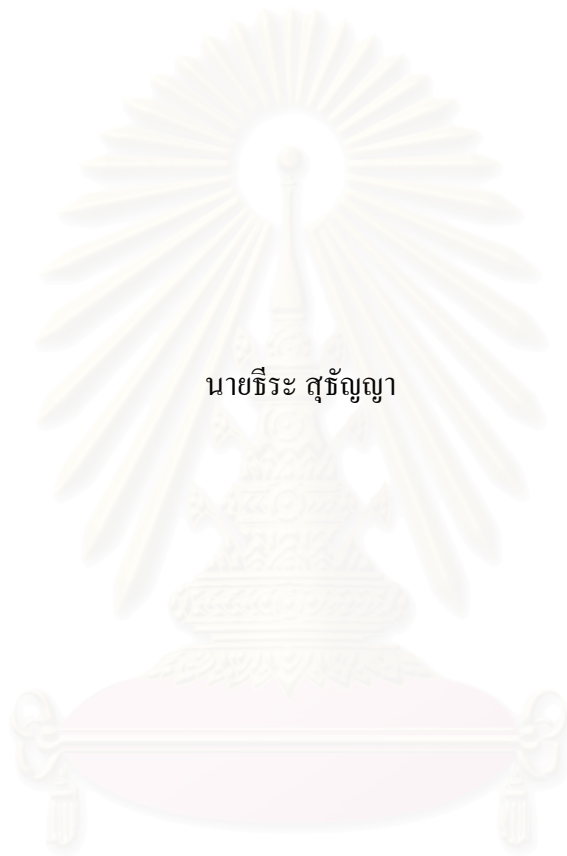


การออกแบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ



นายธีระ สุทธิญา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7176-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DESIGN OF APPROPRIATE BUILDING ENVELOPES FOR BROILER HOUSES

Mr.Teera Sutunya

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7176-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การออกแบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ  
โดย    นายธีระ สุทธิญา  
สาขาวิชา                                    วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา                          ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายธีระ สุทธิญา : การออกแบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ.  
(A DESIGN OF APPROPRIATE BUILDING ENVELOPES FOR BROILER HOUSES)  
อ. ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา, 160 หน้า. ISBN 974-17-7176-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาถึงโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อระบบปิด ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร โดยนำโรงเรือนกว้าง 12 เมตรที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทยเปรียบเทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร นอกจากนั้นจะตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรโรงเรือนต่างๆ ได้แก่ ความสูงหลังคา ทิศทางการวางตัวของโรงเรือน การติดกันสาดและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่มีผลต่อความเร็วลม โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างโปรแกรมสำหรับคำนวณตัวแปรทางสภาวะแวดล้อมเชิงความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีสมมูลความร้อน จากนั้นจึงวิเคราะห์ร่วมกับความเร็วลมตามตำแหน่งต่างๆ ในโรงเรือนที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีทาง CFD จากวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ในส่วนของการระบายอากาศ เพื่อทำการคำนวณและเปรียบเทียบค่าภาระความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารต่อพื้นที่การเลี้ยงและค่าเฉลี่ยในรอบปีของดัชนีความร้อน (BGHI) ที่ใช้ประเมินสภาวะแวดล้อมของไก่

จากผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่โรงเรือนมีการติดกันสาดกันความร้อนตั้งแต่ 0.5 นิ้ว ขึ้นไป โรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าเฉลี่ยของ BGHI ใกล้เคียงกับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร แต่จะมีค่าภาระความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารต่อพื้นที่การเลี้ยงน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ประมาณ 10 % การที่โรงเรือนมีความสูงหลังคามากขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของ BGHI มีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงทิศทางการวางตัวของโรงเรือนในช่วงไม่เกิน 15 องศา จากแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของ BGHI เพียงเล็กน้อย ความยาวของกันสาดที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรจะอยู่ที่ประมาณ 1.5 เมตร สำหรับการพิจารณาถึงความเหมาะสมในเชิงความร้อน โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อควรมีความกว้าง 24 เมตร ความสูงหลังคา 2.3 เมตร วางตัวอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก และมีกันสาดที่ยาว 1.5 เมตร

ภาควิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....  
สาขาวิชา .....วิศวกรรมเครื่องกล.....  
ปีการศึกษา .....2547.....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## 4470351221 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT BALANCE METHOD / HEAT INDEX / BROILER HOUSE

TEERA SUTUNYA : A DESIGN OF APPROPRIATE BUILDING ENVELOPES FOR BROILER HOUSES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TUL MANEEWATTANA, Ph.D., 160 pp. ISBN 974-17-7176-2.

This thesis studied the heat transfer through building envelope of the closed-type broiler house. The 12-meter-width house commonly found in Thailand was compared with a 24-meter-width house. The influence of parameters which are consisted of roof height, orientation, shading and other parts of building that affects the air velocity were also investigated. A computer program was developed to solve the thermal environment parameters by Heat Balance Method. The air velocity at various positions calculated by CFD from related thesis which studied the same broiler house in aspect of ventilation were used for calculating and comparing heating load through building envelope per rearing area and annual average of the Black Globe-Humidity Index (BGHI) to evaluating thermal environment.

Results of the study show that with 0.5 inch insulation or thicker, the average BGHI in the 24-meter-width broiler house is nearly the same as in the 12-meter-width house. However, heating load per rearing area in the 24-meter-width house is lower than in the 12-meter-width house by a minimum of 10 %. The addition of roof height is found to decrease the average BGHI. The adjustment of the orientation of the broiler house for less than 15 degree from the east-west solar orientation give only a small impact to the average BGHI. The suitable length of shading for both 12-meter-width and 24-meter-width house is approximately 1.5 meters. When considering only on thermal performance, broiler house should have 24 meter in width, 2.3 meter or higher roof height, east-west solar orientation and 1.5 meter or longer shading length.

Department ....Mechanical Engineering..

Student's signature .....

Field of study Mechanical Engineering

Advisor's signature .....

Academic Year ...2004.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดที่มีคุณค่ายิ่งในการทำงานวิจัย รวมทั้งการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน และ อาจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยทางเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่มีประโยชน์ทั้งทางด้านการศึกษาและการดำรงชีวิต โดยเฉพาะต้องขอขอบคุณ คุณวสันต์ เล่าห์กมล ที่ได้อดทน ช่วยเหลือ ฝ่าฟันอุปสรรคร่วมกันมาตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและพี่น้องของข้าพเจ้า ที่ให้โอกาสให้เวลา ให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด อนึ่งประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบเป็นกตัญญูตราบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ม
<b>บทที่ 1</b> <b>บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
<b>บทที่ 2</b> <b>การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ</b> .....	<b>5</b>
2.1 องค์ประกอบของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ.....	5
2.1.1 โครงสร้างโรงเรือน.....	5
2.1.2 ระบบระบายอากาศ.....	7
2.1.3 อุปกรณ์อื่นๆ.....	7
2.2 การระบายอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อระบบปิด.....	7
2.3 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในระบบปิด.....	10
2.4 กลไกการควบคุมอุณหภูมิร่างกายของไก่พันธุ์เนื้อ.....	10
2.5 ความเครียดทางความร้อน (Heat Stress).....	12
2.6 ดัชนีความร้อน.....	12
2.7 การคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย.....	15
<b>บทที่ 3</b> <b>ทฤษฎีเกี่ยวกับระเบียบวิธีสมดุลความร้อน</b> .....	<b>18</b>
3.1 ภาพรวมสำหรับระเบียบวิธีสมดุลความร้อน.....	18

3.2	สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก.....	20
3.3	กระบวนการนำความร้อนผ่านชั้นผนัง.....	22
3.4	สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน.....	23
3.5	สมดุลความร้อนของอากาศภายในโซน.....	26
3.6	ขั้นตอนการคำนวณในระเบียบวิธีสมดุลความร้อน.....	27
<b>บทที่ 4</b>	<b>องค์ประกอบของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อที่ใช้เป็นแบบจำลอง</b>	<b>31</b>
4.1	สถานที่ตั้งของโรงเรือน.....	31
4.2	ข้อมูลสภาวะอากาศ.....	31
4.3	โครงสร้างของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ.....	31
4.3.1	ขนาดของโรงเรือน.....	31
4.3.2	วัสดุที่ใช้ทำโรงเรือน.....	33
4.4	ความหนาแน่นของไก่พันธุ์เนื้อ.....	33
4.5	แสงสว่างในโรงเรือน.....	34
4.6	ความร้อนจากไก่พันธุ์เนื้อ.....	34
4.7	การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหย.....	34
4.8	ความเร็วลมภายในโรงเรือน.....	35
4.9	การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆของโรงเรือน.....	35
<b>บทที่ 5</b>	<b>ผลลัพธ์และการวิเคราะห์</b>	<b>38</b>
5.1	อิทธิพลของขนาดของโรงเรือนและจำนวนกันความร้อนที่มีต่อ การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน.....	39
5.2	อิทธิพลของมุมหลังที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน.....	57
5.3	อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรือนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่โรงเรือน.....	69
5.4	อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่โรงเรือน.....	80
5.5	อิทธิพลของกันสาดบังแดดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน.....	88
<b>บทที่ 6</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>96</b>



สรุปผลการวิจัย.....	96
ข้อเสนอแนะ.....	97
รายการอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ.....	103
ภาคผนวก ข. การตรวจสอบโปรแกรม.....	105
ภาคผนวก ค. ผลการคำนวณรายชั่วโมงของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนต่างๆ.....	110
ภาคผนวก ง. ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	160

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ความร้อนรวม ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่ไก่อผลิตได้.....	12
ตารางที่ 4.1	วัสดุของส่วนต่างๆของโรงเรือนกรณีพื้นฐาน.....	33
ตารางที่ 4.2	วัสดุฉนวนกันความร้อน.....	35
ตารางที่ 4.3	ความสูงและมุมหลังคา.....	36



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ.....	6
รูปที่ 2.2	หลักการทำงานของแผงทำความเย็น.....	9
รูปที่ 2.3	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความชื้นในช่วงเวลาที่มีสภาวะคงตัว.....	10
รูปที่ 2.4	มุมมองข้างบนในการหาตัวประกอบพื้นที่ภาพฉาย.....	16
รูปที่ 2.5	การหาตัวประกอบเชิงมุมสำหรับพื้นผิวสี่เหลี่ยมกับเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆ.....	16
รูปที่ 3.1	กระบวนการสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นในหนึ่งโซน.....	19
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีสมดุลความร้อน.....	29
รูปที่ 4.1	โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อกรณีพื้นฐาน.....	32
รูปที่ 4.2	การพิจารณาความสูงหลังคาและมุมหลังคา.....	36
รูปที่ 4.3	การหมุนทิศทางการวางตัวของโรงเรือน.....	37
รูปที่ 4.4	การติดกันเสาของโรงเรือน.....	37
รูปที่ 5.1	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร.....	42
รูปที่ 5.2	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร.....	42
รูปที่ 5.3	ภาระความเย็นต่อพื้นที่ในการเลี้ยงสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโรงเรือน ที่ไม่มีการติดฉนวน เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร.....	43
รูปที่ 5.4	ภาระความเย็นต่อพื้นที่ในการเลี้ยงสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโรงเรือน ที่ไม่มีการติดฉนวนเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร.....	43
รูปที่ 5.5	ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. ระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร.....	44
รูปที่ 5.6	ผลต่างของค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับ โรงเรือนที่ไม่มีการติดฉนวนเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร.....	44



รูปที่ 5.19	ผลต่างของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	51
รูปที่ 5.20	ดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น. - 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร .....	51
รูปที่ 5.21	ดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น. - 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร .....	52
รูปที่ 5.22	ผลต่างดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือน กว้าง 24 เมตร .....	52
รูปที่ 5.23	ผลต่างของดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	53
รูปที่ 5.24	ผลต่างของดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	53
รูปที่ 5.25	ผลต่างของดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	54
รูปที่ 5.26	ผลต่างของดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	54
รูปที่ 5.27	ผลต่างของดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	55
รูปที่ 5.28	ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.....	55
รูปที่ 5.29	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.....	56
รูปที่ 5.30	ดัชนีเปรียบเทียบเชิงความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.....	56
รูปที่ 5.31	ภาระความเย็นต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับ โรงเรือนกว้าง 12 เมตร ที่มีการติดตั้ง โฟมโพลียูรีเทน ที่มุมหลังคาต่างๆ.....	59
รูปที่ 5.32	ภาระความเย็นต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร ที่มีการติดตั้ง โฟมโพลียูรีเทน ที่มุมหลังคาต่างๆ.....	59



รูปที่ 5.43	ดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ.....	65
รูปที่ 5.44	ดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ.....	65
รูปที่ 5.45	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับ โรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร.....	66
รูปที่ 5.46	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับ โรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร.....	66
รูปที่ 5.47	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับ โรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร.....	67
รูปที่ 5.48	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ที่มีการติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับ โรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร.....	67
รูปที่ 5.49	พลั๊กซ์ความร้อนที่หลังคาและความร้อนที่หลังคาต่อพื้นที่การเลี้ยง ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว.....	68
รูปที่ 5.50	พลั๊กซ์ความร้อนที่หลังคาและความร้อนที่หลังคาต่อพื้นที่การเลี้ยง ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว.....	68
รูปที่ 5.51	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่ การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัว ของโรงเรือน.....	71
รูปที่ 5.52	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่ การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัว ของโรงเรือน.....	71





รูปที่ 5.62	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน.....	79
รูปที่ 5.63	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและภาวะความร้อนต่อพื้นที่การ เลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้วเมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	82
รูปที่ 5.64	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและภาวะความร้อนต่อพื้นที่การ เลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวน โพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้วเมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	82
รูปที่ 5.65	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจาก โรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้วเมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	83
รูปที่ 5.66	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจาก โรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวน โพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้วเมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	83
รูปที่ 5.67	ดัชนีความร้อน BGHI และผลต่างดัชนีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือน รูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	84
รูปที่ 5.68	ดัชนีความร้อน BGHI และผลต่างดัชนีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือน รูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	84
รูปที่ 5.69	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	85
รูปที่ 5.70	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันเสาที่มีความยาวต่างๆ.....	85

รูปที่ 5.71	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ.....	86
รูปที่ 5.72	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ.....	86
รูปที่ 5.73	ดัชนีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ.....	87
รูปที่ 5.74	ดัชนีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ.....	87
รูปที่ 5.75	การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโรงเรือน.....	89
รูปที่ 5.76	ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่ การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรือน.....	91
รูปที่ 5.77	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือน รูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรือน.....	91
รูปที่ 5.78	ดัชนีความร้อน BGHI และผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือน รูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรือน.....	92
รูปที่ 5.79	ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของซิงลม.....	92
รูปที่ 5.80	ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน....	93

รูปที่ 5.81	ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของซิงลม.....	93
รูปที่ 5.82	ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน....	94
รูปที่ 5.83	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของซิงลม.....	94
รูปที่ 5.84	ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน....	95
รูปที่ ก.1	กราฟหาประสิทธิภาพของแผงทำความเย็น.....	103
รูปที่ ข.1	แบบจำลองโรงเรือนที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม.....	105
รูปที่ ข.2	ผลการคำนวณภาระความร้อนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น และโปรแกรมมาตรฐานASHRAE Load Principle.....	106
รูปที่ ข.3	ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 18 เมษายน.....	107
รูปที่ ข.4	ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 19 เมษายน.....	108
รูปที่ ข.5	ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 20 เมษายน.....	108
รูปที่ ข.6	ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 21 เมษายน.....	109

รูปที่ ข.7	ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 22 เมษายน.....	109
รูปที่ ค.1	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	110
รูปที่ ค.2	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	111
รูปที่ ค.3	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	111
รูปที่ ค.4	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	112
รูปที่ ค.5	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	112
รูปที่ ค.6	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	113
รูปที่ ค.7	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	113
รูปที่ ค.8	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	114
รูปที่ ค.9	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	114
รูปที่ ค.10	ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	115
รูปที่ ค.11	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	115
รูปที่ ค.12	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	116
รูปที่ ค.13	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	116

รูปที่ ค.14	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	117
รูปที่ ค.15	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	117
รูปที่ ค.16	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	118
รูปที่ ค.17	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	118
รูปที่ ค.18	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	119
รูปที่ ค.19	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	119
รูปที่ ค.20	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	120
รูปที่ ค.21	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	120
รูปที่ ค.22	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	121
รูปที่ ค.23	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	121
รูปที่ ค.24	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	122
รูปที่ ค.25	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	122
รูปที่ ค.26	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว.....	123
รูปที่ ค.27	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว.....	123

รูปที่ ค.28	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว.....	124
รูปที่ ค.29	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว.....	124
รูปที่ ค.30	ดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว.....	125
รูปที่ ง.1	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อน.....	126
รูปที่ ง.2	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 0.5 นิ้ว.....	127
รูปที่ ง.3	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 1.0 นิ้ว.....	127
รูปที่ ง.4	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 2.0 นิ้ว.....	128
รูปที่ ง.5	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 3.0 นิ้ว.....	128
รูปที่ ง.6	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 4.0 นิ้ว.....	129
รูปที่ ง.7	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 2.0 นิ้ว ในเดือนมกราคม.....	129
รูปที่ ง.8	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 2.0 นิ้ว ในเดือนกุมภาพันธ์.....	130



รูปที่ ง.18	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนธันวาคม.....	135
รูปที่ ง.19	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 0.3 เมตร.....	136
รูปที่ ง.20	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 1.3 เมตร.....	136
รูปที่ ง.21	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 เมตร.....	137
รูปที่ ง.22	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 3.3 เมตร.....	137
รูปที่ ง.23	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 4.3 เมตร.....	138
รูปที่ ง.24	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมกราคม.....	138
รูปที่ ง.25	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกุมภาพันธ์.....	139
รูปที่ ง.26	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมีนาคม.....	139



รูปที่ ง.27	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนเมษายน.....	140
รูปที่ ง.28	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนพฤษภาคม.....	140
รูปที่ ง.29	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมิถุนายน.....	141
รูปที่ ง.30	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกรกฎาคม.....	141
รูปที่ ง.31	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนสิงหาคม.....	142
รูปที่ ง.32	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกันยายน.....	142
รูปที่ ง.33	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนตุลาคม.....	143
รูปที่ ง.34	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนพฤศจิกายน.....	143
รูปที่ ง.35	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนธันวาคม.....	144

รูปที่ ง.36	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก (ทวนเข็มนาฬิกา).....	145
รูปที่ ง.37	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก.....	145
รูปที่ ง.38	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก (ตามเข็มนาฬิกา).....	146
รูปที่ ง.39	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมกราคม.....	146
รูปที่ ง.40	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกุมภาพันธ์.....	147
รูปที่ ง.41	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมีนาคม.....	147
รูปที่ ง.42	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนเมษายน.....	148
รูปที่ ง.43	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนพฤษภาคม.....	148

รูปที่ ง.44	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมิถุนายน.....	149
รูปที่ ง.45	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกรกฎาคม.....	149
รูปที่ ง.46	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนสิงหาคม.....	150
รูปที่ ง.47	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกันยายน.....	150
รูปที่ ง.48	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนตุลาคม.....	151
รูปที่ ง.49	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนพฤศจิกายน.....	151
รูปที่ ง.50	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนธันวาคม.....	152

รูปที่ ง.51	ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร.....	153
รูปที่ ง.52	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนมกราคม.....	153
รูปที่ ง.53	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนกุมภาพันธ์.....	154
รูปที่ ง.54	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนมีนาคม.....	154
รูปที่ ง.55	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนเมษายน.....	155
รูปที่ ง.56	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนพฤษภาคม.....	155
รูปที่ ง.57	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนมิถุนายน.....	156
รูปที่ ง.58	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนกรกฎาคม.....	156
รูปที่ ง.59	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์บุรีเทินหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาตาย 1.5 เมตร ในเดือนสิงหาคม.....	157

รูปที่ ง.60	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาขนาดยาว 1.5 เมตร ในเดือนกันยายน.....	157
รูปที่ ง.61	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาขนาดยาว 1.5 เมตร ในเดือนตุลาคม.....	158
รูปที่ ง.62	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาขนาดยาว 1.5 เมตร ในเดือนพฤศจิกายน.....	158
รูปที่ ง.63	ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันเสาและมีการติดกันเสาขนาดยาว 1.5 เมตร ในเดือนธันวาคม.....	159

## คำอธิบายสัญลักษณ์

$A$	คือ	พื้นที่ของพื้นผิวปิดล้อม, $m^2$
$A_{MRT}$	คือ	พื้นที่การแผ่รังสีเฉลี่ย, $m^2$
$ATHG$	คือ	ความร้อนรวมที่ไก่ผลิตได้, $W$ /ตัว
$c_p$	คือ	ค่าความจุความร้อนของอากาศ, $J/(kg \cdot K)$
$d$	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของ Globe, $m$
$F_{air}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับอากาศ, ไร้มิติ
$F_{grd}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับพื้นดิน, ไร้มิติ
$F_{MRT}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมการแผ่รังสีเฉลี่ย, ไร้มิติ
$F_{p-N}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างผู้อยู่อาศัยกับพื้นผิว $N$ , ไร้มิติ
$F_{sky}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับท้องฟ้า, ไร้มิติ
$f_{p(\alpha, \beta)}$	คือ	ตัวประกอบพื้นที่ที่ภาพฉายของร่างกายในทิศทางมุมแนวราบ $\alpha$ และมุมแนวตั้ง $\beta$ , ไร้มิติ
$h_C$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2K$
$h_w$	คือ	เอนทาลปีของความชื้น, $J/kg$
$h_2$	คือ	เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น, $J/kg$
$h_3$	คือ	เอนทาลปีของอากาศภายในโรงเรือน, $J/kg$
$I_{total}$	คือ	ฟลักซ์การแผ่รังสีคลื่นสั้นรวมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว, $W/m^2$
$Met_{animal}$	คือ	อัตราการเผาผลาญพลังงานของไก่, $W$ /ตัว
$\dot{m}_{da}$	คือ	อัตราการไหลของมวลอากาศแห้ง, $kg/s$
$\dot{m}_w$	คือ	อัตราการเกิดความชื้น, $kg/s$
$Q$	คือ	อัตราการไหลของอากาศ, $m^3/s$
$q_{CE}$	คือ	การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากแหล่งความร้อนภายใน, $W$
$q_{conv}$	คือ	การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากพื้นผิวผนังด้านใน, $W$
$q_{IV}$	คือ	การถ่ายเทความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศ, $W$
$q_{IV_i}$	คือ	ภาระความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศในส่วนที่เป็นความร้อนแฝง, $W$

$q_{IV_s}$	คือ	ภาวะความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศในส่วนที่เป็นความร้อนสัมผัส, W
$q_s$	คือ	อัตราการเกิดความร้อน, W
$q_{sys}$	คือ	การถ่ายเทความร้อนจากระบบปรับอากาศ, W
$q''_{conv}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนโดยอากาศ, $W/m^2$
$q''_{ki}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน, $W/m^2$
$q''_{ko}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก, $W/m^2$
$q''_{LWR}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับสิ่งแวดล้อม, $W/m^2$
$q''_{LWS}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับแหล่งความร้อนภายในโซน, $W/m^2$
$q''_{LWX}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับผนังต่างๆ, $W/m^2$
$q''_{sw}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นของแหล่งความร้อนภายในโซน, $W/m^2$
$q''_{sol}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งผ่านมาทางระบบหน้าต่าง, $W/m^2$
$q''_{osol}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก, $W/m^2$
$R_{bal}$	คือ	ฟลักซ์การแผ่รังสีไม่สมดุล, $W/m^2$
$T_A$	คือ	อุณหภูมิของพื้นผิวปิดล้อม, K
$T_{air}$	คือ	อุณหภูมิอากาศ, K
$T_{BG}$	คือ	Black Globe Temperature, K
$T_{grd}$	คือ	อุณหภูมิผิวพื้นดิน, K
$T_{MRT}$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, K
$T_N$	คือ	อุณหภูมิผิวของพื้นผิวที่ N, K
$T_{sky}$	คือ	อุณหภูมิท้องฟ้า, K
$T_{si}$	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวด้านใน, K
$T_{so}$	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวด้านนอก, K
$T_{zone}$	คือ	อุณหภูมิอากาศภายในโซน, K
THI	คือ	Temperature Humidity Index, ไร้มิติ
$t_{db}$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, °C

$t_{ldb}$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าสู่แผงทำความเย็น, °C
$t_{dp}$	คือ	อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ, °C
$t_{MRT}$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C
$t_{pr}$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบ, °C
$t_{lwb}$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าสู่แผงทำความเย็น, °C
$t_{2db}$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น, °C
$v$	คือ	ความเร็วของอากาศ, m/s
$X$	คือ	inside CTF, ไร้มิติ
$Y$	คือ	cross CTF, ไร้มิติ
$Z$	คือ	outside CTF, ไร้มิติ
$W_{animal}$	คือ	น้ำหนักของไก่, kg
$W_2$	คือ	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น , kg / kg of dry air
$W_3$	คือ	อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงเรือน, kg / kg of dry air
$\Delta t_G$	คือ	ผลต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศและ Globe, K
$\Delta t_{air}$	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิกอากาศภายในโซนกับภายนอกที่เข้ามา, K
$\Delta W$	คือ	ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโซนกับภายนอกที่เข้ามา, (kg/kg)
$\alpha$	คือ	ค่าการดูดซับรังสีคลื่นสั้นของพื้นผิว, ไร้มิติ
$\delta$	คือ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ, sec
$\varepsilon$	คือ	ค่าการดูดซับรังสีคลื่นยาวของพื้นผิว, ไร้มิติ
$\varepsilon_A$	คือ	ค่าการเปล่งรังสีของพื้นผิวปิดล้อม, ไร้มิติ
$\varepsilon_{MRT}$	คือ	ค่าการเปล่งรังสีเฉลี่ย, ไร้มิติ
$\varepsilon_p$	คือ	ค่าการเปล่งรังสีของ Globe, ไร้มิติ
$\phi$	คือ	flux CTF, ไร้มิติ
$\eta$	คือ	ประสิทธิภาพการอิมตัวของแผงทำความเย็น, ไร้มิติ
$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	คือ	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann, ไร้มิติ



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

อุตสาหกรรมทางด้านปศุสัตว์จัดเป็นอุตสาหกรรมหลักประเภทหนึ่งของประเทศไทยและยังคงมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ไก่พันธุ์เนื้อ(Broiler)เป็นสัตว์เศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรมปศุสัตว์ เนื่องจากให้ผลตอบแทนเร็ว มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อนอกจากจะเป็นการเลี้ยงเพื่อนำมาบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังคงมีการมุ่งเน้นที่จะเลี้ยงเพื่อการส่งออกไปขายยังต่างประเทศอีกด้วย และในปัจจุบันได้มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไก่พันธุ์เนื้อออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อรองรับปริมาณความต้องการดังกล่าวรูปแบบการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อจึงเป็นการเลี้ยงเชิงธุรกิจซึ่งจำเป็นจะต้องเลี้ยงให้ได้ทีละจำนวนมากและสามารถควบคุมอัตราการเจริญเติบโตได้ รูปแบบการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันเป็นรูปแบบการเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิดเนื่องจากทำให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของไก่พันธุ์เนื้อและสามารถเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อได้มากขึ้นในพื้นที่ที่เท่ากันเมื่อเทียบกับโรงเรือนระบบเปิด มีการจัดการที่สะดวกมากขึ้นซึ่งรวมถึงสามารถจำกัดพื้นที่การระบาดของโรคติดต่อบางชนิดได้ โดยโรงเรือนระบบปิดจะอาศัยระบบปรับอากาศเข้าช่วยเพื่อให้มีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหย(Evaporative Cooling System) เนื่องจากการที่ประเทศไทยมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยเฉพาะฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิอากาศสูงมากรวมกับผลจากการที่ร่างกายของไก่พันธุ์เนื้อจะผลิตความร้อนได้มากขึ้นตามอัตราการเจริญเติบโต การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในประเทศไทยจึงมีปัญหาด้านความเครียดทางความร้อน(Heat Stress)มากในระยะเวลาที่ไก่โต ปัญหาที่เกิดขึ้นคือไก่พันธุ์เนื้อที่เลี้ยงไว้จะตายเนื่องจากความร้อนเป็นจำนวนมาก หรือมีอาการผิดปกติ ป่วย ไม่สามารถเจริญเติบโตได้น้ำหนักตามที่ต้องการ นอกจากนี้ปัญหาทางด้านความร้อนที่ผู้เลี้ยงจะได้รับตามมาก็คือค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าสำหรับการปรับอากาศจะสูง แนวทางหนึ่งที่จะสามารถลดปัญหาทางด้านความร้อนในโรงเรือนได้คือการจัดการกับปริมาณความร้อนภายนอกที่โรงเรือนได้รับเนื่องจากรูปแบบการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อนั้นเป็นโรงเรือนระบบปิด ดังนั้นองค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความร้อนภายนอกที่โรงเรือนได้รับซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสภาวะความร้อนในโรงเรือน ปัจจุบันยังไม่มี การสรุปถึงผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารที่ชัดเจนว่าจะมีผลต่อความร้อนที่โรงเรือนได้รับอย่างไร และองค์ประกอบของเปลือกอาคารแบบไหนจึงจะมีความเหมาะสมกับการเลี้ยงไก่ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตรซึ่งมีการใช้อุณหภูมิโดยทั่วไปกับ

โรงเรือนกว้าง 24 เมตรที่เริ่มมีการนำมาใช้กันบ้างแล้ว ฉะนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสรุปผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

## 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การถ่ายเทความร้อนโดยการพา และการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี เพื่อใช้ในการคำนวณค่าการระความร้อน
- 1.3.2 ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และการคำนวณค่าการระความร้อน
- 1.3.3 ทดสอบโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรมที่เป็นมาตรฐาน(ASHRAE)
- 1.3.4 นำโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นไปคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนและค่าดัชนีความร้อน โดยจะวิเคราะห์ร่วมกับความเร็วลมตามตำแหน่งต่างๆในโรงเรือนที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีทาง CFD ของ วสันต์(2547) ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ในส่วนของกระบายอากาศ
- 1.3.5 วิเคราะห์และสรุปผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1.4.1 ทำให้ทราบถึงผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ
- 1.4.2 เป็นแนวทางสำหรับสร้างหรือปรับปรุงโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อเพื่อลดปริมาณความร้อนที่ไก่พันธุ์เนื้อได้รับ ซึ่งส่งผลให้ทั้งการใช้พลังงานและความสูญเสียลดลง
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมปศุสัตว์อื่นๆได้

## 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hittle, Douglas C., (1979) ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมุ่งเน้นถึงการนำความร้อนผ่านชั้นผนัง (multilayered slab) จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณฟังก์ชันการนำความร้อน (Conduction Transfer Function, CTF) โดยฟังก์ชันการนำความร้อนนี้จะมีค่าเป็นต่อการวิเคราะห์กระบวนการนำความร้อนผ่านชั้นผนังซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญสำหรับการคำนวณภาระความร้อนด้วยระเบียบวิธีสมมูลความร้อน

Hittle, Douglas C., (1983) นำเสนอการปรับปรุงวิธีค้นหาของสมการที่ได้จากการแปลงลาปลาซผกผันเพื่อใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหลายชั้น ภายในงานวิจัยได้สรุปถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นผนังรวมถึงระบบสมการที่ใช้ในการคำนวณ และได้ทำการพัฒนาวิธีการหารากของสมการที่เกิดจากการแปลงลาปลาซผกผันให้มีความเหมาะสมและสะดวกมากขึ้น

Pederson, C.O. (1997) แสดงรูปแบบของวิธีสมมูลความร้อนที่เหมาะสมต่อการคำนวณภาระความร้อนและสมมุติฐานต่างๆที่ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีดังกล่าวพัฒนามาจาก ASHRAE research project RP-875 ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก TC4.1 ในงานวิจัยมีการอธิบายถึงภาพรวมของระเบียบวิธีสมมูลความร้อนและกระบวนการแก้ปัญหาโดยแสดงเป็นรูปแบบของ pseudo-code รวมถึงสรุปข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณอีกด้วย

McClellan, T.M., (1997) ศึกษาและตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณภาระความร้อนในส่วนของการถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคารซึ่งประกอบด้วย ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้น (shortwave radiation) ความร้อนจากการพาความร้อน (convection) และความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นยาว (longwave radiation) ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับ ท้องฟ้า อากาศ และพื้นดิน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบที่มีการใช้กันอยู่รวมทั้งยังได้ศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ

Liesen, R.J., (1997) ศึกษาและตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณภาระความร้อนในส่วนของการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารซึ่งประกอบด้วย การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนของอากาศภายในโซนควบคุม งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแผ่รังสีความร้อนในรูปแบบต่างๆ และพบว่าแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับการแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิว (longwave radiation

exchange) ก็คือวิธี MRT Balance และยังสามารถนำเสนอการปรับปรุงสมการการแผ่รังสีให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นอีกด้วย

สมบูรณ์ ศิริสิทธิ์ (พ.ศ. 2543) ทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกรุงเทพมหานคร โดยได้ทำการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณภาระความร้อน โดยอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับระเบียบวิธีสมมูลความร้อน งานวิจัยจะมุ่งเน้นถึงการศึกษาคณิตศาสตร์และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคา ทำให้เข้าใจถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนและอิทธิพลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนในโซนควบคุมผ่านรูปทรงหลังคาในแบบต่างๆ

อัครา กิจการเจริญสิน (พ.ศ. 2544) ทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงผลกระทบของส่วนประกอบของบ้านที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศต่อความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยโดยใช้ดัชนีความสบายเชิงความร้อนเป็นเกณฑ์ โดยได้ทำการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับหาดัชนีความสบายเชิงความร้อนแต่การที่จะหาดัชนีความสบายเชิงความร้อนได้นั้นจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรเชิงความร้อนต่างๆก่อน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำระเบียบวิธีสมมูลความร้อนมาใช้ในการหาค่าตัวแปรดังกล่าว อีกทั้งยังปรับปรุงประสิทธิภาพของการคำนวณให้สามารถวิเคราะห์โซนควบคุมที่มากกว่าหนึ่งโซนได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ความต้องการในการบริโภคเนื้อไก่ที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่นับวันจะร้อนมากยิ่งขึ้น รวมทั้งความจำกัดในการใช้พื้นที่ทางการเกษตร ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อการพัฒนาการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เพื่อการรองรับความต้องการและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้น การปรับปรุงสถานะแวดล้อมในการเลี้ยงจึงเป็นคำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากมีความสำคัญโดยตรงต่อพฤติกรรมและการดำรงชีพขั้นพื้นฐานของไก่พันธุ์เนื้อ

การจัดการโรงเรือนโดยใช้โรงเรือนระบบปิด ที่มีการควบคุมสถานะแวดล้อมภายในให้มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ ความเร็วลมที่พัดผ่าน ตลอดจนถึงชั่วโมงให้แสงนั้น เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันแล้วว่าช่วยให้ประสิทธิภาพในการเลี้ยงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีผลดี คือ ควบคุมการระบาดของโรคให้อยู่ในวงจำกัด สามารถเพิ่มจำนวนไก่ที่เลี้ยงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากขึ้น มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น ย่นระยะเวลาในการเลี้ยง ป้องกันแมลงและศัตรูที่จะมารบกวน ได้ดีขึ้นและสามารถจัดการการให้แสงสว่างในโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การจะศึกษาถึงสถานะแวดล้อมต่างๆในการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อและควบคุมให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมได้นั้นจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยต่างๆอาทิเช่น รูปแบบและโครงสร้างของโรงเรือนที่ใช้เลี้ยง การระบายความร้อนของไก่พันธุ์เนื้อ การระบายอากาศ การให้แสงสว่างในโรงเรือน ตลอดจนต้องทราบถึงพฤติกรรมต่างๆของไก่พันธุ์เนื้อในสถานะแวดล้อมที่ต่าง ๆ กัน

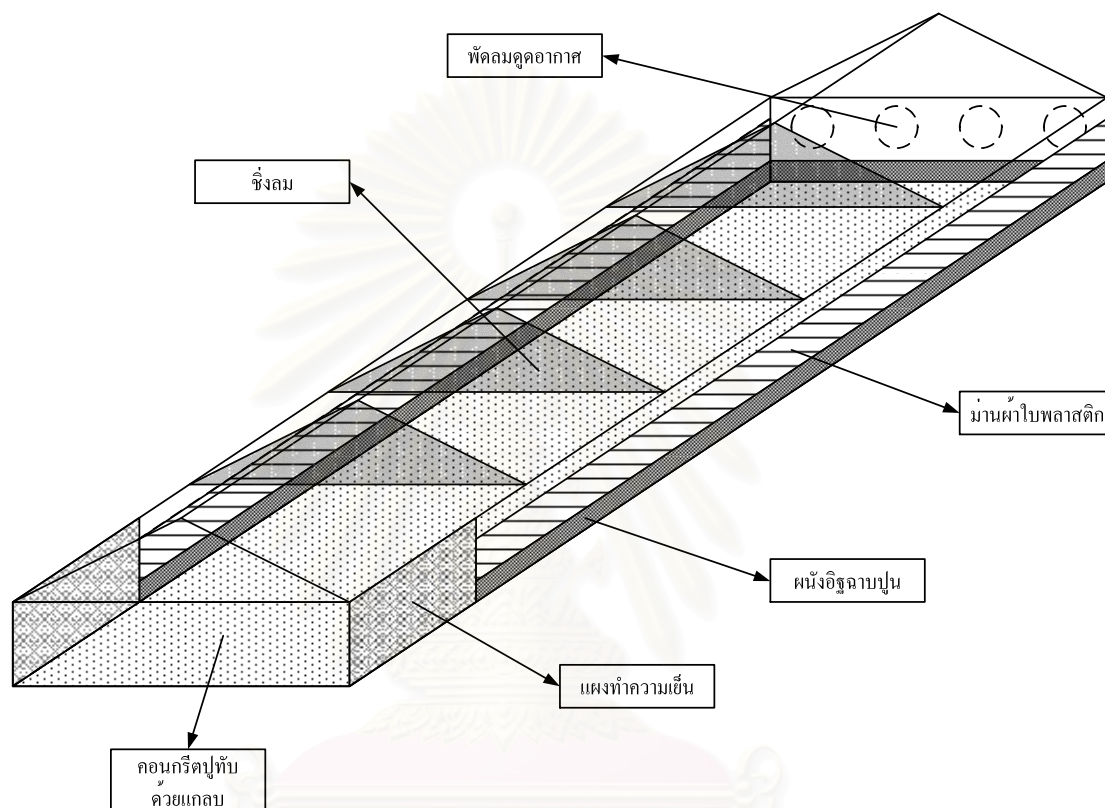
#### 2.1 องค์ประกอบโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในประเทศไทยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ โรงเรือนแบบระบบเปิดและโรงเรือนแบบระบบปิด การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อเชิงธุรกิจจะสร้างโรงเรือนแบบระบบปิดเนื่องจากการจัดการที่ดีกว่า สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมและอัตราการเจริญเติบโตของไก่พันธุ์เนื้อที่เลี้ยงได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนประกอบของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อระบบปิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยส่วนประกอบที่สำคัญของโรงเรือนระบบปิดมีดังนี้

##### 2.1.1 โครงสร้างโรงเรือน

ผนังข้าง มักทำเป็นชุดผ้าม่านทำจากพลาสติก P.V.C หรือ P.E. จำนวน 2 แผ่นซ้อน เกยทับกันบางส่วนเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ สาเหตุที่ทำเป็นผ้าม่าน 2 ชั้นเนื่องจากในกรณีฉุกเฉินเช่น ไฟฟ้าดับ ระบบระบายอากาศจากพัดลมไม่สามารถใช้ได้ การเปิดผ้าม่านออกส่วนหนึ่ง

จะทำให้มีการระบายอากาศเกิดขึ้นบ้างช่วยลดความเสียหายลงได้ ส่วนฝ้าผ้าม่านที่เหลือยังสามารถใช้สำหรับกันแดดที่จะส่องมายังตัวไก่พันธุ์เนื้อได้โดยตรง ด้านล่างของผนังจะก่อเป็นผนังปูนสูงประมาณ 30-50 เซนติเมตร



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

หลังคา มักทำจากสังกะสีหรือกระเบื้องซีเมนต์ สร้างเป็นรูปทรงหน้าจั่ว มักมีการติดตั้งฉนวนเพื่อลดความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์

พื้นและวัสดุรองพื้น พื้นทำจากคอนกรีตหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร วัสดุรองพื้นทำหน้าที่ดูดซับความชื้นอันเกิดจากมูลไก่หรือน้ำหก วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่แห้งง่าย ไม่อัดแน่นง่าย เช่น แกลบ ทราย และฟางสับ

ขนาดโรงเรือน ในประเทศไทยโดยทั่วไปเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้างประมาณ 12 เมตร ยาวประมาณ 120 เมตร ความสูงประมาณ 2.2 เมตร (ไม่รวมหลังคา) และความสูงจากพื้นถึงยอดหลังคาประมาณ 4.5 เมตร ในบางแห่งเริ่มมีการใช้โรงเรือนที่มีความกว้างเป็น 2 เท่าคือประมาณ 24 เมตร โดยความยาวและความสูงของโรงเรือนยังเท่ากับโรงเรือนที่มีความกว้าง 12 เมตร

การวางตัวของโรงเรือน ควรมีการวางตัวในแนวตามตะวันเพื่อให้พื้นที่ผนังโดนแดดน้อยที่สุด

ชายคาและกันสาด ควรมีการยื่นของชายคาออกไปพอควรเพื่อไม่ให้แดดส่องถึงผนังโดยตรงทำให้ผนังมีอุณหภูมิต่ำลง ไม้พ่นฐื้นเนื้อสามารถอาศัยอยู่ตามผนังได้มากขึ้นส่งผลให้การกระจุกตัวของไม้พ่นฐื้นเนื้อที่บริเวณกลางโรงเรือนลดลงได้

ซึ่งลม ทำจากฝ้าม่านพลาสติกเป็นส่วนที่ควบคุมความเร็วลมให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ปกติจะสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร

### 2.1.2 ระบบระบายอากาศ

พัดลมดูดอากาศ ทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนในโรงเรือนออก ในขณะที่เดียวกันก็จะดูดอากาศเย็นที่ผ่านการลดอุณหภูมิจากแผงทำความเย็นเข้ามาในโรงเรือนทำให้อุณหภูมิอากาศในโรงเรือนลดลง โดยทั่วไปพัดลมดูดอากาศจะมีใช้อยู่ 2 ขนาดคือ ขนาด 48 นิ้ว มีความสามารถในการดูดอากาศประมาณ 20000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที(20000 cfm) และขนาด 36 นิ้ว มีความสามารถในการดูดอากาศประมาณ 10000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (10000 cfm)

แผงทำความเย็น(Cooling pad) แบบเยื่อกระดาษ มีลักษณะเป็นแท่งกระดาษแข็งมีรูคล้ายรังผึ้ง หลักการทำงานคือนำน้ำมาหล่อเย็นที่แผงทำความเย็นแล้วทำการดูดลมผ่านแผงทำความเย็นจะทำให้อากาศที่ผ่านแผงทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากความร้อนจะถูกนำไปใช้ในขบวนการที่ทำให้น้ำระเหย

### 2.1.3 อุปกรณ์อื่นๆ

ปั้มน้ำ ทำหน้าที่ดูดน้ำจากบ่อพักเพื่อมาหล่อเย็นแผงทำความเย็น จะถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอุณหภูมิ

ถังเก็บน้ำ ใช้สำหรับเก็บพักน้ำที่ใช้หล่อเย็นแผงทำความเย็นและเพื่อให้เกิดการตกตะกอน ช่วยให้อายุและประสิทธิภาพการทำงานของแผงทำความเย็นมีมากขึ้น โดยทั่วไปใช้ขนาด 1000-1500 ลิตร

ชุดควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้โดยจะควบคุมการเปิด-ปิดของพัดลมและปั้มน้ำ ควรติดตั้งไว้ตรงจุดกึ่งกลางของโรงเรือนเพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของโรงเรือนได้

## 2.2 การระบายอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่พ่นฐื้นเนื้อระบบปิด

วัตถุประสงค์หลักของการนำระบบระบายอากาศมาใช้กับโรงเรือนเลี้ยงไก่พ่นฐื้นเนื้อระบบปิดเพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมให้มีผลดีต่อสุขภาพของไก่ ซึ่งก็คือการควบคุมอุณหภูมิ

ความชื้นและการระเหยก๊าซหรือกลิ่นที่ไม่ดีออกไป ในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบระบายอากาศแบบระเหย (Evaporative) โดยจะใช้เป็นชนิดแผงทำความเย็นเป็นส่วนใหญ่ หลักการทำงานของระบบระบายอากาศแบบระเหยคือ การให้อากาศผ่านเข้าไปในส่วนของแผงทำความเย็นที่เปียกน้ำ อากาศที่ผ่านเข้ามาจะคายความร้อนให้กับน้ำโดยการให้น้ำระเหย ทำให้อากาศเย็นลงได้ โดยประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของแผงทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วลม ประเภทของแผงทำความเย็น ขนาด พื้นที่และความชื้นของอากาศ โดยอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$t_{2db} = t_{1db} - \frac{\eta \times (t_{1db} - t_{1wb})}{100} \quad ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

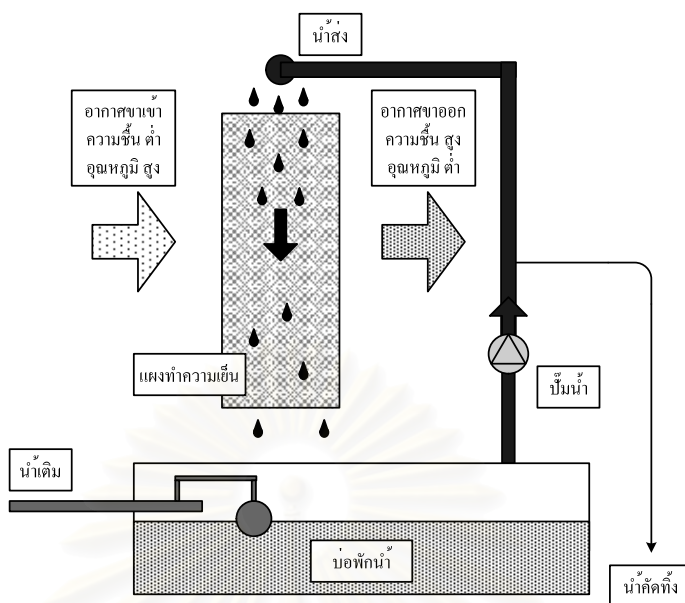
- เมื่อ  $t_{1db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าสู่แผงทำความเย็น,  $^\circ\text{C}$   
 $t_{2db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น,  $^\circ\text{C}$   
 $t_{1wb}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าสู่แผงทำความเย็น,  $^\circ\text{C}$   
 $\eta$  คือ ประสิทธิภาพการอิมตัวของแผงทำความเย็น

ขั้นตอนการทำงานของแผงทำความเย็น คือการปล่อยให้ น้ำไหลจากท่อด้านบนกระจายตัวลงบน แผงทำความเย็น ให้ทั่วถึง เพราะหากน้ำกระจายตัวไม่ทั่วแล้วจะทำให้เกิดจุดน้ำแห้งซึ่งจะเป็นการปล่อยให้ อากาศร้อนพัดผ่านไป ได้ โดยความร้อนที่มาระเหยน้ำจะได้มาจากอากาศที่พัดผ่านตัว แผงทำความเย็น เมื่ออากาศถ่ายเทความร้อนไปให้หยดน้ำแล้ว อากาศรอบๆก็จะเย็นตัวลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำที่ระเหยไปไม่หมดจะไหลไปยังแผ่นรองรับน้ำซึ่งจะสามารถวนกลับมาใช้ใหม่ได้ หลักการทำงานของแผงทำความเย็น สรุปได้ดังรูปที่ 2.2

แผงทำความเย็น โดยทั่วไปจะมีประเภทให้ใช้งานอยู่หลายรูปแบบ ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้ แผงทำความเย็น จะอยู่ที่อุณหภูมิที่ต้องการของอากาศที่ผ่านตัวแผงทำความเย็น ซึ่งจะได้จากสมการ 2.1 แต่ตัวแปรที่สำคัญจะอยู่ที่ ประสิทธิภาพของแผงทำความเย็น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผงทำความเย็นและความเร็วลมที่พัดผ่าน การหาประสิทธิภาพของแผงทำความเย็น แสดงตัวอย่างอยู่ในภาคผนวก ก

การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศภายใน โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อนั้นจะต้องยึดหลักการคำนวณตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการคำนวณหาอัตราการระบายอากาศภายใน โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ โดยยึดหลักตามคำแนะนำของกรมปศุสัตว์ซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3





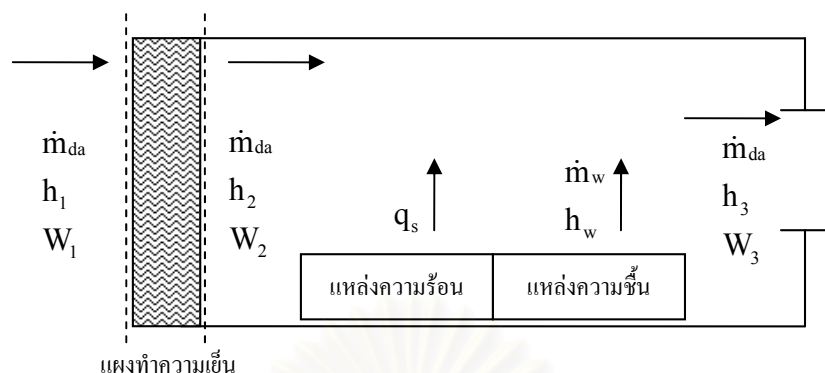
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของแผงทำความเย็น

สภาพอากาศในโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อนอกจากจะได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารแล้ว ยังมีการถ่ายเททั้งความร้อนและความชื้นจากแหล่งความร้อนและแหล่งความชื้นภายใน โดยแหล่งความร้อนภายในได้แก่ ความร้อนที่มาจากตัวไก่และความร้อนจากหลอดไฟ สำหรับแหล่งความชื้นในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะความชื้นที่มาจากตัวไก่เท่านั้น แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความชื้นในช่วงเวลาที่มีสภาวะคงตัวในห้องปิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยสมการที่ใช้สำหรับหาสภาวะอากาศที่ตำแหน่งต่างๆมีดังนี้

$$\dot{m}_{da} h_2 + q_s + \sum (\dot{m}_w h_w) = \dot{m}_{da} h_3 \quad (2.2)$$

$$\dot{m}_{da} W_2 + \sum \dot{m}_w = \dot{m}_{da} W_3 \quad (2.3)$$

- เมื่อ  $\dot{m}_{da}$  คือ อัตราการไหลของมวลอากาศแห้ง, kg/s
- $\dot{m}_w$  คือ อัตราการเกิดความชื้น, kg/s
- $W_2$  คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น, kg/kg of dry air
- $W_3$  คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโรงเรือน, kg/kg of dry air
- $h_2$  คือ เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากแผงทำความเย็น, J/kg
- $h_3$  คือ เอนทาลปีของอากาศภายในโรงเรือน, J/kg
- $h_w$  คือ เอนทาลปีของความชื้น, J/kg,
- $q_s$  คือ อัตราการเกิดความร้อน, W



รูปที่ 2.3 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความชื้นในช่วงเวลาที่มีสถานะคงตัว

### 2.3 สถานะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในระบบปิด

สภาวะอากาศที่เหมาะสม หมายถึง สภาวะอากาศ อุณหภูมิและความชื้น ที่ทำให้ไก่สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้อย่างปกติและอยู่ในสภาพที่สุขสบาย โดยทั่วไปอาหารที่ไก่กินเข้าไปจะถูกนำไปใช้ในขบวนการดำรงชีพ (Metabolism) ก่อให้เกิดพลังงานและความร้อนเพื่อทำให้ร่างกายเกิดความอบอุ่นและสามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้ สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อจะแตกต่างกันไปตามอายุและน้ำหนักตัว โดย กรมปศุสัตว์ได้แนะนำสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อไว้ดังนี้

อุณหภูมิอากาศ: 20 – 30 °C

ความชื้น: 50 – 80 %

ความหนาแน่น: ไม่เกิน 34 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร

การระบายอากาศ: 0.8-1.33 air change ต่อ นาที

การให้แสง: ควรให้มีระยะมีอย่างน้อยวันละ 1 ชั่วโมง

### 2.4 กลไกการควบคุมอุณหภูมิร่างกายของไก่พันธุ์เนื้อ

ไก่จะได้รับหรือสูญเสียความร้อนจากขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ เช่น การแผ่รังสีจากโครงสร้างของโรงเรือนและการพาความร้อนจากลมที่พัดผ่าน สำหรับกลไกการจับความร้อนทางร่างกาย สัตว์โดยทั่วไปจะมีการระบายความร้อนผ่านต่อมเหงื่อเช่นในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับไก่ซึ่งเป็นสัตว์ที่ไม่มีต่อมเหงื่อ การอาศัยความชื้นที่ผิวหนังในการระบายความร้อนจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักเสมอไปในการจับความร้อนส่วนเกิน นอกจากนี้ความร้อนยังสามารถขับออกจากร่างกายได้โดยการขับถ่ายของเสียแต่ปริมาณความร้อนที่ออกมาจะมีปริมาณที่ได้น้อยมาก แต่ขบวนการระบายความร้อนทางร่างกายที่สำคัญและจะยิ่งมีความสำคัญมากเมื่อ

อุณหภูมิแวดล้อมสูงๆก็คือ การระบายความร้อนโดยการหายใจในลักษณะที่เป็นการระบายความร้อนออกมาในรูปความร้อนแฝงซึ่งจะมาจากการระเหยในระบบทางเดินหายใจ

อุณหภูมิร่างกายของไก่โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 40-41 °C (อายุประมาณ 45 วัน) โดยทั่วไปไก่จะสามารถทนความร้อนได้ในระดับหนึ่งซึ่งร่างกายจะพยายามรักษาอุณหภูมิร่างกายให้เป็นปกติโดยอาศัยขบวนการทางร่างกายต่างๆและการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งถ้าการระบายความร้อนไม่เพียงพอ อุณหภูมิร่างกายของไก่ก็จะสูงขึ้น ถ้าหากสูงเกินกว่าอุณหภูมิร่างกายวิกฤตก็จะทำให้ไก่ตายได้ อุณหภูมิร่างกายวิกฤตของไก่พันธุ์เนื้อจะอยู่ที่ประมาณ 47 °C

เมื่อสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง การระบายความร้อนทางการแผ่รังสีและการพาจะไม่พอเพียงเนื่องจากอุณหภูมิกากาศมีค่าไม่ต่างจากอุณหภูมิของร่างกายมากนัก ไก่จะเริ่มมีอาการหอบ(หายใจแรงและถี่มากกว่าปกติ) ซึ่งจะไปทำให้นำอากาศจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปยังระบบการหายใจได้มากยิ่งขึ้นทำให้สามารถดึงเอาความร้อนออกจากร่างกายได้มากกว่าปกติ แต่ถ้าหากอากาศที่หายใจเข้าไปมีความชื้นสูงก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดึงความร้อนด้วยการหายใจลดลงไปด้วย

การระบายความร้อนของไก่นอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นแล้วก็จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักตัวหรืออายุอีกด้วย ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการพิจารณาการระบายความร้อนจากไก่ที่มีอายุประมาณ 45 วัน หรือ น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการเลี้ยงประมาณ 27 °C - 30 °C เนื่องจากจะเป็นช่วงการเลี้ยงที่มักเกิดปัญหาทางด้านความร้อน ความร้อนรวมที่ไก่ผลิตได้สามารถประมาณได้โดยใช้สมการใน ASHRAE (2001) ดังนี้

$$ATHG = 2.5Met_{\text{animal}} = 2.5(3.5W_{\text{animal}}^{0.75}) \quad (2.4)$$

เมื่อ ATHG คือ ความร้อนรวมที่ไก่ผลิตได้, W /ตัว

$Met_{\text{animal}}$  คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของไก่, W /ตัว

$W_{\text{animal}}$  คือ น้ำหนักของไก่, kg

โดยสัดส่วนระหว่างความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่ไก่ผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศในโรงเรือนและน้ำหนักตัว(หรืออายุ)ตัวเช่นกัน จากการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ไก่ที่มีอายุประมาณ 45 วัน หรือ น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการเลี้ยงประมาณ 27 °C - 30 °C จะมีการผลิตความร้อนรวม ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะพบว่าอัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนรวมที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 1 ต่อ 3 และอัตราส่วนความร้อนแฝงต่อความร้อนรวมที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 2 ต่อ 3

ตารางที่ 2.1 ความร้อนรวม ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่ไก่ผลิตได้

ข้อมูลทั่วไป	ความร้อนรวม (W)	ความร้อนสัมผัส (W)	ความร้อนแฝง (W)	แหล่งข้อมูล
ไก่อมีน้ำหนัก 1.82 Kg	10.2	3.78	6.42	ASHRAE(2001)
ไก่อายุ 46 วัน อุณหภูมิอากาศ 27.8°C-30.6°C	17	5	12	Reece et. al. (1969a)
ไก่อมีน้ำหนัก 2 Kg อุณหภูมิอากาศ 26.7°C	14.2	5.0	9.2	Reece and Lott (1982)

## 2.5 ความเครียดทางความร้อน (Heat Stress)

ความเครียดทางความร้อน เกิดจากการที่ไก่ไม่สามารถระบายความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายได้ตามปกติ เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นของอากาศสูงกว่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งทำให้อุณหภูมิร่างกายของไก่สูงขึ้น ทำให้ความอยากอาหารของไก่ลดลง แต่ในขณะเดียวกันความต้องการพลังงานและสารอาหารต่างๆ เช่น เกลือแร่ วิตามินและกรดอะมิโนกลับสูงขึ้น ทำให้พลังงานและสารอาหารไม่พอเพียง อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อลดลง เป็นต้น ถ้าต้องตกอยู่ในสภาวะเช่นนี้บ่อยๆหรือเป็นเวลานานๆ จะส่งผลต่อสุขภาพและประสิทธิภาพในการผลิตและถ้าเกิดความเครียดอย่างรุนแรง อาจทำให้ไก่ตายได้

## 2.6 ดัชนีความร้อน

ความสบายทางความร้อนเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาว่าสภาวะแวดล้อมต่างๆเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยหรือไม่ ในกรณีของคนจะมีดัชนีชี้วัดความสบายทางความร้อนอยู่หลายประเภท ประเภทหนึ่งที่เป็นที่นิยมก็คือ PMV(Predicted Mean Vote) โดย PMV นี้จะมาจากการพิจารณาสภาวะแวดล้อม 7 ตัวคือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ความเร็วลม ความชื้น ประเภทของเสื้อผ้าที่ใส่ กิจกรรมที่ทำและการเผาผลาญทางร่างกาย แต่สำหรับไก่พันธุ์เนื้อนั้นเราไม่สามารถทราบได้อย่างแท้จริงว่าที่สภาวะหนึ่งๆนั้นไก่จะมีความสบายจริงหรือไม่ จึงได้แต่อาศัยการสังเกตอาการทางร่างกายและคอยตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโตเท่านั้น และเนื่องจากไก่นั้นเป็นสัตว์ที่ไม่มีต่อมเหงื่อการที่จะประยุกต์หรือคัดแปลง PMV ไปใช้ในการทำนายความสบายของไก่นั้นอาจจะไม่เหมาะสมนักเนื่องจาก PMV ได้มาจากการหาความสมดุลทางความร้อนของทางร่างกายกับสิ่งแวดล้อม โดยจะใช้สมดุลทางความร้อนที่

ผิวหนังเป็นตัวเชื่อมต่อในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย รวมถึงพฤติกรรมและ ขบวนการเผาผลาญอาหารเพื่อการเจริญเติบโตทางร่างกายของไก่กับคนนั้นไม่เหมือนกัน ดังนั้นตัวแปรค่าสภาวะทางร่างกายคือ ประเภทของเสื้อผ้าที่ใส่ กิจกรรมที่ทำและการเผาผลาญทางร่างกาย จึงไม่สามารถนำมาพิจารณาได้

Buffington et al. (1981) ได้เป็นผู้นำการใช้ดัชนีความร้อน BGHI (Black Globe-Humidity Index) มาเป็นตัวเปรียบเทียบสภาวะเชิงความร้อนของไก่โดยดัดแปลงมาจากดัชนีความร้อน THI (Temperature-Humidity Index) ซึ่งจะพิจารณาเพียงอุณหภูมิอากาศและความชื้นเท่านั้น ดัชนีความร้อน THI เขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$THI = t_{db} + 0.36t_{dp} + 41.5 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $t_{db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, °C

$t_{dp}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ, °C

ความรู้สึกรับรู้ทางด้านความร้อนไม่ได้ขึ้นตรงต่อ อุณหภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว แต่ยังจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมต่างๆด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเร็วลมและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อย ดังนั้นการจะอ้างอิงถึงสภาวะแวดล้อมทางความร้อนจะต้องพิจารณาถึงอิทธิพลของสองตัวนี้ด้วย เพื่อให้สอดคล้องกับความรู้สึกรับรู้ทางด้านความร้อน อุณหภูมิอากาศในสมการ(2.5) ควรเป็นอุณหภูมิที่ได้รับผลกระทบจากความเร็วลมและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยมาเป็นตัวแทนแนวทางหนึ่งที่ Awbi (1991) ได้นำเสนอไว้ก็คือ การใช้ Black Globe Temperature (BGT) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการพิจารณาความสมดุลระหว่างการพาความร้อนและการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนจากเครื่องตรวจจับอุณหภูมิ (Globe) โดยความสัมพันธ์ระหว่างการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่เครื่องตรวจจับ เขียนได้ดังนี้

$$h_c(T_{BG} - T_{air}) = \epsilon_p \sigma (T_{MRT}^4 - T_{BG}^4) \quad (2.6)$$

เมื่อ  $T_{BG}$  คือ Black Globe Temperature, K

$T_{air}$  คือ อุณหภูมิอากาศ, K

$T_{MRT}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อย, K

$h_c$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m<sup>2</sup>K

$\epsilon_p$  คือ ค่าการเปล่งรังสีของ Globe

$\sigma$  คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann

Awbi [1991] ได้นำเสนอแบบจำลองเพื่อหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Globe ไว้ดังนี้

สำหรับการพาความร้อนโดยธรรมชาติ

$$h_c = 1.4\sqrt{(\Delta t_G / d)} \quad (2.7)$$

สำหรับการพาความร้อนโดยบังคับ

$$h_c = 6.3v^{0.6}d^{-0.4} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\Delta t_G$  คือ ผลต่างอุณหภูมิระหว่างอากาศและ Globe, K

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Globe, m

v คือ ความเร็วของอากาศ, m/s

สำหรับค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้นสามารถหาได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการแผ่รังสีระนาบ (Plane Radiant Temperature) ตาม ASHRAE (2001) โดยรายละเอียดของการหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะอยู่ในหัวข้อ 2.7 ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการ (2.5) ค่า Black Globe Temperature สามารถหาได้จากการขบวนการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่า Black Globe Temperature มีค่าคงที่

จากที่กล่าวมาข้างต้น ดัชนีความร้อน BGHI นั้นจะนำตัวแปรทางสภาวะแวดล้อม คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ความเร็วลมและความชื้น มาใช้ในการพิจารณา ตัวแปรทั้ง 4 นี้เป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาวะแวดล้อมโดยรอบไม่ได้ นำพฤติกรรมและคุณสมบัติเฉพาะของไก่อพันธุ้เนื้อมาพิจารณาประกอบด้วย ดังนั้นดัชนีความร้อน BGHI จึงเป็นเพียงดัชนีชี้วัดสำหรับการเปรียบเทียบสภาวะแวดล้อมเชิงความร้อนในการเลี้ยงเท่านั้น แต่ไม่อาจระบุได้ว่าในแต่ละระดับค่าของดัชนีความร้อน BGHI นั้น ไก่อจะรู้สึกสบายหรือไม่สบายแตกต่างกันออกมาเป็นระดับค่าเท่าไร สำหรับการนำค่าดัชนีความร้อน BGHI มาเปรียบเทียบกับสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงนั้นจะพิจารณาว่า ที่สภาวะแวดล้อมที่มีค่าดัชนีความร้อน BGHI ต่ำกว่าจะบ่งบอกว่า สภาวะแวดล้อมนั้นมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดสภาวะเชิงความร้อนในการเลี้ยงไก่อพันธุ้เนื้อที่ดีกว่า โดย Moura (2001) ได้มีการสรุปถึงความแตกต่างของสภาวะแวดล้อมในกรณีที่มีค่าดัชนีความร้อน BGHI มีค่าต่างกันมากกว่า 1

## 2.7 การคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการคำนวณหาค่าสถานะทางความร้อนของผู้อยู่อาศัยในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ซึ่งในที่นี้ก็คือ ใก่ที่อาศัยอยู่ในโรงเรือนระบบปิด โดยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะหมายถึงอุณหภูมิของบริเวณปิดสมมุติที่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างผู้อยู่อาศัยในสภาวะแวดล้อมนั้นกับบริเวณปิดสมมุติ จะเท่ากับการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างผู้อยู่อาศัยกับสภาวะแวดล้อมจริง โดยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของพื้นผิวโดยรอบ รูปร่างและตำแหน่งของผู้อยู่อาศัย ซึ่งความสัมพันธ์ของรูปร่างและตำแหน่งของผู้อยู่อาศัยกับสิ่งแวดล้อมจะถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ตัวประกอบเชิงมุม (angle factor) ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยหาได้จาก

$$T_{MRT}^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $T_{MRT}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, K

$T_N$  คือ อุณหภูมิผิวของพื้นผิวที่ N, K

$F_{p-N}$  คือ ตัวประกอบเชิงมุมระหว่างผู้อยู่อาศัยกับพื้นผิว N

การพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากรูปร่างของผู้อยู่อาศัยหรือวัตถุใดจากรูปร่างจริงนั้นอาจทำได้ยาก ASHRAE(2001) ได้มีการประมาณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของคนจากอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบ(Plane radiant temperature) ซึ่งให้ความหมายเป็นอุณหภูมิของบริเวณปิดสมมุติที่มีความสม่ำเสมอที่ทำให้ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนตกกระทบบนด้านหนึ่งของเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆเท่ากับฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมจริง โดยการกำหนดภาพฉายของร่างกายคนออกเป็น 6 ทิศทาง จากนั้นก็จะหาอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบที่สอดคล้องกับทิศทางทั้ง 6 แล้วจึงทำการถ่วงน้ำหนักตามตัวประกอบพื้นที่ภาพฉาย (projected area factor) ของร่างกายก็จะสามารถหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยได้ โดยการหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของคนจากอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบหาได้จากสมการต่อไปนี้

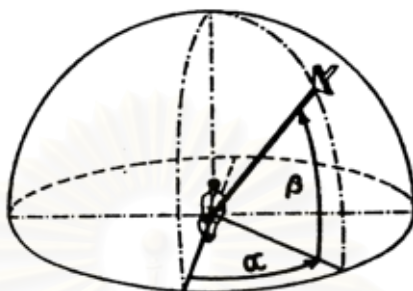
$$t_{MRT} = [f_{p,(0,90)}(t_{pr,up} + t_{pr,down}) + f_{p,(90,0)}(t_{pr,right} + t_{pr,left}) + f_{p,(0,0)}(t_{pr,front} + t_{pr,back})] \div [2(f_{p,(0,90)} + f_{p,(90,0)} + f_{p,(0,0)})] \quad (2.10)$$

เมื่อ  $t_{MRT}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

$t_{pr}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบ, °C

$f_{p(\alpha,\beta)}$  คือ ตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของร่างกายในทิศทางมุมแนวราบ  $\alpha$  และมุมแนวตั้ง  $\beta$  ดังรูปที่ 2.4

โดยค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของระนาบหาได้จากสมการ(2.9) ซึ่งตัวประกอบเชิงมุมระหว่างพื้นที่สี่เหลี่ยมกับเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆหาได้จากรูปที่2.5 สำหรับตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของคนในท่านั่งและยืนสามารถหาได้จาก Fanger (1970) ซึ่งจะทำได้สามารถหาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของคนจากสมการ (2.10) ได้ดังนี้



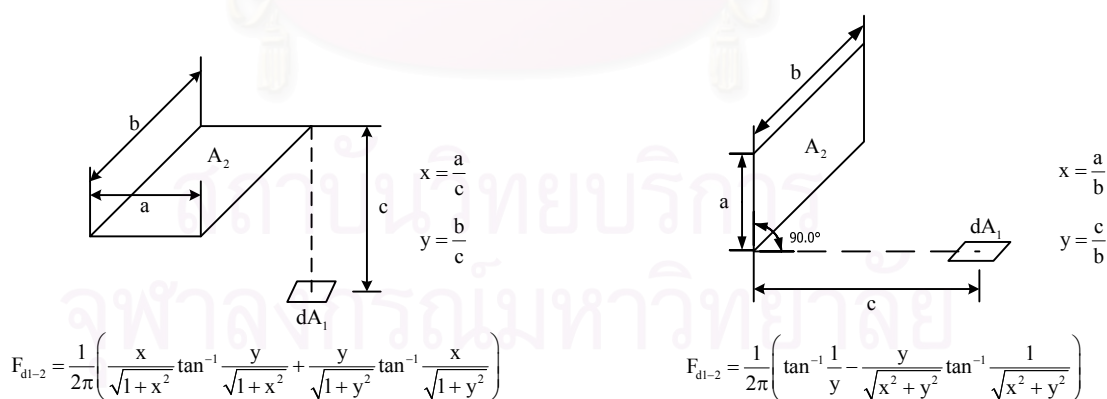
รูปที่ 2.4 มุมอ้างอิงในการหาตัวประกอบพื้นที่ภาพฉาย

สำหรับคนที่อยู่ในท่านั่ง

$$t_{MRT} = [0.08(t_{pr,up} + t_{pr,down}) + 0.23(t_{pr,right} + t_{pr,left}) + 0.35(t_{pr,front} + t_{pr,back})] \div [2(0.08 + 0.23 + 0.35)] \quad (2.11)$$

สำหรับคนที่อยู่ในท่านั่ง

$$t_{MRT} = [0.18(t_{pr,up} + t_{pr,down}) + 0.22(t_{pr,right} + t_{pr,left}) + 0.29(t_{pr,front} + t_{pr,back})] \div [2(0.18 + 0.22 + 0.29)] \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.5 การหาตัวประกอบเชิงมุมสำหรับพื้นที่สี่เหลี่ยมกับเอลิเมนต์ระนาบเล็กๆ

ในที่นี้เราต้องการพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของไก่ที่อยู่ในโรงเรือน แต่เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลในการศึกษาเรื่องการหาตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของตัวไก่ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงขอทำการสมมติให้ไก่มีรูปร่างเป็นทรงกลม เมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของ



รูปทรงกลมก็จะพบว่ามีค่าเท่ากันทุกทิศทาง เมื่อแทนค่าตัวประกอบพื้นที่ภาพฉายของทรงกลมลงในสมการ (2.10) ก็จะสมารถหาอนุหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของไ้ได้ดังนี้

$$t_{\text{MRT}} = \frac{1}{6} [t_{\text{pr,up}} + t_{\text{pr,down}} + t_{\text{pr,right}} + t_{\text{pr,left}} + t_{\text{pr,front}} + t_{\text{pr,back}}] \quad (2.13)$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

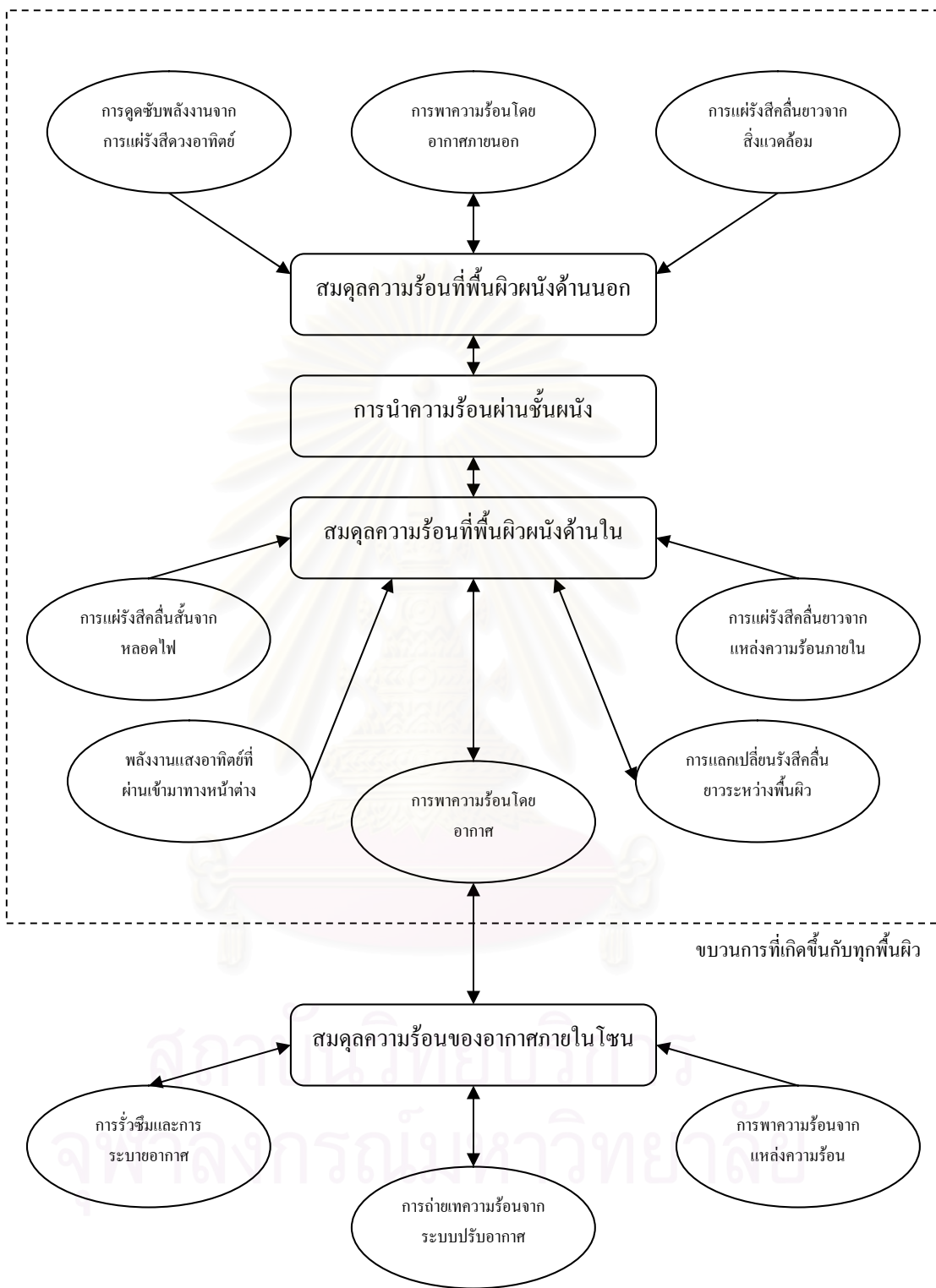
### ทฤษฎีเกี่ยวกับระเบียบวิธีสมดุลความร้อน

#### 3.1 ภาพรวมสำหรับระเบียบวิธีสมดุลความร้อน

ระเบียบวิธีสมดุลความร้อนเป็นระเบียบวิธีที่ตั้งอยู่บนรากฐานของกฎข้อที่หนึ่งตามหลักของอุณหพลศาสตร์ โดยมีสมมุติฐานที่จำเป็นดังนี้

1. อุณหภูมิของผิวแต่ละพื้นผิวมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
2. การแผ่รังสีคลื่นยาวและคลื่นสั้นของแต่ละพื้นผิวมีความสม่ำเสมอ
3. พื้นผิวมีการแผ่รังสีแบบกระจายเท่ากันทุกทิศทาง
4. การนำความร้อนผ่านผนังเป็นแบบ 1 มิติ
5. อุณหภูมิของอากาศภายใน โชนควบคุมมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

ส่วนสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อนประกอบ ด้วยสมดุลความร้อนทั้งสิ้น 4 แห่ง ได้แก่ สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน และสมดุลความร้อนของอากาศภายใน โชนควบคุม โดยจะมีสมดุลความร้อนซึ่งอยู่ในรูปกระบวนการนำความร้อนผ่านผนังเป็นกลไกในการเชื่อมโยงระหว่างสมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอกและสมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน ความสัมพันธ์ของกระบวนการสมดุลความร้อนต่างๆที่กล่าวมานี้แสดงได้ด้วยรูปที่ 3.1 กระบวนการที่อยู่ในกรอบเส้นประที่อยู่ทางด้านบนของรูปเป็นกระบวนการที่เกิดกับทุกผนังที่ปิดล้อมโชนควบคุม ส่วนกระบวนการที่เกิดกับผนังโปร่งใสนั้นมีกระบวนการที่คล้ายคลึงกันจะต่างกันตรงที่ผนังโปร่งใสจะไม่มี การดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวผนังด้านนอก แต่พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกรวบรวมไว้ในกลไกการนำความร้อนผ่านผนังซึ่งจะอยู่ในรูปสัดส่วนการไหลเข้า (inward-flowing fraction) และสัดส่วนการไหลออก (outward-flowing fraction) นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถทะลุผ่านผนังโปร่งใสได้อีกด้วย ทิศทางของลูกศรที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 แสดงถึงทิศทางของกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งในที่นี้จะมีทั้งการถ่ายเทความร้อนในทิศทางเดียวและสองทิศทาง กรอบวงกลมแสดงถึงขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ และกรอบสี่เหลี่ยมมนแสดงถึงสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 แห่ง



รูปที่ 3.1 กระบวนการสมดุลความร้อนที่เกิดขึ้นในหนึ่งโซน

### 3.2 สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก

สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอกประกอบด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิวของผนังกับสิ่งแวดล้อมภายนอกและการนำความร้อนผ่านชั้นของผนัง การถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การพาความร้อนโดยอากาศ และการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิวของผนังกับท้องฟ้า พื้นดินหรือแม้แต่อากาศ สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอกมีรูปแบบดังนี้

$$q''_{\text{asol}} + q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{ko}} = 0 \quad (3.1)$$

- เมื่อ  $q''_{\text{asol}}$  คือ พลังค์ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์,  $\text{W/m}^2$   
 $q''_{\text{LWR}}$  คือ พลังค์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับสิ่งแวดล้อม,  $\text{W/m}^2$   
 $q''_{\text{conv}}$  คือ พลังค์ความร้อนจากการพาความร้อนโดยอากาศ,  $\text{W/m}^2$   
 $q''_{\text{ko}}$  คือ พลังค์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก,  $\text{W/m}^2$

ทุกเทอมมีค่าเป็นบวกสำหรับพลังค์ความร้อนสุทธิที่มีทิศทางเข้าสู่พื้นผิวด้านนอก ยกเว้นในส่วนของเทอมการนำความร้อนจะมีค่าเป็นบวกเมื่อมีทิศทางจากพื้นผิวด้านนอกเข้าสู่ผนัง พลังค์ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยพื้นผิวด้านนอก ( $q''_{\text{asol}}$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$q''_{\text{asol}} = \alpha I_{\text{total}} \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $\alpha$  คือ ค่าการดูดซับรังสีคลื่นสั้นของพื้นผิว  
 $I_{\text{total}}$  คือ พลังค์การแผ่รังสีคลื่นสั้นรวมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว,  $\text{W/m}^2$

สำหรับพลังค์การแผ่รังสีคลื่นสั้นรวมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว สามารถคำนวณได้ตามแบบจำลองใน ASHRAE (2001)

พลังค์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับสิ่งแวดล้อม ( $q''_{\text{LWR}}$ ) จะคำนวณได้จากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า อากาศ และพื้นดิน โดยจะคำนวณได้จากผลคูณระหว่างค่าการดูดซับรังสีคลื่นยาวที่พื้นผิว ตัวประกอบเชิงมุม และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{\text{LWR}} = \varepsilon \sigma [F_{\text{air}} (T_{\text{air}}^4 - T_{\text{so}}^4) + F_{\text{sky}} (T_{\text{sky}}^4 - T_{\text{so}}^4) + F_{\text{grd}} (T_{\text{grd}}^4 - T_{\text{so}}^4)] \quad (3.3)$$

เมื่อ $\varepsilon$	คือ	ค่าการดูดซับรังสีคลื่นยาวของพื้นผิว
$\sigma$	คือ	ค่าคงที่สเตฟาน โบลซ์มาน (Stefan-Boltzman constant = $5.67 \times 10^{-8}$ )
$F_{\text{air}}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับอากาศ
$T_{\text{air}}$	คือ	อุณหภูมิอากาศ, K
$F_{\text{sky}}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับท้องฟ้า
$T_{\text{sky}}$	คือ	อุณหภูมิท้องฟ้า, K
$F_{\text{grd}}$	คือ	ตัวประกอบเชิงมุมของพื้นผิวเมื่อเทียบกับพื้นดิน
$T_{\text{grd}}$	คือ	อุณหภูมิพื้นดิน, K
$T_{\text{so}}$	คือ	อุณหภูมิพื้นผิวด้านนอก, K

ค่าการดูดซับรังสีที่พื้นผิวเป็นข้อมูลที่ป้อนเข้าโดยตรง ตัวประกอบเชิงมุมสามารถคำนวณได้ตามแบบจำลองของ BLAST ค่าอุณหภูมิท้องฟ้าสามารถเลือกคำนวณได้จากแบบจำลองต่างๆ เช่น BLAST Design Day Sky Model, Tarp Sky Model, และ Brown Sky Model ส่วนอุณหภูมิผิวของพื้นดินจะประมาณให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศตามแบบจำลองของ BLAST รายละเอียดของแต่ละแบบจำลองรวมถึงความถูกต้องของผลการคำนวณสามารถศึกษาได้จากงานวิจัยของ McClellan, T.M., (1997)

พลັกซ์ความร้อนจากการพาโดยอากาศ ( $q''_{\text{conv}}$ ) คำนวณได้จากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับอากาศซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{\text{conv}} = h_c (T_{\text{air}} - T_{\text{so}}) \quad (3.4)$$

เมื่อ  $h_c$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน,  $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองต่างๆ เช่น BLAST Simple/Detailed Convection Model, MoWitt Convection Model, TARP Detailed Convection Model และ DOE-2 Convection Model รายละเอียดของแต่ละแบบจำลองรวมถึงความถูกต้องของผลการคำนวณสามารถศึกษาได้จากงานวิจัยของ McClellan, T.M., (1997)

พลັกซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวด้านนอก ( $q''_{\text{ko}}$ ) จะคำนวณจากฟังก์ชันการนำความร้อน CTF ซึ่งจะแสดงไว้ในหัวข้อ 3.3

### 3.3 กระบวนการนำความร้อนผ่านชั้นผนัง

กระบวนการนำความร้อนผ่านชั้นผนังเป็นกลไกที่เชื่อมโยงระหว่างสมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอกและสมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน เนื่องจากระเบียบวิธีสมดุลความร้อนจะต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิผนังและฟลักซ์ความร้อนของผนังด้านนอกและด้านในไปพร้อมๆกัน ระเบียบวิธีที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาต้องสามารถตอบสนองการพิจารณานี้ได้ วิธีคำนวณด้วยฟังก์ชันการนำความร้อน (Conduction Transfer Function, CTF) จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว

ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของฟังก์ชันการนำความร้อน CTF กับอุณหภูมิพื้นผิวที่เวลาปัจจุบัน อุณหภูมิพื้นผิวที่เวลาในอดีต และฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวที่เวลาในอดีต ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีรูปแบบดังนี้

$$q''_{ki}(t) = -X_0 T_{si,t} - \sum_{k=1}^{nz} X_k T_{si,t-k\delta} + Y_0 T_{so,t} + \sum_{k=1}^{nz} Y_k T_{so,t-k\delta} + \sum_{k=1}^{nq} \phi_k q''_{ki,t-k\delta} \quad (3.5)$$

สำหรับฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน

$$q''_{ko}(t) = -Y_0 T_{si,t} - \sum_{k=1}^{nz} Y_k T_{si,t-k\delta} + Z_0 T_{so,t} + \sum_{k=1}^{nz} Z_k T_{so,t-k\delta} + \sum_{k=1}^{nq} \phi_k q''_{ko,t-k\delta} \quad (3.6)$$

สำหรับฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก

- เมื่อ  $q''_{ki}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน,  $W/m^2$   
 $q''_{ko}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านนอก,  $W/m^2$   
 $X_k$  คือ inside CTF เมื่อ  $k = 0, 1, \dots, nz$   
 $Y_k$  คือ cross CTF เมื่อ  $k = 0, 1, \dots, nz$   
 $Z_k$  คือ outside CTF เมื่อ  $k = 0, 1, \dots, nz$   
 $\phi_k$  คือ flux CTF เมื่อ  $k = 0, 1, \dots, nq$   
 $\delta$  คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ, sec

ตัวห้อย  $k$  แสดงถึงช่วงคาบเวลาในแต่ละชั้นเวลา  $\delta$  เทอมแรกของแต่ละอนุกรม (ตัวห้อย  $k = 0$ ) จะถูกแยกออกมาเพื่อใช้ในการหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่เวลาปัจจุบัน ส่วนค่าขอบเขตของอนุกรม  $nq$  และ  $nz$  จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผนังและขั้นตอนสำหรับใช้คำนวณหาฟังก์ชันการนำความร้อน CTF ในทางทฤษฎี  $nz$  จะมีค่าอนันต์ แต่ค่า  $nq$  และ  $nz$  จะถูกพิจารณาให้มีค่าที่น้อยที่สุดเพื่อความสะดวกในการคำนวณ สำหรับการคำนวณหาฟังก์ชันการนำความร้อน CTF และ

ระเบียบวิธีที่จะหาค่า  $nq$  และ  $nz$  ที่เหมาะสมสามารถศึกษาได้จาก Hittle, Douglas C., (1979) และ Hittle, Douglas C., (1983) ตามลำดับ

### 3.4 สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน

หัวใจของระเบียบวิธีสมดุลความร้อนก็คือ สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านในซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายเทความร้อน 4 ทางด้วยกันคือ

1. การนำความร้อนผ่านชั้นผนัง
2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพาสู่อากาศ
3. การดูดซับการแผ่รังสีคลื่นสั้น
4. การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีคลื่นยาว

การแผ่รังสีคลื่นสั้นที่เกิดขึ้นจะมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยจะเข้ามาในโซนควบคุมผ่านทางหน้าต่างและจากการเปล่งรังสีของแหล่งกำเนิดความร้อนภายในเช่น หลอดไฟ การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีคลื่นยาวประกอบด้วย การดูดซับและการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ผนัง อุปกรณ์ต่างๆ และผู้อยู่อาศัย สมดุลความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านในมีรูปแบบดังนี้

$$q''_{ki} + q''_{sw} + q''_{sol} + q''_{LWX} + q''_{LWS} + q''_{conv} = 0 \quad (3.7)$$

- เมื่อ  $q''_{ki}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน,  $W/m^2$   
 $q''_{sw}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นของแหล่งความร้อนภายในโซน,  $W/m^2$   
 $q''_{sol}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งผ่านมาทางระบบหน้าต่าง,  $W/m^2$   
 $q''_{LWX}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับผนังต่างๆ,  $W/m^2$   
 $q''_{LWS}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับแหล่งความร้อนภายในโซน,  $W/m^2$   
 $q''_{conv}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนโดยอากาศ,  $W/m^2$

ฟลักซ์ความร้อนจากการนำความร้อนที่พื้นผิวผนังด้านใน ( $q''_{ki}$ ) จะคำนวณจากฟังก์ชันการนำความร้อน CTF ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อ 3.3

พลั๊กซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับผนังต่างๆ ( $q''_{LWX}$ ) จะพิจารณาบนสมมุติฐานที่ว่า อากาศภายในโซนจะเป็นตัวกลางโปร่งใสต่อการแผ่รังสีคลื่นยาวและจะดูดซับรังสีคลื่นยาวที่แผ่มาจากผนังต่างๆได้อย่างสมบูรณ์ โดยรูปแบบการคำนวณจะใช้ระเบียบวิธี MRT Balance (Mean Radiant Temperature with Balance) ซึ่งจะใช้การประมาณค่าตัวประกอบเชิงมุมทำให้สะดวกในการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลความร้อนแต่ยังให้ความถูกต้องเป็นอย่างดี วิธี MRT Balance จะพิจารณาว่าแต่ละพื้นผิวจะทำการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนคลื่นยาวกับพื้นผิวสมมุติ ซึ่งพื้นผิวสมมุตินี้มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าการเปล่งรังสี พื้นที่ รวมถึงอุณหภูมิเท่ากับค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของพื้นผิวอื่นๆที่ปิดล้อมพื้นผิวที่กำลังพิจารณา โดยวิธี MRT Balance ยังพิจารณาถึงความไม่สมดุลในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดเนื่องจากการนำค่าตัวประกอบเชิงมุมและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ไม่ได้เป็นค่าแม่นยำตรงมาใช้ในการคำนวณอีกด้วย พื้นที่ ค่าการเปล่งรังสี อุณหภูมิ และตัวประกอบเชิงมุมการแผ่รังสีเฉลี่ย สามารถหาได้จาก

$$A_{MRT_i} = \sum_{j \neq i}^N A_j \quad (3.8)$$

เมื่อ  $A_{MRT}$  คือ พื้นที่การแผ่รังสีเฉลี่ย,  $m^2$   
 $A_j$  คือ พื้นที่ของพื้นผิวปิดล้อม  $j$ ,  $m^2$

$$\varepsilon_{MRT_i} = \sum_{j \neq i}^N \frac{A_j \varepsilon_{A_j}}{A_{MRT_i}} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $\varepsilon_{MRT}$  คือ ค่าการเปล่งรังสีเฉลี่ย  
 $\varepsilon_{A_j}$  คือ ค่าการเปล่งรังสีของพื้นผิวปิดล้อม  $j$

$$T_{MRT_i} = \sum_{j \neq i}^N \frac{A_j \varepsilon_{A_j} T_{A_j}}{A_{MRT_i} \cdot \varepsilon_{MRT_i}} \quad (3.10)$$

เมื่อ  $T_{MRT}$  คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, K  
 $T_{A_j}$  คือ อุณหภูมิของพื้นผิวปิดล้อม  $j$ , K

$$F_{MRT_i} = \frac{1}{\frac{1 - \varepsilon_{A,i}}{\varepsilon_{A,i}} + 1 + \frac{A_i (1 - \varepsilon_{MRT_i})}{A_{MRT_i} \varepsilon_{MRT_i}}} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $F_{MRT}$  คือ ตัวประกอบเชิงมุมการแผ่รังสีเฉลี่ย



จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดความไม่สมดุลที่มาจากการใช้ค่าตัวประกอบเชิงมุม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ไม่ใช่ค่าแน่นอนตรง ดังนั้นจะต้องมีการชดเชยความไม่สมดุลนี้ไปยังพื้นผิวอื่นๆเท่าๆกัน พลักซ์การแผ่รังสีไม่สมดุลคำนวณได้จาก

$$R_{\text{bal}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma A_i F_{\text{MRT}_i} (T_{\text{MRT}_i}^4 - T_{A,i}^4)}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (3.12)$$

เมื่อ  $R_{\text{bal}}$  คือ พลักซ์การแผ่รังสีไม่สมดุล,  $\text{W/m}^2$

ด้วยวิธี MRT Balance พลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับผนังต่างๆ ( $q''_{\text{LWX}}$ ) สามารถหาได้จาก

$$q''_{\text{LWX}_i} = \sigma F_{\text{MRT}_i} (T_{\text{MRT}_i}^4 - T_{A,i}^4) - R_{\text{bal}} \quad (3.13)$$

พลักซ์ความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับแหล่งความร้อนภายในโซน ( $q''_{\text{LWS}}$ ) โดยทั่วไปรูปแบบการคำนวณจะพิจารณาแยกความร้อนที่ได้รับจากแหล่งความร้อนภายในโซนเป็น 2 ส่วนคือ ความร้อนจากการพาและการแผ่รังสี ความร้อนจากการแผ่รังสีจะคิดว่าการกระจายตัวไปยังพื้นผิวที่ปิดล้อมโซนอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนของอุณหภูมิของพื้นผิวในแต่ละอุปกรณ์ได้

พลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นของแหล่งความร้อนภายในโซน ( $q''_{\text{SW}}$ ) ความร้อนจากการแผ่รังสีจะคิดว่าการกระจายตัวไปยังพื้นผิวที่ปิดล้อมโซนอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกับในกรณีของรังสีคลื่นยาว

พลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งผ่านมาทางระบบหน้าต่าง ( $q''_{\text{sol}}$ ) ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางระบบหน้าต่างจะคิดว่าการกระจายตัวไปยังพื้นผิวที่ปิดล้อมโซนอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกับในกรณีของรังสีคลื่นยาวเพราะสมมุติฐานของระเบียบวิธีสมดุลความร้อนที่ว่าแต่ละพื้นผิวต้องมีอุณหภูมิและการดูดซับรังสีความร้อนที่สม่ำเสมอ

พลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อนโดยอากาศภายในโซน ( $q''_{\text{conv}}$ ) จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและผลต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวกับอากาศซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{\text{conv}} = h_c (T_{\text{zone}} - T_{\text{si}}) \quad (3.14)$$

เมื่อ  $T_{zone}$  คือ อุณหภูมิอากาศภายในโซน, K  
 $T_{si}$  คือ อุณหภูมิพื้นผิวด้านใน, K

### 3.5 สมดุลความร้อนของอากาศภายในโซน

การคำนวณสมดุลความร้อนของอากาศภายในโซนจะมุ่งเน้นไปที่การหาค่าภาระความร้อน โดยจะไม่พิจารณาความจุความร้อนของอากาศและการพิจารณาสมดุลความร้อนของอากาศจะกำหนดให้อยู่สถานะเกือบคงที่ (Quasi-steady) ในแต่ละช่วงเวลา สมดุลความร้อนของอากาศภายในโซนจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายเทความร้อน 4 ทางด้วยกันคือ การพาความร้อนจากพื้นผิวที่ปิดล้อมโซน การพาความร้อนจากแหล่งความร้อนภายใน การรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจากระบบปรับอากาศ สมดุลความร้อนของอากาศภายในโซนมีรูปแบบดังนี้

$$q_{conv} + q_{CE} + q_{IV} + q_{sys} = 0 \quad (3.15)$$

เมื่อ  $q_{conv}$  คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากพื้นผิวผนังด้านใน, W  
 $q_{CE}$  คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากแหล่งความร้อนภายใน, W  
 $q_{IV}$  คือ การถ่ายเทความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศ, W  
 $q_{sys}$  คือ การถ่ายเทความร้อนจากระบบปรับอากาศ, W

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากพื้นผิวผนังด้านใน ( $q_{conv}$ ) จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พื้นที่ของพื้นผิวและผลต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวกับอากาศซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$q_{conv_i} = A_i h_{c,i} (T_{si_i} - T_{zone}) \quad (3.16)$$

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากแหล่งความร้อนภายใน ( $q_{CE}$ ) จะคิดว่ามีภาระกระจายตัวไปยังพื้นผิวที่ปิดล้อมโซนอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนของอุณหภูมิของพื้นผิวในแต่ละอุปกรณ์ได้เช่นเดียวกับในกรณีของความร้อนจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวกับแหล่งความร้อนภายในโซน

การถ่ายเทความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศ ( $q_{IV}$ ) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงซึ่งจะหาได้จาก

$$q_{IV_s} = Qpc_p \Delta t_{air} \quad (3.17)$$

- เมื่อ  $q_{IV_s}$  คือ ภาระความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศใน ส่วนที่เป็นความร้อนสัมผัส, W
- $Q$  คือ อัตราการไหลของอากาศ,  $m^3/s$
- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ,  $kg/m^3$
- $c_p$  คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ,  $J/(kg \cdot K)$
- $\Delta t_{air}$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายในโซนกับภายนอกที่เข้ามา, K

$$q_{IV_s} = Q\Delta W[4775 + 1.998\Delta t] \quad (3.18)$$

- เมื่อ  $q_{IV_i}$  คือ ภาระความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศและการระบายอากาศใน ส่วนที่เป็นความร้อนแฝง, W
- $\Delta W$  คือ ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในโซนกับภายนอกที่เข้ามา, มวลของน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ( $kg/kg$ )

### 3.6 ขั้นตอนการคำนวณในระเบียบวิธีสมดุลความร้อน

การคำนวณภาระความร้อนด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อนจำเป็นต้องเกิดสมดุลความร้อนทั้ง 4 แห่งดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนจึงมีอยู่ 5 สมการด้วยกันก็คือ สมการที่ 3.1, 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.15 ตัวแปรสำคัญในระเบียบวิธีสมดุลความร้อนก็คือ อุณหภูมิพื้นผิวผนังทั้งด้านในและด้านนอกในแต่ละชั่วโมง ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อนจึงจำเป็นต้องจัดรูปของสมการที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ เพื่อให้เทอมที่มีตัวแปรเป็นอุณหภูมิพื้นผิวผนังสามารถรวมอยู่ด้วยกันได้ โดยการจัดรูปสมการมีขั้นตอนดังนี้

พิจารณาสมการ(3.1); 
$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

พิจารณาแยกในแต่ละเทอมตามสมการ(3.2), (3.3) และ (3.4) ได้ดังนี้

$$q''_{asol} = \alpha I_{total}$$

$$q''_{LWR} = \epsilon\sigma[F_{air}(T_{air}^4 - T_{so}^4) + F_{sky}(T_{sky}^4 - T_{so}^4) + F_{grd}(T_{grd}^4 - T_{so}^4)]$$

$$q''_{conv} = h_c(T_{air} - T_{so})$$

เทอมผลต่างของอุณหภูมิกำลังที่สามารถประมาณให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้โดยให้

$$h_i = \varepsilon \sigma F_{ij} \frac{(T_i^4 - T_j^4)}{(T_i - T_j)} \approx 4\varepsilon \sigma F_{ij} \left( \frac{T_i + T_j}{2} \right)^3 \quad (3.19)$$

สมการ(3.3) สามารถจัดรูปได้เป็น

$$q''_{LWR} = h_{air} (T_{air} - T_{so}) + h_{sky} (T_{sky} - T_{so}) + h_{grd} (T_{grd} - T_{so}) \quad (3.20)$$

สมการ(3.1) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\alpha I_{total} + h_{air} (T_{air} - T_{so}) + h_{sky} (T_{sky} - T_{so}) + h_{grd} (T_{grd} - T_{so}) + h_{co} (T_{air} - T_{so}) - q''_{ko} = 0 \quad (3.21)$$

พิจารณาสมการ(3.7);  $q''_{ki} + q''_{SW} + q''_{sol} + q''_{LWX} + q''_{LWS} + q''_{conv} = 0$

พิจารณาแยกในแต่ละเทอมตามสมการ(3.13)และ(3.14)ได้ดังนี้

$$q''_{LWX} = \sigma F_{MRT} (T_{MRT}^4 - T_{si}^4) - R_{bal} = h_{MRT} (T_{MRT} - T_{si})$$

$$q''_{conv} = h_c (T_{zone} - T_{si})$$

สมการ(3.7) จัดรูปใหม่ได้เป็น

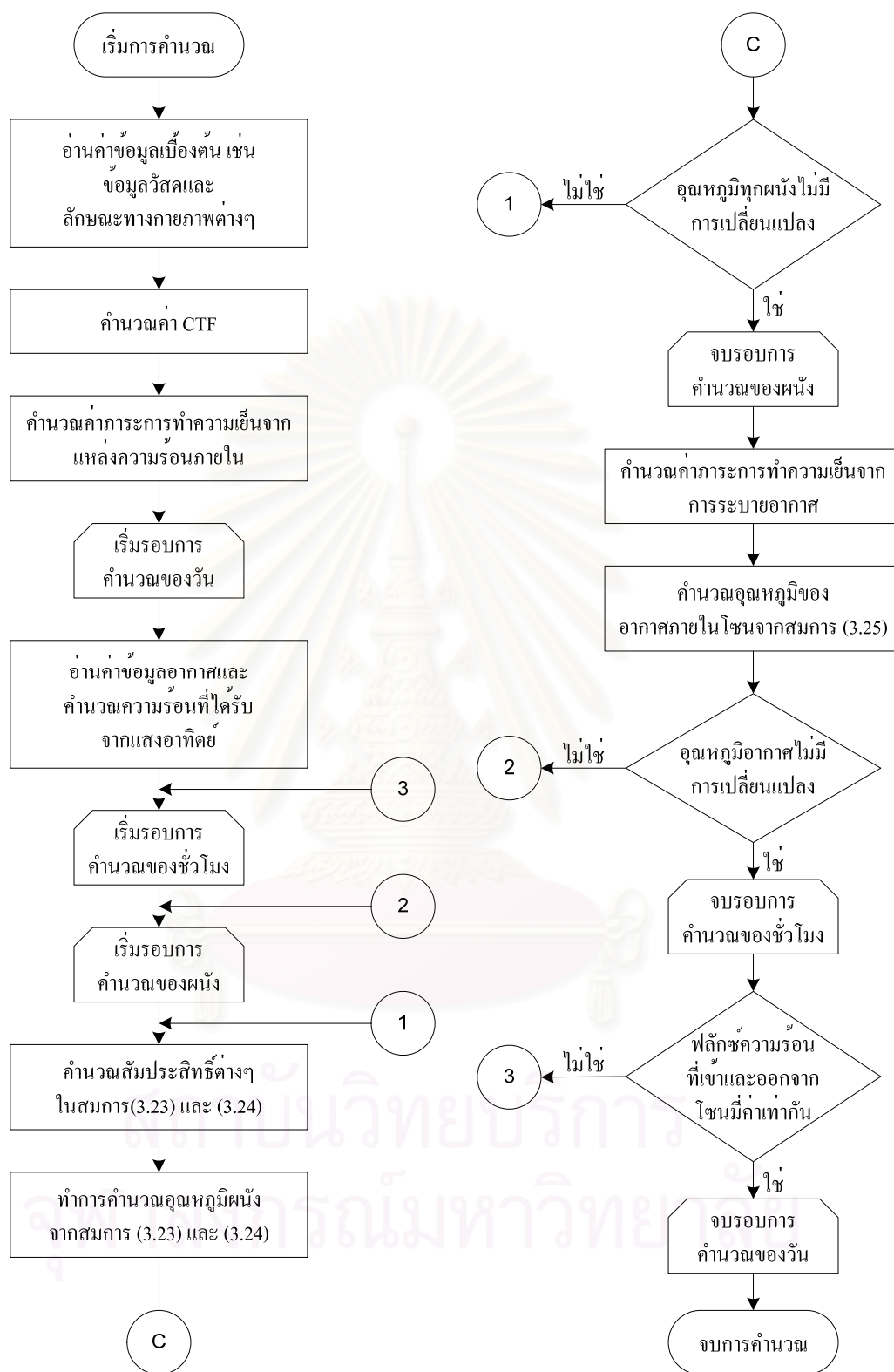
$$q''_{ki} + q''_{SW} + q''_{sol} + h_{MRT} (T_{MRT} - T_{si}) - R_{bal} + q''_{LWS} + h_{ci} (T_{zone} - T_{si}) = 0 \quad (3.22)$$

รวมสมการ(3.6)และ(3.21) เพื่อทำการแก้สมการหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้านนอกจะได้

$$T_{soj} = \frac{Y_{0j} T_{sij} + \sum_{k=1}^{nz} Y_{kj} T_{si-k\delta j} - \sum_{k=1}^{nz} Z_{kj} T_{soi-k\delta j} - \sum_{k=1}^{nq} \phi_{kj} q''_{ki-k\delta j} + \alpha_j I_{totalj} + h_{airj} T_{airj} + h_{skyj} T_{skyj} + h_{grdj} T_{grdj} + h_{coj} T_{airj}}{Z_{0j} + h_{airj} + h_{skyj} + h_{grdj} + h_{coj}} \quad (3.23)$$

รวมสมการ(3.5)และ(3.22) เพื่อทำการแก้สมการหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้านนอกจะได้

$$T_{sij} = \frac{Y_{0j} T_{soj} - \sum_{k=1}^{nz} X_{kj} T_{si-k\delta j} + \sum_{k=1}^{nz} Y_{kj} T_{soi-k\delta j} + \sum_{k=1}^{nq} \phi_{kj} q''_{ki-k\delta j} + h_{MRTj} T_{MRTj} - R_{bal} + h_{cij} T_{zone} + q''_{SW} + q''_{sol} + q''_{LWS}}{X_{0j} + h_{MRTj} + h_{cij}} \quad (3.24)$$



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีสมดุลความร้อน

พิจารณาสมการ(3.15)

$$q_{\text{conv}} + q_{\text{CE}} + q_{\text{IV}} + q_{\text{sys}} = 0$$

พิจารณาแยกในแต่ละเทอมตามสมการ(3.16) ได้ดังนี้

$$q_{\text{sys}_i} = \sum_{j=1}^{ns} A_j h_{ci,j} (T_{si,j} - T_{zone_i}) + q_{\text{CE}} + q_{\text{IV}} \quad (3.25)$$

โดยในสมการ(3.23), (3.24) และ (3.25) กำหนดให้

i คือ ชั่วโมงที่ทำการคำนวณ

j คือ พื้นผิวที่ทำการคำนวณ

ns คือ จำนวนผนัง

ขั้นตอนการคำนวณ โดยสังเขปของระเบียบวิธีสมมูลความร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งขอบเขตในการคำนวณหาค่าภาระความร้อนหรืออุณหภูมิอากาศภายในโซนของแต่ละชั่วโมงจะอยู่ที่ อุณหภูมิผนังด้านใน อุณหภูมิผนังด้านนอกและอุณหภูมิอากาศภายในโซน ที่ทำการคำนวณซ้ำนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับขอบเขตในการดูเข้าของการคำนวณนั้นจะอยู่ที่ผลต่างระหว่างฟลักซ์ความร้อนที่เข้าและออกตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้มีผลต่างไม่เกิน 1 %

## บทที่ 4

### องค์ประกอบของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อที่ใช้เป็นแบบจำลอง

ลักษณะของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อที่ใช้เป็นแบบจำลองที่จะกล่าวถึงในที่นี้จะ เป็นลักษณะของโรงเรียนในกรณีพื้นฐานเป็นหลัก ซึ่งลักษณะของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อที่จะ ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ นั้นสามารถดัดแปลงได้จากลักษณะของโรงเรียนในกรณีพื้นฐาน

#### 4.1 สถานที่ตั้งของโรงเรียน

สถานที่ตั้งของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อที่ใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษา กำหนดให้ตั้งอยู่ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยอ้างอิงจาก ASHRAE (2001) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตำแหน่งละติจูดท้องถิ่น	13.92	องศาเหนือ
ตำแหน่งลองจิจูดท้องถิ่น	100.6	องศาตะวันออก
ตำแหน่งลองจิจูดมาตรฐาน	105.0	องศาตะวันออก
ระดับความสูงเทียบกับน้ำทะเล	12	เมตร
ความดันอากาศ	101.18	kPa
ทิศทางการวางตัว	ตามตะวัน(ตะวันออก-ตะวันตก)	

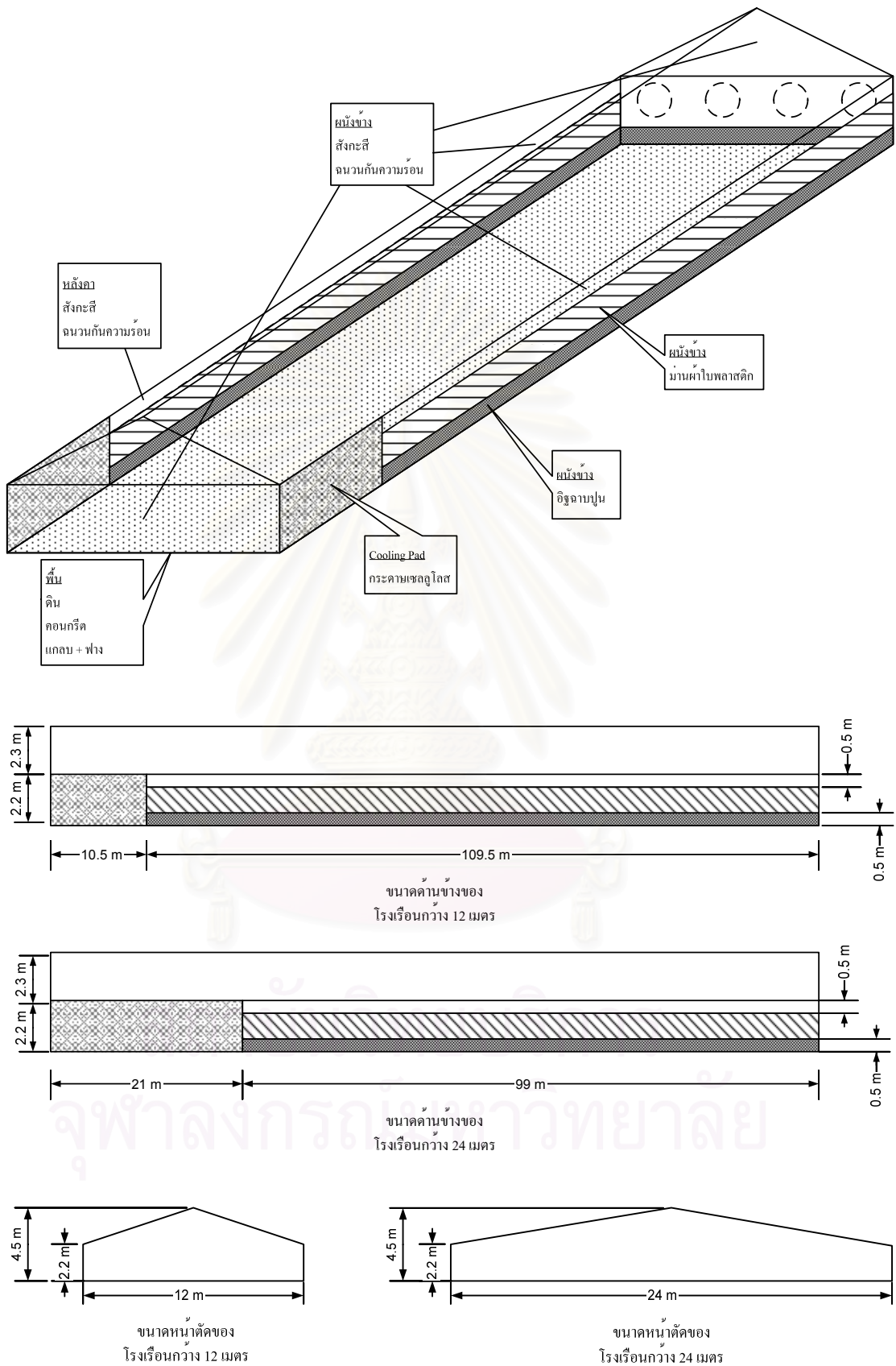
#### 4.2 ข้อมูลสถานะอากาศ

ข้อมูลสถานะอากาศที่จำเป็นในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิ กระเปาะเปียก ความเร็วและทิศทางลม โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บเป็นรายชั่วโมงซึ่งได้รับจาก กรมอุตุนิยมวิทยา โดยในที่นี้จะใช้ข้อมูลอากาศเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2536-2538

#### 4.3 โครงสร้างของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ

##### 4.3.1 ขนาดของโรงเรียน

ขนาดของโรงเรียนที่ใช้ทำการศึกษากำหนดให้มีขนาดอ้างอิงกับขนาดโรงเรียน ที่ใช้ในประเทศไทย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้โรงเรียนที่มีความกว้าง 12 เมตร ยาว 120 เมตร และกว้าง 24 เมตร ยาว 120 เมตร ซึ่งจะมีการติดชิงลมทุกๆ 15 เมตร โดยชิงลมจะมีความสูง 2 เมตรจากพื้น ขนาด ของส่วนประกอบต่างๆของเปลือกอาคารของโรงเรียนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อสามารถดูได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อกรณีพื้นฐาน



#### 4.3.2 วัสดุที่ใช้ทำโรงเรียน

วัสดุของโรงเรียนที่ใช้ทำการศึกษาจะกำหนดให้มีขนาดอ้างอิงกับโรงเรียนที่ใช้ในประเทศไทยเช่นเดียวกับในกรณีของขนาดของโรงเรียน โดยตัวอย่างวัสดุของโรงเรียนที่สอดคล้องกับรูปที่ 4.1 แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 วัสดุของส่วนต่างๆของโรงเรียนกรณีพื้นฐาน

ส่วนประกอบ ของโรงเรียน	วัสดุ	ความหนา (m)	ค่าการนำ ความร้อน (W/m.K)	ความ หนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าความจุ ความร้อน จำเพาะ (J/kg.K)
หลังคาโรงเรียนและ ผนังข้าง	แผ่นสังกะสี	0.0008	45.2800	7824	500.00
หลังคาโรงเรียนและ ผนังข้าง	ฉนวนกันความ ร้อน PU โฟม	0.05	0.0230	32	1590.00
ผนังข้าง	ม่านผ้าใบ พลาสติก	0.0005	0.1900	1200	1670.00
ผนังข้าง	อิฐมอญ	0.075	0.7200	1920	835.00
ผนังข้าง	ปูนฉาบ	0.0125	0.7200	1860	840.00
พื้นโรงเรียน	แกลบ	0.05	0.1200	150	1210.00
พื้นโรงเรียน	คอนกรีต	0.15	1.9500	2240	900.00
พื้นโรงเรียน	ดิน	0.5	1.5000	1400	1260.00

#### 4.4 ความหนาแน่นของไก่อปิ้งเนื้อ

จากหัวข้อ 2.3 ทางกรมปศุสัตว์ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่อปิ้งเนื้อในระบบปิดไว้ไม่เกิน 34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในวิทยานิพนธ์นี้จะขอกำหนดให้ไก่แต่ละตัวหนัก 2.5 กิโลกรัม ดังนั้นตามข้อกำหนดนี้จำนวนไก่ที่ใช้เลี้ยงในโรงเรียนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร จะมีค่าเท่ากับ

โรงเรียนกว้าง 12 เมตร จะมีไก่จำนวน 19584 ตัว

โรงเรียนกว้าง 24 เมตร จะมีไก่จำนวน 39168 ตัว

#### 4.5 แสงสว่างในโรงเรือน

จากหัวข้อ 2.3 ทางกรมปศุสัตว์ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการให้แสงสว่างในโรงเรือนไว้ว่า ควรมีการงดการให้แสงอย่างน้อยวันละ 1 ชั่วโมง โดยในที่นี้จะกำหนดให้มีการงดให้แสงในช่วงเวลา 24.00 น. – 01.00 น. ซึ่งจะเหมือนกันทั้งโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร

#### 4.6 ความร้อนจากไก่พันธุ์เนื้อ

ในที่นี้จะกำหนดให้ไก่ที่อยู่ในโรงเรือนมีอายุประมาณ 45 วันซึ่งจะมีน้ำหนักโดยประมาณ 2.5 กิโลกรัม ความร้อนที่ไก่ผลิตได้จะคำนวณจากสมการ(2.4) และกำหนดให้อัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนรวมที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 1 ต่อ 3 และอัตราส่วนความร้อนแฝงต่อความร้อนรวมที่ผลิตได้จะมีค่าประมาณ 2 ต่อ 3 ดังนั้นความร้อนรวม ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่ไก่ผลิตได้จะมีค่าดังนี้

ความร้อนรวมที่ไก่ผลิตได้	17.4	W /ตัว
ความร้อนสัมผัสที่ไก่ผลิตได้	5.8	W /ตัว
ความร้อนแฝงที่ไก่ผลิตได้	11.6	W /ตัว

#### 4.7 การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหย

การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหยในทางปฏิบัติจริงนั้นจะมีตัวเซ็นเซอร์คอยตรวจจับอุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นคอยควบคุมการทำงานของปั้มน้ำและพัดลมดูดอากาศ แต่สำหรับการคำนวณในที่นี้จะทำการพิจารณาระบบทำความเย็นโดยให้ระบบทำความเย็นเดินแบบเต็มตลอดเวลาและมีการเปิดพัดลมดูดอากาศตลอดเวลาเช่นกันเพื่อให้มีอัตราการระบายอากาศตามข้อกำหนดในหัวข้อ2.3 ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นและอัตราการถ่ายเทอากาศมีค่าดังนี้

ประสิทธิภาพของแผงทำความเย็น	85 %	
อัตราการระบายอากาศของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร	80.4	m <sup>3</sup> /s
อัตราการระบายอากาศของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร	160.8	m <sup>3</sup> /s

#### 4.8 ความเร็วลมภายในโรงเรือน

ความเร็วลมภายในโรงเรือนที่จำเป็นต่อการคำนวณคือ ความเร็วลมตามผิวผนังต่างๆและความเร็วลมตามตำแหน่งต่างๆที่ระดับของตัวไก่ ซึ่งความเร็วลมทั้ง 2 แบบนี้จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณด้วยวิธีทาง CFD สำหรับการแก้ปัญหาการไหล ในที่นี้ได้ใช้ผลการคำนวณจากวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่ในส่วนของกระบายอากาศ ของ วสันต์ (2547)

#### 4.9 การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆของโรงเรือน

##### ขนาดของโรงเรือน

สำหรับขนาดของโรงเรือนนั้นจะทำการพิจารณาโรงเรือนที่มีความกว้าง 12 เมตร และกว้าง 24 เมตร ซึ่งยังคงความยาวและความสูงจากพื้นถึงยอดหลังคาของโรงเรือนเท่ากันทั้ง 2 กรณีดังรูปที่ 4.1 โดยรายละเอียดขององค์ประกอบต่างๆจะพิจารณาได้จากหัวข้อ 4.1-4.8

##### ฉนวนกันความร้อน

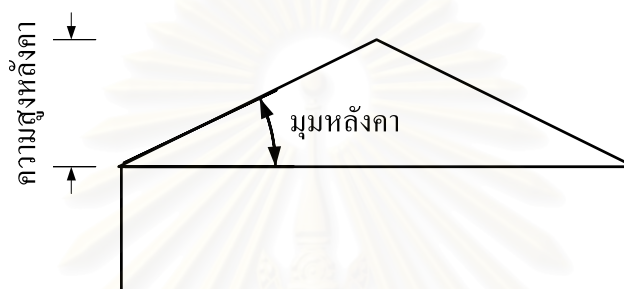
ฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในการพิจารณาจะใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีการใช้กันอย่างทั่วไปซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.2 วัสดุฉนวนกันความร้อน

วัสดุ	ค่าการนำความร้อน (W / m.K)	ความหนาแน่น (kg / m <sup>3</sup> )	ค่าความจุ ความร้อนจำเพาะ (J / kg.K)
ฉนวน โฟม โพลียูรีเทน (Polyurethane)	0.0230	32	1590.00
ฉนวนใยแก้ว (Fiber glass)	0.0500	16	837.00
ฉนวนใยแร่ (Mineral fiber)	0.0450	32	837.00
ฉนวน โฟม โพลีสไตรีน (Polystyrene)	0.0290	35	1130.00
ฉนวนเยื่อกระดาษ (Cellulose)	0.0400	45	1380.00

### ความสูงหลังคา

เนื่องจากการกำหนดขนาดของหลังคาโดยทั่วไปจะทำการกำหนดเป็นความสูงจากตัวโรงเรือนดังเช่นในรูปที่ 4.1 โรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร จะกำหนดให้หลังคามีความสูงจากตัวโรงเรือน 2.3 เมตร ซึ่งจะทำให้หลังคาทำมุมกับตัวโรงเรือน(ทำมุมกับแนวราบดังรูปที่ 4.2) ประมาณ 21 องศา และ 11 องศา ตามลำดับ โดยรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของความสูงและมุมหลังคาของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.3



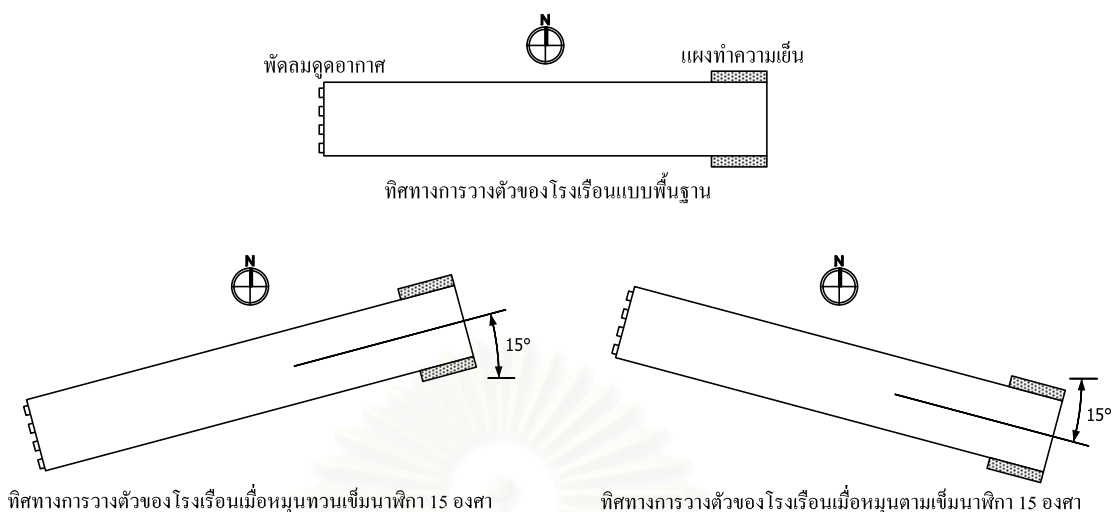
รูปที่ 4.2 การพิจารณาความสูงหลังคาและมุมหลังคา

ตารางที่ 4.3 ความสูงและมุมหลังคา

รูปแบบ	ความสูงของหลังคา(เมตร)	มุมหลังคา(องศา) โรงเรือนกว้าง 12 เมตร	มุมหลังคา(องศา) โรงเรือนกว้าง 24 เมตร
1	0.3	3	1
2	1.3	12	6
3	2.3	21	11
4	3.3	29	15
5	4.3	36	20

### การวางตัวของโรงเรือน

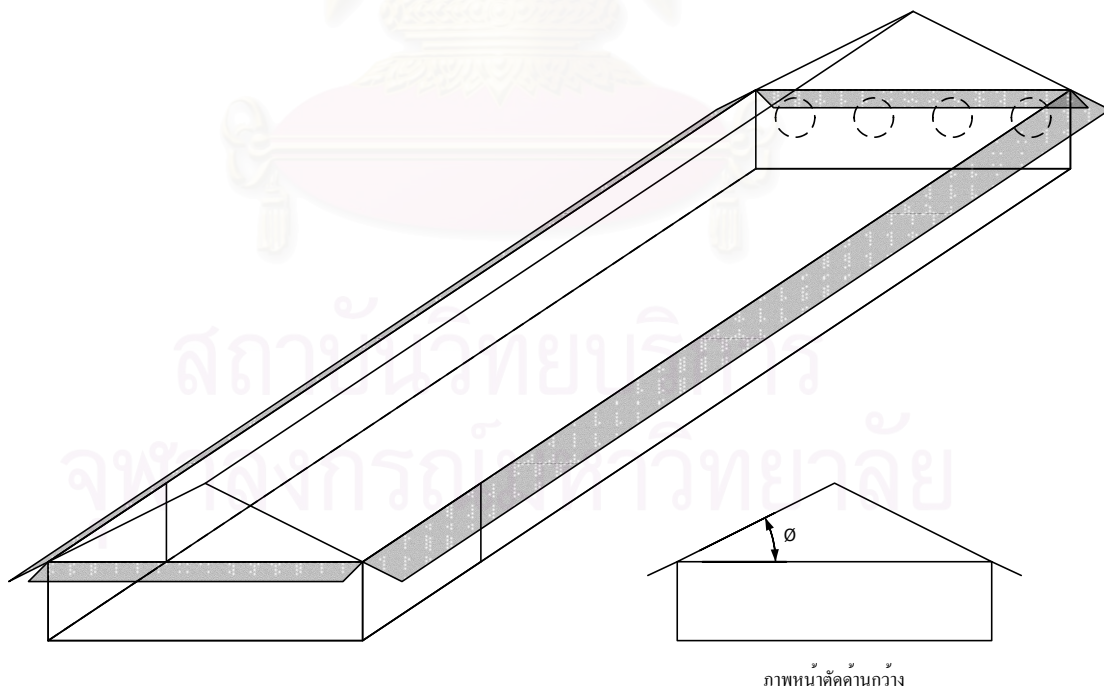
การวางตัวของโรงเรือนในรูปแบบพื้นฐานจะกำหนดให้โรงเรือนมีการวางตัวในทิศทางตามตะวัน(แนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก) เพื่อให้พื้นที่ผนังด้านข้างโดนแดดน้อยที่สุด ซึ่งจะให้ผลตรงกันข้ามกับโรงเรือนที่มีการวางตัววางตะวัน (แนวทิศเหนือ-ทิศใต้) การกำหนดทิศทางการวางตัวของโรงเรือนจะพิจารณาการหมุนตัวของโรงเรือนในช่วง 0 องศา ถึง 90 องศาในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาจากทิศทางการวางตัวของกรณีพื้นฐาน โดยจะกำหนดให้ในแต่ละกรณีมีการหมุนโรงเรือนไปที่ละ 15 องศา ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การหมุนทิศทางการวางตัวของโรงเรียน

การติดกันสาด

กันสาดจะถูกติดตั้งทั้ง 4 ด้านของโรงเรียน ซึ่งกันสาดจะถูกพิจารณาให้มีความเชื่อมต่อกับแนวของหลังคา ดังนั้นมุมที่กันสาดทำกับแนวราบก็จะเป็นมุมเดียวกับมุมหลังคาดังรูปที่ 4.4 โดยจะทำการพิจารณาความยาวกันสาดตั้งแต่ 0 – 3 เมตรและกำหนดให้ในแต่ละกรณีกันสาดจะมีความยาวเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 เมตร



รูปที่ 4.4 การติดกันสาดของโรงเรียน

## บทที่ 5

### ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์และการวิเคราะห์ในบทนี้จะอ้างอิงได้จากแบบจำลองที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 โดยผลการคำนวณที่ได้จะแสดงอยู่ใน 2 รูปแบบคือเป็นผลการคำนวณที่เกิดจากการคำนวณเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. และผลการคำนวณเฉลี่ยรายปีในรูปแบบแยกเป็นรายชั่วโมง สำหรับสาเหตุในการเลือกช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. มาเป็นช่วงเวลาตัวแทนในการคำนวณค่าเฉลี่ยรายปีในการแสดงผลนั้นเนื่องจากช่วงเวลาที่เกิดปัญหาทางด้านความร้อนจะอยู่ในช่วงกลางวัน ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการเปรียบเทียบผลทางด้านความร้อนของโรงเรือนรูปแบบต่างๆจาก ค่าภาระความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารต่อพื้นที่การเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ (ซึ่งจะขอใช้คำว่า ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง แทน) ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะบ่งบอกถึงแนวโน้มการใช้พลังงานและสภาวะแวดล้อมเชิงความร้อนภายใน โรงเรือน โดยรูปแบบต่างๆของโรงเรือนที่จะนำมาพิจารณาพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนจะถูกพิจารณาจากปัจจัยต่างๆดังนี้

1. อิทธิพลของขนาดของ โรงเรือนและจนวนกันความร้อนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน
2. อิทธิพลของความสูงหลังคาที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน
3. อิทธิพลของการวางตัวของ โรงเรือนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน
4. อิทธิพลของกันสาดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน
5. อิทธิพลของการเปลี่ยนรูปแบบความเร็วลมที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.1 อิทธิพลของขนาดของโรงเรือนและฉนวนกันความร้อนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน

ในในหัวข้อนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของโรงเรือนที่มีการคิดฉนวนประเภทและความหนาต่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของโรงเรือนจะส่งผลไปถึงสัดส่วนในการได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนต่างๆ โดยเฉพาะแสงอาทิตย์ การใช้ฉนวนกันความร้อนกับโรงเรือนขนาดหนึ่ง อาจจะทำให้ผลที่ได้ต่างออกไปจากโรงเรือนอีกขนาดหนึ่งที่ใช้ฉนวนกันความร้อนแบบเดียวกันก็เป็นได้ ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เนื่องจากเป็นขนาดของโรงเรือนที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไปและกว้าง 24 เมตร ซึ่งเริ่มมีการนำมาใช้แล้วในปัจจุบัน

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของฉนวนกันความร้อนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน โดยจะพิจารณาโรงเรือนที่มีการคิดฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ที่ความหนา 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, และ 4.0 นิ้ว โดยจะทำการเลือกประเภทของวัสดุฉนวนกันความร้อนที่มีการใช้อยู่ทั่วไป เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยแร่ ฉนวนเซลลูโลสและฉนวนโฟมชนิดต่างๆ เช่น ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมและฉนวนโพลียูรีเทนโฟม

การใช้ฉนวนกันความร้อนทั้งในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร จะช่วยลดค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้ทำการคิดฉนวนกันความร้อน แต่การเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนไปเรื่อยๆ จะทำให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลู่เข้าสู่จุดหนึ่งซึ่งหากทำการเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนให้มากกว่านี้ก็จะส่งผลให้ลดภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลงอีกเพียงเล็กน้อยซึ่งดูได้จากรูปที่ 5.1-5.4

เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่เกิดขึ้นระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร พบว่าในกรณีที่โรงเรือนไม่มีการคิดฉนวน โรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงต่ำกว่าประมาณ 5.5 % หากพิจารณาโรงเรือนที่มีการคิดฉนวน การคิดฉนวนนั้นจะยิ่งทำให้โรงเรือนกว้าง 24 เมตร มีภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงต่ำกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร มากขึ้นไปอีกคืออยู่ในช่วงประมาณ 10 %-18 % สำหรับการใช้อุณหภูมิฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ที่ระดับความหนาไม่เกิน 4 นิ้ว ดังรูปที่ 5.5

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการลดภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนที่มีการคิดฉนวนเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้มีการคิดฉนวนเปรียบเทียบระหว่างกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร พบว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะทำให้ช่วยลดภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลงในส่วนที่มากกว่ากว้าง 12 เมตร เมื่อใช้ฉนวนกันความร้อน

ประเภทและความหนาเดียวกัน ในช่วงประมาณ 3%-4% สำหรับการใช้นวนกันความร้อนประเภทต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ที่ระดับความหนาไม่เกิน 4 นิ้ว ดังรูปที่ 5.6

เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเป็นรายชั่วโมงระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. พบว่าการใช้นวนกันความร้อนที่มีความเป็นฉนวนมากขึ้น(ความหนาเพิ่มขึ้น) จะมีผลในการช่วยลดการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ได้ดีกว่ากว้าง 12 เมตร ซึ่งจะเห็นได้จากผลต่างของค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นตามความหนาที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวโน้มที่ผลต่างของค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจะสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน ดังรูปที่ 5.7-5.11 โดยค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเป็นรายชั่วโมงสามารถดูได้จากรูปที่ ค.1- ค.10

เมื่อพิจารณาถึงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยพบว่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะลดลงเมื่อมีการติดฉนวนที่หนาขึ้นซึ่งจะเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับการลดลงของค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงดังรูปที่ 5.12 และ 5.13 โดยในกรณีที่โรงเรือนไม่ได้มีการติดฉนวนกันความร้อนโรงเรือนกว้าง 12 เมตร จะมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ประมาณ  $0.8^{\circ}\text{C}$  แต่ในกรณีที่โรงเรือนมีการติดฉนวนกันความร้อนแนวโน้มของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร กลับสูงกว่าของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 5.14

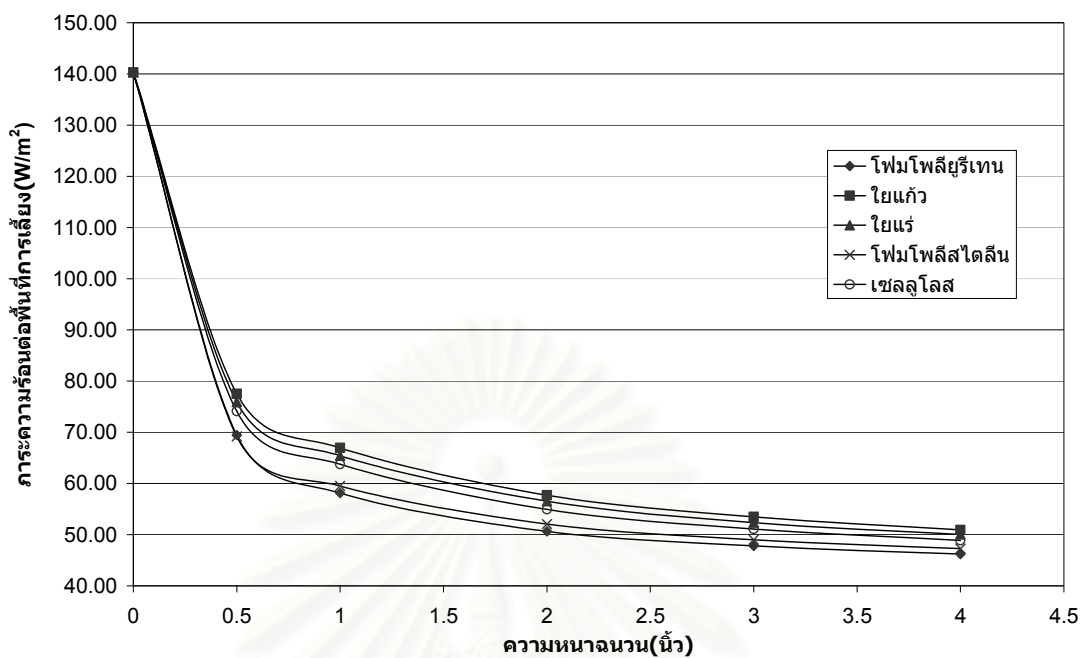
เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. พบว่าในกรณีที่โรงเรือนไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนโรงเรือนกว้าง 12 เมตร จะมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร และจะห่างกันมากที่สุดในช่วงเที่ยงวันซึ่งห่างกันประมาณ  $1.2^{\circ}\text{C}$  แต่เมื่อพิจารณาโรงเรือนที่มีการติดฉนวนกลับพบว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่สูงกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร และเช่นเดียวกับกรณีของค่าการะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง การใช้นวนกันความร้อนที่มีความเป็นฉนวนมากขึ้น(ความหนาเพิ่มขึ้น) จะมีผลในการช่วยลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ได้ดีกว่ากว้าง 12 เมตร เพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 5.15-5.19 โดยค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงสามารถดูได้จากรูปที่ ค.11- ค.20

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีความร้อน BGHI พบว่าแนวโน้มต่างๆจะเป็นลักษณะเดียวกับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยดังรูปที่ 5.20-5.27 แต่ความแตกต่างของค่า BGHI ระหว่างโรงเรือนทั้ง 2 จะมีเพียงเล็กน้อยไม่ว่าจะเป็นกรณีที่โรงเรือนที่มีการติดฉนวนกันความร้อนหรือโรงเรือนที่ไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนซึ่งจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.15 โดยค่าดัชนีความร้อน BGHI เป็นรายชั่วโมงสามารถดูได้จากรูปที่ ค.21- ค.30

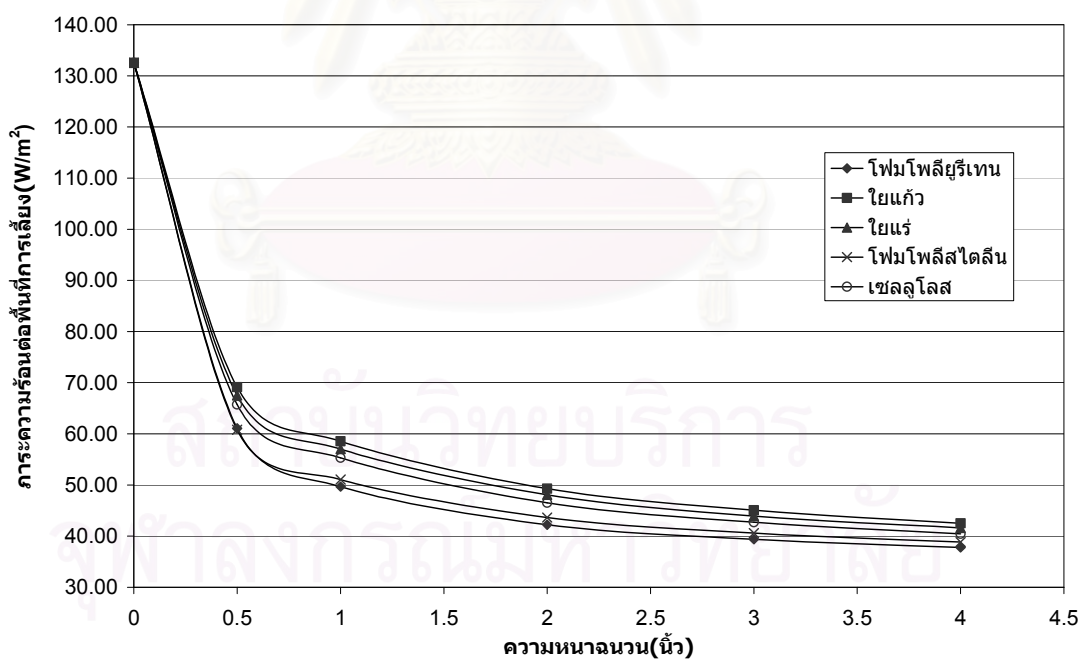
จากผลการคำนวณเห็นว่าฉนวนประเภท โฟมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าฉนวนประเภทอื่นๆและความหนาที่เหมาะสมในการใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 2 นิ้วเนื่องจากการเพิ่มความ



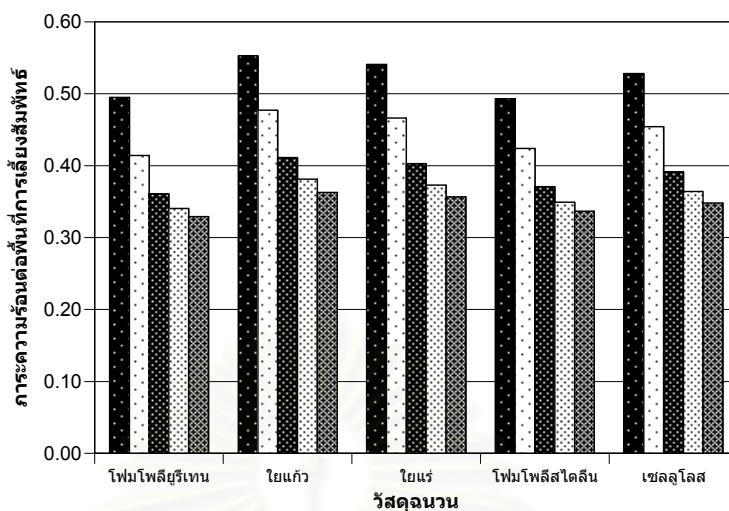
หนาให้มากขึ้นกว่านี้จะช่วยลดค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงได้อีกเพียงเล็กน้อย จากรูปที่ 5.28-5.30 จะเป็นการเปรียบเทียบค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนโพลีเอทิลีน เทน พบว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว ในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเท่ากับการใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร แต่มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI สูงกว่าประมาณ  $0.5^{\circ}\text{C}$  และ 0.12 ตามลำดับ และการใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว ในโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงน้อยกว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว ในโรงเรือนกว้าง 12 เมตร แต่มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จากผลการคำนวณที่กล่าวมาจะเห็นว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีความได้เปรียบโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ในเชิงความร้อนอยู่พอสมควรเนื่องจากหากพิจารณาให้พื้นที่ที่ใช้เลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อเท่ากัน โรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีสัดส่วนของพื้นที่ที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์เช่น หลังคาและผนังด้านข้าง น้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร โดยผลของการถ่ายเทความร้อนที่แสดงผ่านพารามิเตอร์ต่างๆจะยิ่งเห็นได้ชัดเจนอย่างยิ่งตอนเวลาที่เที่ยงวันซึ่งเป็นช่วงที่หลังคาได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุด



รูปที่ 5.1 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น.  
สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตร

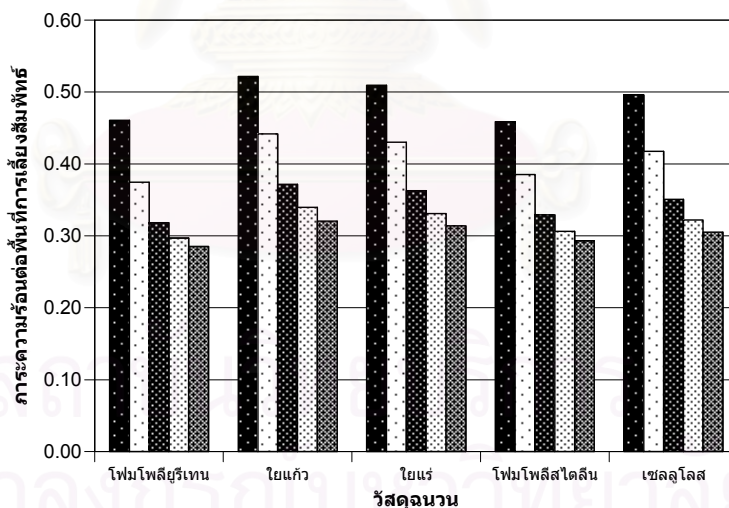


รูปที่ 5.2 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น.  
สำหรับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร



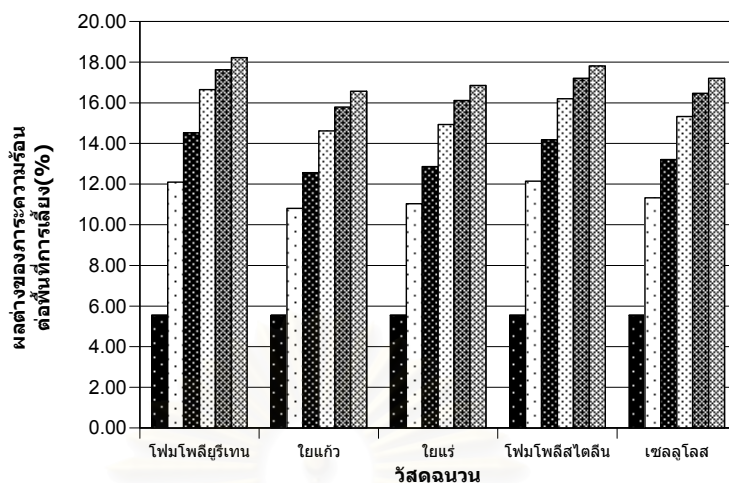
	โฟมโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โฟมโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ จำนวนหนา 0.5 นิ้ว	0.49	0.55	0.54	0.49	0.53
□ จำนวนหนา 1 นิ้ว	0.41	0.48	0.47	0.42	0.45
▨ จำนวนหนา 2 นิ้ว	0.36	0.41	0.40	0.37	0.39
▩ จำนวนหนา 3 นิ้ว	0.34	0.38	0.37	0.35	0.36
▪ จำนวนหนา 4 นิ้ว	0.33	0.36	0.36	0.34	0.35

รูปที่ 5.3 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่ในการเลี้ยงสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโรงเรียนที่ไม่มีการติดฉนวน เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตร



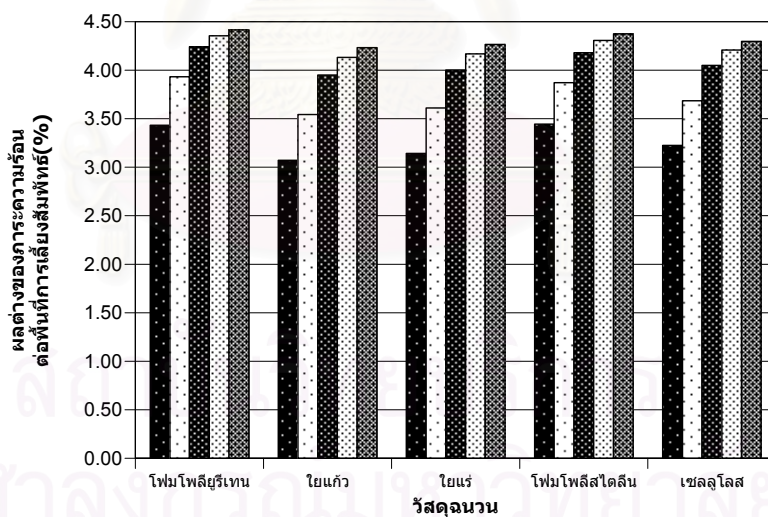
	โฟมโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โฟมโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ จำนวนหนา 0.5 นิ้ว	0.46	0.52	0.51	0.46	0.50
□ จำนวนหนา 1 นิ้ว	0.37	0.44	0.43	0.39	0.42
▨ จำนวนหนา 2 นิ้ว	0.32	0.37	0.36	0.33	0.35
▩ จำนวนหนา 3 นิ้ว	0.30	0.34	0.33	0.31	0.32
▪ จำนวนหนา 4 นิ้ว	0.29	0.32	0.31	0.29	0.31

รูปที่ 5.4 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่ในการเลี้ยงสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโรงเรียนที่ไม่มีการติดฉนวน เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. สำหรับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร



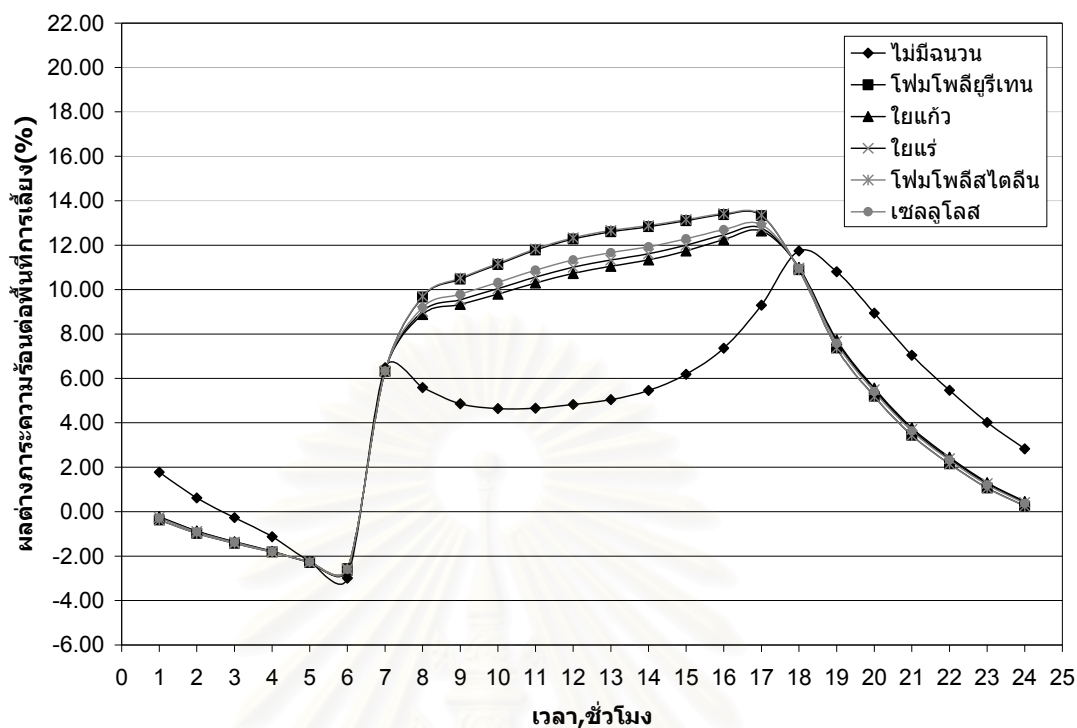
	โพนโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โพนโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ ไม่มีฉนวน	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55
□ ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว	12.10	10.80	11.04	12.15	11.32
▨ ฉนวนหนา 1 นิ้ว	14.52	12.56	12.87	14.18	13.21
▩ ฉนวนหนา 2 นิ้ว	16.65	14.62	14.93	16.20	15.32
▪ ฉนวนหนา 3 นิ้ว	17.63	15.79	16.11	17.20	16.46
▧ ฉนวนหนา 4 นิ้ว	18.22	16.57	16.85	17.82	17.21

รูปที่ 5.5 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การแผ่รังสีรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร

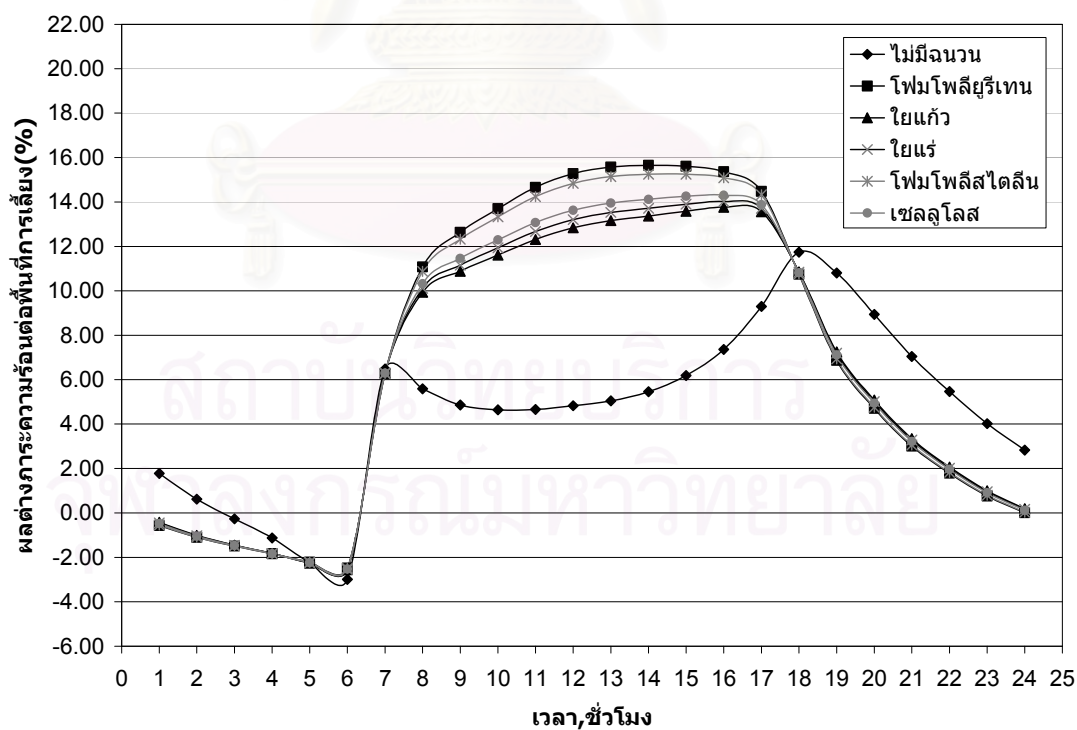


	โพนโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โพนโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว	3.43	3.07	3.14	3.45	3.22
□ ฉนวนหนา 1 นิ้ว	3.93	3.54	3.61	3.87	3.69
▨ ฉนวนหนา 2 นิ้ว	4.24	3.95	4.00	4.18	4.05
▩ ฉนวนหนา 3 นิ้ว	4.36	4.13	4.17	4.31	4.21
▪ ฉนวนหนา 4 นิ้ว	4.42	4.23	4.26	4.38	4.30

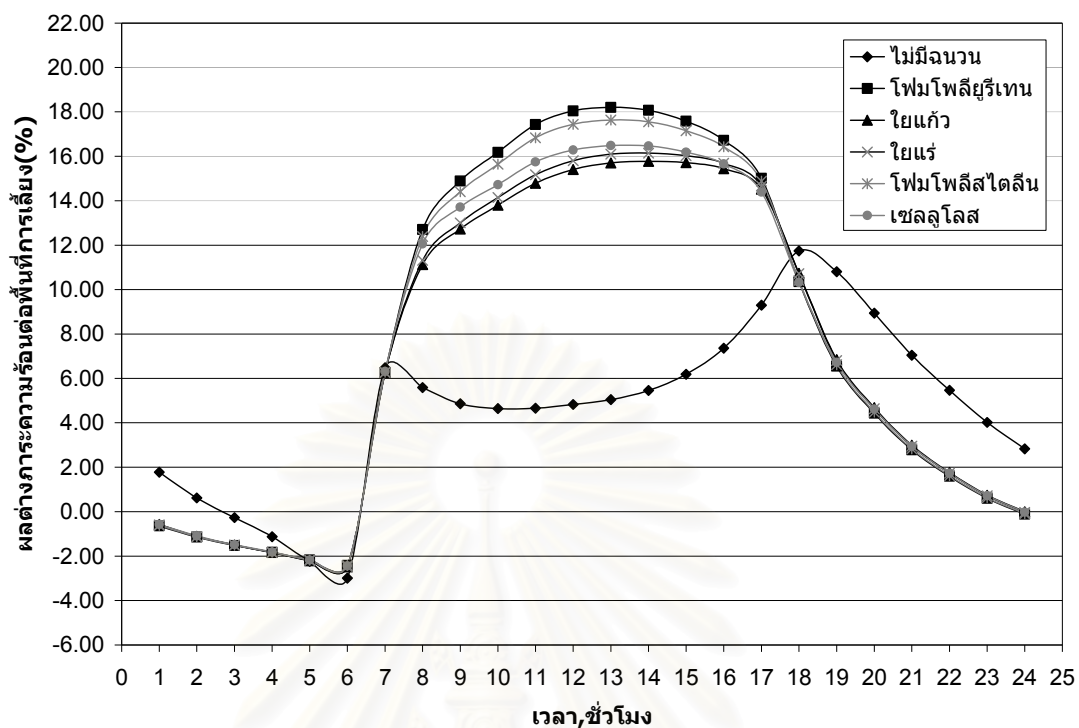
รูปที่ 5.6 ผลต่างของค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การแผ่รังสีสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่มีฉนวนคิดฉนวนเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น. ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร



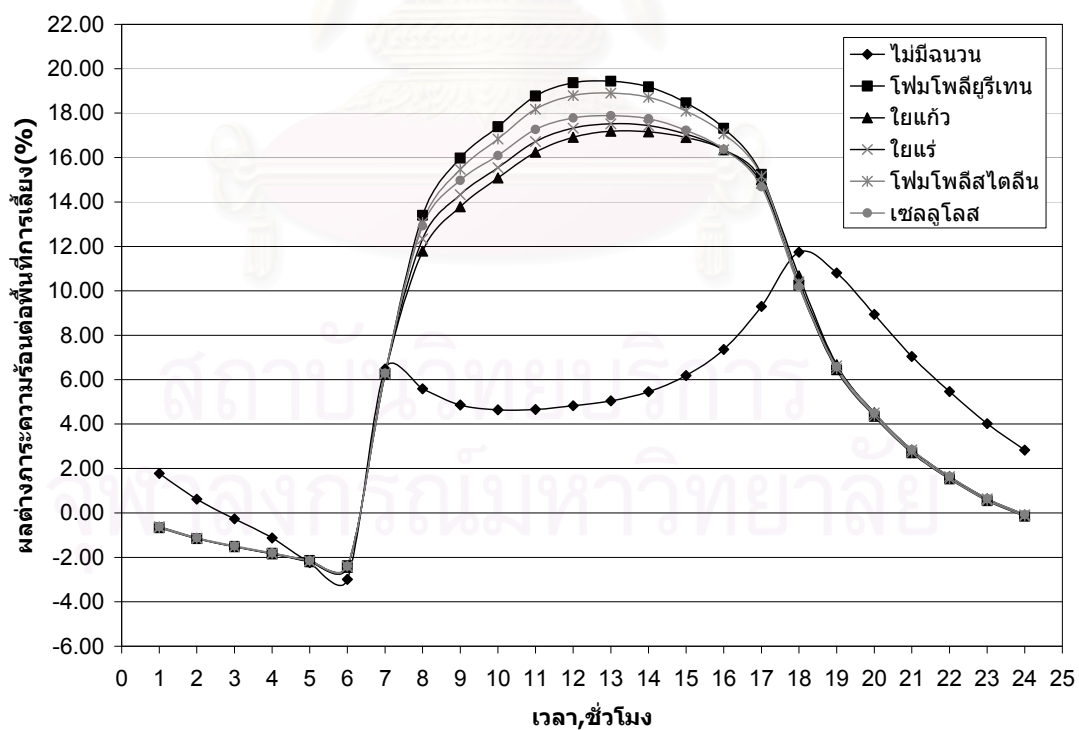
รูปที่ 5.7 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงระหว่าง  
โรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



