

แผ่นหลังคาพลาสติกกรีซไคเคิลเพื่อการป้องกันความร้อน

Recycled Plastic Roof Tiles For Heat Protection

วรุฒม์ รัตนภักดี¹ และ ดร. พัชรนันท์ ทักขนนท์²

Warut Rattanapakdee¹ and Pattaranan Takkanon, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: po_k_ong@hotmail.com¹, Pattaranan@gmail.com²

บทคัดย่อ

ปัจจุบันขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและกำจัดได้ยาก วิธีนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีที่จะแปลงขยะประเภทพลาสติกให้กลับมาเป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ จากการพิจารณาคุณสมบัติของขยะพลาสติกพบว่ามีความเหมาะสมที่จะเป็นวัสดุฉนวน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ขยะพลาสติก เพื่อทำกระเบื้องมุงหลังคาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานฉลากเขียวผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้จะนับเป็นวัสดุเขียว การทดลองนี้ทำขึ้นโดยเปรียบเทียบสมรรถนะของส่วนผสมใหม่จากพลาสติกกรีซไคเคิลและพลาสติกที่มีอยู่ในท้องตลาด ผลการทดสอบถูกนำมาใช้สำหรับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองของหลังคาพลาสติกที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพลาสติกใหม่และพลาสติกกรีซไคเคิล ผลการวิจัย ครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นศักยภาพในการทำผลิตภัณฑ์ใหม่และการลงทุน

Abstract

Nowadays, plastic waste is increasing rapidly and it is hard to get rid of them. Recycling should be a way to convert plastic waste into a resource. By considering its properties, plastic waste has a potential to be an insulating material. This research is aimed to use plastic waste to make environmentally friendly roof tiles. According to Green Label standard, the product with certain amount of recycled content is considered green material. The experiment was conducted by comparing performance of new mixture of recycled plastic and existing plastic available in the market. The test results were used for computer simulation to generate a model of new recycled plastic roof tile with appropriate ratio of new plastic and recycled plastic content. The result of this research also shows a potential of making the new product and investment.

คำสำคัญ (Keywords): พลาสติก (Plastic), พลาสติกใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Plastic), หลังคาพลาสติก (Plastic roof)

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการใช้พลาสติกของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสิ่งที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับของเสียประเภทพลาสติกได้ในอนาคตของเสียพลาสติกจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในปัจจุบันวัสดุประเภทพลาสติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น งานกระจก งานโลหะและงานไม้ เป็นต้นพลาสติกเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพมาก แต่ก็เป็วัสดุที่ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ได้มากมายเช่นกัน หลังจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุพลาสติกหมดอายุการใช้งานลง จะเกิดเป็นของเสียพลาสติกที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งในอดีตเรานำพลาสติกเหล่านั้นไปกำจัดด้วยการฝัง แต่ในปัจจุบันจำนวนของเสียประเภทพลาสติกที่เกิดขึ้นเราไม่สามารถนำไปฝังได้อีก เนื่องจากจำนวนของขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาการนำวัสดุใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ประเภท พลาสติก มาเป็นวัสดุผสมในการทำหลังคาพลาสติกเนื่องจากพลาสติกมีลักษณะเด่นหลายประการที่น่าสนใจคือ มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา ไม่จับสนิม ขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ป้องกันแสงและความร้อนได้ดี เป็นต้น โดยหลังคาดังกล่าวจะนำวัสดุที่เป็นพลาสติกใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมของหลังคาพลาสติก โดยงานวิจัยจะสรุปหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้พลาสติกใช้แล้วต่อเม็ดพลาสติกใหม่เพื่อความสมดุลทั้ง คุณภาพ และต้นทุน ของชิ้นงานใหม่ที่จะเกิดขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาความแตกต่างระหว่างแผ่นหลังคาที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติกใหม่ประเภท UPVC กับแผ่นหลังคาที่ขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติก

ใหม่ประเภท UPVC ผสมกับเม็ดพลาสติกรีไซเคิลประเภท PP ในเรื่องความแข็งแรงได้ข้อมูลเปรียบเทียบของวัสดุทำหลังคา

2) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาหลังคาประเภทพลาสติก Recycled ให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานฉลากเขียว

3) ศึกษาอัตราส่วนและวิธีการที่เป็นไปได้ในการแปรรูปพลาสติก Recycle ชนิด PP ให้เป็นหลังคาป้องกันความร้อน

4) เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะประเภทพลาสติกโดยการนำมาผลิตเป็นแผ่นมุงหลังคาป้องกันความร้อน

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

1) เลือกศึกษาค่าความแตกต่างของหลังคาพลาสติก ด้านความแข็งแรงโดยใช้ค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์หลังคาพลาสติกประเภท UPVC เป็นค่าเปรียบเทียบ

2) เลือกขึ้นรูปพลาสติกผสมเป็นชั้นทดลองตามมาตรฐาน ASTM เพื่อใช้ในการทดสอบแล้วนำค่าคุณสมบัติที่ได้มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเดิมของหลังคาพลาสติกชนิด UPVC เท่านั้น

3) เป็นการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของพลาสติกผสมที่จะนำมาใช้ทำหลังคาที่มีสัดส่วนของพลาสติกรีไซเคิลผสมอยู่ 50% 60% 70% 80% 90% 100% ตามลำดับเปรียบเทียบกับหลังคาพลาสติก UPVC 100%

4) เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของอัตราส่วนในการผสมพลาสติกใหม่กับพลาสติกรีไซเคิลแต่ละรูปแบบเท่านั้น เพื่อใช้ข้อมูลไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงแผ่นหลังคาพลาสติกต่อไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นแนวทางในการนำวัสดุชนิดพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้วนำกลับมาทำให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะด้านขยะที่เป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมให้น้อยลง

2) ได้ข้อมูลเปรียบเทียบของวัสดุทำหลังคาประเภทพลาสติกและวัสดุทำหลังคาชนิดใหม่ ประเภทพลาสติกที่มีส่วนผสมของพลาสติกรีไซเคิล

3) ลดต้นทุนของการทำแผ่นหลังคาพลาสติกและลดปริมาณขยะชนิดพลาสติก

2. ผลงานวิจัยและงานเขียนที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาคุณสมบัติพลาสติกและ PVC เบื้องต้น

พลาสติกสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

2.1.1 พลาสติกเทอร์โมเซต (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างตาข่ายเนื่องจากการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่ (Cross-Linked Structure) แข็งตัวด้วยความร้อนแบบไม่ย้อนกลับพลาสติกในกลุ่มนี้จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภท “รีไซเคิลไม่ได้”

2.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ (Linear/Branched Chain Structure) หลอมตัวด้วยความร้อน และกลับแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงพลาสติกชนิดนี้จัดเป็นวัสดุประเภท “รีไซเคิลได้” พลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีเอทิลีน ทั้งชนิดความหนาแน่นต่ำ และชนิดความหนาแน่นสูง โพลีโพรพิลีน (PP) โพลิสไตรีน (PS) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีเอทิลีนเทเลฟทาเลท (PET)

โดยพลาสติกชนิดที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ จึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของพลาสติก ตัวเลขทั้ง 7 ตัวนี้จะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบบริเวณก้นของภาชนะพลาสติกตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ตัวเลขของพลาสติกชนิดรีไซเคิลได้

พลาสติกที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ PVC และ PP ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้แปรรูปทำแผ่นหลังคาโดย PVC หรือ พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใช้สารพลาสติกไซเซอร์ PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC ใช้วัตถุดิบหลักจากปิโตรเคมีเพียงอย่างเดียวทำให้ PVC ได้รับความประเมินวงจรชีวิตของกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการผลิตพลาสติกจากปิโตรเลียมชนิดอื่น PVC จะอยู่ในสัญลักษณ์รีไซเคิลลำดับที่ 2

ส่วนคุณสมบัติของ PP คือเป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ขามจาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแข็งเย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นกล่องเบตเตอรีรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน PP จะจัดอยู่ในสัญลักษณ์รีไซเคิลลำดับที่ 5

2.2 วิธีการรีไซเคิลพลาสติก

ปัจจุบันการรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (primary recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (secondary recycling) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (tertiary recycling) และการรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (quaternary recycling)

2.2.1 การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

2.2.2 การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ หรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ การรีไซเคิลเชิงกล (mechanical recycling) การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (chemical modification) การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (co-extrusion and co-injection molding)

2.2.3 การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

2.2.4 การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 MJ/kg) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ โดยวิธีการที่นำมาใช้กับงานวิจัย คือ การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิโดยการหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (co-extrusion and co-injection molding) โดยจะนำวิธีนั้นมาเป็นวิธีขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

2.3 การศึกษาการทำโพลีเมอร์ผสมการทำโพลีเมอร์ผสม

นับเป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็วที่สุดใน การปรับปรุงสมบัติของโพลีเมอร์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันวิธีการนี้ก็ยังคงเป็นที่นิยมเนื่องจากไม่ต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการขึ้นรูปที่มีอยู่เดิม การใช้โพลีเมอร์ เพื่อเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกใน PVC มีมานานเกือบครึ่งศตวรรษในปี ค.ศ. 1988 A.K. Kulshreshtha ใช้พลาสติกชนิดอะครีโลไนไตรล์บิวตาไดเอินส์ไตรีน (Acrylonitrile butadienestyrene, ABS) ซึ่งมีความเหนียวสูงเพื่อเพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นใน PVC พบว่าให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกที่สูงขึ้นประมาณ 10 เท่า นอกจากนี้การใช้โพลีเอธิลีนดีบุกคลอไรด์ก็เป็นวิธีการเพิ่มความเหนียวในพีวีซีที่มีประสิทธิภาพ อีกวิธีหนึ่งโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งใช้ในงานฟิล์มชนิดยืดหยุ่นก็ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเหนียวในพีวีซีแต่กลับไม่ให้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดไม่เข้ากันแม้ว่าจะเติมสารประสานคู่ควบแล้วก็ตาม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเติมโพลีโพรพิลีนออกไซด์ (Poly(propyleneoxide), PPO) ร่วมกับลิเทียมไตรเฟลต (Lithium triflate, LiCF₃SO₃) ช่วยเพิ่มระยะยืดเมื่อขาดของพีวีซีได้สูงจาก 5% จนเป็น 350% เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พัฒนาการก็มีแนวโน้มที่ดีขึ้นและยังต้องได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต

2.4 ฉลากเขียว (green label หรือ eco-label)

“ฉลากเขียว” คือ ฉลากที่ให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน ข้อดีของการมีฉลากเขียวติดอยู่บนผลิตภัณฑ์ก็คือ ใช้เป็นเครื่องหมายให้กับผู้บริโภคทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้นเน้นคุณค่าทาง

สิ่งแวดล้อมซึ่งข้อกำหนดของฉลากเขียวที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ข้อกำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกแปรใช้ใหม่ ซึ่งมีขอบเขตของข้อกำหนดอยู่ว่า กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างและถนน (Construction and Road Materials) สัดส่วนขยะพลาสติก และ/หรือ วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในพลาสติก (โดยน้ำหนักพลาสติก) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ผลิตภัณฑ์พลาสติกแปรใช้ใหม่ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ยื่นขอรับการรับรอง อย่างน้อยในข้อใดข้อหนึ่ง ถ้ากรณีผลิตภัณฑ์ไม่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรองรับ ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการทดสอบตามเกณฑ์คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานระดับประเทศที่เป็นที่ยอมรับ เช่น ASTM หรือ JIS หรือ มาตรฐานระดับภูมิภาค เช่น EN หรือมาตรฐานระหว่างประเทศ ซึ่งในกรอบการทดลองเรากำหนดค่าพลาสติกกรีซไคเคิลให้มีส่วนผสมต่ำสุดที่ร้อยละ 50 ของน้ำหนักพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบและกำหนดให้การทดสอบตามเกณฑ์ ASTM

3. ระเบียบวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้า และวิเคราะห์ข้อมูล ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับหลังคาพลาสติก การนำพลาสติกใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่และศึกษาถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและความเป็นไปได้ของพลาสติก Recycle ว่าชนิดไหนเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำงานวิจัยควบคู่ไปกับแผ่นหลังคา UPVC เพื่อนำข้อมูลมาเป็นแนวทางในการกำหนด ตัวแปลและวิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 เลือกชนิดของพลาสติก Recycle ที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาแผ่นหลังคาพลาสติก

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการทดลองผสมวัสดุ PVC และพลาสติกกรีซไคเคิลเข้าด้วยกัน เพื่อเก็บข้อมูลด้านศักยภาพ

ขั้นตอนนี้จะทำการทดลองผสมวัสดุตามอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นขั้นทดสอบ แล้วนำขั้นทดสอบที่ได้นำไปทดสอบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้เป็นค่าในการศึกษาความแตกต่าง เปรียบเทียบระหว่างวัสดุหลังคาประเภทพลาสติก และ วัสดุทำหลังคาชนิดใหม่ ประเภทพลาสติกที่มีส่วนผสมของพลาสติกกรีซไคเคิล ซึ่งมีอัตราส่วนการผสมเพื่อสร้างขั้นทดสอบจะกำหนดอัตราส่วนเพื่อสุ่มเก็บค่าคุณสมบัติ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนการผสมเพื่อสร้างขั้นทดสอบ

ลำดับที่	PVC	พลาสติกกรีซไคเคิล
ขั้นทดสอบที่ 1	50	50
ขั้นทดสอบที่ 2	40	60
ขั้นทดสอบที่ 3	30	70
ขั้นทดสอบที่ 4	20	80
ขั้นทดสอบที่ 5	10	90
ขั้นทดสอบที่ 6	0	100

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบศักยภาพด้านต่าง ๆ ของชิ้นงานที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 5 เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องทดสอบแล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้ค่ามาตรฐานฉลากเขียวเป็นเกณฑ์ในการกำหนดความเหมาะสมของอัตราส่วนที่เป็นไปได้ในการแปรรูปพลาสติก Recycled ให้เป็นหลังคาป้องกันความร้อน

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบศักยภาพของวัสดุหลังคามีสัดส่วนของพลาสติกกรีซไคเคิลผสมอยู่ด้วยการผสมวัสดุเพื่อ

เป็นขั้นทดสอบแล้วจะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับหลังคาชนิด UPVC เดิมก่อนผสมพลาสติกรีไซเคิลเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างและเสนอแนะความเป็นไปได้ที่จะนำพลาสติกรีไซเคิลมาใช้เป็นส่วนผสมของหลังคาป้องกันความร้อน

4. การวิจัยและผลการวิจัย

4.1 การทำวิจัยการทำวิจัยเลือกพลาสติกรีไซเคิลที่จะนำมาผสมเข้ากับวัสดุหลัก UPVC คือพลาสติกชนิด PP หรือพอลิโพรไพลีน Polypropylene เป็นเทอร์โมพลาสติก และจัดอยู่ในสัญลักษณ์รีไซเคิลลำดับที่ 5 ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมจะนำมาใช้ร่วมกับ UPVC ในการทำเป็นแผ่นหลังคาได้เป็นอย่างดีและการทดสอบชิ้นงานพลาสติกผสมนั้นได้กำหนดการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุ



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 3 การบดชิ้นพลาสติกให้เป็นเศษเพื่อเตรียมผสม



รูปที่ 4 การชั่งตวงวัสดุและผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ข้างต้น



ขั้นตอนที่ 2 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

ขึ้นรูปชิ้นทดสอบโดยการฉีดขึ้นรูป (injection) โดยรูปแบบแม่พิมพ์ที่ใช้เป็นรูปแบบ ดัมเบลและสีเหลืองผืนผ้า ตามมาตรฐานของ ASTM



รูปที่ 5 ชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปแล้วเสร็จ

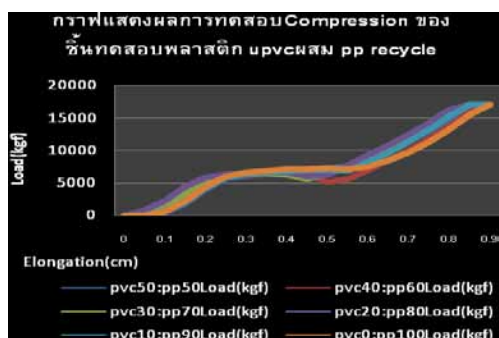
ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบชิ้นวัสดุ

การทดสอบกำลังอัดใช้ชิ้นงานรูป สีเหลืองผืนผ้า ตามมาตรฐาน ASTM ขนาด ยาว 12.58 cm. กว้าง 1.22 cm.หนา 0.90 cm. ในการทดสอบโดยแบ่งชิ้นทดสอบออกเป็น 6 ชุด ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ข้างต้นมาเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัดเพื่อหาค่าความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วนผสม แล้วนำผลทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ต่อไป

4.2 ผลการวิจัย การทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางความแข็งแรงจากการทดสอบ Compression ของชิ้นทดสอบพลาสติก UPVC ผสม PP Recycle เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสรุปหาปริมาณที่เหมาะสมของ พลาสติกรีไซเคิลชนิด PP ที่จะใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับวัสดุหลักชนิด PVC ในการทำเป็นหลังคาพลาสติกรีไซเคิล

จากการทดสอบ พบว่า เมื่อนำพลาสติก 2 ชนิดมาผสมกันตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ค่าความแข็งแรงที่เกิดขึ้นแสดงออกมาเป็นกราฟในรูปแบบที่คล้ายๆ กันคือ เมื่อตัวชิ้นทดสอบทั้ง 6

อัตราส่วน ถูกกดลงไปจนถึงระดับหนึ่ง ที่เรียกว่า Yield point (คือ ความเค้นวิกฤติที่ทำให้เกิดการคลาก) แล้วนั้นวัสดุจะเสียรูปไปไม่สามารถคืนรูปได้อีก แต่จะไม่เกิดการแตกหักเนื่องจากเป็นพลาสติกโดยสิ่งที่เกิดขึ้นคือ เนื้อขึ้นทดสอบจะขยายออกทางด้านข้าง



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบความแข็งแรงทั้ง 6 อัตราส่วน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบศักยภาพ และ ความแข็งแรงของชิ้นทดสอบทดสอบ กับค่า Standard และ Best case (หลังคาUPVC)

ชิ้นทดสอบ	อัตราส่วน	Yield strength [MPa]	Compression strength [psi]	Stain (%)	Elongation (cm)
standard	Pvc100	45-50	9500	-	-
Best case	Pvc100	31-60	9,500	-	-
1	Pvc50% : pp50%	67.66	9806.43	6.25%	0.55
2	Pvc40% : pp60%	60.35	8747.07	6.62%	0.43
3	Pvc30% : pp70%	56.89	8245.56	6.54%	0.33
4	Pvc20% : pp80%	60.00	8697.43	6.53%	0.36
5	Pvc10% : pp90%	62.34	9035.81	6.69%	0.47
6	Pvc0% : pp100	62.40	9049.93	6.95%	0.51

ผลการทดสอบ Compression ของชิ้นทดสอบพลาสติก UPVC ผสม PP Recycle พบว่าทั้ง 6 อัตราส่วนมีค่าความแข็งแรง ณ จุดคลากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของวัสดุ ซึ่งถือว่าการผสมพลาสติกรีไซเคิลลงไปในเรื่องวัสดุไม่ได้ทำให้ความสามารถในการเป็นวัสดุทำหลังคาของพลาสติกลดลง และมีความเหมาะสมด้านความแข็งแรงที่จะนำไปใช้

โดยจากตารางที่ 2 พบว่า ส่วนผสมที่ 1 คือ PVC 50 : PP 50 จะมีค่าความแข็งแรงในการรับแรงกดและความแข็งแรง ณ จุดคลากที่สูงที่สุดสูงกว่าค่า Standard และ Best case อีกด้วย แต่เมื่อผสมเนื้อพลาสติกกรีไซเคิลชนิด PP เข้าไปเพิ่มในส่วนผสมที่ 2 และ 3 คือ PVC 40 : PP 60 และ PVC 30 : PP 70 ความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ จะลดลงตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของพลาสติกกรีไซเคิล เพิ่มเข้าไปอีกตามลำดับจนไม่เหลือส่วนผสมของวัสดุหลักอยู่เลยในส่วนผสมที่ 4,5,6 คือ PVC 20 : PP 80 และ PVC 10 : PP 90 และ PVC 0 : PP 100 ค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบกลับมีค่าความแข็งแรงสูงขึ้นตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอนแนะ

จากผลการทดสอบการผสมพลาสติกกรีไซเคิลชนิด PP เข้าไปกับวัสดุที่เป็น PVC นั้นมีค่าความแข็งแรงที่บ่งบอกได้ว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุทำหลังคาประเภทพลาสติก โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ควรนำไปศึกษาต่อเพื่อทำเป็นแผ่นหลังคาพลาสติกที่ใช้งานจริง คืออัตราส่วนผสมที่ 1 คือ PVC 50 : PP 50 เนื่องจากส่วนผสมที่มีพลาสติกทั้ง 2 ชนิดผสมกันอยู่อย่างสม่ำเสมอให้ค่าความแข็งแรงในการทดสอบสูงที่สุดทั้งขีดจำกัดการใช้งาน ณ จุดคลากและความแข็งแรงด้านแรงกด ส่วนอัตราส่วนผสมที่ 2 และ 3 เมื่อ

ลดจำนวนของ PVC ลงไปมาก ๆ ทำให้เกิดการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอความแข็งแรงจะลดลง ส่วนอัตราส่วนที่ 5 และ 6 มีการใส่ PP มากจนไม่เหลืออัตราส่วนของ PVC เลย ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นตามกราฟที่แสดง ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า ถ้าพลาสติกทั้ง 2 ชนิด คือ PVC และ PP มีอัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปขึ้นทดสอบเท่ากันคือ 50:50 หรือใช้พลาสติกชนิดใดชนิดหนึ่งในการทดสอบ ขึ้นพลาสติกทดสอบจะมีความแข็งแรงและเหมาะแก่การนำมาใช้งานมากกว่า ขึ้นพลาสติกทดสอบที่มีส่วนผสมของพลาสติกที่ไม่เท่ากัน คือ 60:40 70:30, 80:20, 90:10

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบศักยภาพของการผสมวัสดุรีไซเคิลร่วมกับวัสดุใหม่เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกกรีซเคิลชนิด PP ที่จะใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับวัสดุใหม่เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกกรีซเคิลชนิด PP ที่จะใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับวัสดุหลักชนิด PVC ในการทำเป็นหลังคาพลาสติกกรีซเคิลการศึกษาต่อเพื่อให้เกิดความครอบคลุมคุณสมบัติ

รายการอ้างอิง

ชินุทัย กาญจนะจิตรา. (2550). ความเป็นเมืองและชยะ. สืบค้นจาก <http://www.ipsr.mahidol.ac.th/IPSR/AnnualConference/Conferencelll/Articles/Article10.htm>, 12 ตุลาคม 2556

ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ. (2555). พลาสติก 7 ประเภท. สืบค้นจาก [http://www.stou.ac.th/study/sumrit/1-56\(500\)/page4-1-56\(500\).html](http://www.stou.ac.th/study/sumrit/1-56(500)/page4-1-56(500).html), 12 ตุลาคม 2556

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. (2556). คุณสมบัติของพลาสติก. สืบค้นจาก <http://www.industrial.cmru.ac.th/Civil/wechsawan/materials/ch08/ch08.htm>, 12 ตุลาคม 2556.

LESA: Learning center for Earth Science and Astronomy. (2547). ความร้อนและการถ่ายโอนความร้อน. สืบค้นจาก <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/heat-transfer/>, 12 ตุลาคม 2556

National Metal and Materials Technology Center (MTEC). (2550). ประวัติพลาสติก. สืบค้นจาก <http://www.oknation.net/blog/gift2say/2012/09/18/entry-1>, 12 ตุลาคม 2556

Thaipublica. (2556). วิกฤต “ชยะ” ชุมชนเมือง. สืบค้นจาก <http://thaipublica.org/2012/06/crisis-solid-waste/>, 12 ตุลาคม 2556

การออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตี้ออลล์ใน เขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และแสงธรรมชาติ

External Shading Design for Increasing Energy and Daylight Performance of Community Malls in Bangkok and its Vicinity

ยุพดี จุลพรจิตต์¹ และ ดร. พิมลมาศ วรณคนาพล²

Yupadee Chulpornchit¹ and Pimonmart Wankanapon, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: yupadeetop.10arch@gmail.com¹, pimonmart@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตี้ออลล์ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติ จากการศึกษาแบบอุปกรณ์บังแดดที่อาคารคอมมูนิตี้ออลล์นิยมใช้และนำมาเปรียบเทียบ โดยทำการจำลองผลผ่านโปรแกรมจำลองสภาพแสง DIALux4.11 เถกนถการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ ประกอบด้วย ค่าความสว่างบนพื้นที่ใช้งาน ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง รวมถึงค่าความสม่ำเสมอของแสง และพิจารณาร่วมกับค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ สรุปเพื่อนำเสนอรูปแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกที่เหมาะสมเพื่อใช้กับอาคารประเภทคอมมูนิตี้ออลล์ต่อไป โดยการนำเสนอเน้นในส่วนประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ ซึ่งส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ

Abstract

The objectives of this study are to study and develop guidelines for external shading design in community malls in Bangkok and its vicinity in order to optimize daylight performance and cooling load reduction. In this paper, we explored factors and compared different design of external shadings commonly used in community malls. The study compared and evaluated the daylight performance using lighting simulation tool, DIALux4.11. The daylight performance evaluation included illuminance on the workplane (both vertical and horizontal) and its uniformity. The design of external shading which increase the daylight performance the most are presented. The results on cooling load reduction will be later evaluated together in order to propose the suitable design of external shading for the community malls. This is an ongoing research.

คำสำคัญ (Keywords): คอมมูนิตีมอลล์ (Community Mall), อุปกรณ์บังแดดภายนอก (External Shading Devices), ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency), คุณภาพแสง

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเพิ่มขึ้นของอาคารประเภทศูนย์การค้าในปัจจุบันมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากศูนย์การค้าขนาดใหญ่เป็นศูนย์การค้าขนาดเล็ก โดยเฉพาะในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมาและมีแนวโน้มในการขยายตัวมากขึ้นโดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ศูนย์การค้าขนาดเล็กนี้ มักมีลักษณะแทรกตัวอยู่บริเวณแหล่งชุมชน จึงมีชื่อเรียกว่า “ศูนย์การค้าชุมชน หรือคอมมูนิตีมอลล์ (Community Mall)” จากการศึกษาโครงการคอมมูนิตีมอลล์ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่เปิดให้บริการแล้วและกำลังก่อสร้าง พบว่า ลักษณะเด่นของคอมมูนิตีมอลล์ที่แตกต่างจากศูนย์การค้าประเภทอื่น คือ เป็นศูนย์การค้าแบบเปิด (Open-Air Shopping Mall) ที่ใช้ระบบปรับอากาศเฉพาะส่วนของร้านค้าเท่านั้น การจัดวางพื้นที่ส่วนกลางกับร้านค้าได้เป็น 3 รูปแบบ คือ อาคารที่มีพื้นที่ทางเดินเฉพาะด้านหน้าร้านค้า (Single corridor) อาคาร ที่มีร้านค้าอยู่ 2 ด้านของอาคาร และกลุ่มอาคารที่มีร้านค้ากระจายอยู่ในพื้นที่โครงการ ลักษณะของร้านค้าจึงมีผนังของร้านอย่างน้อย 1 ด้านที่เป็นพื้นที่รับแสงและความร้อนจากภายนอกโดยตรง ซึ่งนิยมใช้วัสดุผนังเป็นกระจกจึงมีการออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกเพื่อช่วยลดภาระการปรับอากาศ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้แสงธรรมชาติได้ ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ และนำเสนอรูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์บังแดดภายนอก โดยศึกษารูปแบบอุปกรณ์บังแดด

ที่อาคารคอมมูนิตีมอลล์นิยมใช้ และนำเสนอแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดสำหรับอาคารคอมมูนิตีมอลล์ทั้งอาคารใหม่และอาคารเดิมที่มีอยู่ เนื่องจากอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตีมอลล์นั้นสามารถสร้างแก้ไขหรือปรับปรุงได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกที่เหมาะสมในด้านประสิทธิภาพแสงธรรมชาติที่เหมาะสมและการลดภาระการทำความเย็นของอาคารคอมมูนิตีมอลล์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและนำเสนอรูปแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารที่เพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ และการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและลักษณะทั่วไปคอมมูนิตีมอลล์

ศูนย์การค้าคอมมูนิตีมอลล์หรือศูนย์การค้าชุมชนบางครั้งอาจเรียกว่าไลฟ์สไตล์มอลล์ (Lifestyle Mall) เป็นช็อบบิ่งมอลล์ (Shopping Mall) รูปแบบหนึ่งตามทฤษฎีการแบ่งประเภทธุรกิจค้าปลีกมีลักษณะเป็นร้านค้าเรียงต่อกันเป็นแถวมีพื้นที่จอดรถอยู่ด้านหน้าพื้นที่ส่วนกลางเป็นพื้นที่เปิดโล่งไม่มีการปิดล้อมหรือศูนย์การค้าแบบเปิดนิยมวางผังอาคารเป็นรูปตัว U) ตัวแอล (L) หรือเป็นเส้นตรงที่ตั้งของศูนย์การค้ามักจะอยู่ในย่าน

การออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตี้มอลล์ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติ
 ยุพดี จุลพรจิตรต์ และ ดร. พิมลมาศ วรรณคนาพล

ชุมชนลักษณะของร้านค้าในคอมมูนิตี้มอลล์ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของผู้เช่าหลัก (Anchor Tenant) ที่เป็นผู้เช่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในโครงการ เช่น ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือ ร้านเฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ และผู้เช่าทั่วไป (Tenant) เป็นผู้เช่ารายย่อยซึ่งในการวิจัยนี้ศึกษา ส่วนร้านค้าของผู้เช่ารายย่อย คอมมูนิตี้มอลล์แบ่งตามลักษณะของพื้นที่โครงการและลักษณะของร้านค้าได้เป็น 6 (สยามพิวเจอร์, 2556) แต่เลือกศึกษา 4 ประเภท คือ

- ศูนย์การค้าชุมชน (Neighbourhood Shopping Centre) คือ ศูนย์การค้ามีขนาดพื้นที่ 3-5 ไร่ มีพื้นที่เช่าประมาณ 2,700-14,000 ตารางเมตร มีซูเปอร์มาร์เก็ต ที่เป็นผู้เช่าหลักของโครงการ และมีร้านค้าปลีกประมาณ 15-20 ร้าน

- ศูนย์รวมสินค้าเฉพาะอย่าง (Power Centre) คือ ศูนย์การค้าขนาดใหญ่มีผู้เช่าขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 2 ร้านขึ้นไป

- ศูนย์การค้าไลฟ์สไตล์ (Lifestyle Centre) คือ ศูนย์การค้า มีผู้เช่าหลักเป็นซูเปอร์มาร์เก็ต และร้านค้าที่ตอบสนองการใช้ชีวิตประจำวัน

- ศูนย์บันเทิง (Urban Entertainment Centre) คือ ศูนย์การค้าไลฟ์สไตล์ผสมกับงานศิลปะ ดังนั้นสินค้าจากร้านภายในศูนย์การค้านี้ จะมีความโดดเด่นเฉพาะ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ศูนย์การค้าไลฟ์สไตล์

อีก 2 ประเภท คือ ศูนย์การค้าสะดวกซื้อ (Convenience Centre) และร้านค้าปลีก (Stand-Alone Retail Store) เป็นศูนย์การค้าที่มีขนาดเล็ก มีร้านค้าในโครงการ 1-3 ร้าน พื้นที่รวมไม่เกิน 1 ไร่ ใช้ระบบปรับอากาศร่วมกัน หรือไม่ได้ใช้งาน จึงไม่นำมาคิดรวมกับกลุ่มอาคารคอมมูนิตี้มอลล์ ในงานวิจัยนี้

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

2.2.1 ความส่องสว่าง (Illuminance)

ความส่องสว่าง หมายถึง ปริมาณแสงที่กระทบลงวัตถุ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (ลูเมนต่อตารางฟุต หรือฟุตแคนเดิล)

$$\text{ความส่องสว่าง} = \frac{\text{ปริมาณแสงทั้งหมด (ลูเมน)}}{\text{พื้นที่ (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

(ลักซ์)

การส่องสว่างในร้านค้าและศูนย์การค้า แบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ การให้แสงสว่างทั่วไปด้วยกับการใช้แสงสว่างแบบเน้นเฉพาะที่เน้นศึกษาแสงสว่างทั่วไป (Daylight) โดยพิจารณาค่าความส่องสว่างใน 2 ระนาบ คือ ระนาบแนวนอน (Horizontal illuminance) 0.75 เมตรค่าความสว่างเฉลี่ย 100-200-400 ลักซ์ และระนาบแนวตั้ง (Vertical illuminance) 1.75 เมตร ค่าความสว่างเฉลี่ย 37.5-70-150 ลักซ์ (IESNA,2000)

2.2.2 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Uniformity)

ค่ามาตรฐานเฉลี่ยของความเข้มแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน

$$\text{ความสม่ำเสมอของ} = \frac{\text{ความเข้มของแสงที่ต่ำที่สุด}}{\text{ความเข้มของแสงเฉลี่ย}} \quad (2)$$

ความส่องสว่าง (ในพื้นที่ที่พิจารณา)

ค่าความสม่ำเสมอเปรียบเทียบจากค่าความส่องสว่างในแนวตั้งและแนวนอน ในอัตราส่วน 4:1 (IESNA, 2000)

2.3 การออกแบบอุปกรณ์บังแดด

ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง 4 ปัจจัย (วรากร, 2547) คือ ขนาดของช่องเปิด ตำแหน่งของช่องเปิด ทิศทางของช่องเปิด และวันเวลาในการบังแดด เพื่อให้สามารถป้องกันได้ครอบคลุมและส่งผลสูงสุด

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยการทดลอง แบ่งเป็น 4 ส่วนคือ การศึกษารูปแบบของอาคาร คอมมูนิตี้มอลล์และกำหนดเป็นกรณีพื้นฐาน การหาค่าความส่องสว่างของแสง การหาค่าการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ และการหาข้อสรุปรูปแบบที่ให้ความส่องสว่างและพลังงานดีที่สุด ในบทความนี้นำเสนอเฉพาะการหาค่าความส่องสว่างจากรูปแบบอุปกรณ์บังแดดที่ได้จากการศึกษาข้อมูลในช่วงแรกเท่านั้น

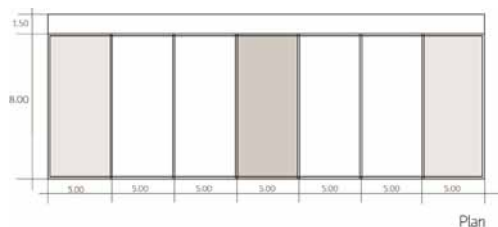
3.1 เลือกใช้โปรแกรมจำลองผลการศึกษา

ในการทดลองด้านความส่องสว่างใช้โปรแกรม Dialux4.11

3.2 ระบุค่าตัวแปรในการทดลอง

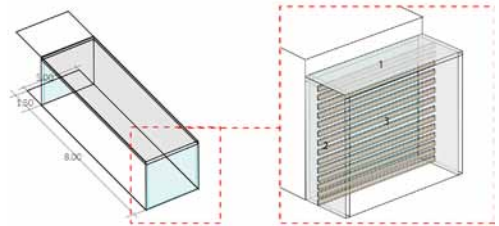
การศึกษารูปแบบของอาคารคอมมูนิตี้มอลล์และกำหนดเป็นกรณีพื้นฐาน

1) ห้องที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ห้อง คือ ห้องกลาง มีพื้นที่เฉลี่ย 40 ตร.ม. ขนาดห้อง 5.00x8.00 เมตร ความสูงฝ้า 3.00 เมตร



รูปที่ 1 ตำแหน่งห้องที่ใช้ในการทดลอง

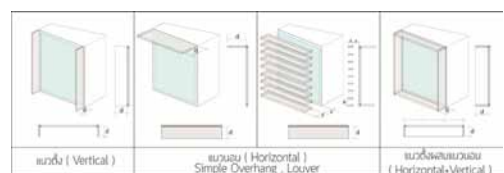
2) พื้นที่ช่องเปิดผนัง 2 ด้าน



รูปที่ 2 ตำแหน่งช่องเปิดของร้านค้า และตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

3.3 กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

- 1) สภาพท้องฟ้าที่ใช่ทดสอบ ท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky) และท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)
- 2) ช่วงวันเวลาในการทดสอบ วันที่ 22 มิถุนายน 22 ธันวาคม และ 21 มีนาคม ช่วงเวลา 10.00 และ 14.00 น.
- 3) ค่าการสะท้อนของแสงภายในห้อง ได้แก่ พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน คือ ร้อยละ 30 60 และ 80 ตามลำดับ
- 4) ค่า VT (Visible Transmittance) ของกระจก คือ 0.7 ค่า SC (Shading Coefficient) คือ 0.67
- 5) ขนาดช่องเปิด อัตราส่วนของช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR)
 - ผนังด้านหน้า คือ 80%
 - ผนังด้านหลัง คือ 0% 15% 45% 80%
 - ผนังด้านข้าง คือ 0% 25% 45% และ 80%
- 6) รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด คือ แนวตั้ง แนวนอน และแบบผสม (ดังรูปที่ 3)



รูปที่ 3 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

การออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตี้มอลล์ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติ
 ยุพดี จุลพรจิตรต์ และ ดร. พิมลมาศ วรณคนาพล

7) ระยะเวลาขึ้นหรือระยะห่าง ระหว่าง อุปกรณ์บังแดดกับอาคาร (ดังรูปที่ 3)

8) วัสดุที่ใช้ในการทำอุปกรณ์บังแดดมี 3 ประเภท (ดังรูปที่ 4) คือ

- วัสดุทึบ ได้แก่ คอนกรีต (Reflectance 27%) ผ้าใบ (Reflectance 88%) ไม้ (Reflectance 15%)

- วัสดุโปร่งแสง ได้แก่ แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Transparency 19%)

- วัสดุผสม ได้แก่ ระแนงไม้ร่วมกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต

วัสดุทึบ	วัสดุโปร่งแสง	วัสดุผสมทึบและโปร่งแสง
 คอนกรีต  หลังคาผ้าใบ  แผงระแนงไม้	 แผ่นโพลีคาร์บอเนต  ไม้ผสม โพลีคาร์บอเนต 	 ไม้ผสม โพลีคาร์บอเนต

รูปที่ 4 วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์บังแดด

9) ทิศทางการหันอาคาร คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

3.4 ขั้นตอนการประเมินผล

3.4.1 พิจารณาค่าความส่องสว่าง ค่าความส่องสว่างภายในห้องที่ระดับ 0.75 เมตร ในระนาบแนวตั้ง อย่างน้อย 37.5 ลักซ์ ไม่เกิน 140 ลักซ์ และระดับ 1.70 เมตร ในระนาบแนวนอน อย่างน้อย 100 ลักซ์และไม่เกิน 400 ลักซ์ ตามเกณฑ์มาตรฐาน IESNA

3.4.2 การเก็บข้อมูล ทุกระยะ 1 เมตร ในแนวนอนและเก็บข้อมูล 3 ช่วงคือ ช่วงริม 2 ด้าน และช่วงกลางของห้อง

4. ผลทดลอง

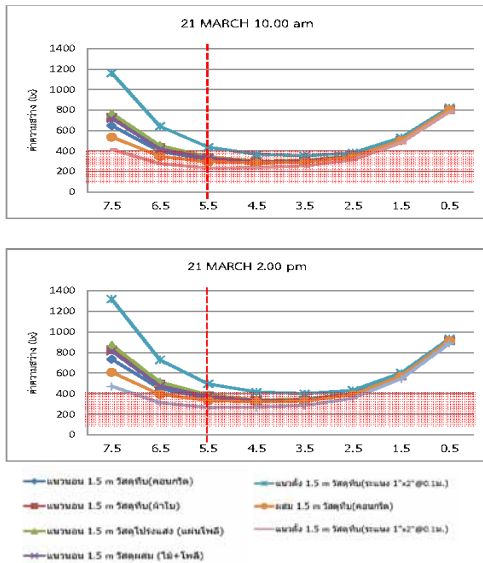
4.1 การทดลองเรื่องแสง

4.1.1 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของผนังที่มีช่องเปิด 1 และ 2 ด้านที่มี WWR ต่างกัน เพื่อหากรณีที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองเรื่องอุปกรณ์บังแดด โดยกำหนดเป็นห้องกลาง และหันทางทิศเหนือพบว่า รูปแบบการเปิด 2 ด้านที่มีช่องเปิดด้านหน้าและหลัง 80% 45% มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเกินมาตรฐาน

ส่วนแบบที่มีช่องเปิด 25% และ 0 % มีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยส่วนใหญ่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 100-200-400 ในระนาบแนวนอน และ 37.5-70-150 ในระนาบแนวตั้ง

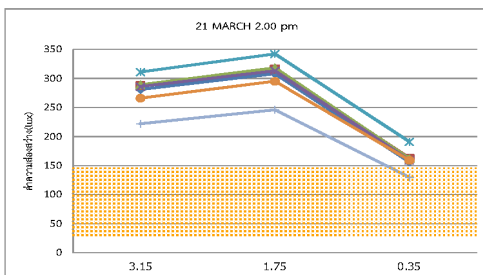
4.1.2 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของช่องเปิด 80% ของผนัง 2 ด้าน ที่มีรูปแบบอุปกรณ์บังแดดต่างกัน ของห้องกลาง และหันทางทิศใต้ โดยเป็นการเปรียบเทียบอุปกรณ์บังแดดแนวแนวตั้ง และแนวผสมที่มีระยะขึ้นที่ 1.5 เมตร ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง

- ค่าความส่องสว่างของระนาบแนวนอนจากการเลือกใช้อุปกรณ์บังแดดภายนอกแนวตั้ง จะให้ความส่องสว่างดีที่สุดและใกล้เคียงกับความส่องสว่างตามมาตรฐาน IESNA คือ 100-200-400 มากที่สุด แต่รูปแบบแบบแผงระแนง จะบังภายนอกไม่เห็นภายในร้านค้า ใกล้เคียงรองลงมา คือ แบบผสมและแบบ แนวนอนที่ใช้วัสดุทึบ (ดังรูปที่ 5)



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการเลือกใช้อุปกรณ์แบบต่างๆ ภายใต้ห้องฟ้าแบบโปร่ง ระบายแนวนอน

- ค่าความส่องสว่างของระนาบแนวตั้งจากการเลือกใช้ อุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบแนวตั้งให้ความส่องสว่างดีที่สุดและใกล้เคียงกับความส่องสว่างตามมาตรฐาน IESNA คือ 37.5-70-150 มากที่สุด แต่บดบังมุมมองจากภายนอกสู่ภายใน ดังนั้นรูปแบบที่รองลงมาคือ แบบผสมและแบบแนวนอน ใช้วัสดุทึบ ได้แก่ คอนกรีต



รูปที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการเลือกใช้อุปกรณ์แบบต่างๆ ภายใต้ห้องฟ้าแบบโปร่ง ระบายแนวตั้งภายใต้สภาพห้องฟ้ามีเมฆมาก

- ค่าความส่องสว่างของระนาบแนวนอนจากการเลือกใช้ อุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบแนวนอน วัสดุที่ใช้คือ วัสดุโปร่งแสง และวัสดุทึบได้แก่ แผ่นโพลีคาร์บอเนต ฝ้าใบและการใช้แผ่นโพลีผสมระแนงไม้ จะให้ความส่องสว่างดีที่สุดและใกล้เคียงกับความส่องสว่างตามมาตรฐาน IESNA คือ 100-200-400 มากที่สุดภายใต้สภาพห้องฟ้าแบบมีเมฆมาก

- ค่าความส่องสว่างของระนาบแนวตั้งจากการเลือกใช้ อุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบผสมใช้วัสดุทึบ ให้ความส่องสว่างดีที่สุด และใกล้เคียงกับความส่องสว่างตามมาตรฐาน IESNA คือ 70 - 150 มากที่สุด

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากรณีพื้นฐานช่องเปิดที่มีอัตราส่วน WWR 80% เป็นกรณีที่มีมากที่สุด เมื่อนำมาทดลองในสภาพห้องฟ้าทั้ง 2 แบบคือ แบบมีเมฆมาก และแบบห้องฟ้าโปร่ง พบว่า รูปแบบอุปกรณ์บังแดดที่ให้ค่าความส่องสว่าง ใกล้เคียงค่ามาตรฐานความส่องสว่างของร้านค้ามากที่สุด ทั้งในระนาบแนวนอนและแนวตั้ง คือ รูปแบบผสมที่ระยะยื่น 1.5 ม. และแบบแนวนอนที่ใช้วัสดุทึบ ทำให้มีแนวโน้มที่จะ เสียหายจากความการลดการใช้พลังงานแสงสว่างแต่ยังคงค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับกลุ่มอาคารร้านค้า

102 การออกแบบอุปกรณ์บังแดดภายนอกสำหรับอาคารคอมมูนิตี้มอลล์ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและแสงธรรมชาติ
ยุพดี จุลพรจิตรต์ และ ดร. พิมลมาศ วรรณคนาพล

รายการอ้างอิง

กำพล อนันตพรพานิชย์. (2553). *พัฒนาการคอมมูนิตี้มอลล์ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล*. วิทยาลัยพณิชยกรรมบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

วรกรกร สงวนทรัพย์. (2547). *การออกแบบอุปกรณ์บังแดดและตำแหน่งช่องเปิด เพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ของอาคารพักอาศัยประเภทห้องชุด ในเขตกรุงเทพมหานคร*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สยามฟิวเจอร์. *นิยามของคอมมูนิตี้มอลล์ (Community Mall) หรือศูนย์การค้าชุมชน* สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กันยายน 2556, จาก <http://www.thaifranchisecenter.com>

DIALux Light Building Software. (2012). *DIALux 4 with new improved calculation kernel*. Retrieved December 12, 2012, from http://www.dial.de/DIAL/fileadmin/download/dialux/wissen/Dx4_Rechenkern_eng.pdf

IESNA. (2000). *IESNA Lighting Handbook*. New York: illuminating Engineering Society of North America.

การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในอาคารสำนักงานที่เหมาะสม ตามอิทธิพลสถาปัตยกรรม ในสภาพอากาศเขตร้อนชื้น Appropriate Thermostat Setting for Office Building under Architectural Influences in Tropical Climate

อรรถรัฐ ศรีพิพัฒน์กุล¹ และ ดร. จตุวัฒน์ วจิตรอมพันธ์²
Thatarot Sripipattanukul¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Email: thatarot_spp@hotmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นให้อาคาร ปัจจุบันผู้ใช้อาคารส่วนมากตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25-26°C ตามนโยบายประหยัดพลังงาน แต่ในความเป็นจริงพื้นที่ใช้งานที่มีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมแตกต่างกันต้องการการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกัน งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ใช้งานอาคารสำนักงานที่มีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมแตกต่างกัน ซึ่งการวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาระดับภาวะน่าสบายที่เกิดขึ้นจากการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศของพื้นที่ใช้งานที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะที่แตกต่างกัน ในสัดส่วนช่องเปิดและทิศทางการวางอาคารที่แตกต่างกัน การทดลองช่วงที่ 2 นำผลการทดลองแนวทางการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศช่วงที่ 1 มาศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการจำลองผ่านโปรแกรม eQUEST-3.64 ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C ในทุกกรณีส่งผลให้ผู้ใช้งานไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย ซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมโดยตั้งอุณหภูมิที่ 24°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ด้านทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และควรตั้งอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ 1°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ห่างจากช่องเปิด 1 เมตร

Abstract

Thermostat setting is one of essential factor that affect energy consumption in HVAC system. Currently, most of building thermostat setting is 25-26°C according to energy conservation policy. However, actual spaces with different architectural components require different thermostat setting as well. This research aims to study the effect of thermostat setting in office space with different architectural components. The research is divided into two experimental phases; Experimental Phase 1, the study of thermal comfort influenced by thermostat setting of

workspace at different distances from the opening, different window-to-wall ratio, and different orientation, done through mathematical equation; Experimental Phase 2, the result from the thermostat setting in phase 1 were brought to study by comparing energy performance through eQUEST-3.64 program; the results showed that thermostat setting at 25°C can't maintain user in comfort zone, the appropriate thermostat setting is 24°C in south, east and west zone of building. In addition, the workspace that is located 1 meter away from the opening required 1°C setting lower than other space in the zone.

คำสำคัญ (Keywords): การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ (Appropriate thermostat setting), สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort), การประหยัดพลังงาน (Energy Conservation), กรอบอาคาร (Envelope), อาคารสำนักงาน (Office Building)

1. ที่มาและความสำคัญ

แนวโน้มการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากจำนวนอาคารสำนักงานเพิ่มขึ้นพร้อมกับการขยายตัวของเศรษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 3.71 เท่าเมื่อเทียบกับปี 2533

นอกจากการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการใช้พลังงาน หนึ่งในวิธีการจัดการเพื่อลดภาระการทำความเย็นให้เครื่องปรับอากาศ คือการปรับตั้งอุณหภูมิที่ 25-26°C เพื่อการประหยัดพลังงาน แนวความคิดนี้เป็นที่รู้จักแพร่หลายในประเทศไทยจากการรณรงค์โดยหน่วยงานและภาครัฐ และถูกระบุลงในข้อบังคับแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารของรัฐ โดยสำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานให้ได้ตามเป้าหมาย นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า การตั้งอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 5-10

อย่างไรก็ตาม การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ทำงานที่มีองค์ประกอบทาง

สถาปัตยกรรมแตกต่างกัน มีความเป็นไปได้ที่พื้นที่นั้น ๆ ต้องการการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกันไป งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความสัมพันธ์การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ในกรณีทิศทางการวางอาคาร สัดส่วนช่องเปิด และระยะห่างของพื้นที่ใช้งานจากช่องเปิดที่แตกต่างกัน โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งาน และค่าการใช้พลังงานของอาคารเพื่อการหาการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการและการออกแบบพื้นที่ปรับอากาศของอาคารสำนักงาน

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ค่าการใช้พลังงานในอาคารมาจากกระบวนการปรับอากาศมากกว่าระบบอื่น ๆ โดยปัจจัยของภาระการทำความเย็นสามารถแจกแจงได้ดังนี้

1) ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในบริเวณอาคารปรับอากาศ โดยการพาความร้อนจากอากาศภายนอกอาคารเข้าสู่ผนังด้านนอก

และนำความร้อนจากผนังด้านนอกเข้าสู่ผนังด้านในอาคาร

2) ความร้อนที่เข้าสู่อาคารปรับอากาศโดยตรง โดยการแผ่รังสีผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสง

3) ความร้อนที่เกิดจากการรั่วไหลของอากาศ

4) ความร้อนจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการทำความเย็น

5) ความร้อนจากผู้ใช้งานภายในอาคาร

6) ความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวกำเนิดความร้อนในบริเวณที่มีการปรับอากาศ เช่น หลอดไฟ เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย

สภาวะน่าสบาย (thermal comfort) คือ สภาวะจิตใจที่แสดงออกถึงความพอใจต่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อม สามารถกำหนดได้ผ่าน เขตสบาย (comfort zone) หรือขอบเขตของสภาพภูมิอากาศที่คนส่วนใหญ่ไม่ได้รู้สึกร้อน หรือหนาวจนเกินไป (ASHRAE, 2004) ในการสร้างสภาวะสบาย หรือการออกแบบสถาปัตยกรรมให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในเขตสบายต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง ทั้งปัจจัยที่เกิดจากตัวผู้ใช้งานและปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อม โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ปัจจัยหลักได้ดังนี้

- 1) อัตราการเผาผลาญของร่างกาย
- 2) เสื้อผ้าที่สวมใส่
- 3) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
- 4) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ
- 5) ความเร็วลม
- 6) ความชื้นสัมพัทธ์

ค่าที่ใช้ในการบอกถึงสภาวะน่าสบาย ได้แก่ ค่า PMV (predicted mean vote) หรือ ดัชนีที่คาด

เดาความรู้สึกร้อน หรือเย็นของของคนส่วนมาก โดยแบ่งออกได้ 7 ระดับตั้งแต่ -3.0 ถึง +3.0 ซึ่งแสดงถึงความรู้สึก หนาวมาก หนาว หนาวเล็กน้อย ปกติ ร้อนเล็กน้อย ร้อน และร้อนมากตามลำดับ และค่า PPD (predicted percentage of dissatisfied) หรือดัชนีที่ทำนายปริมาณร้อยละของคนที่ไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย โดยการรักษาสภาวะน่าสบาย คือ การรักษาสภาวะที่ค่า PMV อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 และค่า PPD ไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งเป็นขอบเขตที่มาตรฐานสากลยอมรับได้ (ASHRAE, 2004)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องมาตรฐานสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งานในพื้นที่ปรับอากาศในประเทศไทย โดยพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมในเรื่องของความสะดวก และระดับการศึกษาของผู้ใช้งานของ Yamtraipat, Khedari, Hirunlabh (2004) พบว่าขอบเขตสภาวะน่าสบายของผู้คนในพื้นที่ภาคกลางตอนบน และภาคเหนือคือ อุณหภูมิช่วง 24-26°C ขอบเขตสภาวะน่าสบายของผู้คนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคืออุณหภูมิช่วง 24.5-27.4°C และ 23.7-26.4°C สำหรับผู้คนในภาคใต้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม eQUEST-3.64 โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ช่วงหลัก ได้แก่ การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายจากตัวแปรต่างๆ การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบสภาวะน่าสบายและค่าการใช้พลังงานของอาคารจากรูปแบบการตั้งค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองที่ 1

3.1 แบบจำลองอาคารต้นแบบ

ในการสร้างแบบจำลองต้นแบบ (base case building) เพื่อนำไปคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดค่าพื้นฐานของแบบจำลองในส่วนของการรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ขนาดอาคาร วัสดุในก่อสร้างทั้งผนังและกระจก ขนาดเครื่องปรับอากาศ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแบบจำลองอาคาร

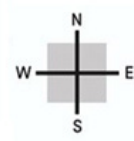
Type	Data
Building type	Office
Building area	630,750 ft ² (58,590 m ²)
Occupied area	504,000 ft ² (46,800 m ²)
Building Height	30 stories
Floor to Floor	13 ft. (3.96 m)
Floor to Ceiling	9 ft. (2.74 m)
Roof type	Concrete Slap
Wall type	Aluminum Cladding
Glass type	Green Tint Laminated Glass
HVAC system	Chilled water coils
File name	Bangkok, Thailand

3.2 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

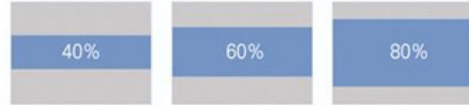
ตัวแปรที่เลือกศึกษาในงานวิจัยเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งาน และค่าการใช้พลังงานของอาคาร ได้แก่ การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ทิศทางการวางอาคาร สัดส่วนช่องเปิด และระยะห่างของพื้นที่ใช้งานจากช่องเปิด แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1

การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ

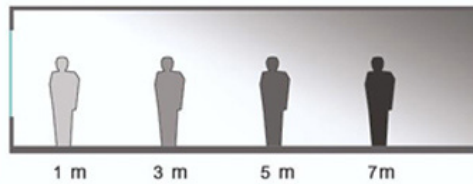
21°C - 27°C



สัดส่วนช่องเปิด (WWR)



ระยะห่างจากช่องเปิด



รูปที่ 1 รายละเอียดตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัย

4. ผลการทดลอง

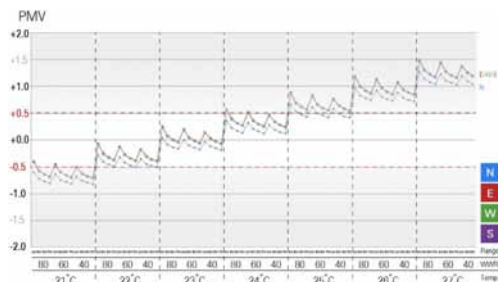
ผลการทดลองจะแสดงสภาวะน่าสบายและค่าการใช้พลังงานของอาคาร โดยหน่วยที่ใช้แสดงสภาวะน่าสบายมีทั้งหมด 2 ค่าคือ ค่า PPD และค่า PMV หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าพลังงาน คือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m²/y) สามารถแบ่งผลการทดลองได้ 2 ช่วงดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย

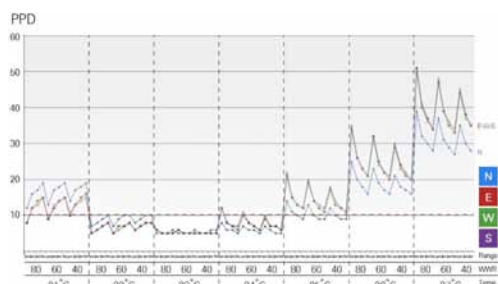
4.1.1 เปรียบเทียบสภาวะน่าสบายกรณีตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

พบว่า การตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อรักษาสภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้งาน (สภาวะที่ค่า PMV อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 และค่า PPD ไม่เกินร้อยละ 10) คือ การตั้งอุณหภูมิที่ 24°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ด้านทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และการตั้งอุณหภูมิที่ 25°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ด้านทิศเหนือ

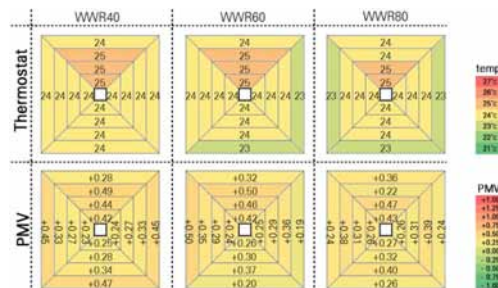
ในกรณีพื้นที่ใช้งานที่อยู่ห่างจากช่องเปิด 1 เมตร ควรตั้งอุณหภูมิต่ำกว่าระยะห่างอื่น 1°C ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่า PMV กรณีตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่า PPD กรณีตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

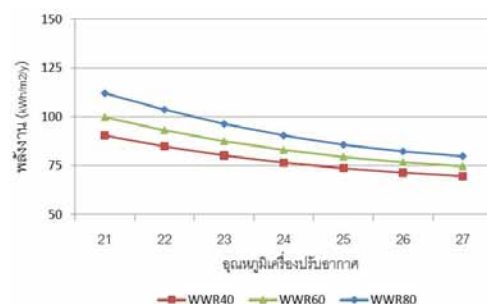


รูปที่ 4 แนวทางการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาสภาวะน่าสบาย

4.2 ผลการเปรียบเทียบสภาวะน่าสบายและค่าการใช้พลังงานของอาคาร

4.2.1 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคาร กรณีตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศต่าง ๆ

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิให้ต่ำลงจะส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยการตั้งค่าอุณหภูมิให้สูงขึ้น หรือลดลงทุก ๆ 1°C จะส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานของอาคารที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงตั้งแต่ 1.78-8.44 kWh/m²/y ดังรูปที่ 5



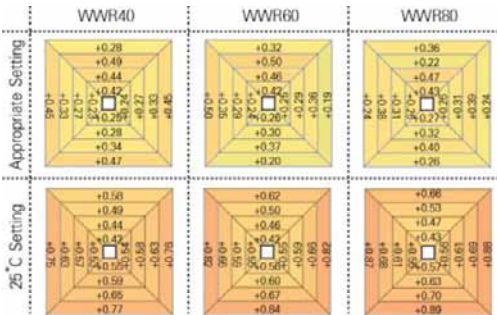
รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศต่างกัน

4.2.2 เปรียบเทียบสภาวะน่าสบายและค่าการใช้พลังงานของกรณีที่ตั้งค่าอุณหภูมิที่ศึกษา

จากผลการทดลองพบว่า การตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาสภาวะน่าสบายมีการใช้พลังงานมากกว่า การตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C ตั้งแต่ 0.46-4.78 kWh/m²/y ตามสัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 40-80 ซึ่งส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 6-7



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25°C และการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาสภาพน่าสบาย



รูปที่ 7 เปรียบเทียบสถานะน่าสบายของการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25°C และการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาสภาพน่าสบาย

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

แม้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C ในทุกกรณีจะมีค่าการใช้พลังงานที่ต่ำแต่ส่งผลให้ผู้ใช้งานรู้สึก

ไม่อยู่ในสภาวะน่าสบายเกินกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดร้อยละ 12 (ค่า PPD = ร้อยละ 22 ค่า PMV = +0.89) ซึ่งการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมคือ การตั้งค่าอุณหภูมิที่ 24°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ด้านทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C ในพื้นที่ใช้งานที่อยู่ด้านทิศเหนือ นอกจากนี้พื้นที่ใช้งานที่อยู่ห่างจากช่องเปิด 1 เมตรควรตั้งค่าอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ 1°C โดยการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมมีค่าการใช้พลังงานมากกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C ในทุกกรณีเพียงเล็กน้อยคือ 0.46 3.87 และ 4.78 kWh/m²/y ในอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 40 60 และ 80 ตามลำดับ

รายการอ้างอิง

ASHRAE Standard 55. (2004). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.

IRISH STANDARD. (2006). I.S. EN ISO 7730-2006: National Standards Authority of Ireland.

Yamtraipat, N., Khedari, J., & Hirunlabh, J. (2004). *Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Additional Factors of Acclimatization and Education Level*. Bangkok, Building Scientific Research Center, King Mongkut's University of Technology.

นวัตกรรมการออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบทรงโค้งที่ใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ สำหรับอาคารสำนักงาน

Innovative Design for Integrated Tensile Fabric Curved Ceiling with Light Shelf for Daylight Performance in Office

ทิพวรรณ ลิ้มสัจจาพานิชย์¹ และ ดร. พิมลมาศ วรรณคนาพล²
Tippawan Limsatjapanit¹ and Pimonmart Wankanapol, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: destiny_october86@hotmail.com¹, pimonmart@gmail.com²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติในสำนักงานที่มีพื้นที่ใช้สอยร่วมกัน โดยนำเสนอนวัตกรรมการออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบรูปทรงโค้งโดยใช้วัสดุผ้าใบโพลีเอสเตอร์-พีวีซีร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงในห้องสำนักงานที่มีความลึก 8 เมตรขึ้นไป โดยวัสดุผ้าใบที่ศึกษามีคุณสมบัติในการกระจายแสงได้ดี (ค่าการสะท้อนแสง 0.88, ค่าการส่องผ่านแสง 0.07) เมื่อเทียบกับวัสดุฝ้าเพดาน บทความนี้เน้นที่การออกแบบรูปทรงของฝ้าเพดานผ้าใบ รัศมีความโค้ง ระยะการติดตั้ง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงสร้างผ้าใบรับแรงดึงที่มีน้ำหนักเบา โดยประเมินประสิทธิภาพแสงด้านค่าความสว่าง ค่าความสม่ำเสมอและความสบายในการมองเห็นจากค่าอัตราส่วนความสว่างสะท้อนจากผิววัสดุ จากผลการศึกษาพบว่า ฝ้าเพดานรูปทรงโค้งเว้าหันหน้าออกจากช่องเปิดเมื่อใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงทำให้ค่าความสว่างในห้องในระยะที่ลึกชั้น 1 เมตรและให้ความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น และการลดใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร

Abstract

This research paper is presented the increasing daylight performance deeper into the room with the used of an innovative design of Polyester - PVC Fabric as a tensile curved ceiling. The use is for the open-plan office space with the regular found room depth of 8 m. The Polyester - PVC fabric shows to have higher light reflectance properties (visible reflectance 0.88, visible transmittance 0.07). The design technique in selecting the form of ceiling, radius of the curvature, and installation dimension that affecting the daylight performance are presented. The application of the ceiling's tensile structure with its benefit of light weight is also presented. The daylight performances are evaluated using the illuminance level on working plane, the uniformity, the visual quality regarding the luminance ratio. The results shown that the ceiling form of concave

curve facing openings are the best geometries to increase the reach of daylight into deeper space for 1 m. more with more uniformity. The result of this research showed more savings potential.

คำสำคัญ (Keywords): ฝ้าเพดานผ้าใบรูปทรงโค้ง (Tensile Fabric Curved Ceiling), โครงสร้างรับแรงดึง (Tensile Structure), หิ้งสะท้อนแสง (Light Shelf), ค่าความสว่าง (Illuminance), ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity)

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การนำแสงธรรมชาติ (Daylight) เข้ามาใช้ งานประโยชน์ในการให้แสงสว่างแก่พื้นที่ใช้ งานภายในอาคาร นอกจากจะสามารถลดการใช้ พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร ยังสามารถ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของผูู้้ใช้งานในพื้นที่ การสร้างสภาวะน่าสบายในการมองเห็น (Visual comfort) จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบ เพื่อการใช้งานแสงจากธรรมชาติ เพื่อหลีกเลี่ยง การเกิดแสงบาดตา (Glare) ของแสงที่สว่างเกิน ความต้องการของผูู้้ใช้งาน สำหรับอาคารสำนัก งานพื้นที่ใช้สอยร่วมกัน (Open plan office) ที่ ความลึกของห้องมากกว่า 8 เมตร ที่มีปัญหาเรื่อง ความสว่างของแสงธรรมชาติไม่เพียงพอจนถึง ส่วนด้านหลังของพื้นที่ จากการศึกษางานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ เพื่อให้แสงสว่างแก่พื้นที่ใช้งานภายในในระยะที่ ลึกขึ้น พบว่า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้งาน ของหิ้งสะท้อนแสง โดยที่ระยะยื่นของหิ้งสะท้อน แสงส่งผลต่อการเพิ่มค่าความสว่างบนพื้นที่ใช้ งานมากกว่า 1.25 เมตร และสามารถช่วยทดแทน การใช้แทนแสงประดิษฐ์ในห้อง (ทิพทัพบิม, 2555) แนวทางหนึ่งที่มีการศึกษาเพื่อแก้ไข และส่งเสริม ให้มีการใช้แสงธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การศึกษาฝ้าเพดานที่เป็นส่วนประกอบของ

ห้องที่ทำหน้าที่กระจายแสงต่อจากหิ้งสะท้อน แสง งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาและนำเสนอการ ออกแบบนวัตกรรมกรรมกรวัสดุผ้าใบโพลีเอสเตอร์ - พีวีซี ในการออกแบบฝ้าเพดานรูปทรงโค้ง ผนวก กับการใช้หิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แสงธรรมชาติให้มากขึ้นโดยเฉพาะภายในอาคาร สำนักงานที่มีพื้นที่ใช้สอยร่วมกัน ที่มีภูมิความลึก ของห้องมากกว่า 8 เมตรขึ้นไป โดยวัสดุผ้าใบวัสดุ ผ้าใบโพลีเอสเตอร์ - พีวีซี ที่เลือกใช้มีคุณสมบัติ พื้นฐานในการกระจายแสงได้ดี (ค่าการสะท้อน แสง 0.88, ค่าการส่องผ่านแสง 0.07) เมื่อเทียบกับ วัสดุฝ้าเพดานธรรมดา อีกทั้งวัสดุผ้าใบเป็น วัสดุไม่ดูดซับความร้อนไว้ในตัววัสดุจึงไม่เป็นการ เพิ่มภาระการทำความเย็นกับพื้นที่ใช้งาน โดย การนำเสนอในบทความวิจัยนี้ จะเน้นไปที่เทคนิค การออกแบบการใช้ผ้าใบในด้านรูปทรงของฝ้า เพดานผ้าใบที่เลือกใช้ รัศมีความโค้ง ระยะการ ติดตั้ง ที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการกระจายแสง ธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ใช้งานภายใน รวมถึงการ ประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงสร้างผ้าใบรับแรงดึง (Ten- sile structure) ที่มีน้ำหนักเบา เพื่อไม่เป็นการเพิ่ม ภาระการรับน้ำหนักให้กับโครงสร้างหลักของ อาคารและสามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป เพื่อนำไปติดตั้งกับฝ้าเพดานอาคารที่ใช้งานแล้ว ได้ในภายหลัง โดยการประเมินประสิทธิภาพแสง ธรรมชาติจากผ้าใบฝ้าเพดานรูปทรงโค้ง ประกอบ

ด้วย ค่าความสว่างบนพื้นที่ใช้งาน ค่าความสม่ำเสมอของแสง และความสบายในการมองเห็น ในด้านค่าอัตราส่วนความสว่างสะท้อนจากผิววัสดุ รวมถึงประสิทธิภาพในการลดใช้พลังงาน ไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฝ้าเพดานและหิ้งสะท้อนแสงอาคารสำนักงานพื้นที่ใช้สอยร่วมกัน
2. วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ จากรูปทรงโค้งผ้าใบฝ้าเพดาน เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานที่ต้องการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ
3. เสนอแนวทางการออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงเบื้องต้น

2.1.1 พฤติกรรมการกระจายของแสง

แสงเมื่อเกิดการตกกระทบวัตถุใดๆ จะเกิดการสะท้อนกลับในทิศตรงข้าม โดยที่ความถี่คลื่นแสงจะไม่มีเปลี่ยนแปลงสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย

2.1.2 ความสว่าง (luminance)

สำหรับความสว่างในสำนักงาน มาตรฐานการกำหนดระดับความเข้มของแสงแตกต่างกันตามหน่วยงานแต่ละแห่ง สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้หลักเกณฑ์มาตรฐานความสว่างของ IESNA โดยความสว่างที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ในช่วง 200-1000 ลักซ์

2.1.3 ความสม่ำเสมอ (Uniformity : U)

$U = \text{ความเข้มแสงที่ต่ำสุด} / \text{ความเข้มแสงเฉลี่ย}$ (1)

2.1.4 อัตราส่วนความเปรียบต่าง

การเปรียบเทียบความสว่างของระนาบหรือวัตถุที่มองกับความสว่างบริเวณแวดล้อมส่งผลถึงความไม่สบายทางสายตาในการมองเห็น สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Luminance ratio} = L_o / L_w \quad (2)$$

โดยที่ L_o = ค่าความสะท้อนของช่องแสง

L_w = ค่าความสะท้อนของผนังรอบช่องแสง

ตารางที่ 1 ค่าอัตราส่วนความเปรียบต่าง

อัตราส่วน	พื้นที่
1:5 หรือ 5:1	ระหว่างชั้นงานกับสภาพแวดล้อมทั่วไป
1:10หรือ10:1	ระหว่างชั้นงานกับสภาพแวดล้อมที่ไกลออกไป
1:3 หรือ 3:1	ระหว่างชั้นงานกับสภาพแวดล้อมข้างเคียง

2.2 โครงสร้างผ้าใบรับแรงดึง

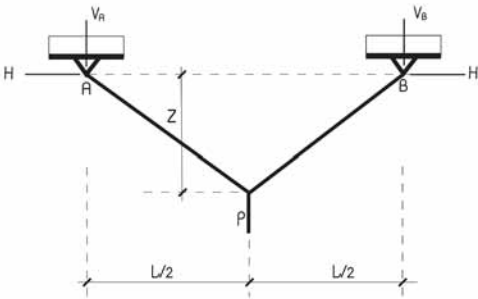
วัสดุผ้าใบที่ถูกนำมาใช้ในการรับแรงดึงของโครงสร้างนั้นได้มีการพัฒนาคุณสมบัติเกี่ยวกับแสงและความร้อนของตัววัสดุ เพื่อให้การเลือกใช้วัสดุผ้าใบสามารถนำมาใช้ในอาคารแบบถาวรได้มากขึ้น โดยการพัฒนาในส่วนของวัสดุผ้าใบจะพิจารณาในส่วนของที่นำมาสานเป็นผ้าใบเพื่อการรับแรง

2.2.1 การรับแรงของโครงสร้าง

โครงสร้างผ้าใบรับแรงดึงมีความสามารถในการรับแรงดึงที่ได้สูงแต่รับแรงอัดได้ต่ำ เมื่อ

นวัตกรรมกรรมการออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบทรงโค้งที่ใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน
ทิพวรรณ ลิ้มสัจจาพาณิชย์ และ ดร. ทิมลมาศ วรณคนาพล

โครงสร้างเข้าสู่สภาวะสมดุลของการรับแรง
ระนาบของวัสดุผ้าใบจะมีการเปลี่ยนรูปจากการ
รับแรงทั้งภายในโครงสร้างและแรงกระทำภายนอก
ผ้าใบรับแรงดึงนั้นจะเกิดพฤติกรรมที่ตอบสนอง
กับแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้เกิดการหย่อนของ
ตัวโครงสร้าง (sag) จากการศึกษาพบว่าค่า
การหย่อนที่โครงสร้างการรับแรงของผ้าใบไม่เกิน
ร้อยละ 10



รูปที่ 1 รูปแบบการรับแรงของโครงสร้าง

2.2.2 วัสดุผ้าใบ

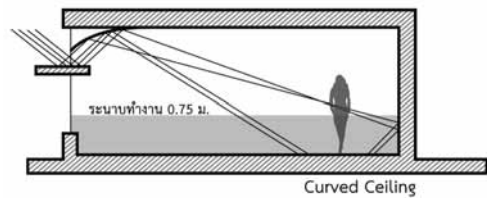
คุณสมบัติของวัสดุผ้าใบโพลีเอสเตอร์-พีวีซี
คุณสมบัติทั้งด้านแสงสว่าง ทั้งด้านการสะท้อน
การส่องผ่านที่เปรียบเสมือนตัวกระจายแสงใน
พื้นที่ใช้งาน ความสามารถในการสะท้อนแสงของ
วัสดุผ้าใบ (ค่าการสะท้อนแสง 0.88, ค่าการส่อง
ผ่านแสง 0.07) ที่จะช่วยให้แสงที่ผ่านเข้ามามี
ความสม่ำเสมอของพื้นที่ใช้งานเพราะผ้าใบ
สามารถสะท้อนได้ทั้งแสงตรงและแสงกระจาย
ส่วนความร้อนที่ถูกส่องผ่าน วัสดุผ้าใบมีความ
สามารถในการกั้นความร้อนในระดับหนึ่งและมี
การกักเก็บความร้อนที่พื้นผิวค่อนข้างน้อย การใช้
แผงสะท้อนแสงที่ประดิษฐ์จากวัสดุทั่วไป (ไกรฤทธิ,
2554)

ตารางที่ 2 น้ำหนักและการรับแรงของผ้าใบ

วัสดุผ้าใบ	น้ำหนัก(g/sq.m.)	Pre-stress(kN/m)
FT FE& ASS	800-1450	2.0 - 6.0

2.3 แนวความคิดการใช้ฝ้าเพดานผ้าใบ

แนวความคิดในการใช้เพิ่มประสิทธิภาพ
แสงธรรมชาติภายในอาคาร โดยใช้งานร่วมกับ
หิ้งสะท้อน เป็นวิธีการสะท้อนแสงธรรมชาติจาก
ภายนอกอาคารต่อจากหิ้งสะท้อนแสง สำหรับ
ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร
โดยผ่านการกระจายแสงของฝ้าเพดานต่อจากหิ้ง
สะท้อนแสง รูปแบบในการทำงานรูปแบบนี้ฝ้า
เพดานจะประพฤติตัวจนกลายเป็นแหล่งที่ใช้
ในการสะท้อนแสง (Source of reflected light) ที่
สำคัญให้แก่ภายในห้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน
ส่วนที่อยู่ห่างออกไปจากแนวของช่องเปิด



รูปที่ 2 แนวความคิดการใช้ฝ้าเพดาน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการใช้
แสงประดิษฐ์ด้วยการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้
ทดแทนโดยวิธีการใช้หิ้งสะท้อนแสง มีการศึกษา
ตัวแปรเรื่องขนาดของหิ้งสะท้อนแสงที่มีผล
ต่อประสิทธิภาพของแสง พบว่า การใช้หิ้งสะท้อน
แสงภายนอกจะช่วยให้ความสม่ำเสมอของแสง
เพิ่มขึ้น 0.1 และลดการใช้แสงประดิษฐ์ในพื้นที่
ได้ถึงร้อยละ 71 (Ho, 2008) เช่นเดียวกับงาน
วิจัยที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสง

สำหรับประเทศไทย (ทิพทัพบิม, 2555) มีผลสรุปสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้นที่พบว่า แสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกขึ้น 1.25 เมตร และมีการนำเสนอแนวทางการออกแบบเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์กับการใช้งานจริงได้ และเสนอสมการคำนวณระยะการตกกระทบของแสงแดดด้วยการใช้ profile angle

การศึกษารูปทรงของฝ้าเพดานมีผลกับประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้น คือ ฝ้าโค้งจะช่วยในการกระจายแสงต่อจากหิ้งสะท้อนแสงให้เข้าไปในได้ลึกมากยิ่งขึ้น โดยพบว่า รูปทรงโค้งของฝ้าเพดานนอกจากจะช่วยให้แสงเข้าสู่พื้นที่ได้ระยะที่ลึกขึ้นแล้ว สามารถช่วยลดการเกิดแสงบาดตาบริเวณใกล้ช่องเปิดได้จากการกระจายแสง (Freewan, 2010) ศึกษารูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่แบบโค้งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ได้ร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยการนำแสงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคารมาใช้เสริมกับหิ้งสะท้อนแสงเพื่อให้แสงธรรมชาติที่ระนาบทำงานได้ประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้น (ไกรฤกษ์, 2554) สามารถเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอจากกรณีปกติ (base case) ที่ใช้หิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบที่ช่องเปิดอย่างเดียวเพิ่มขึ้น 1.70 เมตร หรือร้อยละ 42.50 ในทิศเหนือและเพิ่มขึ้น 1.75 เมตร หรือร้อยละ 53.85 ในทิศใต้ ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.42 ต่อปี ในทิศเหนือและร้อยละ 12.40 ต่อปีในทิศใต้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

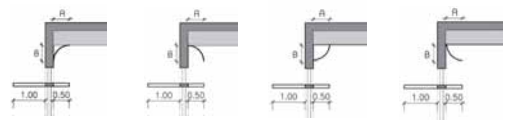
ระเบียบวิธีวิจัยได้กำหนดรูปทรงของฝ้าเพดานผ้าใบที่ใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง โดยการจำลองแสงด้วยโปรแกรม DIALux 4.11 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติด้วย

ฝ้าเพดานผ้าใบรูปทรงต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์การประเมินตามมาตรฐานของ IES พร้อมทั้งสรุปรูปแบบเพื่อเสนอแนวทางการออกแบบ

3.1 การกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบทรงโค้งของฝ้าเพดานผ้าใบ ตำแหน่งของฝ้าเพดานโค้งจากของหน้าตา

3.1.1 ตัวแปรที่ศึกษา: รูปทรงโค้งฝ้าเพดานผ้าใบ



Curve 1 Curve 2 Curve 3 Curve 4

รูปที่ 3 รูปทรงโค้งของฝ้าเพดานผ้าใบ

3.1.2 การเก็บข้อมูล

ประเมินผลข้อมูลจากสภาพอากาศและท้องฟ้าของวันที่ 21 ของเดือนมิถุนายน กันยายน และธันวาคม ช่วงเวลาในการพิจารณา คือ เวลา 10.00 น. และ 14.00 น. ที่เป็นเวลาใช้งานของสำนักงาน

3.2 ขั้นตอนการประเมินผล

3.2.1 การพิจารณาค่าความสว่าง

การพิจารณาระดับความสว่างที่เหมาะสมสำหรับห้องสำนักงานผังทำงานรวม ที่ระนาบทำงาน ระดับความสูง 0.75 เมตร กำหนดให้ปริมาณค่าความสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานอยู่ในช่วง 200-1000 ลักซ์ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้สายตา

3.2.2 การพิจารณาค่าความสม่ำเสมอ

ค่าความสม่ำเสมอที่เหมาะสมพิจารณาได้จากค่าความสว่างในแต่ละจุดของพื้นที่ภายใน

นวัตกรรมการออกแบบผ้าเพดานผ้าใบทรงโค้งที่ใช้งานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน
 ทิพวรรณ ลิ้มสัจจาพาณิชย์ และ ดร. ทิมลมาศ วรรณคนาพล

ห้องสำนักงาน โดยตำแหน่งในการพิจารณาที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงพาดเสาควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.3

3.2.3 การพิจารณาอัตราส่วนความแปรปรวน

คุณภาพแสงที่เหมาะสมควรมีอัตราส่วนความสว่างสะท้อนเกินกว่าที่เกณฑ์กำหนดเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่สบายทางสายตาผู้ใช้งาน

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการประเมินรูปแบบความโค้ง

4.1.1 ค่าความสว่าง

ผลการจำลองแสงที่มีปริมาณแสงที่มีค่าความสว่างผ่านเกณฑ์ 200 ลักซ์ จากรูปทรงโค้งของผ้าเพดานผ้าใบ พบว่า โค้งเว้าหันหน้าเข้าและออกจากช่องมีแนวโน้มที่ทำให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น

4.1.2 ค่าความสม่ำเสมอ

ค่าความสม่ำเสมอจากรูปทรงโค้งของผ้าเพดานผ้าใบแบบโค้งเว้านั้นทำให้บริเวณ 6 เมตร ใกล้ช่องเปิด มีค่าความสม่ำเสมอที่เพิ่มมากขึ้น

และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติที่เกิดจากรูปทรงโค้งของผ้าเพดานผ้าใบ สามารถสรุปรูปทรงโค้งเว้าทั้งสองรูปแบบเพื่อนำไปศึกษา ระยะความโค้งที่เหมาะสมต่อ

4.2 การประเมินประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติกรณีพื้นฐานกับกรณีออกแบบ

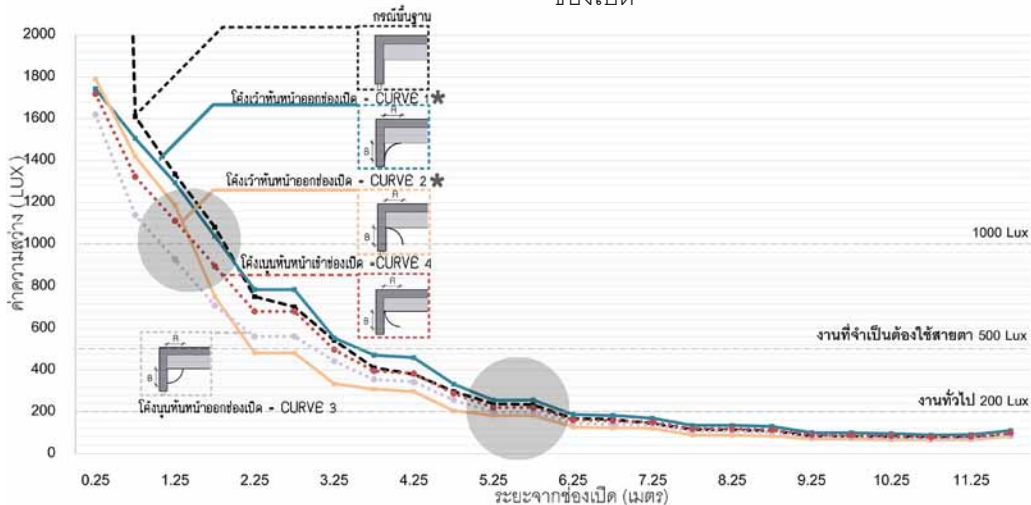
จากผลการจำลองทั้งหมด พิจารณาเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดคือรูปทรงโค้งเว้า 1/4 วงรี ที่มีค่า B = 0.50 เมตรและ A = 1.25 เมตร

4.2.1 ค่าความสว่าง

ค่าความสว่างของกรณีออกแบบที่ปริมาณแสงผ่านเกณฑ์ 200 ลักซ์ สามารถเข้าไปได้ระยะทางที่มากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐานถึง 1 เมตร และแสงที่เข้ามาได้ระยะลึกสูงสุด 6.25 เมตร คิดเป็น 3.43 เท่าระยะเหนือระนาบทำงาน

4.2.2 ค่าความสม่ำเสมอ

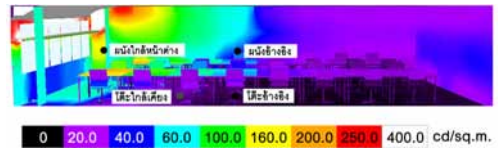
ค่าความสม่ำเสมอของแสงดีขึ้นกว่ากรณีพื้นฐานในทุกช่วงเวลาที่บริเวณ 6 เมตรแรกใกล้ช่องเปิด



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของรูปทรงโค้งของผ้าเพดานผ้าใบของวันที่ 21 มีนาคม สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน

4.2.3 อัตราส่วนความเปรียบต่าง (Luminance ratio)

ห้องที่มีความลึกมากทำให้แสงธรรมชาติเข้าไปไม่ถึงส่วนของโต๊ะทำงานด้านลึกเข้าไปในห้อง เมื่อมีการใช้ฝ้าเพดานผ้าใบรูปทรงโค้งที่มีประสิทธิภาพในการลดค่าความสว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดลง ส่งผลให้ค่าความสว่างสะท้อนจากผิววัสดุที่โต๊ะอ้างอิงกับผนังใกล้ช่องเปิดมีค่าแตกต่างกันไม่มาก และค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นบริเวณกลางห้องก็ช่วยให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีอัตราส่วนความเปรียบต่างผ่านเกณฑ์



รูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดค่าสะท้อนแสงของผิววัสดุ

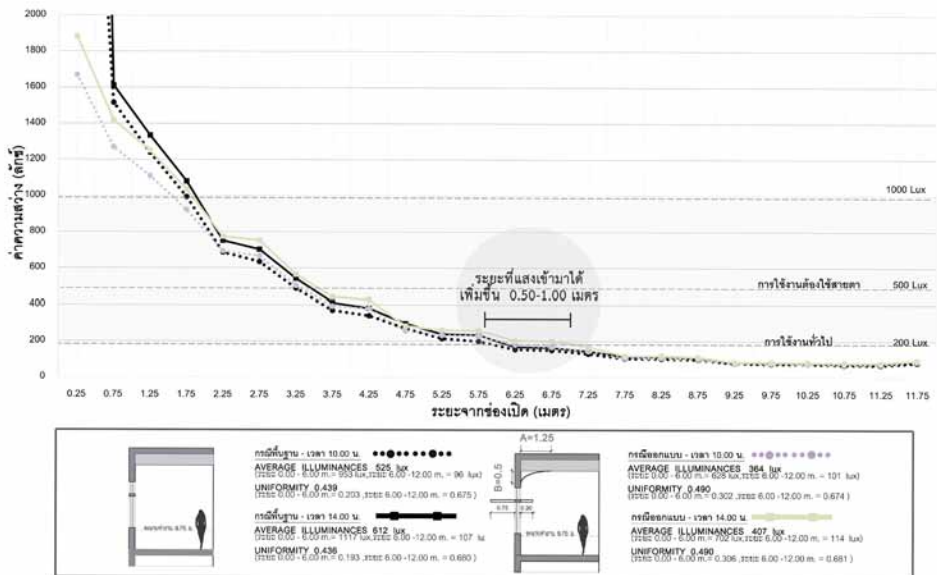


กรณีพื้นฐาน



กรณีออกแบบ

รูปที่ 6 อัตราส่วนความเปรียบต่างที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของการออกแบบฝ้าเพดานผ้าใบรูปทรงโค้งของวันที่ 21 มีนาคม สภาพที่ท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน

5. ข้อสรุปจากการทดลอง

ประสิทธิภาพรูปแบบของฝ้าเพดานผ้าใบโค้งเว้า $\frac{1}{4}$ วงรี หันหน้าออกจากช่องเปิด $B=0.5$ $A=1.25$ ที่ทำงานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงที่มีระยะยื่นของหิ้งสะท้อนแสงทั้งภายในและภายนอกเหมาะสม นอกจากสามารถช่วยเพิ่มค่าความสว่างที่ผ่านเกณฑ์ 200 ลักซ์ ให้ได้ระยะที่ลึกขึ้น 1.00 เมตร บริเวณกลางห้องยังช่วยลดค่าความสว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดที่ส่งผลต่อค่าความสม่ำเสมอและอัตราความแปรปรวนที่แสดงถึงที่มีบริเวณผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นส่งผลถึงความเหมาะสมสำหรับการใช้งานของพื้นที่สำหรับผู้ใช้งานมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ความโค้งที่เกิดขึ้นของผ้าใบจะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติ ดังนั้นแรงดึงในโครงสร้าง ควรจะมีค่าที่ทำให้ผ้าใบอยู่ในรูปทรงโค้งที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา

รายการอ้างอิง

- ไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม. (2546). ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 8(1), 21-37.
- ทิพทัตทิมา ภูมิพาณิชย์. (2555). ประสิทธิภาพแสงธรรมชาติจากการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดและหิ้งสะท้อนแสงเพื่อความสะดวกสบายในการมองเห็นและประหยัดพลังงาน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พิมลมาศ วรรณคนาพล. (2554). *แสงธรรมชาติเชิงบูรณาการเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศโรงเรียนอนุรักษ์พลังงาน*. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Freewan, A. A. (2010). *Maximizing the light-shelf performance by interaction between light-shelf geometries and a curved ceiling*. Jordan: Jordan University of Science and Technology.
- IESNA. (1999). *IESNA Lighting Education: Fundamental Level*. New York: Author.
- Ho, C. M. (2008). *Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms*. Taiwan: Architecture and Building Research Institute.

แนวทางการประมาณราคาการก่อสร้างอาคารโครงสร้างไม้ไผ่

Guidelines in Construction Cost Estimate of Bamboo Structural Buildings

สมหวัง รัตนพงศวัฒนา¹ และ ดร. สุปรีย์ดี ฤทธิรงค์²

Rattanapongwattana Somwang¹, and Rittironk Supreedee, Ph. D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: soangxsx@hotmail.com¹, supreedee@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

การประมาณราคาการก่อสร้างเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เพราะการประมาณราคาจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าโครงการนั้นมีความน่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ที่จะได้สร้างหรือไม่ ในปัจจุบันการประมาณราคาสามารถทำได้ด้วยสองวิธีหลัก ๆ วิธีแรก คือ การประมาณราคาต่อตารางเมตร และถัดมาคือการประมาณราคาแบบละเอียด เมื่อเรากล่าวถึงโครงสร้างไม้ไผ่ในประเทศไทย ก็ถือว่าไม่ใช่โครงสร้างใหม่ แต่ก็ไม่ใช่โครงสร้างที่พบได้โดยทั่วไป เนื่องจากเจ้าของโครงการโดยส่วนใหญ่ยังไม่มั่นใจกับโครงสร้างไม้ไผ่ เหตุผลหลักคือไม่สามารถคาดการณ์งบประมาณที่จะเกิดขึ้น ซึ่งในการจะประมาณราคาการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่ในปัจจุบันจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเป็นผู้ประเมินเท่านั้น ดหวยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเชิงลึกเพื่อหาสูตร หรือระบบที่จะใช้ในการประมาณราคาโครงสร้างไม้ไผ่ งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างอาคารไม้ไผ่ และงบประมาณที่ต้องใช้ในการสร้าง โดยจะนำกระบวนการทางสถิติเข้ามาเก็บข้อมูลอาคารไม้ไผ่ที่เคยสร้างมาแล้ว โดยทำการขอข้อมูลจากผู้รับเหมาโครงสร้างไม้ไผ่ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ภาคกลาง และภาคใต้ เพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูล หลังจากนั้นจะนำฐานข้อมูลที่ได้มาสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่-โครงสร้างอาคาร กับงบประมาณที่ต้องใช้ด้วยกระบวนการทางสถิติ โดยที่สมการที่ได้จะต้องสามารถอ้างอิงราคาค่าแรง และวัสดุในแต่ละพื้นที่ได้ งานวิจัยนี้จะช่วยให้เจ้าของโครงการสามารถวางแผนบริหารโครงการในภาพรวม เนื่องจากเจ้าของสามารถคาดเดาถึงงบประมาณที่จะเกิดขึ้นจริง ซึ่งเป็นการช่วยผลักดันให้โครงสร้างไม้ไผ่ในประเทศไทยให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

Abstract

Construction cost estimation is one of key components in construction. In present days, there are two common ways to do cost estimation. First is the estimation by cost per square area, and the second is the achieve successful cost estimation. Bamboo construction is not new in Thailand, However it has not been commonly built. One of many main factors are that people are unsure about building Bamboo structure. It is clearly that of the cost estimation of bamboo

construction requires exceptional skill and great precision. Because of this factor has a direct impact to the decision making of the developers or building owners, It is important to do deep study of how to make cost estimates of bamboo construction into formula or system, so that the precise estimate will provide more promotion to build with bamboo.

This research will study the relationship between bamboo structure and the budget. The collected data will be analyzed via statistic method to create a database of Bamboo building cost information. After that, the research will use that information to find statistic equation of relationship between Bamboo construction area and budget estimation. This equation will also evaluates the variations of material and labor in different regions. As a result, this research will help developers, owners, and construction managers entirely to decide whether the project will continue by a given budget estimate. In the end, the research will help to encourage having more Bamboo structure in Thailand.

คำสำคัญ (Keywords): อาคารโครงสร้างไม้ไผ่ (Bamboo Structural Building), การประมาณราคา (Cost Estimant), โครงสร้างไม้ไผ่ (Bamboo Structure)

1. บทนำ

การประมาณราคาค่าก่อสร้างเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาโครงการ เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นไปได้ทางการเงิน ในปัจจุบันการประมาณราคานั้นมีสองแนวทางหลัก ๆ หนึ่งคือ การประมาณราคาโดยผู้รับเหมา ซึ่งวิธีนี้มักจะทำหลังจากสถาปนิกออกแบบเสร็จสมบูรณ์แล้ว แต่วิธีนี้จะใช้เวลาค่อนข้างนาน แม้จะสามารถถอดราคาได้ละเอียดแม่นยำ และเกิดความคลาดเคลื่อนน้อย ส่วนวิธีที่สองเป็นการประมาณราคาแบบรวดเร็ว สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การประมาณโดยวัดจากหน่วยผลผลิตของอาคาร เช่น โรงงานสองโรงงานสามารถผลิตสินค้าชนิดเดียวกันได้ในปริมาณเท่ากัน ดังนั้น เราสามารถใช้งบประมาณในการสร้างโรงงานแรก มาทำนายงบประมาณที่ใช้สร้างโรงงานสองได้ แต่วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การประมาณราคาเทียบ

ต่อตารางเมตร การใช้วิธีนี้ผู้ถอดควรจะเป็นผู้มีประสบการณ์สูง รวมถึงควรนำราคาที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานในอดีต ไม่เช่นนั้นความคลาดเคลื่อนอาจจะสูงมากและส่งผลเสียต่อการประเมินโครงการ แต่ข้อดีคือสามารถทำได้ตั้งแต่แบบยังเป็นโครงร่าง ทำให้สามารถพิจารณางบประมาณที่จะต้องใช้ และวางแผนปรับขนาดของโครงการให้เหมาะสมกับงบประมาณ ระบบการประมาณราคาต่อตารางเมตรนั้น ยังไม่สามารถนำมาใช้ได้กับการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ เนื่องจากยังขาดข้อมูลที่จำเป็นหลายประการเช่น รูปแบบโครงสร้างที่ใช้อยู่ในประเทศไทย ทำให้ในปัจจุบันการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ ผู้ออกแบบต้องทำการออกแบบจนแล้วเสร็จ แล้วจึงค่อยส่งแบบให้ผู้รับเหมาประมาณราคาอย่างละเอียด และเมื่อได้งบประมาณแล้วหากเจ้าของมีงบประมาณไม่เพียงพอ ก็จำเป็นต้องระงับโครงการ ทำให้เสีย

เวลา และทรัพยากรไปโดยเปล่าประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะสร้างระบบการประมาณราคาการก่อสร้างโครงสร้างไม้ไผ่แบบรวดเร็ว โดยสามารถอ้างอิงราคาค่าแรง และวัสดุได้จากราคาตลาดปัจจุบัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการประมาณราคาการก่อสร้าง

ในการประมาณราคานั้นปัจจุบันประกอบด้วยสองวิธีหลัก คือ

2.1.1 การประมาณราคาอย่างละเอียด (Detail Estimating)

เป็นการประมาณโดยนำปริมาณวัสดุแรงงานที่ใช้มาคูณกับราคาในตลาด วิธีนี้มีความละเอียดแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือใช้เวลานานและต้องการแบบก่อสร้างที่มีความสมบูรณ์

2.1.2 การประมาณราคาอย่างรวดเร็ว (Pre-Tender Price Estimating)

ใช้วิธีการประมาณโดยใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องมาคาดเดาประมาณการก่อสร้าง ข้อดีคือสามารถทำได้ง่าย และรวดเร็ว แต่ข้อเสียคือ มีความคลาดเคลื่อนสูง และต้องให้ผู้มีประสบการณ์ในการประมาณราคา เนื่องจากต้องทำการตรวจสอบความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ที่ได้ มักใช้เป็นแนวทางในการตั้งราคากลาง และใช้ตรวจสอบความเหมาะสมของราคาที่ได้รับหมายยื่นประมูล โดยการประมาณแบบรวดเร็วสามารถแบ่งได้ย่อยได้เป็น 3 วิธี คือ

- วิธีผลผลิตเสร็จ ประมาณราคาค่าก่อสร้างจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ เช่น การประมาณราคาโรงงานน้ำอัดลมจากปริมาณน้ำอัดลมที่โรงงานนั้นผลิตได้

- วิธีอัตราส่วน ประมาณราคาค่าก่อสร้างจากสัดส่วนอาคาร เช่น ทำนายราคาการก่อสร้างโครงการสวนน้ำจากปริมาณน้ำที่กักเก็บได้

- วิธีมิติรูปร่าง ประมาณราคาค่าก่อสร้างจากหน่วยพื้นที่ก่อสร้าง เช่น พื้นผนัง พื้นที่พื้น พื้นที่หลังคา โดยจะอ้างอิงจากฐานข้อมูลในอดีตเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน

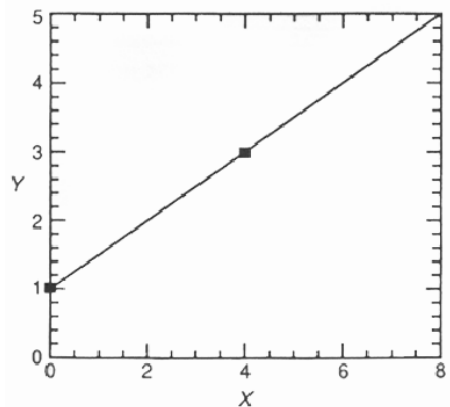
งานวิจัยนี้มุ่งหวังให้ได้สมการการประมาณราคาที่สามารถประมาณราคาอย่างรวดเร็วในรูปแบบของวิธีมิติรูปร่าง โดยใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประมาณราคาค่าก่อสร้าง

2.2 ทฤษฎีทางสถิติ

ในการนำสถิติมาใช้ในการประมาณราคาการก่อสร้าง ปัจจุบันมักนิยมใช้สถิติ 3 ชนิดประกอบด้วย

2.2.1 การวิเคราะห์แบบถดถอย

เป็นการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรในรูปแบบการทำนาย กล่าวคือใช้ค่าตัวแปรอิสระ (X) หรือตัวแปรทำนายในการหาค่าตัวแปรตาม (Y)



(ที่มา: Gwang-Hee Kim, Sung-Hoon An, & Kyung-In Kang, 2004)

รูปที่ 1 กราฟการวิเคราะห์แบบถดถอยอย่างง่าย

โดยสามารถเขียนสมการถดถอยอย่างง่ายได้
ดังนี้

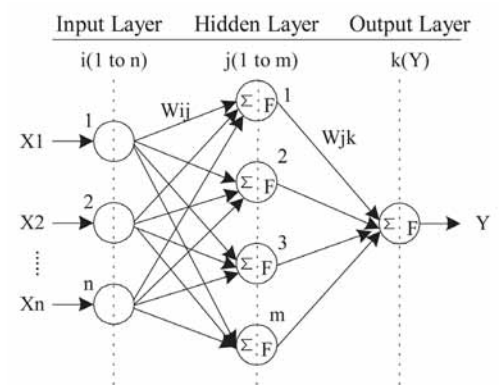
$$Y = c + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$$

โดยที่ $Y = \text{total estimate cost}$

x_1, x_2, x_3, x_n คือ ตัวแปรที่ใช้ประเมินราคา
เช่น พื้นที่ ผนัง พื้นทึ่พื้น เป็นต้น
 c คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย
 b คือ ค่าความชันของเส้นถดถอย Y ที่ถูก
ทำนายด้วย X

2.2.2 ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม

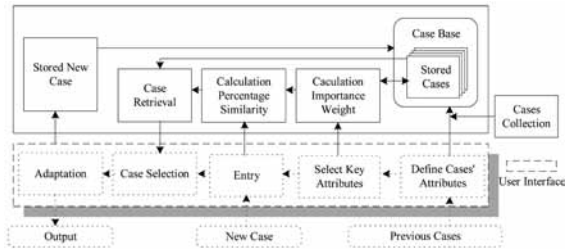
ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม คือ การ
เลียนแบบวิธีการแก้ปัญหาจากระบบประสาท
ของมนุษย์ โดยระบบจะสามารถจดจำและเรียนรู้
ปัญหาที่เคยผ่านมาได้ วิธีการคือ ผู้ใช้จะต้องป้อน
กรณีตัวอย่างที่มีลักษณะตรงกับโจทย์ที่ต้องการ
ให้ระบบทำงาน จากนั้นระบบจะเรียนรู้โดยการ
ถามผู้ใช้งานในรูปแบบ ใช่ ไม่ใช่ เกือบใช่ เกือบ
ไม่ใช่ เป็นต้น จากนั้นระบบนำคำตอบที่ได้ไปปรับ
ค่าถ่วงน้ำหนักเรื่อยๆ ดังนั้น ยิ่งผู้ป้อนกรณี
ตัวอย่างเพื่อสอนระบบมากเท่าไร ระบบก็จะยิ่งมี
ความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น



(ที่มา: Gwang-Hee Kim, Sung-Hoon An, Kyung-In Kang, 2004)
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงวิธีคิดทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม

2.2.3 การเรียนรู้จากประสบการณ์เดิม

มีหลักการทำงานคือ ใช้วิธีการเปรียบเทียบ
ปัญหาที่ต้องการแก้ไขกับฐานข้อมูลเก่าที่มี
อยู่เดิม โดยระบบจะทำการเลือกกรณีศึกษาที่มี
ลักษณะเหมือนกัน เพื่อดูวิธีการแก้ปัญหาในอดีต
จากนั้นก็ทำการปรับวิธีการแก้ปัญหาเดิมให้เข้า
กับปัญหาปัจจุบัน ดังนั้นยิ่งระบบมีฐานข้อมูลมาก
เท่าไรก็จะยิ่งมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งใน
การนำมาใช้ประมาณราคา จะเป็นลักษณะการ
เปรียบเทียบลักษณะอาคารที่ต้องการประมาณ
ราคากับในฐานข้อมูล เมื่อได้ระบบจะทำการปรับ
ราคาคกรณีศึกษาในอดีตให้เข้ากับกรณีศึกษาใหม่
ที่ต้องการ



(ที่มา: Gwang-Hee Kim, Sung-Hoon An, Kyung-In Kang, 2004)
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงวิธีคิดทฤษฎีการเรียนรู้จาก
ประสบการณ์เดิม

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยต่างๆ พบว่า การประมาณ
ราคาโดยใช้กระบวนการทางสถิตินั้นผลลัพธ์ที่
ได้มีความแม่นยำมากกว่าการใช้วิธีประมาณ
ราคาอย่างรวดเร็วโดยทั่วไป เนื่องจากราคามีการ
อ้างอิงจากฐานข้อมูลอาคารที่สร้างจริงในอดีต
และสามารถปรับค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (เช่น
ประเภทโครงสร้างอาคาร) ซึ่งส่งผลต่อราคาได้
ละเอียดกว่า จากงานวิจัยของ Gwang-Hee Kim
พบว่าความคลาดเคลื่อนจากการใช้สถิติ 3 ชนิด
ได้แก่ การวิเคราะห์แบบถดถอย, ทฤษฎีเครือข่าย

ประสาทเทียม และการเรียนรู้จากประสบการณ์เดิม จะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6.95%, 5.65% 4.81% ตามลำดับ โดยสถิติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประมาณราคามากที่สุด การวิเคราะห์แบบถดถอยเนื่องจากง่ายต่อการปรับปรุงฐานข้อมูล และผลที่ได้ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ ในขณะที่ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม และการเรียนรู้จากประสบการณ์เดิม แม้จะให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากกว่า แต่ยากในการปรับปรุงฐานข้อมูลจึงทำให้ไม่เหมาะในการนำมาใช้ในกระบวนการก่อสร้างที่ตัวแปรต่างๆ เช่น ราคาวัสดุ ค่าแรง มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษารูปแบบประเภท และกระบวนการก่อสร้างรวมถึงปริมาณวัสดุและราคาของอาคารโครงสร้างไม้ไผ่ ที่กำหนด
2. ศึกษาวิธีการและการประมาณราคาอาคารโครงสร้างไม้ไผ่
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างราคาการก่อสร้าง และทรัพยากรที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโครงสร้างไม้ไผ่
4. กำหนดแนวทางการประมาณราคาอาคารโครงสร้างไม้ไผ่ด้วยวิธีการทางสถิติ

4. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาและรวบรวมรูปแบบอาคารที่สร้างจากไม้ไผ่ในประเทศไทยเพื่อนำมาแยกประเภท และเก็บข้อมูลราคาการก่อสร้างอาคารเหล่านั้น เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการประมาณราคา โดยตัวแปรเหล่านี้จะต้องมีความสัมพันธ์กับราคาการก่อสร้าง เช่น พื้นที่ใช้งาน ประเภทโครงสร้างอาคาร พื้นที่ผิวหลังคา ฯลฯ วิเคราะห์หมวดหมู่

ของโครงสร้างอาคารหนึ่งหลังจะต้องพิจารณาว่าประกอบด้วยส่วนใดบ้าง เช่น หมวดงานฐานราก หมวดงานผนัง หมวดงานโครงสร้าง ฯลฯ จากนั้นจึงทำการสร้างสมการประมาณราคาแบ่งตามแต่ละหมวดหมู่ โดยใช้ตัวแปรทำนายหาค่าตัวแปรที่ต้องการ (ราคา)

จากการสำรวจอาคารไม้ไผ่ทั่วประเทศพบว่า มีอาคารที่เข้าเกณฑ์สามารถนำมาใช้ศึกษาได้จำนวนแปดอาคาร โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยละเอียดแล้วพบว่า ตัวแปรหมวดหมู่อาคารไม้ไผ่มีลักษณะต่างจากอาคารคอนกรีตทั่วไป บางตัวแปรสามารถตัดทิ้งได้ และจำเป็นต้องเพิ่มตัวแปรบางส่วนเช่นกัน โดยประกอบด้วย

- Y1 = ราคาหมวดงานฐานราก
- Y2 = ราคาหมวดงานโครงสร้างอาคาร
- Y3 = ราคาหมวดงานพื้น
- Y4 = ราคาหมวดงานผนัง
- Y5 = ราคาหมวดงานฝ้าเพดาน
- Y6 = ราคาหมวดงานหลังคา
- Y7 = ราคาหมวดงานทำสี และเคลือบผิวอาคาร

โดยตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อราคาการก่อสร้างของหมวดงานเหล่านี้ ประกอบด้วยตัวแปร 8 ตัวดังนี้

- X1 = พื้นที่ใช้งาน
- X2 = พื้นที่ผิว
- X3 = พื้นที่หลังคา
- X4 = ความหนาแน่นของโครงสร้างอาคาร
- X5 = จำนวนชั้น
- X6 = ความสูง
- X7 = ปริมาตร
- X8 = พื้นที่ปรับอากาศ

เมื่อนำตัวแปรอิสระมาใส่ในฟังก์ชัน $y=f(x)$ ของสมการวิเคราะห์การถดถอย การใส่ในตัวแปรอิสระที่ตามความสัมพันธ์ระหว่างราคา และตัวแปรอิสระทั้ง 8 ตัวว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ จากการศึกษาสามารถกำหนดความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างราคาและตัวแปรที่ใช้ในการประมาณราคา

ราคาการก่อสร้าง	ตัวแปรอิสระ
Y1	f(X1, X5, X6, X7)
Y2	f(X1.X2.X3.X4.X5.X6.X7)
Y3	f(X1.X5.X6.X7.X8)
Y4	f(X1.X2.X4.X5.X6.X7)
Y5	f(X1.X3.X4.X5.X6.X7.X8)
Y6	f(X2.X3.X4.X5.X6.X7)
Y7	f(X1.X2.X4.X5.X6.X7)

5. ผลการศึกษาเบื้องต้น

เมื่อนำข้อมูลอาคารโครงสร้างไม้ไฟ 8 อาคารที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ ผ่านกระบวนการวิเคราะห์แบบถดถอย โดยกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถสร้างสมการประมาณราคาแบ่งตามหมวดงานการก่อสร้าง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.1 หมวดงานฐานราก

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในหมวดงานฐานราก

SUMMARY OUTPUT										
Regression Statistics										
Multiple R	0.979851185									
R Square	0.960108745									
Adjusted R Sq	0.135966621									
Standard Error	1660.525494									
Observations	5									
ANOVA										
	df	SS	MS	F	Significance F					
Regression	4	60363499.88	15090874.97	8.02633115	#NUM!					
Residual	1	2257744.915	2257744.915							
Total	5	62621244.8								
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%		
Intercept	28157.68398	4805.283647	5.859124348	0.107617467	-32905.58695	89220.95491	-32905.58695	89220.95491		
พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	-155.2142714	39.80661685	-3.899207813	0.159824391	-661.0052949	350.576752	-661.0052949	350.576752		
จำนวนชั้น	0	0	0	0.65535	#NUM!					
ราคาชุด (ร.บ.)	-1658.654743	423.7133026	-3.91456849	0.159223119	-7042.442715	3725.132228	-7042.442715	3725.132228		
พื้นที่ (ตร.ม.)	13.22412042	3.503770762	3.774253887	0.164885693	-31.29550823	57.74374806	-31.29550823	57.74374806		

โดยสามารถสรุปสมการการประมาณราคา ในหมวดงานฐานรากได้ดังนี้

$$Y = f(X1, X5, X6, X7)$$

$$Y1 = 59042.25 + 149.84(x1) + 316.50(x5) - 885.03(x7)$$

5.2 หมวดงานโครงสร้างอาคาร

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในหมวดงานโครงสร้างอาคาร

SUMMARY OUTPUT										
Regression Statistics										
Multiple R	1									
R Square	1									
Adjusted R Sq	65535									
Standard Error	0									
Observations	5									
ANOVA										
	df	SS	MS	F	Significance F					
Regression	6	30899407104	5149901184	#NUM!	#NUM!					
Residual	0	0	65535							
Total	6	30899407104								
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%		
Intercept	3341.229935	0	65535	#NUM!	3341.229935	3341.229935	3341.229935	3341.229935		
พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	1083.653614	0	65535	#NUM!	1083.653614	1083.653614	1083.653614	1083.653614		
พื้นที่เฉลี่ยว (ตร.ม.)	205.2459487	0	65535	#NUM!	205.2459487	205.2459487	205.2459487	205.2459487		
จำนวนชั้นอาคาร	-7518.04147	0	65535	#NUM!	-7518.04147	-7518.04147	-7518.04147	-7518.04147		
ราคาชุด (ร.บ.)	0	0	0	0.65535	#NUM!					
พื้นที่ (ตร.ม.)	0	0	0	0.65535	#NUM!					
พื้นที่ (ตร.ม.)	-90.4611076	0	65535	#NUM!	-90.4611076	-90.4611076	-90.4611076	-90.4611076		

โดยสามารถสรุปสมการการประมาณราคา ในหมวดงานโครงสร้างอาคารได้ดังนี้

$$Y = f(X1, X3, X4, X5, X6, X7)$$

$$Y2 = 3341.23 + 1083.65(x1) + 205.25(x3) - 7518.04(x4) - 90.46(x7)$$

โดยที่ตัวแปร X5, X6 เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วพบว่า ไม่ส่งผลต่อราคาจึงทำการตัดทิ้ง

5.3 หมวดงานหลังคา

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในหมวดงานหลังคา

SUMMARY OUTPUT										
Regression Statistics										
Multiple R	1									
R Square	1									
Adjusted R Sq	65535									
Standard Error	0									
Observations	5									
ANOVA										
	df	SS	MS	F	Significance F					
Regression	6	9.26702E+11	1.5445E+11	#NUM!	#NUM!					
Residual	0	0	65535							
Total	6	9.26702E+11								
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%		
Intercept	131128.0148	0	65535	#NUM!	131128.0148	131128.0148	131128.0148	131128.0148		
พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	4684.393998	0	65535	#NUM!	4684.393998	4684.393998	4684.393998	4684.393998		
พื้นที่เฉลี่ยว (ตร.ม.)	1073.283956	0	65535	#NUM!	1073.283956	1073.283956	1073.283956	1073.283956		
จำนวนชั้นอาคาร	-38306.0337	0	65535	#NUM!	-38306.0337	-38306.0337	-38306.0337	-38306.0337		
ราคาชุด (ร.บ.)	0	0	0	0.65535	#NUM!					
พื้นที่ (ตร.ม.)	0	0	0	0.65535	#NUM!					
พื้นที่ (ตร.ม.)	-425.429455	0	65535	#NUM!	-425.429455	-425.429455	-425.429455	-425.429455		

โดยสามารถสรุปสมการการประมาณราคา
 ในหมวดงานหลังคาได้ดังนี้

$$Y3 = f(X1, X3, X4, X5, X6, X7)$$

$$Y3 = 131128.01 + 4684.39(x1) + 1073.28(x3) - 38306.03(x4) - 425.43(x7)$$

โดยที่ตัวแปร X5, X6 เมื่อทำการวิเคราะห์
 แล้วพบว่าไม่ส่งผลต่อราคาจึงทำการตัดทิ้ง

5.4 หมวดงานเบ็ดเตล็ด

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในหมวดงานเบ็ดเตล็ด

SUMMARY OUTPUT									
Regression Statistics									
Multiple R	1								
R Square	1								
Adjusted R Squa	65335								
Standard Error	0								
Observations	5								
ANOVA									
	df	SS	MS	F	Significance F				
Regression	4	9.26702E+11	2.31675E+11	#N/A	#N/A				
Residual	0	0	0	0	0				
Total	4	9.26702E+11							
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%	Lower 95.0%
Intercept	609820.9125	0	65335	#N/A	609820.9125	609820.9125	609820.9125	609820.9125	
พื้นที่ผืนดิน (ตร.ม.)	-1007.354226	0	65335	#N/A	-1007.354226	-1007.354226	-1007.354226	-1007.354226	
พื้นที่ผนัง (ตร.ม.)	793.425855	0	65335	#N/A	793.425855	793.425855	793.425855	793.425855	
พื้นที่ฝ้า (ตร.ม.)	715.9767085	0	65335	#N/A	715.9767085	715.9767085	715.9767085	715.9767085	
พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	-54114.6043	0	65335	#N/A	-54114.6043	-54114.6043	-54114.6043	-54114.6043	

โดยสามารถสรุปสมการการประมาณราคา
 ในหมวดงานเบ็ดเตล็ดได้ดังนี้

$$Y4 = f(X1, X2, X3, X4)$$

$$Y4 = 609820 - 1007.35(x1) + 793.43(x2) + 793.43(x3) - 54114.60(x4)$$

6. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูล อาคารโครงสร้างไม้ไผ่ของประเทศไทยทำให้ผู้วิจัยสามารถสร้างสมการการประมาณราคาอาคารโครงสร้างไม้ไผ่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์แบบถดถอยได้ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

- หมวดงานฐานราก
- หมวดงานโครงสร้างอาคาร
- หมวดงานหลังคา
- หมวดงานเบ็ดเตล็ด

ผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบการใช้ตัวแปรอิสระ (x) ทำนายค่าตัวแปรต้น (Y) ซึ่งในที่นี้คือราคาการก่อสร้างอาคารที่เราต้องการ โดยผู้วิจัยจะต้องนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมการนี้ ไปตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน โดยนำไปเปรียบเทียบกับอาคารที่เคยสร้างจริงเพื่อให้ผู้อ่านได้นำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้ง่ายต่อการนำไปใช้สำหรับบุคคลทั่วไป เนื่องจากใช้เพียงข้อมูลเบื้องต้นในการประมาณราคา เช่น พื้นที่ รูปแบบอาคารที่ต้องการเป็นต้น ต่างจากการประมาณแบบมิติพื้นที่ ที่ต้องใช้ความชำนาญและมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

รายการอ้างอิง

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ และ กรรณิการ์ สุขเกษม. (1992). *การวิเคราะห์การถดถอย: แนวคิด วิธีการ และการประยุกต์ใช้*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เลี้ยงเตี้ยง.

วิเชียร เกตุสิงห์. (1983). *สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2011). *สถิติสำหรับงานวิจัย*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Gwang-Hee Kim, Sung-Hoon An, Kyung-In Kang. (2004). *Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning*. Korea University. Department of Architectural Engineering.

ปรารภ ผดุงไทย. (2544). *แบบจำลองการประมาณราคาอาคารสำหรับการตั้งงบประมาณ. ปริญาญวศิวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.*

ชาญชัย วรธาณสิน. (2544). *การประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงพันธ์ อิศโรทัยกุล. (2541). *ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบและประมาณราคาในเบื้องต้นสำหรับอาคารขนาดกลาง*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประจักษ์ หล้าจางวาง. (2554). *การประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่แบบรวดเร็วโดยใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างประกอบ*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงเพื่อสร้างค่ามาตรฐานกลางของวัสดุ และการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างสำหรับอาคารสาธารณะ

Mechanical Properties of Dendrocalamus Asper to Determine the Material Property Standard and Applications in Public Buildings

สุภิญญาลักษณ์ จันทรวงศ์¹ และ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์²

Supinyaluck Jantarawong¹, and Rittironk Supreedee, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: supin.t10@gmail.com¹, supreedee@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

ไผ่ตงเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม แต่วัสดุที่ได้รับความนิยมน้อยเนื่องจากขาดความน่าเชื่อถือในการเป็นวัสดุโครงสร้าง คนส่วนใหญ่มีความเห็นว่าโครงสร้างไผ่ตงเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง และเป็นโครงสร้างชั่วคราว ส่งผลให้ไผ่ตงในประเทศไทยถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพและไม่หลากหลาย งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO (22157-1) โดยศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากภูมิภาคสำคัญในประเทศไทย จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นตัวแทนไผ่ตงจากภูมิภาคตะวันออก และไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี เป็นตัวแทนไผ่ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลดังนี้ ค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ 16.38% ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ที่ 606.55 kg/m³ ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นใยอยู่ที่ 46.38 MPa ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานเฉือน กรณีที่มีข้อเท่ากับ 8.90 MPa กรณีไม่มีข้อเท่ากับ 6.64 MPa และค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 114.04 MPa ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของไผ่ตงที่นำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม้ไผ่ต่อไป

Abstract

Bamboo has become the alternative material in structural architecture but it's less popular because people still are skeptical about the long-life duration. In Thailand, most people think about bamboo structure that it's not last long and it's just a temporary structure. Thus, bamboo cannot be utilized at its full potential and variety. This research performs testing for the mechanical properties of Pai-Tong (Dendrocalamus asper), collected from different regions in Thailand. The mechanical properties are compared to other research obtained from ISO (22157-1). The test results, Pai-Tong from Prachin Buri (Eastern) and Ubon Ratchathani (Northeast), appear the

average of physical properties as follows: the average moisture content is 16.38% and the average density is 606.55 kg/m³. And the average of mechanical properties appears as follows: the average compressive stress is 46.38 MPa, the average shear strength is 8.9 MPa with a node and 6.64 MPa without node and the average tensile strength is 114.04 MPa. These properties will provide as a guideline of the strength and application in the bamboo structural design.

คำสำคัญ (Keywords): ไม้ต่ง (Dendrocalamus Asper), คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties), มาตรฐาน ISO (ISO (22157-1)), วัสดุทางเลือก (Alternative Material), โครงสร้างไม้ต่ง (Bamboo Structure)

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไม้ต่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนคอนกรีตและเหล็กได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ปลูกง่าย โตเร็ว ส่งผลสภาวะโลกร้อนน้อย สำหรับในประเทศไทยสถาปัตยกรรมไม้ต่งกำลังได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาในเชิงโครงสร้างมากขึ้น แต่ในด้านของความนิยมในการเป็นวัสดุโครงสร้าง ไม้ต่งถือว่าเป็นวัสดุที่ได้รับการยอมรับน้อย เนื่องจากขาดความน่าเชื่อถือในการเป็นวัสดุโครงสร้าง ส่งผลให้ไม้ต่งในประเทศไทยถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานสถาปัตยกรรมไม่เต็มประสิทธิภาพและไม่หลากหลาย จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงนำไปสู่การวิจัยครั้งนี้ ซึ่งศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ต่ง โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO (22157-1) ที่ได้กำหนดไว้ และเลือกที่จะศึกษาเฉพาะไม้ต่ง เนื่องจากไม้ต่งเป็นไม้ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในงานโครงสร้างมากที่สุด ในการวิจัยจะทำการทดสอบไม้ต่งจากภูมิภาคสำคัญในประเทศไทย เพื่อหาค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลและกำหนดเป็นค่ามาตรฐานของวัสดุที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของไม้ต่งในแต่ละภูมิภาคสำคัญของประเทศไทย และการนำไม้ต่งมาใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลไม้ต่งตามการสอบที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 22157-1
3. กำหนดค่ามาตรฐานกลางของวัสดุเพื่อการนำไม้ต่งไปใช้ในงานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยที่สนใจและศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ต่ง โดยทำการทดสอบค่าคุณสมบัติต่างๆตามที่ ISO (22157-1) ได้กำหนดไว้ แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยที่ศึกษานั้น ได้ศึกษาไม้ต่งจากแหล่งที่มีเพียงแหล่งเดียว ค่าคุณสมบัติที่ได้จึงเป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะไม้ต่งจากแหล่งที่นำมาทดสอบนั้นๆ โดย 80% ของไม้ต่งที่ทำการทดสอบเป็นไม้ต่งจากจังหวัดปราจีนบุรี

คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตงที่พบจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตง

คุณสมบัติทางกายภาพ	1	2	3	4
เส้นผ่านศูนย์กลาง				
กลางภายนอก (mm.)	113.2	92.5	-	85.3
ความหนาเนื้อไม้ (mm.)	12.2	11.1	-	12.7
ความชื้น. (%)	11.0	11.0	19.98	11.7
ความหนาแน่น, (kg/m ³)	-	767	-	797.95
การหดตัว, (%)				
ตามยาว	0.21	0.1	-	-
ความหนา	-	4.2	-	-

หมายเหตุ: 1. รุติกุล (2540); 2. สุชาติ(2547); 3. พัชริกา(2554);
4. เอกลักษณ์ (2554)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตง

คุณสมบัติเชิงกล	1	2	3	4
การต้านทานแรงอัด				
ขนาดเส้น, (MPa)	67	68.5	34	6.8
การต้านทานแรงเฉือน				
ขนาดเส้น, (MPa)				
มีข้อ	-	9.80	34.68	10.60
ไม่มีข้อ	14	9.40	35.16	9.30
การต้านทานแรงดึง, (MPa)	-	96	61.8	61.8
การต้านทานแรงดัด, (MPa)	-	84.0	-	91.8
โมดูลัสของการยืดหยุ่น, (MPa)	12,530	59,500	22,854	16,319

หมายเหตุ: 1. รุติกุล (2540); 2. สุชาติ (2547); 3. พัชริกา (2554);
4. เอกลักษณ์ (2554)

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 การคัดเลือกไม้ตง

ในงานวิจัยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มไม้ตงจากภูมิภาคที่สำคัญ 2 ภูมิภาค ได้แก่ ไม้ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นตัวแทนไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออก และไม้ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี เป็นตัวแทนไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยทำการคัดเลือกไม้ตงที่มีอายุ 3-4 ปี เป็นไม้ที่ผ่านการถนอมเนื้อไม้ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 9-12 เซนติเมตร จากการคัดเลือกไม้ตง ได้ไม้ตงที่นำมาทำการทดสอบ ทั้งหมด 20 ลำ ภูมิภาคละ 10 ลำ โดยเลือกใช้เฉพาะส่วนกลางของลำไม้ตง

3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 การทดสอบความชื้น (Moisture Content)

นำกลุ่มตัวอย่างไม้ตงมาตัดเป็นชิ้นขนาด 2.5x2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูล น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักของไม้ตงสภาพสด จากนั้นนำไปทำการอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักสภาพแห้ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 1

$$MC (\%) = (m - m_0) / m_0 \times 100 \quad (1)$$



รูปที่ 1 ตัวอย่างไม้ตงในการทดสอบความชื้น
ซ้าย: ไม้ตงจากอุบลราชธานี ขวา: ไม้ตงจากปราจีนบุรี

3.2.2 การทดสอบความหนาแน่น (Mass by Volume)

นำกลุ่มตัวอย่างไม้ไม้มาตัดเป็นชิ้นขนาด 2.5x2.5 เซนติเมตร วัดปริมาตรและบันทึกข้อมูล นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักครั้ง น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักสภาพแห้ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 2

$$\text{ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} = (m/V) \times 10^6 \quad (2)$$

3.2.3 การทดสอบการหดตัว (Shrinkage)

นำกลุ่มตัวอย่างไม้ไม้มาตัดให้มีมีความสูง 10 เซนติเมตร โดยวัดจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ ความหนาของเนื้อไม้ 4 ด้าน และความยาวของไม้ไม้ที่ทดสอบ จากนั้นนำไม้ไม้ไปทำการอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ ความหนาของเนื้อไม้ 4 ด้าน และความยาวของไม้ไม้อีกครั้ง เพื่อคำนวณหาการหดตัว ดังสมการที่ 3

$$\text{การหดตัว(\%)} = (l - F)/l \times 100 \quad (3)$$

3.2.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

(Compression)

ใช้ไม้ไม้เต็มลำจากส่วนตรงกลางของลำไม้ โดยเป็นส่วนที่ไม่ติดกับข้อไม้และมีความสูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้ไม้ทดสอบ จากนั้นนำไม้ไม้ที่ทดสอบไปวางตรงกลางของหัวจับ ดังรูปที่ 2 โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยน ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ลำไม้ไม้แตก บันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด และระยะเวลาเริ่มกระทำจนกระทั่งไม้ไม้แตกหัก เพื่อนำไปคำนวณหา กำลังต้านทานแรงอัด ดังสมการที่ 4

$$\text{Compressive Stress (MPa)} = F_{ult} / A \quad (4)$$



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังต้านแรงอัด

3.2.5 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear)

ใช้ไม้ไม้เต็มลำจากส่วนตรงกลางของลำไม้ โดยเป็นส่วนที่ไม่ติดกับข้อไม้ 50% และส่วนที่ติดกับข้อไม้ 50% ของจำนวนชิ้นทดสอบทั้งหมด และมีความสูงเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ โดยวัดความหนาเนื้อไม้ (t) และความยาวของลำไม้ไม้ (L) ที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นนำไม้ไม้ที่ทดสอบไปวางตรงกลางของหัวจับ ดังรูปที่ 3 โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเสี้ยน ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวกดให้ลำไม้ไม้ขาดออกจากกัน บันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหา ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear) ดังสมการที่ 5

$$\text{Shear Strength (MPa)} = F_{ult} / \sum(t \times L) \quad (5)$$



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังต้านแรงเฉือน

3.2.6 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง (Tension)

ในการทดสอบนี้จะใช้ไม้ไผ่ทั้งลำแต่จะใช้ชิ้นไม้ไผ่ที่มีขนาดดังนี้ ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ความหนาเท่ากับความหนาของเนื้อไม้ไผ่ และความยาว 40 เซนติเมตร โดยทุกชิ้นที่ทดสอบต้องมีส่วนของข้ออยู่ตรงกลาง วัดขนาดหน้าตัดบริเวณที่รับแรงดึง จากนั้นนำชิ้นไม้ไผ่ใส่ในหัวจับดังรูปที่ 5 โดยให้ทิศทางของแรงขนานกับเส้นทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วของหัวดึงให้ชิ้นลำไม้ไผ่ขาดออกจากกัน บันทึกค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังต้านแรงดึง ดังสมการที่ 6

$$\text{Tensile Strength (MPa)} = F_{\text{ult}} / A \quad (6)$$



รูปที่ 4 การทดสอบกำลังต้านแรงดึง

4. ผลการศึกษา

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงตัวแทนจาก 2 ภูมิภาค คือ ไม้ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นตัวแทนไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออก และไม้ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี เป็นตัวแทนไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ตงตัวแทนจาก 2 ภูมิภาค

คุณสมบัติทางกายภาพ	1	2
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก, (mm.)	10.3	11.1
ความหนาเนื้อไม้, (mm.)	12.25	16.82
ความชื้น, (%)	20.33	12.42
ความหนาแน่น, (kg/m ³)	667.30	545.80
การหดตัว, (%)	-	-

หมายเหตุ: 1. ไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออก

2. ไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตงตัวแทนจาก 2 ภูมิภาค

คุณสมบัติเชิงกล	1	2
การต้านทานแรงอัด		
ขนาดเฉลี่ย, (MPa)	41.52	51.24
การต้านทานแรงเฉือน		
ขนาดเฉลี่ย, (MPa)		
มีข้อ	8.79	9.01
ไม่มีข้อ	6.02	7.26
การต้านทานแรงดึง, (MPa)	130.34	97.75

หมายเหตุ: 1. ไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออก

2. ไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

5. วิเคราะห์และสรุปผล

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ว่า ไม้ตงจากทั้ง 2 แหล่งคือ ไม้ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นตัวแทนของไม้ตงจากภาคตะวันออก และไม้ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นตัวแทนของไม้ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลดังนี้ ค่าเฉลี่ยของความชื้นอยู่ที่ 16.38% ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นเนื้อไม้อยู่ที่ 606.55 kg/m³ ค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงอัดขนานเส้นใยอยู่ที่ 46.38 MPa ค่าเฉลี่ยกำลัง

ด้านทานเฉือน กรณีที่มีข้อ 8.90 MPa กรณีไม่มีข้อ 6.64 MPa และค่าเฉลี่ยกำลังต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 114.04 MPa ทางคุณสมบัติทางกายภาพของไผ่ตงจากทั้ง 2 แหล่ง พบว่า ไผ่ตงจากจังหวัดอุบลราชธานี เป็นตัวแทนไผ่ตงจากภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเนื้อไม้มากกว่าไผ่ตงจากจังหวัดปราจีนบุรี เป็นตัวแทนไผ่ตงจากภูมิภาคตะวันออก แต่มีค่าความชื้นและความหนาแน่นน้อยกว่า ทั้งนี้จากการทดสอบการหดตัวของไผ่ตงทั้ง 2 พบว่า ไม่มีค่าการหดตัวกล่าวคือไผ่ไม่มีการหดตัวเมื่อได้รับความร้อน เนื่องจากไผ่ที่นำมาทดสอบนี้ได้รับการถนอมเนื้อไม้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งกระบวนการได้ใช้ความร้อนในการถนอมเนื้อไม้ ไผ่ไผ่จึงหดตัวตั้งแต่กระบวนการถนอมเนื้อไม้

ผลจากการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบโครงสร้างไม้ไผ่เนื่องจากค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลบ่งบอกถึงความแข็งแรงของไผ่ตง สามารถนำค่าคุณสมบัติที่ได้ไปใช้ในการจำลองโครงสร้างไม้ไผ่โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองและทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสถาปัตยกรรมไม้ไผ่

6. ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบไผ่ตงเพียง 2 แหล่งเท่านั้น ดังนั้นเพื่อการสร้างค่าคุณสมบัติให้เป็นค่ามาตรฐานจึงทำการศึกษาและทดสอบตัวอย่างไผ่ตงจากภูมิภาคอื่นๆ ต่อไป

รายการอ้างอิง

- ฐิติกุล ภาคศิริ. (2540). *สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไผ่ตง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (วนศาสตร์), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชริกา ประสงค์พรสกุล. (2554). *การศึกษาพฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสาไม้ไผ่*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกลักษณ์ ตงยนต์. (2554). *พฤติกรรมการรับแรงดัดของไผ่ตง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาติ ไทยเพชร. (2547). *Physical and Mechanical Properties of Five Bamboo Species in Thailand*. Royal Forest Department, กรุงเทพฯ.
- สอาด บุญเกิด. (2528). *ไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย*. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- กานต์ คำแก้ว. (2546). *ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลื่อนหาย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปกร.
- Albermani, F., Goh, G.Y. and Chan, S. L. (2006). *Lightweight bamboo double layer grid system*. Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
- Andry Widyowijitnoko. (2012). *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction*. Doctor of Engineering, Faculty of Architecture of the RWTH Aachen University.
- Vege sack, Alexander von and Kries Mateo. (2000). *Grow your own house-Simon Velez and bamboo architecture*. pp. 97-142.
- ISO. (2004). *Bamboo-Determination of Physical and Mechanical Properties*. ISO 22157-1:2004(E). International Organization for Standardization, Switzerland.

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบ
โปร่งแสงร่วมกับการออกแบบช่องแสงอาคาร
Performance Of Building Integrated Photovoltaics (BIPV) with
Skylight Design

กฤษณะพันธุ์ ตันเจริญรัตน์¹ และ ดร. จตุวัฒน์ วโรตมพันธ์²
Kritsanapan Toncharoenrat¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: l2ukaow80@gmail.com¹, vjatuwat@umich.edu²

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้กระจกในการออกแบบช่องแสงหลังคาได้รับความนิยมสูงขึ้นโดยเฉพาะช่องแสงบริเวณพื้นที่โถงในห้างสรรพสินค้า ที่มีการออกแบบช่องแสงขนาดใหญ่ เพื่อที่จะนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารได้ในปริมาณมาก สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากหลอดไฟในอาคาร แต่การเจาะช่องแสงส่วนบนทำให้ความร้อนเข้าสู่อาคารมากขึ้น ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นนำมาซึ่งข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ และขนาดช่องแสงที่อาจไม่ตอบสนองของความต้องการ ขณะเดียวกัน กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงได้มีการพัฒนาและกลายเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ยินยมนำมาใช้ออกแบบร่วมกับช่องแสงอาคาร การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงในด้านการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร ที่ก่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมมาใช้ในการออกแบบช่องแสงอาคาร โดยเปรียบเทียบกับกระจกใส และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ การศึกษาจะทำการทดลองในโปรแกรมจำลอง eQuest 3.64 ซึ่งสามารถจำลองการใช้พลังงาน และค่าความส่องสว่างในอาคาร ผลการศึกษากระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงสามารถลดการใช้พลังงาน และให้ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งาน อีกทั้งช่วยให้สามารถขยายพื้นที่ช่องแสงหลังคาได้มากขึ้นด้วย

Abstract

Nowadays the application of glazing in skylight design becomes more common, particularly among department store atriums equipped with large skylights to enable much natural light penetrating into buildings in a bid to reduce the amount of indoor electricity in daytime. Skylight installation, however, can contribute to heat gain in the buildings and even result in the higher workloads of air-conditioners. In addition, some skylights may not entirely meet the requirements due to limitations of installation area and dimensions. As a result, Building Integrated Photovolta-

ics (BIPV) has been developed and become an alternative which is generally applied to skylight design. The objective of the research is to study efficiency of Building Integrated Photovoltaics in terms of allowing the entry of natural light into buildings by comparing it to clear glass and Low-E glass in an attempt to explore appropriate skylight design and materials. The study was implemented through eQuest 3.64 simulation program which provides simulation of energy consumption and indoor luminance. Research finding was that Building Integrated Photovoltaics could reduce energy consumption and provide applicable levels of luminance as well as enabling an extension of skylight dimensions.

คำสำคัญ (Keywords): ช่องแสงส่วนบน (Skylight), กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง (Building Integrated Photovoltaics), (Light Thru Solar cell), กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E Glass), โปรแกรมจำลอง eQuest 3.64 (eQuest software version 3.64)

1. ที่มาและความสำคัญ

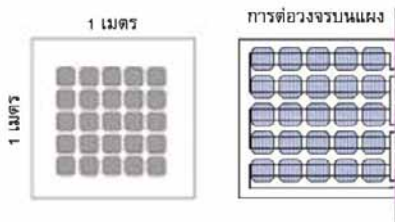
การออกแบบช่องแสงหลังคาในปัจจุบัน สถาปนิกส่วนใหญ่นิยมที่จะออกแบบช่องแสง ให้มีพื้นที่ขนาดใหญ่โดยเฉพาะช่องแสงบริเวณพื้นที่ โถง เพื่อที่จะนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารได้ ในปริมาณมาก เพื่อลดภาระการใช้ไฟฟ้าจากแสง ประดิษฐ์ของหลอดไฟภายในอาคาร แต่ผลที่ตามมาเนื่องจากการเปิดช่องแสงเป็นพื้นที่กว้างนั้น จะส่งผลทำให้ความร้อนเข้าสู่อาคารในปริมาณ มากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลให้เกิดการเพิ่มภาระการ ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในมากขึ้น แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีทาง ด้านกระจกที่ช่วยลด และป้องกันความร้อนเข้าสู่ อาคาร แต่อย่างไรก็ตามการเปิดพื้นที่ช่องแสง เป็นบริเวณกว้างก็ส่งผลทำให้ความร้อนผ่านเข้า มาได้อยู่ดี ประกอบกับภูมิอากาศของประเทศไทย ที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้การออกแบบช่องแสง หลังคามีข้อจำกัดในเรื่องขนาดพื้นที่ช่องช่อง แสงที่ออกแบบ ไม่สามารถที่จะเปิดช่องแสงเป็น บริเวณกว้างได้ตามที่ต้องการ

ขณะเดียวกันกระจกพลังงานแสงอาทิตย์ แบบโปร่งแสงได้มีการพัฒนา และกลายเป็นตัว เลือกรายหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ออกแบบร่วมกับช่องแสง อาคาร เพื่อต้องการที่จะนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัว อาคาร และนำความร้อนจากดวงอาทิตย์ มาผลิต กระแสไฟฟ้ามาใช้กับอาคาร เพื่อลดค่าใช้จ่ายจาก การใช้ไฟฟ้าภายในอาคารลง กระจกดังกล่าวเป็นที่ นิยมนำมาใช้กับอาคารในหลายประเทศในยุโรป และปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเข้ามาใช้กับอาคารใน ประเทศไทยมากขึ้น แต่ทั้งนี้กระจกพลังงานแสง อาทิตย์แบบโปร่งแสง มีต้นทุนในการลงทุนสูงรวม ถึงรูปแบบของกระจกชนิดนี้มีหลายรูปแบบ แต่ละ รูปแบบของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ก็มีระยะ ห่างระหว่างเซลล์แตกต่างกัน ทำให้แสงธรรมชาติ ที่ผ่านกระจกเข้ามาจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ด้วย การวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง ในด้านการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร ที่ก่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อหารูป แบบที่เหมาะสมมาใช้ในการออกแบบช่องแสง อาคาร

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง (Light Thru Solar cell)

กระจกพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดที่นำมาวิจัย มีขนาด 1x1 เมตร มีระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 มิลลิเมตรโดยรูปแบบที่นำมาวิจัยจะ มีจำนวนแผงเซลล์ทั้งหมด 25 แผงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวม 55 วัตต์ โดยมีราคาอยู่ที่ 210 บาท/วัตต์ หรือ 11,550 บาท/ตร.ม.



รูปที่ 1 กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง

2.2 ระดับความส่องสว่าง

ความส่องสว่าง (illuminance) คือ ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องมากระทบวัตถุหรือระนาบใด ๆ ที่ต้องการศึกษามีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือลูเมนต่อตารางเมตร (ถ้ามีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางฟุต ความสว่างจะเป็นฟุตแคนเดิล)

พื้นที่สว่าง	CIE	IES	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750V
ห้องเรียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750V
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500V
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500V
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500V
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	500-750	500-750-1000	500V
สถานเคอร์	200-300-500	200-300-500	200V
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องลิโอบนหรือลิโอบนชั้น	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F

ที่มา: สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2548

รูปที่ 2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS

Recommended illuminance targets in footcandles

Area or activity	Under 25	25-65	Over 65
Passageways	2	4	8
Conversation	2.5	5	10
Grooming	15	30	60
Reading/Study	25	50	100
Kitchen Counter	37.5	75	150
Hobbies	50	100	200

ที่มา : <http://www.ies.org/>

รูปที่ 3 ค่าความส่องสว่างแยกตามอายุของผู้ใช้งาน เพื่อนำมากำหนดเกณฑ์ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานในงานวิจัยโดยอยู่ที่ 50 ถึง 2200 ลักซ์

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การหาค่าความส่องสว่างของแสง และการหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงอาคารที่มีการใช้กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง เปรียบเทียบกับโรงอาคารที่ติดตั้งกระจกใสลามิเนต และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ

3.1 เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองด้านพลังงานและแสงสว่าง จะใช้โปรแกรม eQuest 3.64 ในการทดลองทั้งหมด

3.2 ระบุค่าตัวแปรในการทดลอง

ในการศึกษานี้จะศึกษารูปแบบของโรงอาคารห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร โดยเน้นเฉพาะโรงที่มีการออกแบบช่องแสงหลังคาเท่านั้น เพื่อกำหนดรูปแบบโรงมาตรฐานในการทดลองให้มีพื้นที่เฉลี่ยใกล้เคียงและสอดคล้องกับความจริงที่สุด

3.3 กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่โถงอาคาร และมีผลต่อค่าการใช้พลังงานในอาคารที่ได้รับอิทธิพลมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกช่องแสงเข้าสู่อาคาร

1) ชนิดของกระจกที่ทำการทดสอบ โดยมีด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ กระจกใสลามิเนต (Laminated Clear Glass ที่กำหนดค่า SC:0.71, VT:0.75), กระจก 2 ชั้นที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Double Low-E Glass ที่กำหนดค่า SC:0.35 , VT:0.45) และ กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง (Light Thru Solar cell ที่กำหนดค่า SC:0.71 , VT:0.75)

2) สัดส่วนช่องเปิดส่วนบนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าภายในโถงอาคาร งานวิจัยนี้จะศึกษาที่สัดส่วนช่องเปิดหลังคา 7 รูปแบบ คือ ร้อยละ 5, 15, 30, 50, 70, 80 และ 95 ของพื้นที่หลังคา

3) ความสูงของโถงอาคารที่ทำการทดลองที่มีผลต่อค่าความส่องสว่างและพลังงานไฟฟ้าภายในโถงอาคารเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาที่ความสูงทั้งหมด 5 ความสูง ได้แก่ 18, 36, 42, 48 และ 60 เมตร

4) ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน:ผนัง:พื้น ทั้งหมด 9 รูปแบบ ดังตารางที่ 1

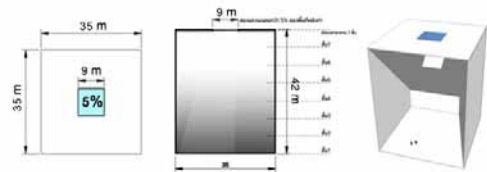
ตารางที่ 1 ตารางแสดงตัวแปรค่าการสะท้อนแสง

	Ceiling %	Wall %	Floor%
Type 1	80	50	20
Type 2	80	50	30
Type 3	80	50	40
Type 4	80	60	20
Type 5	80	60	30
Type 6	80	60	40
Type 7	80	70	20
Type 8	80	70	30
Type 9	80	70	40

3.4 ทดลองหาค่าความส่องสว่างของแสง และค่าการใช้พลังงาน

โดยการทดสอบโดยใช้โปรแกรม eQuest 3.64 ในการคำนวณค่าความส่องสว่าง และพลังงานที่ใช้จากการกำหนดค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ (Visible light transmittance หรือ VT) ตามคุณสมบัติของกระจกทั้ง 3 ชนิดที่นำมาทดสอบ

- 1) กำหนดขนาดโถงมาตรฐาน 35.00x35.00 เมตร ความสูงฝ้าเพดาน 42 เมตร
- 2) กำหนดขนาดสัดส่วนช่องแสงร้อยละ 5
- 3) ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ 10.00-18.00 น. เฉลี่ยตลอดทั้งปี
- 4) ค่าการสะท้อนแสงเป็นไปตาม Type 1 (Base case) มีค่าการสะท้อนแสงของ เพดาน:ผนัง:พื้น เป็น 80:50:20 ตามลำดับ



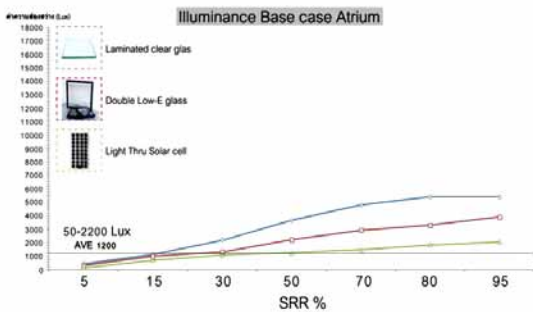
รูปที่ 4 รูปแบบโถงพื้นฐานที่ทำการทดลอง

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดลองด้านแสงสว่าง

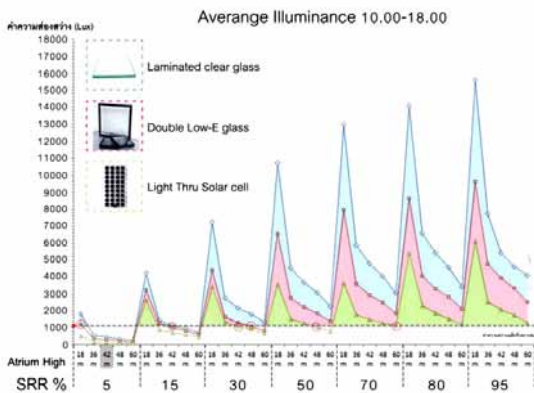
4.1.1 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างของกระจกทั้ง 3 ชนิด เมื่อติดตั้งกับโถงรูปแบบพื้นฐาน ที่มีการกำหนดตัวแปรพื้นฐานดังที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 3.4 แต่จะทำการเพิ่มตัวแปรสัดส่วนช่องแสง โดยจะทำการทดสอบในสัดส่วนช่องเปิดร้อยละ 5, 15, 30, 50, 70, 80 และ 95 พบว่าโถงที่ติดตั้งกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง สามารถขยายช่องเปิดได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับกระจกอีก 2 ชนิด หรือกล่าวได้ว่าจำเป็น

ต้องเปิดช่องแสงมากขึ้นเพื่อที่จะนำแสงสว่างเข้าสู่ใต้อาคารได้มากขึ้น โดยค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานกับทุก ๆ ช่วงอายุของผู้ใช้งาน 50 ถึง 2200 ลักซ์ (รูปที่ 3) และมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเฉลี่ยไม่เกิน 1200 ลักซ์ ผลการทดลองเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าความส่องสว่างของใต้อาคารแบบพื้นฐาน

4.1.2 ผลรวมเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในใต้อาคารที่ติดตั้งกระจกแต่ละชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของใต้อาคาร ดังรูปที่ 6

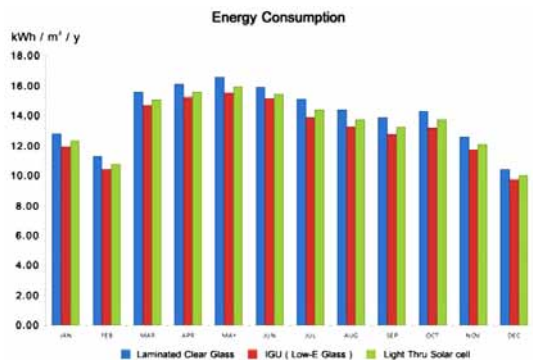


รูปที่ 6 ผลรวมค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของกระจกแต่ละชนิด

4.2 การทดลองด้านพลังงาน

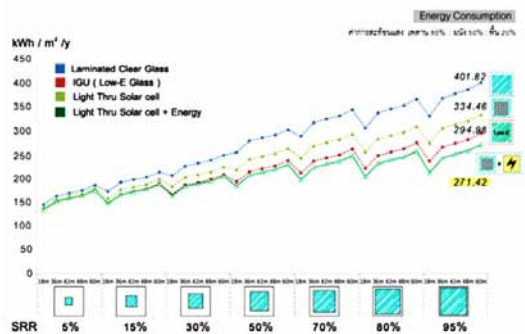
4.2.1 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในใต้อาคารรูปแบบพื้นฐาน (กำหนดสัดส่วนช่องเปิด

ร้อยละ 5 ความสูงของใต้อาคาร 42 เมตร และมีค่าการสะท้อนแสงภายในของ เพดาน:ผนัง:พื้น เป็นร้อยละ 80:50:20 ตามลำดับ) ที่มีการติดตั้งกระจกทั้ง 3 ชนิด โดยวัดในแต่ละเดือนเพื่อดูค่าพลังงานสูงสุด โดยจากผลการทดลองดังรูปที่ 7 เดือนพฤษภาคม เป็นเดือนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด ใต้อาคารที่ติดตั้งกระจกใสลามิเนตจะใช้พลังงานมากที่สุด รองลงมาเป็นกระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง และกระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำตามลำดับ



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าพลังงานของใต้อาคารพื้นฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระจกแต่ละชนิด

4.2.2 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าในใต้อาคารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงและสัดส่วนช่องเปิด ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบพลังงานในใต้อาคารเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปร

5. สรุปผลการทดลอง

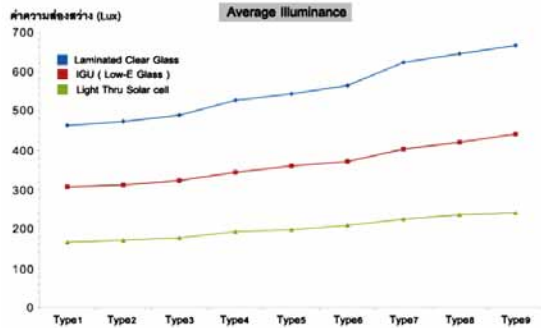
5.1 ค่าความส่องสว่างของแสงและพลังงาน

5.1.1 ชนิดกระจกที่นำมาทดลองทั้ง 3 ชนิดพบว่า กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงจะให้ค่าความส่องสว่างน้อยที่สุด

5.1.2 การเปลี่ยนสัดส่วนช่องเปิด จะช่วยให้ค่าความส่องสว่างมีค่ามากขึ้นในทุก ๆ สัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง แม้ว่ากระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงจะให้ค่าความส่องสว่างที่น้อยที่สุดแต่ส่งผลทำให้สามารถขยายช่องเปิดส่วนบนได้มากขึ้นถึงร้อยละ 70 ซึ่งมากที่สุด โดยแสงที่ได้จะยังอยู่ในเกณฑ์ 50 ถึง 2200 ลักซ์

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงความสูงของโถง มีผลต่อการเพิ่ม และลดค่าความส่องสว่างและพลังงานที่มีค่าแปรผกผันกันโดยเมื่อลดความสูง ค่าความส่องสว่างจะมีค่ามากขึ้นแต่พลังงานที่ใช้จะลดลงในช่วงสัดส่วนร้อยละ 5 และร้อยละ 15 กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสงสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด

5.1.4 การเพิ่มค่าการสะท้อนแสงภายในโถง จะมีผลทำให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9 โดยค่าการสะท้อนแสงของ เพดาน ผัง และพื้นที่เปลี่ยนแปลงแต่ละรูปแบบ สามารถตรวจสอบได้ดังตารางที่ 1 ที่กล่าวมาในข้างต้น แต่จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงภายในจะไม่มีผลกับค่าพลังงาน โดยยังคงมีค่าเป็นไปตาม รูปที่ 8 ซึ่งเป็นผลดีที่จะช่วยเพิ่มความสว่างในโถงได้มากขึ้น โดยที่ไม่มีผลกับค่าพลังงานที่อาจจะนำมาซึ่งภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่มากขึ้น



รูปที่ 9 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของโถงรูปแบบพื้นฐาน เมื่อมีการเปลี่ยนค่าการสะท้อนแสง

5.1.5 การเลือกใช้กระจกพลังงานแสงอาทิตย์แบบโปร่งแสง เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มารวมจะส่งผลให้โถงที่ติดตั้งกระจกชนิดนี้สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้มากที่สุดถึงร้อยละ 20

รายการอ้างอิง

- อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรธนและ พรพรรณจิรา ทิศาภิภาต. (2553). *แสงธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จารุณี เข้มพิลา. (2550). *การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. (2542). *เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- IESNA. (2000). *IESNA Lighting Handbook*. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- ASHRAE. (2010). *ASHRAE Standard 90.1*: Atlanta: ASHRAE.

ระดับความลึกของน้ำในระบบรูปพอนด์กับสมรรถนะในการลดความร้อน ในอาคารพักอาศัยเขตร้อนชื้น

Optimization of water depth for Roof Pond System to Reduce Heat in Residential Buildings in Hot-Humid Climate

ศศิชา ศักดาวัฒนานนท์¹ และ ดร. สูดากรณ์ สูดประเสริฐ²
Sasicha Sakdawattananon¹ and Sudaporn Sudprasert, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: architect_nano@hotmail.com¹, sudaporn@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

การป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการระเหยน้ำทางอ้อมโดยใช้หลังคา
รูปพอนด์ที่มีน้ำอยู่ด้านบนหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกับฉนวนป้องกันความ
ร้อน กักเก็บความร้อนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคาร เป็นอีกหนึ่งแนวทางการออกแบบทางสถาปัตยกรรม
ประเภทอาคารพักอาศัยอย่างยั่งยืน เนื่องจากน้ำเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่ายและไม่มีมลพิษต่อผู้ใช้งาน
อาคาร การวิจัยนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพรูปพอนด์ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยการใช้
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ชื่อ COMSOL Multiphysics รุ่น 4.3 โดยทำการศึกษาที่ค่าระดับความลึก
ต่างๆ ของน้ำบนหลังคารูปพอนด์ ระดับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เมตร เพื่อหาระดับความลึกของ
น้ำที่เหมาะสมกับการใช้งาน ผลการศึกษา พบว่า ระดับความลึกน้ำเท่ากับ 0.2 เมตร สามารถป้องกัน
การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ทั้งหมดและใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด จึงมีความเหมาะสมกับอาคาร
พักอาศัยในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทยมากที่สุด

Abstract

Cooling of building roofs by evaporation could be archived by using on uncovered roof
pond system that incorporating mass of water acting as a heat storage and heat exchanger.
This is one of solution in residential sustainability design. In addition, water is a cost effective,
and non-toxic widely available material. Thermal performance of roof pond of various depths
was evaluated by the computational simulation program called COMSOL Multiphysics
version 4.3. The performance of roof pond of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 m in depth of water
were tested under climate condition of Thailand. The study found that In terms of effectiveness
and cooling demand reduction, water depth of 0.20 m was demonstrated the highest perform.
It is the least water depth required to maintain the indoor temperature lower than the outdoor

temperature. Therefore, using this roof pond system in a tropical climate as a passive function is recommended.

คำสำคัญ (Keywords): รูลพอนด์ (Roof Pond), การทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive Cooling), (Evaporative Cooling), การประหยัดพลังงาน (Energy Efficiency)

1. บทนำ

อาคารพักอาศัยในประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะการใช้งานภายในและภายนอกอาคารควบคู่กันซึ่งเป็นรูปแบบของสถาปัตยกรรมเขตร้อนชื้น (tropical architecture) ปัจจุบันประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นกำลังประสบปัญหาความร้อน และปัญหาการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ (climate change) โดยมีสภาพภูมิอากาศที่สูงเกินขอบเขตความสบายเชิงอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับอดีต (IPPC, 2007) ส่งผลให้รูปแบบการใช้งานในพื้นที่อาคารพักอาศัยดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อลดความร้อนในพื้นที่ใช้สอยในอาคารและทำความเย็นให้พื้นที่ใช้งานภายนอกอาคารในขณะเดียวกันเพื่อประยุกต์เข้ากับอาคารพักอาศัยเขตร้อนชื้นอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น

การระเหยของน้ำคือหนึ่งในวิธีการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติที่เป็นที่นิยม ในปัจจุบันมีการเลือกใช้ระบบการทำความเย็นโดยการระเหยน้ำในสถาปัตยกรรมประเทศเขตร้อนชื้นมากขึ้น เช่นอาคารอนุสรณ์เพื่อรำลึกเหตุการณ์เสียชีวิตจังหวัดน่านาซิกิ อาคารพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติคันนาซาวา วัดฮอนปุกุจิ (Water temple) จังหวัดโอซาก้า และวอเตอร์ เฮ้าส์ จังหวัดคิตะคิวชู ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น นอกจากนี้ภายใต้สภาพภูมิ

อากาศของประเทศไทยที่มีระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 50-60 (ASHRAE, 2001) การปรับความชื้นเพื่อลดอุณหภูมิอากาศโดยคงระดับไว้ในช่วงขอบเขตสภาวะความสบายของคนไทยในระดับร้อยละ 45-80 (Khedari, 2000) การทำความเย็นรูปแบบนี้จึงมีความเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามในภูมิอากาศร้อนชื้นประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในด้านประสิทธิภาพและรูปแบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำอย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการทำความเย็นให้อาคารพักอาศัยด้วยระบบรูลพอนด์ (roof pond) บนหลังคาอาคาร ซึ่งเป็นการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำทางอ้อม (indirect evaporative cooling) หลักการทำงานเบื้องต้นของหลังคารูลพอนด์คือการส่งความร้อนผ่านน้ำที่มีความจุความร้อนจำเพาะและมีการหมุนเวียนความร้อนก่อนเข้าสู่ภายในอาคาร ข้อดีของการใช้ระบบการระเหยน้ำคือ น้ำเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อผู้ใช้งานอาคาร และสอดคล้องกับแนวคิดการอนุรักษ์น้ำ มีความเหมาะสมกับอาคารพักอาศัยเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับหลังคาเขียว (green roof) ที่มีการเลือกใช้มากขึ้น

ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์กับการออกแบบอาคารพักอาศัยโดยใช้ระบบการระเหยน้ำทางอ้อมโดยเข้ากับรูปแบบอาคารพักอาศัยปัจจุบันซึ่งนิยมรูปแบบหลังคาคอนกรีต

เสริมเหล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิ บริเวณพื้นที่ใช้งานบริเวณภายในและภายนอก อาคารในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษารูปแบบของหลังคารูปพอนด์ที่เหมาะสมกับอาคารเขตร้อนชื้น
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารในระดับความลึกต่างๆ ของน้ำบนหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กในระบบรูปพอนด์โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ระดับความลึกของน้ำที่เหมาะสมกับระบบรูปพอนด์ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น
3. พัฒนารูปแบบการทำความเย็นด้วยหลังคารูปพอนด์ในการประยุกต์ใช้กับอาคารพักอาศัย

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การทำความเย็นโดยการระเหยน้ำทางอ้อม (Indirect evaporative cooling)

การลดอุณหภูมิอากาศโดยการระเหยน้ำในเชิงคุณสมบัติของแหล่งรับความร้อน (heat sink) และตัวกลางการถ่ายเทความร้อน (heat exchanger) การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเพื่อลดความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารโดยไม่เพิ่มความชื้นให้กับพื้นที่ใช้สอยโดยตรง (Santamouris, 2007)

3.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนคือการเคลื่อนที่ของพลังงาน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่อมี

ความแตกต่างของอุณหภูมิ ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของระบบรูปพอนด์มีด้วยกันสามรูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ข้อสมมติฐาน (assumption) ที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของรูปพอนด์ มีดังต่อไปนี้คือ

1. พิจารณาการถ่ายเทความร้อนแบบ 2 มิติ โดยมีทิศทางการถ่ายเทความร้อนตามแนวการไหลของอากาศและความหนาของชั้นวัสดุ (น้ำ และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก)
2. พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบสภาวะไม่สม่ำเสมอ (unsteady state)
3. พิจารณาการแผ่และการดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ของผิวน้ำ ที่มีค่าสม่ำเสมอตลอดทั้งความยาวในระนาบ Y
4. พิจารณาว่าไม่มีการบังแสงเหนือระนาบของผิวน้ำ
5. พิจารณาวัสดุคอนกรีตมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเนื้อเดียว (homogeneous material)
6. การเปลี่ยนสถานะ (phase change) ไม่เกิดขึ้นในระบบที่พิจารณา
7. ความดันบริเวณผิวน้ำ มีค่าเท่ากับ ความดันอากาศภายนอกอาคาร
8. ใช้การคำนวณบนพื้นฐานของ FEM (Finite Elements Method) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คอมโซล มัลติฟิสิกส์

จากสมมติฐานข้างต้นสามารถสร้างสมการสมดุลพลังงานแต่ละส่วนของระบบรูปพอนด์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การอนุรักษ์มวล หรือ สมการของความต่อเนื่อง (continuity equation)

$$\partial u / \partial x + \partial v / \partial y = 0 \quad (1)$$

2. สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \times \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) + v \times \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right) \\ = (-1/\rho) \times \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) + V \times \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \times \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) + v \times \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) \\ = (-1/\rho) \times \left(\frac{\partial P}{\partial y}\right) + V \times \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + g\beta(T-T_\infty) \end{aligned} \quad (3)$$

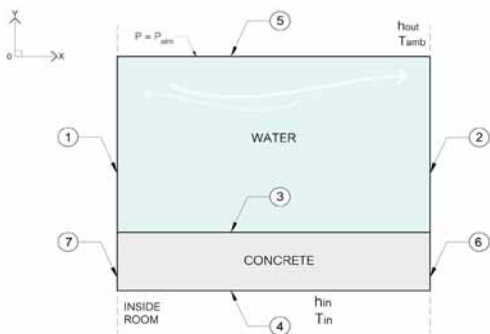
3. การอนุรักษ์พลังงาน (energy equation)

3.1 ภายในคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังสมการ

$$\left(\frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 T_c}{\partial y^2}\right) = 1/\alpha_c \times \left(\frac{\partial T_c}{\partial t}\right) \quad (4)$$

3.2 น้ำ จากรูปแบบ Navier stroke equation เพื่ออธิบายการแก้สมการอนุรักษ์มวล ภายใต้สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และ สมการพลังงานของน้ำ ด้วยโปรแกรมคอมไพเลอร์คอมไพเลอร์

4. เงื่อนไขที่ขอบ (boundary condition) การแก้สมการการถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วน จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเพื่อช่วยในการคำนวณ ดังรูปที่ 1

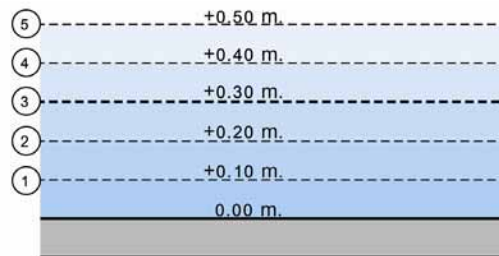


รูปที่ 1 เงื่อนไขขอบเขต

4. ระเบียบวิธีวิจัย

การคำนวณประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยระบบรูปพอนด์เพื่อทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยการระเหยน้ำทางอ้อม คือ ความลึกของน้ำในแต่ละระดับบนรูปพอนด์ กรณีรูปแบบน้ำนิ่งโดยทำการคำนวณประสิทธิภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คอมไพเลอร์รุ่น 4.3 ภายใต้รูปแบบ FEM (Finite Element Method) 2 มิติ ระบบสมการ General heat transfer (hgth) รูปแบบ Heat transfer in Fluid และ Momentum transport (chns) รูปแบบ Turbulent flow

ตัวแปรต้นที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยได้แก่ระดับความสูงของน้ำ (รูปที่ 2) ระยะความกว้างตัวแปรตามคือ อุณหภูมิที่บริเวณกันบ่อและได้เพดานคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวแปรควบคุมได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (34 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิบริเวณภายในอาคาร (24 องศาเซลเซียส) และกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำและคอนกรีต (24 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 2 ตัวแปรต้น ระดับความสูงของน้ำ

5. ผลการวิจัย

การทดลองนี้วิเคราะห์ผลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำเสนอเฉพาะช่วงเวลาหลังจกทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ดังนี้

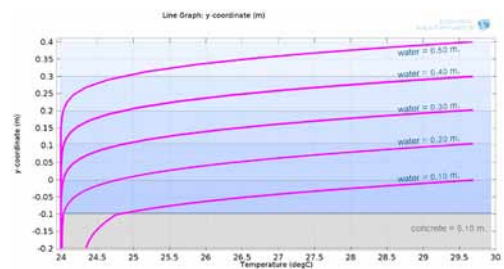
5.1 ผลของตัวแปรแบบจำลองกรณีทดสอบ ระดับน้ำ 0.10-0.50 เมตร ระยะความกว้าง 3.00 เมตร และ 4.00 เมตร

ผลการทดลองจากแบบจำลองทั้ง 5 แบบ ที่มีระดับน้ำแตกต่างกัน สามารถสรุปประสิทธิภาพ จากตารางที่ 1 ได้ดังรูปที่ 3 พบว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิอากาศภายนอก 34 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24 องศาเซลเซียสเท่ากับอุณหภูมิภายในอาคาร ระดับความสูงของน้ำส่งผลต่อการป้องกันความร้อนจากบรรยากาศภายนอกเข้าสู่กรอบอาคาร เมื่อเปรียบเทียบจากระดับความสูงของน้ำในแต่ละระดับโดยระดับน้ำที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 เมตรขึ้นไปสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่กรอบอาคารได้ทั้งหมดเมื่อดูจากอุณหภูมิเพดานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแตกต่างจากระดับน้ำที่ 0.10 เมตร ความร้อนสามารถถ่ายเทเข้าสู่กรอบอาคารบริเวณใต้เพดานคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่งผลกระทบบัให้อุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากระดับน้ำที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กรอบอาคารที่เหมาะสม จากรูปที่ 3 พบว่าแบบจำลองระดับน้ำ 0.20 เมตร อุณหภูมิบริเวณก้นบ่อมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 0.30 ถึง 0.50 เมตร และใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง ระดับน้ำ 0.20 เมตร (รูปที่ 4) เหมาะสมกับการนำไปใช้ภายใต้สภาพภูมิอากาศประเทศไทยมากที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ

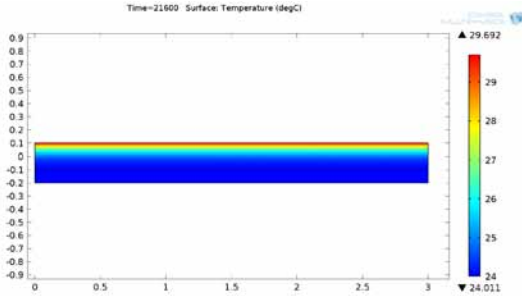
กรณีทดสอบ	อุณหภูมิ	
	ก้นบ่อ (C)	ใต้เพดาน (C)
ระดับน้ำ 0.10 เมตร		
ความกว้าง 3 เมตร	24.90	24.38
ความกว้าง 4 เมตร	24.90	24.38
ระดับน้ำ 0.20 เมตร		
ความกว้าง 3 เมตร	24.02	24.00
ความกว้าง 4 เมตร	24.02	24.01
ระดับน้ำ 0.30 เมตร		
ความกว้าง 3 เมตร	24.00	24.00
ความกว้าง 4 เมตร	24.00	24.00
ระดับน้ำ 0.40 เมตร		
ความกว้าง 3 เมตร	24.00	24.00
ความกว้าง 4 เมตร	24.00	24.00
ระดับน้ำ 0.50 เมตร		
ความกว้าง 3 เมตร	24.00	24.00
ความกว้าง 4 เมตร	24.00	24.00

จากตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองระบบรูปพอนด์ที่มีความกว้าง (L) 3 เมตร และ 4 เมตร เมื่อพิจารณาระยะความกว้างในระนาบแนวนอนพบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันการถ่ายเทความร้อน

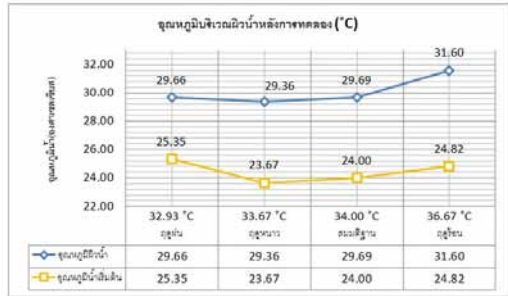


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบผลการทดลอง ระดับน้ำ 0.10-0.50 เมตร แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งระดับความสูงของน้ำในแต่ละระดับ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง (องศาเซลเซียส)

ระดับความลึกของน้ำในระบบรूपพอนด์กับสมรรถนะในการลดความร้อนในอาคารพักอาศัยเขตร้อนชื้น ศศิชา ศักดาวัฒนานนท์ และ ดร. สุตาภรณ์ สุดประเสริฐ



รูปที่ 4 แบบจำลองระดับน้ำ 0.20 เมตร ความกว้าง 3 เมตร แผนภาพสีแสดงอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 5 แบบจำลองระดับน้ำ 0.20 เมตร ทั้ง 3 ฤดูกาล เปรียบเทียบผลการทดลอง เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง (องศาเซลเซียส)

5.2 ผลของการทดสอบประสิทธิภาพของ รूपพอนด์ระดับน้ำ 0.20 เมตร ภายใต้ สภาพภูมิอากาศประเทศไทยตลอดทั้งปี

ผลที่ได้จากการจำลองกรณีทดสอบภายใต้ สภาพภูมิอากาศประเทศไทยทั้ง 3 ฤดูกาล (รูปที่ 5) พบว่า หลังการรूपพอนด์ที่ระดับน้ำ 0.20 เมตร รูปแบบน้ำนิ่ง มีประสิทธิภาพการป้องกันการ ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้โดยการถ่ายเท ความร้อนลงสู่ด้านล่างมีค่าสิ้นสุดที่บริเวณกันป้อ พอดี้ (อุณหภูมิบริเวณกันป้อมมีการเปลี่ยนแปลง น้อยมาก) ซึ่งพิจารณาเป็นค่าระดับความสูงของน้ำ ที่เหมาะสมและสามารถรองรับสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยได้ตลอดทั้งปี นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ผลต่างของ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้สภาพภูมิอากาศ แต่ละฤดูมีค่าใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่าการยืนยัน ประสิทธิภาพดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในการใช้ งานจริง

6. สรุปผลการวิจัย

รूपพอนด์ระดับความลึกน้ำ 0.20 เมตร สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ได้ทั้งหมดและใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด จึงมีความ เหมาะสมกับอาคารพักอาศัยในสภาพภูมิอากาศ เขตร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทยมากที่สุด

รายการอ้างอิง

ASHRAE. (2001). American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, *IWEC Data*, Inc. USA.

Givoni, B. (1994). *Passive and Low energy Cooling of Building*. New York: John Wiley & Sons.

IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (Eds.)]. United Kingdom and New York, USA.

Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., Hirunlabh, J. (2000). Thailand Ventilation Comfort Chart. *Energy and Building*, 32, 245-249.

Santamouris, M. (2007). *Advances in Passive Cooling*. UK: Earthscan, p. 230-235.

การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์
ร่วมกับการระเหยน้ำเพื่อลดความร้อนสู่อาคาร
Investigation of Thermal Performance of Evaporative Cooling
Integrated with Solar Chimney for Heat Gain Reduction in Building

กนก นพวงศ์¹ และ ดร. สุดาภรณ์ สุตประเสริฐ²
Kanok Noppawong¹ and Sudaporn Sudprasert, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: Kanok.nopa@gmail.com¹, chungloo.da@gmail.com²

บทคัดย่อ

แนวทางสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับเพื่อตอบสนองความต้องการในเรื่องการประหยัดพลังงานในปัจจุบัน การใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารจึงเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ต้องคำนึงถึงเพราะเป็นปัจจัยหลักของการเพิ่มขึ้นของพลังงานไฟฟ้า การใช้เปลือกอาคารสองชั้น (double-skin facade) และการระเหยของน้ำเป็นวิธีที่สามารถลดความร้อนบริเวณรอบอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้ศึกษา เปลือกอาคารสองชั้นร่วมกับการใช้การระเหยของน้ำเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยทดลองจากเปลือกอาคารที่เป็นวัสดุธรรมชาติ เพราะในปัจจุบันวัสดุธรรมชาติโดยเฉพาะไม่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเปลือกอาคารมากขึ้น โดยการทดลองจะศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศภายในช่องระหว่าง ผนังชั้นนอกและผนังชั้นใน เมื่อมีอิทธิพลจากการระเหยของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องโดยการทดลองวัดผลจริงเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังเมื่อใช้ระบบผนังสองชั้นแบบไม่ใช้อิทธิพลการระเหยของน้ำและแบบใช้อิทธิพลการระเหยของน้ำ และเสนอแนวทางประยุกต์ใช้ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับการระเหยน้ำกับอาคารไม่ปรับอากาศ

Abstract

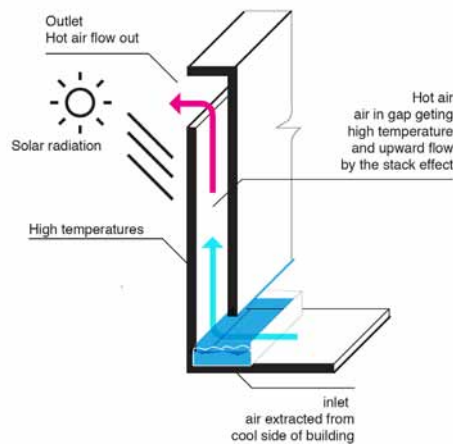
Nowadays, the architecture find the way that conform to environmental conservation. For example, using passive cooling to design the building with natural ventilation and heat reduction in building which is one of the important point because it is also the main cause of the increasing of energy. The way to protect heat in building is depend on envelope building systems which has several ways for example using double-skin facade and evaporative cooling. This thesis idea is solar chimney using wood material integrated with small water source to reduce air temperature in occupied space. This research objective is the comparison of surface temperature between solar chimney with evaporative cooling and without evaporative cooling in non air-conditioned room and also the suggestion of the proposed application into architecture.

คำสำคัญ (Keywords): ปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Chimney), ระบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling), ระบบผนังสองชั้น (Double Skin Façade)

1. ที่มาและความสำคัญ

จากสถิติการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัยพบว่า เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานประมาณ 60% แสงสว่าง 20% และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 20% (กระทรวงพลังงาน, 2555) จะเห็นว่าพลังงานส่วนใหญ่ใช้ไปกับการปรับอากาศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี เนื่องจากคนไทยในปัจจุบันมีการใช้ชีวิตเคยชินกับอาคารปรับอากาศ เมื่อความต้องการด้านพลังงานและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงเกิดแนวทางสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารขึ้นอยู่กับการออกแบบเปลือกอาคาร ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้ผนังมวลมาก (thermal mass) และการใช้เปลือกอาคารสองชั้น (double-skin facade) เป็นต้น ระบบเปลือกอาคารสองชั้นใช้หลักป้องกันความร้อนด้วยเปลือกอาคารชั้นนอกที่ทำหน้าที่บังเงาให้กับเปลือกอาคารชั้นในและใช้การพาความร้อนแบบอิสระนำอากาศร้อนที่ส่งผ่านเปลือกอาคารชั้นนอก ออกทางช่องระหว่างเปลือกอาคาร (air gap) สู่อากาศภายนอกอาคาร ปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Chimney) เป็นระบบผนังสองชั้นที่นำหลักการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกมาใช้ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิในช่องอากาศ มีผลต่ออัตราการระบายอากาศในช่องว่างอากาศระหว่างผนังชั้นนอกและผนังชั้นใน จึงได้มีการศึกษาวิธีที่จะประยุกต์ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร จากการ

ศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการประยุกต์ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับการระเหยของน้ำโดยใช้ความเย็นจากน้ำลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและให้ปล่องรังสีดวงอาทิตย์ช่วยนำความชื้นออกสู่ภายนอก (Miyazaki, 2011) และมีการวิจัยที่ประยุกต์ใช้น้ำร่วมกับปล่องรังสีดวงอาทิตย์ บริเวณหลังคาในประเทศไทยสามารถลดอุณหภูมิได้ 2-6.2 องศา (Chungloo, 2007) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทดลองใช้ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์และการระเหยของน้ำเข้าด้วยกัน เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารและเพิ่มอัตราการระบายอากาศในช่องอากาศ ระหว่างผนังสองชั้นเพื่อสร้างสภาวะสบายให้กับผู้ใช้งานโดยใช้การระเหยที่เกิดขึ้นที่แหล่งน้ำขนาดเล็กในอาคารร่วมกับการใช้ปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1 และเลือกใช้ไม้เป็นวัสดุผิวชั้นนอกของปล่องรังสีดวงอาทิตย์เพื่อสามารถประยุกต์ใช้กับสถาปัตยกรรมที่มีแนวโน้มในการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติมากขึ้น



รูปที่ 1 ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับการระเหยน้ำ

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยเปลือกอาคารสองชั้น

การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารที่นิยมทำมาตั้งแต่อดีตคือการสร้างโซนป้องกันหรือ Buffer zone เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยหลัก ประเภทของการใช้งานที่นิยมนำมาเป็นโซนป้องกัน เช่น ทางเดิน บันได เป็นต้น จากนั้นได้มีการพัฒนาเป็นระบบเปลือกอาคารสองชั้นขึ้น โดยเปลือกอาคารชั้นนอกทำหน้าที่บังเงาให้กับเปลือกอาคารชั้นในและใช้การพาความร้อนพาอากาศร้อนที่ส่งผ่านเปลือกอาคารชั้นนอกออกสู่บรรยากาศ หลักการพื้นฐานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์คือ เป็นผนังสองชั้นที่มีช่องเปิดให้อากาศเข้าและออกอยู่บริเวณด้านล่างและด้านบนของผนังตามลำดับ ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ทำให้ผนังชั้นนอก อุณหภูมิสูงขึ้นและนำความร้อนเข้าสู่ช่องอากาศชั้นในส่งผลให้ช่องว่างอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเกิดความร้อนในช่องอากาศทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น ด้วยหลักการการพาความร้อนแบบอิสระและไหลสู่ช่องเปิดด้านบน ส่งผลให้อากาศในห้องที่เย็นกว่า ไหลผ่านช่องเปิดด้านล่างเข้ามาแทนที่ในช่องอากาศ ดังรูปที่ 1 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในช่องว่างอากาศสมการ คำนวณอัตราไหลในช่องอากาศคำนวณจากสมการ (1)

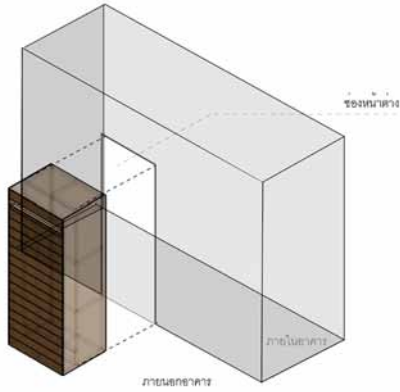
$$Q = C_v \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (T_o - T_i)}{T_o (1 + A_i^2)}} \quad (1)$$

2.2 การทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ

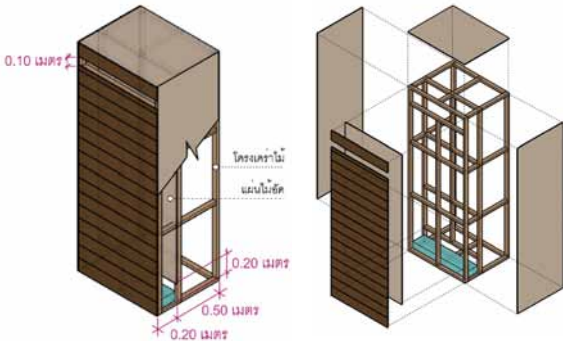
การระเหยของน้ำทางตรง (Direct evaporative cooling) คือ การนำอากาศภายนอกผ่านกระบวนการระเหยของน้ำโดยตรง โดยอากาศที่ผ่านการระเหยของน้ำจะมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากน้ำได้ดึงเอาความร้อนของอากาศมาใช้ในการระเหยทำให้อากาศที่ผ่านการระเหยมีอุณหภูมิลดลงและมีความชื้นอากาศเพิ่มขึ้น (Givoni, 1994; Szokolay, 2004)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

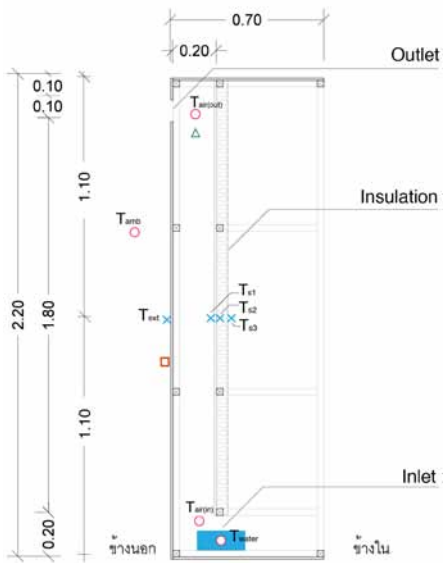
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับการระเหยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร โดยทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีอิทธิพลของการระเหยน้ำและไม่มีอิทธิพลของน้ำการระเหยน้ำ ทดลองในสภาพแวดล้อมจริงโดยวางกล่องทดลองไว้บริเวณเปลือกอาคารที่มีช่องว่างให้อากาศภายในอาคารสามารถเชื่อมกับห้องทดลองได้เพื่อให้อุณหภูมิในกล่องทดลองเท่ากับอุณหภูมิภายในอาคารดังรูปที่ 2 กล่องทดลองตั้งอยู่ที่อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จำลองหันหน้าไปทางทิศตะวันตก กล่องทดลองโครงสร้างใช้โครงคร่าวไม้ปิดผิวผนังด้านนอกของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ด้วยไม้เนื้อแข็งและปิดผิวด้านอื่น ๆ ด้วยไม้อัด กล่องทดลองมีขนาดกว้าง 0.70 เมตร ยาว 1.00 เมตร สูง 2.20 เมตร โดยจำลองขนาดเท่ากับขนาดผนังบ้านจริง และให้ขนาดของช่องว่างภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ คือ 0.20 เมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ตำแหน่งของกล่องทดลอง



รูปที่ 3 รูปแบบกล่องทดลอง



รูปที่ 4 ตำแหน่งวัดผลการทดลอง

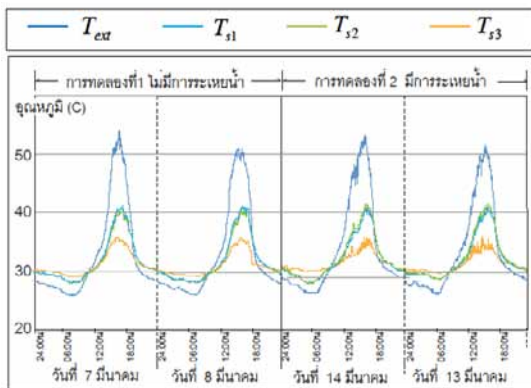
การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ ทดลองผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่มีอิทธิพลของการระเหยน้ำ (การทดลองที่ 1) และ ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีอิทธิพลของการระเหยน้ำ (การทดลองที่ 2) โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน การติดตั้งจุดวัดค่าอุณหภูมิใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด T วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิผิวทั้งหมด 10 จุด (T_{ext1} , T_{ext2} , T_{ext3} , T_{s1-1} , T_{s1-2} , T_{s1-3} , T_{s2-1} , T_{s2-2} , T_{s2-3} , T_{s3}) อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง 4 จุด ($T_{air(out)}$, $T_{air(mid)}$, $T_{air(in)}$, T_{room}) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 1 จุด (T_{amb}) อุณหภูมิน้ำ 1 จุด (T_{water}) วัดค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ 1 จุด และวัดความเร็วลมภายใน 1 จุด และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัด ดังรูปที่ 4 ทำการเก็บบันทึกข้อมูล ทุก 1 นาที ทดลองช่วงเดือนมีนาคม 2557

4. ผลการทดลอง

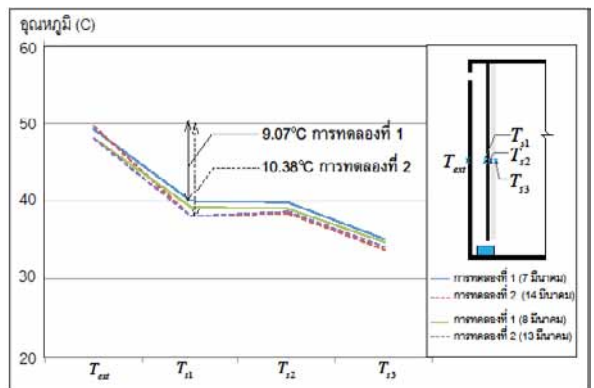
ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกล่องจำลองผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวผนัง อุณหภูมิอากาศภายในบ้านจำลอง บริเวณทางเข้าและทางออกปล่อง ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นในปล่อง ผลการทดลอง พบว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านนอก (T_{ext}) อุณหภูมิผิวด้านใน (T_{s1}) ของการทดลองที่ 1 ต่างกัน 9.07 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 13.00-17.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิมาก และการทดลองที่ 2 ต่างกัน 10.83 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 6 เนื่องจากการทดลองที่ 2 อากาศภายในปล่องได้รับอิทธิพลจากการระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง เมื่ออากาศเย็นลอยตัวสูงขึ้นไปทำให้พาความร้อนจากผนังด้านใน (T_{s1}) ออกสู่ภายนอกได้มากขึ้น และในเวลากลาง

คืนของทั้งสองการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยผนังชั้นนอก (T_{ex}) ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยผนังชั้นใน (T_{s1}) ประมาณ 2 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5 อุณหภูมิอากาศบริเวณทางเข้าปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ($T_{air(in)}$) ของการทดลองที่ 2 ต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ประมาณ 1-2 องศาในเวลากลางวัน ดังรูปที่ 5 เนื่องจากอากาศได้รับอิทธิพลจากการระเหยน้ำ การระเหยน้ำอุณหภูมิจึงลดต่ำลง และพบว่าอุณหภูมิทางออกปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ($T_{air(out)}$) ของการทดลองที่ 2 ลดต่ำลงตามไปด้วยในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 7 เนื่องอิทธิพลจากอากาศเย็น

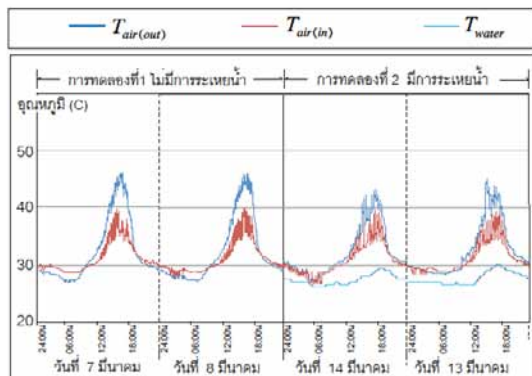
ที่ลอยตัวสูงขึ้นส่งผลให้ความเร็วลมในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออก ($T_{air(in)}$, $T_{air(out)}$) ความเร็วลมในปล่องของการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าไม่คงที่ ตามค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกที่ไม่คงที่จากอิทธิพลของการระเหยน้ำ ดังรูปที่ 8 โดยผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบกันจากวันที่มีค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกใกล้เคียงกัน



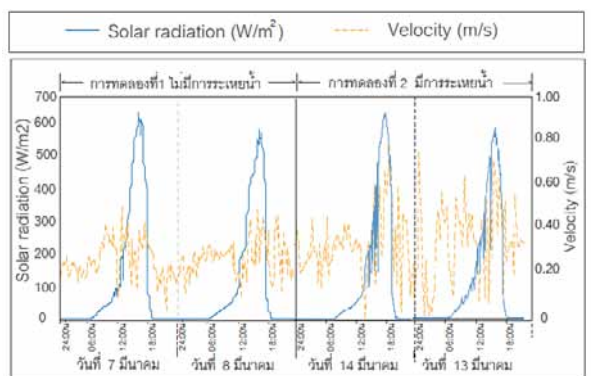
รูปที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยของผนัง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของผนัง



รูปที่ 7 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศทางเข้าและออก



รูปที่ 8 เปรียบเทียบความอาทิตย์และความเร็วลม

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุธรรมชาติที่มีอิทธิพลของการระเหยน้ำและไม่มีอิทธิพลของการระเหยน้ำ โดยทำการทดลองจากผนังไม้หันหน้าไปทางทิศตะวันตก จากการศึกษาพบว่า ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม่มีสมรรถนะในการลดอุณหภูมิผิวด้านในได้โดยอุณหภูมิผิวด้านนอกกับด้านในต่างกันประมาณ 10 องศาเซลเซียส และเมื่อมีอิทธิพลการระเหยน้ำเข้ามาช่วยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิผิวด้านในได้อีกประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส เนื่องจากอากาศบริเวณทางเข้าปล่องได้รับอิทธิพลจากการระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง เมื่ออากาศเย็นลอยตัวสูงขึ้นอากาศเย็นพาความร้อนจากผนังด้านในปล่องออกสู่ภายนอกได้มากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านในลดต่ำลง ความเร็วลมที่เกิดขึ้นในปล่องสอดคล้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกปล่อง ในเวลากลางวันความเร็วลมจะสูงกว่าในเวลากลางคืน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกปล่องที่มากกว่า

รายการอ้างอิง

ปรีดา จันทร์วงษ์. (2552). *การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของปล่องผนังโซลาร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติร่วมกับพัดลมกระแสตรงภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- Chungloo, S., Limmeechokchai, B.. (2007). Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand. *Building and Environment*, 42, 3341–3351.
- Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Building*. New York: Ban Nostrand Reinhold.
- Khedari J. (2001). Field study of performance of solar chimney with air- conditioned building. *Energy*, 28,1099–1114. Received October 14, 2001, from <http://www.elsevier.com/locate/energy>
- Miyazaki T. (2011). The cooling performance of a building integrated evaporative cooling system driven by solar energy. *Energy and Buildings*, 43, 2211– 2218. *Renewable Energy* 35 (2010) 2040–2052. Retrieved February 2, 2011, from <http://www.sciencedirect.com>

ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้นกับอาคารในประเทศไทย

Performance of Impinging Jet Ventilation in Thailand Building

ภมรพัฒน์ พึ่งธรรมสุจริต¹ และ ดร. จตุวัฒน์ วจิตรมพันธ์²

Pamornpat Pungtumsujarit¹ and Jatuwat Varodompun, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

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

บทคัดย่อ

การออกแบบอาคารเพื่อประหยัดพลังงานสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย มักจะเป็นการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงแล้วพลังงานที่สิ้นเปลืองส่วนมากมักถูกใช้ไปกับการนำอากาศภายนอกเข้าสู่อาคารผ่านระบบปรับอากาศ ปัจจุบันระบบจ่ายอากาศประสิทธิภาพสูงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อลดปริมาณอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร และช่วยให้อากาศมีคุณภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงสามารถลดพลังงานของอาคารแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของผู้ใช้อาคาร การวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การศึกษาคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศด้วยค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศ ซึ่งเป็นตัวแปรบ่งชี้ศักยภาพการลดอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร ส่วนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพระบบปรับอากาศเชิงพลังงานในระบบปรับอากาศ 3 ประเภท คือ ระบบปรับอากาศแบบผสม ระบบปรับอากาศแบบแทนที่ และระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้นซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศอยู่ที่ 1.0 1.2 และ 1.1 ตามลำดับ โดยการศึกษาจะทำการจำลองผ่านโปรแกรม PHOENICS และ eQUEST 3.65 ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ที่มีภาระทำความเย็นสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบปรับอากาศลดลง ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปผลและเสนอแนวทางการใช้งานระบบปรับอากาศกับประเภทอาคารที่เหมาะสม เพื่อการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย

Abstract

The design for energy conservation in tropical climate including Thailand is usually applied the application for reduce heat gain that enter to the building, however, energy consumption is mainly consumed by allowing the entry of outdoor air through air-conditioning system. Nowadays high effective ventilation systems have been further developed for more effective reduction in outdoor air intake and higher air quality therefore decreasing energy consumption in allowing the entry of outdoor air but do not affect occupant health. The objectives of the research are to: 1) study air quality in the areas of air-conditioning systems through Ventilation effectiveness, which is an indicator of reduction capability of outdoor air intake; and 2) study effectiveness of air-conditioning systems in terms of energy through the currently prevalent air-conditioning system

– Mixing Jet Ventilation – Displacement Ventilation Jet and Impinging Jet Ventilation – which have ventilation effectiveness of at least 1.0 1.2 and 1.1 respectively. The study was implemented through PHOENICS and eQUEST 3.65. The result concludes that high cooling load area will decrease efficient air conditioning system. The result could be a guideline in appropriate design and application of air-conditioning for Thailand green buildings.

คำสำคัญ (Keywords): อากาศภายนอก (Outdoor Air Intake), ประสิทธิภาพการระบายอากาศ (Ventilation Effectiveness), ระบบปรับอากาศแบบผสม (Mixing Jet Ventilation), ระบบปรับอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation), ระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้น (Impinging Jet Ventilation)

1. ที่มาและความสำคัญ

หากจำแนกสัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร จะพบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารที่มากที่สุดคือการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคาร ซึ่งพลังงานที่สิ้นเปลืองส่วนมากถูกใช้ในการนำอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร ดังนั้นการลดปริมาณอากาศภายนอกเข้าสู่อาคาร เป็นหนึ่งในวิธีการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ปัจจุบันระบบปรับอากาศรูปแบบใหม่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการสิ้นเปลืองพลังงานและยังช่วยให้มีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระบบปรับอากาศรูปแบบใหม่ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแทนที่ และระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้น มีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศซึ่งเป็นตัวแปรบ่งชี้ศักยภาพในการลดปริมาณอากาศภายนอกมากกว่าถึงร้อยละ 10 ถึง 20 เมื่อเทียบกับระบบที่แพร่หลายในปัจจุบัน โดยหากระบบปรับอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศที่มากกว่า จะแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการหมุนเวียนอากาศเดิมภายในห้องได้ดีกว่า หรือต้องการอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกต่ำกว่า

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบปรับอากาศรูปแบบใหม่ภายในอาคาร ทั้งคุณภาพอากาศ และเชิงพลังงาน โดยพื้นฐานคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภทอาคารในประเทศไทย ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม และโรงเรียน เพื่อสามารถสรุปผลและเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้งานระบบปรับอากาศกับประเภทอาคารที่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศในเขตร้อนชื้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศแต่ละประเภทจะมีการจ่ายอากาศในลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพอากาศภายในห้องนั้นแตกต่างกัน โดยการศึกษานี้จะทำการศึกษาระบบปรับอากาศ 3 ระบบ ดังนี้

1) ระบบปรับอากาศแบบผสม (Mixing Jet Ventilation: MJV) คือระบบปรับอากาศที่จ่ายลมด้วยความเร็วสูง ด้วยอุณหภูมิประมาณ 13 องศาเซลเซียส ที่ระดับความสูงฝ้าเพดาน หรือเหนือศีรษะเพื่อให้เกิดการผสมตัวของอากาศจนได้อุณหภูมิของอากาศในห้องที่ต้องการ

2) ระบบปรับอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation : DV) คือระบบปรับอากาศที่จ่ายลมความเร็วต่ำ ด้วยอุณหภูมิประมาณ 18 องศาเซลเซียส ที่ระดับพื้นห้องเพื่อให้เกิดการแทนที่ของอากาศใหม่ในระดับหายใจและดันอากาศเดิมขึ้นเหนือศีรษะ ระบบนี้เป็นระบบที่มีคุณภาพอากาศสูงที่สุดเนื่องจากไม่มีการผสมตัวของอากาศจึงทำให้อากาศที่หายใจภายในห้องมีมลภาวะน้อย

3) ระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้น (Impinging Jet Ventilation : IJV) คือระบบปรับอากาศที่จ่ายลมด้วยความเร็วสูง ด้วยอุณหภูมิประมาณ 13 องศาเซลเซียส คล้ายระบบปรับอากาศแบบผสม แต่จะเป็นการจ่ายอากาศแบบยิงสู่พื้นเพื่อให้เกิดผสมตัวของอากาศเล็กน้อยก่อนที่จะเข้าไปแทนที่อากาศเดิมภายในห้องที่ระดับหายใจ เพื่อลดปัญหาความชื้นของระบบปรับอากาศแบบแทนที่ที่เกิดจากการจ่ายอากาศด้วยอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ

คุณภาพอากาศภายในอาคารมีผลต่อสุขภาพผู้ใช้งานโดยตรง โดยตัวแปรเรื่องคุณภาพอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อพลังงานที่เปลี่ยนไปได้ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการระบายอากาศ (Ventilation Effectiveness; VEF) คือค่าความสามารถในการหมุนเวียนอากาศเดิมภายในห้อง โดยค่ามาตรฐานสำหรับระบบปรับอากาศที่จ่ายอากาศบนฝ้าเพดานอยู่ที่ 1.0 ส่วนระบบปรับอากาศที่มีการจ่ายลมที่ระดับต่ำ และมีความเร็วลมจ่ายต่ำ จะมีค่าอยู่ที่ 1.2 โดยใช้วิธีการคำนวณจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หัวจ่ายที่ระดับหายใจ และที่ช่องดูดอากาศกลับ

2) ปริมาณความต้องการอากาศภายนอก (outdoor air intake; V_{o2}) คือ ปริมาณความต้องการภายนอกของระบบปรับอากาศ ซึ่งประเมินจากค่าประสิทธิผลการระบายอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณอากาศที่ต้องการต่อคน โดยหากมีค่าประสิทธิผลการระบายอากาศมาก หมายความว่ามีความต้องการอากาศภายนอกเข้ามายังพื้นที่ใช้สอยน้อย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาเรื่องคุณภาพอากาศและการสิ้นเปลืองพลังงานปรับอากาศภายในอาคารของระบบปรับอากาศที่แพร่หลายในปัจจุบัน ทำให้มีการศึกษาหาแนวทางใหม่ในการจ่ายอากาศ ซึ่งพบว่า การจ่ายอากาศด้วยความเร็วแบบยิงสู่พื้น เป็นการแก้ปัญหาทั้งคุณภาพอากาศ และมีความสมดุลของภาวะน่าสบายที่ยอมรับได้ โดยความเร็วที่เหมาะสมในการจ่ายลมคือ 2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของลมจ่าย 13 องศาเซลเซียส (Varodompun, 2008)

3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพอากาศของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ประเภท เมื่อติดตั้งในพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำนักงาน โรงเรียน และโรงแรม

2) เปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ประเภทกับอาคารสำนักงาน โรงเรียน และโรงแรม

3) สรุปผลศักยภาพในการลดพลังงานปรับอากาศของอาคาร 3 ประเภท และเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้งานระบบปรับอากาศรูปแบบใหม่กับอาคารในประเทศไทย

4. เปรียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาและเปรียบเทียบระบบปรับอากาศกับอาคารในประเทศไทย ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม และโรงเรียน โดยศึกษาคุณภาพอากาศ และเชิงพลังงานที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ใช้สอยลักษณะต่างๆ ด้วยโปรแกรม PHOENICS โดยจำแนกรูปแบบพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารตาม ขนาด จำนวนผู้ใช้งาน และอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาพลังงานปรับอากาศของระบบปรับอากาศ ด้วยโปรแกรม eQUEST เมื่อใช้งานกับอาคารที่มีภาระทำความเย็นต่างจากกรอบอาคาร ความหนาแน่นของผู้ใช้งาน และจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละอาคาร

4.1 แบบจำลองต้นแบบ

การทดลองในส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาคุณภาพอากาศของพื้นที่ใช้สอยในอาคาร โดยการจ่ายอากาศ และลักษณะของพื้นที่ใช้สอยมี ดังนี้

4.1.1 การจ่ายอากาศ

ความเร็วลม อุณหภูมิ และลักษณะของหัวจ่ายอากาศในแต่ละระบบปรับอากาศ จะถูกกำหนดตามความเหมาะสมที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงลักษณะของการจ่ายอากาศ

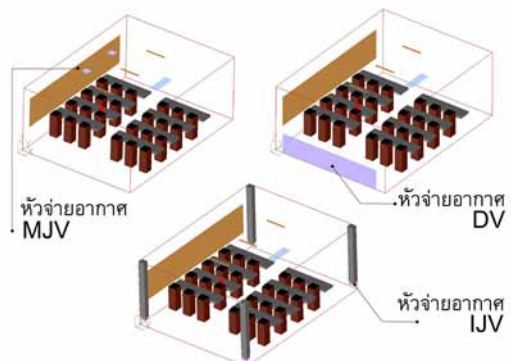
ระบบปรับอากาศ	ความเร็วลมจ่าย (m/s)	อุณหภูมิลมจ่าย (°C)
แบบผสม (MJV)	3	13
แบบแทนที่ (DV)	0.2	18
แบบยิงสู่พื้น (IJV)	2	13

4.1.2 ลักษณะพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

ลักษณะพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันตามขนาด และการใช้งาน โดยมีลักษณะภายในแตกต่างกันดังนี้

- 1) พื้นที่ทำงานของอาคารสำนักงาน
 - ขนาด 300 ตารางเมตร
 - ผู้ใช้งาน 48 คน
 - ความสูงฝ้าเพดาน 2.8 เมตร
- 2) ห้องเรียนของโรงเรียน
 - ขนาด 48 ตารางเมตร
 - ผู้ใช้งาน 24 คน
 - ความสูงฝ้าเพดาน 3.3 เมตร
- 3) ห้องพักของโรงแรม
 - ขนาด 24 ตารางเมตร
 - ผู้ใช้งาน 2 คน
 - ความสูงฝ้าเพดาน 2.7 เมตร

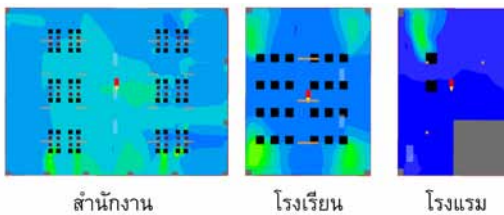
โดยติดตั้งระบบปรับอากาศทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบผสม ระบบปรับอากาศแบบแทนที่ และระบบปรับอากาศแบบยิงสู่พื้น เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการติดตั้งระบบปรับอากาศแต่ละประเภทภายในห้องเรียน

5. ผลการทดลอง

ผลการทดลองคุณภาพอากาศ จะพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศ ซึ่งคำนวณจากความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับหายใจ (breathing zone) 1.1 เมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังห้องแสดงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับหายใจเมื่อติดตั้ง IJV

5.1 ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศ

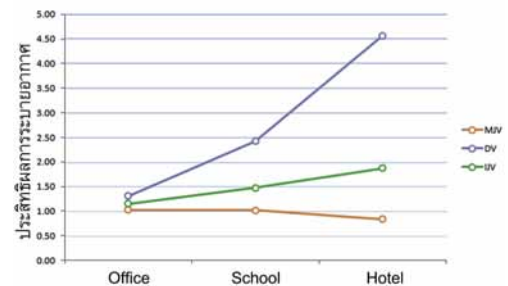
ผลการทดลองพบว่าระบบปรับอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศมากที่สุดคือระบบ DV IJV และ MJV ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ระบบปรับอากาศ	สำนักงาน	โรงเรียน	โรงแรม
แบบผสม(MJV)	1.03	1.01	0.84
แบบแทนที่(DV)	1.31	2.43	4.57
แบบยิงสู่พื้น(IJV)	1.15	1.47	1.87

ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศระบบ DV คือ 1.31 – 4.57 ระบบ IJV คือ 1.15 – 1.87 และระบบ MJV คือ 0.84 – 1.03 โดยภายในพื้นที่ที่มีการติดตั้งหัวจ่ายอากาศใกล้ช่องดูดอากาศกลับ เช่นโรงแรม ควรเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากระบบ MJV มาเป็นระบบ DV หรือ IJV มากที่สุด เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ภายในระบบ MJV เพียง 0.84 แต่ในทางกลับกันเมื่อติดตั้งระบบ DV และ IJV จะทำให้ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงขึ้นมากกว่าประเภทอาคารอื่น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศของระบบปรับอากาศในแต่ละประเภทอาคาร

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

โรงแรมเป็นพื้นที่ใช้งานที่ควรเปลี่ยนระบบปรับอากาศมากที่สุดเนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องต่ำ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ระบบ DV หรือ IJV ค่าประสิทธิภาพการระบายอากาศจึงสูงขึ้นมากกว่าพื้นที่ใช้งานประเภทอื่น ส่วนพื้นที่ใช้งานที่มีภาระทำความเย็นและมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เช่นสำนักงานควรเลือกใช้ระบบ DV มากที่สุดเนื่องจากการหลีกเลี่ยงการผสมกันของอากาศเดิมภายในห้องและอากาศใหม่ที่จ่ายเข้าไป ถึงแม้ว่าระบบ IJV จะสามารถแก้ปัญหาเรื่องคุณภาพอากาศ และพลังงานที่ใช้ได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานตามแต่ละประเภทอาคาร โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ IJV คือ ภาระทำความเย็นที่มากขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบลดลง

รายการอ้างอิง

ดร.ณิ จาริมิตร. (2548). แนวทางการออกแบบและจัดการอาคารสำนักงานเพื่อป้องกันโรคติดต่อทางอากาศ. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Varodompun, J. (2008). *Architectural and Applications of Impinging Jet Ventilation Using Full Scale and CFD Simulation*. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Doctor of Philosophy (Architecture) in The University of Michigan.

- Karimipannah, T., & Awbi, H. B. (2001). *Theoretical and Experimental Investigation of Impinging Jet Ventilation and Comparison with Wall Displacement Ventilation*. Indoor Environment and Energy Research Group, Department of Construction Management and Engineering, The University of Reading.
- ASHRAE Standard 55. (2007). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE Standard 62.1. (2007). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE Standard 90.1. (2007). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE.

การออกแบบช่องระบายอากาศบนทางเดินกลางเพื่อเพิ่มลมธรรมชาติ
ในอาคารชุดพักอาศัยขนาดใหญ่
Ventilation Duct Design above Double Loaded Corridor for Enhancing
Natural Wind in the Large Residential

คณิศ จี้งสกุล¹ และ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ²
Kanes Jungsakul¹ and Sudaporn Sudprasert, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: busuh_sensen@hotmail.com¹, chungloo.da@gmail.com²

บทคัดย่อ

อาคารชุดพักอาศัยในปัจจุบัน มีการออกแบบทางเดินกลางเพื่อใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า แต่มีข้อเสียคือห้องพักอาศัยมีช่องเปิดเพียงด้านเดียว ส่งผลให้ห้องพักอาศัยไม่ได้รับการระบายอากาศที่เพียงพอเนื่องจากห้องพักมีช่องลมเข้า แต่ไม่มีช่องลมออก ทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของความกดอากาศ อากาศจึงไม่ไหลเวียน การวิจัยนี้นำพื้นที่ส่วนด้านบนของทางเดินกลางมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งช่องระบายอากาศเชื่อมจากห้องพักอาศัยสู่ช่องระบายอากาศเหนือทางเดินกลางส่งไปภายนอกอาคารช่วยเพิ่มความแตกต่างของความกดอากาศ และประเมินผลด้วยอัตราการระบายอากาศในแต่ละห้อง การทดลองจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล ANSYS FLUENT ในห้องพักอาศัยรูปแบบ 1 ห้องนอน ในอาคารขนาดใหญ่สูงไม่เกิน 23 เมตร ผลการจำลองพบว่า ช่องระบายอากาศทำให้ห้องมีอัตราการระบายอากาศมากกว่ากฎหมายกำหนด 2 - 3 เท่า ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประยุกต์ได้ทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ เพราะเป็นการติดตั้งระบบเพิ่มโดยไม่ได้ทำลายโครงสร้างเดิม

Abstract

Nowadays, condominium are designed for space-efficient with double loaded corridor that rooms are single-sided ventilation with ineffective airflow. Each rooms has only one window for inlet but no outlet to make a difference in air pressure. This research aims to study the design ventilation duct in the upper part of the double loaded corridor. The installation of a ventilation duct from the room connected to ventilation duct above of double loaded corridor can increase airflow to the outdoors by enhancing difference in air pressure. Ventilation rate are calculated for each room for evaluation. Airflow simulations of one bedroom in buildings of higher than 23 meters were conducted in ANSYS FLUENT, a computational fluid dynamics program. Results showed that ventilation duct increases ventilation rate in the room higher than official requirement by 2 - 3 time. Results of the research can be applied to both the old and new buildings because the system is installed adding to original structure.

คำสำคัญ (Keywords): อาคารชุด (Condominium), การระบายอากาศโดยลมธรรมชาติ (Natural Ventilation), ช่องระบายอากาศ (Ventilation Duct), ทางเดินกลาง (Double Loaded Corridor)

1. ที่มาและความสำคัญ

การออกแบบอาคารชุดรูปแบบ 1 ห้องนอน ปัจจุบันมักไม่ได้คำนึงถึงการระบายอากาศที่เข้ามาอย่างเพียงพอ ทำให้ห้องต้องพึ่งพาระบบปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ การออกแบบช่องเปิดพบว่าสามารถแก้ปัญหาการระบายอากาศได้ เช่น การออกแบบช่องเปิดให้มีการระบายอากาศโดยลมธรรมชาติ จะช่วยพาความร้อนออกจากอาคารและเพิ่มความเร็วลมให้คนรู้สึกสบาย (Lechner, 2001) โดยอาคารชุดพักอาศัยส่วนมากมีการออกแบบทางเดินกลาง (double corridor) เพื่อการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า แต่มีข้อเสียคือ ทำให้ห้องพักอาศัยมีช่องเปิดเพียงด้านเดียว ส่งผลต่อกระแสลมที่เข้ามาไม่เพียงพอ เนื่องจากช่องเปิดด้านเดียวไม่มีความต่างของความกดอากาศทำให้ลมไม่สามารถเข้ามาในห้องได้ จึงต้องมีการออกแบบช่องเปิดเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศ โดยการออกแบบให้เกิดการระบายอากาศแบบข้ามฟาก (cross ventilation) คือมีช่องเปิดลมเข้าและมีช่องเปิดลมออกอยู่ในระนาบเดียวกัน โดยช่องทางเข้าและทางออกอยู่คนละด้านกัน จะทำให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพ แต่การที่อาคารชุดพักอาศัยมีช่องเปิดเพียงด้านเดียวทำให้ไม่สามารถออกแบบการระบายอากาศแบบข้ามฟากได้ จึงต้องมีการออกแบบให้ด้านที่ติดกับทางเดินกลางเป็นช่องลมออก โดยออกแบบช่องระบายอากาศ (ventilation duct) ที่ทางเดินอาคารเพื่อสร้างทางออกของอากาศและนำอากาศนั้นออกจากอาคาร ทำให้ห้องพักอาศัยได้รับอัตราการระบายอากาศผ่านตามกฎหมาย และนำไปประยุกต์กับการออกแบบในปัจจุบัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ห้องพักอาคารชุดพักอาศัยในปัจจุบัน

ห้องพักแบบ 1 ห้องนอนประกอบด้วยห้องนอน พื้นที่นั่งเล่น ห้องน้ำ พื้นที่ครัว และระเบียงโดยพื้นที่ที่ต้องการกระแสลม เช่น พื้นที่นั่งเล่น ห้องนอน และบางพื้นที่ต้องอยู่ปลายลมให้ระบายอากาศออก เช่น พื้นที่ครัว

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอากาศ

กระแสลม จะช่วยให้เกิดการพาความร้อน (convection) ออกจากร่างกายช่วยให้ถ่ายเทความร้อนเร็วขึ้น และช่วยลดความชื้นในอากาศจึงทำให้รู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ มีส่วนช่วยในการระบายอากาศ การทำให้อากาศเคลื่อนที่มี 2 ปัจจัย ดังนี้

2.2.1 ความแตกต่างกันของความกดอากาศ

โดยความกดอากาศสูง (+) จะเคลื่อนที่ไปยังความกดอากาศต่ำ (-) ถ้ามีความกดอากาศที่แตกต่างกันมากจะทำให้กระแสลมเพิ่มขึ้น

2.2.2 ความแตกต่างกันของอุณหภูมิ

เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นเพราะความหนาแน่นน้อย และอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ

การระบายอากาศ (ventilation) คือ การถ่ายเทความร้อนหรือเอาอากาศเก่าภายในห้องออกไป และอากาศใหม่เข้าไปแทนที่ การระบายอากาศนี้สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้งาน ในส่วนของช่อง

เปิดทางลมเข้า และช่องเปิดทางลมออก โดยความเร็วลมที่เหมาะสมคือ 0.25 - 1.00 เมตรต่อวินาที

จากงานวิจัยของ วรากร สงวนทรัพย์ (2552) การระบายอากาศจากช่องเปิดโดยใช้การระบายอากาศข้ามฟากผ่านช่องทางเดินกลางผ่านห้องพักอีกฟาก พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยปลายลมเท่ากับ 19% กลางห้อง 27% ต้นลม 42% รวม 29% หรือเท่ากับ 0.29 เมตรต่อวินาที

2.4 การระบายอากาศด้วยช่องระบายอากาศ

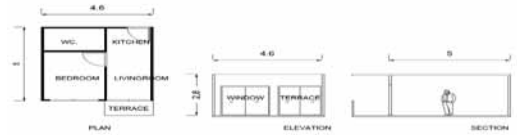
ระบบท่อของช่องระบายอากาศนี้จะเหมือนระบบลำต้นและกิ่งก้านของต้นไม้คือ จะมีท่อขนาดใหญ่สุดตรงกลางและแจกจ่ายสู่ห้องพักต่าง ๆ ที่มีขนาดเล็กลง โดยหลักการทำงานจะคล้ายระบบจ่ายอากาศ (air supply) ในระบบปรับอากาศที่ดูดอากาศภายนอกมาปล่อยในอาคาร แต่ช่องระบายอากาศนี้เป็นระบบดูดอากาศกลับไปปล่อยนอกอาคาร

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 ได้กำหนดให้อัตรากาการระบายอากาศโดยวิธีกลโดยคิดเป็น 7 เท่าของปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การเลือกห้องพักอาคารชุดตัวอย่าง

เลือกจากการสำรวจลักษณะร่วมของอาคารชุดในกรุงเทพฯ ที่เปิดตัวในปี พ.ศ. 2555 และจากกฎกระทรวงฉบับที่ 55 เพื่อสร้างแบบจำลองห้องพื้นฐานคือ มีขนาดกว้าง 4.50 เมตร ยาว 5.00 เมตร ความสูง 2.8 เมตร มีระเบียง และมีช่องเปิด 2 ช่อง ในส่วนห้องนั่งเล่นและห้องนอนสูง 2.00 เมตร จำนวนห้องพักต่อชั้นอย่างน้อย 12 ห้อง ชั้น 8 ชั้น



รูปที่ 1 ขนาดห้องพักอาศัย

ช่องระบายอากาศของอาคารชุดจะติดตั้งอยู่บนทางเดินกลางที่มีความกว้าง 1.5 เมตร อยู่ระดับเหนือประตู ดังรูปที่ 2 มีการทดลองตัวแปรต้นโดยการเปลี่ยนหน้าตัดของท่อที่เชื่อมกับห้องพักอาศัย หน้าตัดของท่อที่ทางเดินกลาง และความยาวของท่อที่ทางเดินกลางเมื่ออาคารมีขนาดยาวออกไป

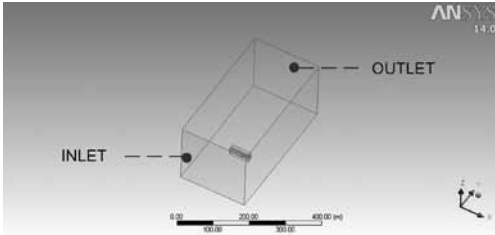


รูปที่ 2 รูปตัดทางเดินกลาง

3.2 ขั้นตอนในการศึกษา

3.2.1 การจำลองอาคาร

ทดลองโดยจำลองทั้งอาคารจากการสร้างโดเมน แบ่งเป็น 4 ส่วนคือ การจำลองอาคารทั่วไป การจำลองโดยมีปีกอาคาร การจำลองโดยสร้างช่องทางออกเพิ่ม การจำลองโดยสร้างทางออกเพิ่มและมีการระบายอากาศแบบข้ามฟาก โดยทั้ง 4 ส่วนทดลองแบบจำนวนความยาว 6, 8, 10 และ 12 ห้อง ความเร็วลมตั้งต้น 1.5 เมตรต่อวินาที มาทางทิศใต้ 90 องศา



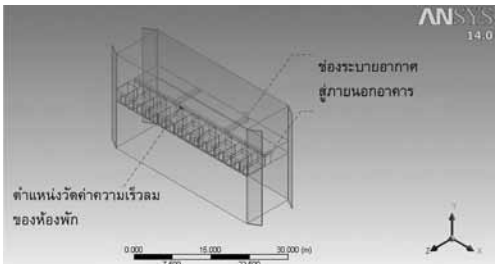
รูปที่ 3 โดเมนของอาคาร

3.2.2 การหาค่าอัตราการระบายอากาศ

ค่าความเร็วลมที่ช่องระบายอากาศ จะมาจากการวัดค่าจากผลการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพลศาสตร์ของไหล Ansys Fluent 14.0 ดังรูปที่ 4 เพื่อนำมาคำนวณสมการหาอัตราการระบายอากาศ ดังสมการที่ 1

$$Q = AV \quad (1)$$

- Q = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
- A = พื้นที่หน้าตัดขนาดช่องทางเข้า (m^2)
- V = ความเร็วของกระแสลม (m/s)



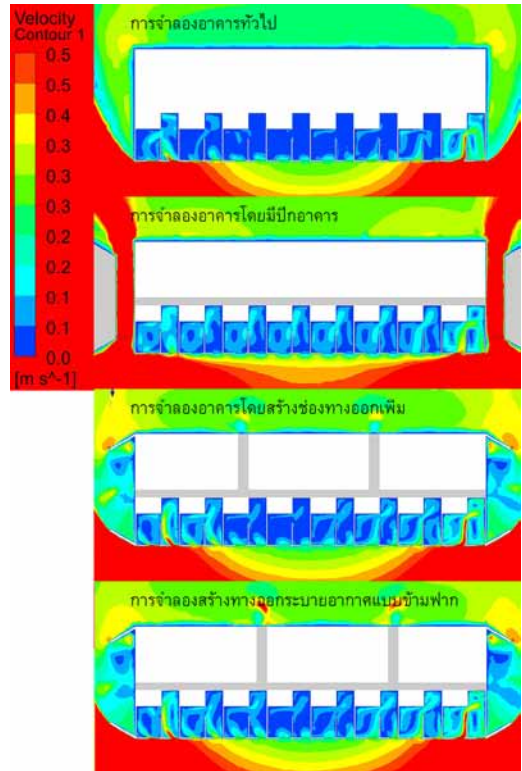
รูปที่ 4 ตำแหน่งวัดค่าความเร็วลมจากโปรแกรม

4. อภิปรายและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์ค่าอัตราการระบายอากาศ จากการใช้ช่องระบายอากาศ

จากการจำลองอาคารทั่วไปที่มีช่องเปิดด้านเดียวพบว่ามีการไหลเข้าเพียงห้องริมสุดห้องอื่น ๆ ไม่ได้รับกระแสลม ดังรูปที่ 5 ทำให้ไม่

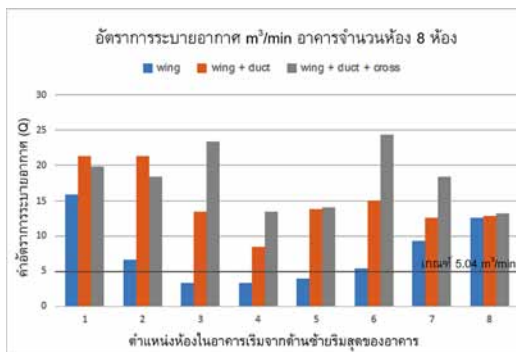
มีการระบายอากาศ เนื่องจากไม่มีความแตกต่างของความกดอากาศ ส่วนการจำลองรูปแบบที่มีการใช้ช่องระบายอากาศ ทำให้มีทางออกของอากาศ ส่งผลให้ภายนอกและภายในของอาคารมีความแตกต่างของความกดอากาศ ทำให้มีการระบายอากาศผ่านห้องได้



รูปที่ 5 แพลนอาคารแสดงความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้น 1 เมตร

จากการจำลองโดยใช้ปีกอาคาร (wing) ต้องการเพิ่มการระบายอากาศโดยให้ความดันอากาศสูงไปต่ำมากขึ้น ปีกอาคารทำหน้าที่บีบกระแสลมด้านข้างอาคารส่งผลให้เกิดความเร็วมเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นความดันจะต่ำลง (Bernoulli, 1738) แต่เมื่ออาคารมีจำนวนห้องเพิ่มขึ้น เช่น 10 ถึง 12 ห้อง จะทำให้

ความกดอากาศภายในห้องมากขึ้น และไม่มี ความแตกต่างของความกดอากาศภายในห้องและ ภายในท่อ ทำให้อัตราการระบายอากาศต่ำลง จึง ต้องสร้างทางออกของช่องระบายอากาศเพิ่ม ระหว่างทาง (wing+duct) เพื่อสร้างความแตกต่าง ของความกดอากาศบริเวณนั้น และจะทำให้ อัตราการระบายอากาศมากที่สุดเมื่อ ช่องระบาย อากาศของห้องพักตรงกับช่องทางออกของท่อ ระบายอากาศ เป็นการระบายอากาศแบบข้ามฟาก (wing+duct+cross) ดังรูปที่ 6



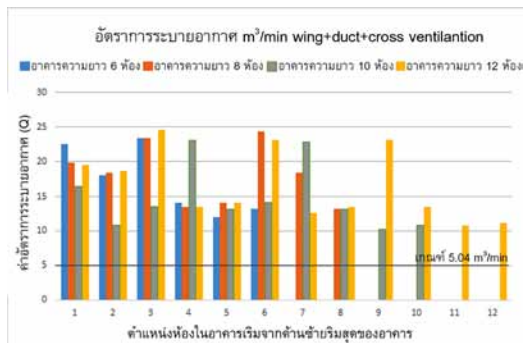
รูปที่ 6 กราฟแสดงอัตราการระบายอากาศในกรณีอาคาร 8 ห้องที่ใช้ปีกข้างอาคาร ปีกอาคารและเพิ่มท่อ ทางออก และแบบปีกอาคารและเพิ่มท่อทางออก ระบายอากาศแบบข้ามฟาก

ค่าอัตราการระบายอากาศที่ต้องการคือ 7 เท่าของปริมาตรห้อง คือ 302.4 m³ เมื่อหาค่าเป็น นาทิแล้วต้องการ 5.04 m³/min (wing) เมื่อมีการ ใช้ช่องระบายอากาศโดยเพิ่มทางออกจะทำให้มี ค่าอัตราการระบายอากาศผ่านเกณฑ์ที่เทียบ เท่ากับการใช้วิธีกล โดยไม่ต้องใช้พัดลมระบาย อากาศ

4.2 วิเคราะห์ค่าอัตราการระบายอากาศ จาก การเพิ่มจำนวนห้อง

จากการจำลองอาคารโดยสร้างช่องทาง ออกเพิ่มและมีการระบายอากาศแบบข้ามฟาก

เมื่ออาคารมีการเพิ่มจำนวนห้องมากขึ้น แต่อัตรา การระบายอากาศยังผ่านเกณฑ์ เนื่องจากเมื่อมี การเพิ่มช่องทางออกมากขึ้น จะทำให้ค่าอัตราการ ระบายอากาศเพิ่มขึ้น จากการจำลองตำแหน่ง ห้องที่ตรงกับช่องทางออกจะมีค่ามากที่สุด และ ห้องด้านข้างห้องดังกล่าวจะได้รับการระบาย อากาศมากขึ้นด้วย โดยค่าเหล่านี้เมื่ออาคารเพิ่ม จำนวนห้องมากขึ้น จะมีค่าเกือบคงที่ หมายความว่า การสร้างอาคารชุดพักอาศัยสามารถเพิ่ม จำนวนห้องได้มากขึ้น โดยการเพิ่มห้องพัก 3 ห้อง ต้องมีการเพิ่มทางออกของช่องระบายอากาศ 1 ช่อง ทำให้ทุกห้องในอาคารได้รับการระบาย อากาศที่เหมาะสม



รูปที่ 7 กราฟแสดงอัตราการระบายอากาศกรณี อาคาร ความยาวแบบ 6 ห้อง ถึง 12 ห้อง แบบปีกอาคาร และเพิ่มท่อทางออกระบายอากาศแบบข้ามฟาก

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การใช้ท่อระบายอากาศในอาคารชุดพัก อาศัยสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ เนื่องจากสร้างความแตกต่างของความกดอากาศ ได้ จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ออกแบบ กับอาคารพักอาศัยรูปแบบ 1 ห้องนอน สูงไม่เกิน 23 เมตร ที่มีการใช้ทางเดินกลาง ในทุก ๆ ชั้นและ ทุก ๆ ความยาวของอาคาร ไม่ว่าจะอาคารจะมีจำนวน กี่ห้อง เช่น เมื่อสร้างอาคารความยาวจำนวนห้อง

6 ห้องสามารถสร้างโดยไม่ต้องมีปีกอาคารและไม่ต้องสร้างช่องทางออกเพิ่ม แต่เมื่อเป็นการสร้างอาคารความยาวจำนวนห้อง 8 ห้องอาจเพิ่มปีกอาคาร และเมื่อสร้างอาคารยาวจำนวนห้องมากกว่า 8 ห้อง สามารถนำไปประยุกต์กับการเพิ่มช่องทางออกของท่อระบายอากาศ ทุก 3 ห้องมีช่องทางออกเพิ่ม 1 ช่อง แม้ว่าทิศทางลมจะมาในทิศทางต่างกัน โดยไม่ได้มาปะทะกับอาคาร 90 องศา แต่เนื่องจากการวิจัยได้ทดลอง 90 องศา เป็นองศาตั้งฉากซึ่งรับลมได้น้อยที่สุด หมายความว่าค่าที่ได้จากการจำลองเป็นค่าที่ได้รับน้อยที่สุด เมื่อนำไปสร้าง อาคารที่สัมพันธ์กับองศาของกระแสลมน้อยกว่า 90 องศาจะส่งผลดีต่ออาคารมากขึ้น ทั้งนี้การติดตั้งท่อระบายอากาศสามารถนำไปประยุกต์กับอาคารเก่าได้ เนื่องจากเป็นการเพิ่มระบบไม่ไปทำลายโครงสร้างเดิมของอาคาร

รายการอ้างอิง

- วรการ สงวนทรัพย์. (2547). *การออกแบบอุปกรณ์บังแดดและตำแหน่งช่องเปิด เพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ของอาคารพักอาศัยประเภทห้องชุด ในเขตกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- Bernoulli, D. (1738). *Hydrodynamica*. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557, จาก en.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli
- Lechner, N. (2001). *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*. New York: John Wiley & Sons.

แนวทางการเลือกใช้กระจกเพื่อความคุ้มค่าในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น

Glazing Selection Guideline Economic Approach in office building in Hot-Humid Climate

กฤษบดินทร์ แสงอำ¹ และ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ²
Kitbordin Sangum¹ and Awiroot Srisutapan²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: kitbordin@hotmail.com¹, awi_cl@hotmail.com²

บทคัดย่อ

การออกแบบกรอบอาคารมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารซึ่งการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถทำได้หลายวิธี แต่สำหรับบางอาคารมีข้อจำกัดด้านทำเลที่ตั้งและการวางทิศทางอาคาร จึงต้องเลือกใช้กระจกคุณภาพสูงเพื่อลดการใช้พลังงานลง เนื่องจากชนิดของกระจก และราคา มีความหลากหลายทำให้เกิดความสับสนในการเลือกใช้งาน อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระจกส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปในด้านของประสิทธิภาพการใช้งาน แต่ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องของการลงทุน งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและระยะเวลาคืนทุนของการใช้กระจกที่คุณสมบัติต่างๆ โดยการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม eQUEST_3.64 แล้วนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายและสรุประยะเวลาคืนทุนเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ลงทุน ผลการทดลองพบว่า การเลือกใช้กระจกคุณภาพปานกลางร่วมกับอุปกรณ์บังแดดจะสามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการเลือกใช้กระจกคุณภาพสูงเพียงอย่างเดียว

Abstract

Building façade design affects the heat transfer in buildings. The heat transfer reduction can be done in several ways, however, some buildings' limitations on location and orientation, leads to the use of high-quality glass to reduce energy consumption. In addition, the wide array of both types and prices of glazing results in the confusion in selection. Moreover, majority of researches related to glass focuses on their efficiency without consideration on investment. Hence, this research aims to study the relation of energy consumption and payback period of various type of glass. Hereby, the energy consumption is simulated by eQUEST_3.64 software, then the cost is calculated to find the payback period, so that it can be another option for investors. It is found that the use of medium-quality glass with shading devices can save more energy and cost than the use of high-quality glass only.

คำสำคัญ (Keywords): กระจก (Glazing), ความคุ้มค่า (Payback Period), อาคารสำนักงาน (Office Building), เขตร้อนชื้น (Hot-Humid Climate)

1. ที่มาและความสำคัญ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีโดยเฉพาะในปี 2555 ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปี 2554 ซึ่งพลังงานที่ใช้ทั้งหมดกว่าร้อยละ 70 เป็นพลังงานที่มาจากระบบปรับอากาศภายในอาคาร ที่เพิ่มขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งปัจจัยหลักคือการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ทำให้การออกแบบกรอบอาคารมีความสำคัญต่อการใช้พลังงาน ซึ่งแนวทางการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถทำได้หลายแนวทาง เช่น การใช้ฉนวนป้องกันความร้อน การใช้อุปกรณ์บังแดด การลดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด ฯลฯ แต่สำหรับบางอาคารอาจไม่สามารถหลีกเลี่ยงการลดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านที่ตั้งอาคาร ความต้องการใช้งาน โดยอาจจะพิจารณาร่วมกับการเลือกใช้กระจกที่มีประสิทธิภาพสูง หากเจ้าของโครงการมีศักยภาพในการลงทุน หากพิจารณาถึงกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งในเรื่องของชนิดของกระจกและราคา จะพบว่ามีความหลากหลายมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนในการเลือกใช้งาน อีกทั้งการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระจกส่วนใหญ่ จะมุ่งเน้นไปในทางด้านของประสิทธิภาพการใช้งาน แต่ไม่ได้พิจารณาในเรื่องของการลงทุน ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้ของเจ้าของอาคาร ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยทำให้เกิดความเข้าใจร่วมกันในเรื่องของการออกแบบ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และด้าน

เศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในวิชาชีพสถาปัตยกรรมต่อไป

2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีจากรังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์เป็นรังสีคลื่นสั้นที่ถูกส่งมาในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน มีลักษณะของการแผ่รังสี 2 ลักษณะคือ รังสีตรงที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังผิวโลกในทิศทางตั้งฉากกับวัตถุที่กระทบ และ รังสีกระจายที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้วตกกระทบกับผิวนละออง เมฆ และไอน้ำที่กระจายในอากาศ

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุจะเกิดเมื่ออุณหภูมิของวัตถุ 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน และจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยมีการถ่ายเทความร้อน 3 วิธี คือ การนำความร้อนเป็นการนำความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำในสสารที่มีสภาพเป็นของแข็ง การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกัน และการแผ่รังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนโดยเกิดการดูดซับพลังงานเปลี่ยนเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

2.3 ประเภทของกระจก

ในการใช้งานของกระจกสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้หลายประเภท โดยจะมีการแบ่งตามลักษณะการผลิต เช่น กระจกโพลิตที่ดัดแปลงให้มีความโปร่งใส กระจกอบความร้อนที่ผ่านการอบความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรง กระจกเคลือบผิวที่มีการเคลือบผิวช่วยลดความร้อน ฯลฯ ซึ่งกระจกแต่ละประเภทจะมีค่าคุณสมบัติสำคัญที่แตกต่างกันทั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และค่าการส่องผ่านของแสง (VT) โดยในงานวิจัยนี้จะมีการเลือกประเมินที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด และค่าการส่องผ่านของแสง ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร (เศรษฐวิวัฒน์, 2545)

2.4 ระยะเวลาคืนทุน

คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากผลต่างการใช้พลังงานต่อปีของอาคารต้นแบบกับการใช้พลังงานต่อปีของอาคารตัวแปรที่มีค่าเท่ากับเงินลงทุน ระยะเวลาคืนทุนเร็วแสดงว่ามีโอกาสขาดทุนในอนาคตลดลง การวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย ดังสมการที่ 1

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \quad (1)$$

3. ระเบียบวิธีวิจัย

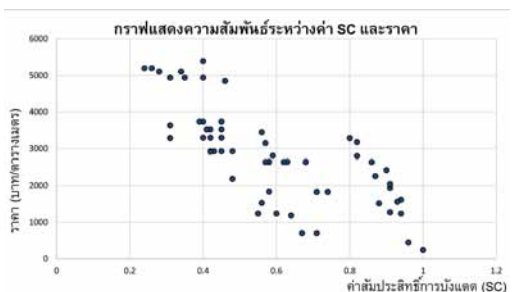
งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยการให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประเมินผลการใช้พลังงานของอาคารที่เกิดจากการใช้กระจกที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน และการใช้ร่วมกับแนวทาง

การออกแบบวิธีอื่น ๆ โดยได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

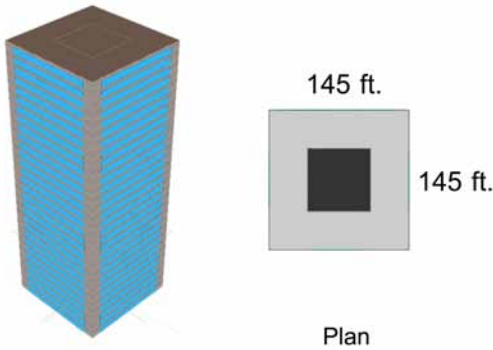
3.1 ส่วนที่ 1 การจำลองผลการใช้พลังงานของอาคาร

ประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

- 1) คุณสมบัติกระจก จากการสำรวจคุณสมบัติของกระจกที่มีการใช้งานพอที่จะสรุปและจัดกลุ่มหาค่าเฉลี่ยเพื่อที่จะนำมาใช้ในการจำลองโดย ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) มีค่า 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 0.9 (ดูรูปที่ 1)
- 2) ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดด มีค่า 0.5 1.0 และ 1.5 เมตร
- 3) ทิศทาง ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก
- 4) การจำลองจะใช้โปรแกรม eQUEST 3.64 ในการจำลองการใช้พลังงาน
- 5) อาคารอ้างอิงที่ใช้ในการจำลอง เป็นอาคารประเภทสำนักงาน ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลอาคารตัวอย่างในเขตกรุงเทพฯ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของพื้นที่ต่อชั้นอยู่ 1,953 ตารางเมตร จำนวนชั้น 30 ชั้น ระยะห่างจากระดับพื้นถึงฝ้า 2.75 เมตร (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกที่ได้จากการสำรวจ



รูปที่ 2 โมเดลจำลองอาคารสำนักงาน

3.2 ส่วนที่ 2 การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการประเมินผลทางด้านระยะเวลา
คืนทุน โดยพิจารณาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า
ในส่วนของระบบปรับอากาศ เงินลงทุนที่ต้องใช้
ในส่วนของกระจกประเภทต่าง ๆ การใช้อุปกรณ์
บังแดด โดยคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน
(Time of Use Tariff : TOU Tariff) ที่คิดค่าพลังงาน
ไฟฟ้า on peak 3.5982 และ off peak 2.1572
บาท/หน่วย

ตารางที่ 1 ราคาประมาณของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

วัสดุ	ราคา (บาท/ตารางเมตร)
ค่า SC 0.2	5,000
ค่า SC 0.4	3,500
ค่า SC 0.6	2,600
ค่า SC 0.8	1,900
ค่า SC 0.9	1,500
ค่า U=2 W/m ² -K	5,400
ค่า U=3 W/m ² -K	3,200
ค่า U=5 W/m ² -K	1,500
ผนังก่ออิฐ	700
แผงกันแดดอลูมิเนียมเคลือบสี	500

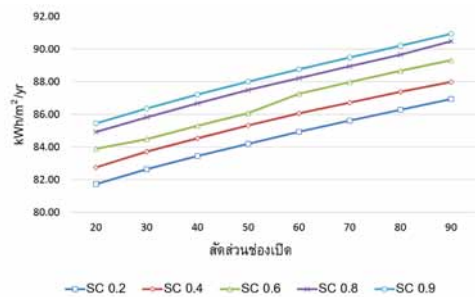
โดยนำเงินลงทุนที่ได้มาพิจารณาร่วมกับ
ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ เพื่อหาระยะเวลา
คืนทุนที่เหมาะสมและแนวทาง

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองด้านพลังงานของอาคาร

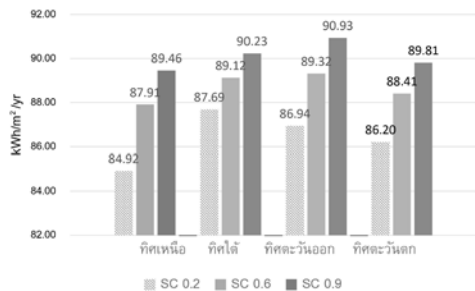
โดยสรุปผลตามตัวแปรได้ดังนี้

1) คุณสมบัติกระจก จากผลการทดลอง
การใช้กระจกที่มีค่า SC 0.2 จะลดการใช้พลังงาน
ได้มากที่สุดส่วนกระจกที่มีค่า SC 0.9 จะใช้
พลังงานมากที่สุด ดังนั้นเลือกใช้กระจกที่มีค่า
สัมประสิทธิ์การบังแดดยิ่งต่ำ จะยิ่งประหยัด
พลังงานในทุกกรณีของสัดส่วนช่องเปิด (ดูรูปที่ 3)



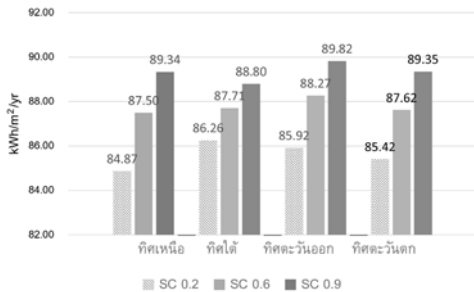
รูปที่ 3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจกระหว่าง
ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดในทิศตะวันออก

2) ทิศทาง พบว่าการใช้พลังงานในอาคาร
จะมากที่สุดทางทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก
และทิศเหนือ ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4)

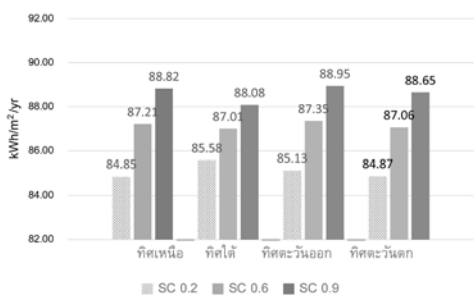


รูปที่ 4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละทิศ (kWh/m²/yr)

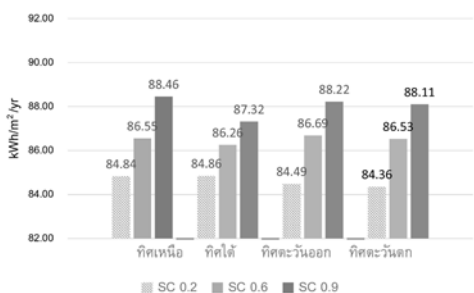
3) ระยะเวลาของอุปกรณ์บังแดด พบว่าการใช้กระจกร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ระยะยื่น 1.50 เมตรที่สัดส่วนช่องเปิด 40% ในทุกชนิดของกระจกจะลดการใช้พลังงานลง 3% (ดูรูปที่ 5-7)



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจกแต่ละชนิดร่วมกับอุปกรณ์บังแดดระยะยื่น 0.5 เมตร



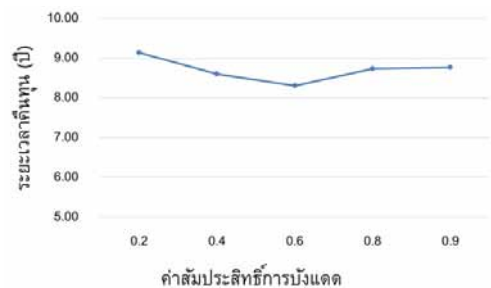
รูปที่ 6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจกแต่ละชนิดร่วมกับอุปกรณ์บังแดดระยะยื่น 1.0 เมตร (kWh/m²/yr)



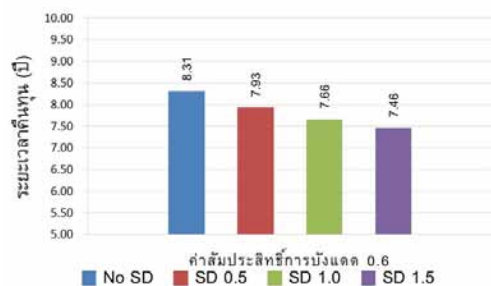
รูปที่ 7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระจกแต่ละชนิดร่วมกับอุปกรณ์บังแดดระยะยื่น 1.5 เมตร (kWh/m²/yr)

4.2 ผลการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์

การคิดต้นทุนในการก่อสร้างจะอ้างอิงราคาวัสดุจากท้องตลาดแล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน จากการทดลองพบว่า เมื่อไม่มีการติดตั้งแผงอุปกรณ์บังแดด การเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด 0.6 จะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ 8.31 ปี ที่สัดส่วนช่องเปิด 40% ในทิศตะวันออก และเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ระยะยื่น 1.5 เมตร จะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 7.46 ปี (ดูรูปที่ 8 - 9)



รูปที่ 8 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่างกัน ที่สัดส่วนช่องเปิด 40% ในทิศตะวันออก



รูปที่ 9 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนระหว่างระยะยื่นของแผงกันแดดที่สัดส่วนช่องเปิด 40% ในทิศตะวันออก

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการพิจารณาเลือกใช้กระจกเพื่อประสิทธิภาพ พบว่า การเลือกใช้กระจกที่ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกต่ำจะช่วยประหยัดพลังงานได้ดีที่สุดในทุกสัดส่วนช่องเปิดและเมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด ส่วนการพิจารณาการเลือกใช้กระจกเพื่อความคุ้มค่า พบว่า การใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดปานกลาง (SC 0.6-0.8) ร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ระยะ 1.50 เมตร จะลดระยะเวลาคืนทุนได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้กระจกจะขึ้นอยู่กับผู้ลงทุนเป็นหลัก ถ้าหากต้องการให้โครงการมีใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยสามารถลงทุนเรื่องกระจกได้ การเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำจึงเป็นทางเลือกที่ควรดำเนินการ แต่ในบางโครงการที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ การเลือกใช้กระจกที่มีคุณภาพและราคาปานกลางร่วมกับการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้ลงทุนลดการใช้พลังงานลงได้

รายการอ้างอิง

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2547). *คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน*.
สมสิทธิ์ นิตยะ. (2542). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนทร บุญญาธิการ. (2551). *นวัตกรรมการใช้กระจกสำหรับเมืองร้อนชื้น*. นนทบุรี: คูณปริ้นท์.

ธีรไฉย สร้อยศิริ. (2556). *แนวทางการออกแบบโถงสูงชนิดผนังกระจกด้านเดียวปรับอากาศในเขตร้อนชื้นเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เศรษฐวัฒน์ ศรีวิโรจน์. (2545). *ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ. (2552). *เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมในการออกแบบสถาปัตยกรรมในเขตร้อนชื้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Cordoba, J. (1998). Study of the potential saving on energy demand and HVAC energy consumption by using coated glazing for office buildings in Madrid. *Energy and Buildings*, 27,13-19.

Singh, M. C. and Garg, S. N. (2009). Energy rating of different glazings for Indian climates. *Energy*, 34, 1986-1992.