วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 2, Apr.–Jun. 2018

บทความวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของมอร์ตาร์ปูนฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินและโพลีเอทิลีนไกลคอล

ธิดารัตน์ สุทธิภาศิลป์ และ ปิติ สุคนธสุขกุล*
ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วันเฉลิม ชโลธร
Product and Solution Development บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08–9794–6241 อีเมล: piti.s@eng.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.003
รับเมื่อ 10 พฤษภาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 27 กรกฎาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 20 มีนาคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลงานวิจัยด้านอุณหภูมิและการกักเก็บความร้อนของปูนฉาบผสมด้วยวัสดุเปลี่ยนสถานะ 2 ประเภท คือ พาราฟิน ชนิด 6035 (จุดหลอมเหลว 58 องศาเซลเซียส) และโพลีเอธิลีนไกลคอล ชนิด 1450 (จุดหลอมเหลวระหว่าง 42–46 องศาเซลเซียส) โดยปูนฉาบที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย มอร์ตาร์ฉาบธรรมดา (OM) มอร์ตาร์ฉาบผสมพาราฟิน (PPM) และมอร์ตาร์ฉาบผสมโพลีเอธิลีนไกลคอล (PEGM) ในสัดส่วนผสมต่างกัน การเตรียมตัวอย่างเริ่มด้วยการฉาบมอร์ตาร์ลงบนบล็อกคอนกรีต ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่าง และหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกจนถึงอายุทดสอบ สำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างทดสอบไปวางในตู้อุณหภูมิซึ่งมีสปอร์ตไลต์เป็นแหล่งให้ความร้อนจนผิวตัวอย่างมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงหยุดให้ความร้อนจากนั้น โดยทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุก 5 วินาที นำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทดสอบภาคสนามต่อไป การทดสอบภาคสนามเป็นการฉาบสัดส่วนผสมที่ผ่านการคัดเลือกจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการลงบนผนังที่ก่อจากบล็อกคอนกรีตด้วยความหนา 1.5 เซนติเมตร และทำการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมจริงเป็นระยะเวลา 5 วัน ผลการทดลองพบว่าผนังปูนฉาบที่มีสัดส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนไว้ที่ผนังได้ดีกว่า ส่งผลให้ระยะเวลาของการเข้าสู่อุณหภูมิสูงสุดมีการเลื่อนออกไป ส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: วัสดุเปลี่ยนสถานะ, มอร์ตาร์ปูนฉาบ, พาราฟิน, โพลีเอธิลีนไกลคอล

การอ้างอิงบทความ: ธิดารัตน์ สุทธิภาศิลป์ ปิติ สุคนธสุขกุล และ วันเฉลิม ชโลธร, "การศึกษาคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของมอร์ตาร์ปูนฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินและโพลีเอทิลีนไกลคอล," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 341–352, เม.ย.–มิ.ย. 2561.

Research Article

Study on Thermal Properties of Plastering Mortar Mixed with Paraffin and Polyethylene Glycol Type Phase Change Material

Tidarat Sutthiphasilp and Piti Sukontasukkul*

Construction and Building Materials Research Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

Wonchalerm Chalodhorn

Product and Solution Development, Siam City Cement (Public) Co., Ltd., Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08–9794–6241, E–mail: piti.s@eng.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.03.003

Received 10 May 2017; Accepted 27 July 2017; Published online: 20 March 2018
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This manuscript presents the research results from a study of the temperature and heat retention of plaster mortar mixed with two types of phase change materials: Paraffin 6035 (58°C melting point) and Polyethylene Glycol 1450 (melting point between 42–46°C). The plaster mortar used in the experiment consisted of ordinary mortar (OM), Paraffin Wax Mortar (PPM), and Polyethylene Glycol (PEGM) Mortar mixed in different proportions. The specimen preparation began with the plastering surface of the concrete block, installing temperature gauges (thermocouple) at various positions of the sample, and wrapping the sample with plastic sheeting until the testing date. For the laboratory testing, the test specimen was put in a temperature chamber with a spotlight as a heat source until the specimen surface temperature reached 60°C and then stopped. The change in temperature was recorded every 5 seconds during the experiment. The test results were analyzed in order to determine the optimal mixing ratio for further field testing. In the field test, the mortars with mixed proportions selected from the laboratory test were plastered on the surfaces of the concrete block walls with a thickness of 1.5 cm. Real-time temperature changes in the environment were measured for 5 days at the same time for all samples. It was found that the plaster walls with the phase change material showed better heat retention and delayed the time to reach the peak temperature, which also led to a lowering of the internal temperatures.

Keywords: Phase Change Material, Plastering Mortar, Paraffin, Polyethylene Glycol

Please cite this article as: T. Sutthiphasilp, P. Sukontasukkul, and W. Chalodhorn, "Study on thermal properties of plastering mortar mixed with paraffin and polyethylene glycol type phase change material," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 2, pp. 341–352, Apr.–Jun. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

การก่อสร้างผนังด้วยระบบก่ออิฐ-ฉาบปูนเป็นระบบที่ใช้มานานในประเทศไทยและได้รับความนิยมต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันพบได้ในงานก่อสร้างทั่วไปเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ทุนการก่อสร้างที่ต่ำ ขั้นตอนง่ายไม่ซับซ้อน วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้หาซื้อได้ทั่วไป

ประกอบด้วยประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่ร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีค่อนข้างสูงผนวกกับปัญหาสภาวะโลกร้อนส่งผลให้ระดับอุณหภูมิพื้นผิวของประเทศไทยเพิ่มสูงกว่าในอดีตและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต สภาพอากาศที่ร้อนนั้นเป็นผลให้ผนังภายนอกซึ่งได้รับพลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยตรงเกิดการกักเก็บความร้อนดังกล่าวและส่งผ่านความร้อนนั้นเข้ามายังบริเวณภายในอาคาร ทำให้พื้นที่ภายในอาคารมีระดับอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลให้เกิดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็นเพิ่มสูง อีกทั้งยังส่งผลถึงความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารต่างๆ ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่น การฝัง PCM ในมวลรวม TEXCA เพื่อใช้แทนมวลรวมสำหรับการผสมคอนกรีตของเอกชัย [1] รวมถึงการนำ PCM มาฝังตัวในเศษบล็อกคอนกรีตมวลเบาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการกักเก็บความร้อนของคอนกรีต โดย [2] ซึ่งงานวิจัยทั้งสองแสดงให้เห็นว่า PCM สามารถช่วยลดและชะลอการส่งผ่านความร้อนได้จริง