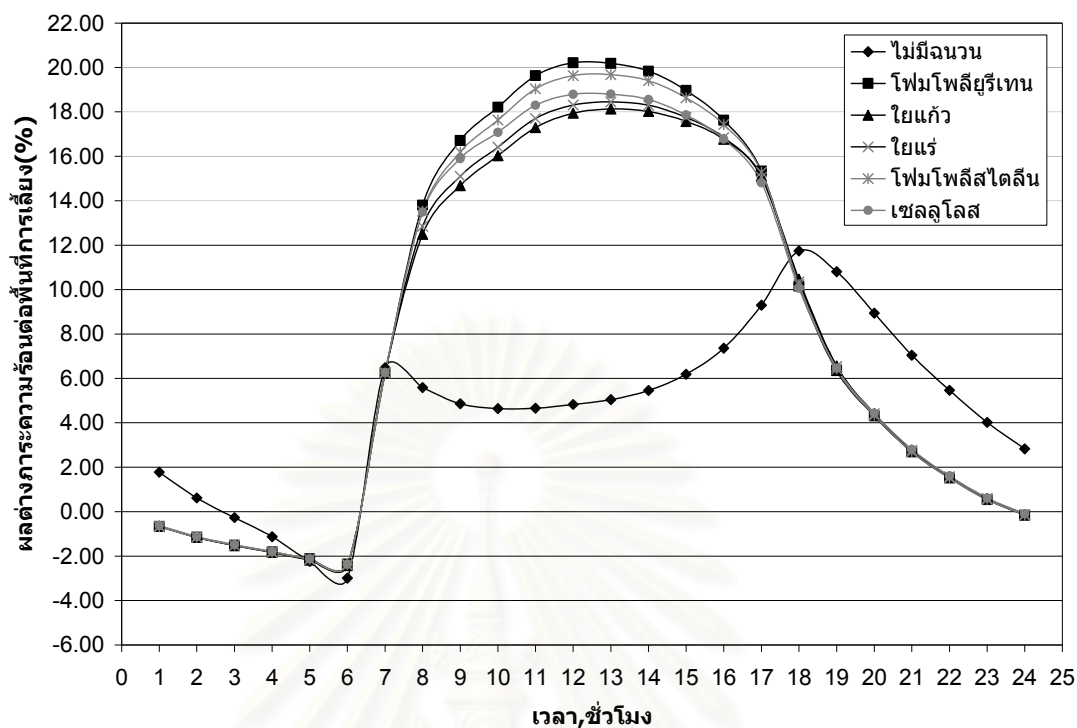
รูปที่ 5.8 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงระหว่าง  
โรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



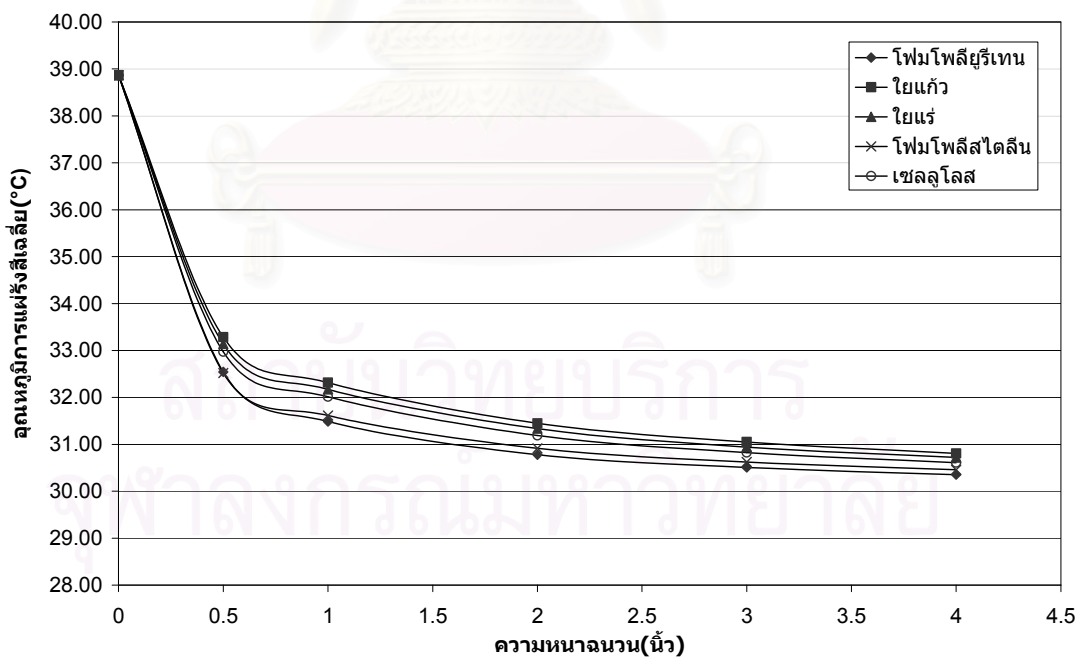
รูปที่ 5.9 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงระหว่าง  
โรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



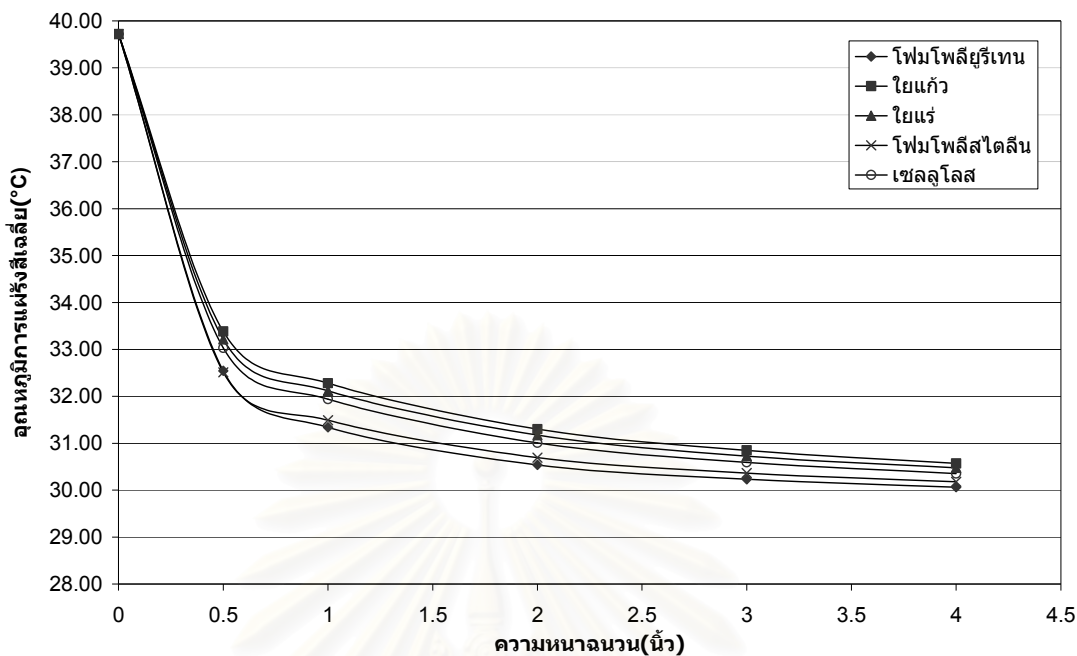
รูปที่ 5.10 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงระหว่าง  
โรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



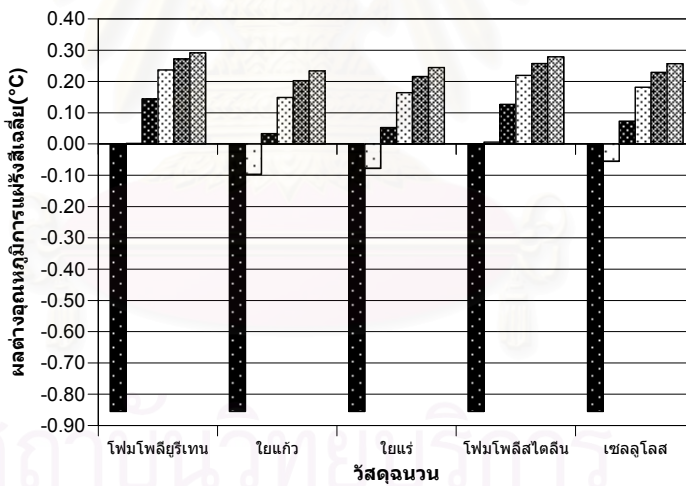
รูปที่ 5.11 ผลต่างคิดเป็นร้อยละของค่าการเพิ่มความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงระหว่าง  
โรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



รูปที่ 5.12 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น.  
สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตร



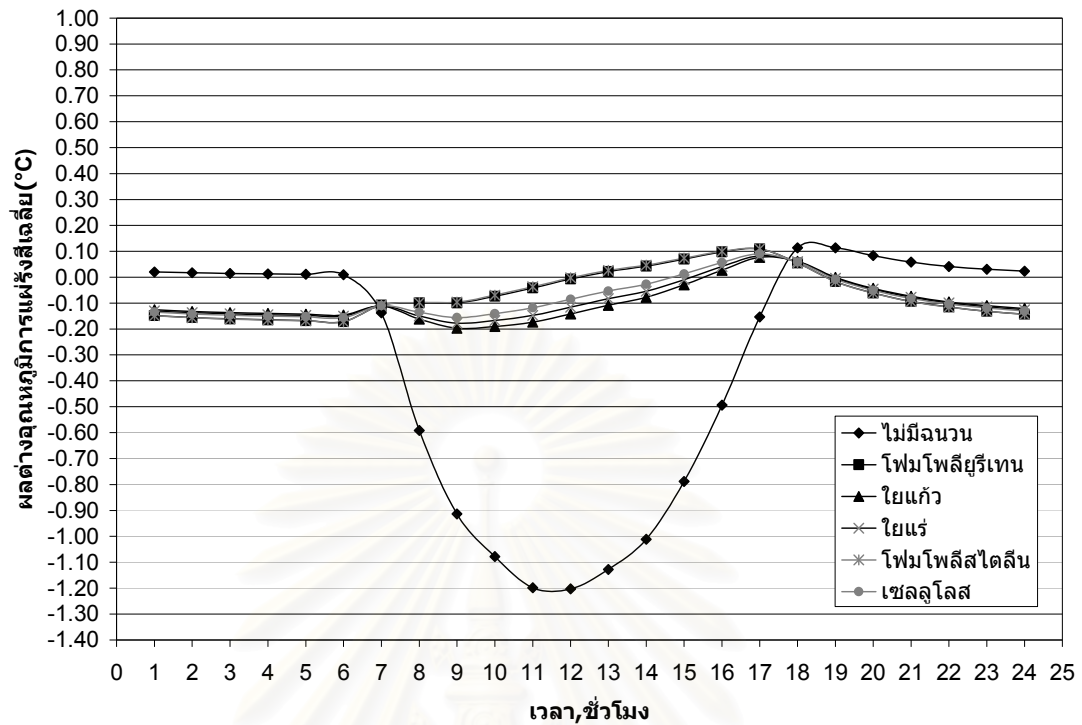
รูปที่ 5.13 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น.  
สำหรับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร



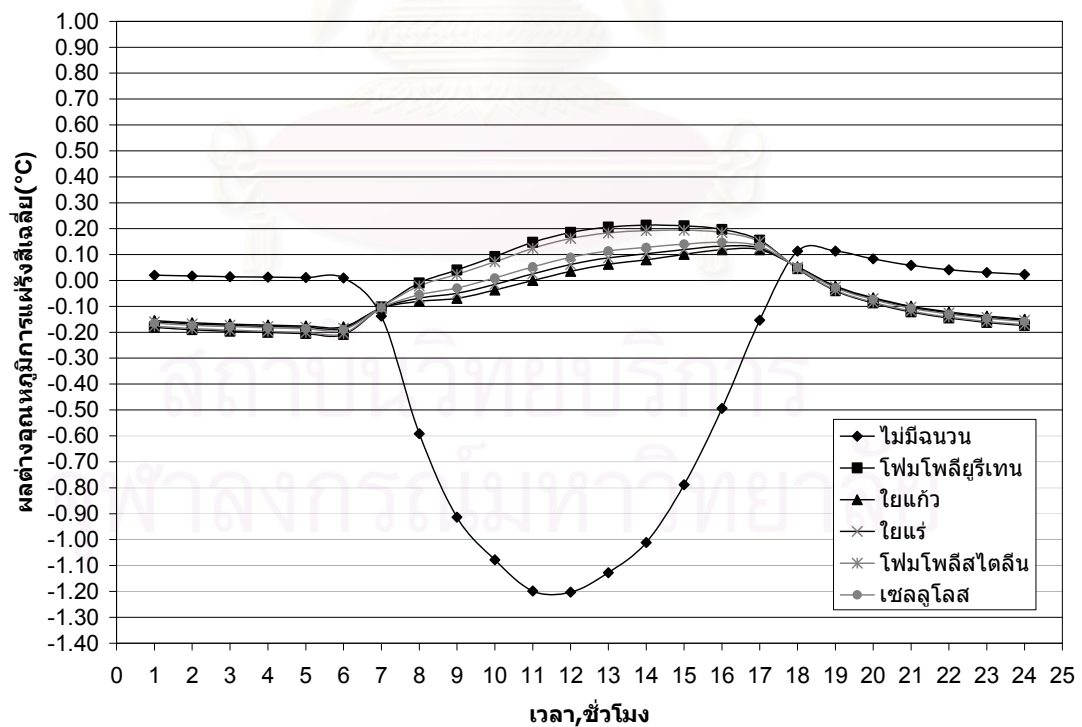
รูปที่ 5.14 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.- 17.00 น.  
ระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร

	โฟมโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โฟมโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ ไม่มีจำนวน	-0.86	-0.86	-0.86	-0.86	-0.86
□ จำนวน 0.5 นิ้ว	0.00	-0.10	-0.08	0.01	-0.06
■ จำนวน 1 นิ้ว	0.14	0.03	0.05	0.13	0.07
□ จำนวน 2 นิ้ว	0.24	0.15	0.16	0.22	0.18
■ จำนวน 3 นิ้ว	0.27	0.20	0.22	0.26	0.23
■ จำนวน 4 นิ้ว	0.29	0.23	0.24	0.28	0.26

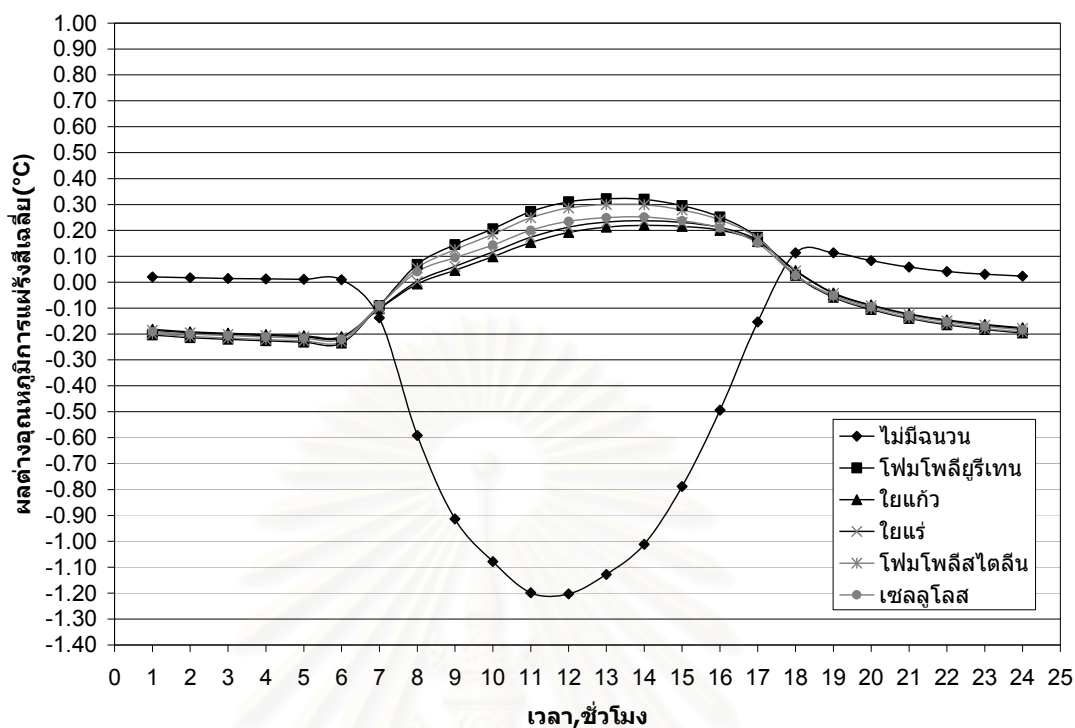




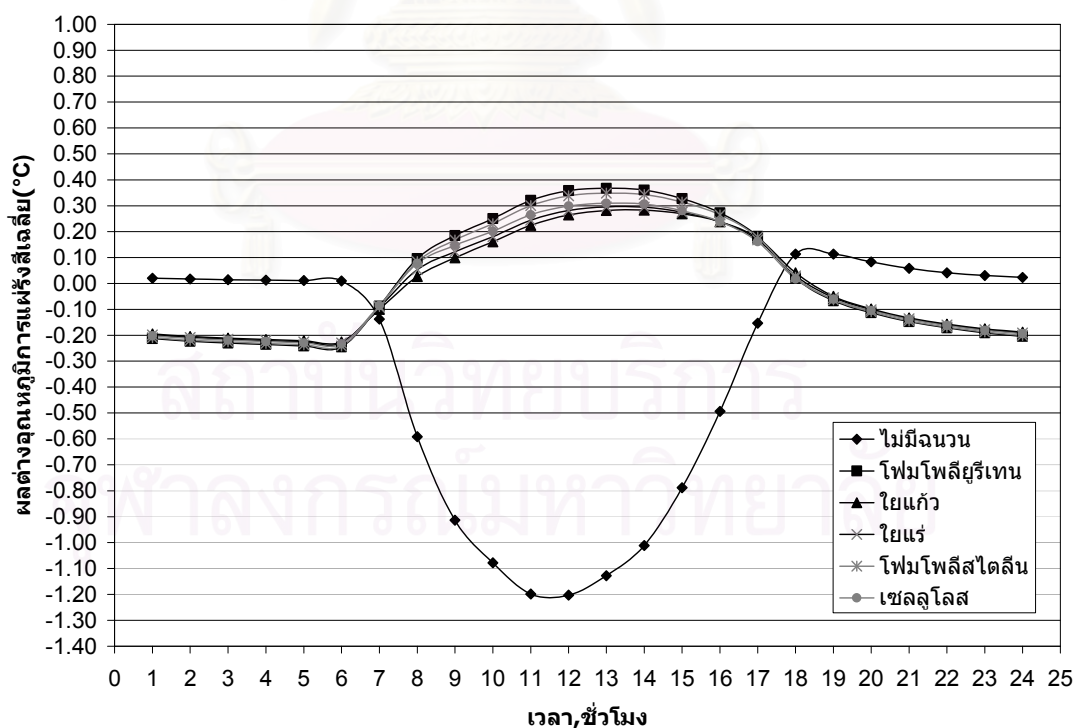
รูปที่ 5.15 ผลต่างของอณุมุมการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



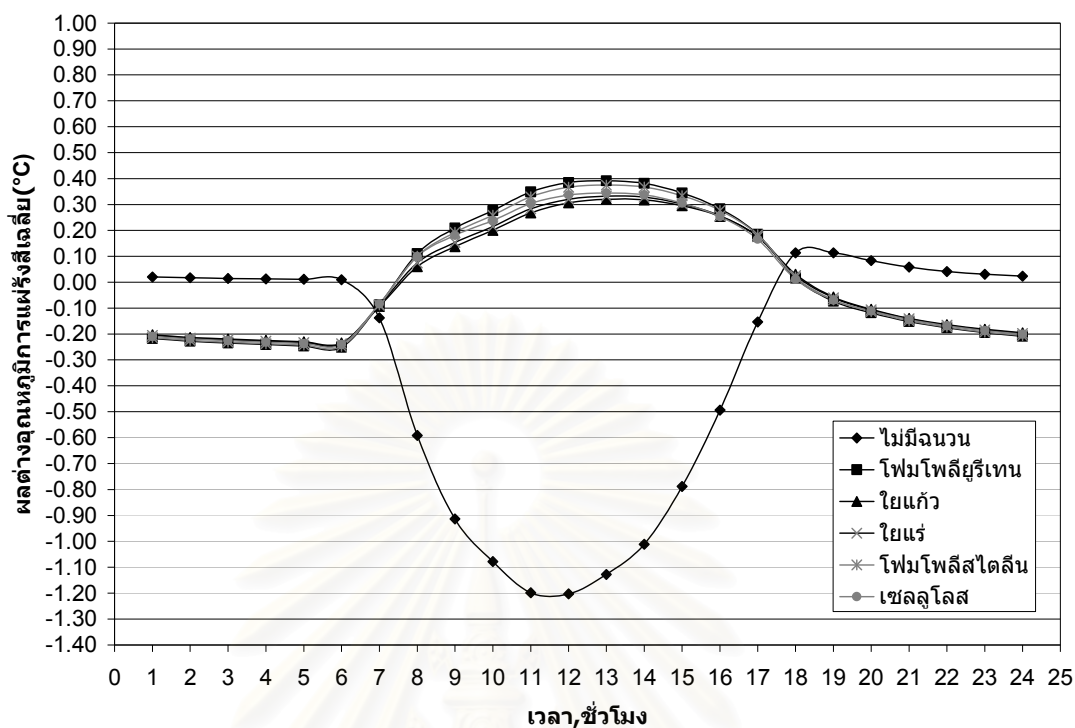
รูปที่ 5.16 ผลต่างของอณุมุมการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



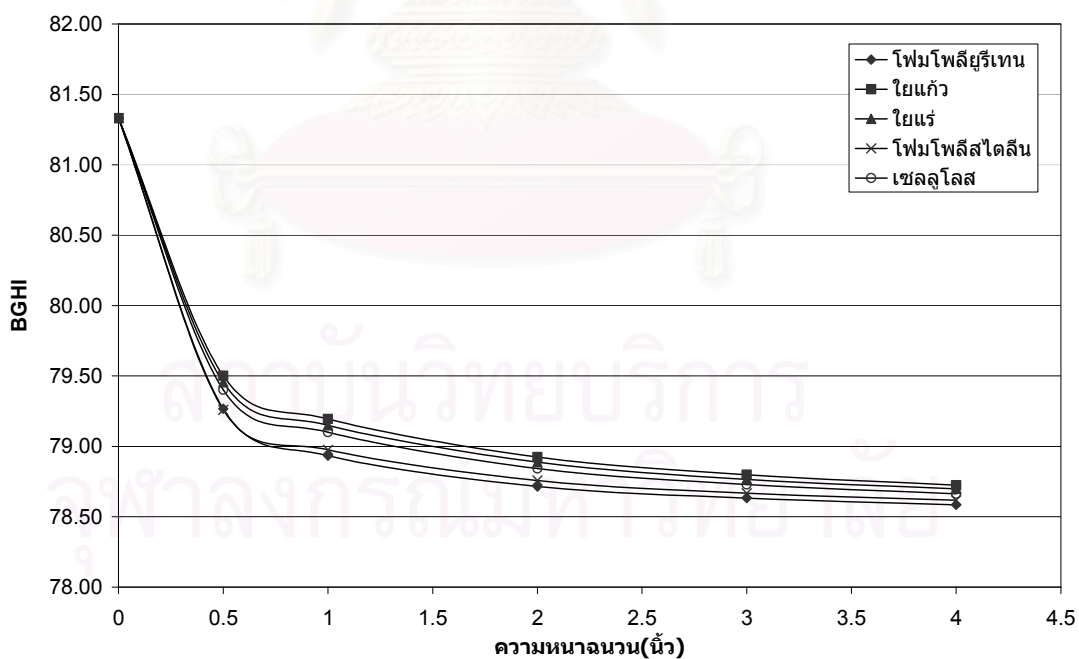
รูปที่ 5.17 ผลต่างของอณุมุมการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



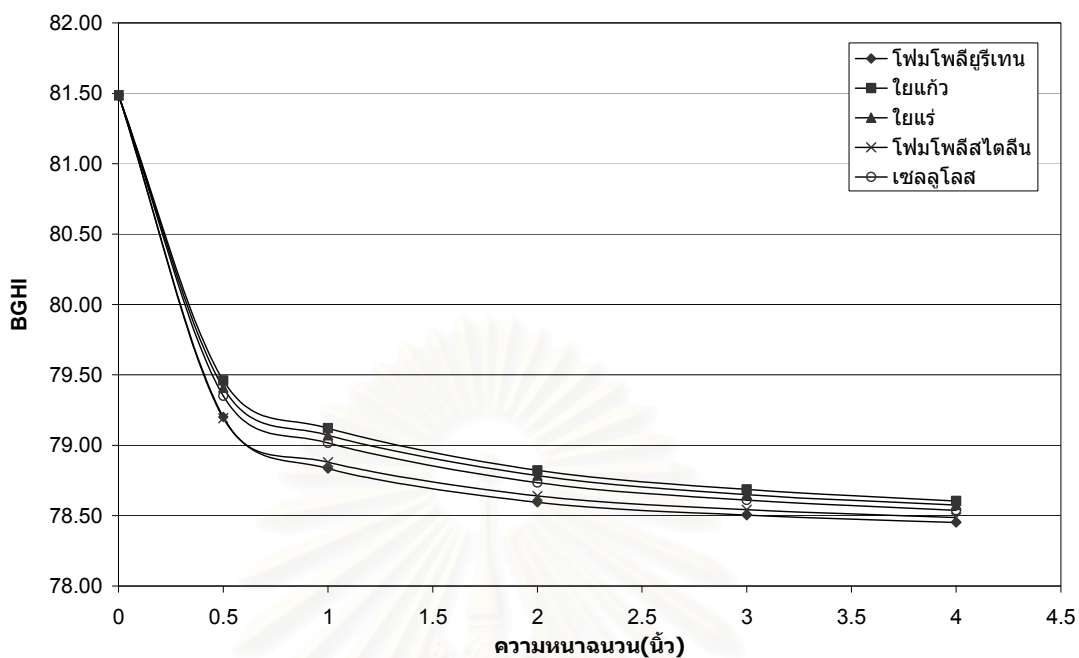
รูปที่ 5.18 ผลต่างของอณุมุมการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



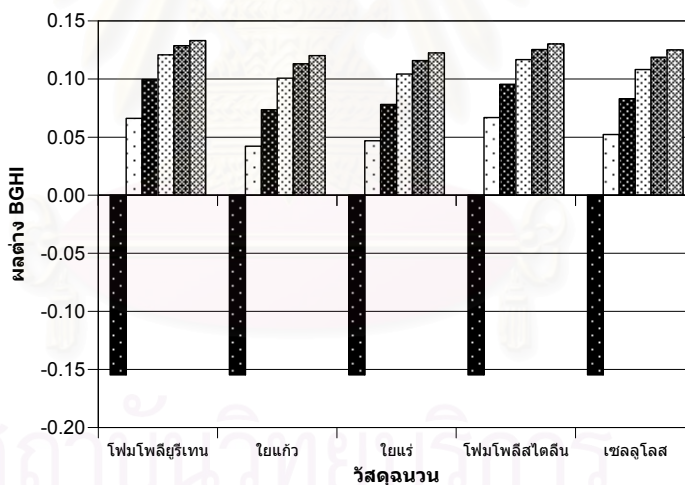
รูปที่ 5.19 ผลต่างของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



รูปที่ 5.20 ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น. - 17.00 น. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร

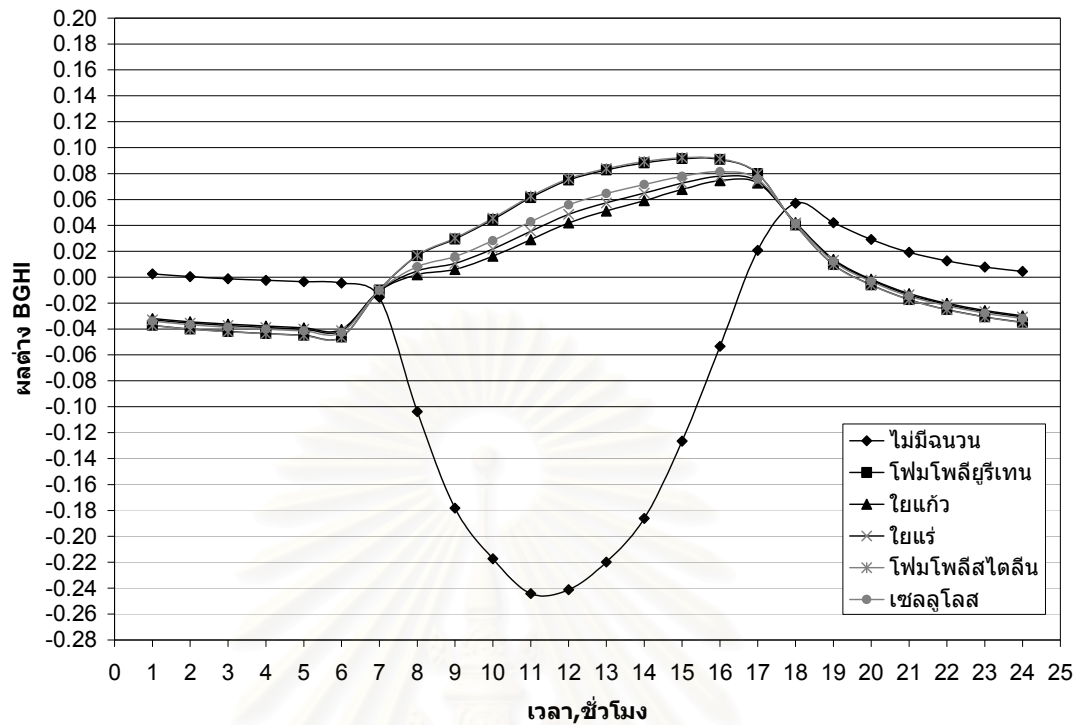


รูปที่ 5.21 คำนีความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น. - 17.00 น.  
สำหรับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร

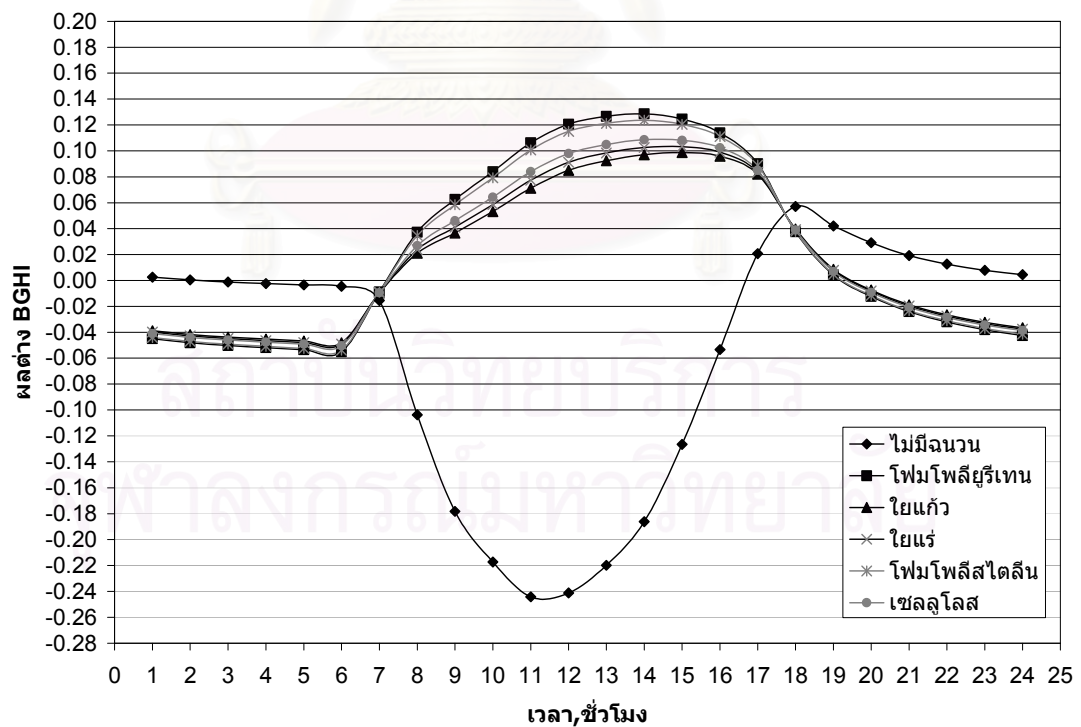


	โฟมโพลียูรีเทน	โยแก้ว	โยแร่	โฟมโพลีสไตรีน	เซลลูโลส
■ ไม่มีฉนวน	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
□ ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว	0.07	0.04	0.05	0.07	0.05
▒ ฉนวนหนา 1 นิ้ว	0.10	0.07	0.08	0.10	0.08
▣ ฉนวนหนา 2 นิ้ว	0.12	0.10	0.10	0.12	0.11
▤ ฉนวนหนา 3 นิ้ว	0.13	0.11	0.12	0.13	0.12
▥ ฉนวนหนา 4 นิ้ว	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13

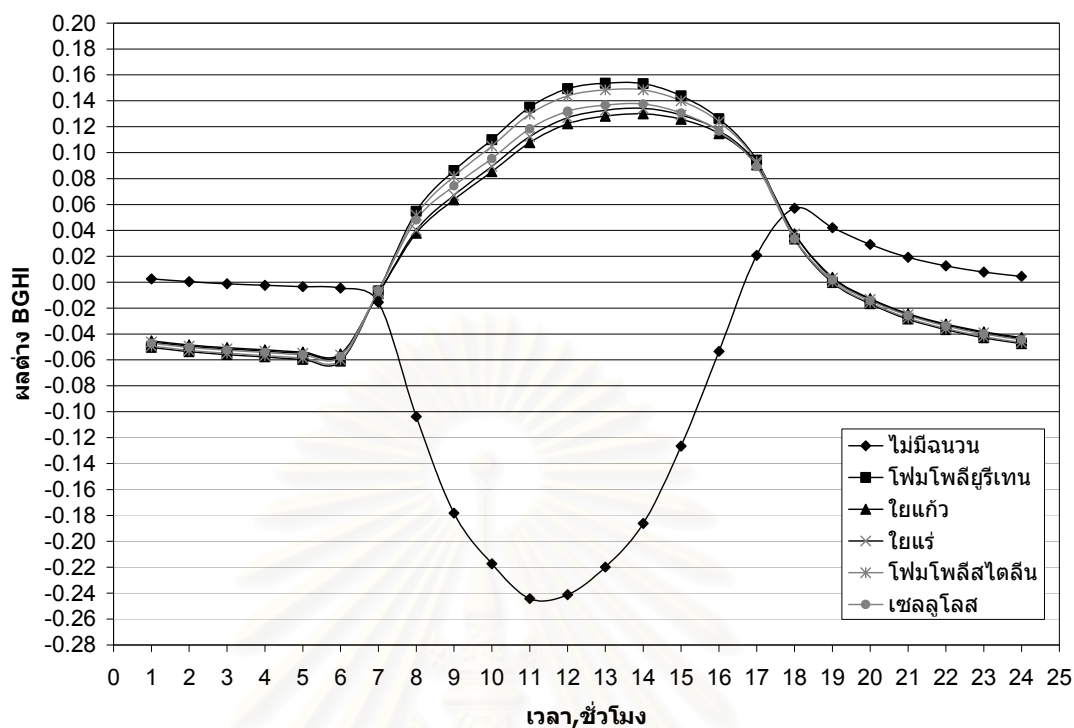
รูปที่ 5.22 ผลต่างคำนีความร้อน BGHI เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.  
ระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร



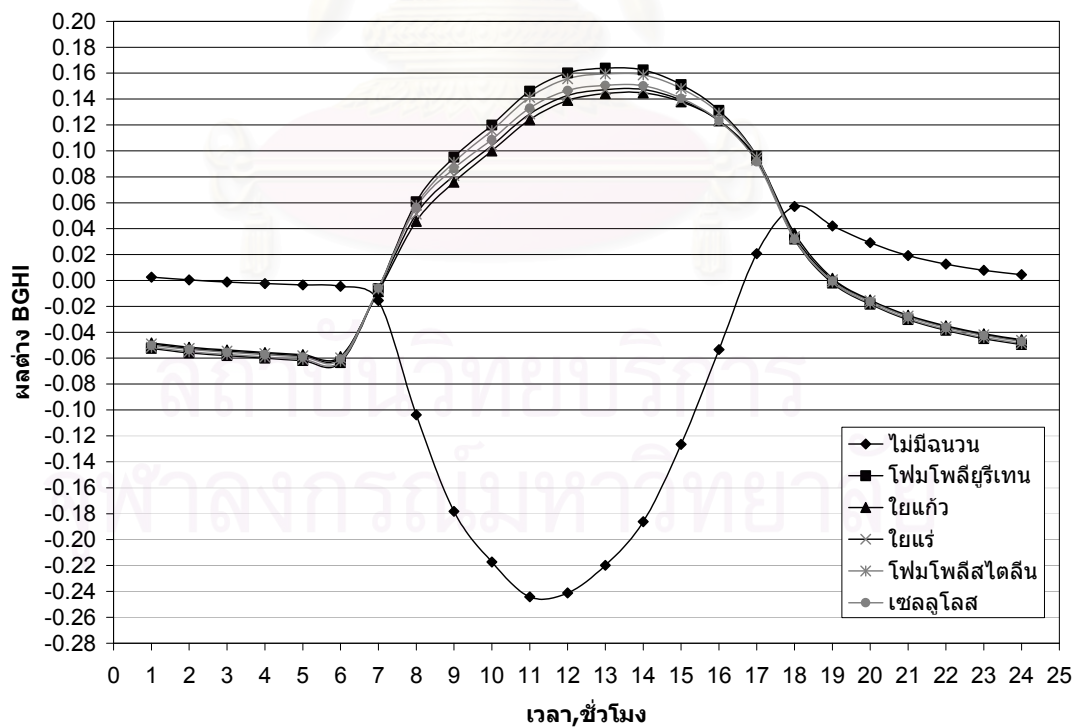
รูปที่ 5.23 ผลต่างของดัชนีความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ  
โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



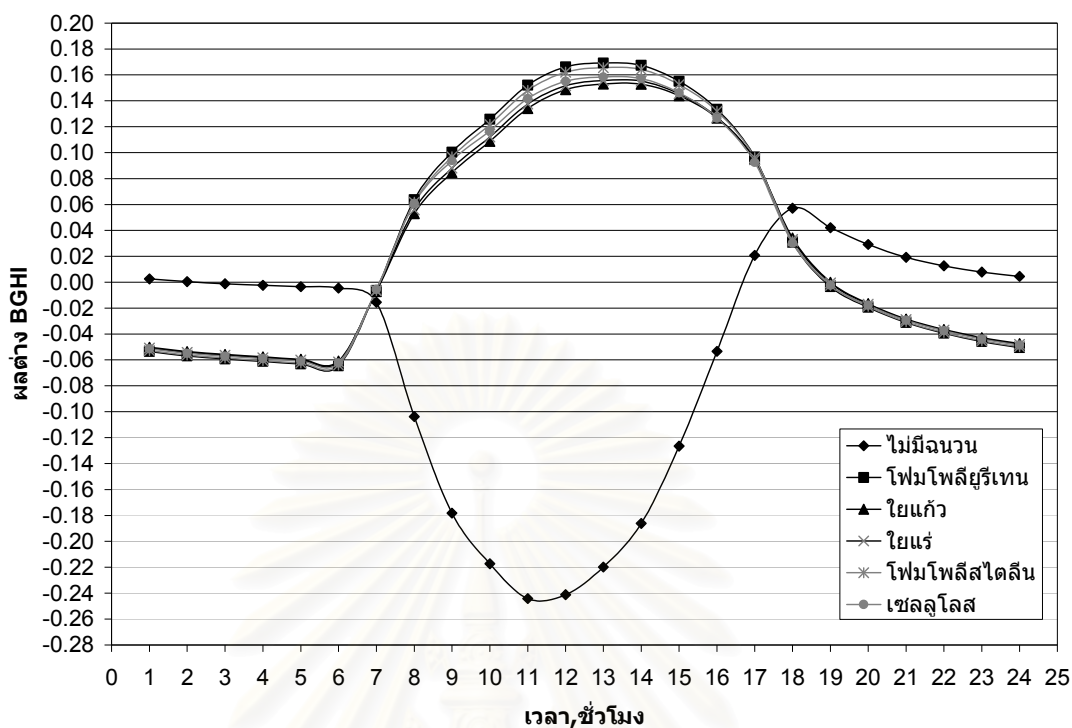
รูปที่ 5.24 ผลต่างของดัชนีความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรียนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ  
โรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



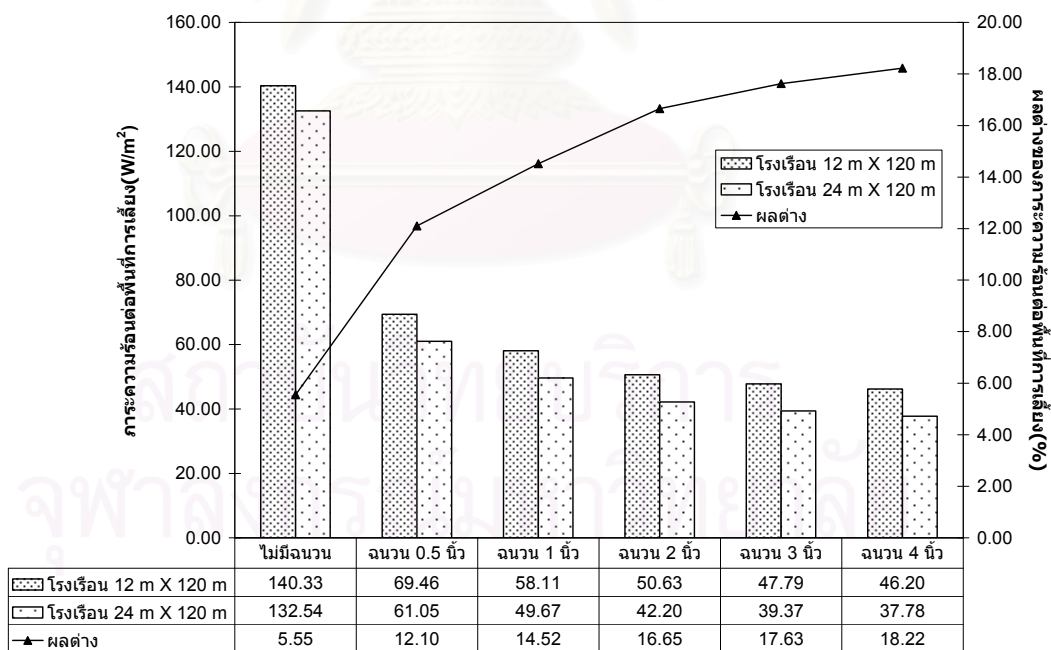
รูปที่ 5.25 ผลต่างของดัชนีความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ  
โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



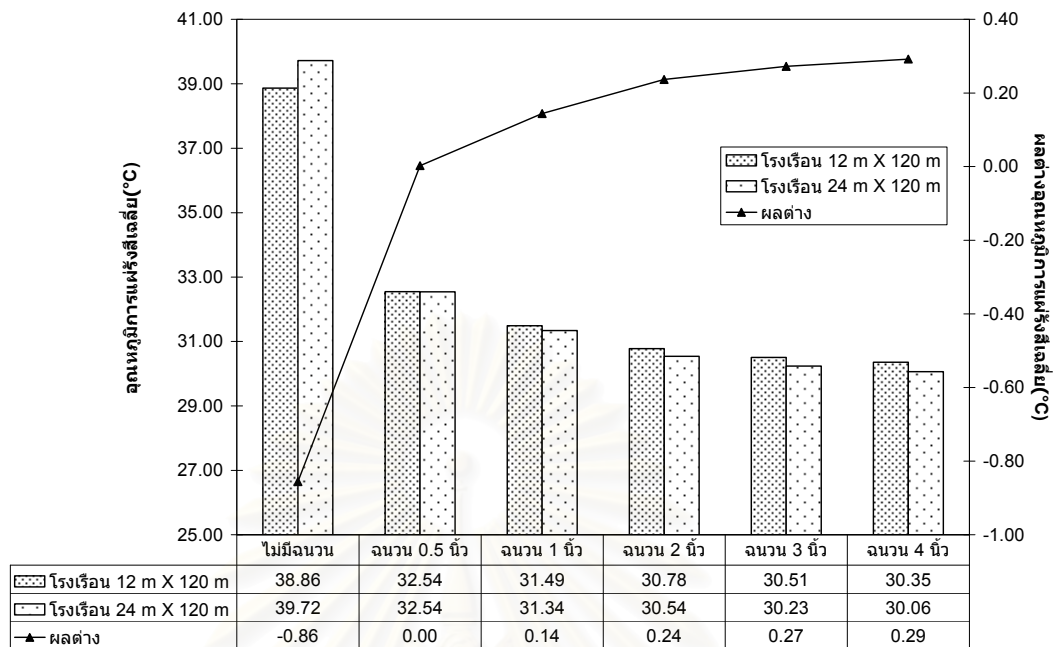
รูปที่ 5.26 ผลต่างของดัชนีความร้อน BGHI ระหว่างโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ  
โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



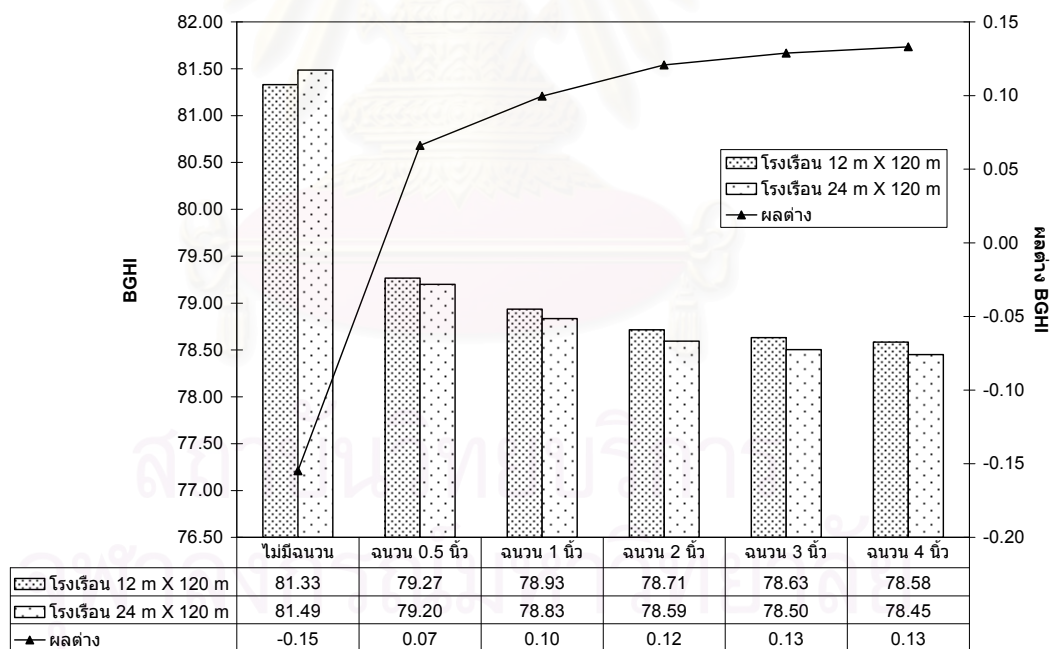
รูปที่ 5.27 ผลต่างของดัชนีความร้อน BGHI ระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร เทียบกับ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



รูปที่ 5.28 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ โรงเรือนกว้าง 24 เมตร เกลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.



รูปที่ 5.29 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร และโรงเรียนกว้าง 24 เมตร  
เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.



รูปที่ 5.30 คำนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร และโรงเรียนกว้าง 24 เมตร  
เฉลี่ยรายปีในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น.



## 5.2 อิทธิพลของความสูงหลังคาที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน

ในในหัวข้อนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของโรงเรือนที่มีความสูงหลังคาที่แตกต่างกันโดยที่ขนาดของตัวโรงเรือนและพื้นที่การเลี้ยงนั้นคงที่ เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนประกอบของโรงเรือนที่สำคัญและเป็นสัดส่วนพื้นที่ที่มากในการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกโดยเฉพาะจากแสงอาทิตย์ การที่ทำให้ความสูงหลังคามีขนาดที่ต่างกันย่อมจะทำให้รูปร่างของโรงเรือนต่างกันด้วยแต่การพิจารณาจะยึดถึงพื้นที่ในการเลี้ยงเป็นหลักในการเปรียบเทียบ โดยจะชดเชยในส่วนของปริมาตรของโรงเรือนที่ต่างกันด้วยหลักของการระบายอากาศ หลักของการระบายอากาศที่ใช้จะพิจารณาให้จะต้องมีการถ่ายเทอากาศเท่ากับปริมาตรของโรงเรือนใน 1 นาที ดังที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อ 2.3

การศึกษาถึงอิทธิพลของความสูงหลังคาที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน จะทำการกำหนดความสูงหลังคาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ดังนั้นมุมหลังคาที่นำมาพิจารณาในหัวข้อนี้จึงไม่ได้ทำเป็นมุมที่มีระยะห่างต่อเนื่อง โดยความสูงหลังคาที่นำมาพิจารณาในหัวข้อนี้จะมีระยะตั้งแต่ 0.3, 1.3, 2.3, 3.3 และ 4.3 เมตร สำหรับโรงเรือนที่จะนำมาพิจารณาในหัวข้อนี้คือ โรงเรือนที่มีกว้าง 12 และ 24 เมตร มีการติดฉนวนกันความร้อนด้วยฉนวนโพนโพลียูรีเทนหนา 0, 0.5, 1, และ 2 นิ้ว

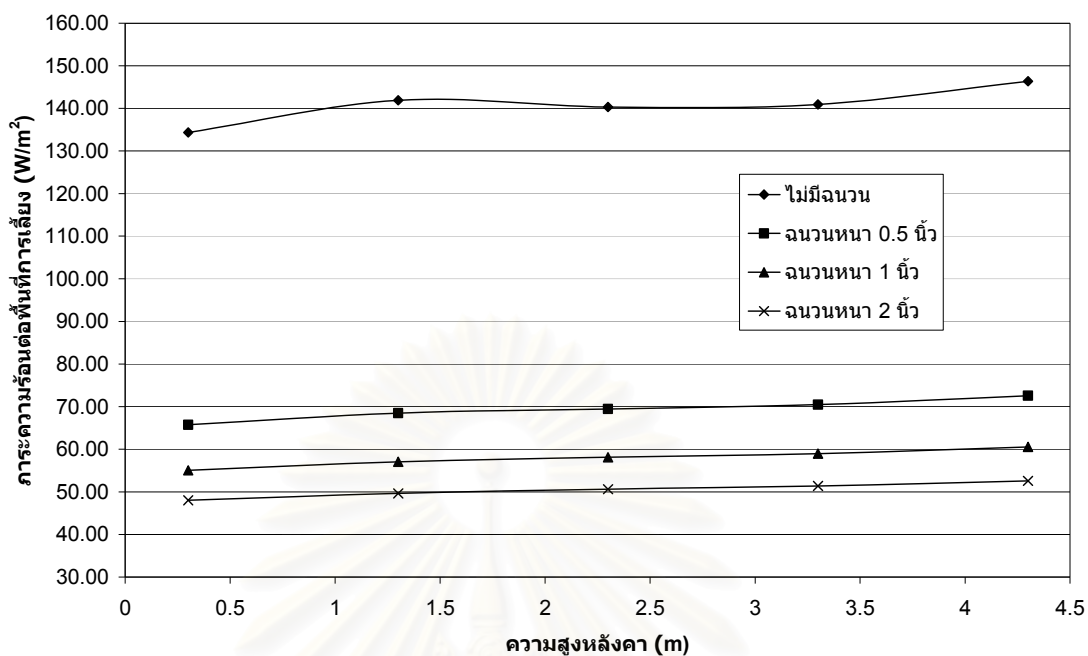
เมื่อพิจารณาค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากรูปที่ 5.31-5.36 พบว่าการเพิ่มความสูงหลังคาสำหรับโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตรจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงในแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันแต่โรงเรือนกว้าง 12 เมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงมากกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตรเล็กน้อย โดยทั่วไปค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจะเพิ่มขึ้นเมื่อโรงเรือนมีความสูงหลังคาที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับโรงเรือนที่ไม่ได้มีการติดฉนวนกันความร้อน โรงเรือนที่มีความสูงหลังคาประมาณ 1.3 เมตร กลับมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่มากกว่าโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร แต่โดยรวมแล้วการที่ความสูงหลังคาของโรงเรือนเพิ่มขึ้นจาก 0.3 เมตร ไปเป็น 4.3 เมตร จะทำให้โรงเรือนมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงมากขึ้นประมาณ 7%-8%

เมื่อทำการพิจารณาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยกลับพบว่าการที่มีความสูงหลังคามากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในโรงเรือนนั้นลดลงซึ่งแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีลักษณะเดียวกันทั้งโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรแต่โรงเรือนกว้าง 12 เมตรจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเล็กน้อย โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงหลังคาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในกรณีโรงเรือนที่ไม่ได้ติดฉนวนกันความร้อนมากกว่าโรงเรือนที่ติดฉนวนกันความร้อน โดยการที่ความสูงหลังคาของโรงเรือนเพิ่มขึ้นจาก 0.3

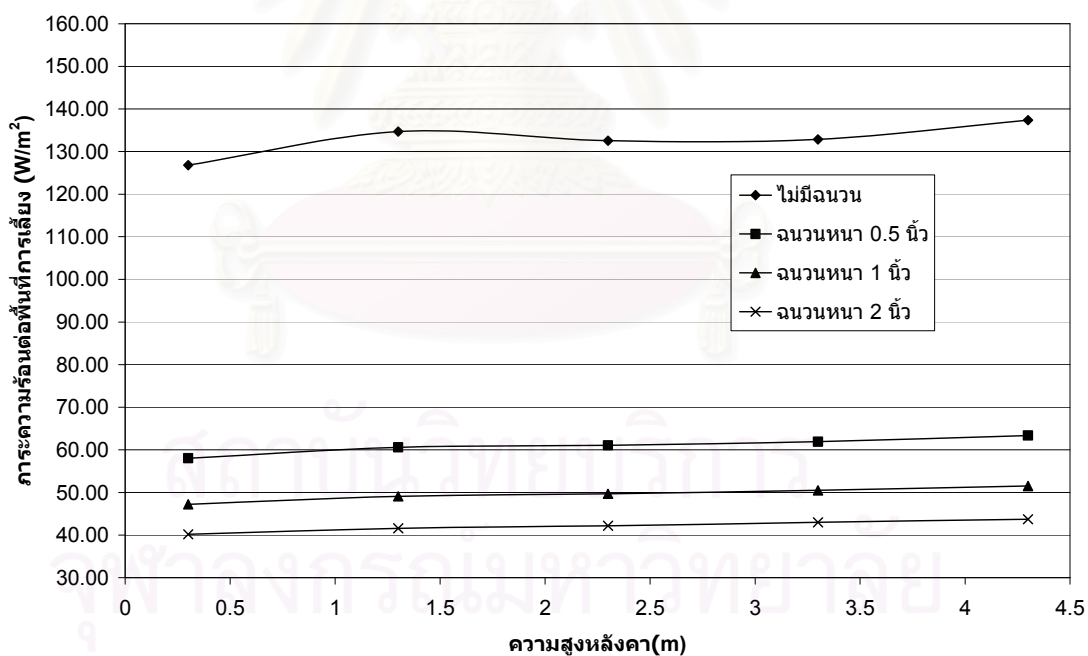
เมตร ไปเป็น 4.3 เมตรจะทำให้โรงเรือนมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงประมาณ  $2^{\circ}\text{C}$ - $2.5^{\circ}\text{C}$  ในกรณีโรงเรือนที่ไม่ได้ทำการติดฉนวนกันความร้อนและ  $1^{\circ}\text{C}$ - $1.5^{\circ}\text{C}$  ในกรณีที่โรงเรือนมีการติดฉนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 5.37-5.42

เมื่อทำการพิจารณาค่าดัชนีความร้อน BGHI จะได้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยคือการที่มีความสูงหลังคามากขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความร้อน BGHI ในโรงเรือนนั้นลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงหลังคาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความร้อน BGHI ในกรณีโรงเรือนที่ไม่ได้ติดฉนวนกันความร้อนมากกว่าโรงเรือนที่ติดฉนวนกันความร้อนโดยการที่มุมหลังคาของโรงเรือนเพิ่มขึ้นจาก 0.3 เมตร ไปเป็น 4.3 เมตรจะทำให้โรงเรือนมีค่าดัชนีความร้อน BGHI ลดลงประมาณ 2-2.5 ในกรณีโรงเรือนที่ไม่ได้ทำการติดฉนวนกันความร้อนและ 1-1.5 ในกรณีที่โรงเรือนมีการติดฉนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 5.43-5.48

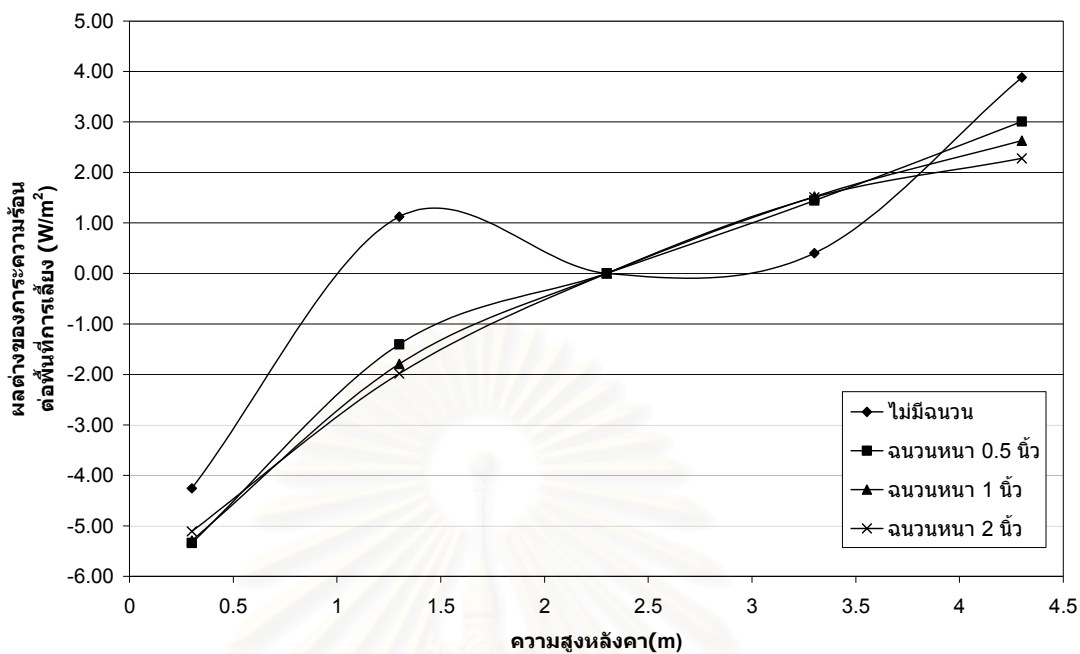
จากผลการคำนวณจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจะเพิ่มขึ้นเมื่อโรงเรือนมีความสูงหลังคาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความสูงหลังคานั้นจะไปเพิ่มพื้นที่ในส่วนของหลังคาทำให้ปริมาณความร้อนโดยรวมเพิ่มมากขึ้นไปด้วย แต่ไม่ใช่ว่าฟลักซ์ความร้อนที่หลังคาจะมากกว่าเสมอไปเนื่องจากการที่มีความสูงหลังคาที่มากขึ้น(มีความชันมากขึ้น)จะเป็นการบังมุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบทำให้หลังคามีช่วงเวลาและปริมาณการรับแดดที่เปลี่ยนไปดังผลการคำนวณในรูปที่ 5.49-5.50 ซึ่งเป็นผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างฟลักซ์ความร้อนที่หลังคา กับความร้อนที่หลังคาต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว จะเห็นว่าที่ความสูงหลังคา 1.3 เมตร จะเป็นความสูงที่หลังคามีปริมาณ ฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดแต่ความสูงหลังคาที่มีปริมาณความร้อนผ่านเข้ามามากที่สุดจะเป็นความสูงหลังคา 4.3 เมตร สำหรับแนวโน้มของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่จะลดลงเมื่อโรงเรือนมีความสูงหลังคาที่เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากการที่ความสูงหลังคามากขึ้น(ความชันมากขึ้น)จะทำให้ตัวประกอบเชิงมุมที่หลังคาแต่ละด้านทำต่อตัว ใก้นั้นเปลี่ยนไป สัดส่วนการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาจะเอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งตรงข้ามกับโรงเรือนที่ความสูงหลังคาน้อยๆ สัดส่วนการแผ่รังสีจากหลังคาทั้ง 2 ด้านจะไม่ต่างกันมากนัก และสำหรับแนวโน้มของดัชนีความร้อน BGHI ที่จะลดลงเมื่อโรงเรือนมีความสูงหลังคาที่เพิ่มขึ้นนั้นส่วนหนึ่งก็จะมาจากผลของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงและอีกประการหนึ่งก็คือการที่โรงเรือนมีความสูงหลังคาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วลมที่ตัว ใก้นั้นมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากโรงเรือนที่มีปริมาตรมากจะมีอัตราการไหลของอากาศโดยรวมที่มากกว่าแต่พื้นที่หน้าตัดของตัวโรงเรือนและความสูงของซึ่งลมนั้นเท่าเดิมจึงทำให้มีความเร็วลมเพิ่มขึ้น



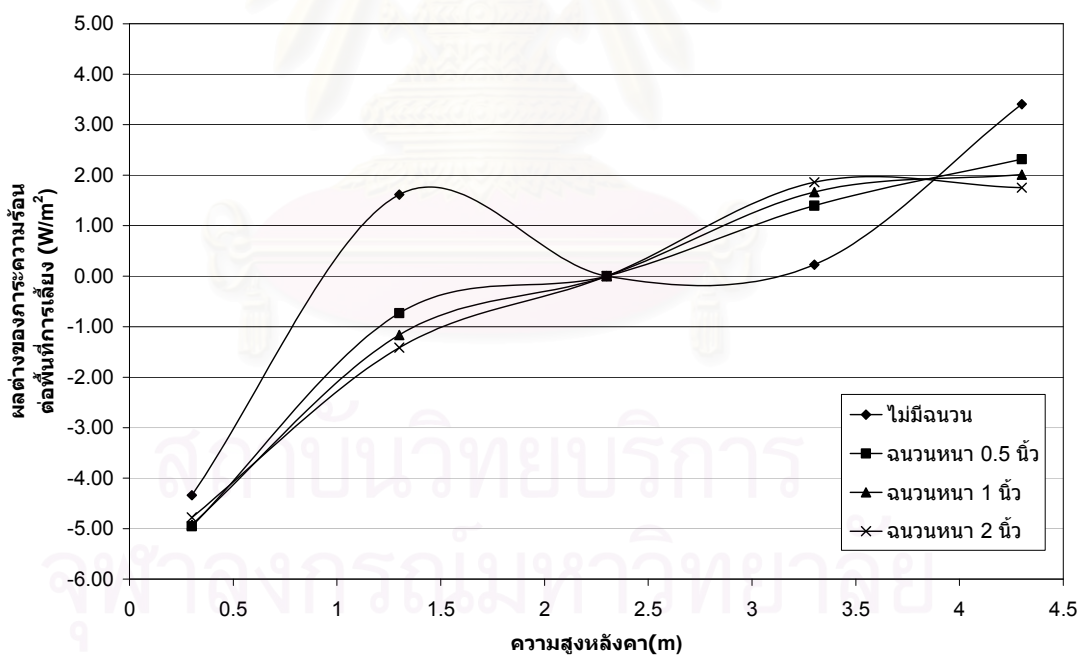
รูปที่ 5.31 ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งโฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



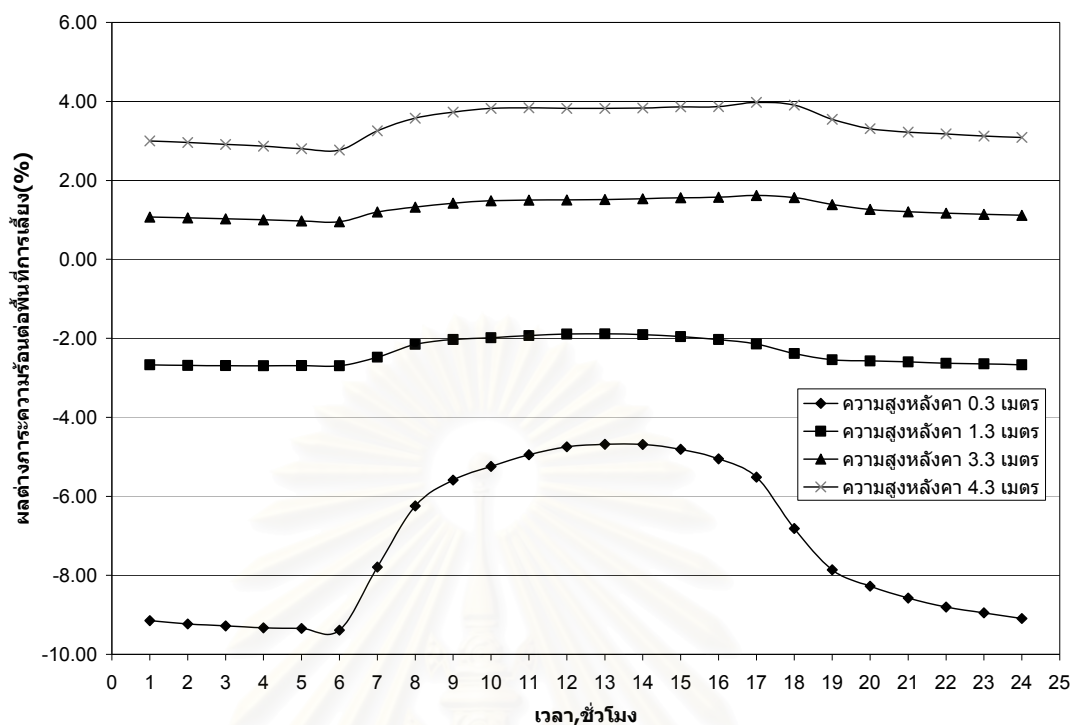
รูปที่ 5.32 ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งโฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



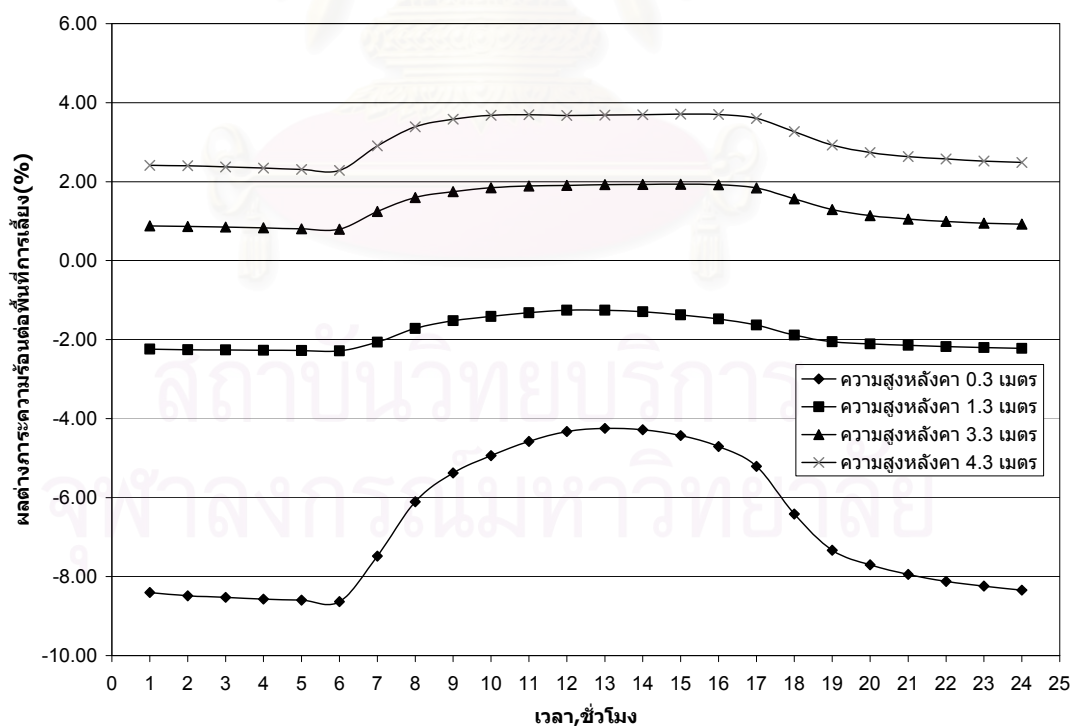
รูปที่ 5.33 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับ โรงเรียนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดฉนวนโพนูโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรียนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



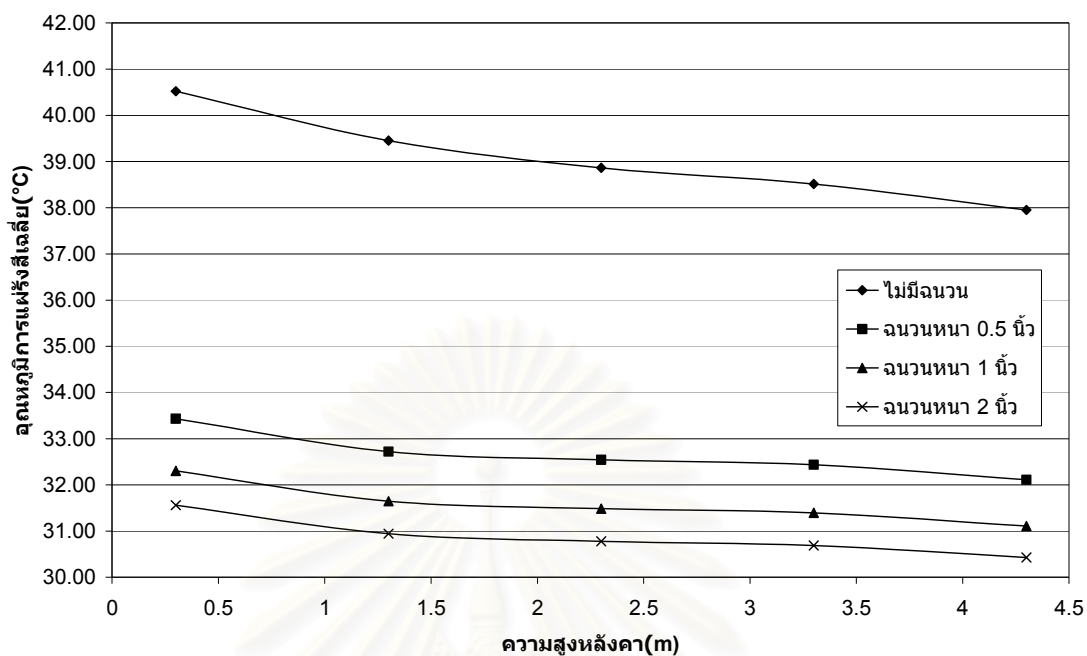
รูปที่ 5.34 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดฉนวนโพนูโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรียนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



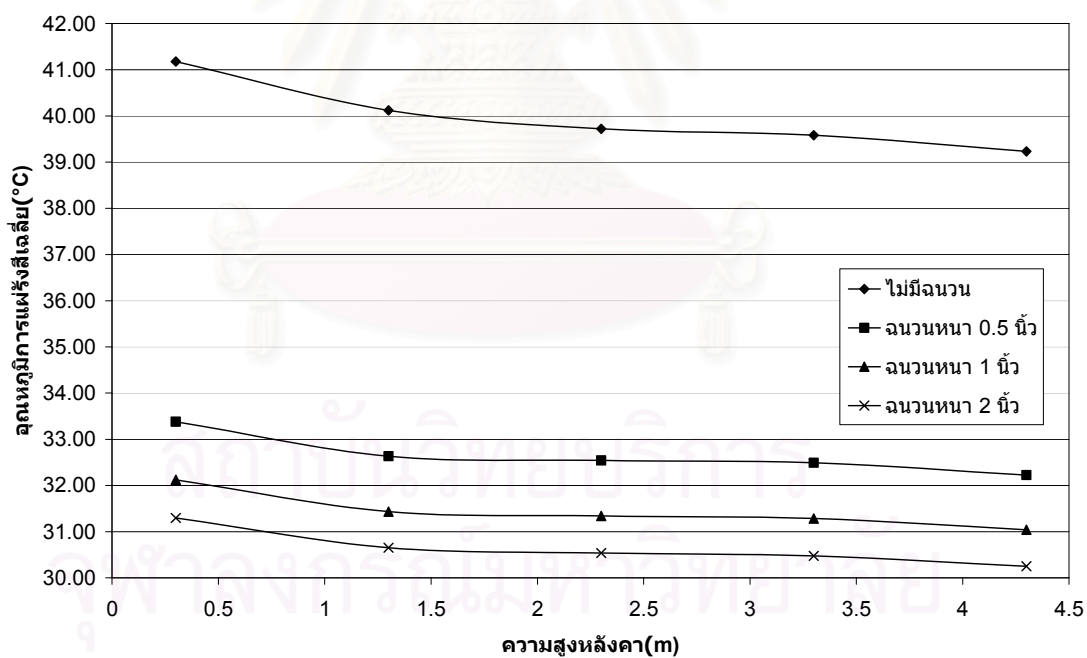
รูปที่ 5.35 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวม โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



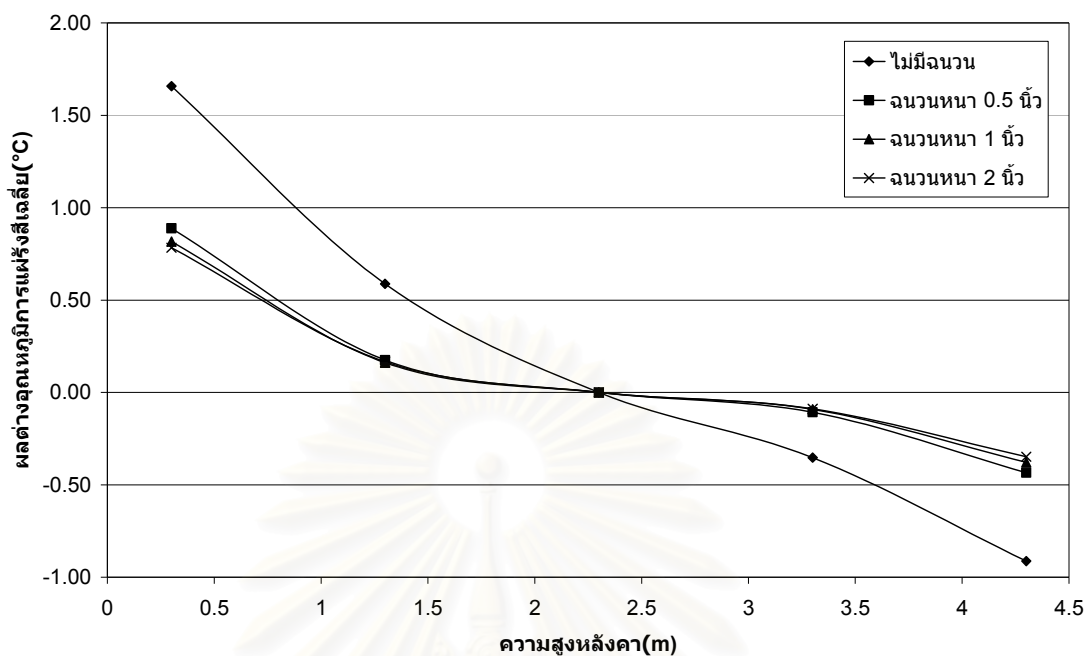
รูปที่ 5.36 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวม โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



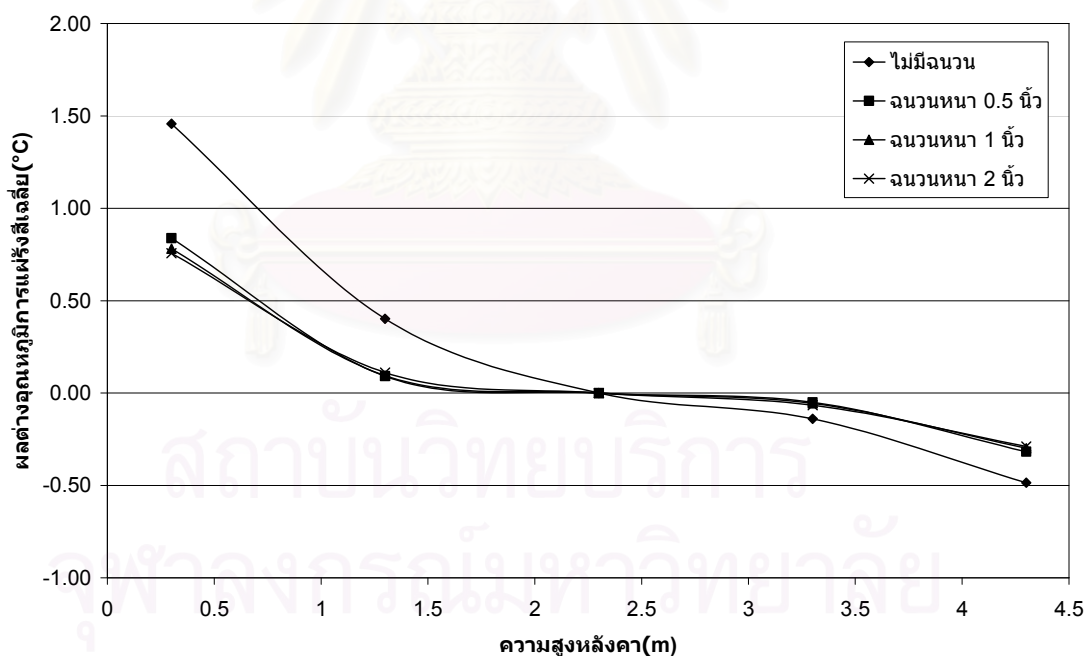
รูปที่ 5.37 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



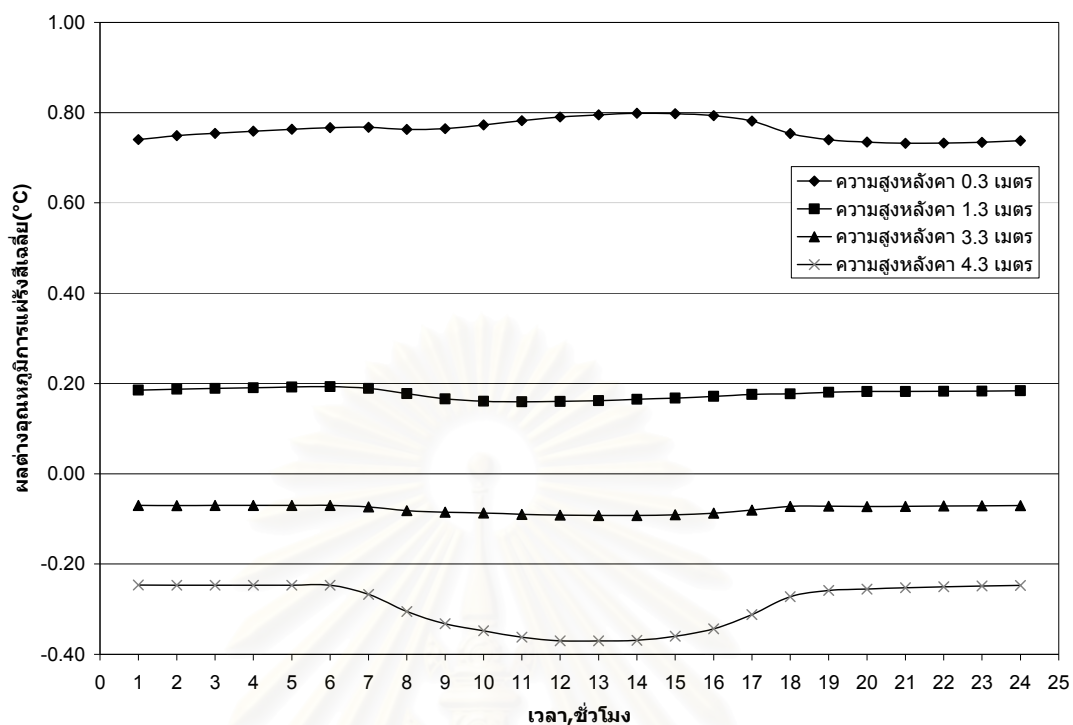
รูปที่ 5.38 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโฟมโพลียูรีเทน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



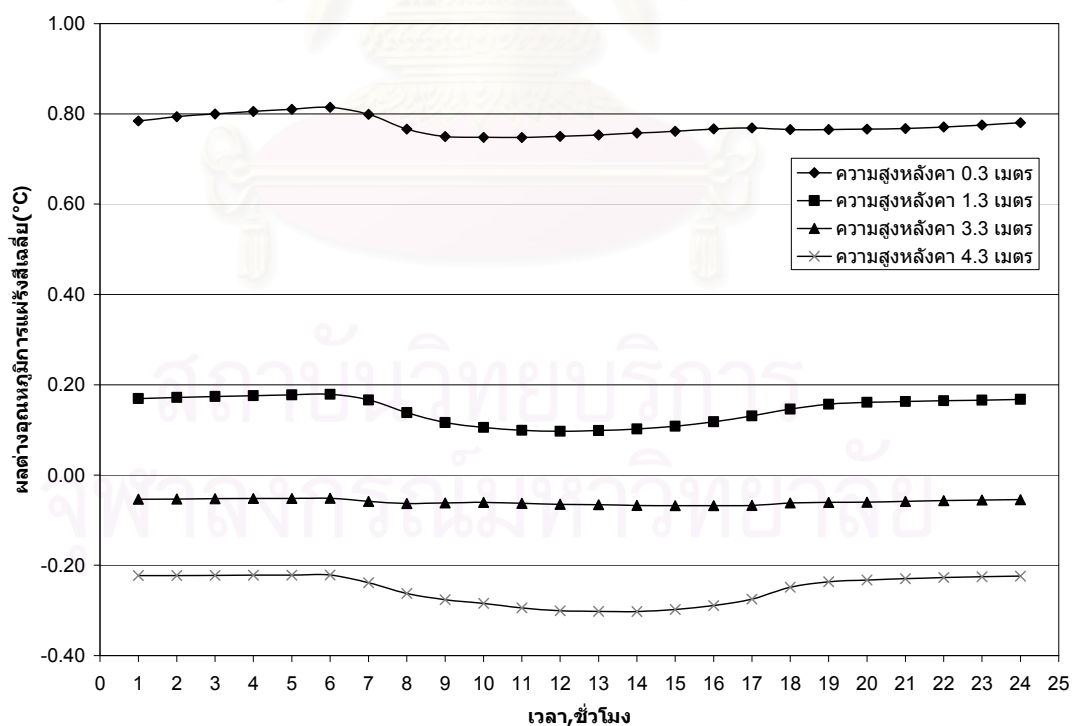
รูปที่ 5.39 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับ โรงเรียนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรียนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



รูปที่ 5.40 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับ โรงเรียนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรียนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร

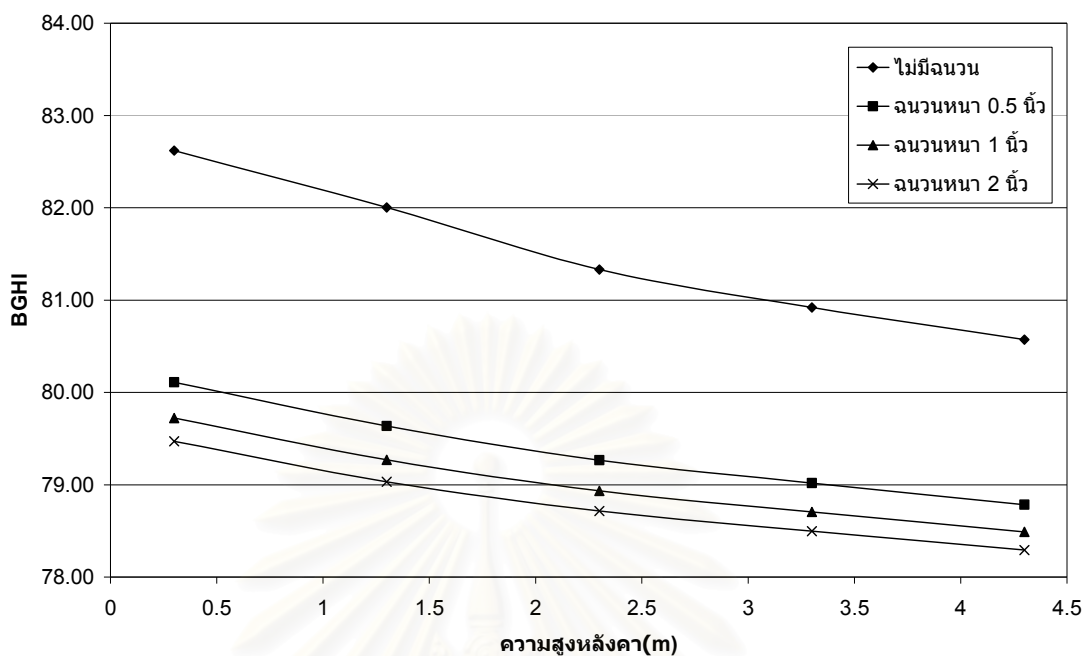


รูปที่ 5.41 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวนโพนโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร

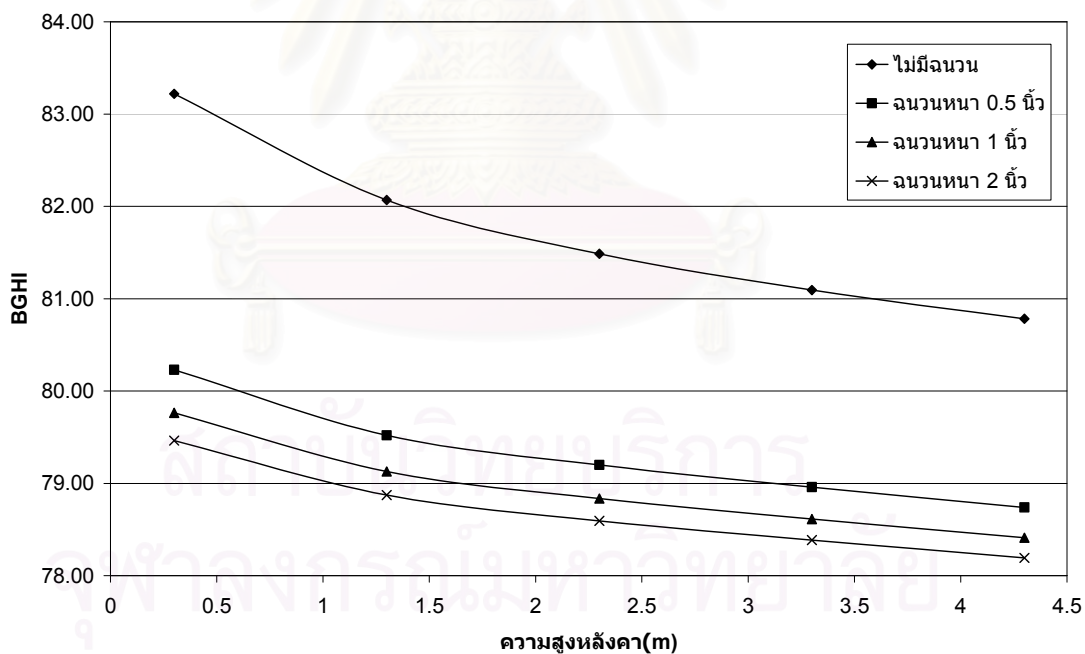


รูปที่ 5.42 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวนโพนโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร

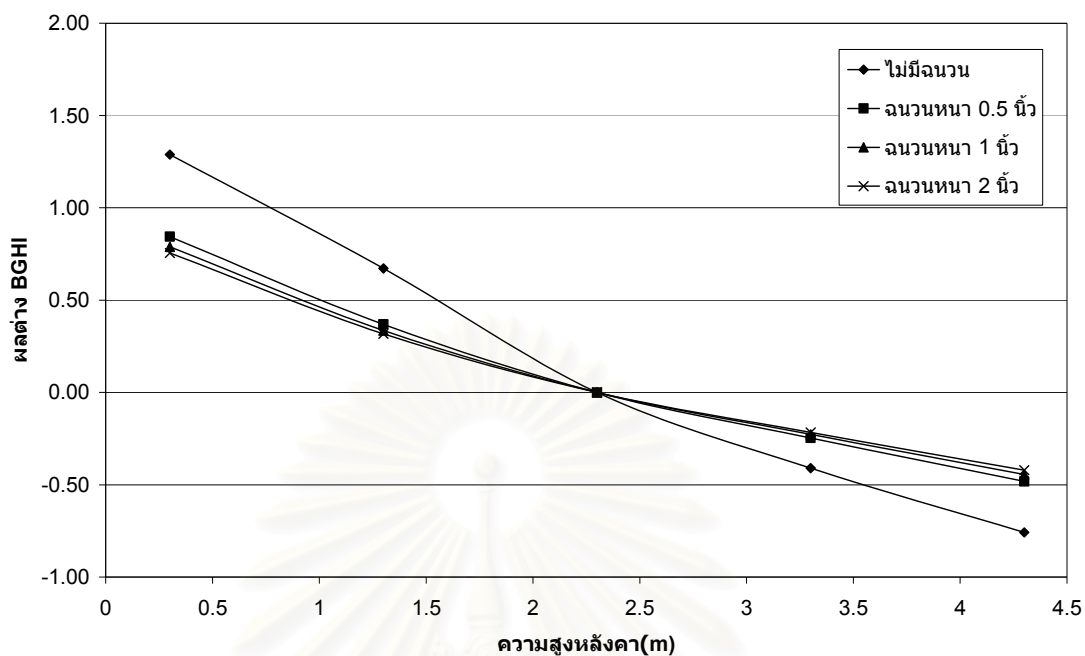




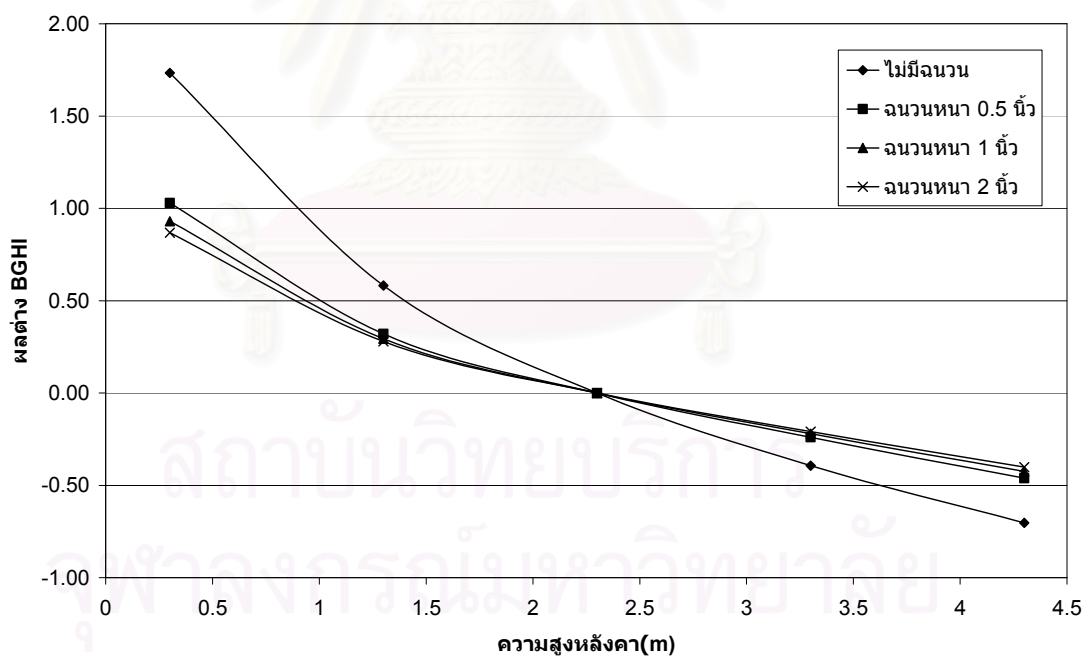
รูปที่ 5.43 คำนวณความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโพลีเอทิลีน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



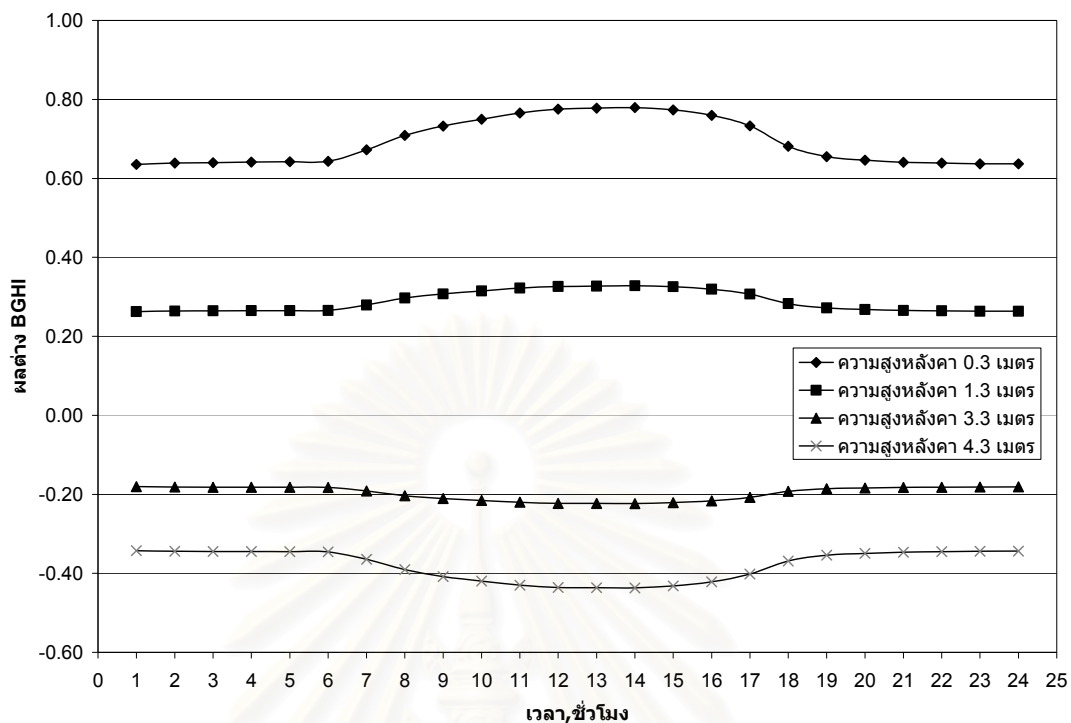
รูปที่ 5.44 คำนวณความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งฉนวนโพลีเอทิลีน ที่ความสูงหลังคาต่างๆ



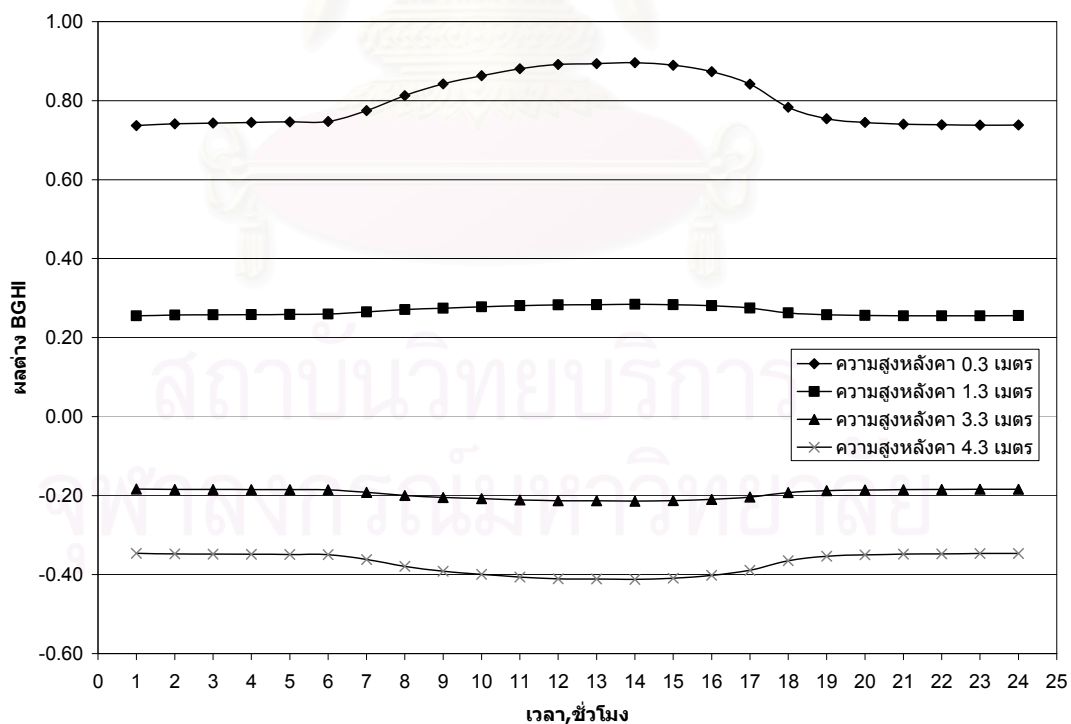
รูปที่ 5.45 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดฉนวนโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



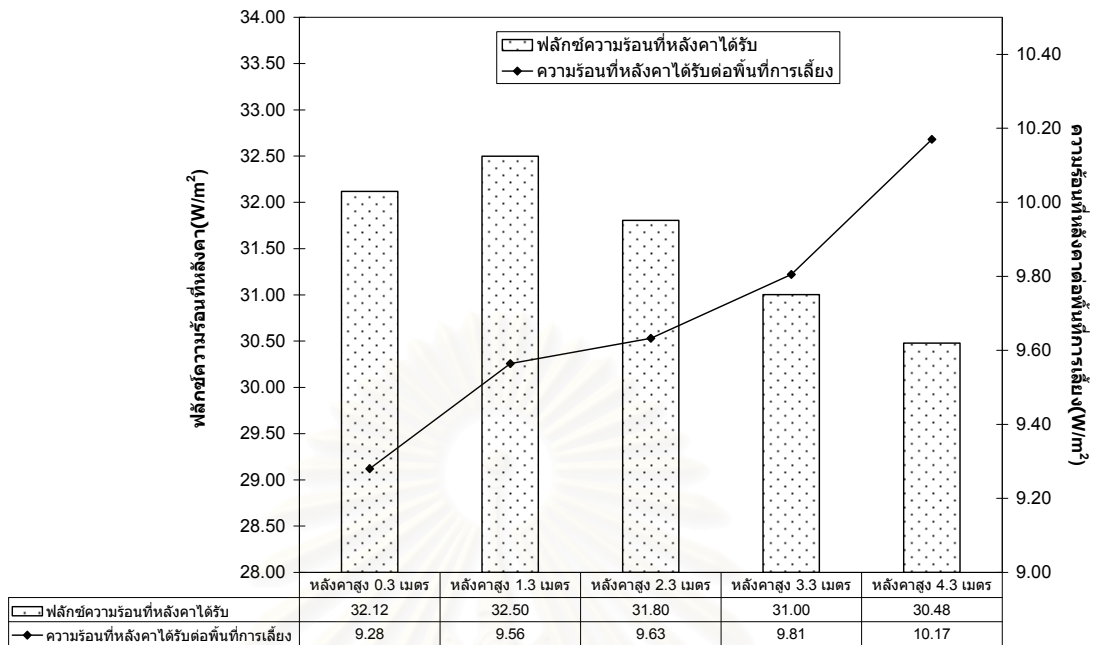
รูปที่ 5.46 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดฉนวนโพลียูรีเทนที่ความหนาต่างๆ เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



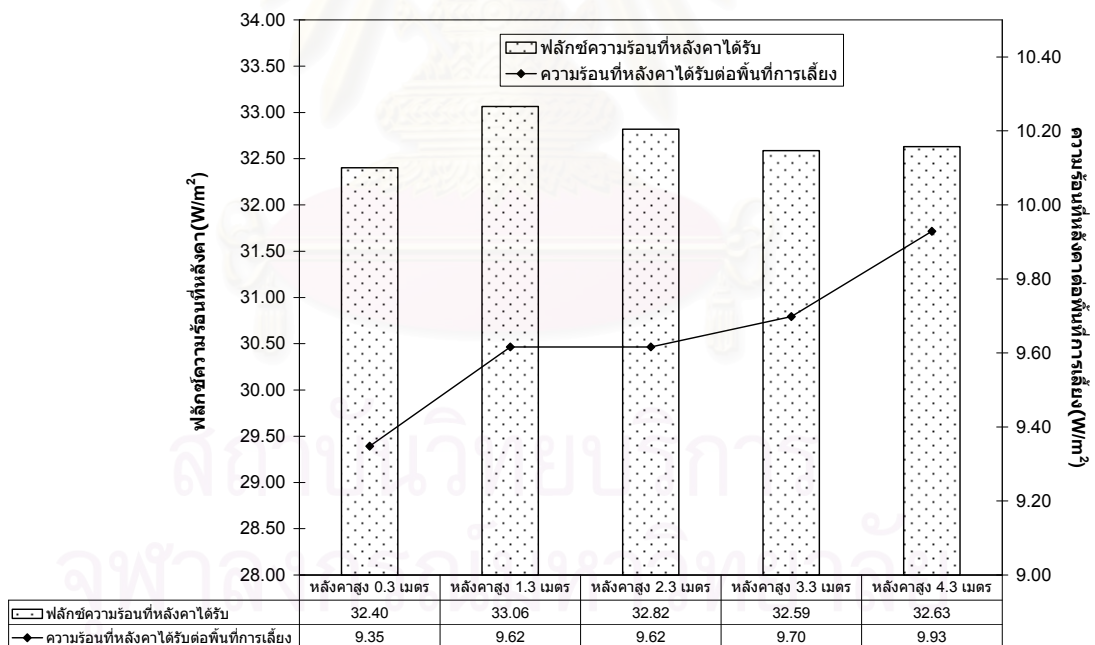
รูปที่ 5.47 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวนโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



รูปที่ 5.48 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร  
ที่มีการติดตั้งนวนโพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว เทียบกับโรงเรือนที่มีความสูงหลังคา 2.3 เมตร



รูปที่ 5.49 ฟลักซ์ความร้อนที่หลังคาและความร้อนที่หลังคาต่อพื้นที่การเสียงของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว



รูปที่ 5.50 ฟลักซ์ความร้อนที่หลังคาและความร้อนที่หลังคาต่อพื้นที่การเสียงของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว

### 5.3 อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรียนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรียน

ในในหัวข้อนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของโรงเรียนที่มีทิศทางการวางตัวของโรงเรียนที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสร้างโรงเรียนเลี้ยงไก่อาจมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ จึงควรมีการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างทางความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างทิศทางการวางตัวของโรงเรียนต่างๆ

การศึกษาถึงอิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรียนจะทำการกำหนดให้มีการหมุนโรงเรียนจากตัวอย่างโรงเรียนกรณีพื้นฐานคราวละ 15 องศา ไปตามเข็มนาฬิกา(CW) และทวนเข็มนาฬิกา (CCW) จนครบ 90 องศา ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.9 โดยโรงเรียนที่ใช้ในการศึกษาในหัวข้อนี้จะใช้โรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร มีการคิดคำนวณโพลีโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว

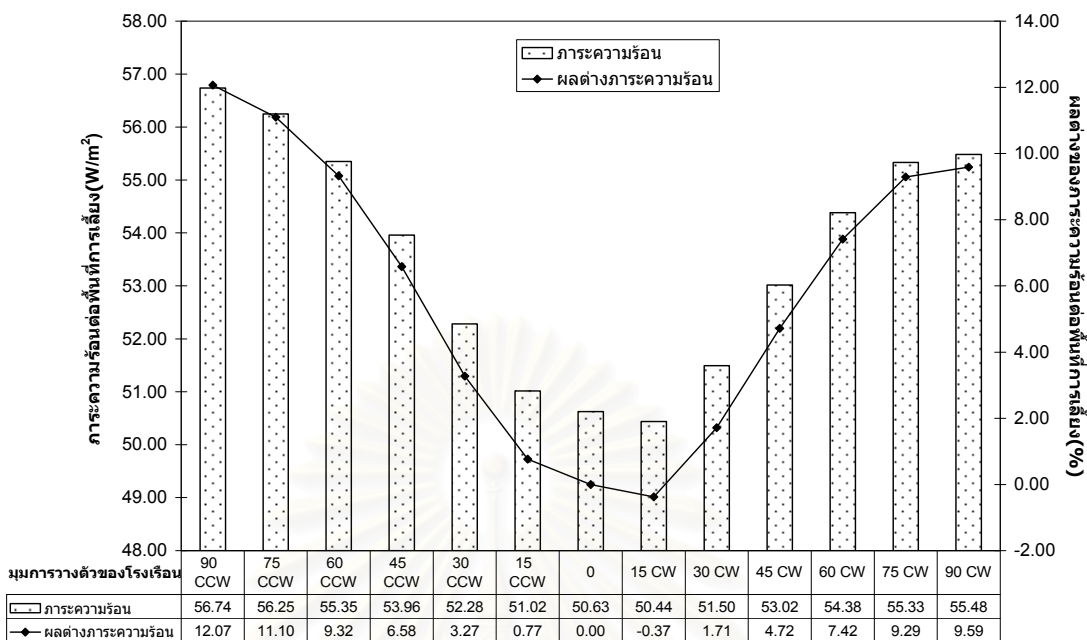
เมื่อพิจารณาถึงค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่เกิดขึ้นพบว่ากรณีที่โรงเรียนมีมุมการวางตัวของโรงเรียนที่แตกต่างจากแนวการวางตัวของโรงเรียนพื้นฐานนั้นจะยังทำให้มีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่มากขึ้นจะมีเพียงมุมการวางตัวของโรงเรียนในทิศทาง 15 ° ตามเข็มนาฬิกา เท่านั้นที่จะมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลดลงเพียงเล็กน้อย โดยการหมุนโรงเรียนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะมีแนวโน้มที่จะทำให้โรงเรียนมีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงสูงกว่าการหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มุมการวางตัวของโรงเรียนที่ทำให้ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงสูงที่สุดคือมุม 90 ° ซึ่งจะทำให้มีค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงสูงกว่าโรงเรียนแบบพื้นฐานอยู่ 10 %-12 % สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตรและ 3 %-6 % สำหรับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ดังรูปที่ 5.51-5.52 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรียนจะมีผลกับโรงเรียนกว้าง 12 เมตรมากกว่าโรงเรียนกว้าง 24 เมตร

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI พบว่ากรณีที่โรงเรียนมีมุมการวางตัวของโรงเรียนที่แตกต่างจากแนวการวางตัวของโรงเรียนพื้นฐานนั้นจะยังทำให้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ที่สูงขึ้น โดยมุมการวางตัวของโรงเรียนที่ทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ที่สูงที่สุดคือมุม 90 ° ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่าโรงเรียนแบบพื้นฐานอยู่ 0.5 °C-0.6 °C สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตร และ 0.2 °C-0.3 °C สำหรับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร และจะทำให้มีดัชนีความร้อน BGHI สูงกว่าโรงเรียนแบบพื้นฐานอยู่ 0.17 สำหรับโรงเรียนกว้าง 12 เมตร และ 0.08 สำหรับโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.53-5.56 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรียนจะมีผลกับโรงเรียนกว้าง 12 เมตรมากกว่าโรงเรียนกว้าง 24 เมตรเช่นเดียวกัน

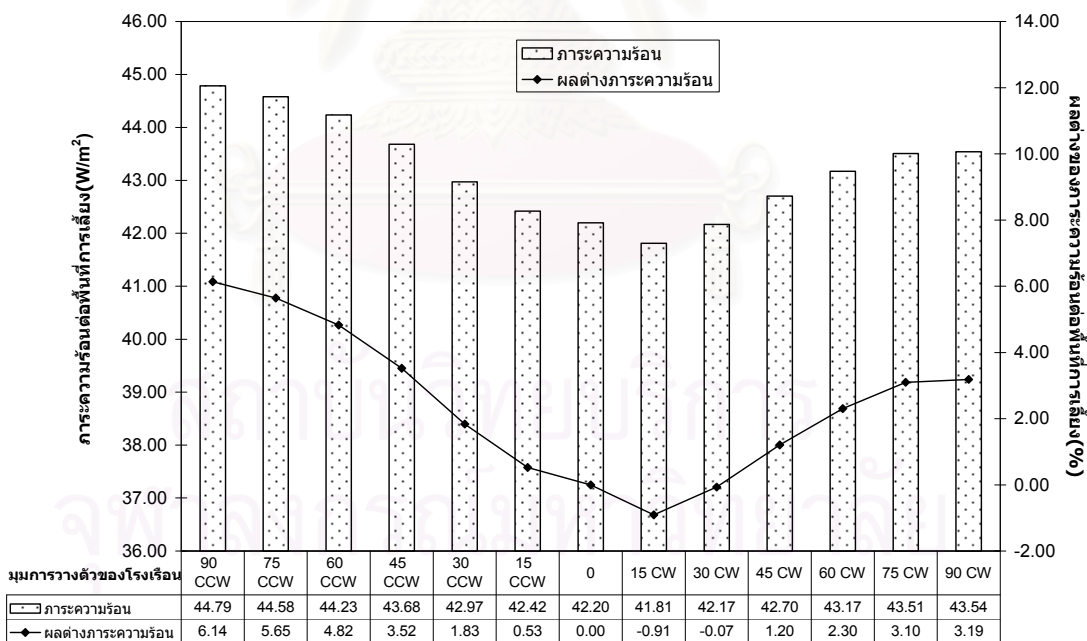
เมื่อพิจารณาผลการคำนวณเป็นรายชั่วโมงจะพบว่า ค่าภาระความร้อน อุณหภูมิ การแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ของ โรงเรือนที่มีทิศทางการวางตัวตามมุมต่างๆจะแตกต่างจาก โรงเรือนรูปแบบพื้นฐานอย่างชัดเจนอยู่ 2 ช่วงเวลาคือช่วงเช้าและเย็นดังรูปที่ 5.57-5.62 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่าง โรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร จะพบว่า อิทธิพลของทิศทางการวางตัวของโรงเรือนจะมีผลกับโรงเรือนกว้าง 12 เมตรมากกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาซึ่งก็คือในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงเวลา 8.00 น.-10.00 น. และ 15.00 น.-17.00 น.

จากผลการคำนวณจะเห็นว่ามุมการวางตัวของโรงเรือนในช่วงไม่เกิน  $15^{\circ}$  จากแนว การวางตัวของโรงเรือนพื้นฐาน(แนวตะวันออก-ตะวันตก) จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาระ ความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI เพียงเล็กน้อย การ มุมทิศทางการวางตัวของโรงเรือนที่มากกว่า  $15^{\circ}$  จะส่งผลให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเพิ่ม สูงขึ้นมากและแนวโน้มของดัชนีความร้อนมีค่ามากขึ้นเล็กน้อยในช่วงเช้าและเย็น และอิทธิพลของ ทิศทางการวางตัวของโรงเรือนจะมีผลกับโรงเรือนกว้าง 12 เมตรมากกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุมการวางตัวของโรงเรือนจากแนวตะวันออก-ตะวันตก จะมีผลให้ ผงังด้านข้างมีโอกาสได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณความร้อนที่โรงเรือน ได้รับมากขึ้น แต่เมื่อทำการพิจารณาโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เปรียบเทียบกับ 24 เมตร โรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีสัดส่วนของพื้นที่ด้านข้างต่อพื้นที่การเลี้ยงที่น้อยกว่า ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ความร้อนที่โรงเรือนได้รับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัว สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตรนั้น จะน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร

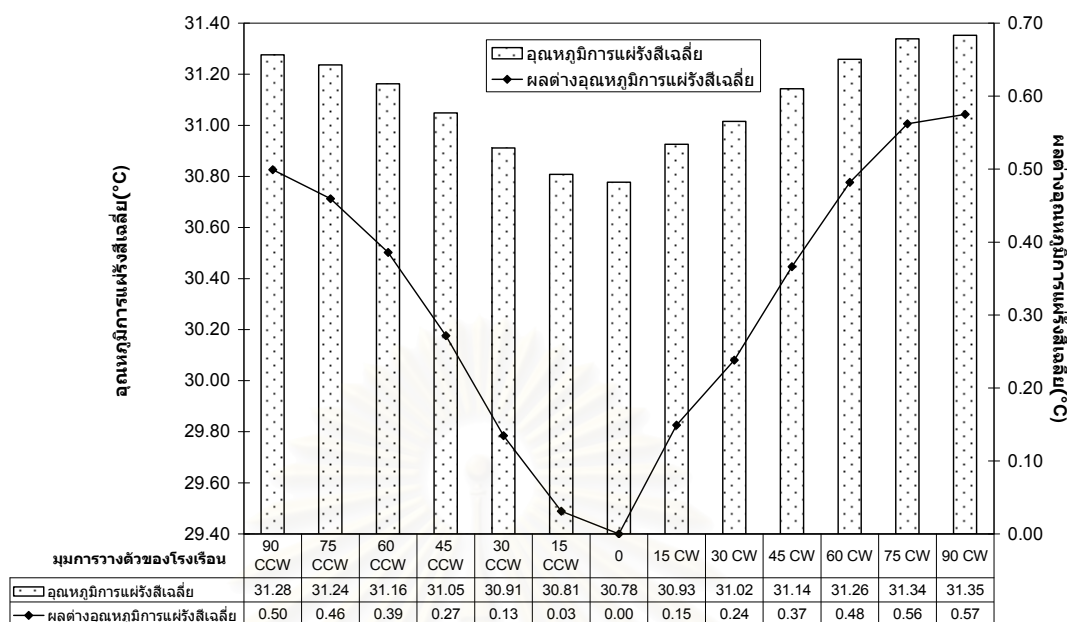
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



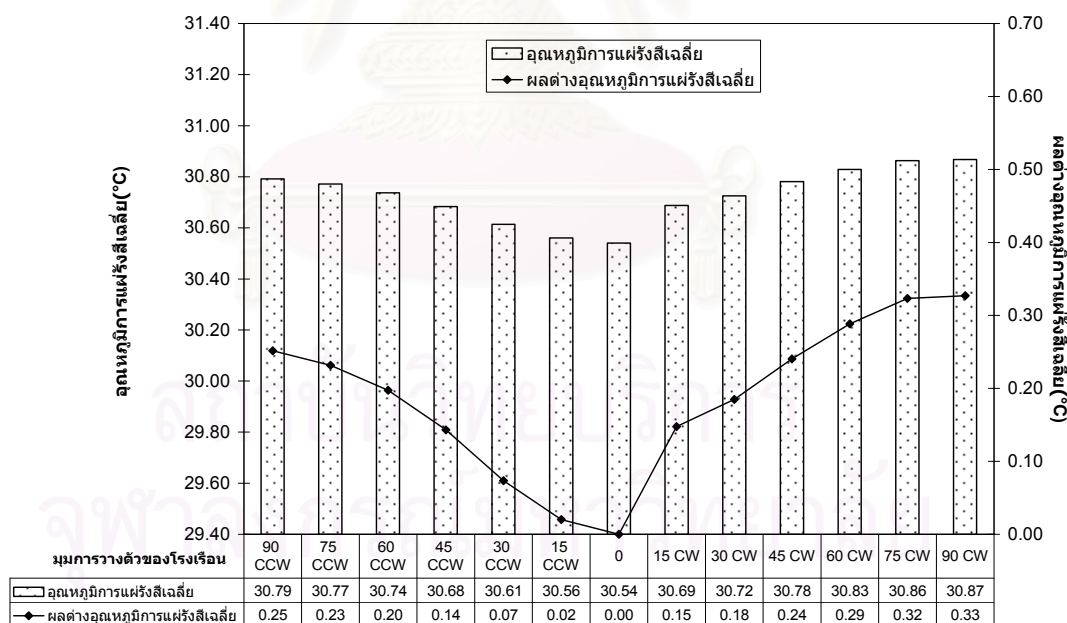
รูปที่ 5.51 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรียน



รูปที่ 5.52 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์ยูริเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรียน

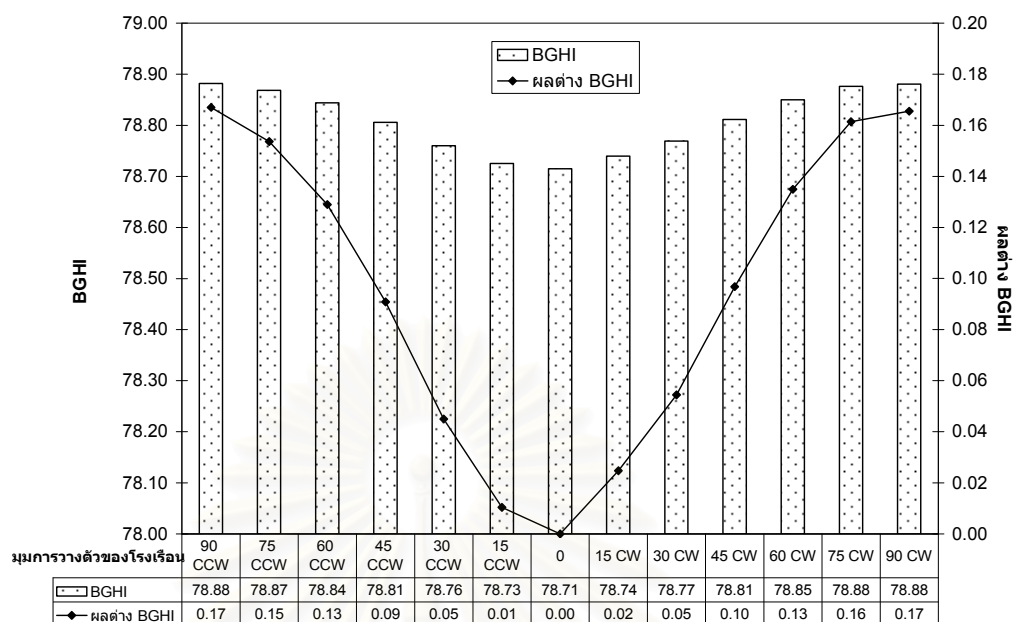


รูปที่ 5.53 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบ  
 พื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ทิศคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน

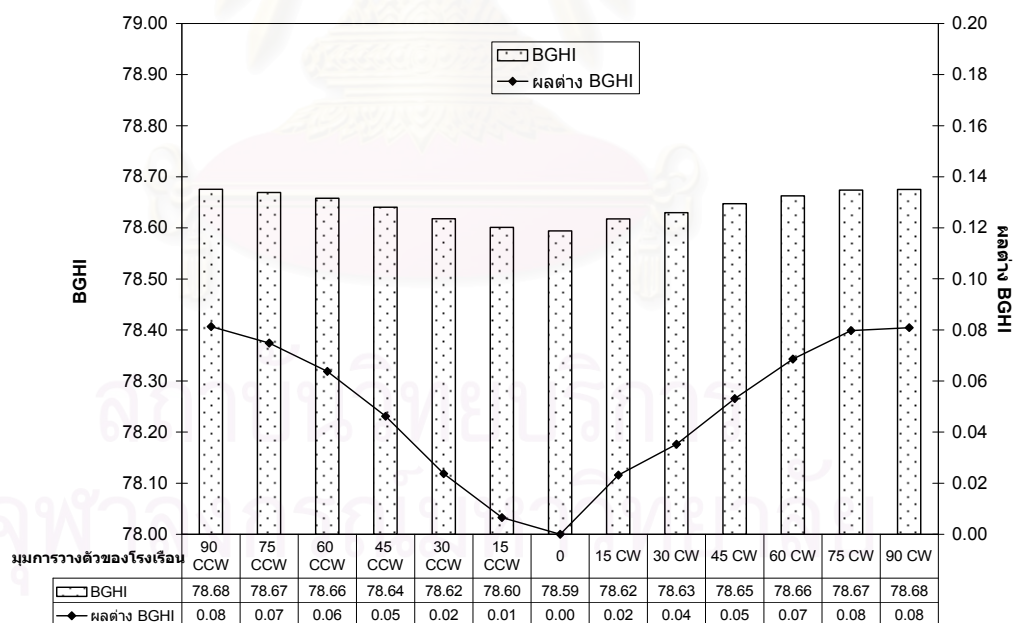


รูปที่ 5.54 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบ  
 พื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ทิศคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน

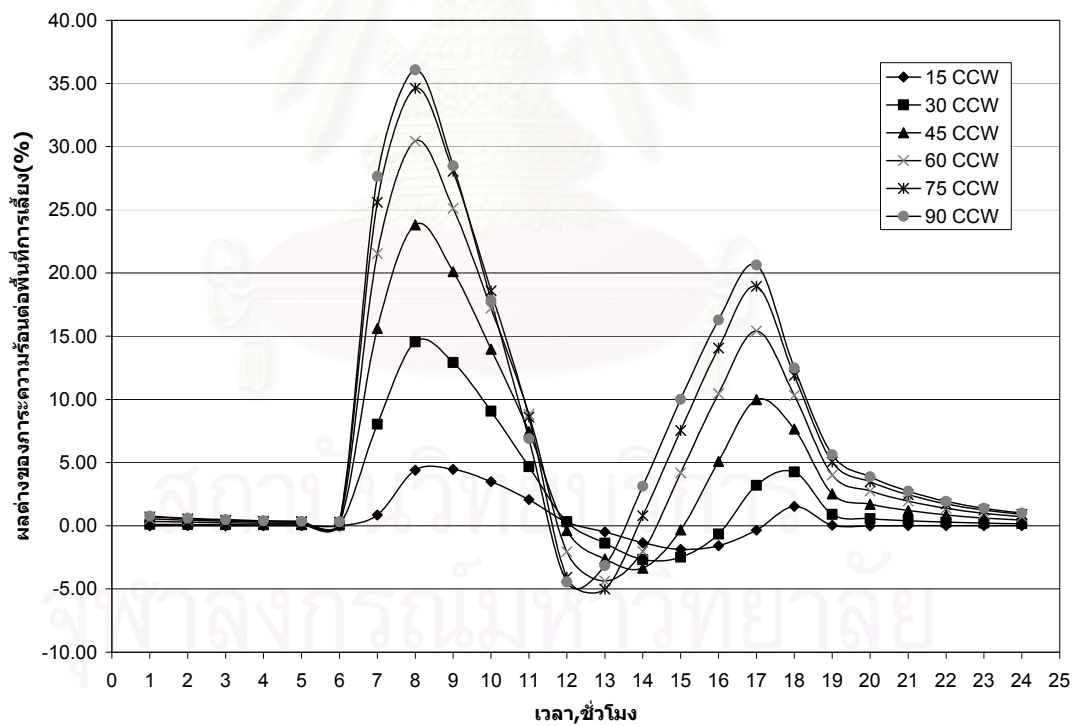
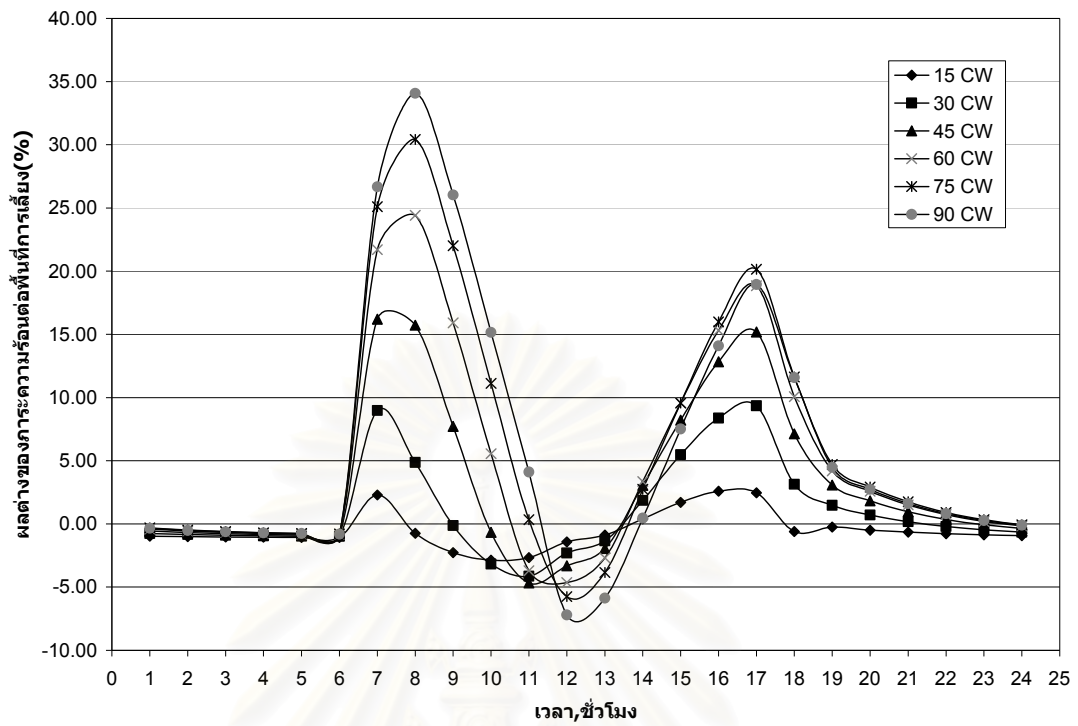




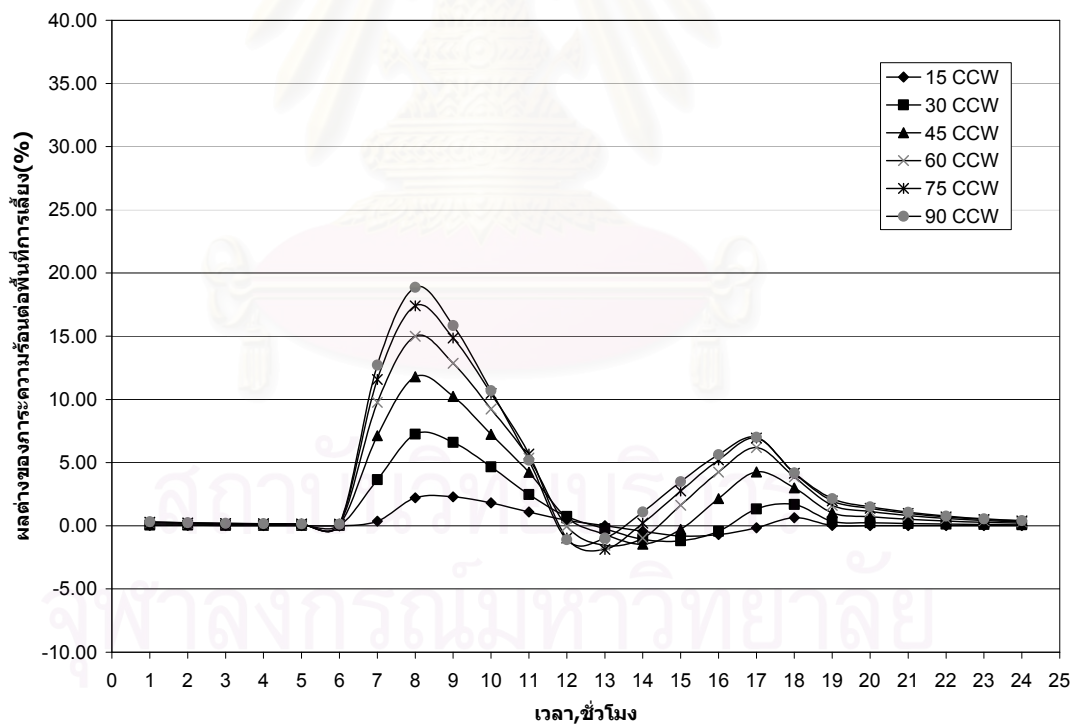
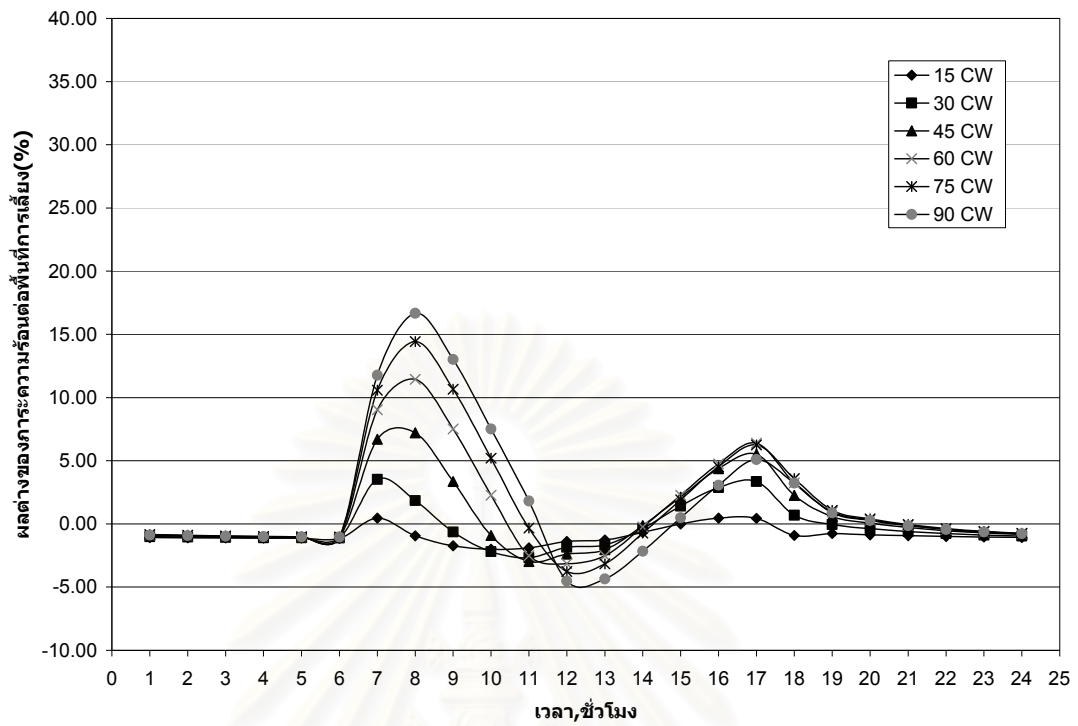
รูปที่ 5.55 คำนวณความร้อน BGHI และผลต่างคำนวณความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตึคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



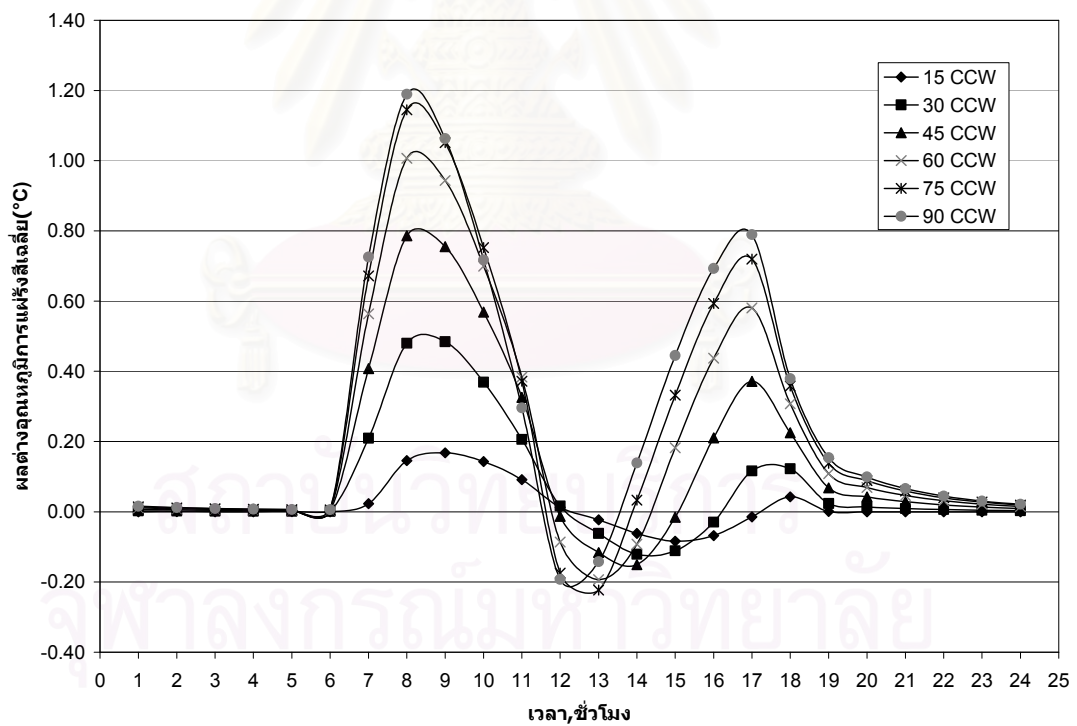
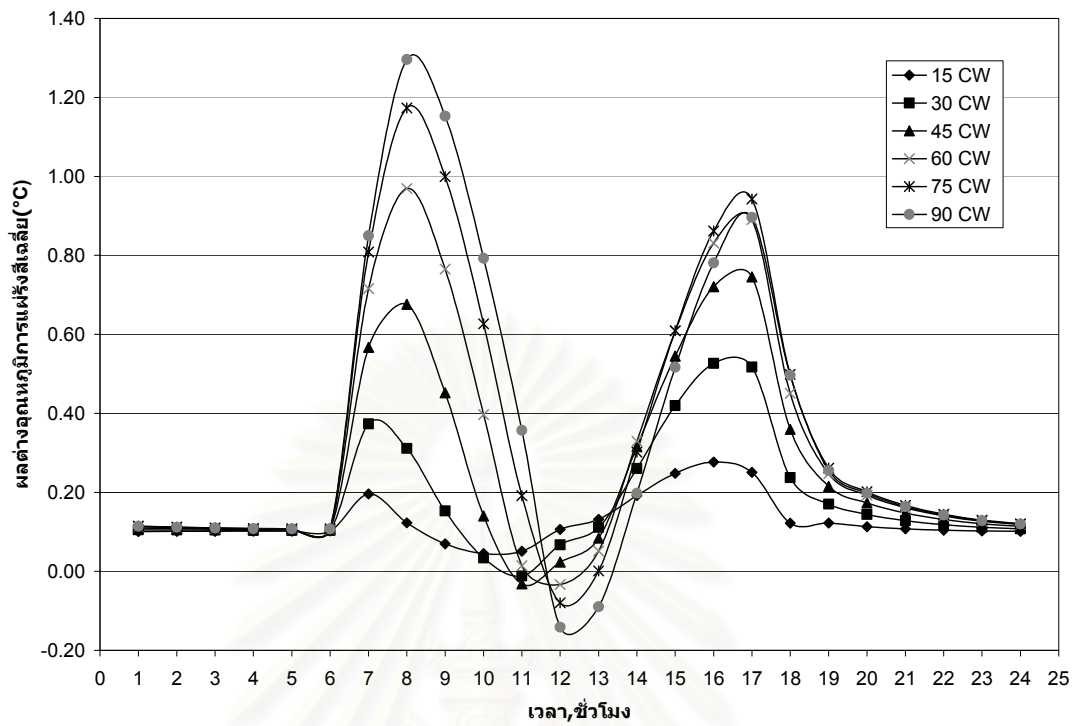
รูปที่ 5.56 คำนวณความร้อน BGHI และผลต่างคำนวณความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ตึคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



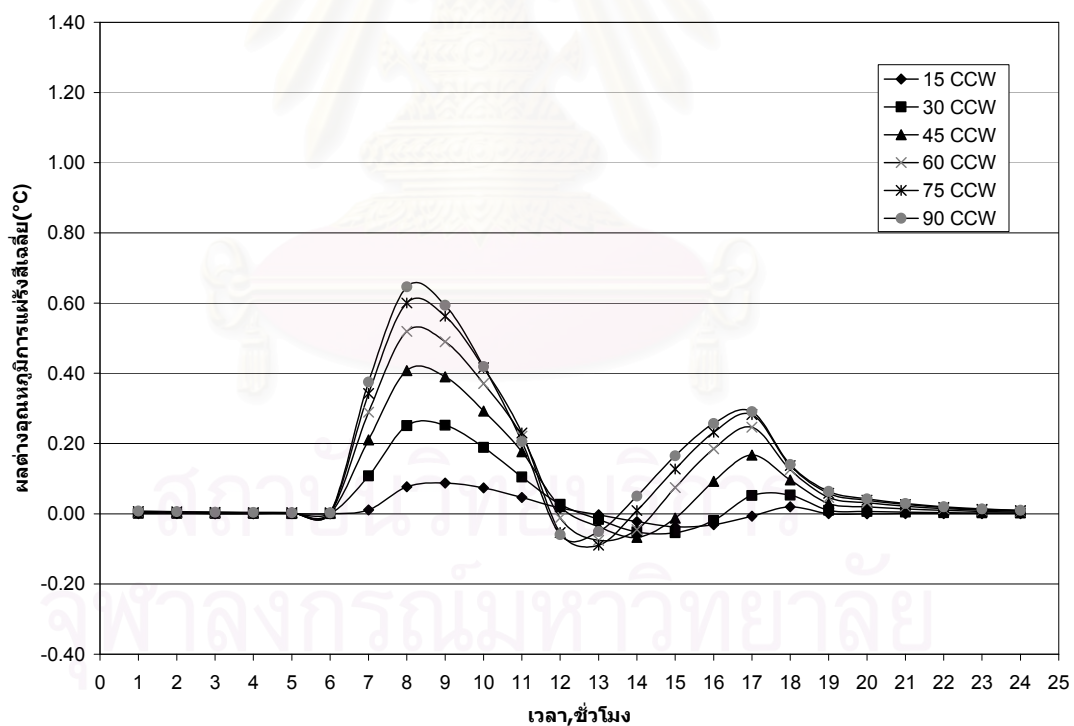
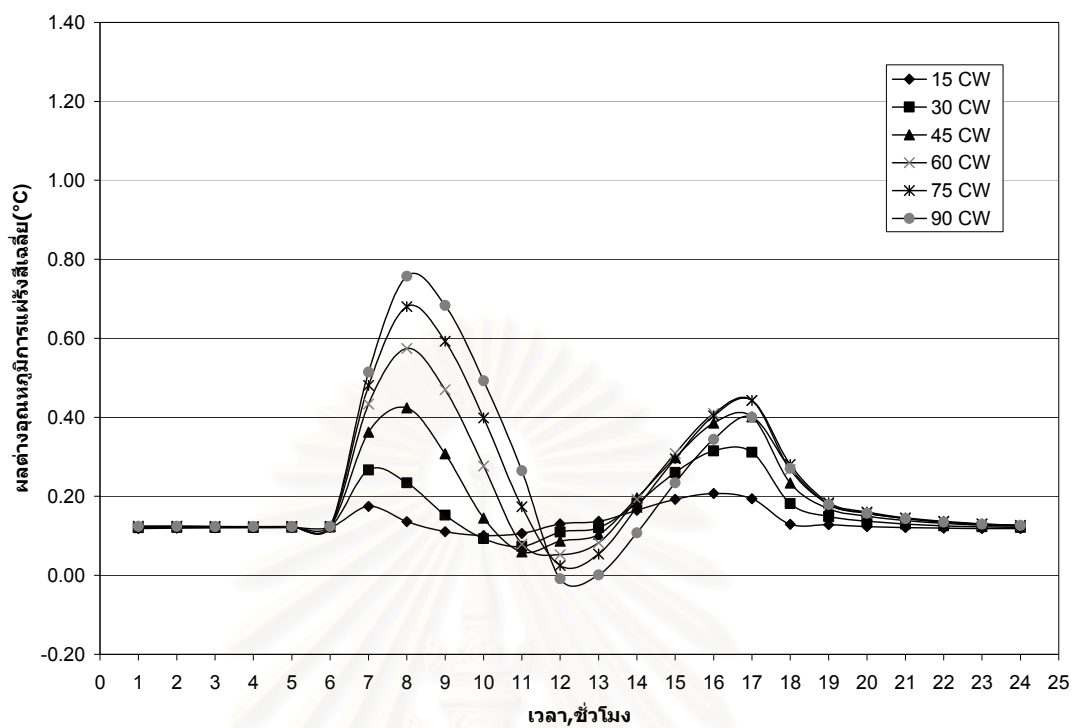
รูปที่ 5.57 ผลต่างภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวนโฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



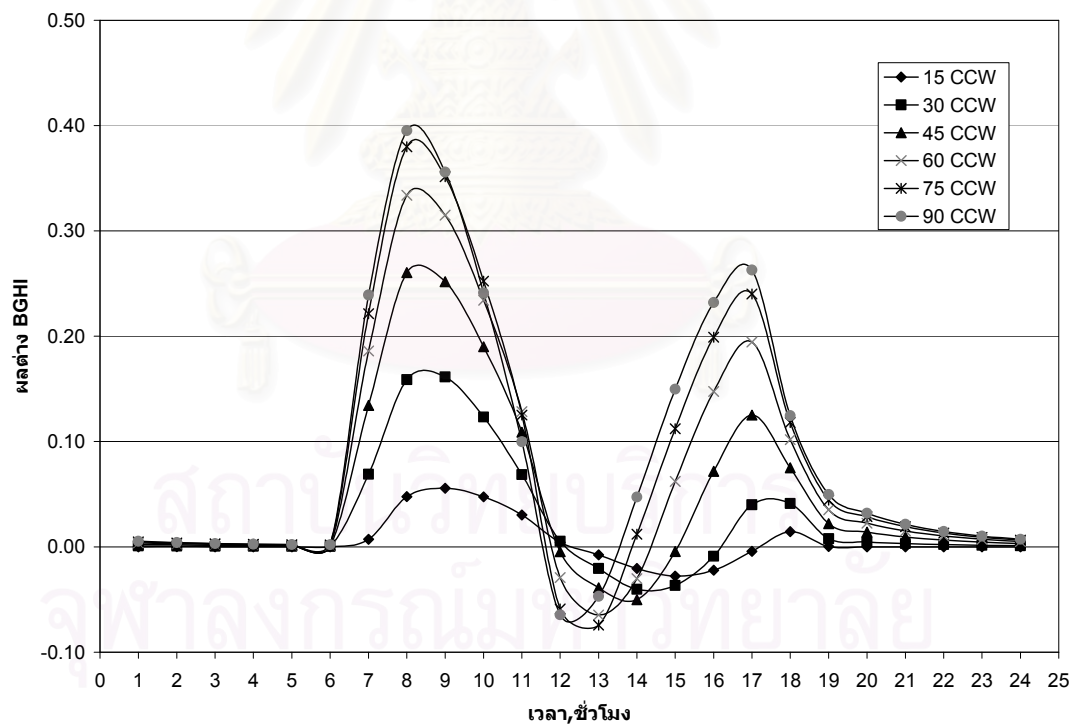
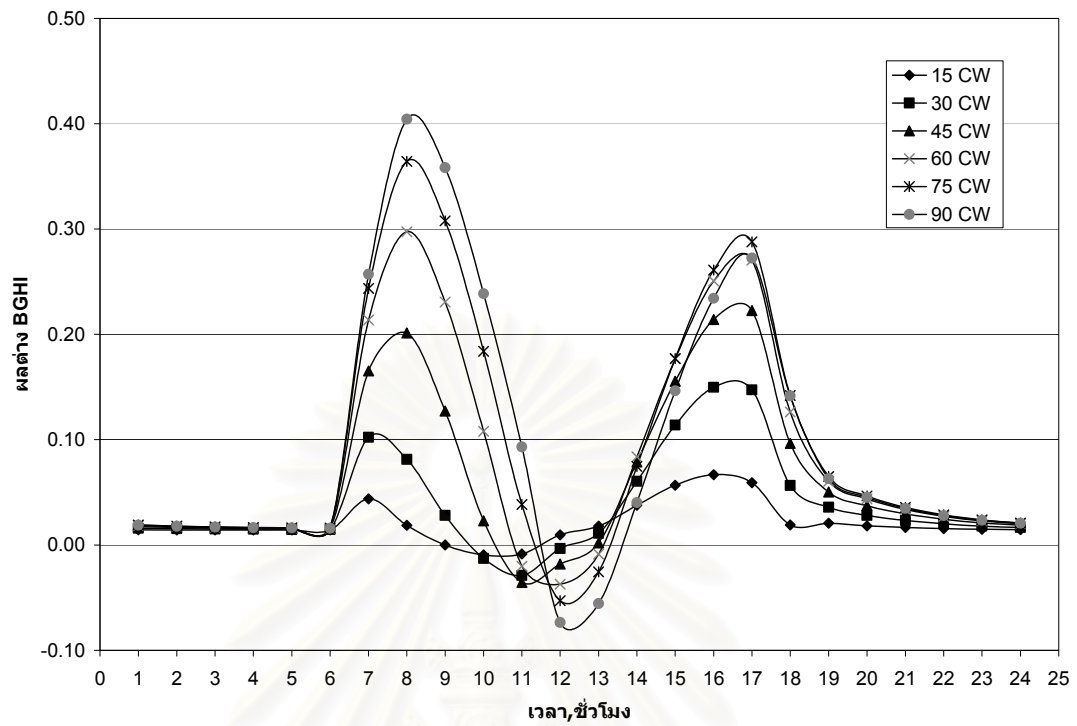
รูปที่ 5.58 ผลต่างภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร คัดฉนวนโฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรง



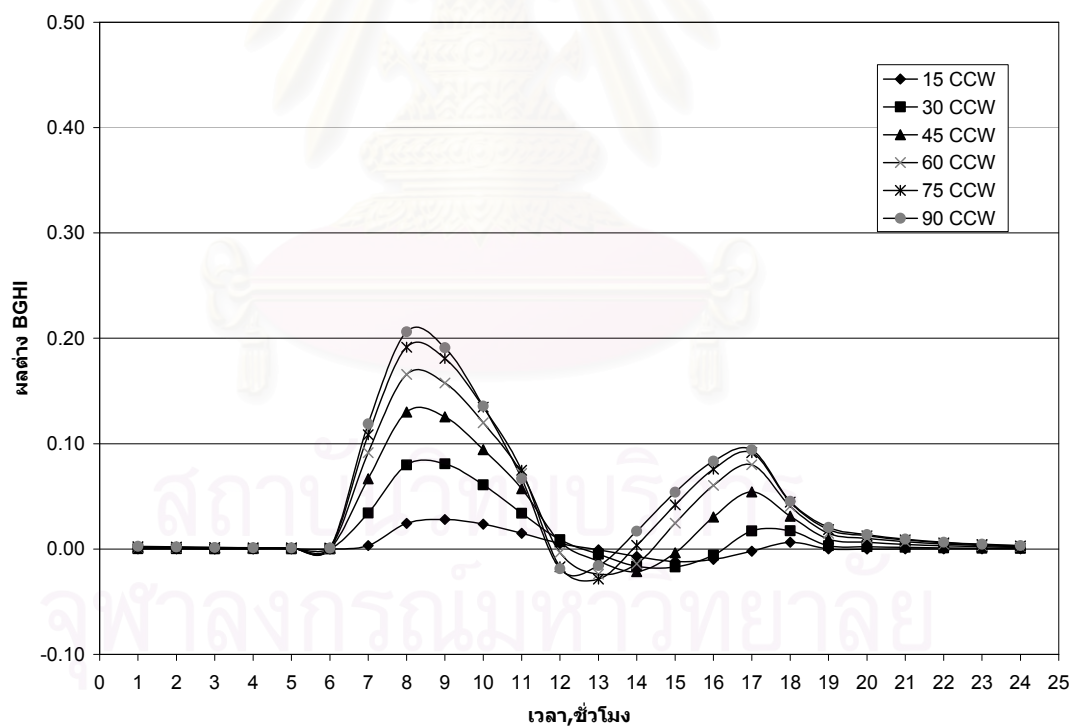
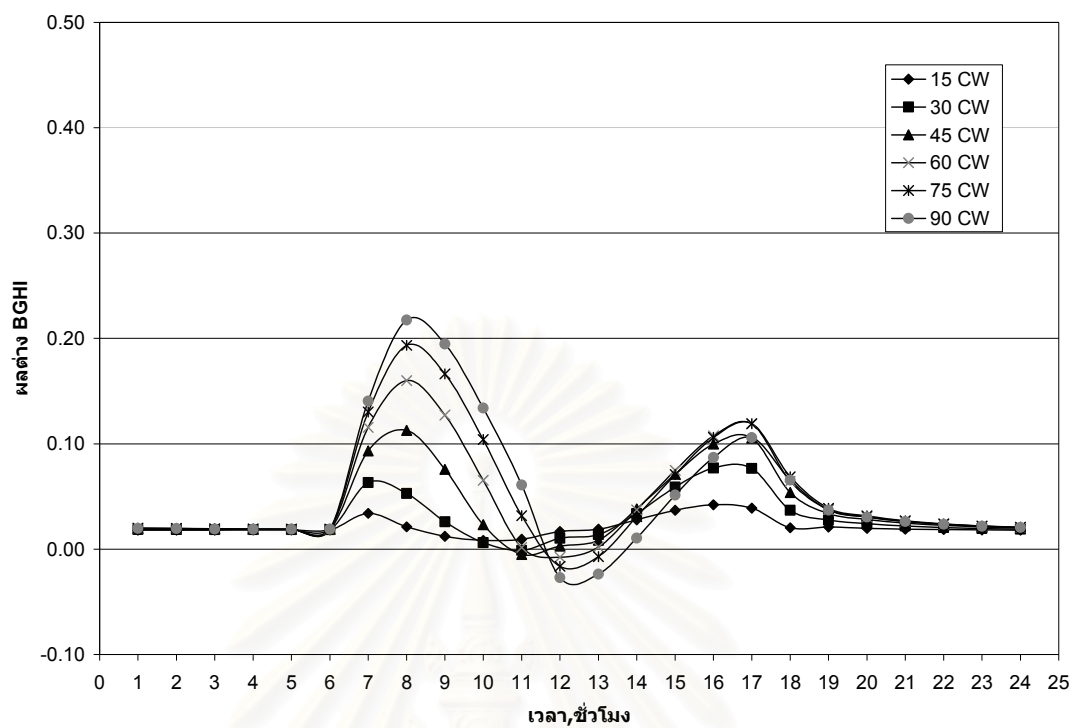
รูปที่ 5.59 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



รูปที่ 5.60 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวนโพรพิลีนยูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



รูปที่ 5.61 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดถนนโพม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน



รูปที่ 5.62 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวนโฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแนวการวางตัวของโรงเรือน

#### 5.4 อิทธิพลของกันสาดบังแดดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน

ในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นทำการศึกษาอิทธิพลของกันสาดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือนเนื่องจากความร้อนจากภายนอกโรงเรือนส่วนใหญ่จะมาจากแสงอาทิตย์ การลดทอนหรือเลี่ยงการรับแสงอาทิตย์โดยตรงจึงเป็นสิ่งที่ควรมีการพิจารณา กันสาดบังแดดเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีการนิยมใช้โดยทั่วไป

การศึกษาถึงอิทธิพลของกันสาดจะทำการกำหนดให้โรงเรือนมีกันสาดทั้ง 4 ด้านของโรงเรือน มุมของกันสาดที่ทำกับระนาบแนวนอนจะเป็นมุมเดียวกับที่หลังคาทำกับระนาบแนวนอน โดยความสามารถในการบังแดดจะขึ้นอยู่กับมุมของและความยาวของกันสาดในที่นี้จึงทำการกำหนดให้ความยาวของกันสาดเป็น 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m, และ 3.0 m โรงเรือนที่ใช้ในการศึกษาในหัวข้อนี้จะใช้โรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร มีการคิดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว

เมื่อทำการพิจารณาค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ดังรูปที่ 5.63-5.68 พบว่าการติดกันสาดบังแดดจะช่วยลดค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนลง โดยที่ความยาวของกันสาด 1.5 m จะทำให้ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลดลงจากโรงเรือนที่ไม่ได้ทำการติดกันสาดประมาณ 15 % สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 9 % สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงประมาณ  $0.6^{\circ}\text{C}$  สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ  $0.3$  สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร และดัชนีความร้อน BGHI ลดลงประมาณ 0.2 สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 0.1 สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร โดยการเพิ่มความยาวของกันสาดให้มากกว่านี้แทบจะไม่ได้ช่วยลดภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ลงอีกเลย

เมื่อทำการพิจารณาค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI เป็นรายชั่วโมง ของโรงเรือนที่มีการติดกันสาดเทียบกับโรงเรือนที่ไม่มีการติดกันสาด ดังรูปที่ 5.69-5.74 พบว่าทั้งโรงเรือนกว้าง 12 เมตรและ 24 เมตรจะมีแนวโน้มผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งก็คือการติดกันสาดจะส่งผลให้แนวโน้มค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ลดลงจากโรงเรือนที่ไม่ได้มีการติดกันสาดมากที่สุดในช่วง 14.00 น.-17.00 น.

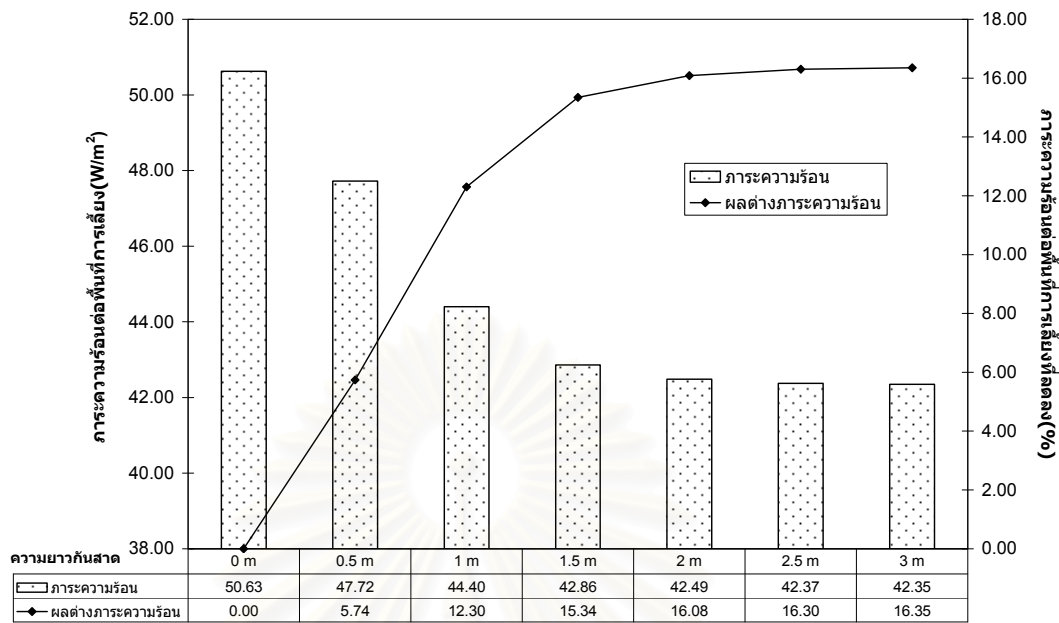
จากผลการคำนวณจะเห็นว่าการติดกันสาดจะช่วยลดปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ในระดับหนึ่ง โดยจะส่งผลให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ลดลงเมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้ทำการติดกันสาด โดยกันสาดจะ



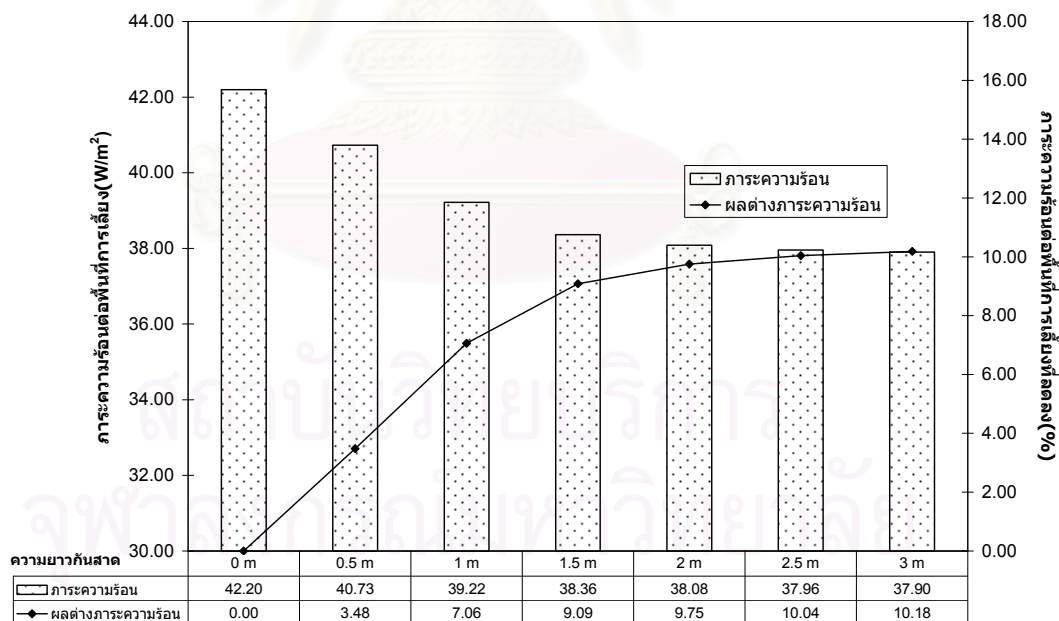
ไปลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ตกกระทบโดยตรงตลอดทั้งวัน ดังนั้นในช่วงเวลาเย็น ความร้อนที่คายตัวจากการสะสมความร้อนที่ผนังต่างๆตั้งแต่ช่วงเช้าในกรณีที่มีโรงเรือนมีการติดกัน ฝ้าจึงมีน้อยกว่า ซึ่งรวมกับการลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ตกกระทบโดยตรงในช่วงเวลานี้ จึงส่งผลให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI ลดลงอย่างชัดเจนในช่วงเวลา 14.00 น.-17.00 น. อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตัวแปรต่างๆ ลดลงมากในช่วงเย็นก็มาจากแบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณานั้นผนังทางด้านตะวันตกจะเป็นผนังที่ ติดตั้งพัดลมดูดอากาศและไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนในบริเวณนี้ การลดปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีที่ตกกระทบโดยตรงจึงให้ผลที่ชัดเจนกว่า และด้วยเหตุผลในเรื่องของสัดส่วนพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับพื้นที่การเลี้ยง การลดทอนปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังด้านข้างสำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตรจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและดัชนีความร้อน BGHI มากกว่าโรงเรือนกว้าง 24 เมตร



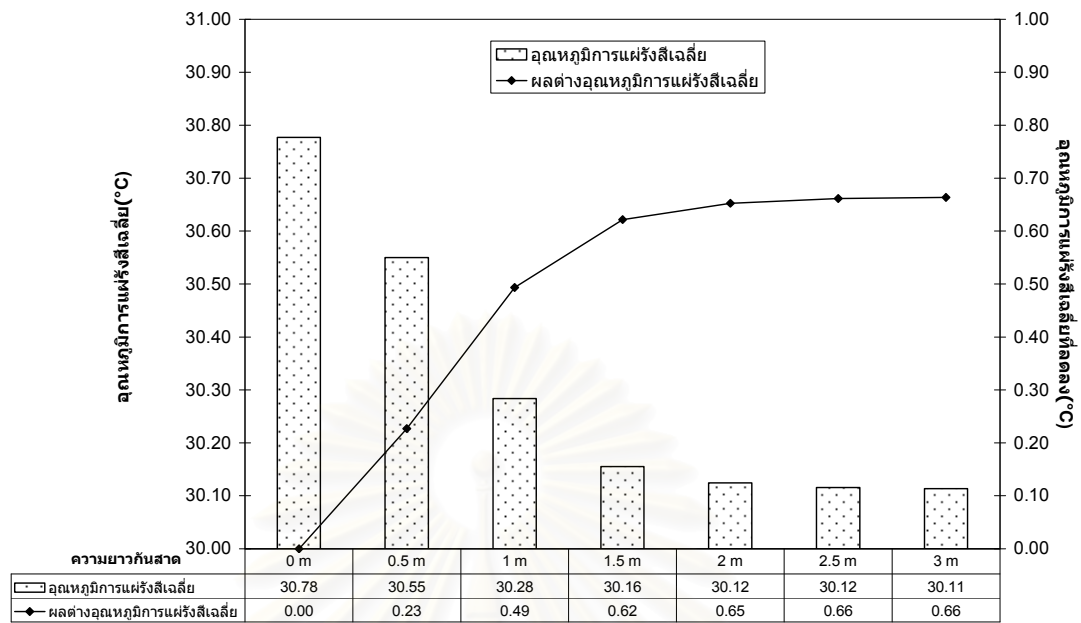
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



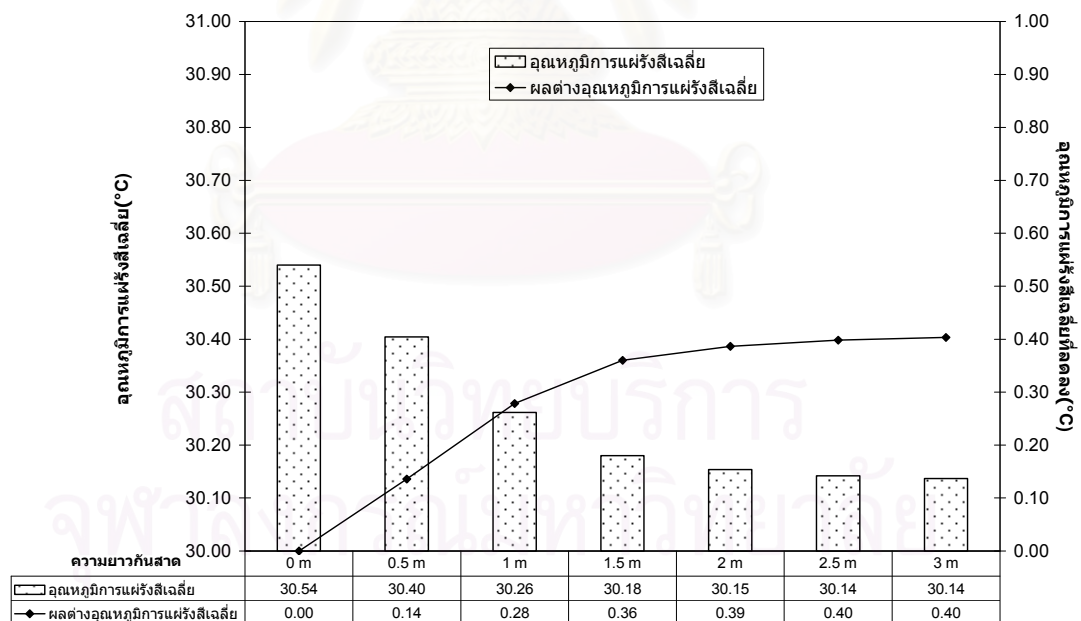
รูปที่ 5.63 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์สุริเทินหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรียนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



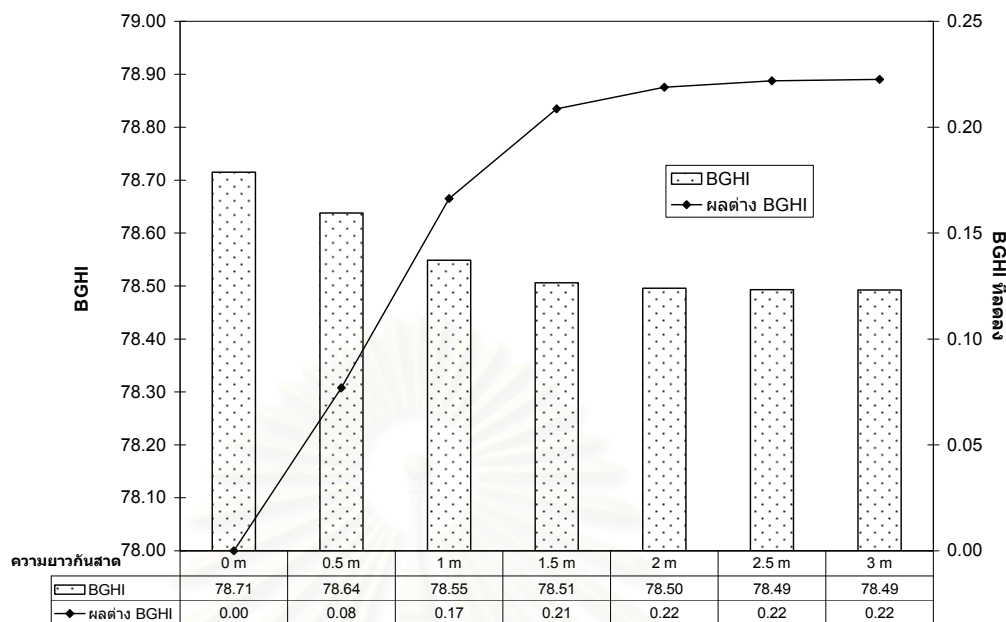
รูปที่ 5.64 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ตัดถนนโพนโพธิ์สุริเทินหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรียนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



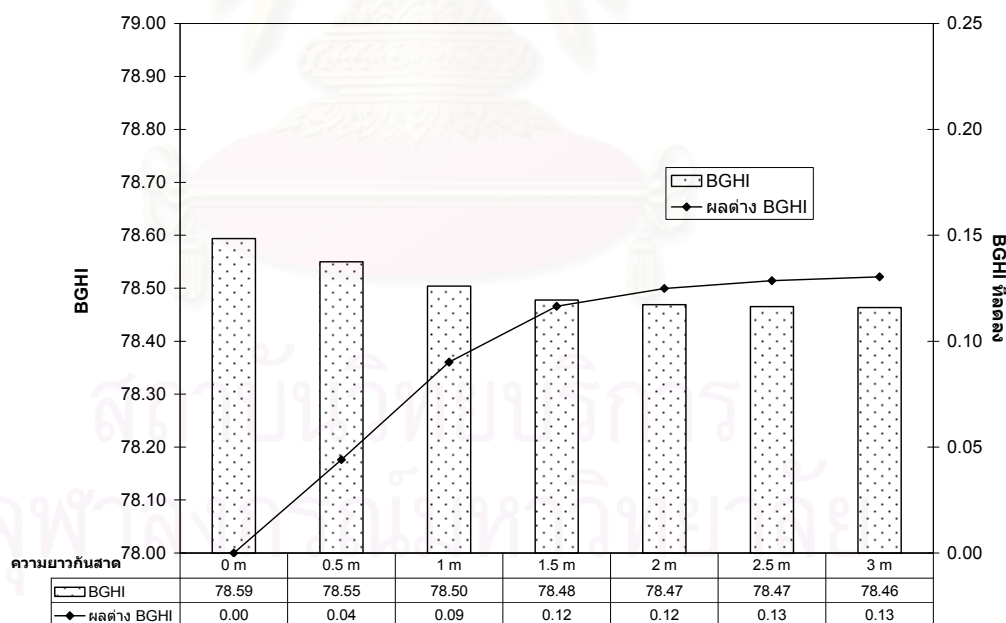
รูปที่ 5.65 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรียน  
รูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ติดถนน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรียนมีการติดกั้นศาลาที่มีความยาวต่างๆ



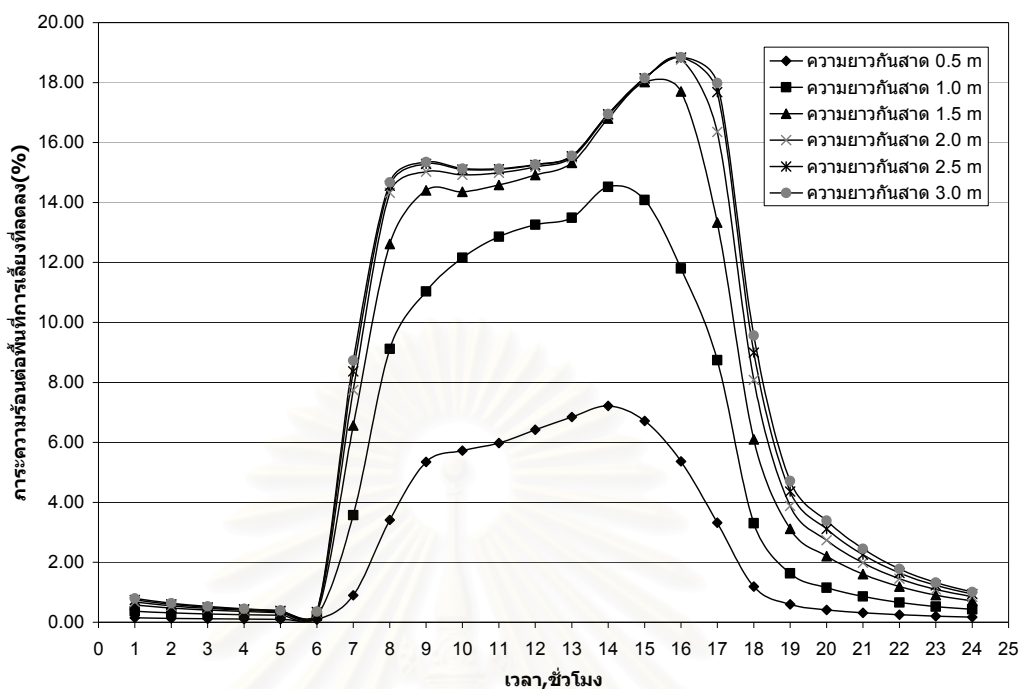
รูปที่ 5.66 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรียน  
รูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ติดถนน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรียนมีการติดกั้นศาลาที่มีความยาวต่างๆ



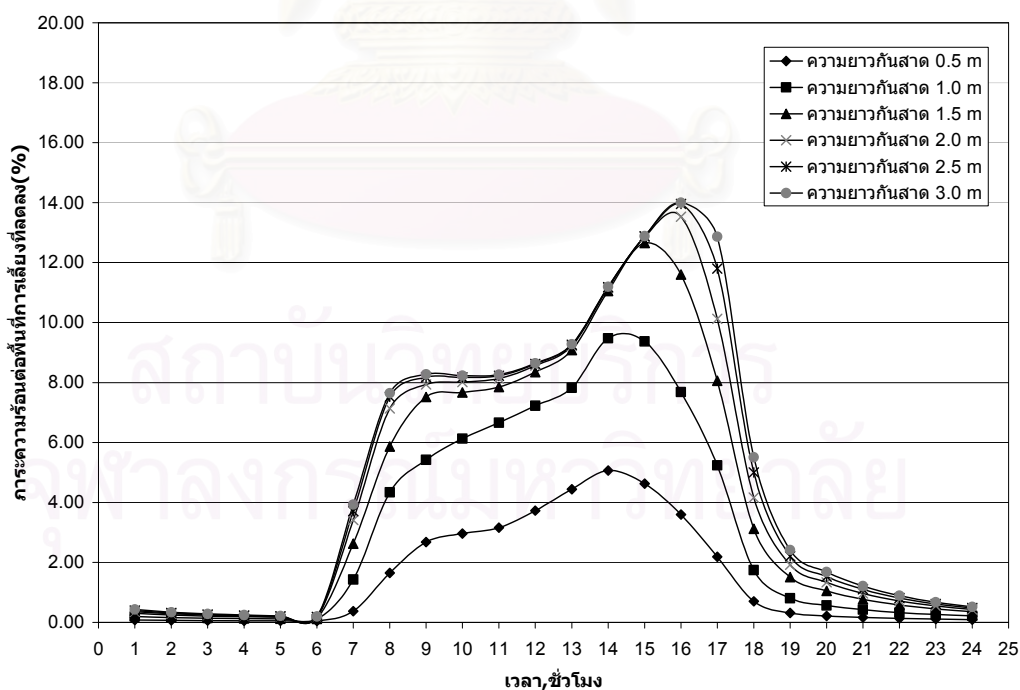
รูปที่ 5.67 คชณีความร้อน BGHI และผลต่างคชณีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกั้นเสาที่ความยาวต่างๆ



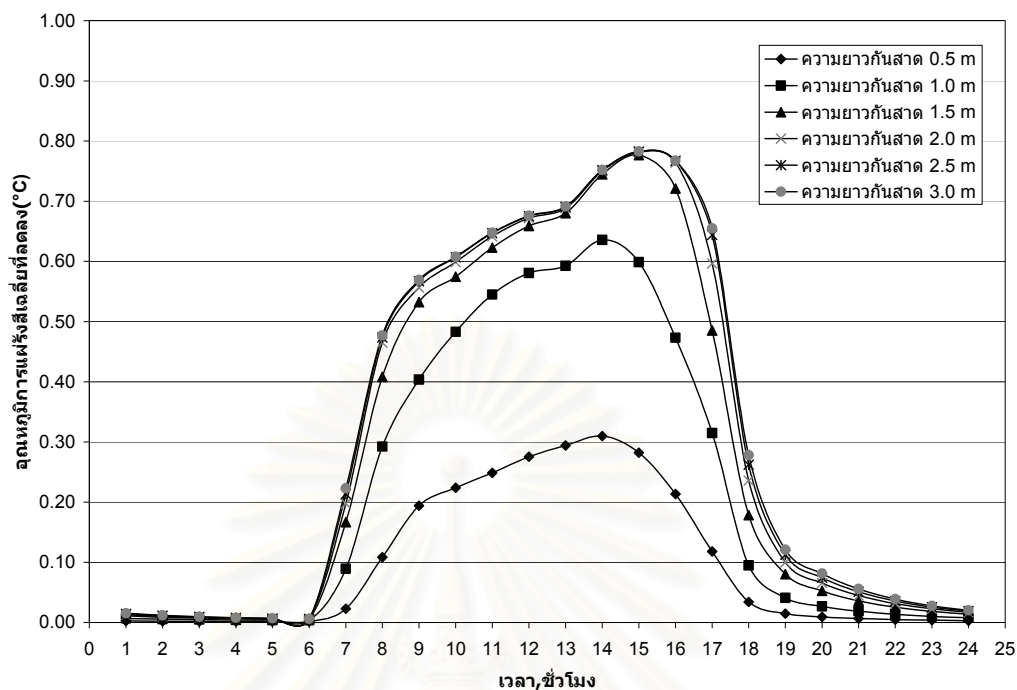
รูปที่ 5.68 คชณีความร้อน BGHI และผลต่างคชณีความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อโรงเรือนมีการติดกั้นเสาที่ความยาวต่างๆ



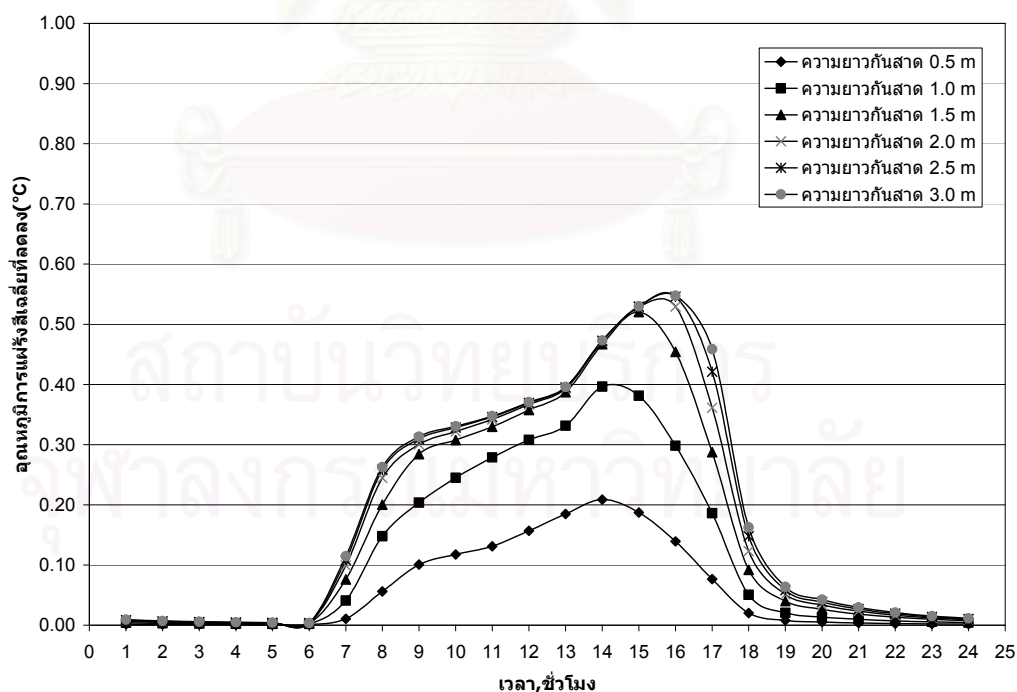
รูปที่ 5.69 การระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



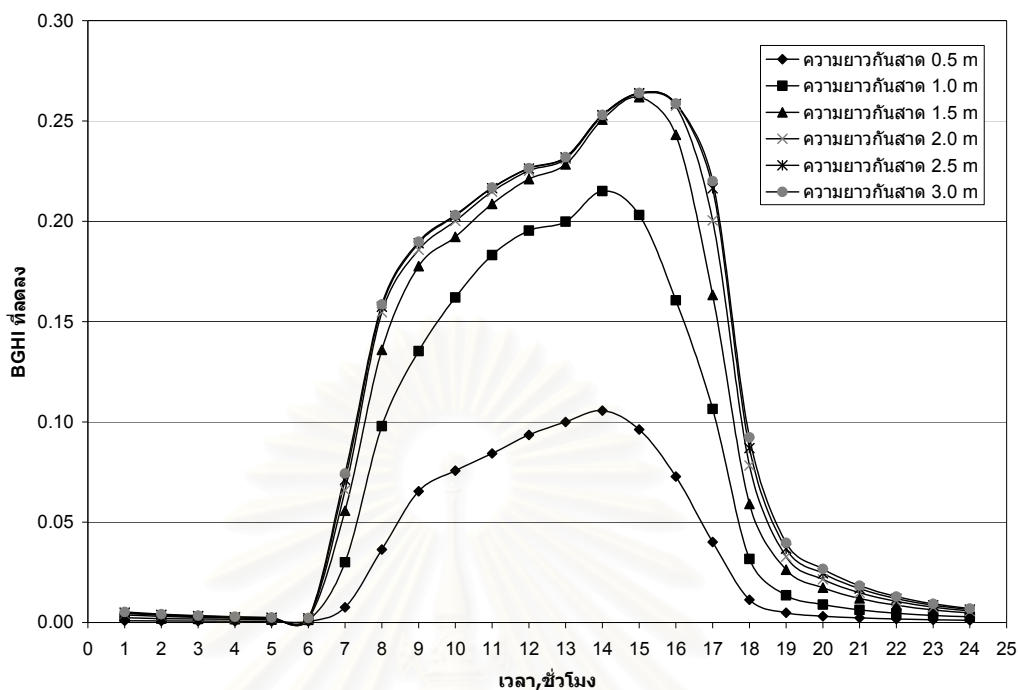
รูปที่ 5.70 การระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



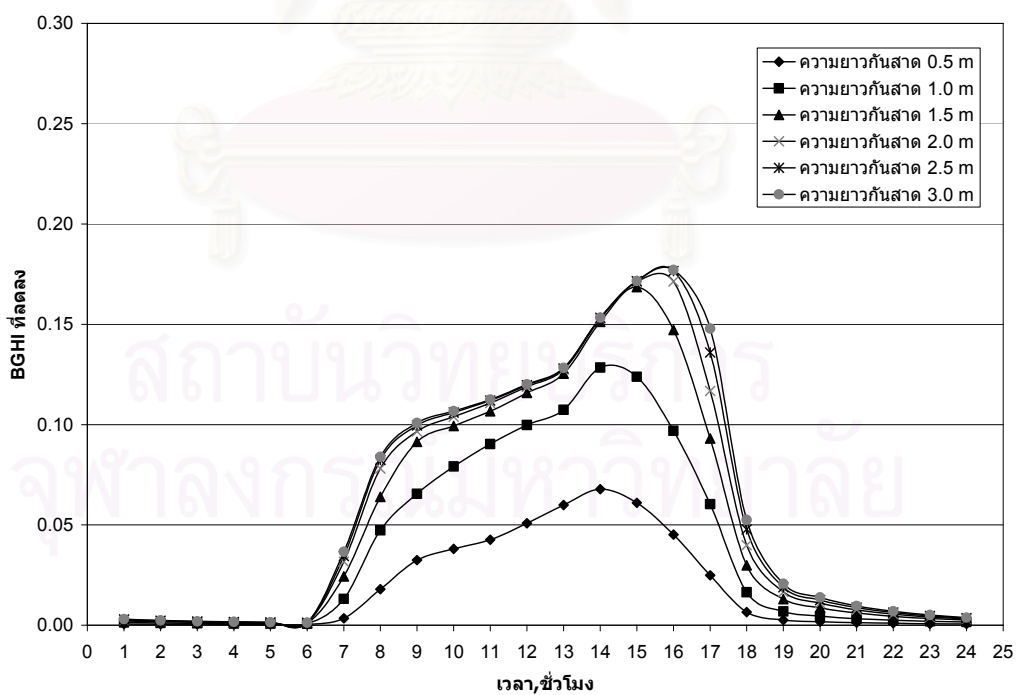
รูปที่ 5.71 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดถนนโคมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



รูปที่ 5.72 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ลดลงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ติดถนนโคมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรือนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



รูปที่ 5.73 คำนวณความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ติดถนนโพลีเอสเตอร์เทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรียนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ



รูปที่ 5.74 คำนวณความร้อน BGHI ที่ลดลงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐาน  
ของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร ติดถนนโพลีเอสเตอร์เทนหนา 2 นิ้ว  
เมื่อโรงเรียนมีการติดกันสาดที่ความยาวต่างๆ

## 5.5 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน

ในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของอากาศภายในโรงเรือนจะเป็นส่วนสำคัญในคำนวณหาค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงในโรงเรือนโดยเฉพาะการพาความร้อนที่ผนังต่างๆ โดยในที่นี้จะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของผลที่เกิดกับการถ่ายเทความร้อนไม่ได้พิจารณาถึงรูปแบบของลมที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆของโรงเรือน

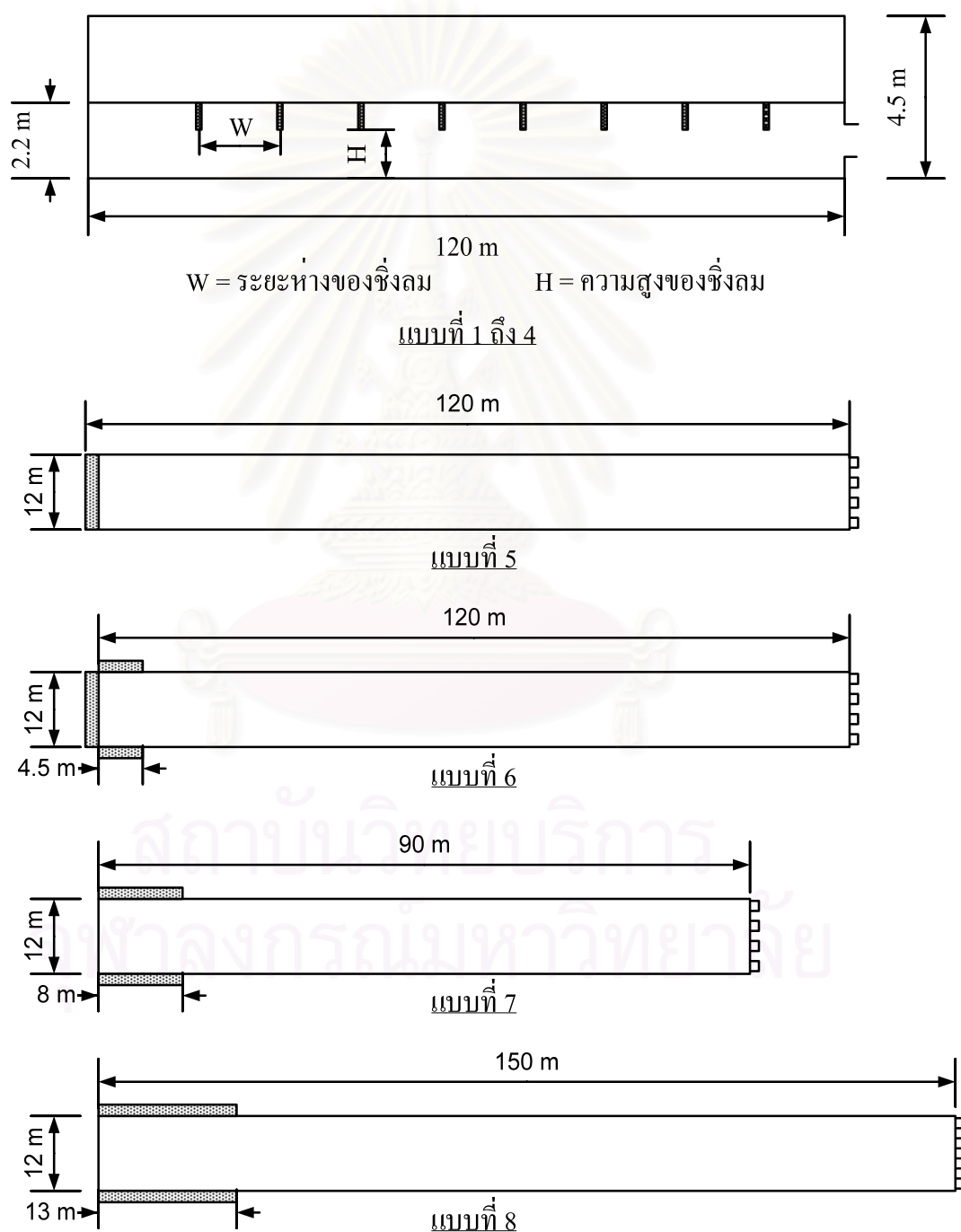
ตารางที่ 5.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโรงเรือน

ลำดับรูปแบบโรงเรือน	สิ่งที่ทำการเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบพื้นฐาน
แบบที่ 0	เป็นรูปแบบโรงเรือนพื้นฐาน ตามรูปที่ 4.1
แบบที่ 1	เปลี่ยนระยะห่างซึ่งลมเป็น 10 m(จากเดิม 15 m) ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 2	เปลี่ยนระยะห่างซึ่งลมเป็น 20 m(จากเดิม 15 m) ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 3	เปลี่ยนความสูงของซึ่งลมเป็น 1.75 m(จากเดิม 2.0 m) ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 4	เปลี่ยนความสูงของซึ่งลมเป็น 2.75 m(จากเดิม 2.0 m) ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 5	เปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็น ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 6	เปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็น ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 7	เปลี่ยนความยาวของโรงเรือนเป็น 90 m(จากเดิม 120 m) ตามรูปที่ 5.75
แบบที่ 8	เปลี่ยนความยาวของโรงเรือนเป็น 150 m(จากเดิม 120 m) ตามรูปที่ 5.75

การศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือนนั้น จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบและองค์ประกอบของโรงเรือน โดยการปรับเปลี่ยนนั้นอาจทำให้ปริมาณความร้อนที่โรงเรือนได้รับจากภายนอกเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยหรืออาจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยก็ได้ องค์ประกอบของโรงเรือนที่มีผลต่อความเร็วลมภายในโรงเรือนอย่างมากก็คือ ซึ่งลมและแผงทำความเย็น ในหัวข้อนี้จึงศึกษาผลของความเร็วลมที่เกิดจากการเปลี่ยนระยะซึ่งลมจากเดิมที่ห่าง 15 m มาเป็น 10 m และ 20 m โดยที่ซึ่งลมยังสูงจากพื้นเท่าเดิมอยู่ และการเปลี่ยนความสูงของซึ่งลมที่จากเดิมสูงจากพื้น 2.2 m มาเป็น 1.75 m และ 2.75 m แต่คงความห่างของซึ่งลมอยู่ที่ 15 m การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแผงทำความเย็นก็จะส่งผลกับรูปแบบความเร็วลมในโรงเรือนได้เช่นกัน โดยจากเดิมที่มีแต่แผงทำความเย็นเฉพาะด้านข้าง มาเป็นโรงเรือนที่มีแผงทำ



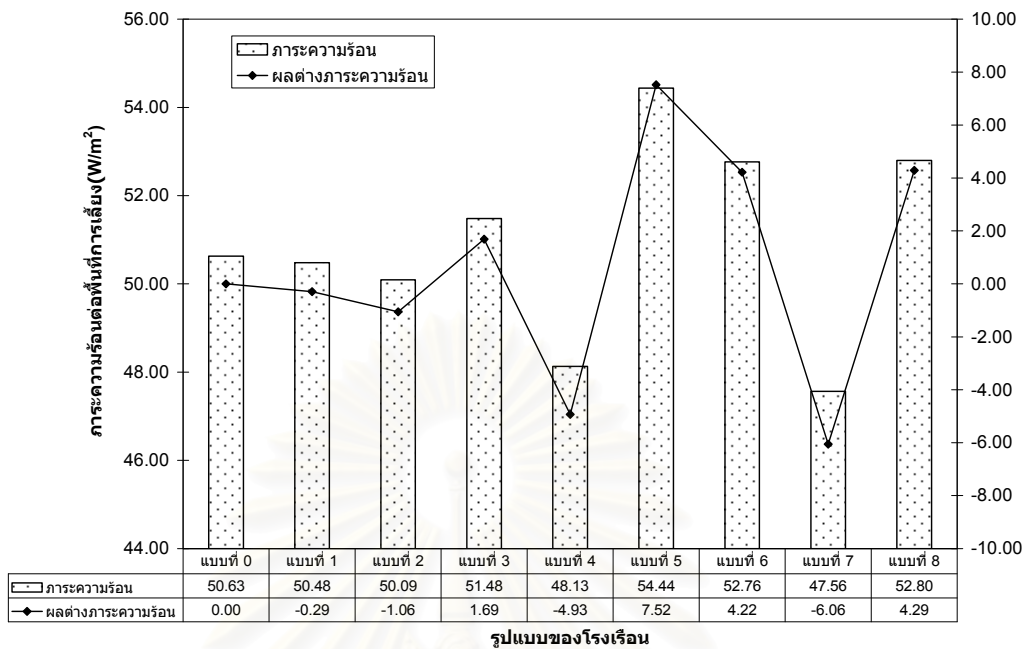
ความเชี่ยวชาญผนังด้านกว้างและโรงเรือนที่มีแผงทำความเย็นทั้งด้านข้างและผนังด้านกว้างผสมกัน โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งลมและสุดท้ายจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความยาวของโรงเรือน จากเดิม 120 เมตร เป็น 90 m และ 150 m ถ้ารวมกับโรงเรือนกรณีพื้นฐานซึ่งในที่นี่จะพิจารณาเฉพาะโรงเรือนกว้าง 12 เมตรแล้ว จะมีรูปแบบของโรงเรือนที่ทำการศึกษาทั้งหมด 9 แบบ ดังตารางที่ 5.1



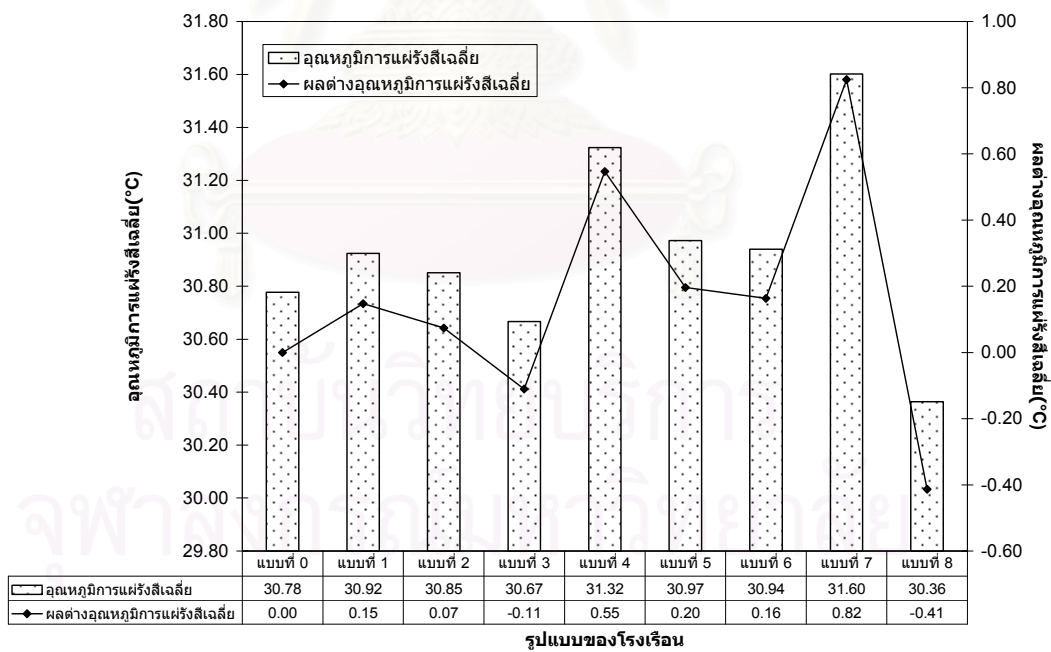
รูปที่ 5.75 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโรงเรือน

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในโรงเรือนที่เกิดขึ้นสำหรับโรงเรือนแบบต่างๆ พบว่าการเปลี่ยนระยะห่างของชิงลมนั้นจะทำให้ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยและดัชนีความร้อน BGHI เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สำหรับการเปลี่ยนความสูงของชิงลมนั้น การเพิ่มความสูงของชิงลมจะทำให้โรงเรือนมีภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลดลงแต่จะส่งผลให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยสูงขึ้นและดัชนีความร้อน BGHI สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็นนั้นการวางตำแหน่งแผงทำความเย็นตามรูปแบบโรงเรือนพื้นฐานนั้นจะมีค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงต่ำที่สุด แต่การเปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็นจะส่งผลต่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยและดัชนีความร้อน BGHI เพียงเล็กน้อยและสำหรับการเปลี่ยนแปลงความยาวของโรงเรือนนั้น โรงเรือนที่สั้นกว่าจะมีค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงที่น้อยกว่าแต่อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยและดัชนีความร้อน BGHI จะสูงกว่าดังรูปที่ 5.76-5.84

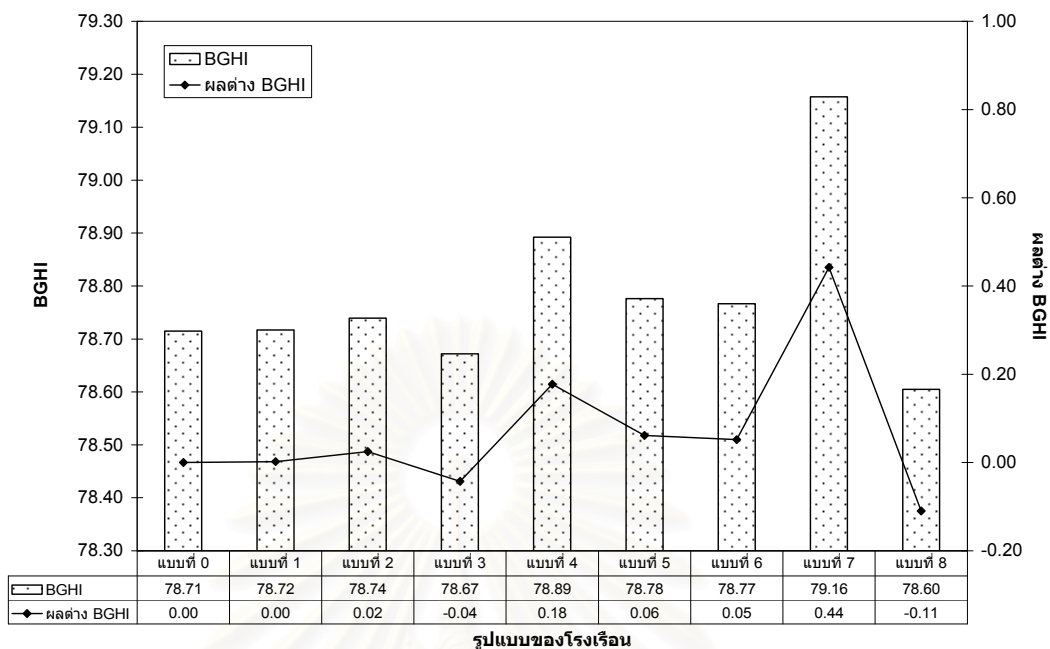
จากผลการคำนวณจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในโรงเรือนจะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและภาวะความร้อนในโรงเรือนมากหรือน้อยแล้วแต่กรณี โดยในกรณีที่ลดความเร็วลมโดยการเพิ่มความสูงของชิงลมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายในโรงเรือนลดลงจึงทำให้โรงเรือนนั้นมีค่าภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงลดลงแต่ไม่ได้เป็นการลดปริมาณความร้อนที่โรงเรือนได้รับ ความร้อนที่โรงเรือนได้รับจะถูกเก็บไว้ในผนังหรือจะถ่ายเทไปสู่ผนังอื่นและแหล่งความร้อนอื่น โดยการแผ่รังสีจึงทำให้โรงเรือนนั้นมีอุณหภูมิการแผ่รังสีสูงขึ้นและรวมกับผลที่ความเร็วลมภายในโรงเรือนลดลงจึงส่งผลให้ดัชนีความร้อน BGHI สูงตามไปด้วย สำหรับในกรณีที่ทำการเปลี่ยนตำแหน่งแผงทำความเย็นจะส่งผลโดยตรงต่อค่าภาวะความร้อนเนื่องจากในกรณีนี้ผนังด้านกว้างจะเป็นผนังที่ต้องรับแสงอาทิตย์ แต่อุณหภูมิผิวของผนังด้านในและความเร็วลมโดยรวมเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยและดัชนีความร้อน BGHI เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย และในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความยาวของโรงเรือนนั้น การที่โรงเรือนยาวมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาตรของโรงเรือนเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความต้องการในการระบายอากาศจึงมากขึ้นตามไปด้วยแต่พื้นที่หน้าตัดของโรงเรือนยังคงเท่าเดิมจึงส่งผลให้ความเร็วลมโดยรวมเพิ่มขึ้น ความร้อนจะถ่ายเทออกจากผนังได้มากขึ้น ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจึงเพิ่มขึ้น แต่การที่อุณหภูมิผิวผนังด้านในลดลงกับความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉื่อยและดัชนีความร้อน BGHI ลดลงตามไปด้วย



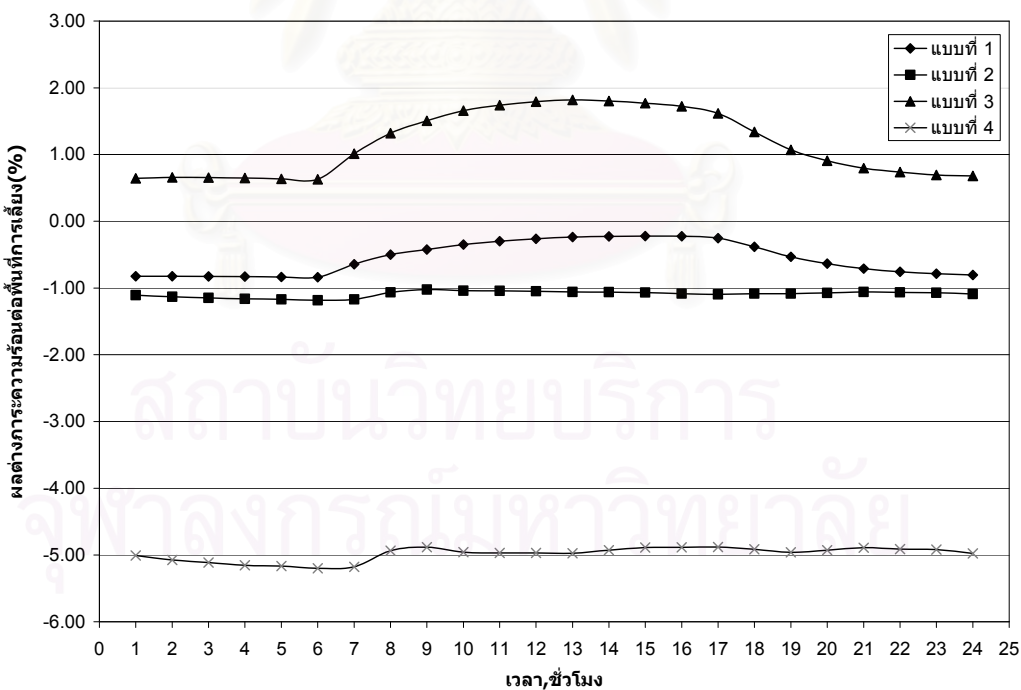
รูปที่ 5.76 ภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ตึคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรียน



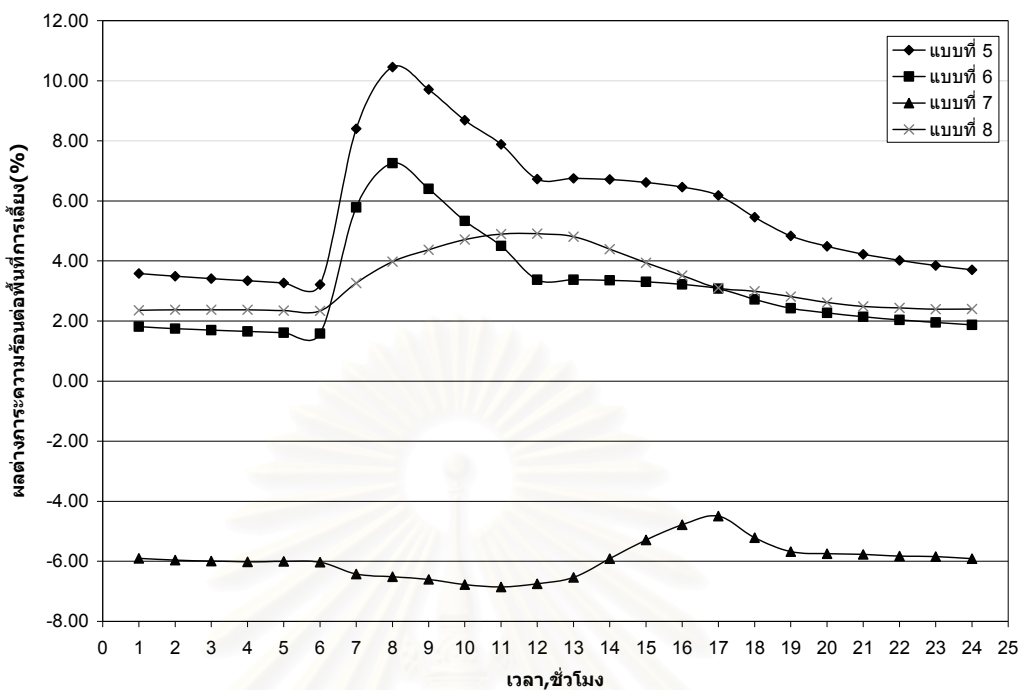
รูปที่ 5.77 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรียนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรียนกว้าง 12 เมตร ตึคนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรียน



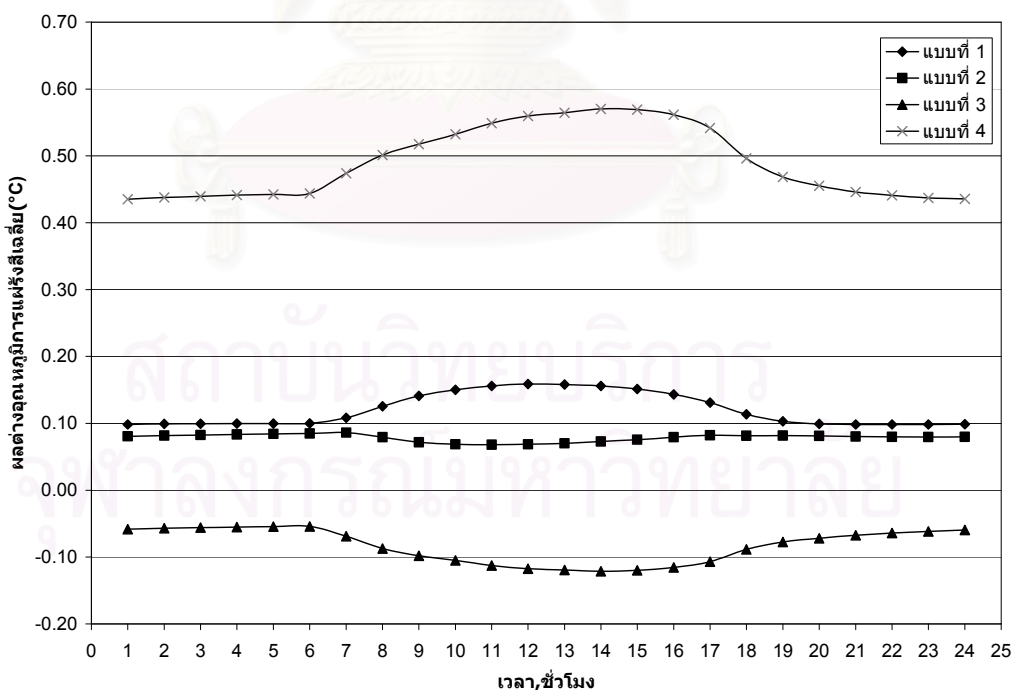
รูปที่ 5.78 คำนวณความร้อน BGHI และผลต่างคำนวณความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตึคนวน โฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโรงเรือน



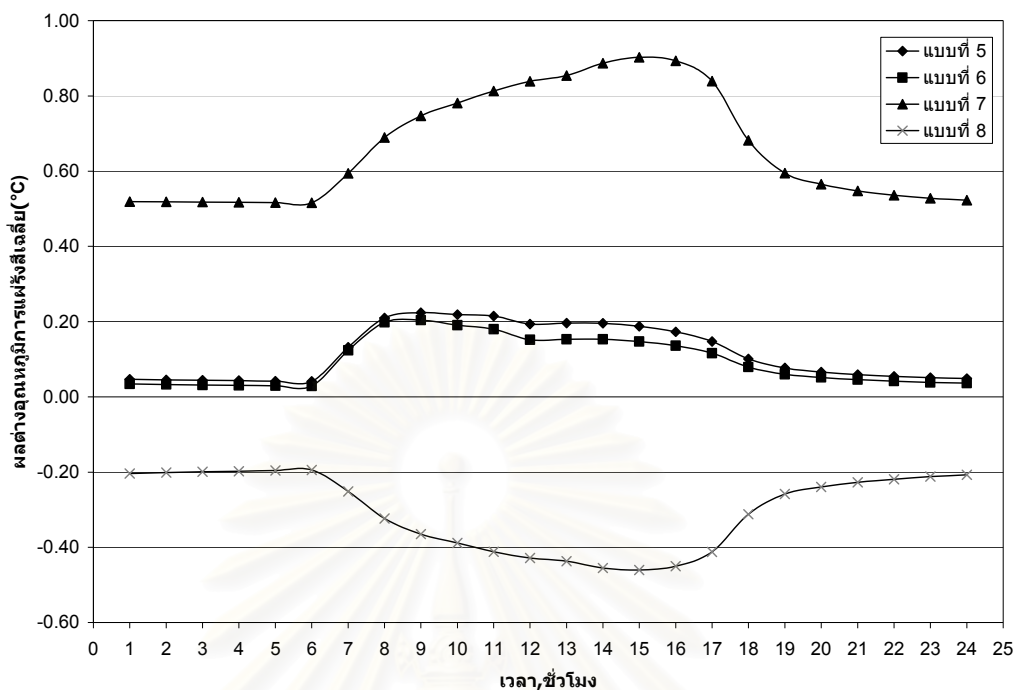
รูปที่ 5.79 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ตึคนวน โฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของซิงลม



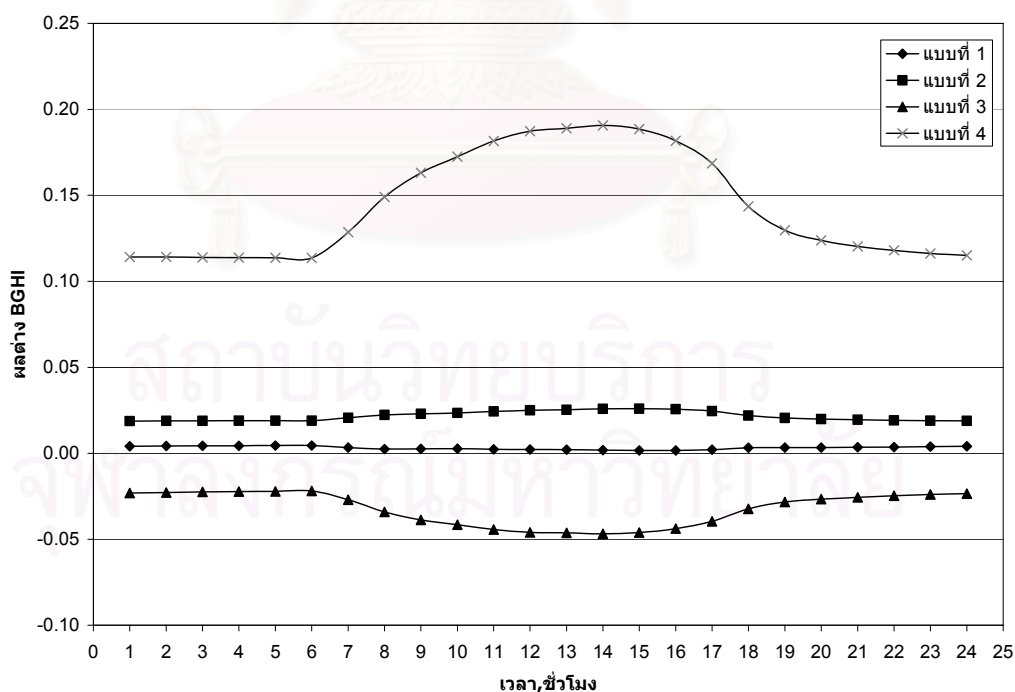
รูปที่ 5.80 ผลต่างภาวะความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดถนน โฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน



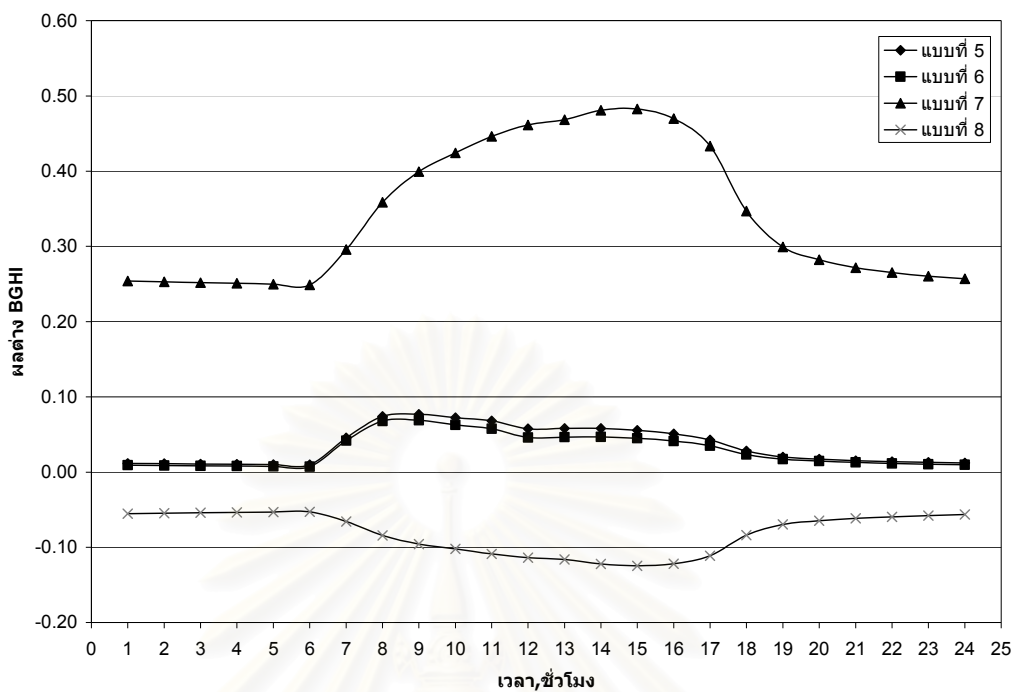
รูปที่ 5.81 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดถนน โฟม โพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของชิงลม



รูปที่ 5.82 ผลต่างอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน



รูปที่ 5.83 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างและความสูงของชิงลม



รูปที่ 5.84 ผลต่างดัชนีความร้อน BGHI จากโรงเรือนรูปแบบพื้นฐานของ  
 โรงเรือนกว้าง 12 เมตร คัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง  
 ตำแหน่งของแผงทำความเย็นและความยาวของโรงเรือน

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาและสรุปผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อ โดยองค์ประกอบของโรงเรือนที่ได้นำมาพิจารณาได้แก่ ขนาดของโรงเรือนซึ่งจะทำการศึกษาควบคู่ไปกับฉนวนกันความร้อน ความสูงของหลังคา แนวการวางตัวของโรงเรือน กันสาดและองค์ประกอบของโรงเรือนที่มีผลต่อความเร็วลมภายในโรงเรือน เช่น ซิงลม แผงทำความเย็นรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของโรงเรือนโดยการปรับเปลี่ยนความยาวของโรงเรือน ซึ่งผลจากองค์ประกอบต่างๆสามารถสรุปได้ดังนี้

1. โรงเรือนกว้าง 24 เมตร จะมีค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ประมาณ 5 % ในกรณีที่โรงเรือนไม่ได้มีการติดฉนวนกันความร้อน การติดฉนวนกันความร้อนจะส่งผลในการช่วยลดการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงสำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ได้มากกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ประมาณ 3%-4% ซึ่งจะส่งผลให้โรงเรือนกว้าง 24 เมตร มีค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ประมาณ 10 % -ขึ้นไปในกรณีที่โรงเรือนมีการติดฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 0.5 นิ้ว

ดัชนีความร้อนของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร จะมีค่าใกล้เคียงกับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่โรงเรือนมีการติดฉนวนกันความร้อนหรือไม่ก็ตาม

2. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร การที่โรงเรือนมีความสูงหลังคามากขึ้นจะทำให้โรงเรือนมีค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงมากขึ้นตามไปด้วยแต่กลับส่งผลให้แนวโน้มของดัชนีความร้อนมีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงความสูงหลังคาในช่วง 2.3 เมตร-3.3 เมตร จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและดัชนีความร้อนน้อยกว่าในช่วงความสูงหลังคาอื่นๆ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงหลังคาสำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตรเล็กน้อย

3. สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร ทิศทางการวางตัวของโรงเรือนควรอยู่ในทิศทางตามตะวัน(ตะวันออก-ตะวันตก) การหมุนทิศทางวางตัวของโรงเรือนไปในช่วงประมาณไม่เกิน  $15^{\circ}$  จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและ



ดัชนีความร้อนจากโรงเรือนที่วางตัวในทิศทางตามตะวันไม่มากนัก การหมุนทิศทางการวางตัวของโรงเรือนที่มากกว่า  $15^{\circ}$  จะส่งผลให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเพิ่มสูงขึ้นมากและแนวโน้มของดัชนีความร้อนมีค่ามากขึ้นเล็กน้อยในช่วงเช้าและเย็น

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการวางตัวของโรงเรือนสำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตรเล็กน้อย

4. การติดกันสาดบังแดดจะช่วยลดภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและยังช่วยให้ดัชนีความร้อนมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการใช้กันสาดที่ยาวขึ้นซึ่งจะส่งผลอย่างชัดเจนในช่วงตอนเย็น โดยโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร ความยาวของกันสาดที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 1.5 เมตร เช่นเดียวกัน การใช้กันสาดที่ยาวกว่านี้ไม่ได้เป็นการช่วยให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงและดัชนีความร้อนมีค่าลดลง

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกันสาดสำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตรจะมีน้อยกว่าโรงเรือนกว้าง 12 เมตรเล็กน้อย

5. การเปลี่ยนระยะห่างและความสูงของซึ่งลมจะส่งผลต่อดัชนีความร้อนเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนตำแหน่งแฉงการทำความเย็นไปอยู่ในด้านกว้างของโรงเรือนจะมีแนวโน้มที่จะทำให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นแต่จะส่งผลต่อดัชนีความร้อนเพียงเล็กน้อย การที่โรงเรือนมีความยาวมากขึ้นจะทำให้ภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงมากขึ้นแต่แนวโน้มของดัชนีความร้อนมีค่าลดลง

#### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆของเปลือกอาคารต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่โรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระเบียบวิธีสมดุลความร้อนในการคำนวณซึ่งจะเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆของโรงเรือน แต่การพิจารณาสถานะแวดล้อมเชิงความร้อนภายในโรงเรือนจะมีข้อจำกัดอยู่คือ ระเบียบวิธีสมดุลความร้อนถูกสร้างอยู่บนสมมติฐานที่ว่า อุณหภูมิผิวของผนังและอุณหภูมิอากาศภายใน โชนที่พิจารณา มีความสม่ำเสมอ พารามิเตอร์ที่เป็นสถานะแวดล้อมเชิงความร้อนเช่น อุณหภูมิอากาศและความชื้น ที่คำนวณได้จะเป็นตัวแทนค่าสถานะแวดล้อมเชิงความร้อนของ โชนที่ไม่ได้พิจารณาถึงการกระจายตัวตามตำแหน่งต่างๆ หากจะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบสถานะแวดล้อมเชิงความร้อนภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่พันธุ์เนื้อซึ่งเป็นบริเวณปิดที่มีขนาดใหญ่ ผลการคำนวณที่ได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

ดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบสภาวะแวดล้อมเชิงความร้อน BGHI ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงดัชนีเปรียบเทียบสภาวะไม่ได้มีการบ่งบอกถึงระดับความแตกต่างที่เกิดขึ้นว่าส่งผลอย่างไรต่อการเลี้ยงไก่ การที่จะพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆของโรงเรือนมีผลต่อการเลี้ยงไก่อย่างไรนั้นควรมีการศึกษาถึงดัชนีชี้วัดที่ให้ความชัดเจนและบ่งบอกถึงระดับความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมปศุสัตว์. ระเบียบมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อของประเทศไทย พ.ศ. 2542. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย พ.ศ. 2542, หน้า 37-44. กรุงเทพมหานคร : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2542.
- ศิษย์ พงษ์พิพัฒน์. ระบบ Evap.: เทคนิคและการจัดการสำหรับการเลี้ยงสัตว์. ใน ประวีร์ วิชชุตา. (บรรณาธิการ), ยี่สิบห้าปีสืบสานสมาคมสัตวบาลแห่งประเทศไทย, หน้า 154-199. กรุงเทพมหานคร : อักษรสยามการพิมพ์, 2544.
- สมบูรณ์ ดิรสิทธิ์. การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- สุธรรม ดิสวัสดิ์. คู่มือการเลี้ยงไก่เนื้อเชิงธุรกิจ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.
- สุภาพร อิศริโยดม. ระบบอีแวปกับโรงเรือนระบบปิด. ที่ระลึก 60 ปี สมาคมส่งเสริมการเลี้ยงไก่แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 176-193. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมการเลี้ยงไก่แห่งประเทศไทย, 2543.
- อัครา กิจการเจริญสิน. การศึกษาภาวะสบายเชิงความร้อนเนื่องจากผลของช่องเปิด และ กันสาดสำหรับบ้านในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

### ภาษาอังกฤษ

- ASHRAE. 1999 ASHRAE Applications Handbook. Atlanta : The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1999.
- ASHRAE. 2001 ASHRAE Fundamental Handbook. Atlanta : The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Awbi, H. Ventilation of Buildings. London : Spon, 1991.
- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G. H., Pitt, D., Thatcher, W. W., Collier, R. J. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows. Transactions of the ASAE 24 (1981) : 711-714.
- Fanger, P. O. Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York : McGraw-Hill, 1970.

- Hittle, D. C. Calculation building heating and cooling loads using the frequency response of multilayered slab. Ph.D. Thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois, 1979
- Hittle, D. C. An improved root-finding procedure for use in calculating transient heat flow through multilayered slabs. International Journal of Heat and Mass Transfer 26 (1983): 1685-93.
- Liesen, R. J. and Pederson, C. O. An evaluation of inside surface heat balance models for cooling load calculation. ASHRAE Transactions 103 (1997) : 485-502.
- McClellan, T. M. and Pederson, C. O. Investigation of outside heat balance models for use in a heat balance cooling load calculation procedure. ASHRAE Transactions 103 (1997) : 469-484.
- McQuiston, F. C. And Spitler, J. D. Cooling and Heating Load Calculation Manual. 2nd ed. Atlanta : American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1994.
- Morais, S. R. P., Tinôco I. F. F., Baêta, F. C., Yanagi, T. Jr., Vigoderis, R. B., Oliveir, A. L. R. Determination of the Effectiveness (E) of Different Types of Roof Materials on Broiler Buildings Under Summer Conditions in Brazil. Livestock Environment VI: Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Symposium 2001 : 478-481.
- Moura, D. J., Nääs, I.A., Welker, J.S., Catelan, F. Thermal Efficiency Evaluation of High Density Poultry Housing in Different Environmental Control Systems. 2001 ASAE Annual Meeting, Paper number 014063 2001.
- Pederson, C. O., Fisher, D. E., Spitler, J. D., Liesen, R. J. Cooling and Heating Load Calculation Principles. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1998.
- Pederson, C. O., Fisher, D. E. and Liesen, R. J. Development of a heat balance based procedure for calculating cooling load. ASHRAE Transaction 103 (1997) : 459-468.
- Reece, F. N., Deaton, J.W. and Bouchillon, C.W. Heat and Moisture Production of Broilers In. Summer Conditions. Poultry Science 48 (1969a) : 1296-1303.
- Reece, F. N. and Lott, B. D. The Effect of Environmental Temperature on Sensible and latent Heat Production of Broiler Chickens. Poultry Science 61 (1982) : 1590-1593.

Yanagi, T. Jr., Damasceno, G. S., Teixeira, V. H., Xin, H. Prediction of Black Globe Humidity Index in Poultry Buildings. Livestock Environment VI: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium 2001 : 482-489.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**ภาคผนวก**

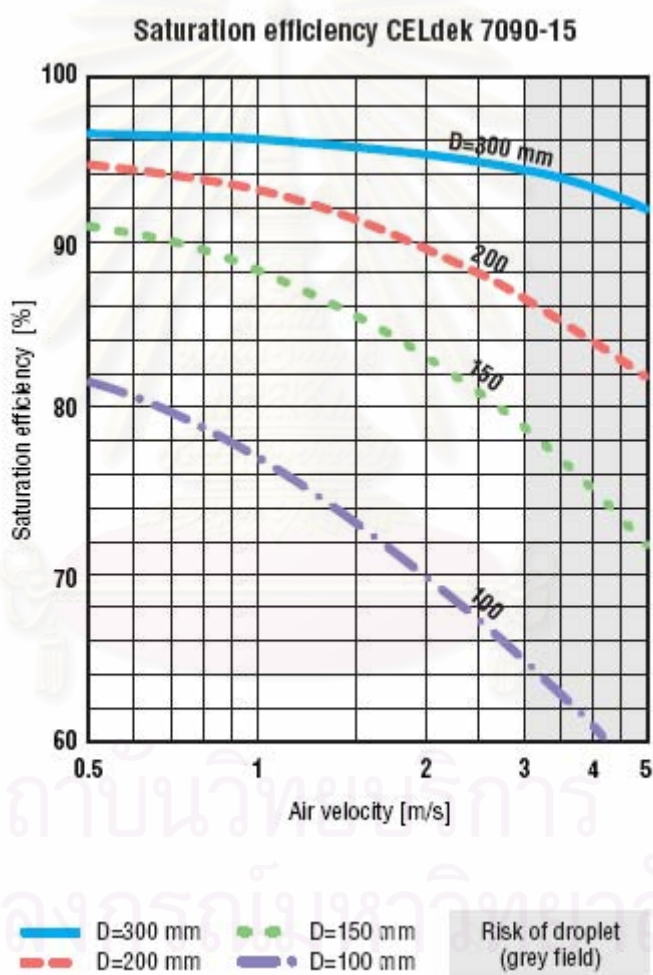
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นแบบระเหย

ข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นต้องทราบในการหาประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นก็คือ อัตราการระบายอากาศ ขนาดของแผงทำความเย็นและประเภทของแผงทำความเย็น ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นสำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร



รูปที่ ก.1 กราฟหาประสิทธิภาพของแผงทำความเย็น

## 1. จำนวนอัตราการระบายอากาศ

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของโรงเรือน} &= 4824 \text{ m}^3 \\
 \text{อัตราการระบายอากาศที่เพียงพอตามข้อกำหนด} &= 4824 \text{ m}^3 / \text{min} \\
 &= 80.4 \text{ m}^3 / \text{s}
 \end{aligned}$$

## 2. ขนาดของแผงทำความเย็น

สมมติให้ใช้แผงทำความเย็นของบริษัท Munters รุ่น 7090-15

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวของแผงทำความเย็น(2 ด้าน)} &= 21 \text{ m} \\
 \text{ความสูงของแผงทำความเย็น} &= 2.2 \text{ m} \\
 \text{ความหนาของแผงทำความเย็น} &= 0.15 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 3. จำนวนหาความเร็วลมที่ผ่านหน้าตัดของแผงทำความเย็น

$$\begin{aligned}
 \text{ความเร็วลมที่ผ่านหน้าตัด} &= \text{อัตราการระบายอากาศ} / \text{พื้นที่หน้าตัด} \\
 &= 80.4 / (21 \times 2.2) \\
 &= 1.74 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

## 4. จากรูปที่ ก.1 อ่านค่าประสิทธิภาพของแผงทำความเย็นได้ = 85 %

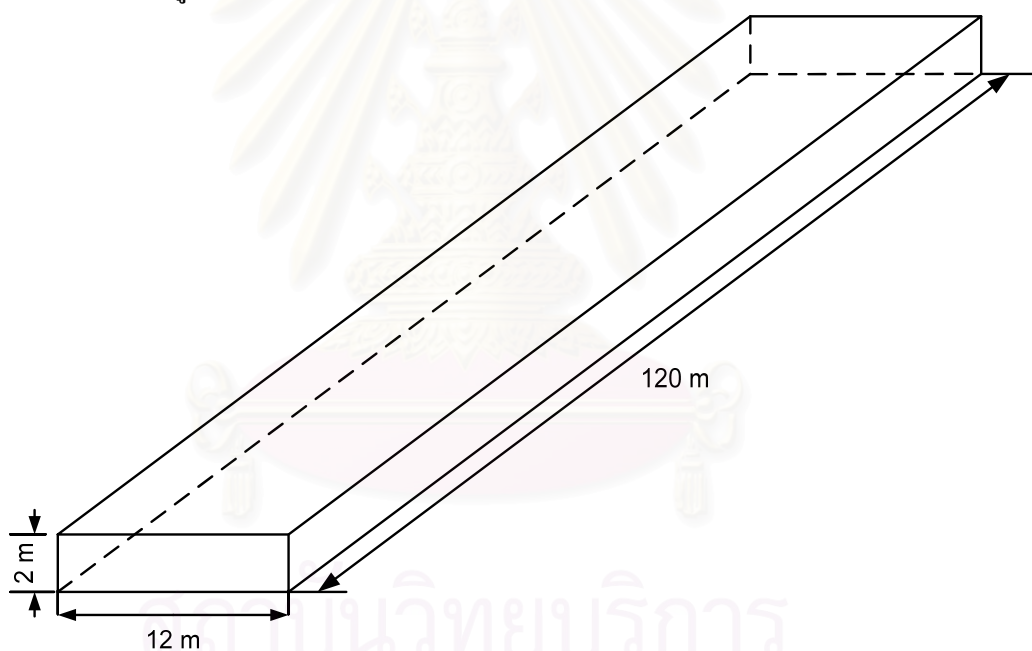
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ข

### การตรวจสอบโปรแกรม

โปรแกรมมาตรฐานที่อาศัยรากฐานจากระเบียบวิธีสมมูลความร้อนที่จะใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นนั้นก็คือ ASHRAE Load Principle ซึ่งโปรแกรม ASHRAE Load Principle นี้จะเป็นโปรแกรมต้นแบบในการคำนวณค่าภาระความร้อนของบริเวณปิดที่ต้องการ แต่โปรแกรม ASHRAE Load Principle จะมีข้อจำกัดในการใช้งานบ้างในบางกรณี โดยโปรแกรม ASHRAE Load Principle สามารถคำนวณแบบจำลองของปัญหาที่มีผนังทึบไม่เกิน 6 ผนังเท่านั้น (ห้องสี่เหลี่ยม) ดังนั้นแบบจำลองที่จะใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นจึงกระทำได้เพียงการใช้แบบจำลองของผนังที่มีผนังทึบ 6 ผนัง (ห้องสี่เหลี่ยม) ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แบบจำลองโรงเรียนที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

ตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการคำนวณสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม มีรายละเอียดดังนี้

ตำแหน่งที่ตั้ง : ประเทศไทย, กรุงเทพฯ

Latitude 13.92 N

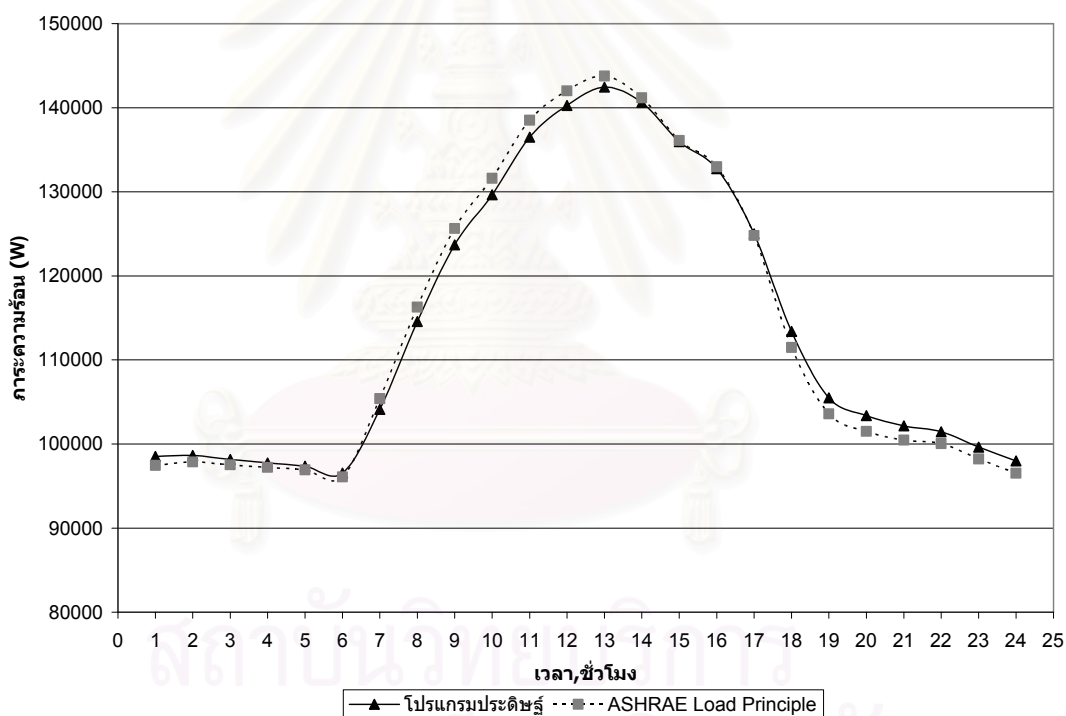
Longitude 100.6 E

วันที่ใช้ในการคำนวณ 21 เมษายน (เฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2536-2538)

ความเร็วลมภายนอก 3.4 m/s (ทิศทางจาก ใต้ไปเหนือ)

อุณหภูมิอากาศในโซน	25 °C
วัสดุที่ใช้:	
ผนังด้านข้าง	แผ่นสังกะสีและฝ้าพลาสติก PVC
หลังคา	แผ่นสังกะสีติดฉนวน PU โฟม
พื้น	ดิน + ปูนซีเมนต์ + แกลบ
จำนวนไก่ที่เลี้ยง	19584 ตัว

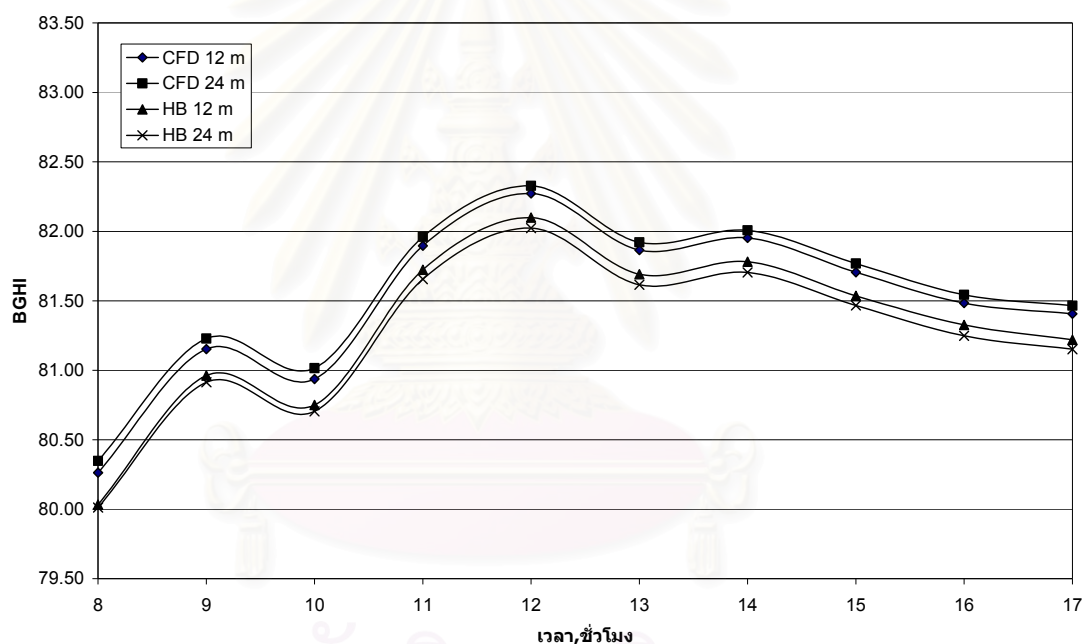
รูป ข.2 เป็นผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นและโปรแกรมมาตรฐาน ASHRAE Load Principle ซึ่งพบว่าภาพรวมตลอดทั้งวันผลการคำนวณจากโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นและโปรแกรม ASHRAE Load Principle มีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 4%



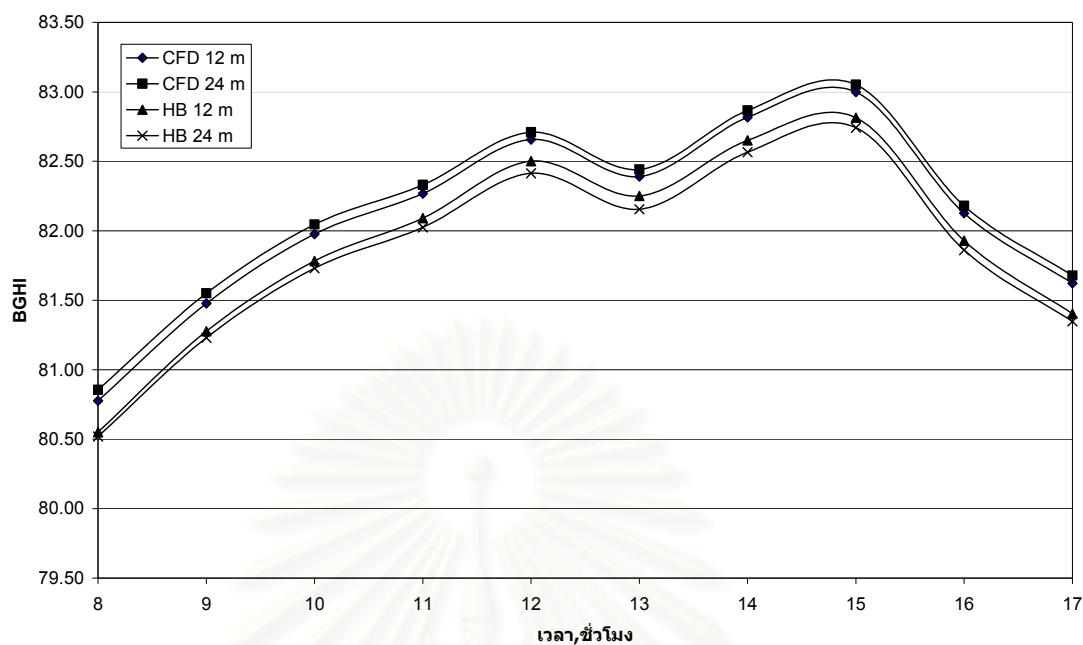
รูปที่ ข.2 ผลการคำนวณภาระความร้อนเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นและโปรแกรมมาตรฐานASHRAE Load Principle

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้มีการนำผลการคำนวณด้านการระบายอากาศด้วยวิธีทาง CFD มาใช้ร่วมกับการคำนวณด้วยระเบียบวิธีสมมูลความร้อน ในที่นี้จึงได้นำเสนอผลการคำนวณผลการคำนวณในส่วนของ อุณหภูมิอากาศภายใน โรงเรือนและดัชนีเปรียบเทียบทางความร้อน BGHI ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากตำแหน่งต่างๆในโรงเรือนจากทั้ง 2 วิธี เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มและความสอดคล้องที่เกิดขึ้นระหว่างผลการคำนวณจากทั้ง 2 วิธี

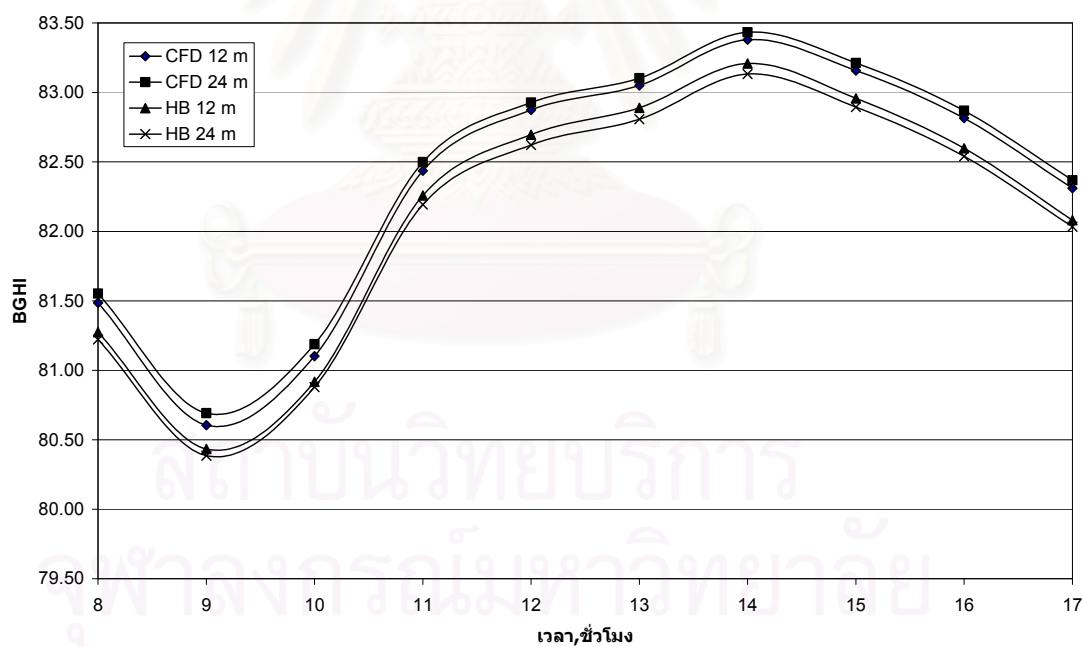
รูป ข.3-7 เป็นผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 18 – 22 เมษายน โดยวันที่ 20 เมษายน นั้นจะเป็นวันที่ดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดในรอบปี จากผลการคำนวณที่ได้พบว่า สำหรับโรงเรือนกว้าง 12 เมตร ผลต่างระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั้ง 2 จะอยู่ที่ประมาณ 0.1-0.2 แต่สำหรับโรงเรือนกว้าง 24 เมตร ผลต่างระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั้ง 2 จะอยู่ที่ประมาณ 0.3 โดยในกรณีที่คำนวณด้วยวิธีสมดุลความร้อนจะไม่ได้พิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนซึ่งจะต่างจากการคำนวณด้วยวิธีทาง CFD จึงทำให้ผลการคำนวณด้วยวิธีทั้ง 2 มีความแตกต่างกันแต่โดยรวมแล้วแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า ดัชนีความร้อน BGHI จากการคำนวณด้วยวิธีทั้ง 2 มีความใกล้เคียงกัน



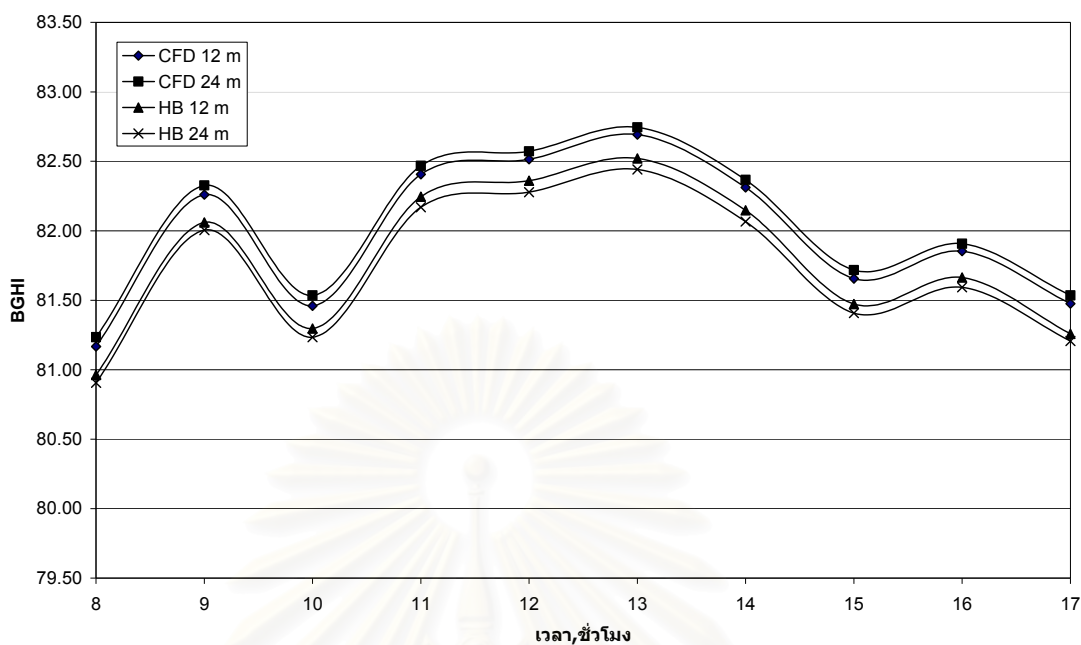
รูปที่ ข.3 ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 18 เมษายน



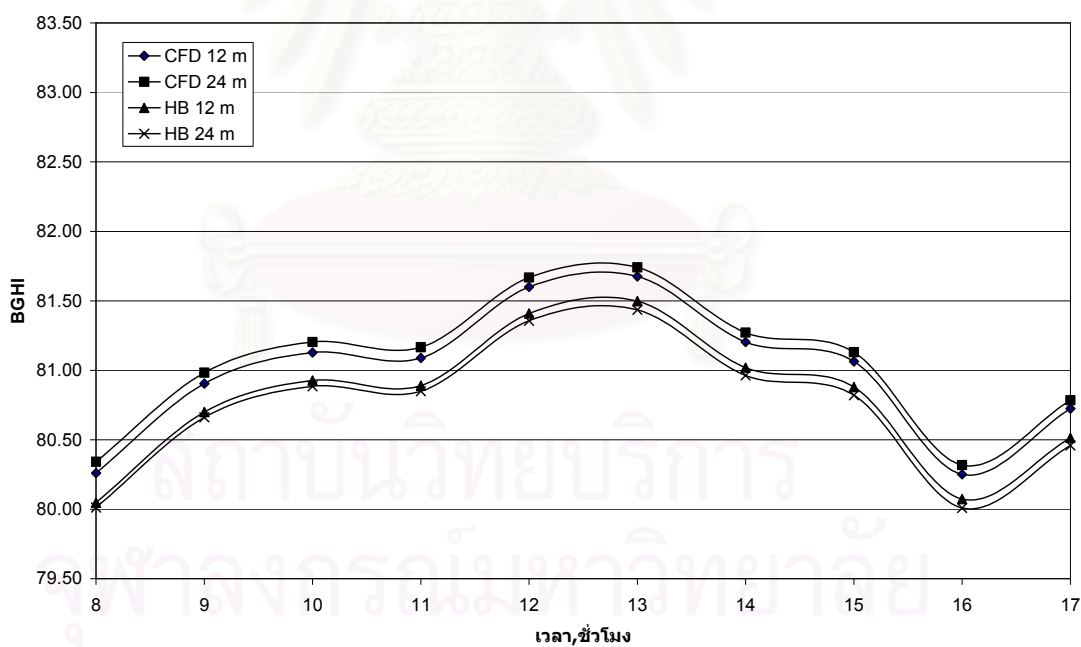
รูปที่ ข.4 ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 19 เมษายน



รูปที่ ข.5 ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 20 เมษายน



รูปที่ ข.6 ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 21 เมษายน

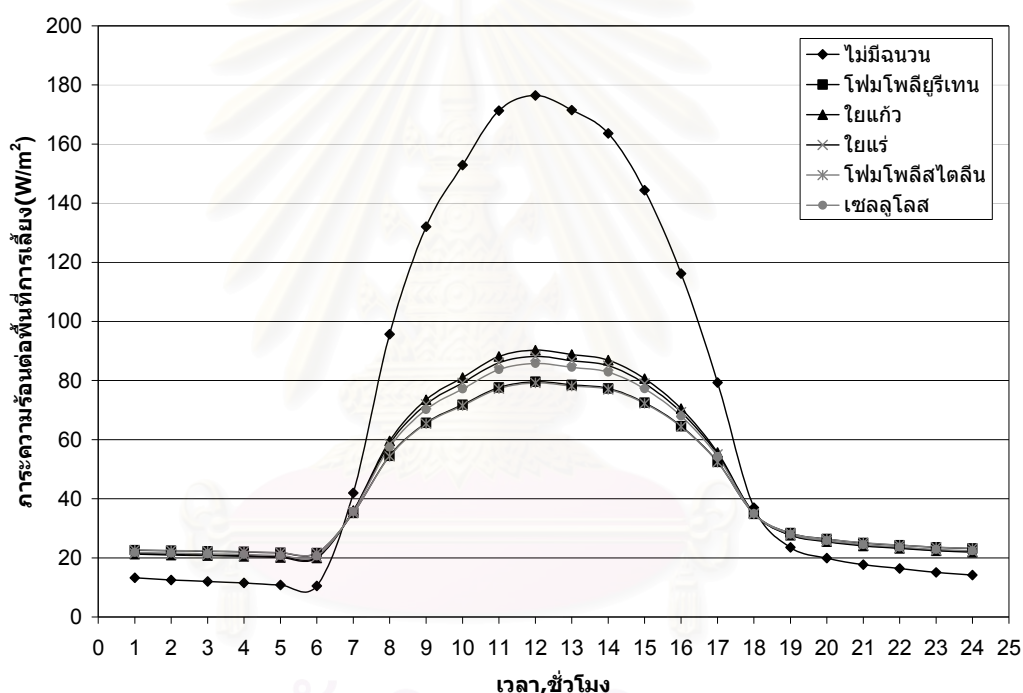


รูปที่ ข.7 ผลการคำนวณดัชนีความร้อน BGHI เฉลี่ยของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตรด้วยวิธี สมดุลความร้อน (HB) และวิธีทาง CFD ในวันที่ 22 เมษายน

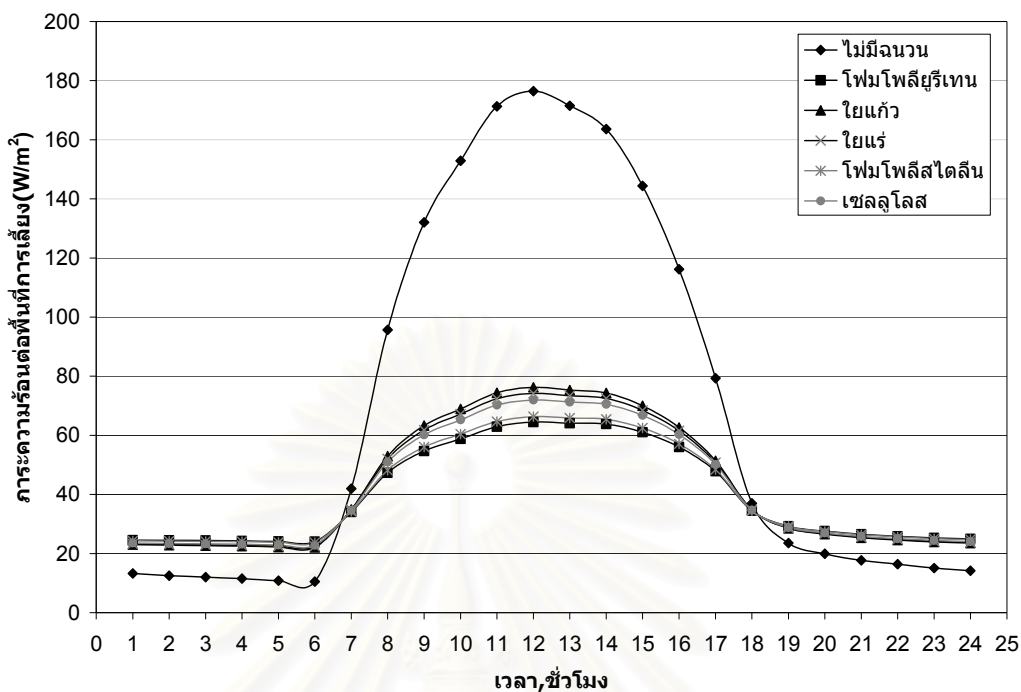
### ภาคผนวก ค

#### ผลการคำนวณรายชั่วโมงของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนต่างๆ

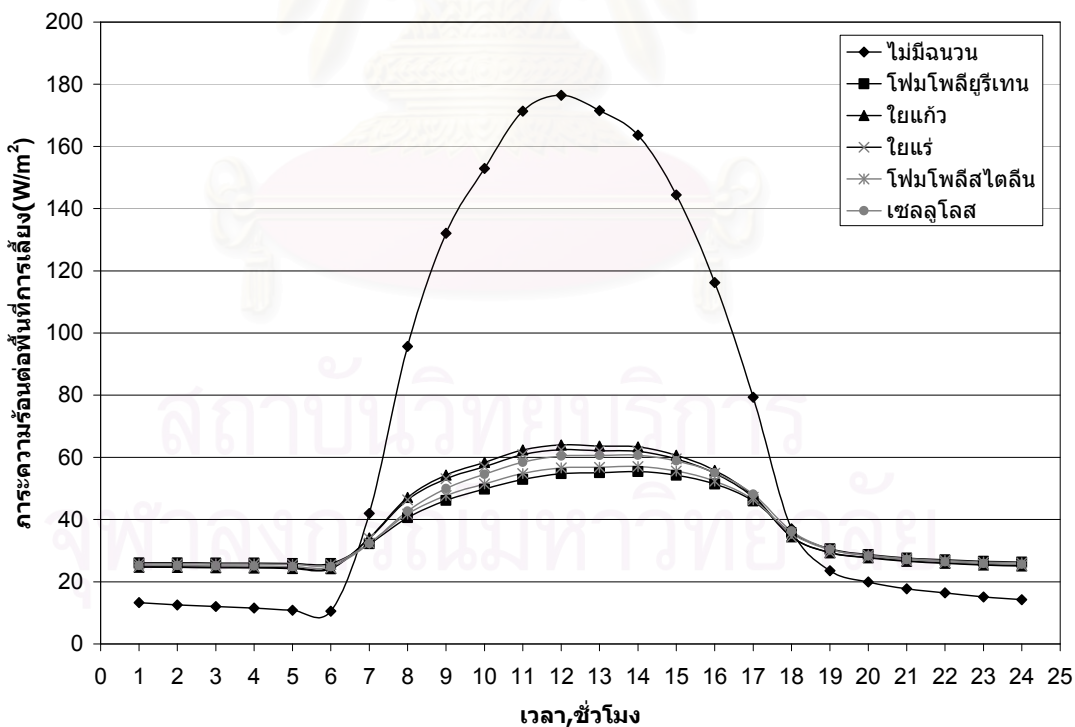
ผลการคำนวณในภาคผนวก ค นี้ได้แสดงให้เห็นถึงค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยงของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร และ 24 เมตร เป็นรายชั่วโมงเฉลี่ยในรอบปี เมื่อมีการติดฉนวนประเภทต่างๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการคำนวณในหัวข้อ 5.1 และสามารถนำไปเชื่อมโยงในการพิจารณาผลการคำนวณผลต่างของตัวแปรต่างๆที่แสดงเป็นรายชั่วโมงในหัวข้ออื่นได้อีกด้วย



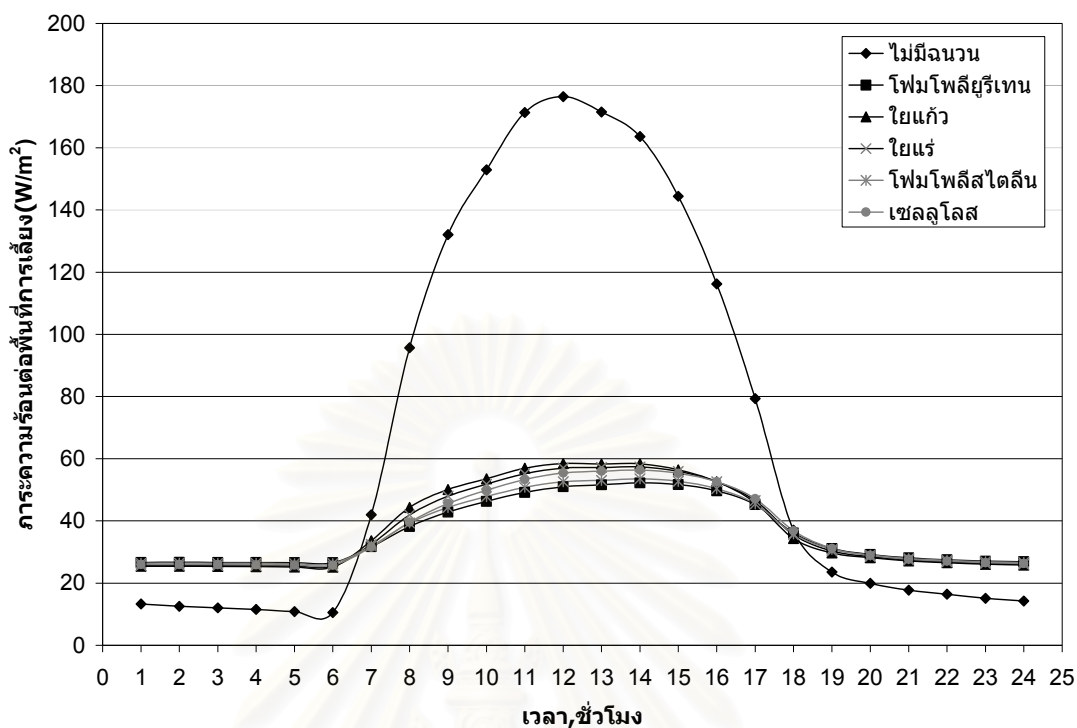
รูปที่ ค.1 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



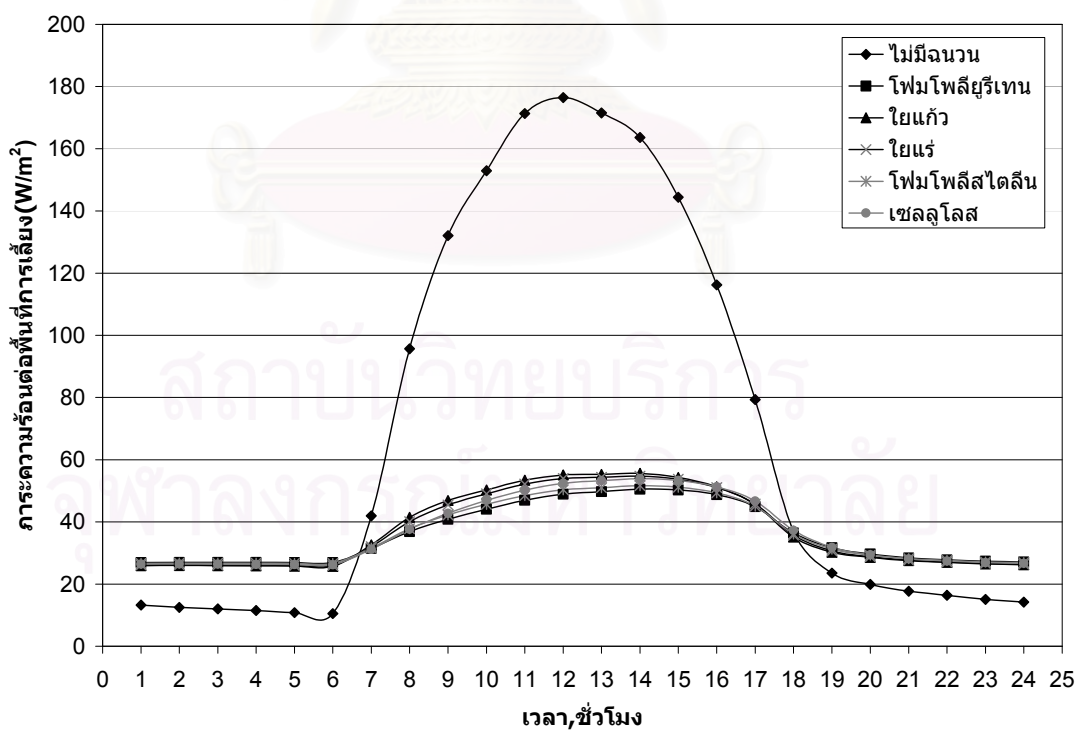
รูปที่ ค.2 ค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



รูปที่ ค.3 ค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว

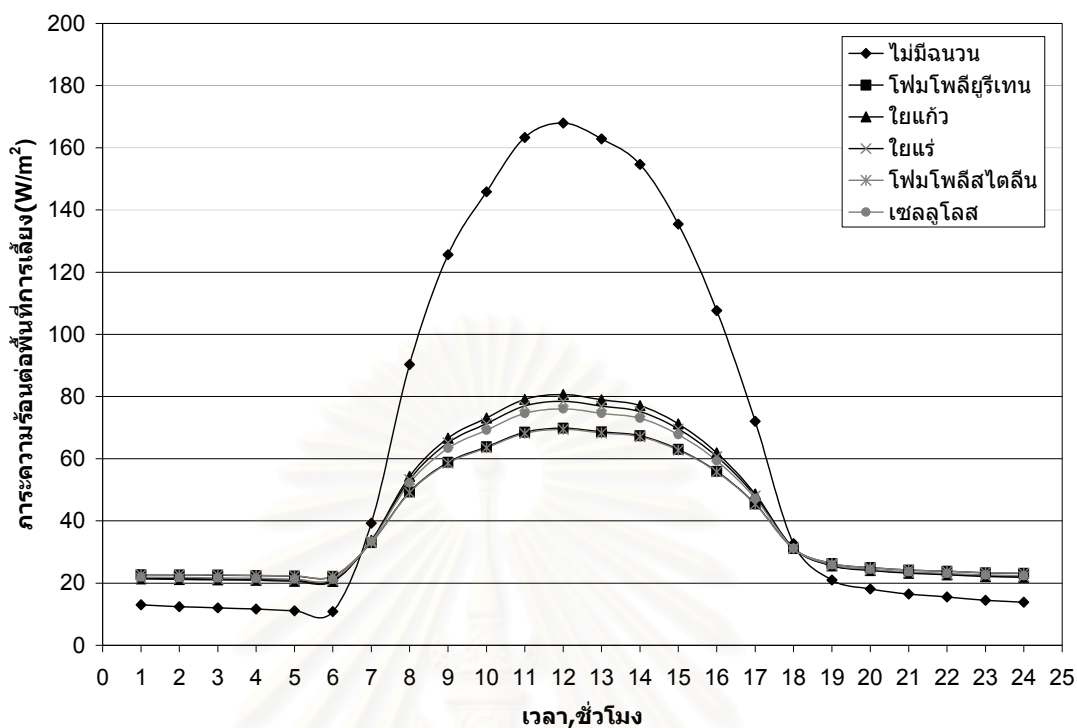


รูปที่ ค.4 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว

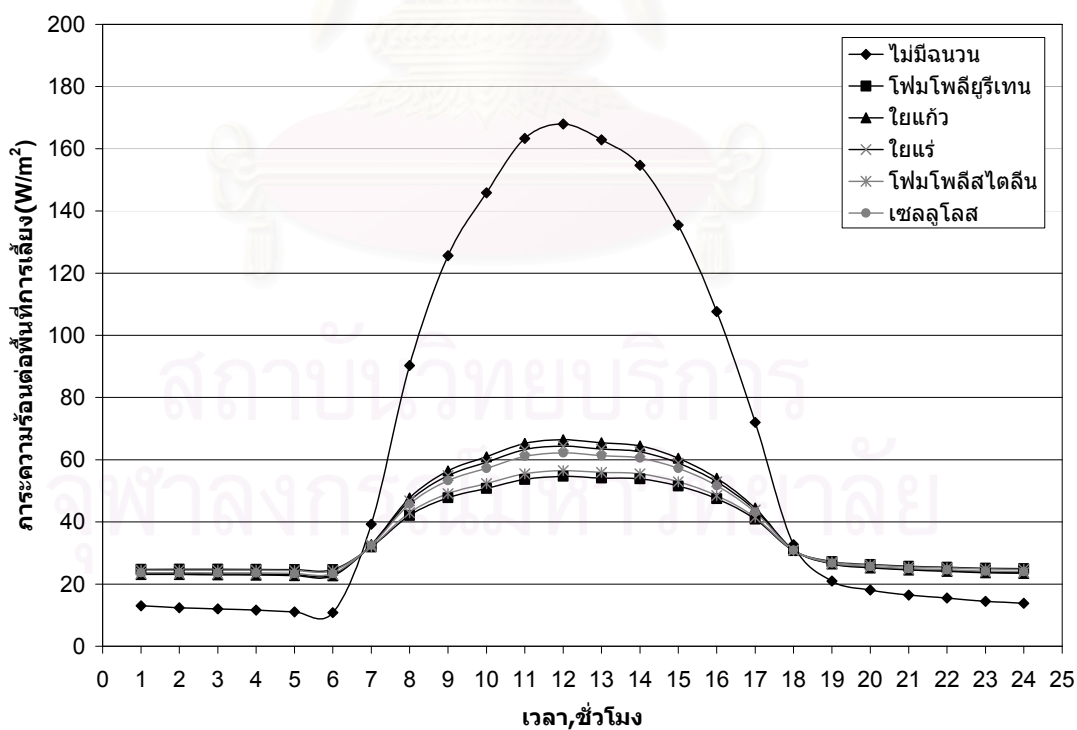


รูปที่ ค.5 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว

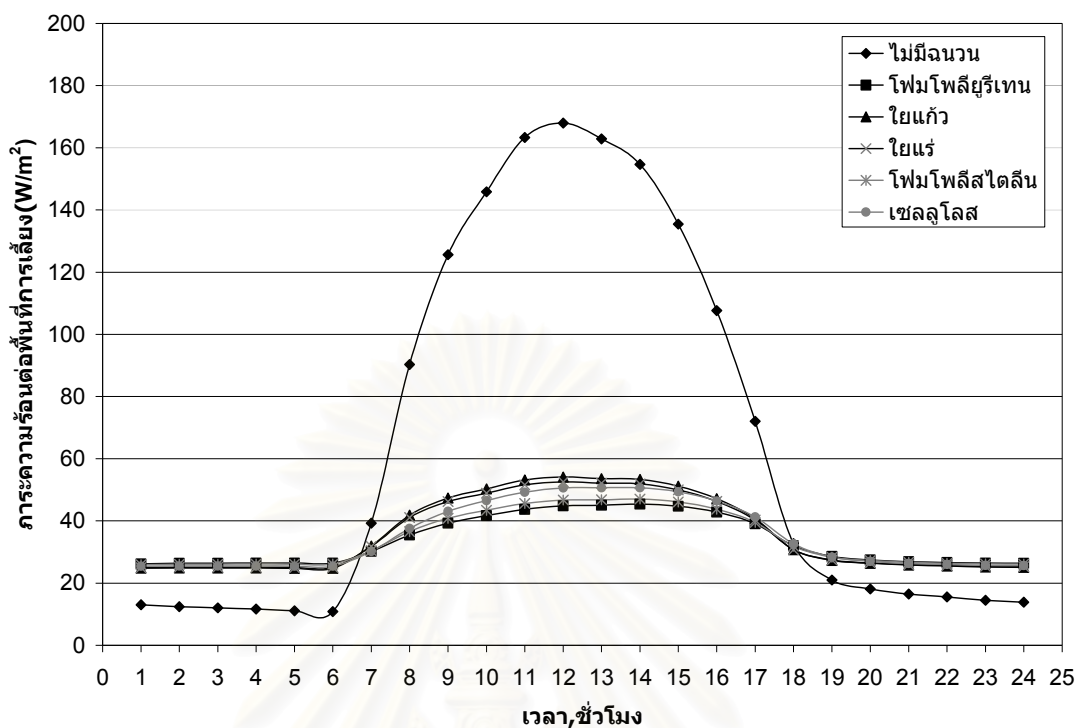




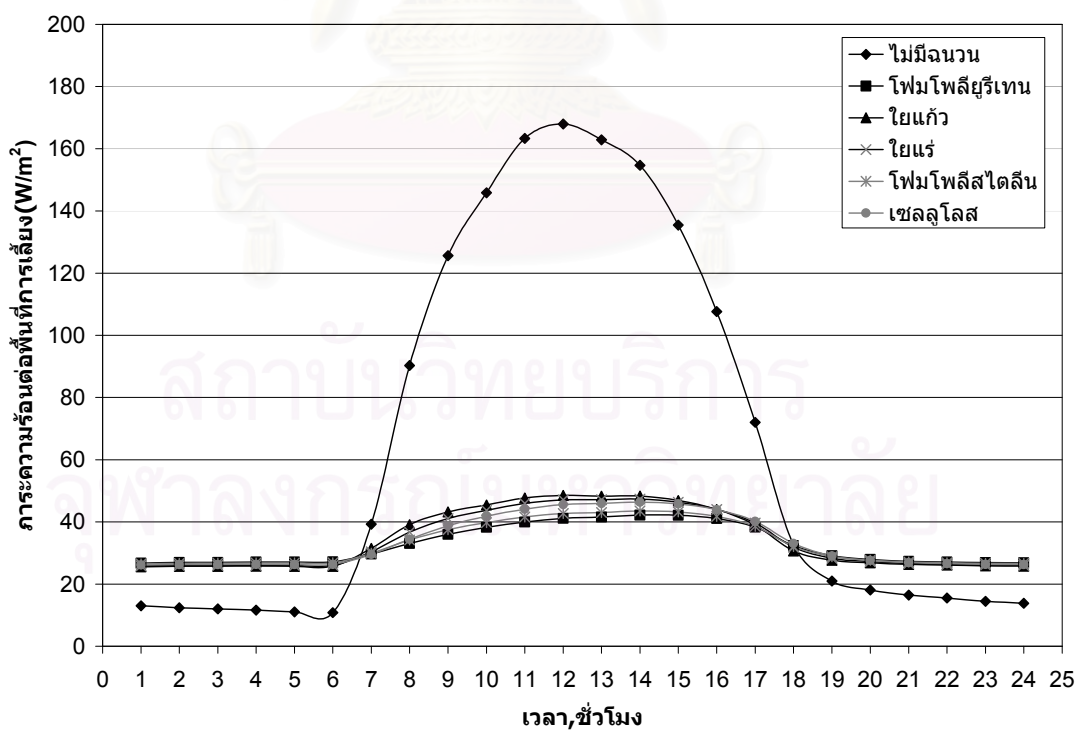
รูปที่ ค.6 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



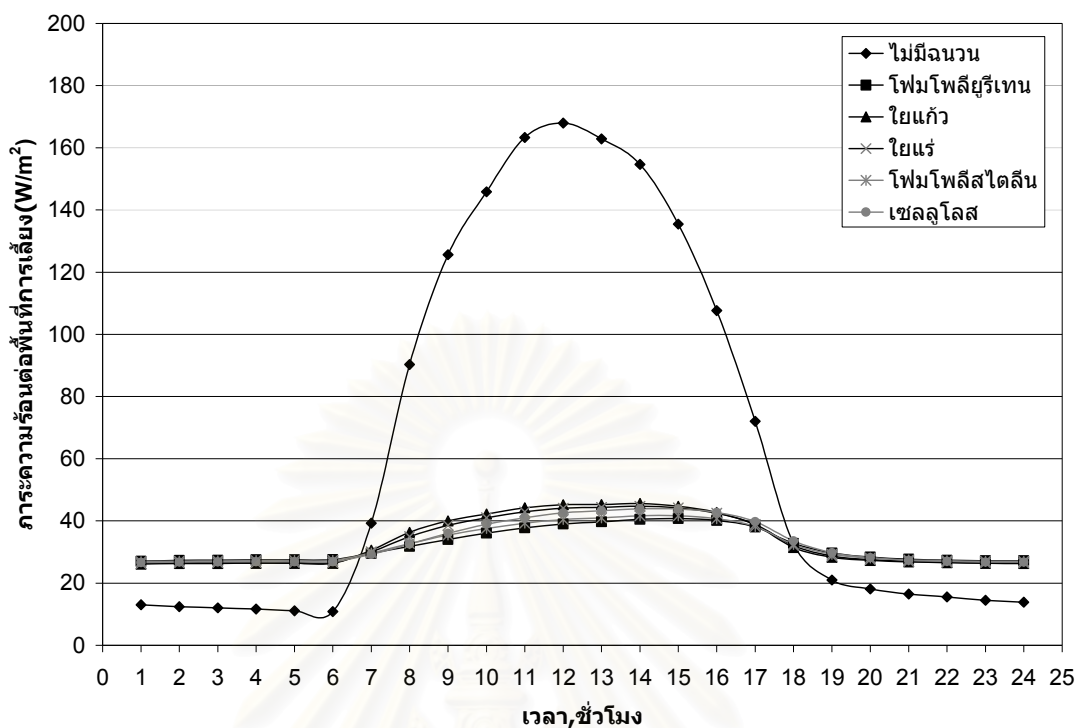
รูปที่ ค.7 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



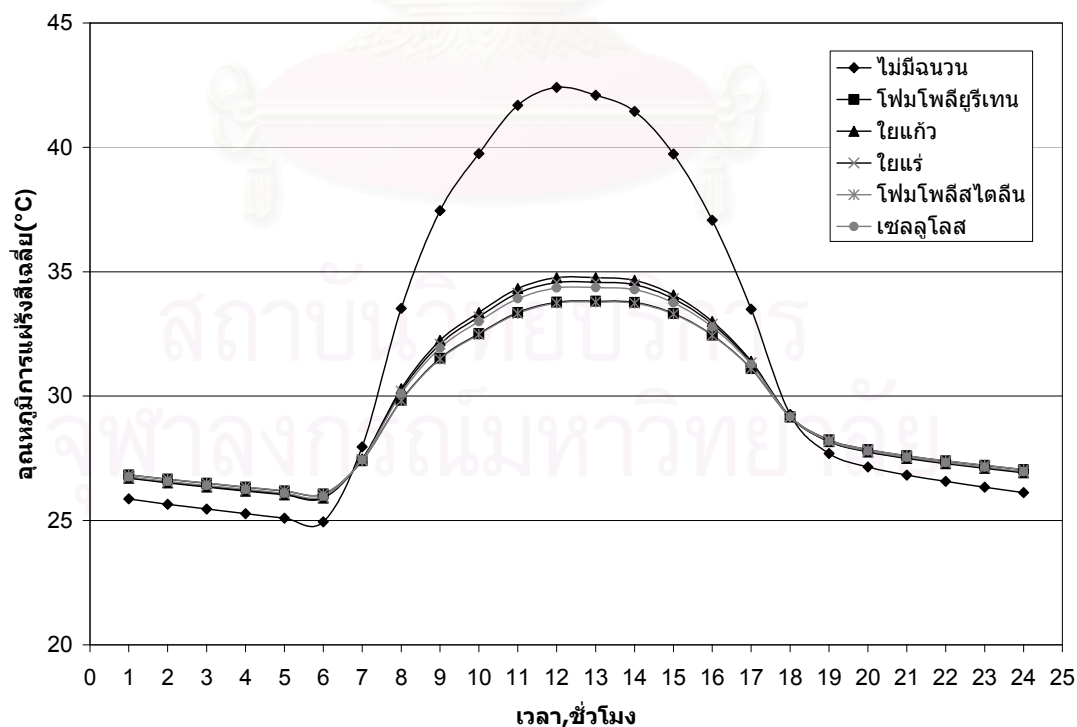
รูปที่ ค.8 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



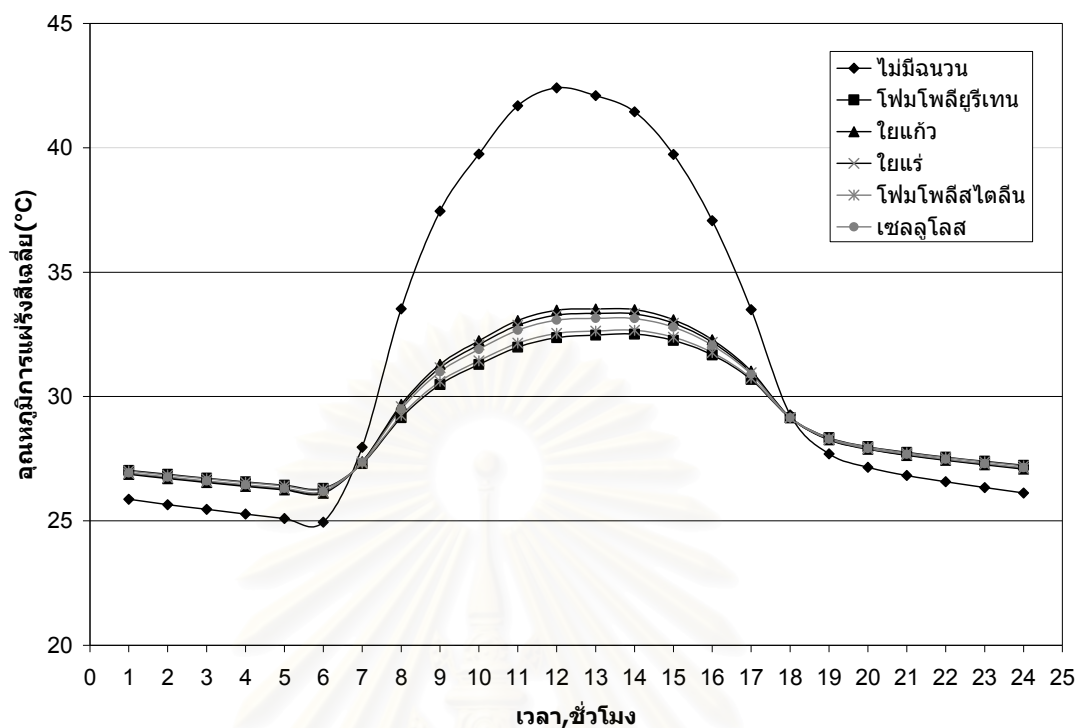
รูปที่ ค.9 ค่าภาระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรียนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



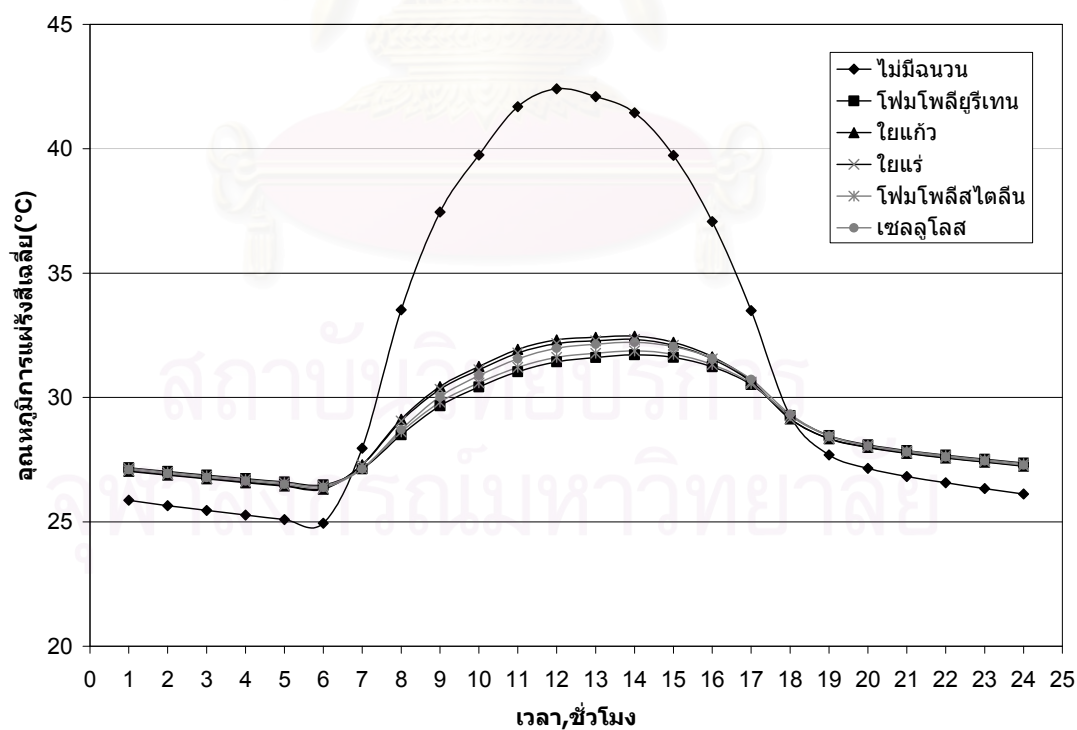
รูปที่ ค.10 ค่าการระความร้อนต่อพื้นที่การเลี้ยง  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



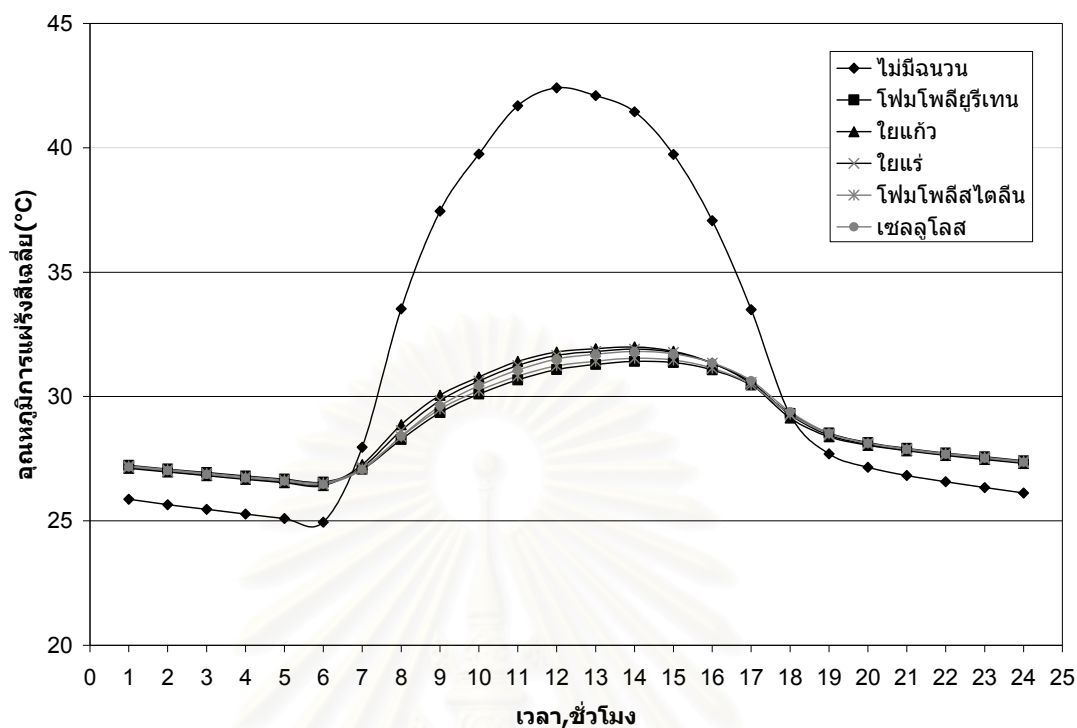
รูปที่ ค.11 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



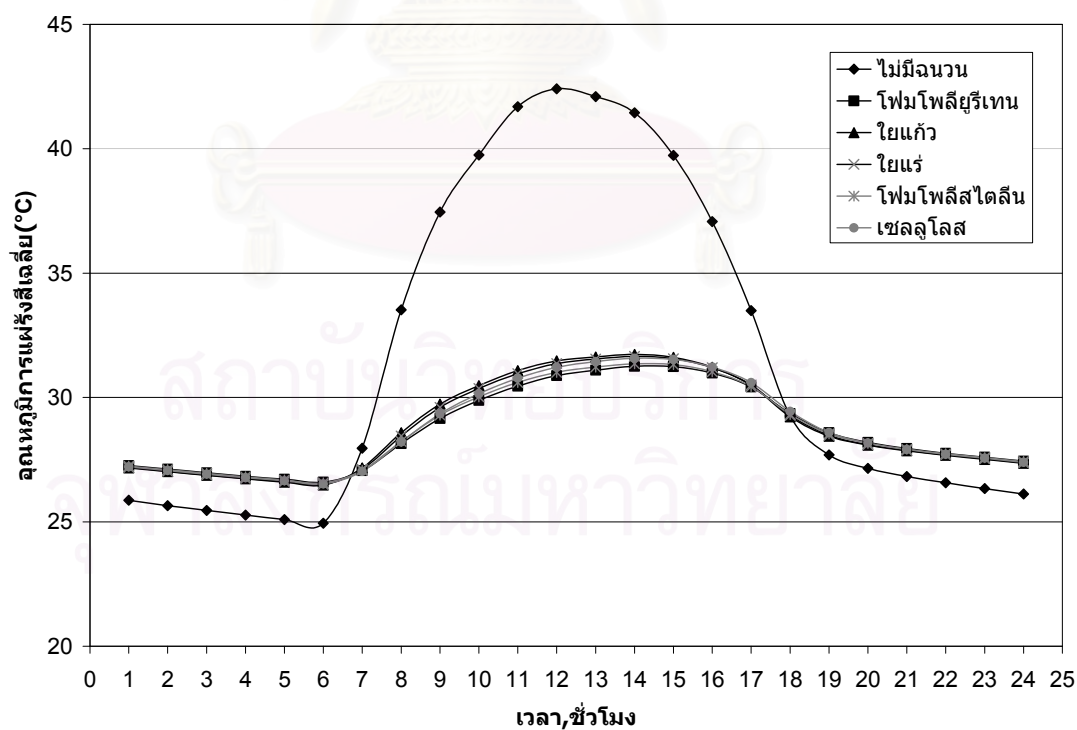
รูปที่ ค.12 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



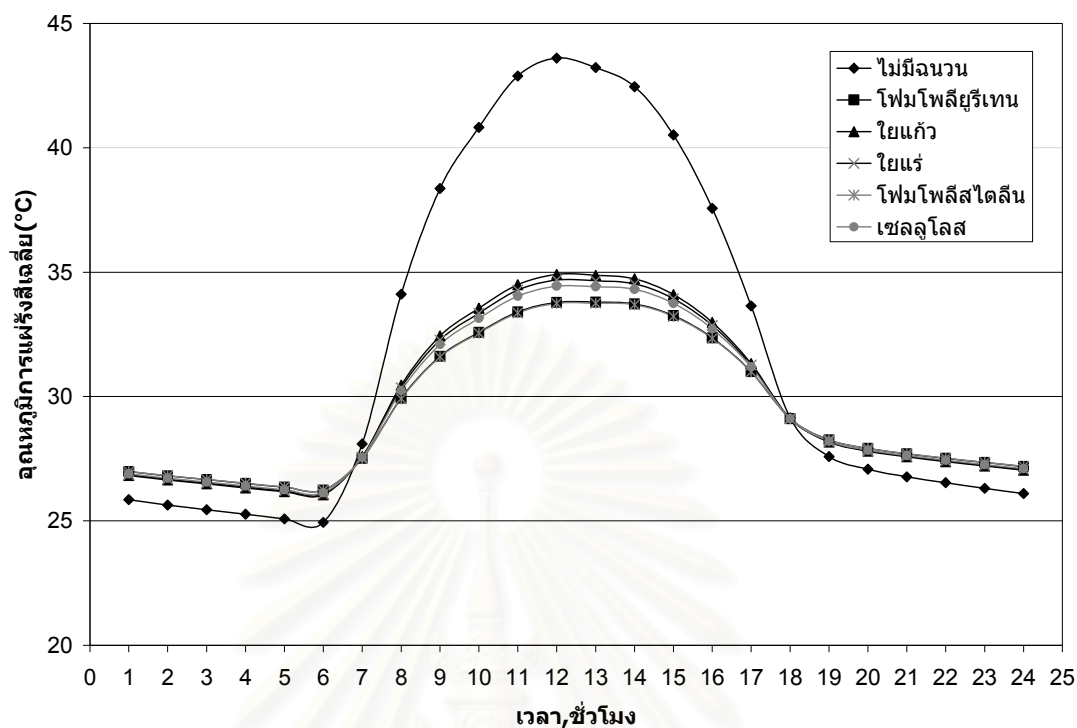
รูปที่ ค.13 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



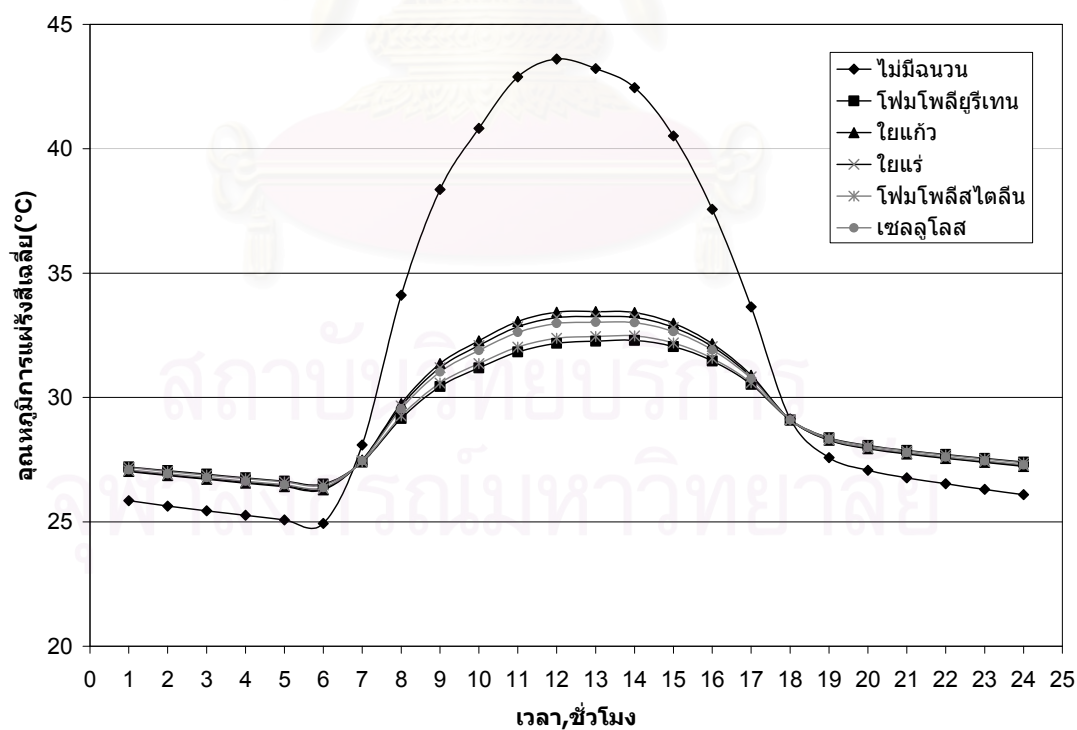
รูปที่ ค.14 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



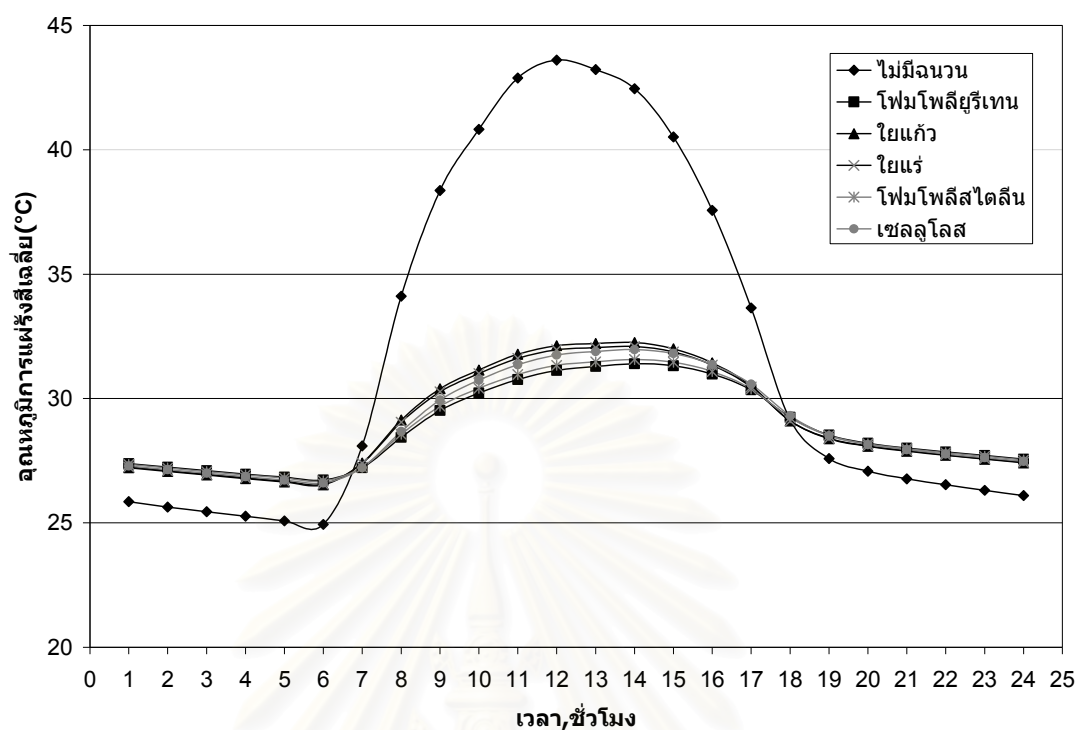
รูปที่ ค.15 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



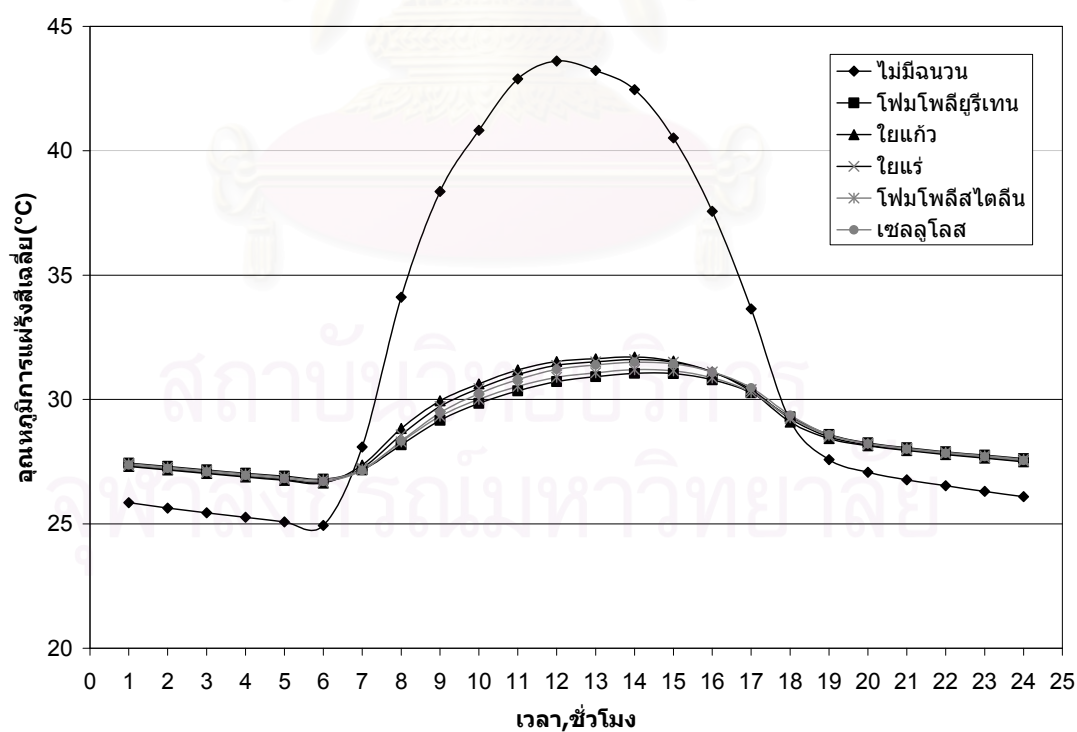
รูปที่ ค.16 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



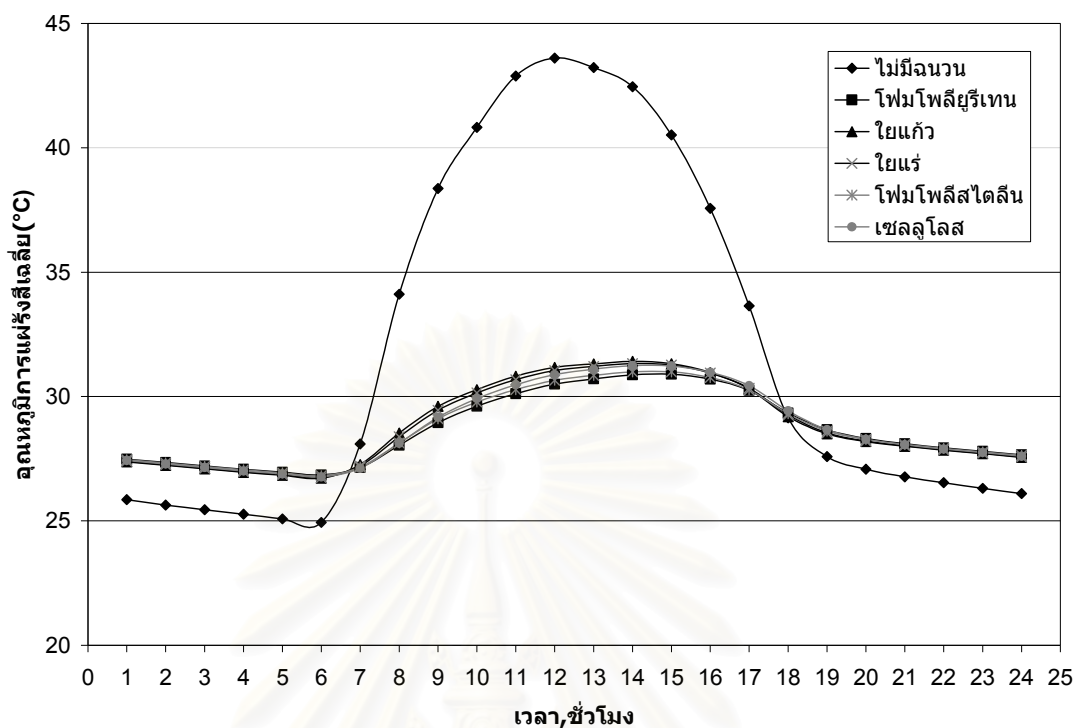
รูปที่ ค.17 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



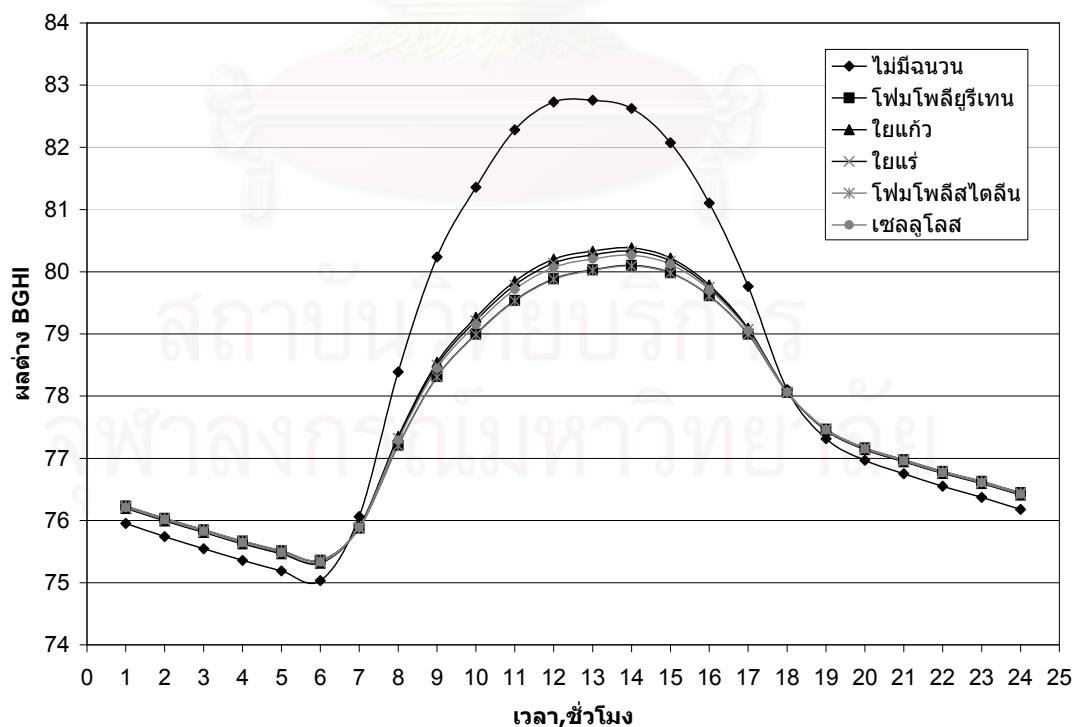
รูปที่ ค.18 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



รูปที่ ค.19 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว

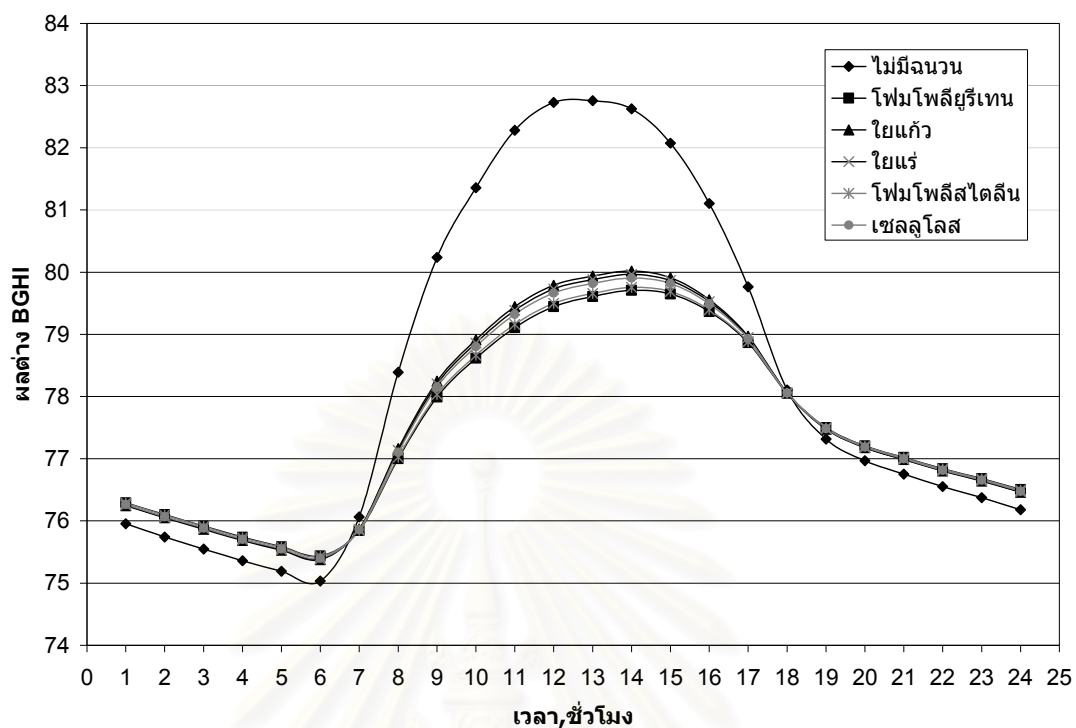


รูปที่ ค.20 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว

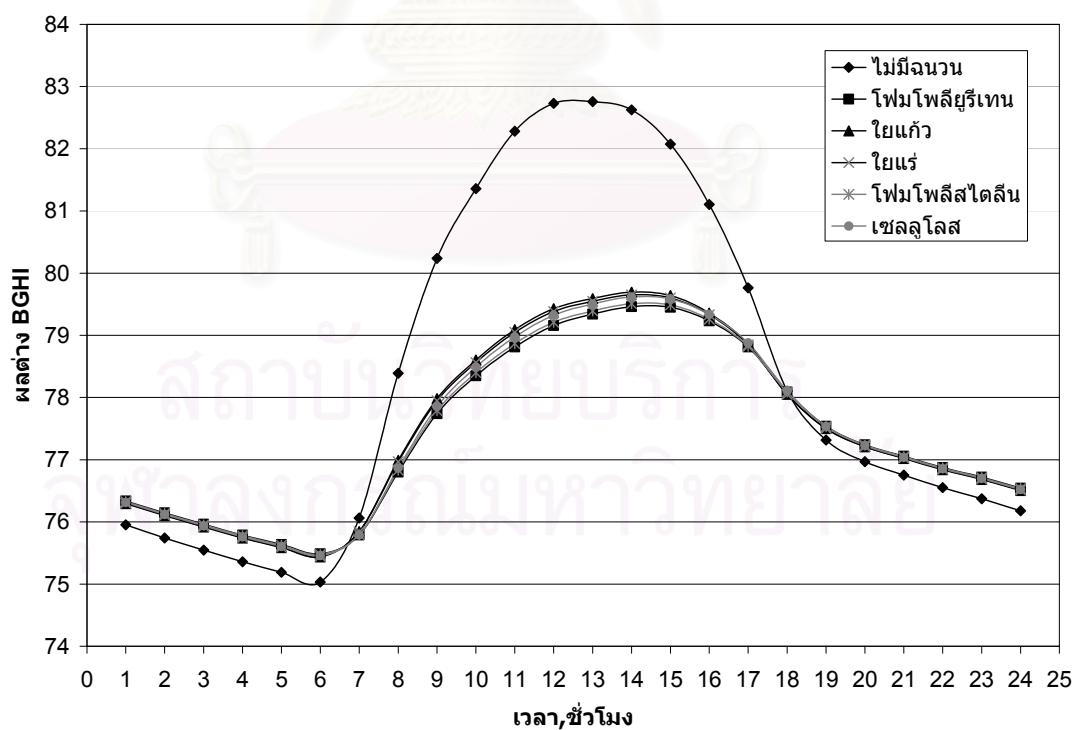


รูปที่ ค.21 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว

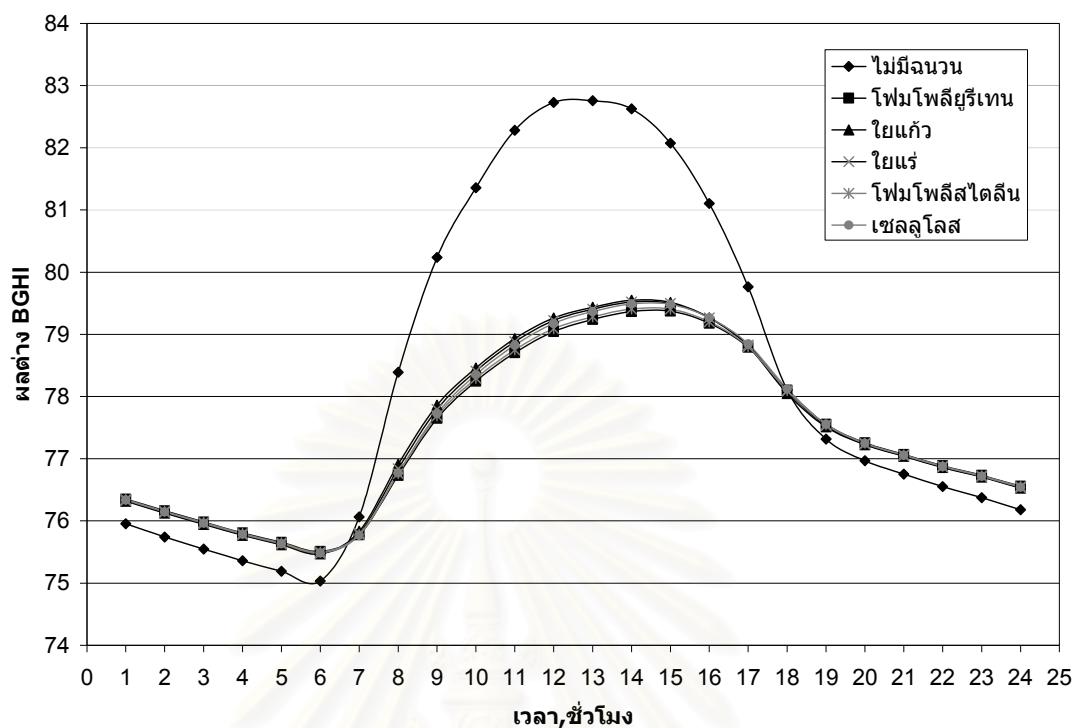




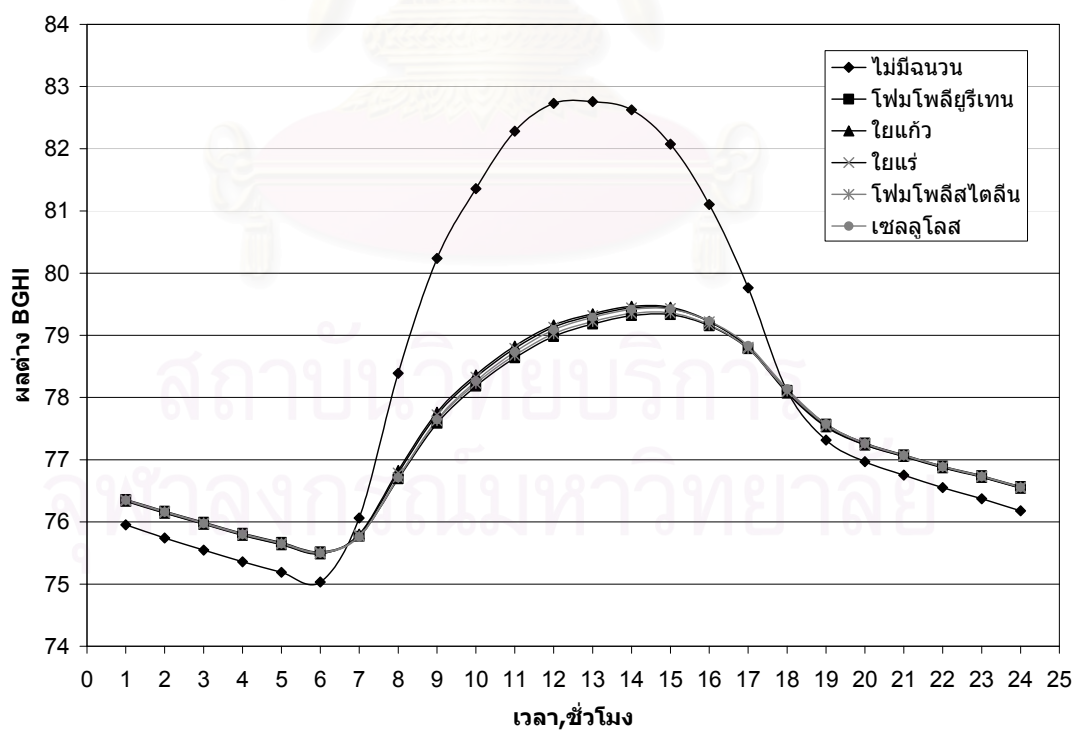
รูปที่ ค.22 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



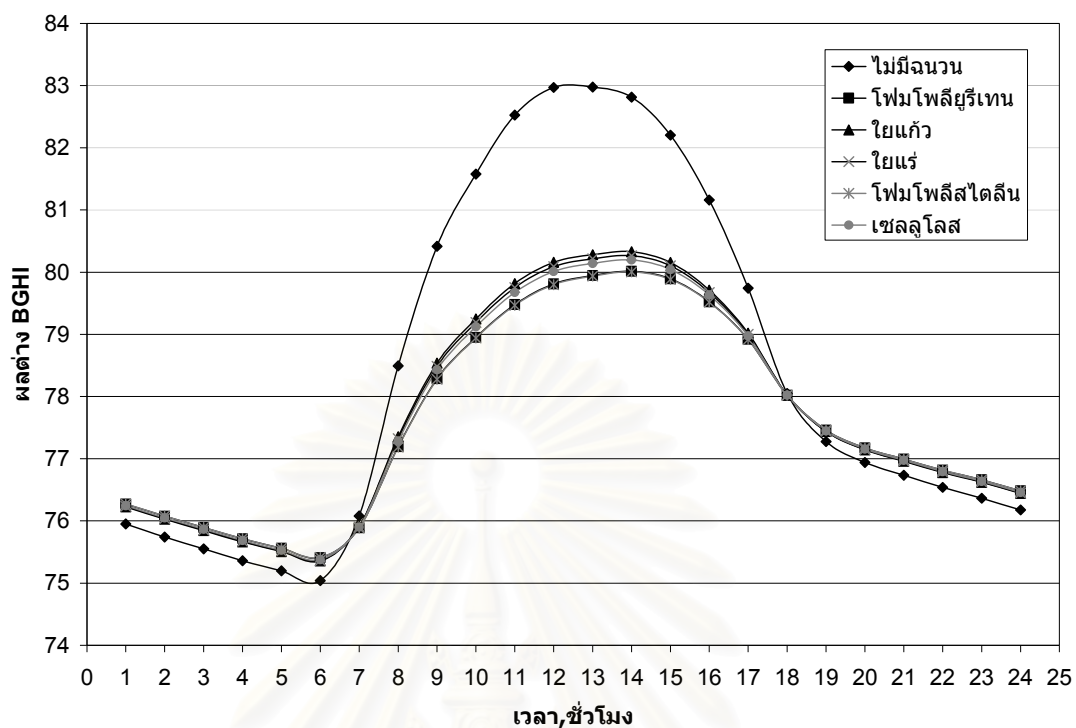
รูปที่ ค.23 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



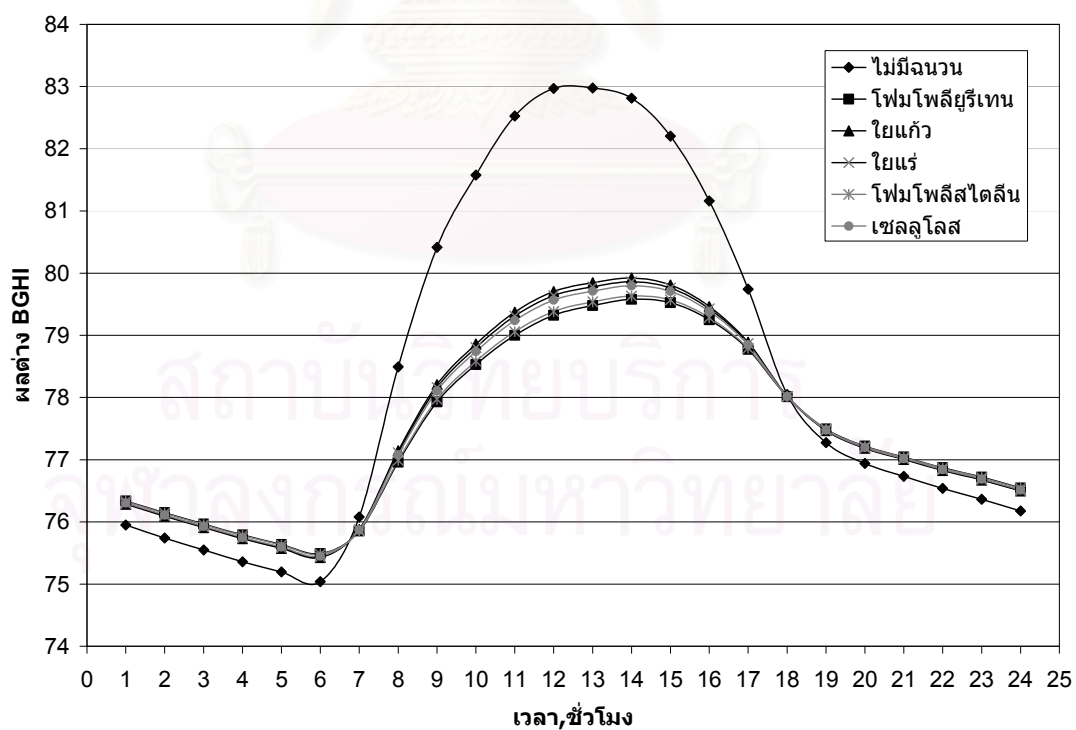
รูปที่ ค.24 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



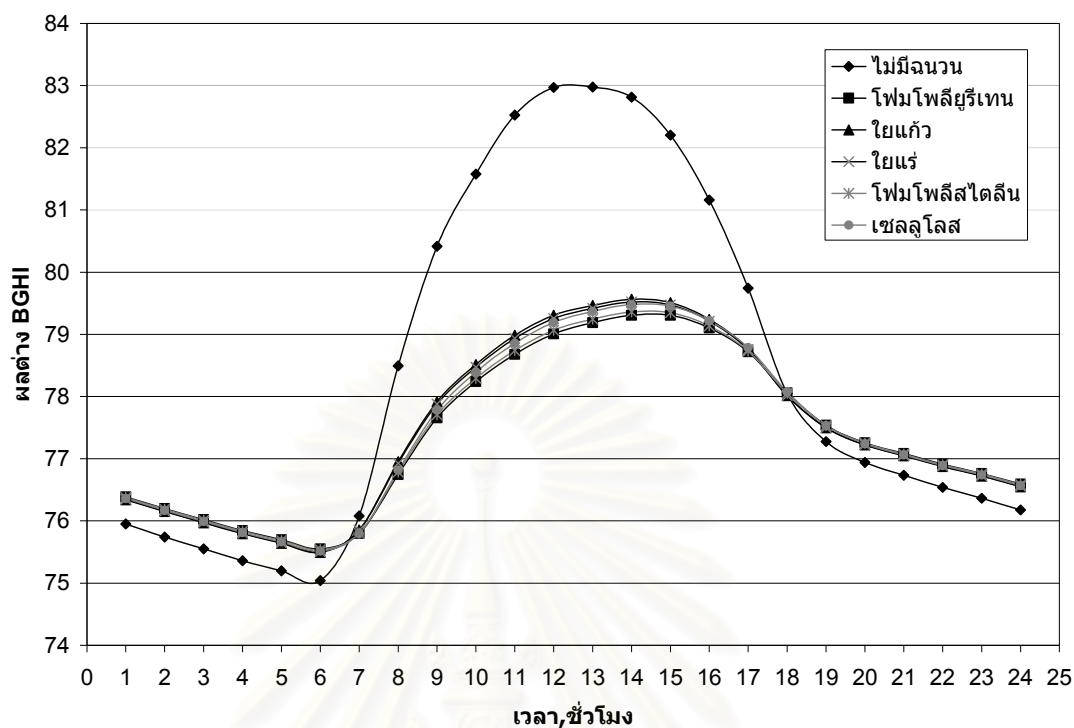
รูปที่ ค.25 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว



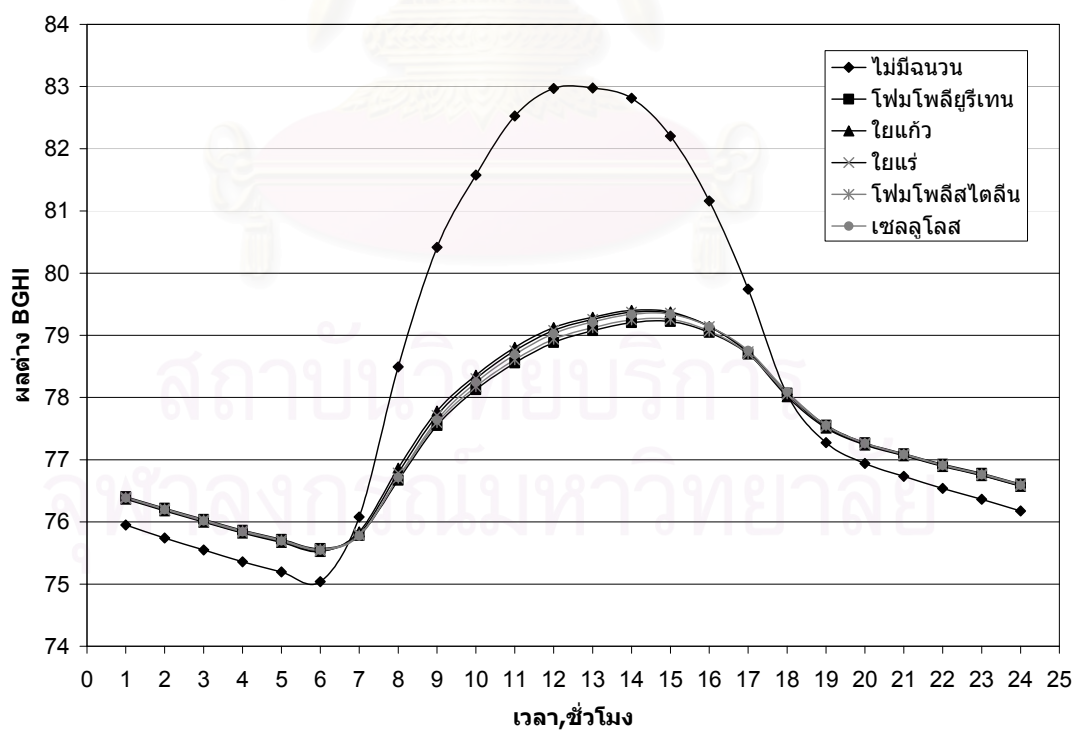
รูปที่ ค.26 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 0.5 นิ้ว



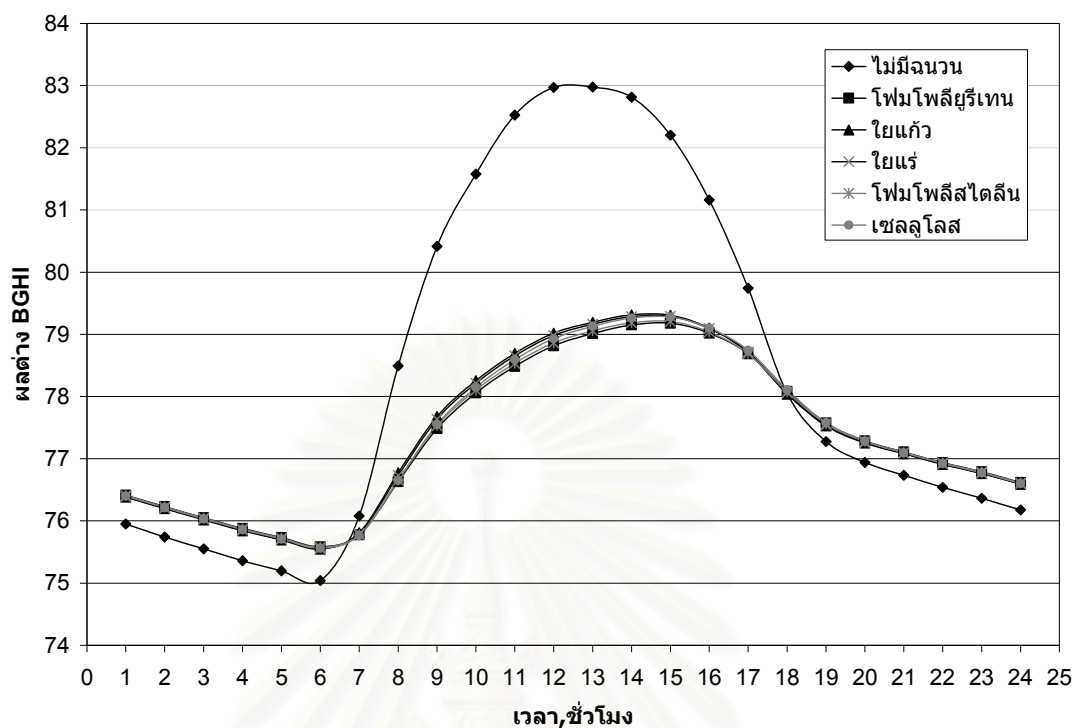
รูปที่ ค.27 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 1.0 นิ้ว



รูปที่ ค.28 คณิตะความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 2.0 นิ้ว



รูปที่ ค.29 คณิตะความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 3.0 นิ้ว



รูปที่ ค.30 ดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 24 เมตร เมื่อมีการใช้ฉนวนหนา 4.0 นิ้ว

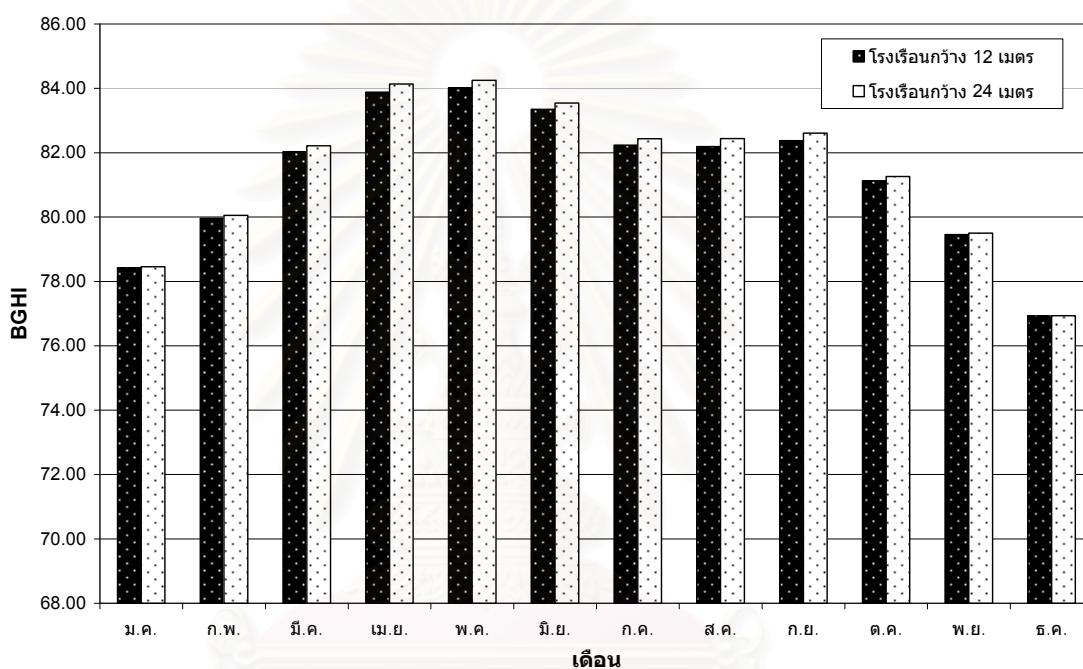
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

## ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI

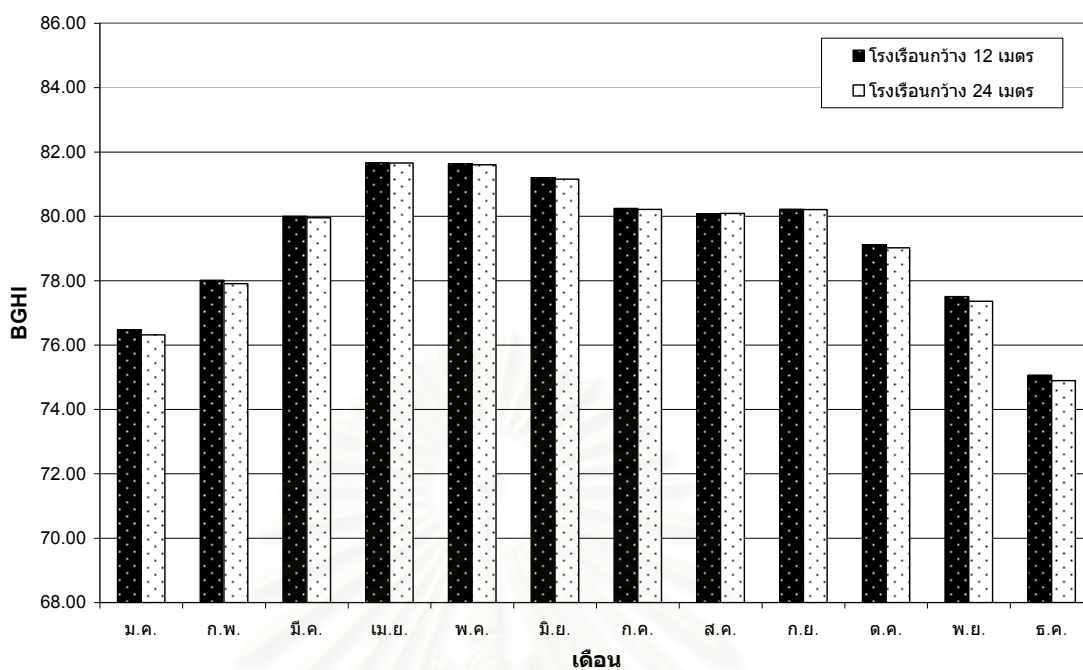
ผลการคำนวณในภาคผนวก ง นี้จะแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน BGHI ในรอบเดือน โดยรูปแบบของโรงเรียนและผลการคำนวณจะสอดคล้องกับหัวข้อ 5.1-5.4

อิทธิพลของขนาดของโรงเรียนและจำนวนกันความร้อนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรียน

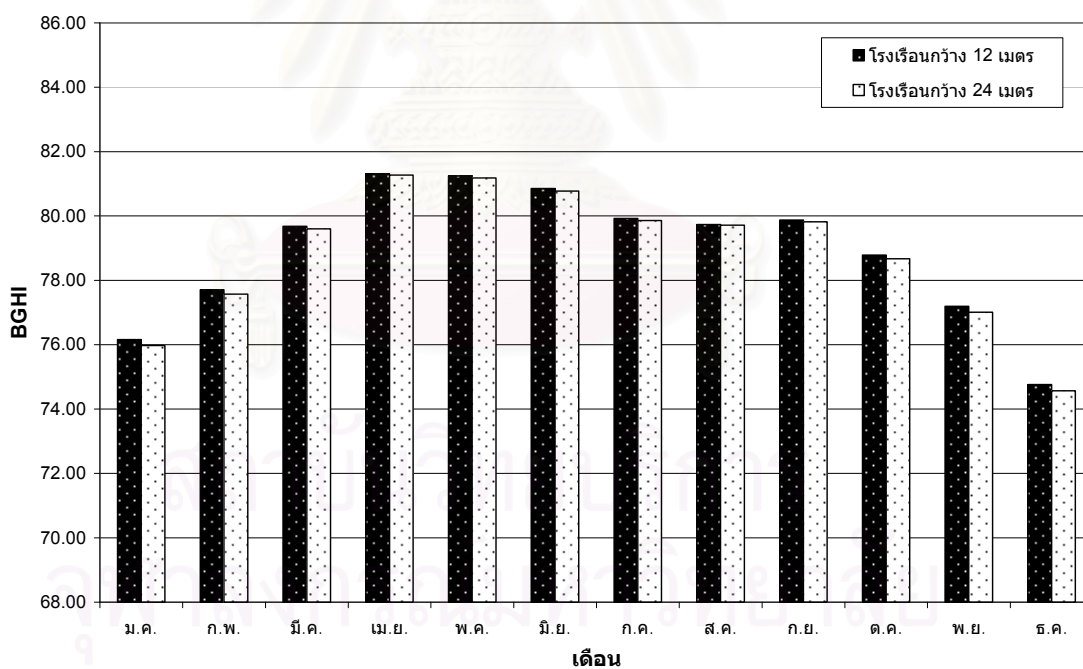


รูปที่ ง.1 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดตั้งกันความร้อน

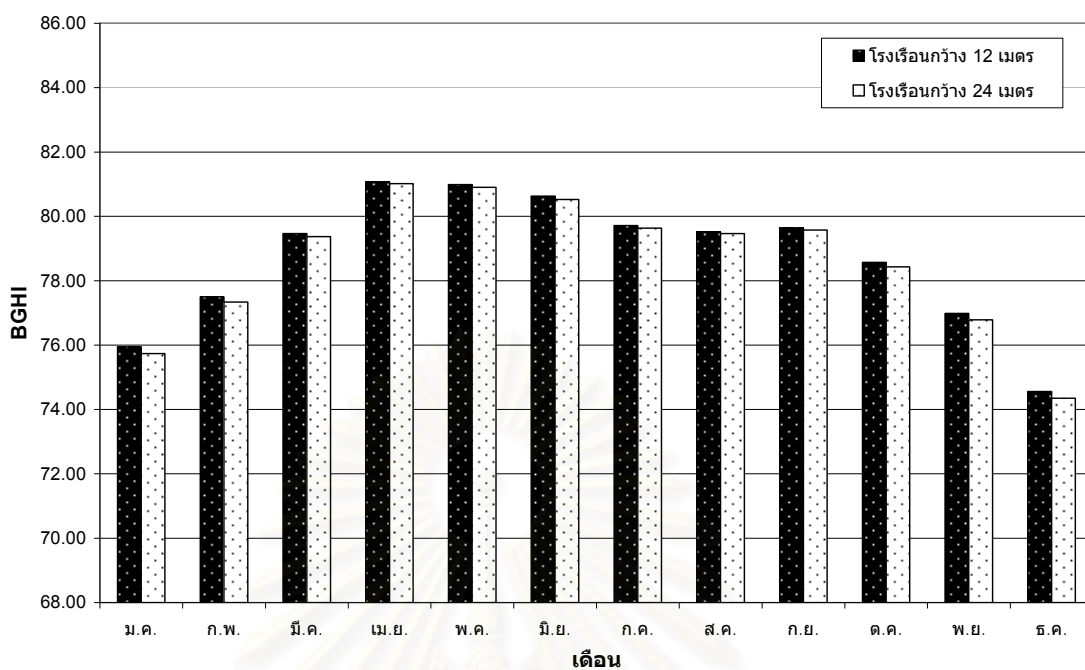
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



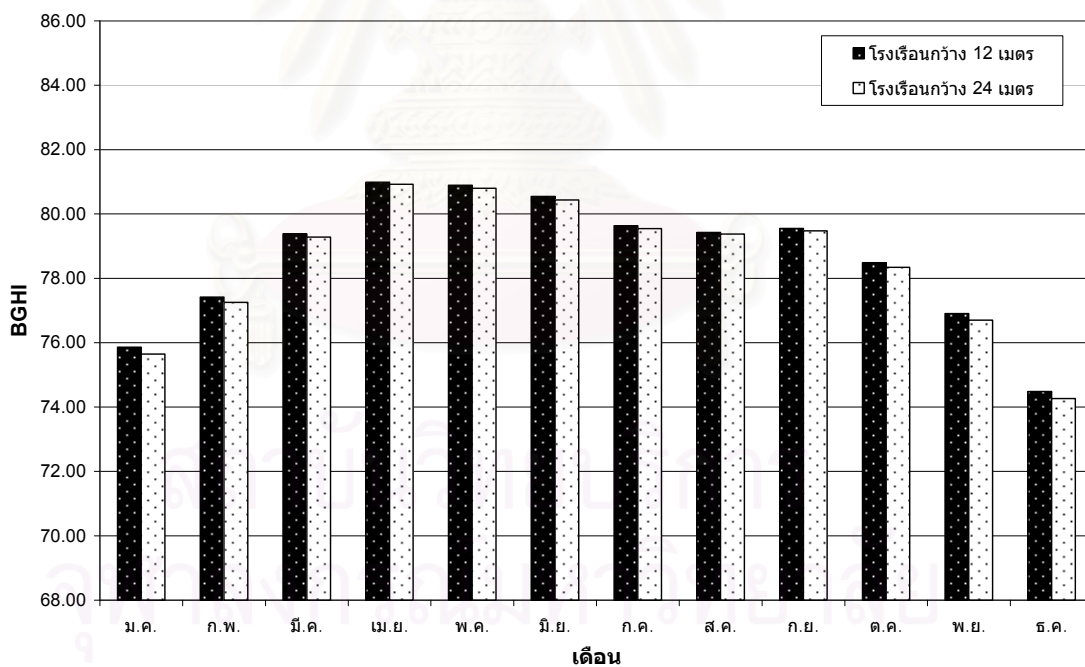
รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลียูรีเทนหนา 0.5 นิ้ว



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลียูรีเทนหนา 1.0 นิ้ว

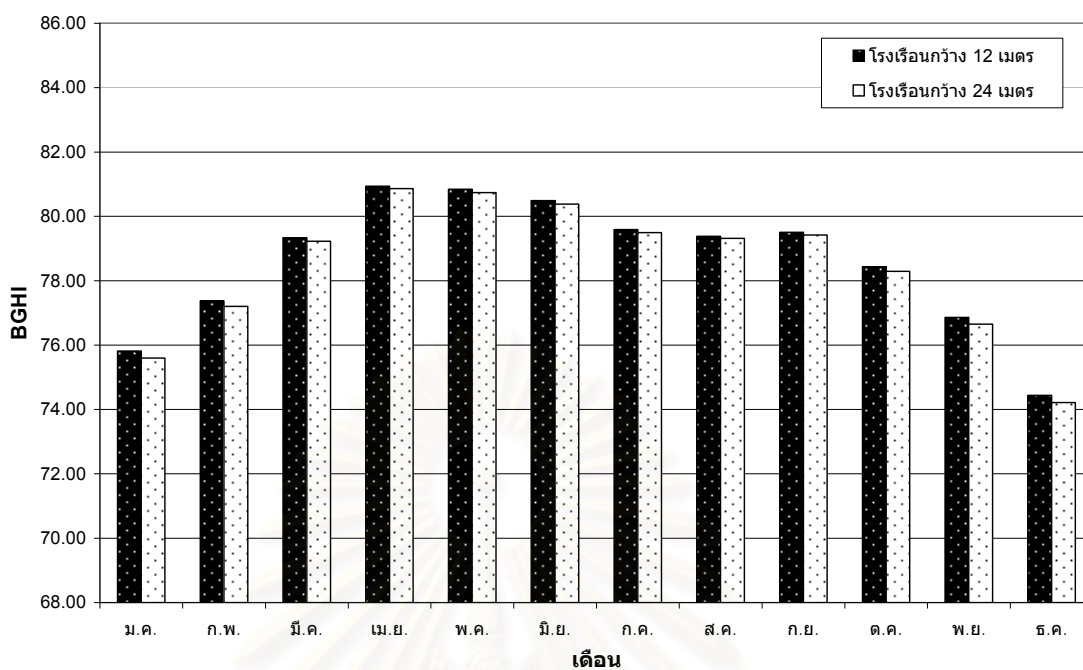


รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว

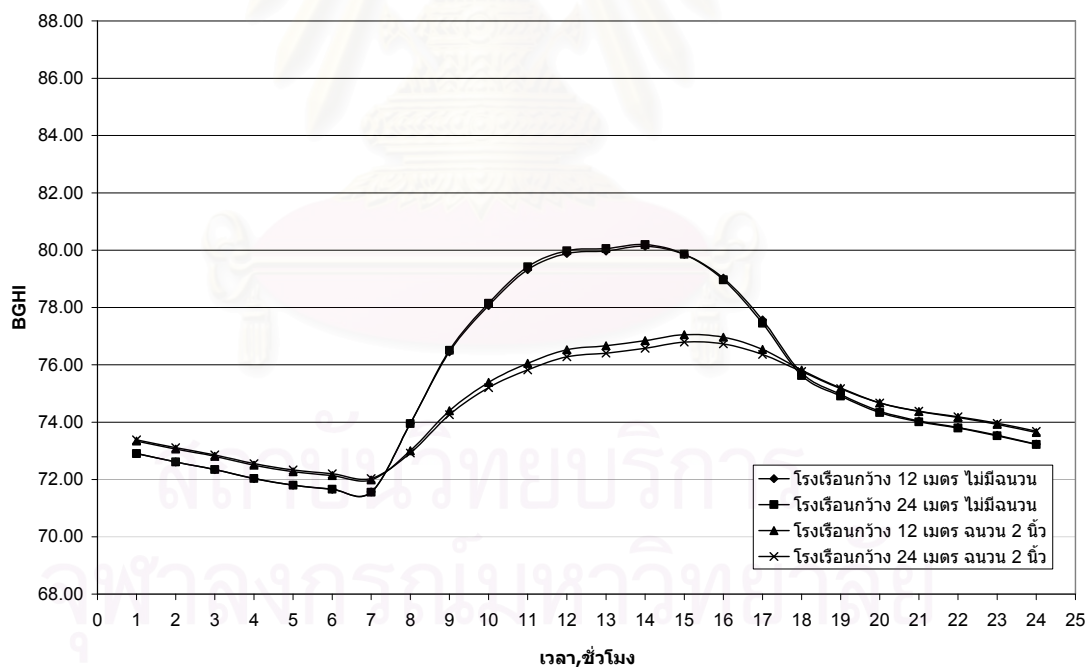


รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 3.0 นิ้ว

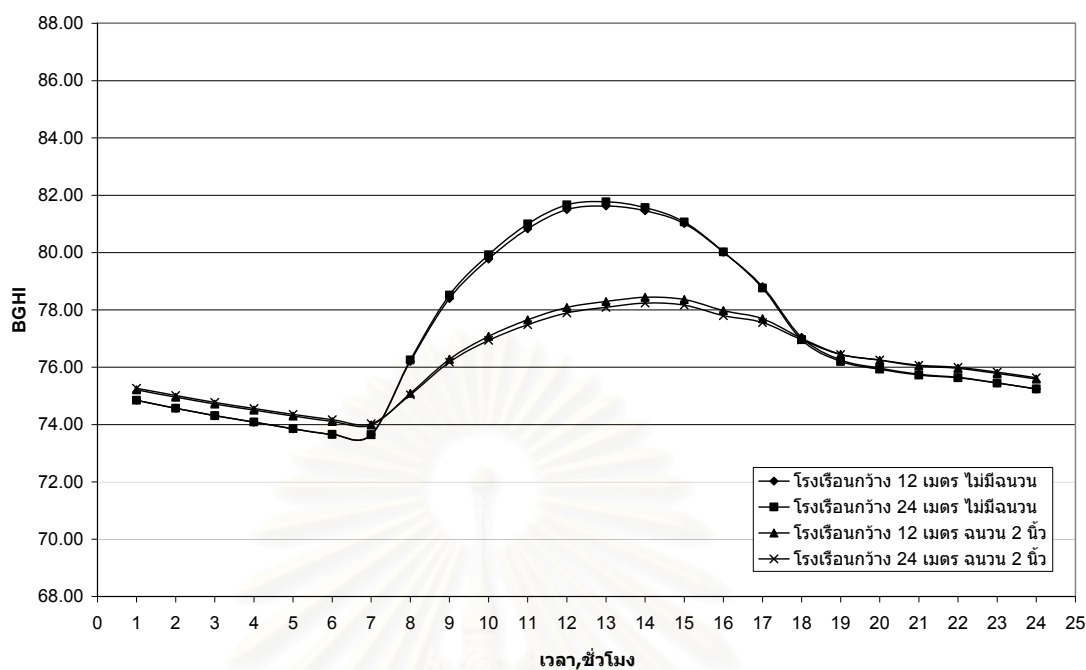




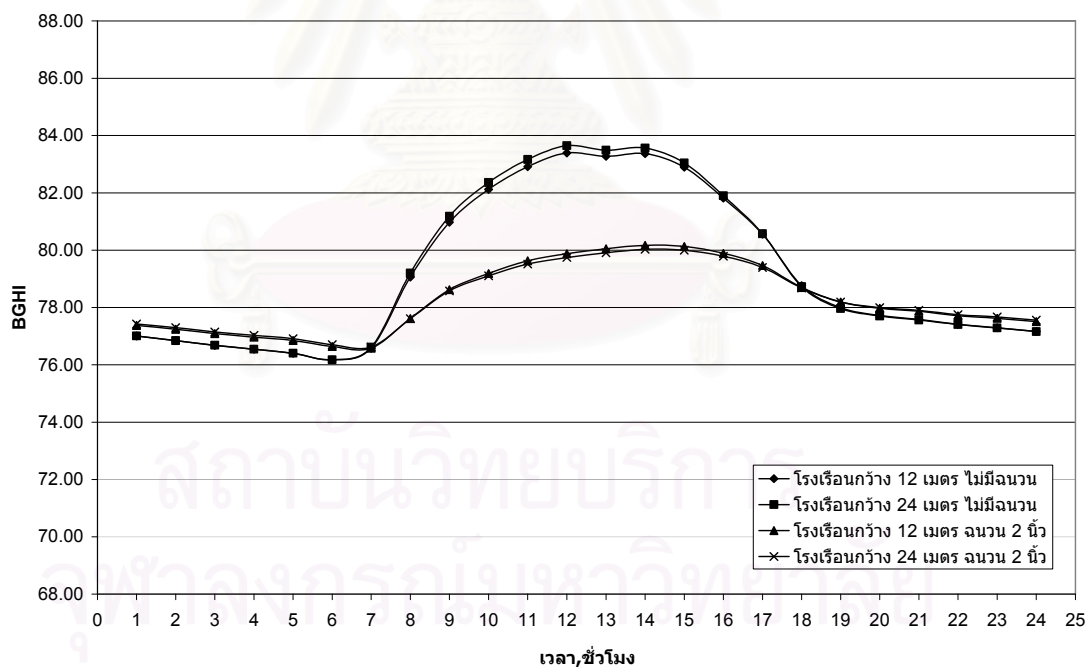
รูปที่ 6.6 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อมีการติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 4.0 นิ้ว



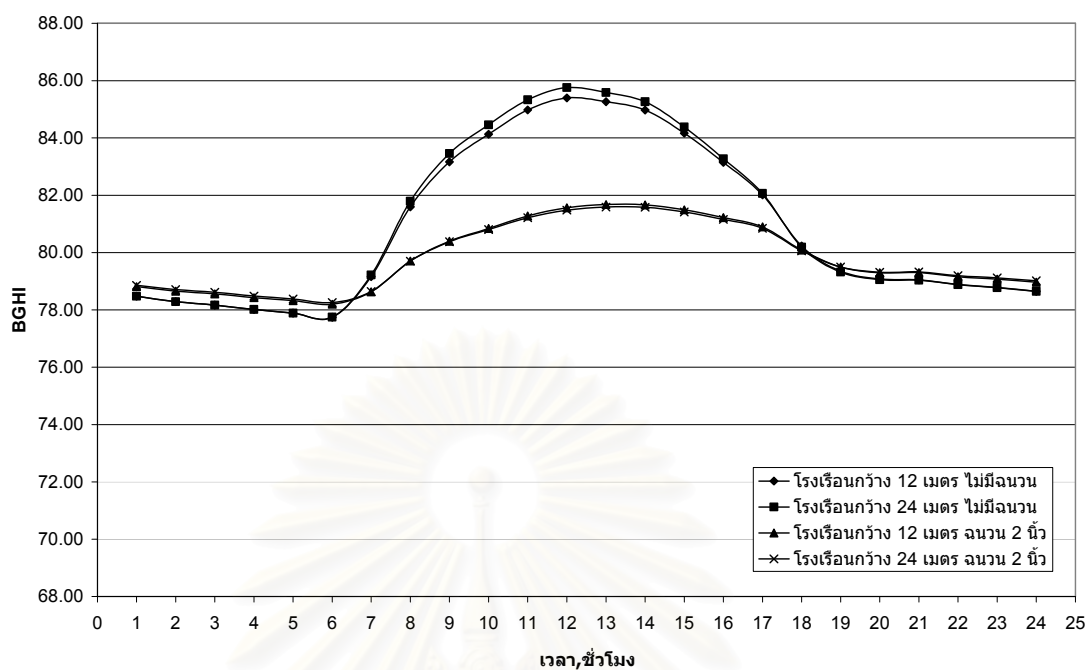
รูปที่ 6.7 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนมกราคม



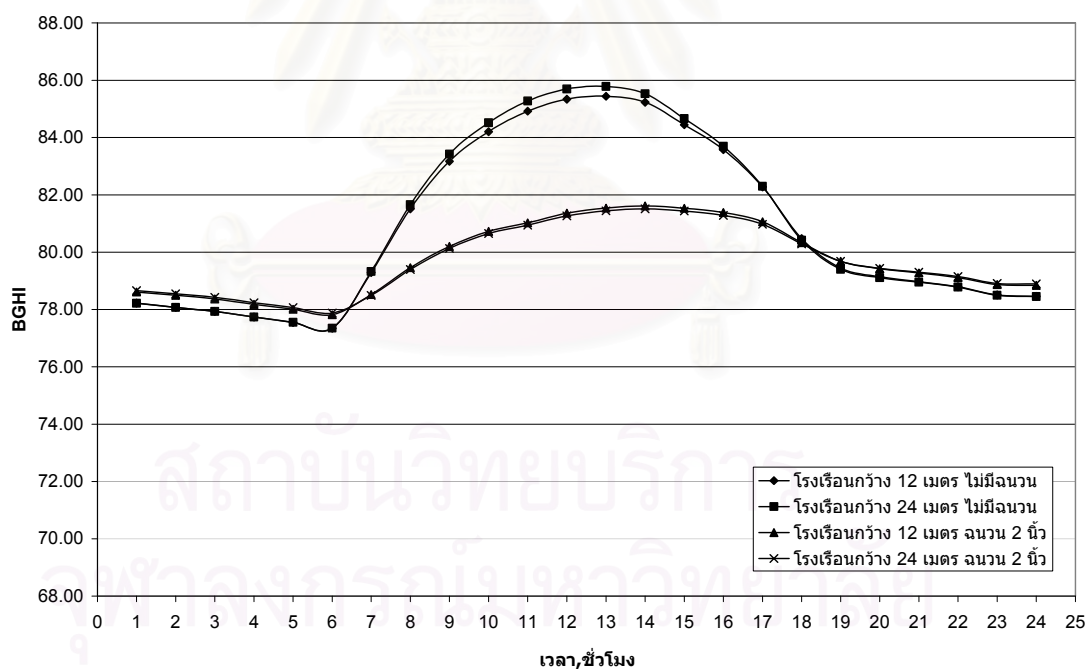
รูปที่ ๘.8 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนกุมภาพันธ์



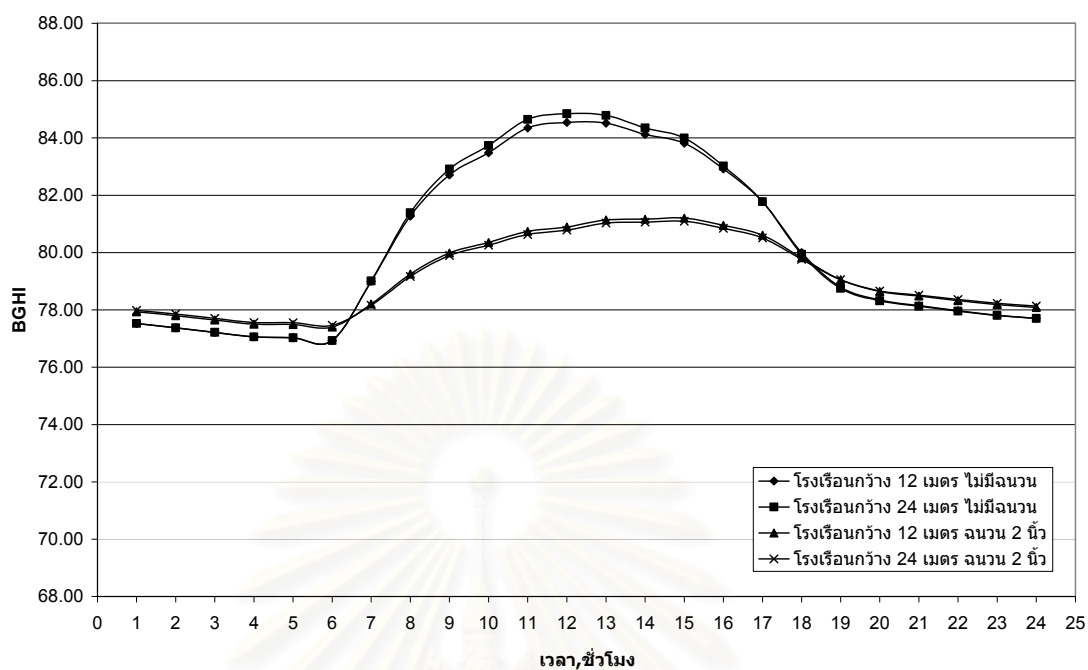
รูปที่ ๘.9 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนมีนาคม



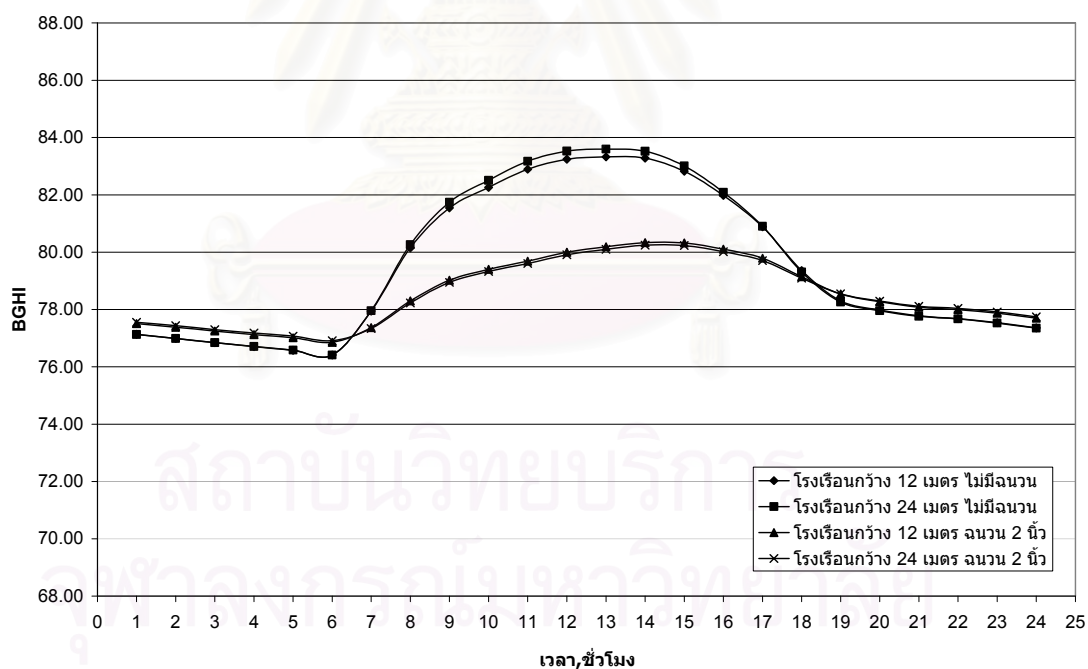
รูปที่ ง.10 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนเมษายน



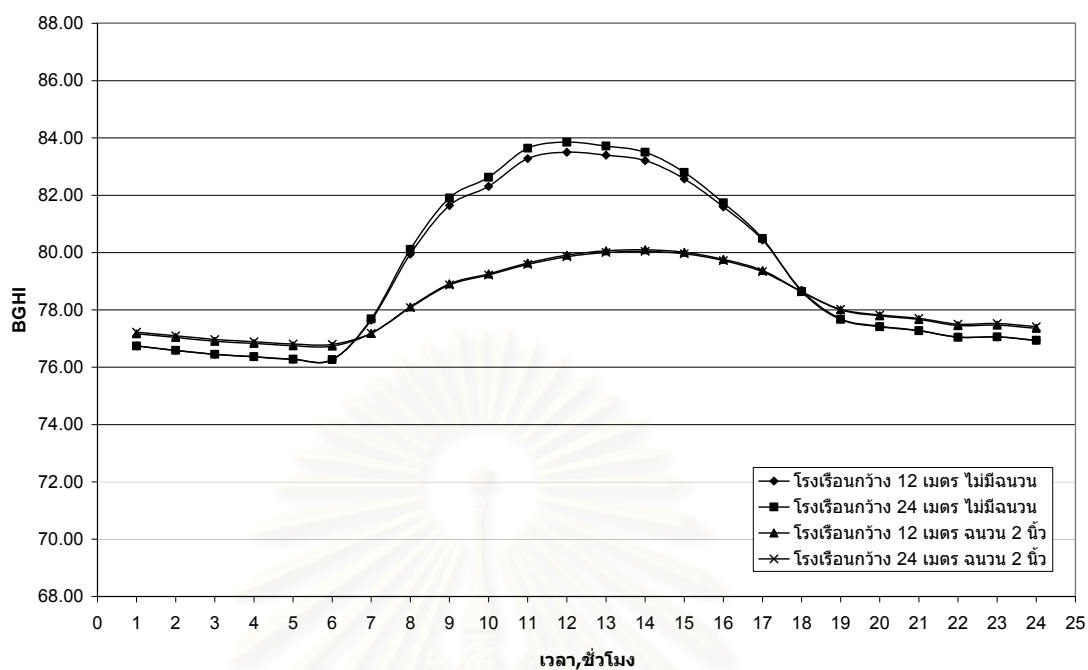
รูปที่ ง.11 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนพฤษภาคม



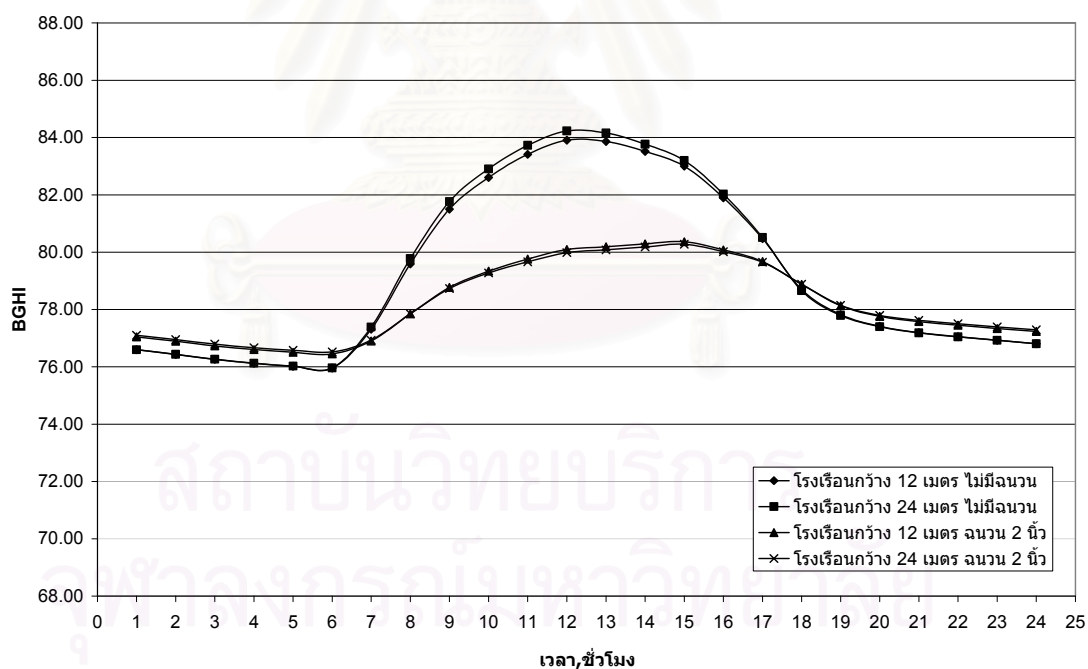
รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนมิถุนายน



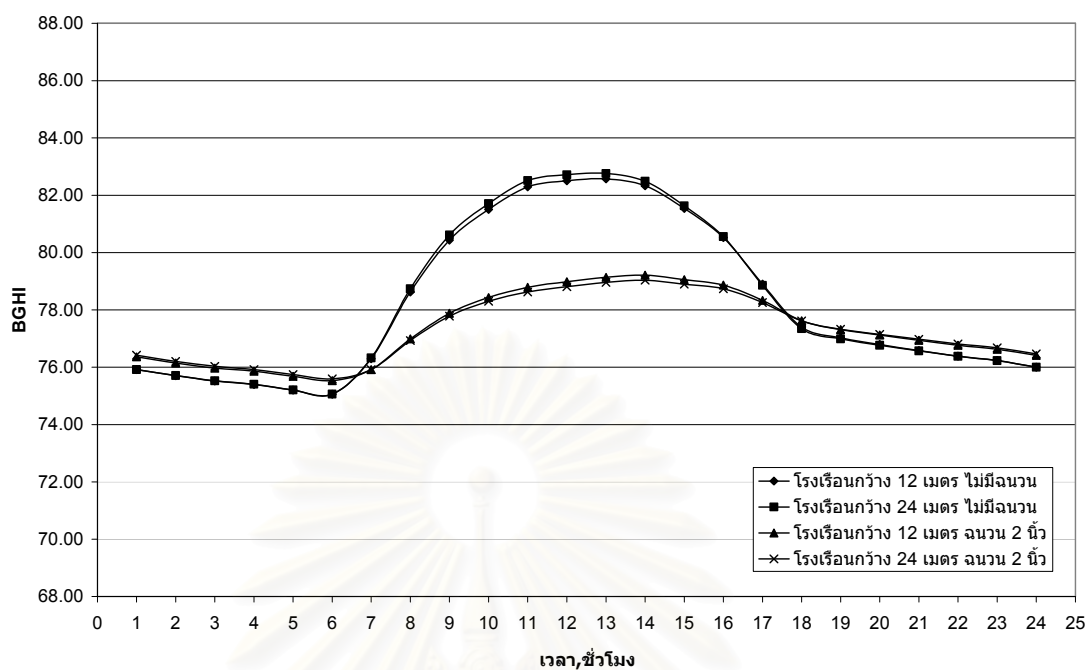
รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนกรกฎาคม



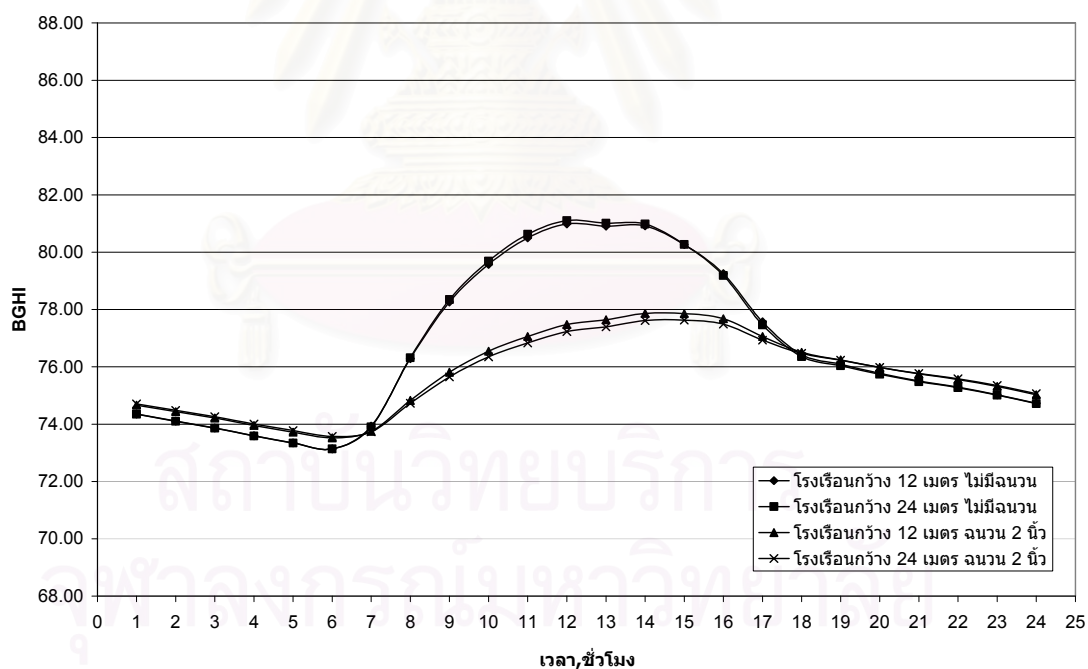
รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพรมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนสิงหาคม



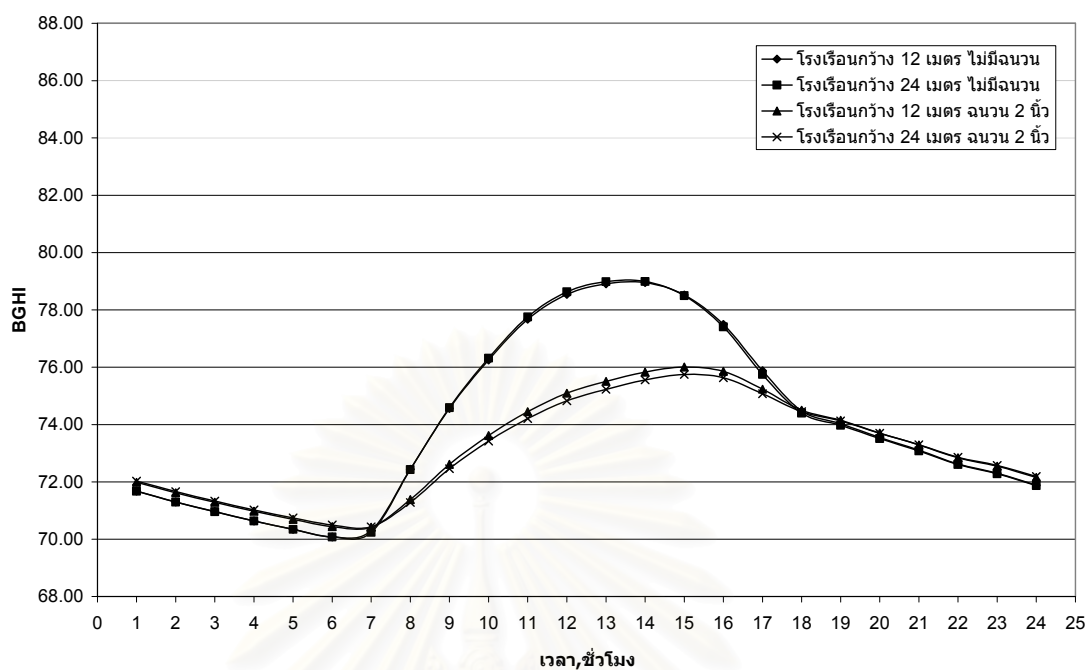
รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโพรมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนกันยายน



รูปที่ 16 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฝมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนตุลาคม

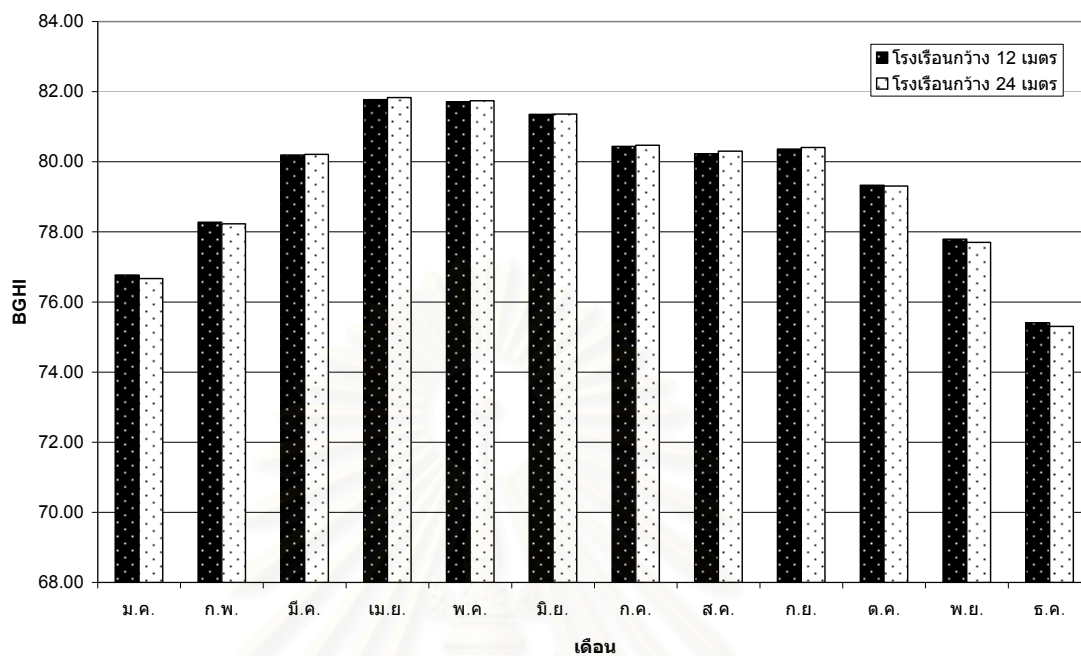


รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฝมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนพฤศจิกายน



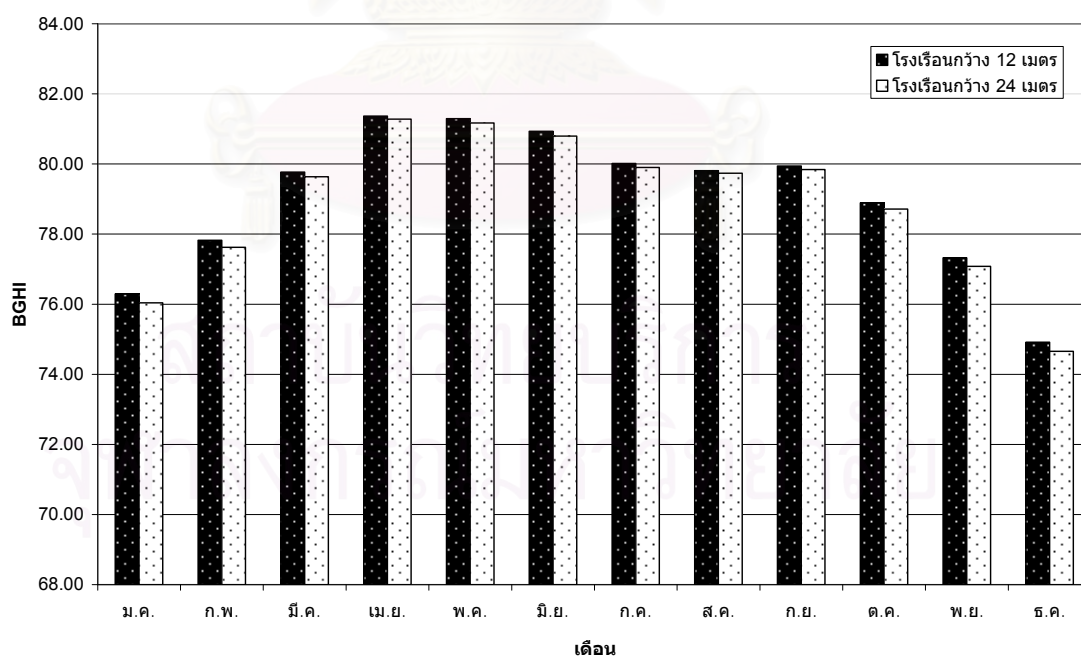
รูปที่ 18 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร เมื่อไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว ในเดือนธันวาคม

### อิทธิพลของความสูงหลังคาที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน



รูปที่ 19 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI

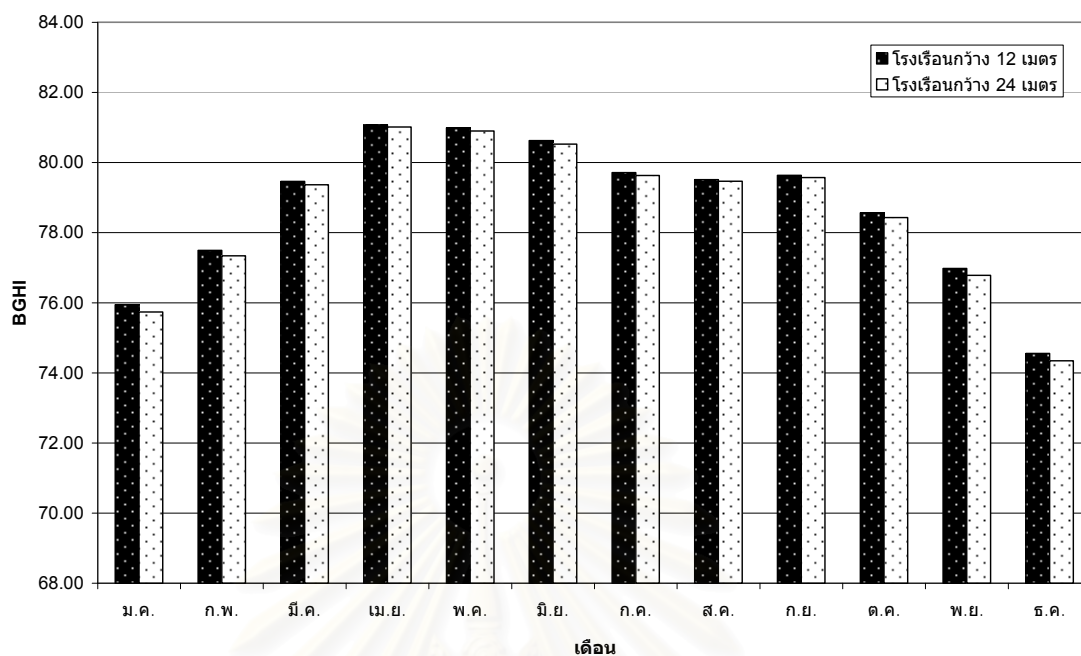
ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
 ติดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 0.3 เมตร



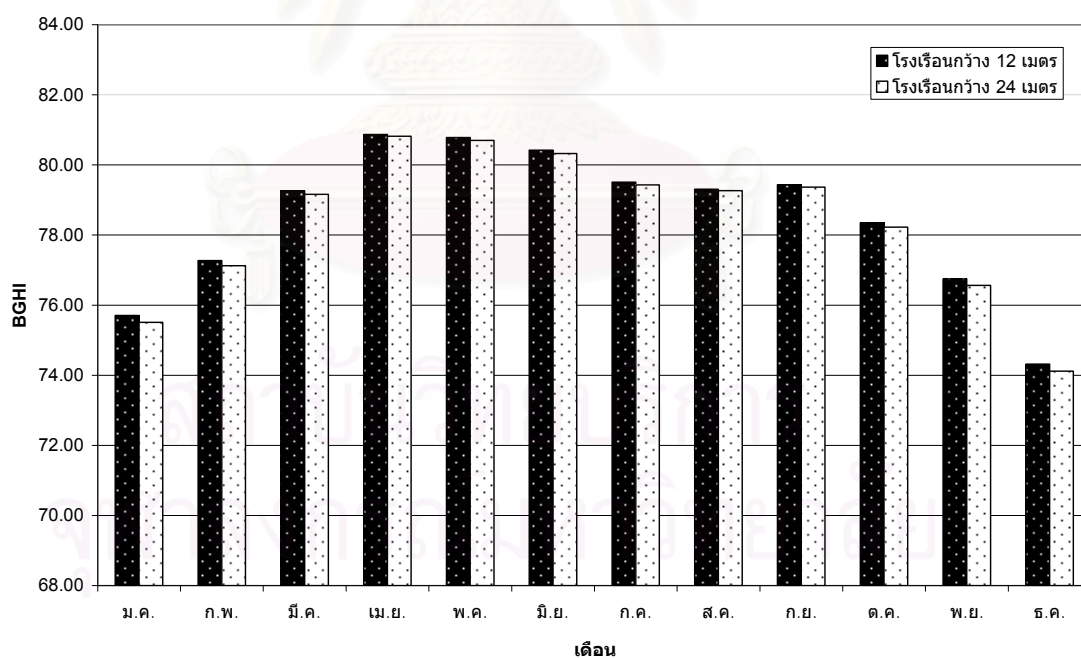
รูปที่ 20 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI

ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
 ติดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 1.3 เมตร

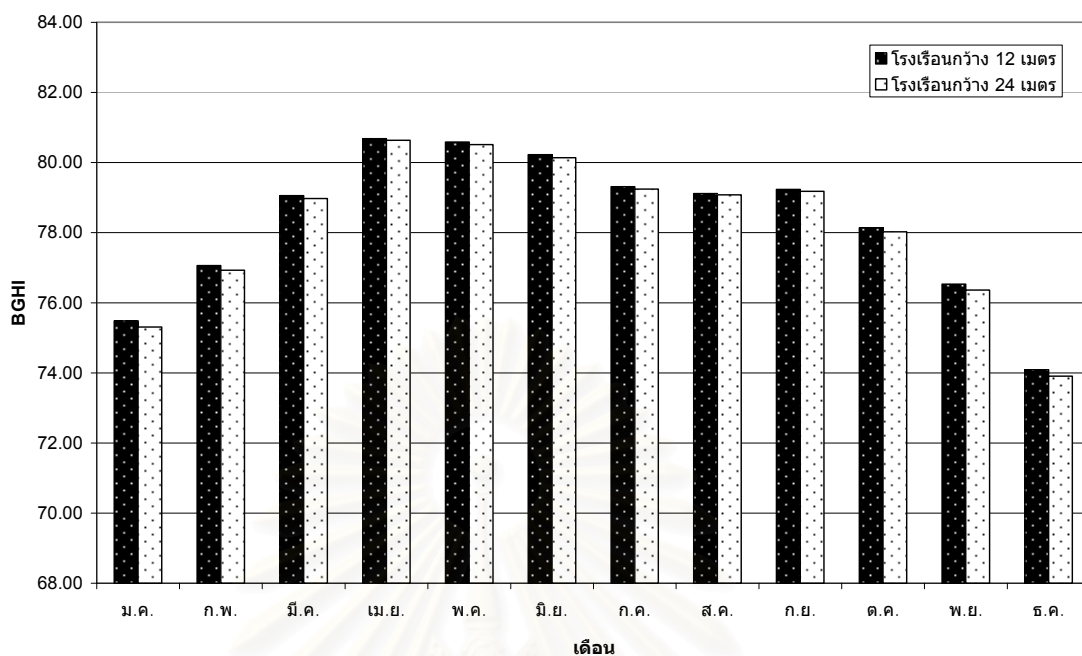




รูปที่ ง.21 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI  
ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
ติดถนนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 เมตร

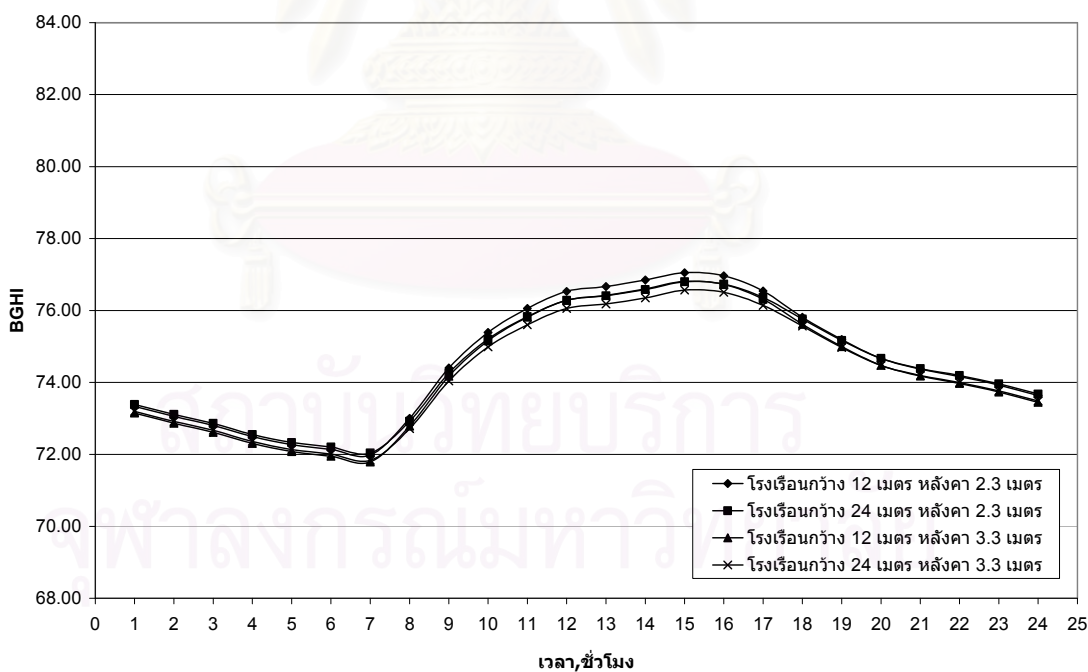


รูปที่ ง.22 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI  
ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
ติดถนนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 3.3 เมตร

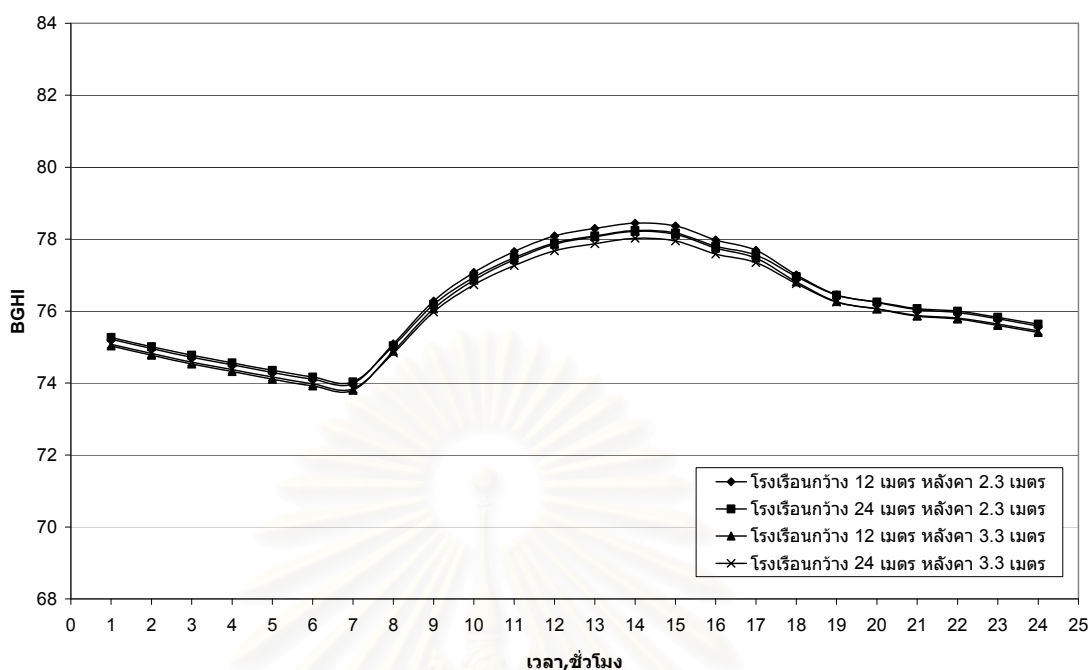


รูปที่ ง.23 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI

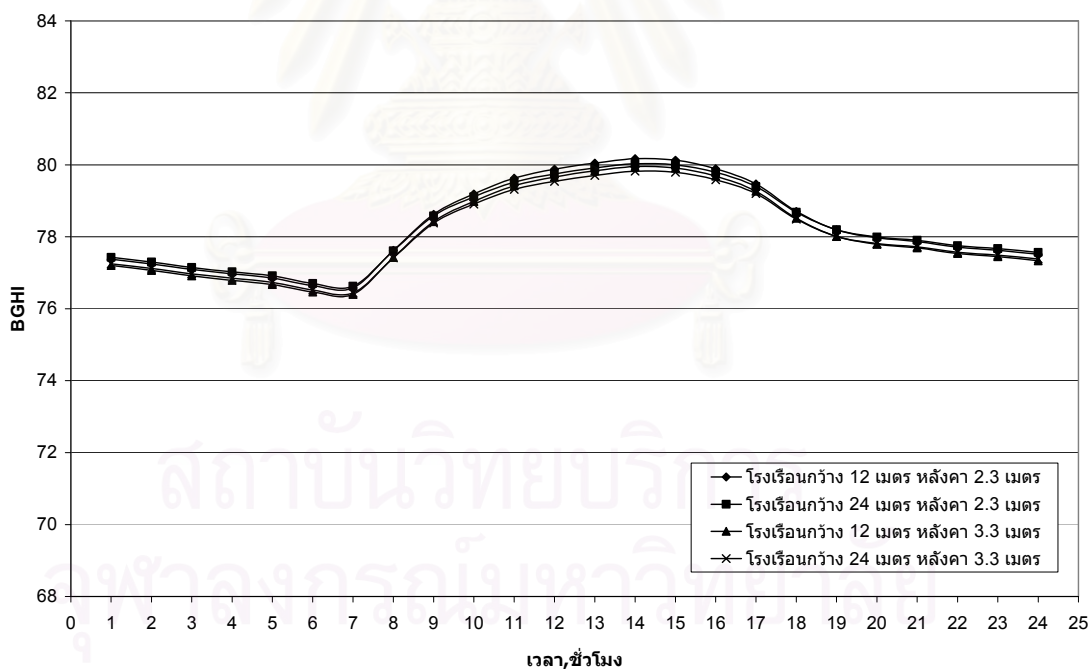
ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
 ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 4.3 เมตร



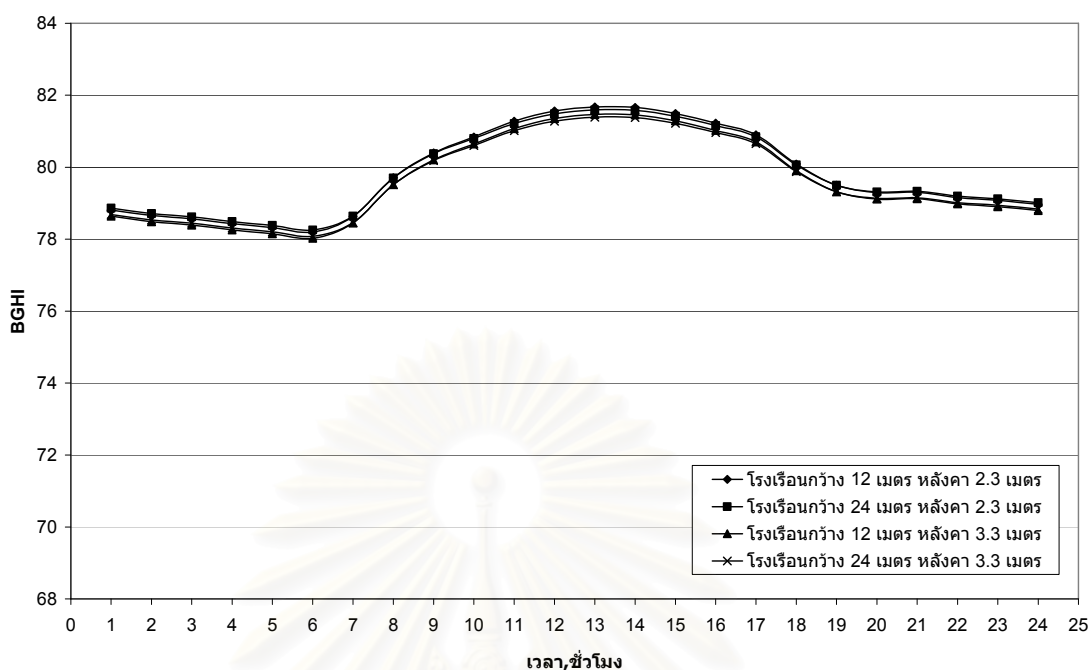
รูปที่ ง.24 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร  
 ตัดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมกราคม



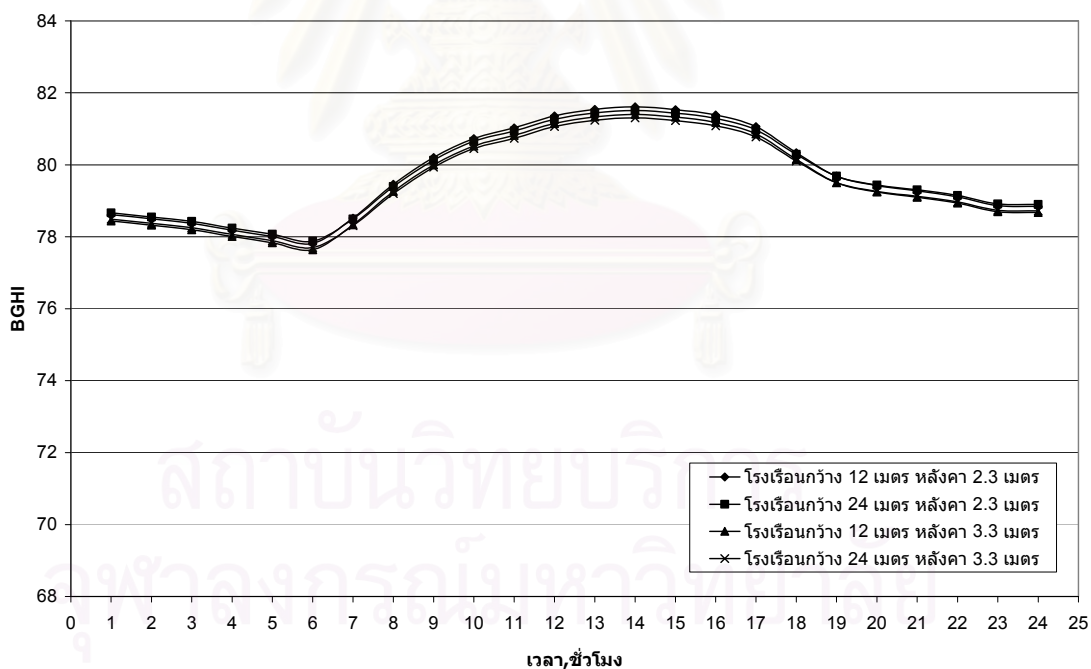
รูปที่ ๒.25 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกุมภาพันธ์



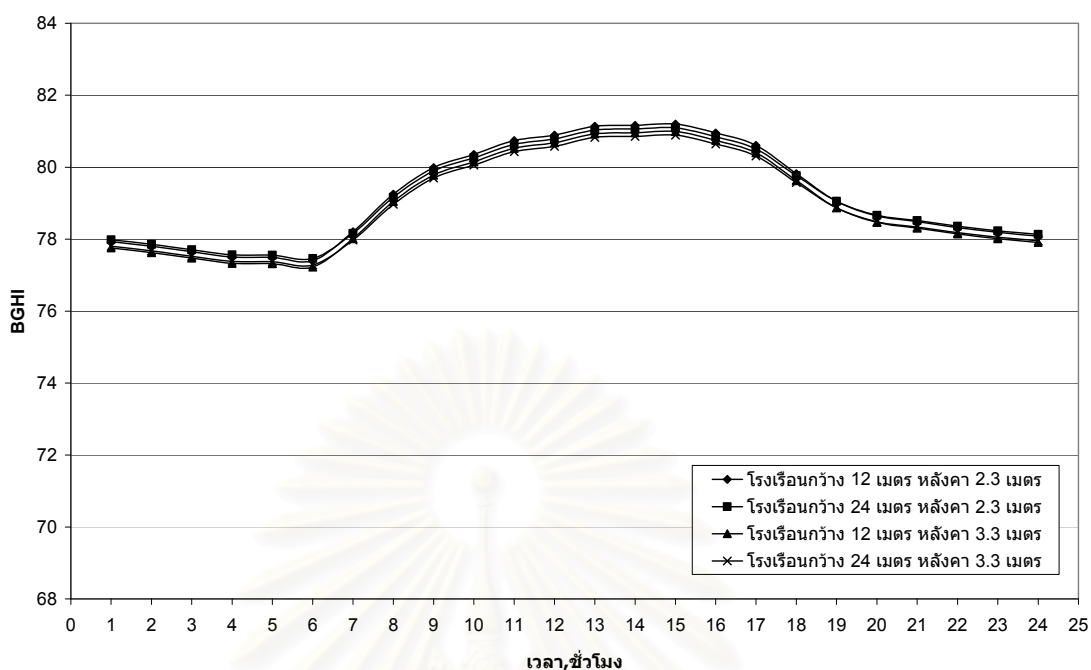
รูปที่ ๒.26 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมีนาคม



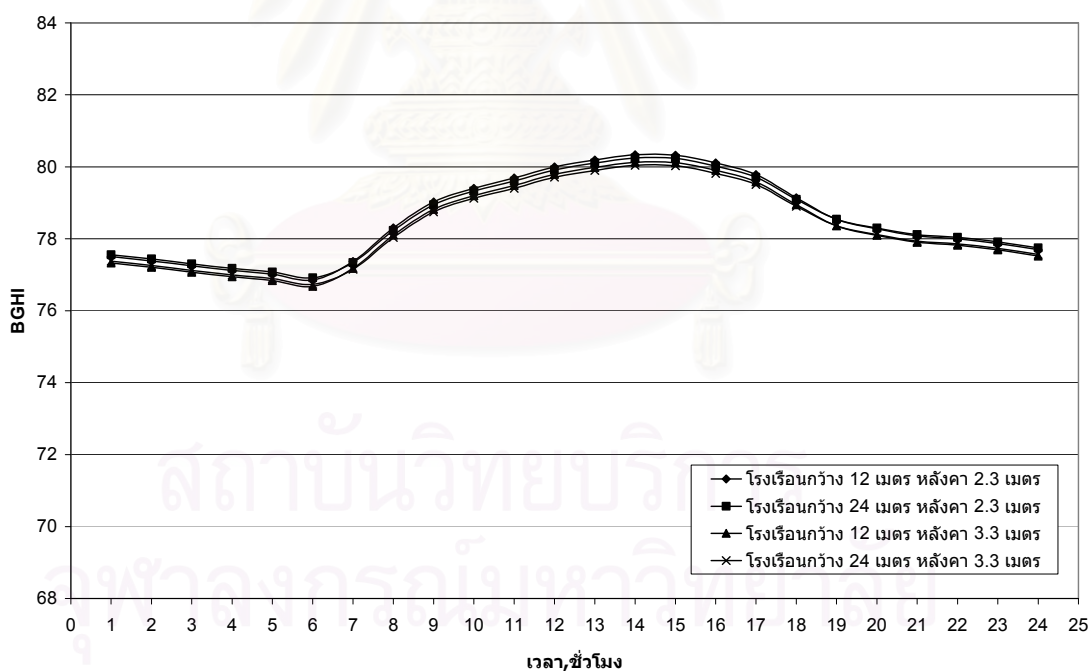
รูปที่ ๒.๒๗ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนเมษายน



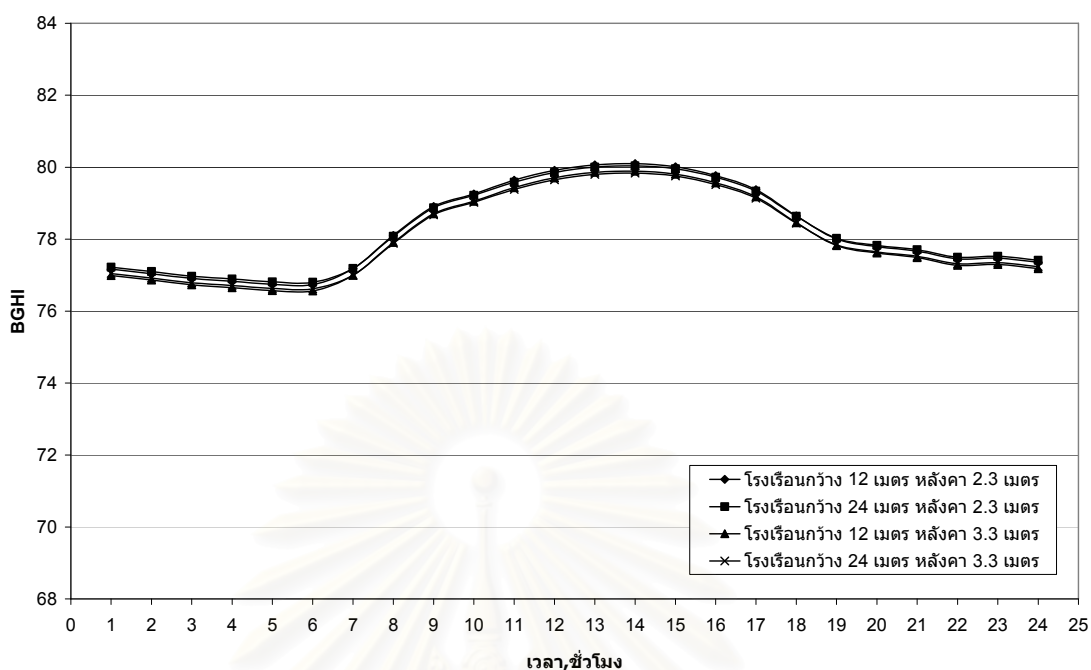
รูปที่ ๒.๒๘ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนพฤษภาคม



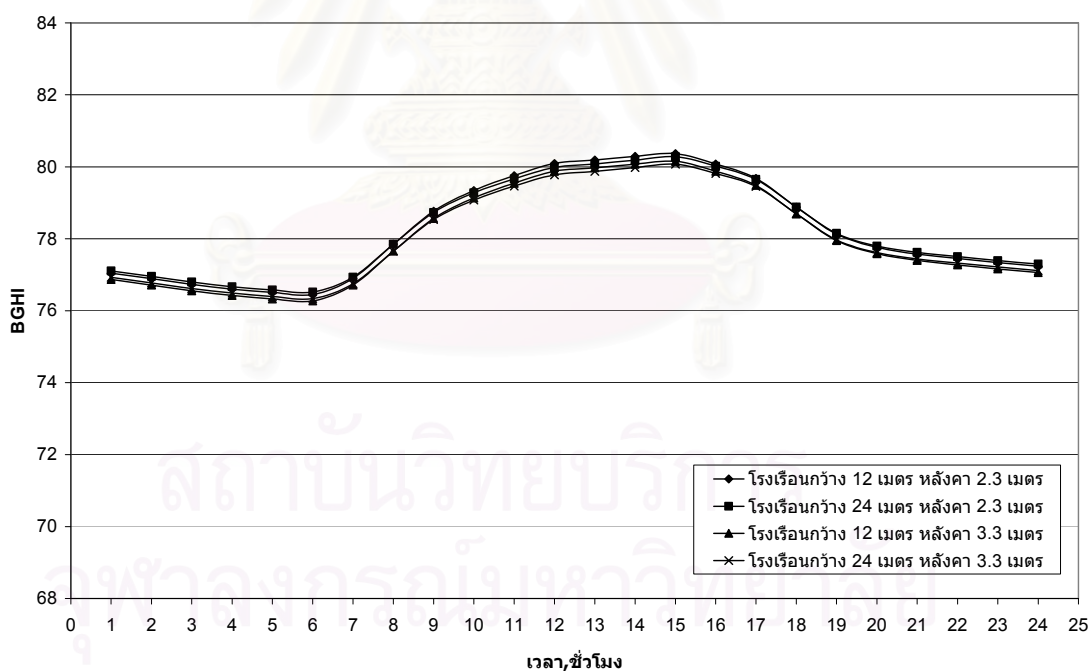
รูปที่ ๒.๒๙ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีอิฐรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนมิถุนายน



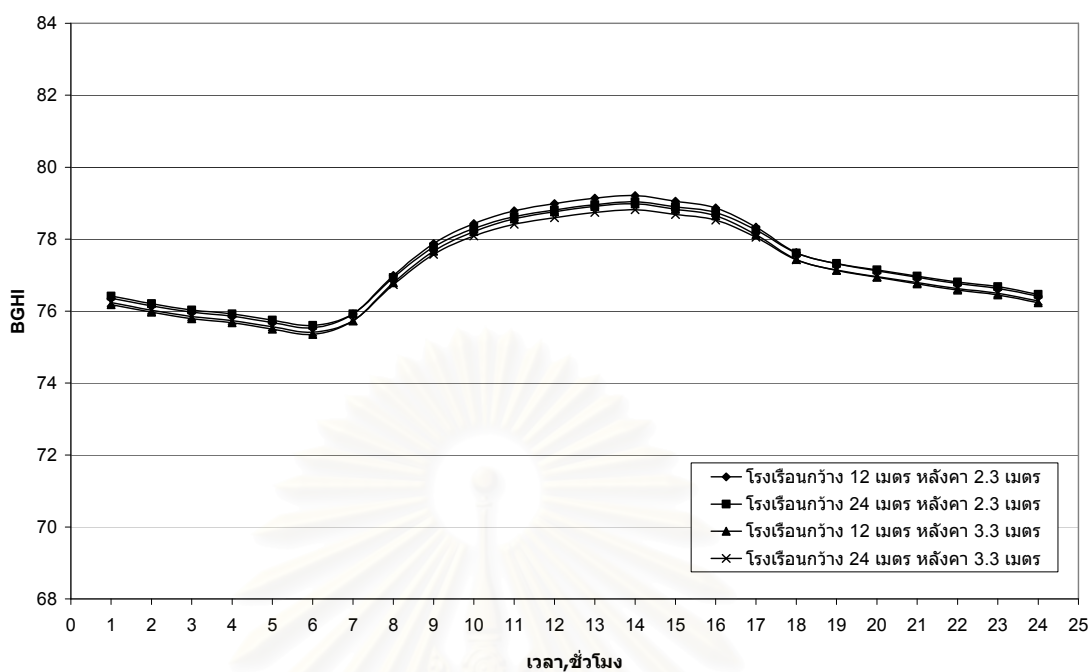
รูปที่ ๒.๓๐ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีอิฐรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกรกฎาคม



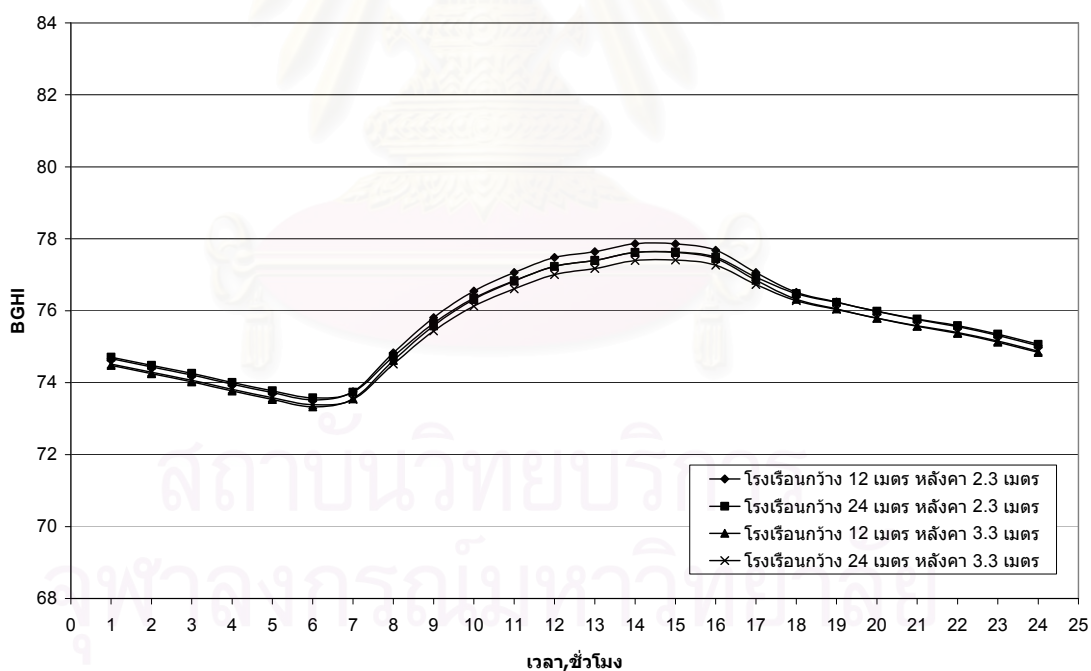
รูปที่ 3.31 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนสิงหาคม



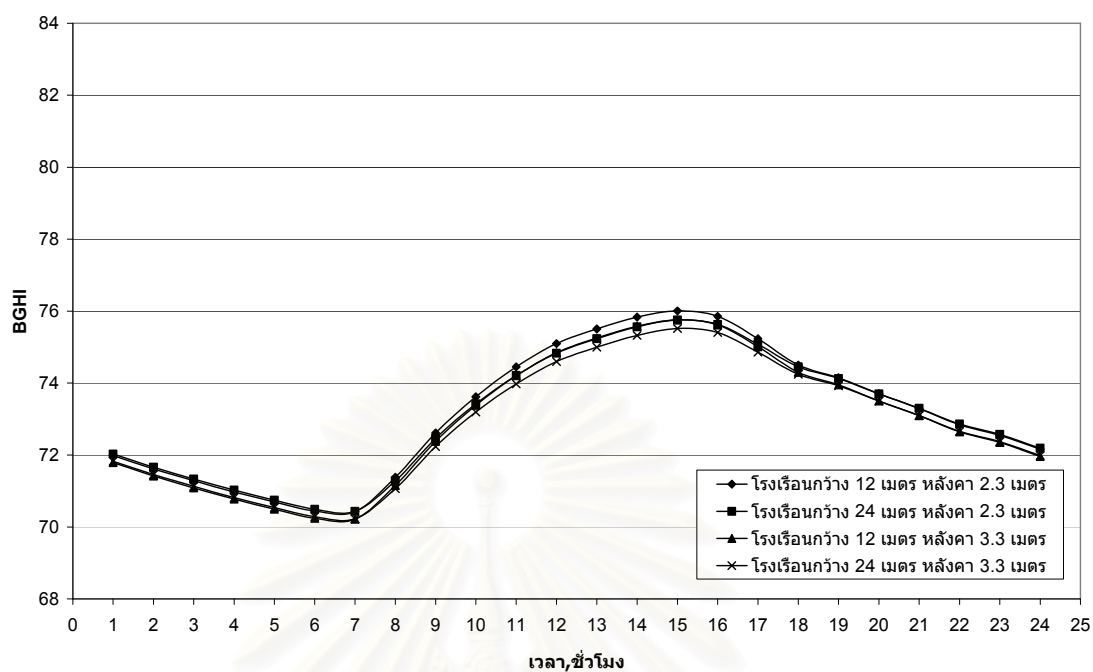
รูปที่ 3.32 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนกันยายน



รูปที่ 3.33 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนตุลาคม



รูปที่ 3.34 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนพฤศจิกายน

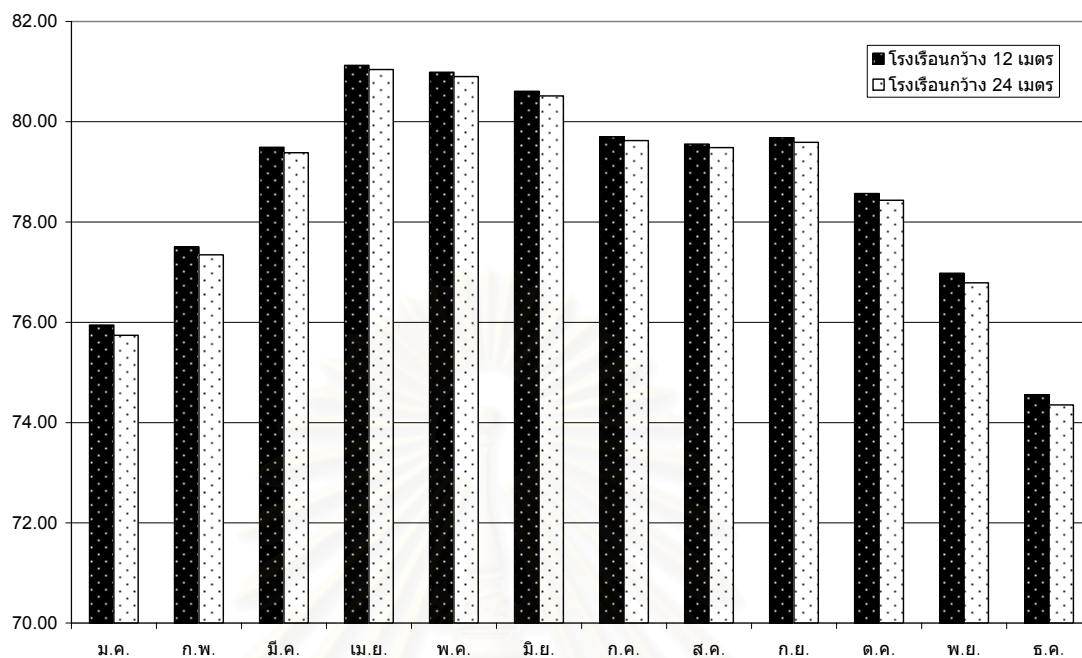


รูปที่ 3.35 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวน โฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีความสูงหลังคา 2.3 และ 3.3 เมตร ในเดือนธันวาคม

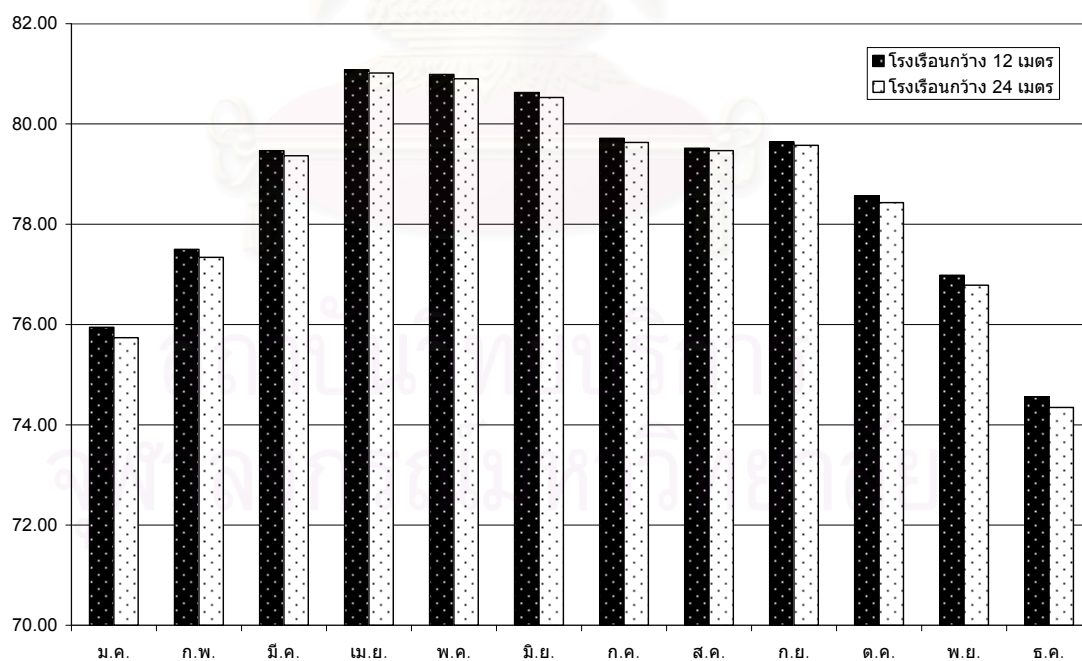
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



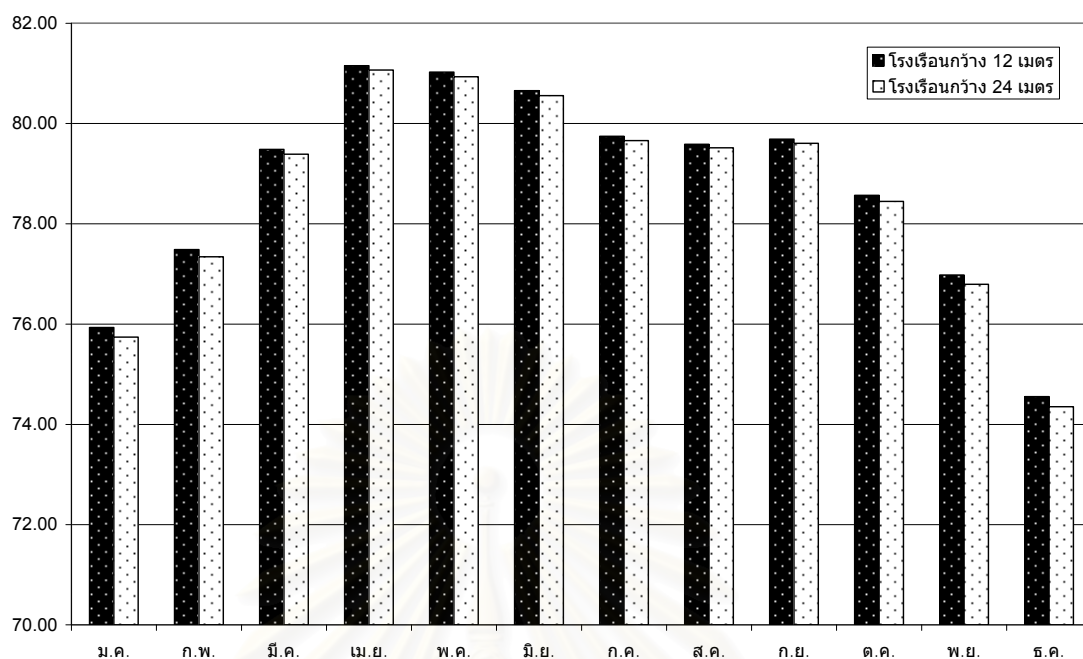
### อิทธิพลของการวางตัวของโรงเรียนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรียน



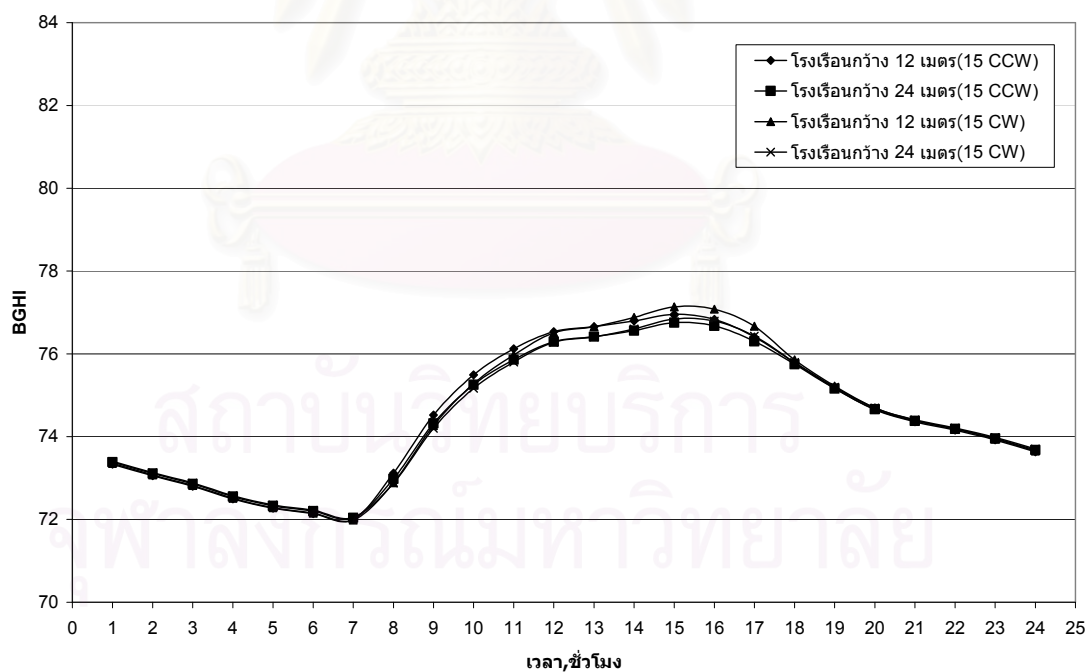
รูปที่ ง.36 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก (ทวนเข็มนาฬิกา)



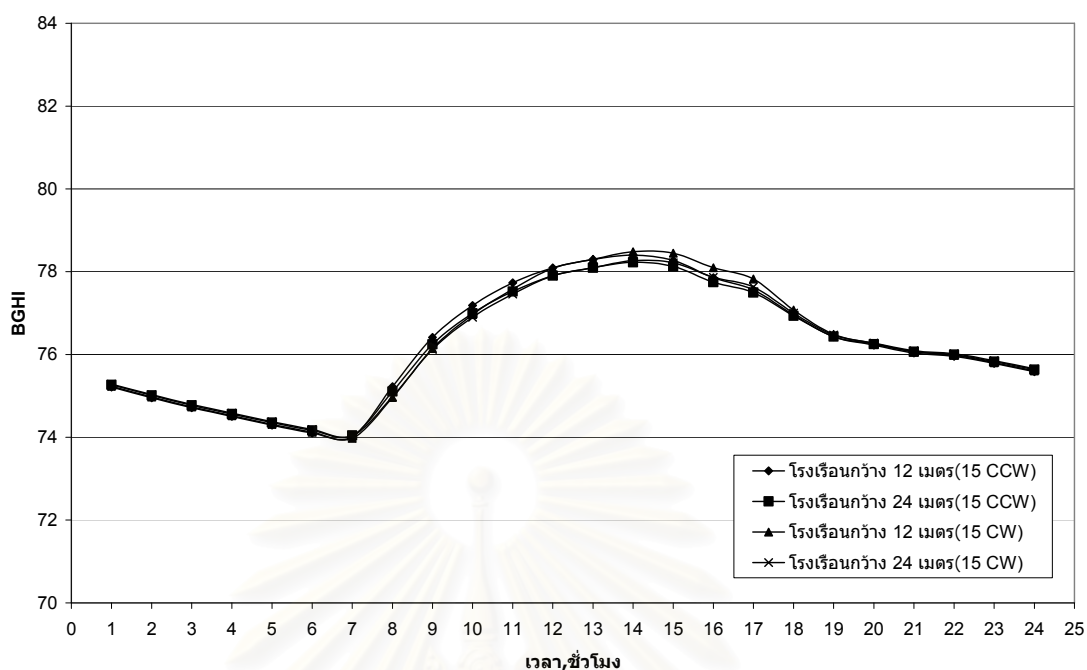
รูปที่ ง.37 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก



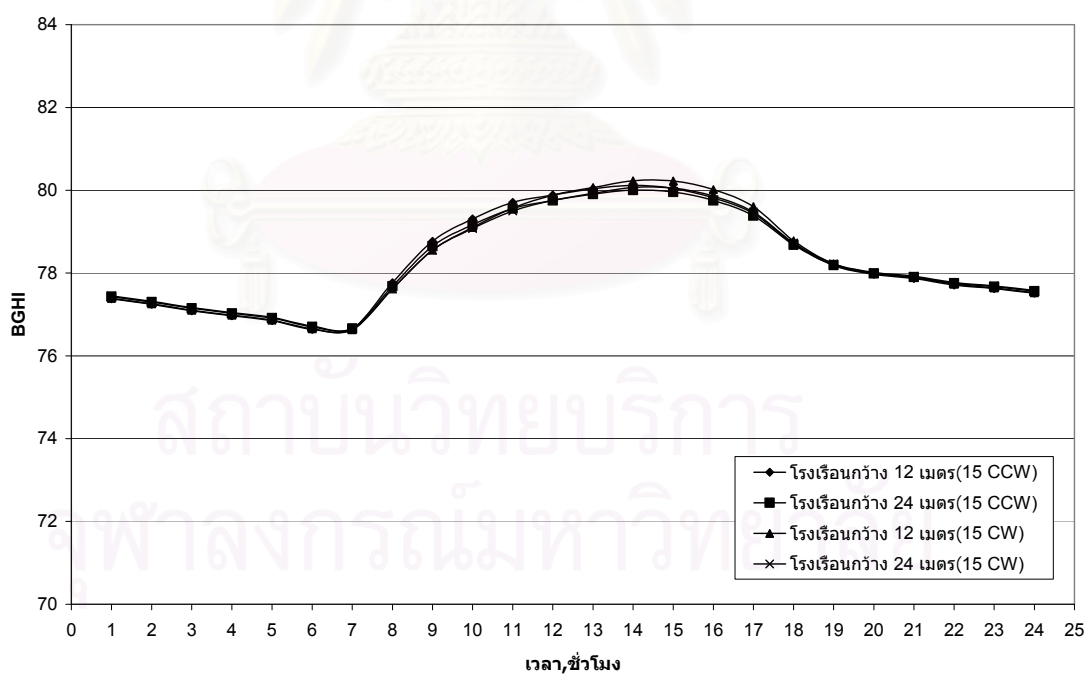
รูปที่ ง.38 ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศา จากแนวตะวันออก-ตะวันตก (ตามเข็มนาฬิกา)



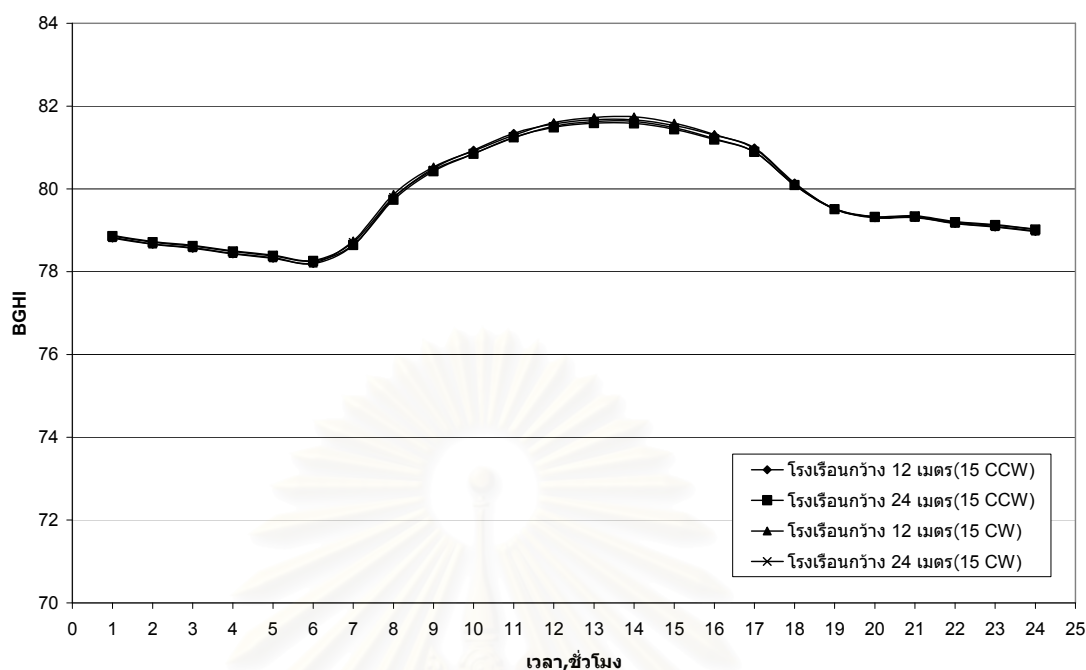
รูปที่ ง.39 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมกราคม



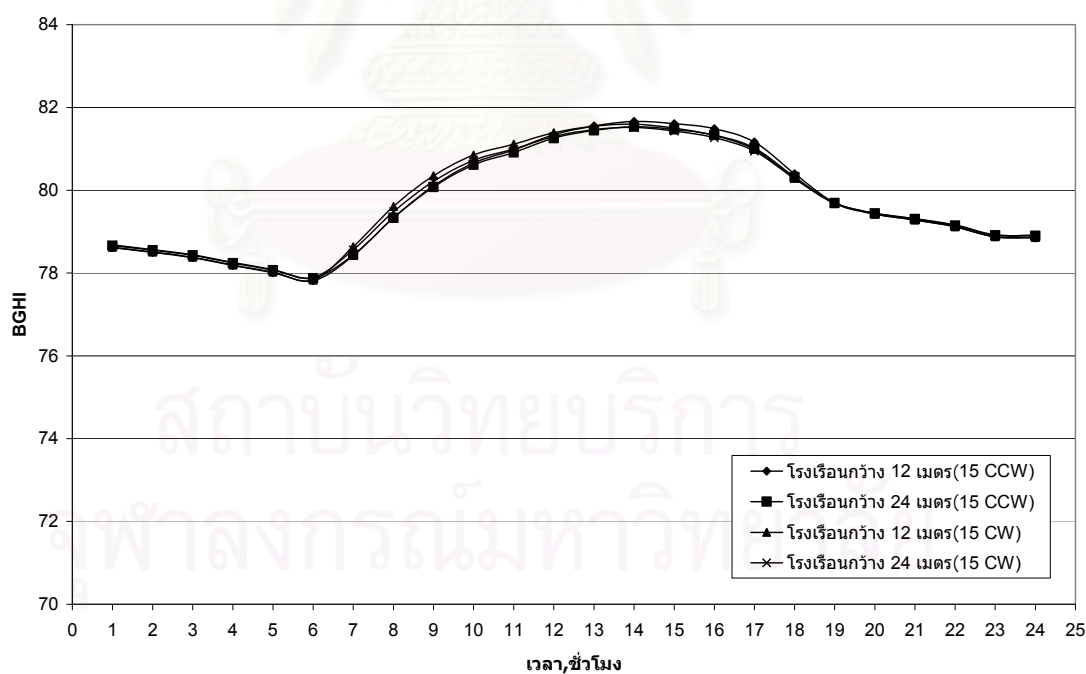
รูปที่ ๔.๔๐ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกุมภาพันธ์



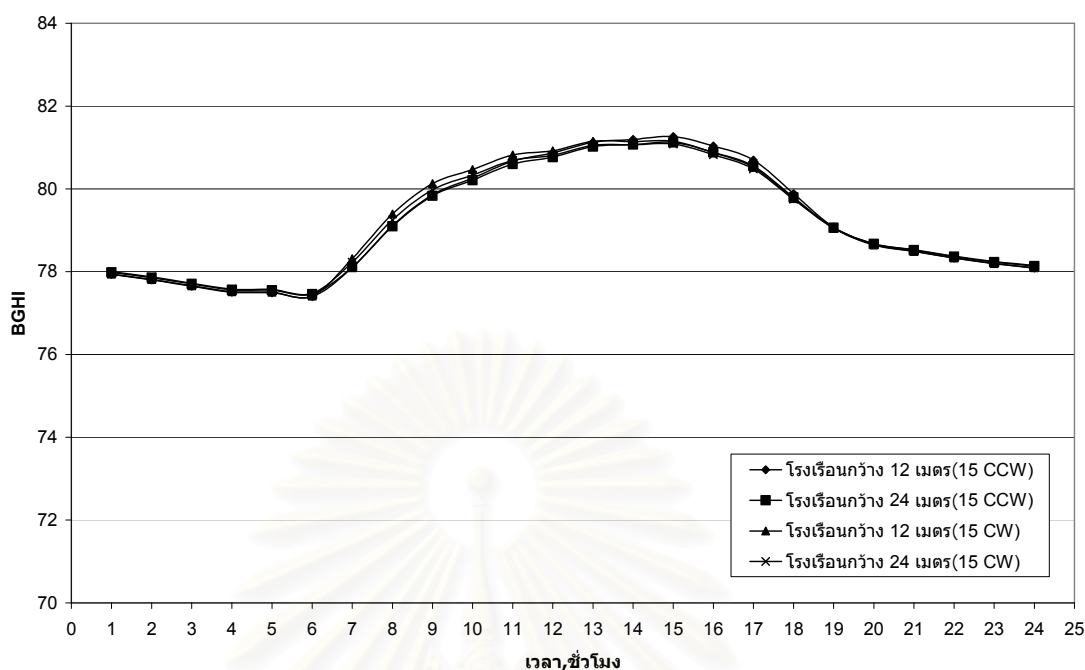
รูปที่ ๔.๔๑ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมีนาคม



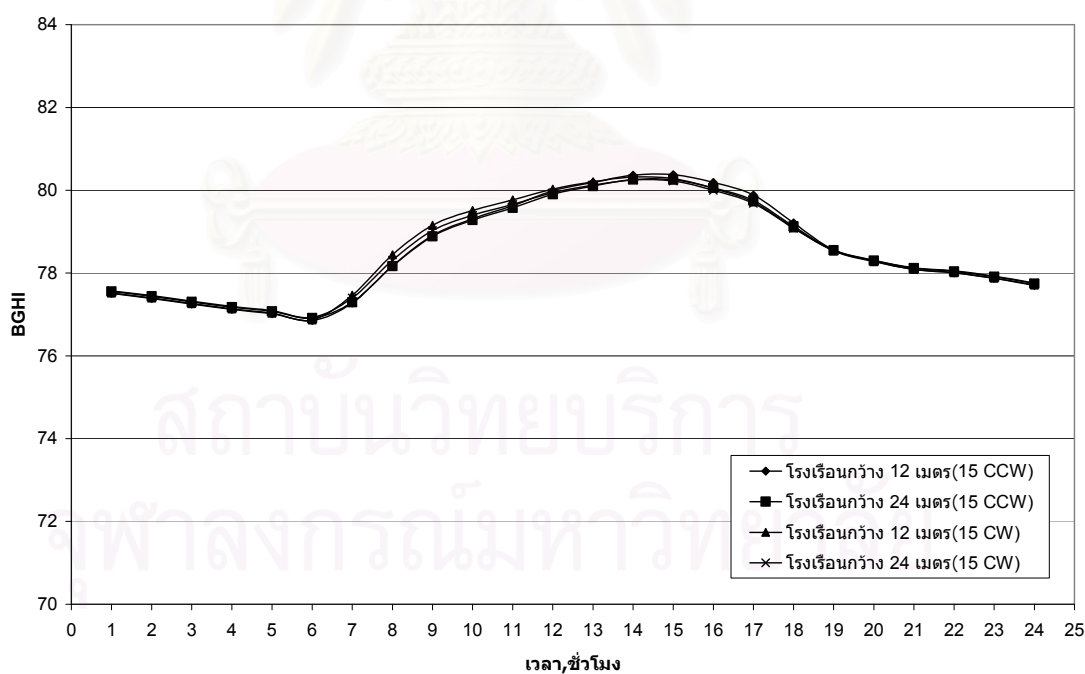
รูปที่ ๔.๒๒ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนเมษายน



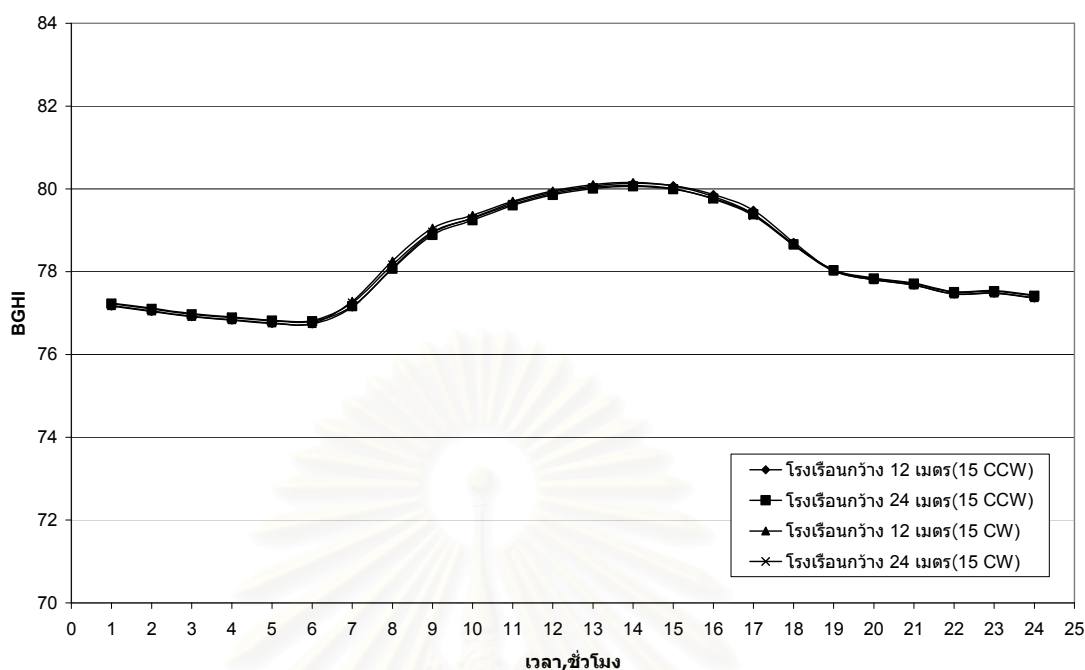
รูปที่ ๔.๒๓ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนพฤษภาคม



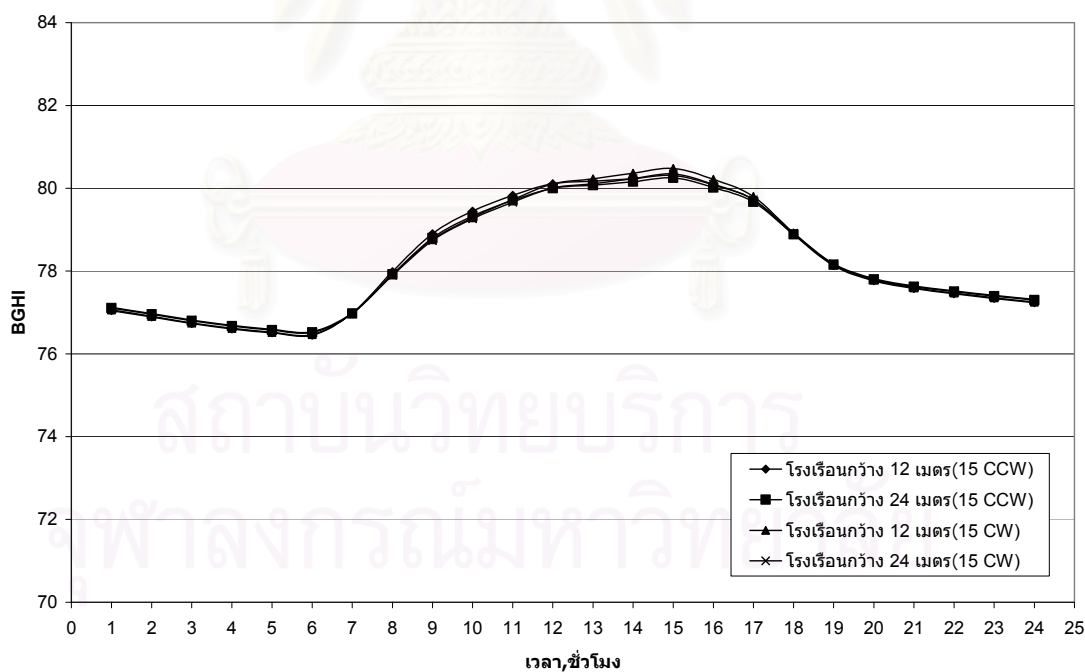
รูปที่ ๔.๔๔ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนมิถุนายน



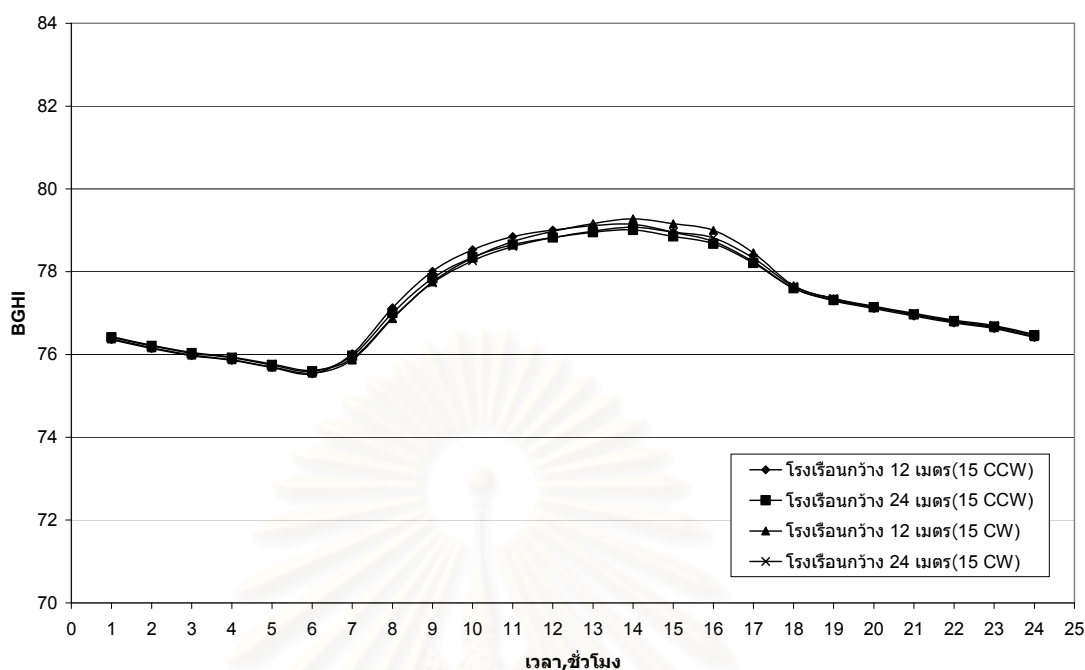
รูปที่ ๔.๔๕ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกรกฎาคม



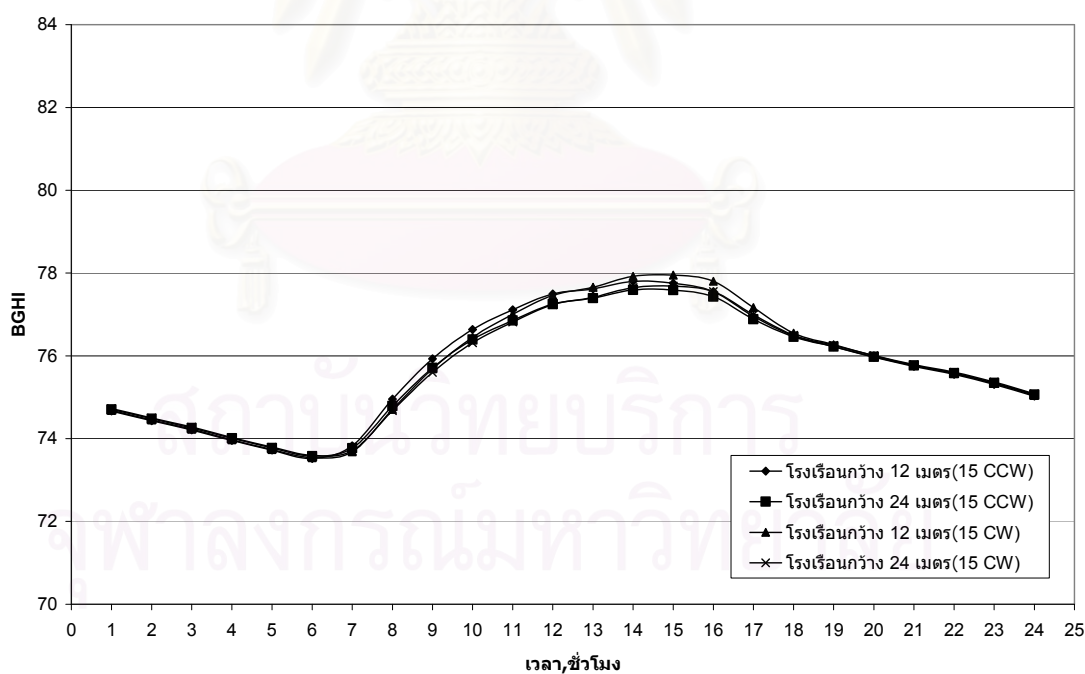
รูปที่ ๔.46 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนสิงหาคม



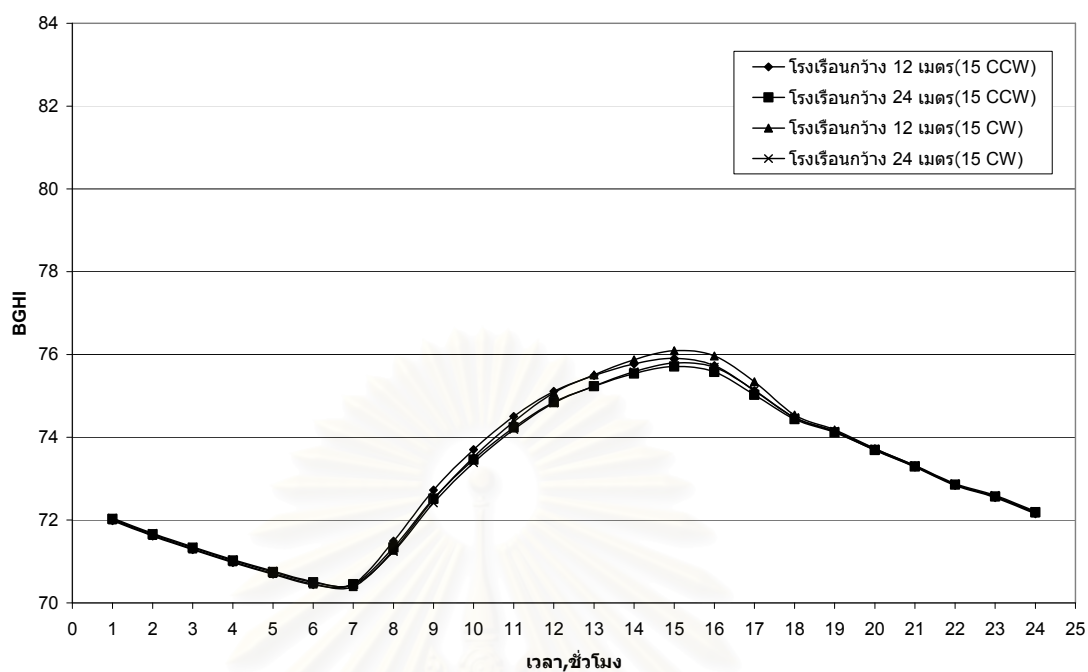
รูปที่ ๔.47 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ตัดถนนโพนโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนกันยายน



รูปที่ ๔.๔๘ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนตุลาคม



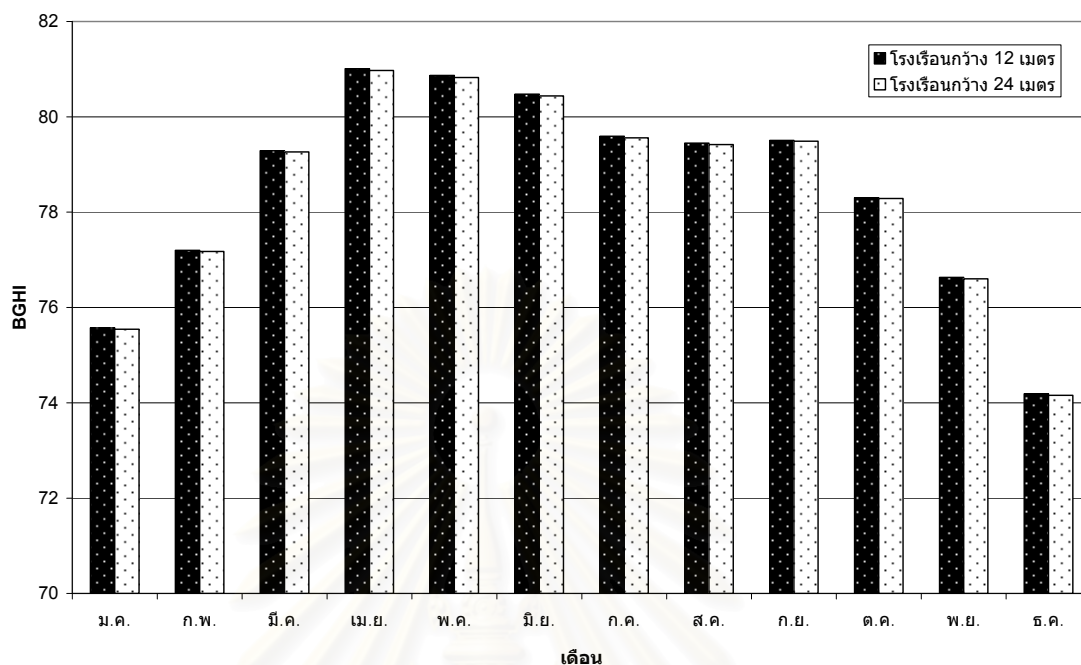
รูปที่ ๔.๔๙ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนพฤศจิกายน



รูปที่ 5.50 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีแนวการวางตัว 15 องศาจากแนวตะวันออก-ตะวันตก ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(CCW)และตามเข็มนาฬิกา(CW) ในเดือนธันวาคม



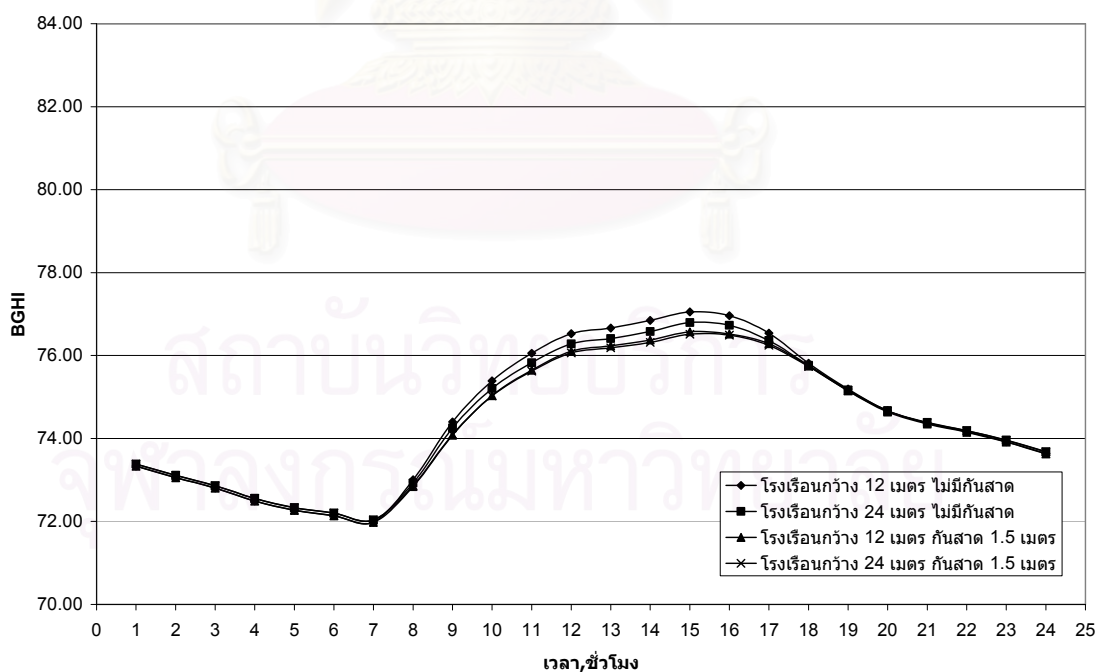
### อิทธิพลของกันสาดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โรงเรือน



รูปที่ ๕.๑๑ ค่าเฉลี่ยในรอบเดือนของดัชนีความร้อน BGHI

ในช่วงเวลา 8.00 น.-17.00 น. ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร

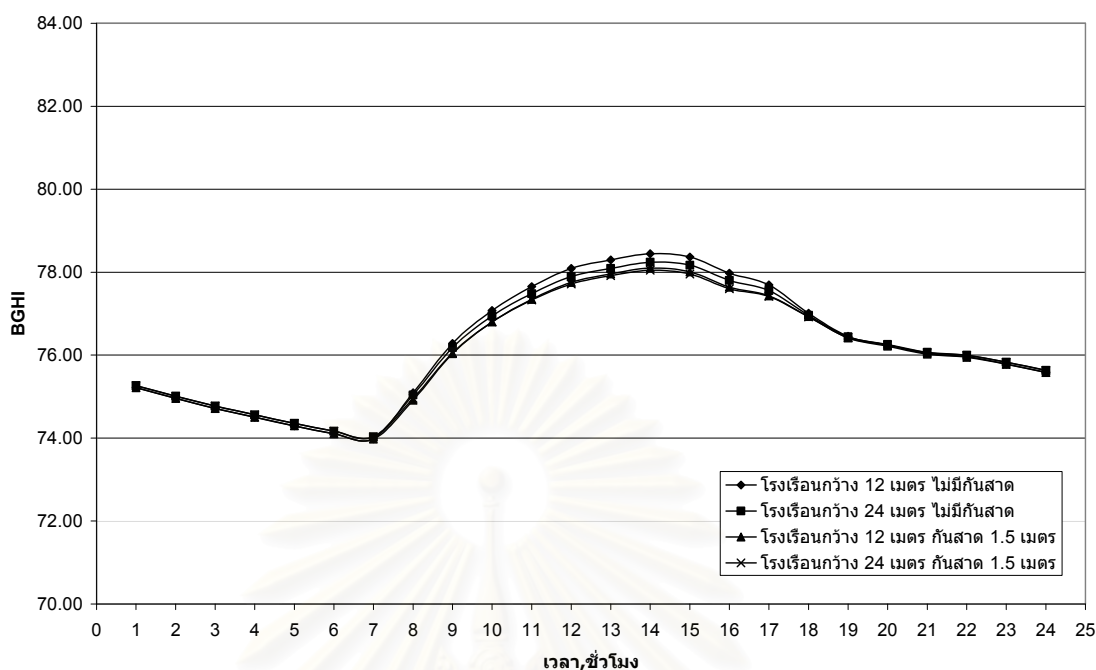
ติดตั้งฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อมีการติดตั้งสาดยาว 1.5 เมตร



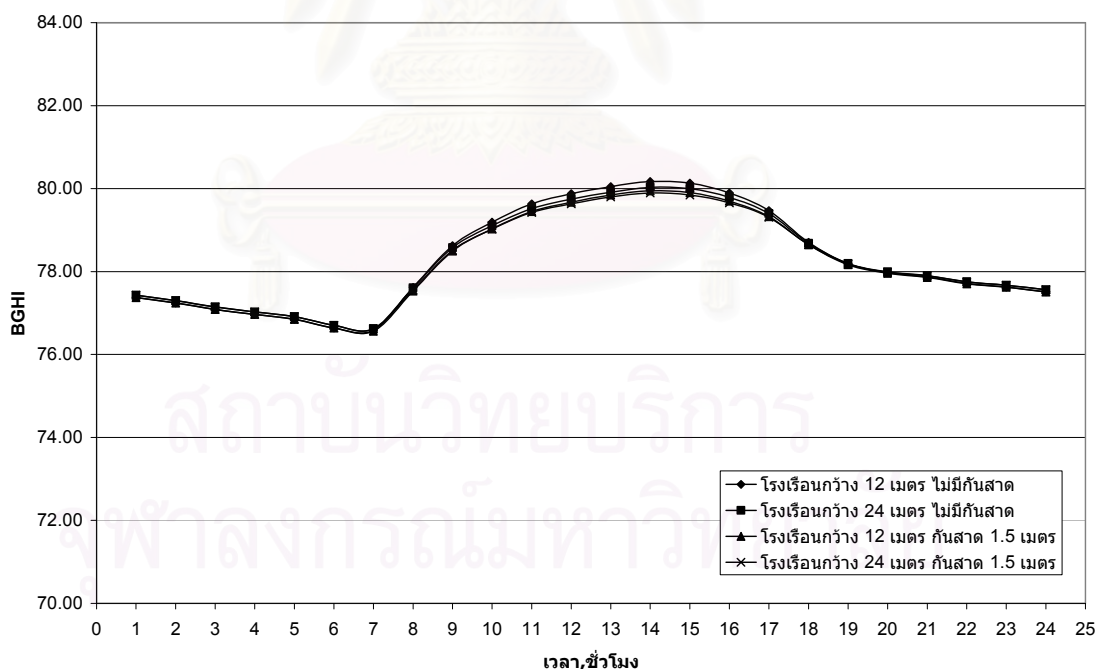
รูปที่ ๕.๑๒ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI

ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว

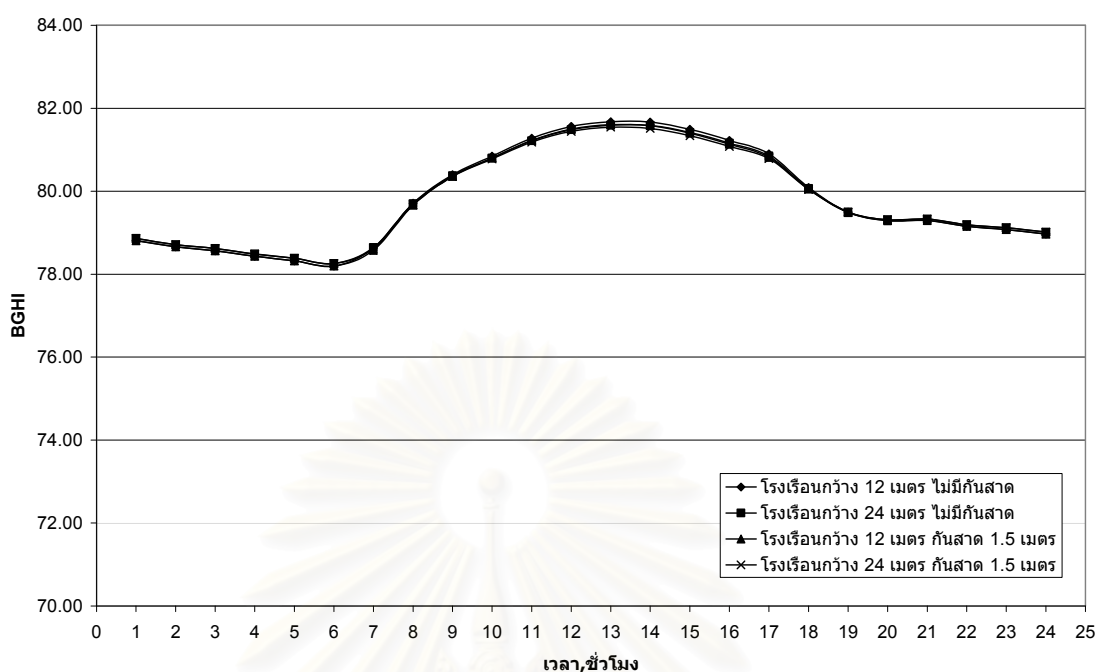
เมื่อไม่มีการติดตั้งสาดและมีการติดตั้งสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนมกราคม



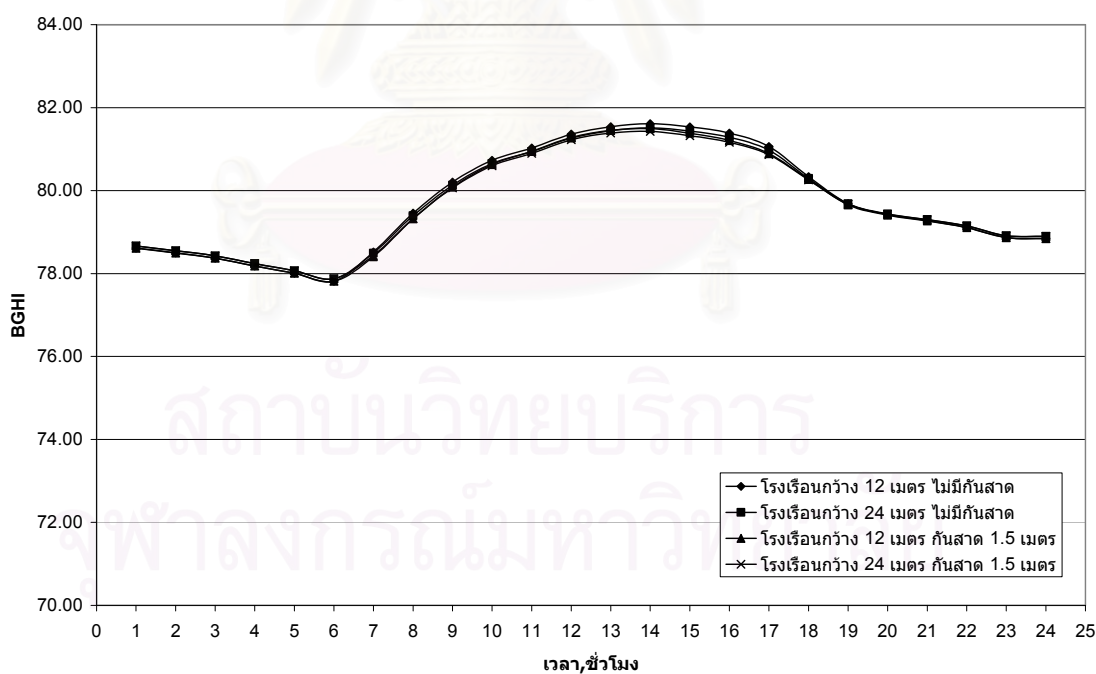
รูปที่ ๕.๕๓ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนกุมภาพันธ์



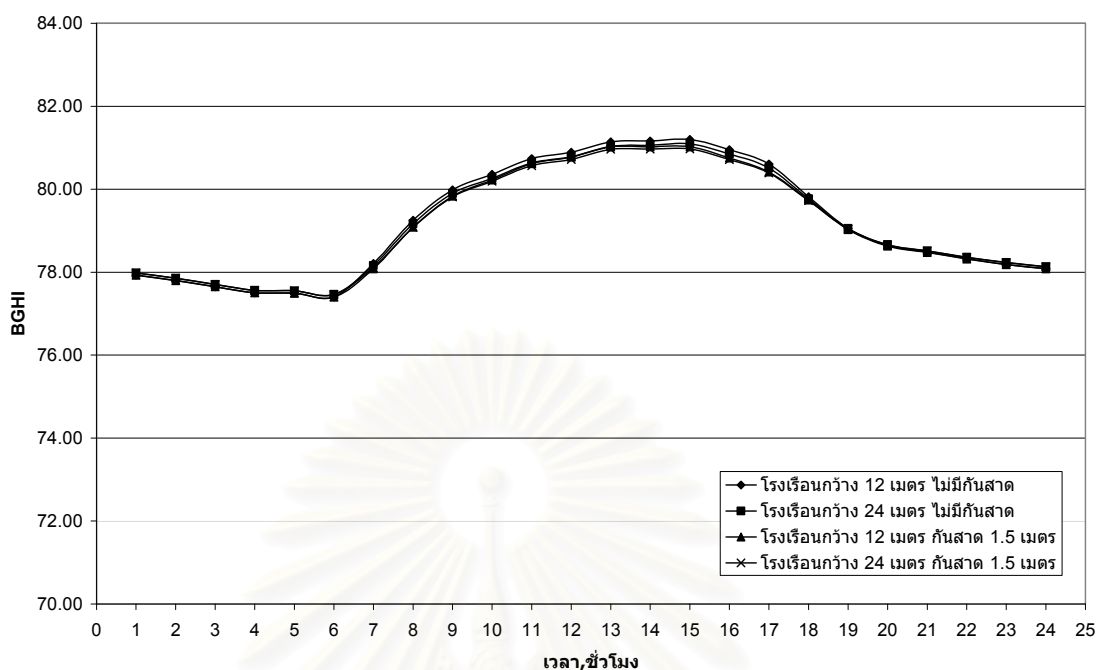
รูปที่ ๕.๕๔ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนมิถุนายน



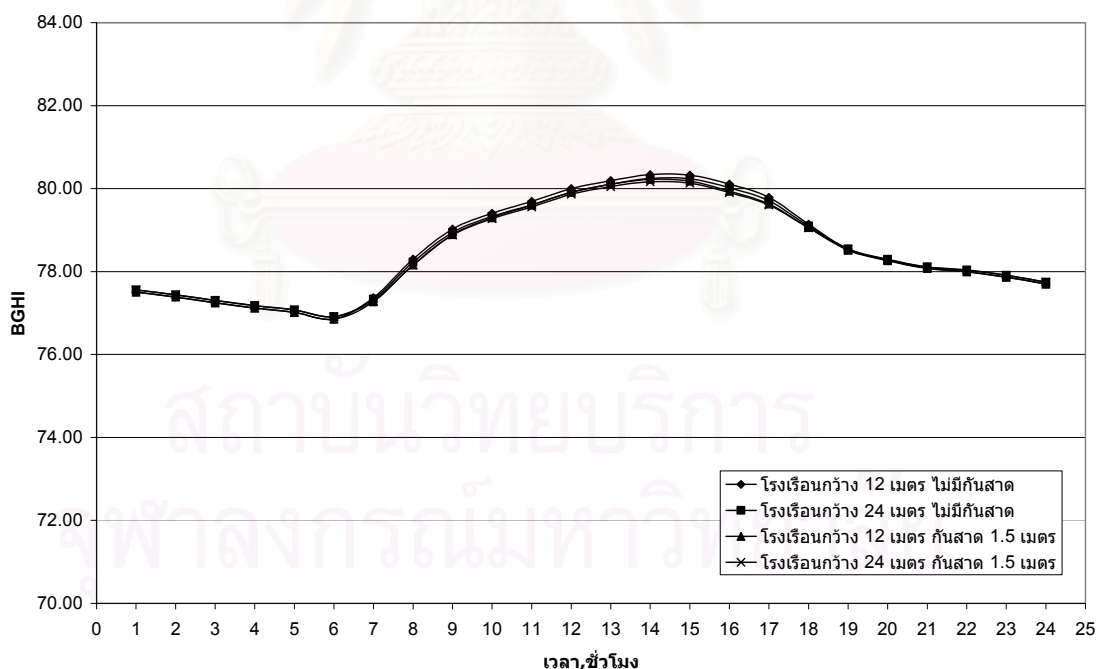
รูปที่ 5.55 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกั้นเสาและมีการติดกั้นเสา 1.5 เมตรในเดือนเมษายน



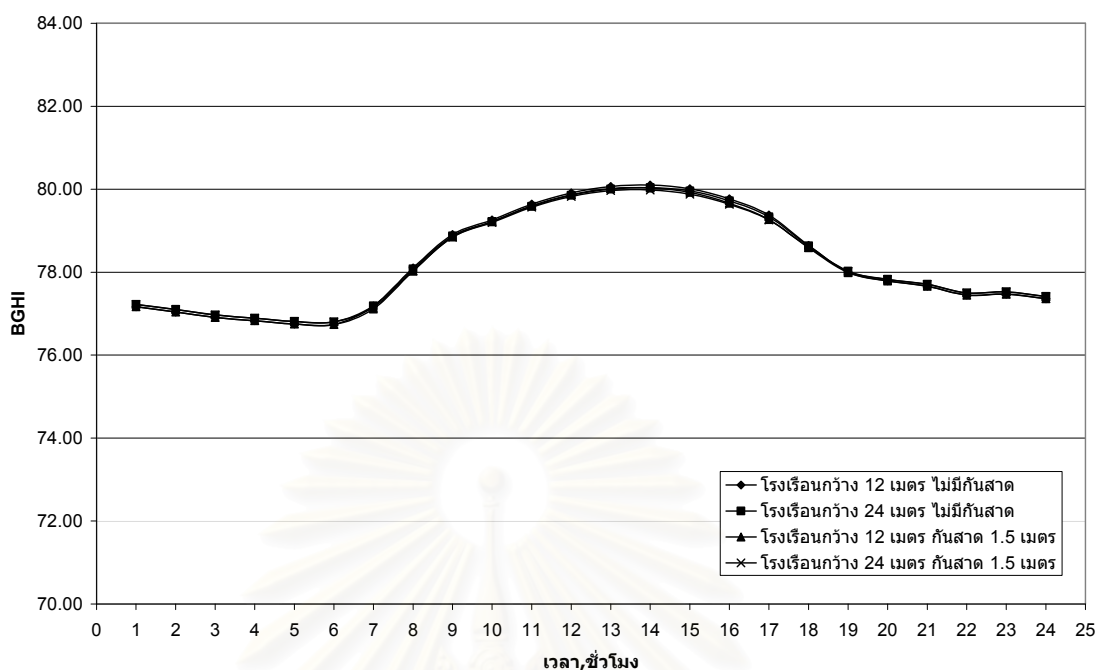
รูปที่ 5.56 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกั้นเสาและมีการติดกั้นเสา 1.5 เมตรในเดือนพฤษภาคม



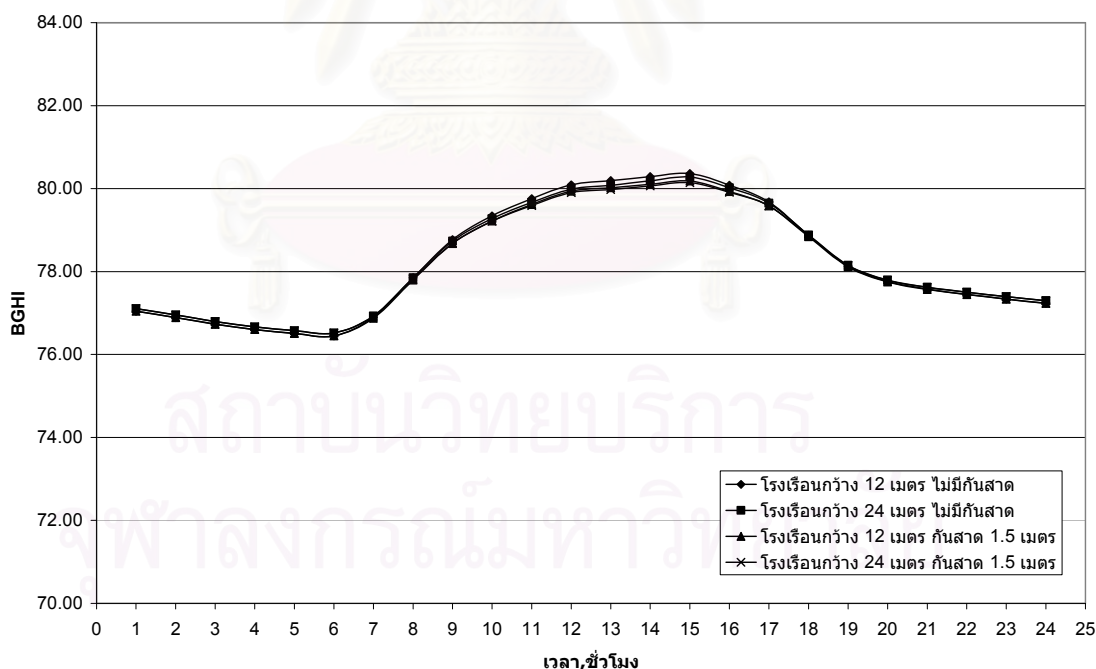
รูปที่ ๕.๕๗ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนมิถุนายน



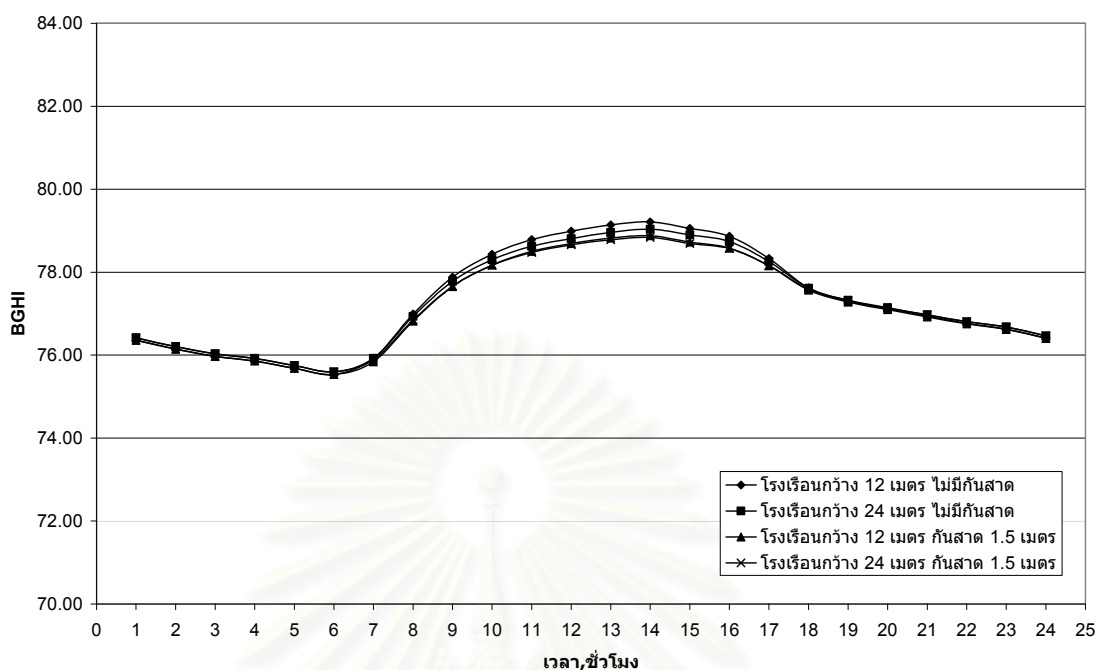
รูปที่ ๕.๕๘ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนกรกฎาคม



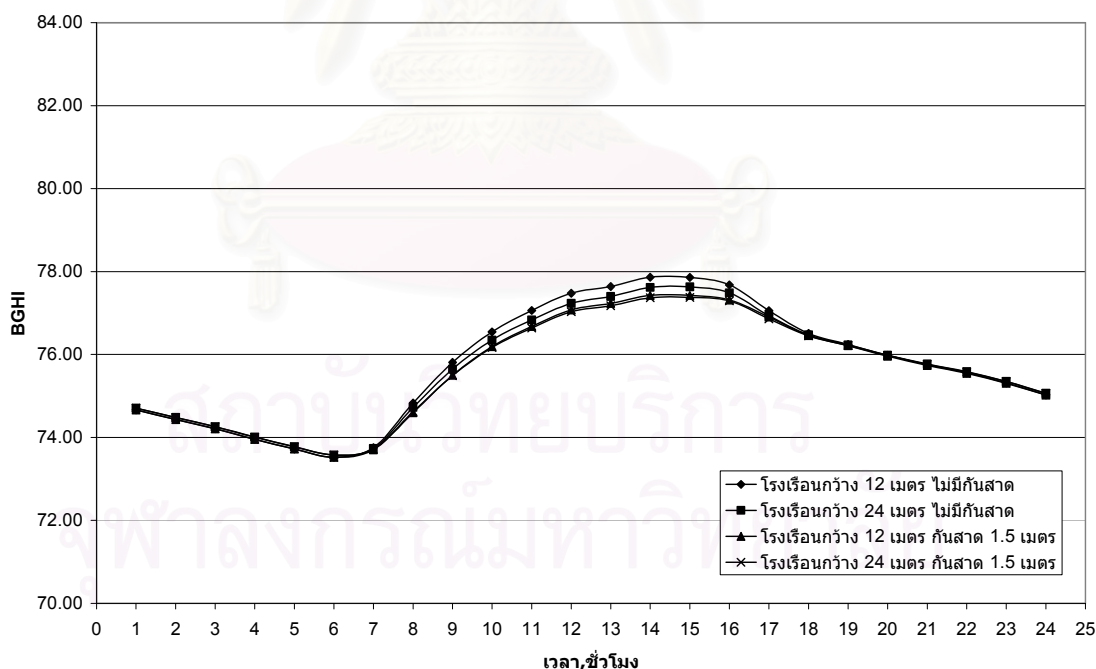
รูปที่ ๕.๕๙ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนสิงหาคม



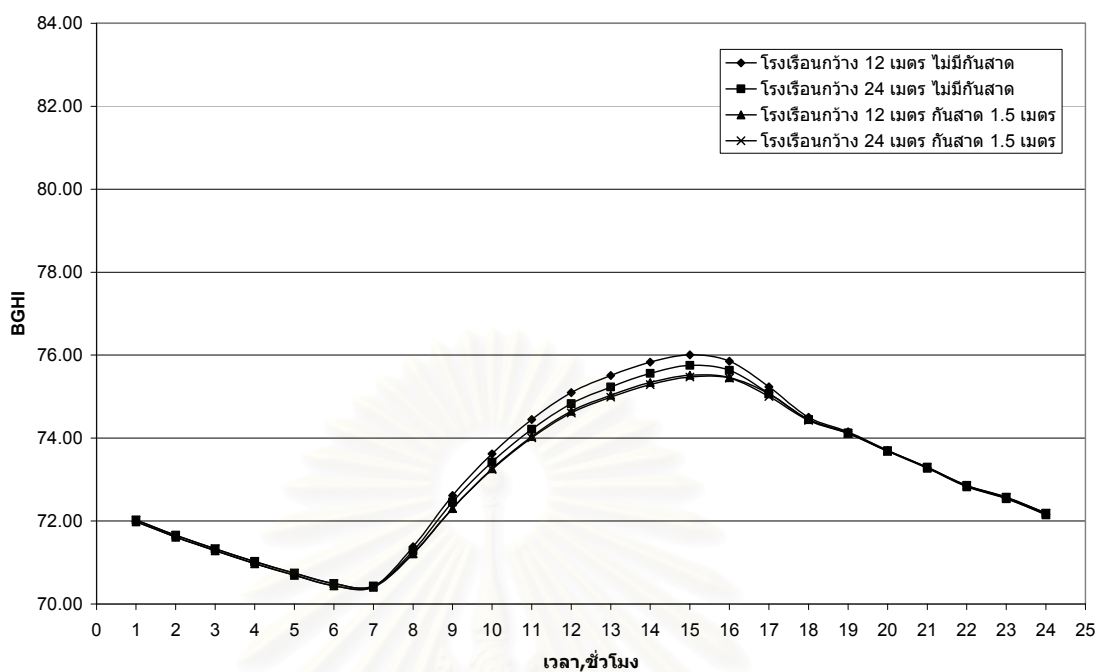
รูปที่ ๕.๖๐ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรียนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนกันยายน



รูปที่ ๖.๖๑ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนตุลาคม



รูปที่ ๖.๖๒ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ดัดฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2.0 นิ้ว เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนพฤศจิกายน



รูปที่ ง.63 ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของดัชนีความร้อน BGHI  
ของโรงเรือนกว้าง 12 และ 24 เมตร ติดฉนวนโฟมโพลียูรีเทนหนา 2.0 นิ้ว  
เมื่อไม่มีการติดกันสาดและมีการติดกันสาดยาว 1.5 เมตรในเดือนธันวาคม

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีระ สุทธิญา เกิดเมื่อวันที่ 12 เดือนมิถุนายน พุทธศักราช 2522 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย