ผลการประหยัดพลังงานในอาคารจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

Energy Saving of Experimental Houses from Using High Solar Reflective Paint

ชลากร เชาวนพานิช, ทสพล เขตเจนการ, วิชุดา เมตตานันท และ พีรณัฐ ประคัลภวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

*ดัดแปลงจากบทความที่นำเสนอใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (ME-NETT 34) วันที่ 16-17 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 โรงแรมวรวนา หัวหิน โฮเต็ลแอนด์คอนเวนชั่น จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการใช้สีทาภายนอกที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนกันอย่างแพร่หลาย โดยอ้างว่าสามารถลดความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารและสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของบ้านได้สูงมาก งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนเทียบกับสีธรรมดาทั่วไป โดยสีที่ใช้เป็นสีโทนน้ำตาลเข้ม งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานด้วยการสร้างห้องทดสอบสองห้อง ห้องทดสอบแรกทาสีสะท้อนความร้อน ห้องทดสอบที่สองทาสีทั่วไป โดยห้องทดสอบมีขนาด กว้าง 4.00 เมตร ยาว 6.00 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24.00 ตารางเมตร โดยสถานที่ทดลองอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย จากข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน 2562 ซึ่งตรงกับฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทย พบว่า สีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผิวผนังภายนอกได้สูงสุดถึง 8.1°C และสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 32.73% จากการลดภาระการปรับอากาศจากความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ลดลง ผลจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus ให้ผลการประหยัดพลังงาน 32.69% ซึ่งสอดคล้องกับผลตรวจวัดจริง

คำหลัก: *สีสะท้อนความร้อน, การลดการใช้พลังงาน, การจำลองการใช้พลังงาน*

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการโฆษณาสีที่ใช้ทาผนังภายนอกที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน ที่สามารถสะท้อนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เป็นผลให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง และเป็นการลดภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศ

กรอบอาคารจะดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์ความร้อนผ่านกรอบอาคารเป็นภาระการปรับอากาศอากาศสูงถึง 57% ถือได้ว่าเป็นภาระหลักของระบบปรับอากาศ [1] สำหรับประเทศเขตร้อน การใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนส่วนใหญ่ใช้ไปกับเครื่องปรับอากาศ โดยคิดเป็น 56% จากการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด [2] ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายงานที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับสีสะท้อนความร้อน

การศึกษาสีทาภายนอกที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนโดยการสร้างบ้านจำลองในเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน พบว่า ประสิทธิภาพการสะท้อนความร้อนจะขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้ง ฤดูกาล และทิศของอาคาร โดยสีสะท้อนความร้อนแต่ละชนิดสามารถลดอุณหภูมิของผนังภายนอกและผนังภายในได้แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ 4.7°C ถึง 20.0°C [3] การศึกษาในเมืองหางโจว ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบอุ่นชื้น ได้มีการทดลองสร้างกล่องแล้วทาสีที่มีความสามารถในการสะท้อนความร้อน พบว่า สีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอกได้ 8.0°C ถึง 10.0°C [4] งานทดลองสีสะท้อนความร้อนในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ในเมืองหนานชาง มนฑลเจียงซู ประเทศจีน ซึ่งมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ได้ทำการสร้างบ้านทดลองที่กั้นผนังแบ่งเป็นสองฝั่ง ห้องหนึ่งทาสีสะท้อนความร้อน ส่วนอีกห้องหนึ่งไม่มีการทาสี พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในระหว่างห้องที่ทาสีสะท้อนความร้อนกับห้องที่ไม่มีการทาสีมีค่า 4.32°C [5]

อีกการทดลองหนึ่งเป็นการนำแผ่นคอนกรีตมาทาสีกันความร้อนชนิดต่างๆ ที่วางขายทั่วไป สถานที่ทดลองอยู่ที่เมืองเอเธนส์ ประเทศกรีซ สภาพภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน พบว่า สีสะท้อนความร้อนลดอุณหภูมิช่วงฤดูร้อนได้สูงสุด 4.0°C ในช่วงเวลากลางวัน และลดได้ 2.0°C ในช่วงเวลากลางคืน [6] มีการศึกษาการเติมฉนวนแบบแร่เข้าไปในสีทาผนังในประเทศอิหร่าน งานทดลองนี้เป็นการศึกษาสีสะท้อนความร้อนโดยใช้โปรแกรมจำลองการไหลของของไหลเพื่อดูการกระจายตัวของความร้อนและอุณหภูมิผนังโดยใช้โปรแกรม Fluent จากการจำลองพบว่า สามารถลดอุณหภูมิที่ผนังได้ถึง 4.5°C และช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 17.0% [7] งานทดลองสีสะท้อนความร้อนในสาธารณรัฐโดมินิกันที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น ทดลองโดยการสร้างกำแพงอิฐแล้วทาสีสะท้อนความร้อนที่มีคุณสมบัติต่างกันเพื่อดูอุณหภูมิพื้นผิว พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้ 4.4°C บนผนังทิศตะวันออก และลดอุณภูมิได้สูงสุด 7.8°C ในทิศตะวันตก [8] ในการทดลองสีสะท้อนความร้อนที่จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย ผู้ทดลองได้ทำการสร้างกล่อง และมีการทาสีที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนกับสีทั่วไป พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของทั้งสองกล่องมีความต่างกันสูงสุด 7.0°C [9] การทดลองสีสะท้อนความร้อนอีกงานหนึ่งในประเทศไทยได้มีการสร้างอาคารจำลอง 2 หลัง แล้วทาสีที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนหลังหนึ่ง อีกหลังหนึ่งทาสีที่มีคุณสมบัติทั่วไป พบว่าในอาคารที่มีการทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิภายในแตกต่างกับอาคารที่ทาสีทั่วไปอยู่ที่ 4.0°C อีกทั้งยังสามารถช่วยประหยัดไฟฟ้าได้ 7.0% [10]

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการสร้างห้องทดสอบสองห้องที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ห้องที่หนึ่งทาสีที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน ห้องที่สองทาสีคุณสมบัติทั่วไป โดยสีทั้งสองชนิดที่ทาเป็นสีน้ำตาลเข้ม เพื่อดูคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน เนื่องจากเป็นที่รู้กันโดยทั่วไปว่าสีโทนเข้มจะมีคุณสมบัติในการดูดความร้อนมากกว่าสีโทนอ่อน โดยจะมีการตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอกและผนังภายใน รวมทั้งตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งอยู่ในห้องทดสอบทั้งสองเพื่อพิจารณาผลการประหยัดพลังงาน

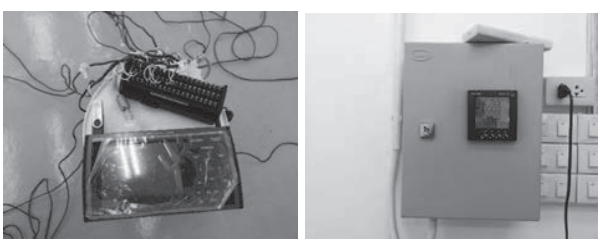
2. วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างห้องทดสอบ 2 ห้องที่เหมือนกันทุกประการ โดยมีขนาดกว้าง 4.00 เมตร ยาว 6.00 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24.00 ตารางเมตร ดังรูปที่ 1 ผนังของห้องทดสอบเป็นแผ่นยิปซั่มซึ่งมีความหนา 6 มิลลิเมตรสองแผ่น โดยมีช่องว่างอากาศ 9 มิลลิเมตรคั่นอยู่ สีที่ใช้ในการทดสอบเป็นโทนสีน้ำตาลเข้มซึ่งทราบกันโดยทั่วไปว่าสีเข้มดูดซับความร้อนมากกว่าสีอ่อน โดยห้องที่หนึ่งใช้สีโทนน้ำตาลเข้มที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน ส่วนอีกห้องทาสีโทนน้ำตาลเข้มปกติ ภายในแต่ละห้องจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อตรวจวัดการใช้พลังงานในการกำจัดภาระความร้อน ห้องทดสอบอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ โดยช่วงเวลาในการทดสอบจะเป็นเวลา 09:00 น. ถึง 19:00 น. ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน โดยมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังภายนอก อุณหภูมิผนังภายใน และข้อมูลการใช้พลังงานของห้องทดสอบทั้งสองเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

รูปที่ 1 ห้องทดสอบ

2.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองจะมีการตรวจวัดอุณหภูมิ โดยจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ ±2.2°C และอุปกรณ์การเก็บข้อมูล คือ Graphtec Midi Logger 820 ซึ่งความแม่นยำอยู่ที่ ±0.05°C และมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Kepler โมเดล KP-835 ความแม่นยำของการวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 0.5% 0.5% และ 1.0% ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นความคลาดเคลื่อนของการวัดพลังงานไฟฟ้า 1.2% อุปกรณ์การเก็บข้อมูลและการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าของห้องทดลองแสดงดังรูปที่ 2



(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) อุปกรณ์เก็บข้อมูล และ(ข) มิเตอร์ไฟฟ้า

2.2 สีที่ใช้ในการทดลอง

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาดังแสดงในตารางที่ 1 จะพบว่า สีที่ใช้ในการทดสอบสีสะท้อนความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวหรือสีโทนอ่อน แต่ในงานทดลองครั้งนี้ สีที่ใช้ในการทดสอบตั้งใจเลือกใช้สีน้ำตาลเข้ม เพื่อทดสอบให้เห็นถึงคุณสมบัติของการสะท้อนความร้อน ที่ถึงแม้ว่าจะเป็นโทนเข้มที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าดูดซับความร้อนสูงก็ยังสามารถสะท้อนความร้อน ลดอุณหภูมิภายในพื้นที่ และยังช่วยประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้ โดยคุณสมบัติของสีทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 2

2.3 การจำลองการใช้พลังงาน

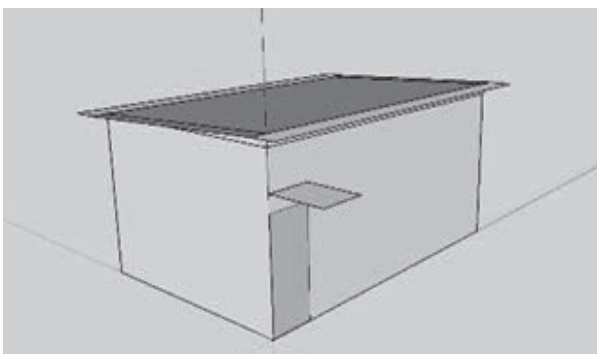
ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของห้องที่ใช้ในการทดลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์อยู่ในช่วง 2% ถึง 7% [11-17] โดยสำหรับการจำลองการใช้พลังงานเพื่อต้องการจะดูผลประหยัดจากการทาสีชนิดต่างๆ การปรับแก้ค่าคุณสมบัติผนังให้เป็นไปตามสีที่ใช้ทานั้นเป็นการทำที่ไม่สมควร ควรใช้การเพิ่มชั้นของสีเป็นวัสดุอีกชั้นหนึ่ง โดยวัสดุนั้นจะอยู่ในหมวดของวัสดุไม่มีมวล (No mass materials) แล้วจึงปรับแก้ค่าของวัสดุไม่มีมวลให้เป็นค่าของสีที่ต้องการจำลอง [15] โดยจะสร้างโครงสร้างห้องทดลองด้วยโปรแกรม SketchUp ตามที่แสดงในรูปที่ 3 เมื่อสร้างโครงสร้างสำเร็จแล้วจะนำโครงสร้างเข้าสู่โปรแกรม OpenStudio เพื่อทำการใส่ค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของบ้านประกอบไปด้วย เพดาน หลังคา และประตู รวมไปถึงเครื่องปรับอากาศและตารางเวลาการทำงานเพื่อจำลองการใช้พลังงานของห้องทดสอบ เมื่อใส่องค์ประกอบต่างๆ เสร็จแล้วจึงวิเคราะห์พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับสีสะท้อนความร้อน

Research	Country	Outside Surface Temperature Reduction	Seasons	Color
Synnefa et al. (2006) [6]	Greece	4.0°C	Hot	White, black, and silver grey
Shen et al. (2011) [3]	China	4.7°C	Hot and cold	Light blue
Guo et al. (2012) [4]	China	10.0°C	Hot and cold	White
Chauyosburana et al. (2013) [10]	Thailand	4.0°C	N/A	White
Chauiyakul. (2013) [9]	Thailand	5.0°C	Hot, rain, and cold	White and grey
Azemati et al. (2013) [7]	Iran	4.5°C	N/A	Ceramic coating
Xing-guo et al. (2017) [5]	China	4.3°C	Hot and cold	N/A
Puesan et al. (2017) [8]	Dominican	7.8°C	N/A	White

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสีสะท้อนความร้อนและสีทั่วไป

Paint product	Solar Reflectance (%)		
	UV	Visible	Infrared
High solar reflective paint	8.3	14.6	60.0
Conventional paint	8.0	13.5	12.7



รูปที่ 3 แบบจำลองของห้องทดลอง

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

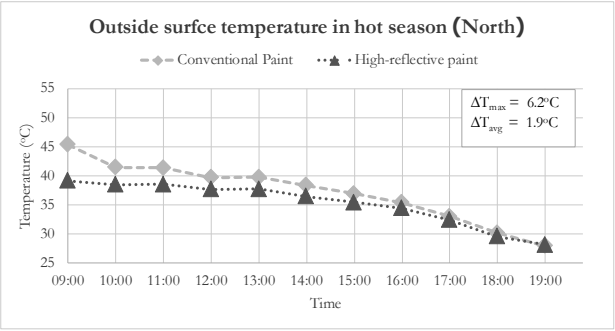
3.1 ผลการลดอุณหภูมิผิวผนังภายนอกและภายใน

จากการทดลองพบว่า สีทาผนังภายนอกที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนมีผลต่ออุณหภูมิผนังภายนอกและอุณหภูมิภายในห้อง

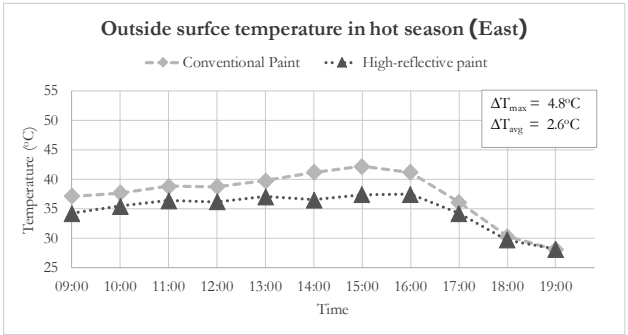
รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบในช่วงเดือนมีนาคมถึงช่วงต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ที่เป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทดสอบทั้งสองห้อง โดยมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 6.2°C และมีค่าเฉลี่ย 2.2°C ส่วนรูปที่ 5 เป็นผลการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดสอบ โดยมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 3.7°C และมีค่าเฉลี่ย 2.0°C ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิของผนังภายนอกลดลงเป็นผลมาจากสีสะท้อนความร้อนมีการนำเทคโนโลยีไมโครสเฟียร์เซรามิกซึ่งจะเป็นอนุภาคกลมกลวงแข็งแกร่งและภายในเป็นสุญญากาศมาใช้ในการสะท้อนความร้อน ส่วนการที่อุณหภูมิผิวผนังภายในลดลงเป็นผลสืบเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกลดลง

ผลการทดลองในช่วงปลายเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝนของประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 6 และ 7 รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทั้งสอง โดยมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิสูงสุด 8.1°C และมีค่าเฉลี่ย 3.5°C ส่วนรูปที่ 7 เป็นผลของอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดสอบ โดยมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิอยู่ที่ 4.3°C และมีค่าเฉลี่ย 2.5°C

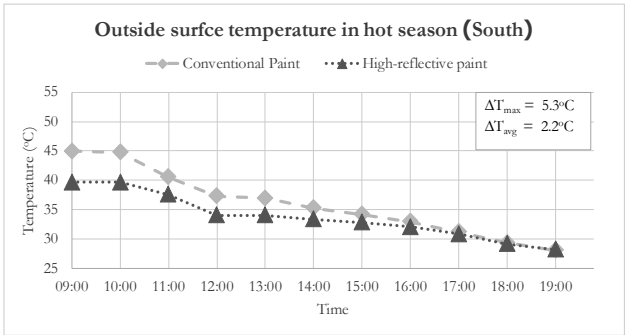
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิผนังภายนอกและภายในที่ลดลงได้ของงานนี้ พบว่า มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่รายงานว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังได้ 2°C ถึง 20°C



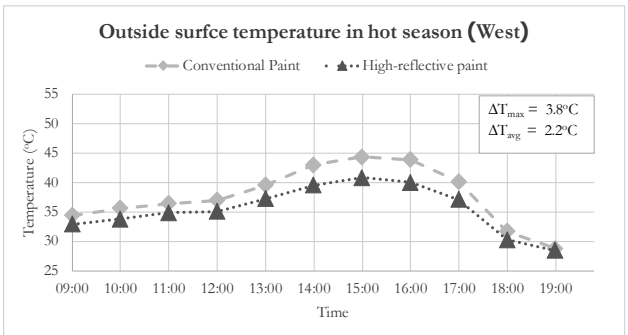
(ก) ทิศเหนือ



(ข) ทิศตะวันออก

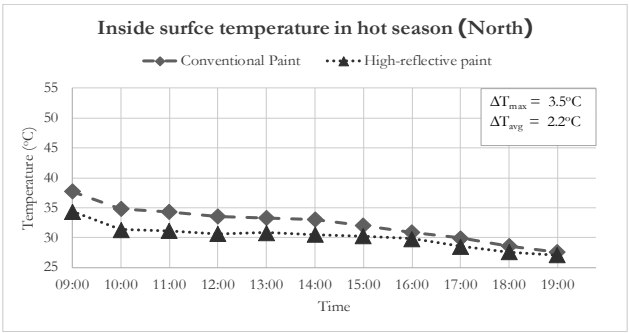


(ค) ทิศใต้

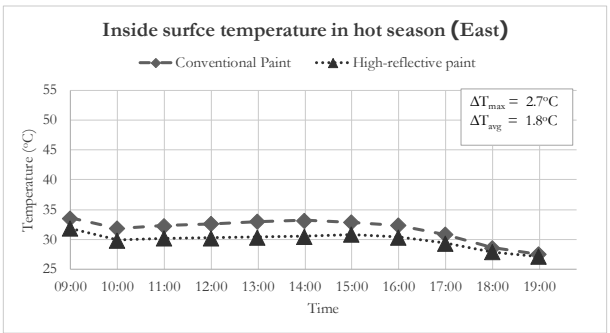


(ง) ทิศตะวันตก

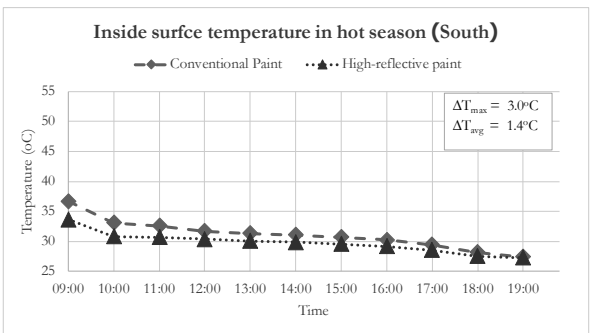
รูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวผนังภายนอกห้องทดสอบทั้งสองห้องในฤดูร้อน (มีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



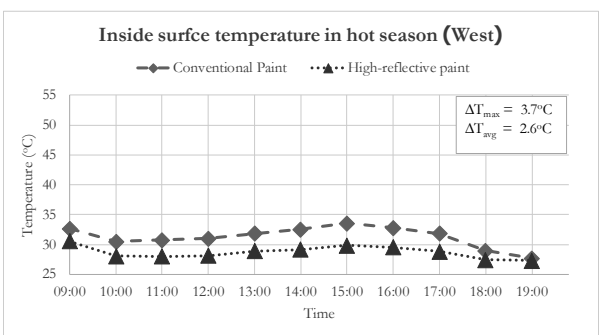
(ก) ทิศเหนือ



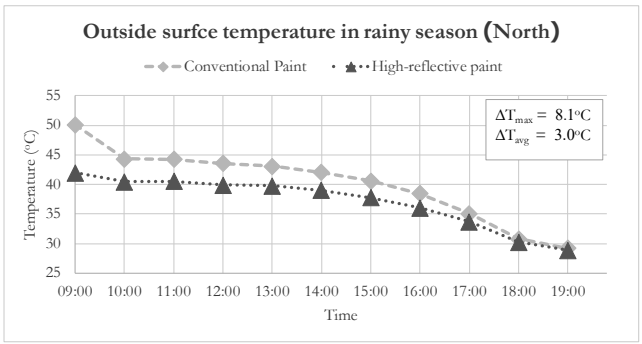
(ข) ทิศตะวันออก



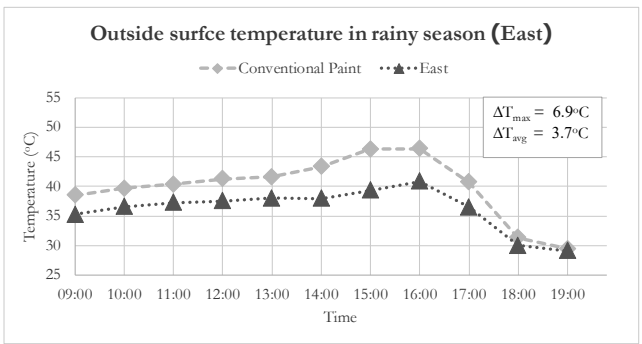
(ค) ทิศใต้



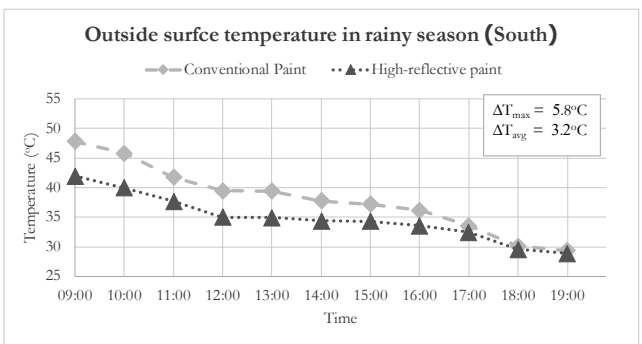
(ง) ทิศตะวันตก



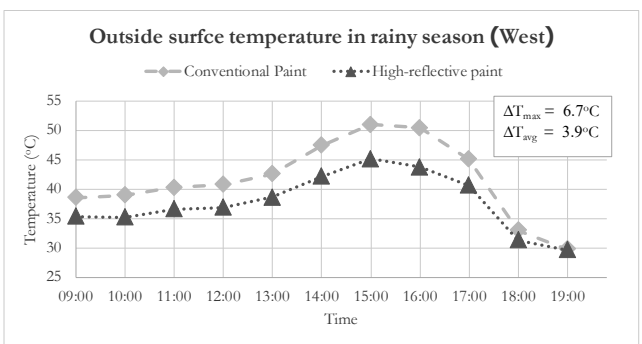
(ก) ทิศเหนือ



(ข) ทิศตะวันออก



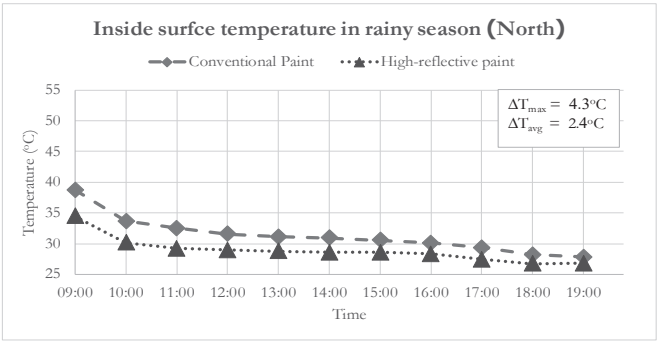
(ค) ทิศใต้



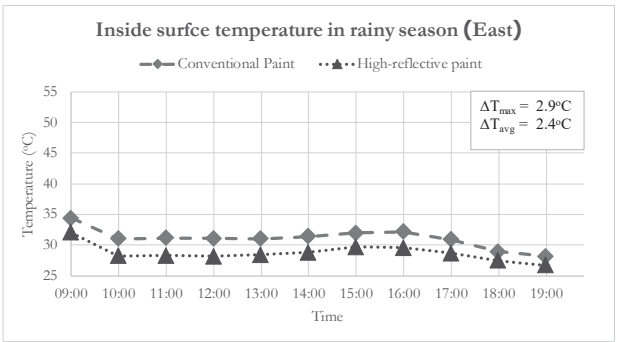
(ง) ทิศตะวันตก

รูปที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวผนังภายในห้องทดสอบทั้งสองห้องในฤดูร้อน (มีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

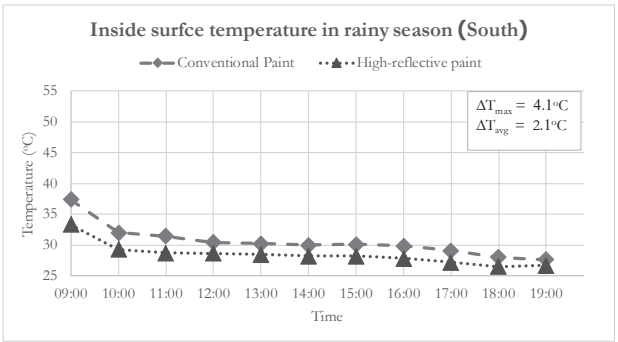
รูปที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวผนังภายนอกห้องทดสอบทั้งสองห้องในฤดูฝน (พฤษภาคม - กันยายน พ.ศ. 2562)



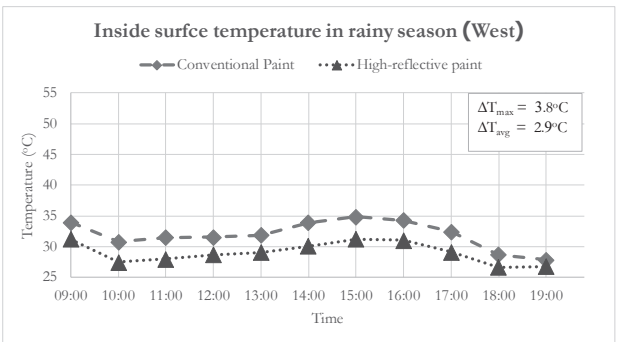
(ก) ทิศเหนือ



(ข) ทิศตะวันออก



(ค) ทิศใต้

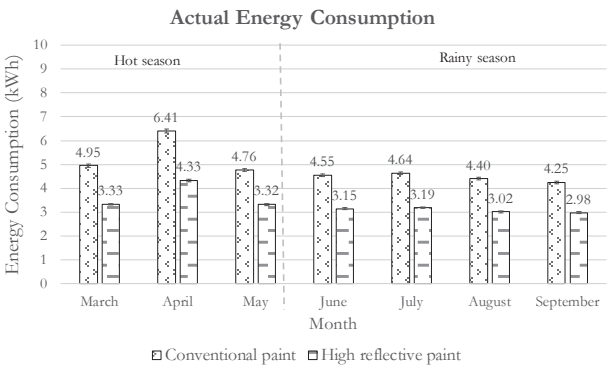


(ง) ทิศตะวันตก

รูปที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวผนังภายในห้องทดสอบทั้งสองห้องในฤดูฝน (พฤษภาคม - กันยายน พ.ศ. 2562)

3.2 ผลการประหยัดพลังงานจากการทาสีสะท้อนความร้อน

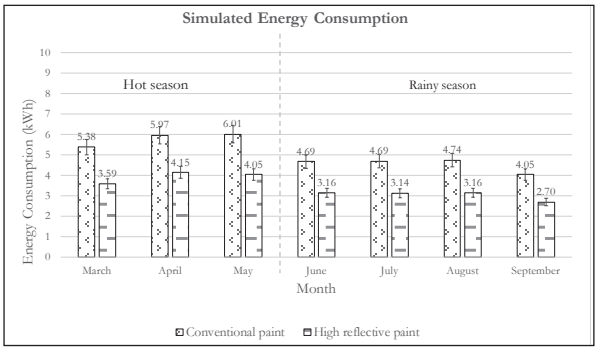
การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของห้องทดสอบทั้งสอง ได้มีการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9:00 ถึง 19:00 น. ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 โดยการตรวจวัดจะวัดเดือนละ 7 วัน พบว่า นอกจากสีสะท้อนความร้อนจะช่วยลดอุณหภูมิของผนังภายนอกและภายในได้แล้ว ยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด 32.73% และเฉลี่ยโดยรวม 31.24% โดยการใช้พลังงานในแต่ละเดือนแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่รายงานว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานได้ 7.0% ถึง 17.0% แล้ว แสดงว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถผลิตให้มีศักยภาพสูงขึ้นได้อีกมากพอสมควร



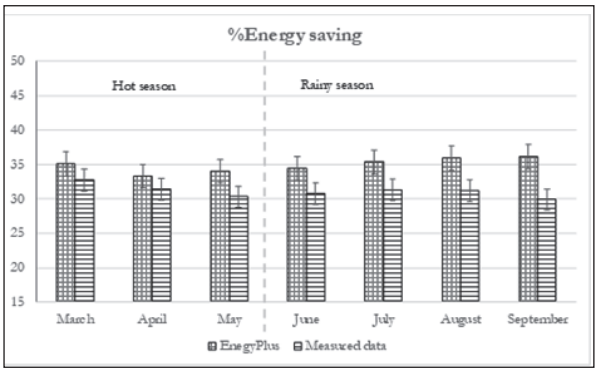
รูปที่ 8 การใช้พลังงานของห้องทดสอบทั้งสองจากการตรวจวัดจริง

การจำลองการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของห้องทั้งสองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ได้ทำการจำลองโดยใช้สภาพอากาศจริงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน เพื่อให้ตรงกับช่วงที่มีการตรวจวัดค่าจริง พบว่า การทาสีสะท้อนความร้อนสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้ถึง 32.69% โดยการใช้พลังงานในแต่ละ

เดือนจะแสดงในรูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการตรวจวัดจริงและการใช้โปรแกรมแบบจำลองแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าส่วนใหญ่มีค่าต่างกันไม่เกินช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้



รูปที่ 9 การใช้พลังงานของห้องทดสอบทั้งสองจากการจำลองการใช้พลังงานด้วย EnergyPlus



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบผลประหยัดจากการจำลองการใช้พลังงานกับการตรวจวัดจริง

4. สรุป

การทดลองในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า สีทาผนังภายนอกที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิภายนอกได้สูงสุด 8.1°C และลดได้เฉลี่ย 2.9°C ส่วนอุณหภูมิผนังภายในสามารถลดได้สูงสุด 4.3°C และลดได้เฉลี่ย 2.3°C ซึ่งผลลัพธ์ของงานนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังได้ 2°C ถึง 20°C

นอกจากนั้นแล้ว สีสะท้อนความร้อนยังสามารถช่วยประหยัดไฟฟ้าได้สูงสุด 32.73% และประหยัดไฟฟ้าเฉลี่ย 31.24% จากการตรวจวัดจริง ซึ่งสูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมาพอสมควร อย่างไรก็ตาม ผลจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus ยืนยันผลการประหยัดพลังงานไปในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัดจริง

สิ่งที่จะทำในงานวิจัยต่อไป คือ การตรวจวัดค่าความร้อนผ่านผนังของห้องทดสอบทั้งสอง และการคำนวณความคุ้มทุนในการใช้สีสะท้อนความร้อน นอกจากนั้นแล้ว งานวิจัยนี้ครอบคลุมเวลาใช้งานเฉพาะช่วงกลางวันเท่านั้น (ซึ่งเป็นความประสงค์ของบริษัทผู้สนับสนุนงานวิจัย) รวมทั้งระบบผนังและหลังคาของห้องยังเป็นวัสดุเบา จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาวิจัยให้ครอบคลุมเวลาใช้งานในช่วงกลางคืน และตลอด 24 ชั่วโมงต่อไป รวมไปถึงการสร้างห้องทดสอบที่ใช้วัสดุผนังและหลังคาชนิดอื่น เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังคอนกรีต ผนังอิฐมวลเบา ฯลฯ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากการหน่วงความร้อนเนื่องจากมวลอุณหภาพของผนังและหลังคา

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Chirarattananon, S. (2005). *Building for Energy Efficiency,* Pathum Thani, Thailand: EPPO and AIT, ch. 2, sec. 2.5, pp. 20.

[2] Katili, A.R., Bonkhanouf, R. and Wilson, R. (2015). Space cooling in buildings in hot and humid climates - A review of the effect of humidity on the applicability of existing cooling techniques, in *the 14th International Conference on Sustainable Energy Technologies,* Nottingham, UK.

[3] Shen, H., Tan, H.W. and Tzempelikos, A. (2011). The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption - An experimental study, *Energy and Buildings,* vol. 43(2-3), February-March 2011, pp. 573-580.

[4] Guo, W., Qiao, X., Huang, Y., Fang, M. and Han, X. (2012). Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone, *Energy and Buildings,* vol. 50, July 2012, pp. 196-203.

[5] Guo, X.G., Wang, J., Wu, Y., Ao, Y.Q. and Liu, X.W. (2017). Experimental study of the thermal performance of a new type of building reflective coating in hot summer and cold winter zone of China, *Procedia Engineering,* vol. 205, October 2017, pp. 603-608.

[6] Synnefa, A., Santamouris, M. and Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment, *Solar Energy,* vol. 80(8), August 2006, pp. 968-681.

[7] Azemati, A.A., Hadavand, B.S., Hosseini, H. and Tajarrod, A.S. (2013). Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving, *Energy and Buildings,* vol. 56, January 2013, pp. 109-114.

[8] Puesan C.P. and Mestre, J.Z. (2017). Technical evaluation of an improved paint coating with NIR pigments designed to reduce discomfort caused by incident solar radiation: Application in the Caribbean area, *Energy Procedia,* vol. 115, June 2017, pp. 463-479.

[9] Chaiyakul, Y. (2013). Paint and heat reduction in buildings, *Built Environment Inquiry Journal,* vol. 12, pp. 112-118.

[10] Chaiyosburana, W., Rahwichian, W., Vaivudh, S. and Ketjoy, N. (2013). Optimizing high solar reflective paint to reduce heat gain in building, *International Journal of Renewable Energy,* vol. 1(1), January 2013, pp. 15-23.

[11] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M. and Griffith, B.T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Building and Environment,* vol. 43(4), April 2008, pp. 661-673.

[12] Department of Energy, U.S. (2019). *EnergyPlus Licensing,* URL: https://energyplus.net, accessed on 29/10/2019.

[13] Shabunko, V., Lim, C.M. and Mathew, S. (2018). EnergyPlus models for the bench-marking of residential buildings in Brunei Darussalam, *Energy and Buildings,* vol. 169, June 2018, pp. 507-516.

[14] Zhou, X., Hong, T.Z. and Yan, D. (2014). Comparison of HVAC system modeling in EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E, ***Building Simulation,*** vol. 7(1), February 2014, pp. 21-33.

[15] Katejanekarn, T., Jaruyanon, P., Mettanant, V., Chomchuen, P. and Kesornthong, P. (2007). The study of energy saving in a school building by using a computer simulation program, in ***the 21st Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Pattaya, Chonburi, Thailand.***

[16] Chomchuen, P. and Kesornthong, P. (2007). ***A Study of Energy Saving in a School Building by Using a Computer Simulation Program,*** B.Eng. Senior Project, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand.

[17] Feng, H. and Hewage, K. (2014). Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings, ***Energy and Buildings,*** vol. 75, June 2014, pp. 281-289.

[18] University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory (2018). ***EnergyPlus™ Documentation, Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output,*** pp. 78.

[19] Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University and Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand (2009). ***Typical Meteorological Datasets for Solar and Energy Conservation Applications in Thailand,*** Research Project Final Report.