



บทที่ 5

การวิเคราะห์และประเมินผล

5.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 ทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังคาน

จากการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังคานทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ คอนกรีต 3", หลังคากระเบื้องซีเมนต์ สีแดง, หลังคาแผ่นโลหะ สีขาว, หลังคากระเบื้องดินเผา, และหลังคาหญ้าคา โดยผู้วิจัย ได้ทำการเปรียบเทียบ อุณหภูมิผิวบนและล่างของวัสดุผนังคานแต่ละชนิด และอุณหภูมิอากาศ ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ของวันที่ 6 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 7 มีนาคม 2541 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 อุณหภูมิผิวบน (SURFACE) ของวัสดุ

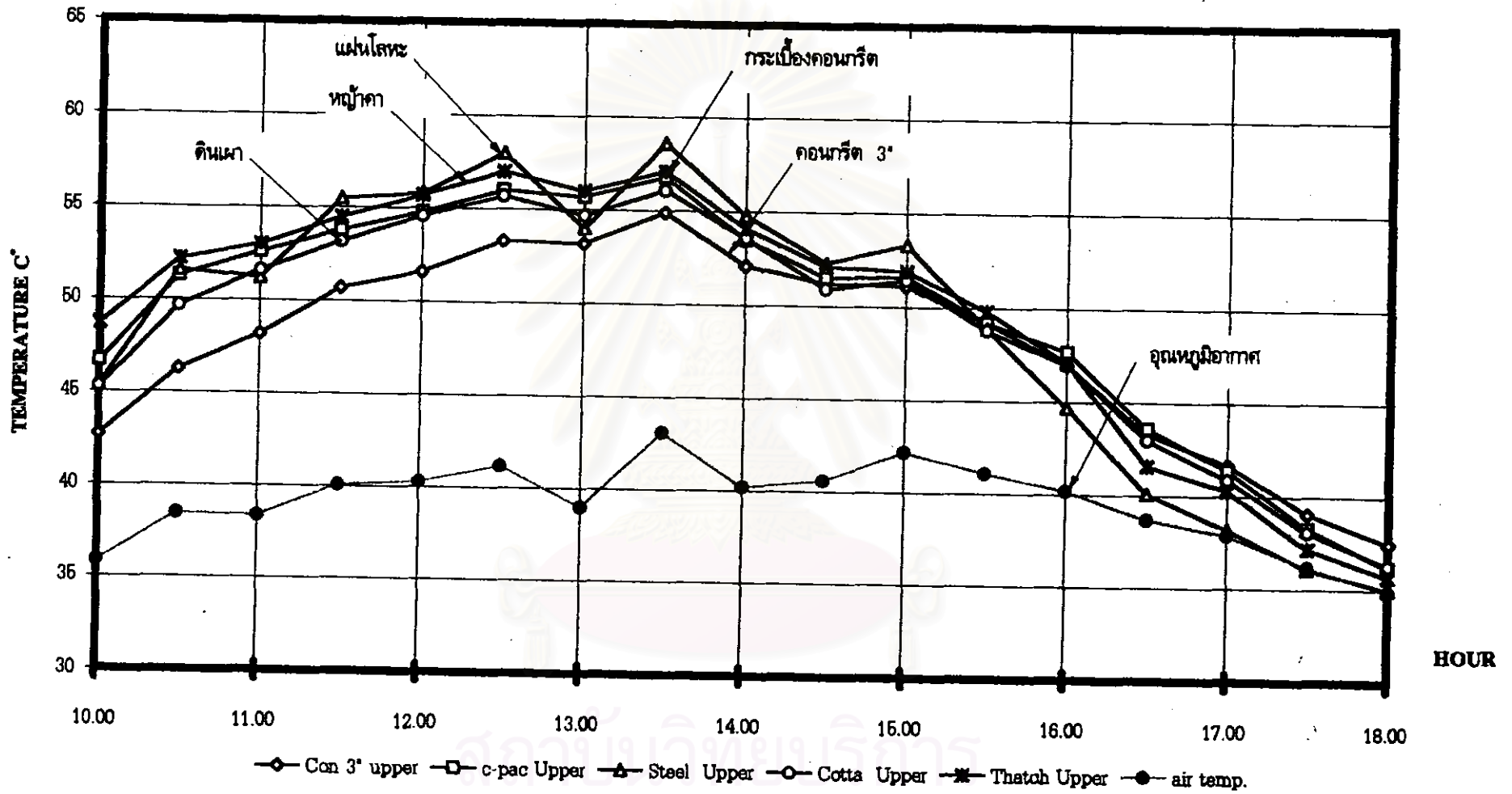
การพิจารณาอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนัง คาน 24 ซม. พบว่าในช่วงเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. อุณหภูมิผิวบนของวัสดุที่สูงสุดใกล้เคียงกันคือ แผ่นโลหะ และหญ้าคา มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง PEAK ประมาณ 57°C . ส่วนวัสดุผนังคานที่มีอุณหภูมิผิวบนสูงรองลงมาคือ กระเบื้องดินเผาและกระเบื้องซีเมนต์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง PEAK ประมาณ 55°C และวัสดุผนังคานที่มีอุณหภูมิผิวบนต่ำที่สุดในช่วง PEAK คือ คอนกรีตหนา 3" จากการพิจารณาอุณหภูมิ ช่วงกลางวันพบว่า วัสดุผนังคานทั้งหมดมีอุณหภูมิแตกต่างกันไม่มาก (ดูแผนภูมิที่ 5-1)

ในช่วงเวลากลางคืน 18.00-6.00 น. พบว่าวัสดุผนังคานที่มีอุณหภูมิผิวบนต่ำที่สุดคือ แผ่นโลหะและหญ้าคา โดยวัสดุผนังคานทั้ง 2 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีความร้อนสะสมที่ผิวมากนัก ในขณะที่ หลังคากระเบื้องซีเมนต์, กระเบื้องดินเผา มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันและสูงกว่าอุณหภูมิผิวบนของ แผ่นโลหะและหญ้าคาเล็กน้อย ประมาณ 0.5°C ส่วนอุณหภูมิผิวบนของคอนกรีต 3" มีอุณหภูมิสูงกว่าหลังคาชนิดอื่นและอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 16.30-22.30 น. และเวลา 22.30 น. เป็นต้นไป อุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังคานทุกชนิดก็มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ $0.5-0.8^{\circ}\text{C}$ จนถึงเวลา 6.00 น.

5.1.2 อุณหภูมิผิวล่าง (SURFACE) ของวัสดุ

ช่วงเวลา 6.00-18.00 น. (DAYTIME)

หลังคาหญ้าคา มีอุณหภูมิผิวล่างต่ำที่สุดและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดในช่วงเวลากลางวัน (ดูแผนภูมิที่ 5-2) โดยในช่วง Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย ประมาณ 3°C และมีอุณหภูมิต่ำที่ตลอดไม่แปรผันตามอุณหภูมิอากาศมากนัก เนื่องจากผิวหญ้าคาอากาศนี้แห้งอยู่มาก และอากาศนี้เป็นฉนวนที่ดี รวมทั้งคุณสมบัติของวัสดุที่มีค่าการนำความร้อน (Conductivity) ต่ำ ความร้อนจากผิวบนของหญ้าคาจึงถ่ายเทลงมายังผิวล่างน้อย



แผนภูมิที่ 5-1 แสดงอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังหลังคาช่วงเวลา 10.00-18.00 น. ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6/3/98-7/3/98

คอนกรีต 3 อุณหภูมิผิวล่างของคอนกรีตในช่วงเวลา 8.00-14.00 น. จะมีอุณหภูมิผิวล่างต่ำกว่ากระเบื้องซีเมนต์และกระเบื้องดินเผา โดยเฉลี่ยประมาณ $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และในช่วงเวลาหลัง 14.00 น. อุณหภูมิผิวล่างของคอนกรีตจะสูงกว่ากระเบื้องซีเมนต์และกระเบื้องดินเผา จนถึงเวลา 18.00 น. เนื่องจากมีมวลสารมากกว่าจึงมีช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Leg) จึงทำให้อุณหภูมิผิวล่างลดลงช้า เมื่อเทียบกับวัสดุผนังหลังคาทั้ง 4 ชนิด ในช่วง Peak 13.30 น. (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) มีอุณหภูมิผิวล่างสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูแผนภูมิที่ 5-2)

หลังคากระเบื้องซีเมนต์และกระเบื้องดินเผา มีอุณหภูมิผิวล่างที่ใกล้เคียงกัน (อุณหภูมิผิวล่างของกระเบื้องดินเผาจะสูงกว่าประมาณ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$) เนื่องจากเป็นวัสดุผนังหลังคาที่จัดว่ามีมวลสารใกล้เคียงกัน โดยมีอุณหภูมิสูงรองลงมาจากหลังคาแผ่นโลหะ และอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิผิวล่างของแผ่นโลหะ ในช่วง Peak 13.30 น. (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) ประมาณ $6-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ $4-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่อุณหภูมิไม่แปรผันมากเช่นอุณหภูมิผิวบนของหลังคาแผ่นโลหะ (ดูแผนภูมิที่ 5-2)

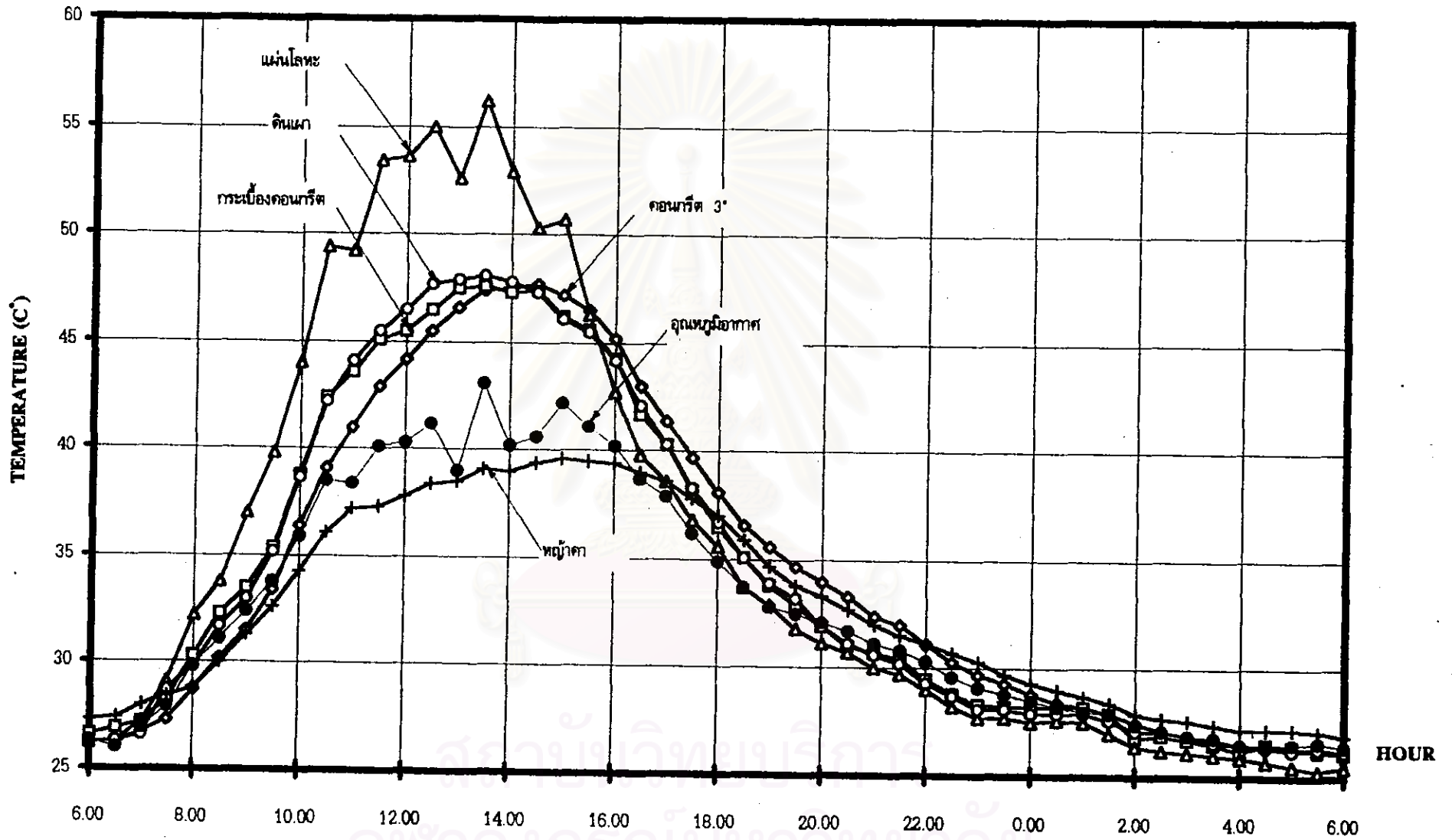
หลังคาแผ่นโลหะ ในช่วงเวลากลางวันหลังคาแผ่นโลหะ มีอุณหภูมิผิวล่างสูงที่สุดในช่วงเวลา Peak 13.30 น. (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) ประมาณ $56.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามอุณหภูมิผิวบนโดยที่อุณหภูมิผิวล่างและผิวบนใกล้เคียงกัน เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาชนิดนี้ไม่มีมวลสารน้อย จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากผิวบน ลงมายังผิวล่างอย่างรวดเร็ว และจากคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ (Conductivity) สูง จึงทำให้อุณหภูมิผิวบน, ผิวล่างไม่แตกต่างกัน (ดูแผนภูมิที่ 5-3)

ช่วงเวลา 18.30-6.00 น. (NIGHTTIME)

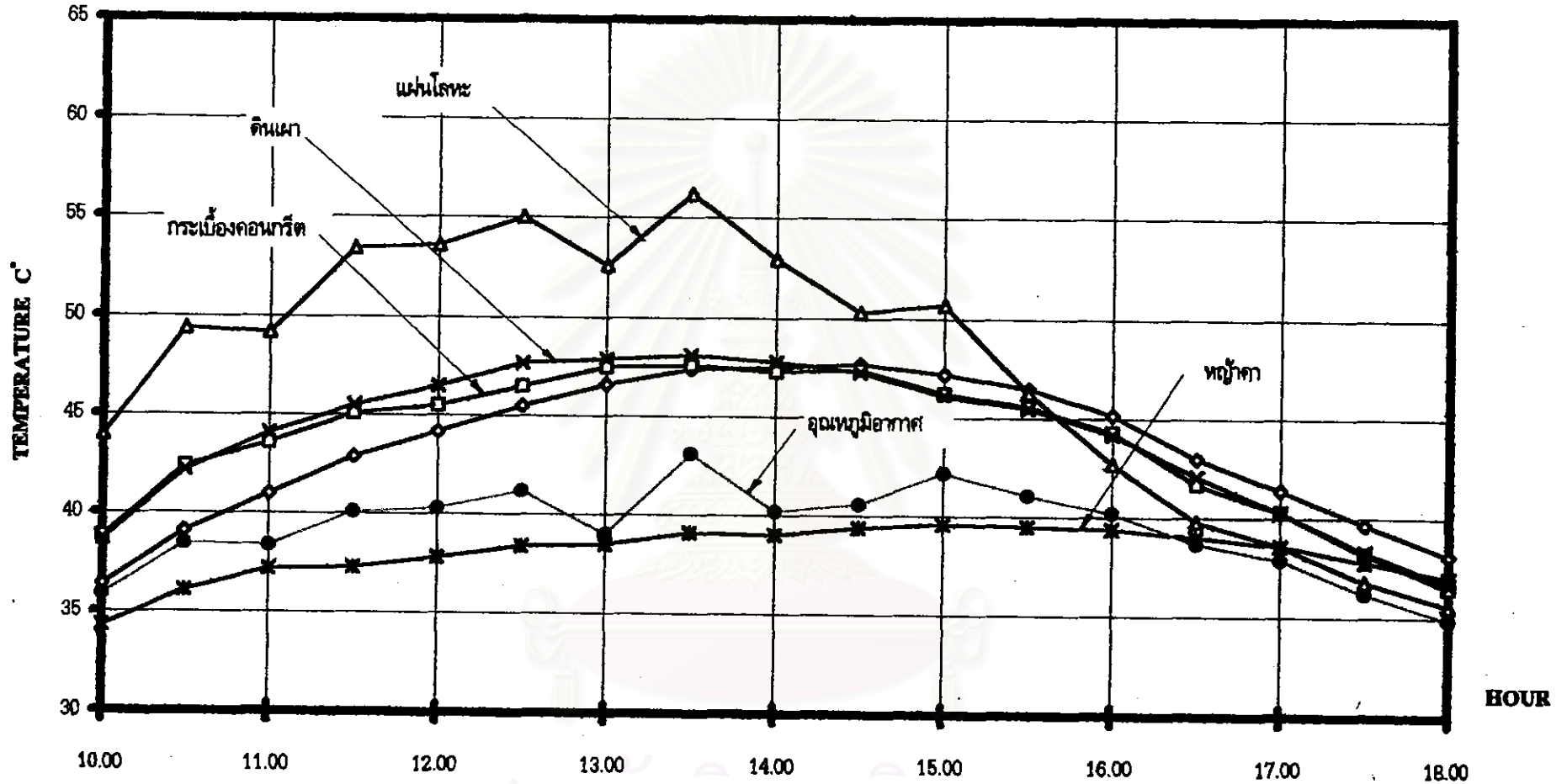
หลังคาแผ่นโลหะ ในช่วงเวลากลางคืนหลังคาแผ่นโลหะ มีอุณหภูมิผิวล่างต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาประมาณ 18.30 น.จนถึง 6.00 น. โดยเฉลี่ยประมาณ $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาชนิดนี้ไม่มีมวลสารน้อย จึงมีความร้อนสะสมในเนื้อวัสดุน้อย เมื่อความร้อนที่สะสมในช่วงกลางวันแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้า (Nightsky Radiation) อุณหภูมิผิวล่างจึงเย็นลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวัสดุผนังชนิดอื่น (ดูแผนภูมิที่ 5-4)

หลังคากระเบื้องซีเมนต์และกระเบื้องดินเผา มีอุณหภูมิผิวล่างที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นวัสดุผนังหลังคาที่จัดว่ามีมวลสารใกล้เคียงกัน โดยเริ่มมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเมื่อเวลา 20.00 น. (Time Leg ประมาณ 2 ชม.) และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศจนถึงเวลา 6.00 น. โดยเฉลี่ยประมาณ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีอุณหภูมิผิวล่างสูงกว่าหลังคาแผ่นโลหะ โดยเฉลี่ยประมาณ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูแผนภูมิที่ 5-4)

คอนกรีต 3 อุณหภูมิผิวล่างของคอนกรีตในช่วงเวลา 18.30-22.00.00 น. จะมีอุณหภูมิผิวล่างสูงกว่ากระเบื้องซีเมนต์และกระเบื้องดินเผา โดยเฉลี่ยประมาณ $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากคอนกรีตมีมวลสารมากกว่า จึงมีช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Leg) มากกว่าจึงทำให้อุณหภูมิผิวล่างลดลงช้า เมื่อเทียบกับวัสดุผนังหลังคา

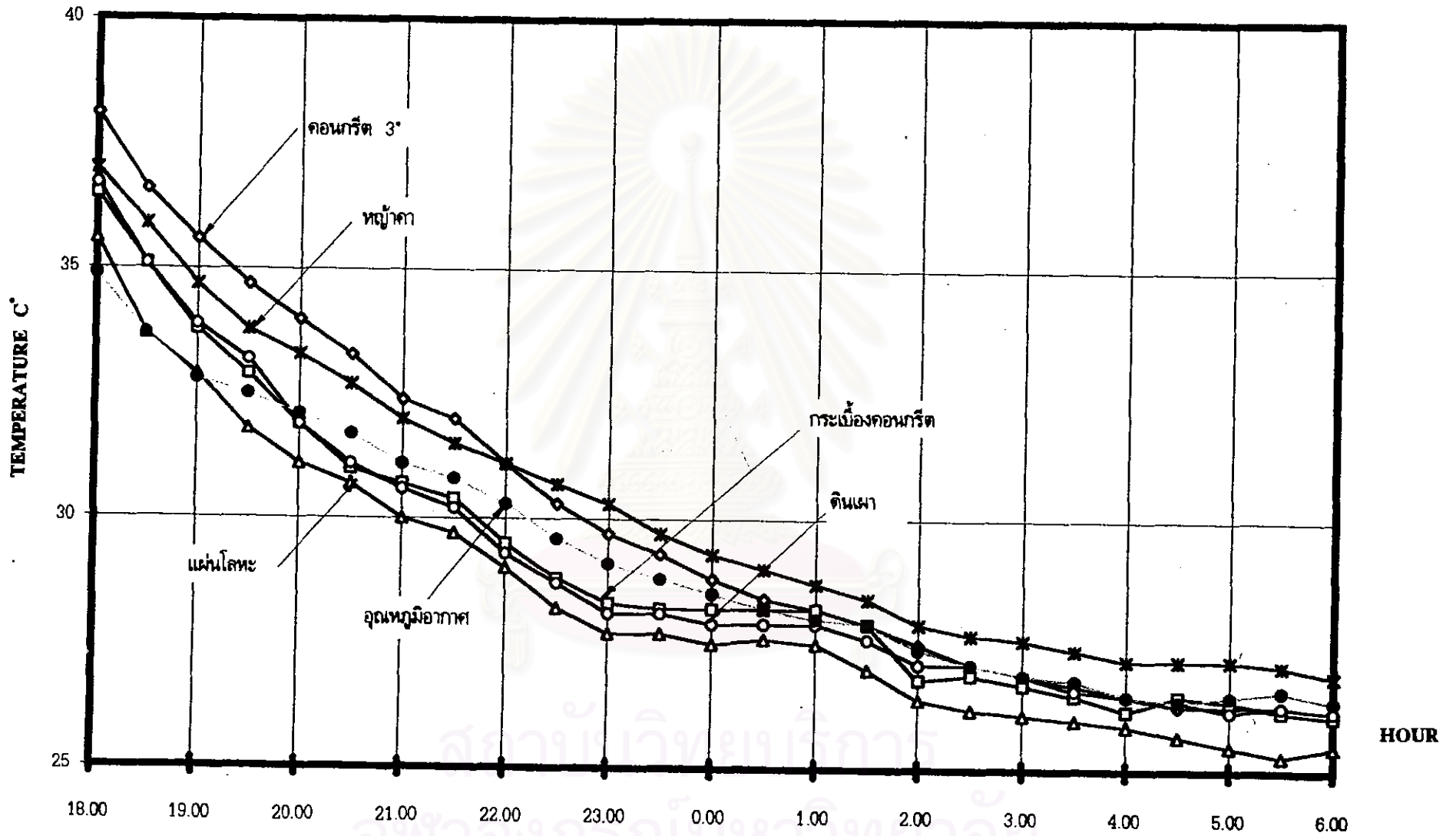


แผนภูมิที่ 5-2 แสดงอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคา ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6มีค.98-7มีค.98

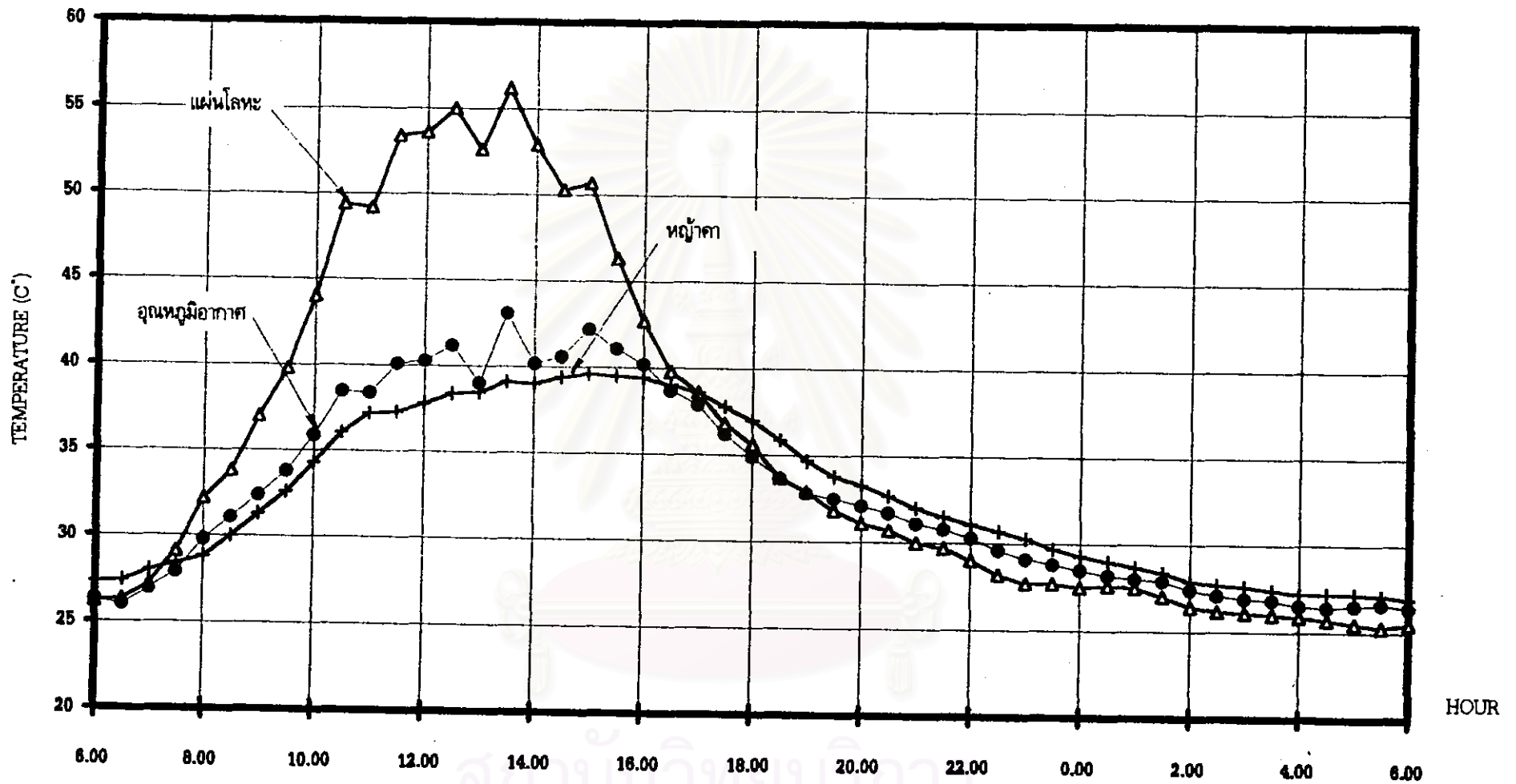


—◇— Con 3' Lower —□— c-pac Lower —△— Steel lower —×— Cotta Lower —*— Thatch Lower —●— air temp.

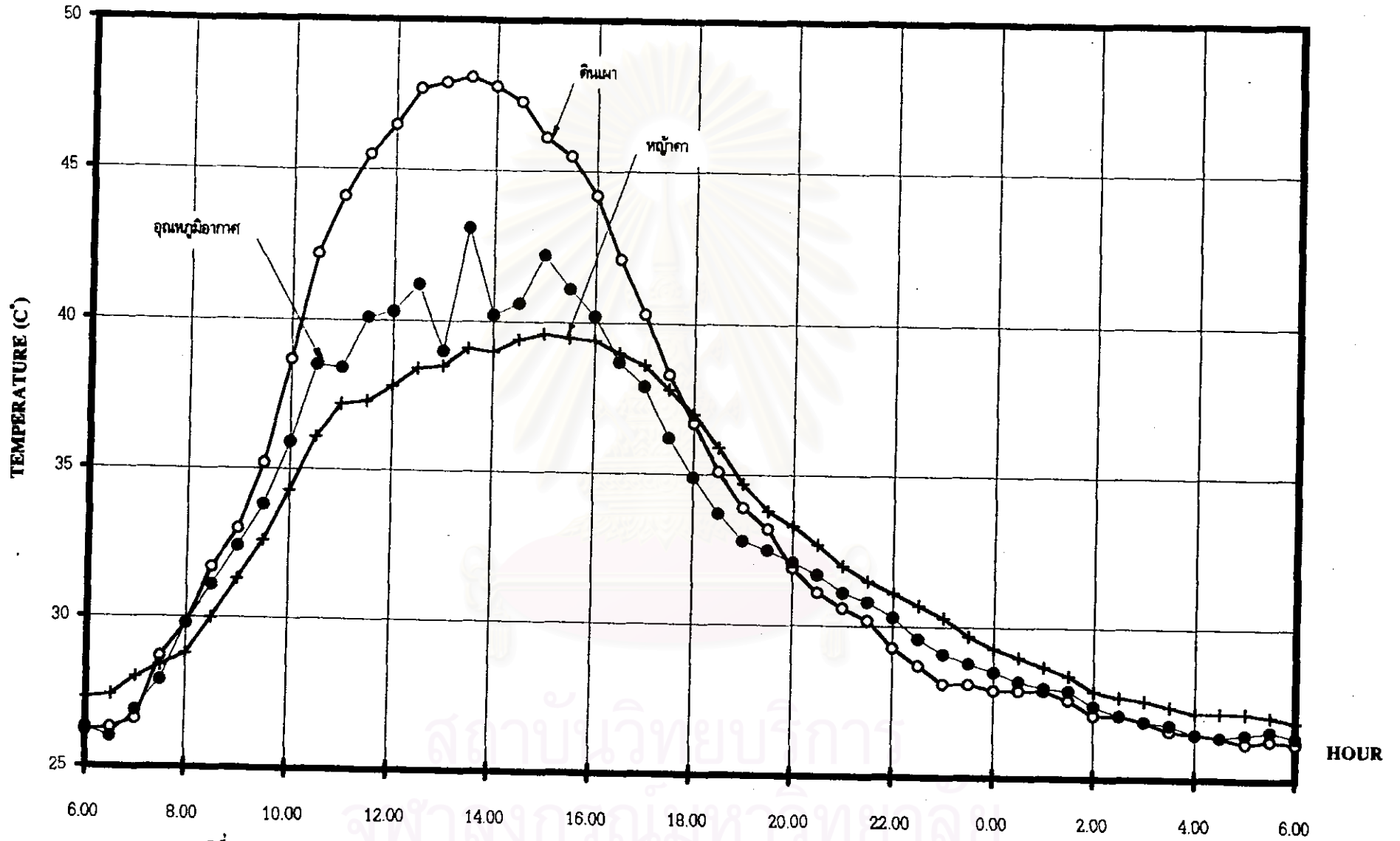
แผนภูมิที่ 8-2ก. แสดงอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุผนังหลังคาช่วงเวลา 10.00-18.00 น. ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6/3/98-7/3/98



แผนภูมิที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุผนังหลังคาช่วงเวลา 18.00-6.00 น. ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6มีค.98-7มีค.98



แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะและหน้ฐฐฐฐ ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6มีค.98-7มีค.98



แผนภูมิที่ 5-5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างของวัสดุผนังอาคารที่เมืองดินเผาและทุบัก ของการทดลองชุดที่ 1 วันที่ 6 มีค.98-7 มีค.98

ทั้ง 2 ชนิด จนกระทั่งหลังเวลา 22.00 น. จึงมีอุณหภูมิผิวล่างต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อยโดยเฉลี่ยประมาณ $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ จนถึงเวลา 6.00 น.

หลังคาหูกา มีอุณหภูมิผิวล่างค่อนข้างคงที่ไม่แปรผันตามอุณหภูมิอากาศมาก ในช่วงเวลากลางคืนที่อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง อุณหภูมิผิวล่างหูกาจะใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศ หรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อยประมาณ $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบางช่วงจนถึงเวลา 6.00 น. (ดูแผนภูมิที่ 5-4)

ข้อพิจารณา

จากการทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังหลังคา โดยมีข้อสังเกตดังนี้

1. ในช่วงเวลากลางวัน หลังคาหูกาจะยอมให้ความร้อนผ่านเข้าไปในอาคารได้น้อยกว่าหลังคาชนิดอื่น ๆ เนื่องจากคุณสมบัติของความเป็นฉนวน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุผนังหลังคาที่ตั้งได้กล่าวมาแล้ว ส่วนในช่วงเวลากลางคืนความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุจะคายออกเพื่อแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้า หรือ Nightsky Radiation ทำให้ในช่วงเวลา 18.00-6.00 น. เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกลดลง แต่อุณหภูมิผิวล่างของหูกายังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ หรือสูงกว่าเล็กน้อยประมาณ $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในบางช่วง และคุณสมบัติที่พิเศษอีกอย่างหนึ่งของหลังคาหูกาก็คือ จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิผิวล่างของหลังคาหูกา จากการทดลองจะคงที่เกือบตลอดวันไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป คือไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศมากนักเอง (ดูแผนภูมิที่ 5-3)

2. หลังคาแผ่นโลหะ เป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย ที่มีอุณหภูมิผิวบนและล่างของวัสดุแปรผันไปตามอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากมวลสารของวัสดุมีการสะสมความร้อนน้อย จึงมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Leg) ไม่มากตามมวลสาร รวมทั้งการเกิด Nightsky Radiation ในตอนกลางคืน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่ในทางกลับกันช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก เนื่องจากมวลสารของวัสดุตั้งที่อธิบายไปแล้ว ดังนั้นหากเลือกใช้วัสดุผนังนี้ควรมีการใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อลดความร้อนแก่หลังคาในช่วงกลางวันด้วย

3. วัสดุที่มีมวลสารน้อย 2 ชนิด ที่นำมาทดสอบ คือหูกาและแผ่นโลหะ มีพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งจะพิจารณาจากมวลสารไม่ได้ เนื่องจากเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด โดยที่หูกามีความเป็น "ฉนวน" สูงในการลดการถ่ายเทความร้อนช่วงเวลากลางวันได้ แต่ในทางกลับกันแผ่นโลหะ มีคุณสมบัติในการนำความร้อนจึงมีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลากลางวัน

4. ในช่วงเวลากลางวันวัสดุที่มีมวลมาก เช่นหลังคาคอนกรีต จะมีอุณหภูมิผิวล่างต่ำกว่าวัสดุผนังชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมวลของวัสดุมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ แต่ในทางกลับกันของช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุได้คายความร้อน ที่สะสมไว้ในช่วงเวลากลางวันออกมา ส่งผลให้อุณหภูมิผิวล่างยังคงสูงอยู่ในช่วง 18.00-22.00 น.

5. หลังคากระเบื้องดินเผาและกระเบื้องซีเมนต์ เป็นวัสดุที่มีมวลปานกลาง ซึ่งมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใช้สอยเช่นเดียวกับวัสดุที่มีมวลมาก เช่นหลังคาคอนกรีต แต่มีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) น้อยกว่า จึงคายความร้อนออกไปได้เร็วกว่าหลังคาคอนกรีต ในช่วงเวลากลางคืนที่อุณหภูมิอากาศลดลง

6. หลังคากระเบื้องดินเผา มีคุณสมบัติในลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันได้น้อยกว่าหูกาศา แต่ในอดีตที่นิยมใช้กัน และไม่มีผลทางด้านความร้อนมากอย่างในปัจจุบัน เนื่องจากวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้สร้างบ้านพักอาศัยในอดีต เป็นวัสดุมวลเบาเช่น ไม้ เป็นต้น รวมทั้งรูปแบบอาคารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับสภาพอากาศ วัสดุผนังหลังคาจึงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไม่มากนัก ดังนั้นหากนำมาใช้ในปัจจุบัน ควรจะมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับยุคสมัยด้วย

7. การทดลองครั้งนี้ มิได้ควบคุมตัวแปรเรื่องสีของวัสดุผนังหลังคา ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องการทดสอบคุณสมบัติในสภาพการใช้งานจริงของวัสดุผนังที่ใช้กันในท้องตลาด ดังนั้นผลของอุณหภูมิผิวบนของวัสดุผนังหลังคา อาจแปรผันไปตามสีหลังคาได้

5.2 ผลการทดลองชุดที่ 2 ทดสอบมุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

จากการทดลองเพื่อศึกษามุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ประกอบด้วยมุมเอียง $60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}, 0^{\circ}$ โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 4 ชนิด โดยชุดที่ 1 ติดตั้งฝ้าเพดานแนวราบ และชุดที่ 2 ติดตั้งฝ้าเพดานแนวเอียง เพื่อศึกษาอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดาน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องและอุณหภูมิอากาศ ชุดที่ 1 ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 6.00 น. ของวันที่ 8 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 9 มีนาคม 2541 และชุดที่ 2 ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 6.00 น. ของวันที่ 15 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 19 มีนาคม 2541 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 ทดสอบมุมเอียงของหลังคา + ฝ้าเพดานแนวราบ

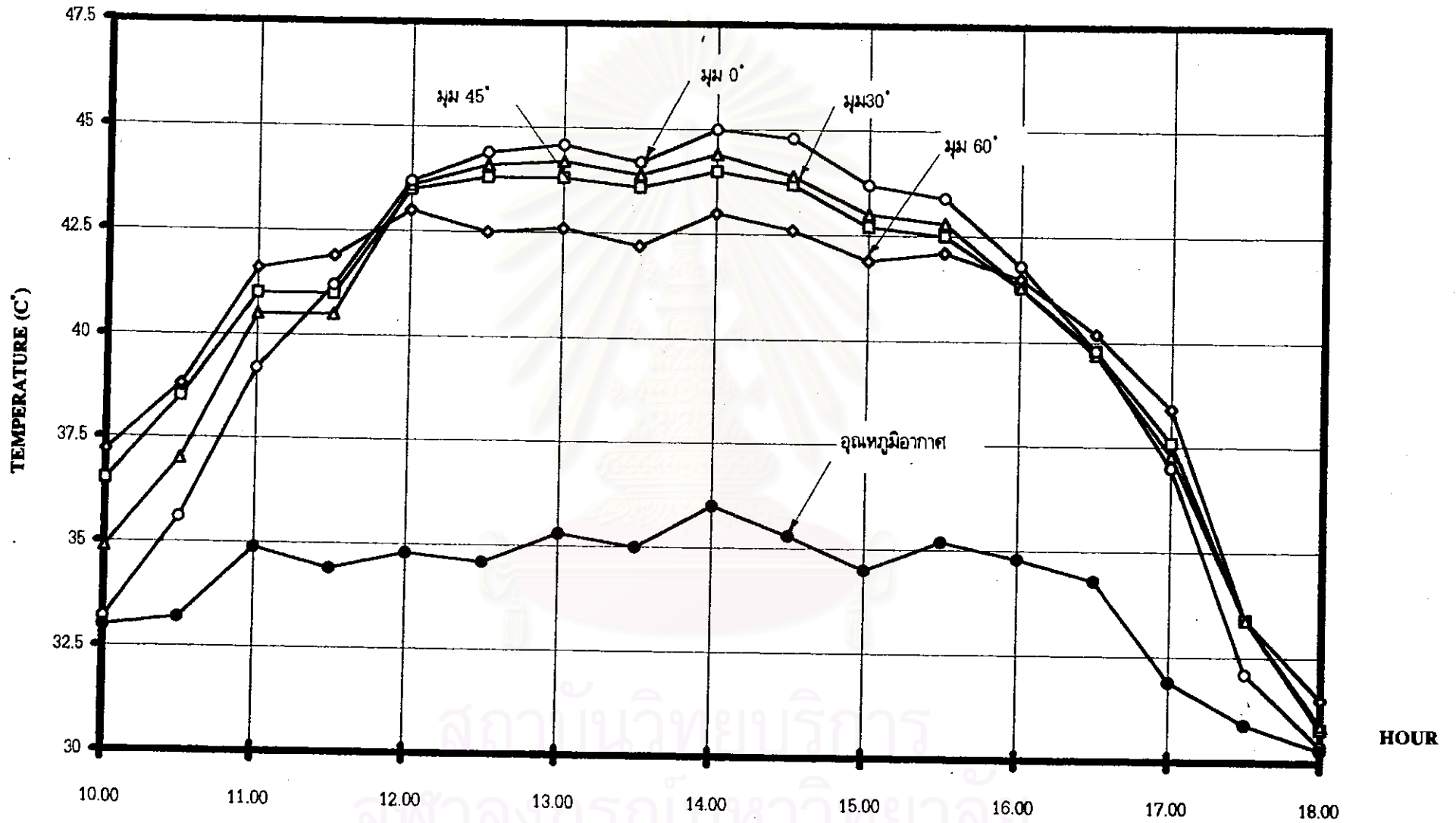
ช่วงเวลา 6.00-18.00 น. (DAYTIME)

