บทที่ 4

การปรับปรุงหลังคาและแนวทางป้องกัน

ในการปรับปรุงอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากเป็นอาคารที่ใช้งานตลอดเวลา การปรับปรุงอาคารเดิมจึงถือแนวคิดในการปรับปรุงอาคาร คือ

1. สะดวก และรวดเร็วในการปรับปรุง
2. ไม่รบกวนการทำงานของผู้ใช้อาคาร
3. ประหยัดงบประมาณในการปรับปรุง
4. ลดภาระการทำความเย็นในอาคารได้มาก

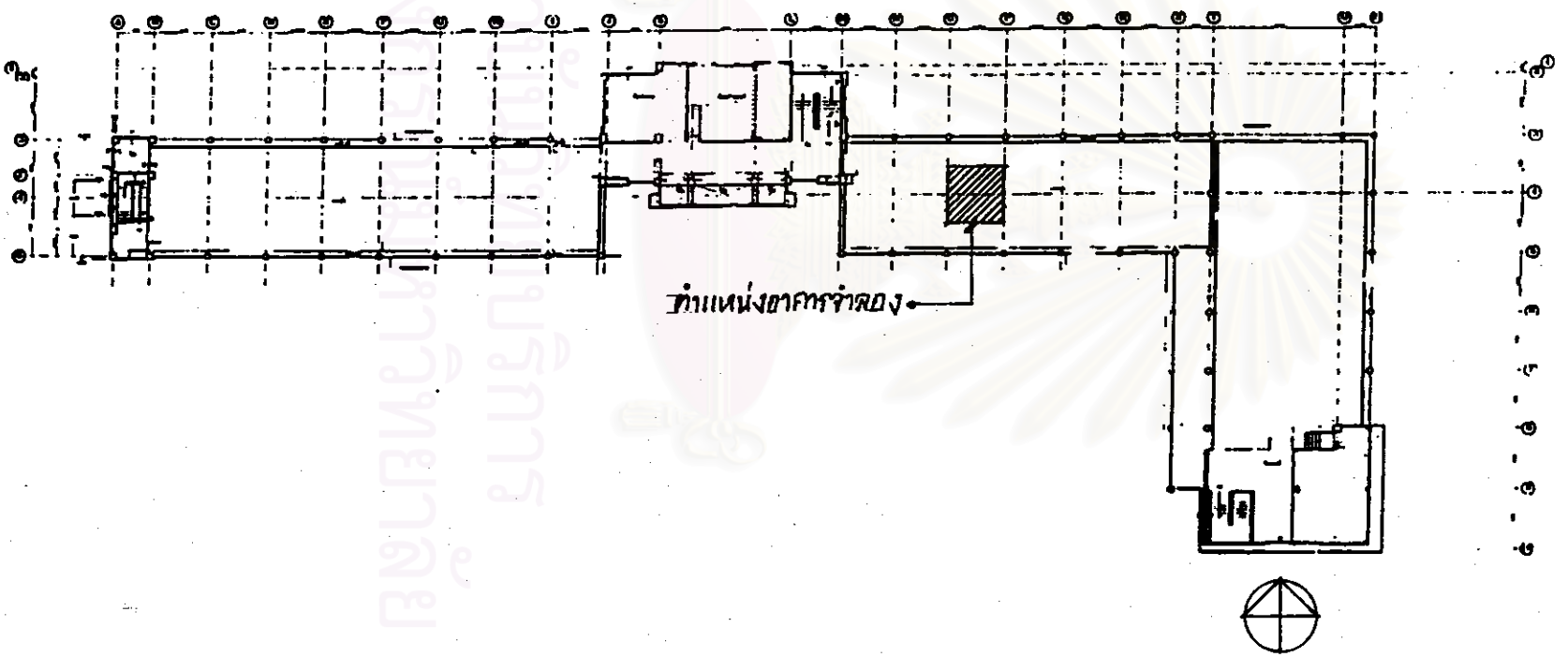
จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกการปรับปรุงฝ้าเพดาน กับการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ โดยจากการศึกษาอาคารจำลองหลังคากระเบื้องซีเมนต์ และเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านอุณหภูมิในการตุ้มทุน ดังจะกล่าวต่อไป

4.1 การศึกษาอาคารจำลองหลังคากระเบื้องซีเมนต์

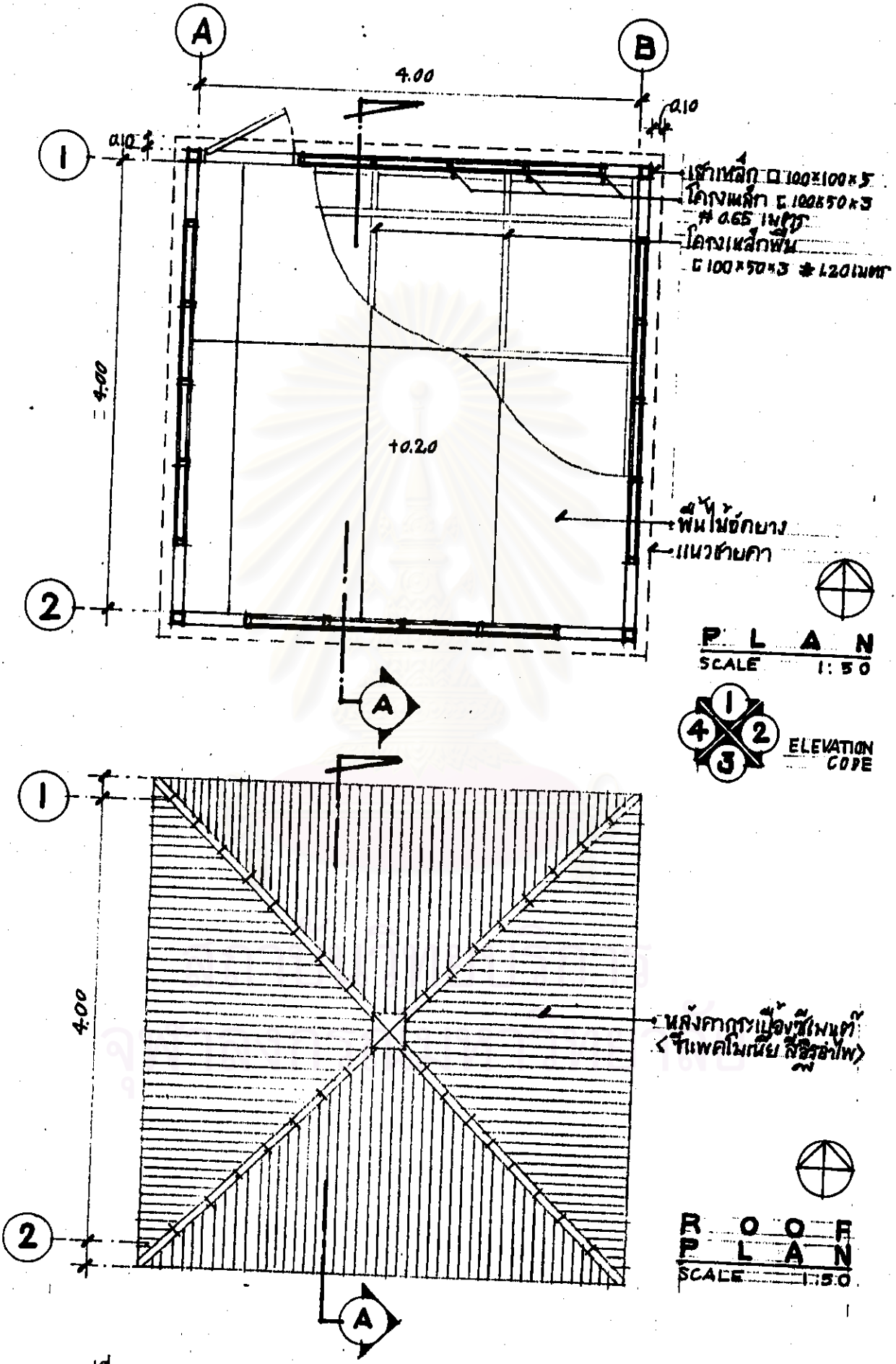
ผู้วิจัยได้สร้างอาคารจำลองขึ้นบนชั้น /1 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรูปแบบของอาคารจำลอง และการดำเนินการวิจัย ดังนี้

4.1.1 รูปแบบอาคารจำลอง

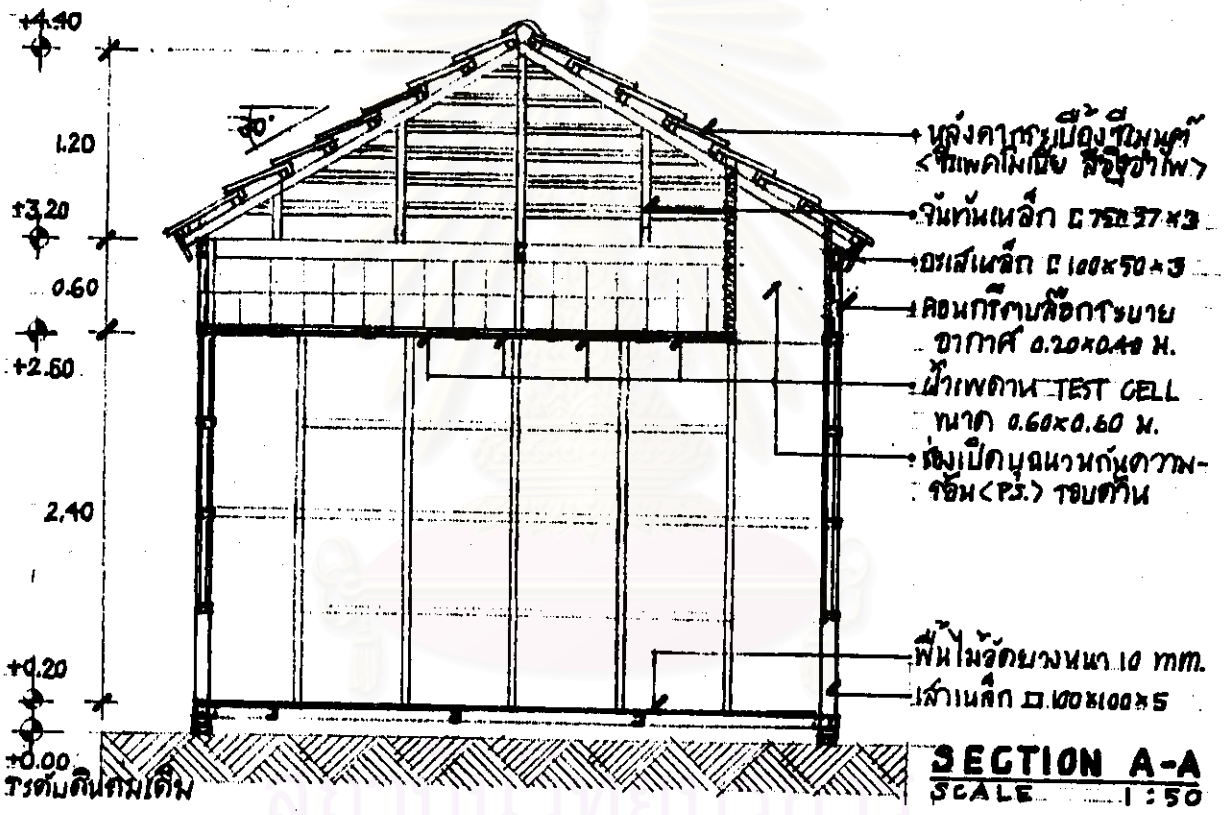
อาคารจำลอง ปีนอาคารโครงสร้างเหล็ก ขนาด 4.00 x 4.00 x 3.00 เมตร ตั้งอยู่บนดาดฟ้า(ชั้น 11) อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ปีกด้านทิศตะวันออก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังคากระเบื้องซีเมนต์ (ซีแพคโมเนีย สีแดงอิฐอำไพ) ทรงปั้นหยา ดังภาพ รูปที่ 4-1 ถึง รูปที่ 4-4 และภาพแสดงการสร้างอาคารจำลอง รูปที่ 4-5



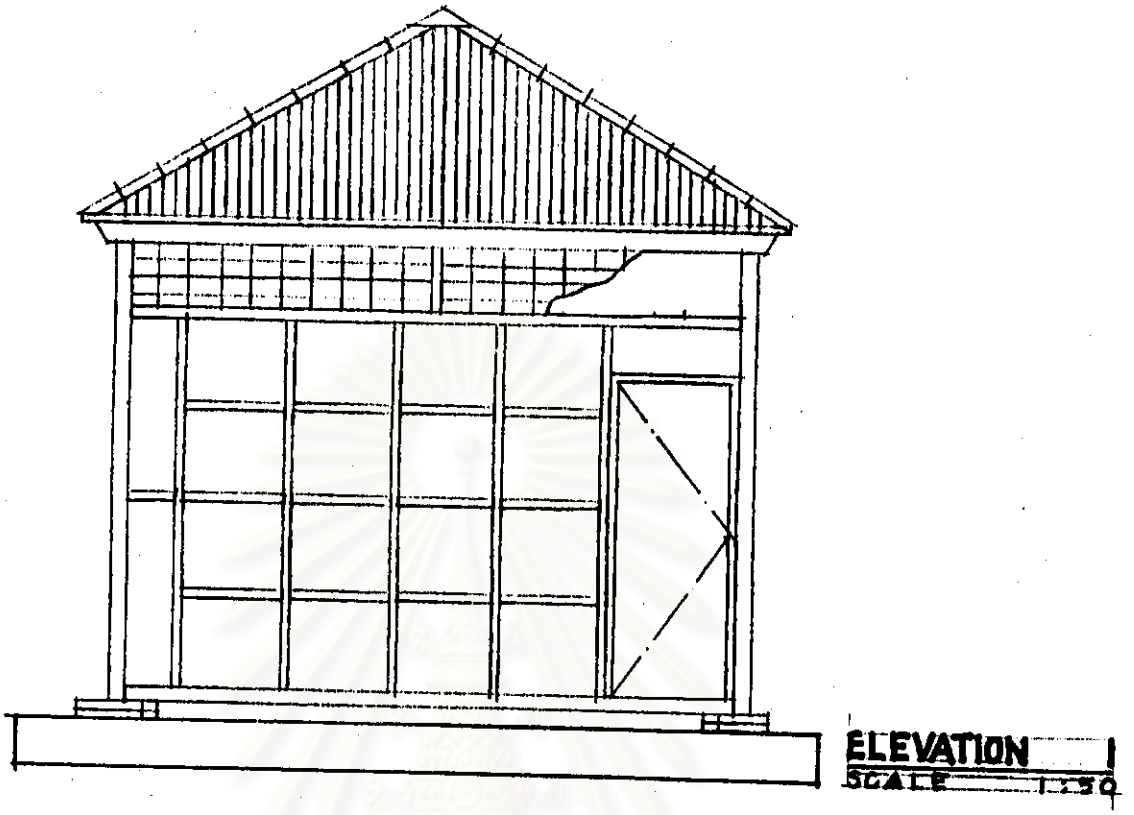
รูปที่ 4-1 ผังแสดงตำแหน่งของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์



รูปที่ 4-2 ผังและผังหลังคาของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

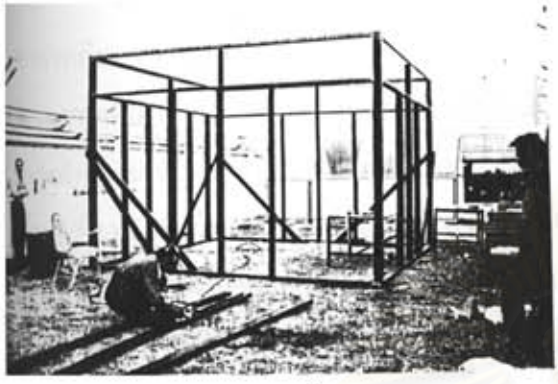


รูปที่ 4-3 รูปตัด ๑.๒ ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์



รูปที่ 4-4 รูปด้าน ๑,๒,๓,๔ ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

รูปที่ 4-5 รูปภาพแสดงขั้นตอนการก่อสร้างอาคารจำลอง

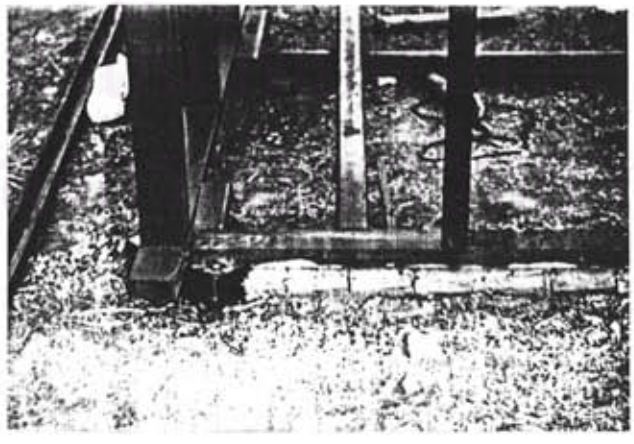


(1) การทำโครงสร้างเหล็กบนพื้นค.ส.ล.ถมด้วยดินอัดแน่น บนดาดฟ้า ชั้น 11 อาคารสถาปัตยกรรมศาสตร์

(2) การทำโครงหลังคาเหล็ก

(3) การปูกระเบื้องหลังคาคอนกรีต ซีแพลโมเนีย สีอิฐอำไพ

(4) การก่อผนังอิฐมอญใน Test Cell สำหรับการศึกษาการปรับปรุงผนัง ของงานวิจัยร่วม



(5) การยกพื้นด้วยการเสริมเหล็กสูงประมาณ 0.12 ม. พร้อมก่ออิฐเสริมโดยรอบ

4.1.2 การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน และการปรับปรุงฝ้าเพดานของอาคารเดิม ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากอาคารจำลองเพื่อศึกษาฝ้าเพดาน ทางด้านวัสดุที่เป็นฝ้าเพดานเดิม ทางด้านการปรับปรุงด้วยการใส่ฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ การระบายอากาศในหลังคา และปัจจัยจากตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ดำเนินการวางฝ้าเพดานและฉนวนกันความร้อน เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลขนาด Test cell 0.60 x 0.60 เมตร วางบนโครงสร้าง T-Bar มีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (ดูภาพประกอบ รูปที่ 4-6)

-กรณีศึกษาฉนวนอลูมินั่มฟอลด์

1. ช่องโล่ง ถึงผิวหลังคาภายใน
2. ช่องโล่ง ถึงผิวหลังคาภายในชนิดมีฟอลด์

-กรณีศึกษาฝ้าเพดาน

3. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดธรรมดา แผ่นที่ 1
4. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดธรรมดา แผ่นที่ 2
5. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดธรรมดา แผ่นที่ 3
6. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดธรรมดา แผ่นที่ 4

-กรณีศึกษาฝ้าเพดานวัสดุประเภทต่าง ๆ

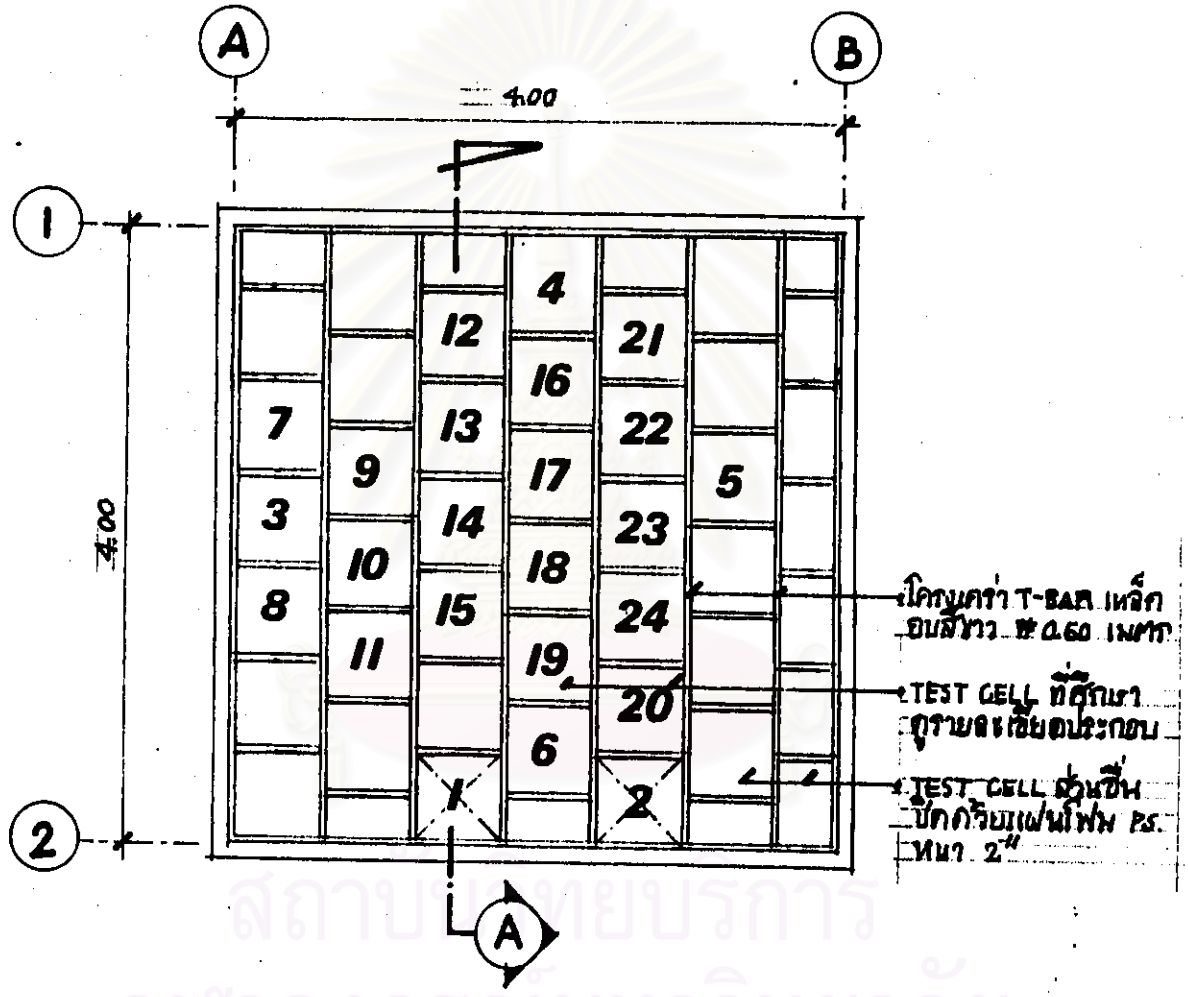
7. แผ่นไม้อัดยาวทาสี หนา 4 มม. ชนิดธรรมดา
8. แผ่นกระเบื้องกระดาษทาสี หนา 4 มม. ชนิดธรรมดา

-กรณีศึกษาฝ้าเพดานวัสดุประเภทต่าง ๆ กับการใส่ฉนวนกันความร้อน

9. แผ่นไม้อัดยางทาสี หนา 4 มม. วางด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว หุ้มด้วยฟอยล์
10. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. วางด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว หุ้มด้วยฟอยล์
11. แผ่นกระเบื้องกระดาษทาสี หนา 4 มม. วางด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว หุ้มด้วยฟอยล์

-กรณีศึกษาฝ้าเพดานกับฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ

12. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. วางฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว (Fibre Glass)
13. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. วางฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว (Fibre Glass)
14. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. วางฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว (Fibre Glass)
15. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. วางฉนวนใยแก้วหนา 8 นิ้ว (Fibre Glass)
16. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดมีฟอยล์
17. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ชนิดมีฟอยล์โรยแป้ง



REFLECTED CEILING PLAN

SCALE 1 : 50

รูปที่ 4-6 Reflected Ceiling Plan ของอาคารจำลอง อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

18. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. พ่นด้วยฉนวน Cellulose Fibre หนา 1 นิ้ว

19. แผ่น Ceiling Board พร้อมฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว

20. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ทาฉนวนใยหินหนา 1 นิ้ว (Rock Fibre)

21. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ทาฉนวนใยหินหนา 2 นิ้ว (Rock Fibre)

22. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ทาฉนวนใยหินหนา 4 นิ้ว (Rock Fibre)

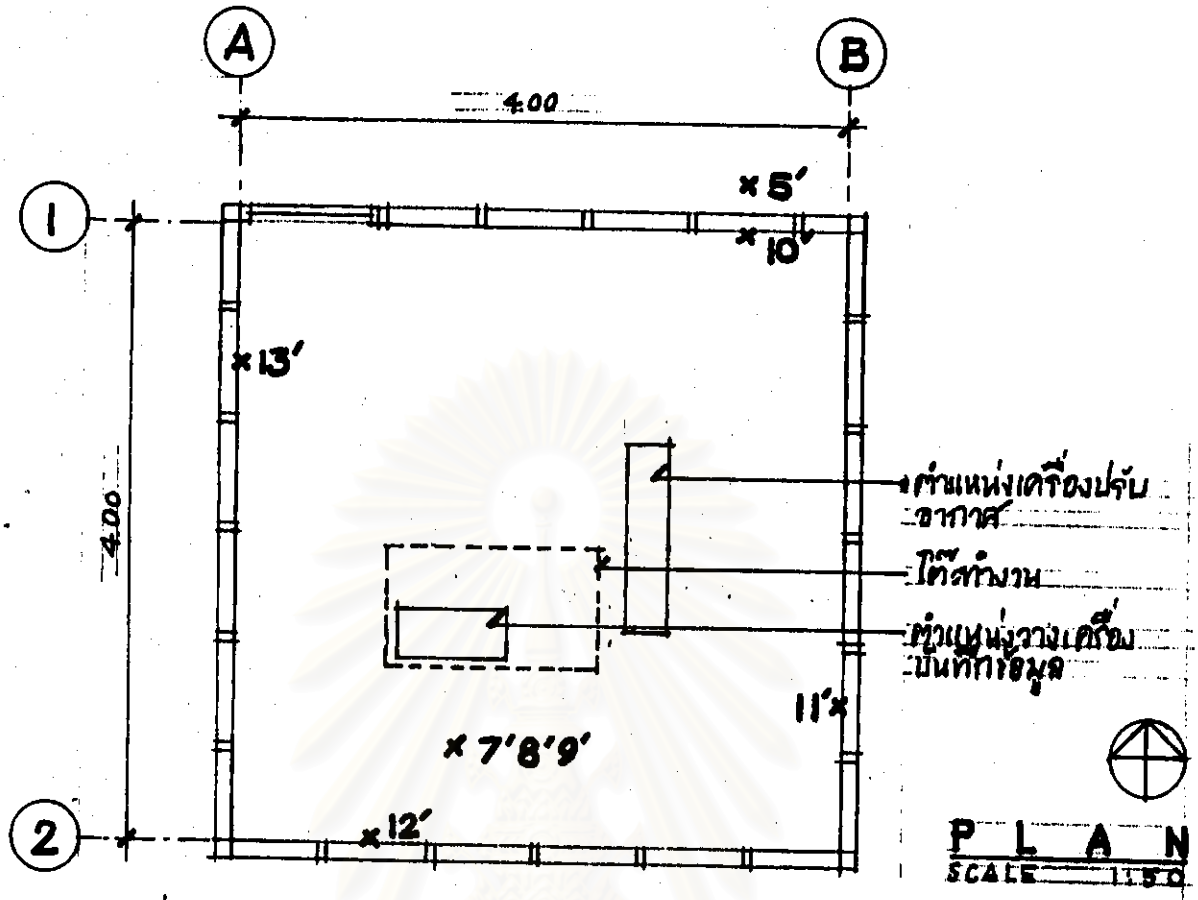
23. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ทาฉนวนใยหินหนา 6 นิ้ว (Rock Fibre)

24. แผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ทาฉนวนใยหินหนา 8 นิ้ว (Rock Fibre)

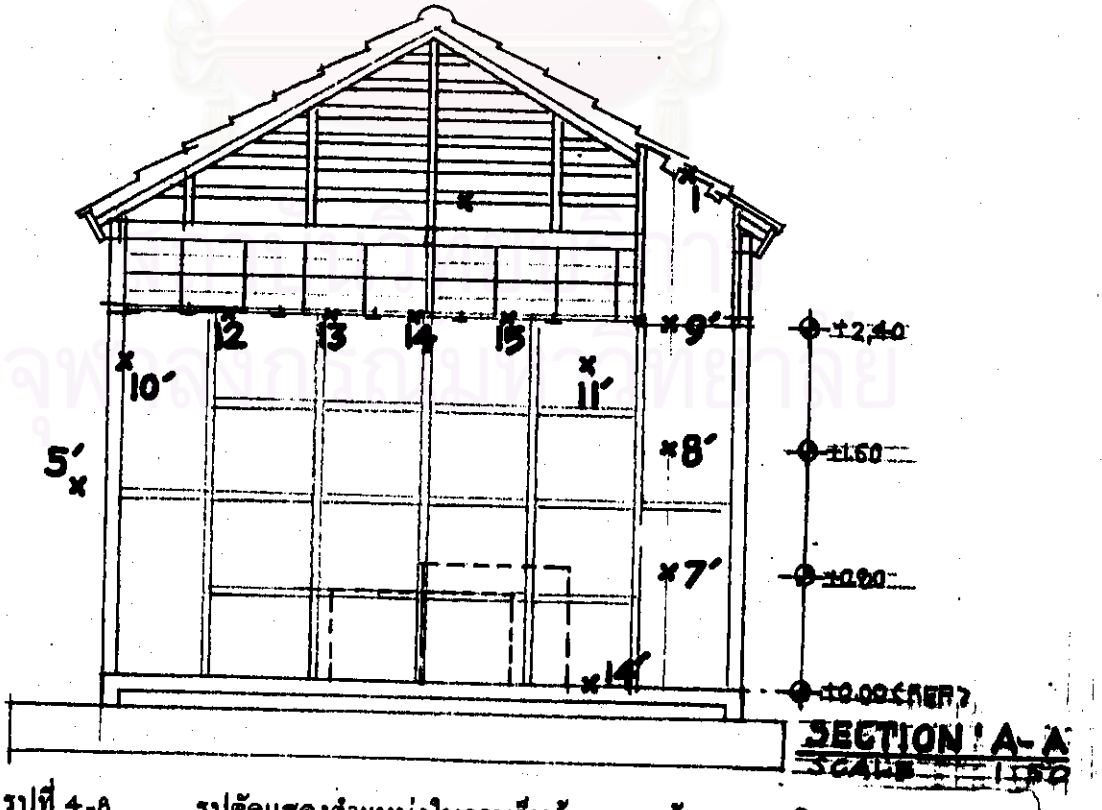
ตำแหน่งและตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านอุณหภูมิ ที่ดำเนินการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของอาคารจำลองมีดังนี้ (ดูภาพประกอบ รูปที่ 4-7 และ รูปที่ 4-8)

1. อุณหภูมิผิวหลังคาทิศเหนือ
2. อุณหภูมิผิวหลังคาทิศตะวันตก
3. อุณหภูมิผิวหลังคาทิศใต้
4. อุณหภูมิผิวหลังคาทิศตะวันตก
5. อุณหภูมิอากาศภายนอก
6. อุณหภูมิอากาศภายในหลังคา
7. อุณหภูมิอากาศภายในห้อง + 0.60
8. อุณหภูมิอากาศภายในห้อง + 1.80
9. อุณหภูมิอากาศภายในห้อง + 2.40
10. อุณหภูมิผิวผนังภายในทิศเหนือ
11. อุณหภูมิผิวผนังภายในทิศตะวันออก
12. อุณหภูมิผิวผนังภายในทิศใต้
13. อุณหภูมิผิวผนังภายในทิศตะวะนตก
14. อุณหภูมิผิวพื้น
15. ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน
16. ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก
17. พลังงานการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

วันที่ทำการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล กำหนดวันศุกร์ ที่ 11 เมษายน 2540 เวลา 6.00 น. จนถึงวันอาทิตย์ ที่ 13 เมษายน 2540 เวลา 9.00 น. - 18.00 น. สำหรับหลังคาระบบเปิดไม่มีการระบายอากาศ ข้อมูลที่ได้ ดูตารางในภาคผนวก/ค. ประกอบ ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลแสดงดังภาพประกอบ รูปที่ 4-9 และ รูปที่ 4-10



รูปที่ 4-7 ผังแสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิของอาคารจำลอง



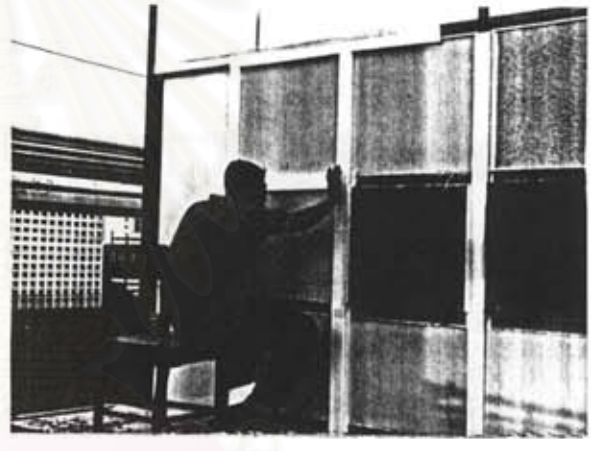
รูปที่ 4-8 รูปตัดแสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิของอาคารจำลอง

รูปที่ 4-9(1) รูปภาพการเตรียมอาคารจำลองสำหรับการเก็บข้อมูล (ภาพประกอบ 1-14)

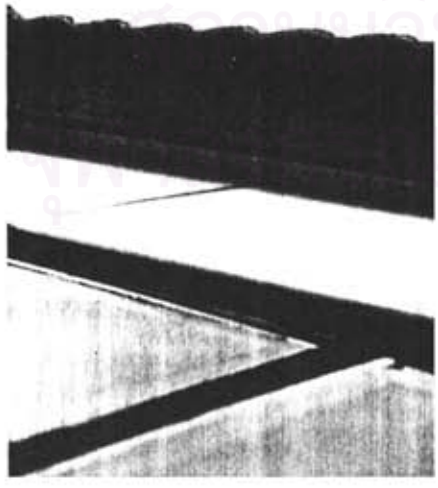
(1) การปิดผนังโดยรอบด้วยแผ่นโฟม นอกเหนือจาก Test Cell ของการศึกษาผนังของงานวิจัยอื่น

(2) อาคารจำลองทั่วไปด้านนอก

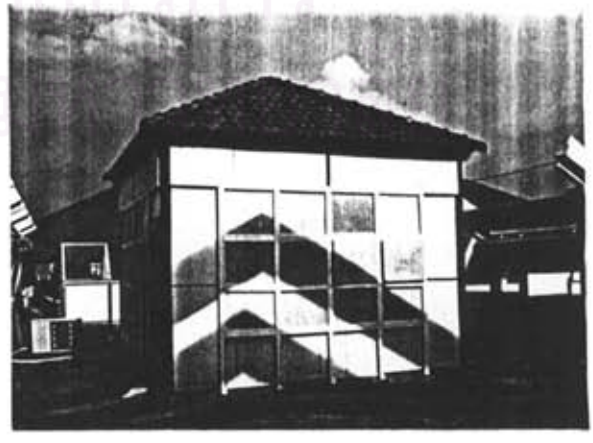
(3) การเตรียมแผ่นโฟมเพื่อปิดตามรอยโครงสร้างภายนอก



(4) การปิดแผ่นโฟมป้องกันความร้อนที่จะถ่ายเทเข้ามาทางเหล็กโครงสร้างและรอยต่อทั้งหมด (Infiltration)



(5) การปิดแผ่นโฟมได้ไม้เชิงชาย เพื่อควบคุมการระบายอากาศภายในโครงหลังคา

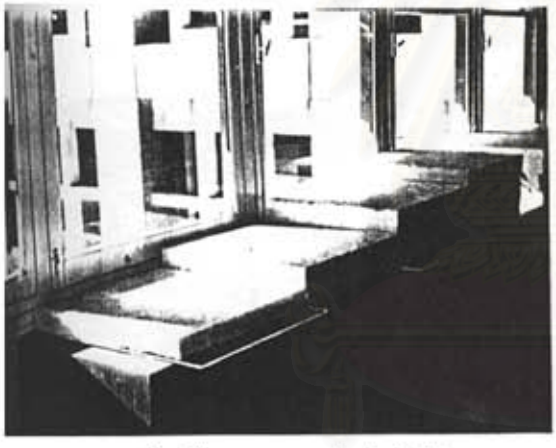


(6) อาคารจำลองทั่วไปภายนอก หลังจากปิดแผ่นโฟมแล้ว

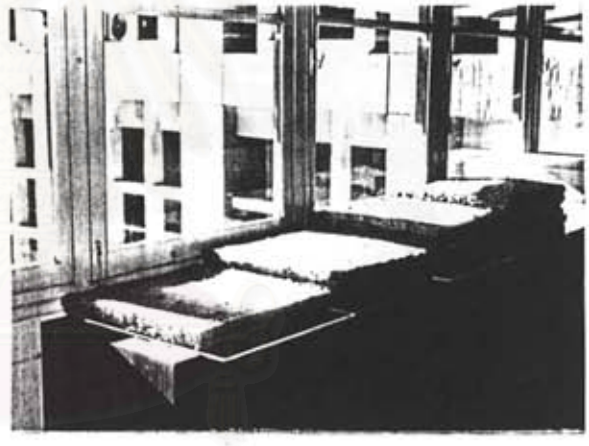
รูปที่ 4-9(2) รูปภาพการเตรียมอาหารจำลองสำหรับการเก็บข้อมูล (ภาพประกอบ 1-14)

