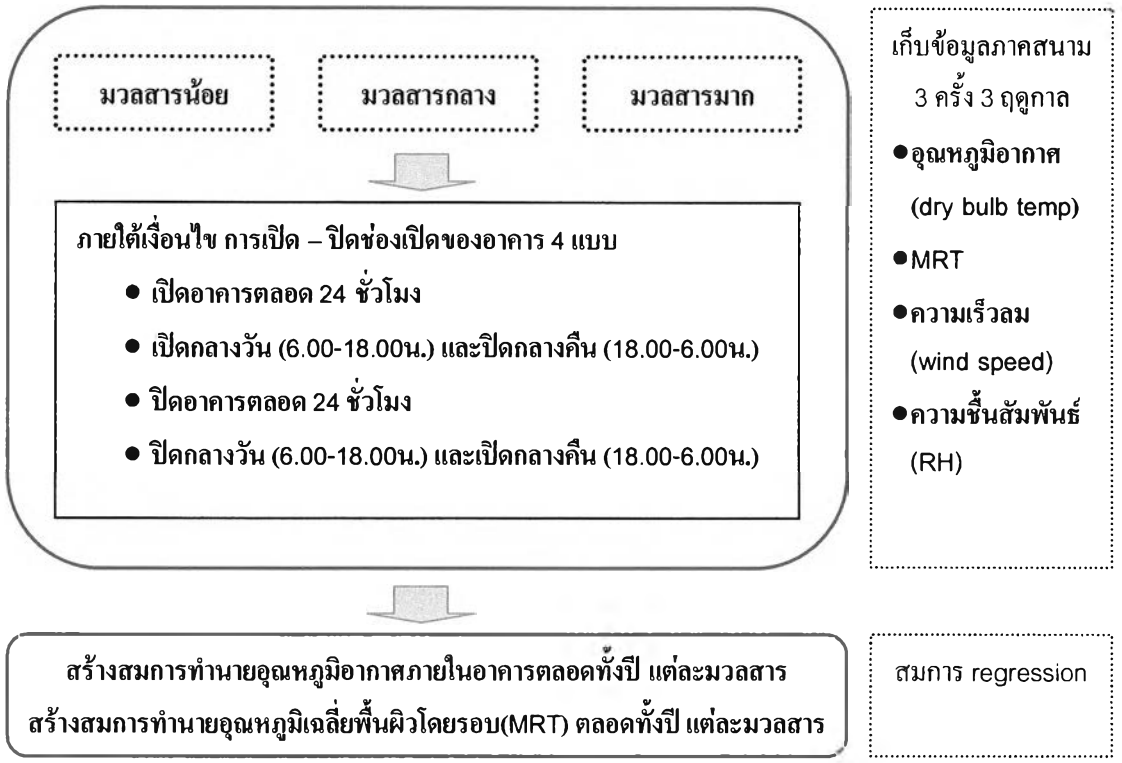
บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์ในส่วนอิทธิพลของมวลสาร

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์



แผนภูมิ4.1 รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยในส่วนอิทธิพลของมวลสาร และอุณหภูมิเสมือน

อุณหภูมิเสมือน

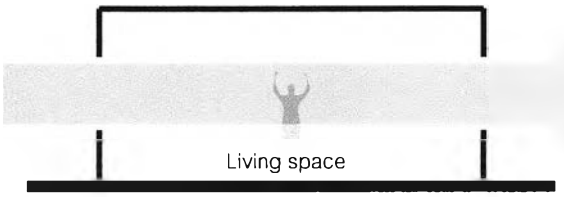
- สภาพอากาศภายในอาคารที่รู้สึกเมื่อได้รับอิทธิพลจาก **อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ** (MRT)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบเราต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 1°c **เราจะรู้สึกเย็นลงกว่าเดิม** 1.4 °c

- สภาพอากาศภายในอาคารที่รู้สึกเมื่อได้รับอิทธิพลจาก **กระแสลมธรรมชาติ**

ความรู้สึกเย็นลง (°c) = 0.381 **ความเร็วลม** + 0.016 **ความชื้นสัมพันธ์**

R square=0.94



0.4°c เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 km/hr

4.2 อิทธิพลของมวลสาร

จากข้อลงตกเบื้องต้นในบทที่1 ที่ใช้อัตราส่วนน้ำหนักวัสดุผนังต่อพื้นที่ใช้งานของมวลสารเป็นเกณฑ์ในการแบ่งอาคารนั้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ผนังไม้เป็นตัวแทนของอาคารมวลสารน้อย ผนังก่ออิฐชั้นเดียวเป็นตัวแทนของอาคารมวลสารกลาง และผนังก่ออิฐที่หนากว่าปกติเป็นตัวแทนของอาคารมวลสารมาก

4.2.1 ลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ส่วนที่1 จากการวัดจริง

4.2.1.1 ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกไว้ในมวลสารของผนังอาคาร

ในแต่ละมวลสาร พิจารณาเฉพาะเงื่อนไขการเปิด-ปิดช่องเปิดของอาคารแบบเปิดอาคารตลอด 24 ชั่วโมง โดยยกตัวอย่างผลที่ได้จากการวัดจริง กรณีศึกษาอาคารที่เป็นตัวแทนภาคกลางดังนี้

มวลสารน้อย พระตำหนักทับขวัญ

มวลสารกลาง เรือนภรตราชา

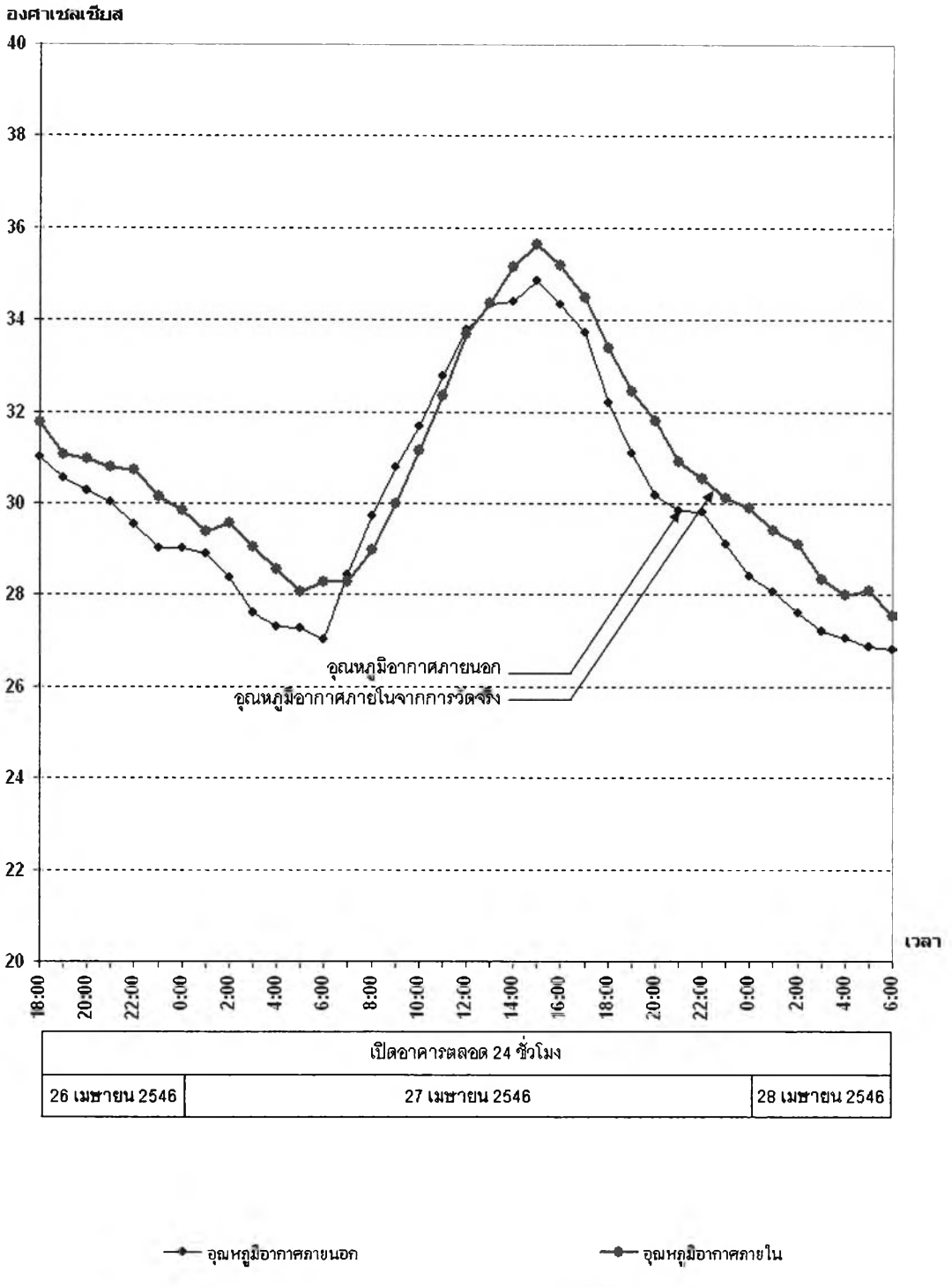
มวลสารมาก พระวิหาร วัดกำแพง

การแบ่งอาคารออกด้วยมวลสารเนื่องมาจากอิทธิพลของค่าความจุความร้อนของวัสดุที่สามารถทำให้เกิดการหน่วงความร้อนที่จะแทรกซึมผ่านเปลือกอาคารเข้ามาแตกต่างกันไปตามปริมาณมวลสารของอาคาร อาคารที่มีมวลสารมากจะมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ดีกว่าอาคารที่มีมวลสารน้อย

ขั้นตอนการนำเสนอข้อมูล

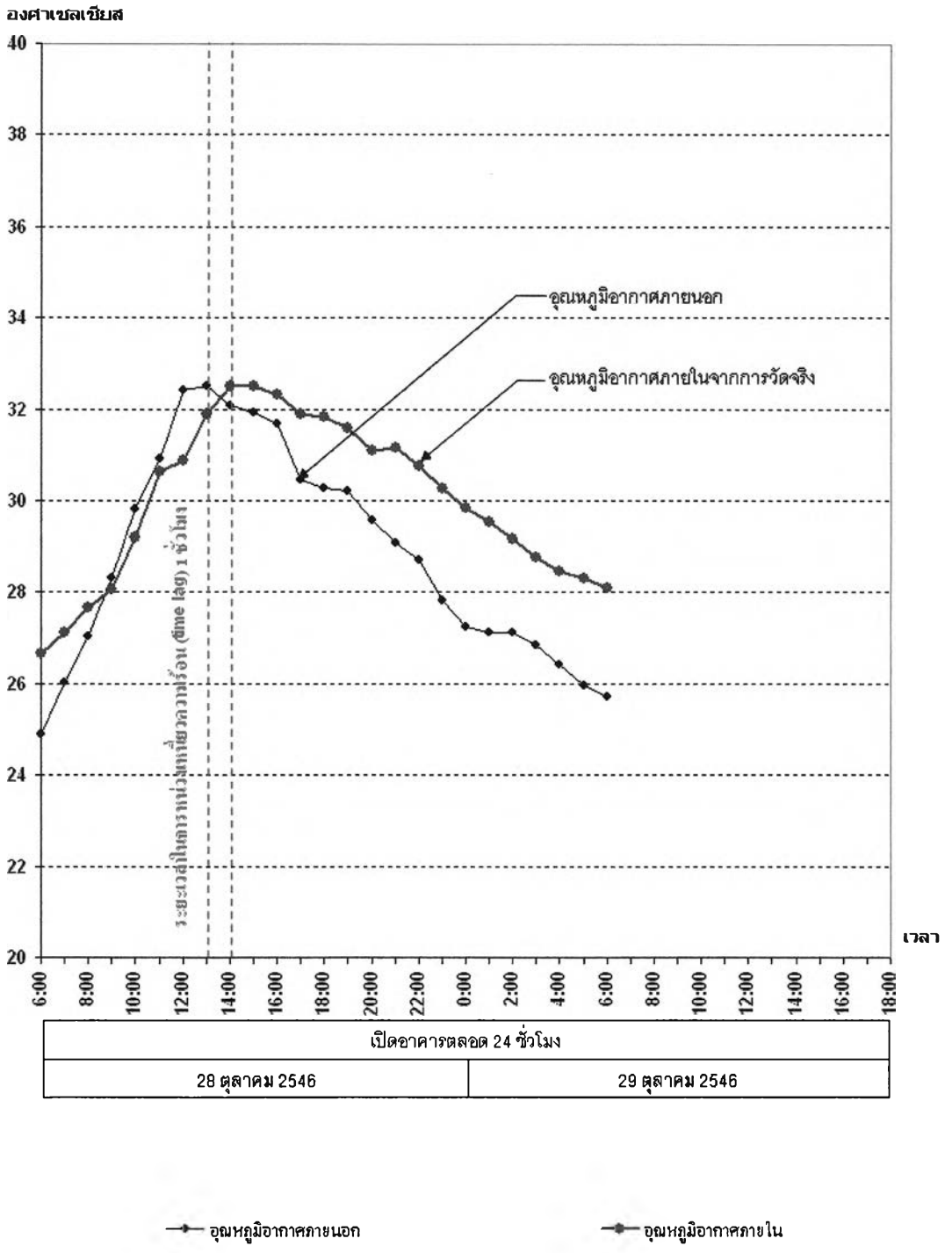
- กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายใน

แผนภูมิ4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริง พระตำหนักทับขวัญ(ภาคกลาง) ประเภท มวลสารน้อย กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน วันที่ 26 ถึง 28 เมษายน 2546



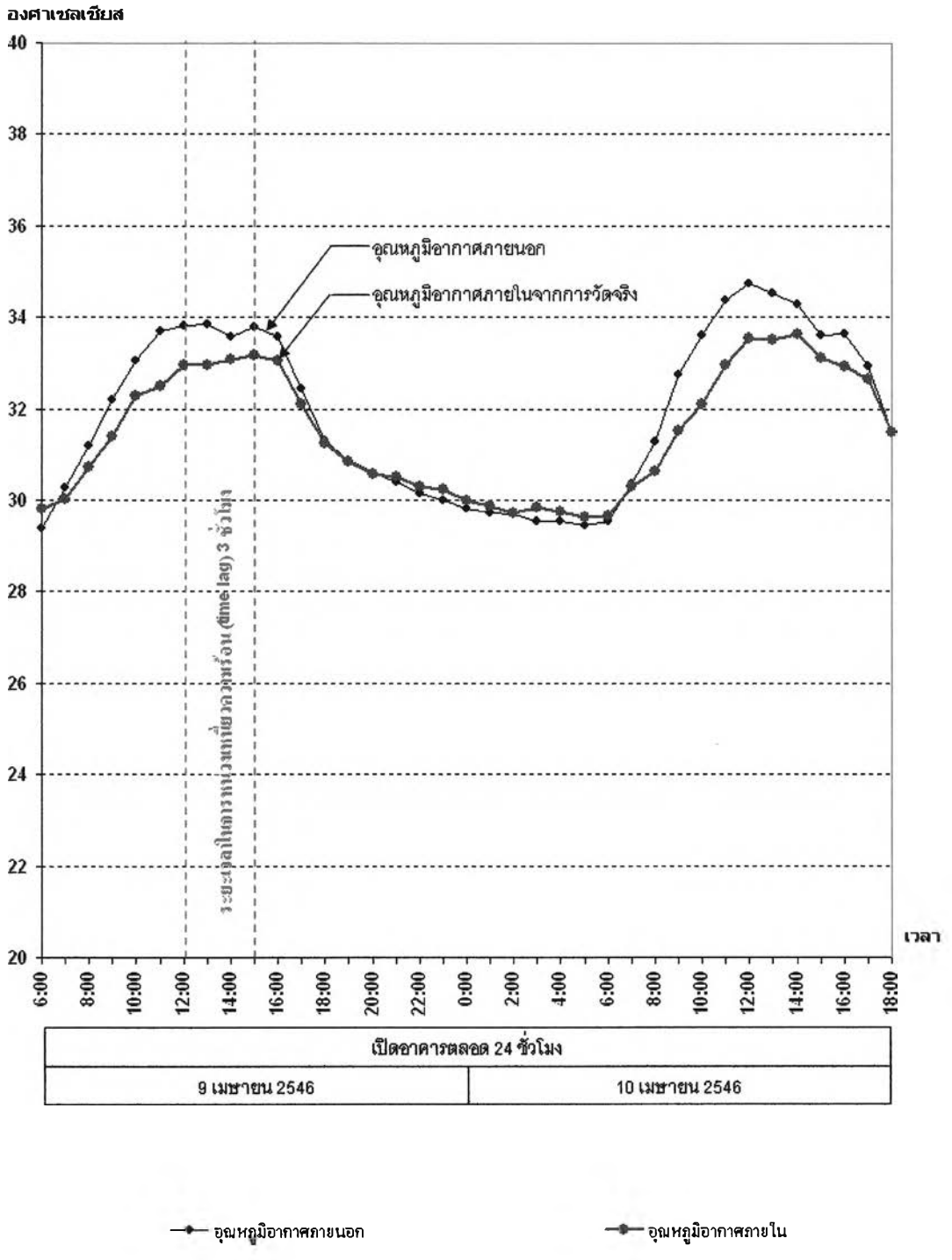
ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกไว้ในมวลสารของผนังอาคารมวลสารน้อย ผนังไม้ไม่สามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ จากกราฟพบว่าเมื่อเวลา 15.00น. อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (35°c) ในเวลาเดียวกันอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด (36°c) ด้วย

แผนภูมิ4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริง เรือนเภสัชกรรม (ภาคกลาง) ประเภท มวลสารกลาง กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูฝน วันที่ 28 ถึง 29 ตุลาคม 2546



ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกไว้ในมวลสารของผนังอาคารมวลสารกลาง สามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ 1 ชั่วโมง จากกราฟพบว่าเมื่อเวลา 13.00 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (32°c) ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด (32.5°c) อีก 2 ชั่วโมงถัดมา

แผนภูมิ4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริง พระวิหาร วัดพ่าแพง (ภาคกลาง) ประเภท มวลสารมาก กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน วันที่ 9 ถึง 10 เมษายน 2546



ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกไว้ในมวลสารของผนังอาคารมวลสารมาก สามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ 3 ชั่วโมง จากกราฟพบว่าเมื่อเวลา 12.00 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (33.83°c) ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด (33.2°c) อีก 3 ชั่วโมงถัดมา

ส่วนที่2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ได้จากสมการทำนาย

4.2.2.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในที่ได้จากการวัดจริงกับจากการทำนายสมการถดถอย

ในแต่ละมวลสาร โดยยกตัวอย่างผลที่ได้จากกรณีศึกษาอาคารที่เป็นตัวแทนแต่ละมวลสารดังนี้

มวลสารน้อย พระตำหนักทับขวัญ (ภาคกลาง) กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน

มวลสารกลาง เรือนภรตราชา (ภาคกลาง) กรณีเปิดกลางวันปิดกลางคืน ฤดูฝน

มวลสารมาก พระวิหาร วัดกำแพง(ภาคกลาง) กรณีปิดกลางวันเปิดกลางคืน ฤดูหนาว

4.2.2.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายในที่ได้จากการทำนายสมการถดถอย ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร จาก 4 จังหวัดที่เป็นตัวแทนภาคของประเทศไทย

4.2.2.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคารแต่ละมวลสาร

ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดช่องเปิดของอาคาร 4 แบบ โดยยกตัวอย่างผลที่ได้จากการวัดจริง กรณีศึกษาอาคารที่เป็นตัวแทนภาคกลาง

ขั้นตอนการนำเสนอข้อมูล

- กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในที่ได้จากการวัดจริงกับการทำนายสมการถดถอย
- กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร 4 แบบ

ในการหาสมการ regression ทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคารของแต่ละมวลสาร ได้จากกรณีศึกษา 12 หลังจากข้อมูลภาคสนามของโครงการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน

โดยเลือกใช้ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการหาสมการ regression ทำนายอุณหภูมิภายในอาคารของแต่ละมวลสารจากกลุ่มตัวอย่างขั้นต้น ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดช่องเปิดของอาคาร 4 แบบ คือ กรณีแรกเปิดอาคารตลอด 24 ชั่วโมง กรณีที่สองเปิดอาคารช่วงกลางวัน(6.00-18.00 น.) ปิดอาคารช่วงกลางคืน(18.00-6.00 น.) กรณีที่สามปิดอาคารตลอด 24 ชั่วโมง กรณีที่สี่ปิดอาคารช่วงกลางวัน(6.00-18.00 น.) เปิดอาคารช่วงกลางคืน(18.00-6.00 น.) ได้ผลดังนี้

สมการ regression ทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคารของแต่ละมวลสาร

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อย = 6.018+0.861 t_{out}-1.092 time-0.374 season-0.414 condition

(19.005) (78.411) (-16.075) (-9.529) (-7.219)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.920 R Square = 0.847 Adjusted R Square = 0.846 Std. Error = 1.1965

F = 2397.779 Sig. of F = .000

โดย t_{out} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

time คือ ช่วงเวลา dummy variable 1= กลางวัน 0=กลางคืน

season คือ ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition คือ การใช้อาคาร dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	time	season	condition	ค่าเฉลี่ย	SD
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)	0.897	0.298	-0.478	-0.063	29.39	3.0505
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.498	-0.414	0.010	28.52	3.3446
ช่วงเวลา (time)		(1.00)	-0.072	0.030	0.58	0.49
ฤดูกาล (season)			(1.00)	-0.003	0.98	0.81
การใช้อาคาร (condition)				(1.00)	0.48	0.50

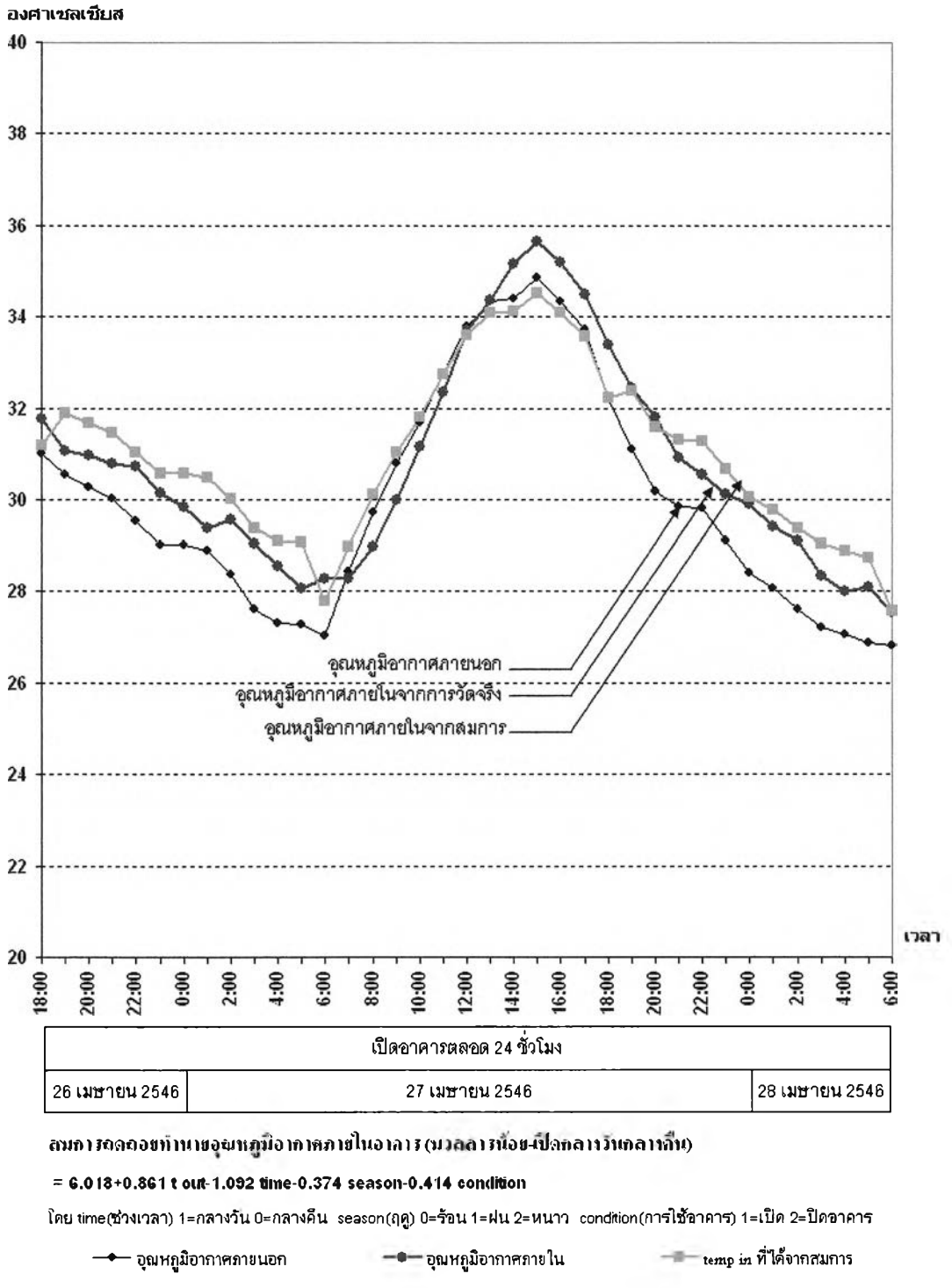
ตาราง4.1 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิอากาศมวลสารน้อย

