



ผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน



โดย

นายชลากร เขาวนพานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# ENERGY CONSUMPTION REDUCTION BY HIGH SOLAR REFLECTIVE PAINT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)  
Department of MECHANICAL ENGINEERING  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2020  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	ผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน
โดย	ชลากร เขาวนพานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา เมตตานันท)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล )



61406201 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : สีสะท้อนความร้อน, การลดการใช้พลังงาน, การสร้างแบบจำลองพลังงาน, การลด  
อุณหภูมิผนัง, การตรวจวัดจริง

นาย ชลากร เขาวนพานิช: ผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความ  
ร้อน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ

ปัจจุบันได้มีการใช้สีทาภายนอกที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนกันอย่างแพร่หลาย โดยอ้างว่าสามารถลดความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารและสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของบ้านได้สูงมาก งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนเทียบกับสีธรรมดาทั่วไป โดยสีที่ใช้เป็นสีโทนน้ำตาลเข้ม งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานด้วยการสร้างห้องทดสอบสองห้อง ห้องทดสอบแรกทาสีสะท้อนความร้อน ห้องทดสอบที่สองทาสีทั่วไป โดยห้องทดสอบมีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร โดยสถานที่ทดลองอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย จากข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน 2562 ซึ่งตรงกับฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทย พบว่า สีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอกได้สูงสุดถึง 8.1°C และสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 31.24% จากการลดภาระการปรับอากาศจากความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ลดลง ผลจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus ให้ผลการประหยัดพลังงาน 32.69% ซึ่งสอดคล้องกับผลตรวจวัดจริง



61406201 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : High solar reflective paint, Surface temperature reduction, Energy saving, Actual measurement, Energy simulation

MR. CHALAKORN CHAOWANAPANIT : ENERGY CONSUMPTION REDUCTION BY HIGH SOLAR REFLECTIVE PAINT THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR THOSAPON KATEJANEKARN, Ph.D.

High solar reflective paint has been widely used nowadays. It is claimed that it can substantially reduce heat gain through building envelope and energy consumption of houses. This study investigated energy saving from using high solar reflective paint compared with conventional paint. The chosen color tone was dark brown. Actual energy consumption was measured from two houses. One house was painted with high solar reflective paint. The other one was painted with conventional paint. Both houses were identical: 4 m wide x 6 m long x 3.16 m high with 24 m<sup>2</sup> floor area. The houses were located in Samut Prakan, Thailand. From actual measurements during March and September 2019 which were in the hot and rainy seasons of Thailand, it was found that high solar reflective paint could reduce exterior surface temperature by as high as 8.1°C and save energy by 31.24% from decreasing cooling load due to less heat gain through the envelope. The energy simulation using the EnergyPlus software showed 32.69% saving which agreed well with the actual results.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำรวบรวม ไปถึงการถ่ายทอดประสบการณ์และความรู้ที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งสามารถนำความรู้มาใช้ในการทำเล่ม วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความครบถ้วนและสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท เบเยอร์ จำกัด ในการสร้างห้องทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ร่วมไป ถึงการแบ่งปันข้อมูลต่างๆ ในการทำเล่มวิทยานิพนธ์เป็นผลให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยา ศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการแบ่งปันข้อมูลส่งผลให้งานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่คอยสนับสนุน ส่งเสริมและคอยเป็นกำลังใจให้ และคอยสร้างแรงบันดาลใจทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาและงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน รุ่นน้อง ที่ร่วมเรียนศึกษามาด้วยกัน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจซึ่ง กันและกันจนสามารถทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแก่พระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและอบรมสั่งสอน แนะนำให้การสนับสนุนและกำลังใจ อย่างดียิ่งเสมอมา



ชลากร เขาวนพานิช

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การใช้พลังงานภายในอาคารของประเทศไทย.....	6
2.2 ภาวะของระบบปรับอากาศ [15].....	7
2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร [13].....	10
2.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ [16].....	11
2.5 สีสะท้อนความร้อน.....	12
2.6 โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงาน EnergyPlus.....	14
2.7 การคำนวณสมดุลความร้อนภายในโปรแกรม EnergyPlus [24].....	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26



3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	26
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย .....	27
3.3	ห้องทดลองทั้งสองห้อง .....	29
3.4	ขั้นตอนการทดลอง .....	31
3.5	แบบจำลองของห้องทดลองเพื่อการจำลองการใช้พลังงาน .....	33
3.6	แบบจำลองทางพลังงาน .....	33
3.7	แผนการดำเนินงาน .....	35
	แผนการวิจัยผลประหยัดจากการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	36
3.8	การวิเคราะห์และสรุปผลวิจัย .....	37
บทที่ 4	ผลการวิจัย .....	38
4.1	การตรวจวัดจริง .....	38
4.1.1	อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน .....	38
4.1.2	อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูร้อน .....	40
4.1.3	อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน .....	42
4.1.4	อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน .....	43
4.1.5	ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน .....	45
4.1.6	ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนพฤษภาคม .....	46
4.2	การสร้างแบบจำลองทางพลังงาน .....	48
4.2.1	อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน .....	48
4.2.2	อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูร้อน .....	50
4.2.3	อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน .....	51
4.2.4	อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน .....	53
4.2.5	ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน .....	55
4.2.6	ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนพฤษภาคม .....	56

4.2.7 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลอง .....	57
4.3 การเปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน .....	58
4.4 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานรายปี.....	59
4.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม .....	59
4.5.1 การคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคาร.....	59
4.5.2 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสี่.....	60
4.5.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน .....	61
4.5.2.2 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูร้อน .....	63
4.5.2.3 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน .....	65
4.5.2.4 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน .....	66
4.5.2.4 พลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี่ .....	68
4.5.2.4.1 พลักซ์ความร้อนช่วงเดือนเมษายน .....	68
4.5.2.4.2 พลักซ์ความร้อนช่วงเดือนพฤษภาคม .....	69
4.5.2.5 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี่ .....	70
4.5.2.5.1 การคำนวณหาความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือ .....	72
4.5.3 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยห้องทดสอบทำจากผนังมวลหนัก .....	76
4.5.4 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษากรณีห้องทดสอบไม่ทาสีและทาสีโทนอ่อน.....	77
4.5.4.1 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษาผนังมวลเบา.....	78
4.5.4.2 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษาผนังมวลหนัก .....	79
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	81
5.1 การลดอุณหภูมิผนังจากการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	81
5.2 การลดพลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	82
5.3 การลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจากการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	82
5.4 ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปี.....	83

5.5	กรณีศึกษาเพิ่มเติม .....	83
5.5.1	การคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคาร.....	83
5.5.2	การสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี.....	83
5.5.2.1	คำนวณความร้อนแบบหนึ่งมิติ.....	83
5.5.3	ผนังมวลหนักกับการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	83
5.5.4	ห้องทดลองผนังมวลเบากรณีไม่ทำสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนเข้ม .....	84
5.5.5	ห้องทดลองผนังมวลเบากรณีไม่ทำสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนอ่อน .....	84
5.5.6	ห้องทดลองผนังมวลหนักกรณีไม่ทำสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนเข้ม.....	84
5.5.7	ห้องทดลองผนังมวลหนักกรณีไม่ทำสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนอ่อน .....	85
5.5.8	ผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน .....	85
5.6	ข้อเสนอแนะ .....	85
5.6.1	วัสดุกรอบอาคาร.....	85
5.6.2	การวางตำแหน่งของห้องทดลอง .....	85
5.6.3	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	85
ภาคผนวก.....		87
ภาคผนวก ก	ตารางแสดงอุณหภูมิผนังภายนอกจากการตรวจวัดจริง.....	87
ภาคผนวก ข	ตารางแสดงอุณหภูมิผนังภายในจากการตรวจวัดจริง .....	91
ภาคผนวก ค	ตารางแสดงฟลักซ์ความร้อน.....	95
ภาคผนวก ง	ตารางแสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ.....	99
ภาคผนวก จ	ตารางแสดงผลคำนวณฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยวิธีการ CLTD.....	102
รายการอ้างอิง .....		106
ประวัติผู้เขียน.....		110

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา .....	2
ตารางที่ 2.1 กลุ่มของวัสดุกรอบอาคาร [15] .....	8
ตารางที่ 2.2 ค่า CLTD สำหรับวัสดุในกลุ่ม G.....	9
ตารางที่ 2.3 ค่า LM สำหรับการคำนวณ CLTD ในแต่ละเดือน .....	10
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของสี่สะท้อนความร้อนและสีทั่วไปโทนเข้มที่ใช้ในงานวิจัย [18].....	14
ตารางที่ 2.5 คำอธิบายตัวแปรสำหรับการคำนวณผลรวมฟลักซ์รังสี.....	21
ตารางที่ 2.6 งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต.....	25
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความผลการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน .....	58
ตารางที่ 4.2 การจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสีและไม่แยกชั้นสี .....	72
ตารางที่ 4.3 วัสดุในการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบไม่แยกชั้นสี .....	73
ตารางที่ 4.4 วัสดุในการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบแยกชั้นสี .....	75



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานภายในอาคารสำหรับประเทศเขตร้อน [2] .....	1
รูปที่ 2.1 การใช้พลังงานของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 [13].....	6
รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ [13].....	11
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงคลื่นแม่เหล็กของรังสีดวงอาทิตย์ .....	11
รูปที่ 2.4 ความแตกต่างระหว่างหลังคาทาสีอ่อนกับหลังคาทาสีเข้ม [17] .....	12
รูปที่ 2.5 รังสีดวงอาทิตย์ [17].....	13
รูปที่ 2.6 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีสะท้อนความร้อน [17].....	13
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์สีทั่วไปกับสีสะท้อนความร้อน [17].....	14
รูปที่ 2.8 ส่วนการทำงานหลักภายในโปรแกรม EnergyPlus [18].....	15
รูปที่ 2.9 การคำนวณแบบส่งข้อมูลกลับไปกลับมาของ EnergyPlus.....	17
รูปที่ 2.10 การคำนวณความร้อนผ่านผนังโดยโปรแกรม EnergyPlus [23].....	18
รูปที่ 3.1 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค.....	28
รูปที่ 3.2 เซนเซอร์วัดฟลักซ์ความร้อน.....	28
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล Graphtec Midi Logger 820 .....	28
รูปที่ 3.4 มิเตอร์ไฟฟ้า Kepler โมเดล KP-835 .....	29
รูปที่ 3.5 ผนังของห้องทดลองทั้งสองห้อง.....	30
รูปที่ 3.6 ห้องทดลองทั้งสองห้อง.....	30
รูปที่ 3.7 แบบจำลองของห้องทดลองโดยโปรแกรม SkecthUp .....	33
รูปที่ 3.8 คุณสมบัติสีของห้องทดลองทาสีทั่วไปที่กรอกเข้าไปโปรแกรม OpenStudio.....	34
รูปที่ 3.9 คุณสมบัติสีห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนที่กรอกเข้าไปในโปรแกรม OpenStudio ...	34
รูปที่ 3.10 การใช้งานห้องทดลองที่ทำการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio .....	34

รูปที่ 3.11 การตั้งค่าอุณหภูมิภายในของห้องทดลองในโปรแกรม OpenStudio .....	35
รูปที่ 3.12 การเลือกใช้ระบบปรับอากาศสำหรับห้องทดลองในโปรแกรม OpenStudio .....	35
รูปที่ 3.13 รูปแบบของโปรแกรม EnergyPlus .....	35
รูปที่ 3.14 แผนการดำเนินงาน .....	36
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	39
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	39
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	39
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	40
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	40
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	41
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	41
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	41
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	42
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	42
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ.2562) .....	43

รูปที่ 4.12 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ.2562).....	43
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	44
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	44
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	44
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562) .....	45
รูปที่ 4.17 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563.....	45
รูปที่ 4.18 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 .....	46
รูปที่ 4.19 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการตรวจวัดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563. 46	
รูปที่ 4.20 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการตรวจวัดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563.....	47
รูปที่ 4.21 การใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันของเครื่องปรับอากาศของทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดในช่วงมีนาคม – กันยายน พ.ศ. 2562.....	47
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	48
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	49
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	49
รูปที่ 4.25 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	49







รูปที่ 4.40	พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 .....	56
รูปที่ 4.41	พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 .....	56
รูปที่ 4.42	การใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันของเครื่องปรับอากาศของทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงมีนาคม – กันยายน พ.ศ. 2562.....	57
รูปที่ 4.43	การใช้พลังงานของห้องทั้งสองห้องแบบรายปีจากแบบจำลอง.....	59
รูปที่ 4.44	พลั๊กซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการคำนวณมือ.....	60
รูปที่ 4.45	คำแนะนำในการสร้างแบบจำลองทางพลังงานสำหรับผนังทาสีที่แนะนำว่าไม่จำเป็นต้องแยกสีออกมาเป็นชั้นวัสดุต่างหาก (1) [30] .....	61
รูปที่ 4.46	คำแนะนำในการสร้างแบบจำลองทางพลังงานสำหรับผนังทาสีที่แนะนำว่าไม่จำเป็นต้องแยกสีออกมาเป็นชั้นวัสดุต่างหาก (2) [31] .....	61
รูปที่ 4.47	อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	62
รูปที่ 4.48	อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	62
รูปที่ 4.49	อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	62
รูปที่ 4.50	อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	63
รูปที่ 4.51	อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	63
รูปที่ 4.52	อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	64
รูปที่ 4.53	อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562) .....	64

รูปที่ 4.54 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562).....	64
รูปที่ 4.55 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	65
รูปที่ 4.56 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	65
รูปที่ 4.57 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	66
รูปที่ 4.58 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	66
รูปที่ 4.59 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	67
รูปที่ 4.60 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	67
รูปที่ 4.61 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	67
รูปที่ 4.62 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562).....	68
รูปที่ 4.63 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนเมษายน พ.ศ. 2563.....	69
รูปที่ 4.64 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนเมษายน พ.ศ. 2563.....	69
รูปที่ 4.65 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563.....	70
รูปที่ 4.66 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563.....	70
รูปที่ 4.67 การใช้พลังงานของห้องทั้งสองรายปีจากการสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี.....	71

รูปที่ 4.68 กรอบอาคารแบบไม่แยกชั้นสี่ ..... 73

รูปที่ 4.69 พลักซ์ความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารจากการคำนวณมือแบบไม่แยกชั้นสี่ ..... 74

รูปที่ 4.70 กรอบอาคารแบบแยกชั้นสี่ ..... 74

รูปที่ 4.71 พลักซ์ความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารจากการคำนวณมือแบบแยกชั้นสี่ ..... 75

รูปที่ 4.72 ชั้นวัสดุกรอบอาคารของห้องทดสอบที่ทำจากผนังมวลหนัก ..... 76

รูปที่ 4.73 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเมื่อใช้วัสดุผนังเป็นแบบก่ออิฐฉาบปูน ..... 77

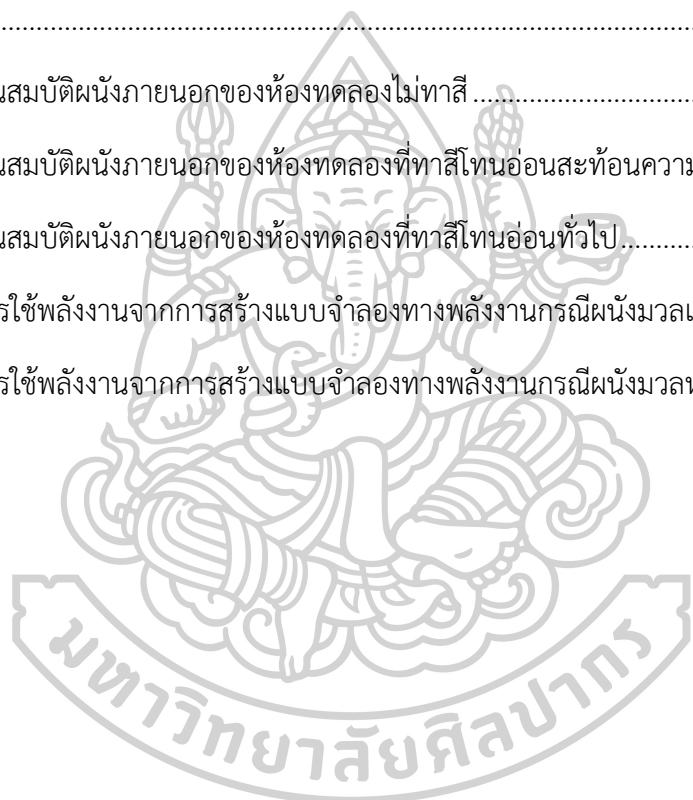
รูปที่ 4.74 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองไม่ทาสี ..... 77

รูปที่ 4.75 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน ..... 78

รูปที่ 4.76 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีโทนอ่อนทั่วไป ..... 78

รูปที่ 4.77 การใช้พลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานกรณีผนังมวลเบา ..... 78

รูปที่ 4.78 การใช้พลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานกรณีผนังมวลหนัก ..... 80



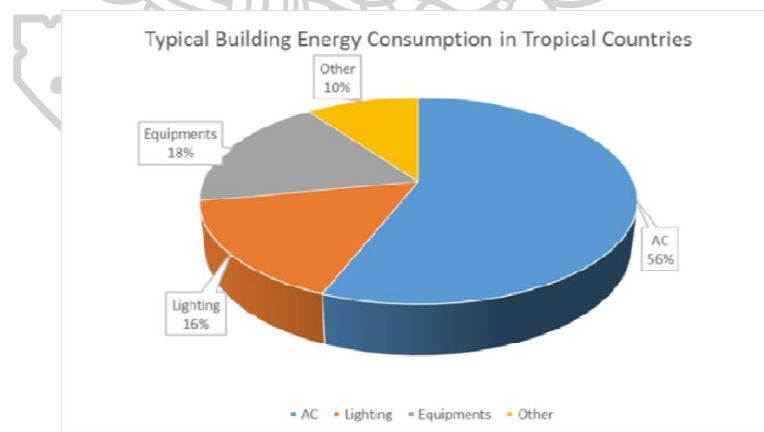
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันตลาดสีทาผนังภายนอกมีการขายสีชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยสีสะท้อนความร้อนถูกกล่าวอ้างว่าสามารถลดความร้อนจากการแผ่รังสีที่มาจากกระทบบนพื้นผิวอาคารทำให้ สามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอก ส่งผลให้สามารถลดภาระการปรับอากาศจากเครื่องปรับอากาศได้ เนื่องจากภาระปรับอากาศจากกรอบอาคารที่ดูดซับความร้อนจากรังสีอาทิตย์คิดเป็นภาระการปรับอากาศอยู่ที่ 57% จากภาระการปรับอากาศทั้งหมด [1]

การสำรวจการใช้พลังงานภายในอาคารทั่วโลก พบว่าอาคารต่างๆ มีการใช้พลังงานหมดไปกับระบบปรับอากาศอยู่ที่ 40% และสำหรับประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นพบว่าการใช้พลังงานภายในอาคารส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับระบบปรับอากาศถึง 56% ดังรูปที่ 1.1 เพื่อใช้ในการทำความเข้าใจถึงความความเย็นให้กับพื้นที่ และมีการคาดการณ์ว่าประเทศที่อยู่ในบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโน้มการใช้พลังงานกับระบบปรับอากาศสำหรับการทำความเย็นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยในประเทศมาเลเซียมีการรายงานถึงการใช้พลังงานภายในประเทศถูกใช้ไปกับอาคารถึง 19% จากพลังงานทั้งหมดของประเทศ [2-4]



รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานภายในอาคารสำหรับประเทศเขตร้อน [2]

หลากหลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาสีสะท้อนความร้อนเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิพื้นผิวจากการทาสีสะท้อนความร้อน งานวิจัยในเมืองเชียงใหม่ ประเทศจีน ได้ทำการศึกษาสีสะท้อนความร้อนโดยการสร้างกล่องเพื่อจำลองเป็นอาคาร จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของสีสะท้อนความร้อนขึ้นอยู่กับสถานที่ ฤดูกาล และการวางแนวของอาคาร สีสะท้อนความร้อนของแต่ละผู้ผลิตจะ

ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ยอยู่ที่ 4.7°C [5] ภูมิประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ที่เมืองฮางโจว ประเทศจีน ในงานวิจัยพบว่าการทำฮีสท่อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของกล่องทดสอบได้ประมาณ 8.0°C ถึง 10.0°C [6] เมืองหนานฉาง ประเทศจีน มีงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองโดยการสร้างห้องจำลอง โดยแบ่งเป็นห้อง ห้องที่หนึ่งทำฮีสท่อนความร้อน อีกห้องหนึ่งทำฮีทั่วไป พบว่าห้องทำฮีสท่อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังห้องต่ำกว่าห้องทำฮีทั่วไป อยู่ที่ 3°C [7] นักวิจัยในเมืองเอเธนส์ ประเทศกรีซ ทำการทดลองโดยใช้แผ่นคอนกรีตทำฮีสท่อนความร้อนที่มีขายตามท้องตลาด จากการทดลองพบว่าตอนกลางวันสามารถลดอุณหภูมิได้ 4.0°C [8] ในประเทศอิหร่านได้มีการศึกษาเกี่ยวกับฮีสท่อนความร้อนโดยฮีสท่อนความร้อนมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบ ในการศึกษาได้ใช้โปรแกรมจำลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิผนัง จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมพบว่าฮีสท่อนความร้อนมีความสามารถในการลดอุณหภูมิพื้นผิว 4.5°C และสามารถลดการใช้พลังงานได้อยู่ที่ 17% [9]

งานวิจัยหนึ่งในประเทศไทยมีการทดลองฮีสท่อนความร้อนโดยการสร้างกล่องและทำฮี 2 ชนิด คือ ฮีสท่อนความร้อนและฮีทั่วไป โดยสถานที่ทดลองอยู่ที่ขอนแก่น จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในมีความแตกต่างกันถึง 7% [10] งานวิจัยอีกงานหนึ่งในประเทศไทยพบว่าฮีสท่อนความร้อนลดอุณหภูมิต่างบ้านได้ประมาณ 4.0°C และประหยัดการใช้พลังงานอยู่ที่ 7% [11] ในสาธารณรัฐโดมินิกันที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นคล้ายประเทศไทย ได้ทำการทดลองโดยการก่ออิฐเพื่อเป็นกำแพง แล้วทำฮีที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกำแพง พบว่ากำแพงในทิศตะวันออกสามารถลดอุณหภูมิได้ 4.4°C และกำแพงทางทิศตะวันตกลดได้ 7.8°C [12] ผลลัพธ์สำคัญของงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1** ทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา

Researchers	Country	Maximum Temperature Reduction	Energy Saving
Chaiyosburana et al. (2013)	Thailand	4.0°C	N/A
Shen et al. (2011)	China	4.7°C	2.4 kWh/m <sup>2</sup>
Guo et at. (2012)	China	10.0°C	5.8 kWh/m <sup>2</sup>
Synnefa (2006)	Greece	4.0°C	N/A
Xing-guo et al. (2017)	China	3.0°C	N/A
Chaiyakul et al. (2013)	Thailand	5.0°C	N/A
Azemati et al. (2013)	Iran	4.5°C	N/A

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่าจะเน้นศึกษาไปที่การลดอุณหภูมิผนังภายนอกและเป็นการตรวจวัดจริง แต่ยังคงขาดในเรื่องของการวิเคราะห์เรื่องการประหยัดพลังงาน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ คือ ศึกษาการลดอุณหภูมิที่ผนังภายนอก การลดอุณหภูมิที่ผนังภายใน การลดฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของกรอบอาคาร และผลประหยัดพลังงานจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ โดยการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ เพื่อดูประสิทธิภาพของสี่สะท้อนความร้อน โดยการสร้างห้องทดลองสองห้องที่เหมือนกันทุกประการ ห้องทดลองมีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร โดยทั้งสองห้องจะทาสีที่คุณสมบัติแตกต่างกัน ห้องหนึ่งจะทาสีสะท้อนความร้อน ในส่วนของอีกห้องหนึ่งทาสีทั่วไป สีที่ใช้ในการวิจัยจะใช้สีน้ำตาลเข้ม มีการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายใน ผนังภายนอก ฟลักซ์ความร้อน ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเพื่อดูการใช้พลังงานในห้องทดลองแต่ละห้อง และสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อดูผลประหยัดจากการใช้ไฟฟ้า การสร้างแบบจำลองทางพลังงานทำเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจากการใช้สี่สะท้อนความร้อน ว่าการสร้างแบบจำลองทางพลังงานให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการตรวจวัดจริงหรือไม่ เมื่อพบว่าแบบจำลองทางพลังงานให้ผลลัพธ์เป็นไปตามการตรวจวัดจริง จึงทำการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของห้องทดลองแบบรายปีเพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากการใช้สี่สะท้อนความร้อนแบบรายปี นอกจากการดูผลประหยัดพลังงานแบบรายปีแล้วยังทำกรณีศึกษาเพิ่มเติมเพื่อศึกษาในเรื่องของ การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี การสร้างแบบจำลองห้องทดลองสร้างจากผนังมวลหนัก และสร้างแบบจำลองในกรณีใช้สีโทนอ่อนที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิผนังภายนอก และผนังภายในของห้องทดสอบจากการทาสีสะท้อนความร้อนกับสีทั่วไป

1.2.2 เปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนผนังห้องทดสอบที่ทาสีสะท้อนความร้อนกับห้องทดสอบที่ทาสีทั่วไป

1.2.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศจากการใช้สี่สะท้อนความร้อนกับสีทั่วไป

1.2.4 เปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดจริงและการจำลองการใช้พลังงาน

1.2.5 สร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานแบบทั้งปี



### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาอิทธิพลของสีสะท้อนความร้อนในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ โดยการตรวจวัด อุณหภูมิผนังภายใน อุณหภูมิผนังภายนอก พลักซ์ความร้อน และการใช้พลังงานของ เครื่องปรับอากาศ ในช่วงเวลา 09:00 น. ถึง 19:00 น.

1.3.2 ศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิผนังของสีสะท้อนความร้อนกับสีทั่วไป โดยการ สร้างห้องทดลองสองห้องที่มีขนาดและวัสดุเหมือนกันทุกประการ ผนังของห้องทดลองทำจากแผ่น ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น มีช่องว่างอากาศ 10 มิลลิเมตร ห้องทดลองมีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร โดยใช้สีน้ำตาลเข้ม ห้องทั้งสองติดตั้งเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีความสามารถในการทำความเย็นอยู่ที่ 28,000 Btu/h ทั้งสองห้อง

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการช่วยประหยัดพลังงานจากการทาสีสะท้อนความร้อน ใน ส่วนของเครื่องปรับอากาศโดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของห้องทดลองทั้งสองห้อง

1.3.4 ศึกษาความสามารถในการลดอุณหภูมิผนังภายนอก และผนังภายในของสีสะท้อน ความร้อนโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องจำลองทั้งสองห้อง

1.3.5 ศึกษาความสามารถในการลดภาระการปรับอากาศ จากการตรวจวัดพลักซ์ความร้อน โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของพลักซ์ความร้อนของห้องทดลองทั้งสองห้อง

1.3.6 การตรวจวัดจริง ตรวจวัดในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 และ ตรวจวัดพลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ช่วงเวลาในแต่ละวัน คือ 09:00 น. ถึง 19:00 น.

1.3.7 ใช้โปรแกรม EnergyPlus สร้างแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อเป็นกรณีศึกษาในส่วน ของการใช้พลังงานของห้องทดลองทั้งสองห้อง

### 1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตที่ผ่านมาว่าได้มีการวิจัยอย่างไร และมีแนวโน้มไปในทางใด

1.4.2 ตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายใน ผนังภายนอก พลักซ์ความร้อน และการใช้พลังงานจาก เครื่องปรับอากาศ จากห้องทดลองทั้งสองห้อง

1.4.3 ทำการสร้างแบบจำลองของห้องด้วยโปรแกรมและจำลองการใช้พลังงาน โดยค่าที่ใช้จะ เป็นไปตามคุณสมบัติของสีที่ทาห้องจำลองทั้งสองห้อง

1.4.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ผนังภายใน ผนังภายนอก พลักซ์ความร้อน และการใช้พลังงานของห้องจำลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริง

1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการใช้พลังงานของห้องทดลองทั้งสองโดยการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงาน

1.4.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการตรวจวัดจริงกับผลจากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงาน

1.4.7 สร้างแบบจำลองพลังงานสำหรับห้องทดลองทั้งสองห้องเพื่อแสดงผลประหยัดพลังงานแบบรายปี

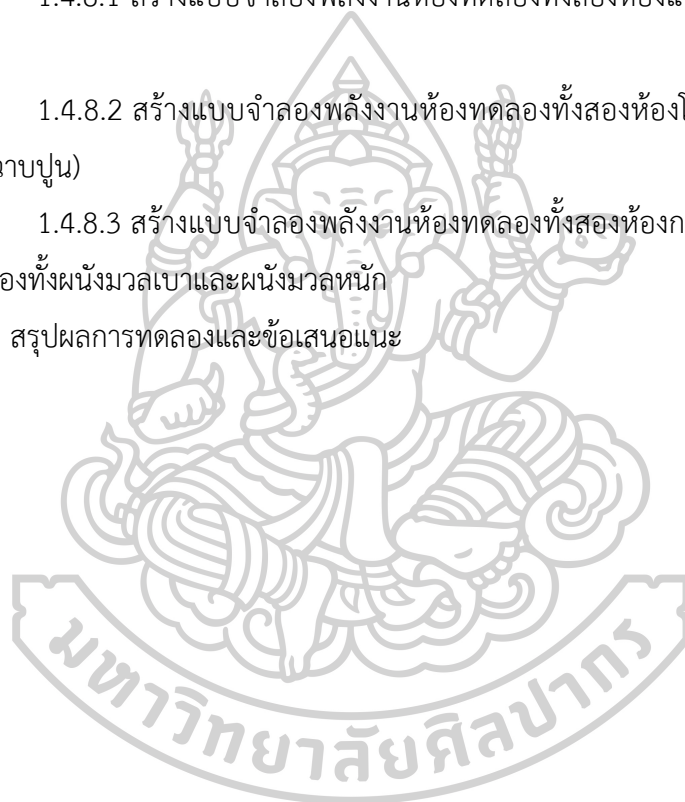
1.4.8 สร้างแบบจำลองพลังงานในกรณีศึกษาเพิ่มเติม โดยกรณีศึกษาเพิ่มเติมมีดังนี้

1.4.8.1 สร้างแบบจำลองพลังงานห้องทดลองทั้งสองห้องแบบแยกชั้นสื่อกจากชั้นผนัง

1.4.8.2 สร้างแบบจำลองพลังงานห้องทดลองทั้งสองห้องโดยผนังทำจากผนังมวลหนัก (ก่ออิฐ ฉาบปูน)

1.4.8.3 สร้างแบบจำลองพลังงานห้องทดลองทั้งสองห้องกรณีใช้สีโทนอ่อน โดยจะสร้างแบบจำลองทั้งผนังมวลเบาและผนังมวลหนัก

1.4.9 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ





## บทที่ 2

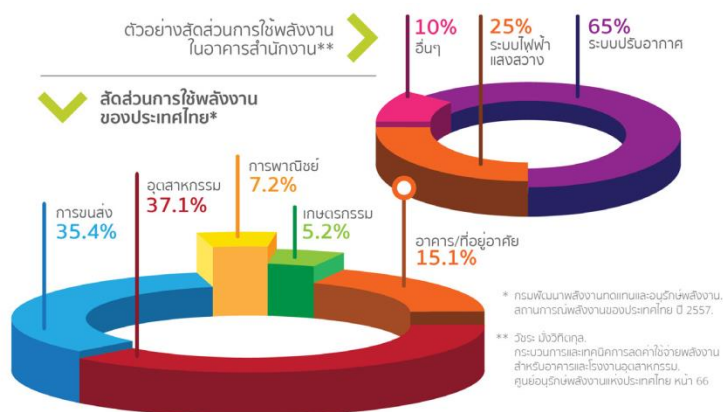
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน เป็นการศึกษาคูณภูมิผนังภายนอก อูณภูมิผนังภายใน พลักซ์ความร้อนจากกรอบอาคาร การประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศ และการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานแบบรายปี มีการแบ่งทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 การใช้พลังงานภายในอาคารของประเทศไทย
- 2.2 ภาวะของระบบปรับอากาศ
- 2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร
- 2.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์
- 2.5 สีสะท้อนความร้อน
- 2.6 โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงาน EnergyPlus
- 2.7 การคำนวณสมมูลความร้อนภายในโปรแกรม EnergyPlus
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การใช้พลังงานภายในอาคารของประเทศไทย