กล่องที่ 1 มุมเอียง 60°

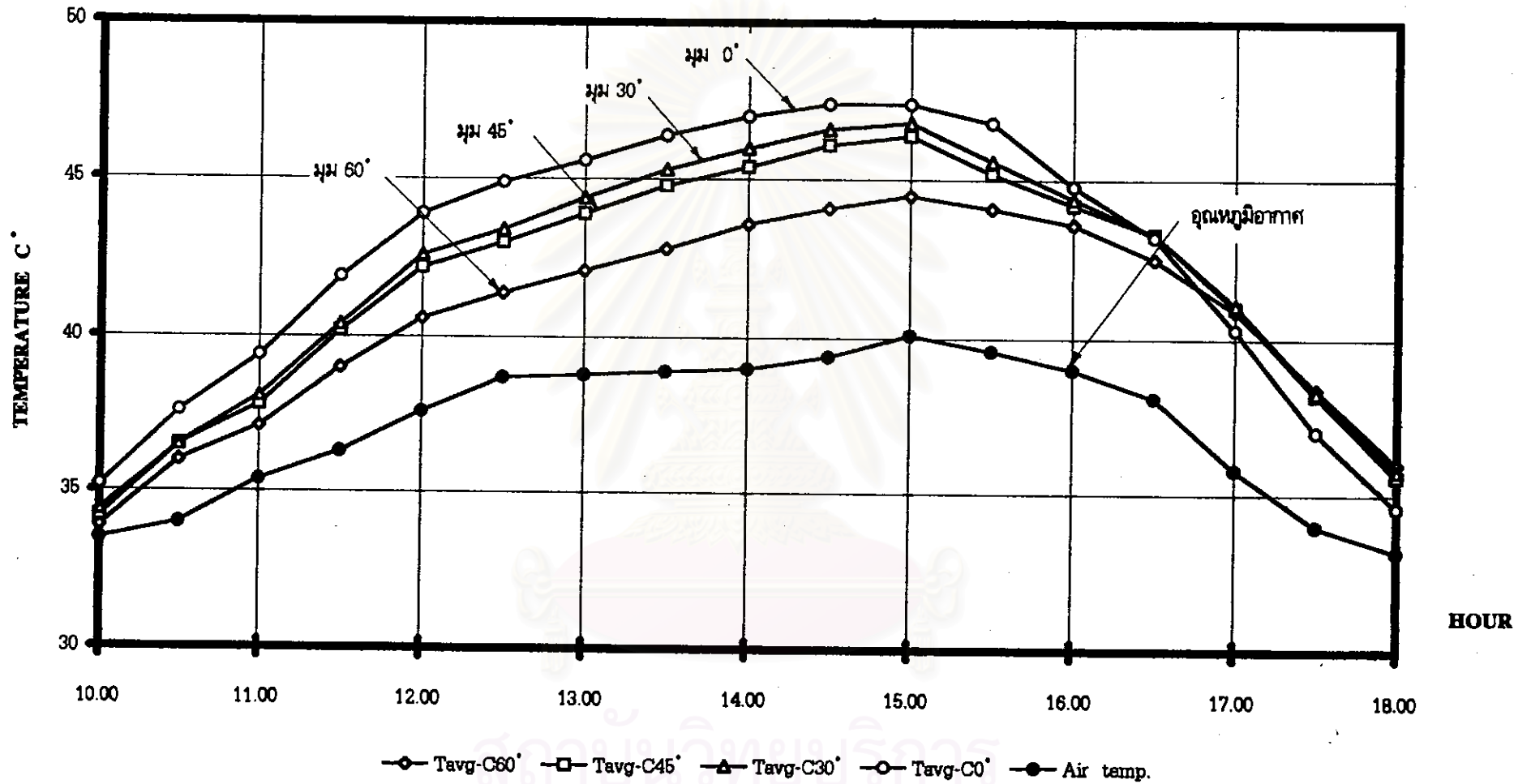
ในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา, อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในโดยเฉลี่ยจะพบว่า กล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60° จะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง $45^{\circ}, 30^{\circ}, 0^{\circ}$ ตามลำดับ โดยอุณหภูมิภายในกล่องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 3.3°C และต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0° ประมาณ 2°C ในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน)

กล่องที่ 2 มุมเอียง 45° และกล่องที่ 3 มุมเอียง 30°

จะสังเกตได้ว่า อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา, อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง $45^{\circ}, 30^{\circ}$ มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) อุณหภูมิภายในกล่องทดลองทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 0.4°C และอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานจะแตกต่างกันประมาณ



แผนภูมิที่ 5-6 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 2 ช่วงเวลา 6.00-18.00น. วันที่ 8มีค.98-9มีค.98



แผนภูมิที่ 5-7 แสดงอุณหภูมิใต้ผิวคอนกรีตของการทดลองชุดที่ 2 ช่วงเวลา 10.00-18.00 น. (ทดสอบแบบเอียง, ฝ้านวราบ วันที่ 8/3/98-9/3/98)

0.5 C° เท่านั้น (ดูแผนภูมิที่ 5-7) โดยอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45° จะสูงกว่าอุณหภูมิภายในกล่อง 60° และต่ำกว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 30°, 0° ตามลำดับ

กล่องที่ 4 มุมเอียง 0°

ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา , อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0° มีอุณหภูมิสูงที่สุด โดยในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) จะมีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60°, 45°, 30° ประมาณ 3 C°, 1 C° และ 0.6 C° ตามลำดับ

ช่วงเวลา 18.30-8.00 น. (NIGHTTIME)

กล่องที่ 1 มุมเอียง 60°

ในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา , อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60° จะสูงกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30°, 0° ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกล่องทดลองมุม 60° ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณ 0.8-1 C° และสูงกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30°, 0° โดยเฉลี่ยประมาณ 0.5 C°, 0.6 C°, 1.2 C° ตามลำดับ (ดูแผนภูมิที่ 5-8)

กล่องที่ 2 มุมเอียง 45° และกล่องที่ 3 มุมเอียง 30°

จากการสังเกตอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา , อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30° มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ดูแผนภูมิที่ 5-9) อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45° จะสูงกว่าอุณหภูมิภายในกล่อง 60° และต่ำกว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 30°, 0° ตามลำดับ

กล่องที่ 4 มุมเอียง 0°

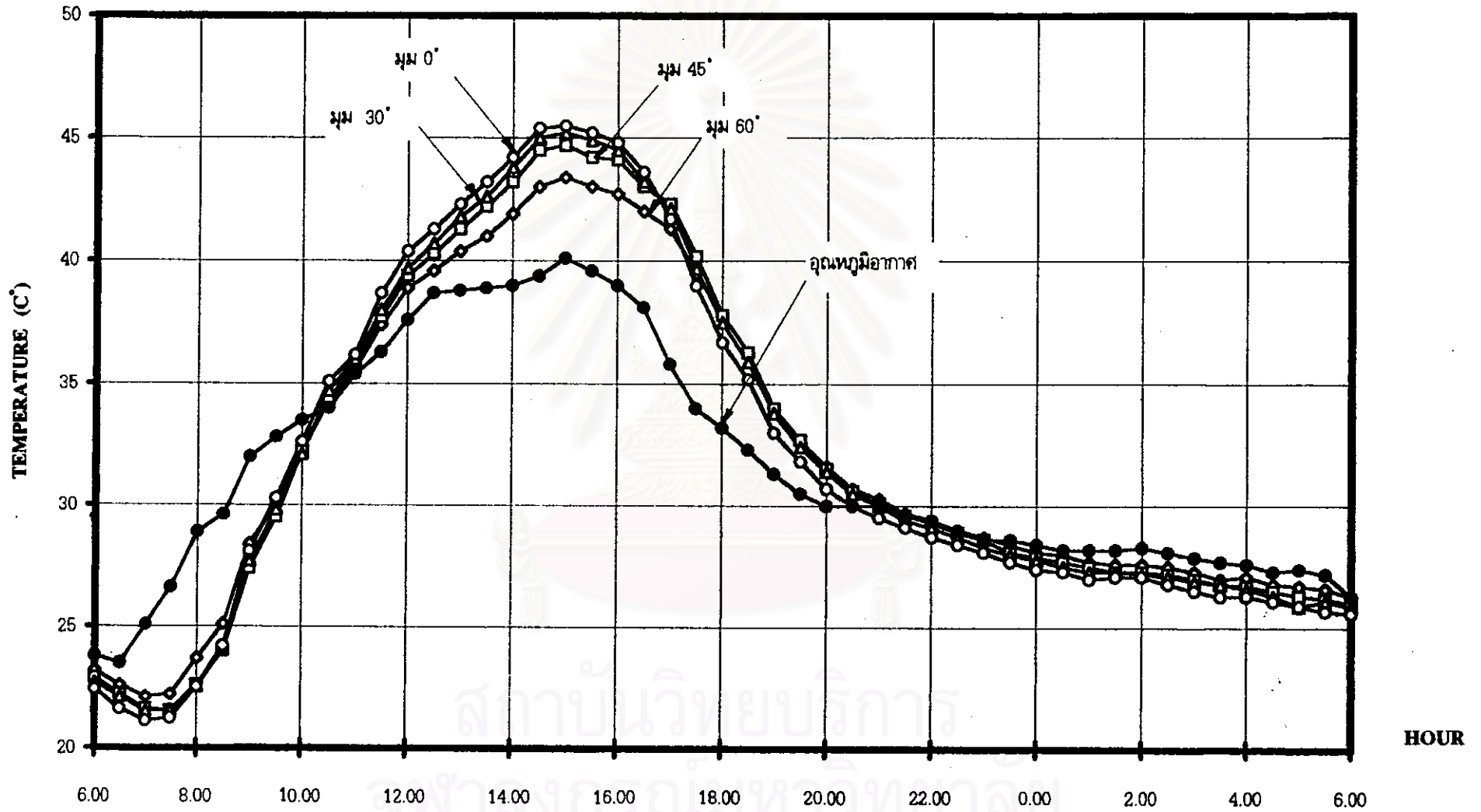
ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิใต้หลังคา , อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0° มีอุณหภูมิต่ำที่สุด (ดูแผนภูมิที่ 5-9) โดยที่มีค่าอุณหภูมิภายในกล่องต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5-1.8 C°

5.2.2 ทดสอบมุมเอียงของหลังคา + ฝ้าเพดานแนวเอียง

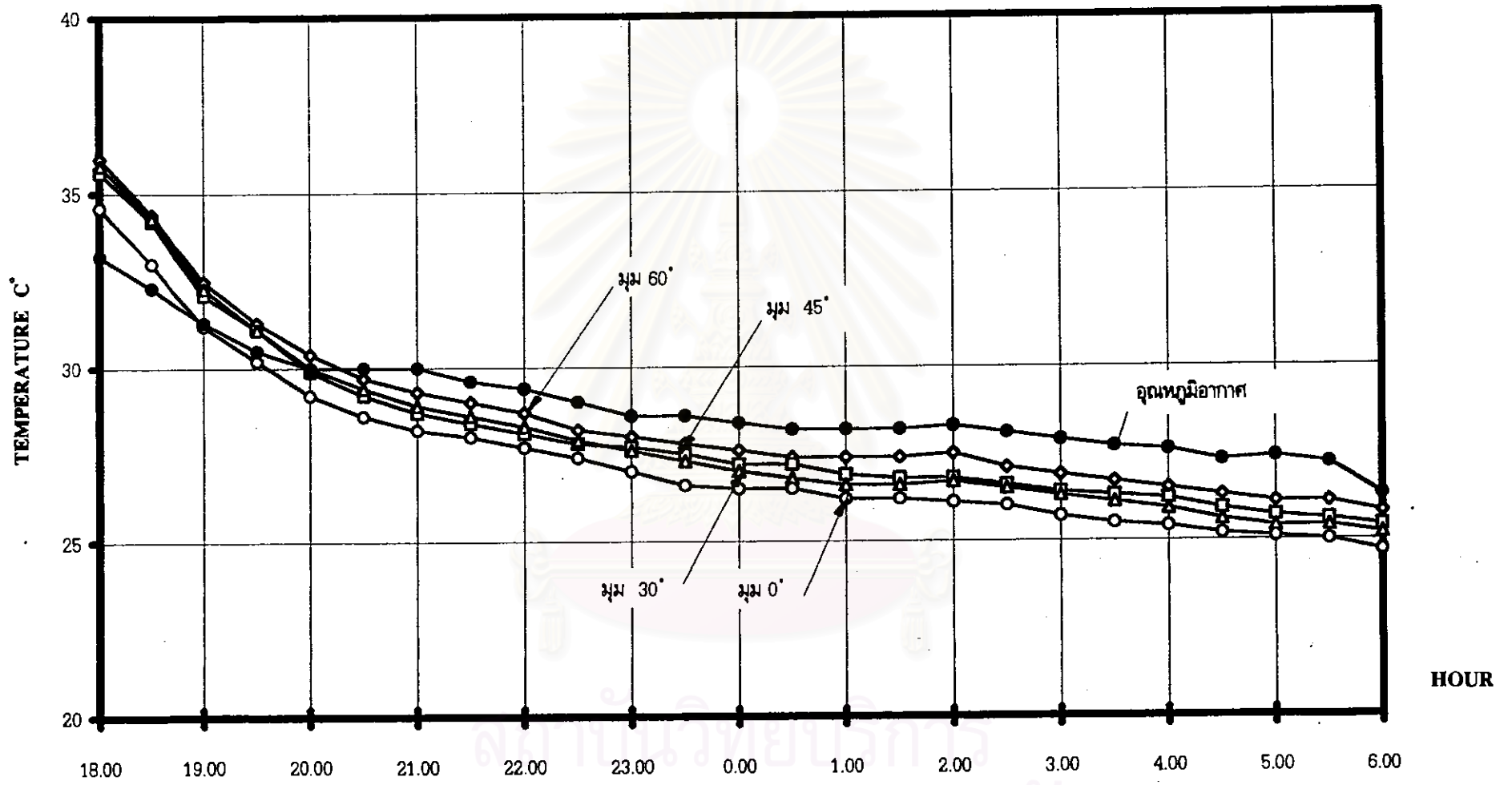
ช่วงเวลา 6.00-18.00 น. (DAYTIME)

กล่องที่ 1 มุมเอียง 60°

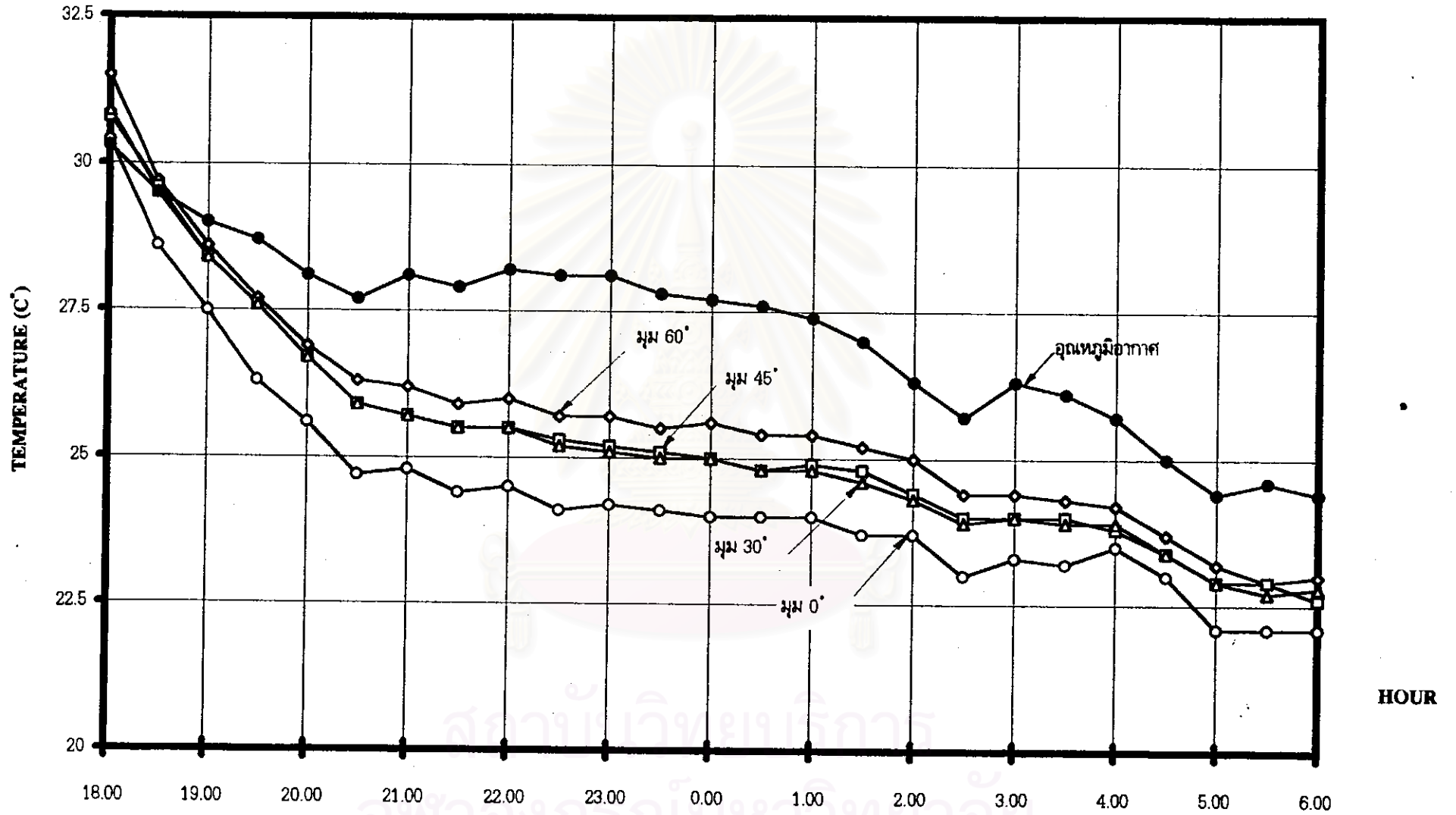
ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวหลังคาด้านทิศใต้และทิศเหนือของกล่องทดลอง ที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60° เนื่องจากมีความชันของหลังคามาก ความร้อนจึงผ่านเข้ามาน้อย ทำให้อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60° ต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30°, 0° ตามลำดับ (ดูแผนภูมิที่ 5-10 และแผนภูมิที่ 5-11)



แผนภูมิที่ 5-7 ก แสดงอุณหภูมิภายในห้องของการทดลองชุดที่ 2 (ทดสอบมุมเอียง, ฝ้าฉนวนราบ วันที่ 8/3/98-9/3/98)



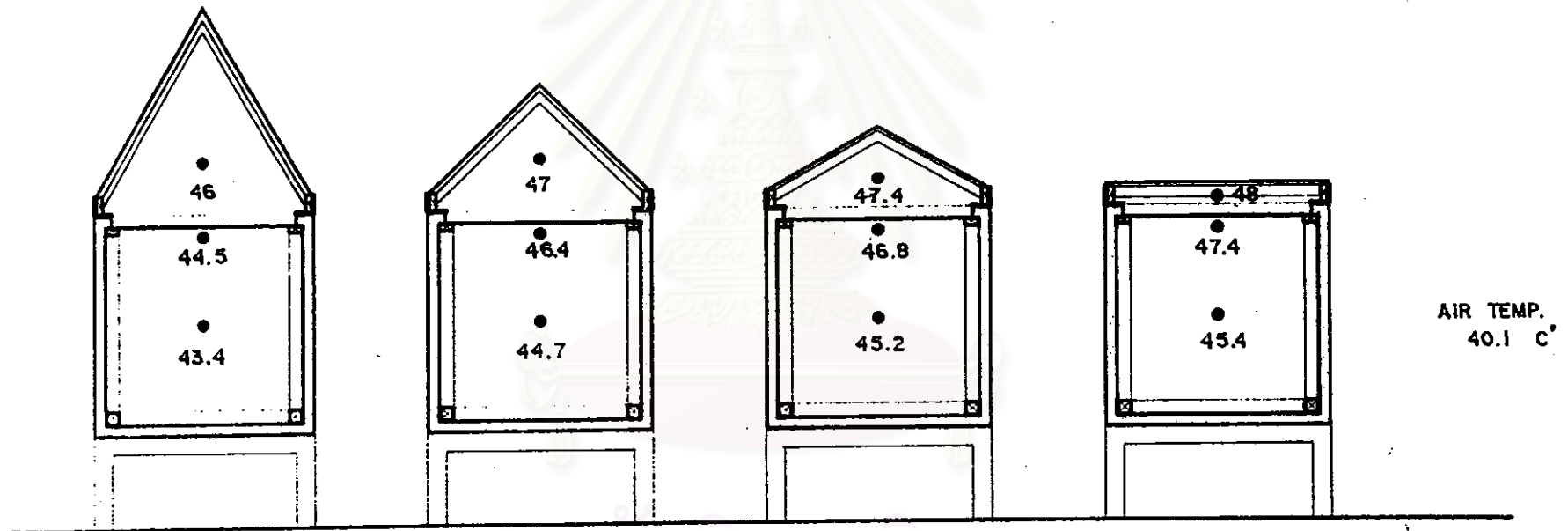
แผนภูมิที่ 5-8 แสดงอุณหภูมิใต้ผ้าเตทานของการทดลองชุดที่ 2 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น.(ทดสอบมุ่มเอียง,ผ้าแนวราบ วันที่ 8/3/98-9/3/98)



แผนภูมิที่ 5-9 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 2 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น. วันที่ 8มีค.98-9มีค.98

1. ทดสอบฟ้าเพดานแนวราบ TIME 15.00 น. (PEAK)

TEMPERATURE (C°)



1

2

3

4

รูปที่ 5-1 แสดงอุณหภูมิช่วงเวลา peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน) เวลา 15.00 น.

สถาบันวิทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กล่องที่ 2 มุมเอียง 45° และกล่องที่ 3 มุมเอียง 30°

จากการสังเกตอุณหภูมิผิวหลังคาในช่วงเวลากลางวัน ด้านทิศใต้และทิศเหนือของกล่องทดลองที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดรองลงมาคือกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45° และ 30° ตามลำดับ เนื่องจากมุมเอียง 45° มีองศาที่ตั้งฉากน้อยกว่า มุม 30° แต่อุณหภูมิใต้หลังคา และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองของทั้ง 2 กล่องไม่แตกต่างกันมากนัก

กล่องที่ 4 มุมเอียง 0°

ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดาน และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0° มีอุณหภูมิสูงที่สุด โดยในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) จะมีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสูงกว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60°, 45°, 30°

ช่วงเวลา 18.30-8.00 น. (NIGHTTIME)

กล่องที่ 1 มุมเอียง 60°

ในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 60° จะสูงกว่ากล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30°, 0° ตามลำดับ เช่นเดียวกับชุดแรกที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานแนวเอียง

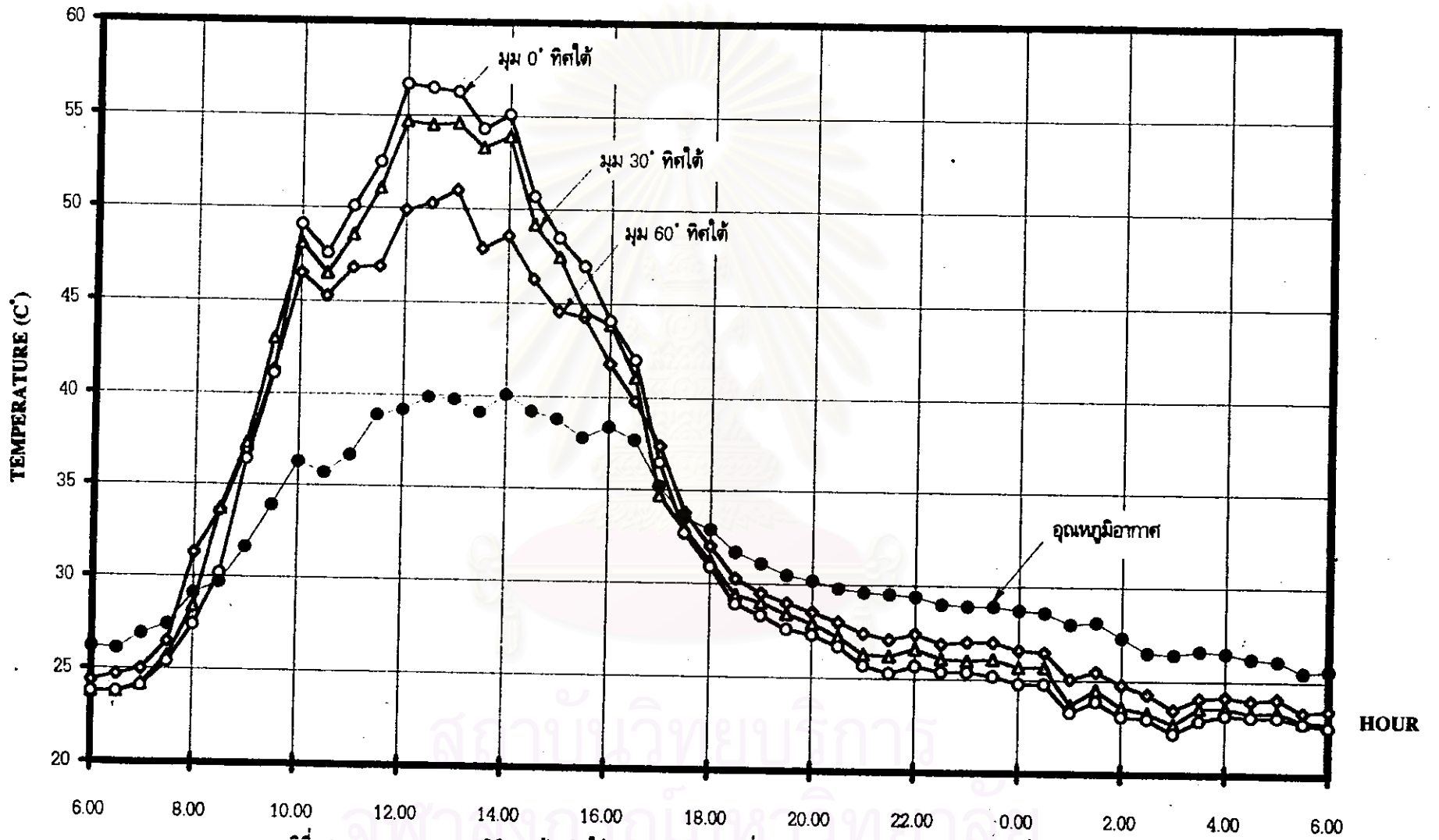
กล่องที่ 2 มุมเอียง 45° และกล่องที่ 3 มุมเอียง 30°

อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45°, 30° มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 45° จะสูงกว่าอุณหภูมิภายในกล่อง 60° และต่ำกว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 30°, 0° ตามลำดับ

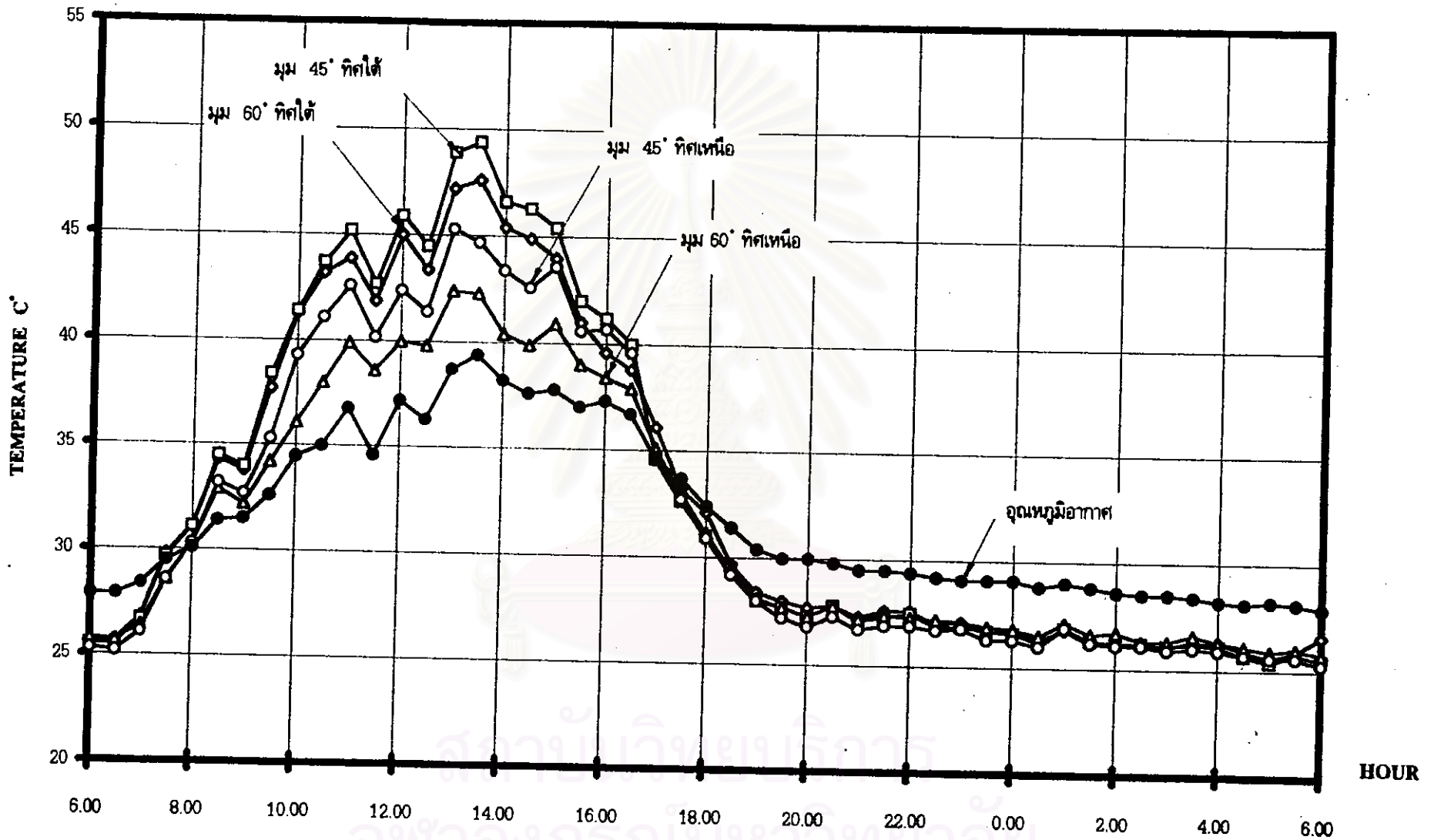
กล่องที่ 4 มุมเอียง 0°

ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิใต้หลังคา , อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมุมเอียง 0° มีอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยที่มีค่าอุณหภูมิภายในกล่องต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 1.5 C°

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

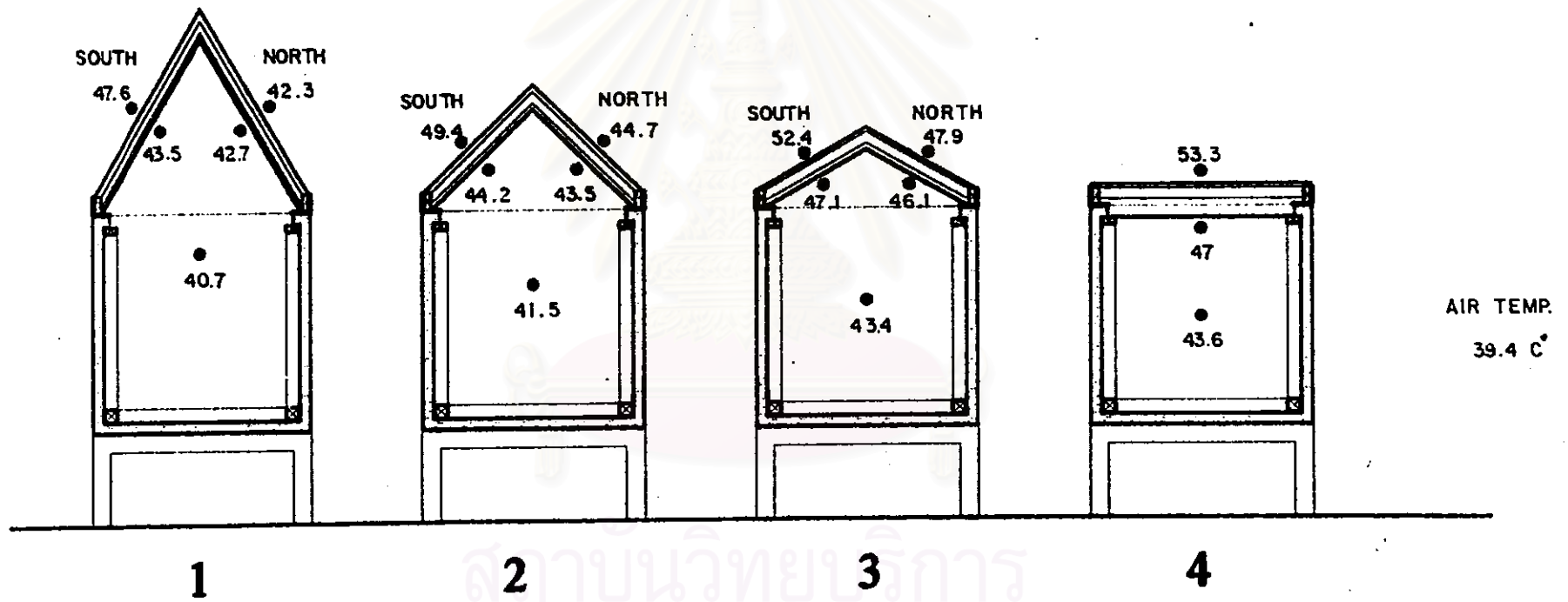


แผนภูมิที่ 5-10 แสดงอุณหภูมิผิวบนด้านทิศใต้ของการทดลอง ชุดที่ 2 (ทดสอบมุมเอียง, ฝ้าแนวเอียง, วันที่ 15มีค.98-16มีค.98)



แผนภูมิที่ 5-11 แสดงอุณหภูมิผิวบนด้านทิศเหนือและทิศใต้ของการทดลองชุดที่ 2 (ทดสอบมุมเอียง, ฝ้าเพดานแนวเอียง วันที่ 15/3/98-16/3/98)

2. ทดสอบฟ้าเพดานแนวเอียง TIME 13.30 น. (PEAK)
TEMPERATURE (C°)



รูปที่ 5-2 แสดงอุณหภูมิช่วงเวลา peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน) เวลา 13.30 น.

5.2.3 การพิจารณา Solar Incidence Angle

Solar Incident Angle หรือมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับเส้นอ้างอิงที่ตั้งฉากของพื้นผิวที่ทำการพิจารณา ซึ่งต้องนำมาพิจารณาประกอบกับการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ตกกระทบ ณ.มุมเอียงของหลังคาที่ต่างกันจากการวิจัยครั้งนี้ โดยมีการพิจารณาดังนี้คือ

ก. จำนวนหา **Incident Angle** จากตารางภาคผนวก ก. แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ โดยกำหนดเวลาในการพิจารณาดังนี้คือ 8.00 น. 10.00 น. และ 12.00 น. ณ.วันที่ทำการทดลองคือ วันที่ 8 มีค. 41 (แต่ในที่นี้ขอพิจารณา เลือกใช้ค่าในวันที่ 21 มีค. แทนวันที่ 8 มีค. เพื่อแสดงวิธีการคำนวณ) ซึ่งมีค่า **Incident Angle** โดยมีสูตรจากการคำนวณดังนี้

$$\cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma) \dots \dots \dots (3)$$

โดยที่

$\cos \theta$ = ค่า **Incident Angle** ที่ตกกระทบณ.พื้นผิวใด ๆ

β = มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)

γ = มุมที่วัดจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกับแนวตั้ง ในที่นี้พิจารณาจาก

$\gamma = \Phi$ (Solar Azimuth) - Ψ (Surface Azimuth) ดูค่าจากตารางที่ 5-1

Σ = มุมยกของพื้นผิว (Tilt Angle)

ตารางที่ 5-1 แสดง Solar Orientation and Azimuths Measured from South.

ที่มา : (ASHRAE,1993)

Orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Surface Azimuth (Ψ)	180	-135°	-90°	-45°	0	45°	90°	135°

หมายเหตุ การคำนวณ Incident Angle ในช่วงเวลา 7.00-11.00 น. จะเป็นลักษณะที่เป็นสมมาตร (SYMMETRY) กับในช่วงเวลา 13.00-17.00 น. จึงเลือกคำนวณในช่วงเวลาดังต่อไปนี้คือ 8.00 น. 10.00 น. และ 12.00 น. เพื่อเป็นตัวแทนในการแสดงค่าการคำนวณ และหาค่า Incident Angle ในช่วงบ่ายได้ เนื่องจากค่ามุมช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีค่าเท่ากัน

โดยมีค่าการคำนวณจากสูตรดังนี้

หา Incident Angle จาก $\cos \theta$ ณ ช่วงเวลาและทิศต่าง ๆ ของหลังคาจะได้สูตรดังนี้

$$\cos \theta = (\cos \beta * \cos \gamma * \sin \Sigma) + (\sin \beta * \cos \Sigma) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

ในที่นี้จะขอแสดงวิธีการคำนวณ Incident Angle กล้องทดลอง ที่มีมุมหลังคา 60 องศา 45 องศา และ 30 องศา ณ เวลา 8.00 น. และ 12.00 น. ตาม Solar times ของ จ.กรุงเทพมหานคร ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ โดยใช้ค่าจากตารางภาคผนวก ก. วันที่ 21 มีค. แทนวันที่ทำการทดลองคือ 8 มีค.

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันออก (E)

$$\cos \theta = (\cos \beta * \cos \gamma * \sin \Sigma) + (\sin \beta * \cos \Sigma)$$

โดยที่

$$\beta = 29 \text{ ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.}$$

$$\gamma = \gamma = (-82 - (-90)) \text{ ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 * \cos(-82+90) * \sin 30) + (\sin 29 * \cos 30) \\ &= (\cos 29 * \cos 8 * \sin 30) + (\sin 29 * \cos 30) \\ &= 0.852 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันออก (E)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันออกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 * \cos 8 * \sin 45) + (\sin 29 * \cos 45) \\ &= 0.964 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันออก (E)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันออกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 * \cos 8 * \sin 60) + (\sin 29 * \cos 60) \\ &= 0.992 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันตก (W)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 29 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (-82 - 90) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-82-90) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 29 \cdot \cos(-172) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= \mathbf{0.014} \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันตก (W)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันตกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-172) \cdot \sin 45) + (\sin 29 \cdot \cos 45) \\ &= \mathbf{0.269} \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันตก (W)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันตกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-172) \cdot \sin 60) + (\sin 29 \cdot \cos 60) \\ &= \mathbf{0.508} \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 30° ทิศเหนือ (น)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 29 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (-82 - 180) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-82 - 180) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 29 \cdot \cos(-262) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= 0.358 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 45° ทิศเหนือ (น)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศเหนือเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-262) \cdot \sin 45) + (\sin 29 \cdot \cos 45) \\ &= 0.257 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 60° ทิศเหนือ (น)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศเหนือเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos(-262) \cdot \sin 60) + (\sin 29 \cdot \cos 60) \\ &= 0.137 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศใต้ (S)

โดยที่

$$\cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 29 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (-82 - 0) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos (-82 - 0) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 29 \cdot \cos (-82) \cdot \sin 30) + (\sin 29 \cdot \cos 30) \\ &= 0.479 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศใต้ (S)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศใต้เท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos (-82) \cdot \sin 45) + (\sin 29 \cdot \cos 45) \\ &= 0.429 \end{aligned}$$

เวลา 8.00 น. และเวลา 16.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศใต้ (S)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศใต้เท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 29 \cdot \cos (-82) \cdot \sin 60) + (\sin 29 \cdot \cos 60) \\ &= 0.347 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันออก (E)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 76 \text{ ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.}$$

$$\gamma = \gamma = (0 - (-90)) \text{ ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \Sigma &= 30^\circ \\ \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(0+90) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 76 \cdot \cos 90 \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันออก (E)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันออกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos 90 \cdot \sin 45) + (\sin 76 \cdot \cos 45) \\ &= 0.686 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันออก (E)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันออกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos 90 \cdot \sin 60) + (\sin 76 \cdot \cos 60) \\ &= 1.47 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันตก (W)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 76 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (0 - 90) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(0 - 90) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 76 \cdot \cos (-90) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันตก (W)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันตกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos (-90) \cdot \sin 45) + (\sin 76 \cdot \cos 45) \\ &= 0.686 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันตก (W)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศตะวันตกเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos (-90) \cdot \sin 60) + (\sin 76 \cdot \cos 60) \\ &= 1.47 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 30° ทิศเหนือ (น)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 76 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (0 - 180) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(-180) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 76 \cdot \cos(-180) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= 0.719 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 45° ทิศเหนือ (น)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศเหนือเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(-180) \cdot \sin 45) + (\sin 76 \cdot \cos 45) \\ &= 0.515 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 60° ทิศเหนือ (น)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศเหนือเท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(-180) \cdot \sin 60) + (\sin 76 \cdot \cos 60) \\ &= 1.281 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 30° ทิศใต้ (S)

$$\text{โดยที่ } \cos \theta = (\cos \beta \cdot \cos \gamma \cdot \sin \Sigma) + (\sin \beta \cdot \cos \Sigma)$$

$$\beta = 76 \text{ (ค่า Solar Altitude จากตารางภาคผนวก ก.)}$$

$$\gamma = \gamma = (0 - 0) \text{ (ค่า Solar Azimuth จากตารางภาคผนวก ก. และค่า Surface Azimuth จากตารางที่ 5-1)}$$

$$\Sigma = 30^\circ$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(0) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= (\cos 76 \cdot \cos(0) \cdot \sin 30) + (\sin 76 \cdot \cos 30) \\ &= 1.052 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 45° ทิศใต้ (S)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศใต้เท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(0) \cdot \sin 45) + (\sin 76 \cdot \cos 45) \\ &= 0.857 \end{aligned}$$

เวลา 12.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 60° ทิศใต้ (S)

เนื่องจากค่า Solar Altitude, Solar Azimuth และ Surface Azimuth ในการคำนวณด้านทิศใต้เท่ากัน มีเฉพาะค่าที่เปลี่ยนคือ Tilt Angle เท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถแทนสูตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= (\cos 76 \cdot \cos(0) \cdot \sin 60) + (\sin 76 \cdot \cos 60) \\ &= 1.679 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นการประมาณการอย่างคร่าว ๆ โดยตั้งสมมุติฐานว่าค่า Solar times เท่ากับค่า Clock times ซึ่งความจริงแล้ว Clock times ของกรุงเทพมหานคร ต่างจากค่า Solar times พอสมควร เนื่องจาก Clock times ของประเทศไทย Base on เส้นแวงที่ 100 องศา 5 ลิปดา ตะวันออก ของจ.อุบลราชธานี

ตารางที่ 5-2 แสดงค่า INCIDENT ANGLE จากการคำนวณ				
	กล้องทดลองที่มีมุมหลังคาแนวราบ (0°)	กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 30°	กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 45°	กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 60°
เวลา 8.00 น.				
ทิศตะวันออก	0.485	0.852	0.964	0.992
ทิศตะวันตก	0.485	0.014	0.269	0.508
ทิศเหนือ	0.485	0.479	0.429	0.347
ทิศใต้	0.485	0.358	0.257	0.137
เวลา 10.00 น.				
ทิศตะวันออก	0.839	0.978	0.948	0.854
ทิศตะวันตก	0.839	0.476	0.238	0.016
ทิศเหนือ	0.839	0.833	0.744	0.604
ทิศใต้	0.839	0.621	0.442	0.235
เวลา 12.00 น.				
ทิศตะวันออก	0.97	0.84	0.686	1.47
ทิศตะวันตก	0.97	0.84	0.686	1.47
ทิศเหนือ	0.97	0.719	0.515	1.261
ทิศใต้	0.97	1.052	0.857	1.679

ข. **คำนวณหาค่า Solar radiation incident on the surface (SI)** เพื่อพิจารณาค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ตกกระทบพื้นผิว คำนวณจากสูตรดังนี้ (William M. Marsh, 1990)

$$SI = \frac{\text{Solar radiation} * \text{Incident Angle}}{A} \quad (4)$$

โดยที่

SI = Solar Radiation Incident on the surface (Watt.)
 Solar radiation = ปริมาณพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (Watt/Sqm.)
 Incident Angle = มุมองศาของพื้นผิวที่ถูกพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ ในที่นี้ค่า Incident Angle ที่ได้จากสูตรในข้อ ก. คือ (COS θ)
 A = พื้นที่ที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ (Sq.m.)
 ในที่นี้คือพื้นที่หลังคาของกล่องทดลอง

หมายเหตุ - ค่า SI ที่ได้เป็นค่าต่อหน่วยพื้นที่ที่ปริมาณพลังงานตกกระทบ 1 ทิศเท่านั้น ในกรณีนี้หลังคาจากการทดลองครั้งนี้เป็น หลังคาปั้นหย่า จึงต้องนำผลรวมทั้ง 4 ด้านมารวมกัน

ค่าที่ได้จากการคำนวณ Solar radiation incident on the surface (SI) พลังงานความร้อนที่ตกกระทบพื้นผิว (watt) จะพิจารณาที่ เวลา 8.00 น. และ 10.00 น. สามารถแสดงได้ต่อไปนี้

โดยมีค่าจากการคำนวณดังนี้

เวลา 8.00 น.

กล่องทดลองมุมเอียง 0°

Solar radiation = 391.6 (Watt/Sqm.)

Incident Angle = 0.485

A = 0.36 (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา 1/4)

SI = $\frac{391.6 * 0.485}{0.36}$

0.36

SI = 527.57 (watt.)

ดังนั้นผลรวมของ Solar Radiation Incident ที่ถ่ายเทสู่กล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 0° เวลา 8.00 น.

= (527.57*4) = 2110.28 watt.

เวลา 8.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันออกเฉียง

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.852$$

$$A = 0.414 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 \cdot 0.852}{0.414}$$

$$SI = 805.9 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศตะวันตก

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.014$$

$$A = 0.414 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 \cdot 0.014}{0.414}$$

$$SI = 13.20 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศใต้

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.479$$

$$A = 0.414 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 \cdot 0.479}{0.414}$$

$$SI = 453.08 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 30° ทิศเหนือ

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.358$$

$$A = 0.414 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 \cdot 0.358}{0.414}$$

$$SI = 338.63 \text{ (watt.)}$$

ดังนั้นผลรวมของ Solar Radiation Incident ที่ถ่ายเทสู่กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 30° เวลา 8.00 น.
 $= (805.9 + 13.24 + 453.08 + 338.63) = 1610.85 \text{ watt.}$

เวลา 8.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันออก

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.964$$

$$A = 0.51 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.964}{0.51}$$

$$SI = 740.2 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศตะวันตก

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.269$$

$$A = 0.51 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.269}{0.51}$$

$$SI = 206.55 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศใต้

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.429$$

$$A = 0.51 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.429}{0.51}$$

$$SI = 329.40 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 45° ทิศเหนือ

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.257$$

$$A = 0.51 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.257}{0.51}$$

$$SI = 197.34 \text{ (watt.)}$$

ดังนั้นผลรวมของ Solar Radiation Incident ที่ถ่ายเทสู่กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 45° เวลา 8.00 น.

$$= (740.2 + 206.55 + 329.40 + 197.34) = 1473.43 \text{ watt.}$$

เวลา 8.00 น.

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันออก

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.992$$

$$A = 0.72 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.992}{0.72}$$

$$SI = 539.54 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศตะวันตก

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.508$$

$$A = 0.72 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.508}{0.72}$$

$$SI = 276.29 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศใต้

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.347$$

$$A = 0.72 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.347}{0.72}$$

$$SI = 188.73 \text{ (watt.)}$$

กล้องทดลองมุมเอียง 60° ทิศเหนือ

$$\text{Solar radiation} = 391.6 \text{ (Watt/Sqm.)}$$

$$\text{Incident Angle} = 0.137$$

$$A = 0.72 \text{ (Sq.m.) (พื้นที่หลังคา)}$$

$$SI = \frac{391.6 * 0.137}{0.72}$$

$$SI = 74.51 \text{ (watt.)}$$

ดังนั้นผลรวมของ Solar Radiation Incident ที่ถ่ายเทสู่กล้องทดลองที่มีมุมหลังคา 60° เวลา 8.00 น.

$$= (539.54 + 276.29 + 188.73 + 74.51) = 1079.07 \text{ watt.}$$

		ตารางที่ 5-3 แสดงค่า Solar incident angle จากการคำนวณ (watt.)			
		กล่องทดลองที่มีมุมหลังคาแนวราบ (0°)	กล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 30°	กล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 45°	กล่องทดลองที่มีมุมหลังคา 60°
เวลา 8.00 น.					
ทิศตะวันออก		527.57	805.9	740.2	539.54
ทิศตะวันตก		527.57	13.24	206.55	276.29
ทิศเหนือ		527.57	338.63	197.34	74.51
ทิศใต้		527.57	453.08	329.4	188.73
เวลา 10.00 น.					
ทิศตะวันออก		1598.76	1620.55	1276.15	813.67
ทิศตะวันตก		1598.76	788.73	320.13	15.24
ทิศเหนือ		1598.76	1029	594.53	223.9
ทิศใต้		1598.76	1380.29	1000.75	575.48
เวลา 12.00 น.					
ทิศตะวันออก		2260.1	1701.91	1128.27	1712.56
ทิศตะวันตก		2260.1	1701.91	1128.27	1712.56
ทิศเหนือ		2260.1	1456.76	847.02	1469.07
ทิศใต้		2260.1	2131.44	1409.51	1956.03

เมื่อพิจารณาจากการคำนวณค่า Solar incident angle หรือปริมาณพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว ของกล่องทดลองในช่วงเวลา 8.00 น. พบว่ากล่องทดลองมุม 60° มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมุมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อแนวตั้งฉากของพื้นผิว incident angle มีค่าน้อย ส่งผลให้ปริมาณความเข้มของแสงที่ตกกระทบน้อยลงไปด้วย แต่ในขณะที่กล่องทดลองมุม 45° และ 30° มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนมุม 0° มีค่า Solar incident angle สูงที่สุด เนื่องจาก incident angle มีค่ามาก จึงได้รับปริมาณความเข้มของแสงมากกว่า (ดูแผนภูมิที่ 5-12) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการทดลองจริงจะเห็นว่ามีความสอดคล้องกัน

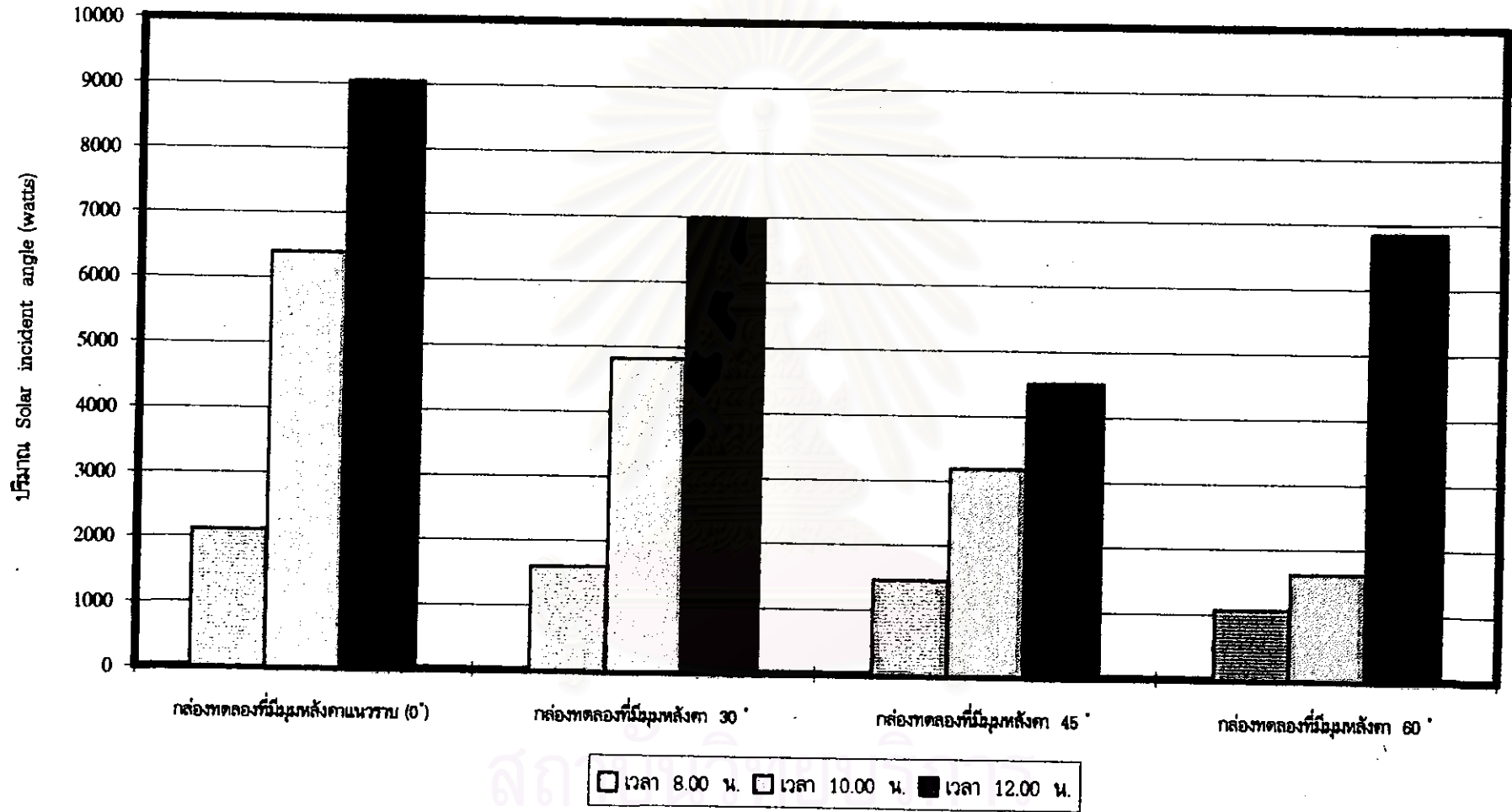
ในช่วงเวลา 10.00 น. กล่องทดลองได้รับปริมาณพลังงานจากดวงอาทิตย์มากขึ้น ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยกล่องทดลองมุมที่มีมุมหลังคา 0° มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ มุม 30° , มุม 45° ส่วนมุม 60° มีค่าต่ำที่สุด ขึ้นอยู่กับ Incident Angle และช่วงเวลา

ส่วนในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าปริมาณพลังงานสูงสุดของวัน คือ 866.5 Watt ส่งผลให้ปริมาณพลังงานรังสีที่ตกกระทบพื้นผิวมากตามไปด้วย โดยมุมหลังคาที่มีปริมาณความร้อนตกกระทบมากที่สุดคือ มุม 0° เนื่องจาก Incident Angle มีค่าน้อยเกือบจะตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ส่วนมุมอื่น ๆ มีค่าลดลงไปตามค่า Incident Angle ที่มากขึ้น

ข้อพิจารณา

มุมเอียงของหลังคาที่มีผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศที่สูงที่สุดของวัน) ได้ดีที่สุด คือมุมเอียง 60° หรือมุมเอียงที่มีองศามาก สามารถถ่ายเทความร้อนลงมาสู่พื้นที่ใช้สอยได้น้อยกว่ามุมเอียงที่มีองศาน้อยนั่นเอง โดยมีข้อสังเกตดังนี้

1. ในช่วงเวลากลางวัน มุมเอียงของหลังคาที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์มากเท่าไร ก็จะได้รับความร้อนเข้ามาเท่าเท่านั้น เช่นมุม 0° ที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองสูงที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และ Incident Angle ซึ่งสัมพันธ์กับการคำนวณปริมาณพลังงานที่ตกกระทบพื้นผิว ยกตัวอย่างเช่น ที่เวลา 12.00 น. มุม 0° มีค่าพลังงานที่ตกกระทบมากที่สุด เนื่องจากมุม Incident Angle เกือบจะตั้งฉากกับดวงอาทิตย์
2. ปริมาณรังสีความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ มีปริมาณเท่ากัน แต่ความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับมุม Incident Angle ที่กระทำต่อดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ
3. การพิจารณาจากการทดลองในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง, อุณหภูมิใต้หลังคา จะแตกต่างกับช่วงเวลากลางวันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ กล่องที่มีมุมเอียง 0° จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากพื้นที่ว่างอากาศใต้หลังคามีน้อย ทำให้ความร้อนที่สะสมไว้มีน้อย ทำให้ความร้อนแผ่รังสีกลับคืนสู่ห้องฟ้าได้รวดเร็วกว่าหลังคาที่มีมุมเอียงมากกว่า
4. อุณหภูมิผิวหลังคาโดยเฉลี่ยของกล่องทดลองที่มีมุมเอียงต่างกัน มีข้อสังเกตคือ อุณหภูมิผิวด้านทิศใต้และทิศเหนือของหลังคาที่มีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลากลางวันคือ, มุมเอียง 60° ส่วนอุณหภูมิผิวของหลังคาที่มีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวันคือ มุมเอียง 0°
5. ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิผิวด้านบนของกล่องทดลองที่มีค่าสูงที่สุดคือ มุมเอียง 0° ส่วนอุณหภูมิผิวด้านทิศเหนือและทิศใต้ของหลังคาที่มีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลากลางวันคือ มุมเอียง 60°



แผนภูมิที่ 5-12 แสดงค่า Solar incident angle ช่วงเวลาต่างๆ ของกึ่งองศาของ

5.3 ผลการทดลองชุดที่ 3 ทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพหลังคาโดยการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ

จากการทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพหลังคาโดยการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ ประกอบด้วยหลังคาที่มีมุมเอียง 45° โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบทดลอง 4 กล้อง จำนวน 2 ชุด เพื่อศึกษา อุณหภูมิใต้หลังคา อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดาน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล้อง และอุณหภูมิอากาศ ชุดที่ 1 ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 11 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 12 มีนาคม 2541 และชุดที่ 2 ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 13 มีนาคม 2541 ถึงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 14 มีนาคม 2541 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1 ชุดที่ 1 ทดสอบตำแหน่งการวางฉนวนและการระบายอากาศบริเวณชายคา

