# บทที่ 5

## ผลการจำลองโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ eQUEST 3.63

### 5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของวัสดุผนังแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และในแต่ละวัสดุมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ที่แตกต่างกัน

ในการทดลองนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ณ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าการใช้พลังงาน ดังนั้นการวิเคราะห์ผลในการการทดลองนี้ จึงเป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในแต่ละกรณี เพื่อหาแนวโน้มการใช้พลังงานเมื่อมีคุณสมบัติของวัสดุ และ WWR ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานรวมต่อตารางเมตรต่อปี และอธิบายค่าพลังงานรวมต่อปีจากค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด ได้แก่ ค่าการใช้พลังงานปรับอากาศ คุณสมบัติของวัสดุ ขนาด WWR โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามการทดลองดังนี้

1) วิเคราะห์ผลการใช้พลังงานระหว่างวัสดุที่มีความหนาแน่นเท่ากัน แต่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน

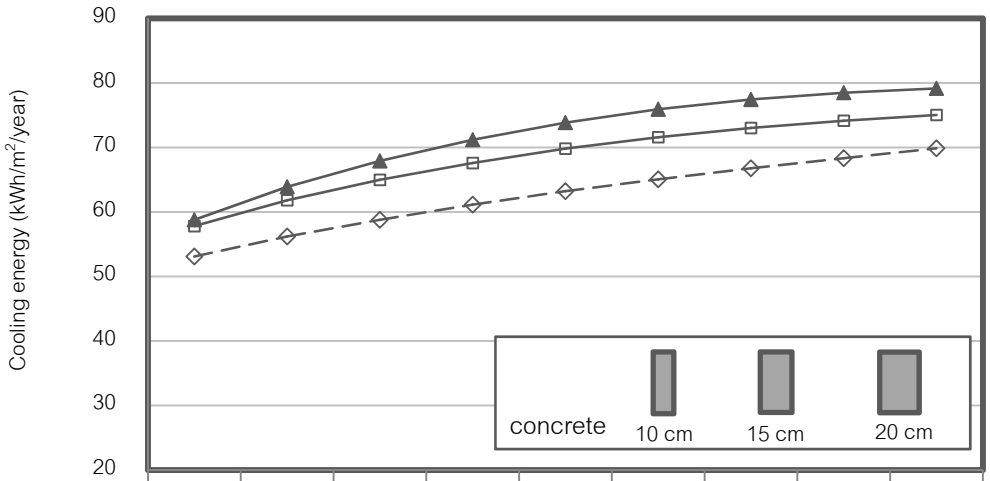
2) วิเคราะห์ผลการใช้พลังงานระหว่างวัสดุที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน แต่มีความหนาแน่นเท่ากัน

#### 5.1.1 เปรียบเทียบระหว่างวัสดุที่มีความหนาแน่นเท่ากัน แต่มีความหนาไม่เท่ากัน

จากการจำลอง คอนกรีตความหนา 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ที่ WWR 0 - 80 เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานในแต่ละ WWR พบว่ายิ่ง WWR เพิ่มมากขึ้น ค่าการใช้พลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากเมื่อผนังมีส่วนประกอบของผนังโปร่งแสง ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารจะเกิดจาก 2 ส่วน ส่วนแรกมาจากความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน ($Q_{window}^{cond}$) และอีกส่วนความร้อนมาจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ซึ่งความร้อนที่มาจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) จะถ่ายเข้ามาสู่ภายห้องในทันที และเก็บสะสมอยู่ในผนังและพื้นภายในเนื่องจากกระจกมีคุณสมบัติหน่วงความร้อนน้อยมาก ดังนั้นยิ่ง WWR มาก การสะสมความร้อนยิ่งมาก

จากภาพที่ 5.1 พบว่าคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร มีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุดทุก ๆ WWR ในขณะที่คอนกรีต 15 และ 20 เซนติเมตรมีค่าการใช้พลังงานมากกว่าตามลำดับ สามารถสังเกตได้ว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตรจะมีอัตราในการเพิ่มค่าการใช้พลังงานที่สูงกว่าคอนกรีต 10 และ 15 เซนติเมตร

ภาพที่ 5.1
เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเวลากลางคืน
ในคอนกรีตที่มีความหนา 10, 15, 20 เซนติเมตร




| | wwr0 | wwr10 | wwr20 | wwr30 | wwr40 | wwr50 | wwr60 | wwr70 | wwr80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| concrete 10 cm | 53.1 | 56.2 | 58.8 | 61.15 | 63.22 | 65.07 | 66.77 | 68.35 | 69.88 |
| concrete 15 cm | 57.82 | 61.82 | 64.98 | 67.6 | 69.83 | 71.6 | 73.02 | 74.15 | 75.05 |
| concrete 20 cm | 58.8 | 63.9 | 67.91 | 71.2 | 73.86 | 75.92 | 77.44 | 78.49 | 79.16 |

สาเหตุที่ทำให้คอนกรีต 10 เซนติเมตรมีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด ในทุก ๆ WWR สามารถอธิบายได้จากค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง โดยผู้วิจัยเลือกเดือนเมษายนในการพิจารณา พบว่า ที่ WWR0 ถึงแม้ว่าคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร มีค่าภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกมากกว่าคอนกรีตหนา 15 และ 20 เซนติเมตร เนื่องจากในกรณีที่ WWR 0 ไม่มีความร้อนจากการแผ่รังสีโดยตรง ($Q_{trans}$) คอนกรีต 10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) สูง ปริมาณความร้อนจึงผ่านเข้ามาได้มาก แต่เมื่อพิจารณาภาระการทำความเย็นตลอดทั้งคืนพบว่าคอนกรีตหนา 15 และ 20 เซนติเมตร กลับมีภาระการทำความเย็นที่มากกว่า

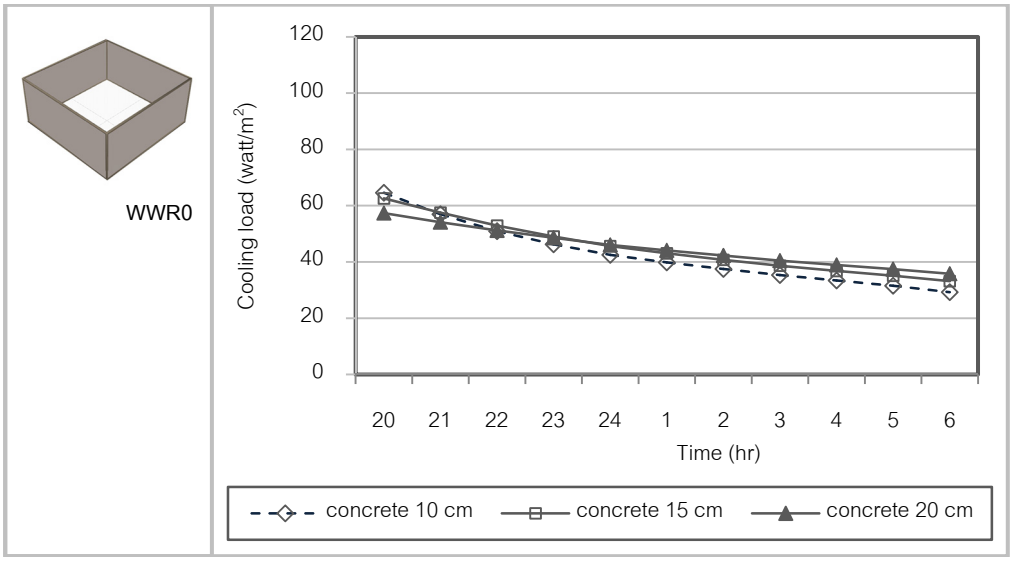
คอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร เนื่องจากมวลสารที่มาก จึงมีการหน่วงความร้อน และมีการคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,in}$) ได้นานกว่า ดังนั้นค่าการใช้พลังงานของคอนกรีต 10 เซนติเมตร จึงมีค่าน้อยที่สุด ดังภาพที่ 5.2(ก)

จากภาพที่ 5.2(ข) เมื่อ WWR 20 จะเห็นได้ว่า คอนกรีต 15 เซนติเมตร กลับมีภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกมากที่สุด เนื่องจากความร้อนจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) ส่งผลให้ผลรวมความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่ภายในอาคารทั้งจากผนังทึบ และผนังโปร่งแสงของคอนกรีต 10 เซนติเมตร และคอนกรีต 15 เซนติเมตร มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่ด้วยคอนกรีต 15 เซนติเมตร มีค่า U-value ต่ำกว่า จึงส่งผลให้เกิดความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) ได้น้อย ดังนั้นภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกจึงมีค่าที่สูงกว่า ในขณะที่คอนกรีต 20 เซนติเมตร ถึงแม้ความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) ออกสู่สภาวะแวดล้อมภายนอกได้น้อย แต่ความร้อนที่เข้ามามีค่าน้อย เนื่องจากอิทธิพลของผนังทึบยังมีความสำคัญอยู่ จึงทำให้ค่าภาระการทำความเย็นในชั่วโมงแรก มีค่าน้อยกว่าคอนกรีต 15 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นทั้งคืนพบว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตรกลับมีค่าภาระการทำความเย็นมากที่สุด เนื่องจากการหน่วงความร้อน และมีการคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,in}$) นานกว่า