จากข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทยพบว่าการใช้ไฟฟ้าในภาคส่วนของอาคารและบ้านเรือนอยู่ที่ 22.3% จากการใช้พลังงานทั้งหมด ในภาคส่วนของครัวเรือนและอาคาร พลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับระบบปรับอากาศสูงถึง 65% จากการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารและบ้านเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [13] ในปี พ.ศ. 2562 การใช้พลังงานทั้งประเทศอยู่ที่ 187,832 GWh เป็นการใช้พลังงานของภาคส่วนอาคารสูงถึง 40,579 GWh [14] ดังนั้นการลดการะปรับอากาศจะช่วยประหยัดพลังงานในภาพรวมเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 การใช้พลังงานของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2557 [13]

## 2.2 ภาระของระบบปรับอากาศ [15]

ระบบปรับอากาศในประเทศไทยที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นมักจะใช้ระบบปรับอากาศสำหรับการทำความเย็นเพื่อเพิ่มความสบายให้กับผู้พักอาศัย ซึ่งภาระการปรับอากาศสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร

- 2.2.1.1 ความร้อนจากคนที่อยู่ภายในห้อง
- 2.2.1.2 ความร้อนจากแสงสว่างภายในห้อง
- 2.2.1.3 ความร้อนจากอุปกรณ์ทางไฟฟ้าภายในห้อง

### 2.2.2 ความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร

- 2.2.2.1 ความร้อนผ่านกรอบอาคาร
- 2.2.2.2 ความร้อนจากการระบายอากาศ
- 2.2.2.3 ความร้อนจากอากาศรั่วไหล

การถ่ายเทความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศภายในห้องทันที คือ การนำความร้อนและการพาความร้อน ส่วนความร้อนที่ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องทันที แต่จะค่อยๆ ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิ คือ การแผ่รังสีความร้อน โดยจะขึ้นกับอุณหภูมิผนัง อุณหภูมิเพดาน โดยจะเปลี่ยนจากการแผ่รังสีความร้อนเป็นการพาความร้อนในเวลาต่อมา

### การคำนวณภาระการปรับอากาศจากการนำความร้อนของกรอบอาคาร

ความร้อนที่เป็นภาระการปรับอากาศในส่วนของกรอบอาคารประกอบด้วย 2 ส่วนหลักด้วยกัน ส่วนแรกเป็นความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก ส่วนที่สองเป็นผลมาจากรังสีของดวงอาทิตย์ โดยสมการ 2.1 เป็นสมการภาระการปรับอากาศในส่วนของกรอบอาคาร

$$Q = (U)(A)(CLTD_{COR})$$

(2.1)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ( $W/m^2\text{°C}$ )

A คือ พื้นที่กรอบอาคาร ( $m^2$ )

$CLTD_{COR}$  คือ อุณหภูมิแตกต่างสำหรับคำนวณภาระการทำความเย็น ( $\text{°C}$ )

อุณหภูมิแตกต่างสำหรับคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling Load Temperature Difference) สามารถคำนวณตามสมการที่ 2.2 ดังแสดงดังต่อไปนี้

$$CLTD_{COR} = [(CLTD + LM) \times K] + (25.5 - t_i) + (t_o - 29.4)$$

(2.2)

CLTD	คือ อุณหภูมิแตกต่างสำหรับคำนวณภาระการทำความร้อน
LM	คือ ค่าปรับปรุงสำหรับเส้นรุ้งและเดือน
K	คือ ค่าปรับปรุงสำหรับผนังแต่ละสี
$t_i$	คือ อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_o$	คือ อุณหภูมิภายนอกห้องปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )

ค่า CLTD สามารถหาค่าได้จากตาราง โดยค่า CLTD จะแบ่งตามกลุ่มของกรอบอาคารซึ่งจะแสดงในตารางที่ 2.1 และ ค่า CLTD แสดงในตารางที่ 2.2 และค่า LM สามารถหาค่าสำหรับการคำนวณได้จากตารางที่ 2.3 สำหรับค่า K ถ้ากรอบอาคารสีขาวให้ใช้ค่า  $K = 0.65$  สำหรับหลังคาให้ใช้ค่า  $K = 0.5$

**ตารางที่ 2.1** กลุ่มของวัสดุกรอบอาคาร [15]

วัสดุที่ใช้สร้างผนัง	Group	U W/( $\text{m}^2\cdot\text{C}$ )	WT kg/ $\text{m}^2$
คอนกรีตบล็อก 2 ชั้น 2*100 mm+อากาศ+ฉาบปูน	D	1.59	239.30
คอนกรีตบล็อก 2 ชั้น 2*100 mm+อากาศ+ฉาบปูน+พอยล์	D	1.02	239.30
คอนกรีตบล็อก 2 ชั้น 2*100 mm+อากาศ+ฉาบปูน+ฉนวน 25 mm	D	0.97	240.10
ก่ออิฐ 2 ชั้น (2*100 mm) ฉาบปูน	D	2.35	440.00
ก่ออิฐ 2 ชั้น (2*100 mm) + อากาศ ฉาบปูน	D	1.69	440.00
ก่ออิฐ 2 ชั้น (2*100 mm) + ฉนวน 25 mm ฉาบปูน	D	0.85	449.00
คอนกรีต 100 mm + ฉนวน 25 mm + ยิบซัมบอร์ด	D	1.14	306.60
คอนกรีต 100 mm + ฉนวน 50 mm + ยิบซัมบอร์ด	D	0.68	307.30
คอนกรีต 150 mm + ฉาบปูน	D	3.29	383.10
ก่ออิฐ 100 mm ฉาบปูน	E	2.84	236.40
คอนกรีตบล็อก 150 mm + ฉาบปูน	E	2.67	189.90
คอนกรีต 100 mm + ฉาบปูน	E	3.69	268.70
คอนกรีตบล็อก 100 mm + ฉาบปูน	F	2.90	140.00
ไม้อัด 2 ชั้น 2*6 mm	G	2.16	8.80
คอนกรีต 400 mm + ฉาบปูน	A	2.27	1076.00

ตารางที่ 2.2 ค่า CLTD สำหรับวัสดุในกลุ่ม G

ชั่วโมง	CLTD			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
1	2	3	2	3
2	1	2	1	2
3	1	2	1	1
4	0	1	0	1
5	0	0	0	0
6	5	0	3	0
7	15	1	10	1
8	20	3	18	3
9	22	4	24	4
10	20	6	27	6
11	16	9	28	8
12	15	14	27	10
13	15	21	23	12
14	15	28	20	15
15	15	33	18	20
16	15	35	16	26
17	14	34	15	31
18	12	29	13	31
19	10	20	11	23
20	8	13	8	14
21	6	10	7	10
22	5	7	6	7
23	4	6	4	5
24	3	4	3	4

ตารางที่ 2.3 ค่า LM สำหรับการคำนวณ CLTD ในแต่ละเดือน

เส้นรุ้งที่ (Lat.)	เดือน	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
14 (กรุงเทพ)	มกราคม	-3.7	2.1	2.1	-3.7
	กุมภาพันธ์	-2.4	1	1	-2.4
	มีนาคม	-1	-0.3	-0.3	-1
	เมษายน	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1
	พฤษภาคม	1.8	-3	-3	1.8
	มิถุนายน	2.2	-3.6	-3.6	2.2
	กรกฎาคม	1.8	-3	-3	1.8
	สิงหาคม	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1
	กันยายน	-1	-0.3	-0.3	-1
	ตุลาคม	-2.4	1	1	-2.4
	พฤศจิกายน	-3.7	2.1	2.1	-3.7
	ธันวาคม	-4.1	2.2	2.2	-4.1

### 2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร [13]

ภาระการปรับอากาศส่วนใหญ่มาจากกรอบอาคาร โดยกรอบอาคารจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยกัน 3 ลักษณะด้วยกัน คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

#### 2.3.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหนึ่งสัมผัสกับอีกวัตถุหนึ่ง โดยจะเป็นการแลกเปลี่ยนของความร้อนสูงกว่าไปยังความต่ำกว่า

#### 2.3.2 การพาความร้อน

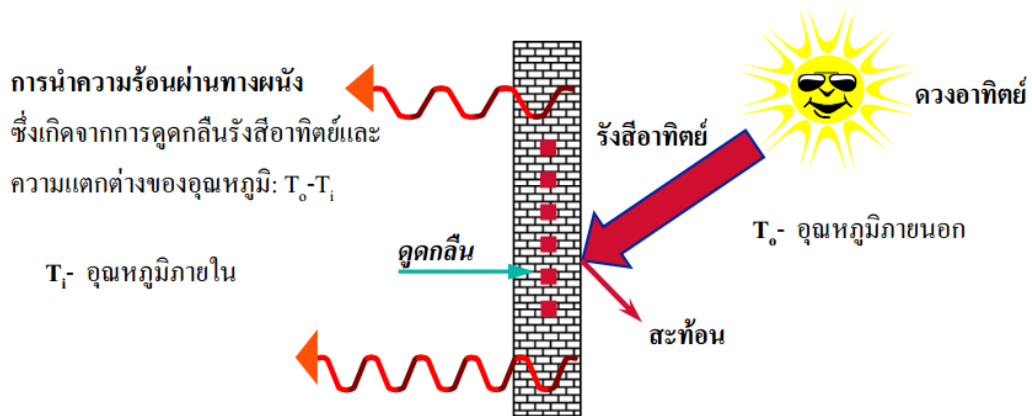
การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่อาศัยของไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อน การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดก็ต่อเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิต่างกัน โดยปกติแล้วการพาความร้อนแบ่งได้ 2 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ การพาความร้อนแบบธรรมชาติและการพาความร้อนแบบบังคับ

#### 2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่ไม่อาศัยตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะเป็นการแลกเปลี่ยนแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำกว่า

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังแบบทึบ สามารถสังเกตได้ว่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกรอบอาคารที่ส่วนหนึ่งจะถูก

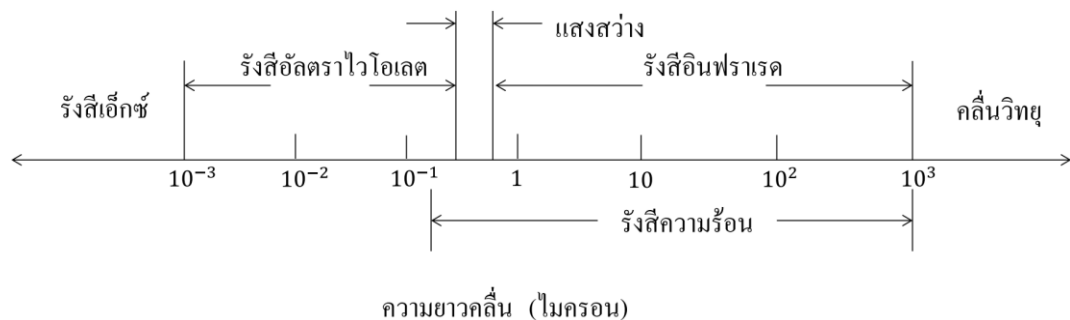
สะท้อนออกและอีกส่วนหนึ่งวัสดุกรอบอาคารจะดูดซับและสะสมความร้อนไว้ ส่งผลให้ผนังภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ [13]

#### 2.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ [16]

ดวงอาทิตย์มีการแผ่รังสีมายังโลก โดยรังสีดวงอาทิตย์มีความยาวคลื่นในช่วง  $10^{-3}$  ไมโครเมตร ถึง  $10^3$  ไมโครเมตร ปกติแล้วในช่วงความยาวคลื่น 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร จะถูกเรียกเป็นรังสีความร้อน สังเกตได้จากรูปที่ 2.3 ว่ารังสีความร้อนจะครอบคลุมในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงของแสงสว่างและช่วงของอินฟราเรด โดยความร้อนส่วนใหญ่มาจากอินฟราเรด



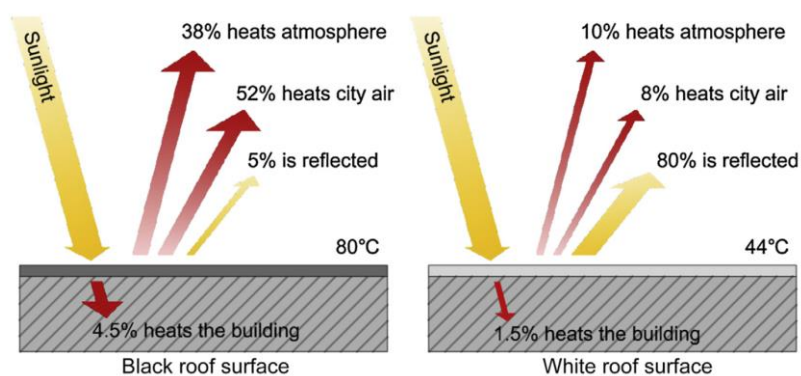
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงคลื่นแม่เหล็กของรังสีดวงอาทิตย์

วัสดุต่างๆ จะมีความสามารถการดูดกลืนรังสีความร้อนที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดังต่อไปนี้ การแผ่รังสี (Emissivity) การดูดกลืนรังสี (Absorptivity) การสะท้อนรังสี (Reflectivity) และการส่งผ่านรังสี (Transmissivity)



## 2.5 สีสะท้อนความร้อน

ในอดีตความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารสามารถลดได้หลากหลายวิธี เช่น การบุฉนวน การทำหลังคาเขียว (หลังคาที่มีการปลูกต้นไม้) เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีสีสะท้อนความร้อน โดยสีสะท้อนความร้อนเพิ่มความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ให้ดีกว่าสีทั่วไปเป็นผลให้สามารถลดความร้อนของกรอบอาคารในช่วงหน้าร้อนลงได้ โดยรูปที่ 2.4 จะแสดงความแตกต่างระหว่างสีอ่อนกับสีเข้มในการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ จากรูปจะพบว่าสีอ่อน สามารถสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าสีเข้ม เมื่อสามารถสะท้อนรังสีออกไปได้ทำให้การสะสมความร้อนที่กรอบอาคารน้อยลงส่งผลให้อุณหภูมิที่พื้นผิวมีอุณหภูมิต่ำกว่ากรอบอาคารที่ทาสีโทนเข้ม [17]



รูปที่ 2.4 ความแตกต่างระหว่างหลังคาทาสีอ่อนกับหลังคาทาสีเข้ม [17]

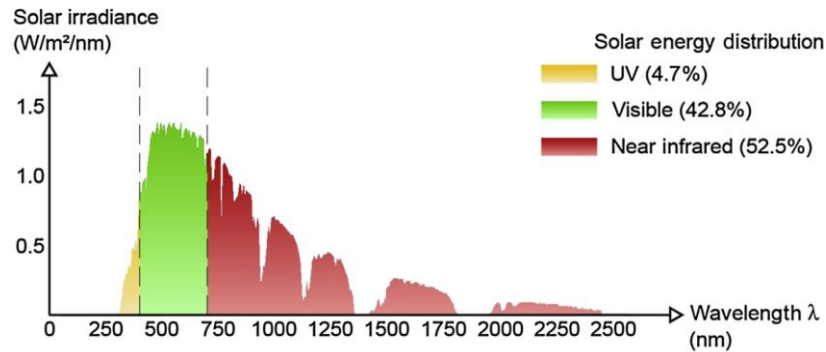
### 2.5.1 มาตรฐานของสีสะท้อนความร้อน [17]

ความสามารถในการดูดซับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ของสีจะถูกเรียกว่าดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยมาตรฐานของสีสะท้อนความร้อนต้องมีค่าดัชนีไม่น้อยไปกว่า 0.65 โดยสีดำมีค่าดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์อยู่ที่ 0.05 และสีขาวมีค่าดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์อยู่ที่ 0.80

### 2.5.2 คุณสมบัติสีสะท้อนความร้อน [17]

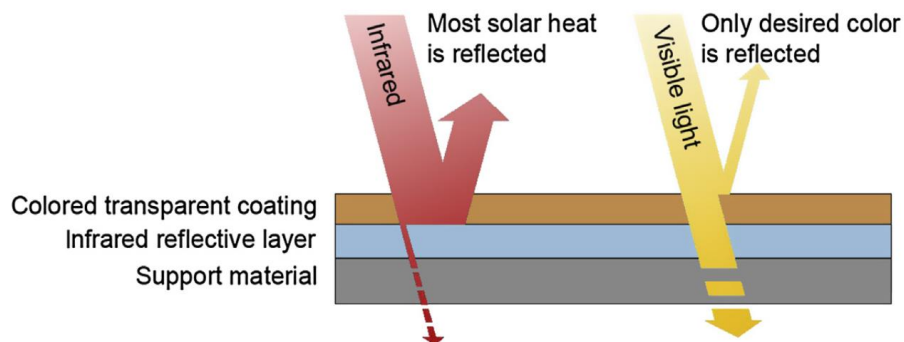
สีสะท้อนความร้อนที่มีขายตามท้องตลาดมีส่วนผสมพื้นฐานเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์และมีการเพิ่มส่วนผสมอื่นๆ แตกต่างกันของไปของแต่ละผู้ผลิต โดยไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนทำให้สีมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน มีการสำรวจพบว่าปัจจุบันสีสะท้อนความร้อนมีค่าดัชนีสูงที่สุดอยู่ที่ 0.90 โดยมีค่าการแผ่รังสีอยู่ที่ 0.95 (สีเข้มแต่มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน)

รังสีจากดวงอาทิตย์โดยแต่ละช่วงความยาวคลื่นแบ่งได้เป็น รังสียูวี 4.7% รังสีที่ตามองเห็นได้ 42.8% และรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นความร้อน 52.5% ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รังสีดวงอาทิตย์ [17]

สีสะท้อนความร้อนที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบันจะสะท้อนความร้อนสู่ชั้นบรรยากาศรอบๆ โดยสีสะท้อนความร้อนจะเน้นสะท้อนรังสีอินฟราเรดเป็นหลักเนื่องจากเป็นความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 เป็นการเปรียบเทียบดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์ระหว่างสีปกติกับสีสะท้อนความร้อน โดยสีสะท้อนความร้อนมีค่าดัชนีการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่มากกว่าสีทั่วไปทั้งสีโทนอ่อนหรือสีโทนเข้ม เช่น สีโทนเข้มมีดัชนีการสะท้อนรังสีอาทิตย์อยู่ที่ 0.41 แต่สีโทนเข้มทั่วไปมีดัชนีการสะท้อนรังสีอาทิตย์อยู่ที่ 0.04 จะเห็นว่าสีทั่วไปกับสีสะท้อนความร้อนมีดัชนีการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ห่างกันถึง 10 เท่า เป็นต้น



รูปที่ 2.6 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีสะท้อนความร้อน [17]



Solar reflectance (cool colour)	0.41	0.44	0.42	0.91
Solar reflectance (standard)	0.04	0.21	0.22	0.80
	Black shingle	Grey shingle	Terracotta roof tile	White acrylic paint

รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบดัชนีการสะท้อนแสงอาทิตย์สีทั่วไปกับสีสะท้อนความร้อน [17]

งานวิจัยเลือกใช้สีสะท้อนความร้อนในปัจจุบันที่นำเทคโนโลยีไมโครสเฟียร์เซรามิก ซึ่งจะเป็ นอนุภาคกลมกลวงแข็งแรงแและภายในเป็นสุญญากาศ ทำให้มีความสามารถในการสะท้อนความร้อน คุณสมบัติของสีสะท้อนความร้อนกับสีทั่วไปจะแสดงในตารางที่ 2.4 โดยจะเป็นโทนสีน้ำตาลเข้มทั้ง สองสี

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของสีสะท้อนความร้อนและสีทั่วไปโทนเข้มที่ใช้ในงานวิจัย [18]

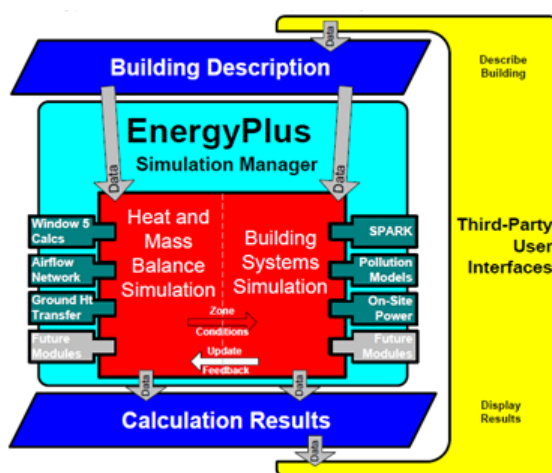
Paint product	Solar Reflectance (%)			
	Solar	UV	Visible	Infrared
High solar reflective paint	49.5	8.3	14.6	60.0
Conventional paint	12.9	8.0	13.5	12.7

## 2.6 โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงาน EnergyPlus

โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของอาคาร EnergyPlus ถูกพัฒนามาจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา (US Department of Energy, DOE) และกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา (US Department of Defense, DOD) ตามลำดับ โดยการสร้างโปรแกรม EnergyPlus ขึ้นมานั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานมากกว่า โปรแกรมต้นแบบและมีความแม่นยำสูง [19] [20] การพัฒนาให้สามารถคำนวณภาระปรับอากาศโดยใช้วิธีสมดุลความร้อนและผู้ใช้งานสามารถกำหนดความถี่ช่วงเวลา (Time - step) ในการคำนวณได้ เป็นการเพิ่มความสามารถในการส่งข้อมูลไปมาระหว่างส่วนคำนวณภาระปรับอากาศและส่วนคำนวณระบบปรับอากาศ ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น โปรแกรม EnergyPlus มีข้อได้เปรียบดังต่อไปนี้ ระบบควบคุมมีความสมจริงมากขึ้น สามารถกำหนดระบบปรับอากาศได้ ระบบควบคุมมีความสมจริงมากขึ้น สามารถคำนวณความชื้นทั้งส่วนที่คายและดูดซับของวัสดุในพื้นที่ปรับ

อากาศได้ สามารถคำนวณความร้อนและความเย็นแบบแผ่รังสีได้ และสามารถคำนวณการไหลของอากาศที่ผ่านพื้นที่ภายในอาคารได้ [21]

โปรแกรม EnergyPlus สามารถแบ่งส่วนการทำงานหลักได้ทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนข้อมูลอาคารเบื้องต้น (Building description) ส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager) ส่วนการคำนวณภาระปรับอากาศ (Heat and mass Balance) ส่วนคำนวณระบบปรับอากาศ (Building systems simulation) และส่วนผลการคำนวณ (Calculation results) ซึ่งทุกส่วนจะมีการทำงานร่วมกันเป็นระบบ [22] [23] ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ส่วนการทำงานหลักภายในโปรแกรม EnergyPlus [18]

จากรูปที่ 2.8 พบว่าในส่วนของข้อมูลอาคารเบื้องต้น (Building description) จะเป็นส่วนที่ป้อนข้อมูลอาคารทางกายภาพ เช่น ขนาด โครงสร้าง รูปร่าง วัสดุ ฯลฯ ข้อมูลตารางเวลา เช่น ตารางการใช้งาน จำนวนผู้ใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ภายในอาคาร ฯลฯ และข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ฯลฯ ในแต่ละชั่วโมงของวันตลอดทั้งปี ถัดมาข้อมูลที่ทำการป้อนจะถูกส่งไปยังส่วนของการคำนวณภาระปรับอากาศ (Heat and mass balance) เพื่อทำการคำนวณและแสดงผลในรูปแบบของความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (Heat gain) กับภาระปรับอากาศ (Cooling load) โดยสมมติให้พื้นที่ปรับอากาศมีความชื้นคงที่ นอกจากนี้ในส่วนนี้ของโปรแกรมยังสามารถเรียกใช้โปรแกรมเสริมต่าง ๆ ได้ เช่น WINDOW 5 COMIS ฯลฯ ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด ส่วนถัดมาจะเป็นส่วนคำนวณระบบปรับอากาศ (Building systems simulation) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เลือกระบบปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคาร จากนั้นส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager) เชื่อมข้อมูลของทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อหาค่าอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศขึ้นมาใหม่หลังจากที่คำนึงถึงผลกระทบจากการทำงานของระบบปรับอากาศแล้ว โดยจะคำนวณกลับไปกลับมาแบบวนรอบ

(Iteration) ตามจำนวน Time – step ที่กำหนด เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น เมื่อการคำนวณสิ้นสุดลงแล้วโปรแกรมจะให้ผลลัพธ์ออกมาในส่วนของผลการคำนวณ (Calculation results) เช่น ปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร สภาวะอากาศในแต่ละพื้นที่ของอาคาร เป็นต้น

## 2.7 การคำนวณสมดุลความร้อนภายในโปรแกรม EnergyPlus [24]

การคำนวณสมดุลความร้อนผ่านกรอบอาคารของโปรแกรม EnergyPlus นำวิธีการ Conduction Transfer Function (CTF) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและรวดเร็ว มาใช้คำนวณฟลักซ์ความร้อนที่เข้ากรอบอาคาร โดยหลักการของวิธีการ CTF แสดงดังหัวข้อต่อไปนี

### 2.7.1 การนำความร้อนผ่านกรอบอาคาร

#### 2.7.1.1 มาตรฐานของสมการ Conduction Transfer Function (CTF)

อนุกรมเวลาที่มีสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการหาฟลักซ์ความร้อนสามารถแสดงได้ในสมการที่ 2.3 โดยสมการขึ้นกับอุณหภูมิผนังภายในและผนังภายนอกในชั่วโมงนั้น และชั่วโมงต่างๆ ก่อนหน้านั้นก็ส่งอิทธิพลมายังชั่วโมงที่ทำการคำนวณ เนื่องจากการหน่วงความร้อนภายในเนื้อวัสดุ การคำนวณด้วยอนุกรมเวลายังย้อนหลังไปหลายชั่วโมงก็จะมีค่าความแม่นยำ

$$q''_{ko} = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta}$$

(2.3)

$q''$  คือ ฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร

$X_j$  คือ สัมประสิทธิ์ผนังภายนอกของ CTF

$Y_j$  คือ สัมประสิทธิ์ภายในเนื้อวัสดุของ CTF

$T_i$  คือ อุณหภูมิผนังภายในอาคาร

$T_o$  คือ อุณหภูมิผนังภายนอกอาคาร

$t$  คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ

การคำนวณตามสมการที่ 2.3 ต่อมาพบว่า ถ้าเพิ่มพจน์ฟลักซ์ความร้อน ( $q''$ ) เข้าไปในสมการ และจัดสมการให้อยู่ในรูปแบบ Multiple linear regression จะสามารถลดจำนวนชั่วโมงในการคำนวณอุณหภูมิผนังภายนอกและผนังภายในได้ โดยให้ย้อนไปคำนวณเพียง 2 ถึง 3 ชั่วโมงก่อนหน้า แทนที่จะต้องคำนวณย้อนกลับไปหลายชั่วโมงแบบวิธีเดิม โดยต้องใช้ฟลักซ์ความร้อนเพิ่มมา 3 ชั่วโมง สมการชุดใหม่สำหรับการหาฟลักซ์ความร้อนให้ชื่อเรียกว่า Conduction Transfer Function (CTF) โดยจะแสดงในสมการที่ 2.4 และ 2.5 โดยจะเป็นการหาฟลักซ์ความร้อนผ่านผนังภายในและภายนอกตามลำดับ

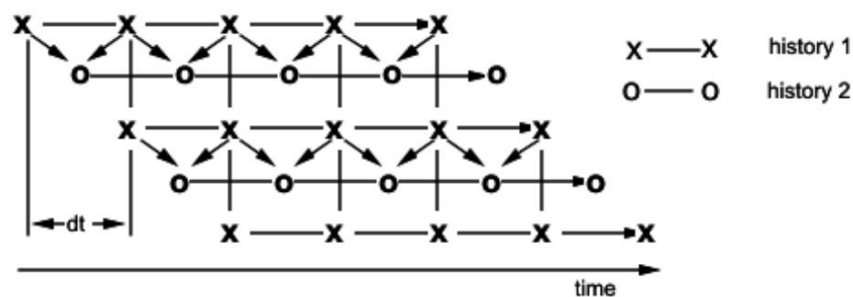
$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (2.4)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (2.5)$$

- $X_j$  คือ สัมประสิทธิ์ผนังภายนอกของ CTF  
 $Y_j$  คือ สัมประสิทธิ์ภายในเนื้อวัสดุของ CTF  
 $Z_j$  คือ สัมประสิทธิ์ผนังภายในของ CTF  
 $\Phi$  คือ สัมประสิทธิ์ฟลักซ์ความร้อนของ CTF  
 $T_i$  คือ อุณหภูมิผนังภายในอาคาร  
 $T_o$  คือ อุณหภูมิผนังภายนอกอาคาร  
 $q''_{ko}$  คือ ฟลักซ์การนำความร้อนบนผิวภายนอก  
 $q''_{ki}$  คือ ฟลักซ์การนำความร้อนบนผิวภายใน

การจัดรูปสมการใหม่ทำให้วิธี Conduction Transfer Function สามารถคำนวณฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

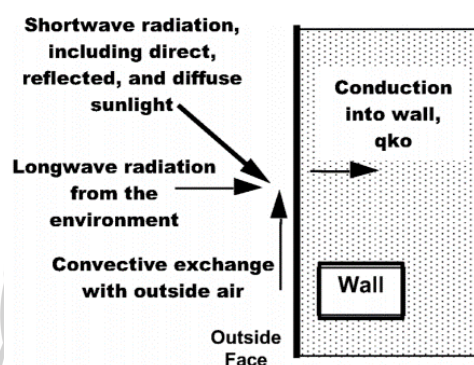
โปรแกรม EnergyPlus นำวิธีการ CTF มาคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคาร อีกทั้งยังสามารถเลือก Time - step ในการจำลองการใช้พลังงาน หลักในการคำนวณ CTF ของ EnergyPlus มีการคำนวณกลับไปกลับมาแบบวนรอบโดยนำข้อมูลชุดก่อนหน้ามารวมคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดเท่าที่โปรแกรมจะทำได้ดังที่แสดงเป็นแผนผังไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การคำนวณแบบส่งข้อมูลกลับไปกลับมาของ EnergyPlus

### 2.7.1.4 หลักการคำนวณสมดุลความร้อนสำหรับกรอบอาคารภายนอก

โปรแกรม EnergyPlus มีหลักการคำนวณสมดุลความร้อนสำหรับกรอบอาคารภายนอก การดูดซับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีกระเจิง การแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแผ่รังสีระหว่างกรอบอาคารกับอากาศรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่บริเวณรอบๆ การพาความร้อนและการนำความร้อน จะถูกนำมาคำนวณสมดุลความร้อนเพื่อหาค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารดังรูปที่ 2.10 และแสดงในสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.10 การคำนวณความร้อนผ่านผนังโดยโปรแกรม EnergyPlus [23]

$$q''_{\alpha_{sol}} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

(2.6)

$q''_{\alpha_{sol}}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

$q''_{LWR}$  คือ ผลรวมฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีจากอากาศและวัตถุโดยรอบ

$q''_{conv}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อน

$q''_{ko}$  คือ การนำความร้อนเข้าสู่ผนัง

สมการที่ 2.16 แสดงการนำความร้อนเข้าสู่กรอบอาคารโดยโปรแกรม EnergyPlus โดยมีการคำนวณส่วนของฟลักซ์ความร้อนจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีจากวัตถุโดยรอบของกรอบอาคาร และการพาความร้อน

### รังสีคลื่นสั้นจากภายนอก (External shortwave radiation)

การคำนวณรังสีคลื่นสั้นจะรวมทั้งแสงอาทิตย์ตรงและแสงอาทิตย์กระเจิง ที่ถูกดูดซับโดยกรอบอาคาร โดยรังสีคลื่นสั้นที่นำมาคำนวณมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ สถานที่ มุมผนัง คุณสมบัติของผนัง สภาพอากาศ หรือปัจจัยอื่นๆ โดยใช้หลักการของ Sol-air Temperature โดยจะแสดงในสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$q''_{\alpha_{sol}} = h_o (t_e - t_s) \quad (2.7)$$

$$t_e = t_o + \left( \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\epsilon \Delta R}{h_o} \right) \quad (2.8)$$

$q''_{\alpha_{sol}}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

$h_o$  คือ ผลรวมฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีจากอากาศและวัตถุโดยรอบ

$t_e$  คือ อุณหภูมิที่รวมการแผ่รังสี ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_s$  คือ อุณหภูมิผิวผนัง ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha$  คือ การดูดซับรังสีของพื้นผิว

$E_t$  คือ แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวทั้งหมด ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\epsilon$  คือ การแผ่รังสีของพื้นผิว

$\Delta R$  คือ การแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวที่ตกกระทบบนพื้นผิวจากท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อมรอบๆ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

สีสะท้อนความร้อนจะส่งผลในพจน์ของค่าการดูดซับรังสีของพื้นผิวและอุณหภูมิพื้นผิว เพราะว่าสีสะท้อนความร้อนมีความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์มากขึ้นและลดการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นกรอบอาคารที่ทาสีสะท้อนความร้อนจะทำให้มีอุณหภูมิที่น้อยกว่ากรอบอาคารที่ทาสีทั่วไป

### รังสีคลื่นยาวจากภายนอก (External longwave radiation)

การคำนวณรังสีคลื่นยาวจะคำนวณโดยเป็นการคิดการแลกเปลี่ยนระหว่าง พื้นผิวบริเวณรอบอาคาร ท้องฟ้า พื้นดิน การแลกเปลี่ยนความร้อนคำนวณจาก ความสามารถในการดูดซับ

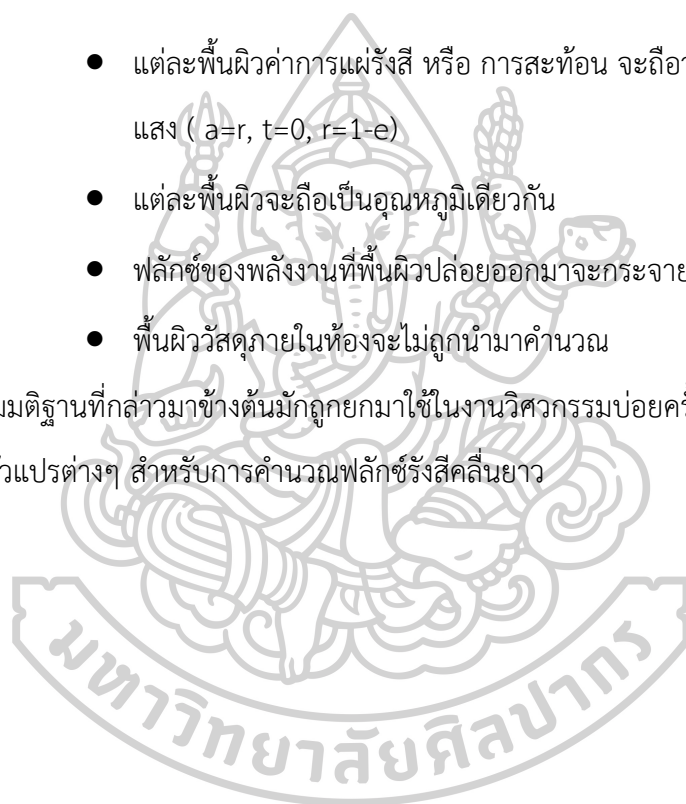


รังสี อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิท้องฟ้า อุณหภูมิพื้นดิน รวมไปถึง View factors ของกรอบอาคาร ระหว่างท้องฟ้าและพื้นดิน

การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีกับพื้นผิวขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิพื้นผิว และคุณสมบัติของพื้นผิว ค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติวัสดุของพื้นผิว (ค่าการแผ่รังสี ค่าการดูดซับ) เป็นฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนของอุณหภูมิของพื้นผิว มุมพื้นผิว และความยาวคลื่นสำหรับแต่ละพื้นผิว โดยมีการตั้งสมมติฐานเพื่อให้สะดวกในการคำนวณ ข้อสมมติฐานการคำนวณที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกัน ดังต่อไปนี้:

- แต่ละพื้นผิวค่าการแผ่รังสี หรือ การสะท้อน จะถือว่าเป็น วัสดุสีเทาและทึบแสง ( $a=r, t=0, r=1-e$ )
- แต่ละพื้นผิวจะถือเป็นอุณหภูมิเดียวกัน
- ฟลักซ์ของพลังงานที่พื้นผิวปล่อยออกมาจะกระจายอย่างสม่ำเสมอ
- พื้นผิววัสดุภายในห้องจะไม่ถูกนำมาคำนวณ

ข้อสมมติฐานที่กล่าวมาข้างต้นมักถูกยกมาใช้ในการงานวิศวกรรมบ่อยครั้ง โดยตารางที่ 2.5 เป็นคำอธิบายถึงตัวแปรต่างๆ สำหรับการคำนวณฟลักซ์รังสีคลื่นยาว



ตารางที่ 2.5 คำอธิบายตัวแปรสำหรับการคำนวณผลรวมฟลักซ์รังสี

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย	ช่วง
$q''_{LWR}$	ฟลักซ์รังสีช่วงคลื่นยาว ณ ผนังภายนอก	$W/m^2$	-
$h_r$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีเชิงเส้นต่ออุณหภูมิอากาศ	$W/(m^2K)$	-
$T_{surf}$	อุณหภูมิผนังภายนอก	K	-
$T_{air}$	อุณหภูมิอากาศภายนอก	K	-
$T_{gnd}$	อุณหภูมิพื้นดิน	K	-
$T_{sky}$	อุณหภูมิท้องฟ้า	K	-
$F_{gnd}$	View factor ของกำแพงกับพื้นดิน	-	0-1
$F_{sky}$	View factor ของกำแพงกับท้องฟ้า	-	0-1
$F_{air}$	View factor ของกำแพงกับอากาศ	-	0-1
$e$	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีช่วงคลื่นยาวของพื้นผิว	-	0-1
$s$	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann	$W/m^2-K^4$	5.67E-08

การตั้งข้อสมมติฐานการคำนวณตามที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถคำนวณผลรวมของฟลักซ์รังสีในช่วงคลื่นยาวดังสมการที่ 2.9

$$q''_{LWR} = q''_{gnd} + q''_{sky} + q''_{air}$$

(2.9)

สมการที่ 2.9 เมื่อนำทฤษฎีการแผ่รังสีของ Stefan-Boltzmann มาประยุกต์ใช้จะได้สมการที่ 2.10 และจัดให้อยู่ในรูปของสมการสมดุลความร้อนจะได้สมการที่ 2.11



$$q''_{LWR} = \varepsilon\sigma F_{gnd}(T_{gnd}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon\sigma F_{sky}(T_{sky}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon\sigma F_{air}(T_{air}^4 - T_{surf}^4) \quad (2.10)$$

$$q''_{LWR} = h_{r,gnd}(T_{gnd} - T_{surf}) + h_{r,sky}(T_{sky} - T_{surf}) + h_{r,air}(T_{air} - T_{surf}) \quad (2.11)$$

ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีเชิงเส้นต่ออุณหภูมิอากาศ สำหรับพื้นดิน ท้องฟ้า และอากาศ คือ  $h_{r,gnd}$   $h_{r,sky}$  และ  $h_{r,air}$  สามารถคำนวณได้ตามสมการ 2.12 2.13 2.14 ตามลำดับ

$$h_{r,gnd} = \frac{\varepsilon\sigma F_{gnd}(T_{gnd}^4 - T_{surf}^4)}{(T_{gnd} - T_{surf})} \quad (2.12)$$

$$h_{r,sky} = \frac{\varepsilon\sigma F_{sky}(T_{sky}^4 - T_{surf}^4)}{(T_{sky} - T_{surf})} \quad (2.13)$$

$$h_{r,air} = \frac{\varepsilon\sigma F_{air}(T_{air}^4 - T_{surf}^4)}{(T_{air} - T_{surf})} \quad (2.14)$$

การคำนวณ View factor สำหรับพื้นดินและท้องฟ้าสามารถคำนวณตามสมการ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ สำหรับ View factor ของท้องฟ้าถูกแบ่งเป็นการแผ่รังสีจากท้องฟ้าและอากาศ ทำให้สามารถเขียนสมการได้ดัง 2.17

$$F_{ground} = 0.5(1 - \cos\phi) \quad (2.15)$$

$$F_{sky} = 0.5(1 + \cos\phi) \quad (2.16)$$

$$\beta = \sqrt{0.5(1 + \cos\phi)} \quad (2.17)$$

สมการคำนวณการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวเป็นการคำนวณการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างกรอบอาคาร พื้นดิน ท้องฟ้า และอากาศบริเวณโดยรอบ ภายในสมการสำหรับการคำนวณการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวพบว่าสีสะท้อนความร้อนจะส่งผลกับพจน์ของสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี โดยสีสะท้อนความร้อนจะมีค่าการแผ่รังสีที่น้อยกว่าสีทั่วไป

### การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนบริเวณผิวภายนอกอาคารสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.18 โดยการพาความร้อนบริเวณผิวภายนอก สัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการคำนวณ คือ อุณหภูมิพื้นผิว

$$q''_{\text{conv}} = h_c (t_{\text{surf}} - t_{\text{air}}) \quad (2.18)$$

$q''_{\text{conv}}$	คือ อัตราการพาความร้อน
$h_c$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
$t_{\text{surf}}$	คือ อุณหภูมิผิวผนัง
$t_{\text{air}}$	คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

โปรแกรม EnergyPlus มีการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารทั้งหมด 3 โหมดด้วยกัน คือ การแผ่รังสีคลื่นสั้น การแผ่รังสีคลื่นยาว และการพาความร้อน จึงทำให้โปรแกรม EnergyPlus เหมาะกับการนำมาสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อศึกษาผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน เนื่องจากโปรแกรม EnergyPlus มีการคำนวณในการสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ

โดยคุณสมบัติของสีจะส่งผลต่อการคำนวณในส่วนของการดูดซับรังสีของพื้นผิว โดยสีสะท้อนความร้อนจะมีค่าการดูดซับรังสีของพื้นผิวที่น้อยกว่าสีทั่วไป

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการใช้สีสะท้อนความร้อน โดยศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิการลดอุณหภูมิผนังภายนอกและอุณหภูมิผนังภายใน การลดฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร และการลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ งานวิจัยมีการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสีสะท้อนความร้อนและการสร้างแบบจำลองทางพลังงานดังนี้

### 2.8.1 การลดอุณหภูมิผนังจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

งานวิจัยอิทธิพลของสีสะท้อนความร้อนกับความสามารถในการลดอุณหภูมิพื้นผิวจากการทาสีสะท้อนความร้อน งานหนึ่งในเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน ได้ทำการศึกษาสีสะท้อนความร้อนโดยการสร้างกล่องทดลอง เพื่อจำลองเป็นอาคารจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของสีสะท้อนความร้อนขึ้นอยู่กับสถานที่ ฤดูกาล และการวางแนวของอาคาร สีสะท้อนความร้อนของแต่ละผู้ผลิตจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ในช่วง  $4.7^{\circ}\text{C}$  [5] ภูมิภาคที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ที่เมืองฮางโจว ประเทศจีน มีงานวิจัยพบว่าการศึกษาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของกล่องทดสอบได้ประมาณ  $8.0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $10.0^{\circ}\text{C}$  [6] เมืองหนานฉาง ประเทศจีน มีงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองโดยการสร้างห้องจำลอง โดยแบ่งห้องจำลองออกเป็นสองห้องด้วยกัน ห้องที่หนึ่งทาสีสะท้อนความร้อนแล้วอีกห้องหนึ่งทาสีทั่วไป พบว่าห้องทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังห้องต่ำกว่าห้องทาสีทั่วไปอยู่ที่  $3^{\circ}\text{C}$  [7] นักวิจัยในเมืองเอเธนส์ ประเทศกรีซ ทำการทดลองโดยใช้แผ่นคอนกรีต และทำการทาสีสะท้อนความร้อนที่มีขายตามท้องตลาด จากการทดลองพบว่าตอนกลางวันสามารถลดอุณหภูมิได้  $4.0^{\circ}\text{C}$  [8] ในสาธารณรัฐโดมินิกันที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นคล้ายประเทศไทย ได้ทำการทดลองโดยการก่ออิฐเพื่อเป็นกำแพง แล้วทาสีที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกำแพง พบว่ากำแพงในทิศตะวันออกสามารถลดอุณหภูมิได้  $4.4^{\circ}\text{C}$  และกำแพงทางทิศตะวันตกลดได้  $7.8^{\circ}\text{C}$  [9]

### 2.8.2 การประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

ในประเทศอิหร่านได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสีสะท้อนความร้อนโดยสีสะท้อนความร้อนมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบ ในการศึกษาได้ใช้โปรแกรมจำลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิผนัง จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมพบว่าสีสะท้อนความร้อนมีความสามารถในการลดอุณหภูมิพื้นผิว  $4.5^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดการใช้พลังงานได้อยู่ที่ 17% [10] งานวิจัยภายในประเทศไทยมีการทดลองสีสะท้อนความร้อนโดยการสร้างกล่องและทาสี 2 ชนิด คือ สีสะท้อนความร้อน และสีทั่วไป โดยสถานที่ทดลองอยู่ที่ขอนแก่น จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในมีความแตกต่างกันถึง 7% [11] มีงานวิจัยในประเทศไทยพบว่าสีสะท้อนความร้อนลดอุณหภูมิบ้านได้ประมาณ  $4.0^{\circ}\text{C}$  และประหยัดการใช้พลังงานอยู่ที่ 7% [12]

### 2.8.3 สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิผนังและการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังได้สูงสุดอยู่ที่ 10°C และสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุด 5.8 kWh/m<sup>2</sup> (คิดเป็น 24% ของพลังงานทั้งหมด) โดยสามารถสรุปงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต

Researchers	Country	Maximum Temperature Reduction	Energy Saving
Chaiyosburana et al. (2013)	Thailand	4.0°C	N/A
Shen et al. (2011)	China	4.7°C	2.4 kWh/m <sup>2</sup>
Guo et al. (2012)	China	10.0°C	5.8 kWh/m <sup>2</sup>
Synnefa (2006)	Greece	4.0°C	N/A
Xing-guo et al. (2017)	China	3.0°C	N/A
Chaiyakul et al. (2013)	Thailand	5.0°C	N/A
Azemati et al. (2013)	Iran	4.5°C	N/A

### 2.8.4 ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

งานวิจัยพบว่าโปรแกรม EnergyPlus มีความคลาดเคลื่อนในการจำลองพลังงานอยู่ในช่วง 2 ถึง 18% [25-27] มาตรฐานของ ASHRAE 140 ซึ่งเป็นมาตรฐานของโปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยนำโปรแกรม 13 โปรแกรมมาจำลองพลังงานบนกรณีเดียวกัน พบว่า มีค่าสูงสุด – ต่ำสุดแตกต่างกันอยู่ที่ 26% ซึ่งอาจมองว่าเทียบเท่ากับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่บวกลบ 13% [28]

จากงานวิจัยพบว่าไฟล์สภาพอากาศมีผลต่อการสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยเมื่อใช้ไฟล์สภาพอากาศที่ต่างกันในแต่ละปีพบว่าการใช้พลังงานโดยการสร้างแบบจำลองให้ผลลัพธ์ต่างกันสูงถึง 17% ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ [29]

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยผลประหยัดจากการใช้สีสะท้อนความร้อนโดยทำการสร้างห้องทดลอง 2 ห้อง ที่เหมือนกันทุกประการ โดยมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร ผนังของห้องเป็นแผ่นยิปซัม 2 แผ่น ซึ่งมีความหนา 9 มิลลิเมตร มีช่องว่างอากาศขนาด 10 มิลลิเมตร โดยสีที่ใช้ในการทดสอบเป็นสีโทนเข้ม (สีน้ำตาล) โดยห้องหนึ่งใช้สีโทนน้ำตาลเข้มที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน ห้องที่สองทาสีโทนน้ำตาลเข้มที่มีคุณสมบัติทั่วไป ภายในห้องทดลองแต่ละห้องจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อตรวจวัดการใช้พลังงาน สถานที่ทดลองอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย โดยช่วงเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 และช่วงเมษายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 โดยการทดสอบมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังภายนอก ผนังภายใน พลักซ์ความร้อน และข้อมูลการใช้ไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้สีสะท้อนความร้อนกับการใช้สีทั่วไป โดยมีหัวข้อการดำเนินการดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน
- 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.3 ห้องทดลองทั้งสองหลัง
- 3.4 ขั้นตอนการทดลอง
- 3.5 แบบจำลองของห้องทดลองสำหรับจำลองการใช้พลังงาน
- 3.6 แบบจำลองทางพลังงาน

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาผลประหยัดของการทาสีสะท้อนความร้อน มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลสีสะท้อนความร้อน
- 3.1.2 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.3 การวางแผนและเตรียมการ
- 3.1.4 สร้างห้องทดลองและทาสีห้องทดลอง
- 3.1.5 ติดอุปกรณ์วัด และระบบภายในห้องทดลอง
- 3.1.6 สร้างแบบจำลองทางพลังงาน
- 3.1.7 เก็บผลการทดลอง โดยผลการทดลองที่ทำการเก็บคือ
  - 3.1.7.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
  - 3.1.7.2 อุณหภูมิผนังภายใน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

- 3.1.7.3 พลังค์ความร้อน ณ ตำแหน่งผนังภายใน
- 3.1.7.4 การใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
- 3.1.8 สร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อสอบเทียบแบบจำลองโดยผลลัพธ์คือ
  - 3.1.8.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
  - 3.1.8.2 อุณหภูมิผนังภายใน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
  - 3.1.8.3 พลังค์ความร้อนที่ผ่านกรอบอาคาร
  - 3.1.8.4 การใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
- 3.1.9 เปรียบเทียบผลการใช้ไฟฟ้าจากการตรวจวัดจริงและจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
- 3.1.10 สร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดรายปี
- 3.1.11 ศึกษากรณีอื่นๆ เพิ่มเติม
  - 3.1.11.1 การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือ
  - 3.1.11.2 สร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสี่
    - 3.1.11.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
    - 3.1.11.2.2 อุณหภูมิผนังภายใน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
    - 3.1.11.2.3 พลังค์ความร้อนที่ผ่านกรอบอาคาร
    - 3.1.11.2.4 ผลประหยัดการใช้พลังงานแบบรายปี
    - 3.1.11.2.5 คำนวณมือเพื่อพิสูจน์ความสมเหตุสมผลในการแยกหรือไม่แยกชั้นสี่
- 3.1.12 สร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองผนังอาคารทำจากผนังมวลหนัก
- 3.1.13 สร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองทาสีโทนอ่อน
  - 3.1.13.1 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลเบา
  - 3.1.13.2 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลหนัก
- 3.1.10 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

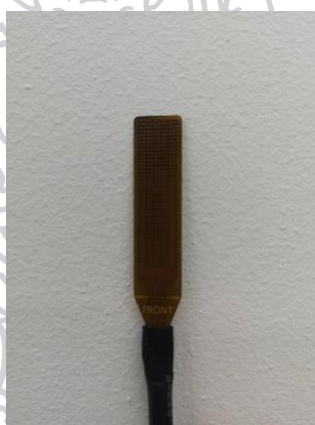
- 3.2.1 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค โดยจะมีความแม่นยำอยู่ที่  $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$  เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิผนัง ภายใน ผนังภายนอก ของห้องทดลองทั้งสองห้องดังแสดงในรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค

3.2.2 เซนเซอร์วัดฟลักซ์ความร้อน โดยมีความแม่นยำอยู่ที่  $\pm 2\%$  เพื่อตรวจวัดฮีทฟลักซ์ที่เข้าสู่ผนังโดยทำการติดตั้งในทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ของห้องทดลองทั้งสองห้องดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เซนเซอร์วัดฟลักซ์ความร้อน

3.2.3 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล คือ Graphtec Midi Logger 820 ความแม่นยำอยู่ที่  $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิของผนังห้องทดลองแต่ละห้องจากเทอร์โมคัปเปิลและฮีทฟลักซ์จากผนังภายในดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล Graphtec Midi Logger 820



3.2.4 มิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Kepler โมเดล KP-835 ความแม่นยำของการวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 0.5% 0.5% และ 1.0% ตามลำดับซึ่งคิดเป็นความคลาดเคลื่อนของการวัดกำลังไฟฟ้า 1.2% เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในห้องทดลองแต่ละห้องดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มิเตอร์ไฟฟ้า Kepler โมเดล KP-835

### 3.3 ห้องทดลองทั้งสองห้อง

ทำการสร้างห้องทดลอง 2 ห้อง ที่เหมือนกันทุกประการ โดยมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร ผนังของห้องเป็นแผ่นยิปซัมสองชั้นซึ่งมีความหนาแผ่นละ 9 มิลลิเมตร และมีช่องว่างอากาศขนาด 10 มิลลิเมตร ดังแสดงรูปที่ 3.5 โดยสื่ที่ใช้ในการทดสอบเป็นโหนดน้ำตาลเข้ม โดยห้องทดลองห้องที่หนึ่งใช้โหนดน้ำตาลเข้มที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน ห้องทดลองห้องที่สองใช้โหนดน้ำตาลเข้มที่มีคุณสมบัติทั่วไป ภายในห้องทดลองทั้งสองห้องมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ขนาด 28,000 Btu/h โดยจะแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ผนังของห้องทดลองทั้งสองห้อง



รูปที่ 3.6 ห้องทดลองทั้งสองห้อง

ตามรูปที่ 3.6 ห้องทดลองทั้งสองห้อง ด้านที่มีประตูจะหันทางด้านทิศใต้ โดยทางทิศใต้จะมีหลังคาของอาคารข้างเคียงที่อยู่ด้านข้างใกล้อยู่ด้วย ห้องด้านนอกจะเป็นห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนและห้องด้านไกลทาสีทั่วไป

### 3.3.1 สถานที่ตั้งของห้องทดลอง

สถานที่ตั้งของห้องทดลองอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย

### 3.3.2 ระยะเวลาในการเก็บผลการทดลอง

ช่วงเวลาในการทดสอบอยู่ที่ 09:00 น. ถึง 19:00 น. ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 และมีการเก็บผลของฟลักซ์ความร้อนในช่วง 09:00 น. ถึง 19:00 น. ในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2563

### 3.3.3 การติดตั้งเครื่องมือวัด

การทดลองมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังภายนอก อุณหภูมิผนังภายใน ฟลักซ์ความร้อน และข้อมูลการใช้ไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของผนังภายใน ภายนอก การดูดซับความร้อนของผนัง ของห้องทดลองทั้งสองห้อง เพื่อนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนกับห้องทดลองที่ทาสีทั่วไป ผลการทดลองทำการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกอัตโนมัติ โดยข้อมูลจะถูกบันทึกแบบรายชั่วโมง

## 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 สร้างห้องทดลองสองห้องที่มีขนาด 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร

3.4.2. ทาสีรองพื้นที่มีคุณสมบัติเหมือนกันที่ห้องทดลองทั้งสอง

3.4.3 ทาสีทับหน้าทั้งหมดสองรอบโดยห้องทดลองห้องหนึ่งเป็นสีสะท้อนความร้อน ส่วนห้องทดลองอีกห้องหนึ่งทาสีคุณสมบัติทั่วไป สำหรับหลังคาห้องทดลองทั้งสอง ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนหลังคาจะทาสีสะท้อนความร้อนด้วยสีชนิดเดียวกัน และหลังคาห้องทาสีทั่วไปจะทาสีทั่วไป

3.4.4 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 28,000 BTU/hr พร้อมติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดการใช้พลังงาน

3.4.5 ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ผนังภายนอกที่ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยเทอร์โมคัปเปิลจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติโดยจะตั้งค่าให้ทำการบันทึกอุณหภูมิรายชั่วโมง

3.4.6 ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ผนังภายในที่ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยเทอร์โมคัปเปิลจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติโดยจะตั้งค่าให้ทำการบันทึกอุณหภูมิรายชั่วโมง

3.4.7 ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดฟลักซ์ความร้อนที่ผนังภายในทางทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยเซนเซอร์ตรวจวัดฟลักซ์ความร้อนจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติโดยจะตั้งค่าให้ทำการบันทึกข้อมูลรายชั่วโมง

3.4.8 ในช่วงเวลา 09:00 น. ทำการเปิดอุปกรณ์การเก็บข้อมูล เปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดมิเตอร์ไฟฟ้า

3.4.9 ในช่วงเวลา 19:00 น. ทำการปิดอุปกรณ์การเก็บข้อมูล ปิดเครื่องปรับอากาศ และปิดมิเตอร์ไฟฟ้า

3.4.10 สร้างแบบจำลองห้องทดลองด้วยโปรแกรม SkecthUp สำหรับจำลองการใช้พลังงาน

3.4.11 นำแบบจำลองบ้านจาก SkectUp เข้าโปรแกรม OpenStudio เพื่อใส่ค่าของวัสดุตารางการใช้งาน และระบบปรับอากาศของห้องทดลอง สำหรับการจำลองการใช้พลังงาน

3.4.12 นำไฟล์จาก OpenStudio พร้อมไฟล์สภาพอากาศ เข้าสู่โปรแกรม EnergyPlus เพื่อจำลองการใช้พลังงาน

3.4.13 นำผลจากการการตรวจวัดของห้องทดลองสองห้องมาวิเคราะห์ โดยผลที่นำมาวิเคราะห์คือ อุณหภูมิผนังภายใน อุณหภูมิผนังภายนอก พลักซ์ความร้อน และการใช้ไฟฟ้าของห้องทดลองทั้งสอง

3.4.14 วิเคราะห์ผลจากการจำลองพลังงานของห้องทดลองทั้งสองหลัง โดยผลที่นำมาวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิผนังภายใน อุณหภูมิผนังภายนอก พลักซ์ความร้อน และการใช้พลังงานจากการเปิดเครื่องปรับอากาศของห้องทั้งสอง

3.4.15 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการตรวจวัดจริงและผลจากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงาน เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง

3.4.16 สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาผลประหยัดพลังงานรายปีจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

3.4.17 กรณีศึกษาเพิ่มเติม

3.4.17.1 การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือ เพื่อดูว่าสามารถประเมินความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการคำนวณด้วยมือได้หรือไม่

3.4.17.2 สร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสี เนื่องจากมีการแนะนำว่าหากต้องการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อนสามารถแก้ไขคุณสมบัติของผนังภายนอกได้เลย แต่หนังสือคู่มือของโปรแกรมแนะนำว่าห้ามแก้ไขคุณสมบัติ ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเพื่อศึกษาว่าแบบจำลองแยกชั้นสี และไม่แยกชั้นสีจะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยจะดูตั้งหัวข้อต่อไป

- 3.4.17.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
- 3.4.17.2.2 อุณหภูมิผนังภายใน ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน
- 3.4.17.2.3 พลังค์ความร้อนที่ผ่านกรอบอาคาร
- 3.4.17.2.4 ผลประหยัดการใช้พลังงานแบบรายปี
- 3.4.17.2.5 คำนวณมือเพื่อพิสูจน์ความสมเหตุสมผลในการแยกหรือไม่แยก

ชั้นสี่

- 3.4.17.2.6 สร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองผนังอาคารทำจากผนังมวลหนัก

3.4.18 สร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองทาสีโทนอ่อน เพื่อศึกษาว่าสีโทนอ่อนมีผลประหยัดพลังงานแตกต่างจากสีโทนเข้มหรือไม่

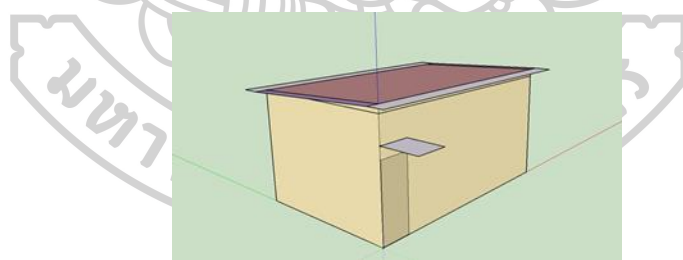
3.4.18.1 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลเบา

3.4.18.2 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลหนัก

3.4.19 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### 3.5 แบบจำลองของห้องทดลองเพื่อการจำลองการใช้พลังงาน

สร้างแบบจำลองของห้องทดลองโดยใช้โปรแกรม SkecthUp สร้างแบบจำลองทางพลังงาน โดยมีขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอย 24 ตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แบบจำลองของห้องทดลองโดยโปรแกรม SkecthUp

### 3.6 แบบจำลองทางพลังงาน

แบบจำลองของห้องทดลองถูกนำเข้าโปรแกรม OpenStudio เพื่อกรอกค่าคุณสมบัติวัสดุ กรอบอาคารรวมถึงคุณสมบัติของสีทั่วไปและสีสะท้อนความร้อน ตารางการใช้งานห้องทดลอง การควบคุมอุณหภูมิห้องให้ตรงตามการตรวจวัดจริงที่  $25^{\circ}\text{C}$  และระบบปรับอากาศของห้องทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 รูปที่ 3.9 รูปที่ 3.10 รูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ ค่าที่ทำการกรอกเข้าสู่โปรแกรม OpenStudio ทำการกรอกข้อมูลการใช้งานให้เป็นไปตามการตรวจวัดจริง โดยค่าการดูดซับความร้อน (Thermal absorptance) คือ ค่าการดูดซับรังสีในย่านความร้อนหรือย่านที่เป็นคลื่น

ยาวจากวัตถุโดยรอบ เช่น ถ้ากรอกค่า 1.0 หมายถึง เป็นตัวแทนของวัตถุดำ เป็นต้น ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar absorptance) คือ ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ทุกย่านความยาวคลื่นของวัตถุ และค่าการดูดซับรังสีที่ตามองเห็น (Visible absorptance) คือ ค่าการดูดซับรังสีในย่านที่ตามองเห็นได้ ห้องทดลองที่ทำสีสะท้อนความร้อนจะมีค่า Solar absorptance น้อยกว่าสีสะท้อนความร้อน เมื่อทำการกรอกข้อมูลเสร็จแล้ว จะนำไฟล์จากโปรแกรม OpenStudio เข้าสู่โปรแกรม EnergyPlus พร้อมไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศเพื่อสร้างแบบจำลองทางพลังงาน โดยไฟล์สภาพอากาศเป็นปีเดียวกันกับปีที่ทำการเก็บข้อมูลซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยรูปของโปรแกรม EnergyPlus จะแสดงในรูปที่ 3.13

Thermal Absorptance:  
0.890000

Solar Absorptance:  
0.871000

Visible Absorptance:  
0.865000

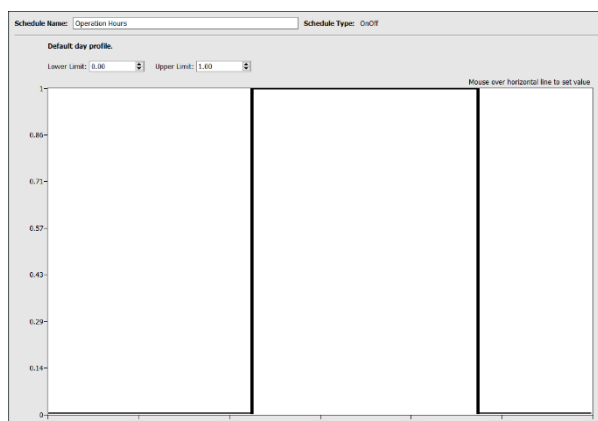
รูปที่ 3.8 คุณสมบัติสีของห้องทดลองทาสีทั่วไปที่กรอกเข้าไปโปรแกรม OpenStudio

Thermal Absorptance:  
0.860000

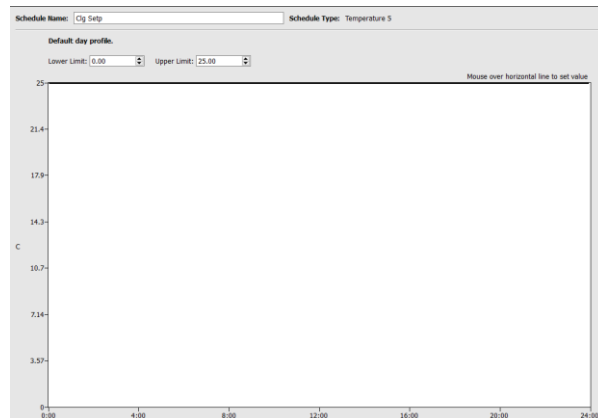
Solar Absorptance:  
0.505000

Visible Absorptance:  
0.865000

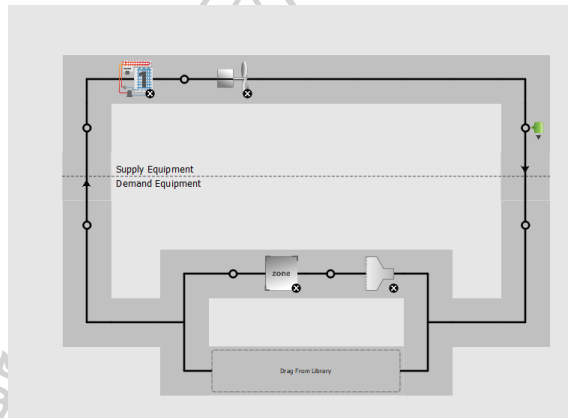
รูปที่ 3.9 คุณสมบัติสีห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนที่กรอกเข้าไปในโปรแกรม OpenStudio



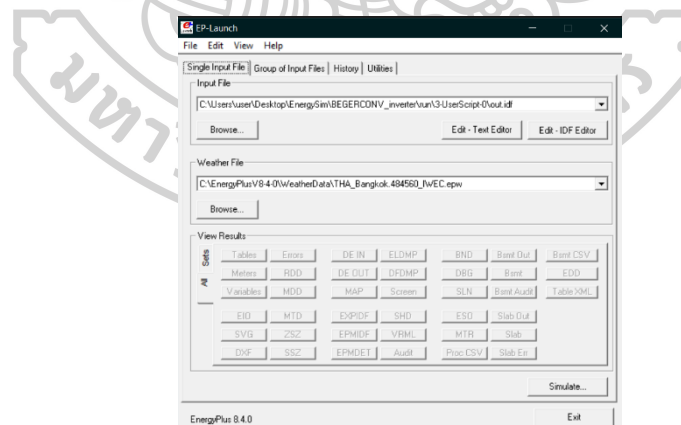
รูปที่ 3.10 การใช้งานห้องทดลองที่ทำการตั้งค่าในโปรแกรม OpenStudio



รูปที่ 3.11 การตั้งค่าอุณหภูมิภายในของห้องทดลองในโปรแกรม OpenStudio



รูปที่ 3.12 การเลือกใช้ระบบปรับอากาศสำหรับห้องทดลองในโปรแกรม OpenStudio



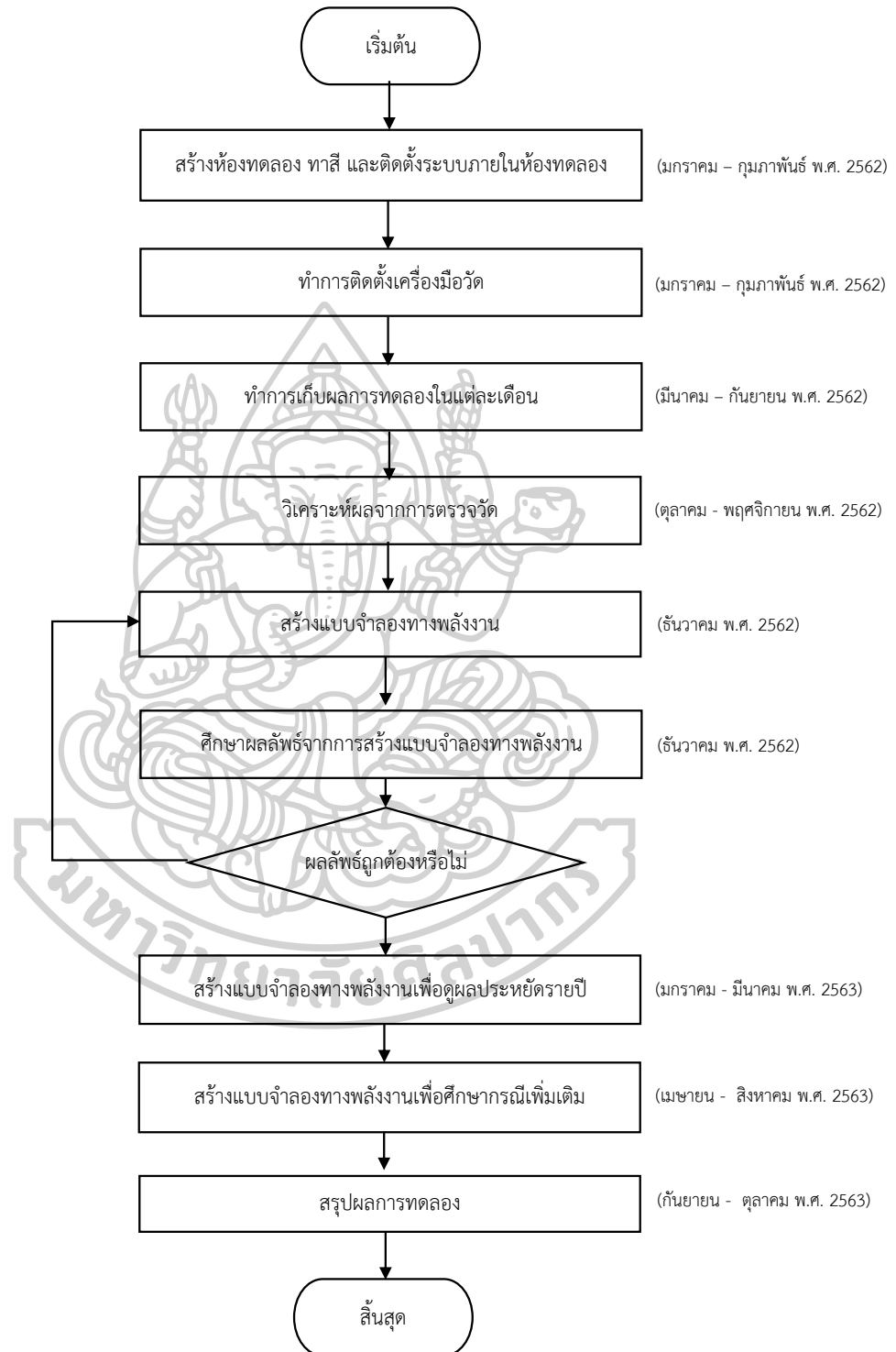
รูปที่ 3.13 รูปแบบของโปรแกรม EnergyPlus

### 3.7 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้มีการดำเนินการดังแผนผังในรูปที่ 3.14



### แผนการวิจัยผลประหยัดจากการใช้สีสะท้อนความร้อน



รูปที่ 3.14 แผนการดำเนินงาน

### 3.8 การวิเคราะห์และสรุปผลวิจัย

การวิเคราะห์งานวิจัยผลประหยัดจากการใช้สีสะท้อนความร้อน มีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดังต่อไปนี้

#### 3.8.1 การตรวจวัดจริง

3.8.1.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.1.2 อุณหภูมิผนังภายใน ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.1.3 พลังค์ความร้อน ช่วงเดือนเมษายน และพฤษภาคม พ.ศ. 2563

3.8.1.4 ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศ ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

#### 3.8.2 การสร้างแบบจำลองพลังงาน

3.8.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.2.2 อุณหภูมิผนังภายใน ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.2.3 พลังค์ความร้อน ช่วงเดือนเมษายน และพฤษภาคม

3.8.2.4 ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศ ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.3 การเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง

3.8.4 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดรายปี

3.8.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม

3.8.5.1 การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือ

3.8.5.2 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสี

3.8.5.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.5.2.2 อุณหภูมิผนังภายใน ช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.8.5.2.3 พลังค์ความร้อน ช่วงเดือนเมษายน และพฤษภาคม

3.8.5.2.4 ผลประหยัดพลังงานแบบรายปี

3.8.5.2.5 การคำนวณมือแบบแยกชั้นสีและไม่แยกชั้นสี

3.8.6 การสร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองผนังอาคารทำจากผนังมวลหนัก

3.8.7 การสร้างแบบจำลองกรณีห้องทดลองทาสีโทนอ่อน

3.8.7.1 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลเบา

3.8.7.2 ผลประหยัดพลังงานห้องทดลองผนังมวลหนัก

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน มีการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอก ผนังภายใน พลักซ์ความร้อน การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ และทำการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อผลประหยัดทั้งปี โดยจะมีผลการวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 4.1 การตรวจวัดจริง

#### 4.2 การสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

4.3 การเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

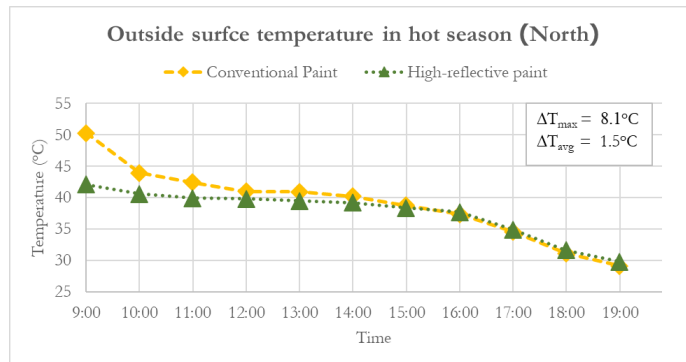
#### 4.4 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อผลประหยัดพลังงานรายปี

#### 4.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม

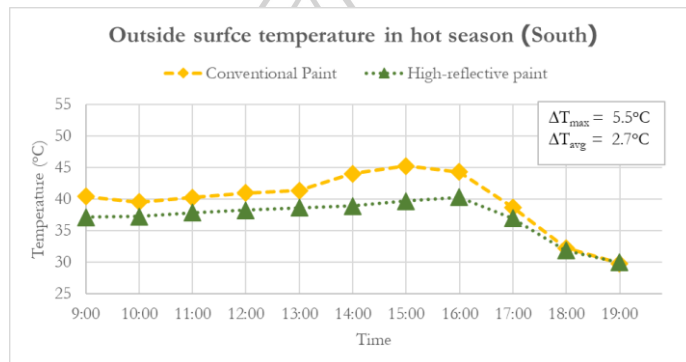
### 4.1 การตรวจวัดจริง

#### 4.1.1 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน

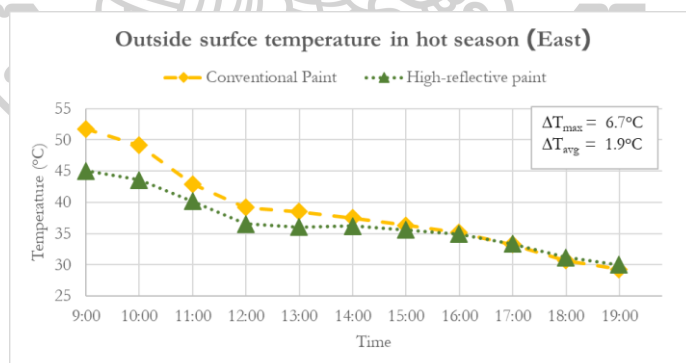
จากการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอก ที่ตรวจวัดในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย พบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิเป็นไปตามที่ควรจะเป็นสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในซีกโลกเหนือ คือ ห้องทดลองทั้งสองห้อง อุณหภูมิผนังทางทิศเหนือและทางทิศตะวันออกจะมีอุณหภูมิสูงในช่วงเช้าเนื่องจากรับแสงอาทิตย์ในช่วงเช้า และผนังทางด้านทิศตะวันตกและทิศใต้จะมีอุณหภูมิสูงในช่วงบ่ายเนื่องจากการรับแสงอาทิตย์ในช่วงบ่าย พบว่าห้องทดสอบที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกต่ำกว่าห้องทดสอบที่ทาสีทั่วไป โดยห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกสูงสุดอยู่ที่  $45.8^{\circ}\text{C}$  ในส่วนของห้องทดลองทาสีทั่วไปพบว่ามีอุณหภูมิผนังภายนอกสูงสุดถึง  $51.7^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิผนังภายนอกแตกต่างกันมากที่สุด โดยเป็นอุณหภูมิผนังทางทิศเหนือ ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกอยู่ที่  $42.1^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิผนังภายนอกอยู่ที่  $50.2^{\circ}\text{C}$  จากการตรวจวัดจริงพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $8.1^{\circ}\text{C}$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $2.1^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายนอกจากการตรวจวัดจริงของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



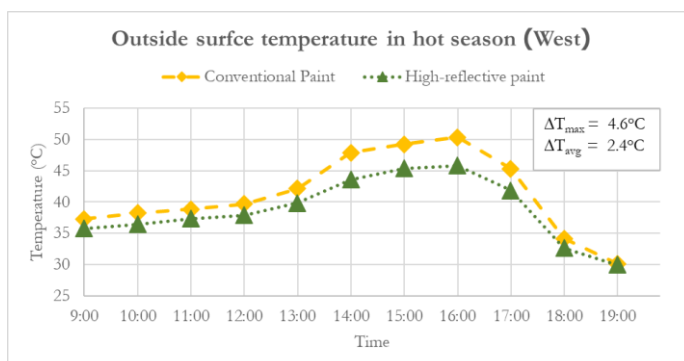
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



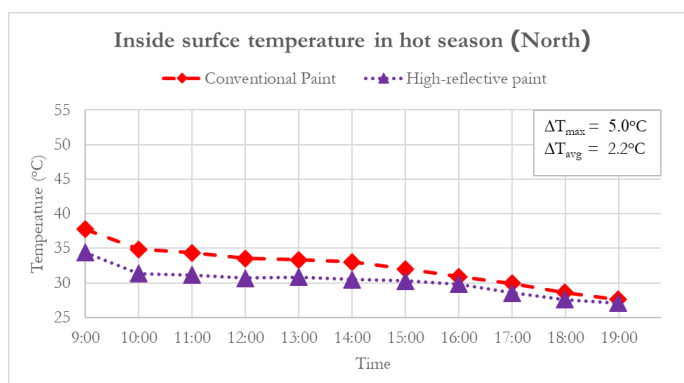
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



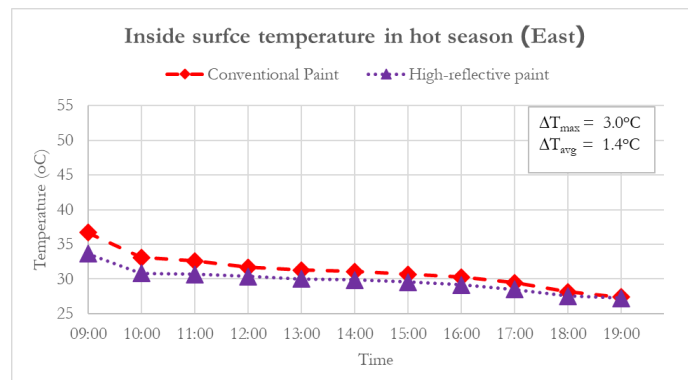
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

#### 4.1.2 อุณหภูมิผนังในช่วงฤดูร้อน

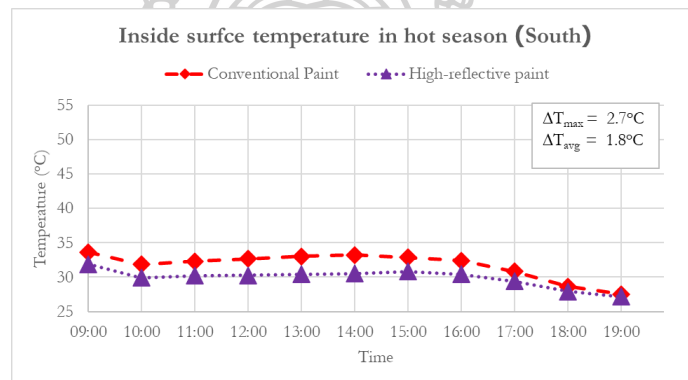
จากการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายใน ที่ตรวจวัดในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย พบว่าห้องทดสอบที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายในต่ำกว่าห้องทดสอบที่ทาสีทั่วไป โดยห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายในสูงสุดอยู่ที่ 34.6°C ในส่วนของห้องทดลองทาสีทั่วไปพบว่ามีอุณหภูมิผนังภายในสูงสุดอยู่ที่ 39.3°C และช่วงเวลา 09:00 น. เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิผนังภายในแตกต่างกันมากที่สุด โดยเป็นอุณหภูมิผนังทางทิศเหนือ ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายในอยู่ที่ 34.3°C ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิผนังภายในอยู่ที่ 39.3°C จากการตรวจวัดจริงพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่ 5.0°C และเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9°C โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการตรวจวัดจริงของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.5 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



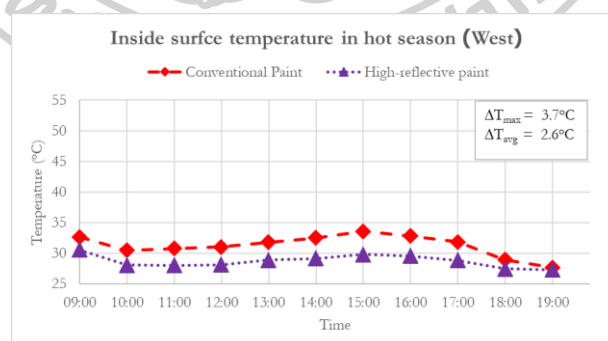
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

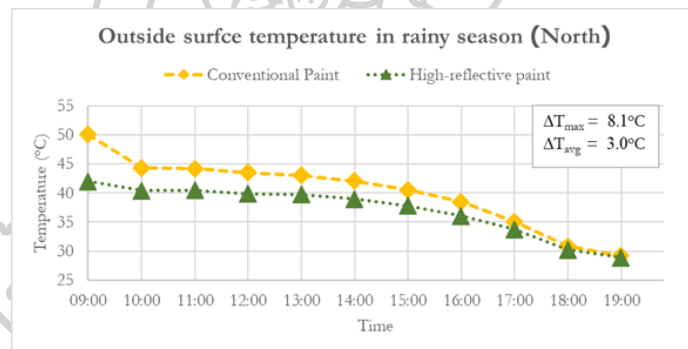


รูปที่ 4.8 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

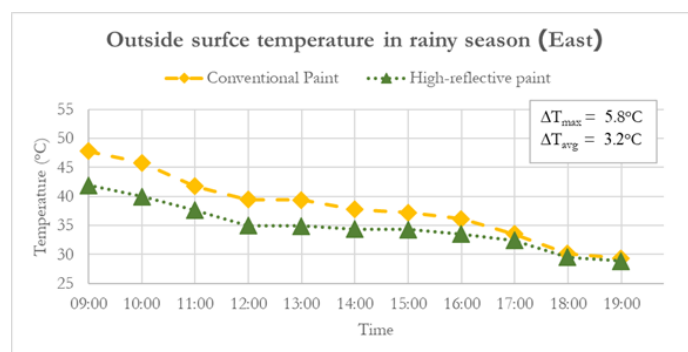
#### 4.1.3 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน

จากการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอก ที่ตรวจวัดในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทย พบว่าห้องทดสอบที่ทำสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกต่ำกว่าห้องทดสอบที่ทำสีทั่วไป โดยห้องทดลองที่ทำสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกสูงสุดอยู่ที่  $45.1^{\circ}\text{C}$  ในส่วนของห้องทดลองทำสีทั่วไปพบว่ามีอุณหภูมิผนังภายนอกสูงสุดถึง  $51.0^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิผนังภายนอกแตกต่างกันมากที่สุด โดยเป็นอุณหภูมิผนังทางทิศเหนือ ห้องทดลองทำสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกอยู่ที่  $42.0^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทำสีทั่วไปมีอุณหภูมิอุณหภูมิผนังภายนอกอยู่ที่  $50.1^{\circ}\text{C}$  จากการตรวจวัดจริงพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $8.1^{\circ}\text{C}$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $3.5^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายนอกจากการตรวจวัดจริงของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.9 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

นอกจากนั้นแล้ว จากการเปรียบเทียบการตรวจวัดในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอกได้ใกล้เคียงกัน

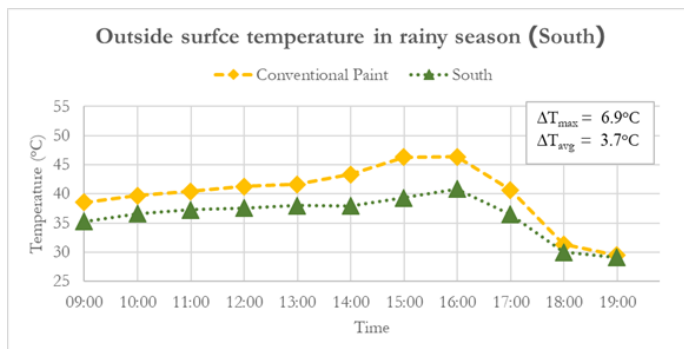


รูปที่ 4.9 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

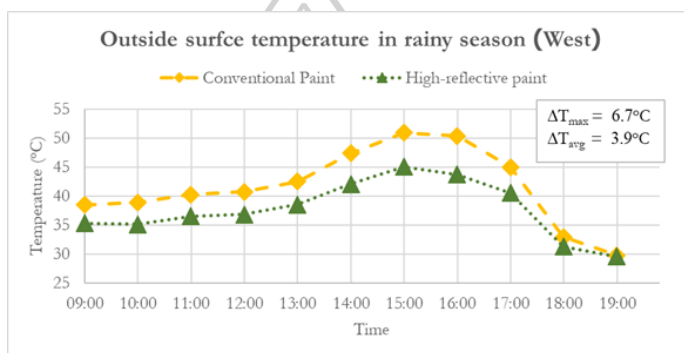


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)





รูปที่ 4.11 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ.2562)

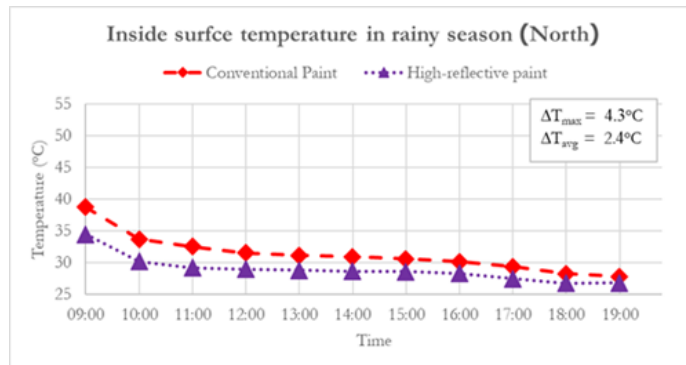


รูปที่ 4.12 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ.2562)

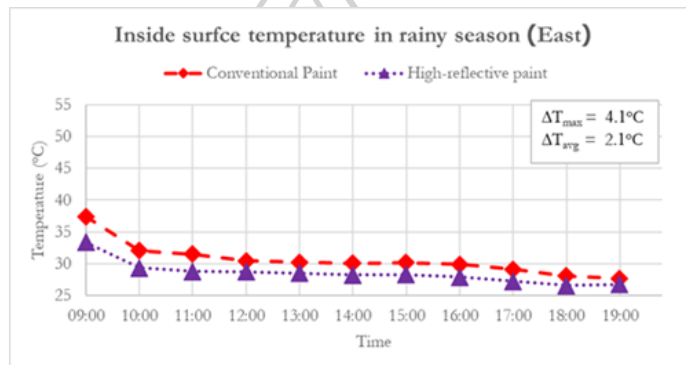
#### 4.1.4 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน

จากการตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายใน ที่ตรวจวัดในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน พบว่าช่วงเวลาที่ห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิแตกต่างกับห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปมากที่สุด คือ ช่วงเวลา 09:00 น. โดยผนังที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดจะอยู่ทางทิศเหนือ โดยอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีสะท้อนความร้อนจะอยู่ที่ 34.4°C และอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปจะอยู่ที่ 38.7°C ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนจึงสามารถลดอุณหภูมิผนังภายในได้สูงสุดอยู่ที่ 4.3°C และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 2.5°C โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.13 4.14 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

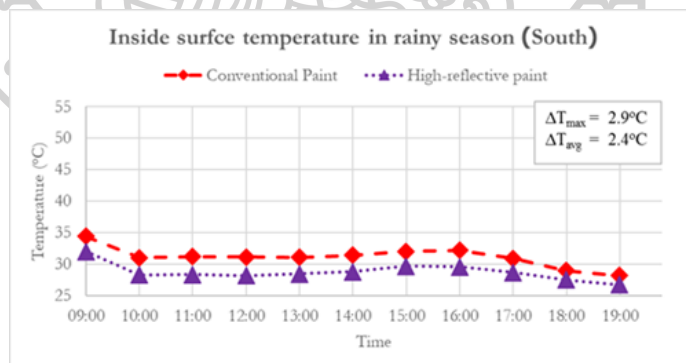
นอกจากนั้นแล้ว จากการเปรียบเทียบการตรวจวัดในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผนังภายในได้ใกล้เคียงกัน



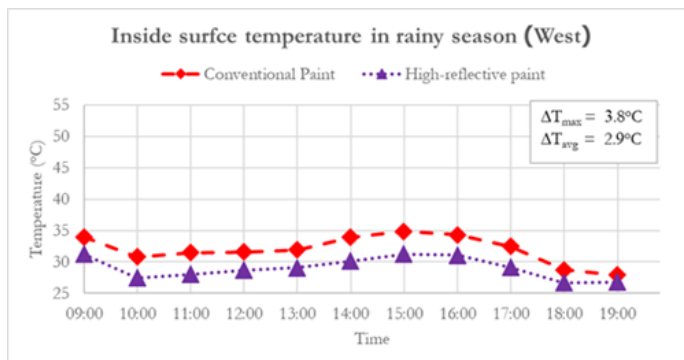
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

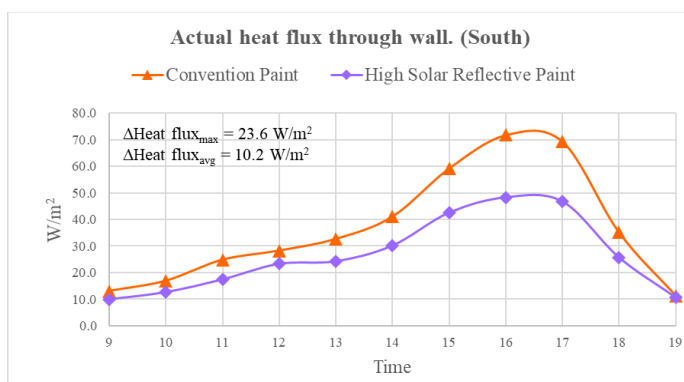


รูปที่ 4.16 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดจริง ในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

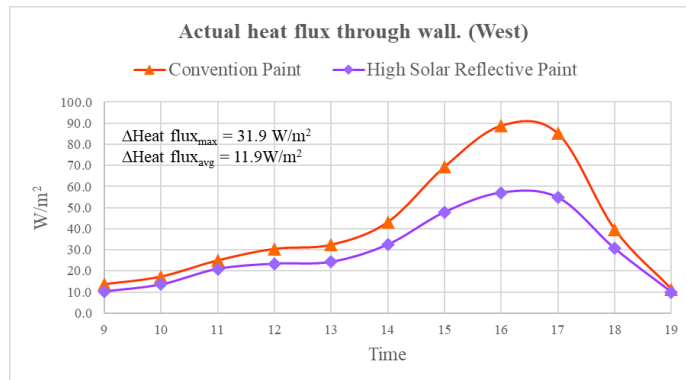
ทั้งนี้ จากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ว่าอุณหภูมิผนังภายนอกจะมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลา 09:00 น. เนื่องจากการทดลองจะเริ่มทำการเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 09:00 น. เป็นผลให้อุณหภูมิสูงในช่วงเวลาดังกล่าว

#### 4.1.5 ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน

ฟลักซ์ความร้อนตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 โดยทำการตรวจวัดทางผนังทิศใต้ และทิศตะวันตก ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่ายิ่งอุณหภูมิพื้นผนังสูงขึ้นฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะสูงขึ้นตาม จากการที่ตรวจวัดผนังทิศใต้และทิศตะวันตกจึงทำให้ฟลักซ์ความร้อนสูงในช่วงบ่ายซึ่งเป็นไปตามที่ควรจะเป็น โดยฟลักซ์ความร้อนของห้องทาสีสะท้อนความร้อนสูงสุดอยู่ที่  $57.0 \text{ W/m}^2$  และห้องทาสีทั่วไปมีฟลักซ์ความร้อนสูงสุดอยู่ที่  $88.9 \text{ W/m}^2$  นอกจากนี้ยังพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $31.9 \text{ W/m}^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $11.1 \text{ W/m}^2$  ฟลักซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ



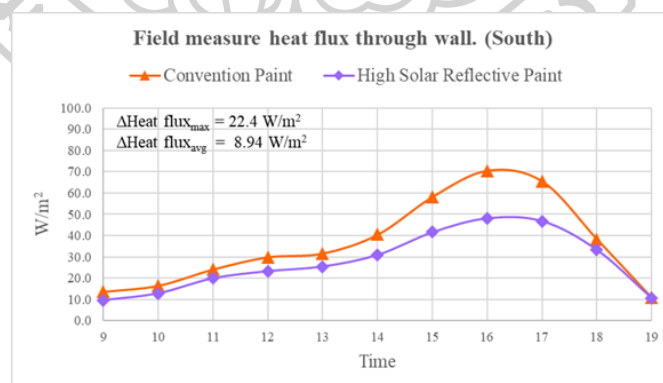
รูปที่ 4.17 ฟลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563



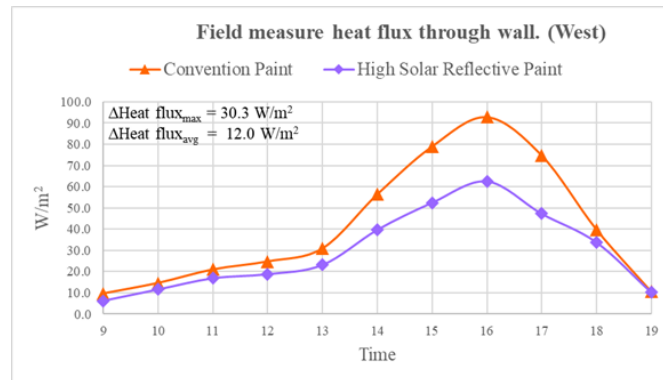
รูปที่ 4.18 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการตรวจวัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

#### 4.1.6 พลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนพฤษภาคม

พลักซ์ความร้อนตรวจวัดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 โดยทำการตรวจวัดทางผนังทิศใต้และทิศตะวันตก ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่ายิ่งอุณหภูมิพื้นผนังสูงขึ้นพลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะสูงขึ้นตาม จากการที่ตรวจวัดผนังทิศใต้และทิศตะวันตกจึงทำให้พลักซ์ความร้อนสูงในช่วงบ่ายซึ่งเป็นไปตามที่ควรจะเป็น โดยพลักซ์ความร้อนของห้องทาสีสะท้อนความร้อนสูงสุดอยู่ที่  $62.5 \text{ W/m}^2$  และห้องทาสีทั่วไปมีพลักซ์ความร้อนสูงสุดอยู่ที่  $92.8 \text{ W/m}^2$  นอกจากนี้ยังพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดพลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $30.3 \text{ W/m}^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $10.5 \text{ W/m}^2$  พลักซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



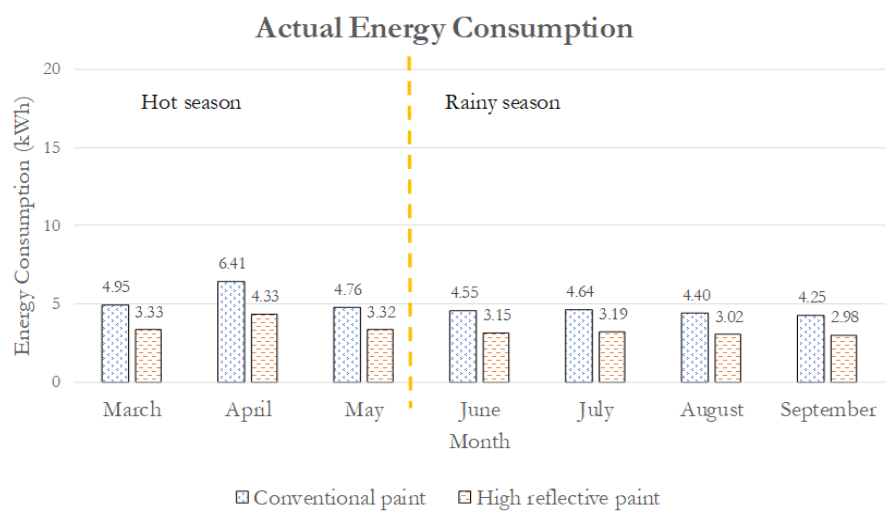
รูปที่ 4.19 พลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการตรวจวัดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563



รูปที่ 4.20 พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการตรวจวัดในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563

#### 4.1.7 ผลประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดจริง

การตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศของห้องทดลองสองห้อง ได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วง 9:00 น. – 19:00 น. ระหว่างช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ห้องทดลอง ทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 4.3 kWh และห้องทดลองทาสีทั่วไปใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 6.4 kWh ในช่วงเดือน เมษายน การตรวจวัดจริงพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากเครื่องปรับอากาศในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนได้เฉลี่ยอยู่ที่ 31% โดยการใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนตลอดช่วงการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 4.21

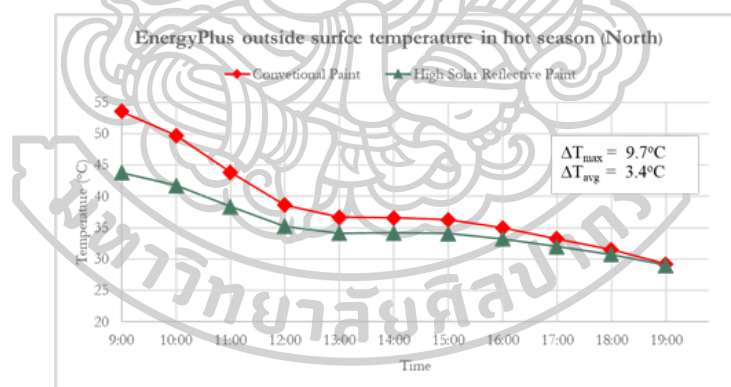


รูปที่ 4.21 การใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันของเครื่องปรับอากาศของทดลองทั้งสองห้องจากการตรวจวัดในช่วงมีนาคม – กันยายน พ.ศ. 2562

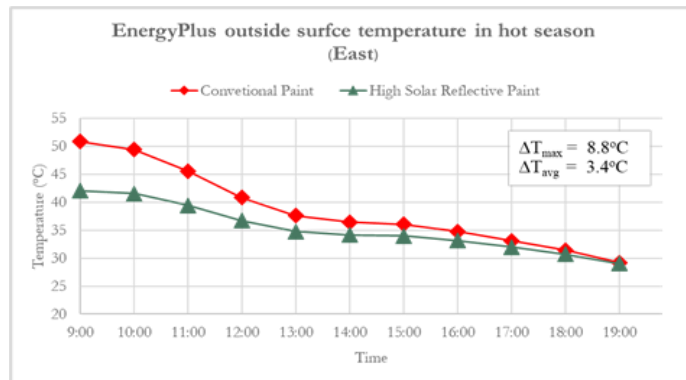
## 4.2 การสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

### 4.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน

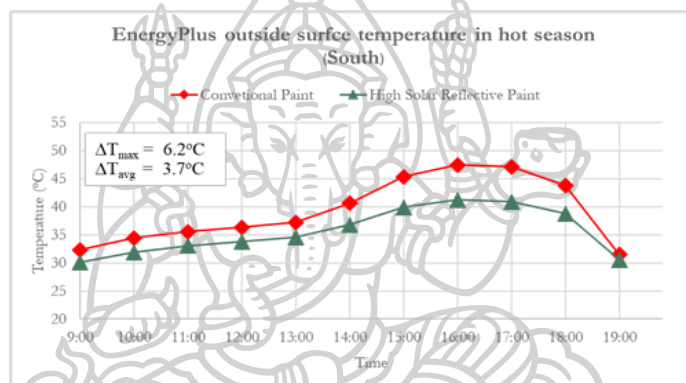
สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าการสร้างแบบจำลองให้แนวโน้มของอุณหภูมิเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริง ในส่วนของผนังทางทิศเหนือและทางทิศตะวันออกจะมีอุณหภูมิจะสูงในช่วงเช้า และอุณหภูมิผนังทิศใต้และตะวันตกจะสูงในช่วงบ่าย จากการสร้างแบบจำลอง พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $44.4^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $53.5^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. ให้ผลลัพธ์อุณหภูมิผนังทิศเหนือแตกต่างกันมากที่สุด ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่  $43.8^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิอยู่ที่  $53.5^{\circ}\text{C}$  จากการสร้างแบบจำลองพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $9.7^{\circ}\text{C}$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $3.7^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายนอกจากการตรวจวัดจริงของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.22 4.23 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



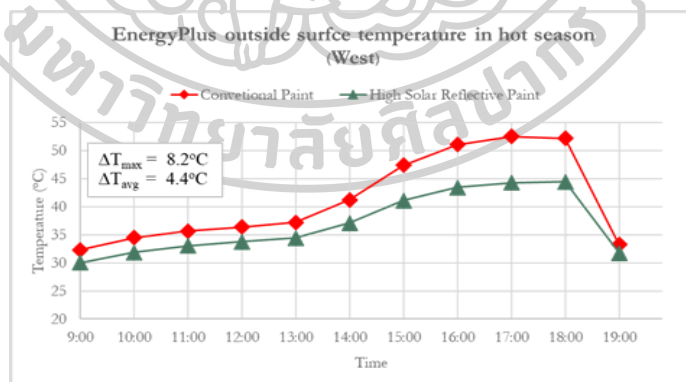
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.23 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.24 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

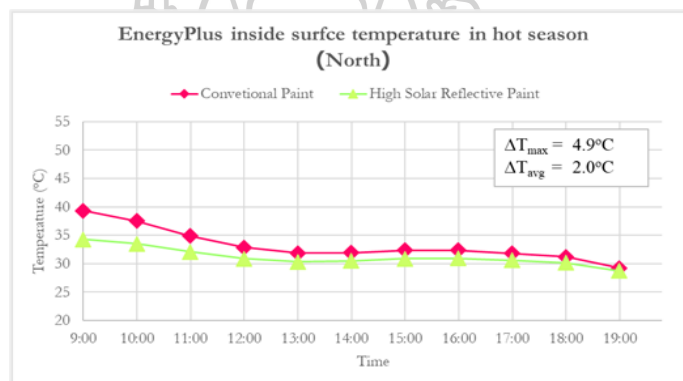


รูปที่ 4.25 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

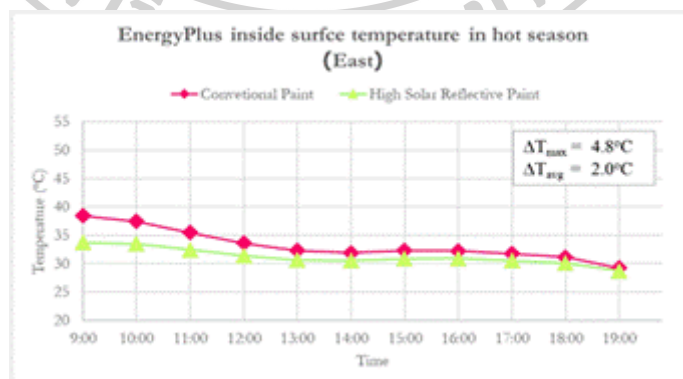


#### 4.2.2 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูร้อน

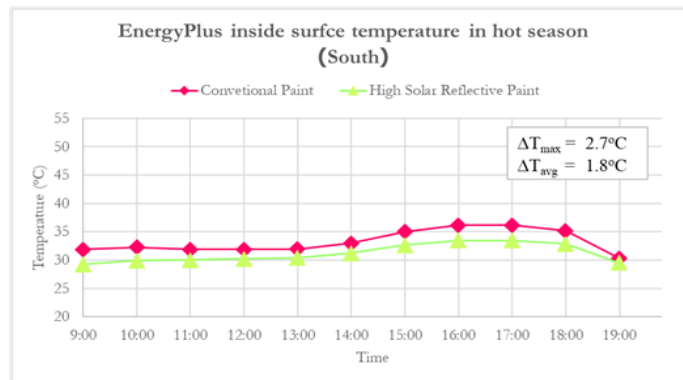
สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายใน ช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $34.6^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $39.2^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. ให้ผลลัพธ์อุณหภูมิผนังทิศเหนือแตกต่างกันมากที่สุด ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่  $34.3^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิอยู่ที่  $39.2^{\circ}\text{C}$  จากการสร้างแบบจำลองพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $4.9^{\circ}\text{C}$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $2.1^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการตรวจวัดจริงของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.26 4.27 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



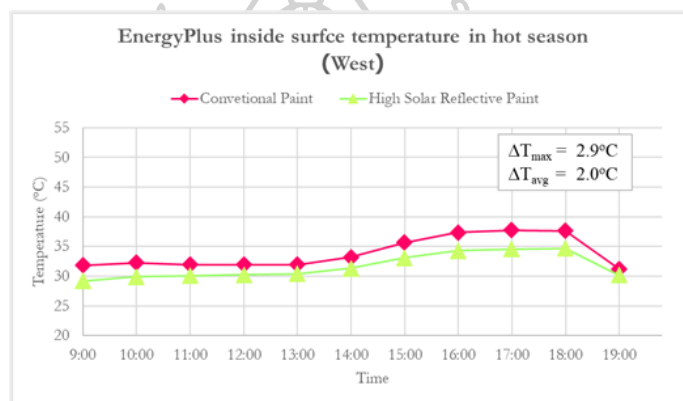
รูปที่ 4.26 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



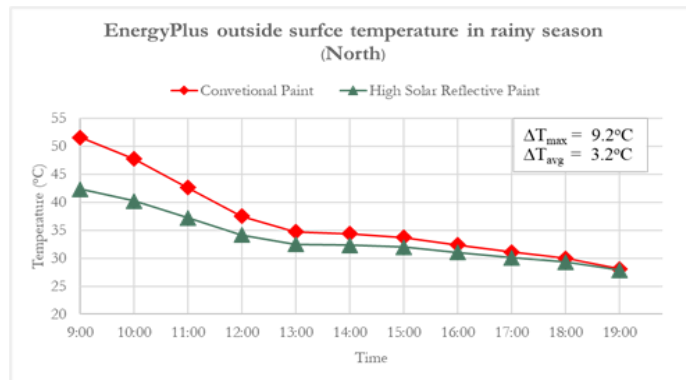
รูปที่ 4.28 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



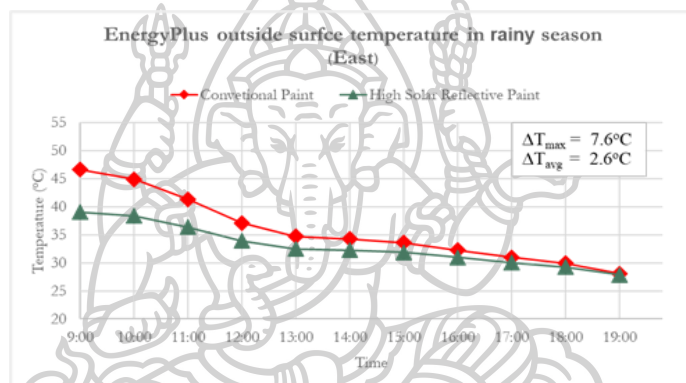
รูปที่ 4.29 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

#### 4.2.3 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน

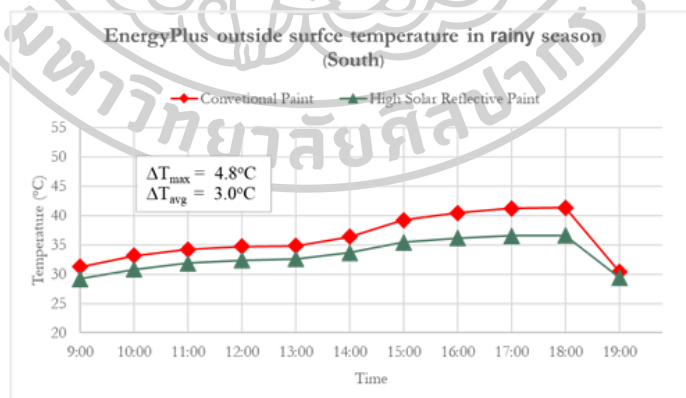
จากการสร้างแบบจำลองเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน พบว่าช่วงเวลาที่ห้องทดลองที่ใช้ฮีตซิงค์ความร้อนมีอุณหภูมิแตกต่างกับห้องทดลองที่ทาสีทั่วไปมากที่สุด คือ ช่วงเวลา 09:00 น. โดยผนังที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดจะอยู่ทางทิศเหนือ โดยอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีฮีตซิงค์ความร้อนจะอยู่ที่ 42.3°C และอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีทั่วไปจะอยู่ที่ 51.5°C ดังนั้นฮีตซิงค์ความร้อนจึงสามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอกได้สูงสุดอยู่ที่ 9.2°C และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 3.2°C โดยอุณหภูมิผนังภายนอกจากการสร้างแบบจำลองของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.30 4.31 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ



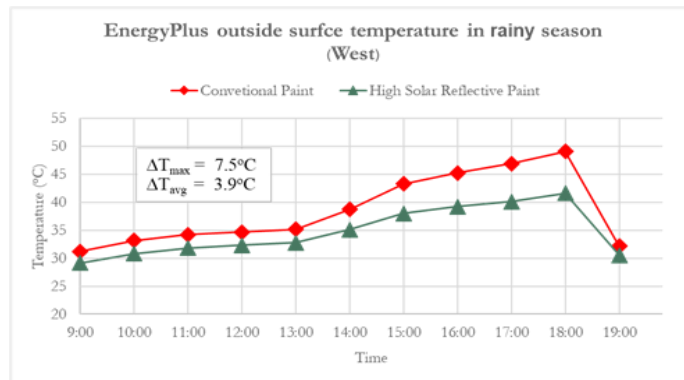
รูปที่ 4.30 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.31 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



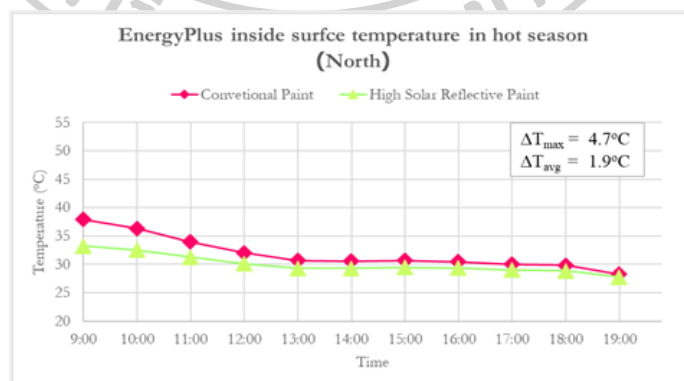
รูปที่ 4.32 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



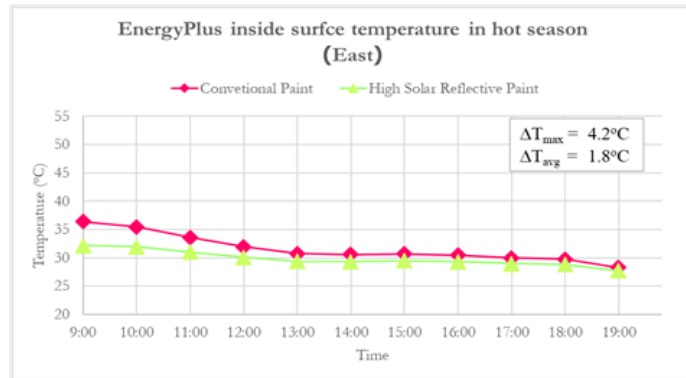
รูปที่ 4.33 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

#### 4.2.4 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน

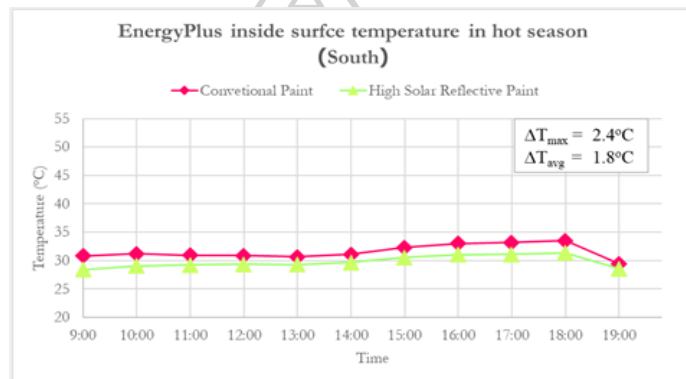
การสร้างแบบจำลองเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายใน ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน พบว่าช่วงเวลาที่ห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิแตกต่างกับห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปมากที่สุด คือ ช่วงเวลา 09:00 น. โดยผนังที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดจะอยู่ทางทิศเหนือ โดยอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีสะท้อนความร้อนจะอยู่ที่  $33.2^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปจะอยู่ที่  $37.9^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนจึงสามารถลดอุณหภูมิผนังภายในได้สูงสุดอยู่ที่  $4.7^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $2.5^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการสร้างแบบจำลองของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตก จะแสดงในรูปที่ 4.34 4.35 4.36 และ 4.37 ตามลำดับ



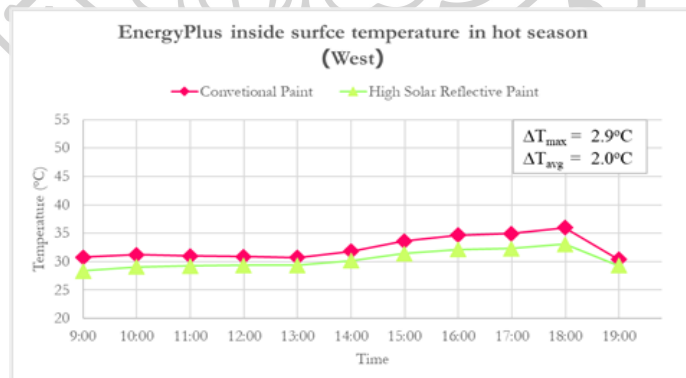
รูปที่ 4.34 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.35 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



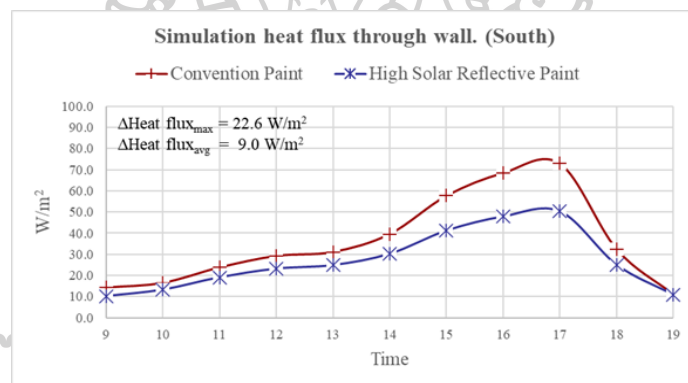
รูปที่ 4.36 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



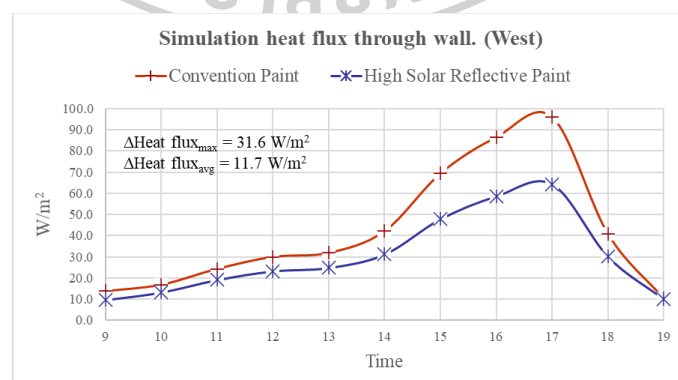
รูปที่ 4.37 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

#### 4.2.5 ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน

จากการสร้างแบบจำลองในเดือนเมษายนเพื่อดูฟลักซ์ความร้อน ที่ผนังทางทิศใต้และทิศตะวันตก เพื่อให้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองตรงกับช่วงการตรวจวัดจริง พบว่าแนวโน้มฟลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริง เมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้นก็จะมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิผนังลดลงก็จะมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยลง การสร้างแบบจำลองพบว่าฟลักซ์ความร้อนเข้าห้องสูงสุดทางผนังทิศตะวันตก ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $64.3 \text{ W/m}^2$  และห้องทดลองทาสีทั่วไปมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $95.9 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $31.6 \text{ W/m}^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $10.5 \text{ W/m}^2$  ฟลักซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.38 และ 4.39 ตามลำดับ



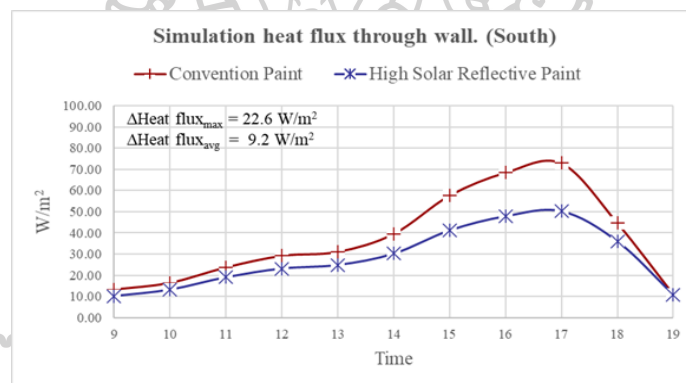
รูปที่ 4.38 ฟลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563



รูปที่ 4.39 ฟลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

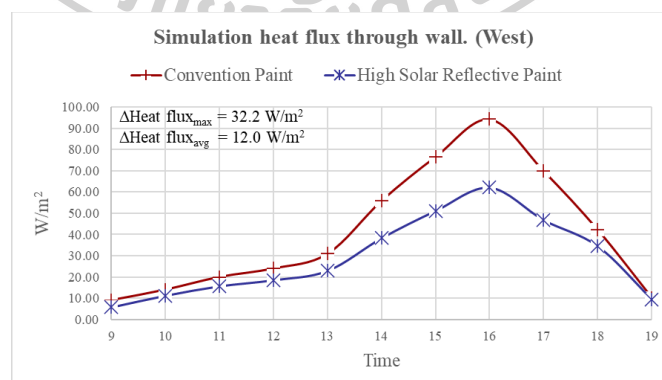
#### 4.2.6 ฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนพฤษภาคม

จากการสร้างแบบจำลองในเดือนพฤษภาคมเพื่อดูฟลักซ์ความร้อน ที่ผนังทางทิศใต้และทิศตะวันตก เพื่อให้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองตรงกับช่วงการตรวจวัดจริง พบว่าแนวโน้มฟลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริง เมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้นก็จะมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิผนังลดลงก็จะมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยลง การสร้างแบบจำลองพบว่าฟลักซ์ความร้อนเข้าห้องสูงสุดทางผนังทิศตะวันตก ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $62.1 \text{ W/m}^2$  และห้องทดลองทาสีทั่วไปมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $94.3 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $32.2 \text{ W/m}^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $10.6 \text{ W/m}^2$  ฟลักซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ



รูปที่ 4.40 ฟลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนพฤษภาคม

พ.ศ. 2563



รูปที่ 4.41 ฟลักซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองในช่วงเดือนพฤษภาคม

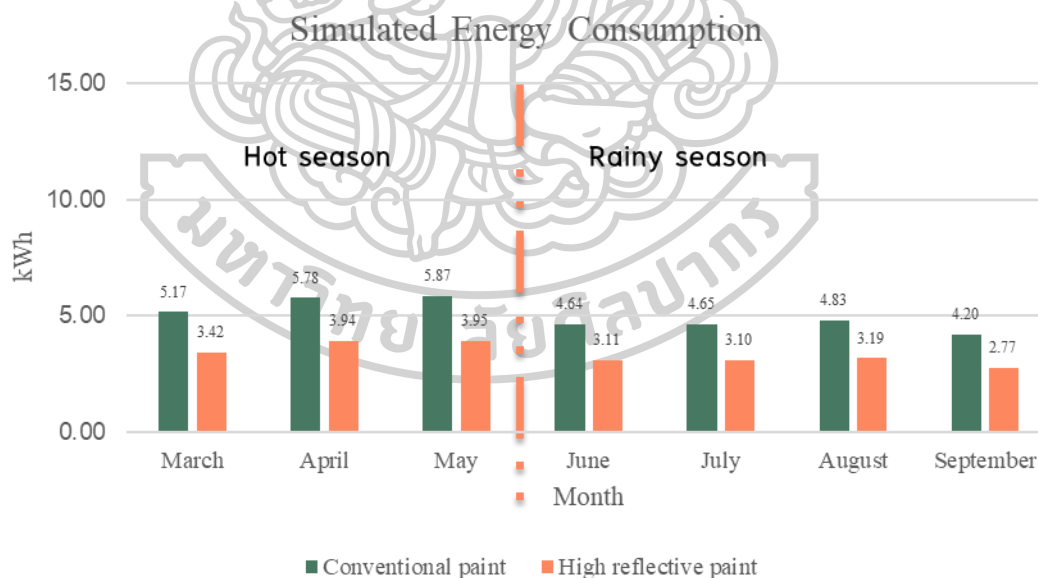
พ.ศ. 2563



#### 4.2.7 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของห้องทดสอบทั้งสองห้อง ได้ทำการสร้างแบบจำลองในช่วง 9:00 น. – 19:00 น. ระหว่างช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งจะตรงกับช่วงการตรวจวัดจริง การสร้างแบบจำลองทางพลังงานให้ผลลัพธ์ว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 3.9 kWh ในช่วงเดือนเมษายน และเฉลี่ยอยู่ที่ 3.4 kWh สำหรับช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน และห้องทดลองทาสีทั่วไปใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสูงสุดต่อวันอยู่ที่ 6.4 kWh ในช่วงเดือนเมษายน และเฉลี่ยอยู่ที่ 5.0 kWh ในภาพรวม การสร้างแบบจำลองทางพลังงานพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนได้เฉลี่ยอยู่ที่ 33% การใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันในแต่ละเดือนจะแสดงในรูปที่ 4.42

การสร้างแบบจำลองและการตรวจวัดจริงให้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้อยู่ที่ประมาณ 30%



รูปที่ 4.42 การใช้พลังงานเฉลี่ยรายวันของเครื่องปรับอากาศของทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองในช่วงมีนาคม – กันยายน พ.ศ. 2562

#### 4.3 การเปรียบเทียบผลจากการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

เมื่อนำผลประหยัดพลังงานจากการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงานมาเปรียบเทียบกันพบว่า มี %RMSE อยู่ที่ 7.82% ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน 140 ของทาง ASHRAE ซึ่งเป็นมาตรฐานของโปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงานของอาคารที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของโปรแกรมจำลองพลังงานจากทั้งหมด 13 โปรแกรมอยู่ที่ 13% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองทางพลังงานอยู่ในช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ จึงได้ใช้แบบจำลองทางพลังงานนี้เพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อนแบบรายปีต่อไป

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังภายนอก อุณหภูมิผนังภายใน พลักซ์ความร้อน และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ ระหว่างผลจากการตรวจวัดจริงและผลจากการสร้างแบบจำลองสรุปไว้ในตารางที่ 4.1

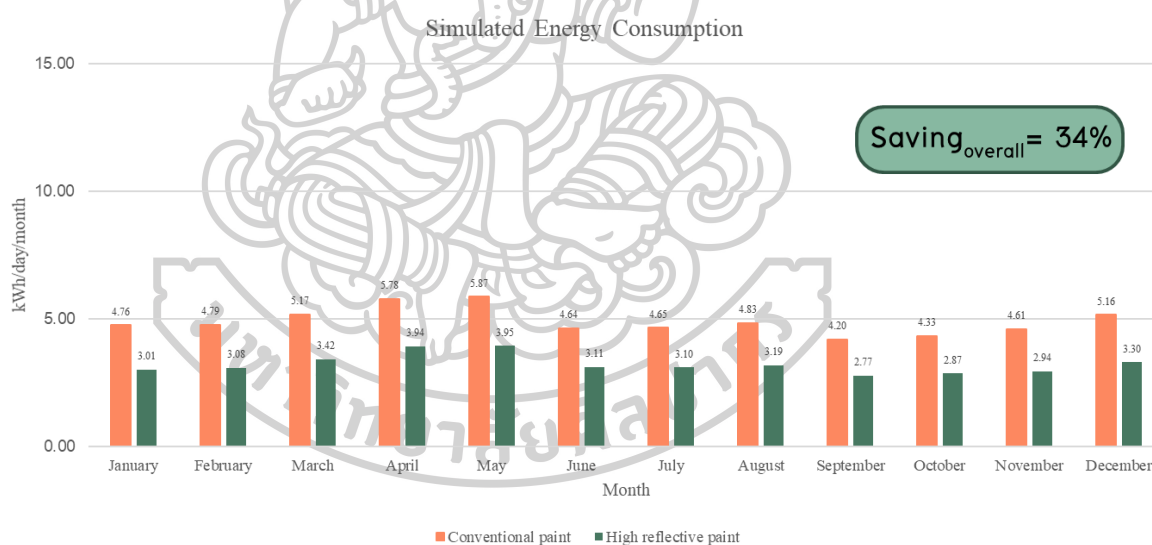
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความผลการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองทางพลังงาน

	EnergyPlus	Actual data
$\Delta T_{o,max}$	9.72 °C	8.1 °C
$\Delta T_{o,avg}$	3.73 °C	3.45 °C
RMSE <sub><math>\Delta T_o</math></sub>	5.95%	
$\Delta T_{i,max}$	4.99 °C	4.3 °C
$\Delta T_{i,avg}$	2.09 °C	2.16 °C
RMSE <sub><math>\Delta T_i</math></sub>	3.16%	
$\Delta \text{Heat flux}_{max}$	32.21 W/m <sup>2</sup>	29.79 W/m <sup>2</sup>
$\Delta \text{Heat flux}_{avg}$	10.92 W/m <sup>2</sup>	10.71 W/m <sup>2</sup>
RMSE <sub><math>\Delta \text{heat flux}</math></sub>	15.45%	
$\Delta \% \text{Energy saving}_{max}$	35.00%	32.73%
$\Delta \% \text{Energy saving}_{avg}$	34.64%	31.24%
RMSE <sub><math>\% \text{Energy Saving}</math></sub>	7.82%	

#### 4.4 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อแสดงผลประหยัดพลังงานรายปี

ในส่วนนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อแสดงผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปีจากการใช้สีสะท้อนความร้อนเทียบกับการใช้สีทั่วไป ช่วงที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนต่อเนื่องสูงสุดโดยห้องทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 3.9 kWh และห้องทาสีทั่วไปใช้พลังงานอยู่ที่ 5.8 kWh ในส่วนของช่วงที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงของเดือนกันยายนซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ห้องทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 2.7 kWh และห้องทาสีทั่วไปใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 4.2 kWh และช่วงที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงฤดูฝนของประเทศไทย

การสร้างแบบจำลองทางพลังงานให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกับการตรวจวัดจริง โดยพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้เฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 34% ดังแสดงในรูปที่ 4.43



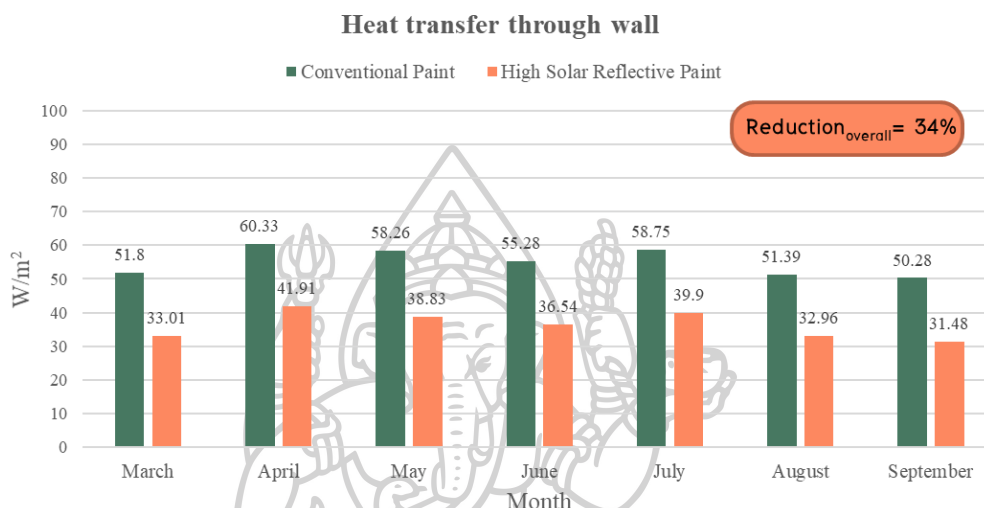
รูปที่ 4.43 การใช้พลังงานของห้องทั้งสองห้องแบบรายปีจากแบบจำลอง

#### 4.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม

##### 4.5.1 การคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคาร

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยใช้วิธี CLTD เพื่อศึกษาว่าการคำนวณมือจะสามารถใช้ประเมินความร้อนผ่านกรอบอาคารได้ถูกต้องแม่นยำหรือไม่ เป็นทางเลือกกรณีที่มีการตรวจวัดจริง และการสร้างแบบจำลองทางพลังงานทำได้ไม่สะดวก การคำนวณมือคำนวณในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน โดยเลือกใช้อุณหภูมิภายนอกจากการ

ตรวจวัดจริง จากการคำนวณมือให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับการตรวจวัดจริงและการใช้แบบจำลอง โดยพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารได้เฉลี่ย 34% ดังแสดงในรูปที่ 4.44 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การคำนวณมือก็สามารถใช้ในการวิเคราะห์การลดฟลักซ์ความร้อนจากการใช้สีสะท้อนความร้อนได้ใกล้เคียงกับการตรวจวัดจริง และการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 4.44 ฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการคำนวณมือ

#### 4.5.2 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสี

การสร้างแบบจำลองทางพลังงานสำหรับการศึกษาศึกษาการทาสีที่ผนังอาคาร มีการแนะนำกันภายในคอมมูนิตี้ [www.unmethours.com](http://www.unmethours.com) ว่าสามารถแก้ไขคุณสมบัติของวัสดุในส่วนของค่าการดูดซับรังสีของผนังภายนอกได้เลยและให้ค่าอื่นๆ นอกเหนือจากการดูดซับรังสีไว้ที่ค่าดั้งเดิมของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.45 และ 4.46 แต่เนื่องจากว่าหนังสือคู่มือของโปรแกรม EnergyPlus แนะนำว่าอย่าเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่ผิวภายนอกของวัสดุเพื่อหลีกเลี่ยงโปรแกรมเพราะอาจทำให้ผลลัพธ์การสร้างแบบจำลองทางพลังงานคลาดเคลื่อนได้ ควรจะแยกสีออกมาเป็นชั้นวัสดุ (Layer) เพิ่มขึ้นมาอีกชั้นหนึ่งต่างหาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองที่แยกชั้นสีและนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้แยกชั้นสีที่ใช้มาโดยตลอดทุกกรณีในงานวิจัยนี้ เพื่อดูว่าการแยกหรือไม่แยกชั้นสีจะให้ผลลัพธ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

2 You can model the effect of reflectance by changing the surface properties of the relevant constructions. You can edit the reflectance of floors, walls, ceilings etc by editing the material properties assigned to the material in the relevant layer in the construction. Note that light reflectance is 1 minus absorptance. This is explained in the Help file and also I think in the (free constructions) DesignBuilder tutorial.

answered May 14 '18  
Dave  
1125 \*1 \*4

add a comment [link](#)

รูปที่ 4.45 คำแนะนำในการสร้างแบบจำลองทางพลังงานสำหรับผนังทาสีที่แนะนำว่าไม่จำเป็นต้องแยกสีออกมาเป็นชั้นวัสดุต่างหาก (1) [30]

1 Instead of creating a new material, you can modify the outermost material of the existing construction for the exterior walls. Change its absorptance while retaining most the rest of the material properties (i.e., conductivity and specific heat).

answered May 11 '20  
shorowit  
5259 \*4 \*8  
http://www.nrel.gov/

updated May 12 '20

add a comment [link](#)

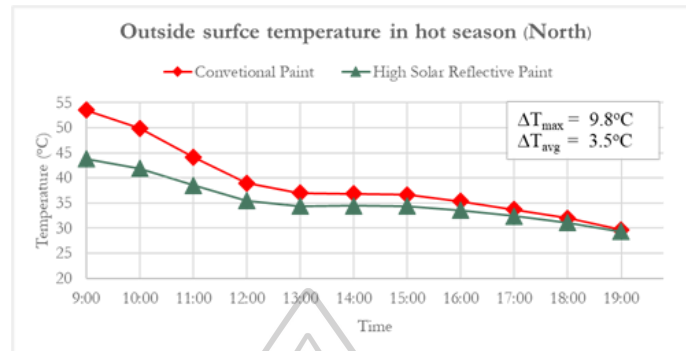
รูปที่ 4.46 คำแนะนำในการสร้างแบบจำลองทางพลังงานสำหรับผนังทาสีที่แนะนำว่าไม่จำเป็นต้องแยกสีออกมาเป็นชั้นวัสดุต่างหาก (2) [31]

การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสีจะทำการพิจารณาในชุดกรณีเดียวกับการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสีที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้

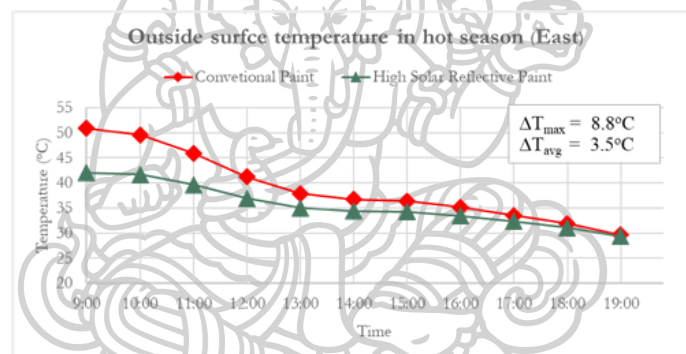
#### 4.5.2.1 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูร้อน

การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าแบบจำลองแบบแยกชั้นสีให้แนวโน้มของอุณหภูมิเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี ในส่วนของผนังทางทิศเหนือและทางทิศตะวันออกจะมีอุณหภูมิจะสูงในช่วงเช้า และอุณหภูมิมผนังทิศใต้และตะวันตกจะสูงในช่วงบ่าย จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $44.8^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $53.5^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. ให้ผลลัพธ์อุณหภูมิมผนังทิศเหนือแตกต่างกันมากที่สุด ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่  $43.7^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิอยู่ที่  $53.5^{\circ}\text{C}$  จากการสร้างแบบจำลองพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $9.8^{\circ}\text{C}$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $3.8^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิมผนังภายนอกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีของผนังทิศ

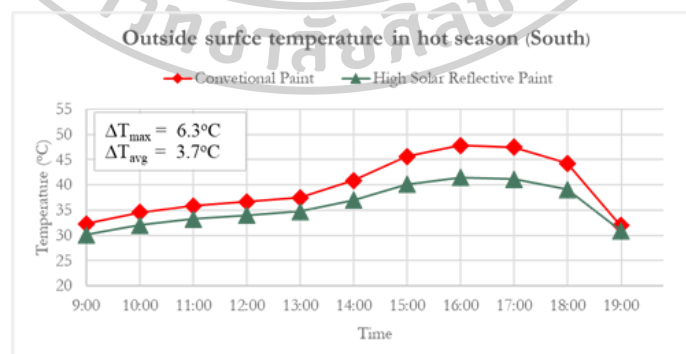
เหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.47 4.48 4.49 และ 4.50 ตามลำดับ



รูปที่ 4.47 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

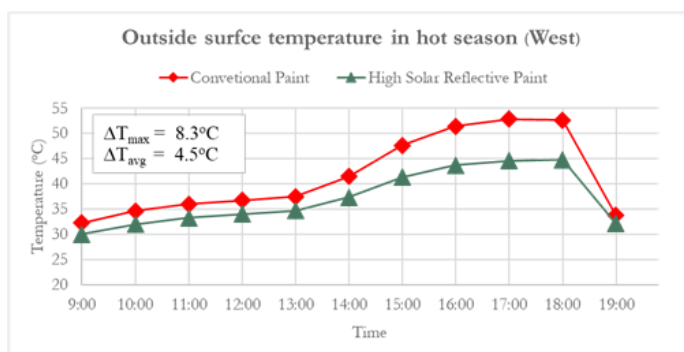


รูปที่ 4.48 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.49 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

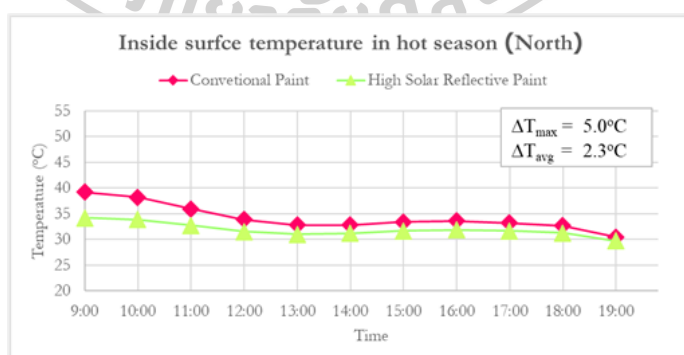




รูปที่ 4.50 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

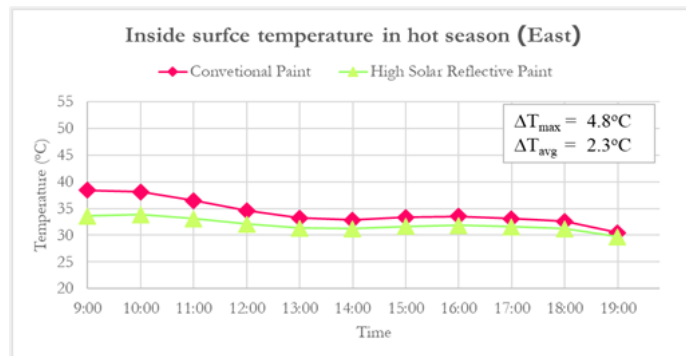
#### 4.5.2.2 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูร้อน

การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายใน ช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $35.6^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $39.2^{\circ}\text{C}$  และช่วงเวลา 09:00 น. ให้ผลลัพธ์อุณหภูมิผนังทิศเหนือแตกต่างกันมากที่สุด ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่  $34.2^{\circ}\text{C}$  ห้องทดลองทาสีทั่วไปมีอุณหภูมิอยู่ที่  $39.2^{\circ}\text{C}$  จากการสร้างแบบจำลองพบว่าห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $5.0^{\circ}\text{C}$  และลดเฉลี่ยอยู่ที่  $2.3^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.51 4.52 4.53 และ 4.54 ตามลำดับ

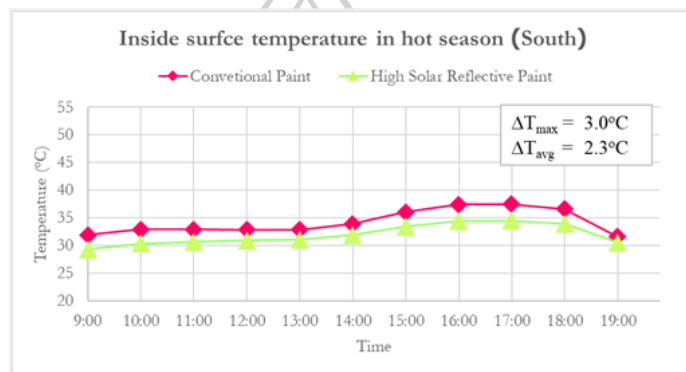


รูปที่ 4.51 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

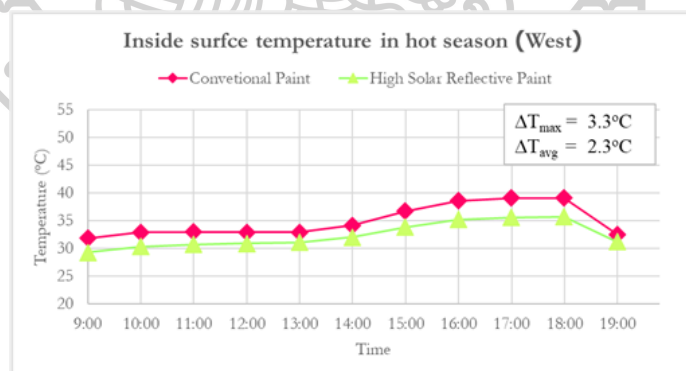




รูปที่ 4.52 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



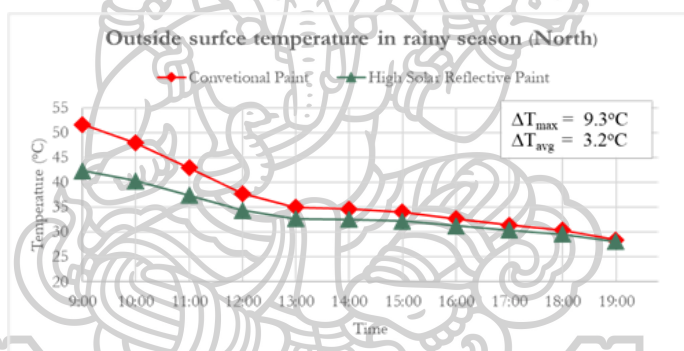
รูปที่ 4.53 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)



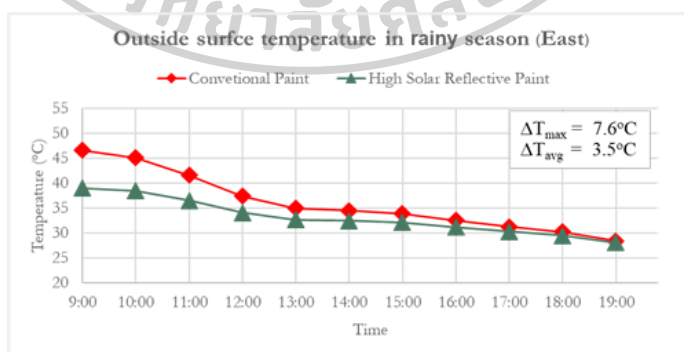
รูปที่ 4.54 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

#### 4.5.2.3 อุณหภูมิผนังภายนอกช่วงฤดูฝน

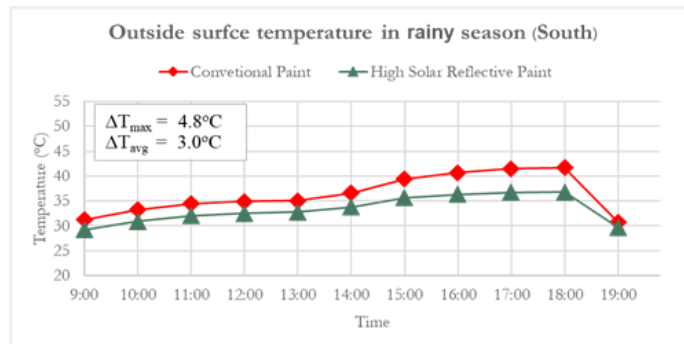
การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายนอก ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี พบว่าช่วงเวลาที่ห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิแตกต่างกับห้องทดลองที่ทาสีทั่วไปมากที่สุด คือ ช่วงเวลา 09:00 น. โดยผนังที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดจะอยู่ทางทิศเหนือ โดยอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนจะอยู่ที่  $42.3^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีทั่วไปจะอยู่ที่  $51.6^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนจึงสามารถลดอุณหภูมิผนังภายนอกได้สูงสุดอยู่ที่  $9.3^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $3.3^{\circ}\text{C}$  โดยอุณหภูมิผนังภายนอกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.55 4.56 4.57 และ 4.58 ตามลำดับ



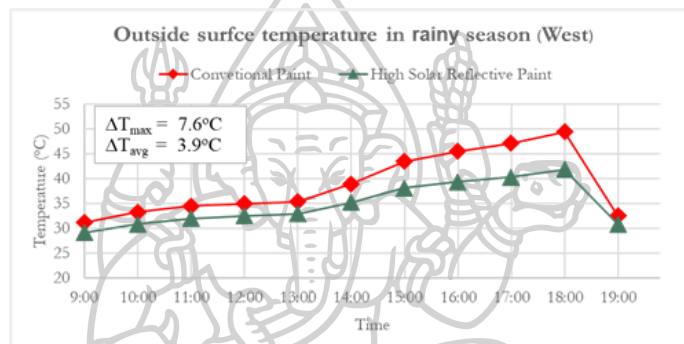
รูปที่ 4.55 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.56 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



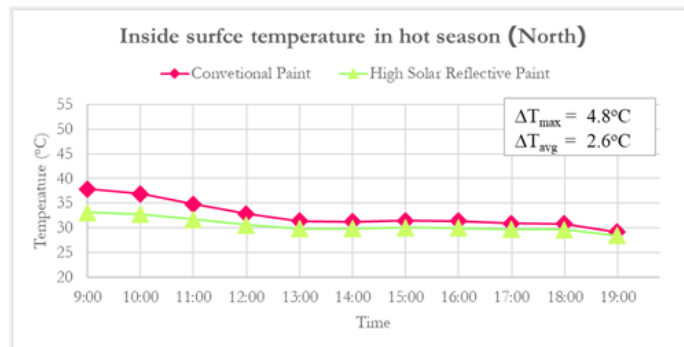
รูปที่ 4.57 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



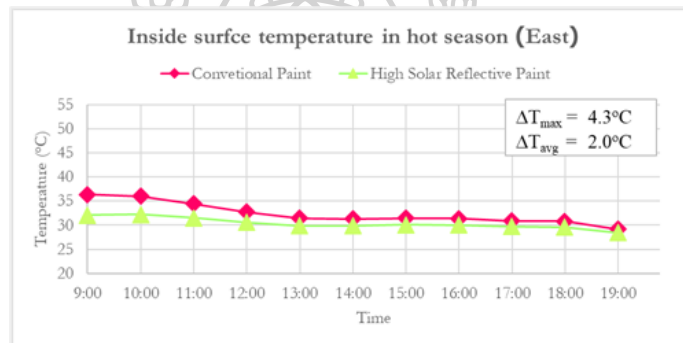
รูปที่ 4.58 อุณหภูมิผนังภายนอกทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

#### 4.5.2.4 อุณหภูมิผนังภายในช่วงฤดูฝน

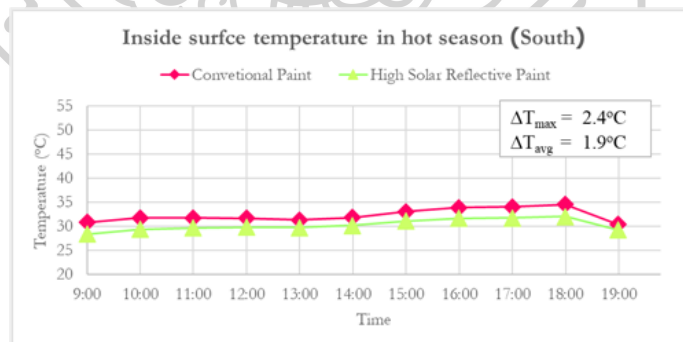
การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเพื่อดูอุณหภูมิผนังภายใน ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน การสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี พบว่าช่วงเวลาในห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิแตกต่างกับห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปมากที่สุด คือช่วงเวลา 09:00 น. โดยผนังที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดจะอยู่ทางทิศเหนือ โดยอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีสะท้อนความร้อนจะอยู่ที่ 33.1°C และอุณหภูมิผนังภายในของห้องทดลองที่ทำสีทั่วไปจะอยู่ที่ 37.9°C ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนจึงสามารถลดอุณหภูมิผนังภายในได้สูงสุดอยู่ที่ 4.8 °C และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 2.1°C โดยอุณหภูมิผนังภายในจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีของผนังทิศเหนือ ผนังทิศตะวันออก ผนังทิศใต้ และผนังทิศตะวันตกจะแสดงในรูปที่ 4.59 4.60 4.61 และ 4.62 ตามลำดับ



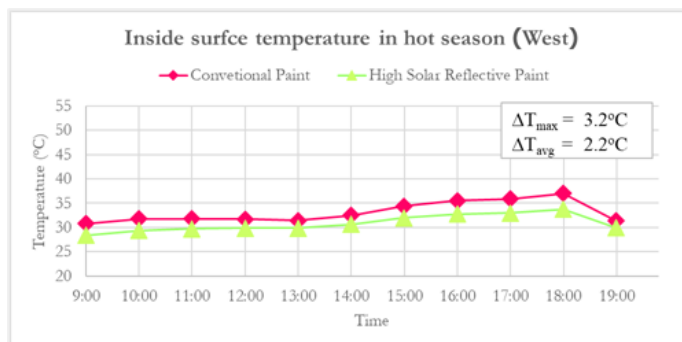
รูปที่ 4.59 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศเหนือของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.60 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันออกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)



รูปที่ 4.61 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศใต้ของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

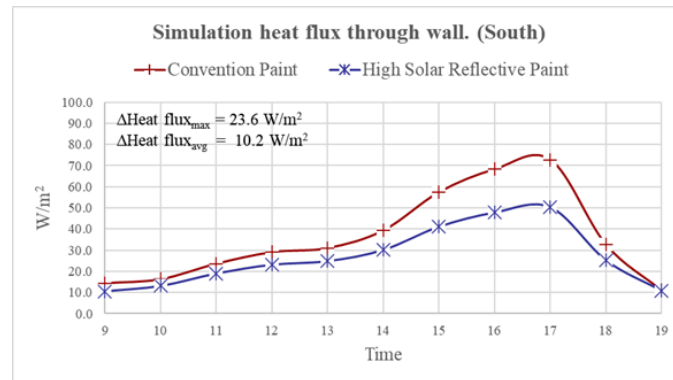


รูปที่ 4.62 อุณหภูมิผนังภายในทางทิศตะวันตกของห้องทดลองทั้งสองห้องจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน พ.ศ. 2562)

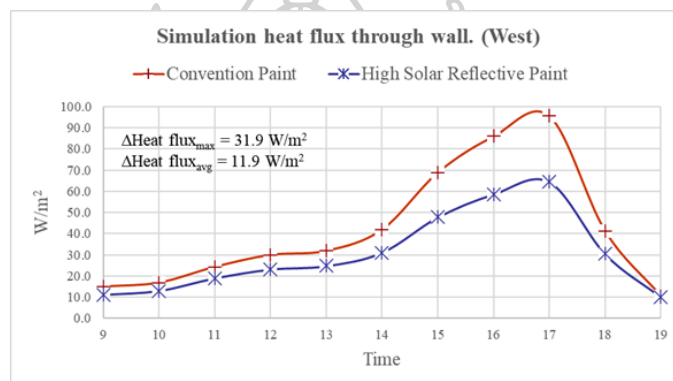
#### 4.5.2.4 ฟลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี

##### 4.5.2.4.1 ฟลักซ์ความร้อนช่วงเดือนเมษายน

จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนเมษายนเพื่อดูฟลักซ์ความร้อน ผ่านกรอบอาคารทางผนังทิศใต้และทิศตะวันตก เพื่อให้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองตรงกับช่วงการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี แนวโน้มฟลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี เมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้นก็จะมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิผนังลดลงก็จะมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยลง การสร้างแบบจำลองพบว่าฟลักซ์ความร้อนเข้าห้องสูงสุดทางผนังทิศตะวันตก ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีฟลักซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $64.4 \text{ W/m}^2$  และห้องทดลองทาสีทั่วไปมีฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $95.6 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $31.2 \text{ W/m}^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $10.4 \text{ W/m}^2$  ฟลักซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจากแบบจำลองแบบแยกชั้นสีจะแสดงในรูปที่ 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ



รูปที่ 4.63 พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

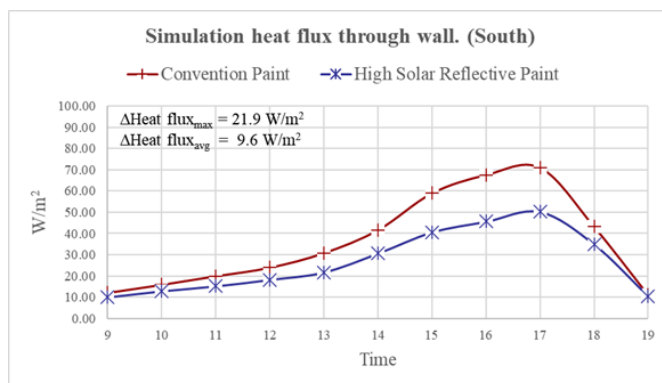


รูปที่ 4.64 พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

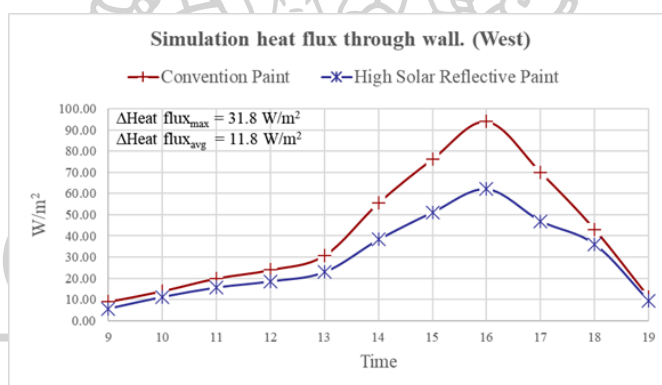
#### 4.5.2.4.2 พลั๊กซ์ความร้อนช่วงเดือนพฤษภาคม

จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนพฤษภาคมเพื่อดูพลั๊กซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารทางผนังทิศใต้และทิศตะวันตก เพื่อให้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองตรงกับช่วงการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี แนวโน้มพลั๊กซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี เมื่ออุณหภูมิผนังสูงขึ้นก็จะมีพลั๊กซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิผนังลดลงก็จะมีพลั๊กซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยลง การสร้างแบบจำลองพบว่าพลั๊กซ์ความร้อนเข้าห้องสูงสุดทางผนังทิศตะวันตก ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีพลั๊กซ์ความร้อนที่เข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $62.1\ W/m^2$  และห้องทดลองทาสีทั่วไปมีพลั๊กซ์ความร้อนเข้าสู่อาคารสูงสุดอยู่ที่  $93.9\ W/m^2$  ดังนั้นสีสะท้อนความร้อนสามารถลดพลั๊กซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $31.8\ W/m^2$  และเฉลี่ยอยู่ที่  $10.4\ W/m^2$

พลั๊กซ์ความร้อนทางทิศใต้และทิศตะวันตกจากแบบจำลองแบบแยกชั้นสีจะแสดงในรูปที่ 4.40 และ 4.41 ตามลำดับ



รูปที่ 4.65 พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศใต้จากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563



รูปที่ 4.66 พลั๊กซ์ความร้อนทางด้านผนังทิศตะวันตกจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563

จากผลการศึกษาทั้งหมดในหัวข้อ 4.5.2.1 ถึง 4.5.2.4 สามารถสรุปได้ว่า การสร้างแบบจำลองทางพลังงานไม่ว่าจะแยกหรือไม่แยกชั้นสี พบว่าจะให้แนวโน้มและผลลัพธ์เป็นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงตรงกับผู้ที่แนะนำกันภายใน [www.unmethours.com](http://www.unmethours.com) ที่ว่าถ้าต้องการศึกษาในการใช้พลังงานของอาคารกรณีที่ใช้สีสะท้อนความร้อนสามารถแก้ไขคุณสมบัติของวัสดุชั้นนอกสุดโดยแก้ไขเฉพาะค่าการดูดซับรังสีก็เพียงพอต่อการทำนายการใช้พลังงานของอาคารนั้นๆ

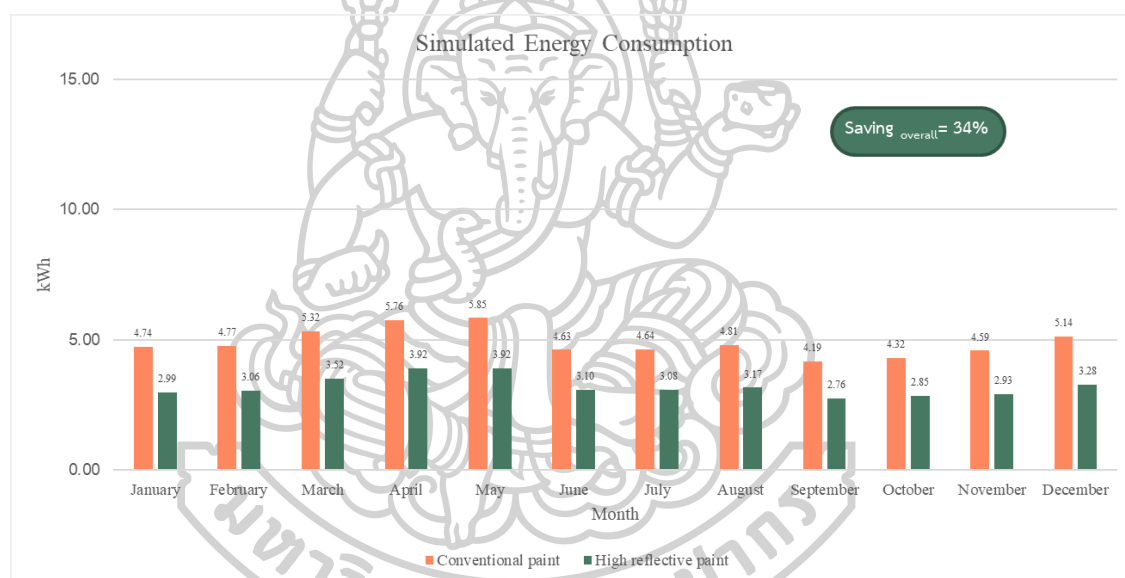
#### 4.5.2.5 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสี

ในส่วนนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสีเพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปีจากการใช้สีสะท้อนความร้อนเทียบกับการใช้สีทั่วไป ช่วงที่มีการใช้



พลังงานมากที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมโดยห้องทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 3.9 kWh และห้องทาสีทั่วไปใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 5.9 kWh ในส่วนของช่วงที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงของเดือนกันยายน ห้องทาสีสะท้อนความร้อนใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 2.8 kWh และห้องทาสีทั่วไปใช้พลังงานต่อวันอยู่ที่ 4.2 kWh โดยช่วงที่ใช้พลังงานมากที่สุดจะอยู่ในช่วงหน้าร้อนของประเทศไทย และช่วงที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงฤดูฝนของประเทศไทย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสีให้ผลเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกับการตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี โดยพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้เฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 34% ดังแสดงในรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 การใช้พลังงานของห้องทั้งสองรายปีจากการสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี

การสร้างแบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสีให้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันกับการสร้างแบบจำลองแบบไม่แยกชั้นสี โดยจะแสดงตารางเปรียบเทียบระหว่างการสร้างแบบจำลองทั้งสองประเภทดังตารางที่ 4.2 จากการสร้างแบบจำลองทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกันทำให้สามารถสรุปได้ว่า หากต้องการศึกษาในส่วนของสีสะท้อนความร้อนสำหรับโปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลังงาน EnergyPlus ไม่ว่าจะทำการแยกหรือไม่แยกชั้นสีก็ให้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในงานใดๆ เมื่อจะทำการสร้างแบบจำลองที่มีการใช้สีสะท้อนความร้อนสามารถเลือกตามความต้องการของคนสร้างแบบจำลองได้เลยว่าจะแยกชั้นสีหรือไม่แยกชั้นสี

ตารางที่ 4.2 การจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสีและไม่แยกชั้นสี

	EnergyPlus ไม่แยกชั้นสี	EnergyPlus แยกชั้นสี
$\Delta T_{o,max}$	9.72 °C	9.75 °C
$\Delta T_{o,avg}$	3.73 °C	3.80 °C
RMSE <sub><math>\Delta T_o</math></sub>	0.91%	
$\Delta T_{i,max}$	4.99 °C	5.06 °C
$\Delta T_{i,avg}$	2.09 °C	2.23 °C
RMSE <sub><math>\Delta T_i</math></sub>	2.83%	
$\Delta \text{Heat flux}_{max}$	32.21 W/m <sup>2</sup>	31.90 W/m <sup>2</sup>
$\Delta \text{Haet flux}_{avg}$	10.92 W/m <sup>2</sup>	10.65 W/m <sup>2</sup>
RMSE <sub><math>\Delta \text{heat flux}</math></sub>	4.34%	
$\Delta \% \text{Energy saving}_{max}$	35.00%	34.17%
$\Delta \% \text{Energy saving}_{avg}$	34.64%	33.36%
RMSE <sub><math>\% \text{Energy Saving}</math></sub>	0.24%	

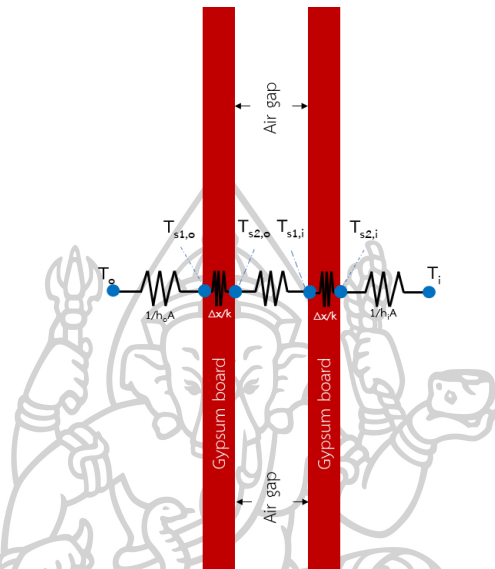
จากตารางที่ 4.2 แบบจำลองทางพลังงานแบบแยกชั้นสีและไม่แยกชั้นสีมี %RMSE สูงสุดอยู่ที่ 4.34% ซึ่งถ้านำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน 140 ของทาง ASHRAE พบว่าอยู่ในช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 13% จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์จากแบบจำลองแบบแยกชั้นสีหรือไม่แยกชั้นสีนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.5.2.5.1 การคำนวณหาความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือ

การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารด้วยมือในหัวข้อนี้ทำเพื่อพิสูจน์ในการทำงานเดียวกับหัวข้อที่ผ่านมาว่าการสร้างแบบจำลองแบบแยกชั้นสีหรือไม่แยกชั้นสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.5.2.5.1.1 การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบหนึ่งมิติไม่แยกชั้นสี่

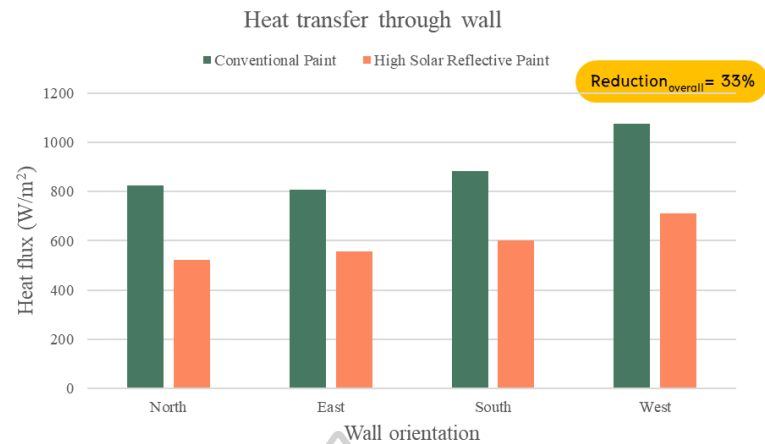
การคำนวณมือสำหรับการหาความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยไม่แยกชั้นสี่ดังแสดงในรูปที่ 4.68 พบว่าสี่สะท้อนความร้อนสามารถลดพลักซ์ความร้อนได้ 33% เมื่อเทียบกับสี่ทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.69 และตารางวัสดุสำหรับการคำนวณความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.68 กรอบอาคารแบบไม่แยกชั้นสี่

ตารางที่ 4.3 วัสดุในการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบไม่แยกชั้นสี่

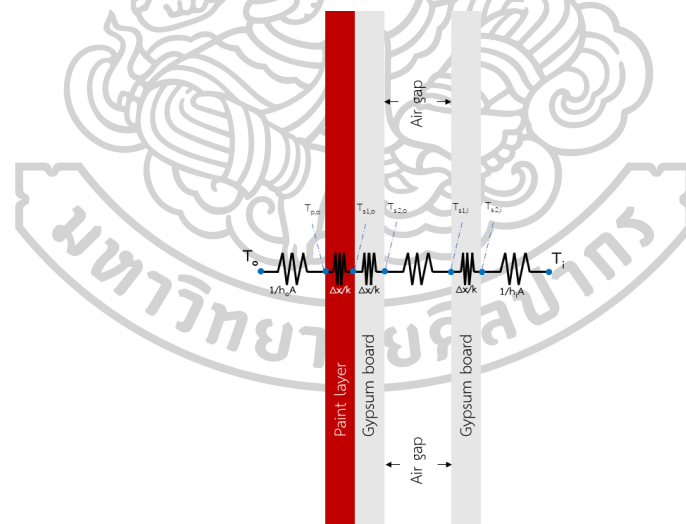
วัสดุ	$\Delta x/k$	ความต้านทาน (R)	หมายเหตุ
อากาศภายนอก	***	0.044	ผนัง 90 องศา
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009/0.306	0.029	
ช่องว่างอากาศผนัง	***	0.123	
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009/0.306	0.029	
ช่องว่างอากาศด้านใน	****	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_T$ )		0.346	
ความนำความร้อนรวม ( $U_W = 1/R_T$ )		2.890	



รูปที่ 4.69 พลังค์ความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารจากการคำนวณมือแบบไม่แยกชั้นสี

#### 4.8.3.2 การคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบหนึ่งมิติแบบแยกชั้นสี

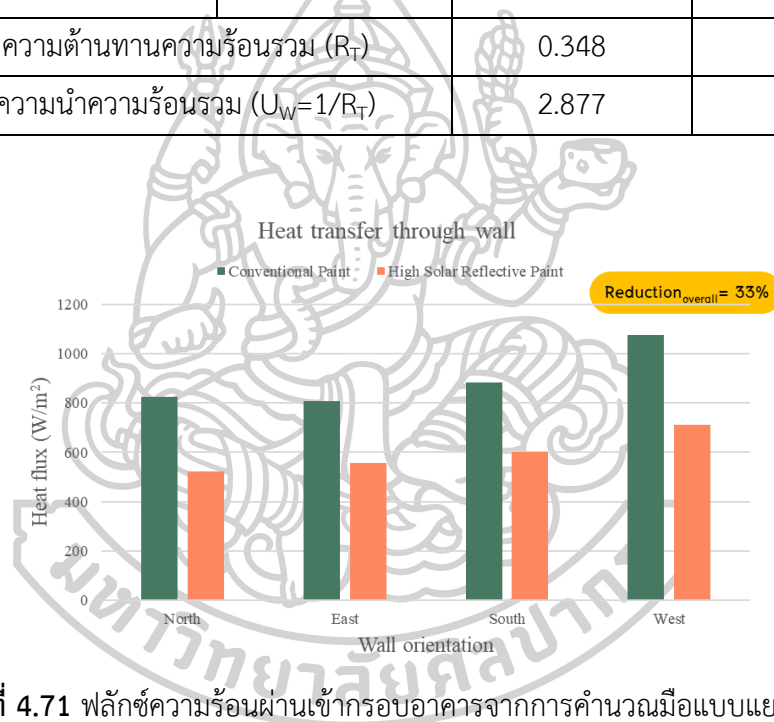
การคำนวณความร้อนแบบหนึ่งมิติแบบแยกชั้นสีดังแสดงในรูปที่ 4.70 พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดพลังค์ความร้อนได้ 33% เมื่อเทียบกับสีทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.71 และตารางวัสดุสำหรับการคำนวณความร้อนดังแสดงตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.70 กรอบอาคารแบบแยกชั้นสี

ตารางที่ 4.4 วัสดุในการคำนวณความร้อนผ่านกรอบอาคารแบบแยกชั้นสี

วัสดุ	$\Delta x/k$	ความต้านทาน (R)	หมายเหตุ
อากาศด้านนอก	***	0.044	ชั้นสี ผนัง 90 องศา
สีสะท้อนความร้อน	0.0003/0.168	0.0018	
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009/0.306	0.029	
ช่องว่างอากาศผนัง	***	0.123	
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009/0.306	0.029	
ช่องว่างอากาศด้านใน	***	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_T$ )		0.348	
ความนำความร้อนรวม ( $U_w = 1/R_T$ )		2.877	

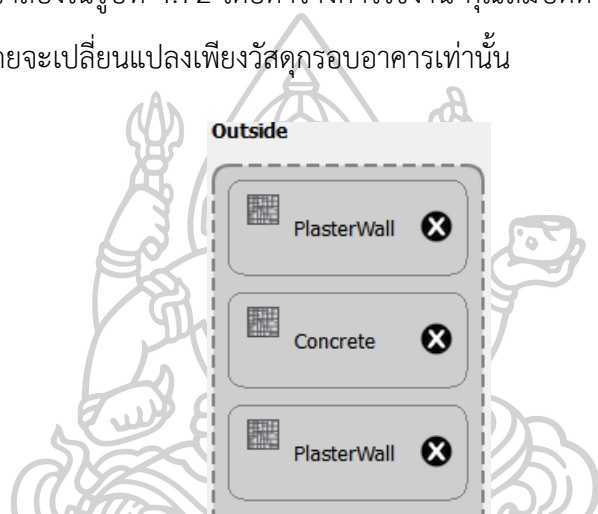


รูปที่ 4.71 พลั๊กซ์ความร้อนผ่านเข้ากรอบอาคารจากการคำนวณมือแบบแยกชั้นสี

ผลการคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคารแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะทำการแยกชั้นสีหรือไม่แยกชั้นสี การคำนวณพลั๊กซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารก็ให้ผลลัพธ์การลดพลั๊กซ์ความร้อนเป็นไปในทางเดียวกันเนื่องจากว่าชั้นสีนั้นส่งผลกับค่าความต้านทานความร้อนน้อยมาก เนื่องจากความหนาของชั้นสีน้อยมากโดยอยู่ที่ระดับไมครอนเท่านั้นเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เพราะฉะนั้นการคำนวณไม่ว่าจะแยกชั้นสีหรือไม่แยกชั้นสีจึงไม่ส่งผลกับการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อนำไปเทียบกับแบบจำลองทางพลังงานก็ให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันที่ไม่ว่าจะแยกหรือไม่แยกชั้นสีก็ให้ผลแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ

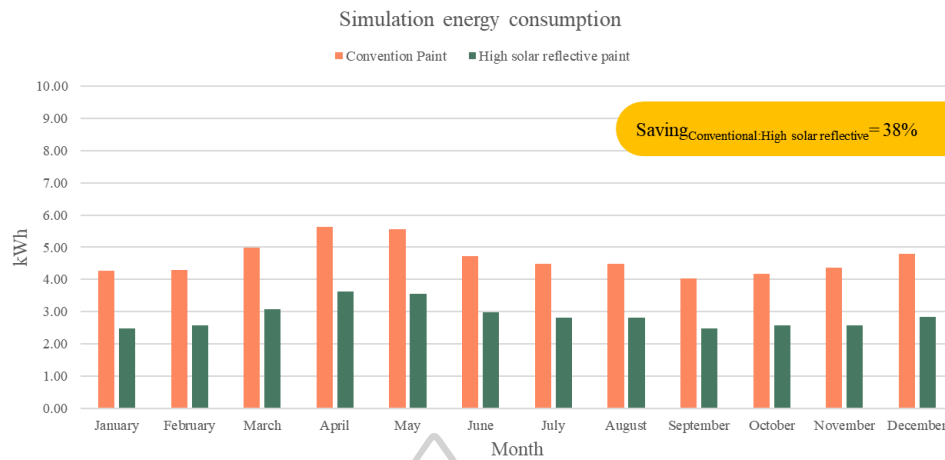
#### 4.5.3 การสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยห้องทดสอบทำจากผนังมวลหนัก

วัสดุกรอบอาคารของห้องทดลองที่ใช้ในงานนี้ทำมาจากผนังมวลเบา จึงไม่เห็นผลจากการหน่วงความร้อนและไม่ใช้วัสดุที่อาคารหรือบ้านทั่วไปใช้เป็นกรอบอาคารภายนอก ผู้วิจัยจึงสนใจว่าถ้ากรอบอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนแบบที่มีการใช้งานกันโดยทั่วไป จะให้ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงหรือไม่อย่างไร จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศในกรณีที่ห้องทดสอบทำจากวัสดุมวลหนักโดยจะแสดงชั้นวัสดุสำหรับสร้างแบบจำลองในรูปที่ 4.72 โดยตารางการใช้งาน คุณสมบัติต่างๆ ของห้องทดลองจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงโดยจะเปลี่ยนแปลงเพียงวัสดุกรอบอาคารเท่านั้น



รูปที่ 4.72 ชั้นวัสดุกรอบอาคารของห้องทดสอบที่ทำจากผนังมวลหนัก

จากการสร้างแบบจำลองห้องทดสอบผนังมวลหนักพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้ 38% ดังแสดงในรูปที่ 4.74 การสร้างแบบจำลองพบว่าไม่ ว่าวัสดุอาคารจะทำจากผนังมวลเบาหรือผนังมวลหนัก สีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้พอๆ กันในช่วงประมาณ 30-40% โดยผนังมวลหนักสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าผนังมวลเบาอยู่ 4% ดังนั้นไม่ว่ากรอบอาคารจะทำจากผนังมวลเบาหรือผนังมวลหนัก สีสะท้อนความร้อนก็สามารถช่วยประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.73 ผลการประหยัดพลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเมื่อใช้วัสดุผนังเป็นแบบก่ออิฐฉาบปูน

#### 4.5.4 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษากรณีห้องทดลองไม่ทาสีและทาสีโทนอ่อน

งานศึกษานี้เป็นการศึกษาสีสะท้อนความร้อนโดยเลือกใช้สีโทนเข้ม ผู้วิจัยจึงอยากรู้ว่าถ้าไม่มีการทาสีห้องทดลอง การใช้สีสะท้อนความร้อนโทนอ่อน และการใช้สีโทนอ่อนทั่วไป จะให้ผลประหยัดพลังงานอย่างไร จึงทำการสร้างแบบจำลองทางพลังงานทั้งหมด 5 กรณี คือ สีโทนเข้ม สะท้อนความร้อน สีทั่วไปโทนเข้ม สีสะท้อนความร้อนโทนอ่อน สีโทนอ่อน ทั่วไป และกรณีไม่ทาสีเลย โดยจะสร้างแบบจำลองทั้งในกรณีห้องทดลองเป็นผนังมวลเบาและผนังมวลหนัก โดยคุณสมบัติของผนังของห้องทดลองไม่ทาสีเลย ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน โทนอ่อน และสีทั่วไปโทนอ่อน จะแสดงดังรูปที่ 4.74 4.75 และ 4.76 ตามลำดับ

#### Thermal Absorptance:

#### Solar Absorptance:

#### Visible Absorptance:

รูปที่ 4.74 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองไม่ทาสี



**Thermal Absorptance:**  
0.500000

**Solar Absorptance:**  
0.090000

**Visible Absorptance:**  
0.854000

รูปที่ 4.75 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน

**Thermal Absorptance:**  
0.600000

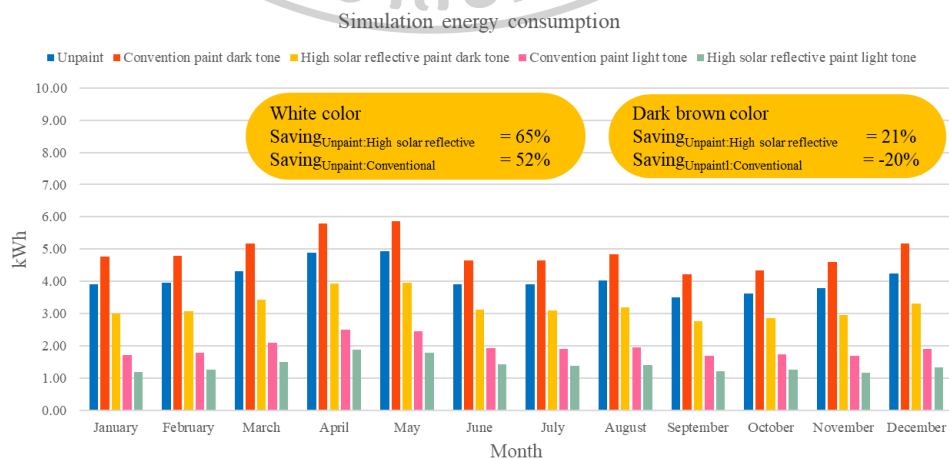
**Solar Absorptance:**  
0.200000

**Visible Absorptance:**  
0.865000

รูปที่ 4.76 คุณสมบัติผนังภายนอกของห้องทดลองที่ทาสีโทนอ่อนทั่วไป

#### 4.5.4.1 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษาผนังมวลเบา

ในส่วนนี้ได้สร้างแบบจำลองพลังงานของห้องทดลองผนังมวลเบาเพื่อเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานของห้องทดลองที่ไม่ทาสีเปรียบเทียบกับ ห้องทดลองที่ทาสีสะท้อนความร้อนโทนเข้ม ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป ห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป ว่าจะให้ผลประหยัดพลังงานต่างกันอย่างไร ผลการจำลองการใช้พลังงานจะแสดงดังรูปที่ 4.77



รูปที่ 4.77 การใช้พลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานกรณีผนังมวลเบา

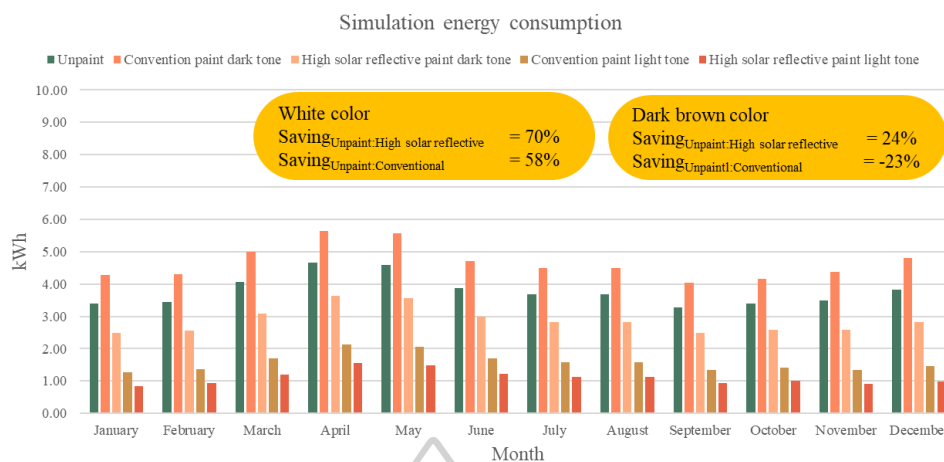
จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองไม่ทาสี เปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 21% แต่ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไปใช้พลังงานมากกว่าห้องที่ไม่ทาสีเลยอยู่ที่ 20%

จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองไม่ทาสี เปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 65% ส่วนห้องทดลองทาสีทั่วไปประหยัดพลังงานกว่าห้องที่ไม่ทาสีเลยอยู่ที่ 52%

จากการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกรณี ห้องทดลองไม่ทาสี ห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และสีโทนเข้มทั่วไป ห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าหากต้องการทาสีโทนเข้มแนะนำให้ใช้สีสะท้อนความร้อนเพื่อประหยัดพลังงานจากการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศหรือไม้ก็ไม่ทาสีเลยดีกว่า แต่กรณีหากต้องการทาสีโทนอ่อนสามารถเลือกใช้ได้ทั้งสีโทนอ่อนทั่วไป และสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน เนื่องจากประหยัดพลังงานได้ทั้งคู่ โดยแน่นอนว่าสีสะท้อนความร้อนจะประหยัดได้มากกว่า

#### 4.5.4.2 การสร้างแบบจำลองพลังงานศึกษาผนังมวลหนัก

ในส่วนนี้ได้สร้างแบบจำลองพลังงานของห้องทดลองผนังมวลหนักเพื่อเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานของห้องทดลองที่ไม่ทาสีเลยเปรียบเทียบกับห้องทดลองที่ทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป ห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป ว่าจะให้ผลประหยัดพลังงานต่างกันอย่างไร ผลการจำลองการใช้พลังงานจะแสดงดังรูปที่ 4.78



#### รูปที่ 4.78 การใช้พลังงานจากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานกรณีผนังมวลดหนัก

จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 24% แต่ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไปใช้พลังงานมากกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 23%

จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 70% ส่วนห้องทดลองทาสีทั่วไปประหยัดพลังงานกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 58%

การสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกรณี ห้องทดลองไม่ทาสี ห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และสีโทนเข้มทั่วไป ห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าหากต้องการทาสีโทนเข้มแนะนำให้ใช้สีสะท้อนความร้อนเพื่อประหยัดพลังงานจากการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและไม่แนะนำให้ทาสีโทนเข้มทั่วไปเพราะกลับจะทำให้ยังสิ้นเปลืองพลังงาน แต่กรณีหากต้องการทาสีโทนอ่อนสามารถเลือกใช้ทั้งสีโทนอ่อนทั่วไป และสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน โดยแน่นอนว่าสีสะท้อนความร้อนโทนอ่อนประหยัดพลังงานได้มากกว่า

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน ศึกษาโดยการสร้างห้องทดลอง สองห้องที่มีขนาดและวัสดุเหมือนกันทุกประการ แตกต่างกันเฉพาะคุณสมบัติสีทาภายนอกโดยโทนสี จะเป็นโทนสีน้ำตาลเข้มทั้งสองห้อง โดยห้องแรกทาสีสะท้อนความร้อน ส่วนห้องที่สองทาสีทั่วไป โดยทำการตรวจวัดจริง และสร้างแบบจำลองทางพลังงาน โดยทำการศึกษา การลดอุณหภูมิผนังภายนอก การลดอุณหภูมิผนังภายใน ฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร และการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ สามารถสรุปเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- 5.1 การลดอุณหภูมิผนังจากการใช้สีสะท้อนความร้อน
- 5.2 การลดฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการใช้สีสะท้อนความร้อน
- 5.3 การลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจากการใช้สีสะท้อนความร้อน
- 5.4 ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปี
- 5.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม
- 5.6 ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การลดอุณหภูมิผนังจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

จากการตรวจวัดจริง พบว่าห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกต่ำกว่าห้องทดลองที่ใช้สีทั่วไป โดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $8.1^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $2.9^{\circ}\text{C}$

จากการตรวจวัดจริง พบว่าห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายในต่ำกว่าห้องทดลองที่ใช้สีทั่วไป โดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $4.3^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $2.3^{\circ}\text{C}$

จากการสร้างแบบจำลอง พบว่าห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายนอกต่ำกว่าห้องทดลองที่ใช้สีทั่วไป โดยสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $9.7^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $3.5^{\circ}\text{C}$

จากการสร้างแบบจำลอง พบว่าห้องทดลองที่ใช้ฮีตท่อนความร้อนมีอุณหภูมิผนังภายในต่ำกว่าห้องทดลองที่ใช้ฮีตทั่วไป โดยฮีตท่อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่  $4.9^{\circ}\text{C}$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $2.0^{\circ}\text{C}$

การตรวจวัดจริงและการสร้างแบบจำลองให้ผลการลดอุณหภูมิผนังภายนอก และผนังภายในเป็นไปในทางเดียวกัน ในส่วนของการลดอุณหภูมิผนัง จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ฮีตท่อนความร้อนนั้นสามารถลดอุณหภูมิผนังได้

## 5.2 การลดฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารจากการใช้ฮีตท่อนความร้อน

การตรวจวัดฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร พบว่าฟลักซ์ความร้อนของห้องทาสีฮีตท่อนความร้อนต่ำกว่าห้องทดลองทาสีทั่วไป โดยฮีตท่อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $31.9 \text{ W/m}^2$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $10.8 \text{ W/m}^2$

การสร้างแบบจำลองเพื่อดูฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร พบว่าฟลักซ์ความร้อนของห้องทาสีฮีตท่อนความร้อนต่ำกว่าห้องทดลองทาสีทั่วไป โดยฮีตท่อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนได้สูงสุดอยู่ที่  $32.2 \text{ W/m}^2$  และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่  $10.9 \text{ W/m}^2$

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าฮีตท่อนความร้อนสามารถลดฟลักซ์ความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารได้

## 5.3 การลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจากการใช้ฮีตท่อนความร้อน

การติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดลองสองห้องเพื่อเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานของห้องทดลองทั้งสองห้องกรณีที่ทาสีฮีตท่อนความร้อนกับสีทั่วไป พบว่าห้องทดลองที่ทาสีฮีตท่อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้สูงถึง 31% ในช่วงการตรวจวัดเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

จากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดทางพลังงานเนื่องมาจากการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศของห้องทดลองทั้งสองห้อง พบว่าห้องทดลองที่ทาสีฮีตท่อนความร้อนใช้พลังงานน้อยกว่าห้องทาสีทั่วไปอยู่ที่ 33% สำหรับช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน

#### 5.4 ผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปี

จากการใช้แบบจำลองพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานแบบรายปีเปรียบเทียบระหว่างห้องทดลองที่ใช้สีสะท้อนความร้อนกับสีทั่วไป พบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศแบบรายปีได้สูงถึง 34%

#### 5.5 กรณีศึกษาเพิ่มเติม

##### 5.5.1 การคำนวณมือเพื่อหาความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การประเมินความร้อนผ่านกรอบอาคารในกรณีใช้สีสะท้อนความร้อน สามารถคำนวณมือด้วยวิธี CLTD ได้โดยผลลัพธ์แสดงการลดพลังค์ความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดจริง และการสร้างแบบจำลองทางพลังงานโดยพบว่าให้ผลการลดความร้อนผ่านกรอบอาคารอยู่ที่ 34%

##### 5.5.2 การสร้างแบบจำลองพลังงานแบบแยกชั้นสี

การศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ทั้งหมด ทำโดยพิจารณาโดยไม่แยกชั้นสีออกมาเป็นวัสดุต่างหากแต่กำหนดให้คุณสมบัติของผิวผนังภายนอกมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณสมบัติของสีสะท้อนความร้อนหรือสีทั่วไป แต่เมื่อพิจารณาโดยแยกชั้นสีออกมาเป็นชั้นวัสดุต่างหาก พบว่าสามารถสร้างแบบจำลองโดยเปลี่ยนคุณสมบัติชั้นนอกสุดให้เป็นไปตามคุณสมบัติสีได้เลย หรือเลือกที่จะเพิ่มชั้นสีขึ้นมาหนึ่งชั้นต่างหาก ก็ให้ผลลัพธ์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

##### 5.5.2.1 คำนวณความร้อนแบบหนึ่งมิติ

การคำนวณความร้อนด้วยมือแบบหนึ่งมิติเพื่อศึกษาว่าการแยกชั้นสี หรือไม่แยกชั้นสีจะส่งผลกับการคำนวณหรือไม่ พบว่าไม่ว่าจะทำการคำนวณแบบแยกหรือไม่แยกชั้นสี ผลลัพธ์การคำนวณจะต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญเนื่องจากว่าชั้นสีเป็นชั้นวัสดุที่บางมากในระดับไมครอน เมื่อเทียบกับชั้นวัสดุอื่นๆ เป็นเหตุให้ไม่ว่าเราจะสร้างแบบจำลองแบบแยกหรือไม่แยกชั้นสี ผลลัพธ์จะแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ

##### 5.5.3 ผนังมวลหนักกับการใช้สีสะท้อนความร้อน

ในงานวิจัยส่วนก่อนหน้านี้ทั้งหมด ใช้แผ่นยิปซัม 2 แผ่น ที่มีช่องว่างอากาศตรงกลาง ซึ่งถือว่าการเลือกวัสดุมวลเบาเป็นผนังอาคาร แต่ระบบผนังที่เลือกใช้ไม่ใช่ระบบผนังทั่วไปที่มักใช้ผนังก่ออิฐ



ฉาบปูน ซึ่งถือเป็นผนังมวลหนัก จากการสร้างแบบจำลองทางพลังงานเพื่อดูผลประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศในกรณีที่ผนังห้องทดลองเป็นผนังมวลหนัก พบว่าแม้อาคารจะเป็นผนังมวลหนัก สีสะท้อนความร้อนยังสามารถประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศได้ในระดับเดียวกับผนังมวลเบา คือ ประมาณ 30-40%

#### 5.5.4 ห้องทดลองผนังมวลเบากรณีไม่ทาสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนเข้ม

จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองผนังมวลเบาไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 21% แต่ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไปใช้พลังงานมากกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 20% จึงสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการทาสีโทนเข้มแนะนำให้เลือกใช้สีสะท้อนความร้อนเพื่อประหยัดงานจากระบบปรับอากาศ แต่ถ้าคิดจะทาสีโทนเข้มทั่วไปก็เลือกไม่ทาสีเสียเลยดีกว่า

#### 5.5.5 ห้องทดลองผนังมวลเบากรณีไม่ทาสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนอ่อน

จากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองผนังมวลเบาไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 65% ส่วนห้องทดลองทาสีทั่วไปประหยัดพลังงานกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 52% จากการสร้างแบบจำลองพบว่าสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และสีโทนอ่อนทั่วไปสามารถลดการใช้พลังงานได้ทั้งคู่เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทาสีผนัง แต่ก็แน่นอนว่าสีสะท้อนความร้อนประหยัดได้มากกว่าสีทั่วไป

#### 5.5.6 ห้องทดลองผนังมวลหนักกรณีไม่ทาสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนเข้ม

การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองผนังมวลหนักไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนเข้มสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 24% แต่ห้องทดลองทาสีโทนเข้มทั่วไปใช้พลังงานมากกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 23% จึงสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการทาสีโทนเข้มแนะนำให้เลือกใช้สีสะท้อนความร้อนเพื่อประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศ หรือถ้าคิดจะทาสีโทนเข้มทั่วไปสู้ไม่ทาสีเสียเลยดีกว่า



### 5.5.7 ห้องทดลองผนังมวลหนักกรณีไม่ทาสีผนังเปรียบเทียบกับการใช้สีโทนอ่อน

การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานระหว่างห้องทดลองผนังมวลหนักไม่ทาสีเปรียบเทียบกับห้องทดลองทาสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และห้องทดลองทาสีโทนอ่อนทั่วไป พบว่าห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อนประหยัดพลังงานกว่าห้องทดลองไม่ทาสีอยู่ที่ 70% ส่วนห้องทดลองทาสีทั่วไปประหยัดพลังงานกว่าห้องที่ไม่ทาสีอยู่ที่ 58% จากการสร้างแบบจำลองพบว่าสีโทนอ่อนสะท้อนความร้อน และสีโทนอ่อนทั่วไปสามารถลดการใช้พลังงานได้ทั้งคู่เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทาสีผนัง โดยสีสะท้อนความร้อนยังประหยัดพลังงานได้มากกว่าสีทั่วไป

### 5.5.8 ผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน

การศึกษาผลประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อนสามารถสรุปได้ว่า สีสะท้อนความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานจากการปรับอากาศได้ เนื่องจากเป็นการลดภาระการปรับอากาศจากรอบอาคารซึ่งเป็นภาระการปรับอากาศหลักของระบบ

## 5.6 ข้อเสนอแนะ

### 5.6.1 วัสดุกรอบอาคาร

ควรสร้างอาคารจริงเพื่อทำการตรวจวัดกรณีวัสดุกรอบอาคารของห้องทดลองทำจากผนังมวลหนัก เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ใช้กันทั่วไป เป็นต้น เพื่อให้เห็นผลจากการหน่วงความร้อนที่เข้าสู่อาคารซึ่งเป็นภาระการปรับอากาศในเวลาต่อมาว่าจะตรงกับผลที่ได้จากแบบจำลองในกรณีศึกษาครั้งนี้หรือไม่

### 5.6.2 การวางตำแหน่งของห้องทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ห้องทดลองทั้งสองอยู่ใกล้กัน ทำให้เกิดการบังเงาซึ่งกันและกัน อีกทั้งยังมีเงาของอาคารใกล้เคียงที่อยู่ทางทิศใต้มาบังในบางช่วงเวลา ดังนั้นห้องทดลองควรวางตำแหน่งให้พอดีกันเพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนของกันและกัน เพราะเมื่อมีการบังเงากันเกิดขึ้นอาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

### 5.6.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ ห้องทดลองทั้งสองห้องใช้สีเข้มทั่วไปกับสีเข้มสะท้อนความร้อน แต่จากการศึกษาเพิ่มเติม มีการเปรียบเทียบกรณีที่ใช้สีเข้ม ระหว่าง ไม่ทาสี ทาสีทั่วไป และทาสีสะท้อน

ความร้อนแล้วพบว่า การใช้สีเข้มจะประหยัดพลังงานเมื่อใช้สีสะท้อนความร้อน แต่เมื่อใช้สีเข้มทั่วไป กลับใช้พลังงานมากกว่าการไม่ทาสีเลยเสียอีก

สำหรับกรณีใช้สีอ่อน งานนี้ได้สร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่าง การที่ไม่ทาสี ทาสีอ่อนทั่วไป และสีอ่อนสะท้อนความร้อนพบว่า สีทั่วไปก็ประหยัดพลังงานแล้ว แต่สีสะท้อนความร้อน จะประหยัดได้สูงว่ามาก แต่ก็ต้องแลกมาด้วยราคาที่สูงขึ้น

จึงเป็นที่น่าสนใจว่า เมื่อศึกษาในทางเศรษฐศาสตร์หรือความคุ้มค่าในการลงทุนแล้ว การใช้สีสะท้อนความร้อนทั้งสีเข้มและสีอ่อน มีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ อย่างไร



## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ตารางแสดงอุณหภูมิผนังภายนอกจากการตรวจวัดจริง

ตารางแสดงชุดข้อมูลการตรวจวัดจริงในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 โดย  
หน่วยการตรวจวัดเป็น องศาเซลเซียส (°C)

## ตารางที่ ก.1 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	37.96	30.21	40.85	30.54	34.82	29.60	36.37	30.00
10:00	36.58	31.45	42.65	31.80	35.13	30.91	37.72	31.17
11:00	35.56	32.01	37.84	31.39	34.68	31.35	34.76	31.56
12:00	35.01	33.34	32.90	33.02	35.08	32.34	31.46	32.68
13:00	34.55	33.53	31.69	34.08	34.22	32.55	30.24	34.24
14:00	33.85	38.84	30.94	38.55	33.80	33.47	30.19	37.37
15:00	32.68	38.55	29.93	41.11	32.72	35.50	29.61	38.71
16:00	30.63	37.04	28.61	41.70	30.72	33.94	28.63	38.78
17:00	28.17	30.82	26.94	36.08	28.25	30.36	27.16	33.61
18:00	25.28	26.03	24.95	27.74	25.49	26.40	25.38	26.64
19:00	23.96	24.54	24.16	25.32	24.64	25.16	24.87	24.77

ตารางที่ ก.2 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	52.85	36.98	52.41	37.81	42.96	35.79	45.45	36.36
10:00	43.89	37.46	49.42	38.79	41.51	36.63	43.53	36.56
11:00	42.79	38.71	43.39	39.96	41.47	37.81	40.51	38.29
12:00	42.10	39.99	40.18	40.82	41.22	38.41	36.55	39.02
13:00	41.86	40.07	39.30	42.06	41.42	38.46	35.96	39.85
14:00	40.77	43.39	37.34	49.50	40.43	38.41	35.64	44.46
15:00	39.72	49.81	36.69	54.68	39.56	40.86	35.63	48.23
16:00	37.91	49.97	35.69	57.91	37.67	43.34	35.17	49.06
17:00	34.92	42.49	33.52	52.14	34.82	38.54	33.66	45.16
18:00	31.16	32.22	30.71	35.24	31.42	31.55	31.10	33.23
19:00	29.45	29.68	29.68	30.51	29.82	30.17	30.01	30.65

ตารางที่ ก.3 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	42.97	42.64	45.00	34.34	36.41	36.87	39.97	32.47
10:00	39.90	40.76	43.51	36.13	36.10	37.06	39.17	34.17
11:00	40.41	41.87	40.33	37.74	36.06	38.00	37.80	35.56
12:00	38.67	41.61	38.19	37.96	36.31	37.90	35.59	35.46
13:00	39.50	42.57	38.04	42.40	36.70	38.71	35.79	38.53
14:00	38.79	41.74	37.43	43.77	36.54	37.90	35.84	40.13
15:00	37.34	40.11	35.87	41.94	36.26	37.23	35.01	39.73
16:00	36.84	38.14	34.86	40.67	37.36	36.69	34.41	39.19
17:00	34.63	35.34	33.23	37.24	35.30	35.29	33.17	36.43
18:00	31.19	31.99	30.61	32.04	31.67	31.44	31.14	31.39
19:00	29.19	29.59	28.89	29.50	29.63	29.20	29.83	29.41

ตารางที่ ก.4 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	48.53	39.77	43.40	40.43	42.47	33.57	37.33	34.37
10:00	46.67	42.20	40.27	40.30	40.60	36.07	34.20	34.23
11:00	47.47	43.17	40.23	43.13	41.40	37.00	34.17	37.07
12:00	47.70	43.83	40.33	43.27	41.63	37.63	34.27	36.60
13:00	47.33	44.53	40.83	46.37	41.73	38.67	34.97	40.17
14:00	46.10	43.27	39.73	48.97	40.50	37.40	33.87	42.77
15:00	45.17	43.83	40.07	50.03	39.57	37.97	34.20	43.83
16:00	42.97	43.50	39.07	47.67	37.70	37.63	33.20	41.80
17:00	37.70	38.60	34.87	39.93	34.47	35.37	31.63	36.70
18:00	29.80	28.37	28.23	29.10	28.07	26.63	26.50	27.37
19:00	28.97	28.53	28.57	28.83	27.57	27.13	27.17	27.43

ตารางที่ ก.5 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	39.89	34.63	38.49	33.56	36.57	33.33	35.11	32.46
10:00	36.31	31.88	33.32	29.98	32.97	29.88	31.23	28.24
11:00	34.56	31.92	32.32	30.22	31.45	29.83	30.22	28.05
12:00	33.05	31.96	30.53	30.39	31.03	29.57	30.15	28.22
13:00	32.43	31.95	30.23	30.67	30.77	30.00	29.60	28.49
14:00	32.08	32.43	29.93	32.02	30.52	30.41	29.07	29.29
15:00	31.36	32.72	29.87	33.77	30.39	30.96	28.69	30.03
16:00	30.59	33.37	29.67	33.06	30.01	30.94	28.31	29.77
17:00	29.60	31.37	28.74	31.68	28.57	29.71	27.54	28.00
18:00	28.09	28.69	27.57	28.19	27.51	27.58	26.77	26.60
19:00	27.61	27.78	27.19	27.36	27.01	27.12	26.92	26.91

ตารางที่ ก.6 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	52.86	39.26	51.68	39.18	43.40	36.69	45.21	36.81
10:00	45.80	40.68	50.34	40.49	41.61	37.68	43.94	36.99
11:00	45.29	41.20	44.54	41.21	41.34	38.34	40.79	37.89
12:00	44.50	42.39	41.13	42.03	40.51	38.68	37.11	38.75
13:00	43.85	42.43	40.61	43.41	40.05	38.96	36.56	40.09
14:00	42.44	45.30	38.33	48.88	39.36	39.58	36.00	43.05
15:00	40.86	48.93	37.41	52.91	37.93	40.89	35.48	46.73
16:00	38.63	49.20	36.49	52.13	36.45	42.73	34.76	44.91
17:00	35.33	42.66	34.30	47.28	34.49	36.84	33.61	42.28
18:00	31.44	32.93	31.00	35.51	31.23	31.34	30.76	33.16
19:00	29.48	29.94	29.85	30.19	29.50	29.91	29.54	30.06

ตารางที่ ก.7 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายนอกช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	45.79	37.23	43.77	36.33	39.07	34.37	39.76	34.24
10:00	39.81	36.50	41.97	35.73	37.07	34.83	37.66	33.54
11:00	39.81	37.26	38.36	36.74	36.97	35.51	35.20	34.37
12:00	38.90	38.01	36.24	37.33	36.20	35.41	32.40	34.56
13:00	38.73	38.63	36.76	38.56	36.41	35.90	32.49	35.00
14:00	38.77	40.47	35.96	43.31	36.37	36.09	32.43	38.81
15:00	37.31	44.23	35.56	48.76	35.66	37.40	32.96	43.73
16:00	35.61	43.97	34.27	48.10	34.01	39.41	32.10	43.27
17:00	33.66	40.19	32.44	45.60	32.56	36.69	31.79	41.31
18:00	31.30	32.40	30.73	33.00	30.81	31.06	30.26	31.76
19:00	29.17	29.96	29.30	30.21	29.16	29.61	29.31	30.06

## ภาคผนวก ข

## ตารางแสดงอุณหภูมิผนังภายในจากการตรวจวัดจริง

ตารางแสดงชุดข้อมูลการตรวจวัดจริงในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 โดย  
หน่วยการตรวจวัดเป็น องศาเซลเซียส (°C)

## ตารางที่ ข.1 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	34.56	31.71	34.96	31.48	33.19	31.47	32.51	30.04
10:00	31.64	28.84	31.56	28.38	29.48	28.72	30.46	26.26
11:00	31.27	29.47	31.04	28.17	29.50	28.87	30.33	26.07
12:00	31.15	30.17	30.55	28.68	29.51	29.50	29.60	26.30
13:00	30.79	30.72	29.41	28.80	29.23	29.76	28.70	26.73
14:00	30.84	32.60	29.61	30.01	29.34	31.17	28.84	26.93
15:00	30.50	32.72	29.40	31.15	29.03	31.63	28.77	27.45
16:00	29.80	31.86	28.89	31.13	28.39	30.83	28.09	27.43
17:00	28.49	29.76	27.80	29.87	27.26	29.20	27.11	26.95
18:00	27.12	27.45	26.65	27.36	26.33	26.88	26.20	26.06
19:00	26.65	27.25	26.56	26.67	26.62	26.45	26.54	27.06

## ตารางที่ ข.2 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	39.42	34.97	39.48	33.84	37.68	33.39	35.44	33.11
10:00	35.98	31.73	33.93	29.90	33.27	29.67	31.51	28.39
11:00	34.04	31.91	32.83	29.98	31.56	29.75	30.61	28.18
12:00	32.79	32.03	30.93	30.31	31.24	29.95	29.98	27.92
13:00	32.34	32.14	30.55	30.52	31.04	30.03	29.59	28.26
14:00	32.04	32.49	30.11	32.12	30.80	30.57	29.15	29.30
15:00	31.83	33.62	30.24	33.67	30.64	31.75	29.11	30.25
16:00	31.44	34.33	29.97	33.95	30.11	31.60	28.73	30.57
17:00	30.11	32.39	29.08	33.02	29.20	30.54	28.01	28.72
18:00	28.34	28.99	27.52	28.63	27.65	27.87	26.90	26.68
19:00	27.78	27.98	27.17	27.77	27.37	27.38	27.14	27.01



ตารางที่ ข.3 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	38.83	34.89	37.50	33.63	33.31	31.19	34.86	29.71
10:00	36.80	35.09	36.10	32.89	33.20	30.41	33.57	29.01
11:00	37.43	36.01	35.89	33.80	33.83	30.80	34.01	29.54
12:00	37.17	36.19	34.96	34.11	32.94	30.89	33.66	29.73
13:00	37.03	36.39	34.80	34.83	33.61	30.91	33.79	30.01
14:00	37.00	36.20	34.76	36.01	32.71	31.40	33.91	30.61
15:00	35.89	34.97	33.94	35.51	33.03	31.51	33.46	30.51
16:00	34.39	34.21	33.37	35.47	32.54	31.07	32.91	30.76
17:00	33.27	32.60	32.33	34.14	31.31	30.71	32.11	30.37
18:00	31.44	30.53	30.54	31.67	29.84	30.40	30.74	29.86
19:00	29.31	28.77	28.96	29.40	28.27	29.49	29.31	29.00

ตารางที่ ข.4 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	37.93	35.03	37.43	35.77	31.57	30.93	30.23	29.27
10:00	30.60	30.90	30.90	34.27	26.20	26.77	26.70	26.33
11:00	30.97	31.43	31.30	36.20	26.47	27.20	27.00	29.03
12:00	30.97	31.17	31.40	36.03	26.50	26.97	27.13	31.43
13:00	31.03	31.30	31.47	36.53	26.60	27.13	27.23	32.10
14:00	30.93	31.37	31.27	39.53	26.53	27.23	27.07	34.20
15:00	30.93	31.90	31.40	38.60	26.60	27.83	27.27	35.00
16:00	30.77	31.67	31.10	38.33	26.60	27.77	27.13	34.77
17:00	30.37	31.13	30.50	35.03	26.20	27.23	26.53	32.87
18:00	29.03	29.67	29.03	29.23	25.67	27.17	25.87	26.40
19:00	28.17	28.47	28.57	28.50	26.47	25.70	26.27	26.47

ตารางที่ ข.5 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	39.89	34.63	38.49	33.56	36.57	33.33	35.11	32.46
10:00	36.31	31.88	33.32	29.98	32.97	29.88	31.23	28.24
11:00	34.56	31.92	32.32	30.22	31.45	29.83	30.22	28.05
12:00	33.05	31.96	30.53	30.39	31.03	29.57	30.15	28.22
13:00	32.43	31.95	30.23	30.67	30.77	30.00	29.60	28.49
14:00	32.08	32.43	29.93	32.02	30.52	30.41	29.07	29.29
15:00	31.36	32.72	29.87	33.77	30.39	30.96	28.69	30.03
16:00	30.59	33.37	29.67	33.06	30.01	30.94	28.31	29.77
17:00	29.60	31.37	28.74	31.68	28.57	29.71	27.54	28.00
18:00	28.09	28.69	27.57	28.19	27.51	27.58	26.77	26.60
19:00	27.61	27.78	27.19	27.36	27.01	27.12	26.92	26.91

ตารางที่ ข.6 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	39.24	34.71	38.16	33.91	35.82	33.05	34.79	32.57
10:00	35.64	31.75	33.18	30.45	32.19	29.47	30.83	28.40
11:00	34.14	31.86	32.35	30.71	30.86	29.47	29.95	28.25
12:00	32.82	31.92	30.85	30.94	30.50	29.27	29.97	28.50
13:00	32.28	31.93	30.62	31.20	30.28	29.69	29.53	28.75
14:00	31.93	32.40	30.28	33.03	30.04	30.11	29.00	29.51
15:00	31.30	32.83	30.30	34.36	29.95	30.79	28.76	30.59
16:00	30.54	33.23	29.99	33.57	29.59	30.68	28.36	30.25
17:00	29.65	31.43	29.07	31.95	28.31	29.55	27.59	28.29
18:00	28.35	29.15	27.98	28.73	27.40	27.75	26.85	26.90
19:00	27.98	28.17	27.62	27.84	27.02	27.15	26.95	27.01

ตารางที่ ข.7 การตรวจวัดอุณหภูมิผนังภายในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศใต้
9:00	37.96	33.30	35.60	32.64	33.90	30.74	33.31	30.64
10:00	32.19	29.57	30.80	28.51	29.29	26.91	28.53	26.89
11:00	30.40	29.53	30.01	28.79	28.00	26.77	27.91	26.79
12:00	29.30	29.33	28.93	28.99	27.74	26.84	27.60	26.63
13:00	28.74	29.04	28.63	29.20	27.50	26.96	27.61	26.96
14:00	28.67	29.47	28.66	31.16	27.30	27.49	27.79	27.47
15:00	28.64	30.56	29.10	32.66	27.33	29.13	28.33	29.27
16:00	28.51	30.37	28.77	32.19	27.03	28.79	27.74	29.53
17:00	27.86	29.74	28.20	31.24	26.73	28.19	27.24	27.33
18:00	27.41	28.29	27.60	28.76	26.34	27.46	26.71	26.83
19:00	27.47	28.24	27.34	27.93	26.63	26.87	26.76	26.79



## ภาคผนวก ค

## ตารางแสดงฟลักซ์ความร้อน

ตาราง ค.1 ถึง ค.2 แสดงผลการตรวจวัดฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม โดยหน่วยที่แสดงในตาราง คือ วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

ตาราง ค.1 ฟลักซ์ความร้อนจากการตรวจวัดจริงในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป		ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน	
	ทิศใต้	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
9:00	13.07	13.71	9.91	10.33
10:00	16.91	17.33	12.62	13.61
11:00	24.83	25.02	17.36	20.98
12:00	28.28	30.50	23.23	23.45
13:00	32.68	32.44	24.19	24.29
14:00	41.06	43.19	30.06	32.47
15:00	59.16	69.39	42.43	47.81
16:00	71.77	88.91	48.22	57.02
17:00	69.41	85.14	46.69	54.71
18:00	35.16	39.74	25.65	30.59
19:00	11.30	11.44	10.67	10.03

ตาราง ค.2 ปลั๊กซ์ความร้อนจากการตรวจวัดจริงในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป		ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน	
	ทิศใต้	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
9:00	13.68	9.71	9.53	6.27
10:00	16.52	14.68	12.77	11.63
11:00	24.17	21.02	19.88	16.89
12:00	29.92	24.78	23.21	18.79
13:00	31.67	30.96	25.42	23.17
14:00	40.51	56.43	30.89	39.72
15:00	58.25	78.98	41.57	52.48
16:00	70.56	92.80	48.16	62.53
17:00	65.60	74.73	46.80	47.28
18:00	38.40	39.80	33.20	33.80
19:00	10.89	10.50	10.40	10.20



ตาราง ค.3 ถึง ค.4 แสดงผลการสร้างแบบจำลองฟลักซ์ความร้อนในช่วงเดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม โดยหน่วยที่แสดงในตาราง คือ วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

ตาราง ค.3 ฟลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองช่วงเดือนเมษายน

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป		ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน	
	ทิศใต้	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
9:00	14.20	13.90	10.11	9.57
10:00	16.40	16.89	13.18	13.16
11:00	23.72	24.35	19.04	19.06
12:00	29.17	30.02	23.14	23.20
13:00	31.05	31.90	24.82	24.79
14:00	39.54	42.14	30.19	31.16
15:00	57.69	69.33	41.20	47.87
16:00	68.50	86.39	47.89	58.64
17:00	72.89	95.85	50.27	64.35
18:00	32.30	40.71	24.97	30.10
19:00	10.87	10.27	10.72	9.93

ตาราง ค.4 พลักซ์ความร้อนจากการสร้างแบบจำลองช่วงเดือนพฤษภาคม

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป		ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน	
	ทิศใต้	ทิศตะวันตก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
9:00	12.11	8.90	10.01	5.55
10:00	15.90	13.96	12.89	11.09
11:00	19.94	19.94	15.21	15.56
12:00	23.96	23.96	18.23	18.46
13:00	30.78	30.78	21.73	22.87
14:00	41.59	55.63	30.61	38.25
15:00	58.91	76.37	40.57	51.15
16:00	67.49	93.96	45.58	62.11
17:00	70.89	69.90	50.19	46.98
18:00	43.12	42.98	34.89	35.97
19:00	11.02	10.98	10.57	9.20





## ภาคผนวก ง

## ตารางแสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ

ตาราง ง.1 เป็นตารางแสดงการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบเฉลี่ยรายวันจากการตรวจวัดจริงของแต่ละเดือน โดยหน่วยที่แสดงในตาราง คือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

**ตารางที่ ง.1** การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

เดือน	การตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ	
	ห้องทดลองทาสีทั่วไป	ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน
มีนาคม	4.95	3.33
เมษายน	6.41	4.33
พฤษภาคม	4.76	3.32
มิถุนายน	4.55	3.15
กรกฎาคม	4.64	3.19
สิงหาคม	4.4	3.02
กันยายน	4.25	2.98

ตาราง ง.2 เป็นตารางแสดงการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบเฉลี่ยรายวันจากการสร้างแบบจำลองของแต่ละเดือน โดยหน่วยที่แสดงในตาราง คือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

**ตารางที่ ง.2** แบบจำลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562

เดือน	การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ	
	ห้องทดลองทาสีทั่วไป	ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน
มีนาคม	5.15	3.40
เมษายน	5.76	3.92
พฤษภาคม	5.85	3.92
มิถุนายน	4.63	3.10
กรกฎาคม	4.64	3.08
สิงหาคม	4.81	3.17
กันยายน	4.19	2.76



ตาราง ง.3 เป็นตารางแสดงการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบเฉื่อยรายวันจากการสร้างแบบจำลองของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2562 หน่วยที่แสดงในตาราง คือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

ตารางที่ ง.3 แบบจำลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้งปี พ.ศ. 2562

เดือน	การสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ	
	ห้องทดลองทาสีทั่วไป	ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน
มกราคม	4.76	3.01
กุมภาพันธ์	4.79	3.08
มีนาคม	5.15	3.40
เมษายน	5.76	3.92
พฤษภาคม	5.85	3.92
มิถุนายน	4.63	3.10
กรกฎาคม	4.64	3.08
สิงหาคม	4.81	3.17
กันยายน	4.19	2.76
ตุลาคม	4.33	2.87
พฤศจิกายน	4.61	2.94
ธันวาคม	5.16	3.30

## ภาคผนวก จ

## ตารางแสดงผลคำนวณฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคารโดยวิธีการ CLTD

ตาราง จ.1 ถึง จ.7 แสดงผลการคำนวณฟลักซ์ความร้อนผ่านกรอบอาคาร โดยวิธีการ CLTD เป็นการคำนวณในช่วงมีนาคมถึงกันยายน หน่วยที่แสดงในตาราง คือ วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )

ตารางที่ จ.1 ฟลักซ์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนมีนาคม

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1089.92	264.26	807.37	152.93	668.77	190.05	492.51	113.07
10.00	1125.97	491.22	989.34	303.27	744.93	376.90	634.62	236.85
11.00	858.35	557.68	970.14	315.69	557.53	383.20	602.14	222.69
12.00	920.22	905.90	1011.12	451.52	639.45	631.15	656.40	331.95
13.00	942.13	1261.90	899.17	529.27	661.37	846.77	597.60	383.13
14.00	909.26	1563.10	782.55	602.34	628.49	1007.59	520.83	416.34
15.00	832.55	1725.02	668.50	709.60	551.78	1069.23	433.35	457.18
16.00	799.67	1787.60	583.49	877.51	518.90	1091.70	374.91	545.38
17.00	680.71	1668.64	504.68	988.41	420.00	992.79	309.39	589.85
18.00	514.03	1358.78	394.26	941.22	293.42	783.20	225.54	542.66
19.00	347.34	858.01	283.84	641.10	166.85	462.93	141.69	348.83

ตารางที่ จ.2 พลังค์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนเมษายน

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1282.33	336.82	855.80	280.06	842.88	294.68	562.03	228.22
10.00	1270.63	516.13	1006.22	398.85	871.31	433.85	672.57	320.42
11.00	1140.70	720.48	1078.32	502.59	821.65	578.01	731.38	397.57
12.00	1107.83	974.12	1056.55	575.71	808.85	731.32	722.90	444.11
13.00	1150.91	1351.47	958.55	667.52	851.92	968.21	678.07	509.33
14.00	1127.41	1662.25	848.08	746.85	828.43	1138.52	607.48	548.79
15.00	1094.52	1868.12	763.02	883.23	795.53	1244.06	549.01	618.70
16.00	1053.79	1922.90	672.77	1046.05	754.80	1258.71	485.35	701.77
17.00	926.15	1795.26	588.22	1151.30	647.23	1151.13	414.08	740.55
18.00	719.42	1445.27	451.27	1077.63	480.64	901.48	303.72	666.88
19.00	582.41	973.98	360.51	797.06	383.75	610.79	239.54	492.65

ตารางที่ จ.3 พลังค์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนพฤษภาคม

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1286.12	249.88	798.21	282.58	808.55	207.74	504.44	205.48
10.00	1248.57	403.34	931.51	384.24	811.13	321.07	597.86	280.55
11.00	1110.04	599.08	997.90	482.27	752.86	456.61	650.96	352.00
12.00	1099.88	875.44	991.17	570.44	762.77	632.64	657.52	413.59
13.00	1124.16	1233.99	880.72	649.79	787.05	850.73	600.24	466.35
14.00	1133.56	1577.66	792.05	750.92	796.44	1053.93	551.45	527.60
15.00	1090.48	1773.35	700.24	880.55	753.37	1149.29	486.23	590.77
16.00	1055.23	1833.61	613.63	1047.01	718.12	1169.42	426.20	677.47
17.00	966.75	1745.13	555.01	1178.20	649.71	1101.00	380.88	742.20
18.00	786.66	1421.78	435.71	1122.16	509.75	877.98	288.16	686.16
19.00	622.23	923.07	326.78	823.43	385.45	559.88	205.82	493.77

ตารางที่ จ.4 พลักซ์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนมิถุนายน

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD <sub>COR</sub>				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD <sub>COR</sub>			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1366.31	229.79	784.90	335.70	880.71	221.76	513.73	253.28
10.00	1319.37	373.85	911.97	431.14	873.90	325.70	600.92	322.13
11.00	1194.93	583.69	987.71	538.51	829.72	475.33	663.36	402.92
12.00	1106.45	781.73	929.09	574.79	761.31	573.04	618.04	412.62
13.00	1123.68	1133.23	813.97	649.48	778.54	784.08	556.09	460.72
14.00	1079.82	1423.64	690.02	715.32	734.68	934.03	472.01	486.69
15.00	1021.86	1604.45	588.35	835.10	676.72	1014.50	396.94	540.00
16.00	988.96	1667.06	503.29	1003.11	643.83	1036.98	338.46	628.25
17.00	894.22	1572.31	440.53	1130.15	569.15	962.30	288.99	688.83
18.00	735.27	1270.11	335.23	1088.12	450.33	760.42	210.28	646.80
19.00	622.53	823.10	260.55	823.64	377.73	494.01	162.19	488.66

ตารางที่ จ.5 พลักซ์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนกรกฎาคม

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD <sub>COR</sub>				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD <sub>COR</sub>			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1360.53	271.76	812.70	331.87	882.95	251.69	533.55	254.77
10.00	1332.38	434.62	952.22	439.75	894.93	374.42	633.20	336.07
11.00	1208.72	645.24	1028.48	547.64	851.54	524.84	696.16	417.37
12.00	1180.55	903.58	1009.82	623.88	843.44	682.85	690.79	467.03
13.00	1175.07	1232.37	879.65	683.52	837.96	871.18	613.79	500.08
14.00	1156.27	1547.85	772.29	765.97	819.16	1046.19	546.32	542.65
15.00	1104.58	1734.92	674.78	889.89	767.47	1132.93	475.39	600.11
16.00	1067.77	1793.61	587.13	1055.31	730.65	1151.50	414.32	685.77
17.00	924.46	1650.31	492.20	1150.18	607.41	1028.26	332.68	714.18
18.00	774.91	1357.50	393.13	1114.38	498.00	835.78	260.20	678.38
19.00	629.28	877.59	296.65	828.10	392.50	536.47	190.31	498.44

ตารางที่ จ.6 พลักซ์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนสิงหาคม

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD <sub>COR</sub>				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD <sub>COR</sub>			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1142.42	196.91	763.12	187.38	702.97	154.77	469.35	135.54
10.00	1088.04	333.54	885.26	277.89	688.72	251.27	551.61	199.46
11.00	953.22	532.99	954.12	378.39	634.17	390.52	607.18	273.37
12.00	900.67	766.96	919.31	438.48	601.68	524.16	585.66	306.88
13.00	922.60	1123.16	807.30	516.27	623.61	739.90	526.83	358.09
14.00	917.12	1451.95	708.77	607.54	618.13	928.23	468.17	409.48
15.00	906.84	1680.44	638.69	758.90	607.85	1056.38	424.68	494.38
16.00	857.50	1726.60	542.74	916.02	558.51	1062.41	355.31	571.74
17.00	770.68	1639.79	485.23	1048.31	491.76	995.66	311.09	637.56
18.00	627.89	1353.73	390.63	1016.99	389.10	809.94	243.08	606.24
19.00	503.60	895.17	308.30	744.85	304.94	531.97	187.33	440.44

ตารางที่ จ.7 พลักซ์ความร้อนจากการคำนวณด้วยวิธีการ CLTD ในเดือนกันยายน

เวลา	ห้องทดลองทาสีทั่วไป CLTD <sub>COR</sub>				ห้องทดลองทาสีสะท้อนความร้อน CLTD <sub>COR</sub>			
	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก
9.00	1061.56	235.43	788.64	133.82	640.17	161.18	473.60	93.94
10.00	992.68	357.56	901.18	214.72	611.42	243.19	546.26	148.26
11.00	837.70	536.85	956.68	301.86	536.70	362.28	588.47	208.81
12.00	775.85	761.52	915.71	355.79	494.92	486.61	560.79	236.15
13.00	815.01	1134.95	815.11	445.00	534.08	719.58	513.37	298.78
14.00	846.34	1500.55	740.97	560.65	565.41	944.72	479.10	374.55
15.00	849.47	1742.45	679.77	720.90	568.54	1086.29	444.49	468.33
16.00	816.57	1805.06	594.71	888.91	535.65	1108.77	386.02	556.59
17.00	705.38	1693.87	521.05	1005.05	444.52	1017.64	325.65	606.27
18.00	562.10	1407.33	426.14	973.40	341.37	831.43	257.32	574.62
19.00	439.18	950.14	344.71	702.17	258.58	554.83	202.48	409.73



## รายการอ้างอิง

1. Chirattananon, S., *Climate Influence on Buildings and End-use Energy Requirements*. 2018: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
2. Kini, P.G., N.K. Garg, and K. Kamath, *Exploring energy conservation in office buildings with thermal comfort criterion towards sustainable new developments in warm and humid climate*. *Energy Procedia*, 2017. **111**: p. 277-286.
3. Mirrahimi, S., et al., *The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. **53**: p. 1508-1519.
4. Yang, L., H. Yan, and J.C. Lam, *Thermal comfort and building energy consumption implications—a review*. *Applied energy*, 2014. **115**: p. 164-173.
5. Shen, H., H. Tan, and A. Tzempelikos, *The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study*. *Energy and Buildings*, 2011. **43**(2-3): p. 573-580.
6. Guo, W., et al., *Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone*. *Energy and Buildings*, 2012. **50**: p. 196-203.
7. Xing-guo, G., et al., *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*, 2017. **205**: p. 603-608.
8. Synnefa, A., M. Santamouris, and I. Livada, *A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment*. *Solar Energy*, 2006. **80**(8): p. 968-981.
9. Azemati, A.A., et al., *Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving*. *Energy and Buildings*, 2013. **56**: p. 109-114.
10. Chaiyakul, Y., *Paint and heat reduction in buildings*. *Built Environment Inquiry Journal*, 2013. **12**: p. 112.
11. Chaiyosburana, W., et al., *Optimizing high solar reflective paint to reduce heat*

- gain in building*. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology, 2013. **8**(1): p. 15-24.
12. Pusan, C.-W.P. and J.-L.Z. Mestre, *Technical evaluation of an improved paint coating with NIR pigments designed to reduce thermal discomfort caused by incident solar radiation: application in the Caribbean area*. Energy Procedia, 2017. **115**: p. 463-479.
  13. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, *แนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน*, กระทรวงพลังงาน, Editor. 2015: กรุงเทพฯ.
  14. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2562*, กระทรวงพลังงาน, Editor. 2019.
  15. ฤชากร จีรกาลวสาน, *การปรับอากาศ (Air-Conditioning)*. 1 ed. 2018, กรุงเทพฯ: มิตรภาพการพิมพ์และสตีวดีโอ.
  16. Janjai, S. and B. Bala, *Solar drying technology*. Food Engineering Reviews, 2012. **4**(1): p. 16-54.
  17. Casini, M., *Smart buildings: Advanced materials and nanotechnology to improve energy-efficiency and environmental performance*. 2016: Woodhead Publishing.
  18. จำกัต์, บ.เ., เบเยอร์ คูล ยูวีซิดด์, in *ข้อมูลทางวิชาการ*, เบเยอร์, Editor. 2010. p. 1.
  19. ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. *โปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบจำลองอาคาร*. 2014; Available from: <http://old.2e-building.com/article.php?cat=knowledge&id=103>.
  20. New, J., et al., *Comparison of software models for energy savings from cool roofs*. Energy and Buildings, 2016. **114**: p. 130-135.
  21. Crawley, D.B., et al., *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*. Building and environment, 2008. **43**(4): p. 661-673.
  22. Documentation, E.P., *Getting Started with Energy Plus*. Basic Concepts Manual-Essential Information You Need about Running Energy Plus, 2009.
  23. Crawley, D.B., et al., *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*. Energy and buildings, 2001. **33**(4): p. 319-331.
  24. Documentation, E., *Engineering reference-EnergyPlus 8.5*. The Reference to EnergyPlus Calculation, 2016.

25. Shabunko, V., C. Lim, and S. Mathew, *EnergyPlus models for the benchmarking of residential buildings in Brunei Darussalam*. *Energy and Buildings*, 2018. **169**: p. 507-516.
26. Zhou, X., T. Hong, and D. Yan. *Comparison of HVAC system modeling in EnergyPlus, DeST and DOE-2.1 E*. in *Building Simulation*. 2014. Springer.
27. ทสพล เขตเจนการ, et al., การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์, in การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. 2007: ชลบุรี.
28. ASHRAE, A., *ASHRAE 140, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*. Atlanta (GA), USA. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011.
29. Erba, S., F. Causone, and R. Armani, *The effect of weather datasets on building energy simulation outputs*. *Energy Procedia*, 2017. **134**: p. 545-554.
30. Dave. *Reflective paints*. 2018; Available from: <https://unmethours.com/question/31469/reflective-paints/?sort=oldest#sort-top>.
31. Horowitz, S. *EnergyPlus reflective coating*. 2020; Available from: <https://unmethours.com/users/928/shorowit/>.





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชลากร เขาวนพานิช
วัน เดือน ปี เกิด	19 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	สมุทรปราการ
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	504/121 ถนนสุขุมวิท ตำบลปากน้ำ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10270

