อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะในวัสดุโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังเปลือกอาคาร

The Influence of Phase Change Material in Heat Transfer Behavior of Building Envelope Structure

ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล[1*] วิทยา ยงเจริญ[2]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ
โทร 02-579-1111 ต่อ 1202 อีเมล์: Chonlathis@gmail.com
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
โทร 02-218-8099 อีเมล์: fmewyc@eng.Chula.ac.th

Chonlathis Eiamworawutthikul[1*] Withaya Yongchareon[2]
[1] Department of Mechanical Engineering, Sripatum University Bangkok 10900
Tel 02-579-0111 ext 1202 E-mail: Chonlathis@gmail.com
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok
Tel 02-218-8099 e-mail: fmewyc@eng.Chula.ac.th

บทคัดย่อ

ผนังคอนกรีตของเปลือกโครงสร้างอาคาร ที่มีส่วนผสมของสารเปลี่ยนสถานะ (phase change material หรือ PCM) ประเภท paraffin wax ได้ถูกศึกษาถึง พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิวัสดุ อันเนื่องมาจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และ อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย ที่เปลี่ยนแปลงในหนึ่งวัฏจักรอบวัน ของกรุงเทพมหานครฯ การศึกษาทำโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์วิธี finite differential เพื่อระบุถึงอิทธิพลของสาร PCM ต่อ การเพิ่มมวลความร้อน (thermal mass) แก่โครงสร้างผนัง ซึ่งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละวัน การคำนวนพบว่าเมื่อเลือกใช้ PCM ที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ในการเปลี่ยนสถาณะจากสภาพของแข็งไปเป็นของเหลว ขณะดูดซับพลังงานความร้อนจากผนังในช่วงกลางวัน และ เปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งขณะคายความร้อน ในช่วงกลางคืน ส่งผลให้ในแต่ละวัน ผนังอาคารมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอยิ่งขึ้น ทำให้ช่วยลดภาระทำความเย็นสูงสุด สามารถเลือกใช้ระบบทำความเย็นให้มีขนาดเล็กลง และ ยังช่วยลดสภาวะความไม่สบาย อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในผนังภายในอาคารได้

Abstract

The investigation was carried out using finite differential numerical analysis to study heat transfer behavior of a building envelope concrete wall incorporated with paraffin-type phase change material (PCM). In the studied model, PCM is uniformly integrated into the wall structure which is exposed to typical Bangkok's averaged daily variation of solar irradiation and ambient air temperature. The utilization of PCM helps to enhance wall thermal mass in the form of latent heat with negligible increment of weight of the structure. The phase change materials, with suitable phase transition temperature, can absorbs significant amount of solar energy irradiating onto the wall during daytime as it melts from solid to liquid phase with minimal temperature increment. If implemented properly, this can significantly; reduce diurnal variation of wall temperature due to solar radiation, minimized peak cooling load demand, and enhance degree of space comfort.

1. บทนำ

ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน โครงสร้างเปลือกห่อหุ้มอาคาร (เช่น หลังคา ผนังภายนอก) มีอิทธิพลต่อภาระทำความเย็นรวมภายในอาคารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอาคารในท้องถิ่นเขตร้อนซึ่งรวมถึงประเทศไทย ผนังเปลือกห่อหุ้มอาคารดูดซับพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งไว้ในลักษณะ sensible heat ทำให้วัสดุผนังมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น และ ถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดเป็นภาระทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศ เป็นผลให้ภาระทำความเย็นของอาคาร มีปริมาณขึ้นลง ตามกำลังแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของแต่ละวัน ก่อให้เกิดสภาวะภาระทำความเย็นสูงสุดในช่วงบ่าย ที่ต้องจัดหาระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ เกิดสภาวะการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคารซึ่งมีผลต่อการคำนวณอัตราค่าไฟฟ้า นอกเหนือจากนี้ การที่ผิวผนังภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงยังก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่สบายสำหรับผู้ที่อยู่ภายในอาคาร

นอกเหนือจากการออกแบบอาคาร ให้มีโครงสร้างบังแสงเพื่อหลีกเลี่ยงรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรง หรือ เลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนสู่ภายในอาคาร การใช้วัสดุโครงสร้างที่มีมวลความร้อน (thermal mass) ที่สูง ยังสามารถช่วยลดขนาดการเพิ่มขึ้น ของอุณหภูมิของโครงสร้างอาคารในช่วงกลางวันได้ อย่างไรก็ตามวัสดุโครงสร้างโดยทั่วไป ซึ่งดูดเก็บความร้อนแบบความร้อนสัมผัส (sensible heat) มีมวลความร้อนแปรผันโดยตรงกับมวลของวัสดุ ดังนั้นการเพิ่มมวลความร้อนจึงหมายถึงการ เพิ่มขนาด น้ำหนัก โครงสร้างของตัวอาคาร ซึ่งมักจะถูกจำกัดด้วยค่าใช้จ่ายและความสวยงาม

ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงการใช้ สารเปลี่ยนสถานะ (phase change material หรือ PCM) หลายชนิดเพื่อเป็นส่วนประกอบของวัสดุโครงสร้างอาคาร [1,2] PCMที่ใช้จะทำงานระหว่างสถานะของแข็งและของเหลว โดยการดูดซับและคายความร้อนในลักษณะความร้อนแฝง (latent heat) ซึ่งสารที่นิยมถูกนำมาศึกษาเพื่อการใช้งานในการควบคุมพฤติกรรมทางความร้อนของอาคาร มีทั้งประเภท inorganic compound (เช่น salt-hydrate) หรือ ประเภท organic compound (เช่น paraffin waxes และ fatty acid) [3-5] ซึ่งถูกระบุว่ามีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจาก salt-hydrate อาจมีการแยกตัวของเกลือหลังจากการวัฏจักรการเปลี่ยนสถานะไประยะเวลาหนึ่ง ในทางตรงข้าม paraffin PCM ได้ถูกนำมาพิจารณาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อีกทั้งเนื่องจาก paraffin เป็นสารในกลุ่ม alkane hydrocarbon ซึ่งอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะขึ้นอยู่กับความยาวของ carbon chain ในโมเลกุล ดังนั้นผู้ผลิตจึงสามารถควบคุมให้มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภทได้ [6]

โดยทั่วไปแล้วสาร PCM จะมีค่าความจุความร้อน (heat of fusion) ของการเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็ง-ของเหลว มากกว่า 10 เท่าของค่าความจุความร้อนของคอนกรีตที่ใช้ในโครงสร้างอาคารทั่วไปที่มีขนาดน้ำหนักเท่ากัน ดังนั้นการใช้ PCM เป็นส่วนผสมในคอนกรีตโครงสร้างสามารถเพิ่มค่ามวลความร้อนของวัสดุ (thermal mass) โดยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักของโครงสร้างเพียงเล็กน้อย ในสภาพภูมิอากาศเขตหนาวในแถบ ยุโรป และ อเมริกาเหนือ PCM ได้ถูกนำมาศึกษาอย่างกว้างขวางเพื่อการใช้งานในระบบ passive solar heating สำหรับในภูมิอากาศเขตร้อน PCM ได้ถูกนำมาเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างห้องควบคุมอุปกรณ์อิเลคโทรนิคกลางแจ้งเพื่อลดอุณหภูมิภายในสูงสุดในแต่ละวัน [7] นอกจากนี้ในวงการอุตสาหกรรมอิเลคโทรนิค สื่อสาร PCM ยังได้ถูกใช้ในแผ่นระบายความร้อน (thermal pad) เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ทำงานที่อุณหภูมิสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม รายงานการศึกษาถึงวิธีการเลือกใช้ PCM ที่มีอยู่หลากหลายชนิด และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่แตกต่างกัน เป็นไปในลักษณะที่เฉพาะเจาะจงสำหรับประเภทการใช้งานของอาคาร และสภาพภูมิอากาศเป็นกรณีไป ผลสรุปของการใช้ PCM ในงานลักษณะหนึ่งอาจไม่สามารถนำไปปฏิบัติได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในพื้นที่ๆมีสภาพภูมิอากาศ และ ในอาคารที่มีลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิผลจากการนำ PCM ไปใช้ จำเป็นที่จะต้องศึกษาการทำงานของ PCM ที่ตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น และลักษณะภาระทำความเย็นของอาคาร

งานวิจัยที่นำเสนอในที่นี้ได้ศึกษาถึงศักยภาพของการใช้ PCM เป็นส่วนประกอบในผนังโครงสร้างของอาคารทั่ว ภายใต้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครฯ โดยได้วิเคราะห์ถึง พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อน และ อุณหภูมิของผนังคอนกรีตอาคารเมื่อมี PCM และ ไม่มี PCM ผสมอยู่ในเนื้อวัสดุ ที่ตอบสนองต่อค่าเฉลี่ยทั้งปีของรังสีแสงอาทิตย์ และ อุณหภูมิบรรยากาศ ที่เปลี่ยนแปลงในวัฏจักรหนึ่งรอบวัน (24 ชม.) ของกรุงเทพมหานครฯ โดยจุดประสงค์หลักของการศึกษาในขั้นนี้

- เพื่อประเมิณศักยภาพเบื้องต้นของการใช้ PCM ต่อพฤติกรรมทางความร้อนของผนังอาคารในกรุงเทพมหานครฯ เพื่อลดอุณหภูมิสูงสุดของผนังอาคาร
- เพื่อวิเคราะห์วิธีการกำหนดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมของ PCM ต่อการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

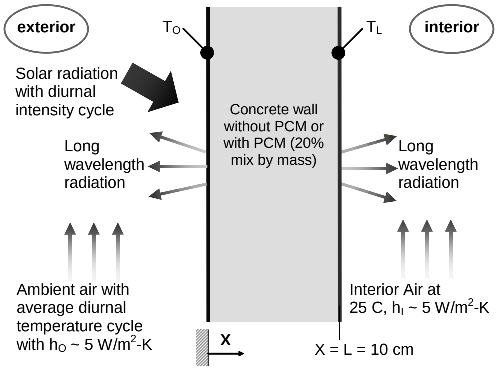
2. วิธีการศึกษา

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับ แผ่นผนังเปลือกอาคารถูกสร้างขึ้นโดยใช้ finite different numerical model เพื่อคำนวนพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 มิติ และ อุณหภูมิวัสดุ อันเนื่องมาจาก สภาพแวดล้อมของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และอุณหภูมิบรรยากาศ ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง โดยที่ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ปี ของกรุงเทพมหานครฯ จากกรมอุตุนิยมวิทยา

โปรแกรมคำนวนการถ่ายเทความร้อน ให้ผลอุณหภูมิของวัสดุที่เป็น quasi-steady สำหรับวัฏจักรรอบ 24 ชั่งโมง คืออุณหภูมิของผนังที่เปลี่ยนแปลงแบบไม่คงตัว (transient) ระหว่างวัน ถูกคำนวนซ้ำจนกระทั่ง อุณหภูมิสุดท้ายของวันที่ 24:00 น. มีค่าเท่ากับอุณหภูมิตั้งต้นที่ 0:00 น.

แบบจำลองผนัง และ การตั้งค่าการถ่ายเทความร้อนสำหรับใช้ในการคำนวนได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในคงที่ๆ 25 $^{\circ}$C และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (convection

heat transfer coefficient) ระหว่างอากาศกับผิวผนังภายนอกและภายในคงที่ๆค่าเฉลี่ยประมาณ 5 W/m^2-K



รูปที่ 1 แบบจำลองผนังและการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการคำนวน

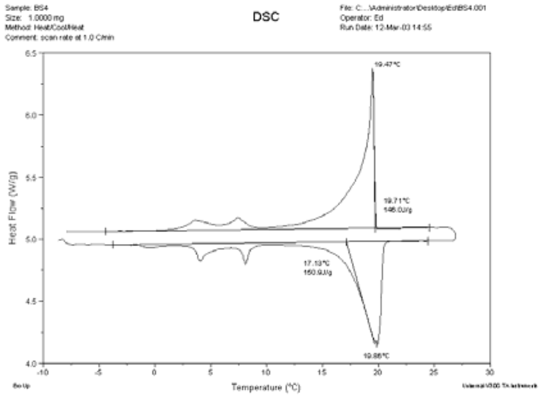
การคำนวนได้ทำใน 2 กรณีคือ แบบไม่มี และแบบมี สารเปลี่ยนสถานะผสมอยู่ในผนังคอนกรีตเพื่อการเปรียบเทียบ โดยให้ปริมาณส่วนผสมของสาร PCM อยู่ที่ 20% ของมวลรวม และ มีการผสมอย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ PCM ที่เลือกใช้เป็นประเภทสาร paraffin wax โดยคุณสมบัติทางความร้อนทั่วไป ของทั้งคอนกรีต และ paraffin wax ที่ใช้ในการคำนวน แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตและ PCM

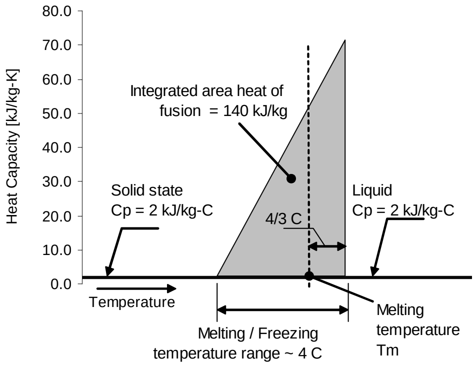
Properties	Concrete	PCM (typical paraffin)
Density [kg/m^3]	2,300	800
Heat Capacity [kJ/kg-K]	0.880	2.00
Thermal Conductivity [W/m-K]	1.4	0.2
Heat of Fusion [kJ/kg]	-	140

การจำลองการเปลี่ยนสถานะของ PCM ได้จำลองผ่านค่าความจุความร้อนของสาร โดยที่ค่าความจุความร้อนของ PCM มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในช่วงของการเปลี่ยนสถานะ จากการใช้เครื่อง differential scan calorimeter (DSC) วัดค่าความจุความร้อนของ PCM ประเภท paraffin wax โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 สำหรับสาร butyl stearate ซึ่งมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะอยู่ในช่วง 16-20 C

ดังนั้นจากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าความจุความร้อนของ PCM ในช่วงการเปลี่ยสถานะ ดังแสดงในรูปที่ 2 จึงสามารถจำลองให้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อใช้ในโปรแกรมการคำนวน โดยให้การเปลี่ยนสถานะอยู่ในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 4°C และมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะอ้างอิงเท่ากับ T_m ความสูงของพื้นที่สามเหลี่ยมในรูปถูกกำหนดโดยค่าความจุความร้อนของ PCM ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟในส่วนแรงเงาเท่ากับค่าความจุความร้อน 140 kJ/kg ตามที่ระบุในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ตัวอย่างลักษณะค่าความจุความร้อนของ PCM จากการวัดโดยใช้เครื่อง DSC

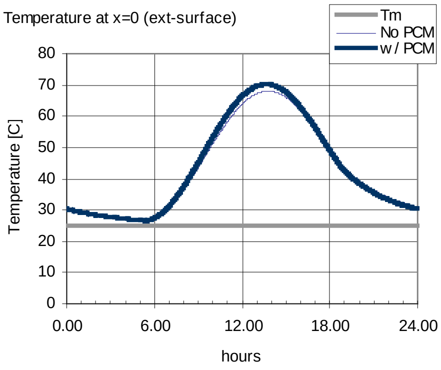


รูปที่ 3 แบบจำลองค่าความจุความร้อนของ PCM สำหรับใช้ในการคำนวน

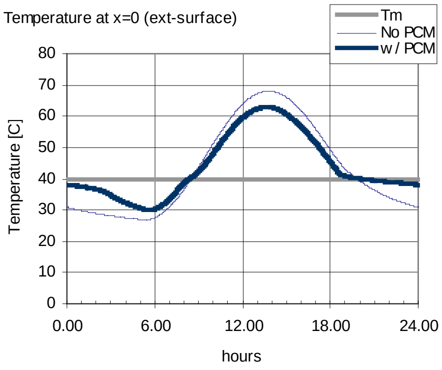
3 ผลการศึกษา

ผลการคำนวน quasi-steady ของอุณหภูมิผิวผนังกำแพงในรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง จากอิทธิพลของ รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบและอุณหภูมิบรรยากาศของกรุงเทพมหานครฯ สามารถแสดงเปรียบเทียบระหว่างผนังที่ มีและไม่มี PCM ผสมอยู่ ที่ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เลือกใช้ต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-6

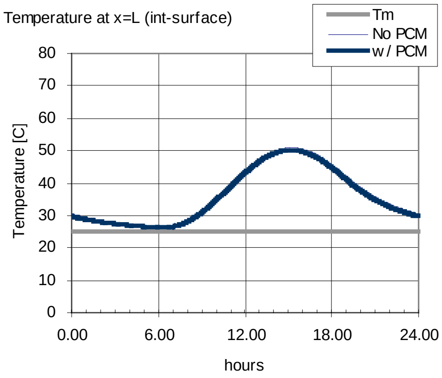
จากรูปที่ 4 ผลการคำนวนแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผนังตลอด 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วงที่มีค่าสูงกว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เลือกใช้ที่ 25 $^\circ$C ดังนั้นสาร PCM ที่ผสมอยู่ในวัสดุผนังอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวตลอดการทำงาน และ ความจุความร้อนแฝงเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของ PCM ไม่ได้ถูกใช้แต่อย่างใด ส่งผลให้อุณหภูมิผิวกำแพงตลอดช่วง 24 ชั่วโมง แทบไม่มีความแตกต่างกัน ระหว่างกำแพงที่มีและไม่มี PCM ผสมอยู่ ซึ่งทั้ง 2 กรณี มีอุณหภูมิผิวสูงสุดเกิดขึ้นที่ประมาณ 70 $^\circ$C ที่ 14:00 น. สำหรับผิวด้านนอก และ ที่ประมาณ 50 $^\circ$C ที่ 15:00 น. สำหรับผิวด้านใน



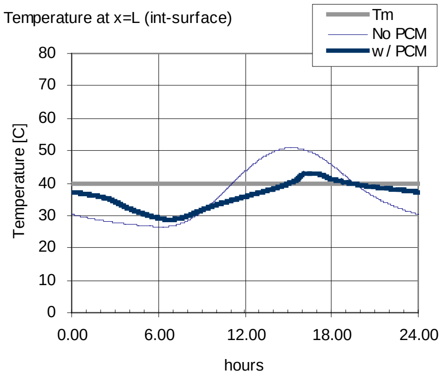
(4-a) อุณหภูมิผิวภายนอก



(5-a) อุณหภูมิผิวภายนอก



(4-b) อุณหภูมิผิวภายใน



(5-b) อุณหภูมิผิวภายใน

รูปที่ 4 อุณหภูมิผิวผนังอาคารภายในและภายนอก เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM เท่ากับ 25 C

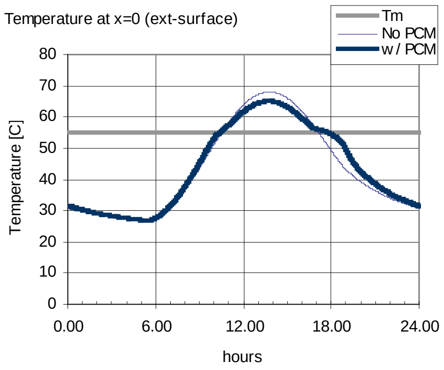
รูปที่ 5 อุณหภูมิผิวผนังอาคารภายในและภายนอก เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM เท่ากับ 40 C

เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM เป็นที่ 40 $^{\circ}$C ซึ่งอยู่ประมาณกึ่งกลางระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของกำแพงดังที่แสดงในรูปที่ 4 ผลการคำนวนที่ได้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของความจุความร้อนแฝงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะของ PCM ดังแสดงในรูปที่ 5 อุณหภูมิของผนังที่มี PCM ผสมอยู่มีค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวันที่ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการดูดซับความร้อนของ PCM ขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยเฉพาะที่ผิวผนังด้านในอาคาร ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิผนังที่เกิดขึ้นในช่วงบ่าย (10:00-19:00) ต่ำลงกว่าผิวผนังที่ไม่มี PCM โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 42 $^{\circ}$C ที่ 16:00-17:00 น.

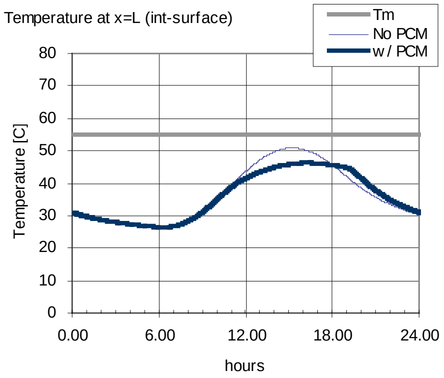
อย่างไรก็ตามอุณหภูมิผิวผนังที่มี PCM ผสมอยู่ มีค่าสูงกว่าผิวผนังที่ไม่มี PCM ตลอดช่วงเย็นและกลางคืน (19:00-9:00 น.) เนื่องมาจากพลังงานความร้อนที่ PCM ดูดซับไว้ในช่วงกลางวันถูกคายออกขณะที่ PCM เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลับมาอยู่ในสภาพของแข็ง

รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิของผิวผนังเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 55 $^{\circ}$C ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิของผนังตลอดเวลาส่วนใหญ่ ของการทำงานในรอบ 24 ชั่วโมง ดังนั้น PCM ที่ผสมอยู่ในเนื้อวัสดุกำแพง จึงไม่ได้ถูกใช้ความร้อนแฝงอย่างเต็มที่ ส่งผลให้อุณหภูมิของผนังมีค่าไม่แตกต่างจากผนังที่ไม่มี PCM ผสมมากนัก

ผลการคำนวนแสดงให้เห็นว่าหากอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่ถูกเลือกใช้มีค่าเหมาะสม และ ค่าความจุความร้อนแฝงถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ PCM เป็นส่วนผสมของวัสดุโครงสร้างกำแพงสามารถทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิของกำแพงมีค่าลดลง และช่วยลดค่าอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงบ่ายของวันได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเหมาะสมของอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะของ PCM ที่เลือกใช้ไม่สามารถระบุเป็นค่าคงที่ที่แน่นอนได้ แต่ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกำแพง อันเนื่องมาจากลักษณะ และ วัสดุที่ใช้ทำกำแพง และ เงื่อนไขขอบเขต (thermal boundary condition) ของการถ่ายเทความร้อนของกำแพงเอง



(6-a) อุณหภูมิผิวภายนอก



(6-b) อุณหภูมิผิวภายใน

รูปที่ 6 อุณหภูมิผิวผนังอาคารภายในและภายนอก เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM เท่ากับ 55 C

ดังนั้นเพื่อเป็นการกำหนดแนวทางโดยทั่วไป ถึงวิธีการเลือกใช้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมเพื่อให้ ความร้อนแฝง ของ PCM ถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ การคำนวนเพิ่มเติมจึงได้ใช้ ค่าปริมาณการดูดซับพลังงานความร้อนในรอบ 24 ชั่วโมงของกำแพง เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิผลของการใช้ ความร้อนแฝงของ PCM ที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะต่างๆกัน

ปริมาณพลังงานความร้อน ที่กำแพงสามารถดูดซับได้ในแต่ละวัน สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการพลังงานสมดุลพลังงานของกำแพงดังนี้

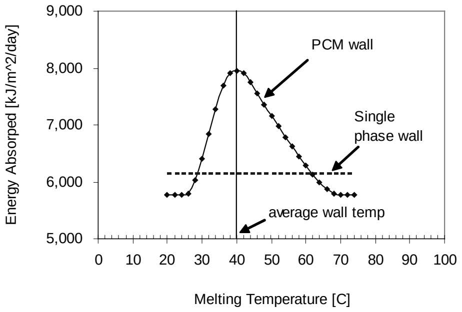
$$\sum_{in}\dot{Q}-\sum_{out}\dot{Q}=\frac{dU_{wall}}{dt} \qquad (1)$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คืออัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนเข้าสู่และออกจากผนัง, U_{wall} คือพลังงานภายในของวัสดุผนัง และ t คือเวลา ดังนั้นพลังความร้อนที่ผนังดูดซับได้ในแต่ละวัน (U_{abs}) จึงสามารถคำนวนได้จากการ integrate ในรอบวัฏจักรเวลา 24 ชั่วโมง

$$U_{abs}=\oint_{24hour}dU^{+} \qquad (2)$$

โดยที่ dU^{+} คือค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในเฉพาะช่วงเวลาที่มีค่าเพิ่มขึ้น หรือมีค่าเป็นบวก (โปรดหมายเหตุว่าค่าพลังงานภายในเปลี่ยนแปลงสุทธิในแต่ละวันสำหรับการคำนวน ในที่นี้มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่า พลังงานที่ถูกดูดซับไว้เท่ากับพลังานรวมที่ถูกคายออกในแต่ละรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง)

ผลการคำนวนค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่กำแพงที่มีส่วนผสมของ PCM สามารถดูดซับได้ในแต่ละวัน ที่ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะต่างๆกัน สามารถแสดงไว้ในรูปที่ 7



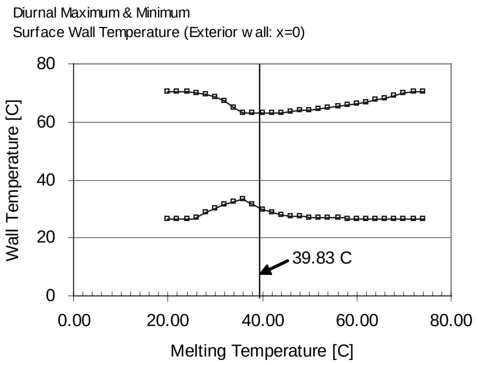
รูปที่ 7 ค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่กำแพง PCM สามารถดูดซับได้ตามค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะต่างๆ

จากผลการคำนวนที่แสดงในรูปที่ 7 ชี้ให้เห็นว่ากำแพง PCM ที่ใช้ในการศึกษาในที่นี้ มีความสามารถในการดูดซับความร้อนในปริมาณที่คงที่เมื่อ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะมีค่าน้อยกว่า 26 ^{o}C และ มากกว่า 70 ^{o}C หมายความว่า PCM ไม่มีการเปลี่ยนสถานะระหว่างการทำงานในแต่ละรอบวันและความจุความร้อนแฝงไม่ได้ถูกนำมาใช้ ดังนั้นการใช้งาน PCM ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะในช่วงอุณหภูมินี้ ไม่มีประโยชน์ในการเพิ่มมวลความร้อนให้แก่วัสดุผนังแต่ประการใด แต่ในทางตรงข้ามกลับลดความสามารถในการดูดซับความร้อนแบบสัมผัส ของวัสดุผนังเนื่องจากค่าความจุความร้อนของ PCM มีค่าน้อยกว่าค่าความจุความร้อนของคอนกรีต

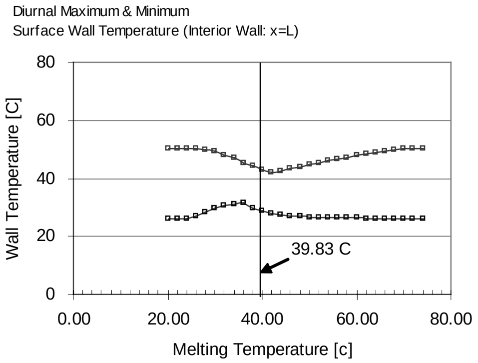
ความสามารถดูดซับความร้อนของกำแพงที่มี PCM ผสมอยู่มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานอยู่ระหว่าง 26-70 ^{o}C และมีค่าสูงกว่า single phase wall ถึงประมาณ 30% ที่จุดสูงสุด ที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของ PCM มีค่า 39.83 ^{o}C หรือมีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยรวมของผนัง ตลอดการทำงานในรอบ วัฏจักร 24 ชั่วโมง

ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวันของผิวผนังด้านนอกและในของกำแพงที่มี PCM ผสม ได้ถูกแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 8-a และ 8-b ที่ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะต่างๆกัน

จากผลการคำนวนชี้ให้เห็นว่า ในช่วงอุณภูมิการเปลี่ยนสถานะที่ 26-70 ^{o}C ซึ่ง ความร้อนแฝงของ PCM ถูกใช้ในช่วงวัฏจักรการทำงาน 24 ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิสูงสุด และ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ของผิวกำแพงมีค่าลดลง ในอัตราที่ต่างกันขึ้นอยู่กับอุณภูมิการเปลี่ยนสาถนะของ PCM ที่เลือกใช้ โดยอุณหภูมิผนังมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิวัฏจักรเฉลี่ยของกำแพง



(8-a) อุณหภูมิผิวภายนอก



(8-b) อุณหภูมิผิวภายใน

รูปที่ 8 อุณหภูมิผิวผนังอาคารภายในและภายนอก เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของ PCM เท่ากับ 55 °C

จากผลการคำนวนที่แสดงในรูปที่ 7 และ 8 ชี้ให้เห็นว่า การเลือกใช้ PCM ที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ เท่ากับอุณหภูมิวัฏจักรเฉลี่ยรวมตลอดความหนาของกำแพง (ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 39.83 °C) จะสามารถให้ค่าการดูดซับความร้อนสูงสุด หรือ กำแพงโดยรวมมีค่ามวลความร้อนสูงสุด จากการเปลี่ยนสถานะของ PCM อย่างไรก็ตามข้อสรุปนี้ไม่ได้หมายความว่า PCM ในแต่ละตำแหน่งภายในเนื้อวัสดุกำแพงสามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงที่สุด (หรือมีการใช้ปริมาณ ความร้อนแฝงสูงสุด)

หากพิจารณาระบบกำแพง ที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะ quasi-steady ในรอบทำงาน 24 ชม. ดังที่ศึกษาในที่นี้ เนื้อวัสดุกำแพงในแต่ละตำแหน่งจะมีการดูดซับความร้อน (พลังงานภายในและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น) และ จะมีการถ่ายเทความร้อน (พลังงานภายในและอุณหภูมิลดลง) ในปริมาณที่เท่ากันในแต่ละรอบการทำงาน 24 ชม. ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (U) สุทธิเท่ากับศูนย์ และ อุณหภูมิของเนื้อวัสดุกลับมาที่ค่าเดิม ซึ่งเท่ากับค่าอุณหภูมิเฉลี่ย quasi-steady ของเนื้อวัสดุที่ตำแหน่งนั้นๆ ดังนั้นเพื่อให้เกิดการดูดซับพลังงาน (และคายพลังงาน) ในปริมาณที่มากที่สุดในแต่ละตำแหน่งในกำแพง PCM ที่เลือกใช้ควรมีการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น ณ อุณหภูมิที่เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างการดูดซับและการคายพลังงานความร้อนที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งก็คือควรมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะเท่ากับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเนื้อวัสดุที่ตำแหน่งนั้นๆ

4 สรุป

ผลการศึกษาในที่นี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารเปลี่ยนสถานะ (phase change material หรือ PCM) เป็นส่วนหนึ่งของผนังเปลือกอาคารภายใต้สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครฯ มีศักยภาพในการเพิ่มมวลความร้อนให้แก่วัสดุในรูปแบบความร้อนแฝง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะ ระหว่างของแข็งกับของเหลวของ PCM ซึ่งสามารถช่วยให้อุณหภูมิของผนังในแต่ละวันมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยลง และลดค่าอุณหภูมิผิวผนังสูงสุดอันเนื่องมาจากรังสีแสงอาทิตย์ได้ ส่งผลให้สามารถควบคุมให้ภาระทำความเย็นภายในอาคารมีค่าคงที่มากขึ้น ลดความต้องการภาระทำความเย็นสูงสุด (peak load) ของอาคารได้

อย่างไรก็ตามการใช้ PCM เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สาร PCM ต้องมีการเลือกใช้อย่างระมัดระวัง เพื่อให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะมีความเหมาะสม กับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังที่ถูกนำไปใช้ โดยที่ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสม ที่ส่งผลให้แต่ละตำแหน่งในโครงสร้างกำแพงสามารถดูดซับความร้อนได้สูงที่สุด ควรมีค่าเท่ากับ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยวัสดุผนังในรอบเวลาที่พิจารณาที่ตำแหน่งนั้นๆ

5 กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม ปีการศึกษา 1/2549

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, Vol. 32, No.5, pp. 405-410.

[2] Neeper, D.A., 2000, “Thermal Dynamics of Wallboard with Latent Heat Storage,” Solar Energy, Vol. 68, No. 5, pp. 393-403, 2000.

[3] Hawes, D.W., et al, 1993, “Latent Heat Storage in Building Materials,” Energy and Building, Vol. 20, pp. 77-86.

[4] Hawes, D.W., et al, 1989, “Latent Heat Storage in Concrete,” Solar Energy Materials, Vol. 19, pp. 335-348

[5] Rudd, A., 1993, “Phase-Change Material Wallboard for Distributed Thermal Storage in Buildings,” ASHRAE Transactions: Research, Vol. 99, Part 2, paper # 3724.

[6] Rubitherm Technologies GmbH, http://www.rubitherm.de (accessed on June 2007)

[7] PCM Energy P. Ltd, http://www.teappcm.com/ (accessed on June 2007)