราะสภาพแวดล้อมส่งผลกระทบต่อความชื้นและลักษณะการเรียงตัวของเนื้อไม้ หากเนื้อไม้มีการเรียงตัวกันหนาแน่นก็จะมีประสิทธิภาพในการรับแรงที่สูง เช่น ไผ่ส่วนปลายมีลักษณะการเรียงตัวของเนื้อไม้ค่อนข้างหนาแน่นกว่าไผ่ส่วนโคนทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงมีค่าสูงกว่า แต่ข้อจำกัดของไผ่ส่วนปลาย คือ มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานกับโครงสร้างขนาดใหญ่ได้โดยตรง ควรใช้ร่วมกับไผ่ส่วนอื่นหรือใช้ไผ่หลายลำในการรับน้ำหนักของโครงสร้างขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เพื่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน

2) จากการทดสอบพบว่า ไผ่สามารถรับแรงดัดและแรงดึงได้ค่อนข้างสูง แต่มีจุดอ่อนในการรับแรงเฉือน และมีข้อเสียในเรื่องลักษณะการแตกของเนื้อไม้ คือ หากเกิดการเสียหายเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลให้เกิดการเสียหายต่อไผ่ทั้งลำ เนื่องจากเส้นใยภายในเรียงตัวขนานกัน หากมีแรงมากระทบทำให้เกิดการแตกหักในทิศทางเดียวกับเส้นใย ไผ่ในส่วนนั้นก็จะเกิดการเสียหายได้ใน

ทันที เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการรับแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นใยที่ค่อนข้างต่ำ และไม่มีเส้นใยที่เรียงตัวตั้งฉากกับแรงเพื่อลดแรงที่มากระทำหรือชะลอการแตกหักเพียงเล็กน้อยบริเวณข้อ

3) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติโดยรวมของไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่า ไผ่ตงเป็นไผ่ขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพในการรับแรงอัดตั้งฉากเส้นใยเด่นกว่าคุณสมบัติอื่น ๆ เหมาะแก่การนำมาใช้กับโครงสร้างขนาดใหญ่หรือนำมาใช้เป็นเสาสำหรับโครงสร้างหลัก ไผ่ชางมีคุณสมบัติโดยภาพรวมที่ดีที่สุดในบรรดาไผ่ทั้ง 5 สายพันธุ์ เหมาะแก่การนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ รวมทั้งงานโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีประสิทธิภาพในการแรงดึง แรงอัด และแรงดัด หรือใช้เป็นโครงสร้างเสาและคานสำหรับโครงสร้างหลักได้อีกด้วย ไผ่สีสุกมีประสิทธิภาพในการรับแรงดัดและแรงเฉือนได้ค่อนข้างสูง เหมาะสมกับงานที่มีรูปทรงค่อนข้างอิสระเพราะสามารถดัดโค้งได้ง่ายกว่าไผ่ขนาดใหญ่ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นโครงสร้างที่มีการรับแรงสูง ไผ่เลี้ยงมีค่าความต้านทานแรงดัด แรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นใยและโมดูลัสการแรกเริ่มสูงรองจากไผ่ เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นคานสำหรับโครงสร้างหลัก ส่วนไผ่เลี้ยงลำเล็กก็สามารถนำมาดัดสำหรับโครงสร้างที่มีรูปทรงอิสระได้ ไผ่รวกมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไผ่อีก 4 สายพันธุ์ และมีขนาดเล็ก เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดเล็กและมีการรับน้ำหนักน้อย

เมื่อทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุทำให้การเลือกใช้วัสดุที่มีเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและความปลอดภัยมากขึ้น จึงไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไปที่จะหันมาสนใจเลือกใช้ไผ่ในงานสถาปัตยกรรม

7. ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) เป็นการทดสอบส่วนของเนื้อไม้ คือ ชิ้นตัวอย่างจะถูกเอาผิวภายนอกและผิวภายในของออก ซึ่งขนาดและรูปทรงจะแปรผันตามความหนาของเนื้อไม้ ในกรณีที่เนื้อไม้บางมาก ชิ้นตัวอย่างก็ต้องปรับขนาดให้เท่ากับขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถทำการทดสอบได้ด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine) ส่งผลให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่ตรงกับประสิทธิภาพของวัสดุตามลักษณะการใช้งานจริง เนื่องจากบริเวณผิวภายนอกของไม้มีการเรียงตัวของเส้นใยที่หนาแน่น ทำให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงสูงเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติที่ตรงตามการใช้งานจริง ควรทำการทดสอบด้วยมาตรฐานสำหรับใช้ทดสอบไม้ทั้งลำ

2) การทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ISO 3129-1975(E) ไม่สามารถทำการทดสอบกับไม้ขนาดเล็กที่มีความหนาของเนื้อไม้ น้อย ๆ ได้ เนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็กจนไม่สามารถทดสอบได้ และไม่สามารถเตรียมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อีกเช่นกัน เพราะไม้เป็นวัสดุทางธรรมชาติที่มีขีดจำกัดค่อนข้างสูง

3) เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูง ทำให้โครงสร้างสามารถเปลี่ยนรูปจากแรงที่มากกระทำได้ง่าย สำหรับการออกแบบควร จะออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างจุดรับแรงที่สั้น หรือเพิ่มค้ำยันภายในโครงสร้างเพื่อลดการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างและยังออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างจุดรับแรงมากขึ้นได้

References

- ฐิติกุล ภาคศิริ. (2540). *สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รุ่งคุณ ราษีนิวล. (2550). *การพัฒนาระบบหลังคาและผนังจากไม้ไผ่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อิทธิพงษ์ อินพล. (2540). *คุณสมบัติการตัดของไม้ไผ่ประกบกาบ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Chand, N., Dwivedi, U. K. & Acharya, S. K. (2007). Anisotropic abrasive wear behaviour of bamboo (*Dentocalamus strictus*). *Wear*, 262(9 - 10), 1031 - 1037.
- Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and Concrete Composites*, 27(6), 637-649.
- India Plywood Industry Research and Training Institute. *Bamboo Mat Flat Board*. Retrieved August 26, 2011, from <http://www.bwk.tue.nl/bko/research/Bamboo/Fitri.htm>
- Janssen, J. J. A. (1991). *Construction with bamboo - Bamboo connection*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Janssen, J. J. A. (1991). *Mechanical properties of bamboo*. Netherland: Kluwer Academic Publishers.

- Li, X. (2004). *Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing*. Master of Science Thesis, Faculty of the Louisiana State University.
- Li, X., Ouyang, J., Xu, Y., Chen, M., Song, X., Yong, Q., et al. (2009). Optimization of culture conditions for production of yeast biomass using bamboo wastewater by response surface methodology. *Biore-source technology*, 100(14), 3613-3617.
- Malanit, P. (2009). *The suitability of Dendrocalamus asper Backer for Oriented Strand Lumber*. Doctor of Natural Science Thesis, Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences, University of Hamburg.
- Matan, N., Kyokong, B. & Preechaiwong, W. (2007). Softening behavior of black Sweet - Bamboo (*Dendrocalamus asper Backer*) at various initial moisture contents. *Walailak J Sci & Tech*, 4(2), 225 - 236.
- Pattanavibool, R. (2009). *Bamboo research and development in Thailand*. Bangkok, Thailand: Royal Forest Department,
- Satnaun, S., Srisuwan, S., Jindasai, P., Cherdchim, B., Matan, N. & Kyokong, B. (2005). Macroscopic and microscopic gradient structure of bamboo clam. *Walailak J Sci & Tech*, 2(1), 81 - 97.
- Sulastiningsih, I. & Nurwati. (2009). Physical and mechanical properties of laminated bamboo board. *Journal of Tropical Forest Sciences*, 21(3), 246 - 251.
- Vries, S. K. D. (2002). *Bamboo construction technology for housing in Bangladesh*. Master of Science Thesis, Faculty of Technology Management Eindhoven, University of Technology The Netherlands.

อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะที่มีผลต่อการลดความร้อนของช่องว่างใต้หลังคา

Effect of Phase Change Material to Reduce Heat Gain for Attic Space

ณัฐพล เตชพิชิตโชค¹ และ ดร. สูดารณ์ ชั่งลู่²

Nuttapon Tachapichitchok¹ and Sudaporn Chungloo, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: zhugenuid@hotmail.com¹, sudaporn@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาพอากาศในปัจจุบันมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ปรับตัวสูงขึ้นทำให้ความร้อนที่ผ่านเข้ารอบอาคารมีปริมาณมากขึ้นและส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความร้อนที่ผ่านเข้ารอบอาคารที่มาจากหลังคา เพราะหลังคาเป็นองค์ประกอบของอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดและมีพื้นที่ผิวบริเวณกว้างจึงส่งผลกระทบต่อความร้อนผ่านหลังคาเข้ามาภายในบริเวณห้องที่อยู่ใต้หลังคา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจการออกแบบห้องใต้หลังคาเพื่อลดความร้อนผ่านเข้ารอบอาคารทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืนอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยวิธีการใช้สารเปลี่ยนสถานะมาแทนที่วัสดุฉนวน โดยมีจุดประสงค์เพื่อค้นหาวิธีการใช้สารเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมกับห้องใต้หลังคา ศึกษาอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารเปลี่ยนสถานะรวมถึงอุณหภูมิผิวของห้องใต้หลังคาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการวิจัยโดยทำการทดลองวัดอุณหภูมิของกล่องทดลองขนาด กว้าง 1.0 x ยาว 1.0 x สูง 2.0 ม. ผนังกล่องทั้ง 4 ด้าน และพื้นกล่องทำด้วยวีวับอร์ดหนา 8 มม. ภายในบุฉนวนโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว หลังคาทำด้วยกระเบื้องลอน ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารเปลี่ยนสถานะสามารถช่วยหน่วงความร้อนเอาไว้ด้วยการกักเก็บความร้อนในรูปแบบของการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปยังของเหลว

Abstract

Climate change tends to increase temperature and heat transfer through the building, resulting into more energy consumption. This research focus on study the building heat gain from the roof. As the roof area is directly by the sun radiation, therefore the researcher was interested to reduce heat gain for the attic space by using phase change material. The purposes aim to find out the using of PCMs within an attic space and to study melting point temperature of PCMs. Methodology includes surface and air temperature measurements in the testing box of size 1.0 m x 1.0 m x 2.0 m (width x length x height) made of 8 mm in thickness viva board. The result shows that roof tile with PCMs can delay heat gain during solid-liquid phase changes.

คำสำคัญ (Keywords): สารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material), มวลอุณหภาพ (Thermal Mass), ช่องว่างใต้หลังคา (Attic Space)

1. บทนำ

เนื่องจากสภาพอากาศในปัจจุบันมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ปรับตัวสูงขึ้น ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปรับอากาศภายในอาคารมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยเพราะความร้อนที่ผ่านเข้ากรอบอาคารมีปริมาณมากขึ้น จากสถิติของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2549 มีการจำหน่ายไฟฟ้ารวม 134,158 ล้านกิโลวัตต์ ชั่วโมง และมีปริมาณการจำหน่ายไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง ในปี พ.ศ. 2554 มีการจำหน่ายไฟฟ้ารวม 156,744 ล้านกิโลวัตต์ ชั่วโมง มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นถึง 22,586 ล้านกิโลวัตต์ ชั่วโมง หากแยกระบบการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน พบว่า มีการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศร้อยละ 63 ระบบแสงสว่างร้อยละ 25 ระบบอื่น ๆ ร้อยละ 12 ของทั้งหมด ดังนั้น หากสามารถลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้จะส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งอาคารได้มาก เพราะเป็นสัดส่วนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดภายในอาคาร ซึ่งการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศจะต้องลดภาระการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งความร้อนที่ผ่านเข้ามาในกรอบอาคารเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ความร้อนสามารถผ่านเข้ากรอบอาคารได้หลายช่องทาง เช่น หลังคา ผนังทึบ กระจกหน้าต่าง หรือรูรั่วของอาคารระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความร้อนที่ผ่านเข้ากรอบอาคารที่มาจากหลังคา เพราะหลังคาเป็นองค์ประกอบของอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด

เนื่องจากหลังคาได้รับการแผ่รังสีอาทิตย์ทางตรงตลอดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งหลังคาของอาคารมีพื้นที่ผิวที่ได้กักเก็บความร้อนและมีพื้นที่ผิวบริเวณกว้างจึงส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้ามาภายในบริเวณห้องที่อยู่ใต้หลังคา (สุดาภรณ์ ชูงิ้ว, 2552)

ในปัจจุบันมีวิธีการลดความร้อนผ่านหลังคาหลายวิธี ที่นิยมมากที่สุดคือการพ่นหรือปูฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานโดยหน้าที่ของฉนวนกันความร้อนสามารถป้องกันไม่ให้ความร้อนจากห้องใต้หลังคาทะลุผ่านตัววัสดุฉนวนไปยังอีกด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่ในเวลากลางคืนวัสดุฉนวนยังสามารถกักเก็บความร้อนไว้ภายในอาคารเมื่ออุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจการออกแบบห้องใต้หลังคาเพื่อลดความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืนอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้สารเปลี่ยนสถานะมาแทนที่วัสดุฉนวนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดความร้อนผ่านกรอบอาคารได้ สารเปลี่ยนสถานะที่ทำหน้าที่ปกป้องกักเก็บความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในช่องว่างอาคารระหว่างห้องใต้หลังคาสามารถระบายความร้อนด้วยลมธรรมชาติได้บางส่วน และฝ้าเพดานมีหน้าที่ป้องกันความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยวิธีการนำความร้อนผ่านตัววัสดุของหลังคา เมื่อเทียบกับการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งใต้พื้นผิวหลังคา การออกแบบโดยใช้หลังคาสองชั้นจะช่วยลดการผ่านความร้อนทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืนได้ดีกว่า (พงษ์ศักดิ์ ลอยฟ้า, 2550)

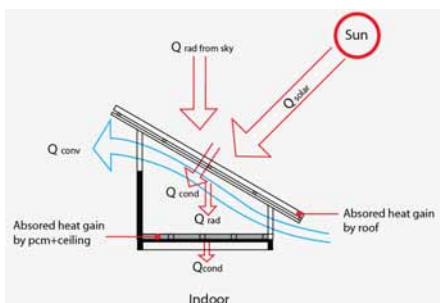
2. วัตถุประสงค์

1. ค้นหาคุณสมบัติด้านความร้อนของสารเปลี่ยนสถานะชนิดวาสลินและวาสลินผสมน้ำมันปาล์ม
2. ศึกษาอุณหภูมิผิวที่ห้องใต้หลังคาและค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการใช้สารเปลี่ยนสถานะ
3. ทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของช่องว่างอากาศใต้หลังคาที่ใช้สารเปลี่ยนสถานะและไม่ใช้สารเปลี่ยนสถานะ

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างอากาศใต้หลังคา

หลักการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใต้หลังคา เริ่มจากหลังคาด้านบนได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรงและรังสีความร้อนจากท้องฟ้าทำให้หลังคาด้านบนมีอุณหภูมิผิวที่สูงขึ้นจนกระทั่งเกิดการนำความร้อนไปสู่อุณหภูมิผิวหลังคาด้านล่าง และแผ่รังสีความร้อนไปยังช่องว่างอากาศใต้หลังคาต่อไป ในขณะที่เดียวกันฝ้าเพดานจะได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาด้านบนและมีลมบางส่วนพัดพาเอาความร้อนออกจากบริเวณช่องว่างอากาศทำให้ฝ้าเพดานได้รับรังสีความร้อนจากหลังคาด้านบนลดลงเล็กน้อยก่อนที่ความร้อนจะทะลุผ่านฝ้าเพดานที่อยู่ด้านล่างเข้าไปในอาคาร



รูปที่ 1 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

3.2 สารเปลี่ยนสถานะ

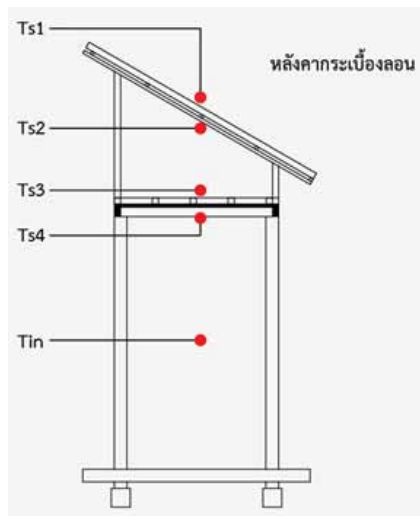
สารเปลี่ยนสถานะ หมายถึง สารที่มีค่าความร้อนแฝงที่จุดหลอมเหลว (latent heat) สูง และมีช่วงอุณหภูมิที่หลอมเหลวคงที่ทำให้ช่วงที่มีการเปลี่ยนสถานะของวัสดุจะกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้ โดยวิธีการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปยังของเหลว ในขณะที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง และคืนสภาพจากของเหลวกลับไปยังของแข็งเมื่ออุณหภูมิลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ PCMs สามารถดูดซับความร้อนได้มากกว่าหลายเท่าตัว (สิริรัช อัครโกสีย์, 2551)

มีการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของสาร PCMs ผ่านผนังอาคาร พบว่าประสิทธิภาพของสารเปลี่ยนสถานะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของสารนั้นต้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวเฉลี่ยทั้งวันของวัสดุที่อยู่ติดกับ PCMs เพราะสาร PCMs จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะได้ดีที่สุดทำให้ดูดซับความร้อนได้มากขึ้นและในตำแหน่งต่าง ๆ ของผนังควรมีปริมาตรของสาร PCMs ที่ไม่เท่ากันเนื่องจากปริมาตรของสาร PCMs ที่มากเกินไปจนทำให้การเปลี่ยนแปลงสถานะไม่มีศักยภาพอย่างเต็มที่ (ชลธิศ เอี่ยมวรอุฒกุล, 2549)

4. ระเบียบวิธีวิจัย

ทดสอบหาค่าจุดหลอมเหลวและความจุความร้อนจำเพาะของสารวาสลินและวาสลินผสมน้ำมันปาล์มด้วยใช้เครื่องมือทดสอบ Differential Scanning Calorimetry (DSC) วิธีการทดสอบเริ่มจากตั้งอุณหภูมิคงที่ที่ -60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก -60 องศาเซลเซียส ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิจะคงที่ที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

อีก 2 นาที โดยทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศ
ไนโตรเจน เตรียมกช่องทดลองขนาด กว้าง 1.0 x
ยาว 1.0 x สูง 2.0 ม. ผนังกล่องทั้ง 4 ด้านและ
พื้นกล่องทำด้วยวีว้าบอร์ดหนา 8 มม. ภายใน
บุฉนวนโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว หลังคาทำด้วย
กระเบื้องลอน จำนวน 2 ก่อ่งเพื่อใช้สำหรับ
ทดลองวัดอุณหภูมิผิวตำแหน่งต่าง ๆ ในสภาพ
แวดล้อมจริง ดังในรูปที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบ
กล่องทดลองควบคุมที่ไม่มีการใช้สารเปลี่ยน
สถานะและกล่องทดลองที่มีการใช้สารเปลี่ยน
สถานะ



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิผิวของกล่องทดลอง



รูปที่ 3 กล่องทดลองหลังคากระเบื้องลอน

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลทดสอบคุณสมบัติด้านความร้อนของ สารเปลี่ยนสถานะ

สารตัวอย่างการทดสอบ คือ วาสลีน และ
วาสลีนผสมน้ำมันปาล์ม ทำการทดสอบโดยใช้
เทคนิค differential scan calorimeter เครื่องมือที่
ใช้ทดสอบ Mettler Toledo DSC822c เพื่อหาค่า
ความจุความร้อนจำเพาะ และจุดหลอมเหลว
ของสารตัวอย่าง พบว่า วาสลีนมีช่วงอุณหภูมิ
หลอมเหลวอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส ถึง 47 องศา
เซลเซียส มีค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ
2.78 Jg °C ส่วนวาสลีนผสมน้ำมันปาล์มมีช่วง
อุณหภูมิหลอมเหลวอยู่ที่ -16 องศาเซลเซียส ถึง
0.7 องศาเซลเซียส มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ
เท่ากับ 4.06 Jg °C และช่วงอุณหภูมิที่จุดหลอม
เหลวอีกครั้งที่ 42.2 องศาเซลเซียส ค่าความจุ
ความร้อนจำเพาะเท่ากับ 2.52 Jg °C เนื่องจาก
เป็นสารผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับวาสลีนทำให้
เกิดการเปลี่ยนสถานะมากกว่า 1 ครั้งและที่
อุณหภูมิ 0.7 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มจะ
เปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลวจาก
นั้นที่อุณหภูมิ 42.2 °C วาสลีนจึงเปลี่ยนเป็น
ของเหลวในภายหลัง



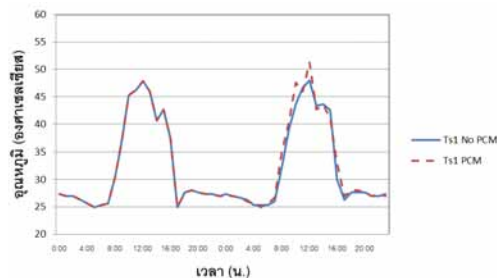
รูปที่ 4 ตัวอย่างสารเปลี่ยนสถานะ

5.2 ผลการทดลองของกล่องหลังคากระเบื้อง

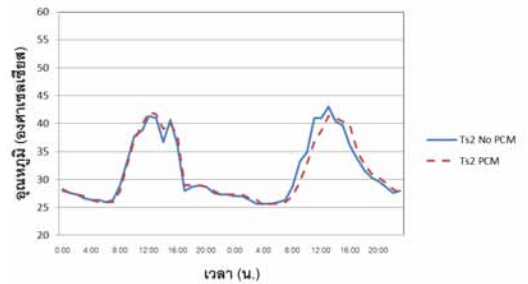
ทำการทดลองวัดอุณหภูมิกล่องทดลอง
ทั้ง 2 ก่อ่ง เริ่มตั้งแต่วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2556

ถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556 รวมทั้งสิ้น 2 วัน พบว่า ที่อุณหภูมิผิวด้านบนหลังคา (Ts1) ทั้ง 2 กล่องมีช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เพราะได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่เท่ากัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 51.2 องศาเซลเซียส เวลา 12.00 นาฬิกา ของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556

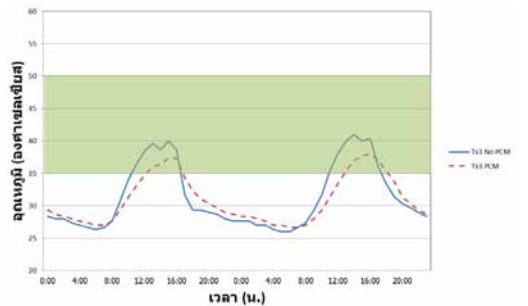
สำหรับอุณหภูมิผิวด้านใต้หลังคา (Ts2) ของทั้ง 2 กล่องยังมีช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากรับความร้อนโดยตรงจากการนำความร้อนที่ผิวบนสู่ผิวล่าง โดยมีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดคือ 42.97 องศาเซลเซียส เวลา 13.00 นาฬิกา ของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556 ที่อุณหภูมิผิวด้านบนฝ้าเพดาน (Ts3) และอุณหภูมิผิวด้านล่างฝ้าเพดาน (Ts4) ของกล่องทดลองที่มีสารเปลี่ยนสถานะในช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า Ts3 และ Ts4 ของกล่องทดลองควบคุม เนื่องจากสารเปลี่ยนสถานะที่วางไว้ด้านบนฝ้าเพดานช่วยกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุจึงทำให้ความร้อนผ่านไปสูผิวฝ้าเพดานมีน้อยลง แต่ในเวลากลางคืนสารเปลี่ยนสถานะจะทำตัวเป็นกึ่งฉนวนทำให้การคายความร้อนออกสู่ด้านนอกได้ยากส่งผลให้อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานทั้งสองด้านนั้นสูงกว่าอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานของกล่องทดลองควบคุม และอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองที่มีสารเปลี่ยนสถานะจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องควบคุม



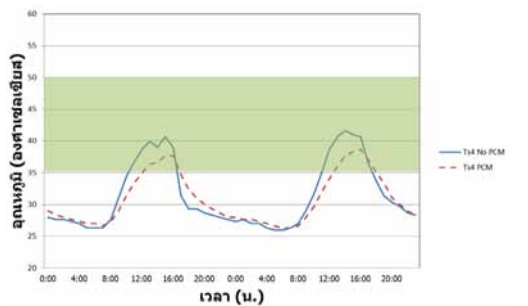
รูปที่ 5 อุณหภูมิผิวบนหลังคากระเบื้อง (Ts1)



รูปที่ 6 อุณหภูมิผิวใต้หลังคากระเบื้อง (Ts2)



รูปที่ 7 อุณหภูมิผิวบนฝ้าเพดาน (Ts3)



รูปที่ 8 อุณหภูมิผิวล่างฝ้าเพดาน (Ts4)

6. สรุปผลการวิจัย

สารเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เพื่อลดความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารต้องมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่คงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณตำแหน่งที่วางสารเปลี่ยนสถานะเพื่อให้สารเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับการทดลองวัดอุณหภูมิผิวต่าง ๆ ระหว่างกล่องทดลองที่มีการใช้สารเปลี่ยนสถานะ

และกล่องควบคุม พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในของกล่องทดลองที่มีการใช้สารเปลี่ยนสถานะในช่วงกลางวันจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและแตกต่างกันมากที่สุด คือ ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในของกล่องควบคุมอยู่ 2.98 องศาเซลเซียส ในเวลา 13.00 นาฬิกาของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556 แต่ในเวลาากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในกล่องที่มีการใช้สารเปลี่ยนสถานะจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศของกล่องควบคุมเล็กน้อย และที่อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานทั้งด้านบนและด้านล่างของกล่องทดลองที่มีการใช้สารเปลี่ยนสถานะในช่วงกลางวันจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวฝ้าเพดานของกล่องทดสอบควบคุม โดยแตกต่างกันมากที่สุด 4.65 องศาเซลเซียส นอกจากการลดความร้อนการใช้สารเปลี่ยนสถานะจะช่วยหน่วงความร้อนที่คายออกมาด้วย สำหรับหลังคาที่ใช้การเคลือบสาร hi-reflectance ซึ่งสารทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มการสะท้อนความร้อนกับออกไปสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ส่วนสาร PCMs จะทำหน้าที่ลดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารด้วยวิธีดูดซับการความร้อน

References

- ชลธิศ เอี่ยมวรวิฑูกร. (2549). *การใช้สารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างภายนอกเพื่อการจัดการพฤติกรรมความร้อนภายในอาคาร*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- พงษ์ศักดิ์ ลอยฟ้า. (2550). *การศึกษาประสิทธิภาพในการลดความร้อนของหลังคาโลหะด้วยการใช้หลังคาสองชั้น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศิริรัช อัครโกสีย์. (2551). *การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัตินวัตกรรมการผลิตวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยวิธีรูปร่างคงตัวเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุดาภรณ์ ชูงิ้ว. (2552). *การทดสอบภาคสนามสัมประสิทธิ์การพาความร้อนไร้มิติของปล่องรังสีอาทิตย์แบบเอียง*. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 6(1), 3 - 12.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ประกบที่ทำจากพันธุ์ไม้ไทย
เพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก
Mechanical Properties of Laminated Bamboo made from
Thai Species for Beam of Small Commercial Buildings

ชุติมณฑน์ เสียงสุทธีวงศ์¹ และ ดร. สุปรีย์ดี ฤทธิรงค์²

Chutimon Seingsuttivong¹ and Supreedee Rittironk, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: baipai5@live.com¹, supreedee@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

สถานการณ์ป่าไม้ปัจจุบันอาจเรียกได้ว่ากำลังอยู่ในภาวะวิกฤต เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ถูกบุกรุก มีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำไปแปรรูปเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารทำให้พื้นที่ป่าไม้มีจำนวนลดลงไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามความต้องการใช้ไม้แปรรูปยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อยๆ เพื่อลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าให้ต้องแสวงหาวัสดุทางเลือกใหม่ที่สามารถทดแทนไม้แปรรูปจากป่าไม้ใหญ่ได้ ซึ่งพบว่าไม้ไผ่เป็นวัสดุที่ยั่งยืน เพราะมีวงจรชีวิตสั้นกว่าไม้ยืนต้นประเภทอื่น ไม้ไผ่มีอายุเพียง 3 - 5 ปี ก็สามารถนำไปใช้ได้ วัสดุไม้ประกบที่ทำมาจากซีกของไม้ไผ่หลาย ๆ ชั้น นำมาอัดกาวทำให้เกิดเป็นชิ้นขนาดใหญ่คล้ายไม้แปรรูปทั่วไป งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุไม้ประกบที่ทำมาจากพันธุ์ไม้ไทยทั้ง 4 พันธุ์ ได้แก่ ไผ่ตง ไผ่ชางหม่น ไผ่เลี้ยง และไผ่สีสุก มาทำเป็นคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นวัสดุทางเลือกใหม่จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยได้ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด กำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นใย กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเส้นใย และกำลังต้านทานแรงดึง วิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM-143D ผลการทดสอบ พบว่า คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ประกบมีค่าที่ต่ำกว่าไม้เนื้อแข็งเล็กน้อย แต่มีค่าสูงกว่าไม้เนื้ออ่อนและไม้ประกอบเชิงวิศวกรรมบางชนิด เช่น ไม้ PSL ไม้ OSL แต่ไม้ไม้ประกบยังคงมีค่าคุณสมบัติเชิงกลบางประการที่ต่ำกว่าไม้เนื้อแข็งเล็กน้อย แต่มีค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่นที่ไม้ไม้ประกบมีค่าที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็ง จากนั้นได้ทำการจำลองโครงสร้างอาคารโดยใช้โปรแกรม Robot Structural Analysis Profession, 2010 เพื่อหาขนาดหน้าตัดของคานในกรณีต่าง ๆ ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าวัสดุไม้ประกบสามารถนำไปใช้เป็นโครงสร้างอาคารได้จริง

Abstract

The forest of Thailand is currently approaching a crisis. This critical situation is due to numerous illegal invasions and deforestation for construction. As a result, the forest areas are

rapidly decreasing. Therefore, we must look for the alternative solution, such as another type of material which could replace wood. Through findings, it is shown that bamboo has a short renewable-cycle allowing us to maintain it as a supply for a longer period of time. Bamboo only takes 3-5 years to be harvested. Laminated bamboo then was created, made of thin strips of bamboo glued together to create a lumber form, similar in size to the processed wood. This research aims to find out about the possibility of using laminated bamboo made from four species of Thai bamboo; Dendrocalamus Asper Backer, Dendrocalamus Sericeus, Bambusa Blumeana and Bambusa Multiplex as a construction material make beam structures. Therefore, it is crucial that there is an undergoing study of these four species of bamboos and their mechanical properties by testing to find the static bending, the compression parallel to grain, the compression perpendicular to grain and the tension. Testing method is based on the ASTM-143D standard. The mechanical properties of the laminated bamboo material test result appears to be lower than hardwood but higher than softwoods and other engineer lumbers, such as OSB and PSL. In addition, the laminated bamboo is also highly flexible and has quite high tensile strength. The result of mechanical properties is used in the structural modeling method by ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSION 2010 tools to find sizing of cross-section beam structure. The case study has proved that laminated bamboo can be a viable material used as a structural component of the building.

คำสำคัญ (Keywords): วัสดุไม้ประกอบ (Laminated Bamboo), คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties), จำลองโครงสร้างอาคาร (Structural Modeling Method)

1. บทนำ

ปัจจุบันพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยกำลังอยู่ในสภาวะวิกฤต จากสถิติของกรมป่าไม้ พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ลดลงเริ่มตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2516 มีพื้นที่ป่าไม้ 221,707 ตร.กม. ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 มีพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียง 171,584 ตร.กม. ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ลดลงไป 50,123 ตร.กม. และจากสถิติคดีกระทำความผิดกฎหมายเกี่ยวกับการป่าไม้ พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 มีคดีบุกรุกพื้นที่ป่าไม้รวมทั้งสิ้น 6,104 คดี มีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ 57.83 ตร.กม. (สถิติกรมป่าไม้, 2554) อย่างไรก็ตาม

ก็ตาม ความต้องการใช้ไม้แปรรูปยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากสถิติความต้องการไม้ก่อน พ.ศ. 2539 - 2560 ของกรมป่าไม้ พบว่า มีอัตราเฉลี่ยความต้องการใช้ไม้เนื้อแข็งแปรรูปเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ต่อปี ไม้ยางพาราแปรรูปเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 ต่อปี และไม้อัดวีเนียร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.9 ต่อปี เมื่อความต้องการใช้ไม้สูงขึ้นทำให้ไม้แปรรูปที่มีในประเทศไทยนั้นไม่เพียงพอ จึงต้องอาศัยการนำเข้าไม้แปรรูป ในปี พ.ศ. 2553 มีการนำเข้าไม้แปรรูปรวมมูลค่า 10,636 ล้านบาท นำเข้าไม้อัดรวมมูลค่า 1,282 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2553)

ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการแก้ปัญหา เช่น การลดความต้องการใช้ไม้ การค้นหาวัสดุที่ทดแทนไม้จากป่าใหญ่ เป็นต้น วัสดุไม้เชิงวิศวกรรม (engineered lumber) เกิดมาจากการนำเศษเปลือกไม้ที่เหลือจากการผลิตไม้แปรรูปมาอัดด้วยกาวทำให้เป็นแผ่นที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยกันหลายประเภท เช่น ไม้อัด ไม้ประกบ ไม้ MDF (medium density fiber board) ไม้ PSL (parallel strand lumber) ไม้ OSL (oriented strand lumber) ไม้ OSB (oriented strand board) เป็นต้น ไม้แต่ละชนิดมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป (จเรเมธ จันทรจักร, 2545)

นอกจากนี้ ยังมีวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนไม้คือ ไม้ประกบกาว (laminated lumber) ทำมาจากไม้โตเร็วที่มีลำต้นขนาดเล็กหลาย ๆ สิ่งมาอัดรวมกันด้วยกาวประสานทำให้เป็นชิ้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังเป็นการปรับปรุงไม้ชิ้นเล็กให้มีคุณสมบัติทดแทนเหมือนไม้แปรรูปที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาคารได้ (มนตรี กุลสุวรรณ, 2544) สำหรับวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นไม้ประกบจะต้องเป็นไม้ที่โตเร็วสามารถปลูกทดแทนหมุนเวียนได้หาได้ง่าย ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาไม้ประกบที่ทำมาจากไม้ไผ่ เพราะหาได้ง่ายและเป็นพืชโตเร็ว นอกจากนี้ ยังมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างไปจากไม้ยืนต้นพันธุ์อื่น คือ ลำทรงกระบอกภายในกลวงและเส้นใยที่มีท่อน้ำเลี้ยงมัดรวมกัน (vascular bundles) เมื่อนำมาแปรรูปเป็นไม้ประกบจะเหลือเศษไม้้น้อยทำให้ไม้ไผ่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นไม้ประกบ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกบที่ทำจากพันธุ์ไม้ไทยมาประยุกต์และความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาคารสาธารณะขนาดเล็ก



รูปที่ 1 ไม้ไผ่ก่อนนำมาผลิตเป็นไม้ประกบ

2. วัตถุประสงค์

2.1 คัดเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในงานก่อสร้าง

2.2 ศึกษากรรมวิธีผลิตไม้ไผ่ประกบด้วยวิธีอุตสาหกรรม

2.3 ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกบทั้ง 4 พันธุ์

2.4 ศึกษาแนวทางการออกแบบโครงสร้างอาคารไม้เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการนำมาจำลองออกแบบด้วยวิธี structural modeling method

2.5 ศึกษาแนวทางการใช้โครงสร้างไม้ไผ่ประกบในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและกำหนดขนาดโครงสร้างของคานไม้ไผ่ประกบที่เหมาะสม

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ทำการคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการก่อสร้างโดยดูจากคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยในการเป็นวัสดุก่อสร้างที่ดี คือ ลักษณะลำอวบใหญ่ เนื้อหนา หาได้ง่าย จากนั้นศึกษารวมวิธีผลิตไม้ไผ่ประกบด้วยวิธีอุตสาหกรรมเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประกบที่ทำจากพันธุ์ไม้ไทยทั้งหมด 4 พันธุ์ ได้แก่ ไม้ตอง (Dendrocalamus Asper) ไม้ซางหม่น

(Dendrocalamus Sericeus) ไม้สีสุก (Bambusa Blumeana) และไม้เลื้อย (Bambusa Multiplex) โดยทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด กำลังต้านทานแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน กำลังต้านทานแรงอัดขนานเสี้ยนและกำลังต้านทานแรงดึง วิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM-143D จากนั้นนำค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณโครงสร้างในโปรแกรม Robot Structural Analysis



รูปที่ 2 ไม้ไฟประกับกาว

4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบกำลังต้านแรงดัด พบว่า ไม้ไฟประกับพันธุ์ไผ่ตงมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ไม้ที่นำมาทดสอบทั้งหมด สามารถใช้เป็นคานโครงสร้างได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้เลื้อย มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดสูงเป็นอันดับที่ 2 สำหรับไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้ชางหม่นและไม้สีสุกมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่ต่ำแต่ยังคงใช้เป็นคานโครงสร้างได้ เนื่องจากผลการจำลองด้วยโปรแกรม พบว่าค่าสัดส่วนการรับกำลังต้านทานที่ยอมให้ของไม้ต่อกำลังต้านทานที่เกิดขึ้นจริงมีค่าไม่เกิน 1

สำหรับผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนและแรงอัดในแนวขนานเสี้ยน พบว่า ไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้ตง ไม้ชางหม่น

และไม้สีสุกมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน ส่วนไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้เลื้อยมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงที่สุดในทั้งหมด 4 พันธุ์ ค่าคุณสมบัติกำลังต้านทานแรงอัดใช้สำหรับพิจารณาความแข็งแรงของเสาโครงสร้าง

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง พบว่า ไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้เลื้อยมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ 87.77 ksc. ในลำดับถัดไปเป็นไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้ชางหม่นมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ 81.55 ksc. สำหรับไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้สีสุกมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ 76.66 ksc. และไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้ตงมีค่ากำลังต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด

เมื่อนำไม้ไฟประกับทั้ง 4 พันธุ์มาเปรียบเทียบจะพบว่า ไม้ไฟประกับพันธุ์ไม้ตงและไม้เลื้อยมีความเหมาะสมในการทำคานโครงสร้างโดยมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่ 529.29 ksc. และ 520.04 ksc. ตามลำดับ เมื่อนำไม้ไฟประกับไปเปรียบเทียบกับไม้เนื้ออ่อนพันธุ์อื่น ๆ พบว่า ไม้ไฟทั้ง 4 พันธุ์มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดสูงกว่า แต่เมื่อนำไม้ไฟประกับมาเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็ง พบว่า ไม้ไฟทั้ง 4 พันธุ์ มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดต่ำกว่า ในขณะที่ค่ากำลังต้านทานแรงดึงของไม้ไฟประกับจะมีค่าที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็ง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1



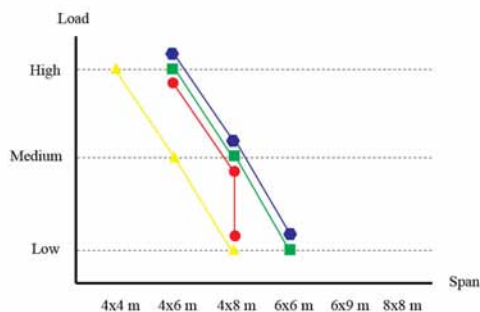
รูปที่ 3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประเภทชนิดของไม้

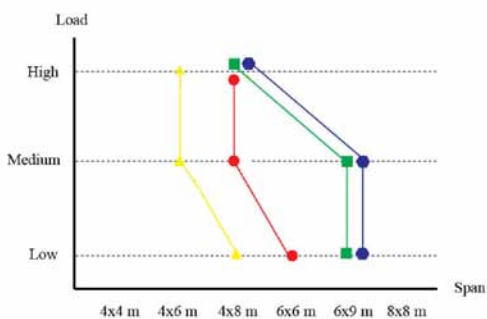
ชนิดของไม้	ความดัดง จำเพาะ	กำลัง ต้านทาน แรงดึง (ksc.)	โมดูลัส ยืดหยุ่น (ksc.)	กำลังต้านแรงอัด (ksc.)		กำลัง ต้านทาน แรงดึง (ksc.)
				ขนาน เสี้ยน	ตั้งฉาก เสี้ยน	
ไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่ตง	0.75	529.29	99519.93	219.98	92.6	72.86
ไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่ขางหม่น	0.77	395.53	109421.94	219.2	85.5	81.55
ไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่สีสุก	0.77	414.51	85305.83	227.37	80.63	76.66
ไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่เลี้ยง	0.74	520.04	108227.89	282.83	100.25	87.77
ไม้ตะเคาเทียม ¹ (เนื้ออ่อน)	0.48	327	67,390	183.00	103.00	40.95
ไม้พญาสัตบรรณ ¹ (เนื้ออ่อน)	0.31	191	32,822	83.00	49.00	n/a
ไม้เต็ง ² (เนื้อแข็ง)	1.05	593	79,624	380.00	179.00	n/a
ไม้ยูคาลิปตัส ³ (เนื้อแข็ง)	1.02	n/a	56,258	183.55	31.71	6.53

ที่มา: ¹สุภาวีย์ บุญยฉัตร, 2541. ²ภิรมย์ อ่อนละมูล, 2549. ³ธนวัตร กันแสงแก้ว, 2551.

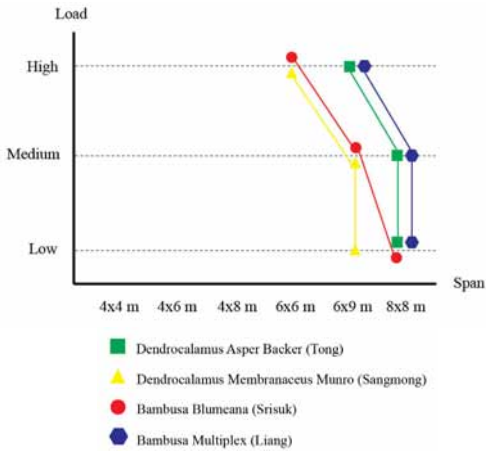
จากนั้นนำค่าคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของไม้ไผ่ประกับทั้ง 4 พันธุ์มาคำนวณในโปรแกรม Robot Structural Analysis Profession, 2010 เพื่อหาขนาดหน้าตัดคานที่เหมาะสมกับโครงสร้างโดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น กรณีความแตกต่างระหว่างขนาดหน้าตัดที่กระทำกับโครงสร้างต่างกัน กรณีความแตกต่างของระยะช่วงพาด โครงสร้าง 4x4 4x6 4x8 6x6 6x9 และ 8x8 เมตร กรณีสุดท้ายคือการเปรียบเทียบชนิดของไม้ไผ่ประกับทั้ง 4 พันธุ์ ผลการจำลองโครงสร้าง พบว่าไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่ตงและไผ่เลี้ยงมีประสิทธิภาพในการเป็นคานได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งหมดใน 4 พันธุ์ เนื่องจากไม้ทั้งสองพันธุ์นี้มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่ดีและใกล้เคียงกัน ส่วนไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่สีสุกมีประสิทธิภาพเป็นคานโครงสร้างในลำดับถัดมา และไม้ไผ่ประกับพันธุ์ไผ่ขางหม่นมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด รายละเอียดรูปที่ 6-8



รูปที่ 6 ขนาดหน้าตัดคานไม้ไผ่ประกับ 3.5 x 9 นิ้ว



รูปที่ 7 ขนาดหน้าตัดคานไม้ไผ่ประกับ 3.5 x 12 นิ้ว



รูปที่ 8 ขนาดหน้าตัดคานไม้ไผ่ประเภท 3.5 x 14 นิ้ว

5. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ประเภททั้ง 4 พันธุ์ ผลปรากฏว่า ไม้ตงและไม้เลียงมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่สูงกว่าไม้สีสุกและไม้ซางหม่น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็ง พบว่า ไม้ไผ่ประเภททั้ง 4 พันธุ์ มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดต่ำกว่าเล็กน้อยแต่มีค่าแรงดึงและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าไม้เนื้อแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าไม้ไผ่ประเภทมีความยืดหยุ่น

ผลการจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis Profession, 2010 พบว่า ไม้ไผ่ประเภทสามารถนำหน้าโครงสร้างได้จริง ไม่ว่าจะเป็นหน้าตัดขนาด 3.5 x 9 นิ้ว 3.5 x 12 นิ้ว และ 3.5 x 14 นิ้ว แต่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือไม้ตงและไม้เลียง สังเกตได้จากที่ขนาดหน้าตัดเท่ากันไม้ไผ่ทั้งสองพันธุ์นี้สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าและสามารถรับช่วงพาดที่กว้างกว่าพันธุ์อื่นๆ

ไม้ไผ่ประเภทนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเป็นวัสดุทดแทนเพราะมีความแข็งแรงเพียงพอ มีความยืดหยุ่น สามารถหาได้ง่าย เป็นพืชเจริญเติบโตเร็วสามารถปลูกเพื่อใช้หมุนเวียนได้ ดังนั้น จึงช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าได้

References

จเรเมธ จันท์จร. (2545). การศึกษาคุณสมบัติและความสามารถในการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมของคาน ประกอบไม้ไผ่ขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนวัตร กันแสงแก้ว. (2551). การศึกษาคุณสมบัติของไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกในภาคตะวันออกเพื่อใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภิรมย์ อ่อนละมุล. (2549). การศึกษาการตัดโค้งและการคืนตัวของคานไม้อัดกาว. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มนตรี กุลสุวรรณ. (2544). คุณสมบัติการคานของคานไม้ไผ่ประเภทกาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาวี บุญยฉัตร. (2541). คานไม้ประสานจากไม้สะเดาและไม้สะเดาเทียม. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความร้อนของผนังไม้จริงตัดขวาง

Thermal Performance Comparison of Wall Made of Horizontal Cut Massive Wood

ฐิติรัตน์ ลิมป์ปิยพันธ์¹ และ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตร²
Thitirat Limpiyapun¹ and Atch Sreshthaputra, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: ruku_sky@hotmail.com¹, atch111@live.com²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน และระยะเวลาในการคายความร้อนของผนังไม้จริงซึ่งมีความหนา 4 6 และ 8 เซนติเมตร ที่ใช้วัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยโฟมใช้แล้ว คอนกรีต และไม่ปิดช่องว่างด้วยอะไรเลย เปรียบเทียบกับวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนแบบที่ใช้ในบ้านพักอาศัยทั่วไป กระบวนการวิจัยประกอบด้วยส่วนที่เป็นการทดลองด้วยกล่องทดลองในสภาพคล้ายการใช้งานจริงเพื่อดูความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ และส่วนของการทดลองในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมของผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุภายใต้มาตรฐาน ASTM C518 และนำผลการทดลองไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.1 เพื่อดูประสิทธิภาพเมื่อนำวัสดุต้นแบบไปใช้ในอาคารประเภทที่พักอาศัย ได้ผลสรุปออกมาว่าการใช้โฟมเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ทำให้การหน่วงความร้อนในช่วงแรกช้ากว่าไม่มีวัสดุปิดช่องว่าง และการระบายความร้อนสามารถระบายได้เร็วกว่าใช้คอนกรีตเป็นวัสดุปิดช่องว่าง การใช้ผนังไม้ดังกล่าวช่วยลดการพลังงานในการทำความเย็นได้ร้อยละ 36 เมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

Abstract

This article focuses on studying and comparing thermal performance of the solid wood wall which has different thickness values (4, 6 and 8 centimeters) and different kinds of the leak stopper materials such as used polystyrene foam, concrete and without it, with normal plastered brick wall. The research methodology is comprises of two parts. The first part is testing of the prototype materials by using the test box like in the real condition and be analyzed for the heat-discharge performance and time-lag of the material. The second part is conducted in the laboratory under the expert supervision following the ASTM C518 standard method. After that, the thermal conductivity results from the laboratory are implemented in computer-simulation program "Visual DOE 4.1" for simulating the energy performance. The result of the study shows

that the massive wood wall which is use foam as leak stopper can hold up heat more than none leak stopper wood wall and it can discharge heat faster than concrete leak stopper. Moreover, this wood wall can reduce energy that uses for cooling to 36% compare with plastered brick wall.

คำสำคัญ (Keywords): อัตราการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity), ไม้จริง (Massive Wood), อาคารพักอาศัย (Residential)

1. บทนำ

ไม้เป็นวัสดุที่มีค่า Embodied Energy ต่ำกว่าวัสดุอื่น (Buchchanan & Levine, 1999) และไม้ยังเป็นวัสดุที่สามารถปลูกทดแทนได้ จึงถือได้ว่าเป็นวัสดุที่ยั่งยืนในระยะยาว และยังเหมาะกับบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้นในประเทศไทยที่ใช้งานในเวลากลางวัน จึงควรจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็ว เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีการโค่นล้มโดยมีการปลูกทดแทนประจำเมื่ออายุต้นประมาณ 25 ปี ก็จะไม่สามารถให้น้ำยางที่มีคุณภาพได้แล้ว ปริมาณไม้จึงมีมากพอทุกปี เนื่องจากมีการโค่นสวนยางประมาณ 3 แสนกว่าไร่ แล้วปลูกทดแทน ขึ้นมาใหม่ คิดเป็นเนื้อไม้ประมาณ 8 ล้านลูกบาศก์เมตร (เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547; พูลผล ธรรมธวัช, มปป.) จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยนี้

โดยการวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน และระยะเวลาในการคายความร้อนของผนังไม้จริงซึ่งมีความหนาต่าง ๆ กัน โดยศึกษาระหว่างวัสดุผนังไม้จริงที่ใช้วัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยโฟม คอนกรีต และไม่ปิดช่องว่างด้วยอะไรเลย ที่ความหนา 4 6 และ 8 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูนแบบที่ใช้ในบ้านพักอาศัยทั่วไป

กระบวนการวิจัยประกอบด้วยส่วนที่เป็นการทดลองด้วยกล่องทดลองในสภาพคล้ายการใช้งานจริง เพื่อนำข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ดังกล่าวมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุต้นแบบ อีกส่วนคือการทดลองในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมของผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity) และนำผลการทดลองดังกล่าวไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อดูประสิทธิภาพเมื่อนำวัสดุต้นแบบดังกล่าวเมื่อนำไปใช้ในอาคารประเภทที่พักอาศัย ผลการศึกษาในครั้งนี้จะนำไปสู่การสร้างแนวทางในการเลือกใช้วัสดุผนังชนิดใหม่ที่ใช้ไม้จริงเป็นส่วนประกอบหลักเพื่อการออกแบบที่ประหยัดพลังงานและเหมาะสมต่อการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารต่อไปในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กำหนดตัวแปรที่ทำการทดสอบ

การกำหนดตัวแปรแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกัน โดยแบ่งตามการทดลอง ดังนี้

2.1.1 ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง

ตัวแปรต้น - ความหนาไม้จริง (4 ซม. 6 ซม. 8 ซม.) และวัสดุที่นำมาปิดช่องว่างระหว่างไม้ (โฟม คอนกรีต)

ตัวแปรตาม - ประสิทธิภาพการด้านความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน การต้านทานความร้อน และระยะเวลาในการคายความร้อนของวัสดุ (time lag)

ตัวแปรควบคุม - ชนิดของไม้(ไม้ยาง) ชนิดของส่วนผสม (โฟม คอนกรีต) เป็นแบบเดียวกันในวัสดุทุกชิ้น

2.1.2 ส่วนการทดลองด้วยโปรแกรม Visual DOE

ตัวแปรต้น - ประสิทธิภาพด้านการนำความร้อน (Thermal Conductivity) และความหนาแน่นของวัสดุแต่ละชิ้นที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม

ตัวแปรตาม - การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kW.h)

ตัวแปรควบคุม - อาคารเป็นอาคารประเภทพักอาศัยที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางคืนหลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีต

2.2 ผนังต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

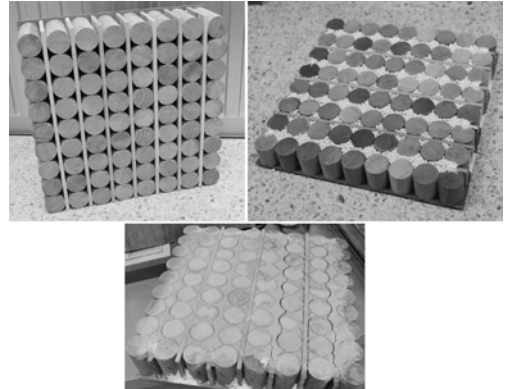
จัดทำวัสดุต้นแบบมีขนาดประมาณ 30x30 เซนติเมตร และมีความหนาที่มากที่สุดหนาไม่เกิน 8 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นวัสดุขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถนำไปเข้าเครื่องทดสอบหาการต้านทานความร้อนในห้องทดลองได้ (NETZSCH Analyzing & Testing, 2008) โดยไม้ที่ใช้ในการผลิตวัสดุต้นแบบเป็นไม้ยางทั้งหมด มีรูปแบบทั้งสิ้น 9 แบบ ดังนี้

- วัสดุไม้จริงที่มีความหนา 4 6 และ 8 ซม. ที่ไม่มีการปิดช่องว่างระหว่างไม้

- วัสดุไม้จริงที่มีความหนา 4 6 และ 8 ซม. ที่ปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยเม็ดโฟมโพลีสไตรีนที่ใช้แล้ว

- วัสดุไม้จริงที่มีความหนา 4 6 และ 8 ซม. ที่ปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยคอนกรีต

และมีวัสดุเปรียบเทียบพื้นฐาน (Base Case) เป็นผนังก่ออิฐมวลเบาคึ่งแผ่นฉาบเรียบ

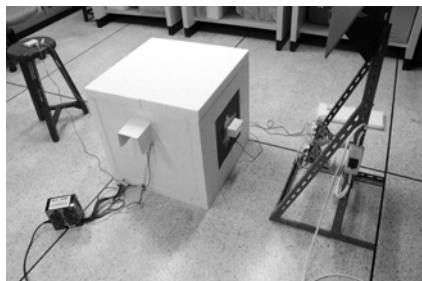


รูปที่ 1 วัสดุต้นแบบที่ไม่มีวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ ใช้เม็ดโฟม และคอนกรีตเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้

2.3 รายละเอียดของกล่องทดลอง

ขนาดของกล่องทดลองที่ใช้มีขนาดภายใน 50x50x50 เซนติเมตร ผนังทั้ง 6 ด้านทำด้วยแผ่นโฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว ปิดรอยต่อระหว่างผนังด้วยซิลิโคน และเจาะช่องเปิดขนาด 9 x 9 เซนติเมตร ในด้านตรงกันข้ามเพื่อเป็นช่องระบายอากาศ ช่องหนึ่งเปิดโล่งเป็นช่องอากาศเข้า อีกช่องเป็นช่องระบายอากาศออกติดพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร เพื่อช่วยระบายอากาศ ส่วนด้านที่อยู่ระหว่างช่องระบายอากาศเตรียมไว้เป็นช่องขนาด 30x30 เซนติเมตร เพื่อใส่วัสดุต้นแบบ ใช้ไฟอินฟราเรดขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 ดวง ส่องในแนวระนาบให้ความร้อนแก่วัสดุ โดยเปิดไฟให้ความร้อนจนความร้อนอิมตัวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที ปล่อยให้เย็นลงอีก 4 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลอุณหภูมิทุก 2 นาที โดยใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูล HOBO Data Logger รุ่น temp/RH/2 ext channels โดยตำแหน่งที่วางเครื่องเก็บอุณหภูมิและเซ็นเซอร์จะวางไว้ทั้งหมด 5 จุด ได้แก่

บริเวณอากาศเข้า บริเวณอากาศออก ผิววัสดุ
 ภายนอก และผิววัสดุภายใน



รูปที่ 2 กล้องทดลอง และตำแหน่งของโฟอินฟราเรด

2.4 การหาปริมาณความร้อนจากการทดสอบ ด้วยกล้องทดลอง

การใช้กล้องทดลองตามแบบเพื่อศึกษา
 ประสิทธิภาพในการคายความร้อนวัสดุ เนื่องจาก
 ขนาดของกล้องเป็นการจำลองการใช้จริงด้วย
 ขนาดที่เล็กกลง ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
 ในการคายความร้อนระหว่างวัสดุต่างๆ จึงต้อง
 ใช้ Q หรือปริมาณความร้อนในการเปรียบเทียบ
 ไม่ใช่อุณหภูมิที่เก็บได้โดยตรง การทดลองด้วย
 กล้องทดลองทำในระบบปิด ซึ่งอุณหภูมิภายนอก
 และภายในในกล้องคงที่ ไม่มีอิทธิพลจากแสง
 อาทิตย์ สำหรับการหาปริมาณความร้อนสามารถ
 หาได้โดยสูตรดังต่อไปนี้ (ASHRAE, 1993)

$$Q = CFM(1.08)\Delta T$$

โดยที่

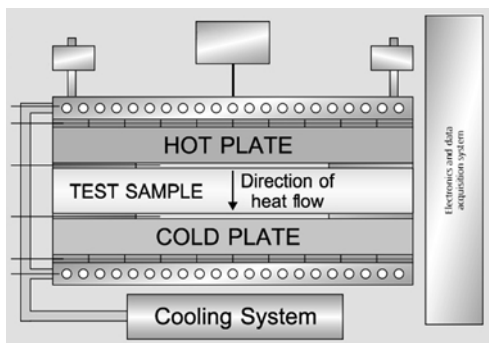
Q = ปริมาณความร้อนที่ถูกระบาย
 โดยอากาศ (Btu/h)

CFM = ปริมาณการไหลของอากาศในกล้อง
 ทดลองที่เกิดจากพัดลมระบายอากาศ
 ที่ใช้ (ft³/minute)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิช่อง
 อากาศเข้าและอุณหภูมิช่องระบาย
 อากาศออก (F°)

2.5 การทดสอบในห้องทดลองและจำลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เครื่อง NETZSCH HFM436 Lambda ที่
 ใช้ในการทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อนและ
 ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุต้นแบบเป็น
 การทดสอบแบบ Heat Flow Meter ตามมาตรฐาน
 ASTM C518, ISO8301, BSEN 12667 และ
 JISA1412 ใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อน
 คือ พลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มี
 อุณหภูมิสูงไปบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่ง
 ทดสอบจะถูกใส่เข้าเครื่องทดสอบโดยวางอยู่
 ระหว่างแผ่นความร้อนและแผ่นความเย็น ดังใน
 รูปที่ 2 จากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิให้แตกต่างกัน (ΔT)
 ระหว่างแผ่นอุณหภูมิความร้อน และแผ่นความ
 เย็น ภายในเครื่องทดสอบมีฉนวนล้อมรอบเพื่อ
 ป้องกันการสูญเสียความร้อน เครื่องจะวัดแรงดัน
 ไฟฟ้าที่ออกมาจากเซ็นเซอร์วัดฟลักซ์ที่ติดอยู่กับ
 ผิวของแผ่นอุณหภูมิทั้งสองโดยการวัดการไหล
 ของความร้อนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง
 แผ่นทั้งสองเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady-
 state Condition) (กรองทิพย์ เต็มเกาะ, 2555)
 โดยตัวอย่างของวัสดุที่นำไปทดสอบต้องมีขนาด
 กว้าง 300 มม. ยาว 300 มม. และความหนาอยู่ใน
 ช่วง 6-80 มม. (NETZSCH Analyzing & Testing,
 2008)



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานแบบ Heat Flow Meter
 (NETZSCH Analyzing & Testing, 2008)

หลังจากได้ค่าการถ่ายเทความร้อน (U Factor) นำค่าที่ได้จากการทดสอบดังกล่าว มาใส่ค่าในโปรแกรมจำลองประสิทธิภาพพลังงานในสภาพอากาศของประเทศไทย ด้วยโปรแกรม Visual DOE ทำการจำลองเปรียบเทียบวัสดุต้นแบบทั้ง 9 แบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน รูปแบบอาคารที่ใช้ในการจำลองเป็นอาคารพักอาศัยที่ใช้งานในช่วงเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบอาคาร เป็นบ้านพักอาศัยสองชั้นที่มีผังเรียบง่าย ดังที่แสดงในภาพ



รูปที่ 4 รูปแบบอาคารอ้างอิงที่ใช้ในการศึกษา

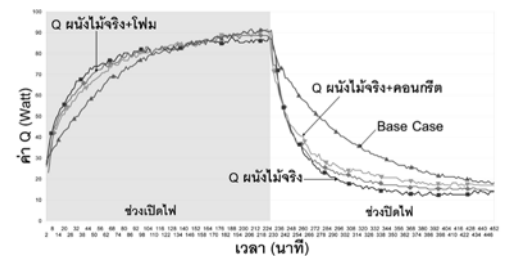
3. ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นการทดลองสองส่วน ดังนี้

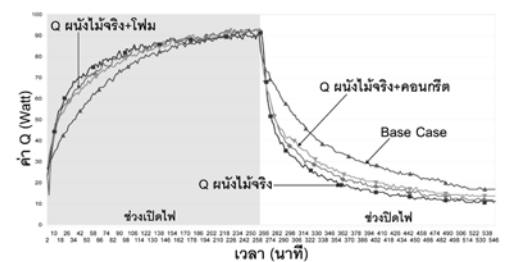
3.1 ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง

จากการทดลองเพื่อดูลักษณะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time-lag) ของวัสดุผนังไม้จริงทั้ง 9 แบบ เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งฉาบฉาบปูนเรียบ พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนความร้อนจะเพิ่มขึ้นช้าในช่วงแรกและเมื่อหยุดให้ความร้อนตัววัสดุก็คายความร้อนออกมาได้ช้าเช่นเดียวกันซึ่งพฤติกรรมด้านความร้อนเช่นนี้ไม่

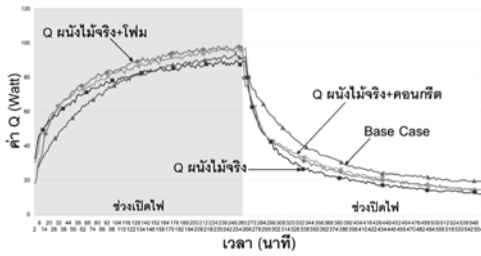
เหมาะกับบ้านพักอาศัยซึ่งส่วนมากจะใช้เวลาในช่วงกลางวัน ส่วนวัสดุผนังที่มีส่วนประกอบจากไม้จริงความร้อนจะสามารถถ่ายเทผ่านวัสดุเข้าไปได้เร็วแต่ก็สามารถคายความร้อนได้เร็วเช่นเดียวกัน เนื่องจากไม่มีเซลล์ของเซลล์ลูโลสที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งเหมาะกับบ้านพักอาศัยมากกว่า แต่ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุได้เร็วให้ช้าลงจึงทดลองใช้เม็ดโฟมโพลีสไตรีน และคอนกรีตปิดช่องว่างระหว่างไม้ พบว่า กรณีที่ใช้เม็ดโฟมเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ช้าลงแต่ด้วยความเป็นฉนวนของโฟมทำให้ความร้อนผ่านออกมาได้ช้าเช่นกันแต่ก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มียูดีปิดช่องว่างเลย



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่า Q ระหว่างผนังหนา 4 ซม. ที่ใช้วัสดุปิดช่องว่างที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่า Q ระหว่างผนังหนา 6 ซม. ที่ใช้วัสดุปิดช่องว่างที่แตกต่างกัน



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่า Q ระหว่างผนังหนา 8 ซม. ที่ใช้วัสดุปิดช่องว่างที่แตกต่างกัน

3.2 ส่วนการจำลองในโปรแกรม Visual DOE

จากผลการทดสอบวัสดุในห้องทดลองได้ผลออกมาดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัสดุในห้องทดลอง

วัสดุ	Resistance (m ² *K/W)	U-Value (W/m ² K)
ไม้ 4 cm	0.238	4.201
ไม้ 6 cm	0.348	2.874
ไม้ 8 cm	0.432	2.315
ไม้+โฟม 4 cm	0.241	4.149
ไม้+โฟม 6 cm	0.353	2.833
ไม้+โฟม 8 cm	0.440	2.272
ไม้+คอนกรีต 4 cm	0.220	4.545
ไม้+คอนกรีต 6 cm	0.329	3.040
ไม้+คอนกรีต 8 cm	0.400	2.500

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อนำมาจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Visual DOE พบว่าผนังไม้จริงทั้ง 9 แบบ ช่วยลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นในบ้านพักอาศัยได้ประมาณร้อยละ 36 เมื่อเทียบกับการใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยเมื่อเปรียบเทียบกันในกลุ่มของผนังไม้ทั้ง 9 ประเภท จะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ไม่ต่างกันมากนัก โดยผนังไม้ที่ใช้เม็ดโฟมโพลีสไตรีนใช้แล้วเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ใช้พลังงานตลอดทั้งปี

น้อยที่สุด ตามมาด้วยผนังไม้ที่ไม่มีวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ และผนังไม้ที่ใช้คอนกรีตเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้เป็นผนังที่ใช้พลังงานตลอดทั้งปีมากที่สุดเมื่อเทียบกับผนังไม้ประเภทอื่น ซึ่งข้อมูลจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ตรงกับความสามารถในการห้วงเหนียวความร้อนของวัสดุ

4. อภิปรายและวิเคราะห์ผลการศึกษา

- เนื่องจากไม้มีเซลล์ของเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ผนังที่ทำจากไม้จริงโดยไม่มีวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ ในช่วงที่ให้ความร้อนแก่วัสดุความร้อนผ่านเข้ามาอย่างรวดเร็วแต่เมื่อหยุดให้ความร้อนก็สามารถคายความร้อนได้เร็วเช่นกัน ซึ่งเหมาะกับอาคารที่ใช้ในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่

- เพราะในเวลากลางวันอุณหภูมิภายในอาคารจะร้อนมาก กรณีผนังไม้จริงที่ใช้เม็ดโฟมเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้เม็ดโฟมทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ช้าลง แต่ด้วยความชื้นของโฟมทำให้ความร้อนผ่านออกมาได้ช้าเช่นกัน แต่ก็ยังอยู่ในระดับใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ใช้วัสดุปิดช่องว่างเลย

- กรณีใช้คอนกรีตเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ช้าที่สุดเมื่อเทียบกับไม่มีวัสดุปิดช่องว่าง และใช้เม็ดโฟมเป็นวัสดุปิดช่องว่าง และเมื่อหยุดให้ความร้อนการคายความร้อนก็คายออกมาได้ช้าที่สุดโดยค่อนข้างใกล้เคียงกับการคายความร้อนของคอนกรีต เนื่องจากมวลสารของคอนกรีตเก็บความร้อนเอาไว้ในขณะที่โฟมเนื้อมวลไม่ได้เก็บความร้อน เพียงแต่ทำให้พื้นที่ที่ความร้อนจะถ่ายเทออกมาน้อยลงทำให้ความร้อนถ่ายเทออกมาได้ช้ากว่ากรณีที่ไม่ใช้วัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้เลย

- ผลที่ออกมาขึ้นอยู่กับมวลสารของวัสดุผนังด้วย กล่าวคือผนังหนา 4 เซนติเมตรที่มีมวลสารค่อนข้างน้อยจะไม่ค่อยเห็นความแตกต่างของวัสดุที่ไม่มีการปิดช่องว่างระหว่าง ปิดช่องว่างด้วยเม็ดโฟม และปิดช่องว่างด้วยคอนกรีตมากนัก แต่เมื่อมวลสารของวัสดุมากขึ้น (ผนังหนา 6 และ 8 เซนติเมตร) จะเห็นผลดังที่วิเคราะห์ไว้ข้างต้นชัดเจนกว่า

5. บทสรุป

นอกจากไม้จะเป็นวัสดุที่มีค่า Embodied Energy ต่ำกว่าวัสดุอื่น และเป็นวัสดุที่สามารถปลูกทดแทนได้ ไม้ยังเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้ในบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้นแบบเมืองไทย เนื่องจากลักษณะเซลล์โลสที่เป็นรูพรุนทำให้สามารถคายความร้อนได้เร็ว แต่ก็ทำให้ในช่วงกลางวันร้อนมากตามไปด้วย การใช้วัสดุอื่นเข้ามาใช้ร่วมกับไม้โดยยังคงคุณลักษณะที่ดีของไม้จริงเอาไว้ ช่วยปรับให้วัสดุผนังห่อหุ้มเหนียวความร้อนในช่วงแรกได้ดีขึ้นกว่าใช้ไม้จริงอย่างเดียว โดยการใส่เม็ดโฟมโพลีสไตรีนไข้แล้วเป็นวัสดุปิดช่องว่างระหว่างไม้ในผนังทำให้ผนังสามารถห่อหุ้มเหนียวความร้อนได้ดีขึ้นแต่ก็ยังคงความสามารถในการคายความร้อนที่เร็วเอาไว้ ซึ่งการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็แสดงว่าการใช้ผนังดังกล่าวช่วยลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในอาคารพักอาศัยได้

References

- กรองทิพย์ เต็มเกาะ. (2555). การทดสอบสภาพนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนคอมโพสิต. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 60 (190), 9-11.
- พุดผล ธรรมธวัช. (มปป.) *ยางพารา*. สงขลา: เขาเทิร์นรับเบอร์, 312-314.
- เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. (2547). *การผลิตยางธรรมชาติ*. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- American Society of Heating Refrigeration and Air-condition Engineering. (1993). *ASHRAE Handbook Fundamental SI Edition 1993*. Atlanta Georgia: ASHRAE.
- Buchanan, A. H. & Levine, S. B. (1999). Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy* (2), 427-437.
- NETZSCH Analyzing & Testing. (2008). *Heat Flow Meter – HFM Method, Technique, Application* (HFM 436 Lambda). Wittelsbacherstrbe: Netzsch.

การพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ
เพื่อประสิทธิภาพในการกันเสียง
Development of Fiber Cement Board using Natural Fibers
for Improving Sound Insulation

กนกวรรณ มะสุวรรณ¹ และ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์²
Kanokwan Masuwan¹ and Pusit Lertwattanaruk, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: kanok.masuwan@gmail.com¹, lertwatt@tu.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เส้นใยธรรมชาติซึ่งได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ดีขึ้น โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และความสามารถในการกันเสียงของวัสดุ ในงานวิจัยนี้ สัดส่วนผสมของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 น้ำ ทราย เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อไผ่ปาล์ม ซึ่งใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และสารผสมเพิ่ม ได้แก่ ผงฟู นหินปูน และสารลดปริมาณน้ำ เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ และทำการผลิตตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 8 12 และ 16 มิลลิเมตร ผลการศึกษา พบว่า การแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ มีค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดลดลง และวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์ม นอกจากนี้ สำหรับคุณสมบัติในการกันเสียง เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและร้อยละในการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีขึ้น ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน และมีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ดี โดยควรเลือกสัดส่วนผสม ความหนาของวัสดุ และวิธีการติดตั้งที่เหมาะสมกับช่วงความถี่เสียงเพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This research aims to use the natural fibers derived from agricultural residues. Fiber cement products were developed for better sound insulation properties. The parameters that affect density, compressive strength, flexural strength and sound absorption of materials were studied. In this study, mix proportions of fiber cement specimens consist of Portland cement

Type 1, water, sand, natural fibers including palm oil fiber and coconut coir fiber used as a cement replacement of 10, 15 and 20 percent by weight, and admixtures such as limestone powder and water reducer were used to make the fiber uniformly distributed. Fiber cement specimens were cast in thickness of 8, 12 and 16 millimeters, respectively. Test results showed that increasing the percentage replacement of natural fibers tends to reduce the density, compressive strength and flexural strength of the materials. Fiber cement products mixed with coconut fiber yielded lower density than that of palm oil fiber. For sound insulation properties, increasing the thickness and percentage replacement of natural fibers resulted in a better sound absorption performance. The results of this research can be used as a guideline for using agricultural residues to produce fiber cement products with acceptable mechanical properties and sound absorption ability. Mix proportion, thickness and installation of fiber cement products can be optimally arranged for any frequency range.

คำสำคัญ (Keywords): ไฟเบอร์ซีเมนต์ (Fiber Cement), คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties), คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties), การกันความดังเสียง (Sound Insulation), เส้นใยมะพร้าว (Coconut Coir Fiber), กากเยื่อไผ่ปาล์ม (Oil Palm Residue)

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบอาคาร คือ การให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพของเสียงในอาคารเพื่อให้เกิดการใช้งานในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีความต้องการลักษณะและคุณสมบัติของเสียงที่แตกต่างกัน หากพื้นที่มีการออกแบบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบดังกล่าวอาจมีเสียงสะท้อนหรือเสียงก้องเกิดขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ใช้งานลดลง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทำการทดสอบวัสดุผนังเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการซับเสียงและป้องกันเสียงวัสดุหลักที่ใช้ คือ ปูนซีเมนต์ที่ให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงในการเป็นวัสดุประกอบอาคาร ร่วมกับการใช้เส้นใยธรรมชาติในการเป็นวัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใยหรือวัสดุที่มีรูพรุน (บุรฉัตรวิริยะ, 2544) เส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติเฉพาะ

ที่เป็นประโยชน์ในการฉนวนกันความร้อนและกันเสียง น้ำหนักเบา ความทนทานต่อแรงดัด และแรงดึง ไม่ก่อให้เกิดสารพิษในการนำมาใช้งานและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ ยังเป็นการลดปริมาณขยะ เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ ช่วยลดปริมาณการเผาขยะหลังการใช้งานซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและเป็นที่มาของโรคในระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งเกษตรกรยังสามารถสร้างรายได้เพิ่มจากการจำหน่ายวัสดุดิบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มวัสดุทางเลือกที่มีราคาถูกและมีคุณภาพในการใช้เป็นวัสดุประกอบอาคาร ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเส้นใยธรรมชาติเพื่อพัฒนาคุณสมบัติ ทั้งทางเคมีเชิงกลและคุณสมบัติในการกันเสียง โดยผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่เหมาะสมกับช่วงความถี่และลักษณะของพื้นที่ที่จะนำไปใช้งาน

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติ

ในประเทศไทยมีการนำเส้นใยธรรมชาติเข้ามาเป็นส่วนผสมในวัสดุซีเมนต์ทดแทนซีเมนต์ใยหินที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และพัฒนาจนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุก่อสร้างและมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน โดยมีส่วนประกอบสำคัญในการผลิต 4 ส่วน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เส้นใยธรรมชาติ คือ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อไผ่ปาล์ม สารลดปริมาณน้ำ และน้ำ จากคุณสมบัติของเซลลูโลสจะส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผลิตได้มีความแข็งแรงทนทาน รับแรงกระแทกได้ดี สามารถตัดโค้งได้ มีคุณสมบัติในการทนไฟและกันไฟ สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเสียง

2.2.1 นิยามของเสียงและระดับความดังเสียง เสียง เป็นพลังงานกลรูปแบบหนึ่งที่มีการถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดมายังผู้รับฟังด้วยการสั่นของอนุภาค หรือเนื้อวัสดุที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านเสียง ระดับความดังเสียงที่มนุษย์ได้ยินจะอยู่ในช่วง 20-20,000 เฮิรตซ์ หรือ 0-130 เดซิเบล

2.2.2 ความสามารถในการลดระดับความดังของวัสดุ จากการตกกระทบของเสียงนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเสียงรบกวนได้ โดยใช้หลักการดังนี้

1) ใช้หลักการการดูดกลืนเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Olivo CT and Olivo TP, 1978)

2) การลดระดับความดังของเสียงตามกฎมวลสารของวัสดุ (Mass Law) คือ เมื่อมวลสารเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นคงที่ ประสิทธิภาพใน

การลดระดับพลังงานของเสียงเพิ่มขึ้น (David & Harris, 1991)

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบผนังซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการกันเสียง โดยใช้เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อไผ่ปาล์ม

3.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความต้านทานแรงดัด ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเส้นใยธรรมชาติ ร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM C20-00 มาตรฐาน ASTM C 109 และมาตรฐาน ASTM C 1185-03

3.2 การทดสอบคุณสมบัติการกันเสียง

ในการทดสอบคุณสมบัติการกันเสียง ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความหนาของแผ่นทดสอบ 8 12 และ 16 มม. และอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก อ้างอิงวิธีการทดสอบและเครื่องมือที่ใช้จาก Design of a Test Facility for Transmission Loss Measurement (Papanikolaou & Trochides, 1984) โดยสร้างกล่องทดสอบขนาด กว้างxยาวxลึก เท่ากับ 1x1x1 เมตร

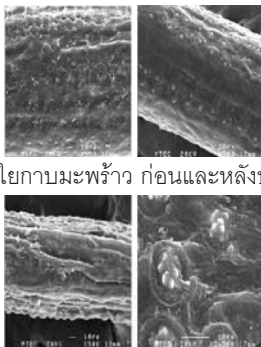
4. ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทาง สัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ

4.1.1 คุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าเส้นใย ก่อนปรับสภาพมีสภาพผิวขรุขระ เนื้อผิวไม่สม่ำเสมอ และเมื่อปรับสภาพด้วยการต้มที่

อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว เส้นใยจะมีผิวเรียบ และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Delvasto et al., 2010)

4.1.2 คุณสมบัติด้านองค์ประกอบทางเคมีพบว่า เมื่อมีการปรับสภาพ เส้นใยมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบโมเลกุลต่ำถูกทำลายด้วยความร้อน (Yang, et al., 2007) ทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงประเภทเยื่อแผ่นเมมเบรน (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541) ดังรูปที่ 1



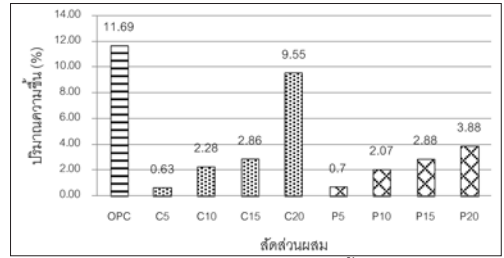
(ก) เส้นใยกบมะพร้าว ก่อนและหลังปรับสภาพ

(ข) กากเยื่อไผ่ปาล์ม ก่อนและหลังปรับสภาพ

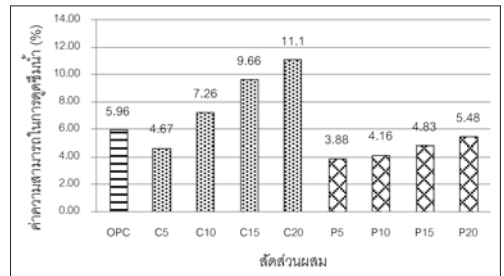
รูปที่ 1 ภาพถ่ายระดับจุลภาค

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเส้นใยธรรมชาติ จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำและปริมาณความชื้นของวัสดุซีเมนต์เพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นลดลงเนื่องจาก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยส่งผลให้มีปริมาณรูพรุนและมีช่องว่างในการแทรกตัวของน้ำและความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย (Cook, 1978; Kriker, 2005) ดังรูปที่ 2-3

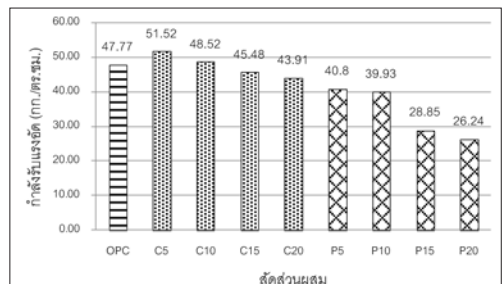


รูปที่ 2 ปริมาณความชื้น

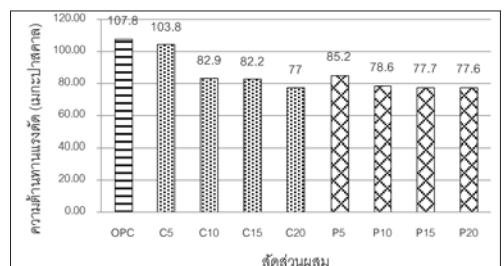


รูปที่ 3 ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ

4.2.2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเส้นใยเส้นใยจะเข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนากำลังรับอัด ส่งผลให้ค่าความกำลังรับแรงอัดและความต้านทานแรงดัดลดลง ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของวัสดุซีเมนต์



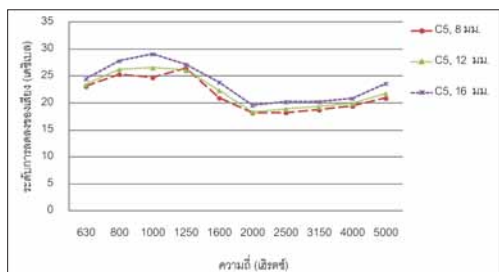
รูปที่ 5 ความต้านทานแรงดัดของวัสดุซีเมนต์

4.3 ประสิทธิภาพการกันเสียง

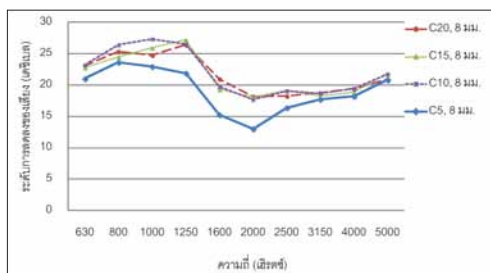
4.3.1 ประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้ความหนา 8 12 และ 16 มม. พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว ร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีที่สุด โดยช่วงความถี่ 1,250-5,000 เฮิรตซ์ มีความแปรปรวนน้อย มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน และเมื่อแผ่นทดสอบมีความหนามากขึ้น จะทำให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น ตามกฎมวลสารวัสดุ (David, & Harris, 1991) ดังรูปที่ 6

4.3.2 ประสิทธิภาพการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเส้นใยธรรมชาติ ในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว ความหนา 20 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีที่สุด โดยในช่วงความถี่ที่ 1,250 เฮิรตซ์ สามารถลดระดับความดังเสียงเพิ่มขึ้น และในค่าความถี่ 1,250-5,000 เฮิรตซ์ จะมีค่าความแปรปรวนน้อย ดังรูปที่ 7

สรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มการแทนที่เส้นใยทำให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของเส้นใยส่งผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับเสียง ของวัสดุที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติประเภทเยื่อเมมเบรน



รูปที่ 6 ค่าการลดระดับความดังเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว



รูปที่ 7 ค่าการลดระดับความดังเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว

4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเส้นใยกาบมะพร้าวสามารถลดระดับความดังเสียงได้ดีกว่ากากเยื่อใยปาล์ม โดยเฉพาะช่วงความถี่ 1,250-2,000 เฮิรตซ์ จากคุณสมบัติทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยา

4.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันเสียงของแผ่นวีวับอร์ดและสมาร์ทบอร์ด พบว่า แผ่นวีวับอร์ดสามารถในการกันเสียงได้ดีกว่าสมาร์ทบอร์ดทุกความถี่ เนื่องจากมีความหนาแน่นและมีความแข็งแรงมากกว่า ส่งผลต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่าน (Transmission Loss) โดยเฉพาะช่วงความถี่ต่ำ

5. ข้อสรุปจากการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย

5.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะสัณฐานวิทยา

- 1) เส้นใยกาบมะพร้าวจะมีผิวเรียบและมีความความเป็นระเบียบมากกว่ากากเยื่อใยปาล์ม และเมื่อผ่านการปรับสภาพแล้ว เส้นใยทั้งสองชนิดจะมีผิวเรียบ และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น
- 2) ร้อยละปริมาณออกไซด์ของเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อใยปาล์มมีแคลเซียม

ออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และเมื่อผ่านการปรับสภาพจะมีปริมาณออกไซด์เพิ่มขึ้น

3) ปริมาณเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันเสียง และเมื่อปรับสภาพจะมีเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

5.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

1) ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุซีเมนต์เส้นใยจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติ

2) ปริมาณความชื้นของวัสดุซีเมนต์เส้นใยเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเส้นใยธรรมชาติ

3) ค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิด

4) กำลังรับแรงอัดและความต้านทานแรงดัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย

5.1.3 ประสิทธิภาพการกันเสียง

1) เมื่อความหนาของแผ่นทดสอบเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น

2) เมื่อเพิ่มร้อยละการแทนที่จะส่งผลให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น

3) การแทนที่ด้วยเส้นใยกามมะพร้าว จะลดความดังเสียงได้ดีกว่าการแทนที่ด้วยกากเยื่อใยปาล์ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบคุณสมบัติการกันเสียง ก่อ่งทดสอบที่ใช้มีขนาดเล็ก ส่งผลให้มีความแปรปรวนในความถี่ต่ำ ดังนั้น ในการออกแบบห้องที่มีช่วงความถี่ต่ำควรปรับขนาดก่่งทดสอบให้มีขนาดเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดสอบ

References

- บุรฉัตร วิริยะ. (2544). *การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของพีชแห้งและเส้นใยแก้ว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Asasutjarit, C., Charoenvai, S., Hirunlabh, J., Khedari, J. (2009). Material and mechanical properties of pretreated coir-based green composites. *Composites Part B: Engineering*. 40(7), 633-637.
- Delvasto, S., Toro, E. F., Perdomo, F., Mejia de Gutierrez, R. (2010). An appropriate vacuum technology for manufacture of corrugated figure fiber reinforced cementitious sheets. *Construction and Building Materials*, 24(2), 187-192.
- Egan, M. . (1972). *Concept in architectural acoustic*. New York: McGraw-Hill.
- Haris David A. (1976), *Noise Control Manual for Resident Buildings*. New York: E & F.N. Spon an Imprint of Chapman and Hall.

แนวทางการออกแบบบ้านในชุมชนแออัดในเขตเมือง
(บ้านมั่นคง) ให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย
Design Guideline of Urban Low-Income Houses Community
(Baan Man Kong) for Improving Thermal Comfort

พรณินทร์ สุขเกษม¹ และ ดร. อรรถนธ์ เศรษฐบุตร์²
Punnin Sukkasem¹ and Atch Sreshthaputra, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: punnin_sukkasem@hotmail.com¹, atch.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบบ้านในชุมชนแออัดในเขตเมือง (บ้านมั่นคง) ให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยมีมาตรฐานการดำรงชีวิตที่ดีขึ้น โดยใช้ปัจจัยพื้นฐานของบ้านมั่นคงเป็นกรอบของแนวทางการออกแบบร่วมกับกระบวนการศึกษาสำรวจชุมชน การทดลองและการปรึกษาร่วมกับสถาปนิกบ้านมั่นคง ผลที่คาดหวังจากการวิจัยนี้คือ แนวทางการออกแบบบ้านในชุมชนแออัดในเขตเมืองให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ง่ายต่อการนำไปใช้ของสถาปนิก พอช. ซึ่งมีความน่าสบายที่มีความเหมาะสมกับพื้นฐานของบ้านมั่นคง ตรงกับความต้องการของผู้อยู่อาศัย และอยู่ในกรอบงบประมาณ

Abstract

This research aims to develop design guidelines for urban low-income houses community (Baan Man Kong). The goal is to improve thermal comfort and residents' life quality. The framework of this project is to integrate design process with experimental study, community survey and Baan Man Kong's architects consulting. In conclusion, the guidelines for improving thermal comfort of Baan Man Kong are proposed and they are expected to meet with community dwellers needs in terms of design of architect.

คำสำคัญ (Keywords): แนวทางการออกแบบ (Design Guideline), บ้านมั่นคง (Baan Man Kong), ชุมชนแออัดในเขตเมือง (Urban Low-income Houses), สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort)

1. บทนำ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบบ้านในชุมชนแออัดในเขตเมือง (บ้านมั่นคง) ให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยมีมาตรฐานการดำรงชีวิตที่ดีขึ้นโดยใช้ปัจจัยพื้นฐานของบ้านมั่นคงเป็นกรอบของแนวทางการออกแบบรวมทั้งการสำรวจชุมชน การทดลอง และการปรึกษาร่วมกับสถาปนิกบ้านมั่นคง

บ้านมั่นคงเป็นหน่วยงานในสังกัดของสถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (พอช.) มีเป้าหมายหลักในการพัฒนาชุมชนแออัดด้วยที่อยู่อาศัยที่มีความมั่นคง ผ่านกระบวนการชุมชน และการดำเนินงานร่วมกันของ พอช. กับชาวชุมชน การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับบ้านมั่นคงมักจะเกี่ยวกับแนวทางการจัดการและสังคมศาสตร์ แต่ยังคงขาดประเด็นการออกแบบให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย การวิจัยนี้จึงใช้ประเด็นนี้ในการศึกษาเพื่อให้เกิดองค์ความรู้และแนวทางการออกแบบบ้านมั่นคงให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย เพื่อให้สถาปนิกบ้านมั่นคงซึ่งมักจะออกแบบบ้านด้วยเวลาอันจำกัด จากปัจจัยบุคคลากรน้อยและปริมาณโครงการมาก สามารถทำงานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของบ้านมั่นคง และการสัมภาษณ์สถาปนิกพอช. ร่วมกับการศึกษารณีศึกษาโครงการบ้านมั่นคงชุมชนบ่อนไก่ที่สร้างเสร็จแล้ว ผลการศึกษาชั้นแรกแสดงว่า ตัวแปรหลักที่มีผลต่อความน่าสบายซึ่งควรใช้ในการศึกษาวิจัยเชิงทดลองในขั้นต่อไป คือ อุณหภูมิ อุณหภูมิพื้นผิว และความเร็วลม โดยใช้บ้านต้นแบบขนาด 4.00 x 6.00 เมตร สูง 2 ชั้น ไปทำการศึกษาต่อไป

การวิจัยเชิงทดลองประกอบด้วย การศึกษาอุณหภูมิ และความเร็วลม โดยมีปัจจัยของ

อาคารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคาร ลักษณะแผงบังแดด หลังคา ชายคา ช่องเปิดและช่องระบายอากาศ และวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง รวมถึงสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นสิ่งที่ปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ยาก เนื่องจากสภาพที่ตั้งในเขตเมืองซึ่งมักมีราคาสูงและมีจำนวนผู้อยู่อาศัยมาก การวางผังจึงค่อนข้างแออัดและอยู่ในมาตรฐานขั้นต่ำตามกฎหมาย การวิจัยจึงสร้างแนวทางก่อสร้างบนพื้นฐานของสภาพแวดล้อมที่แออัด และเป็นไปตามข้อกำหนดขั้นต่ำตามกฎหมายในทุกกรณี

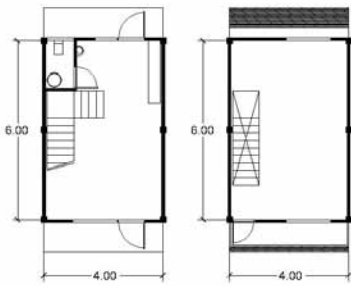
ผลที่คาดหวังจากการวิจัยนี้ คือ แนวทางการออกแบบบ้านในชุมชนแออัดในเขตเมืองให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย ง่ายต่อการนำไปใช้ของสถาปนิก พอช. ซึ่งมีความน่าสบายที่มีความเหมาะสมกับพื้นฐานของบ้านมั่นคง ตรงกับความต้องการของผู้อยู่อาศัย และอยู่ในกรอบงบประมาณ

2. ผลการศึกษา

2.1 รูปแบบบ้านต้นแบบบ้านมั่นคงในเขตเมือง

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และสัมภาษณ์สถาปนิก พอช. พบว่า บ้านมั่นคงต้นแบบในเขตเมืองมีลักษณะเป็นบ้านแถว โครงสร้างเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 4.00 x 6.00 ม. สูง 2 ชั้น ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกใช้หน้าต่างบานเกล็ด หลังคาลอนคู่ ไม่ติดฝ้าเพดาน และมีระเบียงบ้านชั้นที่ 2 เพื่อสร้างร่มเงาให้แก่ลานหน้าบ้านชั้นที่ 1 รวมถึงใช้เดินสายไฟฟ้าด้วย ลักษณะบ้านแต่ละหลังที่แตกต่างกันไป เกิดจากผู้อยู่อาศัยที่ปรับเปลี่ยนบ้านของตนตามวัตถุประสงค์การใช้งาน รูปลักษณะที่ต้องการ และงบประมาณที่มี ซึ่งบ้านส่วนน้อยเท่านั้น ที่มีการติดฝ้าเพดานและใช้เครื่องปรับอากาศ

ทั้งนี้ การต่อเติมหรือการสร้างบ้านมั่นคงต้องตรงตามกฎหมายสำหรับบ้านผู้มีรายได้น้อยที่ภาครัฐจัดสร้างให้ ซึ่งกำหนดพื้นที่โล่งที่ไม่มีสิ่งปกคลุมสำหรับบ้านแถวที่ร้อยละ 10 บ้านมั่นคงจึงมีชายคาที่สั้น โดยมีชายคาและระเบียงหน้าบ้านยื่น 0.80 ม. และชายคาหลังบ้านยื่น 0.40 ม. ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ผังพื้นบ้านต้นแบบบ้านมั่นคง



รูปที่ 2 รูป 3 มิติบ้านต้นแบบบ้านมั่นคง

นอกจากนี้ บ้านมั่นคงยังมีนโยบายสนับสนุนความร่วมมือของคนในชุมชน และการให้ช่างพื้นถิ่นเป็นผู้สร้างบ้าน องค์ประกอบบ้านจึงค่อนข้างเรียบง่าย การพัฒนาแนวทางการออกแบบ บ้านจึงยึดนโยบายของบ้านมั่นคงเป็นหลัก โดยคงลักษณะและรูปแบบของบ้าน ได้แก่ โครงสร้าง วัสดุก่อสร้าง พื้นที่ใช้สอย และรูปแบบหน้าต่าง รวมถึงพิจารณาการใช้การระบายอากาศวิธีธรรมชาติเป็นหลัก

2.2 การศึกษาชุมชนกรณีศึกษา

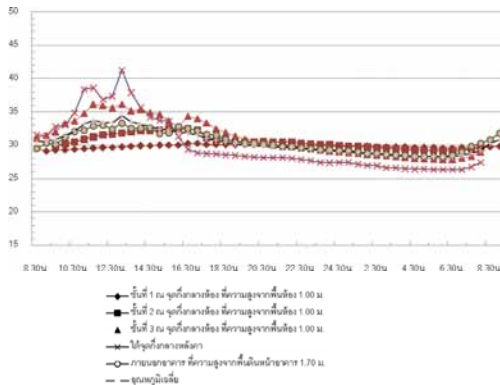
การศึกษาชุมชนกรณีศึกษาเลือกชุมชนปอนไก่อี เพราะเป็นชุมชนบุกเบิกของบ้านมั่นคงที่มีการพัฒนาแล้ว รวมถึงสถานที่สะดวกแก่การเก็บข้อมูล ซึ่งมีรูปแบบเหมือนกับบ้านต้นแบบในข้อ 2.1 หากแต่มีสองชั้นครึ่ง ซึ่งมักจะถูกต่อเติมเป็นสามชั้น โดยมีกระบวนการ ได้แก่ สัมภาษณ์ชาวชุมชน และวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ของอาคารกรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว แล้วนำผลการศึกษามาประเมินความน่าสบาย

จากการสัมภาษณ์ผู้อยู่อาศัยในชุมชนปอนไก่อี พบว่า ชาวชุมชนให้ความเห็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในเวลากลางวัน บ้านร้อนมากโดยเฉพาะบริเวณชั้นที่ 3 ทำให้ชาวชุมชนชอบนั่งเล่นที่ลานหน้าบ้านชั้นที่ 1 มากกว่าในบ้าน ในเวลากลางคืน บ้านร้อนอบอ้าว โดยเฉพาะชั้นที่ 1 ทำให้ต้องเปิดพัดลมหลายตัวขณะนอน แต่ชั้นที่ 3 หนาวมากและไม่ต้องเปิดพัดลมขณะนอน นอกจากนี้ บ้านยังมีการระบายอากาศไม่ดี ทำให้กลิ่นจากการทำครัวฟุ้งกระจายไปทั่วบ้าน รวมถึงมีเสียงรบกวนจากบ้านอื่น ๆ ด้วย

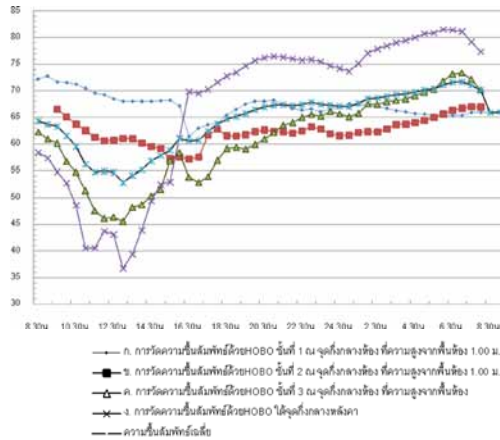
จากการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ข้อมูลสัมพันธ์กับการสัมภาษณ์ชาวชุมชน ซึ่งจะแสดงผลเฉพาะช่วงเวลาฤดูร้อน (วันที่ 6-10 ส.ค. 2555) เท่านั้น เพราะกรุงเทพฯ มีวันที่หนาวน้อยมากเมื่อเทียบกับวันที่ร้อน

จากแผนภูมิที่ 1 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดอยู่ที่บริเวณใต้หลังคา คือ 26.35°C เวลา 5.30 น. และ 41.26°C เวลา 13.00 น. ตามลำดับ และบริเวณชั้นที่ 1 มีอุณหภูมิคงตัวที่สุด

จากแผนภูมิที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดอยู่ที่บริเวณใต้หลังคา คือ 36.74% เวลา 13.00 น. และ 81.57%



แผนภูมิที่ 1 ค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้ช่วงฤดูร้อนในแต่ละชั่วโมง ในช่วงระยะเวลาหนึ่งวัน



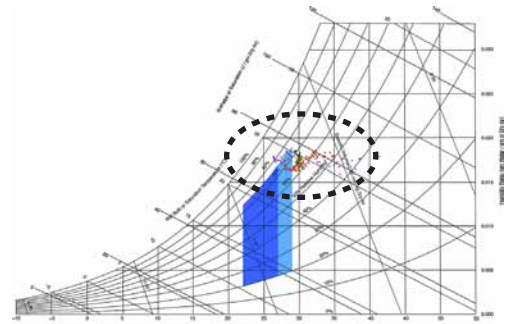
แผนภูมิที่ 2 ค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ช่วงฤดูร้อนในแต่ละชั่วโมงในช่วงระยะเวลาหนึ่งวัน

เวลา 6.00 น. ตามลำดับ และที่บริเวณชั้นที่ 3 มีความชื้นสัมพัทธ์คงตัวที่สุด

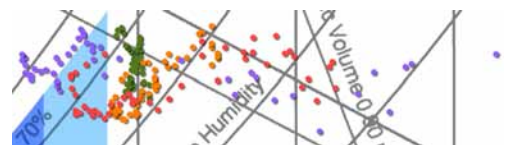
จากผลการวัดดังกล่าว พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว มีแนวโน้มส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ข้อมูลจากการสัมภาษณ์มีความไม่สัมพันธ์กับข้อมูลจากการวัด คือ อุณหภูมิภายนอกอาคารเวลากลางวัน สูงกว่าภายในบ้าน บริเวณชั้นที่ 1 แต่ชาวชุมชนกลับบอกว่า ในเวลากลางวันอยู่นอกบ้านสบายกว่าอยู่ในบ้าน ที่เป็นเช่นนี้ อาจเป็นเพราะหน้าบ้านมีลมพัดผ่านมากกว่า ปลอดภัยกว่า ความชื้นต่ำกว่า หรือแม้

กระทั่งความเคยชินในการอยู่อาศัย ความรู้สึก ความคาดหวัง

จากการประเมินสภาวะน่าสบายในรูปที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อความน่าสบายมากกว่าความชื้น เพราะแผนภูมิมีการกระจายตัวในแนวแกน y ซึ่งเป็นอุณหภูมิ มากกว่าแนวแกน x ซึ่งเป็นความชื้น



รูปที่ 3 การประเมินสภาวะน่าสบายช่วงฤดูร้อน ด้วย psychrometric chart



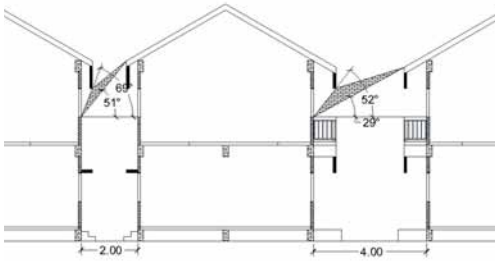
รูปที่ 4 ภาพขยายการประเมินสภาวะน่าสบายช่วงฤดูร้อน ด้วย psychrometric chart

ตัวแปรที่ควรใช้ในการศึกษาแนวทางการออกแบบให้อยู่ในสภาวะน่าสบายต่อไป จึงได้แก่ อุณหภูมิ อุณหภูมิพื้นผิว และความเร็วลม โดยพิจารณาองค์ประกอบทางกายภาพเป็นหลัก เช่น เรื่องของทิศทางลมและแดด โดยพิจารณาการใช้วัสดุและองค์ประกอบอาคารเดิมเป็นหลัก

2.3 การวิจัยเชิงทดลองเรื่องมูมแดด

การศึกษาจากการวิจัยเชิงทดลองเรื่องมูมแดด ประกอบไปด้วยกระบวนการหลัก คือ การคำนวณมือ มูมองศาแดดของบ้านต้นแบบ และกำหนดองค์ประกอบสถาปัตยกรรมในกรอบ

กฎหมาย เพื่อให้ได้แผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพ การบังแดดสูงสุด ดังตัวอย่างรูปที่ 5 ซึ่งเป็น การคำนวณองศาการบังแดด โดยที่ตัวเลขของศาน ภาพ คือ องศาทางตั้งสูงสุดและต่ำสุดที่สามารถ บังแดดให้หน้าต่างได้



รูปที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณมือองศาการบังแดด

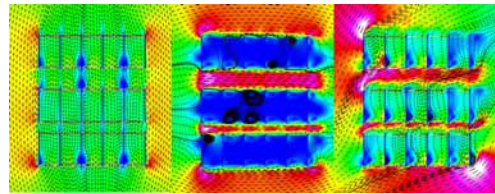
จากการทดลองสรุปได้ว่า องศาการบังแดดที่ดีที่สุด คือ บังแดดได้ 100% นั้น เป็นไปไม่ได้เนื่องจากไม่ผ่านกฎหมาย แผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพบังแดดสูงสุดที่ควรนำไปใช้ในการศึกษา ได้แก่ แผงบังแดดแนวนอนที่มีระยะยื่น ด้านหน้าบ้าน ทั้งชั้นที่ 1-2 ที่ระยะ 0.80 เมตร และมีระยะยื่นด้านหลังบ้าน ทั้งชั้นที่ 1-2 ที่ระยะ 0.40 เมตร ตามระยะยื่นชายคามากที่สุดของกฎหมาย และแผงบังแดดแนวตั้งซึ่งมีระยะห้อย ลงมาจากขอบหลังคาด้านหน้าและด้านหลัง จนถึงความสูงที่สุดของวงกบบนหน้าต่าง

2.4 การวิจัยเชิงทดลองเรื่องการระบายอากาศ

การศึกษาจากการวิจัยเชิงทดลองเรื่อง การระบายอากาศ มีกระบวนการ คือ การสร้าง กรณีศึกษาที่มีความเป็นไปได้ในการระบาย อากาศที่ดีขึ้นจากบ้านต้นแบบ แล้วทำการทดลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD โดยกำหนด ทิศทางลม 3 ทิศทาง ได้แก่ ลมเข้าจากด้านหน้า บ้าน ด้านข้าง และด้านทิศเฉียง 45 องศา ด้วย ความเร็วลมเข้า 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s และ

5m/s เพื่อให้ได้บ้านที่มีประสิทธิภาพการระบาย อากาศสูงสุด

การศึกษาได้กำหนดกรณีศึกษาไว้ 8 กรณี ได้แก่ บ้านต้นแบบ บ้านต้นแบบติดแผงบังแดด แนวตั้ง บ้านต้นแบบติดแผงบังแดดแนวนอนตั้ง จากกับพื้น บ้านต้นแบบติดแผงบังแดดแนวนอน ขนานกับพื้น บ้านผนังโปร่งโล่ง บ้านผนังโปร่งโล่ง ติดแผงบังแดดแนวตั้ง บ้านผนังโปร่งโล่ง ติดแผง บังแดดแนวนอนตั้งจากกับพื้น และบ้านผนังโปร่ง โล่งติดแผงบังแดดแนวนอนขนานกับพื้น



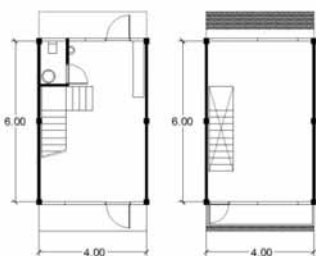
รูปที่ 6 รูปแบบการระบายอากาศ ของกรณีที่ดีที่สุด คือ บ้านผนังโปร่งโล่ง

โดยมีผลการทดลองว่า การระบายอากาศ ของบ้านกรณีที่ดีที่สุด คือ บ้านผนังโปร่งโล่ง (ใช้ ผนังคอนกรีตบล็อกช่องลมเป็นส่วนมาก) และไม่มี แผงบังแดด ซึ่งมีผลการวิจัยด้วยโปรแกรม CFD ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า กรณีรูปแบบการไหลของ ลมเข้าจากด้านหน้าบ้าน ทำให้บ้านมีการระบาย อากาศที่ดี แต่มีการไหลของลมค่อนข้างช้า กรณี ลมเข้าจากด้านข้าง ทำให้บ้านมีการระบายอากาศ ที่ไม่ทั่วถึงภายในบ้านมากที่สุด และกรณีลมเข้า จากด้านทิศเฉียง 45 องศา ทำให้บ้านมีการระบาย อากาศที่ดี ระบายได้เร็วแต่ไม่ทั่วถึง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า บ้านแถวแม้ปรับปรุงแล้ว ก็ยังคงมีการ ระบายอากาศไม่ดีเมื่อลมเข้าจากด้านข้าง

สรุปได้ว่า การพัฒนาแนวทางการออกแบบ ต่อไป ควรใช้บ้านผนังโปร่งโล่งและมีแผงบังแดด แนวนอน เพราะความน่าสบาย ประกอบไปด้วย เรื่องแดด นอกเหนือไปจากเรื่องการระบายอากาศ

3. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาคำแนะนำสบายของบ้านที่ปรับปรุงแล้ว ประกอบไปด้วยกระบวนการหลัก คือ การทดลองบ้านต้นแบบ และบ้านที่ปรับปรุงแล้วซึ่งใช้บ้านผนังโปร่งโล่งและมีแผงบังแดดแนวนอน ดังรูปที่ 7 และ 8 มาศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ visual DOE โดยอ้างอิงจากผลการศึกษาวิจัยเชิงทดลองเรื่องมุมแดด และเรื่องการระบายอากาศ ซึ่งบ้านต้นแบบใช้ค่า ACH = 121.54 ในชั้นที่ 1 กับค่า ACH = 105.02 ในชั้นที่ 2 และบ้านต้นแบบปรับปรุงใช้ค่า ACH = 245.31 ในชั้นที่ 1 กับค่า ACH = 339.25 ในชั้นที่ 2 เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการศึกษาสภาวะน่าสบาย แล้วจึงประเมินสภาวะน่าสบายมาตรฐานความน่าสบายของ สมสิทธิ์ นิตยะ ที่กล่าวว่าคนเราจะสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 22-29°C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 20-75

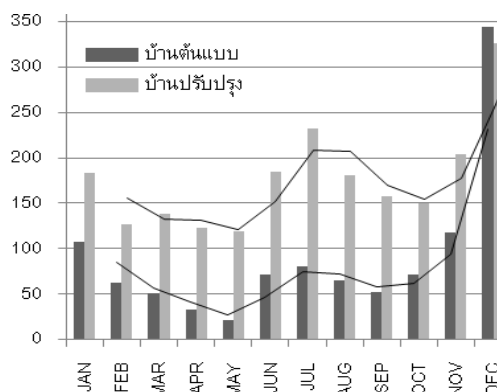


รูปที่ 7 ผังพื้นบ้านมั่นคงที่ปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 8 รูป 3 มิติบ้านมั่นคงที่ปรับปรุงแล้ว

จากแผนภูมิที่ 3 แสดงให้เห็นผลการจำลองว่า บ้านต้นแบบมีชั่วโมงที่นำสบายในหนึ่งปีเท่ากับ 1,081 ชั่วโมง (คิดเป็น 12%) และบ้านต้นแบบปรับปรุงมีชั่วโมงที่นำสบายในหนึ่งปีเท่ากับ 2,128 ชั่วโมง (คิดเป็น 25%) กล่าวคือ สำหรับบ้านต้นแบบ ในเวลา 1 ใน 8 ของปีไม่ต้องเปิดพัดลม และสำหรับบ้านต้นแบบปรับปรุง ในเวลา 1 ใน 4 ของปีไม่ต้องเปิดพัดลม



แผนภูมิที่ 3 จำนวนชั่วโมงที่มีความน่าสบายในแต่ละเดือนในหนึ่งปีของบ้านต้นแบบเปรียบเทียบกับบ้านปรับปรุง

สุดท้ายแล้วจึงสรุปได้ว่า บ้านต้นแบบปรับปรุง มีชั่วโมงความน่าสบายทั้งปี เพิ่มขึ้น 12% มีราคาค่าก่อสร้างต่อหลัง เพิ่มขึ้น 3,664 บาท และมีราคาค่าก่อสร้างต่อตารางเมตร เพิ่มขึ้น 76 บาท

References

สลลิตทิพย์ เชียงทอง และคณะ. (2553). *คู่มือการจัดทำโครงการบ้านมั่นคง: การวางผังและการออกแบบ*. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน.
 ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). *การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อน
ของอาคารในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น
Energy Performance of Thermal Barrier Coating on Glass
of Building in Hot and Humid Climate

ธนะชัย ถาวรวัฒน์สกุล¹ และ ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตร์²
Tanachai Thavornwatsakul¹ and Atch Sreshtaputra, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: p_a_n05@hotmail.com¹, atch.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ ในด้านอุณหภูมิและการประหยัดพลังงานของกระจก 3 กรณี ได้แก่ กระจกที่ไม่ได้เคลือบสาร กระจกติดแผ่นฟิล์ม และกระจกทาสารเคลือบกันความร้อน โดยศึกษากระจก 5 ชนิด ได้แก่ กระจกใส 3 มม. กระจกเขียว 6 มม. กระจกสะท้อนความร้อน 6 มม. กระจกอินซูลาใส และกระจกอินซูลา Low-E โดยทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิจากกล่องทดลอง เพื่อนำมาคำนวณในสมการคณิตศาสตร์ให้ได้ค่าคุณสมบัติ ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อน (Q) และสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) หลังจากนั้นแทนค่าตัวแปรดังกล่าวและจำลองการใช้งานกับอาคารอ้างอิง (Reference building) สำหรับการจำลองด้านอุณหภูมิและการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual Doe 4.1 ผลจากการจำลองอาคารอ้างอิงนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงาน เพื่อสร้างแนวทางการปรับปรุงอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ ที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานในอาคาร โดยมีความเป็นไปได้ทางการลงทุนโดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (payback period)

Abstract

This research studies the energy performance of thermal barrier coating on glass of building. The objective of this study is to compare thermal temperature and energy performance of glass for 3 cases. Such as normal glass, glass with film coating, glass with thermal barrier coating. For each case study with 5 glass types are 3mm. clear, 6mm. green, 6mm. reflective, insulate clear and insulate Low-E. There is experimental part for measured and recorded temperature and calculated with mathematical methods for the outcomes are heat transfer coefficient (Q) and shading coefficient (SC). Next part is computer simulation that substitutes data to create a new material for simulation of reference buildings in Visual DOE 4.1 energy simulation. The results from simulation to compare energy consumption and guidelines to

reduce energy consumption appropriately for buildings. Economic analysis in term of payback period were performed.

คำสำคัญ (Keywords): สารเคลือบกระจกกันความร้อน (Thermal Barrier Coating Glass), อาคารประหยัดพลังงาน (Energy-Efficient Building Envelopes), ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (U-Factor), สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

1. บทนำ

เนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่บนบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เป็นเขตร้อนชื้น และมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่สูงเกือบตลอดทั้งปี ในการออกแบบอาคารในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นบ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน โชว์รูม เป็นต้น ได้มีการออกแบบให้อาคารมีรูปลักษณะที่ดูโปร่งและทันสมัยด้วยการเลือกใช้กระจกจำนวนมาก เพื่อให้อาคารได้รับแสงธรรมชาติ ช่วยลดประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง แต่ผลที่ตามมาจากการใช้กระจกคือ ความร้อนที่มาพร้อมกับแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคาร ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่จะมีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดความร้อนภายในอาคาร แต่จะทำให้ระบบปรับอากาศ ต้องรับภาระในการทำงานมากขึ้น และไม่ช่วยให้อาคารประหยัดพลังงาน สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีความเหมาะสมกับการใช้งานในอาคารเดิม เนื่องจากการเปลี่ยนกระจกชนิดใหม่ ในอาคารเดิมเป็นที่ทำได้ยาก อีกทั้งสารเคลือบกระจกกันความร้อน เป็นนวัตกรรมใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นมา เพื่อช่วยลดปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงที่แผ่เข้าสู่ภายในอาคาร มีประสิทธิภาพในการเคลือบกระจกให้มีความสามารถให้การกันความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีให้เข้ามาภายในอาคารได้น้อยที่สุด ช่วยลดการทำงานของระบบปรับอากาศ และเนื่องจากสารเคลือบมีความใสทำให้

รักษาทัศนวิสัย และรับแสงธรรมชาติได้ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและทรัพยากร แม้ว่าการใช้สารเคลือบกระจกจะมีประโยชน์มากมาย หากแต่การประเมินอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่าการต้านทานความร้อนของสารเคลือบกระจกกันความร้อน ทำให้ในการคำนวณค่าการกันความร้อนของวัสดุไม่ได้นำมาคิดรวมด้วย ซึ่งหากมีการวิจัยเพื่อช่วยสร้างความมั่นใจและสร้างทางเลือกแก่ผู้เลือกใช้วัสดุนี้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับกระจกหลายชนิด และเปรียบเทียบสารเคลือบกระจกกันความร้อนกับฟิล์มติดกระจก แนะนำแนวทางในการเลือกใช้สารเคลือบกันความร้อนกับกระจกชนิดต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์

3. ขอบเขตของการศึกษานิววิจัย

ศึกษาสารเคลือบกันความร้อน โดยดูตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Q) และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก (Shading coefficient) โดยจำลองผลการใช้พลังงานของอาคารเดิม ประเภทบ้านพักอาศัยสองชั้น และอาคารสำนักงานที่ใช้กระจกในกรุงเทพมหานคร

และการวัดประสิทธิภาพการใช้งานอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ

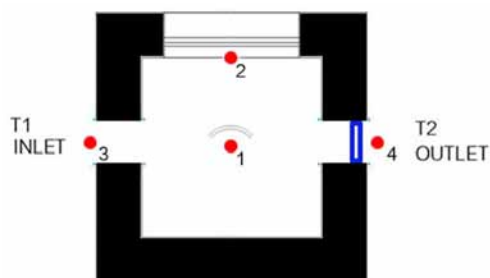
4. เปรียบวิธีการศึกษา

ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ งานวิจัยเกี่ยวกับกระจก และการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มกันความร้อน งานวิจัยด้านการใช้ถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคารที่เป็นกระจก ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในอาคารและการประหยัดพลังงาน เป็นต้น

ศึกษาและกำหนดตัวแปรของงานวิจัยตัวแปรต้น ได้แก่ สารเคลือบกระจกกันความร้อนแผ่นฟิล์ม และกระจกจำนวน 5 ชนิด คือ กระจกใสหนา 3 มม. กระจกเขียวหนา 6 มม. กระจกสะท้อนความร้อน 6 มม. กระจกอินซูลูไลท์ และกระจกอินซูลูไลท์ Low-E โดยกระจกทั้ง 5 ชนิด จะทำการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง แบบที่ 1 คือ กระจกธรรมดา แบบที่ 2 คือ ติดแผ่นฟิล์ม และแบบที่ 3 คือ เคลือบสารกันความร้อน ตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิ และค่าการใช้พลังงาน (Watt/hr) และตัวแปรควบคุม ได้แก่ ทิศทาง ลักษณะ ขนาด และตำแหน่งของกล่องทดลอง ช่วงระยะเวลาในการทดลอง และการจำลองอาคาร

ขั้นตอนการทดลองและบันทึกผลจากกล่องทดลอง ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง 30 นาที และตั้งค่าให้บันทึกผลทุก ๆ 2 นาที ในแต่ละกรณี ด้วยเครื่อง HOBO Logger กล่องทดลองมีขนาดภายใน 0.60x0.60x0.60 ม.ทำด้วยแผ่นโฟมหนา 2 นิ้ว ด้านนอกใช้ยิปซัมบอร์ดหนา 24 มม. เป็นโครงหลัก ด้านหนึ่งของผนังกล่องเจาะเป็นช่องลมเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว และผนังฝั่งตรงข้ามเจาะเป็นช่องลมออกขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว พร้อมติดตั้งลมขนาดหน้าตัด 3 นิ้ว ที่มีค่าอัตราการบายอากาศ (CFM) เท่ากับ 20.89 ft³/min และผนังกล่องด้านหน้าสำหรับติดตั้งกระจกขนาด 0.30x0.30 ม. โดยติดตั้งหลอดไฟอินฟราเรด 500w จำนวน 2 ดวง ให้หลอดไฟห่างจากกล่องประมาณ 0.40 ม. โดยตำแหน่งที่ทำการบันทึกอุณหภูมิมีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ภายในกึ่งกลางกล่อง ผิวดูกระจกภายในช่องช่องลมเข้า (in let) และช่องลมออก (out let) จากรูปที่ 1-2 ประกอบ



รูปที่ 1 ผนังกล่องทดลองแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2 ภาพขณะทดลองเปิดไฟส่องกระจกที่กล่องทดลอง

นำผลการทดลองของกระจกทั้ง 15 กรณี มาคำนวณในสมการทางคณิตศาสตร์หาค่าการถ่ายเทความร้อน (U-value) และสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) จาก ASHRAE จากสมการต่อไปนี้

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T(^{\circ}\text{F}) \quad (1)$$

$$\text{SC} = \frac{Q \text{ radiation}}{Q \text{ radiation (กระจก 3 mm)}} \quad (2)$$

ซึ่งค่า SC คำนวณได้จากการหาค่าการถ่ายเทความร้อนของกระจกชนิดนั้น ๆ หารด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนของกระจกใส 3 มม.

หลังจากนั้นทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ คือ U-value และค่า SC เพื่อแทนค่าตัวแปรในการสร้างวัสดุใหม่ในโปรแกรม VisualDOE 4.1 กับรูปแบบอาคารอ้างอิง คือ อาคารสำนักงาน (สวิชญา ดาวประกายมงคล; อรรถจัน เศรษฐบุตร, 2549) และบ้านพักอาศัย 2 ชั้น

สรุปผลการศึกษาวิจัย เปรียบเทียบการใช้กระจกในแต่ละชุดการทดลอง ในการใช้พลังงานของอาคารสำนักงาน และอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น และนำเสนอแนวทางในการกำหนดการใช้สารเคลือบและกระจกชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานในอาคาร

5. ผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาด้วยกล้องทดลองกับกระจกทั้งหมด 15 กรณี ศึกษาโดยผลบันทึกอุณหภูมิจากการทดลองที่ได้ นำค่า ณ ช่วงเวลาที่มีค่าอุณหภูมิเริ่มคงที่จากทั้ง 4 ตำแหน่ง

ตารางที่ 1 แสดงผลการบันทึกอุณหภูมิของตำแหน่งที่วัดทั้ง 4 ตำแหน่ง (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

NO COAT	ตำแหน่งที่ 1(°C)	ตำแหน่งที่ 2(°C)	ตำแหน่งที่ 3(°C)	ตำแหน่งที่ 4(°C)
Clear3mm	40.45	60.19	27.82	38.48
Green6mm	37.39	39.89	27.53	36.12
Reflective6mm	34.21	39.81	28.15	33.4
Insulate 6/12/6	37.03	48.33	27.00	36.08
Insulate Low-E	34.80	42.01	27.10	32.97
FILM	ตำแหน่งที่ 1(°C)	ตำแหน่งที่ 2(°C)	ตำแหน่งที่ 3(°C)	ตำแหน่งที่ 4(°C)
Clear3mm	36.85	47.9	27.08	35.95
Green6mm	35.01	37.61	27.28	34.14
Reflective6mm	34.55	40.74	28.02	33.55
Insulate 6/12/6	36.41	46.58	28.27	36.48
Insulate Low-E	33.53	40.29	27.79	33.51

COAT	ตำแหน่งที่ 1(°C)	ตำแหน่งที่ 2(°C)	ตำแหน่งที่ 3(°C)	ตำแหน่งที่ 4(°C)
Clear3mm	37.39	49.7	27.87	36.65
Green6mm	36.66	38.30	27.60	35.83
Reflective6mm	32.06	36.75	27.31	32.04
Insulate 6/12/6	34.58	37.49	26.68	34.09
Insulate Low-E	32.68	35.08	27.62	31.97

ค่าผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) เป็นค่าที่มีความสำคัญเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ และแทนค่าในการจำลองอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยหาได้จากผลต่างของอุณหภูมิลมเข้า (ตำแหน่งที่ 3) และอุณหภูมิลมออก (ตำแหน่งที่ 4) จากนั้น หาค่า SC เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดค่าของกระจก ในโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยการนำค่า ΔT (°F) แทนค่าในสมการ (1) และ (2)

ตารางที่ 2 แสดงค่า ΔT (°C), ΔT (°F) และ Shading coefficient (SC)

NO COAT	ΔT (°C)	ΔT (°F)	SC
Clear3mm	10.66	82.08	1
Green6mm	8.60	81.55	0.81
Reflective6mm	5.25	82.67	0.49
Insulate 6/12/6	9.08	80.60	0.85
Insulate Low-E	5.87	80.78	0.55
FILM	ΔT (°C)	ΔT (°F)	SC
Clear3mm	8.87	80.74	0.83
Green6mm	6.86	81.11	0.64
Reflective6mm	5.53	82.44	0.52
Insulater 6/12/6	8.21	82.89	0.77
Insulate Low-E	5.72	82.03	0.54
COAT	ΔT (°C)	ΔT (°F)	SC
Clear3mm	8.78	82.17	0.82
Green6mm	8.23	81.68	0.77
Reflective6mm	4.73	81.15	0.44
Insulate 6/12/6	7.41	80.02	0.70
Insulate Low-E	4.35	81.71	0.41

ผลการจำลองอาคารสำนักงานสูง 30 ชั้น ขนาด 30,000 ตร.ม. พื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (Window to wall ratio, WWR) ได้แก่ WWR60% และบ้านพักอาศัยสองชั้นขนาด 200 ตร.ม. ด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 โดยจำลองอาคาร

แต่ละประเภทจะทำการเปลี่ยนชนิดกระจกทั้ง 15 กรณี โดยการสร้างวัสดุกระจกด้วยการใช้ค่า SC จากตารางที่ 2 และแสดงผลการใช้พลังงานของอาคารแต่ละกรณี แสดงใช้พลังงานของอาคาร (kWh/y) ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน

NO COAT	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	14,918,336
Green6mm	14,398,066
Reflective6mm	10,508,579
Insulate 6/12/6	14,887,808
Insulate Low-E	11,230,290
FILM	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	14,750,300
Green6mm	12,318,708
Reflective6mm	10,869,026
Insulate 6/12/6	13,908,862
Insulate Low-E	10,989,354
COAT	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	14,612,814
Green6mm	13,908,862
Reflective6mm	9,910,100
Insulate 6/12/6	13,054,594
Insulate Low-E	9,552,598

ตารางที่ 4 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านสองชั้น

NO COAT	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	21,920
Green6mm	18,883
Reflective6mm	14,775
Insulate 6/12/6	21,338
Insulate Low-E	17,124
FILM	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	19,152
Green6mm	16,220
Reflective6mm	15,236
Insulate 6/12/6	19,948
Insulate Low-E	16,772

COAT	ค่าการใช้พลังงาน (kWh/y)
Clear3mm	18,832
Green6mm	18,245
Reflective6mm	14,021
Insulate 6/12/6	18,740
Insulate Low-E	14,730

6. อภิปรายและวิเคราะห์ผลการศึกษา

6.1 วิเคราะห์ด้านอุณหภูมิ จากผลการศึกษาล่องทดลองกับกระจกทั้ง 15 กรณี จากตำแหน่งที่ทำการบันทึกอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อบอกถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนของกระจกที่ติดแผ่นฟิล์ม หรือเคลือบสารกันความร้อน ที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจากกล่องทดลอง จุดวัดตำแหน่งที่ 1 2 และ 4 จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 อุณหภูมิตำแหน่งที่ 1 หมายถึง กระจกมีประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนสูงกว่า กรณีกระจกใสและกระจกเขียว ที่ติดแผ่นฟิล์มประสิทธิภาพสูงกว่าการทาสารเคลือบ และสูงกว่าไม่เคลือบสาร กรณีกระจก Insulate และกระจก Low-E ที่ทาสารเคลือบสูงกว่าติดแผ่นฟิล์ม และสูงกว่าไม่เคลือบสาร แต่ในกรณีของกระจก Reflective ที่ทาสารเคลือบ สูงกว่าไม่ทาสารเคลือบ และสูงกว่าแผ่นฟิล์ม จากทุกกรณีกระจกที่ติดแผ่นฟิล์มจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเมื่อเทียบกับกระจกที่ไม่ได้เคลือบสาร ยกเว้นกระจก Reflective ติดแผ่นฟิล์มกลับมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระจกไม่ได้เคลือบสาร อาจเป็นเพราะสารที่ฉาบบนกระจก Reflective และแผ่นฟิล์ม ทำให้ความร้อนสะสมภายในกล่องและผิวกระจก โดยรวมกระจกที่ทาสารเคลือบเปรียบเทียบกับกระจกติดแผ่นฟิล์ม มีประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิที่ดีกว่า ประมาณ 1-2 °C

6.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองอาคารทั้ง 2 ประเภท คือ อาคารสำนักงานและบ้านพักอาศัยสองชั้น ที่มีการเปลี่ยนชนิดของ

กระจก มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แปรผันตาม ΔT กล่าวคือ ΔT ยิ่งมีค่าต่ำอัตราการใช้พลังงานของอาคารก็จะลดน้อยลงตามด้วย จากการศึกษากรณีจำลองอาคารบ้านพักอาศัยสองชั้น จากตารางที่ 4 บ้านที่ติดตั้งกระจกธรรมดาโดยไม่ได้ติดแผ่นฟิล์มหรือเคลือบสารกันความร้อนมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดแผ่นฟิล์มและการทาสารเคลือบกันความร้อนสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 1,000-3,000 kWh/y และจากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน จากตารางที่ 3 จำลองอาคารสำนักงาน เช่นเดียวกับกรณีบ้านสองชั้น อาคารสำนักงานที่ใช้กระจกธรรมดาที่ไม่ได้ติดแผ่นฟิล์มหรือทาสารเคลือบยอมใช้พลังงานมากกว่า และในแง่ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ทาสารเคลือบกันความร้อนใช้พลังงานน้อยกว่า อาคารที่ติดแผ่นฟิล์ม โดยเฉพาะกระจก Reflective กระจก Insulate กระจก Low-E ที่ใช้พลังงานน้อยกว่าประมาณ 100,000 kWh/y

7. บทสรุป

การใช้สารเคลือบกระจกกันความร้อนมีผลช่วยในเรื่องของการลดอุณหภูมิภายในของอาคารที่แตกต่างกันตามแต่ชนิดกระจกโดยอุณหภูมิของกระจกทาสารเคลือบเปรียบเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ทาสารเคลือบแตกต่างกัน $1-3^{\circ}\text{C}$ นั้น หมายถึง สารเคลือบกระจกมีประสิทธิภาพช่วยให้อาคารประหยัดพลังงาน และด้วยคุณสมบัติที่เหมือนกันในการลดการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มและสารเคลือบกระจกเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษารูปร่างได้ว่าสารเคลือบกันความร้อนจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการติดฟิล์ม เมื่อใช้กับกระจกใส กระจกสะท้อนความร้อน กระจกอินซูลเลทและกระจกอินซูลเลท Low-E เนื่องจากอุณหภูมิของอาคารที่ลดลงและประหยัดการใช้

พลังงานกว่า ยกเว้นกระจกเขียวติดฟิล์มมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระจกเขียวทาสารเคลือบแต่อัตราการใช้พลังงานต่างกันไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการพิจารณาในการเลือกใช้สารเคลือบกระจกจะมีความเหมาะสมและเป็นไปได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มการประเมินเชิงทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับการวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานจะช่วยให้การเลือกใช้สารเคลือบกระจกเกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท พีเอ็มเค เซ็นทรัล กลาส และได้รับการสนับสนุนสารเคลือบกระจกกันความร้อนจากบริษัท เทรดิงกรีน จำกัด เพื่อการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

References

- สวิตญา ดาวประกายมงคล. (2552). *แนวทางการเลือกใช้กระจกเป็นผนังอาคารสำนักงานปรับอากาศเพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรถจันทร์ เศรษฐบุตตร. (2549). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทวางน้เข้าส์. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 5(1), 30-52.
- Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkomsaksit, K., & Khomporn, N. (2005). Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. *Energy and Buildings*, 37, 725-738.