(7) การเตรียมแผ่นฉนวนใยหิน

(8) การทาสีฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดให้มีลักษณะเหมือนการใช้งานจริง



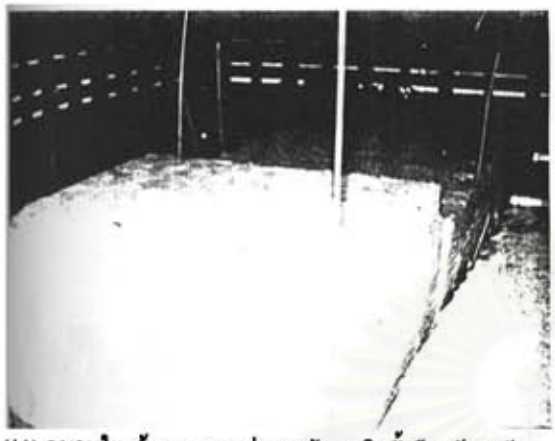
(9) ฉนวนใยแก้วความหนา 2",4",6",8"



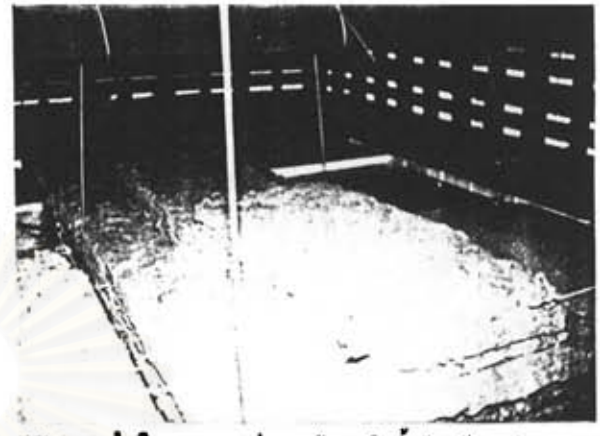
(10) ฉนวนใยหิน ความหนา 2",4",6",8"

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

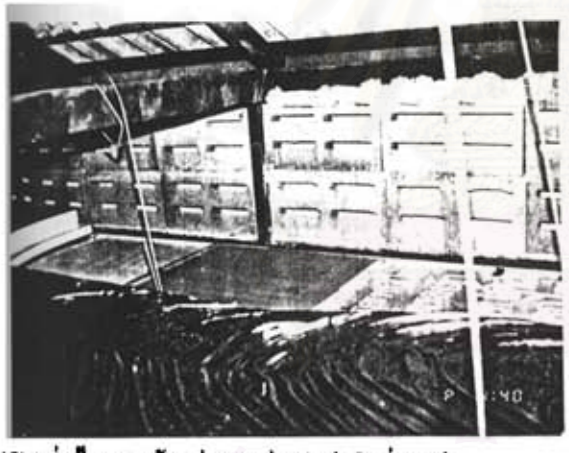
รูปที่ 4-9(3) รูปภาพการเตรียมอาคารจำลองสำหรับการเก็บข้อมูล (ภาพประกอบ 1-14)



(11) ฉนวนใยแก้วความหนาต่างๆหลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว



(12) ฉนวนใยหินความหนาต่างๆหลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว



(13) แผ่นฝ้าพลาสวัสดุประเภทต่างๆ แผ่นยิบซั่มบอร์ด, แผ่นไม้อัดยางและแผ่นกระเบื้องกระดาษ และการวางฉนวนใยแก้วชนิดหุ้มฟอยล์ หลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

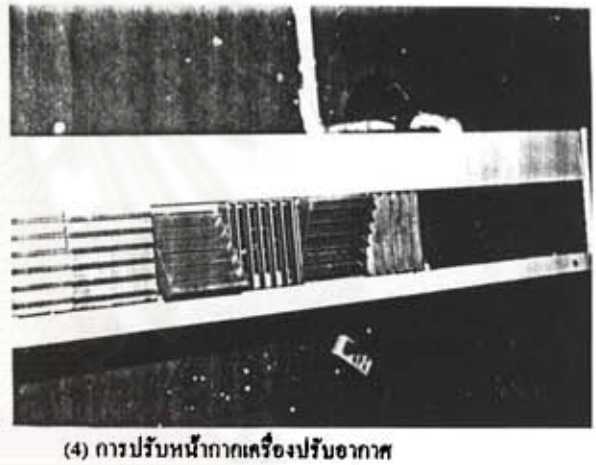
(14) แผ่นฝ้าพลาสยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา ,ชนิดมีฟอยล์ , ชนิดมีฟอยล์/โรบแป้ง ,พ่นด้วยฉนวนเส้นใยเซลลูโลส และแผ่นซิลลิ่งบอร์ดบุฉนวนใยแก้วหนา 1" หลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 4-10 (1) รูปภาพแสดงการเก็บข้อมูลอาคารจำลองชั้น 11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540 (ภาพประกอบ 1-17)

(1) สภาพท้องฟ้าแจ่มใส วันที่ 12 เมษายน 2540

(2) อาคารจำลองภายนอกโดยทั่วไป

(3) เครื่องวัดอุณหภูมิประเภท Switcher และเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล Data Locker หลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

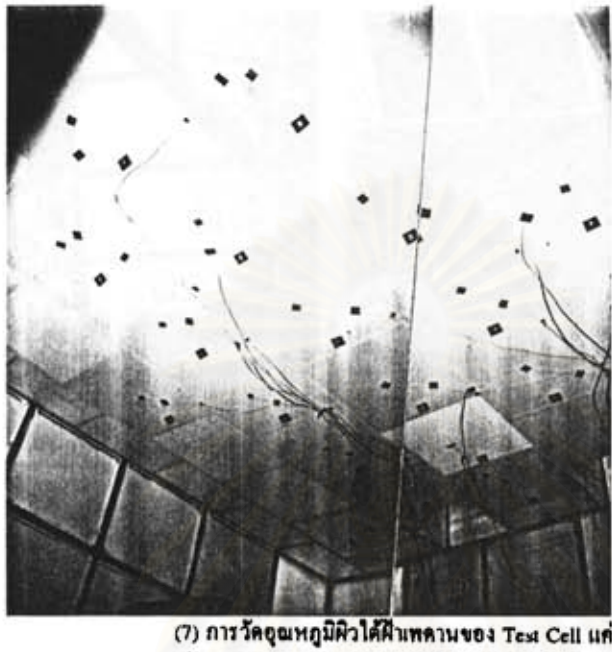


(4) การปรับหน้ากากเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้อากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในห้อง

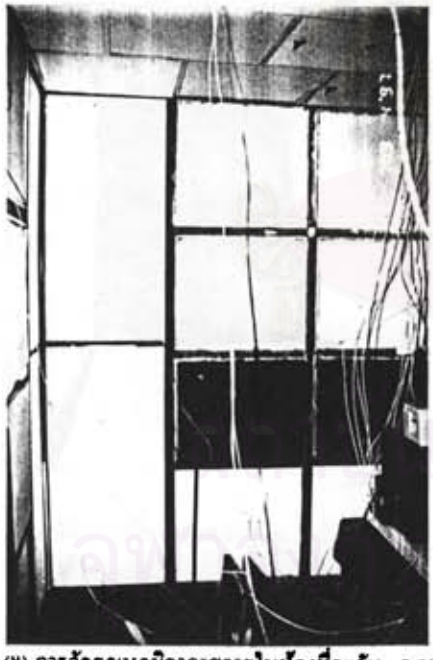
(5) การคุมผ้าเหนือเครื่องปรับอากาศ กันแอร์เป่าฝ้าแพดานโดยตรง

(6) สภาพทั่วไปในห้องขณะเก็บรวบรวมข้อมูล

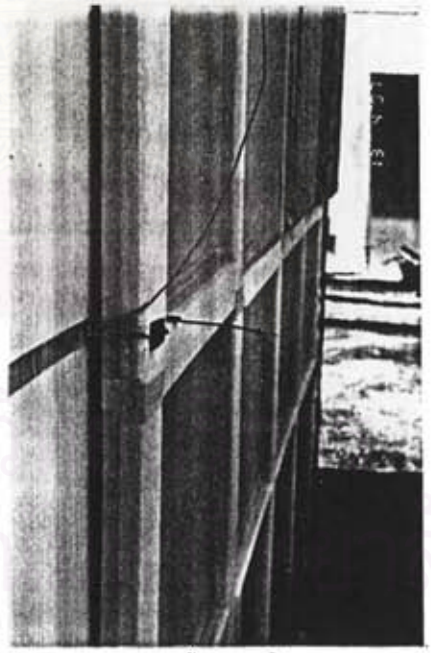
รูปที่ 4-10 (2) รูป ภาพแสดงการเก็บข้อมูลอาคารจำลองชั้น 11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540 (ภาพประกอบ 1-17)



(7) การวัดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานของ Test Cell แต่ละประเภท



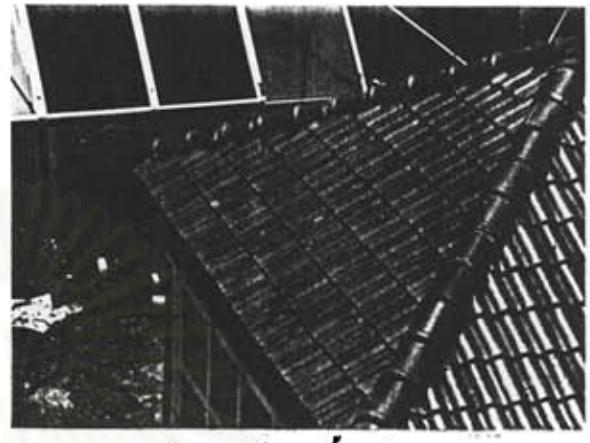
(8) การวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ระดับ +0.80,+1.60 และ+2.40 เมตร



(9) การวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก

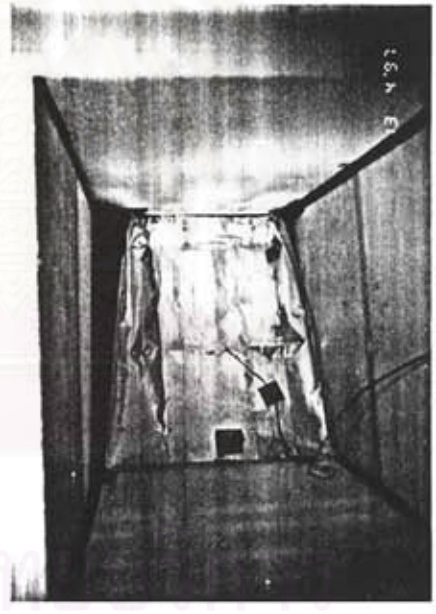
รูปที่ 4-10 (3) รูปภาพแสดงการเก็บข้อมูลอาคารจำลองชั้น 11 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540 (ภาพประกอบ 1-17)

(10) การวัดอุณหภูมิอากาศภายในหลังคา



(11) การวัดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาภายนอก

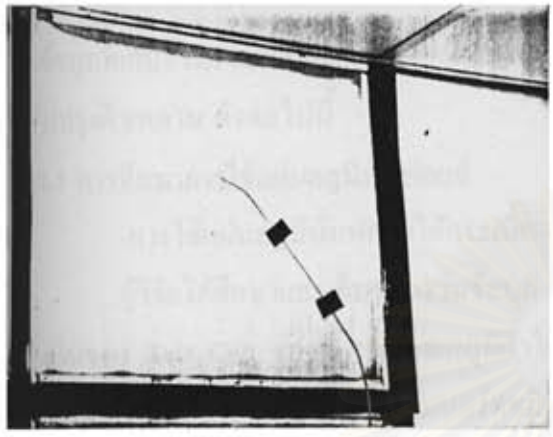
(12) การวัดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาภายใน



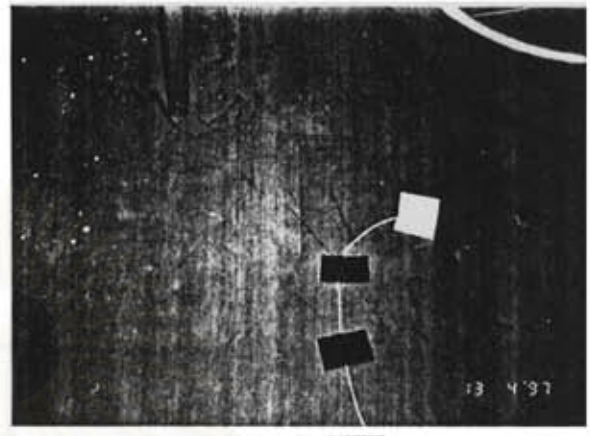
(13) การวัดอุณหภูมิผิวกระเบื้องหลังคาบุแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-10 (4) รูปภาพแสดงการเก็บข้อมูลอาคารจำลองชั้น 11 อาคารพณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540 (ภาพประกอบ 1-17)

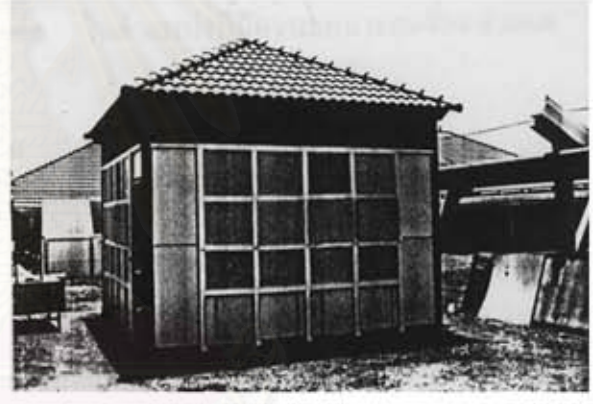


(14) การวัดอุณหภูมิผิวผนังภายใน



(15) การวัดอุณหภูมิผิวพื้นภายใน

(16) การวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก



(17) อาคารจำลองขณะที่ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล
หลังการระบบระบายอากาศ วันที่ 13 เม.ย. 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การวิเคราะห์และประเมินผล

การศึกษาถึงความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระดับฝ้าเพดาน ของอาคารจำลองที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ และประเมินผลเพื่อหาความเหมาะสมของการเลือกใช้การปรับปรุงฝ้าเพดาน ดังต่อไปนี้

4.2.1 การศึกษาการใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์

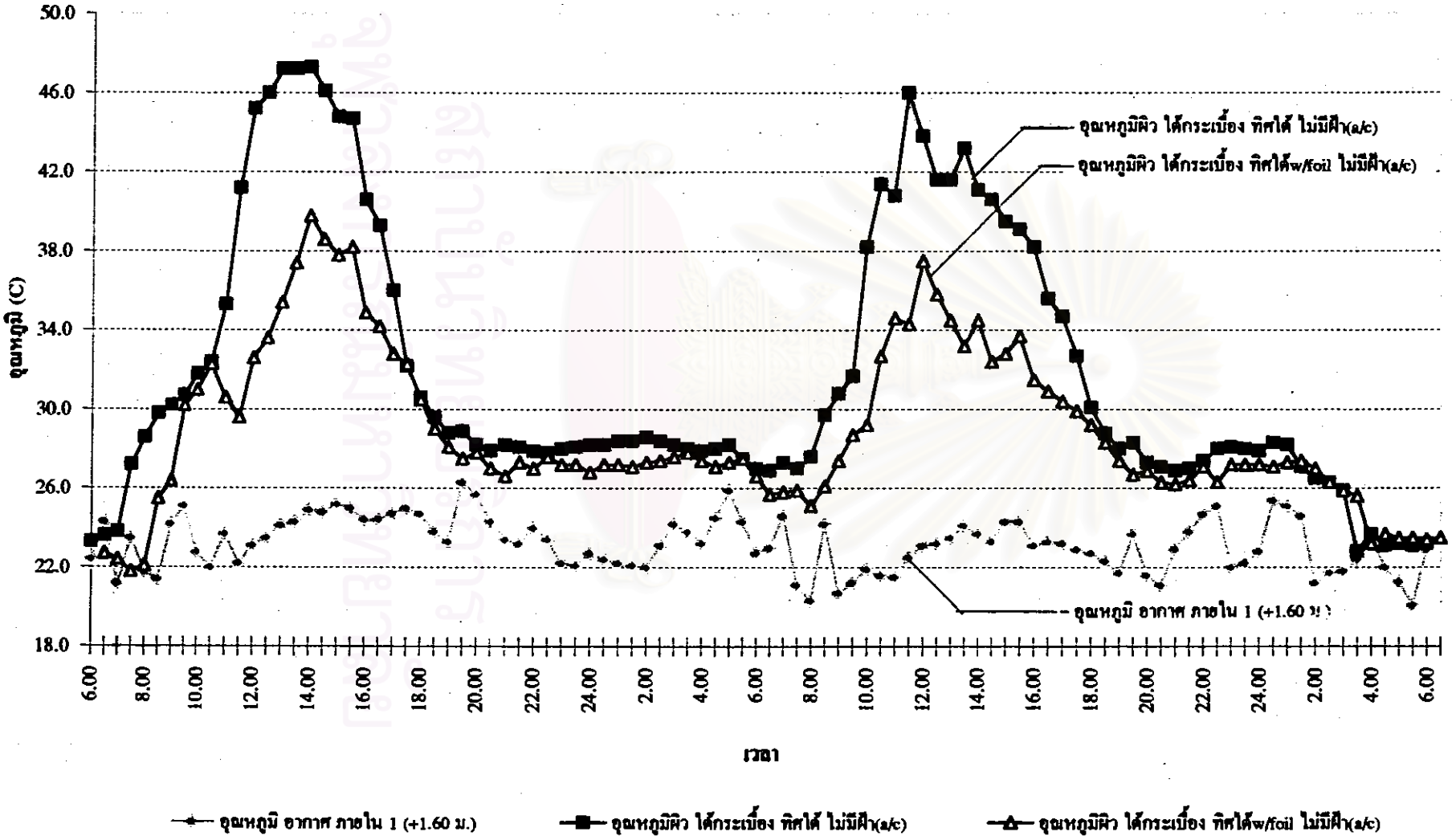
-การใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ใต้กระเบื้องหลังคา