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 28.52°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 37.17°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 19.25°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยเฉลี่ยอยู่ที่ 29.39°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยสูงสุดอยู่ที่ 38.53°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยต่ำสุดอยู่ที่ 20.92°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับช่วงเวลา และอุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับฤดูกาล ช่วงเวลามีความสัมพันธ์เชิงลบกับฤดูกาล ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ที่ได้กล่าวมามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อย ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 84.7

แผนภูมิ4.5 อุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริงกับที่ได้จากการทำนายสมการถดถอย พระตำหนักทับขวัญ(ภาคกลาง) ประเภท มวลสารน้อย กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน วันที่ 26 ถึง 28 เมษายน 2546



จากกราฟพบว่าอาคารมวลสารน้อย กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน โดยช่วงกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยเช่นกัน

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลาง = 12.7+0.652 t_{out}-1.284 time-0.480 season-0.754 condition

(25.275) (36.729) (-8.237) (-7.057) (-5.039)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.883 R Square = 0.779 Adjusted R Square = 0.778 Std. Error = 1.0215

F = 424.765 Sig. of F = .000

โดย t_{out} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

time คือ ช่วงเวลา dummy variable 1= กลางวัน 0=กลางคืน

season คือ ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition คือ การใช้อาคาร dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	time	season	condition	ค่าเฉลี่ย	SD
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)	0.777	0.041	-0.396	0.001	29.39	2.1657
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.477	-0.288	0.405	28.34	3.1120
ช่วงเวลา (time)		(1.00)	-0.070	0.767	0.62	0.49
ฤดูกาล (season)			(1.00)	-0.070	1.08	0.71
การใช้อาคาร (condition)				(1.00)	0.63	0.48

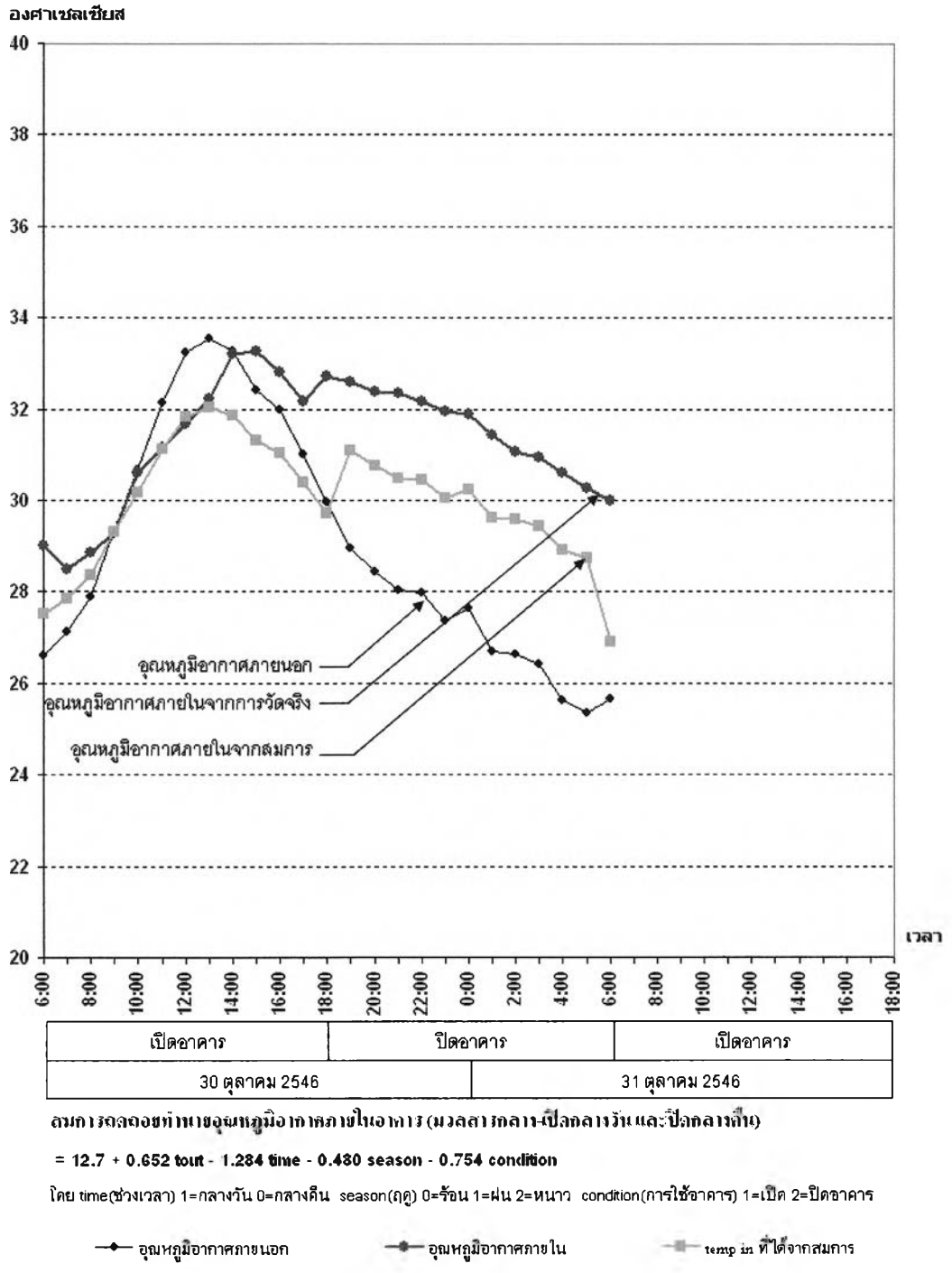
ตาราง4.2 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิอากาศมวลสารกลาง

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 28.34°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 37.42°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 20.46°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางเฉลี่ยอยู่ที่ 29.39°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางสูงสุดอยู่ที่ 34.83°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางต่ำสุดอยู่ที่ 22.21°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับช่วงเวลาและการใช้อาคาร และอุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับฤดูกาล ช่วงเวลามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการใช้อาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ที่ได้กล่าวมามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลาง ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 77.9

แผนภูมิ4.6 อุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริงกับที่ได้จากการทำนายสมการถดถอย เรือนกรตราชา (ภาคกลาง) ประเภท มวลสารกลาง กรณีเปิดกลางวัน-ปิดกลางคืน ฤดูฝน วันที่ 30 ถึง 31 ตุลาคม 2546



จากกราฟพบว่าอาคารมวลสารกลาง กรณีเปิดกลางวันและปิดกลางคืน อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทั้งในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน เนื่องจากผนังสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ 1 ชั่วโมงเท่านั้น จึงสะสมความร้อนมากเวลากลางวัน และจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารมากที่สุดตอนกลางคืน โดยเฉพาะช่วงหัวค่ำ

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมาก = 11.702+0.644 t_{out}-0.899 time-0.448 season-0.733 condition

(43.306) (68.653) (-12.232) (-10.714) (-11.627)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.911 R Square = 0.830 Adjusted R Square = 0.829 Std. Error = 1.2567

F = 1939.882 Sig. of F = .000

โดย t_{out} **คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก**

time **คือ ช่วงเวลา** dummy variable 1= **กลางวัน** 2=กลางคืน

season **คือ** ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition **คือ การใช้อาคาร** dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	time	season	condition	ค่าเฉลี่ย	SD
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)	0.884	0.247	-0.503	-0.129	28.26	3.0421
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.432	-0.439	-0.015	27.86	4.2025
ช่วงเวลา (time)		(1.00)	-0.051	0.007	0.63	0.48
ฤดูกาล (season)			(1.00)	-0.046	0.98	0.85
การใช้อาคาร (condition)				(1.00)	0.49	0.50

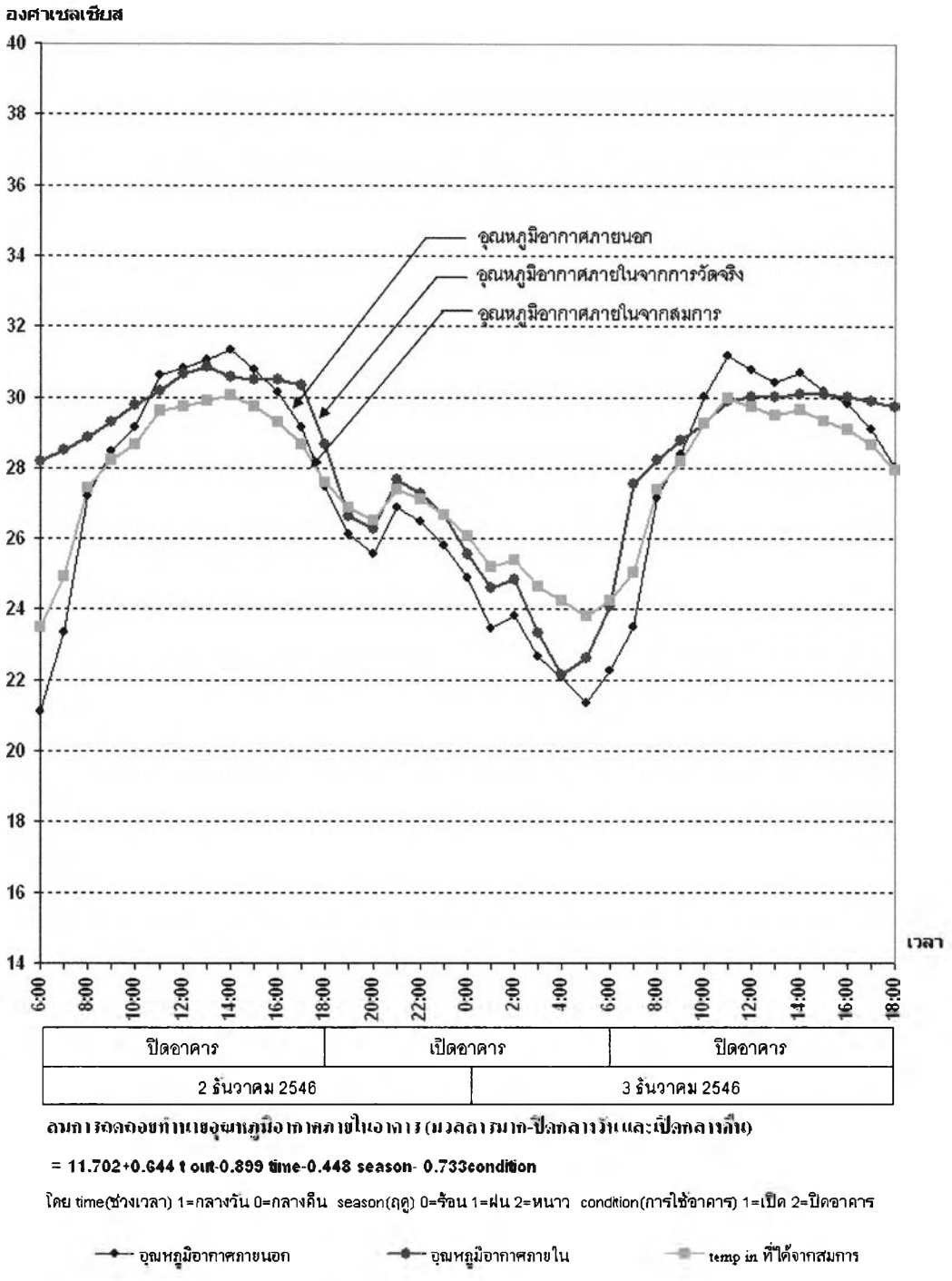
ตาราง4.3 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิอากาศมวลสารมาก

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 27.85°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 38.93°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 14.07°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากเฉลี่ยอยู่ที่ 28.26°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากสูงสุดอยู่ที่ 36.21°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากต่ำสุดอยู่ที่ 17.31°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับช่วงเวลา อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับฤดูกาล ช่วงเวลามีความสัมพันธ์เชิงลบกับฤดูกาล ฤดูกาลมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการใช้อาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ที่ได้กล่าวมามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมาก ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 83.0

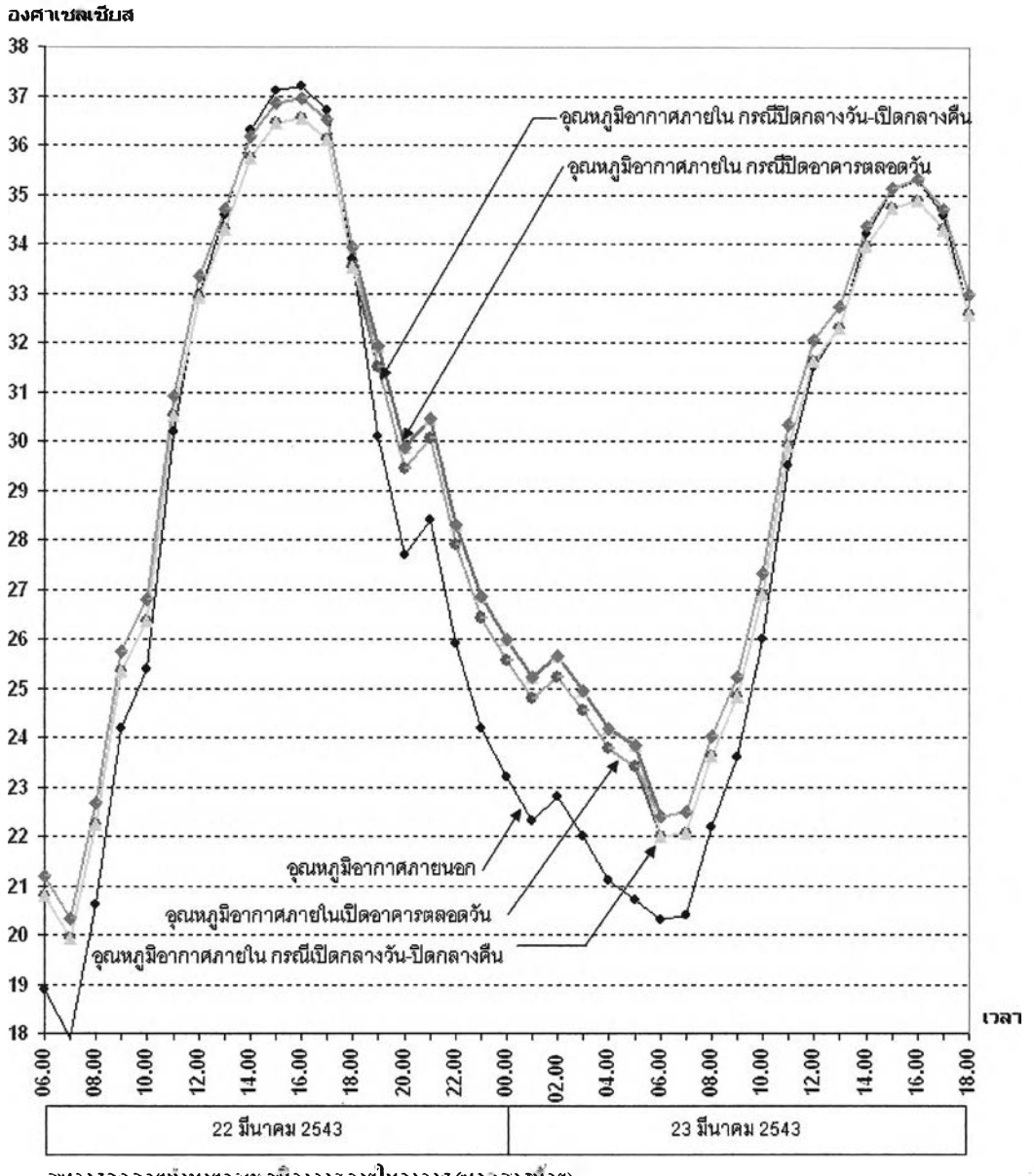
แผนภูมิ4.7 อุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริงกับที่ได้จากการทำนายสมการถดถอย พระวิหาร วัดก้านเหลือง (ภาคกลาง) ประเภทอาคารมวลสารมาก กรณีปิดกลางวัน-ปิดกลางคืน ฤดูหนาว วันที่ 2 ถึง 3 ธันวาคม 2546



จากกราฟพบว่าอาคารมวลสารมาก กรณีเปิดกลางวันและปิดกลางคืน ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก เนื่องจากผนังสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ 3 ชั่วโมง ความร้อนที่สะสมตอนกลางวันถ่ายเทเข้าสู่อาคารตอนกลางคืน การเปิดอาคารจึงช่วยลดการสะสมความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

4.2.2.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร 4แบบ

แผนภูมิ4.8 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารน้อย
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดเชียงใหม่ 37.20 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 22 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารน้อย)

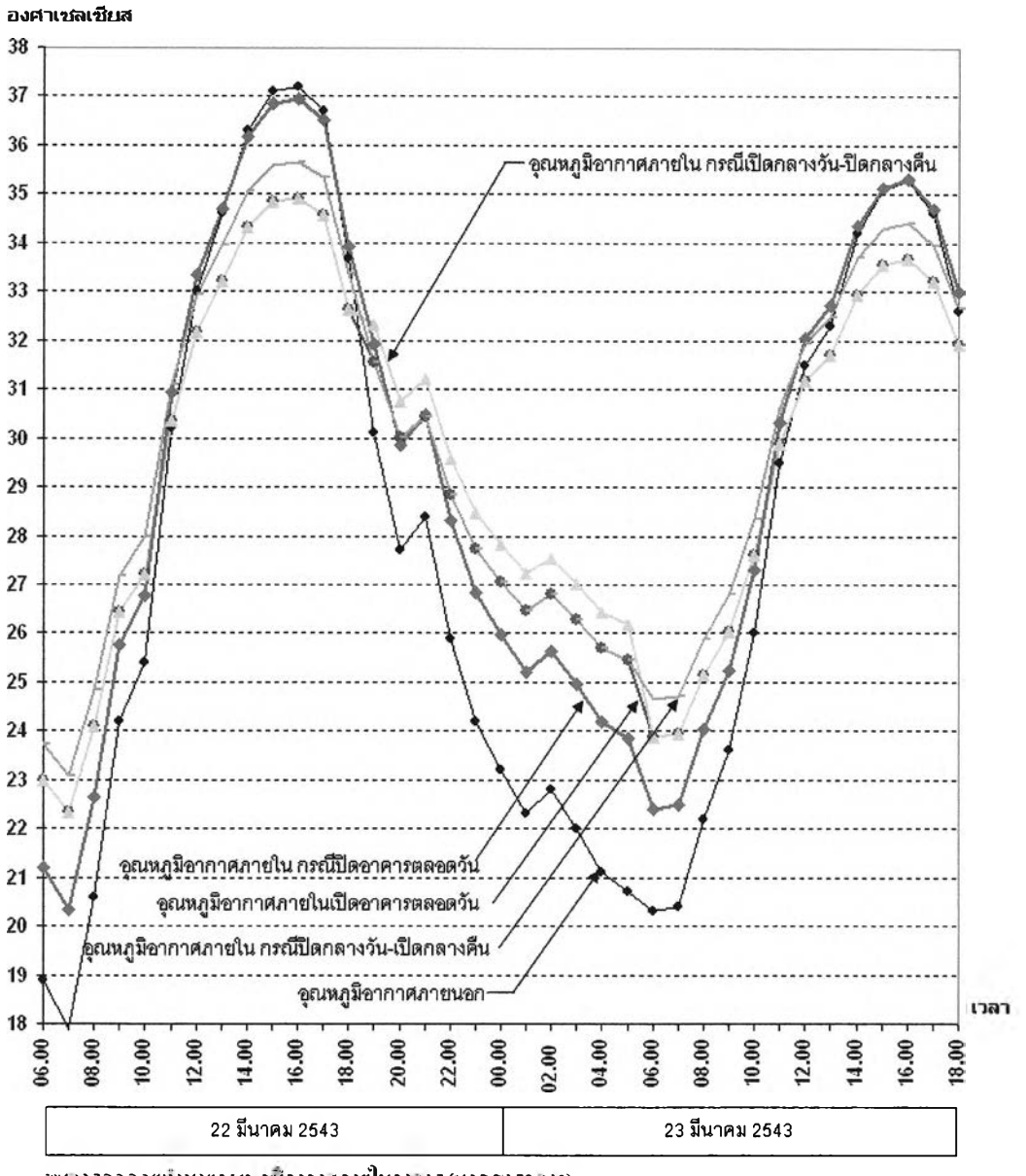
= 6.018+0.861 t out-1.092 time-0.374 season-0.414 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า

แผนภูมิ4.9 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารกลาง
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดเชียงใหม่ 37.20 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 22 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารกลาง)

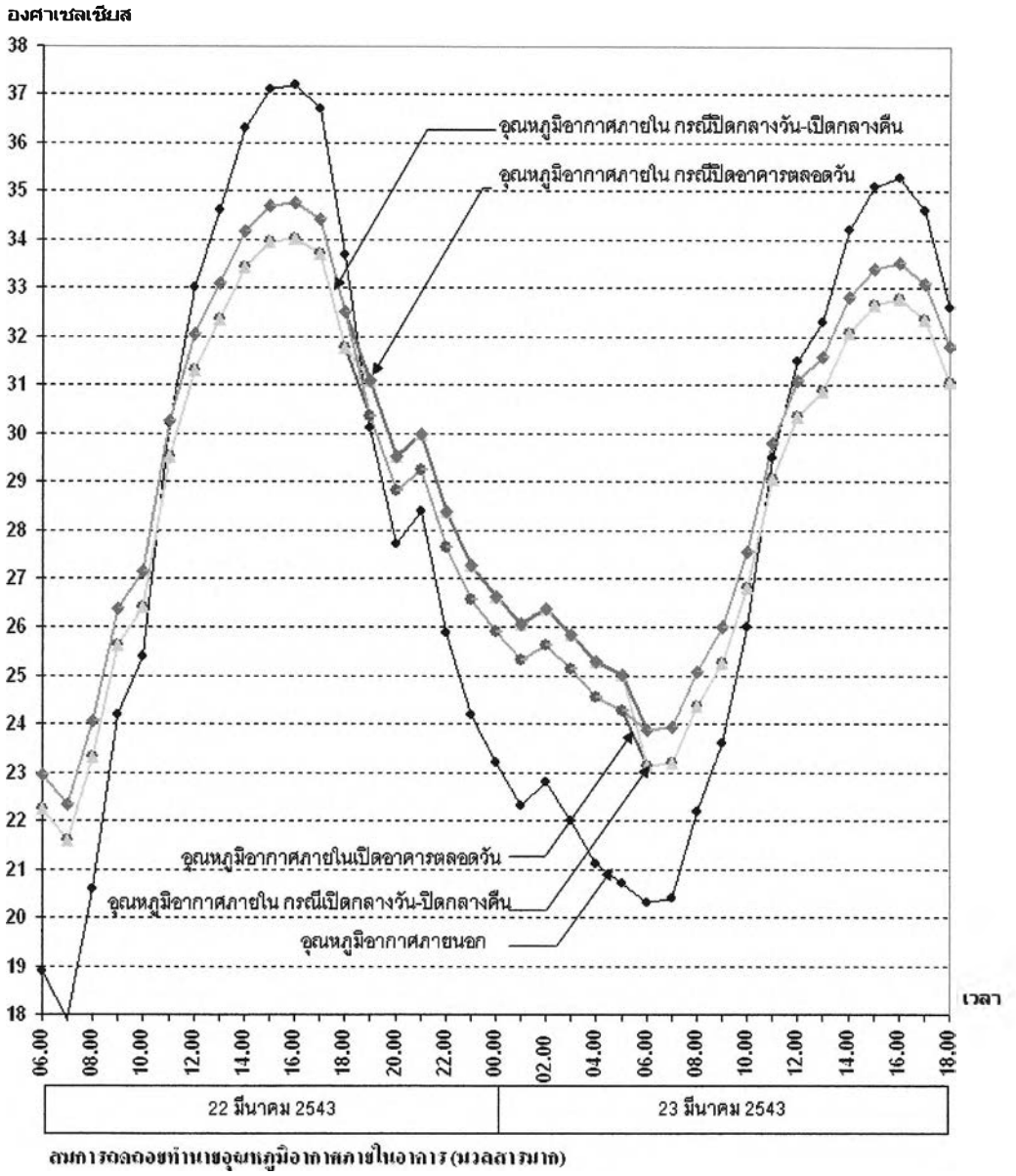
= 12.7+0.652 t out-1.284 time-0.480 season-0.754 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีจะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนสูงมาก เนื่องจากสะสมความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคาร มากที่สุดช่วงหัวค่ำ

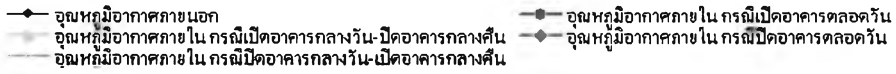
แผนภูมิ4.10 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารมาก
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดเชียงใหม่ 37.20 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 22 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารมาก)

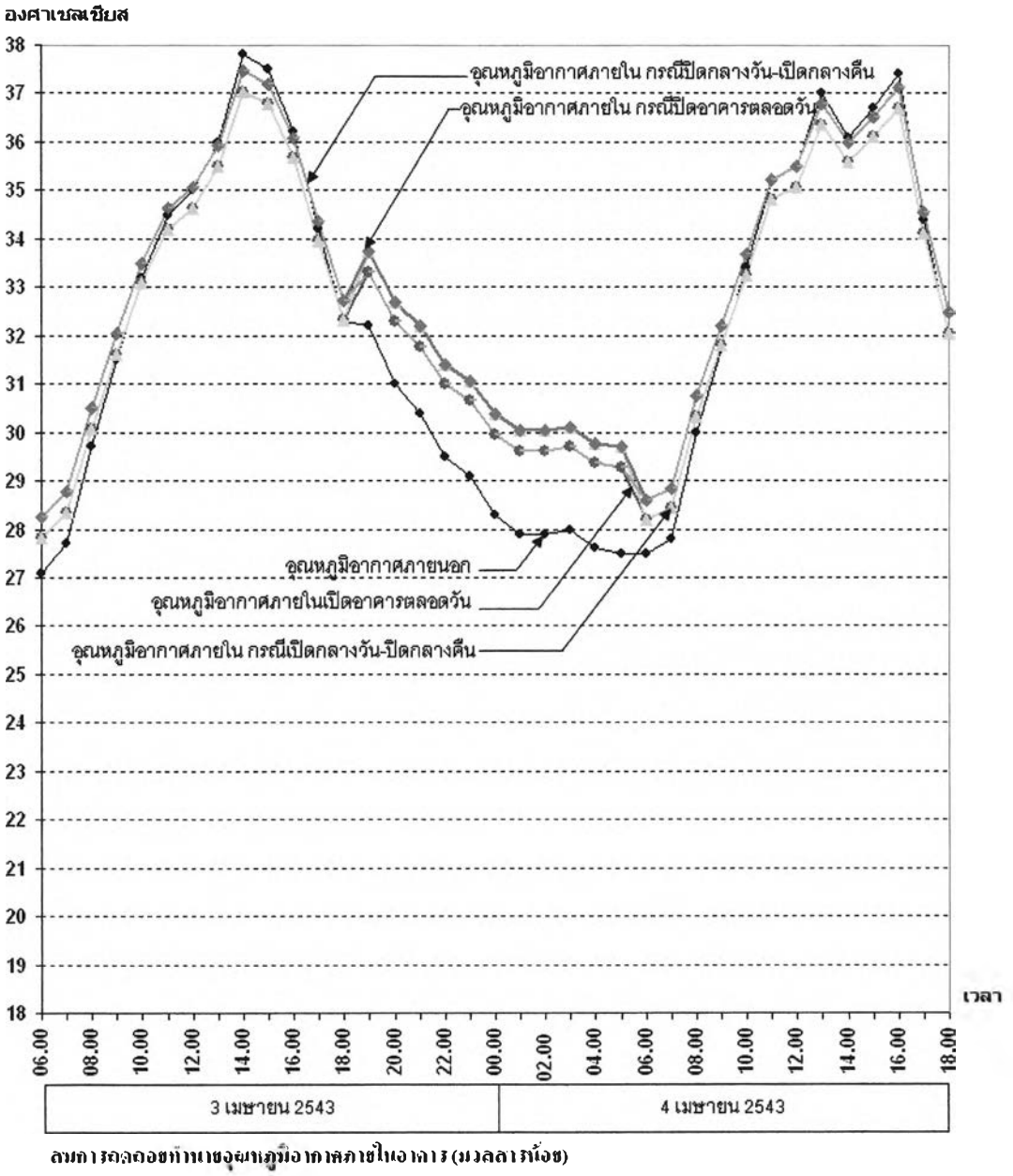
= 11.702+0.644 t out-0.899 time-0.448 season-0.733 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร



จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าภายนอก เนื่องจากผนังสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคารตอนค่ำ ดังนั้นการเปิดอาคารจะช่วยลดการสะสมความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

แผนภูมิ4.11 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารสวนสาธารณะ
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดอุบลราชธานี 37.80 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 3 เมษายน 2543



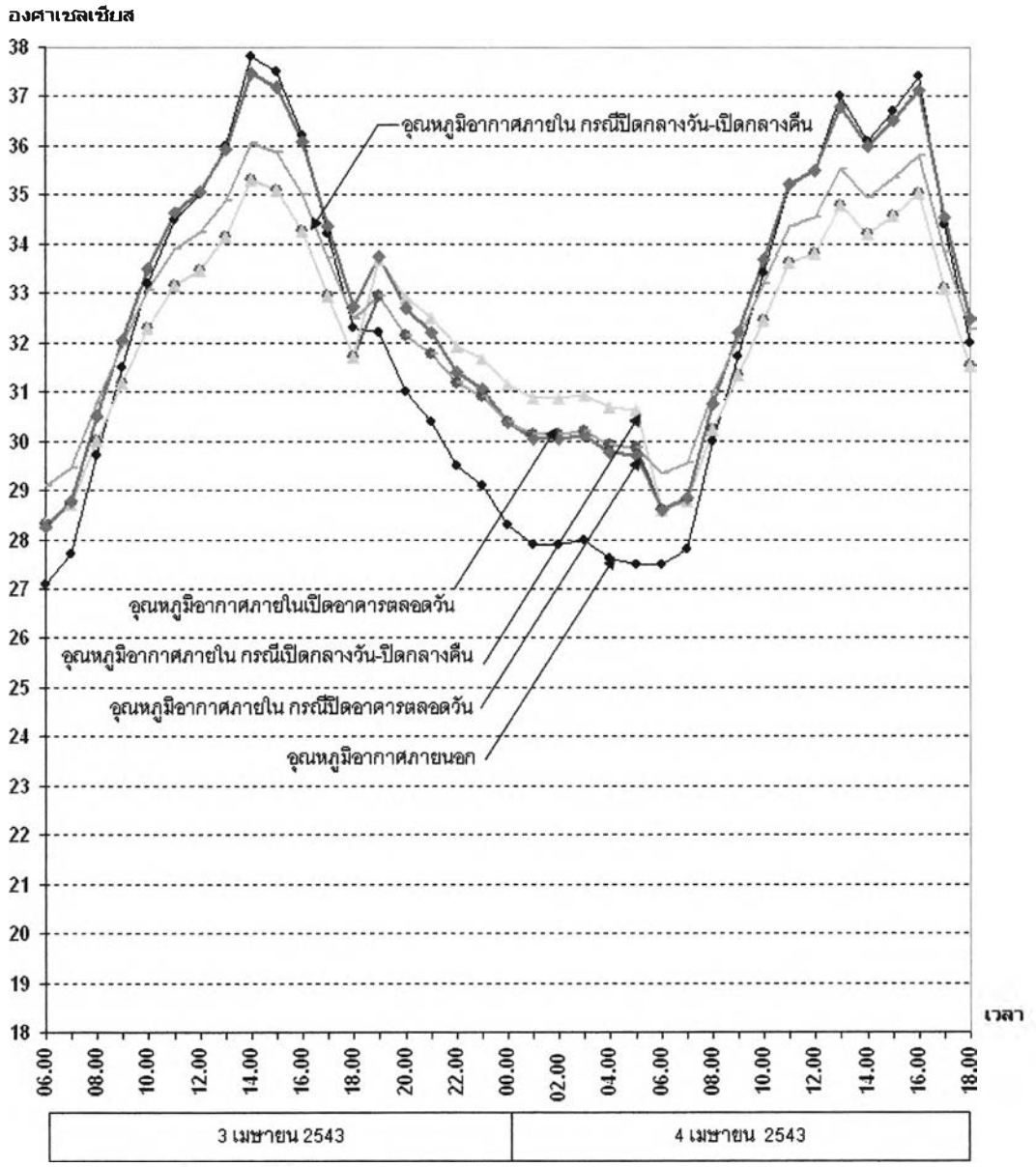
สมการถดถอยที่แสดงอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารน้อย)

= 6.018+0.861 t out-1.092 time-0.374 season-0.414 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า

แผนภูมิ4.12 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารกลาง
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดอุบลราชธานี 37.80 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 3 เมษายน 2543



สมการถดถอยที่ทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารกลาง)