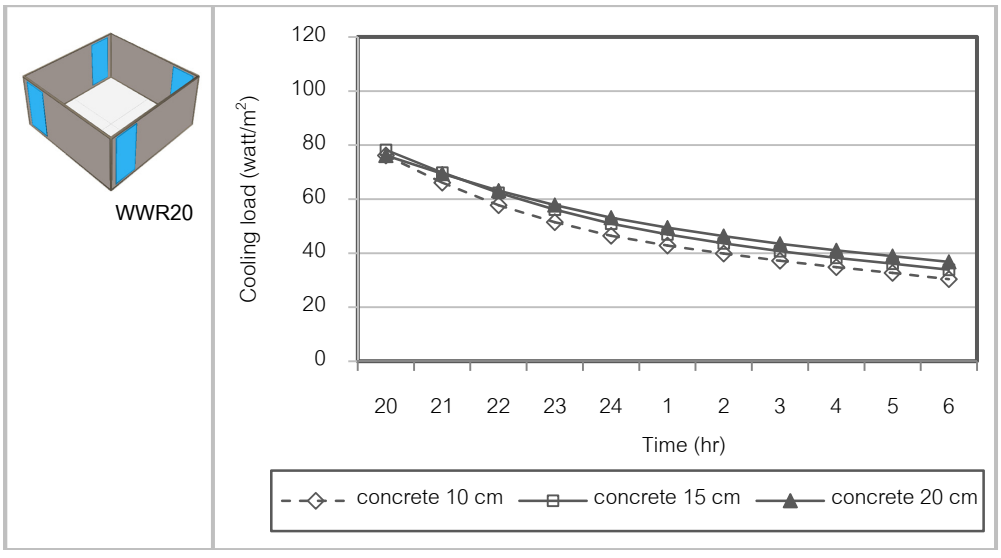
จากภาพที่ 5.2(ค) WWR 40 จะเห็นได้ว่า คอนกรีต 20 เซนติเมตรเริ่มมีภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกมากที่สุด เนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่มาจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่พื้นและผนังภายใน ($Q_{floor}^{abs,solar}$) มาก และอิทธิพลของผนังทึบเริ่มมีค่าลดน้อยลง ความร้อนสะสมภายในห้องของทั้ง 3 วัสดุ จึงเริ่มค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่คอนกรีต 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่า U-value ต่ำที่สุด ทำให้เกิดความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) ได้น้อยที่สุด จึงมีความร้อนสะสมภายในห้องมากที่สุด ส่งผลให้ค่าภาระการทำความเย็นมีค่ามาก ในขณะเดียวกันคอนกรีต 20 เซนติเมตรเป็นวัสดุที่มีมวลสารมากที่สุด ดังนั้นความร้อนที่สะสมอยู่ที่ผนังภายในจึงมีในปริมาณที่มาก และมีการคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,in}$) นาน เพราะฉะนั้นเมื่อเทียบค่าภาระการทำความเย็นตลอดทั้งคืนจะเห็นได้ว่า มีค่าภาระการทำความเย็นสูงกว่าคอนกรีต 10 และ 15 เซนติเมตร ตลอดทั้งคืน

ใน WWR 60 - 80 มีลักษณะการใช้พลังงานเช่นเดียวกับ WWR 40 กล่าวคือ คอนกรีต 20 เซนติเมตรมีค่าภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกมากที่สุด และมีค่าภาระการทำความเย็นตลอดทั้งคืนสูงกว่าคอนกรีตที่ความหนาน้อยกว่า (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ข)

ภาพที่ 5.2
ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน ของคอนกรีตความหนาต่าง ๆ

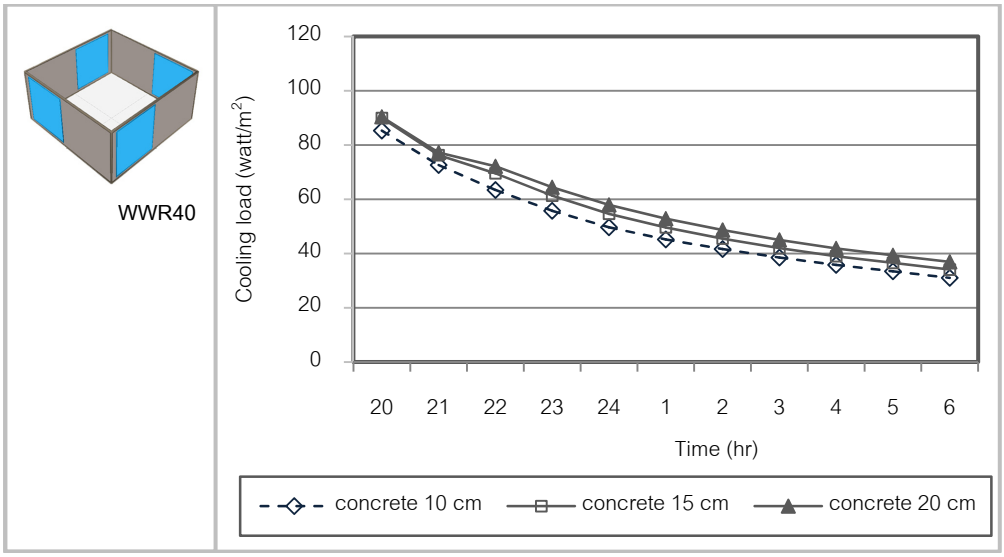



(ก) WWR0




(ข) WWR20

ภาพที่ 5.3 (ต่อ)




(ค) WWR40

จากการพิจารณาค่าการใช้พลังงานปรับอากาศทั้งปี และค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน ในคอนกรีตที่มีความหนาต่าง ๆ สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานและคุณสมบัติของวัสดุได้ว่าค่าการใช้พลังงานแปรผันตรงกับมวลสารของวัสดุ ยิ่งวัสดุมีมวลมาก ค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศยิ่งสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานและ WWR จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานแปรผันตรงกับ WWR กล่าวได้ว่ายิ่ง WWR มากขึ้นค่าพลังงานยิ่งสูงขึ้นเช่นกัน

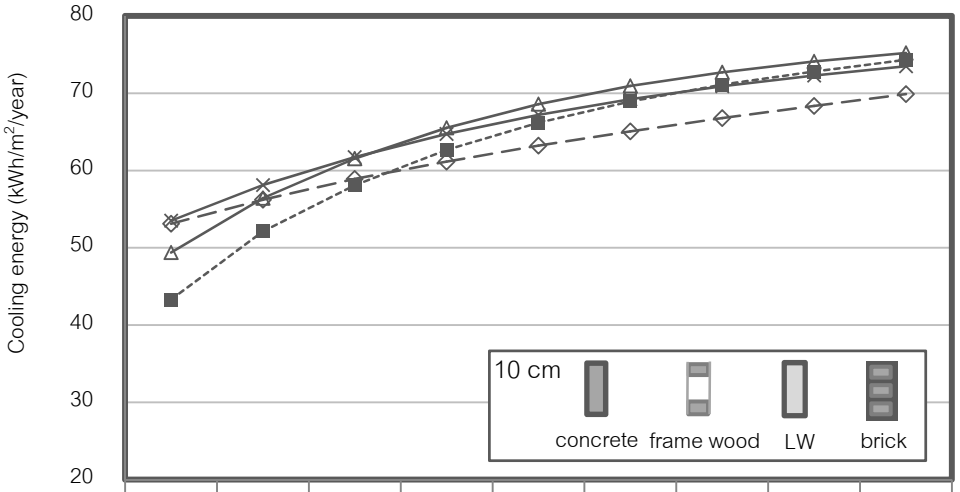
### 5.1.2 เปรียบเทียบระหว่างวัสดุที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน แต่มีความหนาเท่ากัน

จากการจำลองวัสดุ 4 ชนิด ที่ความหนา 10 เซนติเมตร ได้แก่ ผนังคอนกรีต อิฐก่อ 1 ชั้น อิฐมวลเบา และเคร่าไม้ปิดด้วยยิปซั่มบอร์ด ที่ WWR 0 - 80 มีผลการทดลองดังนี้

จากการจำลองพบว่าค่าพลังงานจะแปรผันตรงกับ WWR ดังนั้นยิ่งมี WWR มาก พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศยิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบพลังงานของวัสดุทั้ง 4 ชนิด พบว่า WWR 0 ผนังอิฐก่อ 1 ชั้นมีค่าภาระการทำความเย็นมากที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมาก แต่เมื่อ WWR เพิ่มมากขึ้น วัสดุที่มีค่า U-value ต่ำ กลับมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้น โดยที่ WWR 10 อิฐมวลเบากลับมีค่าการใช้พลังงานที่สูงขึ้นมากกว่าคอนกรีต และใช้ค่า

พลังงานมากที่สุดตั้งแต่ WWR 40 เป็นต้นไป ในขณะที่เคร่าไม้มีลักษณะการเพิ่มของค่าพลังงานเช่นเดียวกับคอนกรีตมวลเบา โดยมีค่าพลังงานมากกว่าคอนกรีตที่ WWR 30 และมากกว่าอิฐก่อ 1 ชั้น ที่ WWR 60 เป็นต้นไป ดังภาพที่ 5.3

ภาพที่ 5.3
เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานปรับอากาศช่วงเวลากลางคืน
ของวัสดุต่าง ๆ ที่ความหนา 10 เซนติเมตร

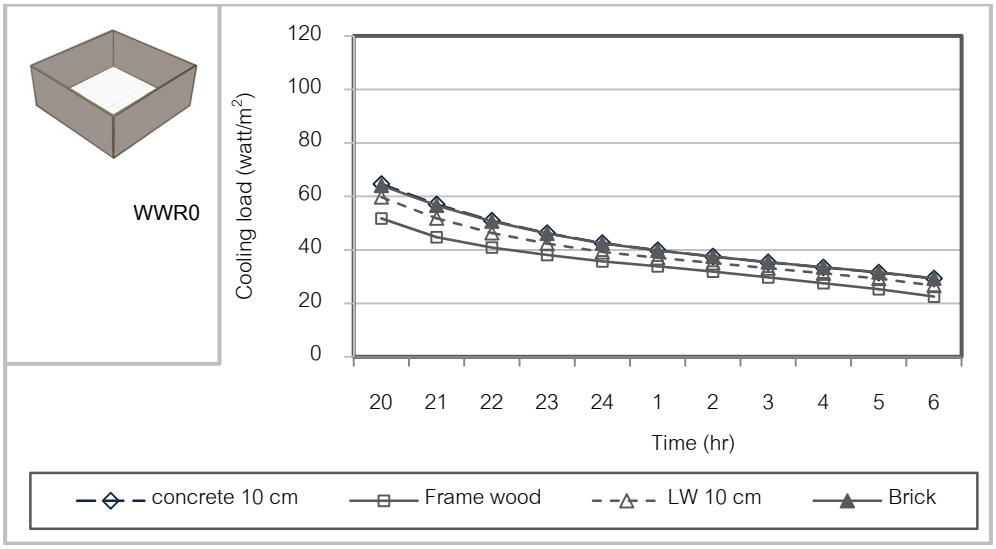



| | wwr0 | wwr10 | wwr20 | wwr30 | wwr40 | wwr50 | wwr60 | wwr70 | wwr80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| concrete 10 cm | 53.1 | 56.22 | 58.9 | 61.14 | 63.22 | 65.07 | 66.77 | 68.35 | 69.88 |
| Frame wood | 43.29 | 52.12 | 58.09 | 62.65 | 66.18 | 68.93 | 71.1 | 72.8 | 74.32 |
| LW concrete | 49.38 | 56.42 | 61.53 | 65.52 | 68.59 | 70.95 | 72.7 | 74.12 | 75.2 |
| brick | 53.5 | 58.12 | 61.72 | 64.72 | 67.19 | 69.219 | 70.9 | 72.3 | 73.5 |