ผู้วิจัยได้ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวใต้กระเบื้องหลังคาธรรมดาภายในของ Test Cell ช่องที่ 1, อุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องที่ติดแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ช่องที่ 2 และอุณหภูมิภายในห้องผิวฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา (GB.2) เทียบกับอุณหภูมิห้อง ระดับ +1.60 เมตร (ดูภาพประกอบ รูปที่ 4-6 และกราฟประกอบ รูปที่ 4-11) จะพบว่าการใช้อลูมินั่มฟอยล์ ที่ใต้กระเบื้องหลังคาภายในจะช่วยลดอุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องได้ถึง 7-8องศาเซลเซียส ในช่วงกลางวัน ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ในตำแหน่งนี้มีความเหมาะสมที่จะช่วยลดอุณหภูมิในอาคารลง

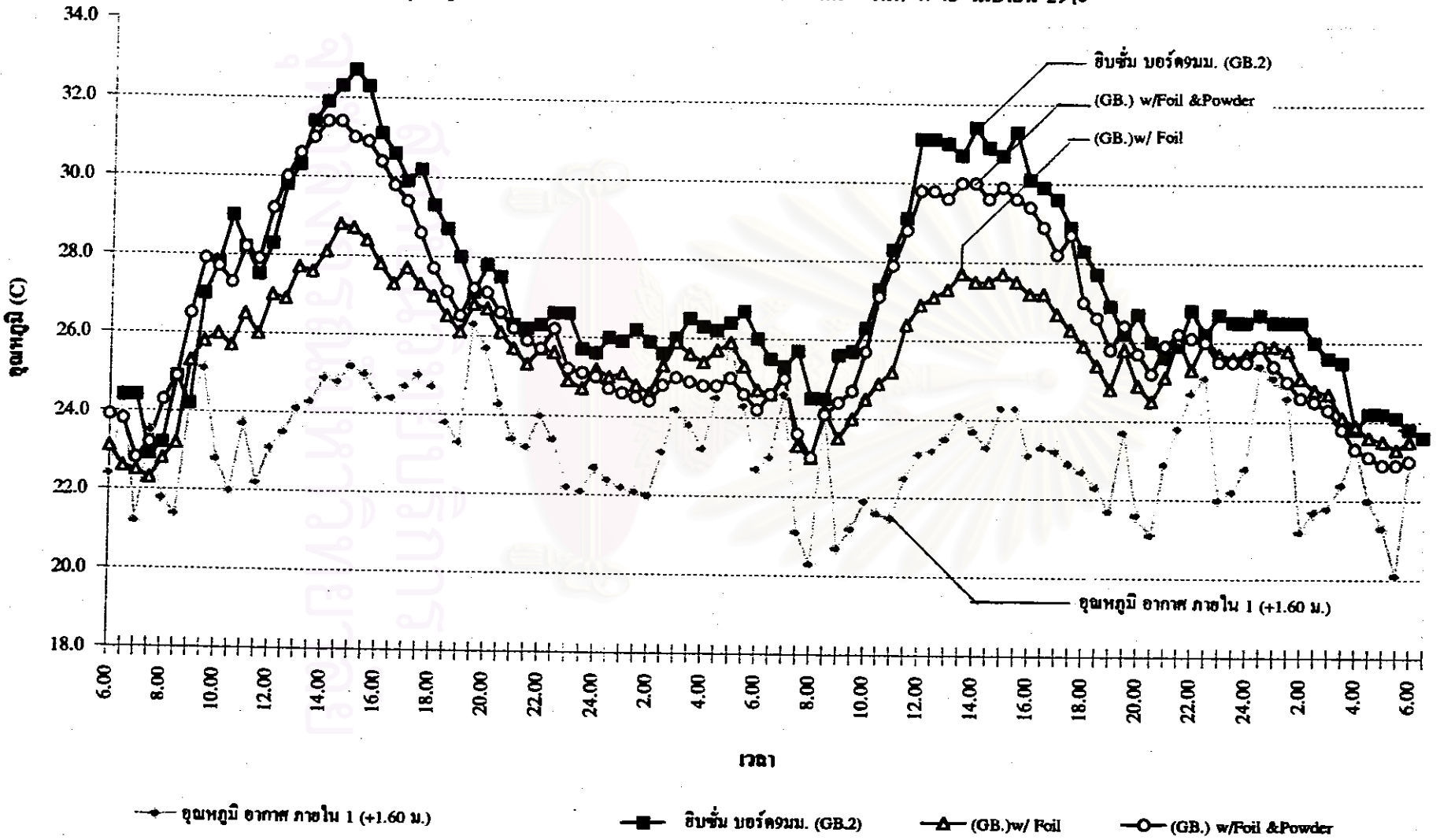
-การใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์เหนือฝ้าเพดาน

ผู้วิจัยได้ศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูล อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา (GB.2) อุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด ชนิดบุอลูมิเนียมฟอยล์ และโรยแป้งเสมือนเป็นฝุ่นที่เกาะอยู่ในสภาพเป็นจริงเมื่อเวลานานขึ้นที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (ดูกราฟประกอบ รูปที่ 4-12) จะพบว่า ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดชนิดมีแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ จะช่วยลดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดได้ลงถึง 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนของแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ เพราะอลูมินั่มฟอยล์ โดยคุณสมบัติในตัวเองแล้วจะไม่มีค่าความเป็นฉนวนเลย แต่เมื่อเวลานานขึ้น จะเกิดฝุ่นมาสะสมที่เหนือแผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดมีแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ทำให้คุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ลดลง อุณหภูมิที่ควรจะลดลงได้ถึง 4- 5 องศาเซลเซียส จะเหลือเพียง 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น ในช่วงเวลากลางวันซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวใต้เพดานยิบซั่มบอร์ด ชนิดธรรมดา ดังนั้นการใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์วางแนวระนาบเหนือฝ้าเพดานเมื่อเวลานานขึ้นจะไม่ช่วยให้อุณหภูมิในอาคารลดลงเท่าใดนัก

รูปที่ 4-11 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องหลังคาแบบธรรมดา และแบบมีแผ่นอลูมินั่มฟอยล์
ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540



รูปที่ 4-12 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดา,แบบมีแผ่นฟอยล์,แบบมีแผ่นฟอยล์/โรยแป้ง
เทียบกับอุณหภูมิห้อง ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540



4.2.2 การศึกษาวัสดุฝ้าเพดาน

จากการศึกษาอาคารจริงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะพบว่ามีการใช้วัสดุฝ้าเพดานภายในอาคารทั้งเก่าและใหม่หลายประเภทตั้งแต่แผ่นกระเบื้องกระดาษ (Asbestos) แผ่นไม้อัดยางทาสี แผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา และแผ่น Acoustic เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกวัสดุตัวอย่างของฝ้าเพดานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป 3 ประเภทมาศึกษา คือ แผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา หนา 9 มม. แผ่นไม้อัดยางทาสี หนา 4 มม. และแผ่นกระเบื้องกระดาษทาสี หนา 4 มม. มาศึกษาเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของวัสดุฝ้าเพดานทั้ง 3

-การใช้แผ่นวัสดุฝ้าเพดานแบบธรรมดา

โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านอุณหภูมิที่ผิวใต้เพดานยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา (# 3) , ฝ้าเพดานแผ่นไม้อัดยางทาสี หนา 4 มม. (# 8) และฝ้าเพดานแผ่นกระเบื้องกระดาษทาสี หนา 4 มม. (# 9) เทียบกับอุณหภูมิภายในห้องระดับ + 1.60 เมตร (ดูกราฟประกอบ รูปที่ 4-13) จะพบว่าอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานของวัสดุฝ้าเพดานทั้ง 3 ประเภท ในแต่ละช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกัน ในด้านของการป้องกันความร้อนของวัสดุทั้ง 3 ไม่แตกต่างกัน ประกอบกับราคาของวัสดุทั้ง 3 ประเภทต่อแผ่น ขนาด 1.20 x 2.40 เมตร ก็ใกล้เคียงกัน ราคาประมาณแผ่นละ 120 - 125 บาท ดังนั้น ในการเลือกใช้วัสดุฝ้าเพดาน จึงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติในด้านอื่น คือ ความสะดวกในการใช้งาน ผู้วิจัยพิจารณาว่า แผ่นเพดานยิบซั่มบอร์ดเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก มีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ป้องกันไฟ และป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า จึงเลือกแผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสีชนิดธรรมดาขนาด 9 มม. เป็นวัสดุพื้นฐานในการทดลองต่อไป

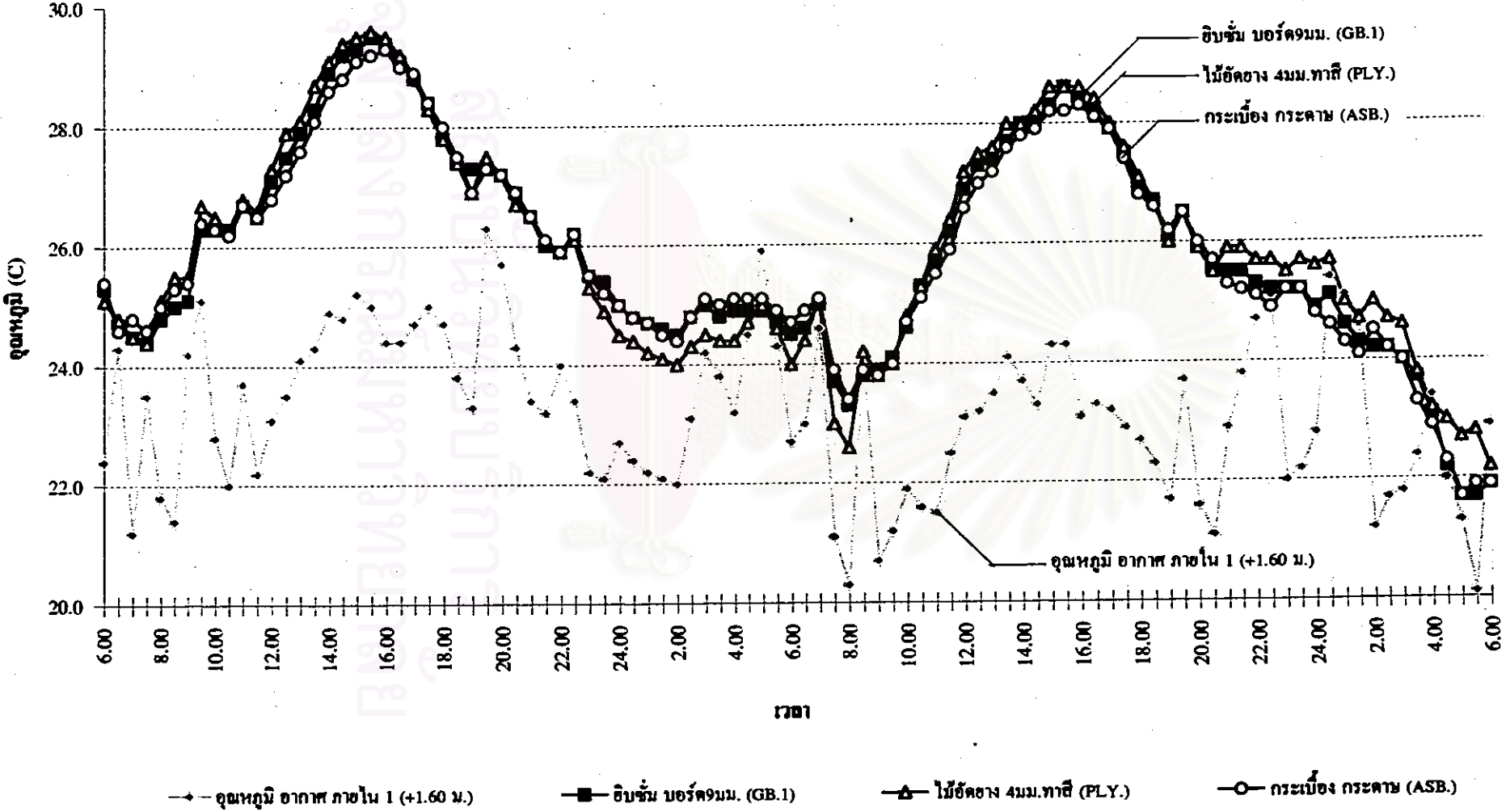
-การใช้แผ่นวัสดุฝ้าเพดานกับฉนวนกันความร้อน

ในการศึกษานี้เลือกตัวแปรของฉนวนกันความร้อนให้คงที่ ได้แก่ ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ชนิดหุ้มอลูมินั่มฟอยล์ และศึกษากับวัสดุฝ้าเพดานแบบธรรมดาทั้ง 3 ประเภท (ฝ้าเพดาน # 10, # 11, # 12) เหมือนกรณีแรก พิจารณาดูค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานทั้ง 3 ประเภท เทียบกับอุณหภูมิภายในห้อง ระดับ + 1.60 เมตร (ดูกราฟประกอบ รูปที่ 4-14) จะพบว่าอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานของวัสดุฝ้าเพดานทั้ง 3 ประเภท ในแต่ละช่วงมีค่าใกล้เคียงกัน และลดลงเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ไม่มีฉนวนกันความร้อนกรณีแรก

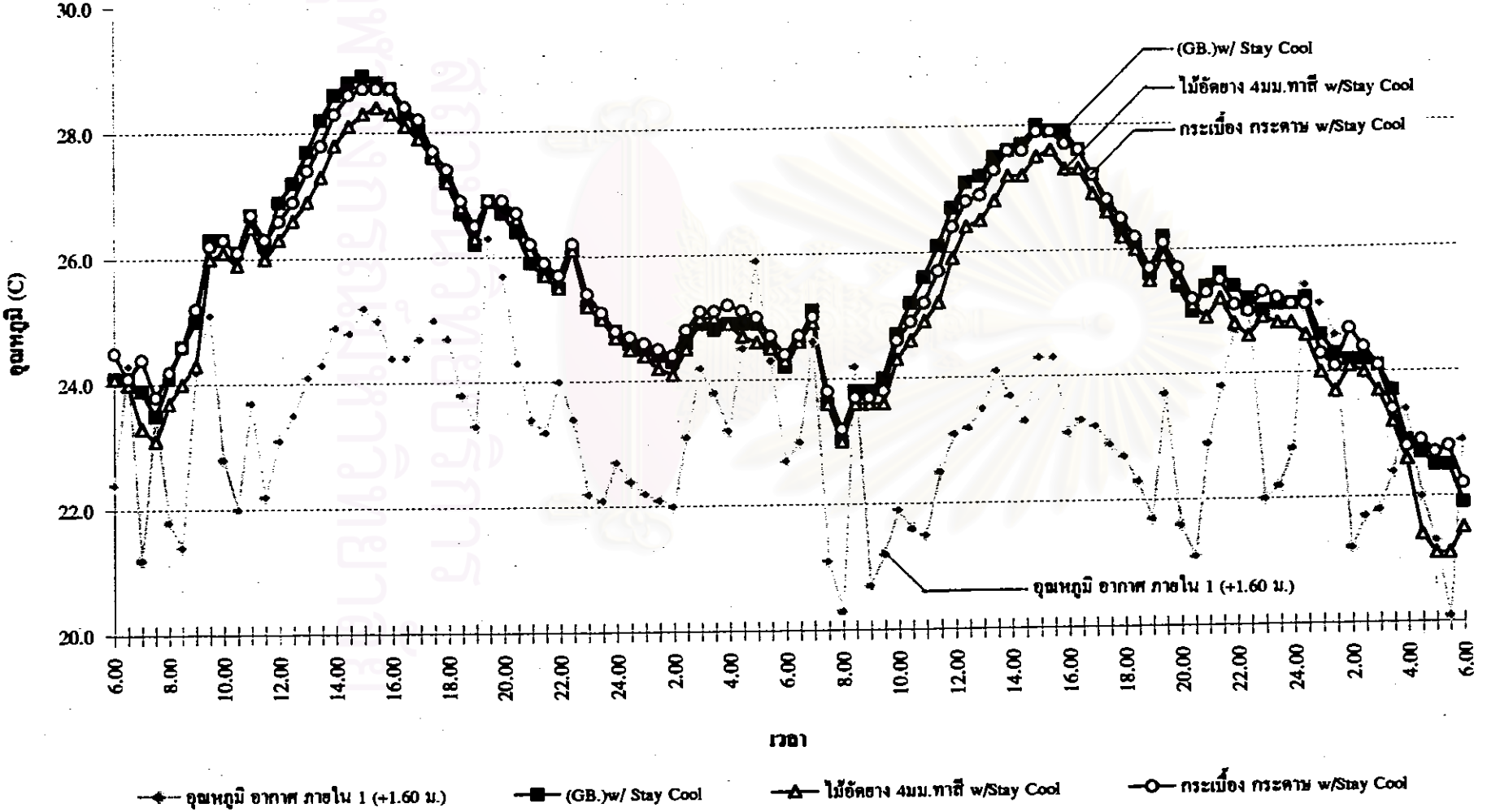
.....

หมายเหตุ : กรณีทดสอบการใช้วัสดุฝ้าเพดานกับฉนวนกันความร้อน ใช้ฉนวนใยแก้วหุ้มอลูมินั่มฟอยล์ ของ บริษัท สยามไฟเบิร์กลาส จำกัด รุ่น STAY COOL

รูปที่ 4-13 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานชิบชั่มบอร์ดทาสี,แผ่นไม้อัดยางทาสีและแผ่นกระเบื้องกระดาษ แบบธรรมดา
เทียบกับอุณหภูมิห้อง ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์ วันที่ 11-13 เมษายน 2540



รูปที่ 4-14 กราฟที่แสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดทาสี,แผ่นไม้อัดยางทาสีและแผ่นกระเบื้องกระดาษ
แบบวางฉนวนใยแก้วหนา 2"หุ้มฟอยล์ เทียบกับอุณหภูมิห้อง ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



4.2.3 การศึกษาการระบายอากาศใต้หลังคา

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในหลังคาระบบปิด ของวันที่ 12 เมษายน 2540 ช่วงเวลา 9.00 - 18.00 น. และอุณหภูมิอากาศภายในหลังคาของระบบที่มีการระบายอากาศ ของวันที่ 13 เมษายน 2540 ช่วงเวลา 9.00 - 18.00 น. ของวันที่มีสภาพท้องฟ้าแจ่มใสเช่นเดียวกัน ในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ภาระการทำความเย็นมากอยู่แล้ว พิจารณาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศภายในหลังคา ของทั้งสองกรณี (ดังตารางที่ 4-1 และกราฟประกอบ รูปที่ 4-15)

จะพบอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในหลังคา ของหลังคาระบบปิดและหลังคาระบบระบายอากาศ มีค่า 33.1 และ33.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงว่าอุณหภูมิอากาศภายในหลังคาระบบระบายอากาศ ในช่วงเวลากลางวัน 9.00-18.00 น. มีผลกระทบมาจากอากาศภายนอกเป็นสำคัญ เมื่อพิจารณาถึงค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางฝ้าเพดาน จะพบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาระบบระบายอากาศลดลง ประมาณ 8% เมื่อเทียบกับหลังคาระบบปิด แต่ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นว่า หลังคาระบบระบายอากาศช่วยลดพลังงานความร้อนได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้มีปัจจัยตัวแปรสำคัญคือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง นั่นเอง ซึ่งจากการเก็บข้อมูลวันที่ศึกษา หลังคาระบบระบายอากาศ มีอุณหภูมิอากาศภายในห้องเฉลี่ยสูงกว่า วันที่ศึกษาหลังคาระบบปิด และความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ที่ไม่ได้เก็บจากอาคารจำลองเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน นั่นเอง

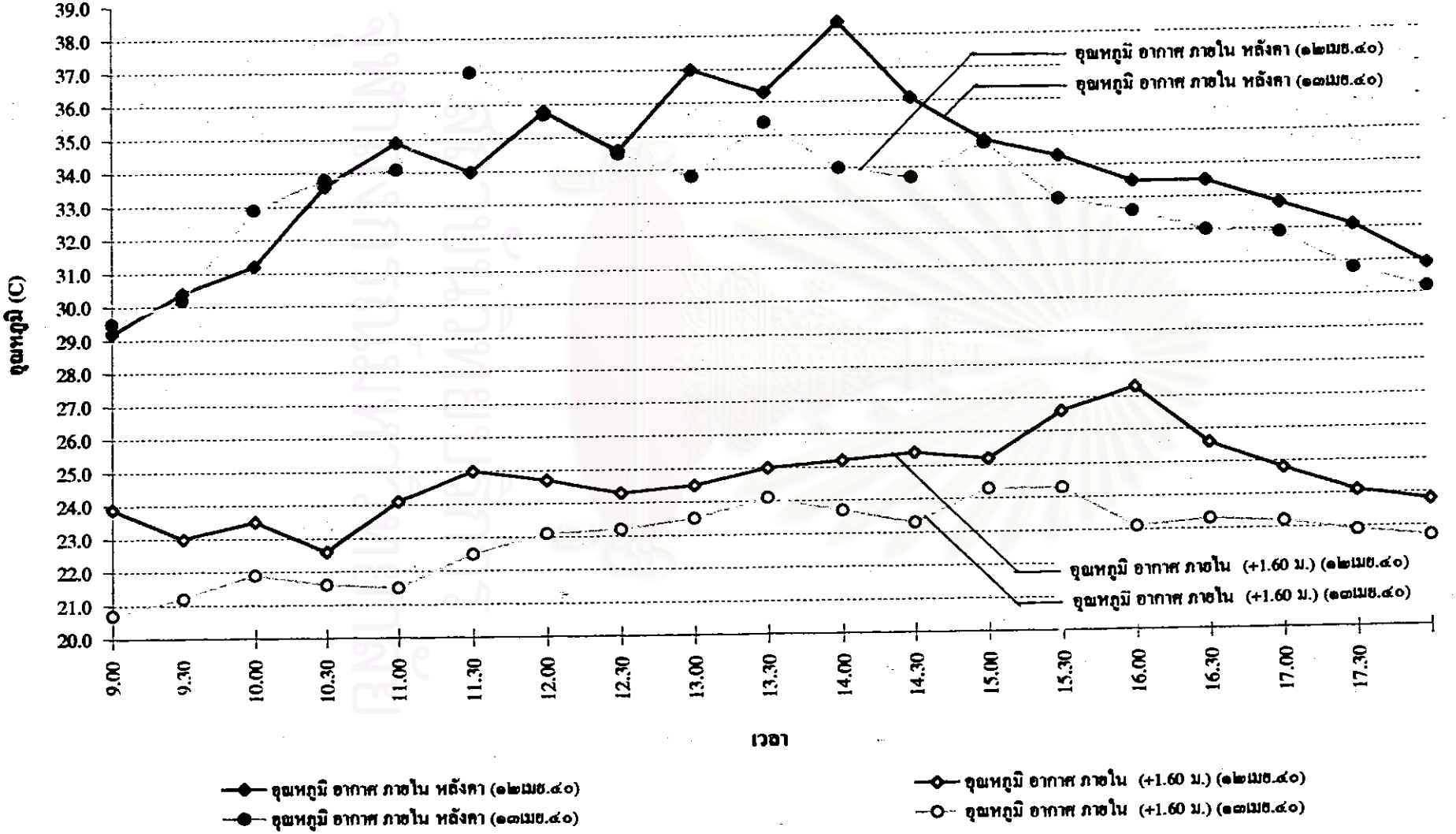
สรุปได้ว่า หลังคาระบบระบายอากาศไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคาร ช่วงเวลากลางวันเท่าใดนัก เนื่องจากผลกระทบจากอากาศภายนอก ดังนั้นการวางฉนวนกันความร้อนทางหลังคาให้แก่อาคาร ตำแหน่งที่เหมาะสมของหลังคาที่มีการถ่ายเทอากาศ คือ ตำแหน่งเหนือฝ้าเพดานห้อง เพราะจะช่วยป้องกันผลกระทบจากอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามาแทนที่ นั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าเปรียบเทียบพลังงานที่ถ่ายเทเข้าทางหลังคา ระบบปิด(วันที่ 12 เมษายน 2540)และหลังคาระบบระบายอากาศ (วันที่ 13 เมษายน 2540)

ข้อมูลจาก หลังคาระบบปิด (วันที่ 12 เมษายน 2540)									ข้อมูลจาก หลังคาระบบระบายอากาศ (วันที่ 13 เมษายน 2540)								
เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในหลังคา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน 1 (+1.60 ม.)	อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานอิฐชั้นบอร์ดหนา	Tceil-Trm (C)	Tceil-Trm (F)	Qceil (BTU/Hr.Sq.ft.F)	Qceil (Watt/Sq.m.)	เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในหลังคา	อุณหภูมิอากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายใน 1 (+1.60 ม.)	อุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานอิฐชั้นบอร์ดหนา	Tceil-Trm (C)	Tceil-Trm (F)	Qceil (BTU/Hr.Sq.ft.F)	Qceil (Watt/Sq.m.)
9.00	29.5	29.7	20.7	25.7	5.0	9.00	9.72	30.62	9.00	29.2	29.6	23.9	25.0	1.1	1.98	2.14	6.74
9.30	30.2	30.2	21.2	26.3	5.1	9.18	9.91	31.23	9.30	30.4	30.5	23.0	26.5	3.5	6.30	6.80	21.43
10.00	32.9	37.2	21.9	27.3	5.4	9.72	10.50	33.07	10.00	31.2	31.1	23.5	28.0	4.5	8.10	8.75	27.56
10.30	33.8	32.3	21.6	28.3	6.7	12.06	13.02	41.03	10.30	33.6	32.8	22.6	29.0	6.4	11.52	12.44	39.19
11.00	34.1	33.4	21.5	29.1	7.6	13.68	14.77	46.54	11.00	34.9	34.4	24.1	31.8	7.7	13.86	14.97	47.15
11.30	37.0	34.5	22.5	31.1	8.6	15.48	16.72	52.66	11.30	34.0	32.8	25.0	30.1	5.1	9.18	9.91	31.23
12.00	35.7	34.0	23.1	31.1	8.0	14.40	15.55	48.99	12.00	35.8	33.6	24.7	31.8	7.1	12.78	13.80	43.48
12.30	34.5	32.9	23.2	31.0	7.8	14.04	15.16	47.76	12.30	34.6	33.4	24.3	31.8	7.5	13.50	14.58	45.93
13.00	33.8	33.1	23.5	30.7	7.2	12.96	14.00	44.09	13.00	37.0	33.9	24.5	32.5	8.0	14.40	15.55	48.99
13.30	35.4	34.7	24.1	31.4	7.3	13.14	14.19	44.70	13.30	36.3	33.4	25.0	32.8	7.8	14.04	15.16	47.76
14.00	34.0	33.3	23.7	30.9	7.2	12.96	14.00	44.09	14.00	38.4	33.7	25.2	32.8	7.6	13.68	14.77	46.54
14.30	33.7	33.8	23.3	30.7	7.4	13.32	14.39	45.31	14.30	36.1	34.4	25.4	32.9	7.5	13.50	14.58	45.93
15.00	34.7	32.1	24.3	31.3	7.0	12.60	13.61	42.87	15.00	34.8	33.2	25.2	33.0	7.8	14.04	15.16	47.76
15.30	33.0	31.2	24.3	30.1	5.8	10.44	11.28	35.52	15.30	34.3	33.6	26.6	33.2	6.6	11.88	12.83	40.42
16.00	32.6	30.7	23.1	29.9	6.8	12.24	13.22	41.64	16.00	33.5	32.8	27.3	32.4	5.1	9.18	9.91	31.23
16.30	32.0	30.0	23.3	29.6	6.3	11.34	12.25	38.58	16.30	33.5	31.8	25.6	31.6	6.0	10.80	11.66	36.74
17.00	31.9	30.0	23.2	28.9	5.7	10.26	11.08	34.90	17.00	32.8	30.4	24.8	30.5	5.7	10.26	11.08	34.90
17.30	30.8	29.2	22.9	28.3	5.4	9.72	10.50	33.07	17.30	32.1	29.9	24.1	29.6	5.5	9.90	10.69	33.68
18.00	30.2	28.9	22.7	27.7	5.0	9.00	9.72	30.62	18.00	30.9	28.8	23.8	28.6	4.8	8.64	9.33	29.39
Average	33.1	32.2	22.8	29.4			12.8	40.4	Average	33.9	32.3	24.7	30.7			11.8	37.2
หลังงานรวมที่ถ่ายเทเข้ามา ในช่วงเวลา 9.00-18.00 น.							243.58	767.29	หลังงานรวมที่ถ่ายเทเข้ามา ในช่วงเวลา 9.00-18.00 น.							224.14	706.05

รูปที่ 4-15 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาระบบปิด วันที่ 12 เมย. 2540 และ
หลังคาระบบระบายอากาศ วันที่ 13 เมย. 2540 ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์

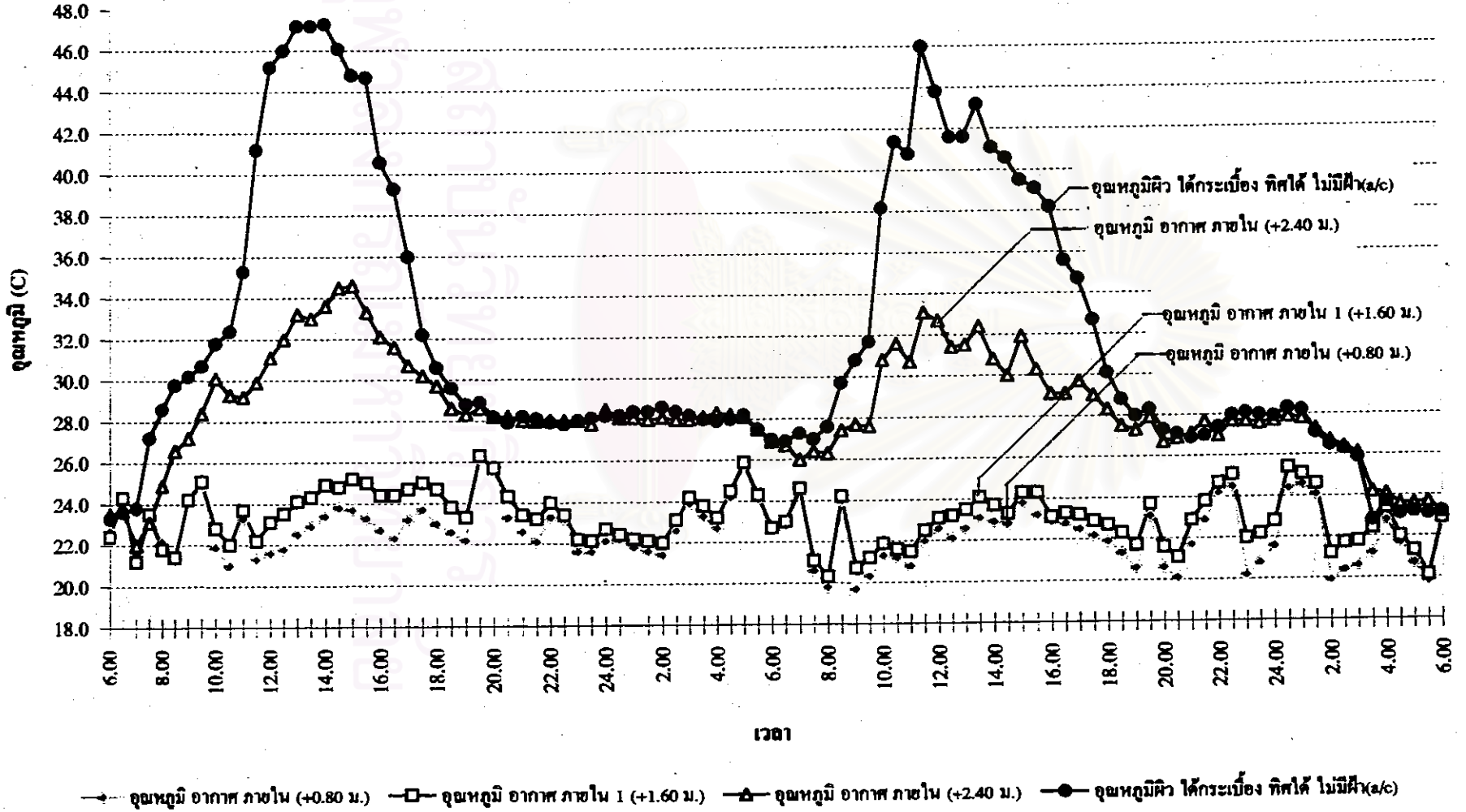


4.2.4 การศึกษาการเกิด Startification

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลของอุณหภูมิภายในห้องที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ระดับ + 0.80 เมตร, + 1.60 เมตร, 2.40 เมตร และที่ระดับผิวใต้กระเบื้องหลังคา เพื่อพิจารณาถึงการเกิดอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ในแต่ละความสูง จะพบว่าในระดับชั้นของอากาศที่สูงขึ้น จะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้น ดังกราฟประกอบรูปที่ 4-16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

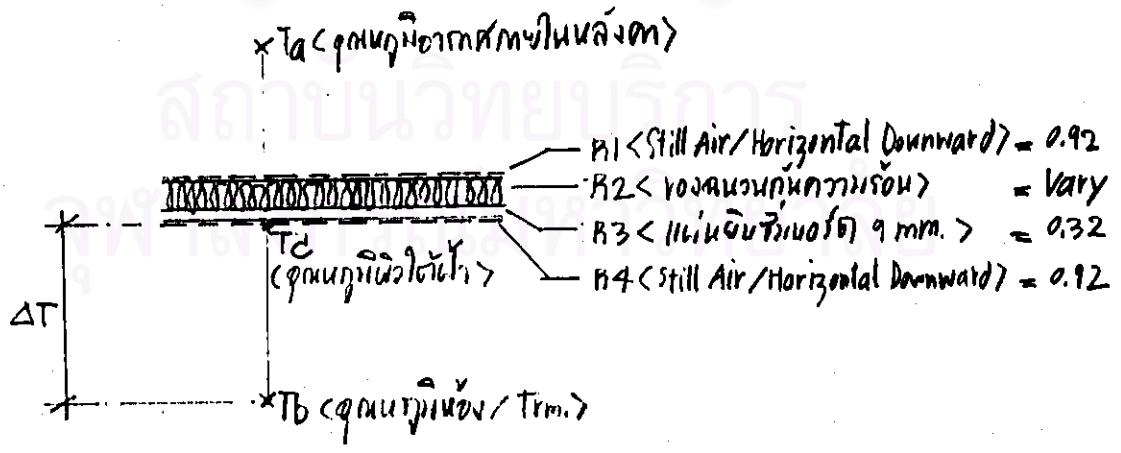
รูปที่ 4 - 16 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระดับ+0.80 ม.,ระดับ+1.60 ม.,ระดับ+2.40 ม.และ
อุณหภูมิผิวใต้กระเบื้องหลังคาภายใน (Startification) ของอาคารจำลอง /หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



4.2.5 การศึกษาการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน

จากการศึกษาคุณสมบัติของฉนวนกับความร้อน ผู้วิจัยได้เลือกฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ 3 ประเภทหลัก คือ ฉนวนใยแก้ว (Glass Fibre), ฉนวนใยหิน (Rock Fibre) และฉนวนเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibre) โดยวางบน Test Cells บนแผ่นยิบซั่มบอร์ดทาสี หนา 9 มม. ขนาด 0.60 x 0.60 เมตร เหมือนกันทุกแผ่น ยกเว้นแผ่น Celiing Board พร้อมฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว นอกนั้นจะวางฉนวนกันความร้อนต่าง ๆ คือ แผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนา 2 นิ้ว, 4 นิ้ว, 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว แผ่นฉนวนใยหิน ความหนา 1 นิ้ว, 2 นิ้ว, 4 นิ้ว, 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว และพ่นด้วยฉนวนเส้นใยเซลลูโลส หนา 1 นิ้ว ชนิดเคลือบกาว อย่างละ 1 แผ่น (ดูภาพประกอบ รูปที่ 4-6 และรูปที่ 4-18 ถึงรูปที่ 4-20)

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงครั้งแรก เป็นไปตามข้อมูล ภาคผนวก ค. ผู้วิจัยทำการปรับค่าให้มีความต่อเนื่องกันมากขึ้นโดยการหาค่าเฉลี่ย 3 ค่า (ก่อน - หลัง) ในแต่ละข้อมูล ดังตารางที่ ผ/ง-1 ใช้สัญญลักษณ์ # แทนข้อมูลที่ทำการปรับค่าเฉลี่ยดังกล่าวแล้ว แต่ในการวิเคราะห์จริง การหาค่าพลังงานที่ถ่ายเทเข้ามาเปรียบเทียบของฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท โดยใช้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง ได้แก่อุณหภูมิห้องระดับ +1.60เมตร และอุณหภูมิอากาศภายในหลังคา ส่วนอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวใต้ฝ้าเพดานแต่ละ Test Cells นั้นได้มาจากการคำนวณ โดยพิจารณาจากการค่า R-Value ของฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ และใช้หลักการของ Thermal Gadient มาช่วยในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ลดลง ดังภาพประกอบ รูปที่ 4-17 และข้อมูลที่ได้ดูจากตาราง ผ/ง-2 ประกอบ



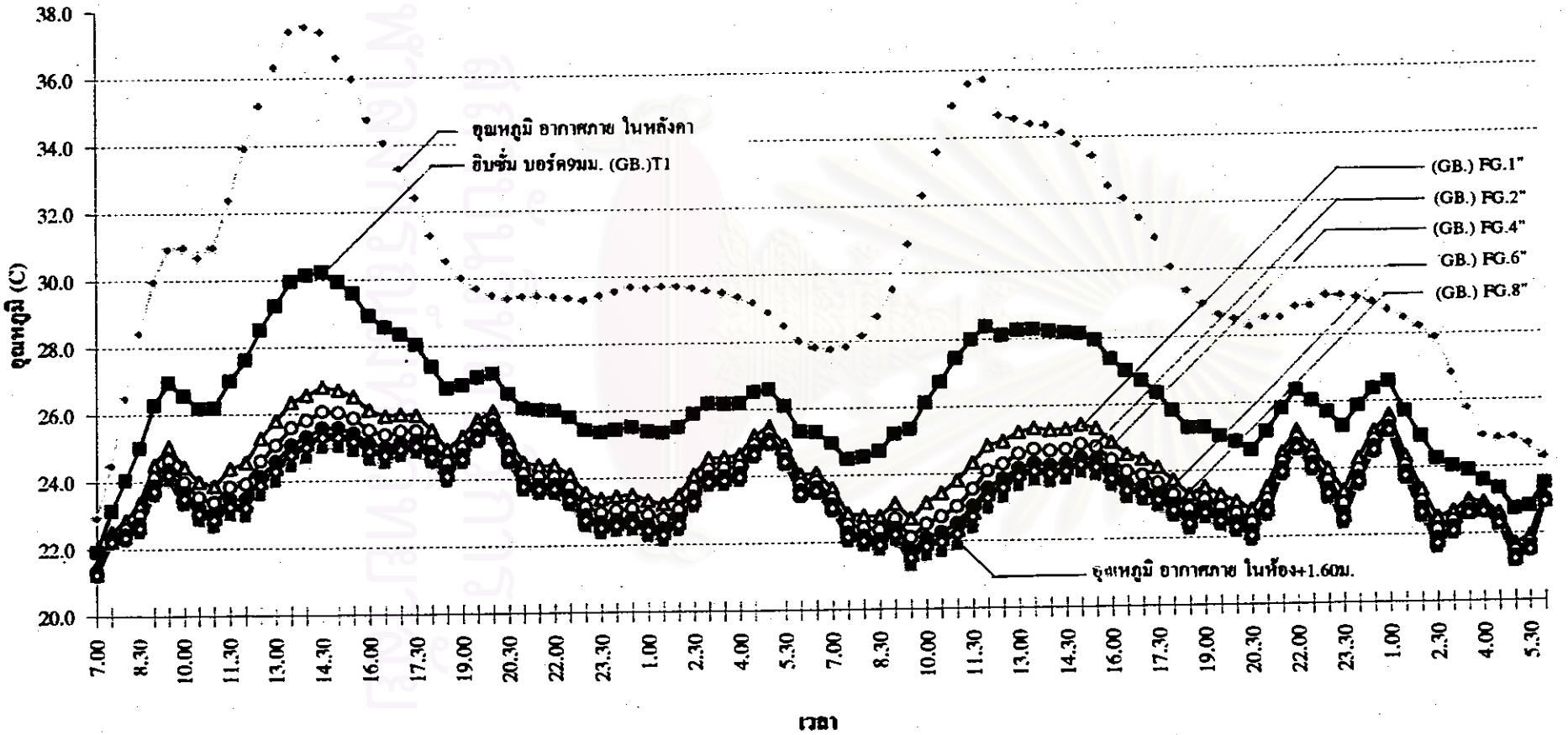
รูปที่ 4-17 ภาพแสดงการหาอุณหภูมิที่ลดลง โดยหลักการ Thermal Gadient

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าเปรียบเทียบ K-Value และR-Valueของฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท
และค่า R-Valueรวมของฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดกับการเพิ่มฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท
ของอาคารจำลอง ชั้น ๑๑ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประเภทหลังคา : หลังคากระเบื้องคอนกรีต ซีแพคไมเนีย สีแดงอิฐอำไพ ฝ้าเพดานประเภทต่างๆ
โครงเคร่าเหล็กชุบสีขาว #0.60 ม.

ลำดับ	ฝ้าเพดาน	ค่าK-Value (W./Sq.m.K)	ค่าR-Value (ของฉนวน) (Sq.m.K/W.)	ค่า R2=Ax/K (ของฉนวน) (Hr.Sq.ft.F./BTU)	ค่าR-Vlueรวม ของฝ้าเพดาน (ref..รูปที่๔-๒๑)
1	แผ่นยิบซั่มบอร์ดหนาธมม.(GB.)	0.191	*	*	2.16
2	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 1"	0.035	0.71	4.06	6.22
3	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 2"		1.43	8.13	10.29
4	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 4"		2.86	16.24	18.40
5	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 6"		4.30	24.36	26.52
6	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 8"		5.73	32.48	34.64
7	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 1"	0.036	0.69	3.94	6.10
8	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 2"		1.39	7.89	10.05
9	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 4"		2.78	15.77	17.93
10	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 6"		4.17	23.66	25.82
11	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 8"		5.56	31.54	33.70
12	แผ่น GB.พ่นด้วยฉนวนเส้นใย เซลลูโลสหนา 1"	0.029	0.86	4.89	7.05

ที่มา : Mechanical & Electrical Equipment for Buildings ,8th edition
คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน ,กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานแห่งชาติ

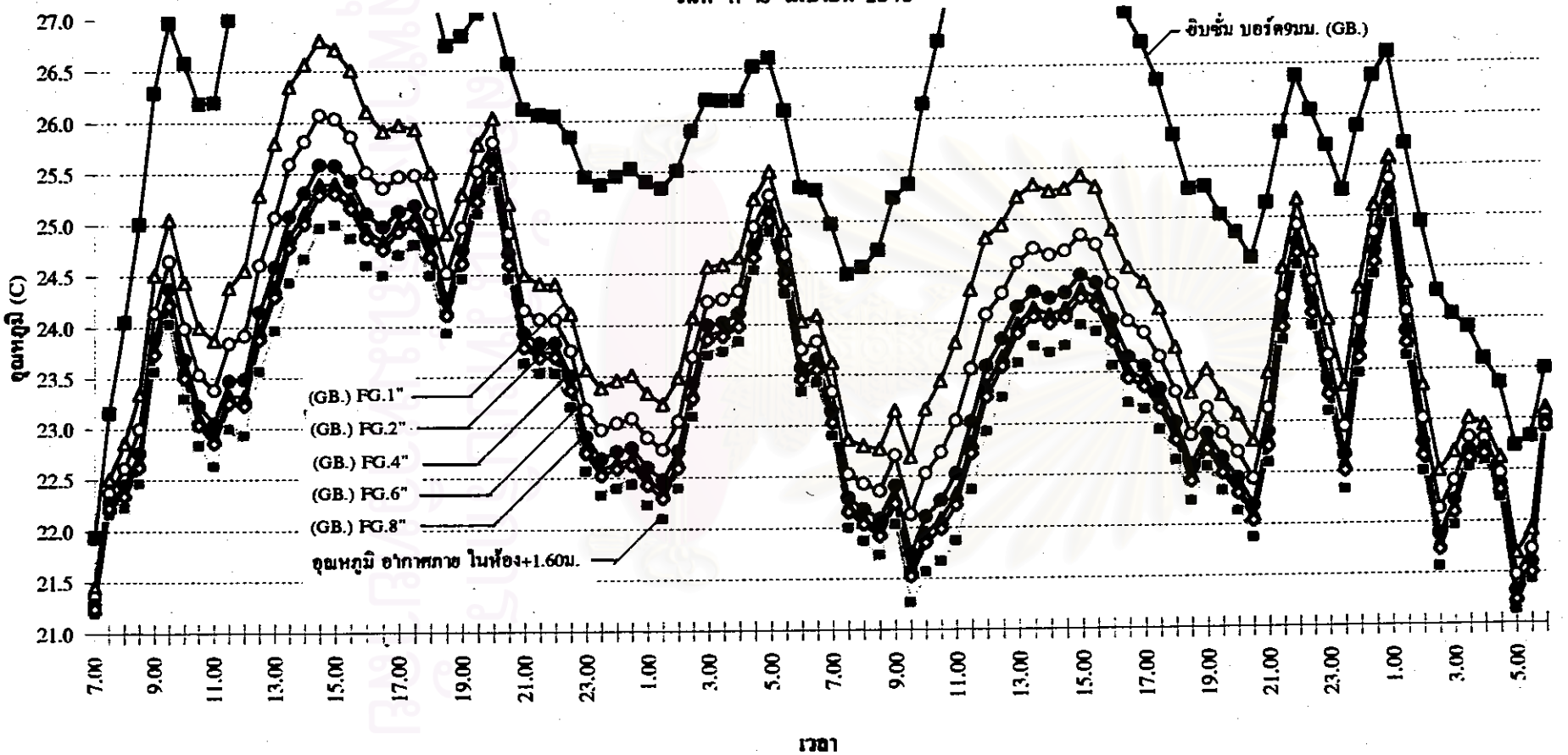
รูปที่ 4-18 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ดบุฉนวนใยแก้วหนา 1", 2", 4", 6" และ 8"
เทียบกับอุณหภูมิห้อง/อากาศภายในหลังคา ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



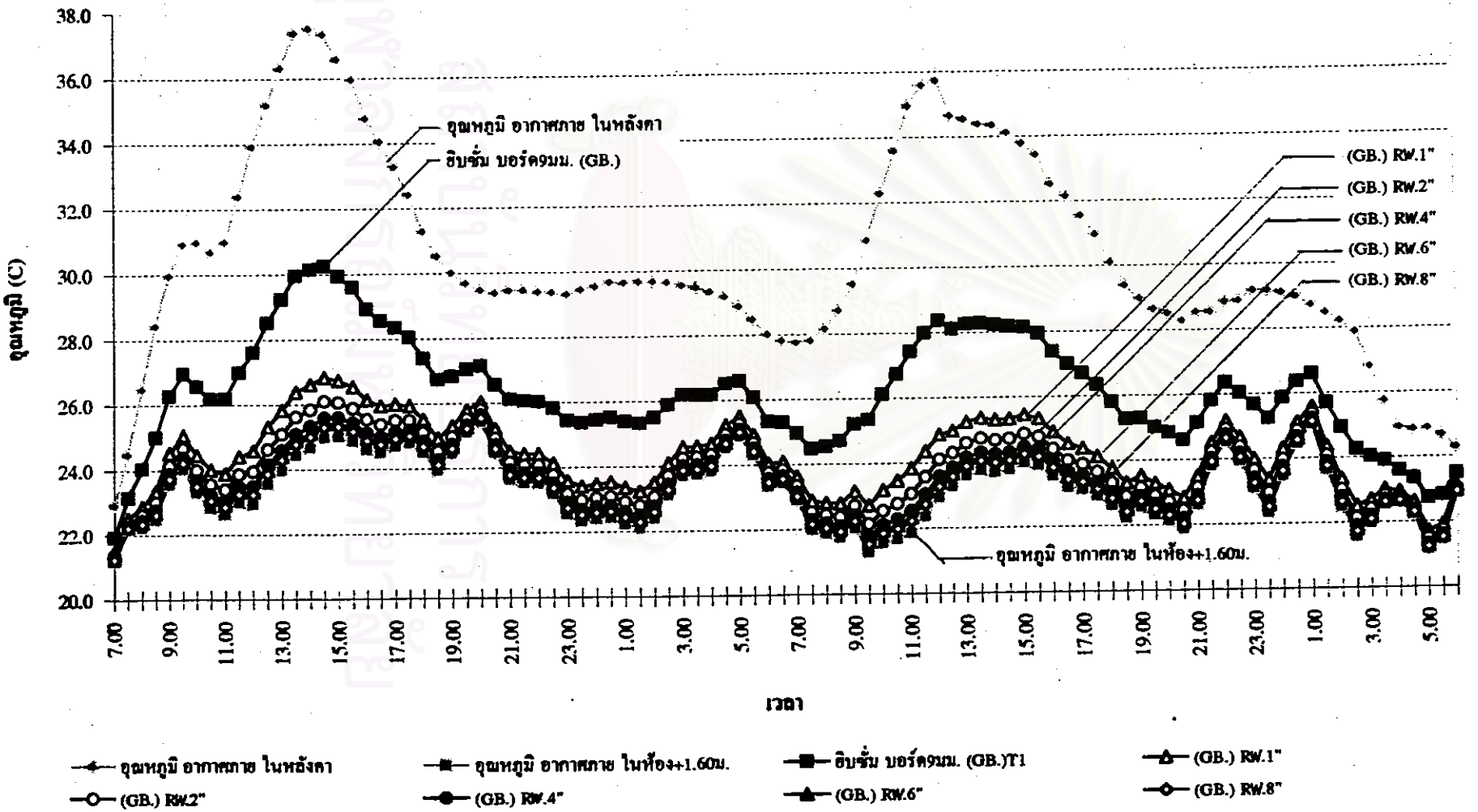
รูปที่ 4-18 (1) กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ดบุฉนวนใยแก้วหนา 1",2",4",6"และ8"

เทียบกับอุณหภูมิห้อง/อากาศภายในหลังคา ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์

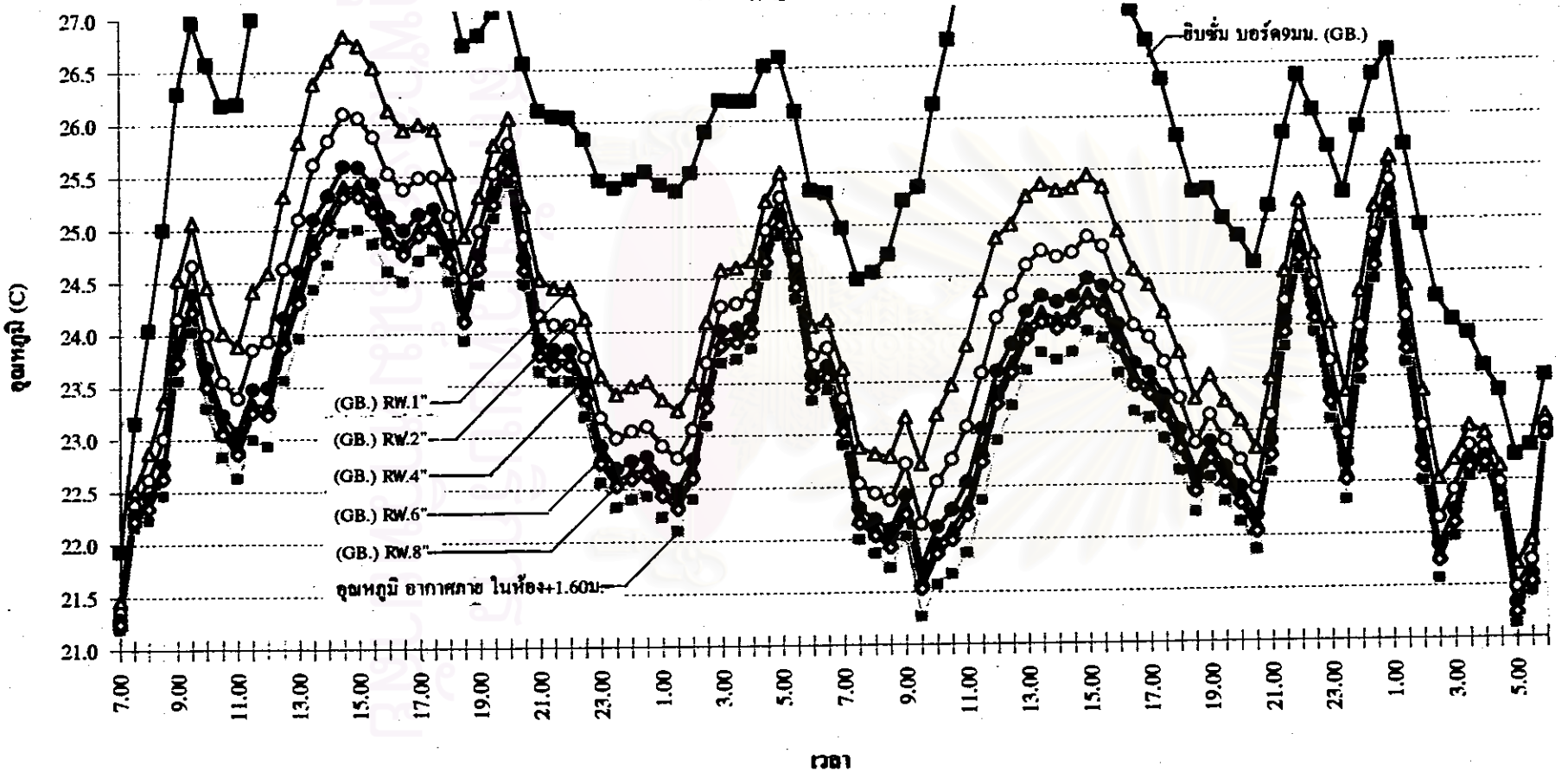
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



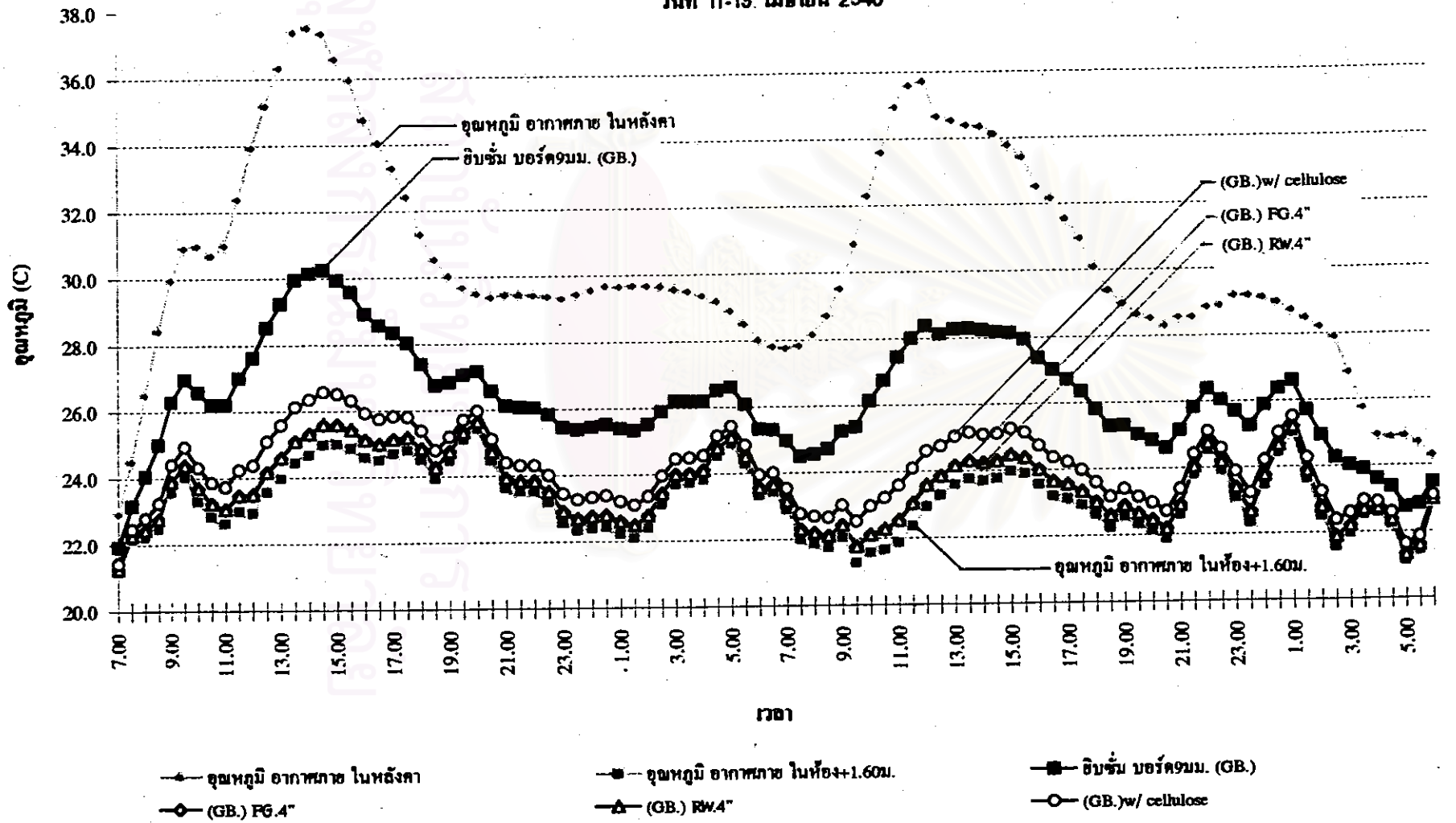
รูปที่ 4-19 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ดบุฉนวนใยหินหนา 1", 2", 4",6"และ 8"
เทียบกับอุณหภูมิห้อง/อากาศภายในหลังคา ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



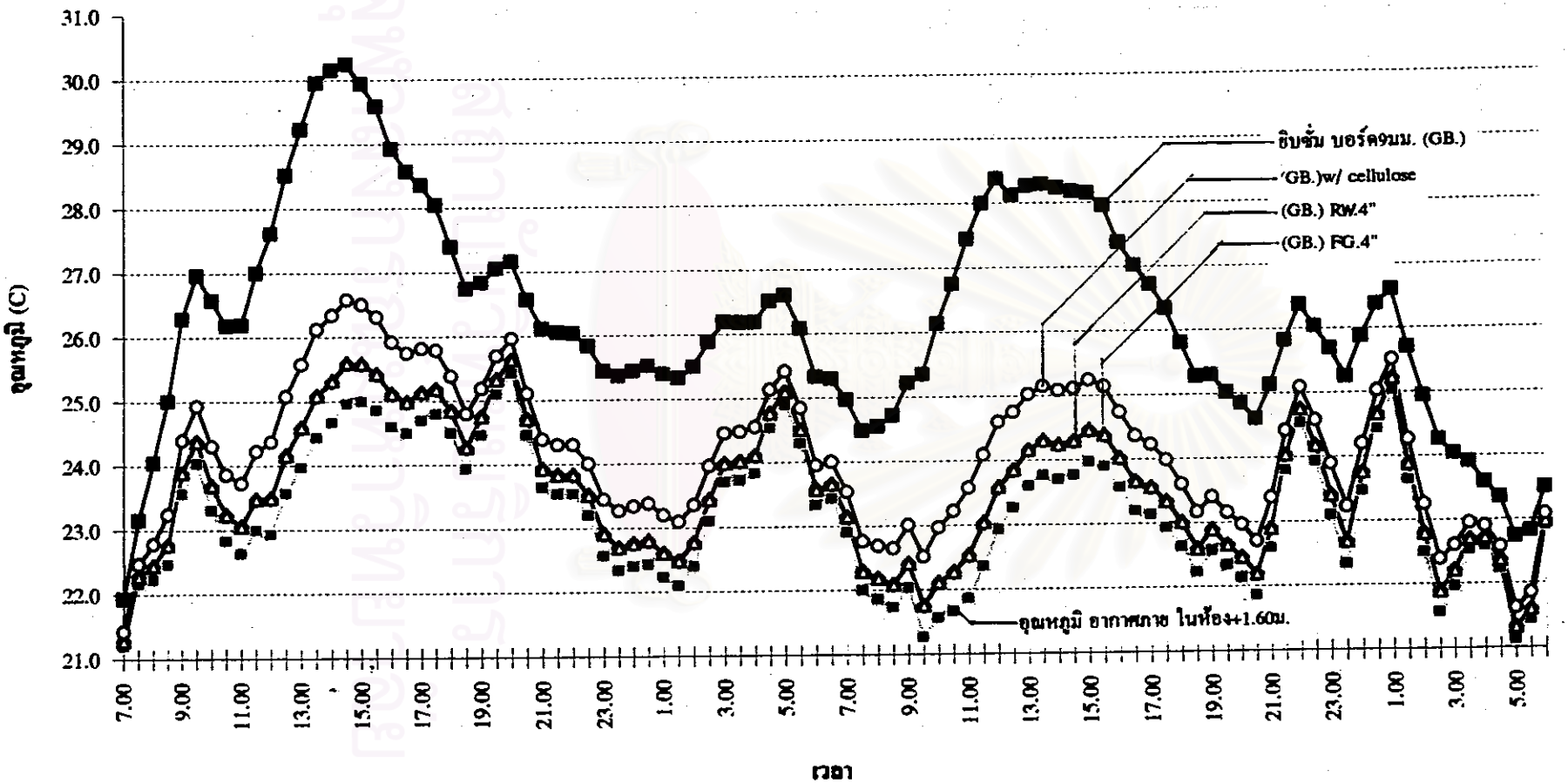
รูปที่ 4-19 (1) กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ดบุฉนวนใยหินหนา 1", 2", 4", 6" และ 8"
เทียบกับอุณหภูมิห้อง/อากาศภายในหลังคา ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 กันยายน 2540



รูปที่ 4-20 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นซิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดา,บุฉนวนใยแก้วหนา4",
บุฉนวนใยหินหนา4"และพ่นฉนวนเส้นใยเซลลูโลสหนา1" เทียบกับอุณหภูมิห้อง ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



รูปที่ 4-20 (1) กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานแผ่นยิบซั่มบอร์ดแบบธรรมดา,บุฉนวนใยแก้วหนา4"
บุฉนวนใยหินหนา4"และพ่นฉนวนเส้นใยเซลลูโลสหนา 1" เทียบกับอุณหภูมิห้อง ของอาคารจำลอง/หลังคากระเบื้องซีเมนต์
วันที่ 11-13 เมษายน 2540



จะได้ ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิอากาศภายในห้อง

$$\Delta T = \frac{R4}{\Sigma R_{รวม}} * (Ta-Tb) \quad \text{.....(10)}$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อเวลา 12:00น.ของวันที่ 11เมษายน2540 อุณหภูมิอากาศภายในหลังคาเท่ากับ 34.6 C และอุณหภูมิอากาศภายในห้องระดับ+1.60เมตร เท่ากับ 23.1 C พิจารณาการปรับปรุงฝ้าเพดานโดยการวางฉนวนใยแก้วหนา 2" ความหนาแน่น 24 มีค่า K-Value เท่ากับ 0.260 BTU-in/Hr.Sq.ft.F จะได้

$$R21 = \frac{\Delta X}{K} = 2/0.246 = 8.13 \text{ Hr.Sq.ft.F/BTU}$$

$$R_{รวม} = 0.92+8.13+0.32+0.92 = 10.29 \text{ Hr.Sq.ft.F/BTU}$$

$$Ta-Tb = (33.9-22.9)*1.8 = 19.8 \text{ F}$$

ดังนั้น $\Delta T = 0.92/10.29*19.8 = 1.77$ F.....(11)

จะได้ อุณหภูมิที่ผิวใต้ฝ้าเพดาน/ฉนวนใยแก้วหนา 2"

= 22.9+(1.77/1.8) = 23.9 C .....#

แต่ในสถานการณ์เดียวกัน หากใช้ฉนวนใยแก้วหนา 1"

$$R22 = \frac{\Delta X}{K} = 1/0.246 = 4.06 \text{ Hr.Sq.ft.F/BTU}$$

$$R_{รวม} = 0.92+4.06+0.32+0.92 = 6.22 \text{ Hr.Sq.ft.F/BTU}$$

ดังนั้น $\Delta T = 0.92/6.22*19.8 = 2.9$ F

จะได้ อุณหภูมิที่ผิวใต้ฝ้าเพดาน/ฉนวนใยแก้วหนา 1"

= 22.9+(2.9/1.8) = 24.5 C .....#

จากการคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ลดลงของ Test Cells แต่ละช่องดังรูปประกอบ รูปที่ 4.17 และกราฟประกอบ รูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.20 จากนั้นทำการหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานและอุณหภูมิห้อง (ΔT) ดังตารางที่ ผ/ง-2 แล้วจึงทำการประเมินหาค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในแต่ละช่วงเวลาต่อพื้นที่ตารางฟุต (หน่วยเป็น BTU/Hr.Sq.ft.F) ดังตารางที่ ผ/ง-3 และหาค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาต่อพื้นที่อาคารจำลอง 16 ตารางเมตร (หน่วยเป็น Watt) ดังตารางที่ ผ/ง-3 โดยพิจารณาค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา

1 BTU/Hr.Sq.ft.F * 3.154 = 1 Watt/Sq.m.

แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทาง Test Cell ที่ไม่มีการใส่ฉนวนกันความร้อน จากสมการ

$$Q = hi * A * \Delta T$$

จากตาราง ผ/ง-2 และ

จาก(11)จะได้ $Q = 1.08*1*(1.77)$

$= 1.91$ BTU/Hr.Sq.ft.F (ตาราง ผ/ง-3)

พิจารณาพื้นที่ของอาคารจำลอง 16.00 ตร.ม.

$Q = 1.91 * 16.00$

$= 30.59$ BTU/Hr.Sq.ft.F

พิจารณาในหน่วย SI ;

$Q = 30.59*3.154$ Watt

$= 96.48$ Watt (ตาราง ผ/ง-3)

$= 0.096$ KW.

จากพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารจำลอง ณ ช่วงเวลานั้น นำมาพิจารณาหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขจัดความร้อนของระบบปรับอากาศ โดยกำหนดให้ ค่า COP.=2.51 (จากบทที่ 2) ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ

$= Q/COP.$

$= 0.096/2.51$

$= 0.038$ KW. (ตาราง ผ/ง-4)

ค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ ทุกๆครึ่งชั่วโมงที่ดำเนินการบันทึกข้อมูลถือว่าเป็นค่าพลังงานเฉลี่ยที่ถ่ายเทเข้ามาในช่วงเวลาครึ่งชั่วโมงนั้น ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้จริงในการปรับอากาศในช่วงเวลาครึ่งชั่วโมงนั้น จะได้

$= 0.038/2$

$= 0.019$ KWH. (ตาราง ผ/ง-4)

จากนั้นจึงหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการปรับอากาศ เพื่อขจัดพลังงานความร้อนในช่วงเวลาที่ศึกษาของ วันที่ 11และ12 เมษายน 2540 เวลาทำงาน 8.00-18.00 น. ในหน่วย กิโลวัตต์ชั่วโมง (KWH.) ของฝ้าเพดานกับการปรับปรุงด้วยการวางฉนวนกันความร้อนในแต่ละกรณี จากตารางที่ ผ/ง-4(5) และ ตารางที่ 4-4 พิจารณากับงบประมาณการลงทุน ในการปรับปรุงฝ้าเพดานแต่ละกรณี เช่นเดียวกัน (พิจารณาตารางที่ 4-3 ประกอบ)

ตารางที่ 4-3 แสดงราคาค่าวัสดุและค่าติดตั้งฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท กับฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ด

ลำดับ	ฝ้าเพดาน	ราคาวัสดุ จากPrice List (บาท/ตร.ม.)	ราคาวัสดุ (ลด 20%) (บาท/ตร.ม.)	ราคาค่าแรง (บาท/ตร.ม.)	รวมราคา ค่าติดตั้ง (บาท/ตร.ม.)	ราคาติดตั้ง/ พื้นที่16.00ตร.ม. (บาท)
1	แผ่นยิบซั่มบอร์ดหนาสมม.(GB.)	*		*	*	*
2	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 1"	66.7	53.4	50.0	103.4	1654
3	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 2"	129.0	103.2	50.0	153.2	2451
4	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 4"	258.0	206.4	50.0	256.4	4102
5	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 6"	387.0	309.6	50.0	359.6	5754
6	แผ่น GB.บุฉนวนใยแก้วหนา 8"	516.0	412.8	50.0	462.8	7405
7	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 1"	77.0	61.6	50.0	111.6	1786
8	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 2"	154.0	123.2	50.0	173.2	2771
9	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 4"	308.0	246.4	50.0	296.4	4742
10	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 6"	462.0	369.6	50.0	419.6	6714
11	แผ่น GB.บุฉนวนใยหิน หนา 8"	616.0	492.8	50.0	542.8	8685
12	แผ่น GB.พ่นด้วยฉนวนเส้นใย เซลลูโลสหนา 1"	220.0	0.0	220.0	220.0	3520

ที่มา : ราคาขายฉนวนใยแก้ว (Price List) บริษัทสยามไฟเบอร์กลาส จำกัด ,มีนาคม2540
(ข้อมูลจาก คุณชุมพล เหลืองบรรเจิด)
ราคาขายฉนวนใยหิน (Price list) บริษัท ล็อกเลย์ จำกัด ,มีนาคม2540
(ข้อมูลจาก คุณพิณนรา ณ ระนอง)
ราคาขายฉนวนเส้นใยเซลลูโลส(Price list) บริษัทเนเชอรัลอินซูเลชั่น จำกัด ,มีนาคม2540
(ข้อมูลจาก คุณอนุรักษ์ เหล่าพานิช)

ตารางที่ 4-4 แสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้และระยะเวลาการคืนทุน ของฝ้าเพดานแต่ละประเภท

ลำดับข้อที่	การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ระยะเวลาการคืนทุน	ฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดกับฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท											
		ยิบซั่มบอร์ด 9มม.(GB)	FG.1"	FG.2"	FG.4"	FG.6"	FG.8"	RF.1"	RF.2"	RF.4"	RF.6"	RF.8"	cellulose
1	ค่าพลังงานไฟฟ้า รวม ที่ใช้จริงช่วงเวลาทุกๆ 1/2 ชั่วโมง สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานแต่ละประเภท (KWH.) (ในช่วงเวลาทำงาน 8.00-18.00 น. ของวันที่ ๑๒ และ ๑๓ เมษายน ๒๕๔๐)	5.676	1.971	1.191	0.666	0.462	0.354	2.010	1.220	0.684	0.475	0.364	1.739
2	อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เทียบกันในส่วนฝ้าเพดาน ของฉนวนแต่ละประเภท	0.0	65.3	79.0	88.3	91.9	93.8	64.6	78.5	87.9	91.6	93.6	69.4
3	อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของส่วนฝ้าเพดาน เทียบกับส่วนอื่นทั้งหมดของอาคารจำลอง ของฉนวนแต่ละประเภท (พิจารณาปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าทางหลังคา =๑๑% ของพลังงานความร้อนรวมที่เข้ามาในอาคารจำลอง)	0	21.5	26.1	29.1	30.3	30.9	21.3	25.9	29.0	30.2	30.9	22.9
4	อัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ต้องจ่าย ในวันทำงาน เต็ม สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานแต่ละประเภท (บาท) (เดิม) (คิดอัตราเดิม :Flat Rate=1.95 บาท/KWh.)	11.068	3.843	2.322	1.299	0.901	0.690	3.920	2.379	1.334	0.926	0.710	3.391
5	อัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ต้องจ่าย ใน 1 เดือนเต็ม สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานแต่ละประเภท (บาท) (เดิม) (คิดวันทำงาน 22 วันต่อเดือน)	121.75	42.28	25.55	14.29	9.91	7.59	43.11	26.17	14.67	10.19	7.81	37.30
6	อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 เดือน สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดกับการเพิ่มฉนวนกันความร้อน แต่ละประเภท เมื่อเทียบกับธรรมดา/ไม่มีฉนวน (บาท) (เดิม)	0.0	79.5	96.2	107.5	111.8	114.2	78.6	95.6	107.1	111.6	113.9	84.4
7	อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี (บาท) (เดิม)	0.0	953.7	1154.4	1289.6	1342.1	1369.9	943.6	1147.0	1284.9	1338.7	1367.3	1013.4
8	* อัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ต้องจ่าย ใน 1 เดือนเต็ม สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานแต่ละประเภท (บาท) (ใหม่) (คิดอัตราใหม่:Demand Charge=200 บาท/KW.เดือน และอัตราค่าไฟฟ้าRate=1.80 บาท/KWh.) (เครื่องปรับอากาศ 1.5 ตันๆละ 1.4 KW.=2.1KW.) (คิดเป็นอัตราที่เพิ่มขึ้น ๖๐%ของอัตราเดิม)	194.80	67.64	40.88	22.86	15.86	12.15	68.98	41.87	23.47	16.30	12.49	59.68
9	* อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 เดือน สำหรับส่วนฝ้าเพดาน ของฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดกับการเพิ่มฉนวนกันความร้อน แต่ละประเภท เมื่อเทียบกับธรรมดา/ไม่มีฉนวน (บาท) (ใหม่)	0.00	127.16	153.92	171.94	178.94	182.65	125.82	152.93	171.33	178.50	182.31	135.12
10	* อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี (บาท) (ใหม่)	0.0	1525.9	1847.1	2063.3	2147.3	2191.8	1509.8	1835.2	2055.9	2142.0	2187.7	1621.4
11	ราคาค่าติดตั้งฉนวนกันความแต่ละประเภท /พื้นที่ 16.00 ตร.ม. (บาท) (จากตาราง 4-3)	0.0	1654.0	2451.0	4102.0	5754.0	7405.0	1786.0	2771.0	4742.0	6714.0	8685.0	3520.0
12	ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (อัตราค่าไฟฟ้าเดิม)	*	1.7	2.1	3.2	4.3	5.4	1.9	2.4	3.7	5.0	6.4	3.5
13	* ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (อัตราค่าไฟฟ้าใหม่)	*	1.1	1.3	2.0	2.7	3.4	1.2	1.5	2.3	3.1	4.0	2.2

จากตารางที่ 4-4 จะได้

ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้จริง ของกรณีศึกษาฉนวนกันความร้อน ฉนวนใยแก้ว หนา 2" จะได้เท่ากับ 1.191 KWH. (ข้อ1)

นำมาพิจารณาอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของฉนวนแต่ละประเภท เทียบกับกรณีที่ไม่มีฉนวนกันความร้อนในส่วนฝ้าเพดาน (รูปที่ 4-21) ในกรณีของฉนวนใยแก้วหนา 2"

จะได้ = (5.676-1.191)*100/5.676

= 79.0 เปอร์เซนต์ (ข้อ2)

พิจารณาอัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของฉนวนแต่ละประเภทของอาคารจำลอง จากพลังงานความร้อนที่ถ่านเมเข้ามาในส่วนฝ้าเพดานของหลังคากระเบื้องซีเมนต์ คิดเป็นร้อยละ 33 ของพลังงานความร้อนที่ถ่านเมเข้ามาในอาคารทั้งหมด

จะได้ = 0.33*0.79

= 0.261 เปอร์เซนต์ (ข้อ3)

แสดงว่าการใช้ฉนวนใยแก้วหนา 2" ในส่วนฝ้าเพดาน จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ลงถึง ร้อยละ 26.1 เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ฉนวนกันความร้อน ของอาคารจำลองทั้งหมด

ในการปรับปรุงหลังคา การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน 11 ตัวอย่าง จากการทดสอบและคำนวณจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแก่อาคารจำลอง เรียงจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ฉนวนใยหินหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว, ฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 2 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 4 นิ้ว, ฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว, ฉนวนใยหินหนา 6 นิ้ว ฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว, ฉนวนใยหินกับใยแก้วหนา 8 นิ้ว โดยอัตราส่วนที่ลดลง คือ ร้อยละ 21.3, 21.5, 22.9, 25.9, 26.1, 29.0, 29.1, 30.2, 30.3 และ 30.9 ตามลำดับ

จะเห็นว่าการใส่ฉนวนกันความร้อนประเภทฉนวนใยแก้วหรือฉนวนใยหิน ที่ความหนาหนึ่งนิ้วแรก จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับความหนาในนิ้วถัดไป การศึกษาถึงระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงฝ้าเพดาน โดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท จะพิจารณา 2 กรณี คือ

กรณีที่1 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบเดิม

อัตราค่าไฟฟ้า (Flat Rate) = 1.95 บาท/KWH.

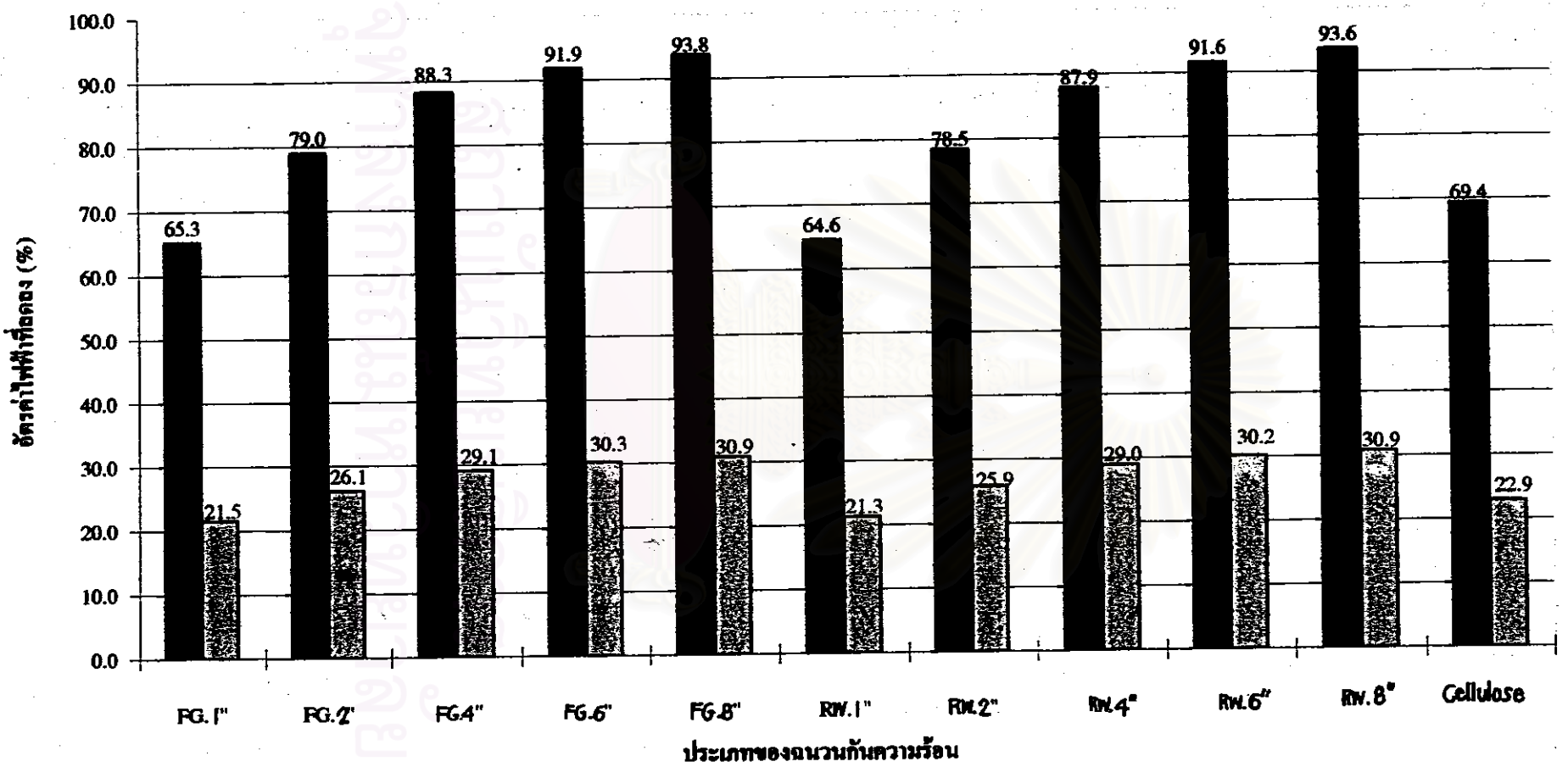
จะได้ อัตราค่าไฟฟ้าของกรณีนี้ = 1.191*1.95

= 2.322 บาท/ วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล (ข้อ4)

กำหนด จำนวนวันทำงาน 22 วันใน1เดือน จะได้

= 25.55 บาท/ เดือน (ข้อ5)

รูปที่ 4-21 แสดงค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในการใส่ฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท และของส่วนฝ้าเพดานเมื่อเทียบกับส่วนอื่นทั้งหมดของอาคารจำลอง



อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เทียบกันในส่วนฝ้าเพดาน ของฉนวนแต่ละประเภท 0.0

อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของส่วนฝ้าเพดาน เทียบกับส่วนอื่นทั้งหมดของอาคารจำลอง ของฉนวนแต่ละประเภท 0

เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าของฝ้าเพดานที่ไม่มีการปรับปรุง

อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลง = 96.20 บาท/ เดือน (ข้อ6)

= 1,154.40 บาท/ ปี (ข้อ7)

จากตารางที่4-3 ราคาในการลงทุนของการปรับปรุงฉนวนใยแก้ว หนา 2"

= 2,451.0 บาท

ดังนั้น ระยะเวลาการคืนทุน = งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน .....(11)

อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี

= 2,451.1/1,154.40

= 2.1 ปี

กรณีที่ 2 การคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบใหม่

โดยการคิด Demand Charge = 200 บาท/KW./เดือน

และคิดอัตราค่าไฟฟ้า = 1.80 บาท/KWH.

ในกรณีนี้ พิจารณาบทที่ 3 ประกอบ พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารจำลอง

กำหนด Demand Charge ในส่วนที่พิจารณาหลังคาของอาคารจำลอง

= 200 บาท/KW

เครื่องปรับอากาศ 1.5 ตัน ใช้กำลังไฟ = 1.4*1.5

= 2.1 KW.

ดังนั้น Demand Charge ในแต่ละเดือน = 200.00 บาท

จากนั้น พิจารณาเช่นเดียวกันกับ กรณีที่1 แต่คิดอัตราค่าไฟฟ้า 1.80 บาท/KWH.

จะได้ อัตราค่าไฟฟ้าของกรณีนี้จะเป็น 1.6 เท่า ของกรณีแรก

= 2.322 * 1.60

= 3.715 บาท/ 2 วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล

= 40.88 บาท/ เดือน (ข้อ8)

เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าของฝ้าเพดานที่ไม่มีการปรับปรุง

อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลง = 153.92 บาท/ เดือน (ข้อ9)

= 1,847.1 บาท/ ปี (ข้อ10)

จากตารางที่4-3 ราคาในการลงทุนของการปรับปรุงฉนวนใยแก้ว หนา 2"

= 2,451.0 บาท

ดังนั้น ระยะเวลาการคืนทุน = งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน .....(11)

อัตราค่าไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 2,451.0/1,847.1

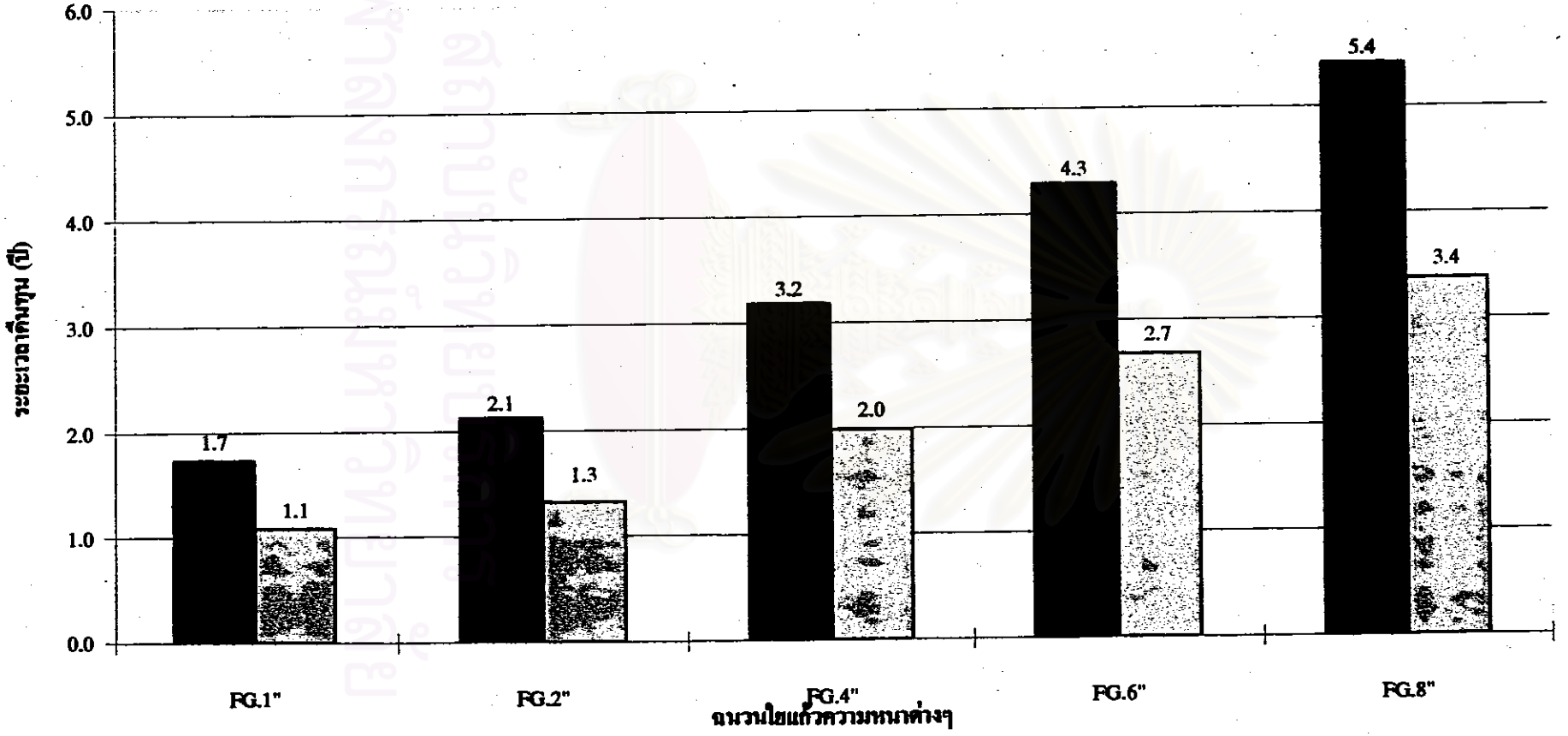
= 1.3 ปี

ดำเนินการศึกษาฝ้าเพดานกับการปรับปรุง เพิ่มฉนวนกันความร้อน ในแต่ละกรณี ดังตารางที่ 4-4 และพิจารณาระยะเวลาในการลงทุนของฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภท ดังกราฟรูปที่ 4-22 ถึงรูปที่ 4-24 เนื่องจากอายุการใช้งานของฉนวนกันความร้อน และการลงทุนในระยะสั้นที่ไม่ต้องการคำนึงถึงอัตราดอกเบี้ย จึงพิจารณาระยะเวลาในการลงทุน ไม่ควรเกิน 3 ปี

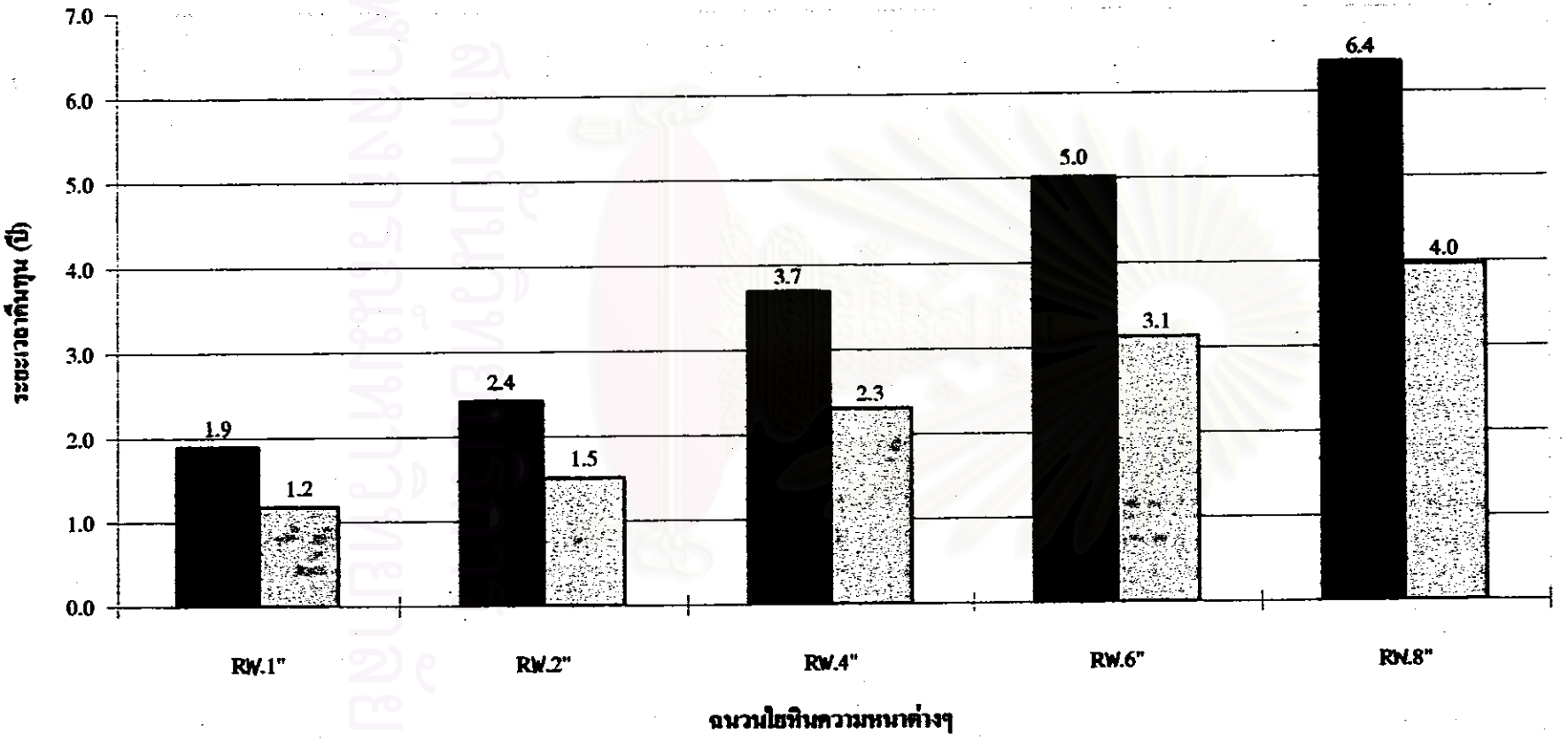
สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าเดิม (Flat Rate = 1.95 un/KWH.) ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ได้แก่ ฉนวนใยแก้วและใยหินที่มีความหนาไม่เกิน 3 นิ้ว ส่วนอัตราค่าไฟฟ้าใหม่ (= 1.80 un/KWH รวมกับ Demand Charge) ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ได้แก่ ฉนวนใยแก้วและใยหินที่มีความหนาไม่เกิน 6 นิ้ว และฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1 นิ้ว สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าเดิม ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมจากการศึกษา คือ ฉนวนใยหินหนา 2 นิ้ว และฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ถึงร้อยละ 25.9 และ ร้อยละ 26.1 ตามลำดับ ส่วนอัตราค่าไฟฟ้าใหม่ ฉนวกันความร้อนที่เหมาะสมจากการศึกษา คือ ฉนวนใยหินหนา 6 นิ้ว และฉนวนใยแก้วหนา 6 นิ้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารได้ถึงร้อยละ 30.2 และ 30.3 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-22 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคาด้วยการวางฉนวนใยแก้วความหนาต่างๆ เหนือฝ้าเพดาน



รูปที่ 4-23 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคาด้วยการวางฉนวนใยหินความหนาต่างๆ เหนือฝ้าเพดาน



รูปที่ 4-24 แผนภูมิแสดงระยะเวลาการคืนทุน ในการปรับปรุงหลังคา ด้วยการว่าง
ฉนวนใยแก้วหนา 4",ฉนวนใยหินหนา 4"และฉนวนเส้นใยเซลลูโลสชนิดอัดกาวหนา 1"เหนือฝ้าเพดาน