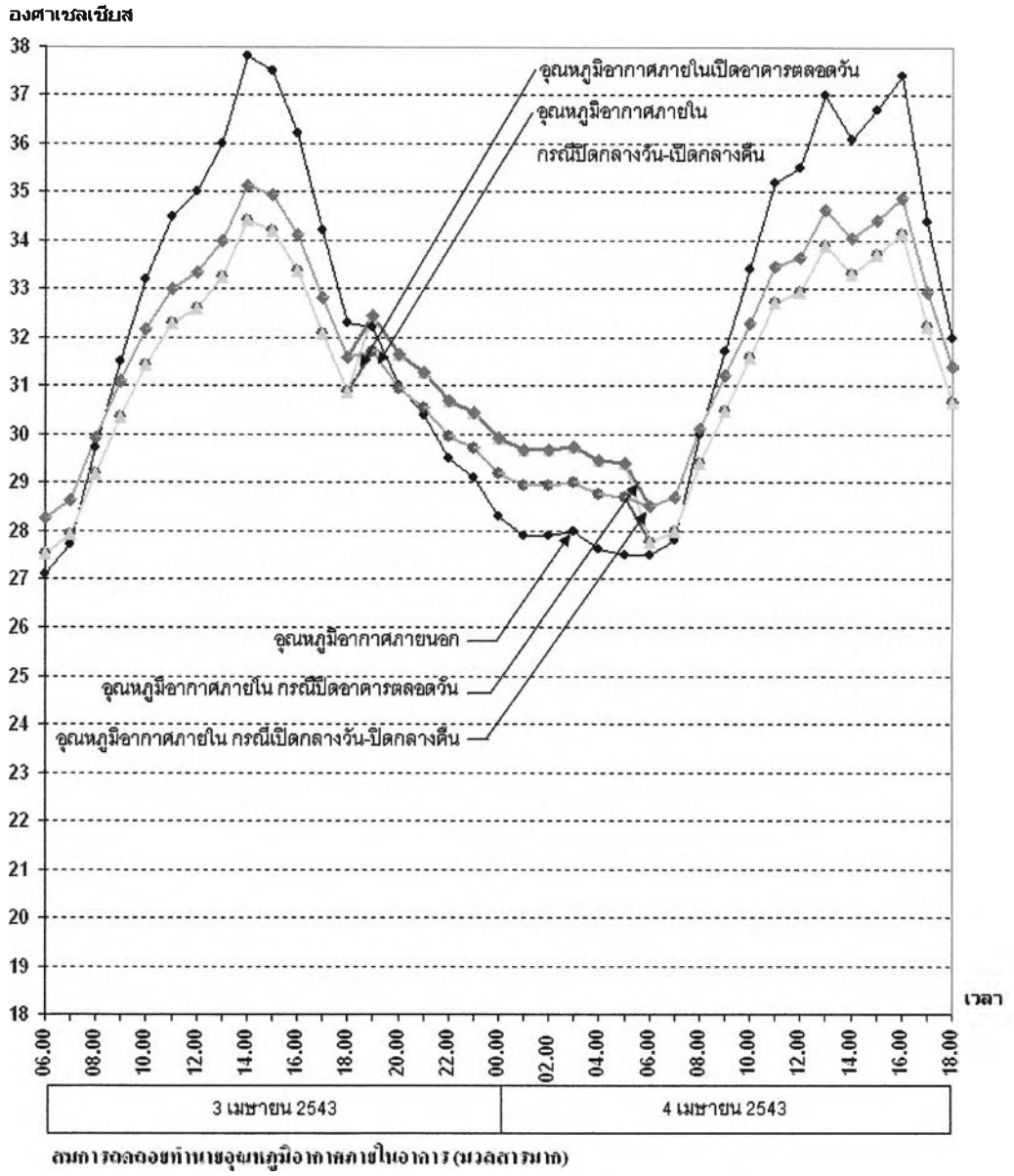
= 12.7+0.652 t out-1.284 time-0.480 season-0.754 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีจะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนสูงมาก เนื่องจากสะสมความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคาร มากที่สุดช่วงหัวค่ำ

แผนภูมิ4.13 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารมาก
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดอุบลราชธานี 37.80 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 3 เมษายน 2543



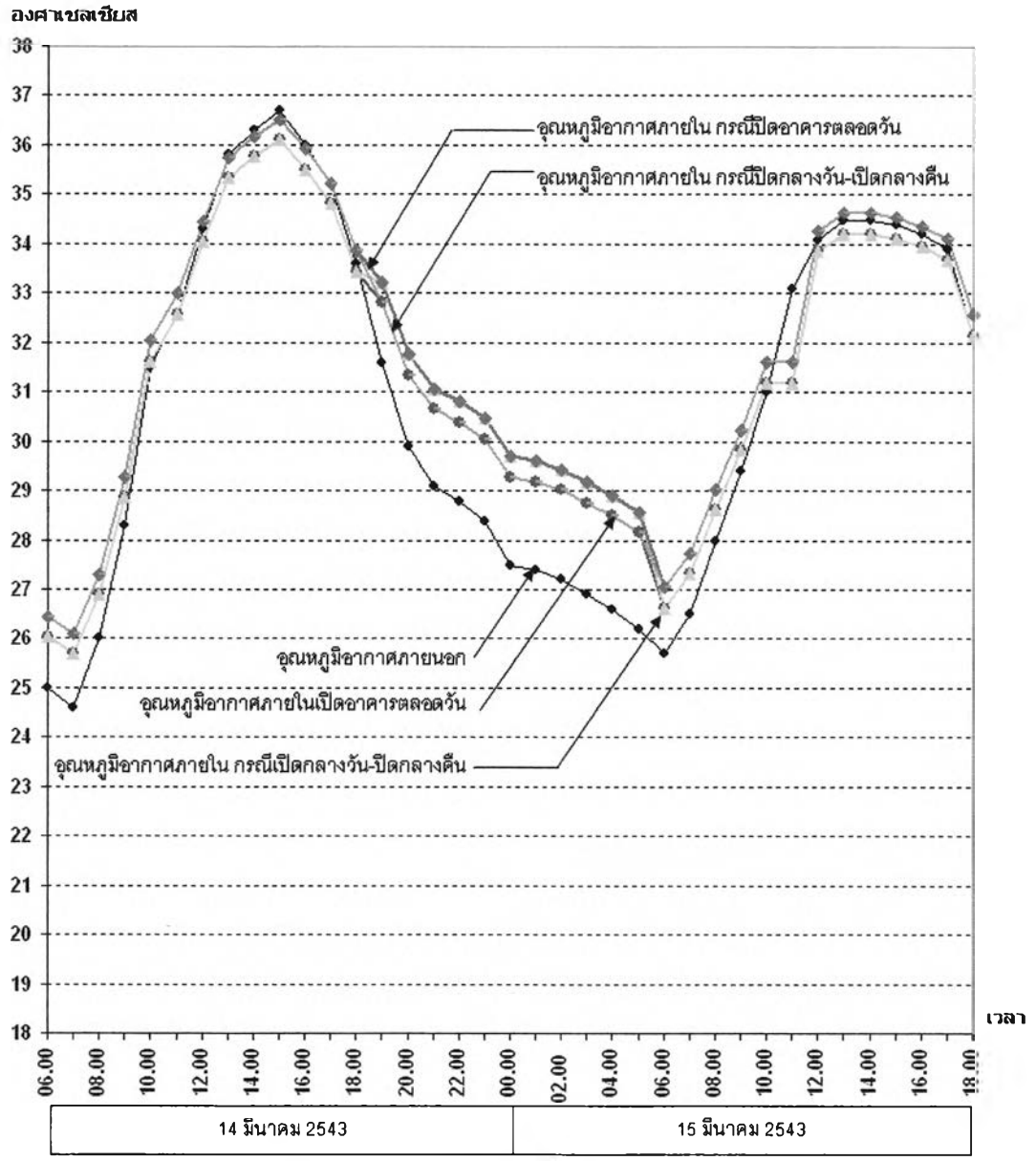
สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารมาก)

= 11.702+0.644 t out-0.899 time-0.448 season-0.733 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าภายนอก เนื่องจากผนังสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคารตอนค่ำ ดังนั้นการเปิดอาคารจะช่วยลดการสะสมความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

แผนภูมิ4.14 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารสงวลสารน้อย
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของกรุงเทพมหานคร 36.70 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 14 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารน้อย)

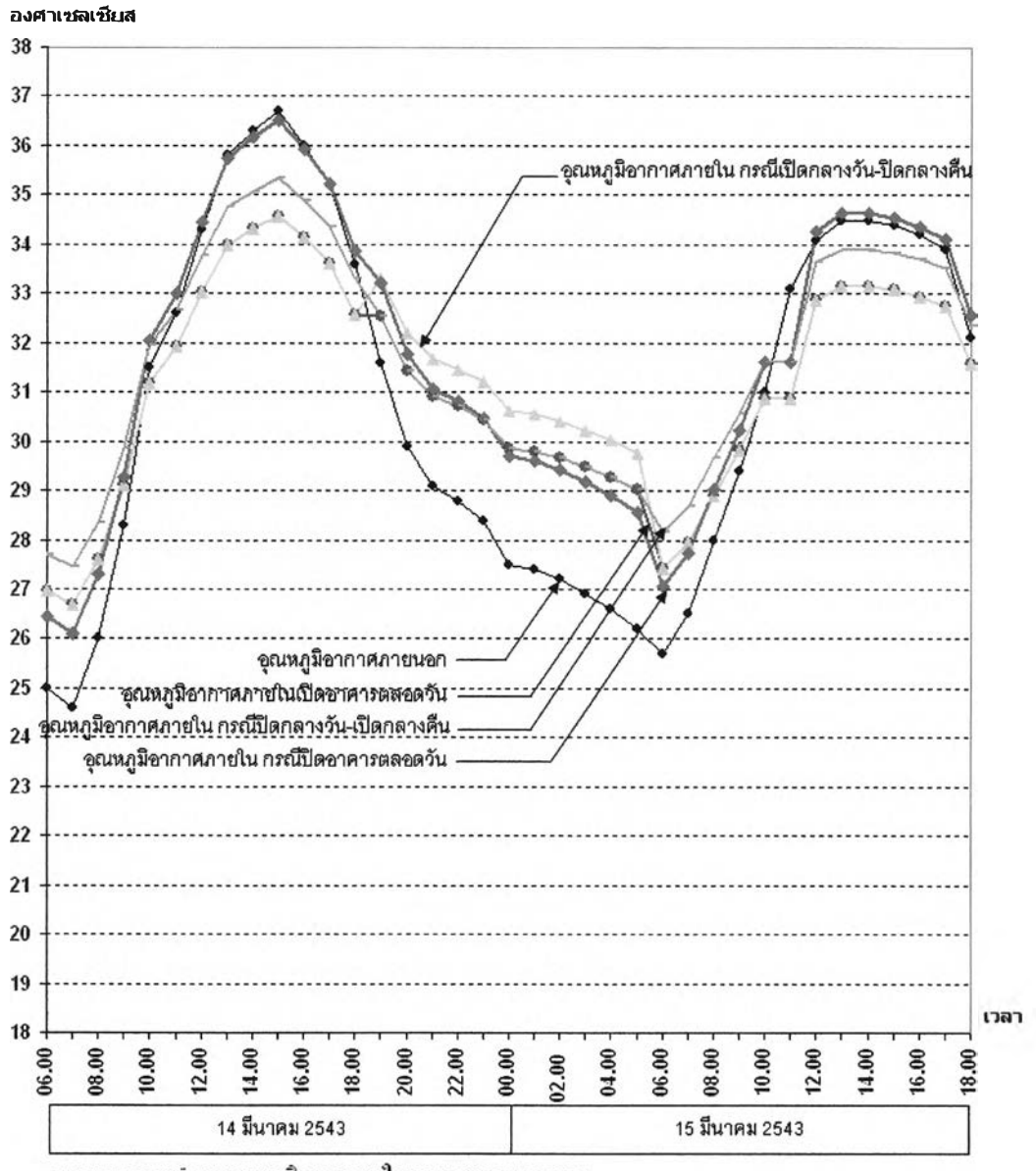
= 6.018+0.861 t out-1.092 time-0.374 season-0.414 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า

แผนภูมิ4.15 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารกลาง
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของกรุงเทพมหานคร 36.70 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 14 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารกลาง)

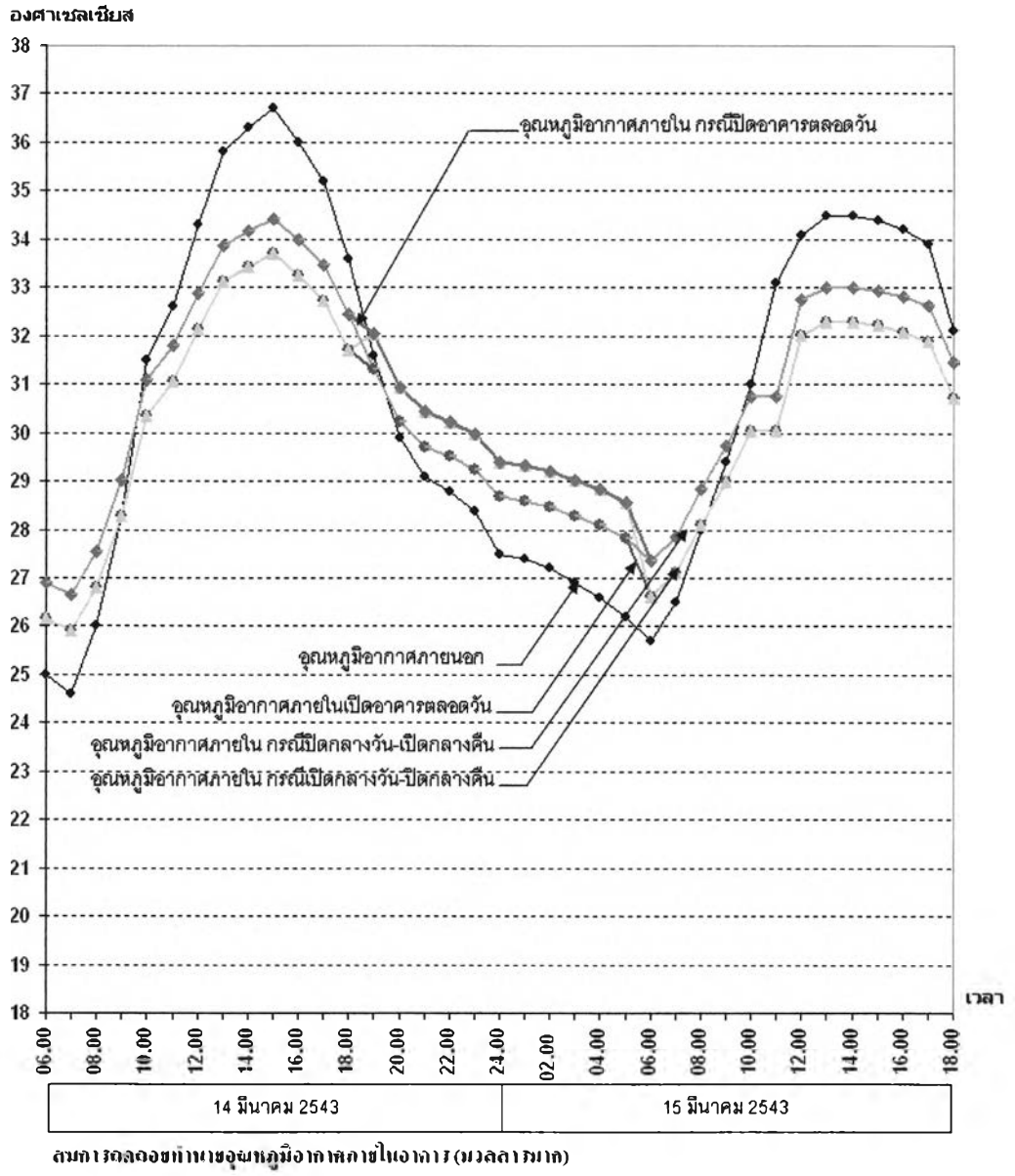
= 12.658 + 0.649 t out - 0.760 time - 0.470 season - 1.23 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีจะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนสูงมาก เนื่องจากสะสมความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคาร มากที่สุดช่วงหัวค่ำ

แผนภูมิ4.16 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารมาก
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของกรุงเทพมหานคร 36.70 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 14 มีนาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารมาก)

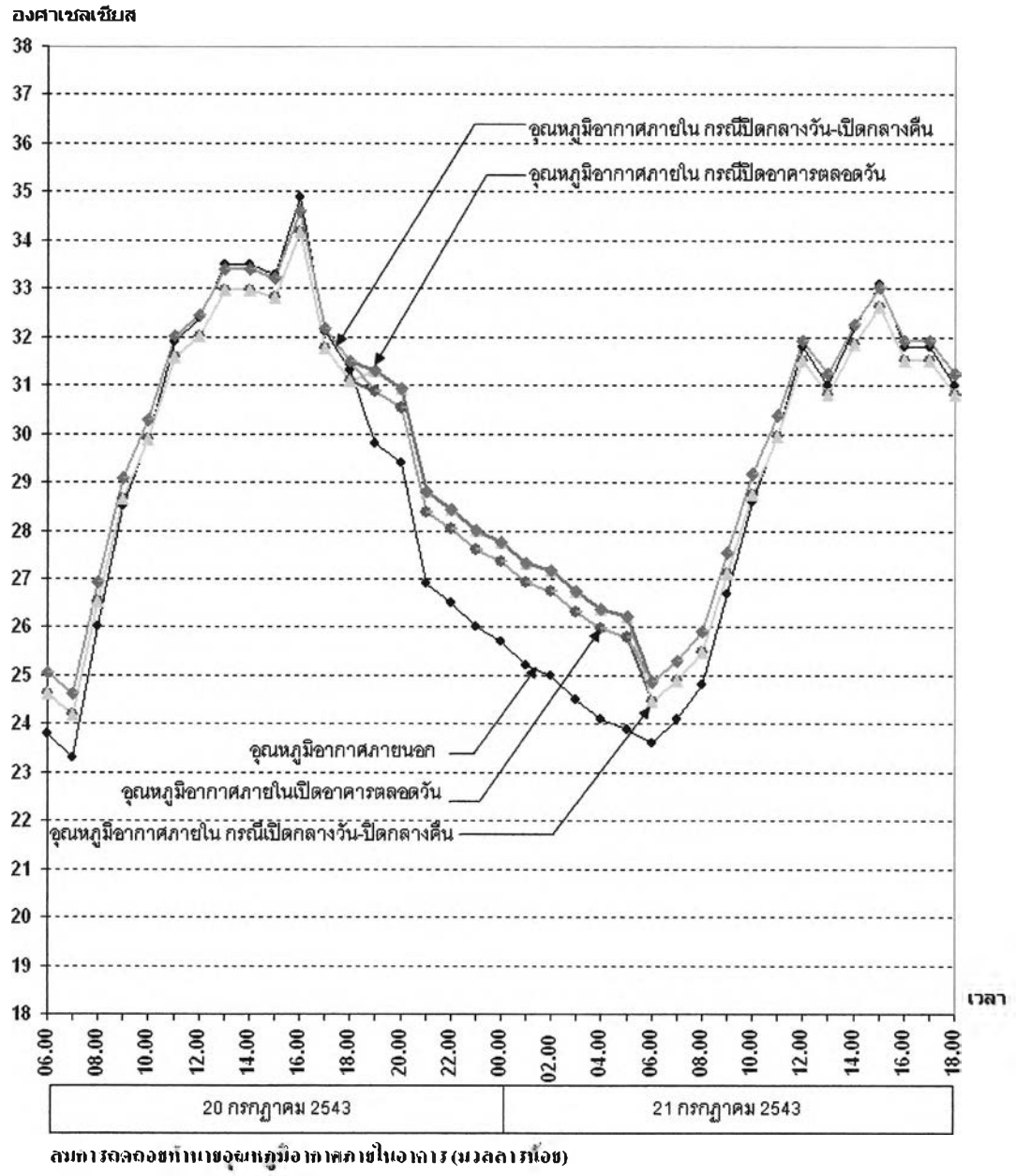
= 11.702+0.644 t out-0.899 time-0.448 season- 0.733condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าภายนอก เนื่องจากผนังสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคารตอนค่ำ ดังนั้นการเปิดอาคารจะช่วยลดการสะสมความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

แผนภูมิ4.17 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารน้อย
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดสงขลา 34.90 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 20 กรกฎาคม 2543



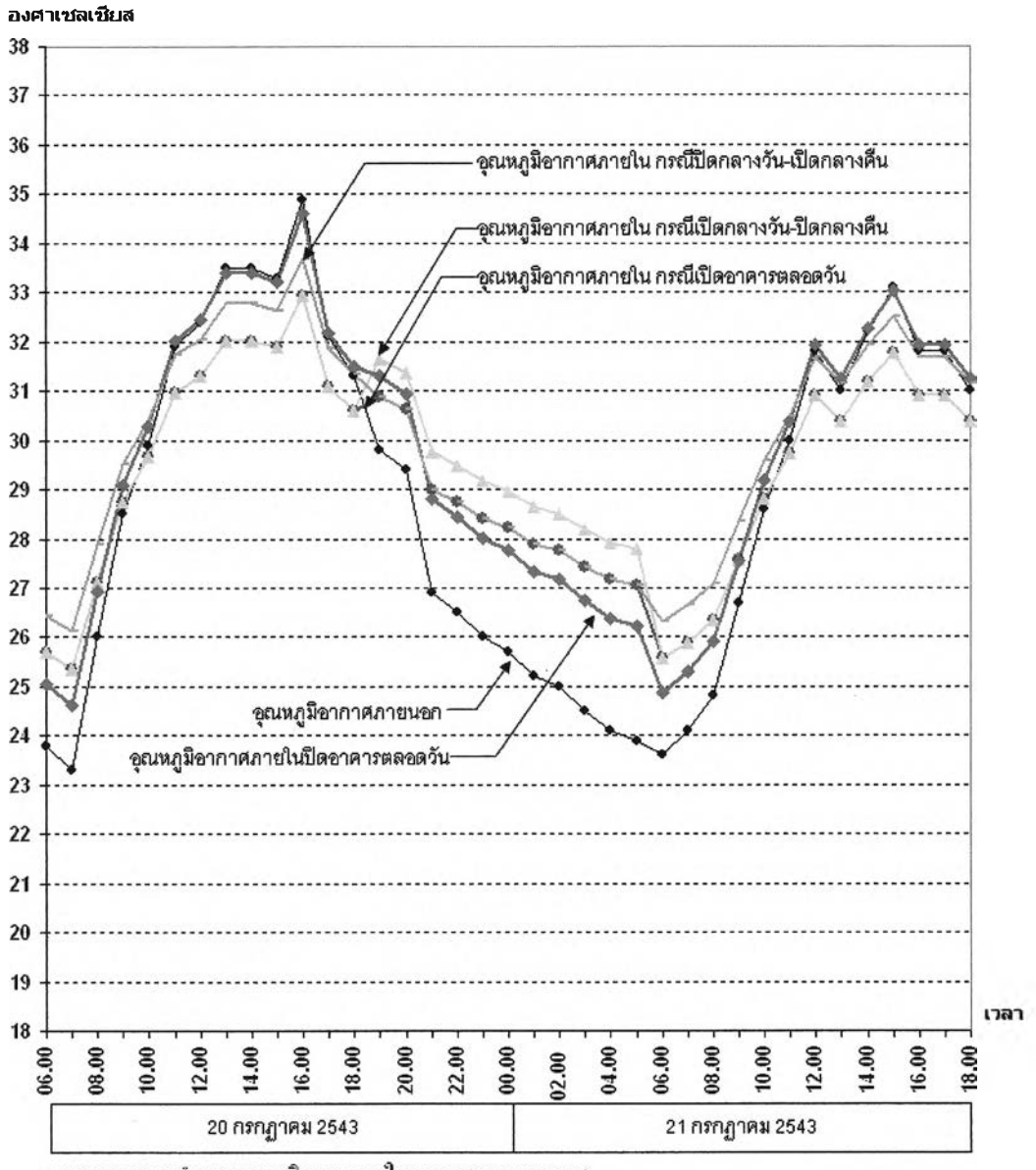
สมการถดถอยหาค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารน้อย)

= 6.018+0.861 t out-1.092 time-0.374 season-0.414 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า

แผนภูมิ4.18 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารกลาง
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดสงขลา 34.9 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 20 กรกฎาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารกลาง)