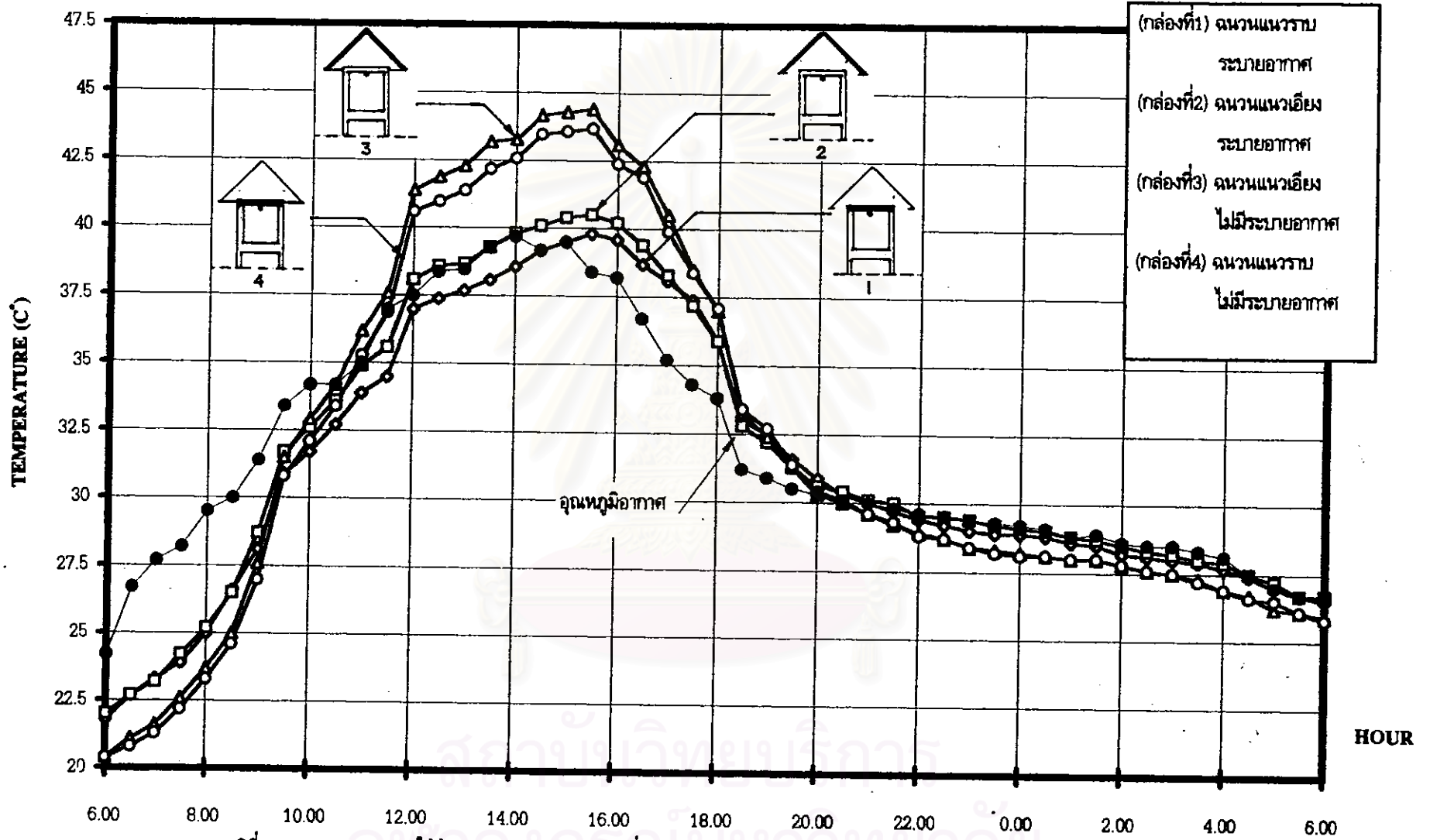
ช่วงเวลา 6.00-18.00 น. (DAYTIME)

ในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศใต้ฝ้าเพดานของกล้องทดลองที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา และไม่มีการระบายอากาศ พบว่าอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ดูแผนภูมิที่ 5-12) โดยกลุ่มแรกกล้องทดลองที่มีการระบายอากาศ การวางตำแหน่งฉนวนที่ดีที่สุดคือ การวางฉนวนแนวราบ (ดูแผนภูมิที่ 5-13) และกลุ่มที่สองกล้องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ การวางตำแหน่งฉนวนที่ดีที่สุดคือ การวางฉนวนแนวราบเช่นกัน (ดูแผนภูมิที่ 5-13) โดยอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานเฉลี่ยของกลุ่มที่มีการระบายอากาศจะต่ำกว่า กลุ่มที่ไม่มีการระบายอากาศประมาณ 5°C และจากการพิจารณาอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานพบว่ากล้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนแนวราบและมีการระบายอากาศ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่ากล้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนแนวเอียงและมีการระบายอากาศ ประมาณ $1-1.5^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน)

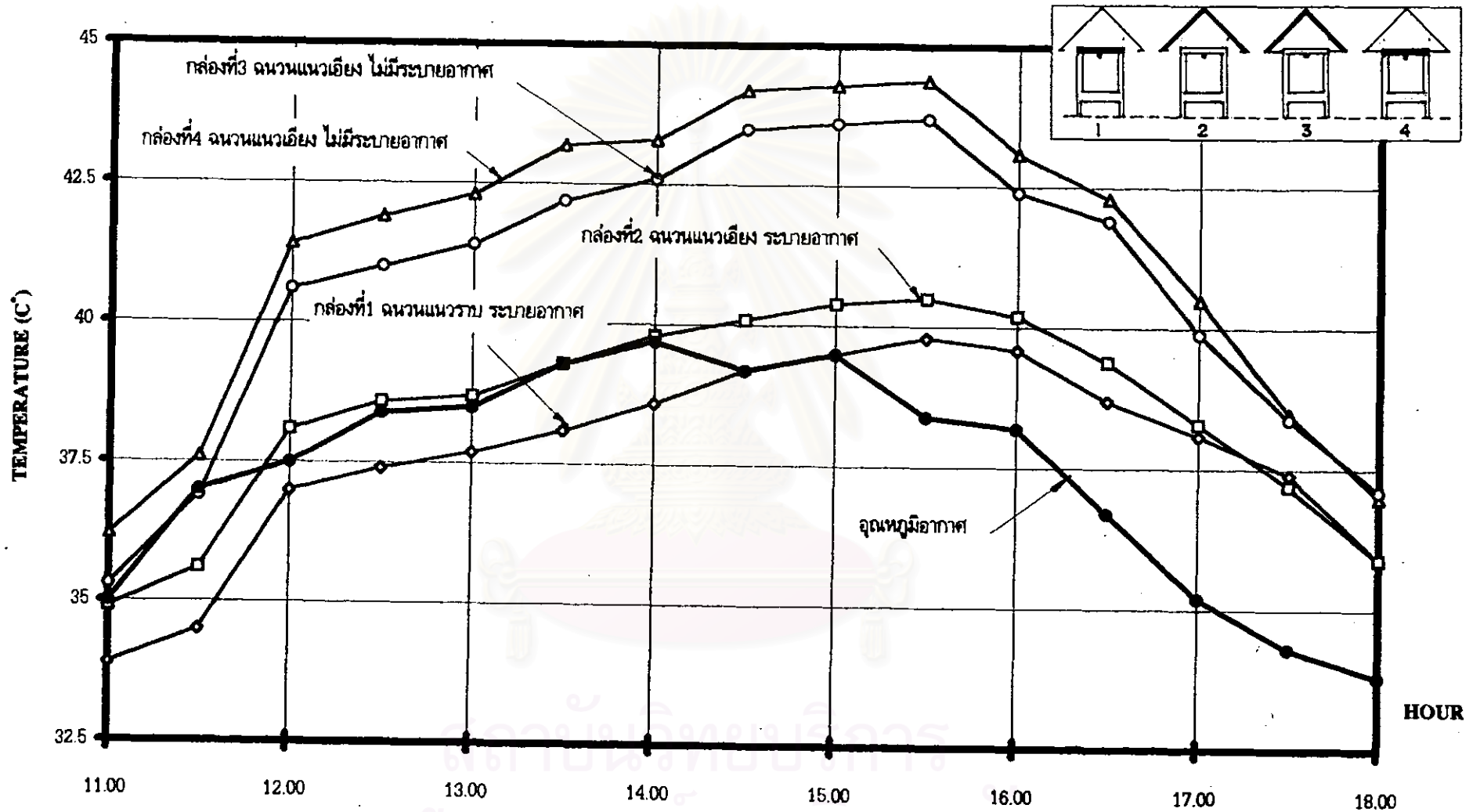
และจากการพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา ของกล้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนแนวเอียง และกล้องทดลองที่ไม่มีติดตั้งฉนวน พบว่าในช่วงเวลากลางวัน กล้องทดลองที่มีการติดตั้งฉนวนจะมีอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา ต่ำกว่ากล้องทดลองที่ไม่มีฉนวนโดยเฉลี่ยประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 1°C (ดูแผนภูมิที่ 5-15)

ช่วงเวลา 18.30-6.00 น. (NIGHTTIME)

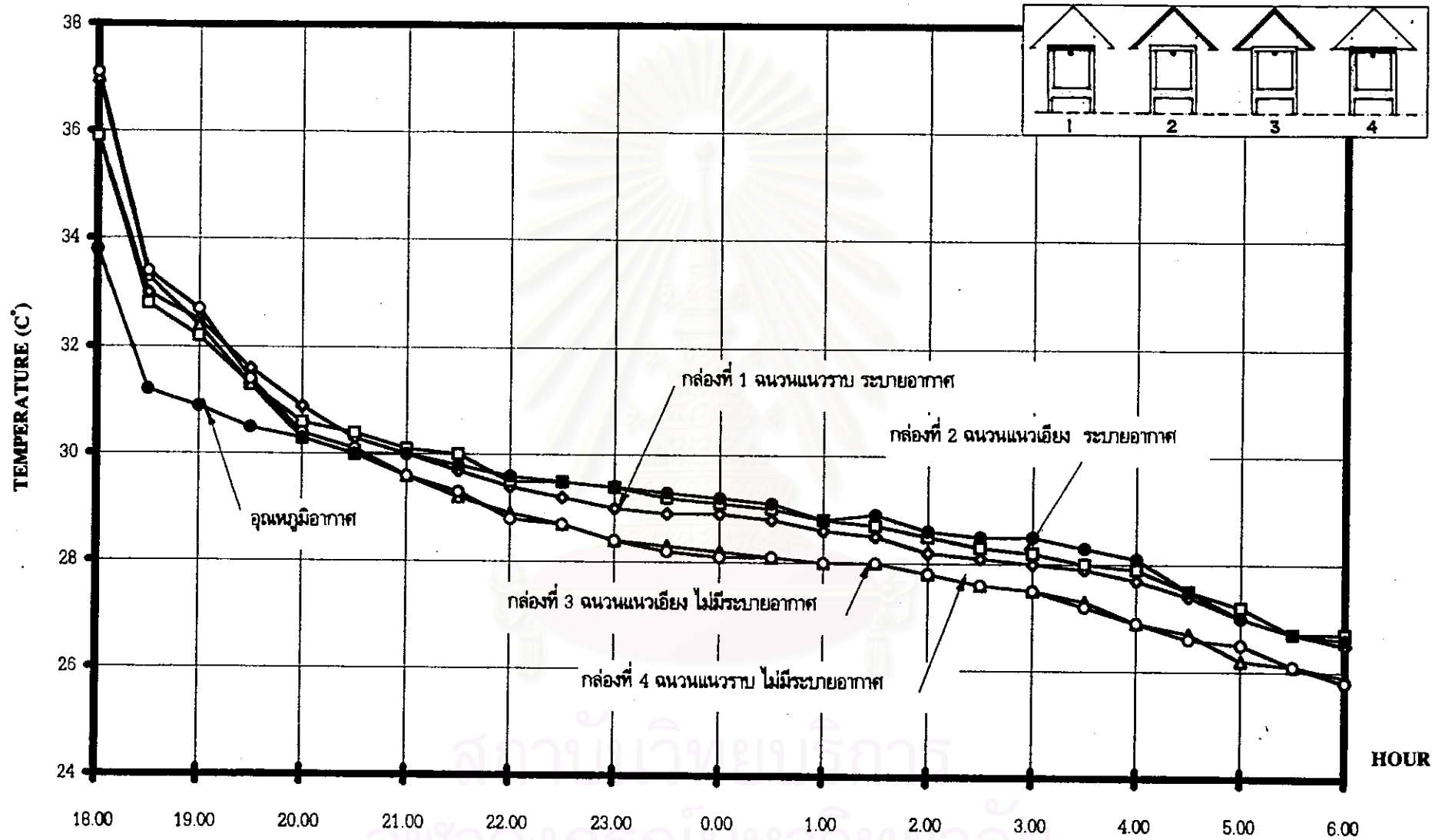
ในช่วงเวลากลางคืน กลุ่มอุณหภูมิอากาศใต้ฝ้าเพดานของกล้องทดลองที่มีการระบายอากาศ และกลุ่มที่ไม่มีการระบายอากาศ ยังคงมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกลุ่มที่ไม่มีการระบายอากาศจะต่ำกว่ากลุ่มที่มีการระบายอากาศประมาณ 1°C และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 1.5°C (ดูแผนภูมิที่ 5-14)



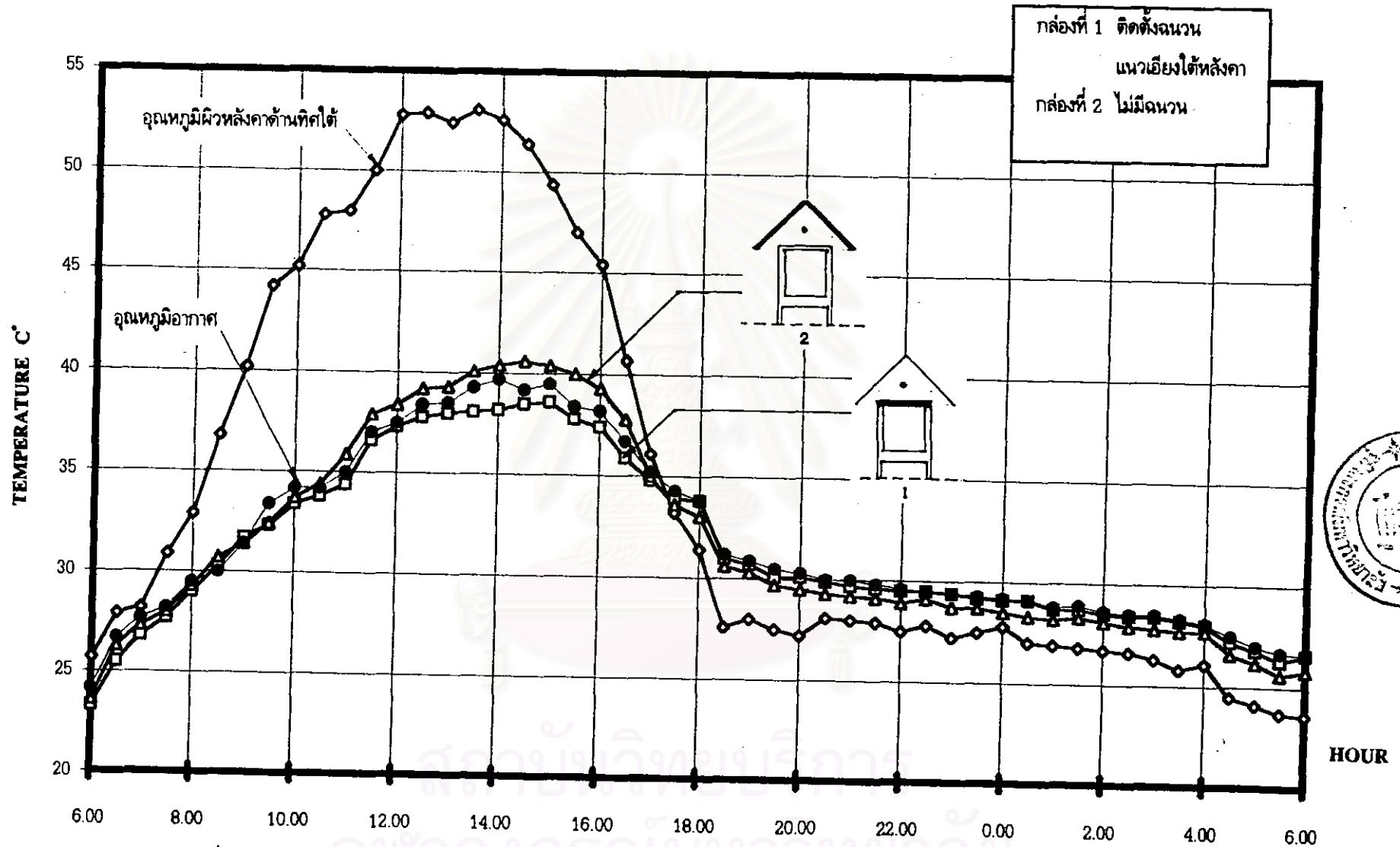
แผนภูมิที่ 5-12 แสดงอุณหภูมิที่ได้จาการทดลองชุดที่ 3 (ทดสอบตำแหน่งการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ วันที่ 11 มีค. 98-12 มีค. 98)



แผนภูมิที่ 5-13 แสดงอุณหภูมิได้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 11.00-18.00 น.
(ทดสอบตำแหน่งการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ วันที่ 11มีค.98-12มีค.98)

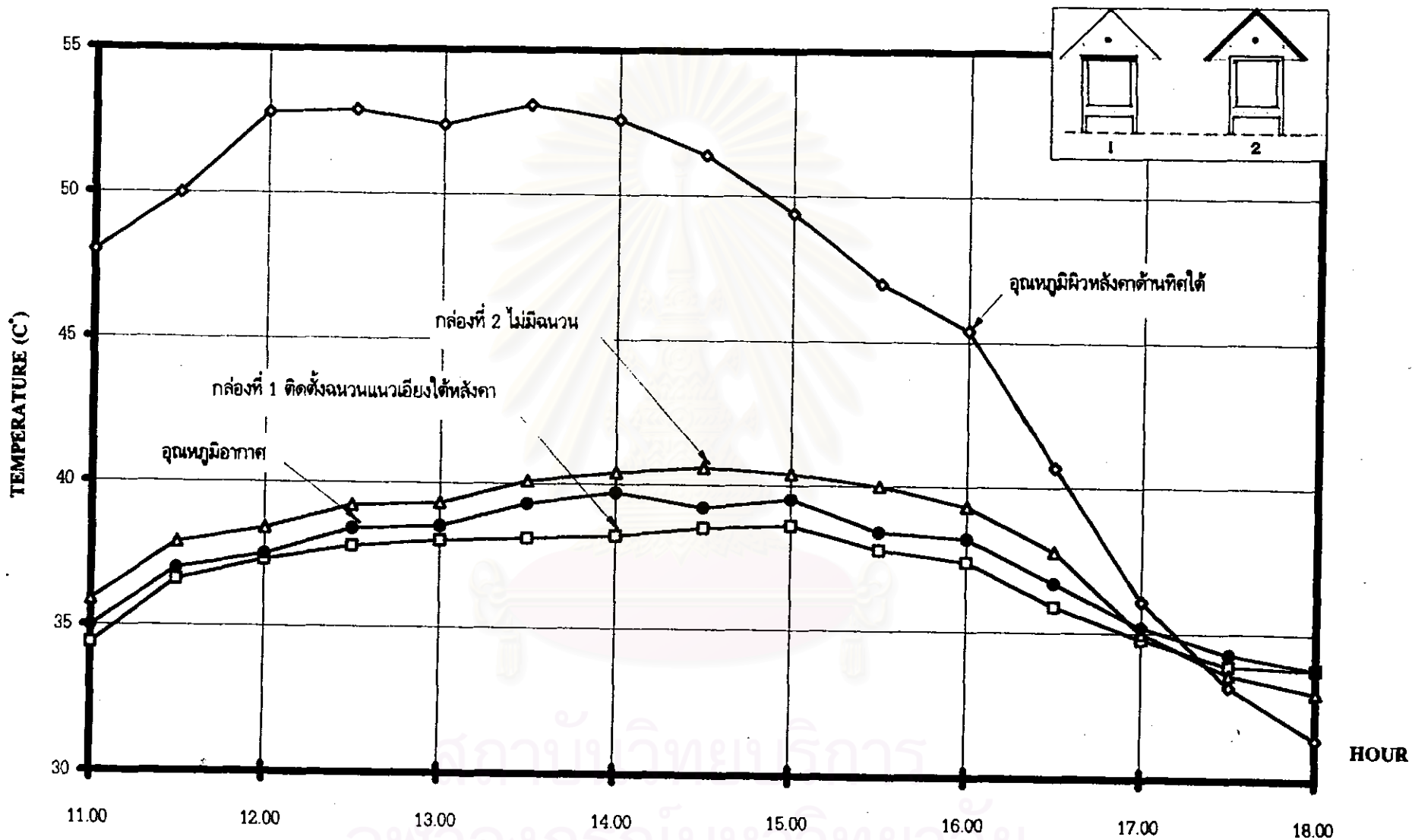


แผนภูมิที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกรรทลดองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 18.00-6.00 ของวันที่ 11มีค.98-12มีค.98

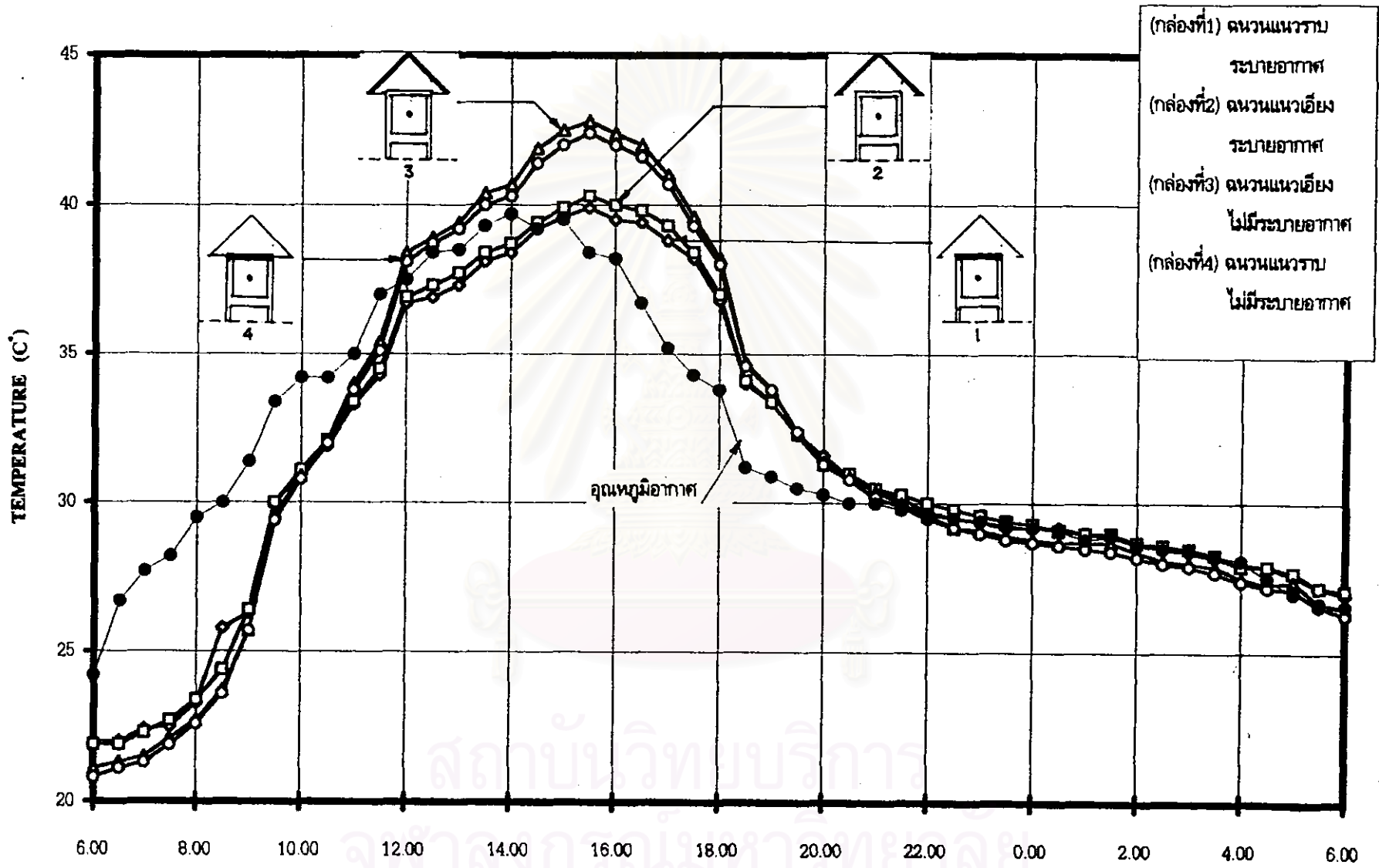


แผนภูมิที่ 5-15 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 (ทดสอบตำแหน่งการฉนวนและการระบายอากาศ วันที่ 11มีค.98-12มีค.98)





แผนภูมิที่ 5-16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 11.00-18.00 น. ของวันที่ 11 มีค. 98-12 มีค.98



แผนภูมิที่ 5-17 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องของการทดลองชุดที่ 3 (ทดสอบตำแหน่งการใช้ฉนวนและการระบายอากาศ วันที่ 11มีค.98-12มีค./98)

ข้อพิจารณา

ตำแหน่งการวางฉนวนที่ดีที่สุด กล่าวคือพิจารณาจากอุณหภูมิอากาศใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิภายในกล่อง ทดลองที่มีค่าน้อยที่สุด พบว่าตำแหน่งฉนวนที่เหมาะสมที่สุดคือ การวางในแนวราบเหนือฝ้าเพดาน และการใช้ฉนวน พร้อมกับมีการระบายอากาศจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่หลังคา ในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยมีข้อสังเกตดังนี้

1. การวางฉนวนแนวราบและแนวเอียงที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา ในช่วงเวลากลางคืน จะมีอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานสูงกว่า การวางฉนวนแนวราบและแนวเอียงที่ไม่มีการระบายอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิใต้หลังคาที่มีการระบายอากาศจะมีอุณหภูมิลดลงหรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาจะสูงขึ้นตาม แต่อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ ลดลงเนื่องจากการแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้าของหลังคาแผ่นโลหะ จึงทำให้อุณหภูมิกำลังทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศเย็นกว่า เพราะไม่ถูกสัมผัสจากอากาศภายนอกเลย ปฏิกิริยาการแผ่รังสีเกิดจากคุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะ ซึ่งถ้าเป็นวัสดุผนังหลังคาชนิดอื่นอาจให้ข้อสรุปจากการทดลองที่แตกต่างกันออกไป

2. ในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดในวัน) อุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่มีการวางฉนวนแนวราบและแนวเอียงที่มีการระบายอากาศ มีอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศหรือสูงกว่าเล็กน้อยตามลำดับ ดังนั้นระบบหลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนและการระบายอากาศ จะให้ผลในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันเป็นอย่างดี

5.3.2 ชุดที่ 2 ทดสอบการใช้ฉนวนและการระบายอากาศบริเวณชายคา

ช่วงเวลา 6.00-18.00 น. (DAYTIME)

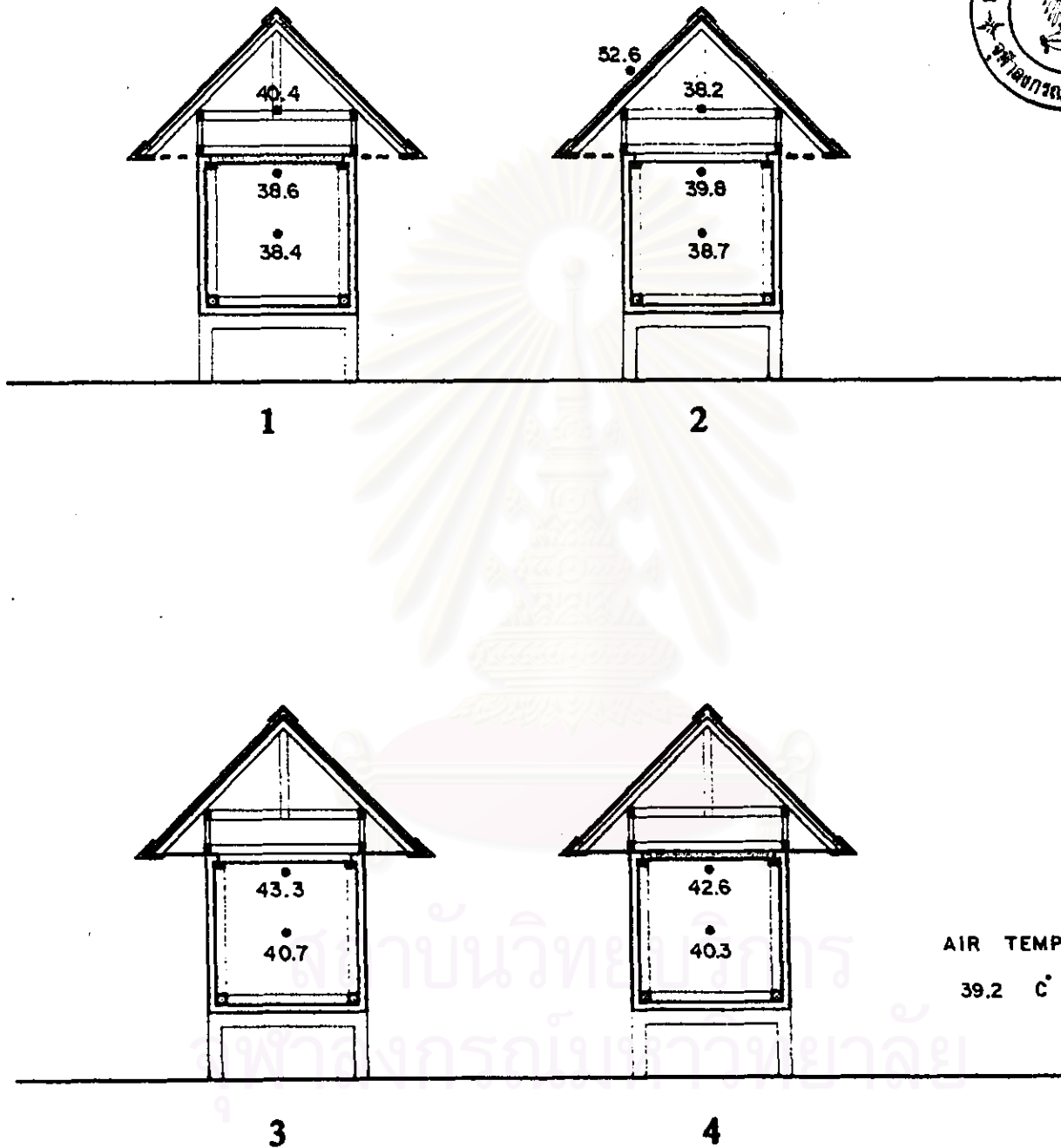
ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ พบว่ามีอุณหภูมิสูงกว่ากล่องทดลองที่มีการระบายอากาศอย่างชัดเจน ประมาณ $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูแผนภูมิที่ 5-18) โดยอุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่มีการระบายอากาศจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศตลอดในช่วง Peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดในวัน) (ดูแผนภูมิที่ 5-19) ส่วนอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานก็มีสัดส่วนของอุณหภูมิแปรผันตาม อุณหภูมิอากาศใต้หลังคา (ดูแผนภูมิที่ 5-20)

ช่วงเวลา 18.30-6.00 น. (NIGHTTIME)

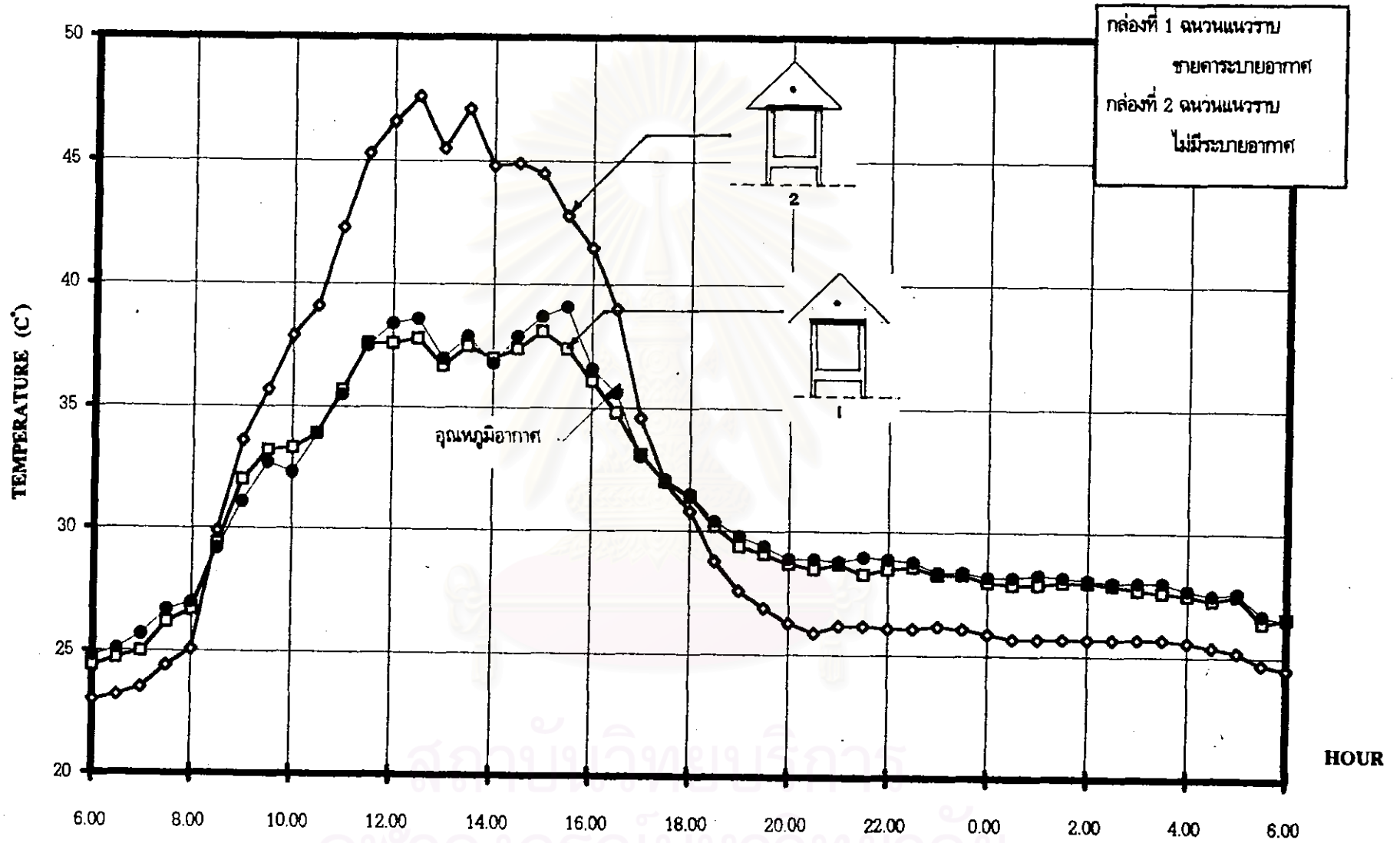
ในช่วงเวลากลางคืน จะสังเกตได้ว่า อุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของกล่องทดลองที่มีการระบายอากาศบริเวณชายคา จะมีอุณหภูมิสูงกว่ากล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ ประมาณ $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งกลับกันกับในช่วงเวลากลางวัน โดยที่อุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่มีการระบายอากาศยังคงใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศตลอดในช่วงเวลากลางคืน ส่วนกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ จะมีอุณหภูมิลดต่ำอย่างชัดเจน โดยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ $2-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดูแผนภูมิที่ 5-21) และอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของกล่องที่ไม่มีการระบายอากาศ และมีการระบายอากาศ จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (ดูแผนภูมิที่ 5-23)

ชุดที่ 3 ทดสอบฉนวนและการระบายอากาศ

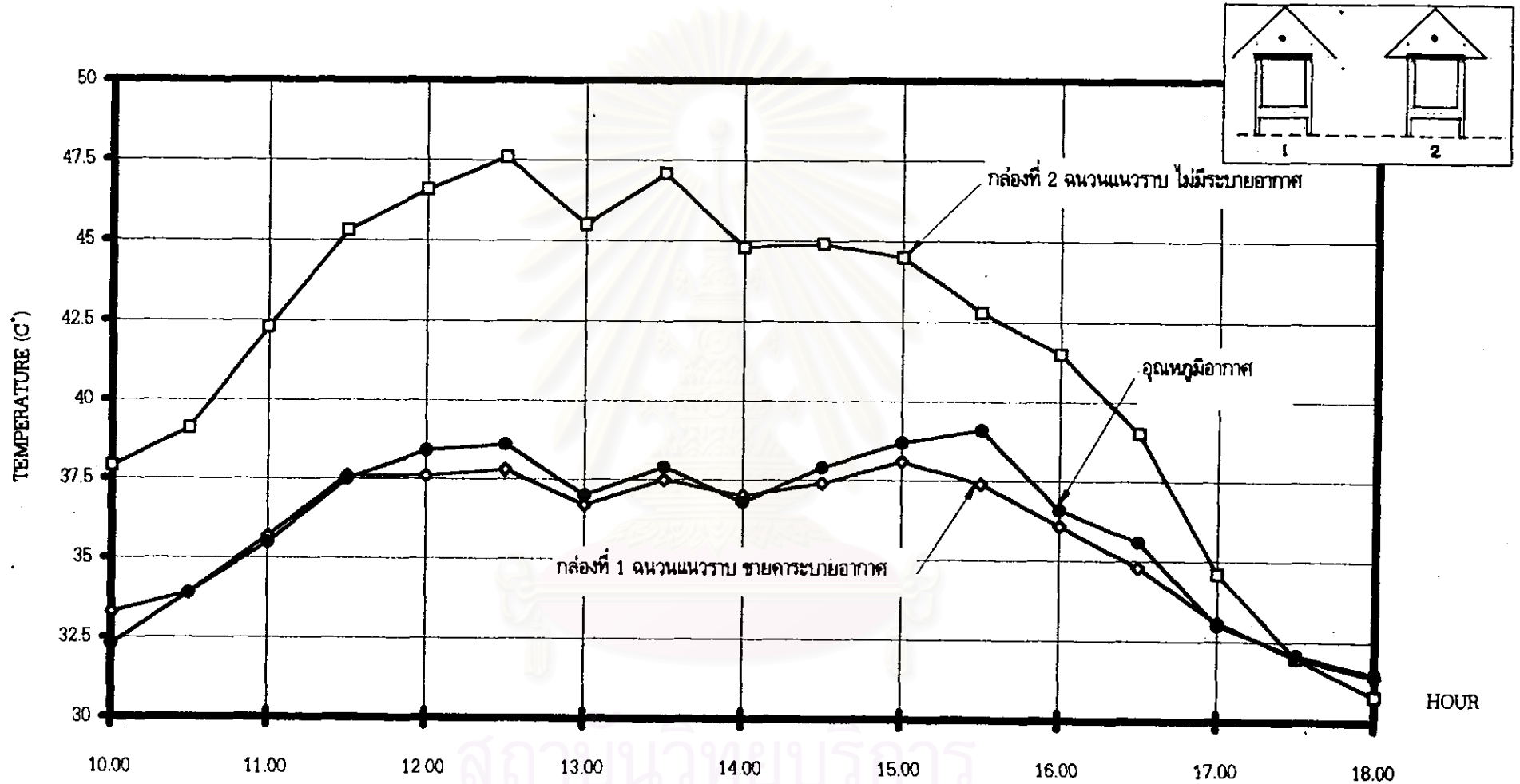
1. ทดสอบตำแหน่งการวางฉนวนและการระบายอากาศ ช่วงเวลา PEAK (1400 น.)



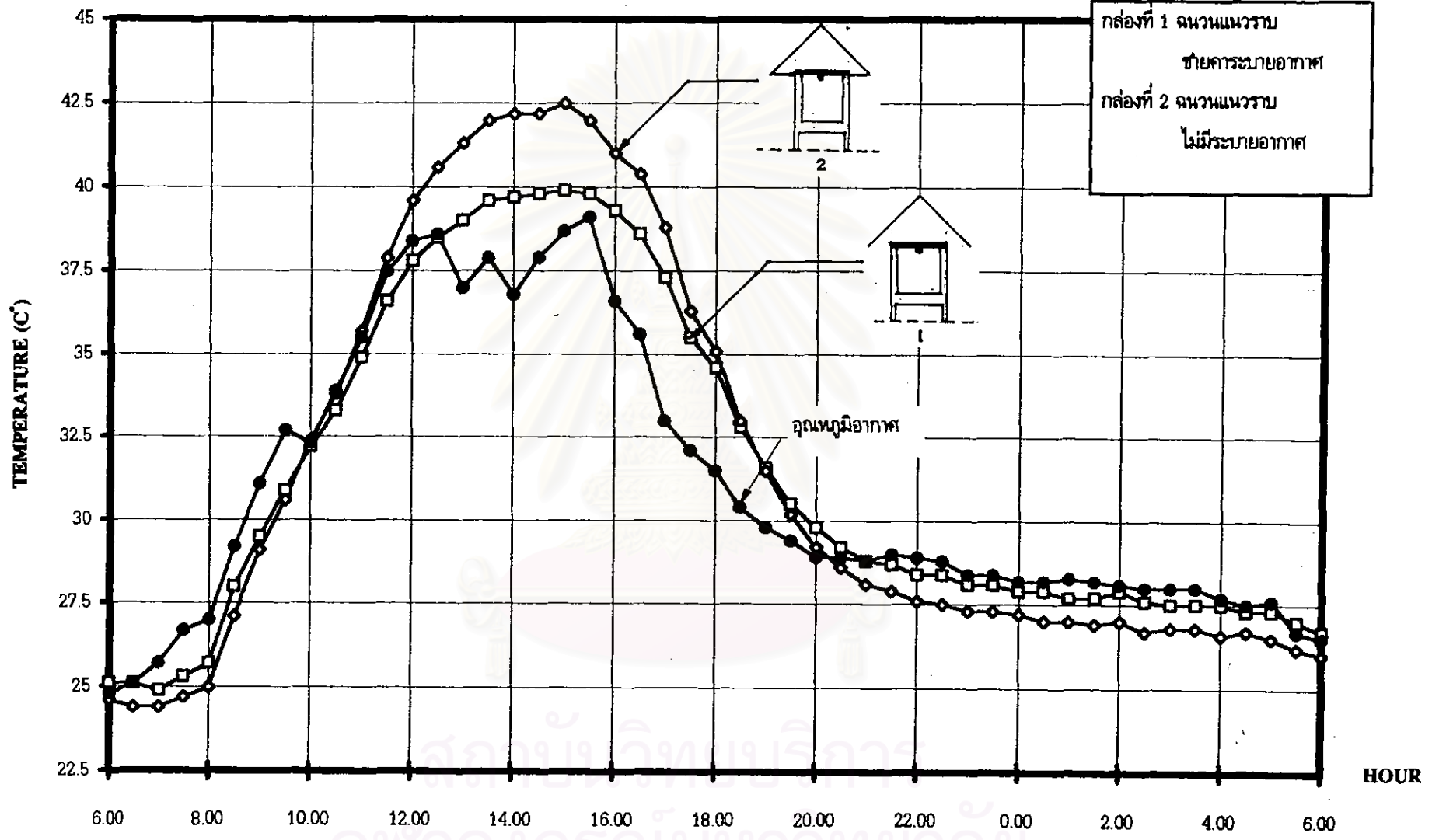
รูปที่ 5-3 แสดงอุณหภูมิช่วงเวลา peak (ช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน) เวลา 14.00 น.



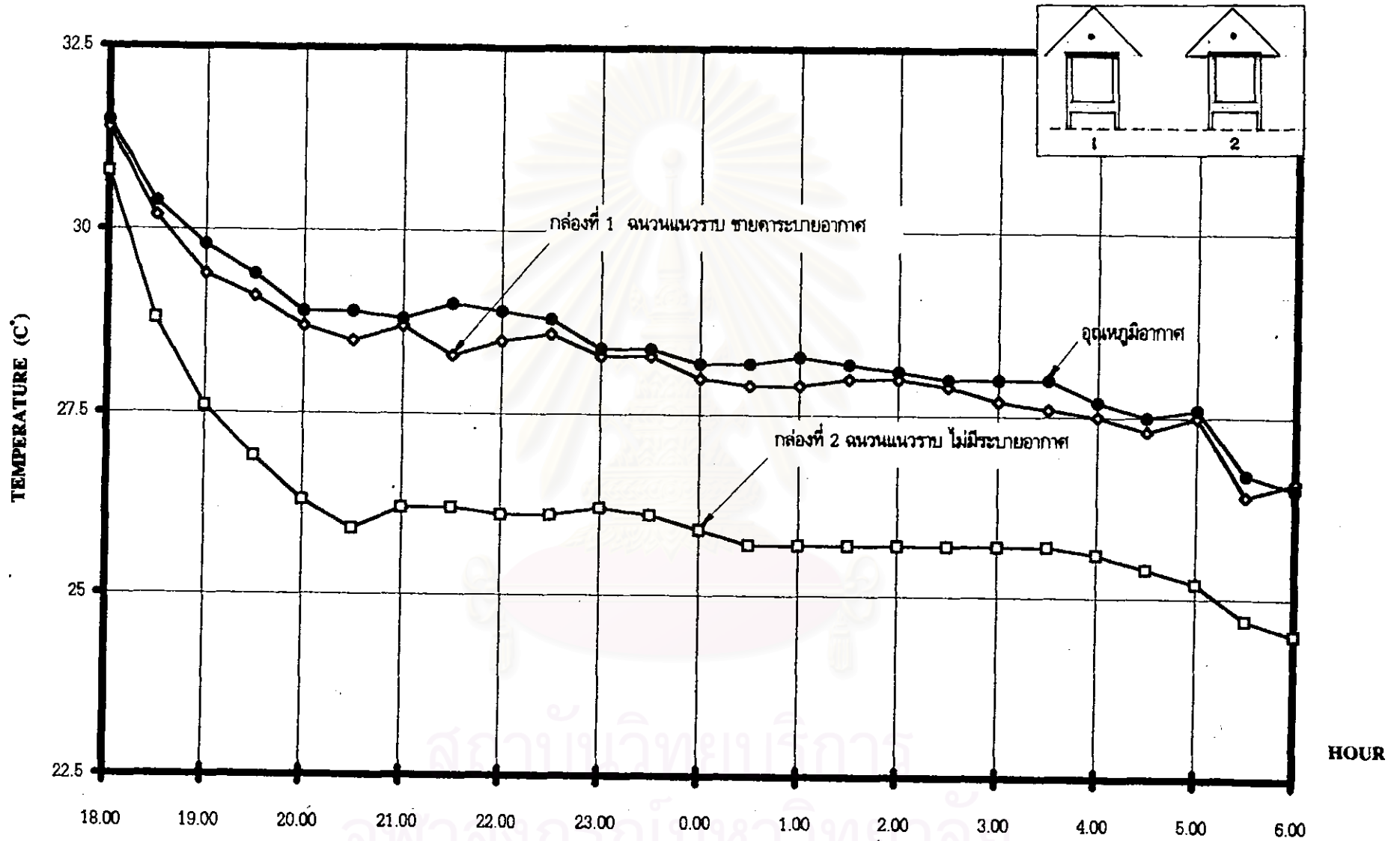
แผนภูมิที่ 5--18 แสดงอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 (ทดสอบถนนและการระบายอากาศ วันที่ 13มีค.98-14มีค.98)



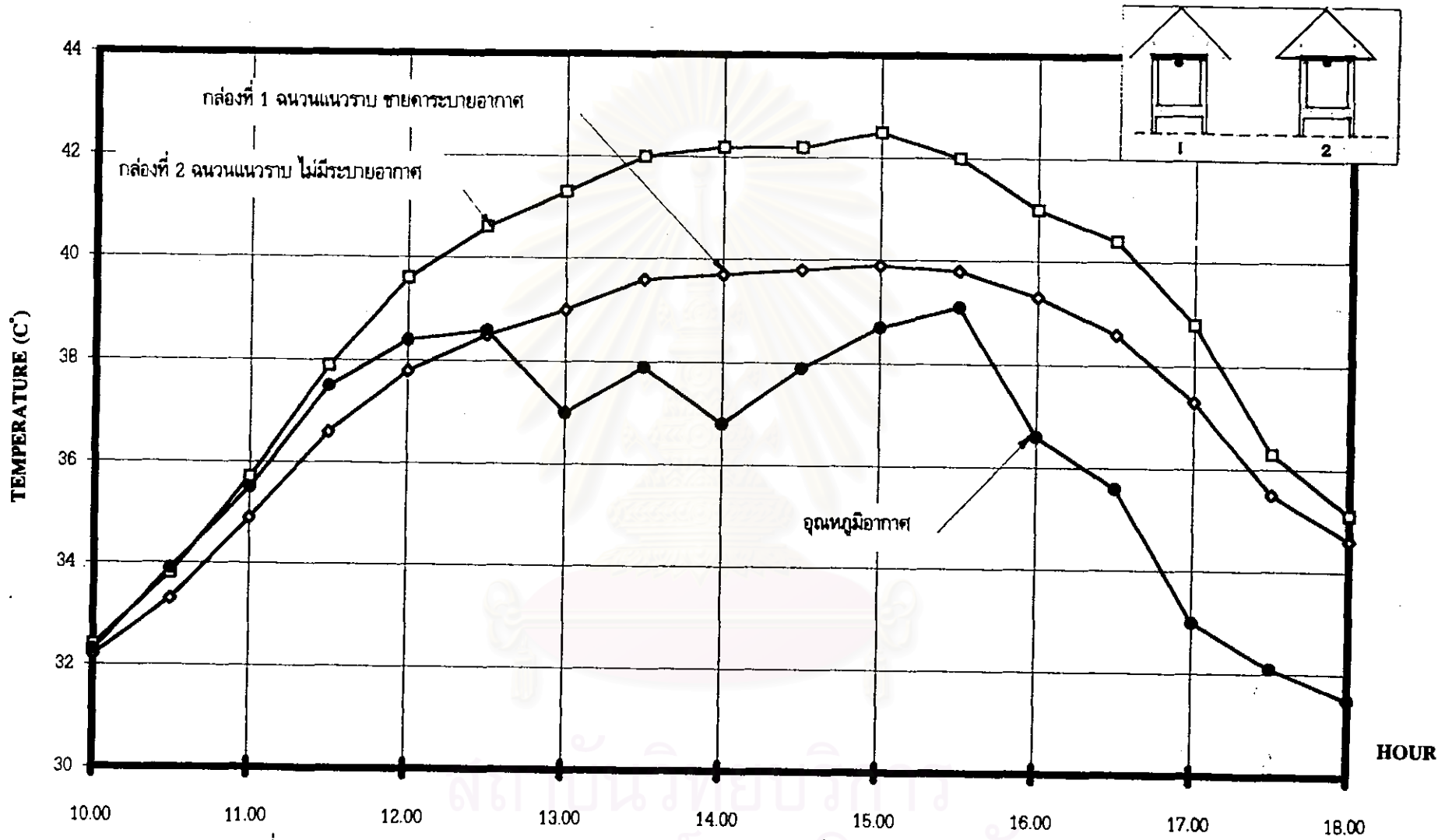
แผนภูมิที่ 5-19 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 10.00-18.00 น. วันที่ 13มีค.98-14มีค.98



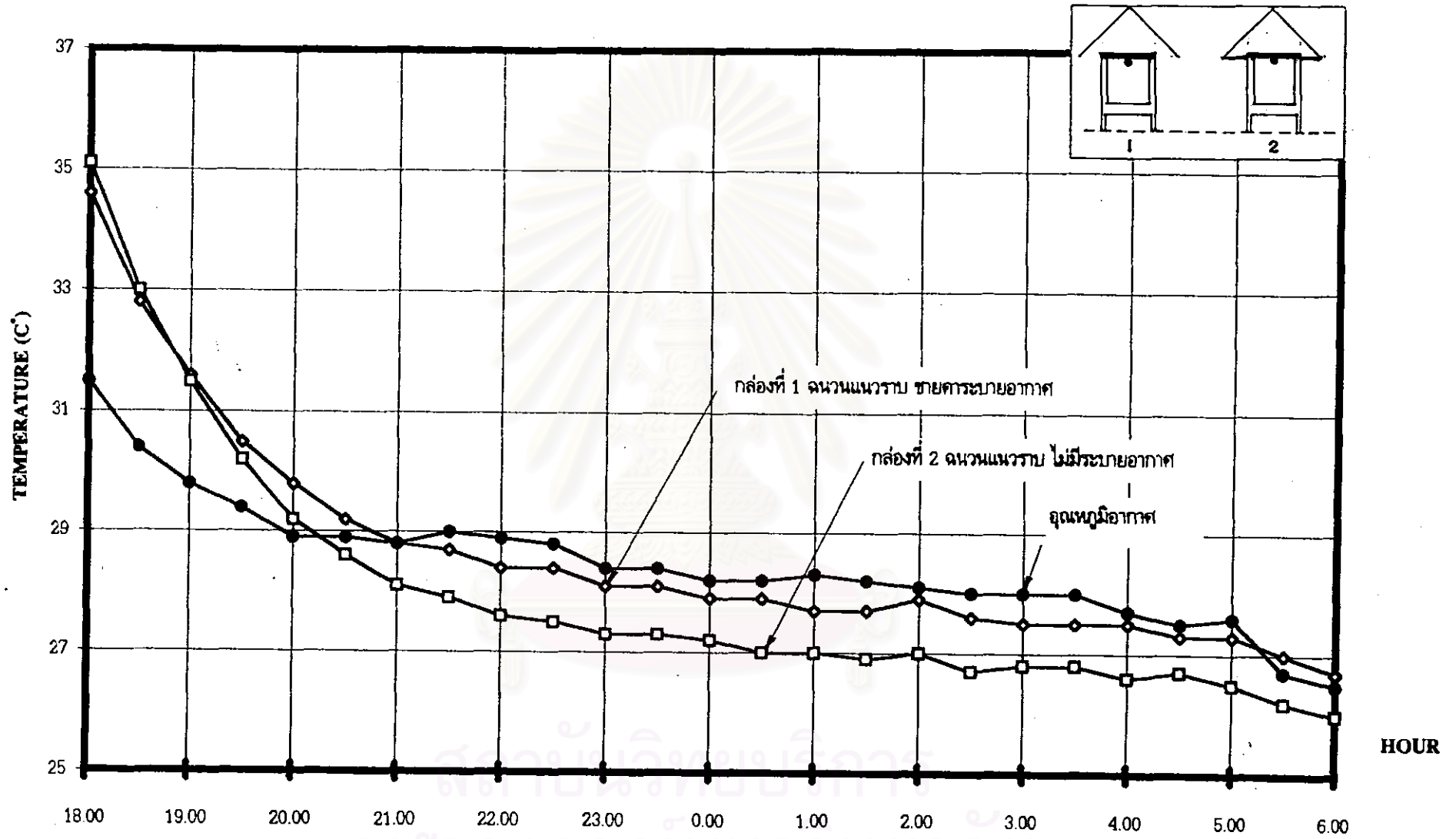
แผนภูมิที่ 5-20 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิได้ฝ้าเพดานของลช่องทั้งสองชุดที่ 3 ฉนวนและการระบายอากาศ



แผนภูมิที่ 5 - 21 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น. วันที่ 13มีค.-14มีค.98



แผนภูมิที่ 5-22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 10.00-18.00 น. วันที่ 13มีค.-14มีค.98

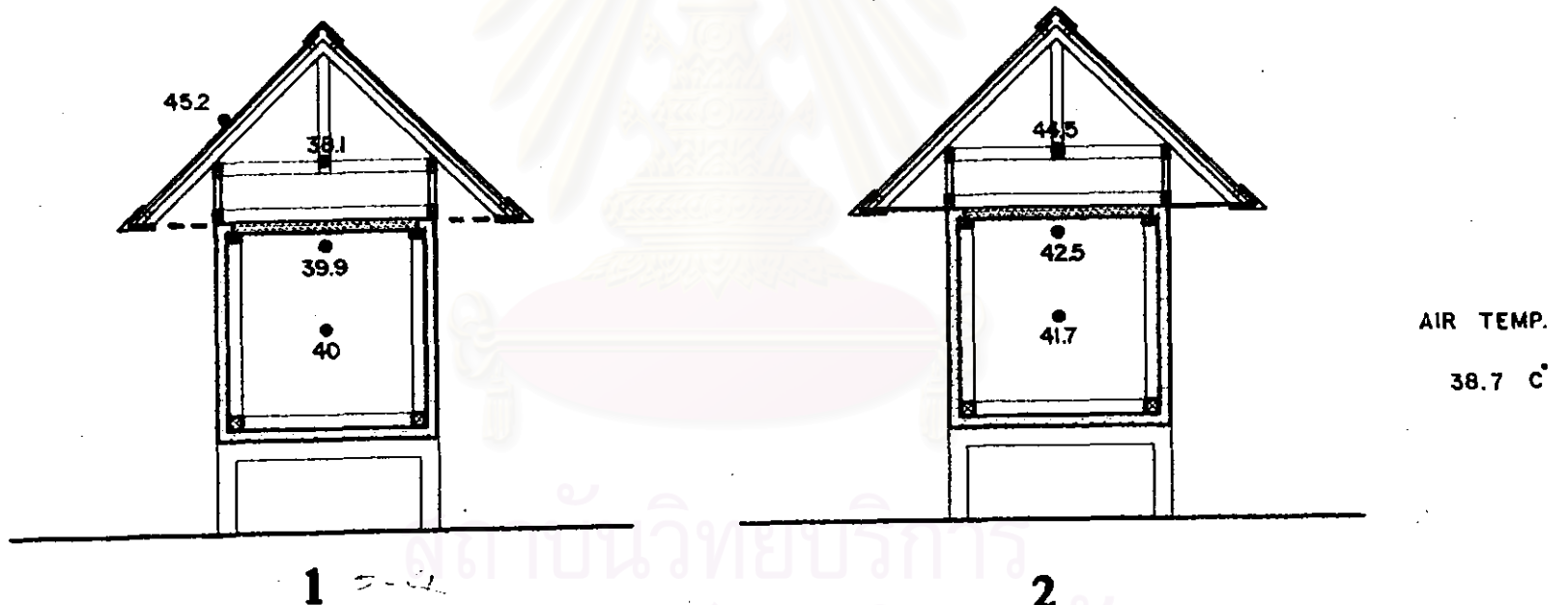


แผนภูมิที่ 5-23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานของการทดลองชุดที่ 3 ช่วงเวลา 18.00-6.00 น. วันที่ 13มีค.-14มีค.98

ชุดที่ 3 ทดสอบฉนวนและการระบายอากาศ

TIME 15.00 น. (PEAK)

TEMPERATURE (C°)



1

2

รูปที่ 5-4 แสดงอุณหภูมิช่วงเวลา peak (ช่วงเวลาอุณหภูมิสูงที่สุดของวัน) เวลา 15.00 น.

ข้อพิจารณา

1. การวางแผนงานแนวราบที่มีการระบายอากาศ ในช่วงเวลากลางคืน จะมีอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานสูงกว่า การวางแผนงานแนวราบที่ไม่มีการระบายอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิใต้หลังคาที่มีการระบายอากาศจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นอุณหภูมิใต้หลังคาจะสูงขึ้นตาม แต่ในขณะที่อุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศ ลดลงเนื่องจากการแผ่รังสีกลับคืนสู่ท้องฟ้าของหลังคาแผ่นโลหะ จึงทำให้อุณหภูมิกำลังทดลองที่ไม่มีการระบายอากาศเย็นกว่า เพราะไม่ถูกสัมผัสจากอากาศภายนอกเลย ปรากฏการณ์นี้เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะ ซึ่งถ้าเป็นวัสดุผนังหลังคาชนิดอื่นอาจให้ข้อสรุปจากการทดลองที่แตกต่างกันออกไป

2. ในช่วงเวลา Peak (ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน) อุณหภูมิใต้หลังคาของกล่องทดลองที่มีการวางแผนงานแนวราบ มีการระบายอากาศ มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นระบบหลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนและการระบายอากาศ จะให้ผลในการลดการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลากลางวันเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย