

ด้านเทคโนโลยีอาคาร

ระแนงดูดความชื้นในปล่องรังสีอาทิตย์เพื่อลดความชื้นในห้องนอน

Desiccant Louvers Integrated in Solar Chimney for Dehumidification in the Bedroom

ณัฏกชิตา พินิจรัตนพันธ์¹ และ รศ.ดร. สูดาภรณ์ สูดประเสริฐ²

Nanchida Pinitratnapun¹ and Assoc. Prof. Sudaporn Sudprasert, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: dia_pnp93@hotmail.com¹, sudaporn@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

ในประเทศไทยที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่มีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูง ซึ่งส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย และการอยู่อาศัยภายในอาคารของมนุษย์ โดยเฉพาะห้องนอนเป็นที่พักอาศัยที่มนุษย์ใช้เวลามากที่สุดแห่งหนึ่งในชีวิต การสร้างสภาวะน่าสบายนอกเหนือจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ นั่นคือ วิธีการระบายอากาศ และลดความชื้นที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ การลดความชื้นในห้องนอน โดยการใช่วัสดูดูดความชื้นที่ทำจาก ใส่ในของแห้ง มันสำปะหลัง ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ นำมาติดตั้งในปล่องรังสีอาทิตย์ (solar chimney) ที่เป็นระบบระบายอากาศด้วยปรากฏการณ์ธรรมชาติ ส่งผลให้ความชื้นในอากาศลดลงก่อนจะเข้าสู่ห้องนอน และเกิดสภาวะสบายต่อการอยู่อาศัย

คำสำคัญ: ใส่ในมันสำปะหลัง ปล่องรังสีอาทิตย์ สารดูดความชื้น สภาวะสบายเชิงความร้อน

Abstract

Thailand is a hot and humid country where high temperature and high humidity affects thermal comfort of the building's occupants. The bedroom is a place where occupants spend most of living time. Therefore, the improvement of thermal comfort in the bedroom is necessary. Instead of air conditioning, sufficient ventilation and dehumidification of air in the bedroom can enhance thermal comfort at nighttime. This paper presents the dehumidification of air in the bedroom by using natural desiccant, the cassava pith mixed with sodium chloride. The installation of desiccant in solar chimney can reduce air humidity and increase ventilation of the bedroom.

Keywords: Cassava Pith, Solar Chimney, Desiccant, Thermal Comfort

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยห้องนอนเป็นที่พักอาศัยที่มนุษย์ใช้เวลาอยู่นานมากที่สุดแห่งหนึ่งในชีวิต โดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่มีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูงส่งผลให้ผู้ใช้งานห้องนอนต้องทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ซึ่งผู้ใช้งานมักจะเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศและทำการปิดหน้าต่างกับประตูของห้องนอน ทั้งนี้ เพื่อให้แน่ใจว่านอนหลับสนิทและรู้สึกสบายเวลานอน (Wong, 2002)

จากสถิติของกระทรวงพลังงานพบว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 600 เมกะวัตต์ เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ใช้วิธีการลดความร้อนด้วยการเปิดเครื่องปรับอากาศ (กรมพลังงาน, 2559) จะเห็นได้ว่าช่วงเวลากลางคืนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกสูงนั้น ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ต้องทำการลดความชื้นอากาศที่มีค่าสูงภายในห้องนอนเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ซึ่งใช้พลังงานมากกว่าการลดอุณหภูมิของอากาศถึง 2-3 เท่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของไอน้ำในอากาศไปเป็นหยดน้ำ ต้องใช้พลังงานสูงถึง 608 kcal/kg ณ อุณหภูมิอากาศ 25 องศาเซลเซียส (Busch, 1992)

อย่างไรก็ตามยังมีทางเลือกอื่นเพื่อใช้ในการสร้างสภาวะน่าสบายในการนอนที่นอกเหนือไปจากการปรับอากาศ นั่นคือ วิธีการระบายอากาศและลดความชื้นที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน จากข้อมูลสภาวะอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิอากาศในเวลากลางคืนหลังเวลา 21.00 น. อยู่ที่ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้ามีการเปิดพัดลมด้วยความเร็วลมประมาณ 0.2-0.5 m/s และมีค่าความชื้น

สัมพัทธ์ 50-60% จะทำให้เกิดสภาวะน่าสบายขึ้น (Joseph, 2000) แต่เนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกนั้นพบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์คือ 70-90% ซึ่งถ้าสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ลงได้จนอยู่ที่ 60% จะสามารถทำให้เกิดสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิได้

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ คือ การลดความชื้นในอากาศในห้องนอน โดยใช้วัสดุดูดความชื้นทำการดูดความชื้นออกจากอากาศภายนอกก่อนจะเข้าสู่ห้องนอน ซึ่งวัสดุดูดความชื้นที่ทำการผลิตขึ้นมาเองนั้นผลิตจากวัสดุธรรมชาติ คือ ใส้ในเหง้ามันสำปะหลังที่มีเส้นใยพืชที่มีลักษณะเป็นโพรงและมีรูพรุน (Blackburn, 2005) โดยผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทำให้เกิดวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น อีกทั้งเหง้ามันสำปะหลังยังเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์เพียง 2.72% จากจำนวนที่เกิดขึ้นมาทั้งหมด (กระทรวงพลังงาน, 2556) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในส่วนของมันสำปะหลัง, ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556

ชนิด	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้ว (ตัน)
เหง้ามันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52
กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	1,813,652.52
เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711.76	8,463,711.76

แนวคิดหลักของงานวิจัยนี้คือ การนำวัสดุดูดความชื้นมาผลิตเป็นระแนงในปล่องรังสีอาทิตย์ (solar chimney) แล้วเปิดให้มีอากาศไหลผ่านระแนงดูดความชื้น อากาศที่มีความชื้นสูง และอุณหภูมิต่ำในช่วงเวลากลางคืนจะไหลผ่านระแนงดูดความชื้นเข้ามาภายในห้องนอนด้วยหลักการ Downdraft หรือการใช้พัดลมดูดอากาศ

ขนาดเล็กติดตั้งที่ช่องระบายอากาศออก อากาศที่เข้ามาในห้องนอนนั้นจะมีความชื้นที่ลดลงและอุ่นขึ้นเล็กน้อย แล้วไหลออกทางช่องระบายอากาศออก ส่วนในช่วงเวลากลางวัน ปล่องรังสีอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำหน้าที่ดึงอากาศจากภายในห้องนอนออกไปทางปล่องรังสีอาทิตย์ผ่านระแนงดูดความชื้น ซึ่งความร้อนภายในปล่องรังสีอาทิตย์ และอากาศที่ไหลผ่านจะส่งผลให้ระแนงคายความชื้นและถูกนำออกไปสู่ภายนอก ทำให้ระแนงดูดความชื้นแห้ง สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ในเวลากลางคืน

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่ดูดและคายในไส้มันสำปะหลัง
2. สร้างต้นแบบระแนงดูดความชื้นสำหรับห้องนอนที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์ในการคายความชื้น
3. ทดสอบการลดความชื้นของระแนงในห้องปฏิบัติการที่มีภาวะแวดล้อมใกล้เคียงการใช้งานจริง
4. เสนอแนะการประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

2. ระเบียบวิธีการวิจัย และผลการศึกษา

2.1 การเตรียมไส้มันสำปะหลัง

ไส้มันสำปะหลังจะอยู่บริเวณตรงกลางของลำต้น เมื่อนำไส้ออกมาจะนำไปทำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดความชื้น และนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นภายในไส้มันสำปะหลังออกเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ดังรูปที่ 2 แสดงไส้ในมันสำปะหลังก่อนแกะ



รูปที่ 1 ไส้ในมันสำปะหลังก่อนแกะ

2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดความชื้นด้วยสารละลายเกลือ

การนำสารละลายเกลือ (NaCl) ที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 30% ขึ้นไป และยังเป็นวัสดุธรรมชาติ นำไปผสมกับไส้ในมันสำปะหลังที่อบแห้งแล้วทำให้ไส้ในมันสำปะหลังนั้นสามารถดูดความชื้นได้เร็วกว่าไส้ในมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผสมสารละลายเกลือ (NaCl)

2.3 การขึ้นรูปไส้ในมันสำปะหลัง

ในงานวิจัยได้ทดลองทำการขึ้นรูปไส้มันสำปะหลังทั้งหมด 2 วิธี ดังนี้

1. การขึ้นรูปด้วยสารละลายเกลือ (NaCl)

เมื่อนำสารละลายเกลือผสมกับไส้มันสำปะหลังแล้วนำไปอบไล่ความชื้นออกอีกครั้งจะเกิดการเกาะเป็นกันเป็นแผ่น แต่มีความเปราะ และแตกง่ายเมื่อมีการดูดความชื้นเข้าไป

2. การขึ้นรูปด้วยการบรรจุในซองชา

ของชา นั้นมีความเหนียว ทนต่อความร้อนได้มาก อีกทั้งยังสามารถให้น้ำและอากาศไหลผ่านได้ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาบรรจุไส้ในมันสำปะหลังที่มีการเกิดการดูด และการคายความชื้นตลอดเวลา

2.4 การทดลองการดูดความชื้นของไส้ มันสำปะหลัง

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดความชื้นของวัสดุดูดความชื้นที่ทำขึ้นซึ่งได้ทดลองด้วย 2 วิธี ดังนี้

1. การทดลองประสิทธิภาพในการดูดความชื้นด้วยการวางไส้มันสำปะหลังบนวัสดุที่มีความชื้น

การทดลองด้วยการนำวัสดุดูดความชื้นที่จัดทำขึ้นไปวางบนวัสดุที่มีความชื้น เพื่อดูการดูดความชื้นออกจากวัสดุที่มีความชื้น และทำการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาในการดูดความชื้นระหว่างไส้มันสำปะหลังกับไส้มันสำปะหลังผสมสารละลายเกลือ พบว่าไส้มันสำปะหลังผสมสารละลายเกลือสามารถดูดความชื้นออกจากวัสดุชื้นด้วยระยะเวลาที่น้อยกว่าอย่างชัดเจน และเมื่อนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นออก ก็สามารถนำกลับมาใช้ในการดูดความชื้นได้อีก

2. การทดลองประสิทธิภาพในการดูดความชื้นด้วยการนำไส้มันสำปะหลังไว้ในสภาพอากาศจริง

การทดลองด้วยการนำไส้มันสำปะหลังไปวางไว้ในสภาพอากาศจริงเพื่อดูพฤติกรรมการดูดและการคายความชื้น ด้วยการชั่งน้ำหนัก และหาเปอร์เซ็นต์ในการดูดความชื้นของวัสดุเทียบกับน้ำหนักที่น้อยที่สุดของวัสดุ โดยทำการชั่งน้ำหนักทั้งช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน โดยได้ ในมันสำปะหลังผสมสารละลายเกลือสามารถดูดความชื้นได้อยู่ที่ 23% ของน้ำหนักวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน โดยสามารถดูดความชื้นในช่วงเวลาคืน คายความชื้นในช่วงเวลากลางวัน และสามารถนำมาดูดความชื้นในช่วงเวลากลางคืนได้อีก

2.5 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. การออกแบบระแนงดูดซับความชื้น

การออกแบบระแนงต้องคำนึงถึงทิศทางและตำแหน่งการวางของระแนงดูดความชื้นที่สามารถรองรับการวางวัสดุดูดความชื้นในแบบต่างๆ ได้ในการทดลอง การวางที่เหมาะสมคือต้องมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศภายในปล่องรังสีอาทิตย์

2. การออกแบบกล่องทดลองปล่องรังสีอาทิตย์

การศึกษาจะทำกล่องทดลองที่มีการจำลองห้อง และปล่องรังสีอาทิตย์กระจก โดยได้ออกแบบให้คนสามารถติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ได้ และสามารถถอดประกอบเพื่อเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งในปล่องรังสีอาทิตย์สามารถติดตั้งดูดความชื้นได้แล้วอีกฝั่งของกล่องทดลองสามารถติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาดเล็กได้เพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศของห้องในช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่น้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน

3. การติดตั้งระแนงดูดความชื้นในปล่องรังสีอาทิตย์ และการจัดการตัวแปรในการติดตั้งระแนง

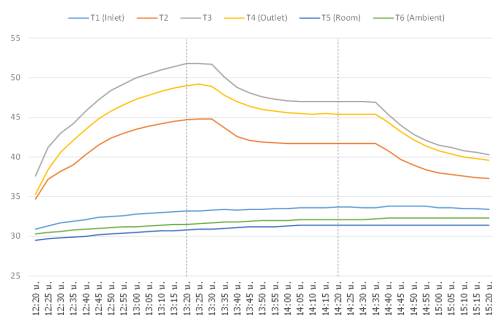
ภายในปล่องรังสีอาทิตย์จะมีราวสำหรับติดตั้งระแนงดูดความชื้น โดยสามารถสามารถขยับเปลี่ยนตำแหน่ง โดยจากงานวิจัยพบว่าการไหลของอากาศในปล่องที่มีค่ามากที่สุดนั้นส่วนใหญ่มักจะเกิดบริเวณใกล้กับผนังทั้งสองฝั่งภายในปล่องรังสี (ชัชวรินทร์ ชินสรนันท์, 2557) จึงต้องคำนึงถึงทิศทางและพฤติกรรมการไหลของอากาศที่เข้ามาในปล่อง การทดลองจึงต้องทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดความชื้นของระแนงดูดความชื้นที่ทำการติดตั้งในปล่องรังสีอาทิตย์

2.6 ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการ ดูดซับความชื้นด้วยระแนงดูดความชื้นใน ปล่องรังสีอาทิตย์

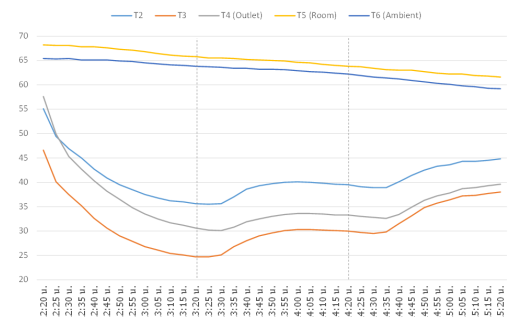
ในการทดลองจะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงการใช้งานจริง โดยการทำแบบจำลองห้องนอนที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ที่มีผนังด้านนอกสุดของปล่องเป็นผนังกระจก และด้านในเป็นผนังทึบ โดยทำการทดลองด้วยการวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ก่อนทำการติดตั้งระแนงและนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์หลังจากทำการติดตั้งระแนง

2.7 การทดสอบการทำงานของปล่องรังสี อาทิตย์ก่อนทำการติดตั้งระแนงดูดความชื้น

การทดสอบการทำงานของปล่องรังสีอาทิตย์ก่อนทำการติดตั้งจะทำการทดสอบด้วยการใช้แสงอาทิตย์จำลองจากหลอดไฟฮาโลเจน โดยมีการปรับระยะเพื่อให้ได้ระยะพลังงานแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ที่มีความใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในปล่องก่อนทำการติดตั้งวัสดุดูดความชื้น ดังรูปที่ 3 และ 4 แสดงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ก่อนติดตั้งระแนงดูดความชื้น



รูปที่ 2 อุณหภูมิจุดต่างๆ ของกล่องทดลอง



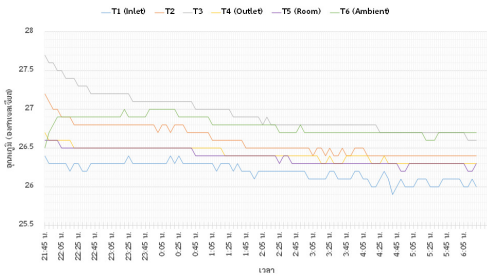
รูปที่ 3 ความชื้นสัมพัทธ์ตามจุดต่างๆ ของกล่องทดลอง

จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นว่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแปรผกผันกัน โดยอุณหภูมิ จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ซึ่งบริเวณส่วนบนของปล่องจะมีอุณหภูมิสูงกว่า ด้านล่างของปล่อง เนื่องจากเกิดการลอยของอากาศร้อนขึ้นสู่ที่สูง ซึ่งอุณหภูมิภายในปล่องมีค่าสูงสุดที่ 52 องศาเซลเซียส และค่าต่ำสุดที่ 37 องศาเซลเซียส

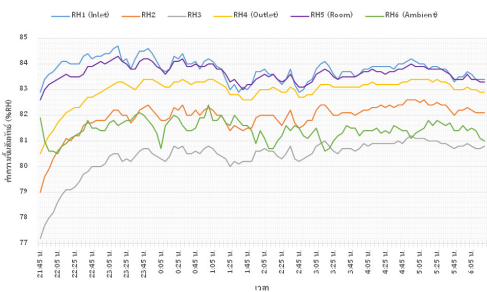
2.8 การทดสอบการทำงานของปล่องรังสี อาทิตย์หลังทำการติดตั้งระแนงดูด ความชื้น

การทดสอบการดูดความชื้นของระแนงดูดความชื้นที่ติดตั้งในปล่องรังสีอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ ณ จุดต่างๆ ของกล่องทดลอง และเปิดใช้งานพัดลมดูดอากาศเพื่อเพิ่มความเร็วมให้มีอากาศไหลผ่านระแนงดูดความชื้นในปล่องรังสีอาทิตย์ แล้วเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละจุดของกล่องทดลอง ดังรูปที่ 5 และ 6 แสดงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์หลังติดตั้งระแนงดูดความชื้น

ระแนงดูดความชื้นในปล่องรังสีอาทิตย์เพื่อลดความชื้นในห้องนอน
ณภัฏชิตา พินิจรัตนพันธ์ และ รศ.ดร. สุดาภรณ์ สุตะประเสริฐ



รูปที่ 4 อุณหภูมิจุดต่างๆหลังติดตั้งระแนงดูดความชื้น



รูปที่ 5 ความชื้นสัมพัทธ์จุดต่างๆหลังติดตั้งระแนง

จากรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นว่าอุณหภูมิ และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงกลางวันยังคงมีค่าแปรผกผันกัน โดยอุณหภูมิมีค่าอยู่ที่ 26-27.5 องศาเซลเซียส และบริเวณระแนงดูดความชื้นจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าอากาศที่เข้ามาภายในปล่อง ซึ่งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงประมาณ 3%

3. บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่า การทำงานของปล่องรังสีด้วยการจำลองแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน เกิดปรากฏการณ์ขึ้นความร้อนขึ้นโดยลมที่เข้าบริเวณทางเข้าด้านล่างของปล่องจะพาความร้อนภายในปล่องรังสีอาทิตย์ออกไปสู่บริเวณช่องเปิดด้านบนของปล่อง ทำให้อุณหภูมิด้านบนของปล่องมีค่าสูงกว่าบริเวณ

ด้านล่างของปล่องโดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในปล่องแปรผกผันกับอุณหภูมิภายในปล่องโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงและค่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นภายในปล่องจะแสดงถึงความสามารถในการพาไอน้ำที่จะคายออกจากวัสดุดูดความชื้นออกจากปล่องเพื่อให้พร้อมในการใช้งานในเวลากลางวันต่อไปได้ เมื่อถึงในช่วงเวลากลางคืนที่มีอุณหภูมิต่ำลง และค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น จึงการดูดความชื้นของระแนงดูดความชื้นทำให้ความชื้นในอากาศที่เข้าสู่ห้องนอนนั้นมีค่าลดลง

References

- กนก นพวงศ์. (2557). การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม้ธรรมชาติร่วมกับการระเหยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- ชาติรี เกียรติเจริญศิริ. (2552). การลดภาระการทำมาความเย็นของระบบปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นเพื่อการประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- ชัชวรินทร์ ชินสรนันท์. (2557). การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความร้อนต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

- ทัศนีย์ สุนทรธรรม. (2551). การออกแบบผนัง
ท่อมบีโดยใช้คอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรม
พลังงาน.
- ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล. (2549). *ผนังดูดซับ
ความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ*. วิทยา-
นิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัย
ธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- วีรวัฒน์ เทศเกตู เดช ดำรงค์ศักดิ์ และณัฐ วรยศ.
(2549). การใช้ผนังท่อมบีแบบปรับปรุง
เพื่อลดอุณหภูมิในอาคารและลดภาระการ
ปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร-
บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะ
วิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมพลังงาน.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2542). *เทคนิคการออกแบบ
บ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่
ดีกว่า*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- Blackburn, R. (2005). *Biodegradable and
sustainable fibres*. England: Woodhead.
- Chantawong, P., & Hirunlabh, J. (2005). Inves-
tigation on thermal performance of
glazed solar chimney walls. *Solar Energy*
80(3), 288-297.
- Gan, G., & Riffat, S. B. (1997) A numerical
study of solar chimney for natural
ventilation of buildings with heat recovery.
Applied Thermal Engineering 18(12),
1171-1187.
- Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., &
Hirunlabh, J. (2000). Thailand ventilation
comfort chart. *Energy and Buildings*, 32
(3), 245-249.
- Wonh, N. H. (2002). Thermal comfort evaluation
of naturally ventilated public housing in
Singapore. *Building and Environment* 37
(12), 1267-1277.

การออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ

Stable Design for Horse Thermal Comfort

วิลาสินี ศรีสุวรรณ¹ และ รศ. เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดี²

Wilasinee Srisuwan¹ and Assoc. Prof. Chalermwat Tantasavasdi²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: wilasineear@gmail.com¹, tchalerm@engr.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิภาพของม้า ระเบียบวิธีการวิจัย คือ การวิจัยเชิงสำรวจและวิจัยเชิงทดลอง โดยสำรวจโรงเรือนเลี้ยงม้ากรณีศึกษาเพื่อศึกษาองค์ประกอบของความสบายเชิงอุณหภูมิภาพของม้า ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ และลักษณะทางกายภาพของโรงเรือนสำหรับใช้ในการออกแบบการสร้างและพัฒนาโรงเรือนจำลองตัวอย่างที่ตรงตามมาตรฐานโรงเรือนสำหรับนำไปทำการทดลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ผลการจำลองผลโรงเรือนเลี้ยงม้าจำลองตัวอย่างโดยการปรับอัตราส่วนของขนาด ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังบริเวณโรงเรือน พบว่า การไหลเวียนของอากาศในโรงเรือนดีขึ้นเนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณคอกม้าในโรงเรือนมีค่าเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: ความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ ความสบายเชิงอุณหภูมิภาพสำหรับม้า ม้า โรงเรือนเลี้ยงม้า การระบายอากาศธรรมชาติ

Abstract

This study aimed to study stable designing for horse thermal comfort. The research methodology was survey and experiment. The objective of the survey was to study the components of horse thermal comfort. The data consisted of air temperature, air velocity, material surface temperature, and stable physical descriptions. These were used for designing the best sample of standard stable for horse thermal comfort. The simulation of the sample stable model by adjusting the ratio of the opening size and wall area size of the stable showed that the air flow of the stable was improved due to the increased average air velocity.

Keywords: Thermal Comfort, Horse Thermal Comfort, Horse, Horse Stable, Natural Ventilation

1. บทนำ

ผ้าเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์มาตั้งแต่สมัยโบราณในอดีตมนุษย์ใช้ผ้าเป็นพาหนะในการเดินทาง บรรทุกสิ่งของ การทหารและศึกสงคราม ซึ่งในปัจจุบันมนุษย์ใช้ประโยชน์จากผ้าหลากหลายด้านมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ด้านกีฬา ธุรกิจ วิทยาศาสตร์และการแพทย์ และงานพระราชพิธีสำคัญ เป็นต้น ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับผ้า ปัจจัยที่ทำให้ผ้ามีคุณภาพชีวิตที่ดีได้ คือ น้ำ อาหาร และที่อยู่อาศัยหรือโรงเรือน โดยเฉพาะโรงเรือนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นที่อยู่อาศัยและทำกิจกรรมต่างๆ สำหรับผ้าเกือบตลอดทั้งวัน โรงเรือนที่ดีจะต้องมีคุณภาพอากาศที่ดี มีการระบายอากาศที่เหมาะสม มีการออกแบบตามมาตรฐานของโรงเรือนใช้วัสดุที่แข็งแรงทนทานรวมถึงการจัดการการใช้งานและระบบสุขาภิบาลที่ดี

จากการสำรวจโรงเรือนเลี้ยงม้าจำนวน 4 แห่ง ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลโดยเป็นโรงเรือนที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่าโรงเรือนเลี้ยงม้าไม่ได้ออกแบบตามมาตรฐานทั้งหมด มีการดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานตามบริบทและสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ความร้อนสะสมภายในโรงเรือนเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงทำให้เกิดสภาวะไม่เหมาะสมสำหรับม้า ปัญหาความร้อนสะสมในโรงเรือนดังกล่าวส่งผลเสียต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของม้า ในระยะยาวโดยที่ม้ามีการแสดงอาการพฤติกรรม เมื่อเกิดภาวะความเครียดจากความร้อน (heat stress) ประสิทธิภาพการใช้งานในด้านต่างๆ ลดลง เช่น ม้าก็พามีช่วงอายุในการทำงานที่สั้นลง การเพาะพันธุ์และพัฒนาสายพันธุ์ม้าทำได้ยากขึ้น เป็นต้น

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาแนวทางในการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น เพื่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าที่ทำให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิซึ่งสามารถวัดผลด้วยสมการค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (wet bulb globe temperature) โดยการระบายอากาศด้วยวิธีการทางธรรมชาติ คือ การออกแบบช่องเปิดบริเวณคอกม้าเพื่อศึกษาความเร็วลมและอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่เหมาะสมและนำไปประยุกต์กับสภาพภูมิอากาศต่างๆ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมามีแนวทางในการศึกษา 3 ประเด็นสำคัญ

2.1 ความสบายเชิงอุณหภูมิ

ความสบายเชิงอุณหภูมิมิใช่ สภาพอากาศที่ทำให้มนุษย์อยู่ในภาวะสบายโดยที่อากาศมีอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมที่เหมาะสมสามารถรักษาสสมดุลของอุณหภูมิร่างกายให้คงที่โดยที่ไม่มีเหงื่อ และไม่มีไอน้ำในอากาศมากหรือน้อยจนเกินไป การรักษาสมดุลของอุณหภูมิร่างกายมนุษย์คือการรักษาอัตราการผลิตความร้อนให้เท่ากับอัตราการระบายความร้อนออก การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจัยในการกำหนดความรู้สึกสบายในอาคาร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยจากวัสดุข้างเคียง

2.2 ความสบายเชิงอุณหภูมิสำหรับม้า

การศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิสำหรับม้าในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือร้อนชื้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการระบายความร้อนออกจากร่างกายของม้า ม้าผลิตความร้อนจากอัตราการหมุนเวียนของเลือด และมีการสะสมความร้อนที่ต้องใช้ระยะเวลาในการลดความร้อนโดย การระบายความร้อนมีกลไกในการระบายความร้อนรูปแบบต่างๆ ดังนี้ การระเหย (evaporation) หรือการขับเหงื่อ (sweating) การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อนและการแผ่รังสี (convection and radiation) และกระบวนการหายใจ (respiration) กระบวนการระบายความร้อนมีความสำคัญต่อการรักษาสมดุลของอุณหภูมิร่างกายและป้องกันการเกิด ภาวะความเครียดจากความร้อน (heat stress)

ภาวะความเครียดจากความร้อน (heat stress) คือ ภาวะที่ระบบการทำความเย็นของร่างกายล้มเหลว ม้าไม่สามารถระบายความร้อน ออกจากร่างกายได้ ภาวะความเครียดจากความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวม้า ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย การวัดและประเมินผลค่าภาวะความเครียดจากความร้อนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความสบายของม้าจะใช้ค่าดัชนี Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) ซึ่งถูกใช้ในวงการกีฬาอย่างกว้างขวางโดยองค์กรต่างๆ เนื่องจากสามารถอธิบายและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงานและการทำกิจกรรมต่างๆ ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นโดยเฉพาะกับม้าจากสมการที่ 1 และพิจารณาค่าจากตารางที่ 1

$$WBGT = (0.7 \times T_{wb}) + (0.3 \times T_g) \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าดัชนี WBGT ต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของม้า

WBGT	ความเสี่ยงต่อ Heat Stress
<28	ความเสี่ยงน้อย
28-33	ความเสี่ยงปานกลาง
>33	ความเสี่ยงสูง

ความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการรักษาสมดุลความร้อน เมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้นอัตราการระบายความร้อนของสัตว์ก็จะเพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อความรู้สึกร้อนหนาวของม้า ทำให้อุณหภูมิเข้าสู่ขอบเขตที่สบายได้ สามารถอธิบายได้ด้วย Wind Chill Index สำหรับม้า ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วลมที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของม้า (wind chill index)

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิที่ม้ารู้สึกลดลง (องศาเซลเซียส)
0-0.28	0.375
0.28-0.56	0.75
0.56-0.83	1.125
0.83-1.11	1.5

2.3 โรงเรือนเลี้ยงม้า

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของโรงเรือนเลี้ยงม้า

รูปแบบการวางผังแบบต่างๆ เช่น การวางผังโรงเรือนโดยมีทางเดินขนานทั้งสองด้านของคอกม้า (island stall) และการวางผังคอกม้าโดยมีทางเดินตรงกลาง (center aisle) เป็นต้น ทางเดินภายในโรงเรือนควรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 3.65 เมตร รูปแบบหลังคา เช่น หลังคาลักษณะคล้ายหลังคาทรงจั่วที่มีการหักมุมลดความสูงเหมาะสำหรับอาคารประเภทโรงนา มักใช้ในสภาพภูมิอากาศหนาว (gambrel) และหลังคาทรงจั่วผสมปล่องระบายอากาศ (clerestory) เป็นต้น รูปแบบช่องเปิดหลังคา เช่น ช่องเปิดที่หลังคาจั่วทั่วไป

(simple) และช่องเปิดบริเวณปล่องระบายอากาศ (chimney) เป็นต้น ขนาดคอกม้าที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทและสายพันธุ์ของม้า ผนังและฝ้าคอกม้าควรมีความสูงจากพื้นอย่างน้อย 2.45 เมตร ประตูสำหรับคอกม้ามีสองประเภท ได้แก่ ประตูบานเปิด (swinging door, dutch door) และประตูเลื่อน (sliding door) โดยประตูบานเปิดควรเปิดออกสู่บริเวณทางเดินภายในโรงเรือนเสมอ หน้าต่างคอกม้าควรมีขนาดอย่างน้อย 60 x 60 เซนติเมตร สำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ วัสดุโรงเรือนควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับภูมิอากาศและมีความแข็งแรงทนทาน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงสำรวจและการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบโรงเรือนเพื่อความสบายเชิงอุณหภูมิ การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ การสำรวจและรวบรวมข้อมูลโรงเรือนเลี้ยงม้าเพื่อศึกษาและลักษณะทางกายภาพในปัจจุบัน ส่วนที่สองคือการจำลองโรงเรือนศึกษาผลของขนาดและตำแหน่งช่องเปิดต่อความเร็วลมและความสบายเชิงอุณหภูมิด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลโดยวัดความเร็วลมที่ 1.5 เมตร จากระดับพื้นดินเพื่อวิเคราะห์แนวทางการออกแบบโรงเรือนเลี้ยงม้าที่ก่อให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ

4. ผลการวิจัย

4.1 โรงเรือนเลี้ยงม้ากรณีศึกษา

จากการศึกษาโรงเรือนเลี้ยงม้า 2 แห่งได้แก่ โรงเรือนสอนขี่ม้าฟินิกซ์ บาย เคพี และสโมสรถีคเมสฮอร์ตคลับตารางที่ 3 และตารางที่ 4



รูปที่ 1 โรงเรือนกรณีศึกษาฟินิกซ์ บาย เคพี (ซ้าย), เชีคเมสฮอร์ตคลับ (ขวา)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงรูปแบบผัง หลังคาและช่องเปิดหลังคาโรงเรือนกรณีศึกษา

โรงเรือน	ผัง	หลังคา	ช่องเปิดหลังคา
ฟินิกซ์ บาย เคพี	Center	Gable	-
เชีคเมสฮอร์ตคลับ	Aisle	Gable	-

ตารางที่ 4 ตารางแสดงวัสดุโรงเรือนกรณีศึกษา

โรงเรือน	วัสดุ		
	พื้น	ผนัง	หลังคา/ฉนวน
ฟินิกซ์ บาย เคพี	คอนกรีต	คอนกรีต/ ตะแกรง เหล็ก	กระเบื้อง คอนกรีต/ ใยไหม
เชีคเมสฮอร์ตคลับ		คอนกรีต/ ตะแกรง เหล็ก	กระเบื้อง คอนกรีต

ตารางที่ 5 ตารางแสดงอุณหภูมิพื้นผิววัสดุ

โรงเรือน	อุณหภูมิพื้นผิว (องศาเซลเซียส)					
	พื้น	ผนัง N	ผนัง E	ผนัง S	ผนัง W	หลังคา
ฟินิกซ์ บาย เคพี	12	20	23	22	23	35
เชีคเมสฮอร์ตคลับ	20	29	29	30	29	70

ทิศทางการวางอาคารรูปแบบการจัดวางผังวัสดุ ขนาด และตำแหน่งช่องเปิดที่แตกต่างกันเป็นผลให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 6

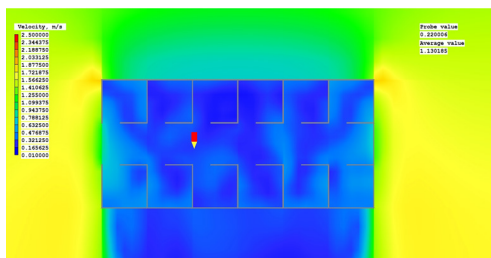
ตารางที่ 6 ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา 13:00 น.

โรงเรียน	ทิศทาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		RH (%)
		In	Out	
ฟินิกซ์ บาย เคพี	ขวางลม	31.5	33	56
เช็คเมสเซอร์ส คลับ	ตามลม	32.7	33	56.3

4.2 การจำลองการไหลของอากาศของโรงเรียนกรณีศึกษา

4.2.1 โรงเรียนสอนขี่ม้าฟินิกซ์ บาย เคพี

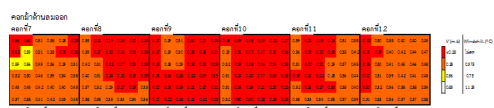
โรงเรียนเลี้ยงม้าขนาดกว้าง 11.3 เมตร ยาว 23.3 เมตร โดยหันด้านยาวของอาคารในทิศเหนือใต้ (ขวางลม) ประกอบด้วย คอกม้าขนาด 3.8x3.8 เมตร จำนวน 12 คอก จัดวางผังคอกม้าโดยมีทางเดินตรงกลาง (center aisle) ขนาดทางเดินกว้าง 3.5 เมตร หลังคาทรงจั่วสูงจากพื้น 4 เมตร



รูปที่ 2 ภาพจำลองความเร็วลมด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล

จากการทดสอบโรงเรียนสอนขี่ม้าฟินิกซ์ บาย เคพี พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยของคอกม้าด้านลมเข้า (แถวบน) เท่ากับ 0.24 เมตรต่อวินาที และคอกม้าด้านลมออก (แถวล่าง) เท่ากับ 0.31 เมตรต่อวินาที จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า คอกม้าตำแหน่งริมโรงเรียนจะมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่า

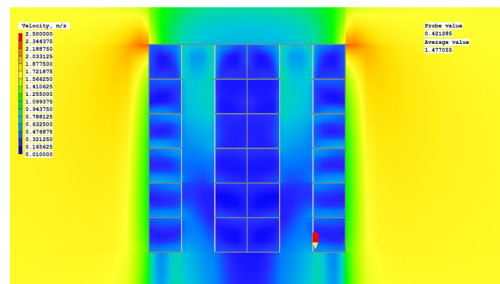
ตำแหน่งกลางโรงเรียน เมื่อพิจารณาความเร็วลมที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้ม้ารู้สึกเย็นลง พบว่าโรงเรียนมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.27 เมตรต่อวินาที ไม่อยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการลดอุณหภูมิ



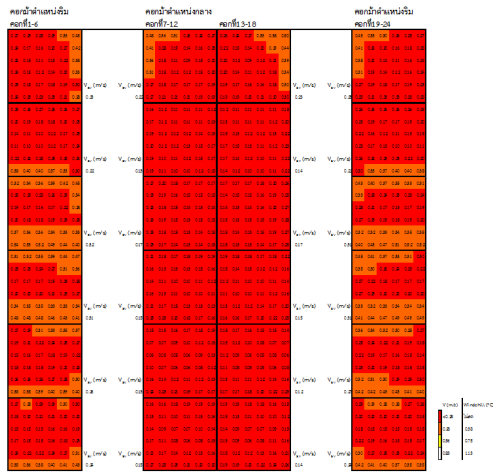
รูปที่ 3 ภาพแสดงอุณหภูมิที่ม้ารู้สึกลดลงภายในโรงเรียน

4.2.2 สโมสรเช็คเมสเซอร์สคลับ

โรงเรียนเลี้ยงม้าขนาดกว้าง 18 เมตร ยาว 46.5 เมตร โดยหันด้านสั้นของอาคารในทิศเหนือใต้(ตามลม) ประกอบด้วยคอกม้าขนาด3x3 เมตร จำนวน 24 คอก จัดวางผังคอกม้าโดยมีทางเดินตรงกลาง (center aisle) ขนาดทางเดินกว้าง 3 เมตร และคอกม้าบริเวณตรงกลางวางชิดติดกันติดกัน (island stall) หลังคาคอนกรีตทรงจั่วสูงจากระดับพื้น 7.7 เมตร



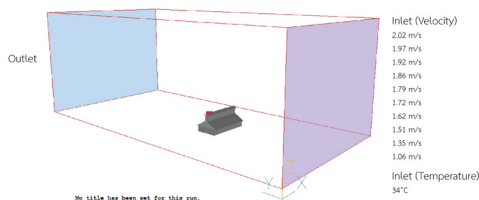
รูปที่ 4 ภาพจำลองความเร็วลมด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 5 ภาพแสดงอุณหภูมิที่มั้วรู้สึกลดลงภายในโรงเรียน

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องปรับอากาศพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยของคอกม้าตำแหน่งกลางโรงเรียนเท่ากับ 0.16 เมตรต่อวินาที ซึ่งน้อยกว่าคอกม้าตำแหน่งริมโรงเรียนโดยมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 เมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณาความเร็วลมที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้มั้วรู้สึกเย็นลง พบว่า โรงเรียนมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.21 เมตรต่อวินาทีไม่อยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการลดอุณหภูมิ

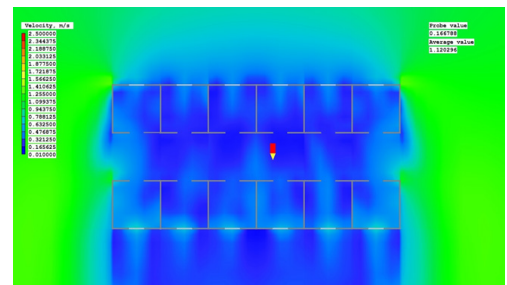
4.3 การกำหนดโรงเรียนจำลองตัวอย่าง



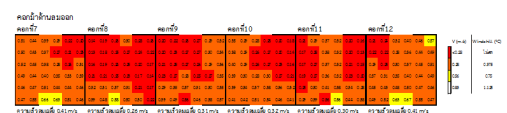
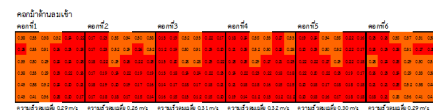
รูปที่ 6 การกำหนดอุณหภูมิตั้งต้นทิศทางความเร็วลมเข้า (Inlet) และลมออก (Outlet)

โรงเรียนจำลองตัวอย่างจัดวางผังคอกม้า โดยมีทางเดินตรงกลาง (center aisle) ขนาดทางเดินภายในโรงเรียนกว้าง 3.65 เมตร คอกม้าขนาดกว้าง 3.65x3.65 เมตร สูง 3 เมตร ทดลองโดยการกำหนดช่องเปิดด้านลมเข้าและด้านลมออกโรงเรียนขนาด 1.20x1.40 เมตร หรืออัตราส่วนร้อยละ 20 ของผนังคอก หลังคาทรงจั่ว ความสูงจากพื้น 6 เมตร และมีปล่องระบายอากาศ(chimney) ขนาดกว้าง 1.50 เมตรสูง 3 เมตร และช่องระบายอากาศกว้าง 0.50 เมตร เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศมากขึ้นตามหลัก Stack Effect กำหนดความเร็วลมเข้าเท่ากับ 1.38 เมตรต่อวินาที

4.4 การศึกษาผลของขนาดช่องเปิดโรงเรียนจำลองตัวอย่าง



รูปที่ 7 ภาพจำลองความเร็วลมด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 8 ภาพแสดงอุณหภูมิที่มั้วรู้สึกลดลงเมื่ออัตราส่วนช่องเปิดร้อยละ 20

จากการทดสอบโรงเรียนจำลองตัวอย่าง

พบว่าอัตราส่วนช่องเปิดร้อยละ 20 ทำให้ความเร็วมเฉลี่ยของคอกม้าทางด้านลมเข้า (แถวบน) เท่ากับ 0.24 เมตรต่อวินาที และคอกม้าด้านลมออก (แถวล่าง) เท่ากับ 0.33 เมตรต่อวินาที จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า คอกม้าตำแหน่งริมโรงเรียนจะมีความเร็วมเฉลี่ยสูงกว่าตำแหน่งกลางโรงเรียน เมื่อพิจารณาความเร็วมที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้ม้ารู้สึกเย็นลง พบว่า โรงเรียนมีความเร็วมเฉลี่ย 0.29 เมตรต่อวินาทีซึ่งอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการลดอุณหภูมิได้ 0.375 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการวิจัย

จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพของโรงเรียนที่ศึกษาทั้งสองกรณีพบว่า โรงเรียนสอนขี่ม้าฟินิกซ์ บาย เคพี วางด้านยาวของโรงเรียนทางทิศใต้มีความเร็วมเฉลี่ยภายในคอกม้าเท่ากับ 0.27 เมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับสโมสรเซ็คเมสซอร์ทคลับ วางด้านสั้นของโรงเรียนไปทางทิศใต้ มีความเร็วมเฉลี่ยภายในคอกม้าเท่ากับ 0.21 เมตรต่อวินาที ดังนั้น การวางด้านสั้นของโรงเรียนไปทางทิศใต้ ทำให้คอกม้าที่อยู่ไกลจากด้านลมเข้ามีความเร็วมเฉลี่ยต่ำมากจากรูปที่ 5 เนื่องจากโรงเรียนทั้งสองกรณีไม่มีการออกแบบช่องเปิด ทำให้การไหลเวียนของอากาศไม่เพียงพอ เมื่อพิจารณาจากความเร็วมที่เกิดขึ้นภายในคอกม้าแต่ละคอกจะเห็นว่าการวางด้านยาวของโรงเรียนทางทิศใต้มีความเร็วมเฉลี่ยสูงกว่าและลมสามารถไหลเข้ามาได้ทั่วถึงแต่ละคอกและเกิดพื้นที่ที่ลดอุณหภูมิได้มากกว่าโดยเฉพาะคอกม้าตำแหน่งริมโรงเรียน และเมื่อทำการเพิ่มช่องเปิดอัตราส่วนร้อยละ 20 พบว่า ความเร็วมเฉลี่ยภายในโรงเรียนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่

ภายในคอกม้ามีสัดส่วนพื้นที่ที่เกิดการลดอุณหภูมิมากขึ้นดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนช่องเปิด รูปแบบ และตำแหน่งต่างๆ ที่จะทำความเร็วมเฉลี่ยภายในคอกม้าสูงขึ้นและอยู่ในช่วงที่สามารถลดอุณหภูมิได้

รายการอ้างอิง

- ภัทรนันท์ ทักชนนท์. (2547-2548). สภาวะน่าสบาย: พื้นฐานและแบบจำลองสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. หน้าจั่ว, 133-144.
- Australian Government. (2010). *Thermal comfort observations*. Retrieved from <http://www.bom.gov.au>.
- Barker, W. (2012). Cooling the performance horse. *hoofbeats*, 10-17.
- Equestrian Australia. (2017). *Hot weather policy*. Retrieved from <https://www.Equestrian.Org.Au>.
- Lewis, L. D. (2013). *Feeding and care of the horse*. USA.: John Wiley & Sons.
- Marlin, D. J. (2007). *The effect of thermal environmental conditions on the health and performance of horses*. Retrieved from <http://davidmarlin.co.uk>.
- Thomas, T. (2017). Heat stress series: Management tips to reduce heat stress. *pig process*, 33, 14-15.
- Wheeler, E. (n.d.). *Horse stall design*. Retrieved from <https://extension.psu.edu>.
- Wood, C., & Griffin, A. (2013). *Equin thermoregulation*. Retrieved from <http://articles.extension.org>.

สมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET
เป็นส่วนประกอบสำหรับการประยุกต์ใช้ในอาคาร
Properties of Lightweight Concrete Containing PET
Plastic Bottles for Building Applications

ภัทรภณ บูรณากาญจน์

Patthapon Buranakarn

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: primecud47@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีใช้ในกระบวนการก่อสร้าง โดยมีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เพื่อใช้สำหรับผนังภายนอกของอาคาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยขวดพลาสติกที่มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร และขนาดของคอนกรีตมวลเบา กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในผนังอาคารระหว่าง อิฐมวลเบา คอนกรีตมวลเบา Q-CON คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในท้องตลาดจากการศึกษาพบว่า คอนกรีตมวลเบา มีกำลังรับแรงอัด 11.23 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความหนาแน่นแห้ง 1670.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที มีค่า 9.97 เปอร์เซ็นต์ และการดูดซึมน้ำที่ 24 ชม. มีค่า 13.96 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีกำลังรับแรงอัด 6.60 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความหนาแน่นแห้ง 1687.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที มีค่า 11.11 เปอร์เซ็นต์ และการดูดซึมน้ำที่ 24 ชม. มีค่า 14.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงแต่เพียงพอในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมและมีการใช้ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตลดลง จึงทำให้ลดต้นทุนในการผลิตลดลง

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบา ขวดพลาสติก กำลังอัด ความหนาแน่นแห้ง อัตราการดูดซึมน้ำ

Abstract

This article presents the development of lightweight concrete block containing PET plastic bottles for exterior walls in architectural applications. The main objective of this research is to study the compressive strength, dry density and water absorption of lightweight concrete containing PET plastic bottles. The lightweight concrete containing PET plastic bottles with dimensions: 5

cm diameter, 18 cm length, 0.3 mm thickness with volume of 322 mm³. The dimensions of lightweight concrete containing PET plastic bottles are 20 cm width, 60 cm length and 10 cm thickness. Test results of properties related to wall applications of clay brick, lightweight concrete Q-CON, lightweight concrete and the lightweight concrete containing PET plastic bottles were compared. Test results of properties related to wall applications of the lightweight concrete compressive strength is 11.23 N/mm², Dry density is 1670.83 kg/m³ and water absorption at 30 minutes is 9.97 % and 24 hours is 13.96 %. The lightweight concrete containing PET plastic bottles compressive strength are decrease 6.60 N/mm², Dry density is 1687.50 kg/m³ and water absorption at 30 minutes is 11.11 % and 24 hours is 14.57 %. Test results showed that the compressive strength of lightweight concrete containing PET plastic bottles are decrease, but enough for construction in architectural applications. Cost and ingredients of lightweight concrete containing PET plastic bottles are decrease.

Keywords: Lightweight Concret, PET [Polyethylene Terephthalate], Compressive Strength, Dry Density, Water Absorption

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันในประเทศไทยมีขยะขวดพลาสติกเป็นจำนวนมาก ทำให้ยากต่อการย่อยสลายและต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่าชนิดอื่น จึงต้องการลดขยะขวดพลาสติก โดยการนำขวดพลาสติกมาจัดเรียงภายในคอนกรีตมวลเบา เนื่องจากขยะมูลฝอยในประเทศไทยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากร ทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากขยะมูลฝอย ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเพื่อเกิดองค์ความรู้ใหม่จากการนำขวดพลาสติกเหลือใช้มาทดแทนปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา

2. ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบา

2.1.1 ระบบผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (autoclaved system) แบ่งตาม

กระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทที่ 1 ใช้ปูนขาวเป็นวัตถุดิบหลัก จะทำให้คุณภาพคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ

2) ประเภทที่ 2 ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ordinary portland cement) เป็นวัตถุดิบหลัก จะทำให้คุณภาพคอนกรีตสม่ำเสมอ

2.1.2 ระบบไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (non - autoclaved system) โดยแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาเข้ามาทดแทน เช่น ขี้เถ้า ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโฟมทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาและเพิ่มกำลังรับแรงอัดให้คอนกรีต

2) ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (circular light weight concrete) เพื่อเพิ่มฟองอากาศให้แก่คอนกรีตและทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา

2.1.3 การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีต มวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541

1) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (ordinary portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ใช้ทั่วไปในงานคอนกรีต ประมาณร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ทุกประเภท สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็ว และให้ความร้อนปานกลาง

2) มวลรวมละเอียด (fine aggregate) มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มม. แต่มีขนาดใหญ่กว่า 0.074 มม. ได้แก่ ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือ ทรายเหมืองที่ผ่านการทำความสะอาด (Panyakapo, 2007)

3) น้ำสะอาด น้ำที่ปราศจากสิ่งเจือปนหรือ สารพิษและไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อม

2.2 คุณสมบัติพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET)

เป็นพลาสติกที่ใช้สำหรับการบริโภคเช่น การบรรจุอาหารและเครื่องดื่มซึ่งเป็นส่วนประกอบของโพลิเมอร์ (Polymers) มีลักษณะโปร่งใส โดยมีจุดเดือด 265 องศา แรงดึง 1700 เมกะปาสคาล (Awaja & Pavel, 2005)

2.3 รูปร่างของขวดพลาสติก PET

จากรูปที่ 1 ขวดพลาสติก PET ยี่ห้อคริสตัล มีทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

1. ขนาด 350 มิลลิลิตร กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร
2. ขนาด 600 มิลลิลิตร กว้าง 6.5 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร



(ที่มา: www.brandbuffet.in.th, 2560)

รูปที่ 1 รูปแบบขวดพลาสติก PET ในคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 2 รูปแบบขวดพลาสติก PET ภายในคอนกรีตมวลเบา

3. ขนาด 1000 มิลลิลิตร กว้าง 7.5 เซนติเมตร ยาว 27 เซนติเมตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร
4. ขนาด 1500 มิลลิลิตร กว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 33 เซนติเมตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 2 ขวดพลาสติกที่ใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตมวลเบา มีขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร หนา 0.3 เซนติเมตร เนื่องจากมีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขวดพลาสติกชนิดอื่น โดยขวดพลาสติกที่บรรจุน้ำอัดลมจะมีความแข็งแรงมากกว่าขวดพลาสติก ที่บรรจุน้ำดื่ม และมีความยาวของขวดพลาสติกไม่สูงกว่าขนาดความกว้างของคอนกรีตมวลเบา

2.4. การจัดเรียงขวดพลาสติกภายในกำแพง ที่ทำจากดิน

จากรูปที่ 3 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงขวดพลาสติกในแนวอนโดยเพิ่มความหนาของผนังภายนอกของบ้านดินในพื้นที่ตะวันออกกลาง ซึ่งจะเป็นฉนวนป้องกันอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกของบ้านเพื่อรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมให้แก่ผู้อยู่อาศัย (Mansour & Ali, 2015)

ตารางที่ 1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแต่ละประเภท

ประเภทคอนกรีต	กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
ขวดพลาสติกที่มีทรายอยู่ภายใน	0.623
ขวดพลาสติกที่มีทรายเปียกอยู่ ภายใน	0.609
ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายใน	0.670

จากตารางที่ 1 ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายใน มีกำลังรับแรงอัด 0.670 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุด

3. วิธีการวิจัย

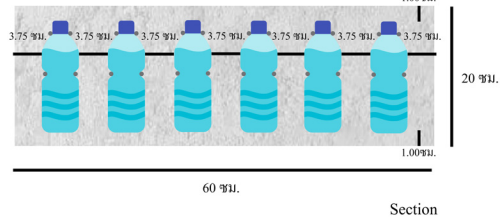
3.1 วิธีการจัดเรียงขวดพลาสติก PET ภายใน คอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 4 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET จำนวน 6 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร ภายในคอนกรีตมวลเบาขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรหนา 10 เซนติเมตร เป็นจำนวนขวดพลาสติก PET มากที่สุดที่สามารถจัดเรียงภายในคอนกรีตมวลเบาและเป็นการเพิ่มปริมาณอากาศภายในขวดพลาสติก PET ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษา



(ที่มา: Mansour & Ali, 2015)

รูปที่ 3 การใช้ขวดพลาสติกในการก่อผนังดิน



รูปที่ 4 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET ภายในคอนกรีตมวลเบา

เพื่อให้ทราบถึงประโยชน์ของการจัดเรียงขวดพลาสติก PET ภายในคอนกรีตมวลเบา เช่น ความเบา กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง และอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา การจัดเรียงขวดพลาสติก PET เป็นแนวตั้ง เป็นการจัดเรียงที่แข็งแรงที่สุดเนื่องจากขวดพลาสติกตั้งฉากกับกำลังรับแรงอัดของผนัง และการใส่ขวดพลาสติก ขนาด 322 มิลลิลิตร จำนวน 6 ขวด เป็นปริมาณขวดพลาสติกที่สามารถใส่ในคอนกรีตมวลเบา ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ได้จำนวนมากที่สุด

จากตารางที่ 2 ขนาดของคอนกรีตมวลเบา กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร เป็นขนาดมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปทั้งผนังภายใน และผนังภายนอก ในงานทางด้านสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 2 ขนาดคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541

ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)
20.00	60.00	7.50
30.00	60.00	7.50
40.00	60.00	10.00
		12.50
		15.00
		17.50
		20.00
		25.00

3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ส่วนผสมคอนกรีต	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.50	
	ร้อยละ (%)	น้ำหนัก (kg)
ส่วนผสมทั้งหมด	100.00	24.24
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	37.79	9.16
น้ำ	43.32	10.50
ทราย	18.89	4.58

จากตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ 1 ก้อน ดังนี้

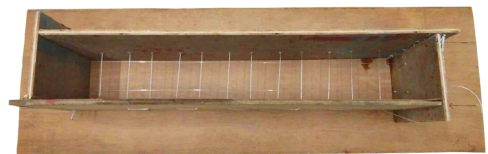
1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1 - 2555 ปริมาณ 9.16 กิโลกรัม
2. ทรายละเอียดตามมาตรฐาน มอก. 1176-2542 ปริมาณ 10.50 กรัม
3. น้ำสะอาด ปริมาณ 4.58 กิโลกรัม ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่มีอัตราส่วนน้ำต่อ

ซีเมนต์เท่ากับ 0.50 เป็นตัวแปรควบคุมในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541 ของคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

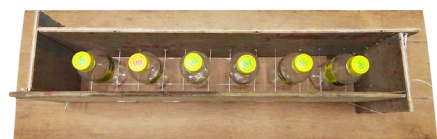
3.3 วิธีการทดลอง



1. ผสมอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายละเอียด และน้ำสะอาด



2. ทำแบบหล่อไม้อัดขนาด 1 เซนติเมตร ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร และซึ่งด้วยเอ็นตามระยะขวดพลาสติก PET ที่กำหนด



3. วางขวดพลาสติกPETตามระยะที่กำหนด



4. แกะแบบหล่อและปล่อยให้แห้งเวลา 28 วัน



3. นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที และ 24 ชม. ตามลำดับเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.4 วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

ทดสอบภาคทฤษฎีจากวิทยานิพนธ์ของ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



1. ทดสอบกำลังรับแรงอัด

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา
และคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ลักษณะทางกายภาพ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ
น้ำหนัก (kg)	22.10	21.93
ขนาด (cm) กว้าง	15	20
ยาว	60	60
หนา	10	10



2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชม. เพื่อทดสอบความหนาแน่นแห้ง

จากตารางที่ 4 คอนกรีตมวลเบาที่มีน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบประมาณ 0.17 กิโลกรัม และขนาดความกว้างของคอนกรีตมวลเบาลดลงเนื่องจากไม่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แสดงให้เห็นว่าขวดพลาสติก PET สามารถทดแทนปริมาณของคอนกรีตมวลเบา ด้านกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร หรือปริมาตร 0.003 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ขนาดความยาวและความหนา มีขนาดเท่ากัน

ตารางที่ 5 การทดสอบคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541

การทดสอบ	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ
กำลังรับแรงอัด (N/mm ²)	11.23	6.60
ความหนาแน่นแห้ง (kg/m ³)	1670.83	1687.50
การดูดซึมน้ำ 30 นาที (%)	9.97	11.11
การดูดซึมน้ำ 24 ชม. (%)	13.96	14.57

จากตารางที่ 5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบประมาณ 4.63 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เนื่องจากการมีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาลดลง ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเบา ซึ่งมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ประมาณ 16.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราการดูดซึมน้ำ 30 นาที และ 24 ชม. ของคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ร้อยละ 1.14 และ 0.61 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 คอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541

ระดับ	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย	(นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)ต่ำสุด
2	2.50	2.00
4	5.00	4.00
6	7.50	6.00
8	10.00	8.00

จากตารางที่ 6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบประมาณ 6.60 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งทำให้อยู่ในระดับ 6 กำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 6.00 - 7.50 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตมวลเบาและวัสดุในท้องตลาด

อิฐมวลเบา	คอนกรีตมวลเบา Q-CON	คอนกรีตมวลเบา	คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ	
กำลังแรงอัด (N/mm ²)	1.47-3.92	2.94-7.84	11.23	6.60
ความหนาแน่นแห้ง (kg/m ³)	1350-1500	600-800	1670.83	1687.50
การดูดซึมน้ำ 24 ชม. (%)	30.00-40.00	10.00-19.00	13.96	14.57

จากตารางที่ 7 คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ มีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 6.60 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง 2.94 - 7.84 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรและมีดูดซึมน้ำ 24 ชม. 14.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วง 10.00 - 19.00 เปอร์เซ็นต์

5. ข้อสรุปจากการทดลอง

คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ใช้ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตลดลง จากความกว้างของคอนกรีตมวลเบาที่มีขนาดเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา จากผลการทดลองพบว่าทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบา แต่มีกำลังรับแรงอัดที่เพียงพอสำหรับใช้ในการก่อสร้างในงานสถาปัตยกรรม

คอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติกPET เป็นส่วนประกอบ จะทำให้ความหนาแน่นแห้ง และอัตราการดูดซึมน้ำ 30 นาที และ 24 ชม. มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบา

6. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาคุณสมบัติของขวดพลาสติก PET และวิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาจะทำให้ทราบถึงความสำคัญของการลดขยะพลาสติก เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการก่อสร้างผนังอาคารด้วย

คอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติกPET เป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ผนังของอาคาร เช่น น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาที่ลดลง การลดปริมาณส่วนผสม ตาม มอก. 1505-2541 แบบขึ้นส่วน คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำโดยมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ให้มีประสิทธิภาพที่มีคุณภาพมากขึ้น

รายการอ้างอิง

กลุ่มงานวิจัย กองจัดการขยะ ของเสียอันตราย และปฏิภูลสำนักสิ่งแวดล้อม. (2557). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร 2556 – 2557. (91-92). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
แบรนด์บัฟเฟต. (2560). “คริสตัล ” ประกาศชยันน้ำดื่มรอบ 20 ปี ขึ้นแทนผู้นำตลาดสอย “สิงห์” ร่วง. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 กรกฎาคม 2560 จาก <https://www.brandbuffet.in.th/crystal-number-one-in-drinking-water/>.

Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41, 1453–1477.

Mansour, A., Mansour, H., & Ali, S. A. (2014). Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material, *Energy for Sustainable Development*, 24, 79-85.

Panyakapo, P., & Mallika Panyakapo, M. (2007). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. *Waste Management*, 28(9), 1581-1588.

การออกแบบและผลิตที่พักรุกเงินพร้อมประกอบจากท่อพีวีซี

Design and Production of Ready-to-Assemble Emergency Shelter from PCV Pipe

วชิระ แสงรัศมี¹ และ ประชুম คำพุดม²

Vachira Sangrutsamee¹ and Prachoom Khampud²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: vachira_s@rmutt.ac.th¹, prachoom.k@rmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นกรนำเสนอการพัฒนาวัสดุแผ่นผนังสำเร็จรูปน้ำหนักเบาจากท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ชั้น 5.5 และที่พักรุกเงินพร้อมประกอบ โดยได้ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลก่อนนำมาพัฒนาเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปแล้วจึงการออกแบบและประเมินการผลิตที่พักรุกเงินต้นแบบลักษณะเหมือนบ้านท่อนซุง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนและเพิ่มพื้นที่ใช้สอยได้ ผลการทดสอบวัสดุท่อพีวีซีนี้พบว่า มีสมบัติทางกายภาพและทางกลผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมประเภทวัสดุก่อผนังชนิดไม่รับน้ำหนัก สำหรับการประเมินวัสดุแผ่นผนังสำเร็จรูปจากท่อพีวีซี พบว่า มีน้ำหนักเบา จากการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนที่พักรุกเงินนี้ด้วยระบบประสานทางพิกัด (Modular) และการลดชิ้นส่วนประกอบอาคารทำให้การประกอบติดตั้งทำได้สะดวก รวดเร็วด้วยแรงงาน 3 คน โดยใช้เครื่องมือก่อสร้างทั่วไป ท้ายที่สุดนี้ที่พักรุกเงินสำเร็จรูปถอดประกอบได้จากท่อพีวีซีนี้เป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นที่พักหรือร้านค้าชั่วคราว

คำสำคัญ: แผ่นผนังสำเร็จรูป ผนังท่อพีวีซี บ้านท่อนซุง ที่พักรุกเงินพร้อมประกอบได้ อาคารพักชั่วคราว

Abstract

This article presents the development of light weight ready-made wall materials from PVC pipe with a diameter of 3 inches of class 5.5 and the ready-to-assemble emergency shelter. The physical and mechanical properties were tested and then developed into the ready-made wall. After that, a modular system was designed and the production and assembly of the emergency shelter were evaluated together with a model that could be adjusted and utility space that could be increased in the log cabin. According to the test results of the PVC pipe, it was found that the physical and mechanical properties met the industry standard for non-bearing wall materials. From the evaluation of the ready-made wall materials from the PVC pipe, it was found that it is lightweight. Regarding the design and development of the emergency shelter components, there was a modular set and a reduced amount of building assembly parts, which provided convenient

and fast installation with only 3 workers and general construction tools. In conclusion, this ready-to-assemble emergency shelter from PVC pipe is a new alternative that can be applied in various ways as a temporary accommodation or store.

Keywords: Prefabricated Wall Materials, PVC Wall Panel, Log Home, Knockdown Home, Temporary Buildings

1. คำนำ

ภัยพิบัติเกิดขึ้นจากธรรมชาติและเกิดจากมนุษย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นและรุนแรงมากขึ้นสร้างความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือนและการอยู่อาศัย ประชาชนที่ได้รับความเดือดร้อน หน่วยงานราชการต่าง ๆ จะเข้ามาดูแลและช่วยเหลือในเบื้องต้น ผู้ประสบภัยส่วนใหญ่จะถูกอพยพไปพักอาศัยรวมกันในพื้นที่ราชการ วัด โรงเรียน สนามกีฬา เป็นต้น ซึ่งไม่สะดวกในการใช้ชีวิต และการดำรงชีพตามปกติหากต้องใช้เวลาก่อสร้างและซ่อมแซมที่อยู่อาศัยเดิมที่เสียหายนาน มีบางส่วนใช้เต็นท์ผ้าใบเป็นที่อยู่อาศัยชั่วคราวเพื่อให้อยู่ใกล้บ้านของตนเอง เต็นท์ผ้าใบไม่แข็งแรง ไม่ปลอดภัย ป้องกันความร้อนและเสียงได้ไม่ดีส่งผลต่อการใช้ชีวิตและคุณภาพชีวิตของครอบครัว ดังจะเห็นได้ว่าในต่างประเทศได้มีการออกแบบและพัฒนาที่พักชั่วคราวสำเร็จรูปหลากหลายแบบเพื่อให้เหมาะกับลักษณะทางกายภาพ วิถีชีวิต และสภาพภูมิอากาศของแต่ละประเทศ เช่น บ้านท่อนกระดาษ (paper log house) ของ ชิเกรุ บัน (Ban, 2001) และ อิกียเฮ้าส์ (IKEA house) ซึ่งเป็นที่พักชั่วคราวถอดประกอบได้ (IKEA, 2013) เป็นต้น ส่วนในประเทศไทยได้มีการศึกษาและพัฒนาที่พักอาศัยชั่วคราวเพื่อตอบสนองต่อผู้ประสบภัยในรูปแบบต่างๆ ดังเช่น ณัฐวุฒิ (2558) และ นลินี (2558) ได้ศึกษาและนำเสนอแนวทางการ

ออกแบบที่พักอาศัยชั่วคราวสำหรับผู้ประสบภัย แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดทั้งในเรื่องวัสดุ การประกอบติดตั้งที่พักต้นแบบเราจึงเกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีที่มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาประกอบเป็นผนังสำเร็จรูปสำหรับที่พักชั่วคราวพร้อมประกอบ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบที่พักฉุกเฉินพร้อมประกอบจากท่อพีวีซีทางเลือกใหม่ โดยทำทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล การประเมินศักยภาพการผลิตและติดตั้งที่พักฉุกเฉินต้นแบบ

2. การออกแบบและพัฒนาต้นแบบที่พักฉุกเฉิน

จากการศึกษางานเอกสารทั้งในและต่างประเทศสามารถสรุปเกณฑ์การออกแบบที่พักฉุกเฉินสำหรับผู้ประสบภัยได้ ดังนี้

- 1) ด้านการจัดการ การขนส่ง และการอำนวยความสะดวก
 - ที่พักฉุกเฉินต้องถูกออกแบบและเตรียมการไว้ล่วงหน้า
 - เมื่อเกิดเหตุสามารถนำมาใช้ได้ทันที
 - เมื่อผู้ประสบภัยย้ายออกควรนำกลับมาใช้ใหม่ได้
 - การจัดส่งสามารถใช้รถบรรทุกที่สามารถเข้าถึงได้ทุกพื้นที่
 - การยกและจัดวางในการขนส่งไม่ควรใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่

- ที่พักมีภาวะระบายอากาศที่ดี มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน
- ที่พักต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวก
- ที่พักควรมีความเหมาะสมและคุ้มค่างบประมาณที่ใช้

2) การก่อสร้างและวัสดุ

- ควรประกอบเสร็จภายใน 1 วัน ด้วยแรงงานคน
- การประกอบและติดตั้งควรใช้เครื่องมือก่อสร้างทั่วไปและไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือเฉพาะ
- โครงสร้างและวัสดุควรมีน้ำหนักเบาและสามารถรีไซเคิลได้
- โครงสร้างและวัสดุควรมีความแข็งแรง มั่นคง ปลอดภัย ป้องกันความร้อน เสียงและสร้างความเป็นส่วนตัวได้
- ชิ้นส่วนประกอบอาคารสามารถถอดถอนและจัดเก็บได้รวดเร็ว

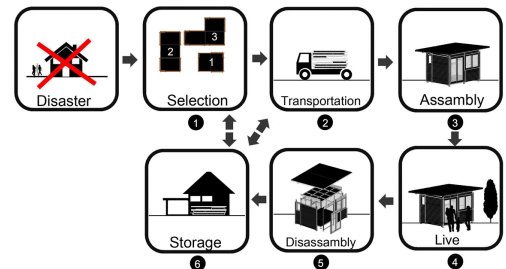
3) การแบ่งพื้นที่ใช้สอยและการเพิ่มพื้นที่

- พื้นที่ใช้สอยสามารถแบ่งตามการใช้งานได้
- สามารถปรับเพิ่ม ลด พื้นที่ใช้สอยได้ตามความเหมาะสม

การออกแบบชิ้นส่วนที่พับจากเงินนี้ได้แรงบันดาลใจจากกระท่อมท่อนซุง (Log Cabin) ในอดีตที่ให้ความรู้สึกมั่นคง แข็งแรงและปกป้องภัยท่ามกลางธรรมชาติ โดยเลือกใช้รูปแบบหน้าตัดของท่อนไม้แบบสวีดิช คอป (Swedish Cope) เพื่อให้การเชื่อมต่อระหว่างท่อนไม้มีพื้นที่ยึดเกาะมากขึ้นและยังป้องกันน้ำไหลเข้ามาทางรอยต่อ

แนวความคิดในการบริหารจัดการที่พับจากเงินสำหรับผู้ประกอบของเราแสดงดังรูปที่ 1 โดยมีการจัดเตรียมชิ้นส่วนและที่พับจากเงินนี้ไว้ส่วนกลาง/โรงเก็บ(6) เมื่อผู้ประกอบต้องการที่พับทางหน่วยงานรับผิดชอบจะคอยดูแลและ

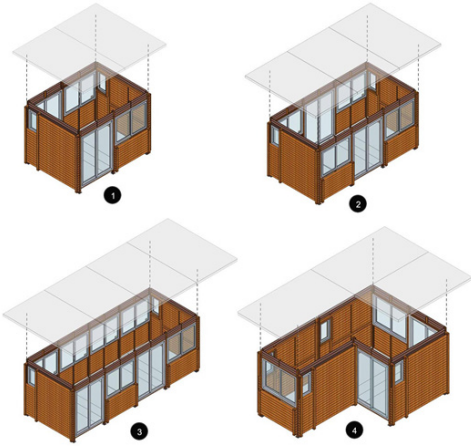
จัดหาโดยทำการเลือกรูปแบบขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับผู้ประกอบแต่ละครอบครัว(1) จากนั้นจะทำการจัดเตรียมชิ้นส่วนที่ส่วนกลาง/โรงเก็บ (6) แล้วจัดส่งไปยังพื้นที่ (2) ต่อจากนั้นทำการปรับพื้นที่และ ประกอบติดตั้ง (3) เมื่อติดตั้งและตกแต่งเสร็จผู้ประกอบจึงย้ายเข้าไปพักอาศัย (4) เมื่อที่พักอาศัยเดิมซ่อมแซมเสร็จและต้องการย้ายออกจึงทำการรื้อถอด (5) นำชิ้นส่วนที่พับจากเงินทั้งหมดไปเก็บ ซ่อมแซม และบำรุงรักษาที่ส่วนกลาง/โรงเก็บ (6)



รูปที่ 1 แนวความคิดการจัดการที่พับจากเงินสำหรับผู้ประกอบ

การออกแบบโครงสร้างและวัสดุประกอบที่พับจากเงินนี้ใช้วิธีลดชิ้นส่วนประกอบอาคารเพื่อลดความซับซ้อนในการประกอบและติดตั้งโดยการแบ่งชิ้นส่วนอาคารตามหน้าที่ใช้งานได้ 5 ชุดหลัก คือ 1) ชุดชิ้นส่วนฐาน 2) ชุดชิ้นส่วนผนัง (โครงสร้าง+ผนัง+ประตูหน้าต่าง) 3) ชุดชิ้นส่วนพื้น 4) ชุดชิ้นส่วนฝ้าเพดาน 5) ชุดชิ้นส่วนหลังคา การกำหนดระยะเพิ่ม-ลดพื้นที่ใช้สอยและรูปแบบอาคารใช้ชุดชิ้นส่วนผนังเป็นระยะความยาวมาตรฐานที่ 1.50 และ 2.40 เมตร ซึ่งสามารถนำระยะดังกล่าวมาต่อขยายได้ เช่น ต้องการความยาวที่ 3.90 เมตร ก็นำชุดชิ้นส่วน 1.50 เมตรต่อกับชุดชิ้นส่วน 2.40 เมตร เป็นต้น ด้วยระยะของชุดชิ้นส่วนผนังดังกล่าวสามารถ

เพิ่มรูปแบบของอาคารและพื้นที่ใช้สอยได้หลาย
รูปแบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การปรับเปลี่ยนรูปแบบและพื้นที่ที่หลากหลาย

การออกแบบพื้นที่ใช้สอยอาคารนี้สามารถใช้
เป็นที่พักอาศัยชั่วคราว ที่พักรุกเงินหรือผู้สูงอายุ
สำนักงานและสถานบริการชั่วคราว เป็นต้น การ
ทดลองผลิตและประกอบที่พักรุกเงินพร้อม
ประกอบต้นแบบในภาคสนาม ได้เลือกรูปแบบ
มาตรฐานที่มีขนาด 3.00x2.4 เมตร โดยมีแบบ
แปลนแสดงดังรูปที่ 3 ที่พักรุกเงินนี้ใช้โครงสร้าง
เหล็กรูปพรรณเป็นกรอบอาคารและใช้แผ่นผนัง
ท่อพีวีซีสำเร็จรูปแสดงดังรูปที่ 4 โดยมีรายละเอียด
ของวัสดุประกอบอาคาร ดังนี้

- ฐานรองโครงสร้าง: คอนกรีตเสริมเหล็ก
ขนาด 0.30x0.30x0.5 ม.
- โครงสร้างเสา-คาน-พื้น: โครงสร้างขอบ
ข้างใช้วัสดุเหล็กรูปตัว C ส่วนกลางใช้วัสดุเหล็ก
กล่อง ขนาด 1 1/2"x3" หนา 2.3 มม.
- แผ่นพื้น: แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์หนา 2.5 ซม.
- โครงสร้างผนัง: เหล็กกล่อง 1 1/2"x3"
หนา 2.3 มม.

- แผ่นผนังสำเร็จรูป: ท่อพีวีซี 3" ชั้น 5
ร้อยเชื่อมด้วยนอต
- โครงฝ้าเพดาน: เหล็กฉาก 1"x1" หนา
1.2 มม.
- แผ่นฝ้าเพดาน: แผ่นยิปซัมบอร์ดบุแผ่น
ฉนวน
- ประตู หน้าต่าง: วัสดุอลูมิเนียมและ
แผ่นกระจกใส
- โครงสร้างหลังคาและวัสดุ: เหล็กรูปพรรณ
ขนาด 1 1/2"x3" หนา 2.3 มม. แผ่นเหล็กเคลือบ
สังกะสี
- การเชื่อมต่อ: ใช้การเชื่อมโลหะและใช้
นอตยึด

3. ลำดับและขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน

การสร้างที่พักรุกเงินต้นแบบขนาด
มาตรฐานนี้ได้ทำการทดลองผลิตและประกอบ
ตามแนวความคิดที่ได้กำหนดไว้ โดยมีลำดับใน
การประกอบแสดงดังรูปที่ 5

4. วิธีการทดสอบและประเมินผล

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

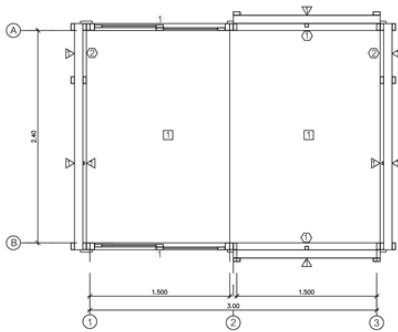
การทดสอบสมบัติทั้งทางกายภาพ (ความ
หนาแน่น การดูดซึมน้ำ) และทางกล (การรับแรง
อัด และการรับแรงดัด) ใช้ขั้นตอนทดสอบอย่างละ 3
ชิ้น แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสมบัติวัสดุ

4.2 การประเมินการผลิตและติดตั้ง

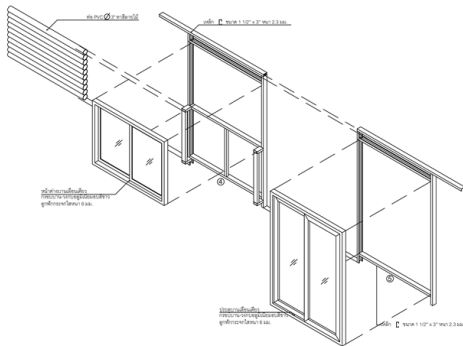
ใช้การจดบันทึก สังเกต สัมภาษณ์ วิเคราะห์
และสังเคราะห์การปฏิบัติงานจริงในภาคสนาม

5. ผลการทดสอบและประเมินผล

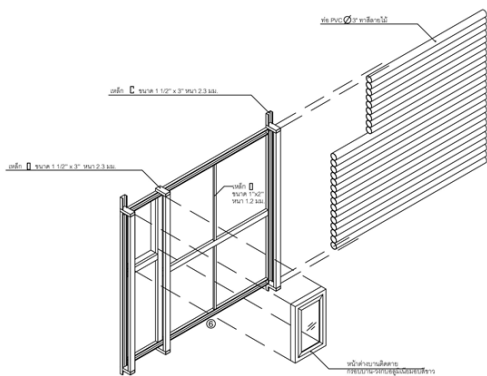
5.1 ผลทดสอบสมบัติของวัสดุท่อพีวีซี



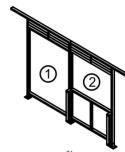
แบบแปลน
รูปที่ 3 แบบแปลนที่ปักถูกเงินขนาดมาตรฐาน



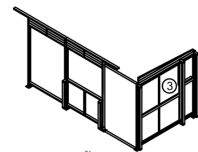
ชุดชิ้นส่วนประตูและชุดชิ้นส่วนหน้าต่าง



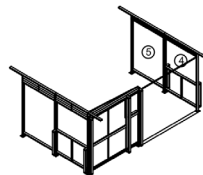
ชุดชิ้นส่วนด้านข้าง
รูปที่ 4 รูปแบบโครงสร้างหลักที่เป็นชุดชิ้นส่วนผนัง



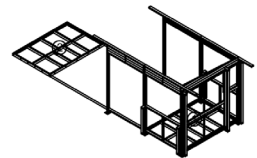
1. นำชุดชิ้นส่วนประตูและชุดชิ้นส่วนหน้าต่างประกอบเข้าด้วยกัน



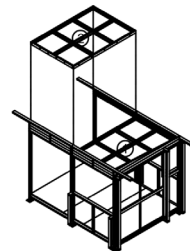
2. นำชุดชิ้นส่วนด้านข้างประกอบต่อส่วนหน้าต่างประกอบเข้าด้วยกัน



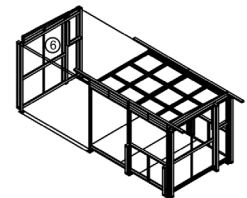
3. นำชุดชิ้นส่วนหน้าต่างและชุดชิ้นส่วนประตูต่อประกอบเข้า



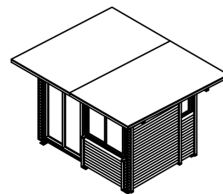
4. นำชุดชิ้นส่วนพื้นประกอบยึดกับโครงสร้าง



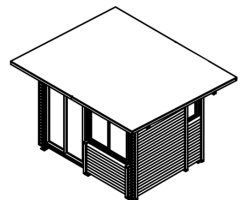
5. นำชุดชิ้นส่วนฝ้าเพดานประกอบ



6. นำชุดชิ้นส่วนด้านข้างประกอบ



7. นำชุดหลังคาประกอบเข้าและติดตั้งประตูหน้าต่าง



8. ตกแต่งและตรวจสอบความเรียบร้อย

รูปที่ 5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนที่ปักถูกเงิน (ต่อ)

ผลการทดสอบสมบัติของวัสดุท่อพีวีซีแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติของวัสดุก่อสร้างทั่วไปแสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าวัสดุท่อพีวีซีมีสมบัติเด่นที่น่าสนใจ คือ มีความแข็งแรง ความหนาแน่นต่ำเมื่อคิดปริมาตรต่อพื้นที่ (น้ำหนักเบา) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ (คงทน) และมีค่าการรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของวัสดุก่อผนังชนิดไม่รับน้ำหนักจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุแผ่นผนังอาคารที่ไม่รับน้ำหนักได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมบัติท่อพีวีซีกับวัสดุก่อสร้าง
ทั่วไป

รายการ	วัสดุผนังชนิดต่าง ๆ			
	ท่อพีวีซี	อิฐมวล เบา	แผ่นไม้ สังเคราะห์	อิฐมอญ
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	227.4	900	1,300 (แผ่นวัสดุ)	1,400
จำนวนการใช้งาน (ขึ้นต่อ ลบ.ม.)	14	8.33	1	130-145
น้ำหนักผืน (กก./ตร.ม.)	15.2	90	11 (ผืน 1 ชั้น)	180
ค่าการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	1.1	>30	12	30
ค่าการรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	34.6	30-40	-	20-40
ค่าการรับแรงดัด (กก./ตร.ซม.)	53.15	-	122	-
อัตราการกันเสียง (STC rating) (เดซิเบล)	-	38	-	43
พื้นที่ก่อสร้าง (ม./วัน)	-	15-25	-	6-12
สัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)	1.1 (วัสดุ)	0.24	0.125	1.15

**5.2 ผลการประเมินการผลิตและประกอบที่พักรู
ปลูกเงิน**

การผลิตแผ่นผนังสำเร็จรูปจากท่อพีวีซี
ขนาด 3 นิ้ว ชั้น 5.5 สามารถนำมาตัดและขึ้น
รูปหน้าตัด Swedish Cope เพื่อการยึดติดและ
ป้องกันน้ำไหลเข้ารอยต่อ โดยการกดอัดด้วย
ความร้อน สามารถทำได้ดี แล้วนำท่อพีวีซีที่อัด
ขึ้นรูปแล้วมาร้อยด้วยนอต ประกอบเป็นแผ่น
ผนังเชื่อมรอยต่อด้วยซิลิโคนแล้วทาสีรองพื้น
และสีจริงตามลำดับแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการผลิตแผ่นผนังสำเร็จรูปจากท่อพีวีซี

การประกอบที่พักรูปลูกเงินต้นแบบนี้เป็นการ
ประเมินการทำงานด้วยแรงงานคนและเครื่อง
มือก่อสร้างทั่วไปในพื้นที่กลางแจ้ง เนื่องจากมี
ข้อจำกัดในการหาโรงงานผลิตและบริษัทที่
รับจ้างผลิต ที่พักรูปลูกเงินนี้จึงต้องจ้างมหาช่าง
ก่อสร้างทั่วไปผลิตขึ้นส่วนพร้อมทดลองประกอบ
ไปพร้อม ๆ กัน เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของ
รูยัดโครงสร้างน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 7



มุมผนังและฝ้าเพดาน

มุมผนังด้านหน้าและด้านข้าง

รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างและการเชื่อมยึดมุม

**5.3 ผลประเมินการประกอบและร้อย
ถอน**

ขั้นตอนการประกอบที่พักรูปลูกเงินต้นแบบ
แสดงดังรูปที่ 8 ส่วนการร้อยถอนมีขั้นตอนตรงข้าม
กับการประกอบสามารถร้อยถอนเสร็จภายใน 1 วัน
เช่นกัน ลักษณะที่พักรูปลูกเงินต้นแบบนี้มีลักษณะ
เหมือนกระท่อมท่อนซุงทั้งภายนอกและภายใน

เมื่อขึ้นส่วนทั้งหมดถูกขนส่งมายังพื้นที่และ
พื้นที่ดินวางฐานเรียบร้อยแล้ว สามารถประกอบ
และติดตั้งตามขั้นตอนที่วางแผนไว้เสร็จภายใน
1 วัน (8 ชั่วโมง) ด้วยแรงงานคนและเครื่องมือ
ก่อสร้างทั่วไป โดยมีรายละเอียดระยะเวลาใน
การประกอบขึ้นส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

**5.4 การประเมินราคาค่าก่อสร้างที่พักรูปลูกเงิน
ต้นแบบ**

จากการเก็บข้อมูลค่าวัสดุและค่าแรงในการ
ผลิตที่พักรูปลูกเงินต้นแบบขนาดพื้นที่ใช้สอย 7.2
ตารางเมตร (ขนาด 2.40x3.00 ม.) นี้มีราคาต้นทุน
การผลิตอยู่ที่ 101,550 บาท โดยมีรายละเอียด
ราคาของขึ้นส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการประกอบและติดตั้ง

ลำดับ	ขั้นตอนการก่อสร้าง	ช่วงเช้า					พัก	ช่วงบ่าย					จำนวน แรงงาน	
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00		13:00	14:00	15:00	16:00	17:00		
1	นำชิ้นส่วนคานหน้าประกอบเข้า กับชิ้นส่วนคานหน้าคานต่าง	■	■				■							3
2	นำชิ้นส่วนคานข้างเข้ามาประกอบต่อ		■				■							3
3	นำชิ้นส่วนคานหลังหน้าคานต่างและชิ้นส่วน คานหลังประกอบประกอบต่อ			■			■							3
4	นำชิ้นส่วนชุดพื้นทั้งสองชุดเข้ามาประกอบ				■		■							3
5	นำชิ้นส่วนชุดฝ้าเพดานทั้งสองชุดเข้ามา ประกอบ					■	■							3
6	นำชิ้นส่วนผนังคานข้างเข้ามาประกอบ						■							3
7	นำชิ้นส่วนหลังคาทั้งสองชั้นมาประกอบ							■	■					3
8	ติดตั้งประตูและหน้าต่าง									■	■			3
9	ติดตั้งผนังทั้งหมด										■	■		3
10	ตกแต่งและตรวจสอบความเรียบร้อย											■	■	3



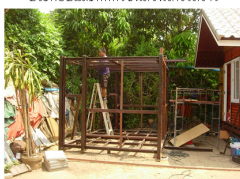
เตรียมพื้นที่และเตรียมชิ้นส่วน



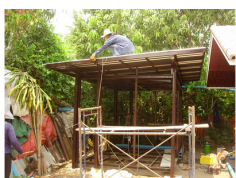
ประกอบและติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้าง



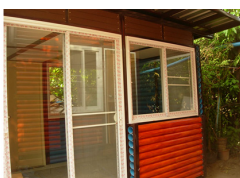
ติดตั้งโครงสร้างพื้น



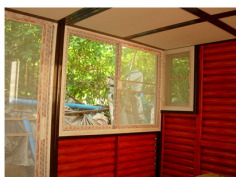
ติดตั้งโครงฝ้าเพดาน



ติดตั้งโครงสร้างหลังคา



ติดตั้งผนังและประตูหน้าต่าง



เก็บรายละเอียดและตกแต่ง



ต้นแบบที่หักถูกเงินถอดประกอบได้

รูปที่ 8 การประกอบชิ้นส่วนที่หักถูกเงินต้นแบบ

ตารางที่ 3 แสดงราคาของชิ้นส่วนประกอบที่หักถูกเงินต้นแบบ

ลำดับ	รายการชิ้นส่วน	จำนวน (ชิ้น)	ราคา ต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1	ฐานรองรับโครงสร้าง	6	120	720
2	ชุด 1 โครงสร้าง/วัสดุหน้า-หลัง	2	8,450	16,900
3	ชุด 2 โครงสร้าง/วัสดุหน้า-หลัง	2	5,670	11,340
4	ชุดโครงสร้าง/วัสดุคานซ้าย-ขวา	2	8,950	17,900
5	ชุดโครงสร้างพื้น/วัสดุ	2	4,670	9,340
6	ชุดโครงสร้างฝ้าเพดาน/วัสดุ	2	2,150	4,300
7	ชุดโครงสร้างหลังคา/วัสดุมุง	2	3,025	6,050
8	ค่าแรงงาน (จ้างเหมา)	1	35,000	35,000
รวม				101,550

โดยสามารถแยกเป็นค่าวัสดุ 66 เพอร์เซ็นต์ (66,550บาท) และค่าแรงงาน 34 เพอร์เซ็นต์ (35,000บาท) เมื่อคิดเป็นราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยที่ 14,104บาทต่อตารางเมตรซึ่งมีราคาอยู่ในระดับปานกลางของราคาขายบ้านสำเร็จรูปโครงสร้างเหล็กผนังไม้สังเคราะห์ที่มีราคาขายเฉลี่ยที่ 12,000-18,000 บาทต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับวัสดุก่อสร้าง

6. สรุป

ผลการศึกษาและพัฒนาที่พักฉุกเฉินพร้อมประกอบจากท่อพีวีซีนี้สามารถสรุปได้ว่า

- การประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ชั้น 5.5 มีศักยภาพที่น่าสนใจคือ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง คงทน ดูดซึมน้ำต่ำ
- การผลิตและประกอบแผ่นผนังสำเร็จรูปลักษณะท่อนทงสามารถตัด ขึ้นรูป ประกอบ และตกแต่งได้สะดวก รวดเร็ว
- การผลิตที่พักฉุกเฉินสำเร็จรูปพร้อมประกอบขนาดพื้นที่ 7.2 ตารางเมตร ใช้เวลาผลิตที่ 10 วัน โดยมีราคาเฉลี่ยที่ 14,140 บาท ต่อตารางเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบ้านเคลื่อนที่สำเร็จรูปที่โครงสร้างเหล็กรูปพรรณและผนังแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีราคาใกล้เคียงกัน
- การออกแบบที่พักฉุกเฉินพร้อมประกอบด้วยระบบประสานทางพิคดที่ถอดประกอบได้ มีลักษณะเหมือนกระท่อมท่อนทง มีรูปทรงอาคาร และพื้นใช้สอยที่สามารถปรับเปลี่ยนได้หลากหลาย ใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณและแผ่นผนังสำเร็จรูปจากท่อพีวีซีสามารถประกอบ/รื้อถอนเสร็จได้ภายใน 1 วัน ด้วยแรงงานและเครื่องมือก่อสร้างทั่วไป มีศักยภาพที่น่าสนใจนำไปพัฒนาเป็นที่พักฉุกเฉิน ที่พักผู้สูงอายุและอาคารสำเร็จรูปในเชิงพาณิชย์ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่อุดหนุนงบประมาณการวิจัย

รายการอ้างอิง

- ณัฐวุฒิ พจนานวนุวัฒน์ และ ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์. (2558). แนวทางการออกแบบบ้านพักอาศัยชั่วคราวระบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปสำหรับการบรรเทาภัยพิบัติในประเทศไทย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 23(2), 191-202.
- นลินี รุดโท และ สักการ ราศีสุทธิ. (2558). กรอบแนวคิดการออกแบบบ้านพักชั่วคราวสำหรับผู้ประสบภัยแผ่นดินไหว. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14(2), 43-60.
- วิจักษณ์ นุ่มนึ่ง และ สุรพงษ์ เลิศสิทธิชัย. (2555). *สถาปัตยกรรมที่ตอบสนองต่อภัยพิบัติทางธรรมชาติ*. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาศิลปการระดับชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยศิลปากร, 10-11 พฤษภาคม 2555, 234-246.
- Chaves, A., Furtado, G., & Lino, J. (2012). Architectural modelling of components in composite materials for temporary shelter facilities. *15th International Conference on Experimental Mechanics*, 22-27 July 2012, Porto/Portugal, 1-6.
- Forouzandeh, A. J., Mahmood, M., & Sadeghzadeh, M. (2008). Guidelines for design of temporary shelters after earthquakes based on Community Participation. *The 14th Word Conference on Erthquake Engineering*, 12-17 October 2008, Beijing, China.
- Haris, D. A. (1976). *Noise control manual for resident buildings*. New York: E&F.N.

- IKEA. (2014). Acidcow 2023. Retrieved March 10 march 2017 from <http://2th.me/thread-97590-1-1.html>.
- Pusceddu, C., & Imperadori, M. (2014). Light Shelters: Use of Reflective Insulations in Emergency Architecture. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 38(3), 183-192.
- Shigeru, B. (2001). *Shigeru Ban paper in architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- Som, S. (2011). *Humidity intrusion effects of properties of autoclaved aerated concrete*. Master of Science in Civil Engineering, Eastern Mediterranean University.
- Soubdhan, T., Feuillard, T., & Bade, F. (2005). Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate. *Solar Energy*, 79, 311-320.
- Suau, C. (2005). Triangular pallet house© TPH elemental a-frame design application in emergency and re-creational environments. *The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon*, 13-16 November 2005, 1-6.

ที่มาของปัญหาความชื้นและวิธีการอนุรักษ์ผนังอาคารโบราณสถาน

Sources of Moisture Problems and Preservation Techniques in Historic Masonry Walls

ณิชกานต์ เหล่าสมาธิกุล¹ และ ดร. ดารณี จารีมิตร²

Nitchakarn Laosamathikul¹ and Daranee Jareemit, Ph.D.²

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: nitchakarn.sama@gmail.com¹, daranee@ap.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

ปัญหาการสะสมความชื้นมักพบในอาคารโบราณสถานซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคาร ลดคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุและการเกิดเชื้อราภายในและที่ผิวผนัง ปัจจุบันงานวิจัยหลายงานวิจัยมีการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นและปัญหาการเสื่อมสภาพจากการสะสมความชื้นในผนังของอาคารโบราณสถานเพื่อหาแนวทางแก้ปัญหา บทความนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาความชื้นที่พบในผนังอาคารโบราณสถาน รวมถึงการศึกษาเทคนิคการบูรณะ ข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของวิธีการแก้ปัญหาความชื้นต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันการเสื่อมสภาพจากความชื้นของผนังอาคารโบราณสถาน ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานมีสาเหตุจากหลายประการ ได้แก่ ความชื้นที่เกิดจากการซึมผ่านของน้ำฝน ความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นและความชื้นจากน้ำใต้ดินโดยความชื้นจากน้ำใต้ดินเป็นประเภทความชื้นที่พบในผนังอาคารโบราณมากที่สุด ส่วนวิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานสามารถแบ่งตามหลักการที่ใช้ได้แก่ วิธีการแก้ปัญหาโดยลดคุณสมบัติการดูดซับความชื้นผนัง วิธีการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มอัตราการระเหยภายในผนังและวิธีการแก้ปัญหาโดยปรับปรุงโครงสร้างส่วนล่างของอาคาร

คำสำคัญ: การสะสมความชื้น พฤติกรรมถ่ายเทความชื้น ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถาน วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถาน

Abstract

Moisture problems typically find in historic building that significantly accelerate the deterioration of historic buildings and structural hazard, reduce thermal properties of materials, and lead to mold growth problems, Several studies have investigated moisture transfer in the wall as well as their deteriorate effect in order to propose an appropriate preservation technique including advantages and disadvantages for specific moisture related problem. Typically the moisture problems in masonry wall are caused by ran penetration through wall material, condensation inside the wall and on its surface, and capillary rise of ground water in masonry wall that is the most widespread phenomenon leading to moisture presence in masonries wall.

Preservation technique for specific moisture related problem are grouped according to their background principle: Systems based on the reduction of wall sorptivity, based on evaporation increase and based on foundation reparation.

Keywords: Moisture Problems in Masonry Wall, Moisture Transfer, Preservation Technique for Specific Moisture Related Problem

1. ที่มาและความสำคัญ

ความชื้นเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของผนังโบราณสถานในประเทศไทยเนื่องจากส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับความเสียหายทางกายภาพของวัสดุสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพผนังโบราณสถานดังกล่าวเป็นผลมาจากหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ลักษณะเนื้อวัสดุในผนังของอาคารโบราณสถานที่เป็นรูพรุนรวมถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุตามกาลเวลาทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำฝนและการซึมขึ้นของน้ำจากใต้ดินได้มากกว่าอาคารปัจจุบัน (อรรถน์ เศรษฐบุต, 2556; สริน พินิจ, 2557) โครงสร้างของอาคารโบราณสถานที่ไม่มีการออกแบบเพื่อป้องกันความชื้นหรือการซึมขึ้นจากบริเวณโดยรอบหรือไม่มีการออกแบบเพื่อการถ่ายเทอากาศอย่างเหมาะสม รวมถึงปัจจัยด้านสภาพอากาศของประเทศไทยที่เป็นสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี การเกิดน้ำท่วมในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตภาคกลาง ทำให้โบราณสถานเหล่านั้นเสื่อมสภาพและพังทลายลงอย่างรวดเร็ว บทความนี้ได้ทำการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาปัญหาความชื้นที่พบในผนังอาคารโบราณสถาน รวมถึงการศึกษาเทคนิคการบูรณะ ข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของวิธีการแก้ปัญหาความชื้นต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันการเสื่อมสภาพจากความชื้นของ

ผนังอาคารโบราณสถานนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นที่ผนังโบราณสถานที่มีถูกต้องและมีประสิทธิภาพโดยไม่สร้างความเสียหายแก่โบราณสถานมากขึ้น

2. ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถาน

ปัญหาการเสื่อมสภาพจากความชื้นของผนังอาคารโบราณสถานมีสาเหตุมาจากหลายประการ โดยบทความนี้ได้แบ่งประเภทที่มาของความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานได้ดังต่อไปนี้

2.1 การซึมผ่านของน้ำฝน (Rain Penetration)

น้ำฝนสามารถไหลซึมเข้าสู่ผนังอาคารผ่านบริเวณรอยต่อของผนังกับโครงสร้างอาคาร เช่น รอยต่อระหว่างผนังกับกรอบประตู รอยต่อระหว่างผนังกับกรอบหน้าต่าง รอยต่อระหว่างผนังกับหลังคาทำให้เกิดการสะสมความชื้นในผนังได้โดยปัจจัยด้านความหนาของผนัง ความพรุนของวัสดุในผนังและโครงสร้างผนังมีอิทธิพลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำฝนในผนังอาคาร รวมถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ตั้งของอาคารที่ส่งผลต่อให้เกิดการซึมผ่านของน้ำฝนที่กระทำต่อพื้นผิวผนังภายนอกของอาคารมากขึ้น เช่น อาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก มีความเร็วลมสูงจะทำให้เกิดแรงปะทะของน้ำฝนที่กระทำต่อพื้นผิวผนังมากขึ้นส่งผลให้น้ำฝนถูกดันเข้าสู่ผนังได้ลึกมากขึ้น ทิศทางผนังที่หันรับแดด/ฝนแตกต่างกัน (HMSO, 1996; Mora, 1974)

2.2 ความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำ (condensation)

การควบแน่นของไอน้ำบนพื้นผิวผนังและภายในผนังอาคารสามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวหรืออุณหภูมิภายในผนังมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) โดยอุณหภูมิจุดน้ำค้างหมายถึงอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้น (Oxley, 1983) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิของอากาศปกติก็จะน้อยลงและเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเท่ากับ 100% อุณหภูมิของอากาศจะมีค่าเดียวกับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

ในงานวิจัยของสุรียน ศิริธรรมปิติ เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน: กรณีศึกษาพระอุโบสถวัดกำแพงได้อธิบายถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการควบแน่นในผนังโบราณสถานไว้ดังต่อไปนี้ (1) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (2) อุณหภูมิผิวของวัสดุต่างๆ ภายในอาคาร (3) การเปลี่ยนแปลงและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวในแต่ละวัน (4) มวลสารและการหน่วงความร้อนของผนังอาคาร (5) ค่าการนำความร้อนของในอาคาร (6) จำนวนผู้ใช้งานอาคาร ในงานวิจัยยังกล่าวถึงช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดการควบแน่นตามส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารโดย พบว่า การควบแน่นที่ผิวกระเบื้องมุงหลังคาด้านในช่องใต้หลังคาเนื่องจากคุณสมบัติของกระเบื้องทำให้ผนังช่วงที่ต่อกับหลังคาได้รับความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นที่ผิวด้านในของกระเบื้อง อีกตำแหน่งที่สามารถเกิดการควบแน่นได้คือบริเวณผิวผนังภายใน

อุโบสถเนื่องจากวัสดุและความหนาของผนัง อุโบสถทำให้เกิดการหน่วงความร้อนของผนังส่งผลให้ผิวผนังด้านในอุโบสถมีอุณหภูมิต่ำซึ่งจะเกิดในช่วงเวลาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง นอกจากนี้ หากมีผู้ใช้งานอาคารมากในวันที่อุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำก็มีโอกาสที่จะเกิดการควบแน่นที่ผิวผนังภายในได้ (สุรียน ศิริธรรมปิติ, 2542)

2.3 ความชื้นจากน้ำใต้ดิน (rising damp)

ความชื้นจากน้ำใต้ดินเป็นลักษณะการสะสมความชื้นที่เกิดจากการแพร่ของน้ำใต้ดินในผนังจะปรากฏเป็นรอยคราบน้ำบริเวณส่วนล่างของผนังโดยการแพร่ของน้ำจะมีการเพิ่มระดับความสูงขึ้นเรื่อยๆ จากระดับพื้นดินแพร่ไปในพื้นผิวที่แห้งกว่าทั้งในแนวระนาบและแนวตั้งของผนังความชื้นจากน้ำใต้ดินเป็นลักษณะการเกิดการสะสมความชื้นที่พบในผนังอาคารโบราณสถานมากที่สุด (Sardella, 2018) ความชื้นจากใต้ดินยังเป็นสาเหตุให้เกิดการเกิดการตกผลึกของเกลือบนผิวและภายในผนัง (Mora, 1974) ปัญหาความชื้นในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำในดินซึ่งหากอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากหรืออยู่ใกล้กับแหล่งน้ำต่างๆ ความชื้นในดินก็จะสูงตามไปด้วย การสะสมความชื้นของโครงสร้างส่วนล่างของอาคาร เช่น ฐานรากและห้องใต้ดินมีน้ำท่วมขังก็อาจส่งผลให้ความชื้นขึ้นไปสู่โครงสร้างผนังได้ รวมถึงลักษณะของเนื้อวัสดุในผนัง หากเป็นผนังทำจากวัสดุที่มีรูพรุนมากจะทำให้ น้ำสามารถเคลื่อนที่จากดินขึ้นสู่ผนังได้มากตามไปด้วยโดยคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของไหลที่เรียกว่าแรงยกตัว (capillary action) ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของความชื้นที่เกิดจากแรง

ตีพิมพ์ของรพฐนในเนื้อวัสดุ (Halim & Halim, 2010; Ahmed & Rahman, 2010; Riley & Cotgrave, 2005)

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้จัดกลุ่มประเภทความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอุโบสถออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

(1) ความชื้นที่เกิดจากการซึมผ่านของฝน โดยมีปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม คือ ปริมาณน้ำฝนและแรงลมของพื้นที่ตั้งของอาคารรวมถึงปัจจัยด้านคุณสมบัติของวัสดุ คือ ความพรุนของเนื้อวัสดุ ตำแหน่งที่พบในผนัง คือ บริเวณผนังภายนอกอาคารโดยผ่านเข้ามาตามผนังที่ชำรุดเสียหาย ภายในเนื้อวัสดุของผนังโดยซึมผ่านที่ผิวผนังที่ถูกน้ำฝนสาดและสามารถเกิดบริเวณรอบ ๆ ผนังที่มีช่องเปิดหรือบริเวณที่มีรอยต่อวัสดุ เช่น ประตู หน้าต่าง หลังคา

(2) ความชื้นที่เกิดการควบแน่นมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ตั้งของอุโบสถ ส่วนปัจจัยด้านคุณสมบัติวัสดุ ได้แก่ อุณหภูมิผิวของวัสดุต่าง ๆ ภายในอาคาร ค่าการนำความร้อนของวัสดุ การหน่วงความร้อนในผนัง รวมถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ คือจำนวนผู้ใช้อาคาร ตำแหน่งบนผนังที่มักเกิดความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นคือ บริเวณผิวผนังภายในอาคารและภายในเนื้อวัสดุของผนัง

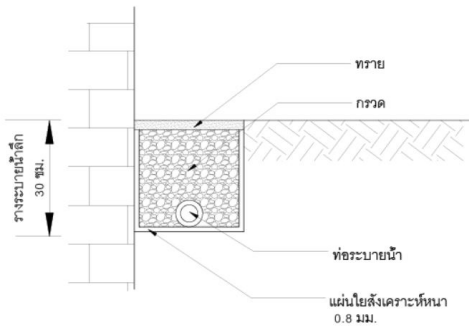
(3) ความชื้นที่เกิดจากน้ำใต้ดินมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณความชื้นในดินของพื้นที่ตั้งซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ตั้งแหล่งน้ำและปริมาณน้ำฝนของพื้นที่ตั้ง ส่วนปัจจัยด้านคุณสมบัติวัสดุ ได้แก่ แรงยกตัวที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุและความพรุนของเนื้อวัสดุ ตำแหน่งบนผนังที่เกิดความชื้นจากดินมักจะเป็นบริเวณฐานผนังอาคารซึ่งได้รับความชื้นจากดินที่ถูกส่งผ่านขึ้นมา

3. วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถาน

ความเสียหายที่เกิดจากความชื้นที่ผนังของโบราณสถานมีวิธีการบูรณะได้หลายวิธีโดยแนวทางการบูรณะใช้หลักการการอนุรักษ์ร่วมกับลักษณะความเสียหาย ต้นเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายจากปัญหาความชื้นรวมถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการบูรณะ มีดังต่อไปนี้

3.1 การทำฐานอาคารให้แห้ง

การทำฐานอาคารให้แห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกอาคารออกจากส่วนที่เปียกชื้นด้วยการใช้กำแพงกันและสร้างรางระบายอากาศใต้ดินเพื่อช่วยระเหยความชื้นในผนังเพื่อให้บริเวณฐานอาคารแห้งที่สุด การขุดวางระบายอากาศตามแนวฐานอาคารโดยทั่วไปมีความลึกประมาณ 30-40 เซนติเมตรแล้ววางท่อระบายน้ำที่ท้องรางถมด้วยกรวดก้อนใหญ่จนเต็มรางระบายน้ำ (Vogele, 1985) วัสดุปูพื้นที่ชิดกำแพงใช้วัสดุที่ไม่ทับดิน เช่น กรวด ททราย เพื่อให้ความชื้นใต้ดินสามารถระเหยขึ้นมาได้โดยไม่เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่กำแพง (รูปที่ 1) วิธีการนี้สามารถลดความชื้นลงได้โดยไม่สร้างความเสียหายให้กับอาคารโบราณสถานแต่ผนังยังมีความชื้นจากดินอยู่จากการสืบค้นประวัติการบูรณะและซ่อมแซมโครงสร้างผนังของอุโบสถวัดโพธิ์ทองสวยจิก พบว่า ได้ใช้วิธีการนี้เพื่อให้ความชื้นในบริเวณฐานผนังสามารถระเหยออกได้และช่วยให้ความชื้นภายในดินสามารถระเหยออกจากดินไม่ให้ขึ้นไปสู่ตัวโครงสร้างมากเกินไปโดยการเจาะพื้นฝังติดกำแพงของอุโบสถและเทกรวดทับด้านบนโดยรอบของอุโบสถ (วัดโพธิ์ทองสวยจิก, 2560)



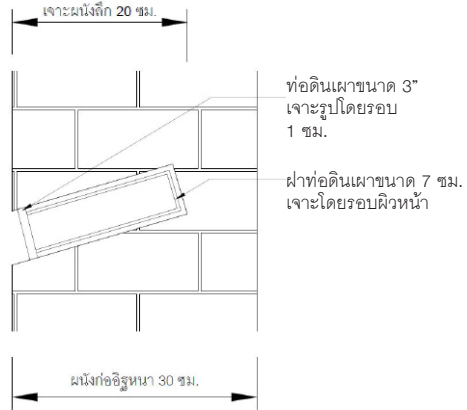
(ที่มา: ผู้วิจัย)

รูปที่ 1 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการทำบริเวณฐานอาคารให้แห้ง

3.2 การใช้ท่อระบายความชื้นออกจากผนัง

การใช้ท่อระบายความชื้นออกจากกำแพงมีวิธีการโดยทำให้ความชื้นในผนังถูกดึงเข้าไปในท่ออยู่แล้วระเหยออก วิธีการบูรณะโดยเทคนิคดังกล่าวทำโดยการฝังท่อที่ทำจากพลาสติก ดินเผาหรือเหล็กเข้าไปในบริเวณที่ชื้นของกำแพง ลึกประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของความหนา กำแพง ยกขึ้นประมาณ 10-15 องศา ยาด้วยปูนขาวอ่อนๆ รอบท่อ จากนั้นจึงใช้ฝาปิดช่องที่เจาะรูอีกที (Heiman, Waters & McTaggart, 1973) ปัญหาของวิธีการนี้คือน้ำหรือความชื้นที่ถูกดึงเข้ามาในท่อระเหยออกช้ามาก ไม่ทันกับปริมาณความชื้นที่เข้ามาทำให้ท่อกลายเป็นแหล่งสะสมความชื้นและเกลือและวิธีการดังกล่าวยังสร้างความเสียหายให้กับผนังอาคารมาก จึงไม่เหมาะกับอาคารที่มีภาพจิตรกรรมฝาผนัง (สิบบงศ์ จรรย์สิบศรี, 2552) นอกจากนี้ ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่ให้หลักการคล้ายๆ กับการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากกำแพง เช่น วัดเทวราชกุญชรในจังหวัดกรุงเทพมหานครมีการเจาะรูระบายอากาศรอบอาคารเพื่อลดระดับความชื้นจากใต้อาคารในวัดเทวราชกุญชรการกรุผนัง