จากผลการทดลองข้างต้น สาเหตุที่เคร่าไม้มีค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด เมื่อ WWR0 สามารถอธิบายได้จากค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง โดยผู้วิจัยเลือกเดือนเมษายนในการพิจารณา จากภาพที่ 5.4(ก) พบว่าเคร่าไม้มีค่าภาระการทำความเย็นตลอดทั้งคืนน้อยที่สุด เนื่องจากเคร่าไม้เป็นวัสดุที่มีค่า U-value ต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่เข้ามามีปริมาณที่น้อย และเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย จึงคายความร้อน ($Q_{wall}{}^{emit,in}$) ได้รวดเร็ว ในขณะที่คอนกรีต และอิฐก่อ 1 ชั้น มีค่าภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่คล้ายกัน

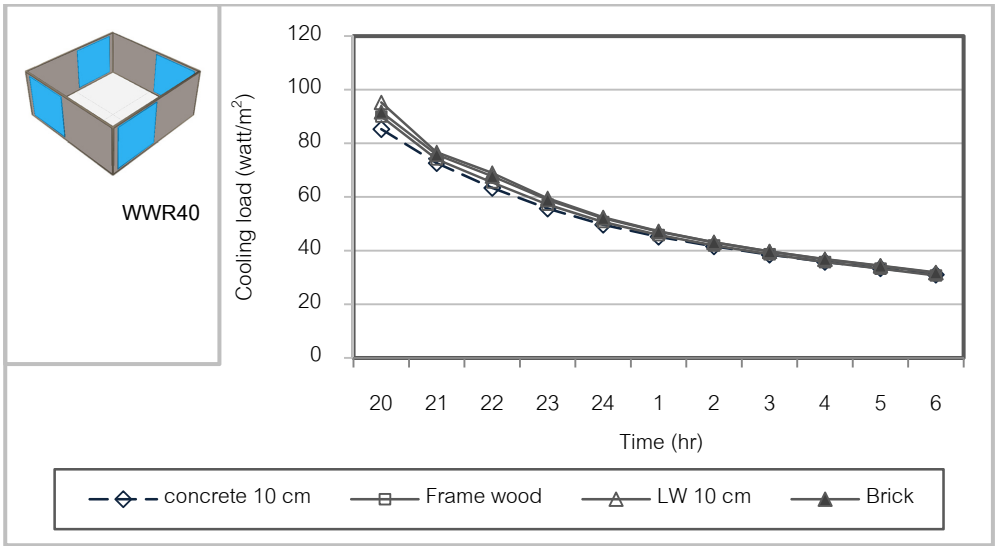
จากภาพที่ 5.4(ข) เมื่อผนังมี WWR 40 คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุมวลสารมากที่สุด หน่วงความร้อนและคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,in}$) ได้นาน เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 4 วัสดุ แต่กลับใช้พลังงานน้อยกว่า เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่า U-value สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 4 วัสดุ เกิดความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) มาก ส่งผลให้ค่าภาระการทำความเย็นในชั่วโมงแรกมีค่าน้อย ดังนั้นถึงแม้ว่าจะหน่วงความร้อนและคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,in}$) ได้มากกว่า แต่ยังมีค่าน้อยกว่าอิฐก่อ 1 ชั้น อิฐมวลเบา และเคร่าไม้ (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ข)

ภาพที่ 5.4
ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน
ของวัสดุต่าง ๆที่ความหนา 10 เซนติเมตร




(ก) WWR0

ภาพที่ 5.4 (ต่อ)




(ข) WWR40

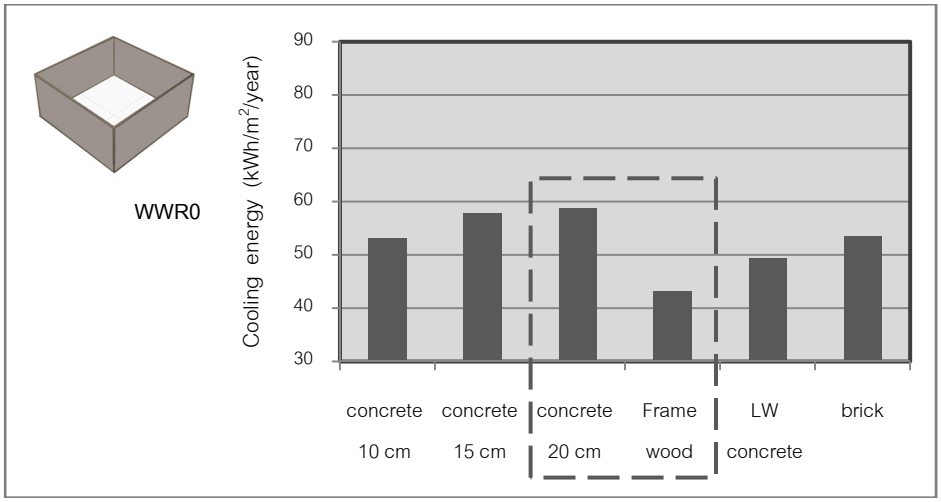
จากการพิจารณาค่าการใช้พลังงานปรับอากาศทั้งปี และค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน ในคอนกรีตที่มีความหนาต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่าในวัสดุที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ที่ความหนาเท่ากัน ค่าการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่ความสมดุลระหว่างความร้อนที่เข้ามา ความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) และการคายความร้อนผนังทึบ($Q_{wall}^{emit,in}$) โดยที่ยิ่ง WWR เพิ่มมากขึ้น ค่าการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) ในขณะที่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน และ WWR จะเห็นได้ว่าค่าค่าการใช้พลังงานแปรผันตรงกับ WWR

### 5.1.3 วิเคราะห์เลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลองที่ 2

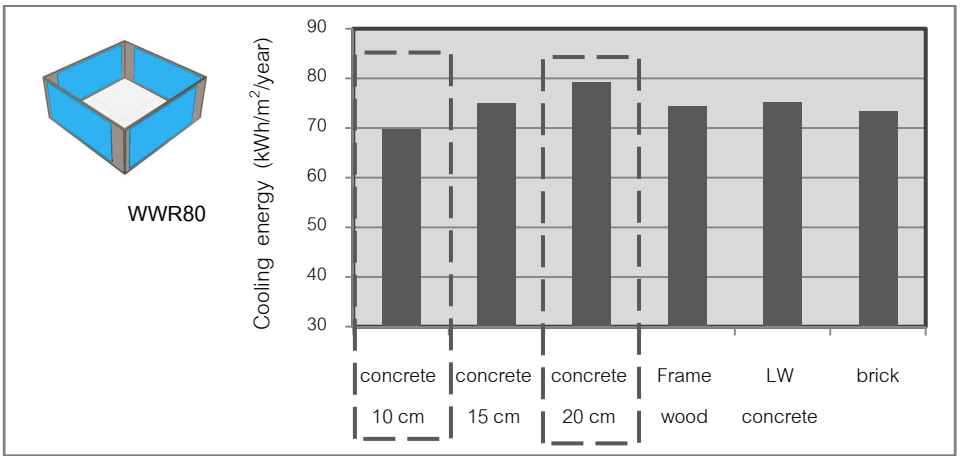
จากการทดลองที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุที่ผลต่อค่าการใช้พลังงานสูงที่สุดและต่ำที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนในการทดลองที่ 2 จากภาพที่ 5.5 พบว่ากรณี WWR 0 เคร่าไม้มีค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุด และคอนกรีต 20 เซนติเมตร มีค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูงที่สุด ในขณะที่กรณี WWR 80 คอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร กลับมีค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุด และคอนกรีตหนา 20 เซนติเมตร ยังคงมีค่าการใช้พลังงานสูงที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือก 3 วัสดุ ได้แก่

เคร่าไม้ คอนกรีต 10 เซนติเมตร และคอนกรีต 20 เซนติเมตรเพื่อเป็นตัวแทนในการทดลองที่ 2 เพื่อหาแนวทางลดความร้อนสะสม

ภาพที่ 5.5
ค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศของทุก ๆ วัสดุ ที่ WWR 0 และ 80




(ก) WWR 0




(ข) WWR 80

## 5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาแนวทางการลดความร้อนสะสม เพื่อการประหยัดพลังงาน

จากการทดลองที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุที่ผลต่อค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุดและสูงที่สุดคือ เคร่าไม้ คอนกรีต 10 เซนติเมตร และคอนกรีต 20 เซนติเมตร เป็นตัวแทนในการ

ทดลองเพื่อหาแนวทางลดความร้อนสะสม และจำลองตั้งแต่ WWR 0 - 80 โดยวิเคราะห์พลังงานรวมต่อตารางเมตรต่อปี เป็นการเปรียบเทียบประหยัดพลังงานระหว่างกรณีที่มี และไม่มีวิธีการลดความร้อนสะสม .ในแต่ละกรณีดังนี้

1) วิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนสีของผนัง เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เปลี่ยนสีผนัง

2) วิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อติดตั้งฉนวนกันความร้อน เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

3) วิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อติดตั้งแผงกันแดด เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด

4) วิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนสีชนิดกระจก เปรียบเทียบกับกรณีกระจกใส

### 5.2.1 ผลการการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเมื่อเปลี่ยนสีของผนัง

การเปลี่ยนสีผนังเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งสีอ่อนมีพฤติกรรมการสะท้อนแสงได้ดีกว่าสีเข้ม ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุมีค่าน้อย เป็นการลดการนำความร้อน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกสีขาว มีค่าดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ 0.18 เปรียบเทียบกับผนังสีอ่อนที่ค่าดูดกลืนรังสี 0.4 โดยจำลองที่ WWR ตั้งแต่ 0 - 80 มีผลการทดลองดังนี้

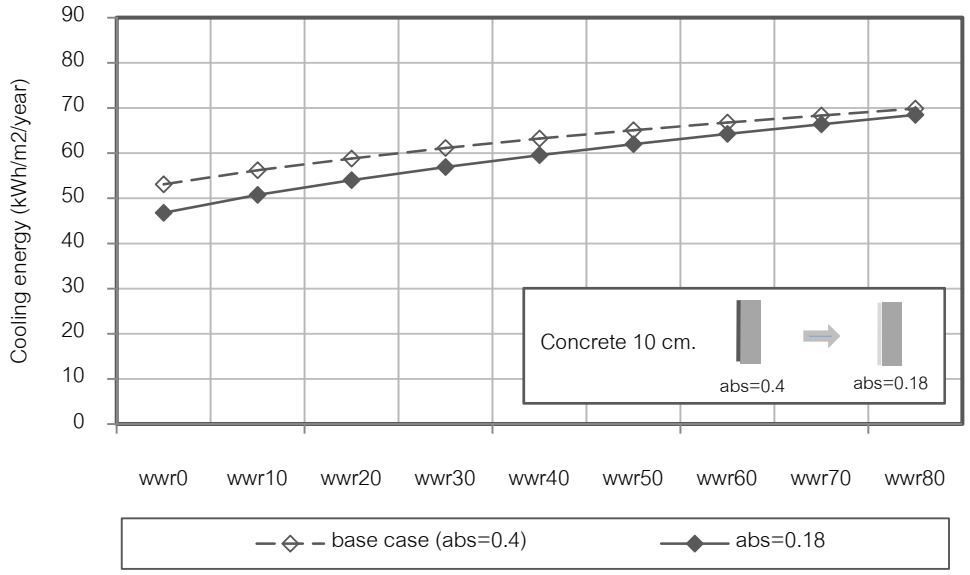
จากการจำลองเปลี่ยนสีวัสดุผนัง พบว่า ในทุก ๆ วัสดุ การเปลี่ยนสีเป็นการช่วยลดค่าการใช้พลังงานในทุก ๆ WWR เนื่องจากการเปลี่ยนสีผนังเป็นการช่วยลดการอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ ซึ่งสีอ่อนสามารถดูดซับความร้อนได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ($Q_{wall}{}^{cond}$) จึงมีปริมาณที่น้อยลง ส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานมีค่าลดลง

จากภาพที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนสีผนัง ที่ WWR 0 เป็นการช่วยลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนสีผนังเป็นการช่วยลดถ่ายเทความร้อนที่ผนังทึบเท่านั้น ดังนั้นเมื่อ WWR มากขึ้น พื้นที่ของผนังทึบมีค่าน้อยลง การเปลี่ยนสีของผนังจึงมีอิทธิพลลดลง

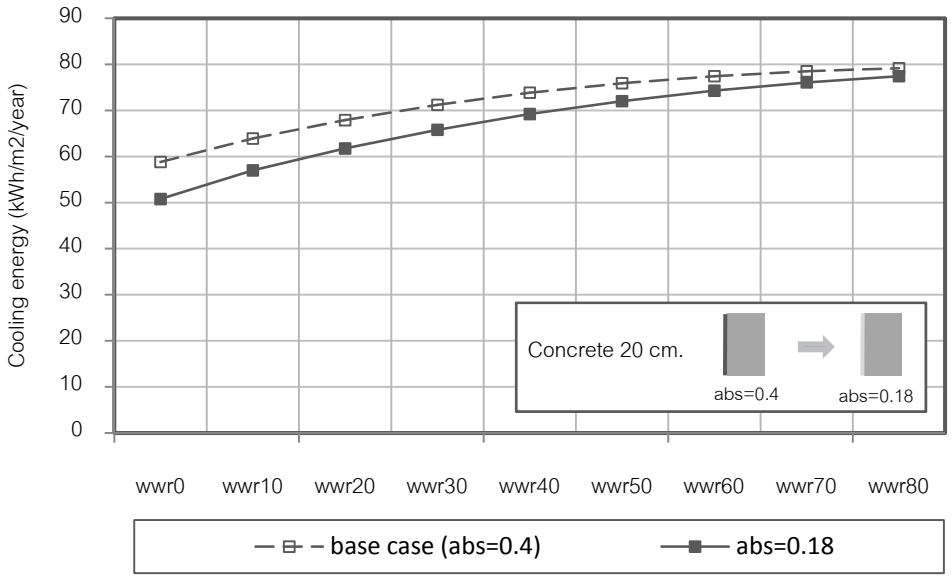
เมื่อพิจารณาทั้ง 3 วัสดุแล้ว พบว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตร มีแนวโน้มลดค่าการใช้พลังงานรวมต่อตารางเมตรต่อปีได้สูงที่สุด ในขณะที่เคร่าไม้ และคอนกรีต 10 เซนติเมตร สามารถลดการใช้พลังงานได้ลดลงตามลำดับ ดังภาพที่ 5.6 (รายละเอียดการใช้พลังงาน ปรากฏในภาคผนวก ก)

ภาพที่ 5.6

ค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตรต่อปี เปรียบเทียบกรณีที่มี และไม่มีการเปลี่ยนสีผนัง

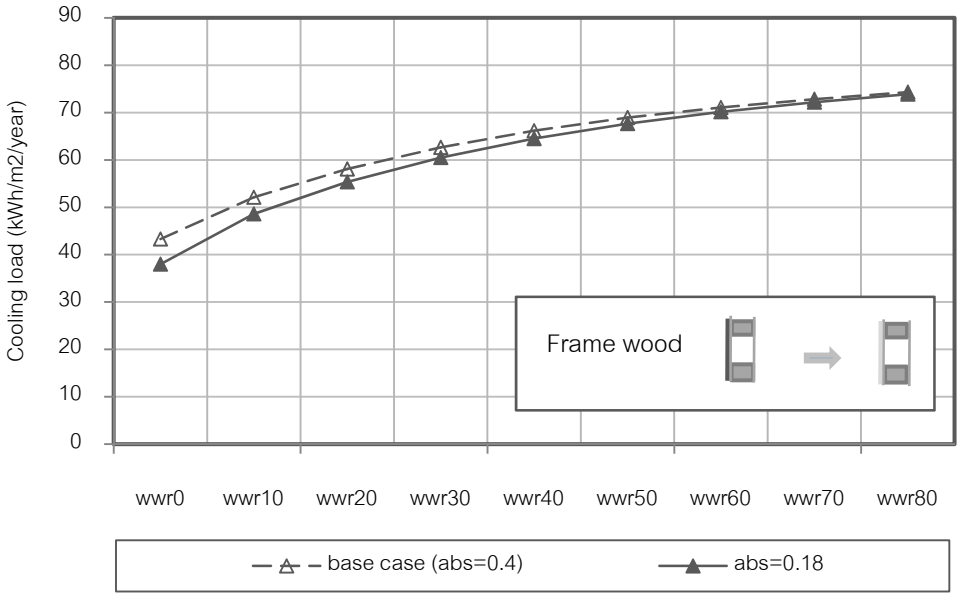



(ก) คอนกรีต 10 เซนติเมตร




(ข) คอนกรีต 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 5.6 (ต่อ)

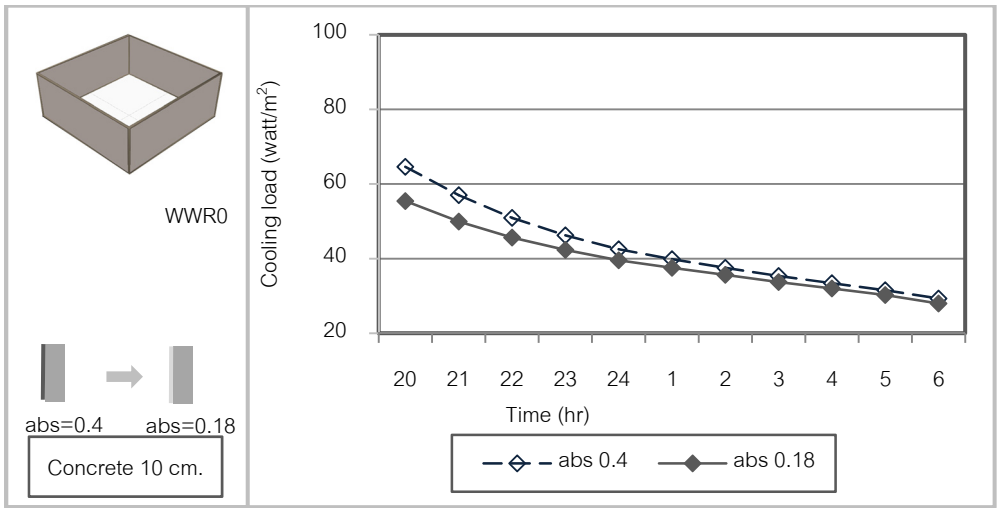



(ค) เคร่าไม้

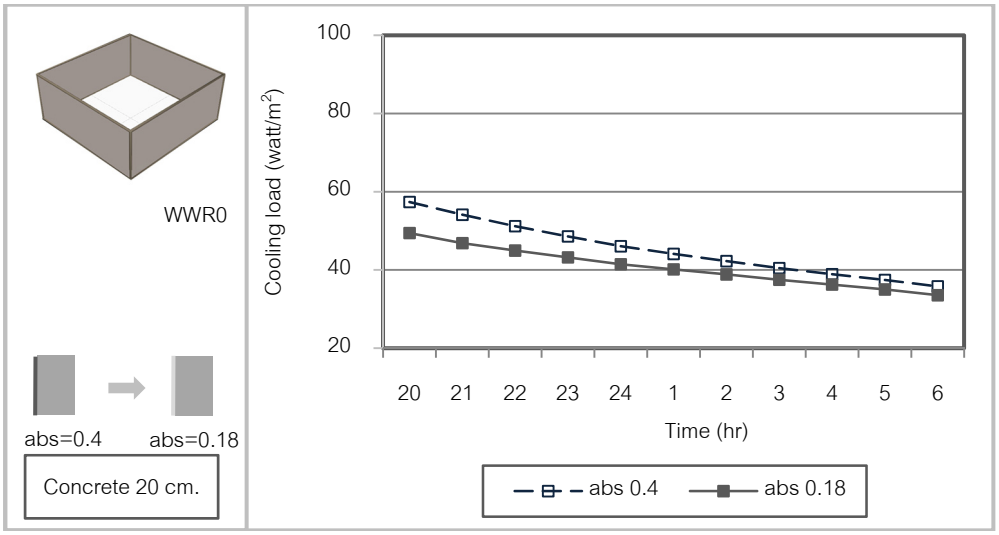
สาเหตุที่คอนกรีต 20 เซนติเมตร เมื่อมีการเปลี่ยนสีผนังแล้วสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 วัสดุ สามารถอธิบายได้จากค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยของเดือนเมษายน จากภาพที่5.7(ก) และภาพที่ 5.7(ข) จะเห็นว่าที่ WWR 0 ถึงแม้ว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตรจะสามารถลดภาระการทำความเย็นชั่วโมงแรกได้น้อยกว่าคอนกรีต 10 เซนติเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นทั้งคืนจะเห็นว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตรสามารถลดภาระการทำความเย็นทั้งคืนได้มากกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนสีจากสีเข้มเป็นสีอ่อนเป็นการลดการดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอาคาร ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุมีค่าลดลง และส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่วัสดุมีค่าน้อยลง ดังนั้นปริมาณความร้อนที่คายออกมา ($Q_{wall}{}^{emit,in}$) ในแต่ละชั่วโมงจึงมีค่าลดลงเช่นกัน ซึ่งคอนกรีต 20 เซนติเมตร เป็นวัสดุที่มีมวลสารมากที่สุด มีระยะในการคายความร้อน และปริมาณความร้อนที่สะสมสูง จึงเป็นสาเหตุให้เมื่อมีการเปลี่ยนสีของผนัง คอนกรีต 20 เซนติเมตรจึงสามารถลดภาระการทำความเย็นได้สูงที่สุด โดยในกรณีที่ WWR มากขึ้น ทุก ๆ วัสดุ สามารถลดภาระการทำความเย็นได้น้อยลง (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ค)

จากการจำลองการเปลี่ยนสีของผนังจะเห็นความสัมพันธ์ได้ว่าอิทธิพลจากสีของผนังจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลสารของผนัง โดยที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุที่มีมวลสารมากมากกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย

ภาพที่ 5.7
ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน
เปรียบเทียบกรณีที่มี และไม่มีการเปลี่ยนสีผนัง




(ก) คอนกรีต 10 เซนติเมตร WWR 0




(ข) คอนกรีต 20 เซนติเมตร WWR 0

### 5.2.2 ผลการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเมื่อมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

การติดตั้งฉนวนเป็นวิธีที่ใช้ลดความร้อนเข้าสู่อาคารอย่างหนึ่ง เนื่องจากฉนวนเป็นวัสดุที่มีค่า U-value ต่ำมาก ทำให้สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม การที่สามารถป้องกันความร้อนเข้ามาได้ดี ในทางกลับกันก็สามารถป้องกันความร้อนออกได้ดีเช่นกัน เพราะฉะนั้นในอาคารประเภทที่พักอาศัยซึ่งมีช่วงเวลาการใช้ในตอนกลางคืน การใช้ฉนวนอาจไม่จำเป็น และอาจเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงานอีกด้วย การทดลองนี้จึงได้ทำการทดลองติดตั้งฉนวนโพลียูลีเทน (Polyurethane) ที่ความหนา 1, 3 และ 6 นิ้ว โดยติดตั้งไว้ภายใน ที่ WWR 0 - 80 และนำผลมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน มีผลการทดลองดังนี้

เมื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงาน พบว่าการติดตั้งฉนวนเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นในบางกรณี โดยอธิบายแยกตามวัสดุดังนี้

จากภาพที่ 5.8(ก) พบว่าคอนกรีต 10 เซนติเมตร เมื่อมีการติดตั้งฉนวนทุก ๆ ความหนาที่ WWR 0 - 10 เป็นการลดค่าการใช้พลังงาน ซึ่งในกรณี WWR 10 สามารถลดพลังงานได้น้อยมาก ถือว่าไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อติดตั้งฉนวนตั้งแต่ WWR 20 เป็นต้นไปกลับเป็นการเพิ่มการใช้พลังงาน โดยที่ค่าการใช้พลังงานจะแปรผันตรงกับความหนาของฉนวน กล่าวคือ ยิ่งฉนวนมีความหนามากขึ้น ค่าพลังงานยิ่งมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อ WWR เพิ่มมากขึ้น อัตราการเพิ่มของพลังงานมีแนวโน้มลดน้อยลง

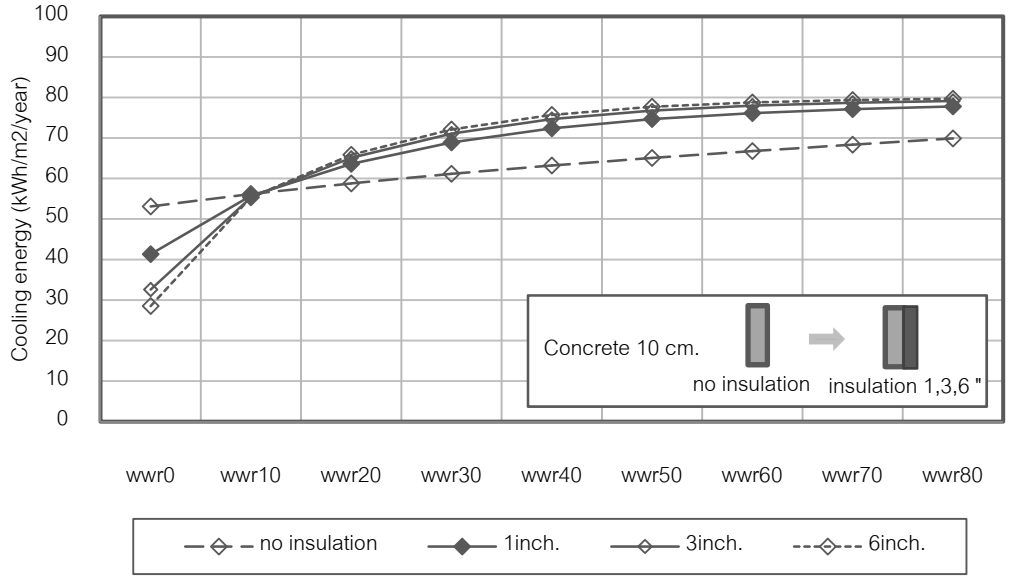
ในขณะที่คอนกรีต 20 เซนติเมตร การติดตั้งฉนวนทุก ๆ ความหนาที่ WWR 0 - 20 เป็นการลดการใช้พลังงาน ในขณะที่ WWR 30 เป็นต้นไป การติดตั้งฉนวนความหนา 1 นิ้ว เป็นการลดค่าการใช้พลังงาน แต่ลดในปริมาณที่น้อยมาก จนแทบไม่มีนัยสำคัญ และการติดตั้งฉนวนตั้งแต่ 3 นิ้วเป็นต้นไป เป็นการเพิ่มพลังงาน แต่เพิ่มในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอีก 2 วัสดุ ดังภาพที่ 5.8(ข)

เมื่อพิจารณาวัสดุเคร่าไม้ การติดตั้งฉนวนจะเป็นการลดการใช้พลังงานเฉพาะ WWR 0 เท่านั้น แต่เมื่อ WWR มากขึ้น การติดตั้งฉนวนกลับเป็นการเพิ่มการใช้พลังงาน ดังภาพที่ 5.8(ค) (รายละเอียดการใช้พลังงาน ปรากฏในภาคผนวก ก)

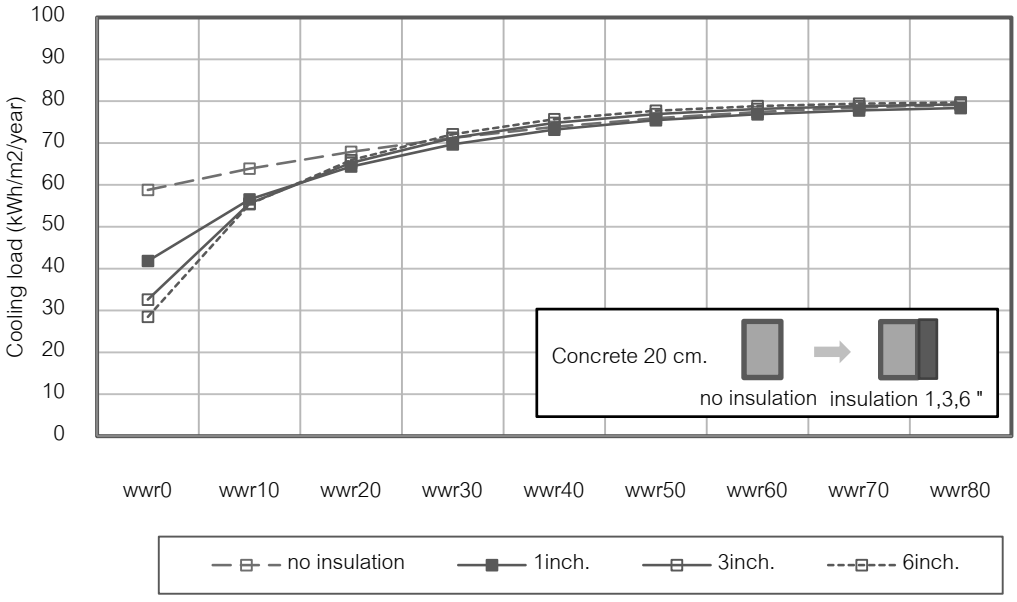
จะเห็นได้ว่า ในทุก ๆวัสดุ การติดตั้งฉนวนสามารถลดพลังงานได้มากที่สุด เมื่อมี WWR 0 โดยจะแปรผันตรงกับความหนาของฉนวน สาเหตุที่การติดตั้งฉนวนที่ WWR 0 สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด เนื่องจากในกรณีที่ไม่มีกระจก ความร้อนทั้งหมดมาจากผนังทึบ

โดยฉนวนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติกันความร้อนได้ดี จึงสามารถลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาได้มาก ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง

ภาพที่ 5.8
ค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตรต่อปี เปรียบเทียบ
กรณีที่มี และไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

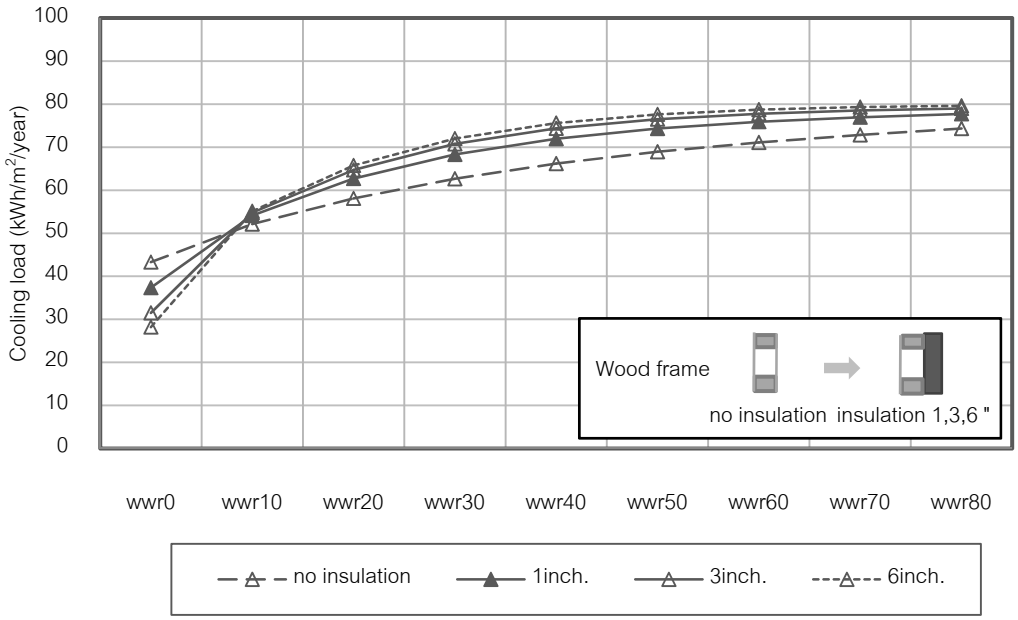



(ก) คอนกรีต 10 เซนติเมตร




(ข) คอนกรีต 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 5.8 (ต่อ)




(ค) เคร่าไม้

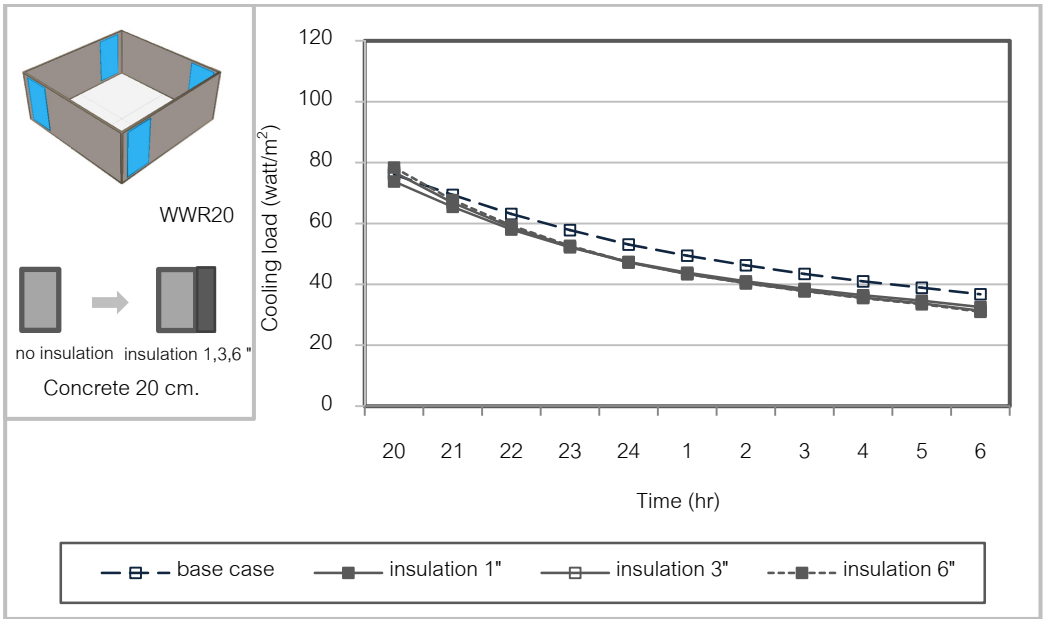
เมื่อพิจารณาทั้ง 3 วัสดุ จะเห็นได้ว่าคอนกรีต 20 เซนติเมตร เป็นวัสดุเดียวที่เมื่อติดตั้งฉนวนที่ WWR 20 ยังสามารถช่วยลดค่าการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากค่าการค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน จากภาพที่ 5.9(ก) จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ที่ WWR 20 การติดตั้งฉนวนที่ความหนาฉนวน 3 และ 6 นิ้ว จะเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นในชั่วโมงแรก แต่เมื่อพิจารณาชั่วโมงถัดไปแล้ว พบว่าการติดตั้งฉนวนเป็นการช่วยลดการคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,out}$) จึงทำให้ภาระการทะความเย็นตลอดทั้งคืนมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ง)

ในขณะที่คอนกรีต 10 เซนติเมตร สาเหตุการติดตั้งฉนวนกลับเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน โดยผู้วิจัยได้เลือกกรณี WWR 40 ในการอธิบาย พบว่าถึงแม้ว่าการติดตั้งฉนวนจะช่วยลดการคายความร้อน ($Q_{wall}^{emit,out}$) ในรายชั่วโมง แต่เนื่องจากความสามารถในการกันความร้อนของฉนวน ส่งผลให้ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในห้องอันเนื่องมาจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) กลับออกได้น้อย ส่งผลให้ใช้พลังงานตลอดทั้งคืนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวน ดังภาพที่ 5.9(ข) (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ง)

เมื่อพิจารณาเคร่าไม้ สาเหตุที่การติดตั้งฉนวนเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็น มีสาเหตุที่คล้ายกับคอนกรีต 10 เซนติเมตร เนื่องจากความร้อนกลับของผนังทึบ ($Q_{wall}^{cond,out}$) น้อย ส่งผลให้ภาระการทะความเย็นตลอดทั้งคืนสูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวน (รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ง)

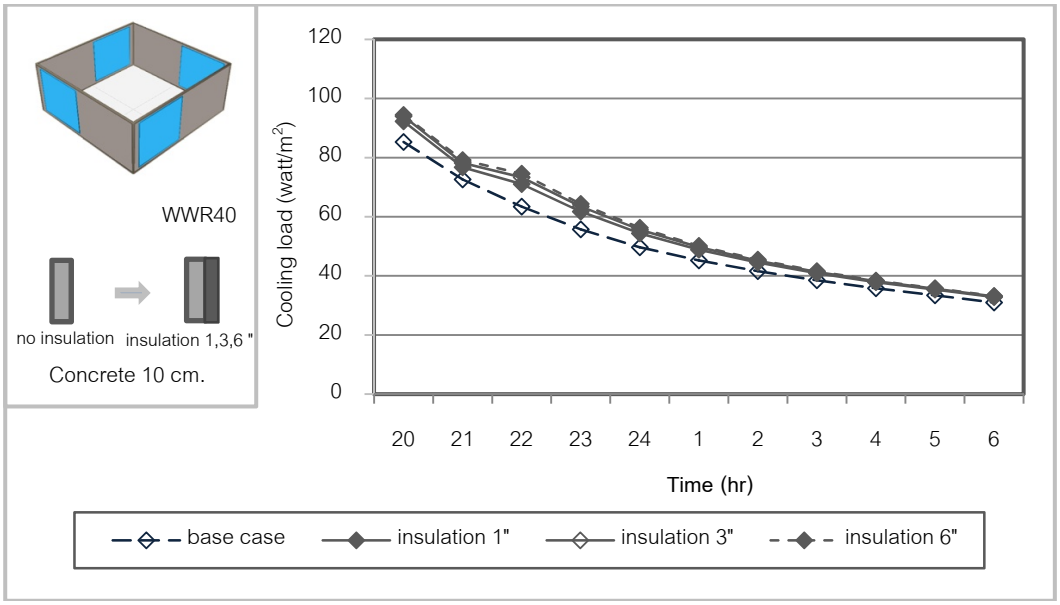
จากผลการทดลองข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าหากผนังที่มีมวลสารน้อย และมี WWR สูง การติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะส่งผลในเชิงลบมากกว่าผนังที่มีมวลสารมาก

ภาพที่ 5.9
ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายนเปรียบเทียบ
กรณีที่มี และไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน




(ก) คอนกรีต 20 เซนติเมตร WWR20

ภาพที่ 5.9 (ต่อ)




(ข) คอนกรีต 10 เซนติเมตร WWR40

### 5.2.3 ผลการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเมื่อมีการติดตั้งแผงกันแดด

ในการจำลองการติดตั้งแผงกันแดดนี้ ได้ทำการจำลองติดตั้งเฉพาะส่วนที่เป็นผนังโปร่งแสง โดยที่ WWR 10 - 40 จะมีความสูงของกระจกอยู่ที่ 1.2 เมตร และตั้งแต่ WWR 50 เป็นต้นไป ความสูงกระจกเพิ่ม WWR ละ 30 เซนติเมตร ในขณะที่แผงกันแดดเลือกใช้ระยะยื่น 1 และ 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะยื่นปกติที่นิยมใช้ในอาคารที่พักอาศัย โดยศึกษาตั้งแต่ WWR 0 - 80 เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด มีผลการทดลองดังนี้

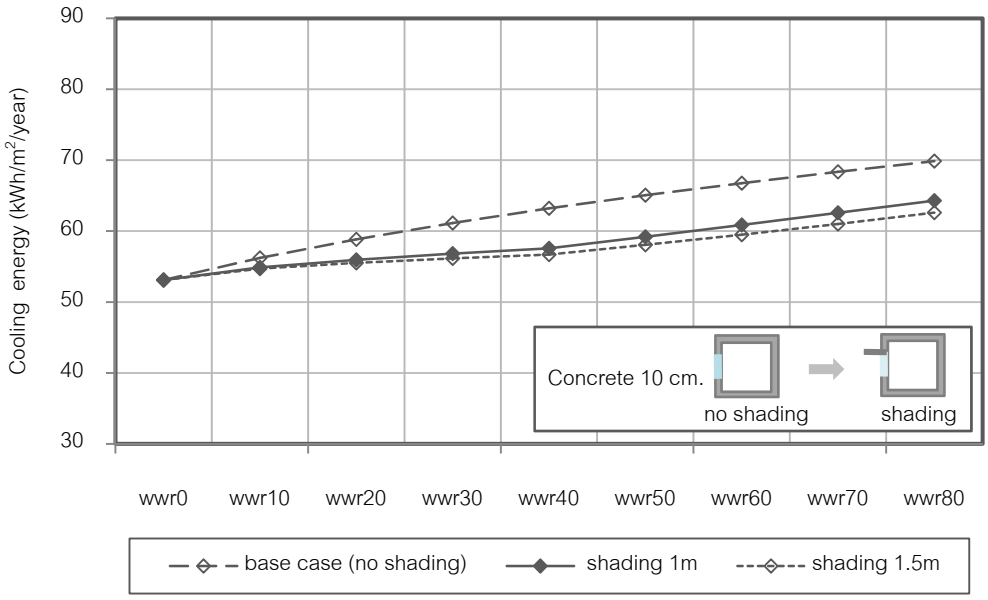
จากการจำลอง พบว่าการติดตั้งแผงกันแดดเป็นการช่วยลดค่าการใช้พลังงานในทุก ๆ WWR เนื่องจากการติดตั้งแผงกันแดดเป็นการป้องกันความร้อนจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) และเป็นการลดความร้อนที่พื้นผิวของกระจก ลดการนำความความร้อน ($Q_{window}{}_{cond}$) ทำให้ความร้อนที่ผ่านผนังโปร่งแสงเข้ามามีปริมาณที่ลดน้อยลง โดยระยะยื่นที่ 1.5 เมตร สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากกว่าระยะยื่น 1 เมตร ในทุก ๆ WWR

จากภาพที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าในทุก ๆ วัสดุ ที่ WWR ตั้งแต่ 50 เป็นต้นไป เมื่อมีการเพิ่มความสูงของกระจก ค่าการใช้พลังงานมีอัตราการเพิ่มที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ WWR 10 - 40 สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อความสูงกระจกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่แผงกันแดดมีระยะยื่นเท่าเดิม ทำให้

สามารถป้องกันความร้อนจากการส่งผ่านรังสีโดยตรง ($Q_{trans}$) ได้น้อยลง ดังนั้นจึงมีความร้อนเข้ามาสะสมที่พื้น ($Q_{floor}abs,solar$) ได้มากขึ้น ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงาน

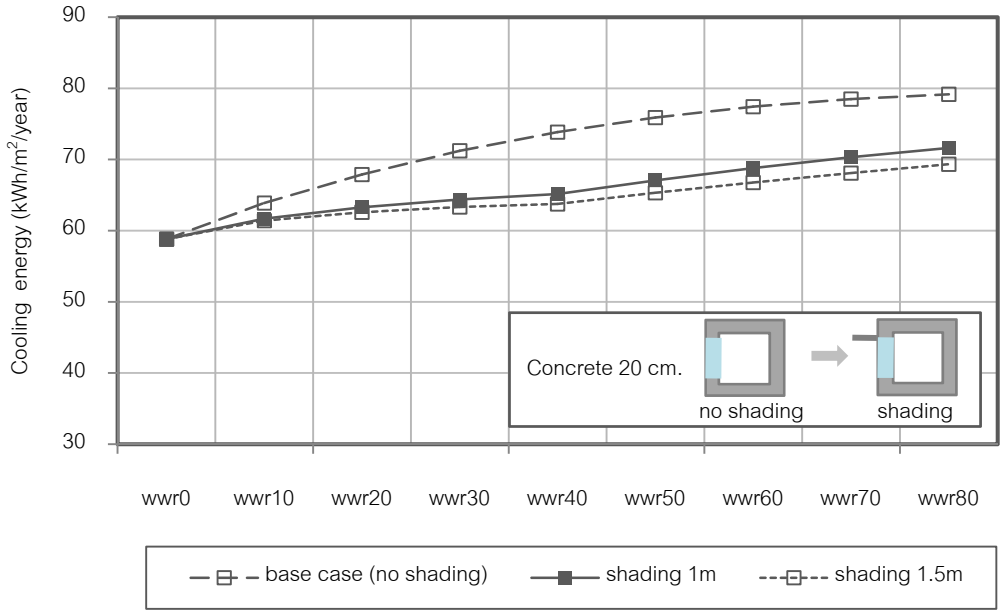
เมื่อพิจารณาทั้ง 3 วัสดุพบว่า เคร่าไม้และคอนกรีต 20 เซนติเมตร มีแนวโน้มลดการใช้พลังงานต่อตารางเมตรต่อปีได้สูงกว่า คอนกรีต 10 เซนติเมตร เนื่องจากการติดตั้งแผงกันแดดเป็นการลดการสะสมความร้อนที่พื้น และผิวผนังภายใน อันเนื่องมาจากการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยตรง ($Q_{trans}$) ซึ่งจากการทดลองที่ 1 เห็นได้ว่าเคร่าไม้และคอนกรีต 20 เซนติเมตร เมื่อมี WWR ค่าการใช้พลังงานมีอัตราเพิ่มของการใช้พลังงานอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการติดตั้งแผงกันแดดในเคร่าไม้และคอนกรีต 20 เซนติเมตรจึงเป็นการลดความร้อนได้มากกว่าคอนกรีต 10 เซนติเมตร (รายละเอียดการใช้พลังงาน ปรากฏในภาคผนวก ก)

ภาพที่ 5.10
ค่าการใช้พลังงานปรับอากาศต่อตารางเมตรต่อปี เปรียบเทียบ
กรณีที่มี และไม่มีการติดตั้งแผงกันแดด

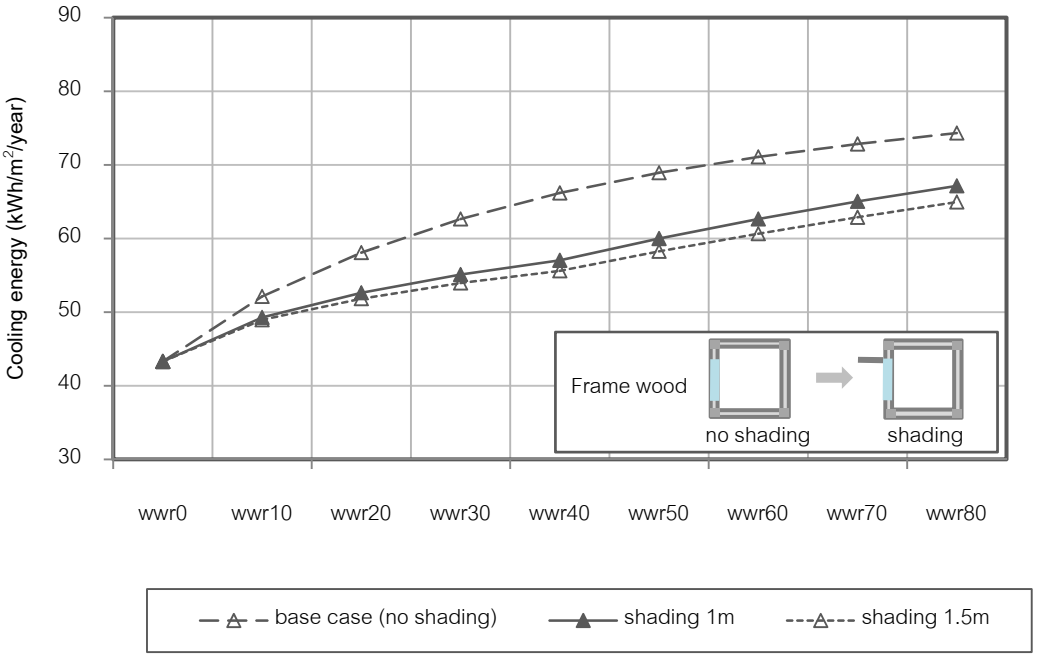



(ก) คอนกรีต 10 เซนติเมตร

ภาพที่ 5.10 (ต่อ)




(ข) คอนกรีต 20 เซนติเมตร




(ค) เคร่าไม้

### 5.2.4 ผลการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศเมื่อเปลี่ยนชนิดกระจก

ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติของกระจกอย่างมาก เนื่องจากการศึกษาในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่า เมื่อยิ่ง WWR มีค่ามากขึ้น ค่าการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้กระจกให้เหมาะสม เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยในการจำลองนี้ได้เลือกชนิดกระจกมา 4 ชนิด ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่ กระจกสีเขียว กระจกสะท้อนแสง กระจกใส 2 ชั้น และกระจก low-e 2 ชั้น ตัดแสง เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้กระจกใส โดยศึกษาตั้งแต่ WWR 0 - 80 ได้ผลการทดลองดังนี้

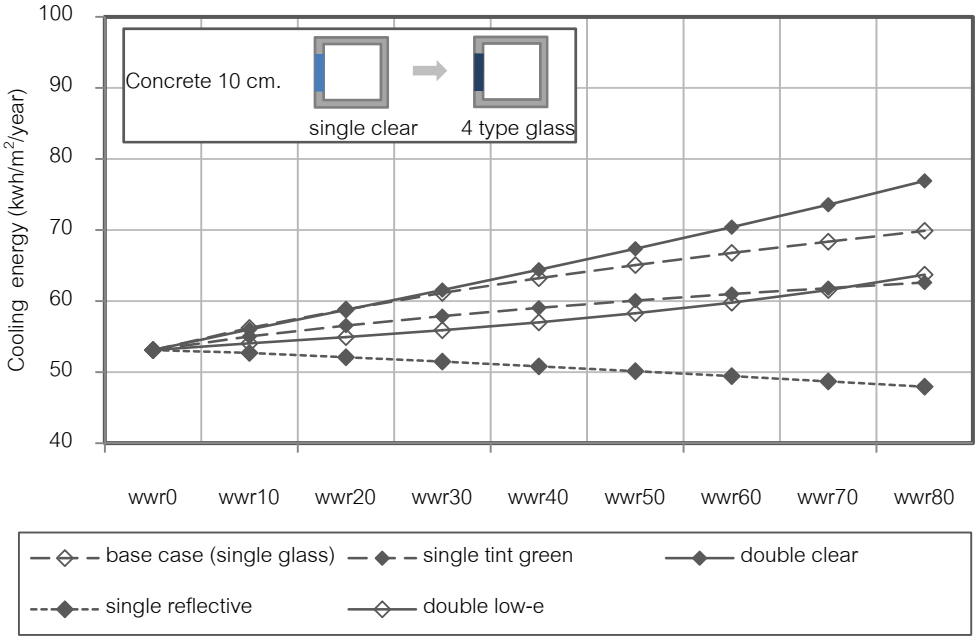
จากการจำลองพบว่าในทุก ๆ วัสดุ การเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจกสะท้อนแสง กระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง และกระจกสีเขียว เป็นการลดค่าการใช้พลังงานได้ในทุก ๆ WWR โดยที่กระจกสะท้อนแสงสามารถลดพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกทั้ง 4 ชนิด ในขณะที่การเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจกใส 2 ชั้น กลับเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงานในบางกรณี ซึ่งค่าการใช้พลังงานใน WWR ต่าง ๆ สามารถอธิบายแยกตามวัสดุดังนี้

จากรูปที่ 5.11(ก) พบว่าคอนกรีต 10 เซนติเมตร เมื่อเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจก low-e 2 ชั้น ตัดแสง สามารถลดการใช้พลังงานได้มากรองจากกระจกสะท้อนแสง แต่ใน WWR 80 จะเห็นได้ว่ากระจกสีเขียวสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่ากระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง ในขณะที่การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกใส 2 ชั้น ช่วง WWR แรกสามารถลดการใช้พลังงานได้ แต่ลดได้ในปริมาณที่น้อยมาก และตั้งแต่ WWR 30 เป็นต้นไป การใช้กระจกใส 2 ชั้น กลับเป็นการเพิ่มการใช้พลังงาน

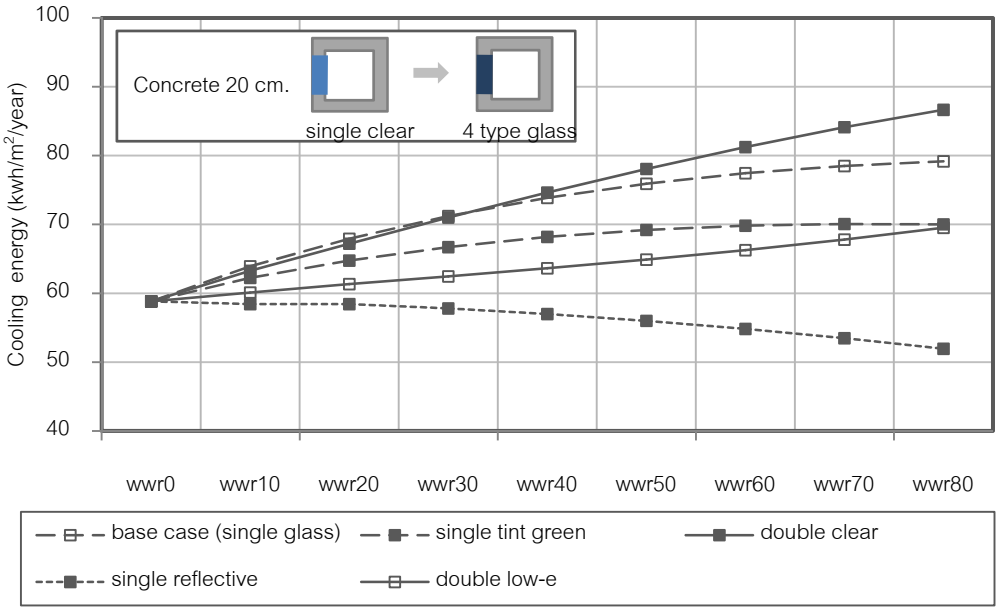
เมื่อพิจารณาคอนกรีต 20 เซนติเมตร เห็นได้ว่าการเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากรองจากกระจกสะท้อนแสงในทุก ๆ WWR รองลงมาได้แก่ กระจกสีเขียว โดยที่เมื่อ WWR ยิ่งสูงขึ้น ค่าการใช้พลังงานของกระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง และกระจกตัดแสงสีเขียว ยิ่งมีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ในขณะที่การใช้กระจกใส 2 ชั้น ตั้งแต่ WWR 40 เป็นต้นไป กลับเป็นการเพิ่มการใช้พลังงาน ดังภาพที่ 5.11(ข)

เมื่อพิจารณาเคร่าไม้ พบว่าการใช้กระจก low-e 2 ชั้น ตัดแสงที่ WWR 0 - 60 สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากรองจากกระจกสะท้อนแสง แต่ใน WWR 70 - 80 กระจกสีเขียวสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่า ในขณะที่การใช้กระจกใส 2 ชั้น ตั้งแต่ WWR 40 เป็นต้นไป กลับเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงาน ดังภาพที่ 5.11(ค) (รายละเอียดการใช้พลังงาน ปรากฏในภาคผนวก ก)

ภาพที่ 5.11
ค่าการใช้พลังงานปรับอากาศต่อตารางเมตรต่อปี เปรียบเทียบ
กรณีที่มี และไม่มีการเปลี่ยนชนิดกระจก

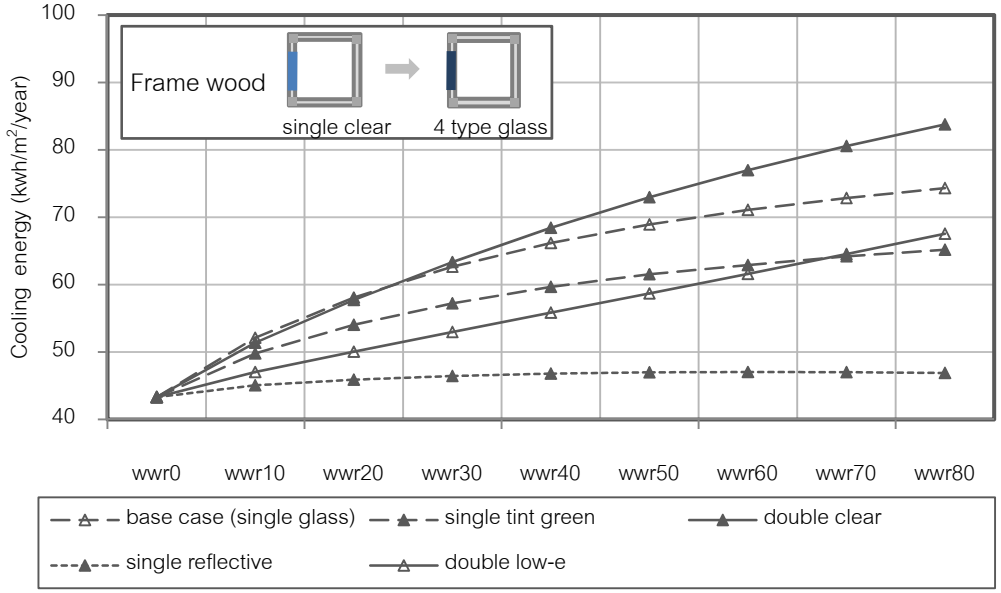



(ก) คอนกรีต 10 เซนติเมตร




(ข) คอนกรีต 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 5.11 (ต่อ)




(ค) เคร่าไม้

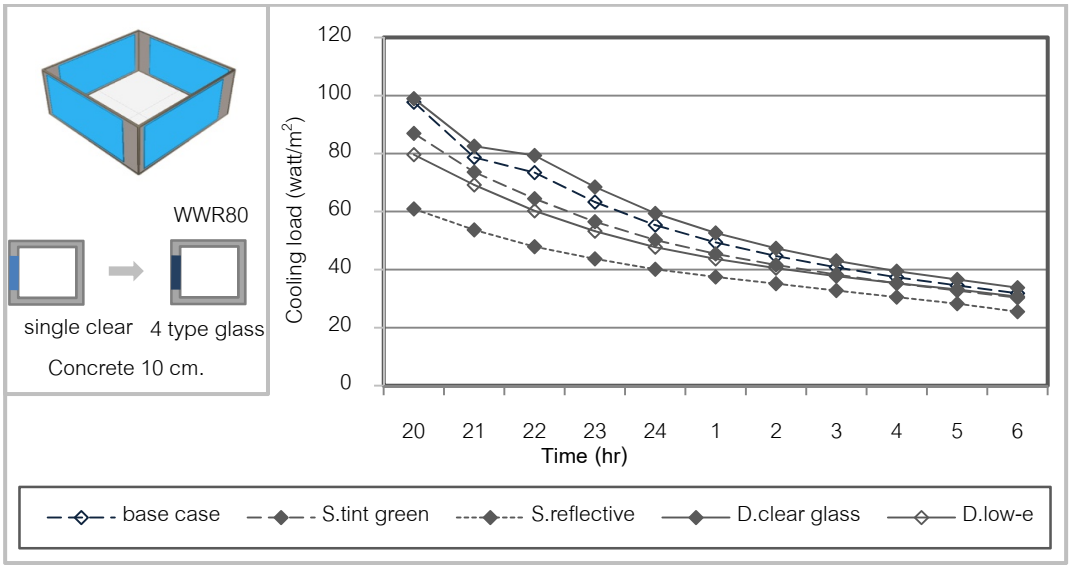
จากผลการทดลองด้านบน พบว่าในทุก ๆ วัสดุ การติดตั้งกระจกสะท้อนแสง เป็นการช่วยลดค่าการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยที่ยิ่ง WWR มากขึ้นยิ่งมีแนวโน้มลดพลังงานได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในทาวน์เฮ้าส์ (อรรจน์ เศรษฐบุตร และธนิต จินดาวนิค, 2551) สาเหตุที่กระจกสะท้อนแสงสามารถลดภาระการทำความเย็นสูงสุดได้มากที่สุด เมื่อพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายน โดยเลือกที่ WWR 80 วัสดุคอนกรีต 10 เซนติเมตรในการพิจารณา ดังภาพที่ 5.12 พบว่าการใช้กระจกสะท้อนแสงค่าภาระการทำความเย็นในชั่วโมงแรกมีค่าน้อยที่สุด สาเหตุมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (SHGC) ต่ำ ความร้อนจึงผ่านเข้ามาได้น้อย และค่า U-value สูง เกิดความร้อนกลับของกระจก ($Q_{window}$cond,out) มาก ทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องน้อย ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงาน โดยทีกรณี WWR อื่น ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้น้อยกว่า(รายละเอียดการใช้พลังงาน และแผนภูมิทุกกรณี ปรากฏในภาคผนวก ฉ)

เมื่อพิจารณาที่ WWR สูง ๆ เปรียบเทียบระหว่างกระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง ซึ่งเป็นกระจกที่มีคุณสมบัติกันความร้อนจากรังสีความร้อนโดยตรงได้ดี และมีค่าความเป็นฉนวนที่ดี กับกระจกตัดแสงสีเขียวซึ่งมีค่า SHGC สูง และมีค่า U-value สูง แล้วกลับมีค่าการใช้พลังงานที่

ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่า U-value มีอิทธิพลมากกว่าค่า SHGC ดังนั้นกระจก low-e 2 ชั้นตัดแสง ซึ่งมีค่า U-value ต่ำ จึงเกิดความร้อนกลับของกระจก ($Q_{window}^{cond,out}$)ได้น้อย

ในขณะที่การใช้กระจกใส 2 ชั้น กลับเป็นการเพิ่มค่าการใช้พลังงานในบาง WWR เนื่องจากกระจกใส 2 ชั้น ป้องกันความร้อนจากรังสีโดยตรงได้น้อยส่งผลให้ปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาได้มาก ในขณะที่มีค่า U-value ที่ต่ำ ดังนั้นจึงเกิดความร้อนกลับของกระจก ($Q_{window}^{cond,out}$) ได้น้อย เกิดความร้อนสะสมภายในสูง

ภาพที่ 5.12
ค่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมง เฉลี่ยเดือนเมษายนเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มี
และมีการเปลี่ยนชนิดกระจก ของคอนกรีต 10 เซนติเมตร




จากการสังเกตในข้างต้นจะเห็นได้ว่าในสภาวะปรับอากาศในช่วงตอนกลางคืน ค่าการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับค่า SHGC และค่า U-value ของกระจกเป็นส่วนใหญ่ โดยที่ค่า SHGC ยิ่งน้อย ก็ยิ่งสามารถป้องกันความรังจากรังสีความร้อนโดยตรงได้ดี แต่ในขณะที่ค่า U-value ยิ่งมีค่าน้อย ความเป็นฉนวนมาก กลับไม่มีความจำเป็นสำหรับสภาวะการปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากช่วงเวลานั้นไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ในอาคารที่มีช่วงเวลาการใช้ช่วงเวลากลางคืน การเลือกใช้กระจก ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่า SHGC ต่ำ เพื่อป้องกันรังสีความร้อนโดยตรง เป็นการลดความร้อนสะสมที่พื้น เกิดการคายความร้อนได้น้อย และมีค่า U-value ที่สูง เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ภายในสามารถถ่ายเทสู่ข้างนอกได้ง่าย