การเพิ่มมวลความร้อนของโครงสร้างผนังโดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ

Thermal Mass Enhancement of Wall Structure Using Phase Change Material

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร 02-579-1111 ต่อ 1202, E-mail: chonlathis@gmail.com

Chonlathis Eiamworawutthikul
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
Jatujak, Bangkok 10900 Thailand Tel: 02-579-1111 ext 1261 Fax: 02-579-1111 ext 2147 E-mail: chonlathis@gmail.com

บทคัดย่อ

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังซึ่งมีโครงสร้างประกอบไปด้วยส่วนผสมของสารเปลี่ยนสถานะ (phase change material หรือ PCM) ประเภทพาราฟินได้ถูกศึกษาภายใต้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร โดยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขแบบ finite-difference เพื่อวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของมวลความร้อนที่เพิ่มขึ้นในรูปแบบของความร้อนแฝงของวัสดุโครงสร้างผนัง ในการเพิ่มความเฉื่อยทางความร้อน (Thermal Inertia) และลดการตอบสนองของอุณหภูมิผิวผนังและภาระความร้อนสู่พื้นที่ใช้งาน ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศภายนอกในแต่ละวัน ผลการศึกษาได้ชี้ให้เห็นถึงการลดลงของอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นและปริมาณการถ่ายเทความร้อนรวมสุทธิเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในระหว่างวันจากผิวผนัง นอกจากนี้การวิเคราะห์ยังได้ระบุข้อสังเกตุถึงวิธีการประเมินอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและออกแบบเลือกใช้สารเปลี่ยนสถานะที่มีอยู่หลากหลายชนิดในโครงสร้างผนัง เพื่อการจัดการพฤติกรรมทางความร้อนของโครงสร้างผนังในการใช้งานรูปแบบอื่นๆต่อไป

Abstract

Heat transfer through a wall structure incorporated with layer of phase change material (PCM) is investigated using a finite-difference computational model of transient heat transfer through composite wall structures operating under variation of Bangkok's typical daily weather. The objective is to evaluate the influence of thermal mass enhancement due to latent heat storage of the phase change material to increase wall's thermal inertia in response to changing daily ambient weather and solar incident. The results indicate significant reduction in daily peak wall surface temperature and amount of daily net heat transfer to the utilized space. In addition, the report also explains a methodology to estimate suitable phase changing temperature of PCM to be used in wall structure of various purposes.

1. บทนำ

สารเปลี่ยนสถานะ หรือ phase change material (PCM) ได้ถูกนำมาศึกษาและใช้งานเพื่อควบคุมพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในงานวิศวกรรมหลายด้าน เพื่อเพิ่มค่าความจุความร้อนแก่วัสดุในรูปของความร้อนแฝงแก่ระบบที่พิจารณา เช่น การผนวกเข้าไปในโครงสร้างผนังอาคาร เพื่อการทำความร้อนในลักษณะ passive solar heating สำหรับอาคารในประเทศเขตหนาว [1-2,4-5] การลดภาระความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดภายในห้องอุปกรณ์อิเลคโทรนิกกลางแจ้ง ในพื้นที่เขตร้อน [3] การใช้ PCM ในแผ่นระบายความร้อน (thermal pad) สำหรับตัวกำเนิดสัญญาณแสง laser ในอุปกรณ์การสื่อสาร เพื่อให้การทำงานมีความเสถียรมากขึ้น หรือ การศึกษาถึงการระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์อิเลคโทรนิคโดยใช้ของไหลระบายความร้อนผสมเป็น slurry fluid ของ micro-encapsulated phase change material (MEPCM) [7]

การทำงานของ PCM ที่ผสมอยู่ในวัสดุผนัง เปลือกอาคารนั้นจะมีการเปลี่ยนสถานะระหว่าง ของแข็งเป็นของเหลวในช่วงกลางวัน เนื่องจากการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ และ คายความร้อนออกสู่ภายในอาคารในช่วงกลางคืนที่สภาพอากาศภายนอกเย็นลง โดยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง PCM ที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อการใช้งานในอาคารอาจจะเป็นทั้งประเภท inorganic materials (เช่น salt-hydrate) หรือ ประเภท organic materials (เช่น paraffin waxes หรือ fatty acid) โดยที่ PCM ประเภท organic materials ถูกระบุว่ามีความเหมาะสมแก่การใช้งานมากกว่า [2, 5] ซึ่งผลการศึกษาวิจัยงานวิจัย ทั้งในประเทศแถบยุโรปและอเมริกาได้มีการดำเนินการอย่างกว้างขวาง ทั้งการทดลองและการคำนวณแบบจำลอง [1-2, 4-5]

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาเป็นไปเฉพาะสำหรับสภาพอากาศท้องถิ่นนั้นๆ ซึ่งไม่อาจนำไปใช้กับสภาพแวดล้อม หรือสภาพภูมิอากาศอื่นๆ อีกทั้งยังขาดการระบุถึง แนวทางทั่วไปในการออกแบบ สำหรับวิธีการกำหนด อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมและแนวทางในการผนวก PCM เข้าไปในวัสดุโครงสร้างสำหรับการใช้งานในอาคารภายใต้สภาพภูมิอากาศ และลักษณะการใช้งานที่แต่งต่างกันเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

ผลการศึกษาในเบื้องต้น [8] ภายใต้สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ PCM ในการทำให้อุณหภูมิสูงสุดของผนังเปลือกอาคารในแต่ละวันมีค่าลดลง โดยประสิทธิผลนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เลือกใช้ การศึกษาได้เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในของผนังคอนกรีตที่ไม่มี PCM และ มี PCM ผสมอยู่ 20% โดยน้ำหนัก โดยทำการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง แบบ quasi-steady state ภายใต้สภาพแวดล้อมของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และอุณหภูมิบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมงของวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิบรรยากาศ ของกรุงเทพมหานคร สำหรับเดือนเมษายน ผลการคำนวณพบว่าที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวผนังภายในและการถ่ายเทความร้อนสู่พื้นที่ภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันมีค่าลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องจากอิทธิพลของความจุความร้อนแฝงของ PCM ผลการศึกษายังได้ชี้ให้เห็นว่าค่าความจุความร้อนแฝงของ PCM ที่ผสมอยู่ในผนัง สามารถถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยรวมตลอดความหนาของกำแพงและตลอดรอบวัฏจักรการคำนวณ

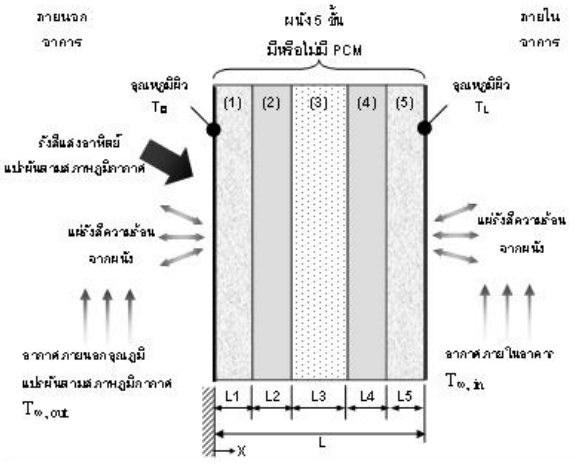
อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ข้อสรุปดังกล่าว ไม่ได้หมายความว่า PCM ในแต่ละตำแหน่งภายในเนื้อวัสดุผนังตลอดความหนาของกำแพง สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงที่สุด (หรือมีการใช้ปริมาณความร้อนแฝงสูงสุด) เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวันของแต่ละตำแหน่งของกำแพง มีค่าไม่เท่ากัน เป็นผลให้ปริมาณความร้อนแฝงของ PCM ถูกใช้ไปในปริมาณที่ไม่เท่ากันด้วย

รายงานการศึกษา [9] ได้แสดงการวิเคราะห์เพื่อการประเมินการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผนังเฉลี่ยในแต่ละรอบวัน บนพื้นฐานของวัฏจักรการถ่ายเทความร้อนแบบ quasi-steady state คือการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิและแสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกันในแต่ละวันโดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ซึ่งการคำนวณในลักษณะนี้สามารถประมาณได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุผนัง มีการกระจายแบบเชิงเส้นตลอดความหนาของผนังคล้ายกับการนำความร้อนแบบคงตัว โดยมีสมการการกระจายของอุณหภูมิ ในเทอมของข้อมูลสภาพแวดล้อมเฉลี่ย (อุณหภูมิอากาศ แสงอาทิตย์) และ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย สำหรับผนังอาคารตามสภาพท้องถิ่นต่างๆ ที่มีข้อมูลระบุอยู่ในคู่มือการออกแบบอากาศทั่วไปได้

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอผลการคำนวณข้อมูลพฤติกรรมทางความร้อนของผนัง ตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ และความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบในแต่ละชั่วโมง ในแต่ละวัน โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างสภาพอากาศตลอดช่วงเดือนเมษาคมของกรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ transient heat transfer แทนการใช้วิธีประมาณแบบ quasi-steady

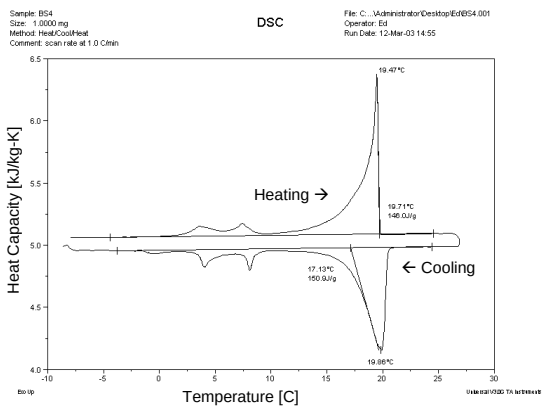
2. วิธีการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยอยู่บนพื้นฐานของการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) เพื่อศึกษาถึงศักยภาพของการใช้ PCM เป็นส่วนประกอบในเปลือกผนังคอนกรีตโครงสร้างของอาคาร ในการตอบสนองของการถ่ายเทความร้อนต่อสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาฯ [11] และโปรแกรม Weather Maker [6] โดยได้วิเคราะห์เปรียบเทียบถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ และการดูดซับความร้อนของผนังโครงสร้างเมื่อมี และ ไม่มี PCM ผสมอยู่ในเนื้อวัสดุ โดยรูปแบบจำลองสำหรับผนังหลายชั้น (composited wall) ที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 มิติ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่รายการสมการการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้อง และสมการเชิงเลขคณิตแบบ finite-difference ที่มีลักษณะรูปแบบ algorithm ของ Crank-Nicolson implicit method ได้อธิบายไว้ในเอกสารอ้างอิง [10]

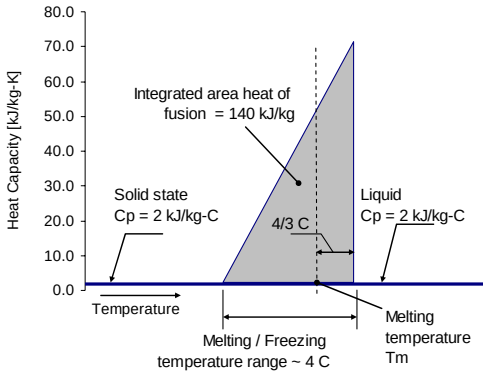


รูปที่ 1 แบบจำลองผนังโครงสร้างและการถ่ายเทพลังงาน

สารเปลี่ยนสถานะที่ใช้พิจารณาในการศึกษา เป็นสารอินทรีย์ประเภท paraffin wax โดยที่มีการเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะของแข็งและของเหลว ถูกจำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะโดยใช้ค่าความจุความร้อน (C_P) ของสารที่มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิในช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ ดังแสดงจากข้อมูลตัวอย่างจากการวัดโดยเครื่อง differential scan calorimeter (DSC) ในรูปที่ 2-a และแบบจำลองสำหรับการคำนวณในรูปที่ 2-b ในที่นี้การศึกษากำหนดให้PCM ถูกผสมอย่างทั่วถึงสม่ำเสมอตลอดความหนาผนัง



(a)



Single Phase Properties	PCM (paraffin)
Density [kg/m^3]	800
Heat Capacity [kJ/kg-K]	2.00
Thermal Conductivity [W/m-K]	0.2
Heat of Fusion [kJ/kg]	140

(b)

รูปที่ 2-b แบบจำลองค่าความจุความร้อน และ คุณสมบัติทางความร้อนของ PCM

3. ผลการศึกษา

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบ transient ได้ถูกดำเนินการเพื่อวิเคราะห์ผลการตอบสนองพฤติกรรมทางความร้อน ของกำแพงทั้งแบบที่มี และไม่มี PCM ภายใต้สภาพแวดล้อมของรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงของกรุงเทพมหานคร ในแต่ละชั่วโมงของวันตลอดเดือนเมษายน โดยใช้ตัวอย่างข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากโปรแกรม Weather Maker ซึ่งเป็นข้อมูลอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ของวัน (typical day data) ในเดือนเมษายนของกรุงเทพมหานคร โดยที่กำแพงถูกกำหนดให้มีเงื่อนไขต่างๆ ดังที่ระบุในรูปที่ 1 และ PCM ที่เลือกใช้ในการคำนวณกำหนดให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 36.7 °C ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยรวมตลอดความหนาของกำแพง อ้างอิงจากผลการคำนวณบนพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบ quasi-steady ภายใต้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันของเดือนเมษายน [9] การคำนวณเริ่มจาก 0:00 น ของวันที่ 1 ไปที่ละขั้นเวลาละ 2 นาที จนสิ้นสุดที่ 24:00 น ของวันที่ 30 ของเดือนเมษายน

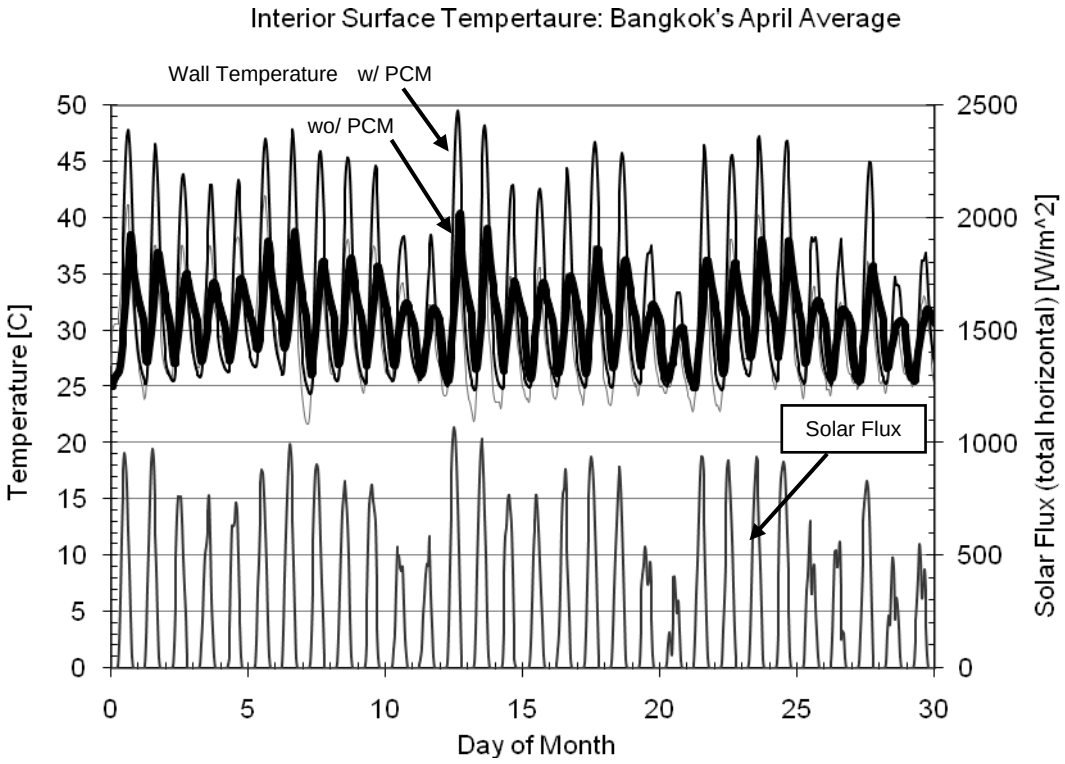
ผลการคำนวณสำหรับแต่ละชั่วโมงของวันตลอด 30 วันของเดือนเมษายนแสดงไว้ในรูปที่ 3 ของคู่เส้นกราฟด้านบน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิของผิวกำแพงผนังด้านในอาคารแบบที่มี PCM (เส้นหนา) และไม่มี PCM (เส้นบาง) ต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิอากาศภายนอกและความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบและเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน (เส้นกราฟส่วนล่างของรูปที่ 3) สำหรับข้อมูลการคำนวณสรุปการถ่ายเทความร้อนของกำแพงได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ผลการคำนวณดังที่แสดงไว้ในรูป แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนัง ที่ตอบสนองขึ้นลงตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแต่ละวัน โดยที่ผนังซึ่งมี PCM (20% โดยน้ำหนัก) มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิผิวภายในอาคารในแต่ละวันน้อยกว่ากำแพงที่ไม่มี PCM อย่างเห็นได้ชัด โดยที่อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวันเฉลี่ยลดลงประมาณเกือบ 10 °C และยังสามารถชะลอการเกิดขึ้นของอุณหภูมิสูงสุด ออกไปเฉลี่ยประมาณ 3-4 ชั่วโมง

ผลการคำนวณสรุปได้ว่า ผิวผนังกำแพงภายใน มีความเสถียรมากขึ้นในแต่ละวัน ซึ่งระบุได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเฉลี่ย (standard deviation) ของอุณหภูมิผิวผนังภายใน ดังแสดงในตารางที่ 1 แถวสุดท้าย โดยมีค่าขึ้น-ลงเฉลี่ย ลดลง จาก 6.72 °C สำหรับกำแพงที่ไม่มี PCM เป็นเหลือประมาณ 3.09 °C เมื่อใช้ PCM เป็นผลให้ภาระความร้อนที่ถ่ายเทสู่ภายในอาคารมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ลดสภาวะความไม่สบายจากความร้อนสูงสุดในแต่ละวัน และการทำงานสูงสุดของระบบปรับอากาศ

สาเหตุที่การเปลี่ยนแปลงขึ้นลง ของอุณหภูมิผิวผนังภายในอาคารในแต่ละวันมีค่าน้อยลงกว่ากำแพงที่ไม่มี PCM เป็นผลเนื่องมาจาก ค่าความจุความร้อน (หรือมวลความร้อนของผนัง) ในรูปแบบของความร้อนแฝงที่เพิ่มขึ้น จาก 4,713.88 kJ/m^2 เป็น 6,670.31 kJ/m^2 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 42% เมื่อผนังมี PCM ผสมอยู่ โดยที่ค่าความจุความร้อนที่เพิ่มขึ้น 1,956 kJ/m^2 นี้เป็นสัดส่วนเพียงประมาณ 45% ของค่าความจุความร้อนแฝงของ PCM ทั้งหมดที่ถูกผสมอยู่ในผนัง ซึ่งหมายความว่าหากปรับปรุงวิธีการผนวก PCM เข้าไปในโครงสร้างให้เหมาะสมยิ่งขึ้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ PCM ให้สูงยิ่งขึ้นได้

มวลความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกำแพง เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของ PCM ส่งผลให้พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากผิวกำแพงสู่พื้นที่ภายในอาคารเปลี่ยนไป ด้วยเหตุผลที่ PCM สามารถดูดซับประมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมในช่วงกลางวัน ขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ทำให้อุณหภูมิผิวผนังที่มี PCM ในระหว่างช่วงเวลากลางวันส่วนใหญ่ (ในที่นี้คือระหว่างเวลา 08:00-



รูปที่ 3 อุณหภูมิและพฤติกรรมทางความร้อนของผนังตลอดช่วงเดือนเมษายนของกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1 สรุปผลการคำนวณ

รายการ	ไม่มี PCM	มี PCM ผสม	หน่วย
ความจุความร้อนแฝงสูงสุดของผนัง	0	4,307.69	[kJ/m^2]
พลังงานความร้อนที่ผนังดูดซับเฉลี่ยใน 1 วัน	4,713.88	6,670.31	[kJ/m^2]
พลังงานความร้อนสุทธิถ่ายเทสู่ภายในอาคาร ใน 1 วัน	6,761.46	5,564.41	[kJ/m^2]
พลังงานความร้อนถ่ายเทสู่ภายในอาคารเฉลี่ย ระหว่างกลางวัน 8:00-20:00 น. ของแต่ละวัน	5,961.57	3,431.9	[kJ/m^2]
พลังงานความร้อนถ่ายเทสู่ภายในอาคารเฉลี่ย ระหว่างกลางคืน 20:00-8:00 น. ของแต่ละวัน	799.91	2,132.5	[kJ/m^2]
อุณหภูมิเฉลี่ยผนัง			
- ผิวนอก	40.95	42.25	^{o}C
- ตรงกลาง	36.60	36.63	^{o}C
- ผิวใน	32.25	31.06	^{o}C
ค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเฉลี่ย (standard deviation) ของอุณหภูมิผิวผนังภายใน	6.72	3.09	^{o}C

20:00 น.) มีค่าต่ำกว่าผิวผนังที่ไม่มี PCM แต่ในทางตรงข้าม ความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในช่วงกลางวัน จะถูกคายออกในเวลากลางคืนไปยังสภาพแวดล้อมภายนอก และ พื้นที่ภายในอาคาร ในปริมาณที่เท่ากับปริมาณที่ดูดซับไว้ ทำให้อุณหภูมิผิวผนังที่มี PCM มีค่าสูงกว่าผนังที่ไม่มี PCM ตลอดช่วงเวลาส่วนใหญ่ระหว่างเวลากลางคืน (ระหว่างเวลา 20:00-08:00 น.)

พฤติกรรมดังอธิบายข้างต้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากผิวผนัง สู่พื้นที่ภายใน รวมเฉลี่ยในหนึ่งวัน มีค่าลดลงในช่วงกลางวันจาก 5,961.57 kJ/m^2 เป็นเหลือเพียง 3,431.9 kJ/m^2 หรือลดลงกว่า 42% (2,529.67 kJ/m^2) แต่ในขณะเดียวกันปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่พื้นที่ภายใน ในช่วงกลางคืนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจาก 799.91 kJ/m^2 เป็น 2,132.50 kJ/m^2 (เพิ่มขึ้น 1,332.59 kJ/m^2) ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสู่พื้นที่ภายในอาคารเฉลี่ยต่อหนึ่งวัน มีค่าสุทธิลดลงประมาณ 17% (1,197.05 kJ/m^2) เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เก็บไว้ในผนังในช่วงกลางวัน ไม่ได้ถูกถ่ายเทสู่พื้นที่ภายในทั้งหมด แต่มีส่วนหนึ่งถูกถ่ายเทไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกที่เย็นตัวลงในช่วงเวลากลางคืน

ผลการคำนวณดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ PCM จะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นสุทธิรวม 24 ชั่วโมงของอาคารได้ และที่สำคัญสามารถจัดการย้ายภาระความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ และสภาพอากาศในช่วงเวลากลางวัน ไปสู่ช่วงเวลากลางคืน เมื่ออาคารไม่ได้ใช้งาน หรือเมื่ออัตราค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นมีค่าลดลง ทำให้ลดการใช้พลังงานสำหรับทำความเย็น และขนาดระบบเครื่องทำความเย็นลงได้

เมื่อวิเคราะห์เพิ่มเติม สามารถได้ข้อมูลที่สังเกตได้ดังที่ระบุในตารางที่ 1 คือผลค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกำแพงแบบมี PCM ผสมอยู่มีค่าประมาณเท่ากับ 36 $^{\circ}$C หรือเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของกำแพงที่ได้จากการคำนวณแบบ quasi-steady ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมเฉลี่ยหนึ่งวันของเดือนเมษายน ดังที่ระบุในรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ [8, 9] ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า หากเลือกใช้ข้อมูลค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของช่วงเวลาที่พิจารณา โดยที่ค่าเฉลี่ยนั้นคลอบคลุมช่วงเวลาที่ยาวนานเพียงพอ การคำนวณแบบ quasi-steady สามารถให้ผลแสดงพฤติกรรมทางความร้อนเฉลี่ยของผนัง ที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลตลอดเดือน ดังที่ทำในที่นี้คือแบบ transient heat transfer ซึ่งต้องใช้ต้นทุนเวลาในการคำนวณที่มากกว่า

การศึกษาเพิ่มเติมดังที่รายงานในเอกสารอ้างอิง [9] ได้อธิบายถึงพฤติกรรมทางความร้อนของผนังคอนกรีตจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [8] และพบว่า ร้อยละประสิทธิภาพการทำงานของ PCM หรือ ค่า % Active PCM ซึ่งเป็นค่าร้อยละของปริมาณความร้อนแฝงของ PCM ที่ถูกใช้ระหว่างวัฏจักรการทำงาน ต่อ ปริมาณความร้อนแฝงทั้งหมดที่มีอยู่ ณ ตำแหน่งชั้นผิวภายนอก ชั้นกลาง และชั้นผิวภายในผนัง นั้นมีค่าแตกต่างกัน และยังพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมงของผนังที่ตำแหน่งต่างๆ มีค่าคงที่และไม่ขึ้นอยู่กับค่ามวลความร้อนของกำแพงและอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่ใช้ โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น กับตำแหน่งความหนาของผนังเหมือนกับการนำความร้อนผ่านผนังแบบคงตัว (steady-state conduction) ซึ่งทำให้ประเมินได้ว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับ อุณหภูมิเฉลี่ยเวลาของวัสดุผนังตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา ณ ตำแหน่งที่ต้องการผนวกสาร PCM เข้าไป โดยที่รายละเอียดจากการศึกษาจะได้ถูกนำเสนอในโอกาสต่อไป

4. สรุป

งานวิจัยได้ดำเนินการเพื่อศึกษาถึง อิทธิพลของการใช้สารเปลี่ยนสถานะ หรือ phase change material (PCM) สำหรับการจัดการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ของผนังเปลือกอาคารแบบคอนกรีตภายใต้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร โดยแสดงผลการคำนวณสำหรับข้อมูลของช่วงเดือนเมษายน โดยวิธีการเชิงตัวเลข (finite-difference numerical method) แบบ Crank-Nicolson implicit algorithm ซึ่งมีช่วงขั้นเวลา (time step) ที่ 2 นาที ผลการศึกษาพบว่าการผสมสาร PCM ประเภทพาราฟินที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมในโครงสร้างผนังอาคาร สามารถช่วยเพิ่มมวลความร้อนแบบความร้อนแฝงให้แก่ผนังได้เป็นอย่างมาก ส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดและภาระความร้อนสู่ภายในอาคารมีค่าลดลงในช่วงเวลากลางวัน อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิผลของการใช้สาร PCM ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่เลือกใช้ โดยที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของผนัง ณ ตำแหน่งที่มี PCM ผสมอยู่

การศึกษาในขั้นนี้สามารถระบุได้ว่า การวิเคราะห์ระบบกำแพงที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะ quasi-steady ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมเฉลี่ยในรอบทำงาน 24 ชม. สามารถใช้ประเมินพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกำแพงได้ หากข้อมูลสภาพแวดล้อมเฉลี่ยในรอบ 24 ชั่วโมงที่ใช้ในการคำนวณ คลอบคลุมช่วงเวลาที่พิจารณานานเพียงพอ (เช่น 1เดือน หรือ 1 ปี)

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม และ ขอขอบคุณ รศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำอันทรงคุณค่าสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Athienitis, A.K., et al., (1997). *Investigation of the Thermal Performance of a Passive Solar Test-Room with Wall Latent Heat Storage*. Building and Environment, 32(5), 405-410.
2. Hawes, D.W., et al. (1993). *Latent Heat Storage in Building Materials*. Energy and Building, 20, 77-86.
3. PCM Energy P. Ltd. (2007). http://www.teappcm.com/ (accessed on June 2007)
4. Rudd, A. (1993๗. *Phase-Change Material Wallboard for Distributed Thermal Storage in Buildings*. ASHRAE Transactions: Research, 99(2), paper # 3724.
5. U.S. Department of Energy. (2001). *Phase Change Dry Wall, Consumer Energy Information: EREC Reference Brief*. Washington, DC : Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2001. Available: http://www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/db3.html [Accessed May, 2001].

6. U.S. National Renewable Energy Laboratory. (2002). *Weather Maker Software version 1.01, A Weather Data Utility for Energy-10*.
7. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2549). *การใช้สารเปลี่ยนสถานะขนาดไมโครเพื่อปรับปรุงพฤติกรรมทางความร้อนให้แก่ของเหลวระบายความร้อน*. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, จังหวัดนครราชสีมา.
8. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล และ วิทยา ยงเจริญ. (2550). *อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังเปลือกอาคาร*. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี
9. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2551). *การใช้สารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างภายนอกเพื่อการจัดการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร*. เอกสารบทความการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยศรีปทุม ปีการศึกษา 2551. วันที่ 13 สิงหาคม 2551, 10-17.
10. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล. (2551). *การใช้สารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างภายนอกเพื่อการจัดการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร*. วิทยานิพนธ์ ทุนสนับสนุนงานวิจัยบุคลากรภายใน 1/2549 มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
11. อุตุนิยวิทยา, กรม, 2547. *ข้อมูลสภาพภูมิกากาศกรุงเทพมหานคร 2544-2546*, กรมอุตุนิยวิทยา.