เป็นช่องเพื่อระบายความชื้นภายในของอาคารในวัดไชยทิศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์, 2559)



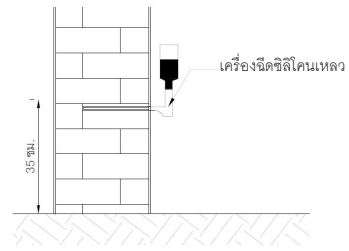
(ที่มา: ผู้วิจัย)

รูปที่ 2 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นการใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง

3.3 การตัดความชื้นของผนังด้วยแผ่นกันความชื้น

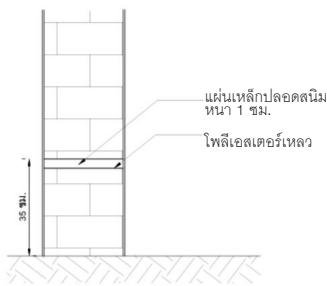
วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการใส่แผ่นกันน้ำซึ่งทำจากวัสดุหลายชนิด เช่น ทองแดง อลูมิเนียม สแตนเลสหรือเหล็กไร้สนิม ใช้แผ่นโพลีเอทิลีนชนิดหนาหุ้มด้วยคาร์บอนสีดำ ใส่ไว้ในผนังเป็นระยะๆ ตลอดแนว มีวิธีการคือตัดฐานกำแพงให้ขาดทะเลาะเป็นช่วงเว้นช่วง หรือช่วงเว้นสองช่วงด้วยเลื่อยโซ่ งานไฟเบอร์ใหญ่ หรือใช้สว่านเจาะเป็นรูเรียงกันไป ช่วงละประมาณ 1 เมตร โดยรอยตัดต้องบางที่สุดเพื่อไม่ให้โครงสร้างพังทลายปัจจุบันนิยมใช้การฉีดสารโพลีเอสเตอร์เรซินเหลวเข้าไปในช่องตัดด้วยเนื้อแข็งตัวจะสามารถรับน้ำหนักได้ดีและกันน้ำได้ยิ่งขึ้น (Sandrolini & Franzoni, 2007) วิธีการนี้สามารถลดความชื้นจากผนังได้ดีมากเนื่องจากสามารถป้องกันความชื้นจากใต้ดินได้เกือบทั้งหมดแต่อาจส่งผลต่อการรับน้ำหนักโครงสร้างได้จึงไม่เหมาะสมกับ

อาคารที่มีโครงสร้างไม่แข็งแรง รวมถึงมีขั้นตอนยุ่งยากจึงต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์ อาคารโบราณสถานที่พบการแก้ปัญหาความชื้นด้วยวิธีการสอดแผ่นโลหะเพื่อเป็นการตัดแยกส่วนและสามารถป้องกันความชื้นจากใต้ดินสู่ผนังตอนบนของอาคาร ได้แก่ วัดโพธิ์บางโอ จังหวัดนนทบุรี (สมชาติ จิงศิริอารักษ์, 2540)



(ที่มา: ผู้วิจัย)

รูปที่ 4 ขั้นตอนการวิธีการฉีดสารเคมีเข้าไปในผนัง



(ที่มา: ผู้วิจัย)

รูปที่ 3 การตัดความชื้นของผนังด้วยการแผ่นกันความชื้น

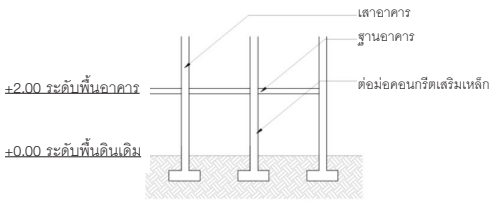
3.4 วิธีการฉีดสารเคมีเข้าไปในผนัง

วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการฉีดสารเคมีจำพวกสารละลายซิลิโคนหรืออลูมิเนียมสแตนเลส เข้าไปในผนัง โดยมีวิธีการคือเจาะผนังให้ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร ห่างช่องละ 15 ซม.ให้ตรงกับตำแหน่งปูนสออิฐ แล้วจึงฉีดสารเคมีเข้าไป (Franzoni, 2014) (รูปที่ 4) วิธีการบูรณะด้วยวิธีนี้จะสร้างความเสียหายให้กับวัสดุผนังเดิมน้อยใช้ต้นทุนไม่มาก และมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก แต่ไม่เหมาะกับผนังบางประเภท เช่น ผนังภายในที่มีโพรงเพราะจะสิ้นเปลืองสารเคมีที่ฉีดเข้าไปหรือผนังที่มีความหนามากเพราะน้ำยาเคมีจะซึมเต็มหน้าตัดได้ยากซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการลดปัญหาความชื้นในผนัง (สมชาติ จิงศิริอารักษ์, 2540)

3.5 การยกหรือย้ายอาคาร

การยกหรือย้ายอาคารให้พ้นจากพื้นที่ที่มีความชื้นจากดินหรือพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมให้อาคารสูงกว่าระดับพื้นเดิมเพื่อไม่ให้ความชื้นขึ้นสู่ตัวอาคารได้ถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการอนุรักษ์อาคาร โดยการตัดส่วนของอาคาร ปรับยก เสริมโครงสร้างความมั่นคงและจัดทำส่วนฐานของอาคารใหม่ตามรูปแบบเดิม ส่วนฐานเดิมปล่อยให้จมเช่นเดิม ส่วนวิธีการการตัดย้ายอาคารมีวิธีการคือย้ายตำแหน่งอาคารโดยวิธีการตัดย้ายไปสร้างบนฐานรากใหม่ในที่ตั้งที่เหมาะสม มีระบบจัดการแก้ปัญหาเรื่องการระบายน้ำที่ดีกว่า วิธีการนี้ลดความชื้นและป้องกันน้ำท่วมขังได้ดีแต่ใช้ต้นทุนในการบูรณะสูงกว่าวิธีการอื่น (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555)

และส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างและรูปลักษณะของอาคารได้ การตัดยกอาคารเพื่อให้สูงกว่าระดับพื้นเดิมได้นำไปใช้ในการแก้ปัญหาความชื้นจากใต้ดินที่วัดเขมาภิรตาราม (สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์, 2559) (รูปที่ 5)



(ที่มา: ผู้วิจัย)

รูปที่ 5 วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการการยกหรือย้ายอาคาร

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ สามารถแบ่งวิธีการแก้ปัญหาความชื้นความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานตามหลักการที่ใช้ได้ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

(1) วิธีการแก้ปัญหาโดยลดคุณสมบัติการดูดซับความชื้นผนัง วิธีการนี้เป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าสู่ผนังเพิ่มขึ้นโดยลดคุณสมบัติการดูดซับความชื้นของผนังให้น้อยลงโดยการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติการดูดซับน้ำต่ำมาใส่ไว้ในผนังเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้นที่มาจากดินขึ้นไปสู่ผนัง วิธีการที่ใช้หลักการนี้ ได้แก่ วิธีการการตัดความชื้นของผนังด้วยแผ่นกันความชื้น วิธีการฉีดสารเคมีเข้าไปในผนัง

(2) วิธีการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มอัตราการระเหยภายในผนัง โดยให้หลักการเพิ่มอัตราการระเหยของความชื้นออกจากผนังให้เพิ่มขึ้นเพื่อให้ความชื้นในผนังระบายออก ดังนั้น วิธีการนี้จะไม่ได้เป็นการป้องกันความชื้นจากภายนอกที่เข้าสู่ผนังโดยตรง ผนังจึงยังมีความชื้นเข้ามาในผนังอยู่แต่จะไม่เกิดการสะสมจนสร้างความเสียหายให้ วิธีการที่ใช้หลักการนี้ ได้แก่ การทำฐานอาคารให้แห้ง และการใช้ท่อระบายความชื้นออกจากผนัง

(3) วิธีการแก้ปัญหาโดยปรับปรุงโครงสร้างส่วนล่างของอาคาร การป้องกันไม่ให้ความชื้นเข้าสู่ผนังเพิ่มขึ้นโดยการยกอาคารให้สูงขึ้นแล้ว

ปรับปรุงส่วนฐานรากของอาคารให้สามารถป้องกันความชื้นได้ดีขึ้นหรือการย้ายอาคารไปในบริเวณที่มีการระบายน้ำดีกว่าเพื่อไม่ให้ความชื้นจากใต้ดินขึ้นไปสู่ผนัง วิธีการที่ใช้หลักการนี้ ได้แก่ วิธีการยก หรือย้ายอาคาร

จากงานวิจัยของพงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี ได้ทำการรวบรวมและเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาความชื้นต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการการทำฐานอาคารให้แห้ง การใช้ท่อดินเผาระบายความชื้นออกจากผนัง การตัดความชื้นของผนังด้วยแผ่นกันความชื้น วิธีการฉีดสารเคมีเข้าไปในผนัง โดยพบว่า ด้วยวิธีการตัดความชื้นของผนังด้วยคาร์บอนแผ่นกันความชื้นและวิธีการฉีดสารเคมีเข้าไปในผนังสามารถช่วยลดปัญหาความชื้นในผนังได้ดีที่สุดเพราะสามารถป้องกันความชื้นจากน้ำใต้ดินได้ดีมากและมีความคงทน (พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี, 2555) อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาเพียงไม่กี่ประเภท การจะสรุปว่าวิธีการแก้ปัญหาวิธีใดสามารถแก้ปัญหาความชื้นได้มีประสิทธิภาพที่สุดจำเป็นต้องมีงานวิจัยสนับสนุนที่ครอบคลุมและมากเพียงพอ

ทั้งนี้ วิธีการแก้ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานของไทยในปัจจุบันเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ได้มาจากวิธีการแก้ปัญหาของต่างประเทศ ทำให้วิธีการแก้ปัญหาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอาจไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย รวมถึงยังไม่มีการศึกษาประสิทธิภาพในการลดความชื้นในผนังเชิงตัวเลข ดังนั้น งานวิจัยต่อไปจึงควรมีการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาความชื้นอย่างเป็นระบบมากขึ้นโดยใช้เครื่องมือและโปรแกรมจำลองคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่สามารถใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นในผนังอาคารเพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการลด

ความชื้นในผนังที่เกิดขึ้นในผนังอาคารโบราณสถานในประเทศไทย

4. สรุปผลการศึกษา

ปัญหาความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานมีสาเหตุจากแหล่งความชื้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความชื้นที่เกิดจากการซึมผ่านของน้ำฝน ความชื้นที่เกิดจากการควบแน่นและความชื้นจากน้ำใต้ดิน จากผลการศึกษาพบว่า ความชื้นจากน้ำใต้ดินเป็นประเภทความชื้นที่พบมากที่สุดใผนังอาคารโบราณสถานแบบผนังก่อโดยความชื้นสะสมในผนังที่มีความหนาน้อยและพื้นผิวที่มากสามารถระเหยความชื้นออกสู่สภาพแวดล้อมได้ดีกว่าผนังที่มีความหนามาก

วิธีการแก้ปัญหาความชื้นความชื้นในผนังอาคารโบราณสถานตามวิธีการที่ใช้ได้ทั้งหมด 3 ประเภทได้แก่ วิธีการแก้ปัญหาโดยลดคุณสมบัติการดูดซับความชื้นผนัง และวิธีการแก้ปัญหาที่หลักการเพิ่มอัตราการระเหยภายในผนังและวิธีการแก้ปัญหาโดยปรับปรุงโครงสร้างส่วนล่างของอาคาร ทั้งนี้ เนื่องจากไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาแต่ละแบบอย่างครอบคลุม รวมถึงยังไม่มีเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาต่างๆ ของต่างประเทศ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีการแก้ปัญหาเพิ่มเติมร่วมกับการใช้เครื่องมือและโปรแกรมจำลองต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อให้ครอบคลุมมากขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความชื้นในผนังได้อย่างถูกต้อง

รายการอ้างอิง

- พงษ์พิชญ์ สุวรรณศรี. (2555). *การศึกษาวิธีการบูรณะอาคารโบราณสถาน: กรณีศึกษาอาคารประวัติศาสตร์สมัยรัตนโกสินทร์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัดโพธิ์ทองสวายจิก. (2560). *วิธีการแก้ปัญหาความชื้นโดยการทำฐานอาคารให้แห้ง กรณีศึกษาอุโบสถประวัติการบูรณะ/ซ่อมแซมอุโบสถวัดโพธิ์ทองสวายจิก*, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2560 จาก <https://sites.google.com/a/bru.ac.th/wad-phothithxng/prawati-burn-bos>.
- ศิริธรรม ปิตุสริยน. (2542). *ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน: กรณีศึกษาพระอุโบสถวัดกำแพง*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาติ จึงศิริอารักษ์. (2540). *เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 256 - 407 การอนุรักษ์อาคารทางประวัติศาสตร์และโบราณสถาน 2 เรื่องการอนุรักษ์โครงสร้างและวัสดุของโบราณสถาน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร*.
- สริน พินิจ. (2557). *ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและการเสื่อมสภาพของผนังอาคารโบราณสถาน กรณีศึกษา: พระอุโบสถวัดนิเวศธรรมประวัติ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา*. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2557(64), 212-228.
- สืบพงศ์ จรรย์สืบศรี. (2549). *เทคนิคการซ่อมแซมอาคารอนุรักษ์และโบราณสถาน (ปัญหาความชื้นในอาคาร)*. สืบค้นเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2560, จาก <http://suebpong.rmutl.ac.th/>.

- สำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์. (2559), การทำนุบำรุง วัด ศาสนสถาน ศาสนวัตถุ และศิลปวัตถุ. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2560 จาก <http://www.crownproperty.or.th/public/upload/media>.
- อรรถจัน เศรษฐบุตร์, ณัฐณี วงศ์วีระนนท์ชัย และ สริน พินิจ. (2556). แนวทางการแก้ปัญหาความชื้นในองค์พระพุทธรูปโลหะสำริดเสด็จ จ.พระนครศรีอยุธยา. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครบรอบ 25 ปี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Franzoni, E. (2014). Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge. *Construction and Building Materials*, 54, 123-136.
- Halim, A. A., & Halim, A. Z. (2010). An analysis of dampness study on heritage buildings: A case study ipoh old post office building and suluh budiman building. UPSI, Perak, Malaysia. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 171-182.
- Heiman, J. L., Waters, E. H., & McTaggart, R. C. (1973). The treatment of rising damp. *Archit Sci* 1973, 16(4), 170-177.
- Her Majesty's Stationery Office [HMSO]. (1996). *Historic buildings factsheet technical 8.01: Control of Damp*. London, England: Author.
- Mora, P. (1974). *Cause of deterioration of mural painting*. Rome, Italy: International centre for the study of the preservation and the restoration of cultural property.
- Oxley, T. A., & Gobert, E. G. (1983). *Dampness in building: Dianogsis, treatment, instruments*. England: Bullerworths.
- Riley, M., & Cotgrave, A. (2005). *Dampness in buildings, division of sustainable development*. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2560, จาก <http://folders.nottingham.edu>.
- Sardella, A., De Nuntiis, P., & Bonazza, A. (2018). Efficiency evaluation of treatments against rising damp by scale models and test in situ. *Journal of Cultural Heritage*, 31, S30-S37.
- Vogeley, J. (2012). *Protection against rising damp in masonry: The baroque palace in Ludwigsburg a case study*. Building Appraisal, Maintenance and Preservation Proceedings of A 3 Day Symposium at the University of Bath, 10-12 July 1985, 113-123.