ดังนั้นจึงมีแนวคิดปรับปรุงประสิทธิภาพของผนังอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบก่ออิฐ-ฉาบปูน ด้วยการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ [3]–[5] ซึ่งมีคุณสมบัติกักเก็บความร้อนในขณะหลอมเหลวและคายความร้อนในขณะแข็งตัวมาผสมกับมอร์ตาร์ฉาบ โดยเลือกใช้พาราฟิน [6] ชนิด 6035 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 58 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นผงมีขนาดใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียด และโพลีเอทิลีนไกลคอล [7] ชนิด 1450 จุดหลอมเหลว 42–46 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นเกล็ด บทความนี้จะเสนอการทดสอบคุณสมบัติด้านอุณหภูมิและการกักเก็บความร้อนทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการแบบระบบปิดและการทดสอบภาคสนามในสภาพแวดล้อมจริง

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

- พาราฟิน ชนิด 6035 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 58 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นผงมีอนุภาคขนาด 0.075~1.180 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 และตารางที่ 1)
- โพลีเอทิลีนไกลคอล ชนิด 1450 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 42–46 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นเกล็ดขนาด 1.00~15.00 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 และตารางที่ 2)
- ปูนฉาบทั่วไป อินทรีมอร์ตาร์ 11
- อิฐบล็อกทั่วไปสำหรับฉาบเพื่อทดสอบคุณสมบัติด้านอุณหภูมิและการกักเก็บความร้อน
- น้ำประปาสะอาด ความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และสารอื่นๆ ในปริมาณที่จะอันตรายต่อมอร์ตาร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพาราฟิน ชนิด 6035

Specification	Test Method	Unit	Test Result
Melting Point	ASTM D87	℃	57.2–59.9
Specific Gravity	-	at 25℃	0.89
Oil Content	ASTM D721	mass%	0.4
Penetration	ASTM D1321	at 25℃	10.0–17.0
Color	ASTM D156	-	30
UV Absorption	FBA 178.3710	-	1.3

ตารางที่ 2 คุณสมบัติโพลีเอทิลีนไกลคอล ชนิด 1450

Specification	Test Method	Unit	Test Result
Melting Point	ASTM D87	℃	42–46
Specific Gravity	-	at 25℃	1.09
Flash Point	-	℃	285
Heat of Fusion	-	Cal/g	37
Range of Avg. Molecular Weight	-	-	1305–1595
Physical Form	-	-	Flake

รูปที่ 1 พาราฟินชนิด 6035 ที่มีลักษณะเป็นผง (ซ้าย) และโพลีเอทิลีนไกลคอลชนิด 1450 (ขวา)

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องทดสอบอุณหภูมิแบบระบบปิด
- เครื่องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม
- เครื่องบันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ (Temperature Data Logger)

2.3 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในงานวิจัยได้ออกแบบตามคู่มือการใช้งาน "ปูนฉาบทั่วไป อินทรีมอร์ตาร์ 11" [7] และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนฉาบทั่วไปตามคุณสมบัติการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ร้อยละ 105–115 สัดส่วนผสมเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมตัวอย่างขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร

Designation	Water/Mortar*	%Powder	Paraffin Powder	Polyethylene Glycol	Mortar*	Water
	kg/m^3					
OM	0.200	0	-	-	2000	400
PPM2.5	0.210	2.5	22.25	-	2000	420
PPM5.0	0.220	5.0	44.5	-	2000	440
PPM10.0	0.235	10.0	89	-	2000	470
PPM15.0	0.255	15.0	133.5	-	2000	510
PEGM2.5	0.203	2.5	-	27.3	2000	406
PEGM5.0	0.195	5.0	-	54.5	2000	390

*Mortar หมายถึง มอร์ตาร์ผสมสำเร็จสำหรับฉาบ

สัญลักษณ์ *OM* *Ordinary Cement Mortar*
PPMa *Paraffin Powder Mortar*
PEGMa *Polyethylene Glycol Mortar*

2.4 โปรแกรมการทดสอบ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะฉาบมอร์ตาร์ลงบนบล็อกเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนของมอร์ตาร์ฉาบที่ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะเทียบกับมอร์ตาร์สำหรับฉาบธรรมดา ส่วนการทดสอบภาคสนามจะทำการคัดเลือกสัดส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนสถานะแต่ละประเภทที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาทำการทดสอบภาคสนาม จำนวนตัวอย่างทดสอบเป็นดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนตัวอย่างการทดสอบ

Type	NUMBER OF SPECIMEN		Total
	Heat Absorption		
	Laboratory Test	Field Test	
OM	3	1	4
PPM-2.5	3	Choose 1 Type	13
PPM-5.0	3		
PPM-10.0	3		
PPM-15.0	3		
PEGM-2.5	3	Choose 1 Type	7
PEGM-5.0	3		
All Total			24

2.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2.5.1 การผสมตัวอย่างเบื้องต้น

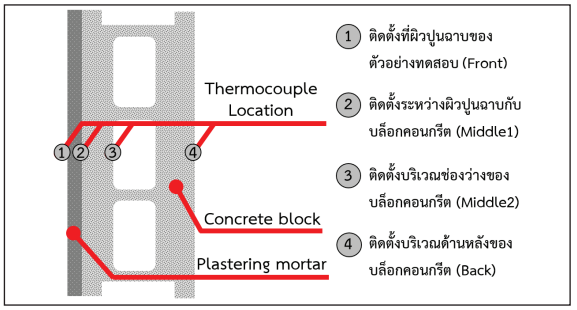
การผสมตัวอย่างปฏิบัติตาม มอก.15 เล่ม 12 กรณีของตัวอย่างที่ผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะให้ปฏิบัติดังนี้

- Paraffin Powder Mortar นำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาคลุกเคล้ากับปูนฉาบทั่วไป ให้เข้ากันจากนั้นจึงเติมน้ำและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

- Polyethylene Glycol Mortar ทำการละลายวัสดุเปลี่ยนสถานะในน้ำที่ผ่านการตวงสำหรับนำไปผสมให้เรียบร้อย จากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้คลุกเคล้ากับปูนฉาบทั่วไปให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.2 ตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ

นำมอร์ตาร์ที่ผ่านการผสมตามข้อ 2.5.1 ฉาบลงบนบล็อก

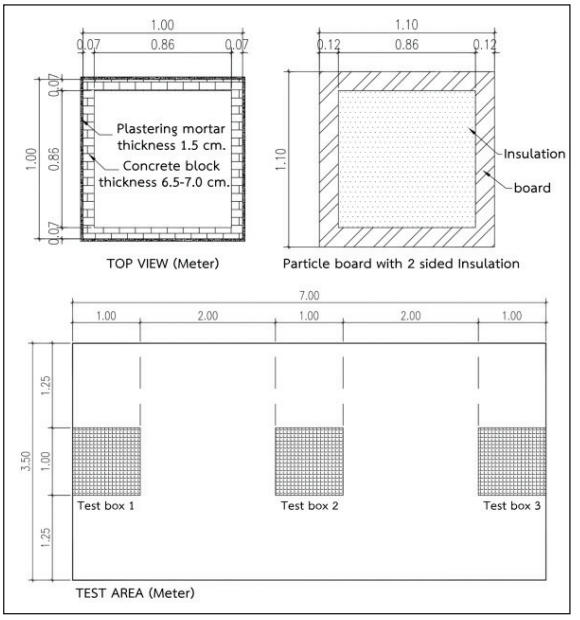


รูปที่ 2 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบ

ให้มีความหนา 1 เซนติเมตร พร้อมติดตั้งสายวัดอุณหภูมิจำนวน 4 จุด ดังรูปที่ 2 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง จึงพันตัวอย่างด้วยพลาสติกแรปเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นตัวอย่างไปทดสอบต่อไป

2.5.3 ตัวอย่างทดสอบภาคสนาม

การเตรียมตัวอย่างมีลักษณะคล้ายตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยออกแบบการก่อบล็อกคอนกรีตเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 x 1 x 1 เมตร จากนั้นจึงฉาบสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ผ่านการคัดเลือกจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ลงบนผนังบล็อกคอนกรีตดังกล่าวด้วยความหนา 1.5 เซนติเมตร ส่วนด้านบนออกแบบเป็นแผ่นไม้ติดฉนวนกันความร้อนทั้งสองด้านเพื่อป้องกันการส่งผ่านอุณหภูมิความร้อนจากภายนอกดังแสดงในรูปที่ 3



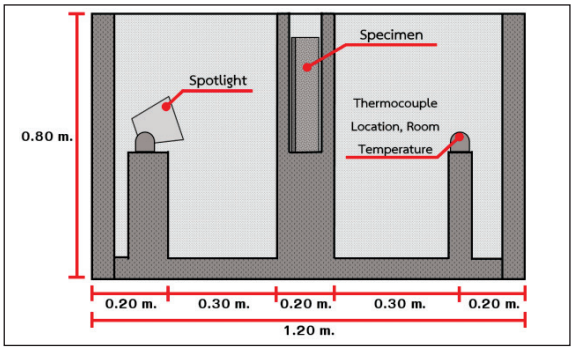
รูปที่ 3 ลักษณะของกล่องทดสอบและผังภาคสนาม

2.6 การทดสอบ

2.6.1 การกักเก็บความร้อนในห้องปฏิบัติการ

เมื่อตัวอย่างมีอายุครบ 3 วัน จึงนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบที่ระบบปิด บริเวณด้านหน้าจะติดตั้งสปอตไลท์ห่างจากตัวอย่าง 30 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน ส่วนที่สองทำเป็นช่องเปิดสำหรับติดตั้งตัวอย่างและส่วนที่สามติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิเพื่อจำลองเป็นอุณหภูมิภายในอาคารซึ่งห่างจากช่องติดตั้งตัวอย่างทดสอบเป็นระยะ 30 เซนติเมตร (รูปที่ 4)

การทดสอบเริ่มจากการเปิดสปอตไลท์เพื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างเมื่อผิวตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส จึงปิดสปอตไลท์เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

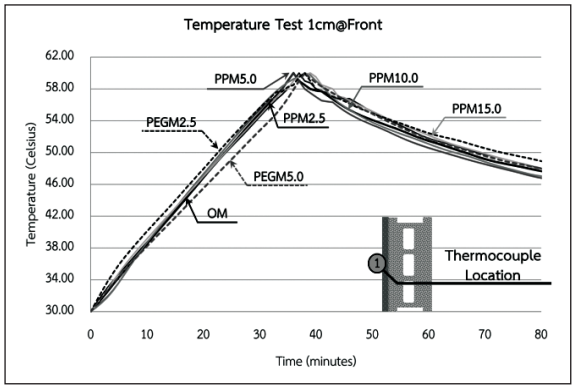


รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการกักเก็บความร้อน

โดยข้อมูลทั้งหมดจะบันทึกด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติ และนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอร์ตาร์สำหรับฉาบที่ผสมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะเทียบกับมอร์ตาร์สำหรับฉาบธรรมดา (ไม่ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะ) พร้อมคัดเลือกสัดส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของวัสดุเปลี่ยนสถานะแต่ละประเภทเพื่อนำไปใช้ทดสอบการกักเก็บความร้อนภาคสนามต่อไป

2.6.2 การทดสอบภาคสนาม

การทดสอบใช้ระยะเวลาทั้งหมด 5 วัน เพื่อครอบคลุม



รูปที่ 5 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิบริเวณผิวตัวอย่างทดสอบ (Front)

ทั้งช่วงที่วัสดุเปลี่ยนสถานะทำหน้าที่กักเก็บความร้อน และช่วงที่วัสดุเปลี่ยนสถานะคายความร้อน โดยจะเริ่มทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของตัวอย่างทั้ง 3 พร้อมกันเมื่อการเตรียมตัวอย่างทดสอบตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งข้อมูลค่าระดับอุณหภูมิดังกล่าวจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

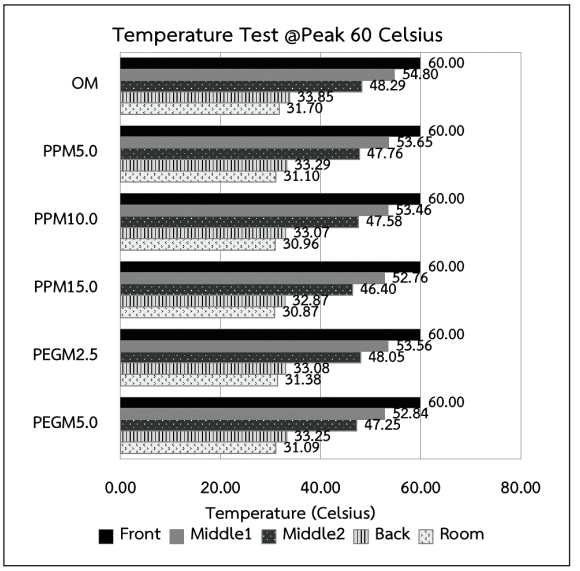
3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 การเข้าสู่อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิสูงสุด

การทดสอบการกักเก็บความร้อนจะเริ่มจากให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจนบริเวณผิวฉาบของตัวอย่าง (Front) มีค่าระดับอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงหยุดการให้พลังงานความร้อนเมื่อนำอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวมาพล็อตกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ตัวอย่างทดสอบใช้กักเก็บความร้อนจนบริเวณผิวหน้ามีอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ของตัวอย่างแต่ละชนิดมีระยะเวลาไม่ต่างกันมากนักโดยใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ประมาณ 36–39 นาที

หากนำอุณหภูมิของตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลาที่ผิวตัวอย่าง มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาพล็อตเป็นกราฟจะแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่ามอร์ตาร์ฉาบธรรมดา (OM) มีอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ สูงกว่าตัวอย่างทดสอบชนิดอื่น โดยตัวอย่างทดสอบที่ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะมีระดับ

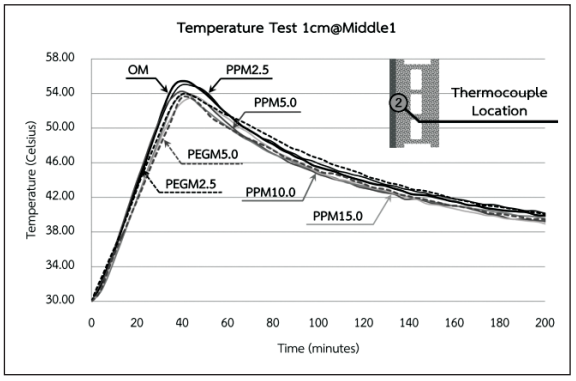


รูปที่ 6 อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ณ เวลาที่ผิวฉาบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

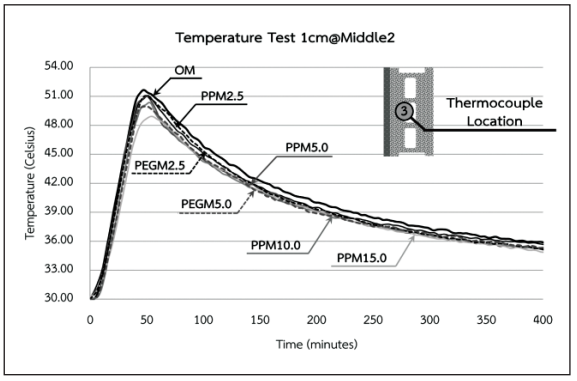
อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ต่ำกว่า และมีแนวโน้มของอุณหภูมิดังกล่าวลดลงเมื่อมีการผสมปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่สูงขึ้น ซึ่งมอร์ตาร์ฉาบผสมพาราฟินที่ปริมาณ 15.0 เปอร์เซ็นต์ (PPM15.0) มีค่าระดับอุณหภูมิของตัวอย่างทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบชนิดอื่นๆ

หากสังเกตตัวอย่างที่ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะปริมาณเปอร์เซ็นต์ผสมเท่ากันจะพบว่า PPM2.5, PEGM2.5 และ PPM5.0, PEGM5.0 มีระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ณ เวลาดังกล่าวแตกต่างกันเล็กน้อยหรือกล่าวได้ว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้งสองมีประสิทธิภาพด้านอุณหภูมิใกล้เคียงกันเมื่อมีปริมาณการผสมเท่ากัน

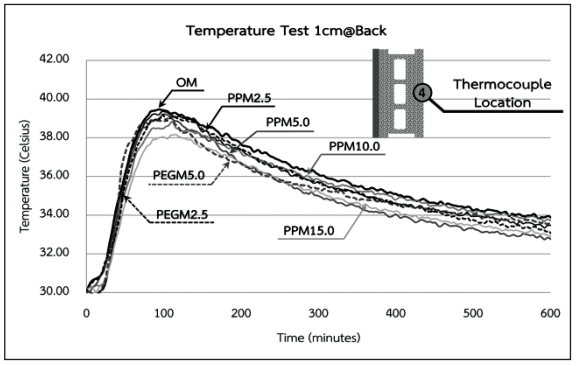
รูปที่ 7 ถึง รูปที่ 10 แสดงพฤติกรรมด้านอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ คือ บริเวณผิวฉาบกับบล็อกคอนกรีต (Middle1) บริเวณช่องว่างของบล็อก (Middle2) ด้านหลังบล็อกคอนกรีต (Back) และตำแหน่งที่อยู่ถัดจากตัวอย่างเป็นระยะ 30 เซนติเมตร เพื่อใช้จำลองเป็นอุณหภูมิภายในอาคาร (Room) ซึ่งเมื่อสังเกตจะพบว่าตัวอย่างแต่ละชนิดมีอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาที่เข้าสู่อุณหภูมิสูงสุดดังกล่าวแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างทดสอบ



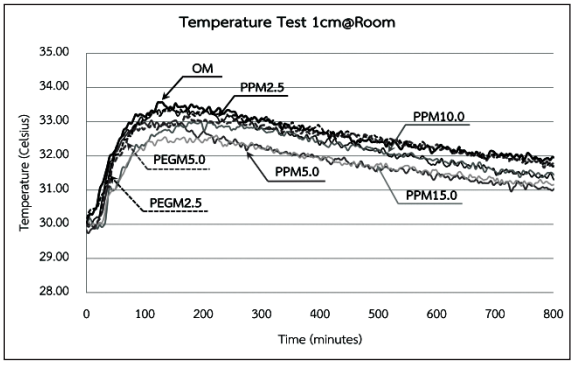
รูปที่ 7 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิบริเวณระหว่างปูนฉาบกับบล็อก (Middle1)



รูปที่ 8 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิบริเวณช่องว่างของบล็อกคอนกรีต (Middle2)



รูปที่ 9 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิบริเวณด้านหลังของบล็อกคอนกรีต (Back)



รูปที่ 10 พฤติกรรมด้านอุณหภูมิบริเวณจำลองเป็นอุณหภูมิในอาคาร (Room)

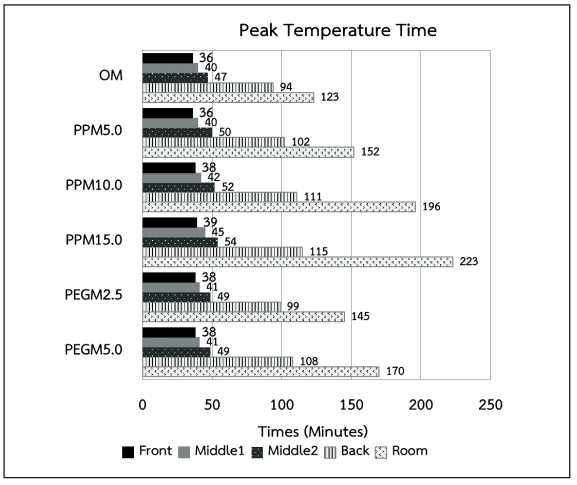
ดังนั้นจะเรียกค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นว่า “Peak Temperature” และระยะเวลาที่ตัวอย่างทดสอบใช้กักเก็บความร้อนเพื่อเข้าสู่อุณหภูมิสูงสุดจะเรียกว่า “Peak Temperature Time”

ผลการทดสอบพบว่าที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่างมอร์ตาร์ฉาบธรรมดามี Peak Temperature Time เร็วสุดและมีอุณหภูมิ Peak Temperature สูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ส่วนตัวอย่างผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะพบว่า Peak Temperature Time มีแนวโน้มช้าลงหรือกล่าวคือวัสดุเปลี่ยนสถานะช่วยชะลอระยะเวลาการส่งผ่านอุณหภูมิให้ช้าลง และยังพบว่าค่าระดับอุณหภูมิ Peak Temperature มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่สูงขึ้น โดยตัวอย่างที่ผสมพาราฟิน 15.0 เปอร์เซ็นต์ มี Peak Temperature Time ช้าที่สุดและมีค่า Peak Temperature ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 11 และรูปที่ 12

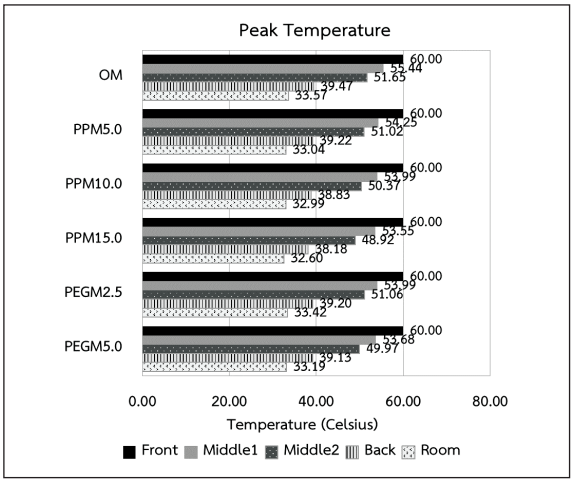
หากสังเกตจะพบว่าการผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ร้อยละ 2.5 และ 5.0 มีเวลา Peak Temperature Time และระดับอุณหภูมิ Peak Temperature แต่ละตำแหน่งใกล้เคียงกัน แต่วัสดุเปลี่ยนสถานะโพลีเอทิลีนไกลคอลจะมีระยะเวลา Peak Temperature Time ที่ยาวนานกว่าพาราฟิน ณ ตำแหน่งอุณหภูมิในอาคาร

3.1.2 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

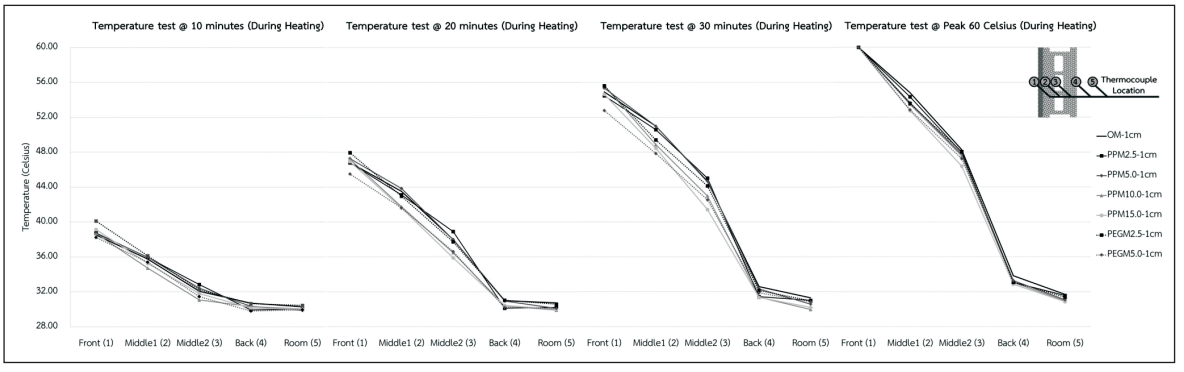
จากผลการทดสอบสามารถแบ่งพฤติกรรมด้านอุณหภูมิ



รูปที่ 11 ระยะเวลาที่ตัวอย่างเข้าสู่อุณหภูมิสูงสุด (Peak Temperature Time)



รูปที่ 12 อุณหภูมิสูงสุด (Peak Temperature)

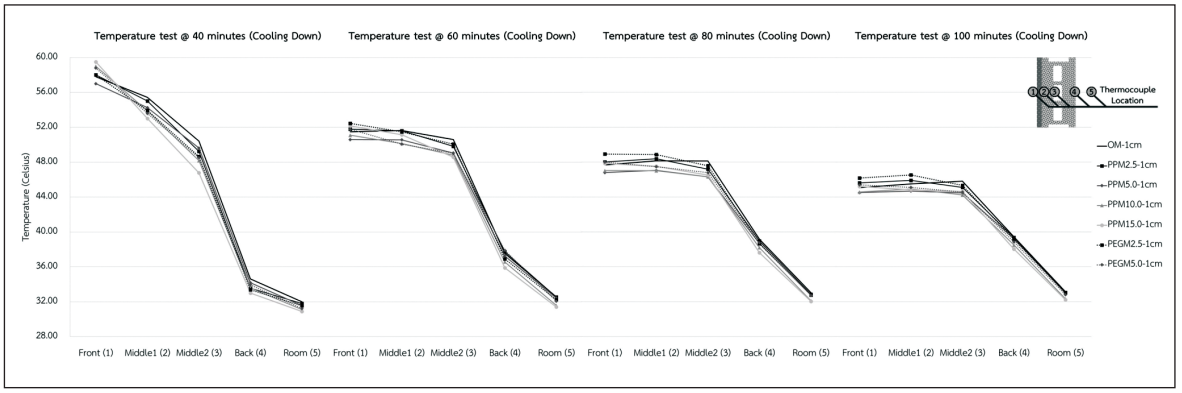


รูปที่ 13 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงขณะที่ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างทดสอบ

ออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงให้พลังงานความร้อนแก่ตัวอย่าง ช่วงที่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และหลังจากการให้พลังงานความร้อนแก่ตัวอย่าง (ขณะระบายความร้อน)

รูปที่ 13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ของตัวอย่าง เมื่อให้พลังงานความร้อนแก่ตัวอย่างเป็นระยะเวลา 10, 20 และ 30 นาที (ก่อนที่ตัวอย่างจะกักเก็บความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส)

พบว่ามอร์ตาร์ฉาบธรรมดา มีแนวโน้มของค่าระดับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ค่อนข้างสูงและมีพฤติกรรมด้านการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เร็วกว่ามอร์ตาร์ฉาบที่มีการผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะ หากสังเกตที่ระยะเวลา 10 และ 20 นาที จะพบว่าตัวอย่างที่ผสมปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะเท่ากันสองชนิดคือ PPM2.5, PEGM2.5 และ PPM5.0, PEGM5.0 มีพฤติกรรมด้านอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าระดับอุณหภูมิและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อสังเกตที่ระยะเวลา 30 นาที จะพบว่าตัวอย่างที่ผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล (PEGM) ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 42–46 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่กระบวนการกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ที่บริเวณผิวของตัวอย่าง ส่งผลให้พฤติกรรมการถ่ายเทพลังงานความร้อนเกิดการส่งผ่าน



รูปที่ 14 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงขณะที่ตัวอย่างทดสอบเกิดการระบายความร้อน

ความร้อนดังกล่าวช้าลง โดยตัวอย่างผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลมีประสิทธิภาพดังกล่าวดีกว่าตัวอย่างผสมพาราฟิน (PPM) ที่เปอร์เซ็นต์ผสมเท่ากัน

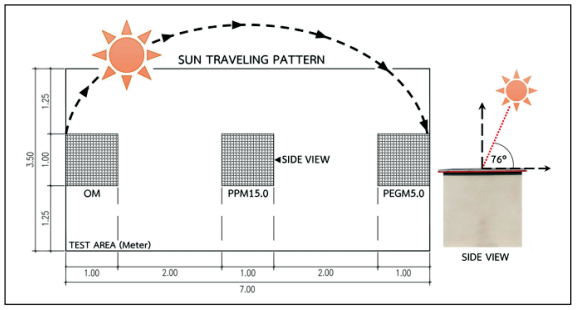
เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิที่บริเวณผิวปูนฉาบเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส พบว่ามอร์ตาร์ฉาบธรรมดา มีอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ สูงที่สุด ส่วนตัวอย่างที่ผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล มีแนวโน้มของอุณหภูมิบริเวณตำแหน่งภายในต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบผสมพาราฟิน ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะเท่ากัน อันเป็นผลเนื่องมาจากวัสดุเปลี่ยนสถานะโพลีเอทิลีนไกลคอล เกิดกระบวนการกักเก็บพลังงานความร้อนในช่วงเวลาก่อนหน้าแล้วเพราะมีจุดหลอมเหลวเพียง 42–46 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าพาราฟินที่มีจุดหลอมเหลวถึง 58 องศาเซลเซียส

เมื่อหยุดให้พลังงานความร้อนตัวอย่างจะเข้าสู่ช่วงการระบายความร้อนดังแสดงรูปที่ 14 พบว่าที่เวลาการทดสอบ 40, 60, 80 และ 100 นาที ตัวอย่างมอร์ตาร์ฉาบธรรมดามีอุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้า ลดลงและเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนไปยังตำแหน่งภายในอื่นๆ ค่อนข้างเร็ว ต่างจากมอร์ตาร์ฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้งสองชนิดที่มีการกักเก็บพลังงานความร้อนบางส่วนไว้บริเวณผิวปูนฉาบจากนั้นจึงค่อยๆ เกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อนดังกล่าวอย่างช้าๆ โดยความสามารถในการกักเก็บความร้อนมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อมีการผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะณสูงขึ้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวยังส่งผลให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งภายในต่างๆ ต่ำกว่ามอร์ตาร์ฉาบธรรมดา ณ ระยะเวลาเท่ากัน รวมถึงช่วยชะลอระยะเวลาการส่งผ่านความร้อนไปยังตำแหน่งที่จำลองเป็นอุณหภูมิภายในห้อง จึงช่วยให้อุณหภูมิดังกล่าวต่ำกว่ามอร์ตาร์ฉาบธรรมดา และมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อมีการผสมปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะสูงขึ้นที่ระยะเวลาเท่ากัน

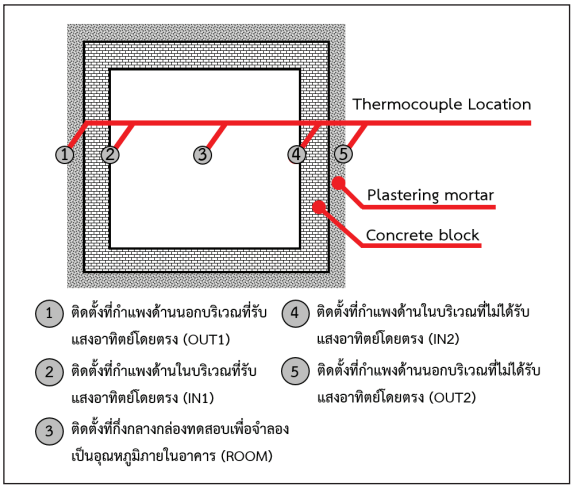
รูปที่ 15 กล่องทดสอบ ด้านซ้าย OM, กลาง PPM15.0 และขวา PEGM5.0

3.2 ผลการทดสอบการกักเก็บความร้อนภาคสนาม

การทดสอบการกักเก็บภาคสนามได้ทดสอบ ณ สภาพแวดล้อมจริงเป็นระยะเวลา 5 วัน ในฤดูร้อนของประเทศไทย ช่วงเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละวันอยู่ระหว่าง 37–39 องศาเซลเซียส โดยได้คัดเลือกสัดส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของวัสดุเปลี่ยนสถานะแต่ละชนิด คือมอร์ตาร์ฉาบผสมพาราฟิน 15.0 เปอร์เซ็นต์ (PPM15.0) และมอร์ตาร์ผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล 5.0 เปอร์เซ็นต์ (PEGM5.0) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเทียบกับมอร์ตาร์ฉาบธรรมดา ซึ่งกล่องทดสอบมีลักษณะดังรูปที่ 15



รูปที่ 16 ตำแหน่งของกล่องทดสอบและลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

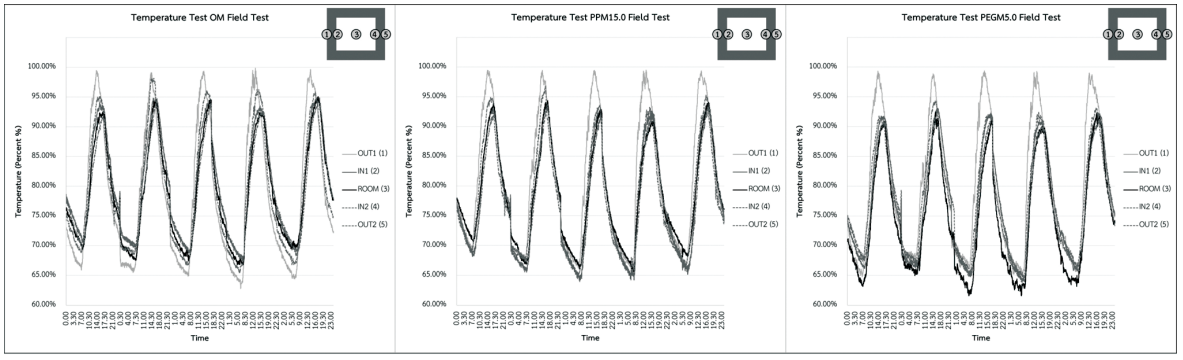


รูปที่ 17 ตำแหน่งของกล่องทดสอบ

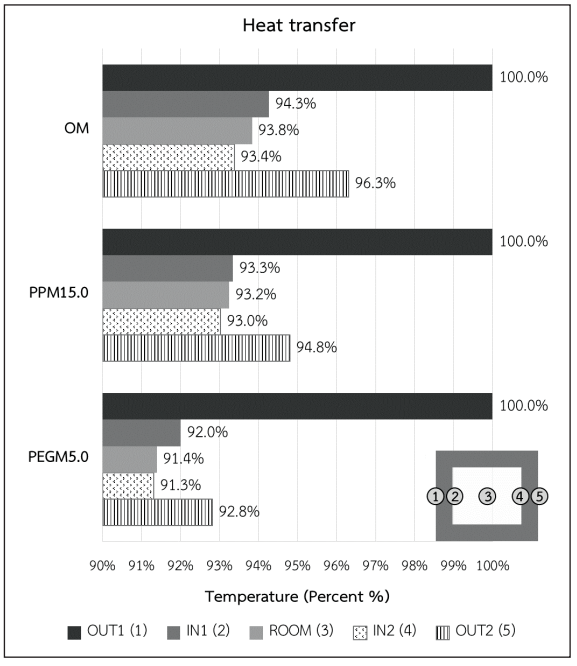
จากผลการทดสอบพบว่าดวงอาทิตย์มีลักษณะการเคลื่อนที่ทำมุมประมาณ 76 องศากับกล่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 16 ส่งผลให้บริเวณผนังของกล่องทดสอบได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเพียงด้านเดียว ดังนั้นจึงได้ออกแบบตำแหน่งติดตั้งสายวัดอุณหภูมิทั้งหมด 5 ตำแหน่ง อันประกอบด้วย ด้านที่กล่องทดสอบได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง 2 ตำแหน่ง ส่วนที่จำลองเป็นอุณหภูมิภายในอาคาร 1 ตำแหน่ง และด้านที่ไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงจำนวน 2 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 17

จากผลการทดสอบภาคสนามพบว่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศสูงสุดของแต่ละวันมีค่าอยู่ระหว่าง 37–39 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้จากผิวตัวอย่างด้านที่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (OUT1) มีอุณหภูมิอยู่ที่ 42–43 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดของตัวอย่างทดสอบที่วัดได้ในแต่ละวันมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 18

จากผลการทดสอบของตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ชนิด พบว่าบริเวณผิวของตัวอย่างด้านที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (OUT1) มีระดับอุณหภูมิสูงสุดคือ 100.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบริเวณผิวด้านที่ไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (OUT2) มีระดับอุณหภูมิรองลงมา และถัดมาคืออุณหภูมิตำแหน่งภายในของด้านที่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (IN1) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำแหน่งที่จำลองเป็นอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิภายในของด้านที่ไม่ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (IN2)



รูปที่ 18 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการทดสอบการกักเก็บความร้อนภาคสนาม



รูปที่ 19 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบแต่ละชนิด

โดยเมื่อนำค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดทั้ง 5 ตำแหน่งที่วัดได้ในแต่ละวันของตัวอย่างทดสอบแต่ละชนิดมาทำการเปรียบเทียบดังในรูปที่ 19 จะพบว่ามอร์ตาร์สำหรับฉาบธรรมดา มีค่าระดับอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ โดยอุณหภูมิภายนอก 100.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถส่งผ่านเข้ามายังบริเวณผนังด้านในถึง 94.3 เปอร์เซ็นต์ และส่งผ่านมายังในอาคาร 93.8 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกรณีมอร์ตาร์ฉาบผสมพาราฟิน 15.0 เปอร์เซ็นต์ (PPM15.0) พบว่ามีค่าระดับอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ต่ำกว่ามอร์ตาร์สำหรับฉาบธรรมดา เล็กน้อย โดยที่ค่าระดับอุณหภูมิผิวภายนอก 100.0 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผ่านเข้ามายังบริเวณผนังด้านใน 93.3 เปอร์เซ็นต์ และส่งผ่านมายังตำแหน่งภายในอาคาร 93.2 เปอร์เซ็นต์

และกรณีมอร์ตาร์ฉาบผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล 5.0 เปอร์เซ็นต์ (PEGM5.0) พบว่ามีอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งต่ำสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ โดยที่อุณหภูมิภายนอก 100.0 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผ่านเข้ามายังผนังด้านใน 92.0 เปอร์เซ็นต์ และส่งผ่านมาภายในอาคาร 91.4 เปอร์เซ็นต์

4. สรุป

จากผลการทดสอบการกักเก็บความร้อนในห้องปฏิบัติการ พบว่าตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์สำหรับฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภท ช่วยชะลอเวลาในการเข้าสู่อุณหภูมิสูงสุด ให้มีระยะเวลานานขึ้น ส่งผลให้ค่าระดับอุณหภูมิสูงสุด ที่เกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งต่างๆ มีค่าลดลง และหากมีการผสมปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น โดยตัวอย่างมอร์ตาร์ฉาบผสมพาราฟินร้อยละ 15.0 และตัวอย่างมอร์ตาร์สำหรับฉาบผสมโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ร้อยละ 5.0 มีประสิทธิภาพดังกล่าวดีที่สุดสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

สำหรับผลการทดสอบด้านอุณหภูมิและการกักเก็บความร้อนภาคสนามภายใต้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมจริงพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะโพลีเอทิลีนไกลคอล ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 42–46 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศสูงสุดแต่ละวันคือ 37–39 องศาเซลเซียส และบริเวณด้านที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงบริเวณผิวปูนฉาบของตัวอย่างทดสอบ (OUT1) มีค่าระดับอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 42–43 องศาเซลเซียส ทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะโพลีเอทิลีนไกลคอล เกิดกระบวนการกักเก็บพลังงานความร้อนบางส่วนจากสภาพแวดล้อมภายนอกไว้จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่ช้าลงเป็นผลให้ค่าระดับอุณหภูมิภายในอาคารต่ำกว่าตัวอย่างชนิดอื่นๆ ต่างจากตัวอย่างทดสอบที่ผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟิน (PPM) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูงอยู่ที่ประมาณ 58 องศาเซลเซียส ส่งผลให้สำหรับการทดสอบภาคสนามวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินยังเกิดการเปลี่ยนสถานะที่ไม่สมบูรณ์ เป็นผลให้กระบวนการกักเก็บความร้อนยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากจุดหลอมเหลวของพาราฟินสูงไปสำหรับสภาพอากาศประเทศไทย ดังนั้นหากมีการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีจุดหลอมเหลวเหมาะสมกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพการเก็บความร้อนสูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) และโครงการทุนวิจัย สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ปี 2559 เลขที่สัญญา KMUTNB-NRU-59-10

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Sukontasukkul, N. Nontiyutsirikul, S. Songpiriyakij, K. Sakai, and P. Chindaprasirt, "Use of phase change material to improve thermal properties of lightweight geopolymer panel," *Materials and Structures*, vol. 49, no. 11, pp. 4637–4645, 2016.

[2] P. Sukontasukkul, E. Intawong, P. Preemanoch, and P. Chindaprasirt, "Use of paraffin impregnated lightweight aggregates to improve thermal properties of concrete panels," *Materials and Structures*, vol. 49, no. 5, pp. 1793–1803, 2016.

[3] P. Meshgin, Y. Xi, and Y. Li, "Utilization of phase change materials and rubber particles to improve thermal and mechanical properties of mortar," *Construction and Building Materials*, vol. 28, pp. 713–721, 2012.

[4] J. Paris, M. Falardeau, and C. Villeneuve, "Thermal storage by latent heat: a viable option for energy conservation in buildings," *Energy Sources*, vol. 15, pp. 85–93, 1993.

[5] F. Kuznik, D. David. K. Johannes. and J. J. Roux, "A review on phase change materials integrated in building walls," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 1, pp. 379–391, 2011.

[6] A. R. Gennaro, Remington: *The Science and Practice of Pharmacy*. Mack Publishing Company, Easton, 1995.

[7] *Siam City Cement*, Technical Manual on Plastering Mortar, 2016.