

บทที่ 4



ผลการทดสอบ การวิเคราะห์ และอภิปรายผล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบที่ไม่มีและมีการเปลี่ยนสถานะทำงานร่วมด้วย ภายใต้แสงจำลองที่มีการแปรผันค่าความเข้มแสง พฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากแสงผ่านระบบหน้าต่างสองชั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวกระจกและภายในห้องทดสอบ และแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านระบบหน้าต่างกระจกสองชั้น

4.1 ผลการทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะ

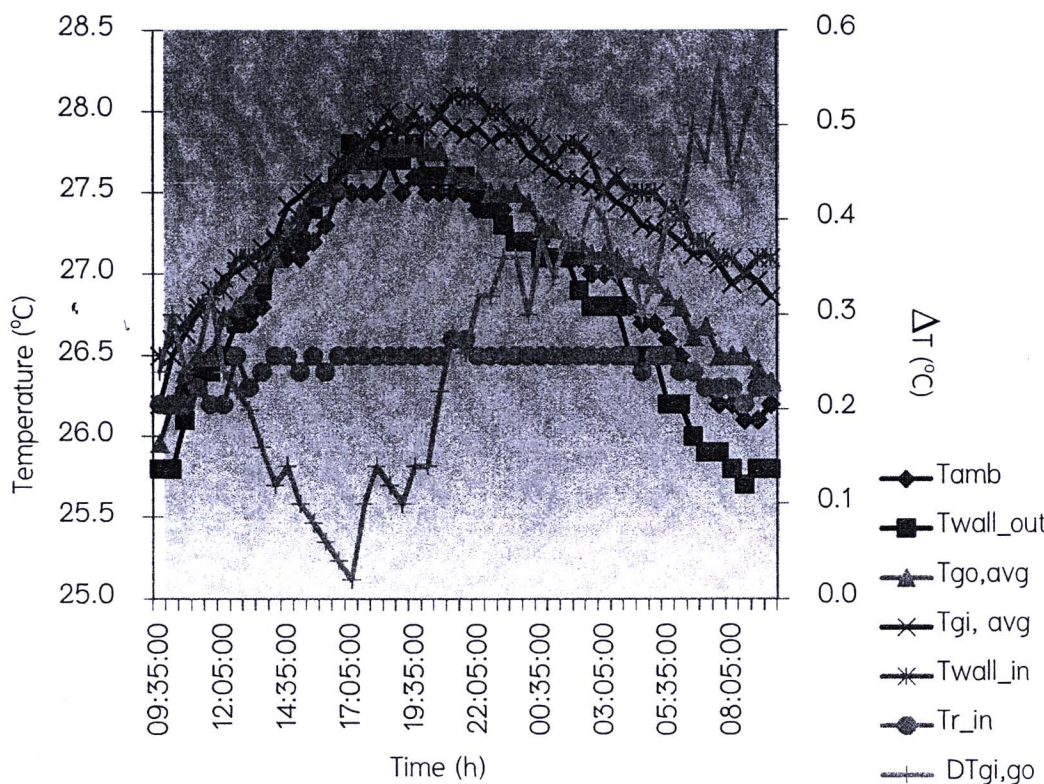
ระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่ใช้ในการทดสอบมีสองแบบ คือ

แบบที่ 1 กระจกสองชั้นประกอบด้วย กระจกใสหนา 6 mm. ช่องว่างระหว่างกระจกบรรจุอากาศ (Air) หนา 12 mm. และกระจกใสหนา 6 mm

แบบที่ 2 กระจกสองชั้นประกอบด้วย กระจกใสหนา 6 mm. ช่องว่างระหว่างกระจกบรรจุแก๊สอาร์กอน (Ar) หนา 12 mm. และกระจกใสหนา 6 mm.

ทำการวัดอุณหภูมิห้องทดสอบที่ติดตั้งระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบที่ 1 ในเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบว่าห้องทดสอบที่สร้างขึ้นภายในห้องปฏิบัติการจะไม่ได้รับผลกระทบการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคาร การทดสอบนี้ทำขณะที่ห้องทดสอบไม่ได้รับความร้อนจากระบบแสงจำลองในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้พบว่าขณะที่ห้องปฏิบัติการอาจได้รับผลกระทบจากสภาวะอากาศภายนอกอาคารทำให้มีอุณหภูมิห้องสูงขึ้นต่อเนื่องจนถึงช่วงบ่ายเนื่องจากความร้อนสะสมที่ผนังอาคาร แต่ทว่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบมีค่าค่อนข้างคงที่แสดงให้เห็นว่าการบุฉนวนผนังห้องทดสอบสามารถป้องกันผลกระทบจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการหรือภายนอกห้องทดสอบได้เป็นอย่างดี จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมหรืออุณหภูมิของห้องปฏิบัติการกับอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ สามารถสังเกตพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกสองชั้น เมื่ออุณหภูมิห้องปฏิบัติการเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 9:35 ถึงค่าสูงสุดเวลา 18:35 อุณหภูมิผิวกระจกแผ่นนอกด้านนอกห้องทดสอบ และแผ่นในด้านในห้องทดสอบต่างแปรผันตามไป

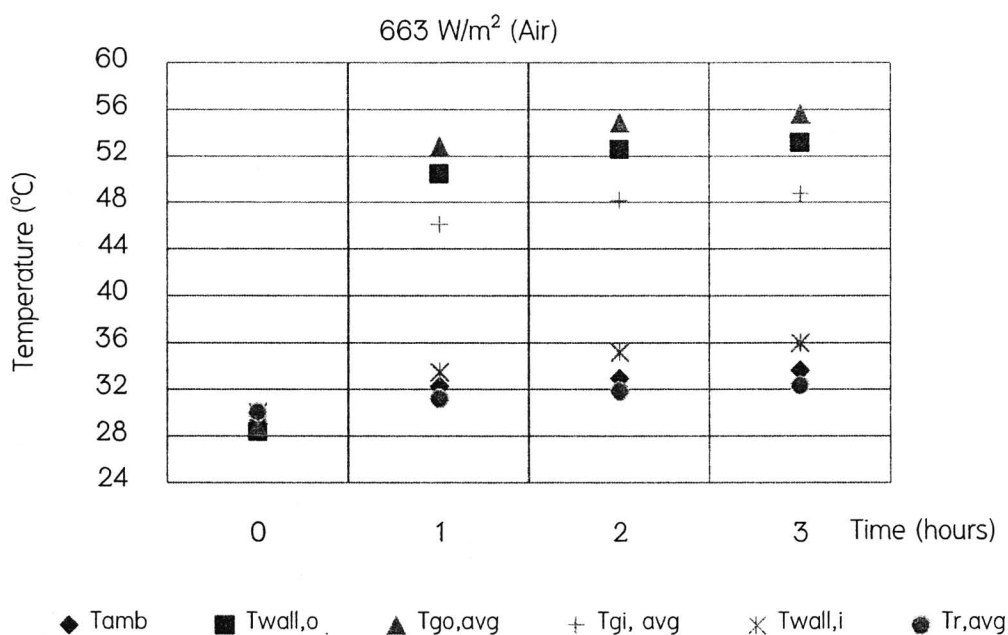
ด้วย แต่อุณหภูมิผิวกระจกแผ่นในเพิ่มถึงค่าสูงสุดล่าช้ากว่าประมาณ 2 ชั่วโมง ทั้งนี้เพราะการส่งถ่ายความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกที่มีฉนวนอากาศกั้นกลางนั้นทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กระจกแผ่นในล่าช้าลง (time lag) จากการถ่ายเทผ่านชั้นอากาศที่มีค่าการนำความร้อนต่ำดังแสดงในรูปที่ 4.1



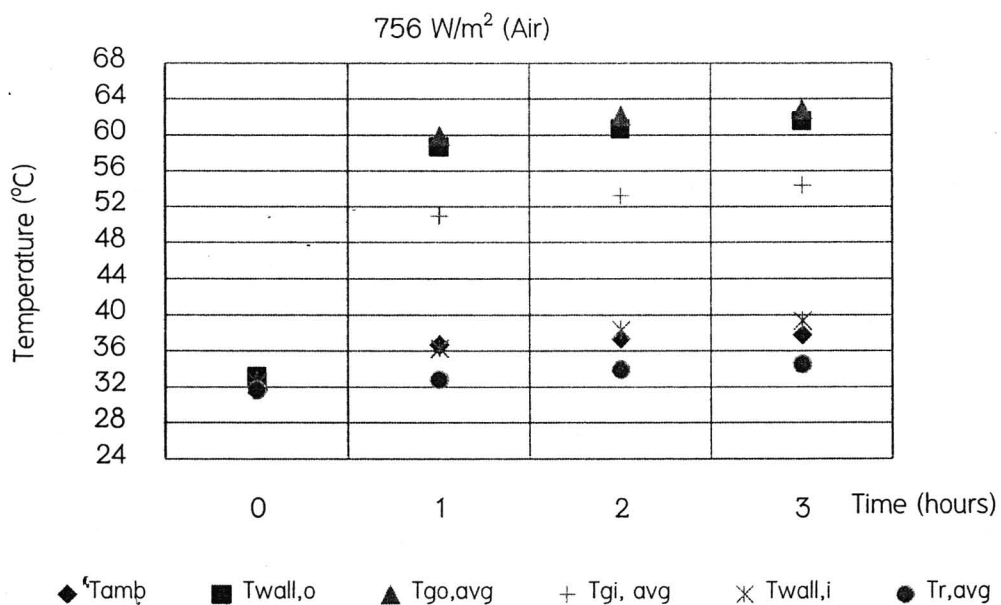
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบห้องทดสอบเมื่อไม่มีแสงตกกระทบบนหน้าต่างกระจกสองชั้น ภายในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับการทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบที่มีอากาศคั่นระหว่างแผ่นกระจกด้วยการให้ความร้อนจากแสงจำลองที่กำหนดให้แนวแสงตกกระทบบนผนังที่กระจกหน้าต่างเพื่อจำลองการได้รับแสงอาทิตย์ตกกระทบบนผนังที่ให้ความเข้มรังสีบนพื้นที่สูงกว่าแนวอื่นและส่งผลเนื่องถึงค่าความร้อนที่มากตามไปด้วย ผลการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเข้ามาภายในห้องทดสอบ ณ ความเข้มรังสี 663 W/m² และ 756 W/m² พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวกระจกด้านนอกและด้านในมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่ได้รับความร้อน

จากแสงจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 อุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นน้อยมาก ในช่วงที่สองและสามขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกด้านนอกและด้านในอยู่ที่ ไม่เกิน 10 °C และมีค่าค่อนข้างคงที่หลังช่วงแรกผ่านไป สังเกตได้ว่าอุณหภูมิผนังด้านนอกและด้าน ในมีความแตกต่างกันมากอันสืบเนื่องถึงความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้องทดสอบนั้นมาจากความ ร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นเป็นหลัก ที่ความเข้มแสงมากปริมาณความร้อนที่ ส่องผ่านระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นมีค่ามากตามไปด้วย พิจารณาอุณหภูมิที่ผิวกระจกด้านนอกเมื่อ ทดสอบที่ความเข้มแสง 663 W/m² มีค่าสูงสุดประมาณ 56 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ขณะที่ ณ ความ เข้มแสง 756 W/m² ผิวกระจกด้านนอกมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 63 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนั้นแล้วส่งผลถึงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากอุณหภูมิภายในห้องที่ทดสอบ ณ ความเข้มแสงทั้งสองมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 32 °C และ 34 °C ตามลำดับ

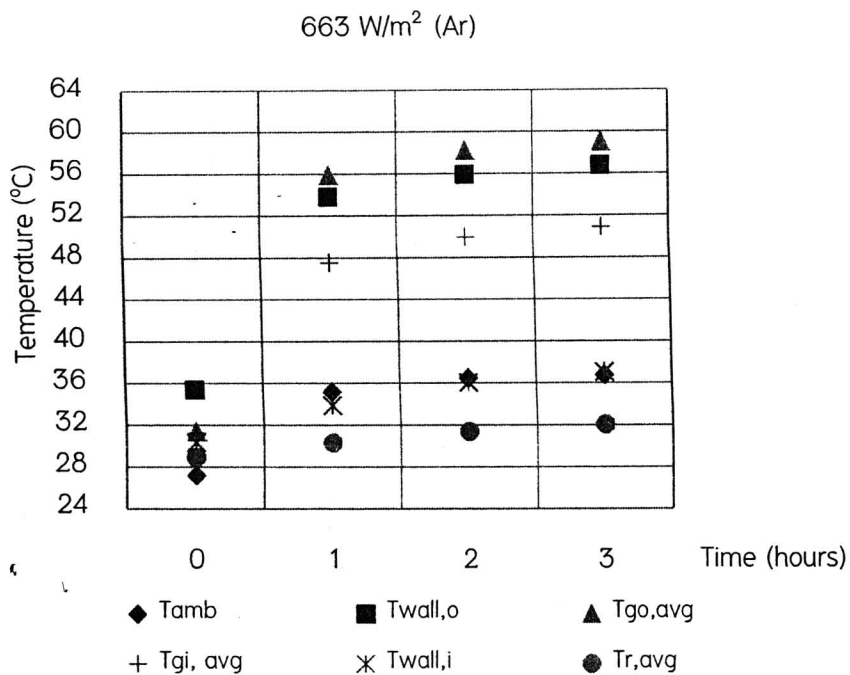


รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสอง ชั้นแบบมีอากาศเป็นฉนวน ณ ความเข้มแสง 663 W/m²



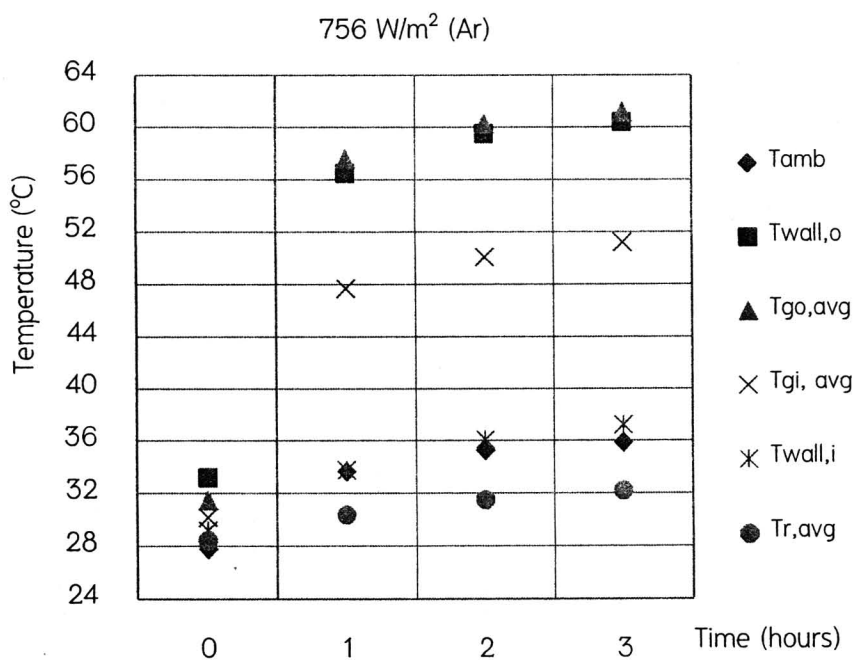
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบมีอากาศเป็นฉนวน ณ ความเข้มแสง 756 W/m²

ผลการทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบที่สองมีแก๊สอาร์กอนบรรจุในช่องระหว่างแผ่นกระจกแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามายังภายในห้องทดสอบ ที่ความเข้มแสง 663 W/m² และ 756 W/m² ทำนองเดียวกันกับหน้าต่างกระจกแบบที่หนึ่งคืออุณหภูมิที่ผิวกระจกด้านนอกและด้านในมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงในช่วงแรกที่ได้รับความร้อนจากแสงจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 จากนั้นคงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกด้านนอกและด้านในเมื่อผ่านหนึ่งชั่วโมงแรก อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอกต่ำลงหลังจากนั้น ความเข้มแสงมีผลโดยตรงต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านระบบหน้าต่างกระจกสองชั้น อุณหภูมิที่ผิวกระจกด้านนอกทดสอบที่ความเข้มแสง 663 W/m² มีค่าสูงสุดประมาณ 57 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ขณะที่ ณ ความเข้มแสง 756 W/m² ผิวกระจกด้านนอกมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 63 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.4 นอกจากนั้นพบว่าสามารถกันความร้อนส่งผ่านได้ดีกว่าหน้าต่างกระจกแบบที่หนึ่งที่มีอากาศบรรจุอยู่ พิจารณาได้จากค่าอุณหภูมิของผิวกระจกภายในที่มีค่าต่ำกว่าของกรณีหน้าต่างกระจกแบบที่หนึ่งทั้งสองความเข้มแสง



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสอง

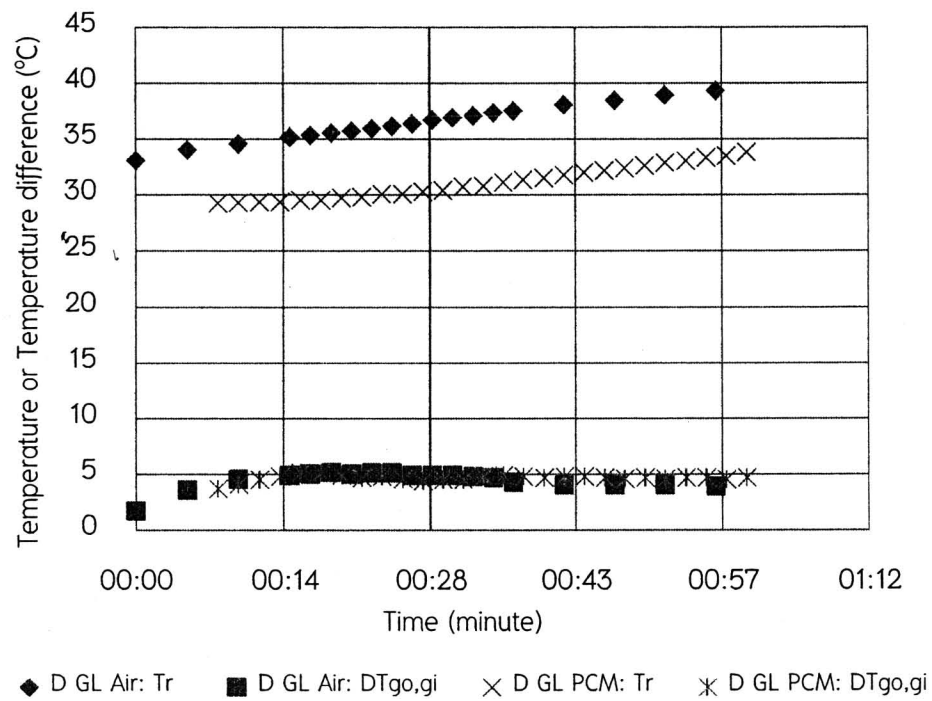
ชั้นแบบมีแก๊สอาร์กอนเป็นฉนวน ณ ความเข้มแสง 663 W/m²



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสอง

ชั้นแบบมีแก๊สอาร์กอนเป็นฉนวน ณ ความเข้มแสง 756 W/m²

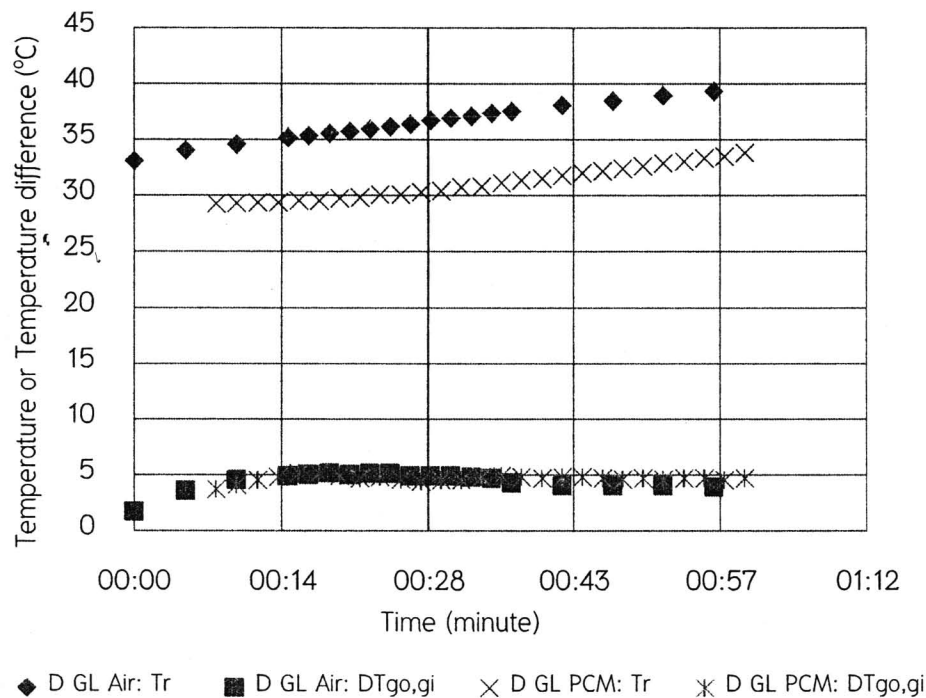
กักเก็บได้เพียงความร้อนสัมผัส อันเป็นเหตุให้สูญเสียความสามารถในการกักเก็บความร้อนในรูปความร้อนแฝงซึ่งมีค่าสูงกว่ามากด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้ salt hydrate เพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ถึงแม้จะมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวสูงก็ตาม ด้วยเหตุผลทางเทคนิคที่กล่าวไปแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในขณะทดสอบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบไม่มีและแบบมีสารเปลี่ยนสถานะ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 750 W/m^2

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเทคนิคการใช้งานของสารเปลี่ยนสถานะประเภท salt hydrate ได้นำมาประกอบการพิจารณาเลือกสารเปลี่ยนสถานะชนิด paraffin ที่นอกจากมีสมบัติที่เหมาะสมทั้งช่วงของอุณหภูมิหลอมเหลว และค่าเอนทัลปีของการเปลี่ยนเฟส ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตลอดกระบวนการเปลี่ยนสถานะ ความคงที่ของสมบัติทางกายภาพเป็นข้อ

กักเก็บได้เพียงความร้อนสัมผัส อันเป็นเหตุให้สูญเสียความสามารถในการกักเก็บความร้อนในรูปความร้อนแฝงซึ่งมีค่าสูงกว่ามากด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้ salt hydrate เพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ถึงแม้จะมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวสูงก็ตาม ด้วยเหตุผลทางเทคนิคที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

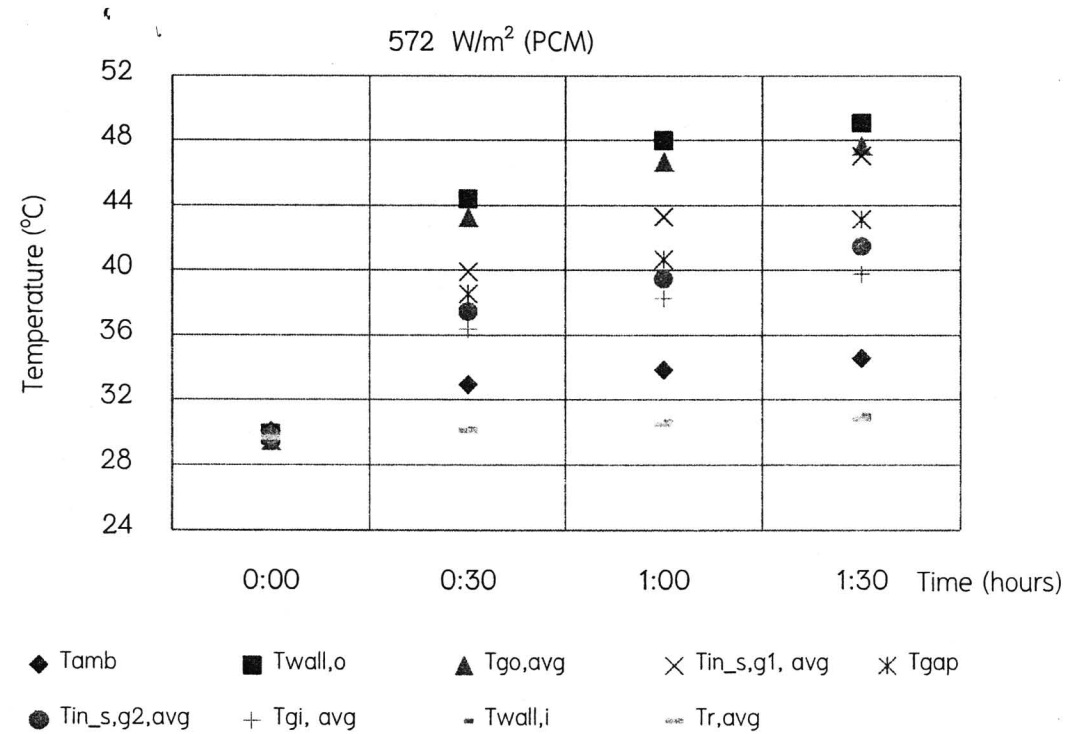


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในขณะทดสอบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบไม่มีและแบบมีสารเปลี่ยนสถานะ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 750 W/m^2

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเทคนิคการใช้งานของสารเปลี่ยนสถานะประเภท salt hydrate ได้นำมาประกอบการพิจารณาเลือกสารเปลี่ยนสถานะชนิด paraffin ที่นอกจากมีสมบัติที่เหมาะสมทั้งช่วงของอุณหภูมิหลอมเหลว และค่าเอนทาลปีของการเปลี่ยนเฟส ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตลอดกระบวนการเปลี่ยนสถานะ ความคงที่ของสมบัติทางกายภาพเป็นข้อ

สำคัญและประโยชน์ต่อการใช้งานจริง อีกทั้งความโปร่งแสงเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะทำให้สามารถใช้งานกับหน้าต่างกระจกโดยคงสภาวะการมองเห็นภายนอกดังเดิม

ระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะชนิด paraffin ของบริษัท Rubitherm RT42 ทำงานร่วมด้วยถูกทดสอบด้วยระบบแสงจำลองที่ค่าความเข้มแสง 572 W/m² 663 W/m² และ 756 W/m² ดังมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกแสดงในรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 ผลการทดสอบถูกนำมาวิเคราะห์ในช่วงที่สารเปลี่ยนจากสถานะเดิมของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมดที่ความเข้มแสง 756 W/m² ภายในช่วงเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที



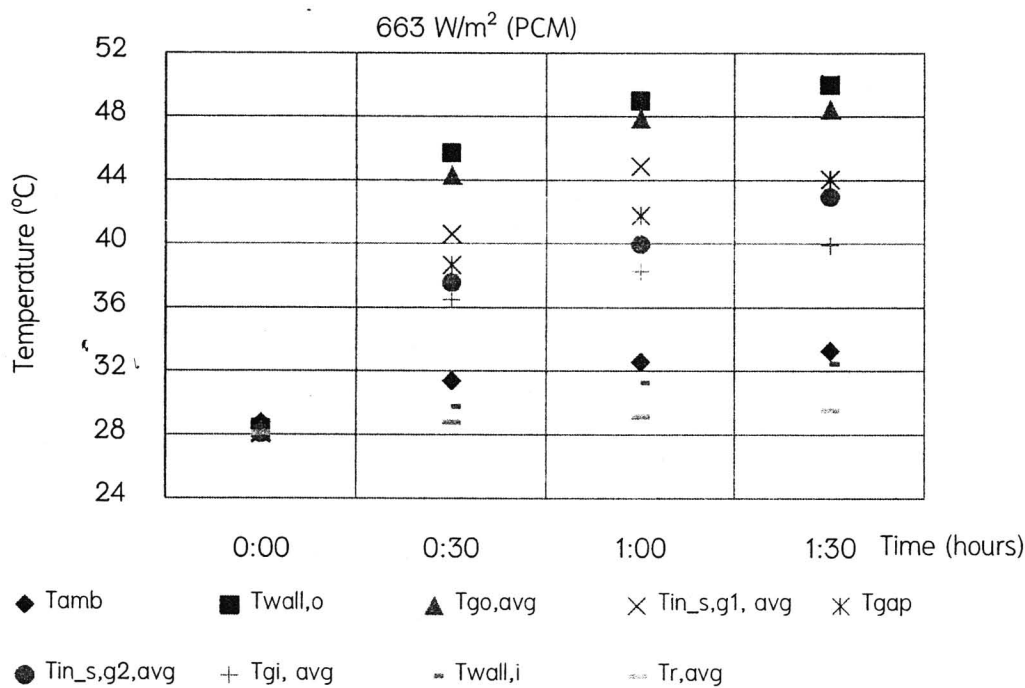
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะ RT 42 ทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 572 W/m²

การถ่ายเทความร้อนเมื่อแสงจำลองตกกระทบบนผิวกระจกหน้าต่างด้านนอกผ่านสารเปลี่ยนสถานะ RT 42 และกระจกแผ่นในเข้ามายังภายในห้องสามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากภายนอกเข้าไปภายในห้องทดสอบและอุณหภูมิในระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะ RT 42 ทำงานร่วม ผลการทดสอบภายใต้แสงจำลอง ณ ความเข้มแสง

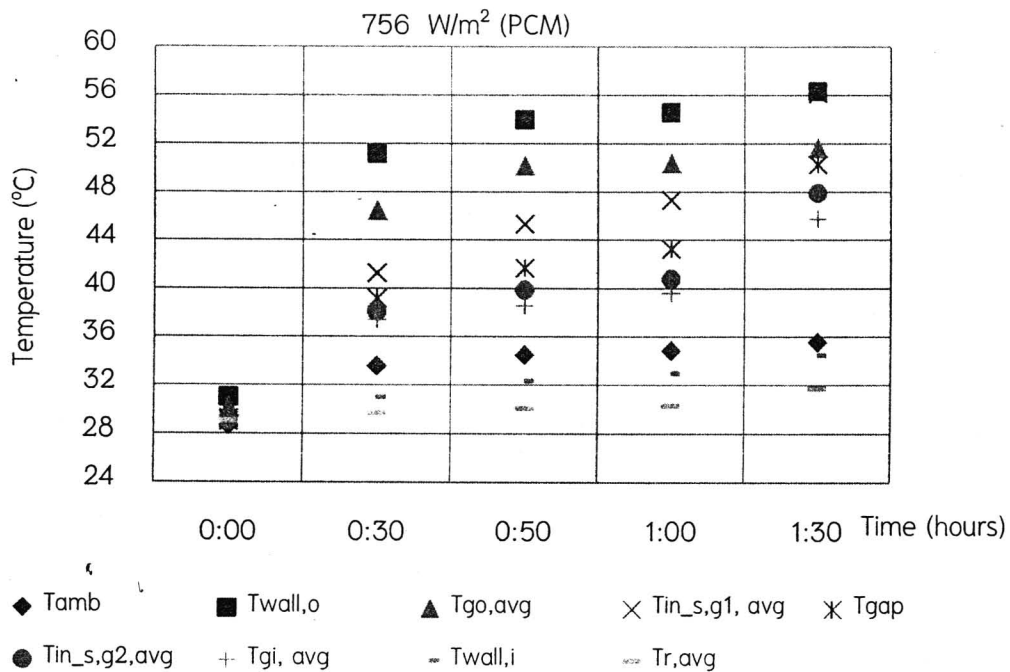
572 W/m² แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าสารเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงถึงจุดหลอมเหลวจึงเริ่มเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวจากบริเวณที่สัมผัสกระจกแผ่นนอกเข้าด้านในและจากขอบบนของกรอบกระจกลงมาเมื่อเวลาทดสอบผ่านไป 40 นาที อุณหภูมิภายในระหว่างแผ่นกระจก (Tgap) มีค่ามากกว่า 40 °C อุณหภูมิผิวกระจกแผ่นนอกด้านใน (Tin_s,g1,avg) เพิ่มขึ้นตามและแสดงถึงสารเปลี่ยนสถานะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิสูงสุดเมื่อสารเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ส่งไปยังสารถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะของกระบวนการหลอมเหลวซึ่งในรูปของความร้อนแฝง เป็นผลให้มีอุณหภูมิผิวกระจกแผ่นนอกด้านในสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวด้านนอกของกระจกแผ่นนอก (Tgo,avg) เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 30 นาที นอกจากนั้นจะเห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง (Tr,avg) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดช่วงเวลาดังกล่าวเนื่องจากความสามารถในการป้องกันความร้อนของหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะ อย่างไรก็ตามสารเปลี่ยนสถานะ RT42 ยังคงมีส่วนที่เป็นของแข็งอยู่ทางครึ่งล่างของหน้าต่างกระจกที่สามารถรับความร้อนได้ต่อไปอีกประมาณครึ่งชั่วโมงจึงหลอมเหลวหมด

ผลการทดสอบเมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มแสงเป็น 663 W/m² และ 756 W/m² ต่างแสดงพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องทำนองเดียวกันกับที่ค่าความเข้มแสงก่อนหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 เมื่อเพิ่มค่าความเข้มแสงการเปลี่ยนสถานะของสารจากของแข็งเป็นของเหลวเกิดในระยะเวลาที่สั้นลง อีกทั้งเห็นผลการดูดซับความร้อนไว้ที่สารเปลี่ยนสถานะได้ดีขึ้นโดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกด้านนอก (Tgo,avg) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของผนังส่วนที่ได้รับแสง (Twall,o) ทั้งนี้ความร้อนที่ส่งผ่านกระจกถูกกักเก็บไว้ที่สารเปลี่ยนสถานะนั่นเอง อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อช่วงเวลาถึง 1 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของผิวกระจกด้านในเริ่มมีความแตกต่างจากผิวกระจกด้านนอกลดลงกว่าช่วงเวลาก่อนหน้าอันเป็นผลเนื่องจากความสามารถในการกักเก็บความร้อนลดลงเมื่อสารเปลี่ยนสถานะอยู่ในสถานะของเหลวทั้งหมด ช่วงเวลาดังกล่าวจึงถือว่าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมใช้งานระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีการทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะ และใน

สภาวะของความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันช่วงเวลาดังกล่าวถือว่ามีความ
สอดคล้องต่อการใช้งานในสภาวะธรรมชาติจริง



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสอง
ชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะ RT 42 ทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 663 W/m²



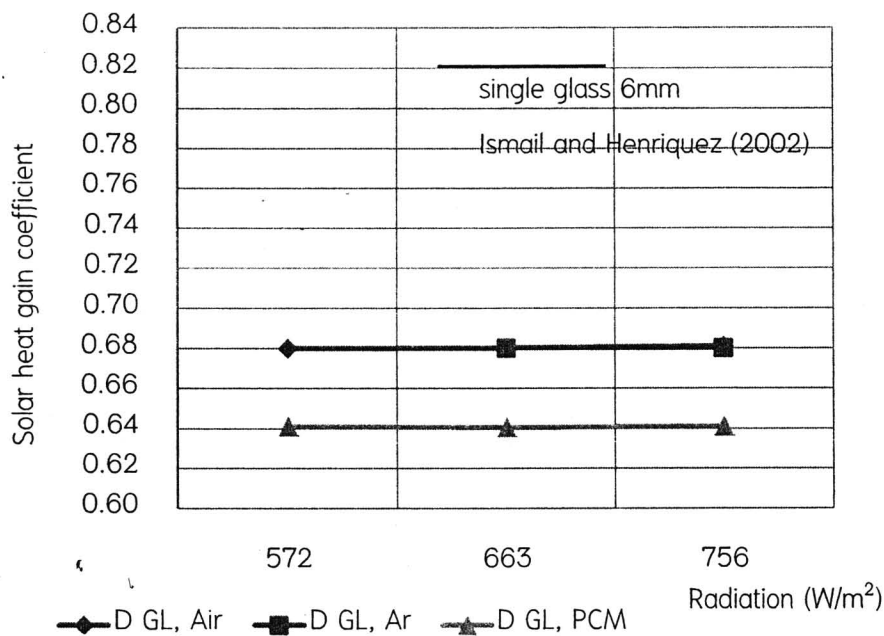
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลาระหว่างทดสอบระบบหน้าต่างกระจกสอง

ชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะ RT 42 ทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 756 W/m²

4.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะ

เปรียบเทียบกับระบบที่มีสารเปลี่ยนสถานะ

สัมประสิทธิ์ความร้อนจากแสงอาทิตย์คำนวณจากสมการ (2.29) สมบัติกระจกสองชั้นที่มีอากาศอยู่ระหว่างแผ่นกระจกหนา 6 mm อ้างอิงจาก พรพรรณ (พ.ศ. 2546) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านแสงรวมของหน้าต่างกระจกสองชั้น สำหรับระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะทำงานร่วมด้วย อ้างอิงสมบัติทางแสงจาก Ismail และ Henriquez (1998) ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากแสงอาทิตย์ของระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีค่าต่ำกว่าแบบที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะ และต่ำกว่าหน้าต่างกระจกชั้นเดียวมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.10

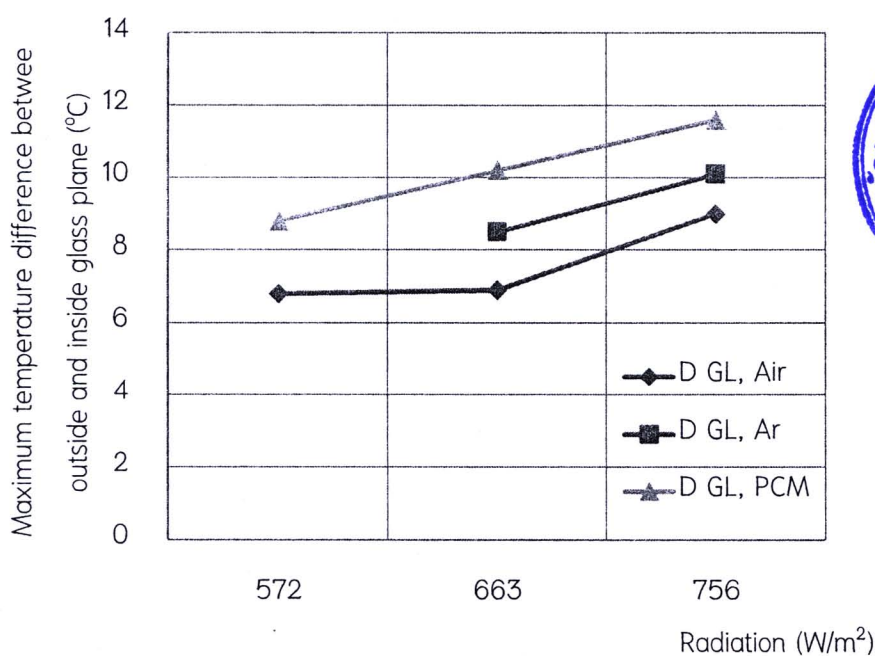


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์ระหว่างระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบมีอากาศ แก๊สอาร์กอน และสารเปลี่ยนสถานะพาราฟินทำงานร่วม ณ

ความเข้มแสง 572 W/m² 663 W/m² และ 756 W/m²

โดยค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์แสดงถึงสัดส่วนของแสงที่ส่งผ่านเข้าไปยังภายในห้องซึ่งประกอบด้วยรังสีที่ส่งผ่านโดยตรงและถูกดูดซับไว้ด้วยสภาวะแวดล้อมภายใน และรังสีที่ถูกดูดซับไว้ด้วยระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นจากนั้นถ่ายโอนความร้อนผ่านเข้าไปยังภายในห้อง ดังนั้นค่าดังกล่าวยิ่งต่ำยิ่งดีเนื่องจากแสดงถึงปริมาณการส่งผ่านของแสงที่ลดลง พบว่าระบบที่มีสารเปลี่ยนสถานะมีความสามารถในการลดความร้อนส่งผ่านได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะประมาณ 5.8 % ที่เงื่อนไขชนิดกระจก ความหนา และขนาดช่องระหว่างแผ่นกระจกที่เท่ากัน สำหรับกระจกที่มีความหนาขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนแสงอาทิตย์จะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากค่าการส่งผ่านแสงลดลง ทั้งนี้กระจกหน้าต่างขนาดหนา 6 mm ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ พบมีการใช้งานทั่วไปในระบบหน้าต่างกระจกสองชั้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงระบบเดิมให้ทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

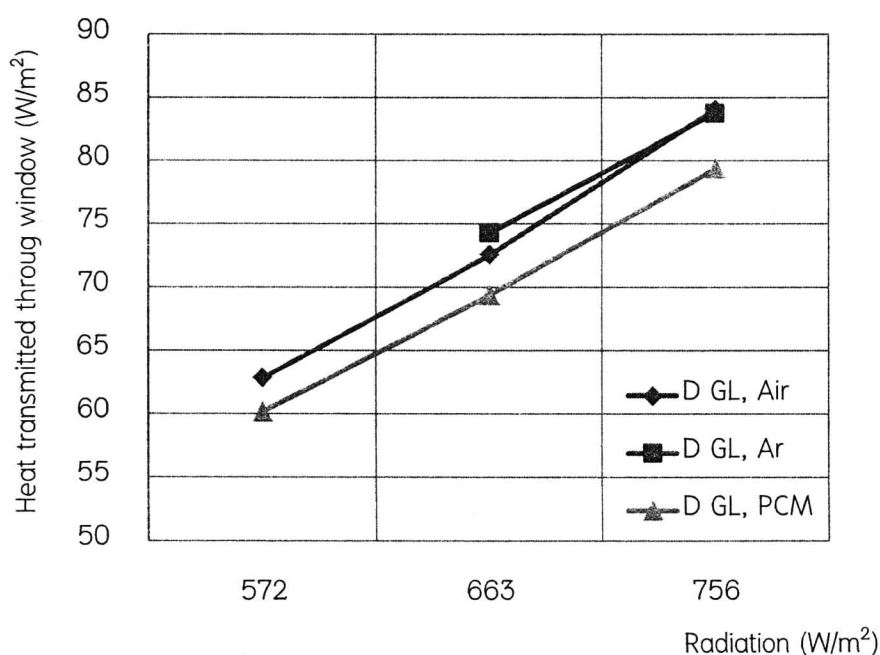
ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกแผ่นนอกและแผ่นในของระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยคือ ระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีสารเปลี่ยนสถานะ (D GL, PCM) รองลงมาคือระบบที่มีแก๊สอาร์กอน (D GL, Ar) และท้ายสุดคือระบบที่มีอากาศเป็นฉนวนคั่นกลางแผ่นกระจกทั้งสอง (D GL, Air) ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวแปรผันตามความเข้มแสงโดยมีค่ามากขึ้นตามความเข้มแสง สำหรับระบบที่มีสารเปลี่ยนสถานะทำงานร่วมด้วย ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดระหว่างผิวกระจกด้านนอกและด้านในมีค่าเท่ากับ 8.8°C ที่ความเข้มแสง 572 W/m^2 10.2°C ที่ความเข้มแสง 663 W/m^2 และ 11.6°C ที่ความเข้มแสง 756 W/m^2 โดยพบว่าที่ความเข้มแสง 756 W/m^2 มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดระหว่างผิวกระจกแผ่นนอกและแผ่นในของระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นมากกว่าที่ความเข้มแสง 572 W/m^2 ประมาณ 24 %



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดระหว่างผิวกระจกด้านนอกและด้านใน

ระหว่างระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบมีอากาศ แก๊สอาร์กอน และสารเปลี่ยนสถานะพาราฟินทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 572 W/m^2 663 W/m^2 และ 756 W/m^2

ผลการคำนวณค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านหน้าต่างกระจกสองชั้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ พบว่าหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีค่าต่ำกว่าแบบอื่นอย่างชัดเจน และสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมา ที่ความเข้มแสงมากค่าความร้อนที่ส่งผ่านมีค่ามากตาม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับห้องทดสอบ เป็นที่แน่ชัดว่าความเข้มแสงยิ่งสูงยิ่งมีระดับพลังงานความร้อนสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงพบว่าที่ระดับความเข้มแสง 756 W/m^2 มีค่าความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารมากกว่าที่ 663 W/m^2 และ 572 W/m^2 ตามลำดับ โดยระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีค่าการส่งผ่านความร้อนต่ำกว่าระบบที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะประมาณ 5.6 % ที่ค่าความเข้มแสง 756 W/m^2



รูปที่ 4.12 ความร้อนถ่ายเทผ่านหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีอากาศ แก๊สอาร์กอน และแบบที่มีสารเปลี่ยนสถานะพาราฟินทำงานร่วม ณ ความเข้มแสง 572 W/m^2 663 W/m^2 และ 756 W/m^2

จากผลการทดสอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นบ่งชี้ว่าระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีการทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีความสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีกว่าแบบที่ไม่มีสารเปลี่ยนสถานะคือมีอากาศหรือแก๊สอาร์กอนอยู่ระหว่างกลางแผ่นกระจกทั้งสอง ขณะได้รับแสงแดดตั้งฉากกับระนาบกระจก มีความเป็นไปได้ที่ระบบหน้าต่างจะป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีขึ้นเมื่อความหนาของกระจกเพิ่มขึ้น หรือการใช้กระจกลดการเปล่งรังสี อย่างไรก็ตามมีข้อควรพิจารณาอยู่ที่ยังไม่สามารถเก็บความร้อนในรูปความร้อนแฝงนั้นอยู่ช่วงที่สารจากสถานะของแข็งเปลี่ยนเป็นของเหลว หากว่าเกินช่วงเวลานี้จะไม่เป็นผลดีเนื่องจากค่านำความร้อนของสารในสถานะของเหลวสูงกว่าอากาศหรือ แก๊สเฉื่อยดังแก๊สอาร์กอนที่บรรจุในหน้าต่าง อาจส่งผลให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในได้เร็วขึ้น โดยลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกแผ่นนอกและแผ่นใน ด้วยเหตุนี้การใช้งานสารเปลี่ยนสถานะร่วมกับหน้าต่างกระจกสองชั้นควรมีการออกแบบอย่างรอบคอบ คำนึงถึงปัจจัยการคายความร้อนออกจากสารเปลี่ยนสถานะ เพื่อให้ทำงานในช่วงที่ความเข้มแสงสูงและถ่ายเทความร้อนออกในช่วงเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำลง ประกอบกับการพิจารณาถึงค่าความร้อนแฝงการหลอมเหลวของสารควรมีค่าสูงเพื่อให้ผลการทำงานที่ดี

4.4 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารลงจากระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบธรรมดา 5.6 % หมายถึงการลดภาระการทำทำความเย็นลงได้ 5.6 % เปรียบเทียบต่อหน่วยพลังงาน พิจารณาลำหรับระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นแบบธรรมดา ที่ค่าภาระเครื่องปรับอากาศหนึ่งตันความเย็นหรือ 1.62 kW ระยะทำงานรวม 70 เปอร์เซนต์ 8 ชั่วโมงต่อวัน กำหนดทำงานยกเว้นวันเสาร์และอาทิตย์ดังนั้นใน

หนึ่งปีมีการทำงานทั้งสิ้น 260 วัน จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2329.6 ($1.6 \times 260 \times 8 \times 0.7$) kWh คิดอัตราค่าไฟฟ้าคงที่ที่ 3 บาทต่อหน่วย ดังนั้นระบบนี้ต้องจ่ายค่าไฟเท่ากับ 6988 บาทต่อปี ขณะที่ระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่า จึงมีภาระทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 1.51 kW ต้องการพลังงานไฟฟ้า 2199.1 kWh/year และต้องจ่ายค่าไฟเท่ากับ 6597 บาท/ปี ขณะที่ระบบนี้มีค่าใช้จ่ายในส่วนของการเปลี่ยนสถานะเมื่อคิดเฉพาะต้นทุนไม่คิดค่าขนส่งและค่าบริการอื่น 1660 บาท

‘ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายทำได้โดยหาอัตราค่าใช้จ่ายต่อผลประโยชน์ที่ได้รับในที่นี้ได้แก่ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้จากระบบปรับอากาศ สำหรับค่าใช้จ่ายคือส่วนที่เพิ่มจากระบบเดิม พบว่าสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 4 ปี แต่หากเปรียบเทียบกับหน้าต่างกระจกชั้นเดียวพบว่าสามารถคืนทุนได้ด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่า เนื่องจากการคำนวณด้วยเงื่อนไขเดียวกันกับที่ใช้ในการทดสอบเมื่อได้รับรังสีตรงตลอดเวลา การคำนวณภายใต้สภาวะรับความร้อนสูงตลอดเวลาทำให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสูงเกินควร ถึงกระนั้นก็ตามผลการคำนวณนี้แสดงให้เห็นว่าระบบหน้าต่างกระจกสองชั้นทำงานร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งานจริง