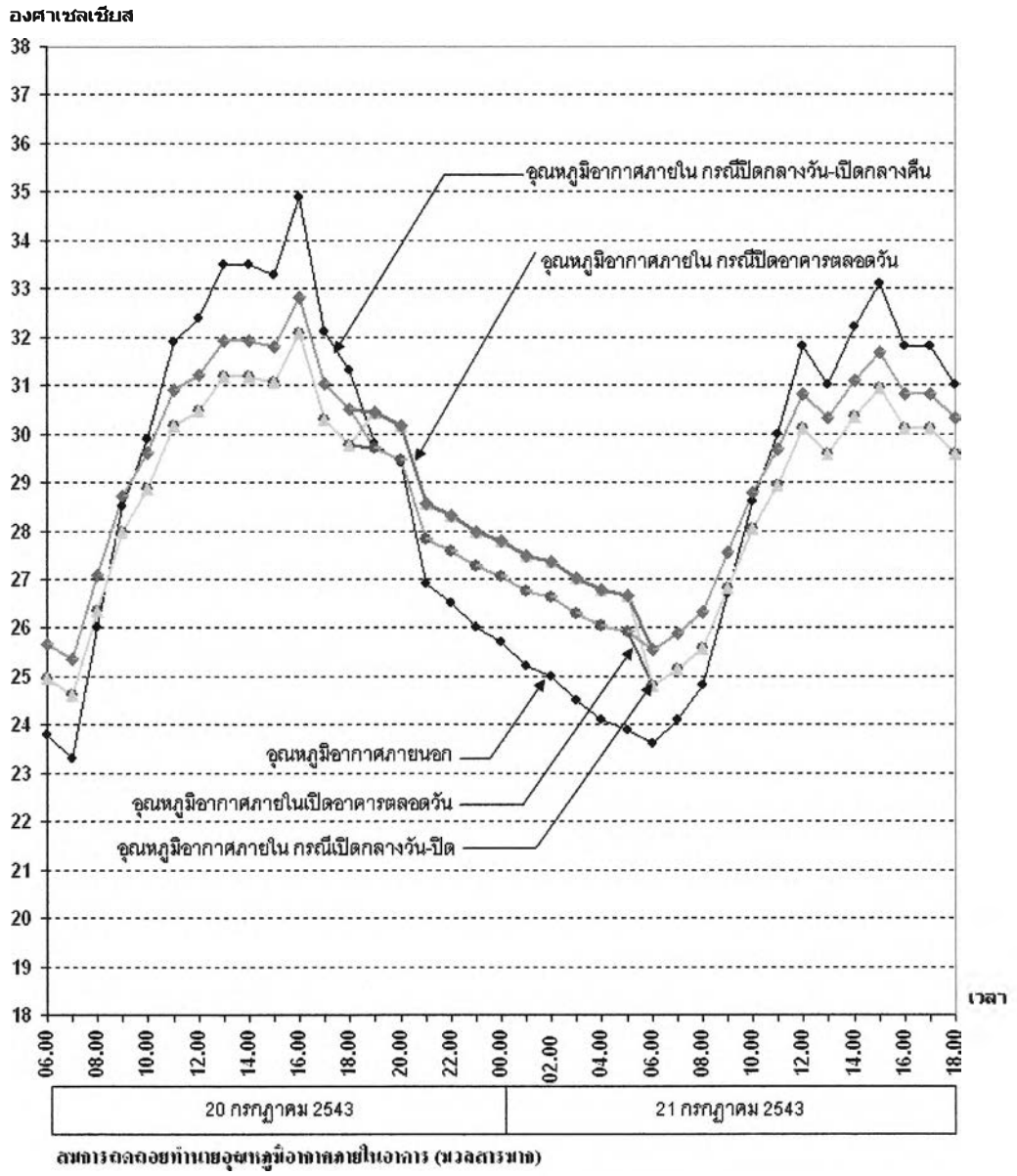
= 12.7+0.652 t out-1.284 time-0.480 season-0.754 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

อุณหภูมิอากาศภายนอก
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารกลางวัน-ปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารกลางวัน-เปิดอาคารกลางคืน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดอาคารตลอดวัน
อุณหภูมิอากาศภายใน กรณีปิดอาคารตลอดวัน

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีจะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนสูงมาก เนื่องจากสะสมความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคาร มากที่สุดช่วงหัวค่ำ

แผนภูมิ4.19 อุณหภูมิอากาศภายในตามประเภทการใช้งานของอาคารมวลสารมาก
อุณหภูมิสูงสุดในรอบปีของจังหวัดสงขลา 34.90 องศาเซลเซียส
ในวันที่ 20 กรกฎาคม 2543



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (มวลสารมาก)

= 11.702+0.644 t out-0.899 time-0.448 season-0.733 condition

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

จากกราฟพบว่ากรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวันมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงที่สุด ส่วนกรณีปิดกลางวันและเปิดกลางคืนอุณหภูมิอากาศตอนกลางวันสูงกว่ากรณีเปิดกลางวันและปิดกลางวันเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า โดยทุกกรณีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าภายนอก เนื่องจากผนังสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาถ่ายเทสู่ภายในอาคารตอนค่ำ ดังนั้นการเปิดอาคารจะช่วยลดการสะสมความร้อนได้ส่วนหนึ่ง

4.2.3 สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในของอาคารแต่ละมวลสาร ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร

จากกราฟเปรียบเทียบแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารของแต่ละมวลสาร โดยยังไม่พิจารณาถึงพฤติกรรมการใช้อาคารพบว่า

มวลสารน้อย เมื่อพิจารณาจากจังหวัดที่เป็นตัวแทนแต่ละภาคของประเทศไทยแล้วพบว่าทุกภาคจะมี*ลักษณะของกราฟอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยจะเปลี่ยนแปลงรุนแรงตลอดวันตามสภาพอากาศภายนอก* เนื่องจากผนังไม้ไม่สามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบโดยตรง

มวลสารกลาง เมื่อพิจารณาจากจังหวัดที่เป็นตัวแทนแต่ละภาคของประเทศไทยแล้วพบว่า ทุกภาคจะมี*ลักษณะของกราฟอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางจะสูงกว่าสภาพอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน* โดยในช่วงเวลากลางวันจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก เนื่องจากผนังก่ออิฐชั้นเดียวสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อน (time lag) จากภายนอกได้เพียง 1 ชั่วโมง จึงสะสมความร้อนมากในตอนกลางวันมาถ่ายเทความร้อนในสู่อาคารมากที่สุดช่วงหัวค่ำ

มวลสารมาก เมื่อพิจารณาจากจังหวัดที่เป็นตัวแทนแต่ละภาคของประเทศไทยแล้วพบว่าทุกภาคจะมี*ลักษณะของกราฟอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากจะค่อนข้างนิ่งเกือบตลอดทั้งวัน* โดยในช่วงเวลากลางวันจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในก็จะยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก เนื่องจากความหนาของผนังก่ออิฐฉาบปูนที่หนากว่าปกติสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อน (time lag) จากภายนอกได้ 3 ชั่วโมง เป็นผลมาจากค่าความจุความร้อนสูงที่ต้องใช้พลังงานความร้อนจำนวนมากในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

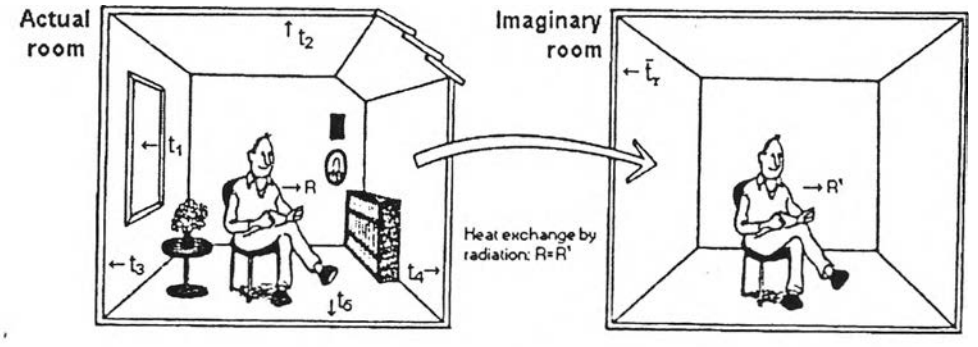
เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้อาคารเปรียบเทียบกันจะพบว่า *ทุกมวลสารจะมีลักษณะเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงที่สุด คือ กรณีปิดอาคารตลอดทั้งวัน ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด คือกรณีเปิดอาคารทั้งวัน* ส่วนอีก 2 กรณีจะมีอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงกัน โดยกรณีปิดอาคารช่วงกลางวันและเปิดอาคารช่วงกลางคืน อุณหภูมิอากาศตอนกลางวันจะสูงกว่ากรณีเปิดอาคารช่วงกลางวันและปิดอาคารช่วงกลางคืน แต่ในทางกลับกันอุณหภูมิอากาศตอนกลางคืนจะต่ำกว่า

โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวันจะต่างกันตามชนิดของมวลสาร คือ อาคารมวลสารน้อยจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดมากที่สุด รองลงมา คือ อาคารมวลสารกลาง ส่วนอาคารมวลสารมากจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดน้อยที่สุด

4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Effect of MRT: Mean radian temperature)

การใช้เทคนิคปรับแต่งสภาวะน่าสบาย (Comfort zone) ภายในอาคารให้ดีขึ้นหรืออยู่ในสภาวะน่าสบายมากขึ้น นอกจากการเลือกใช้อิทธิพลจากมวลสารที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้ว การใช้อิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radian temperature) ยังสามารถทำให้เข้าใกล้หรืออยู่ในสภาวะน่าสบายมากขึ้น

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radian temperature) เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจศึกษา สำหรับงานวิจัยนี้คือ การหาค่าเฉลี่ยของการแผ่รังสีความร้อนภายในห้องของอาคารมวลสารต่าง ๆ ที่เรานำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา



รูป4.1 การคิดอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) จากห้องสมมติ

ที่มา Fanger,O.P. Thermal comfort. NY:Mcgraw – Hill , 1976.

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean radian temperature) สามารถหาได้จากการทดลองหรือจากการคำนวณ จากข้อมูลภาคสนามของโครงการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงานทำการทดลองวัดค่าจาก Glob แล้วจึงคำนวณได้ MRT ออกมา ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้**ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการหาสมการ regression** ทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบภายในอาคารของแต่ละมวลสารจากกลุ่มตัวอย่าง ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดช่องเปิดของอาคาร 4 แบบ คือ กรณีแรกเปิดอาคารตลอด 24 ชั่วโมง กรณีที่สองเปิดอาคารช่วงกลางวัน(6.00-18.00 น.) ปิดอาคารช่วงกลางคืน(18.00-6.00 น.) กรณีที่สามปิดอาคารตลอด 24 ชั่วโมง กรณีที่สี่ปิดอาคารช่วงกลางวัน(6.00-18.00 น.) เปิดอาคารช่วงกลางคืน(18.00-6.00 น.)

4.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ได้จากสมการทำนาย

เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่ได้จากการวัดจริงกับจากการทำนายสมการถดถอย

ในแต่ละมวลสาร โดยยกตัวอย่างผลที่ได้จากกรณีศึกษาอาคารที่เป็นตัวแทนแต่ละมวลสารดังนี้

มวลสารน้อย	พระตำหนักทับขวัญ (ภาคกลาง) กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน
มวลสารกลาง	เรือนภรตราชา (ภาคกลาง) กรณีเปิดกลางวันปิดกลางคืน ฤดูฝน
มวลสารมาก	พระวิหาร วัดกำแพง (ภาคกลาง) กรณีปิดกลางวันเปิดกลางวัน ฤดูหนาว

สมการ regression ทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวภายในอาคารโดยรอบของแต่ละมวลสาร

MRT_{in}มวลสารน้อย=-0.453+0.343t_{out}+0.67t_{in} -0.253time+0.008653season+0.257condition-0.0008$wind_{in}$

(-2.105) (29.111) (60.506) (-5.360) (3.469) (6.992) (-7.600)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.972 R Square = 0.945 Adjusted R Square = 0.945 Std. Error = 0.7115

F = 4683.379 Sig. of F = .000

โดย t_{out} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$t_{in\ lag\ 1\ hr}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยมีระยะเวลาหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง

time คือ ช่วงเวลา dummy variable 1= กลางวัน 0=กลางคืน

season คือ ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition คือ การใช้อาคาร dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	t in	condition	time	ค่าเฉลี่ย	SD
mrt in	0.873	0.950	0.012	0.289	29.09	3.0218
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.795	0.032	0.531	28.66	3.333
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)		(1.00)	-0.042	0.200	29.50	3.0197
การใช้อาคาร (condition)			(1.00)	-0.004	0.47	0.50
ช่วงเวลา (time)				(1.00)	0.57	0.49
ฤดูกาล (season)					0.95	0.81
ลมภายใน(wind in หน่วยfpm)					12.39	17.6621

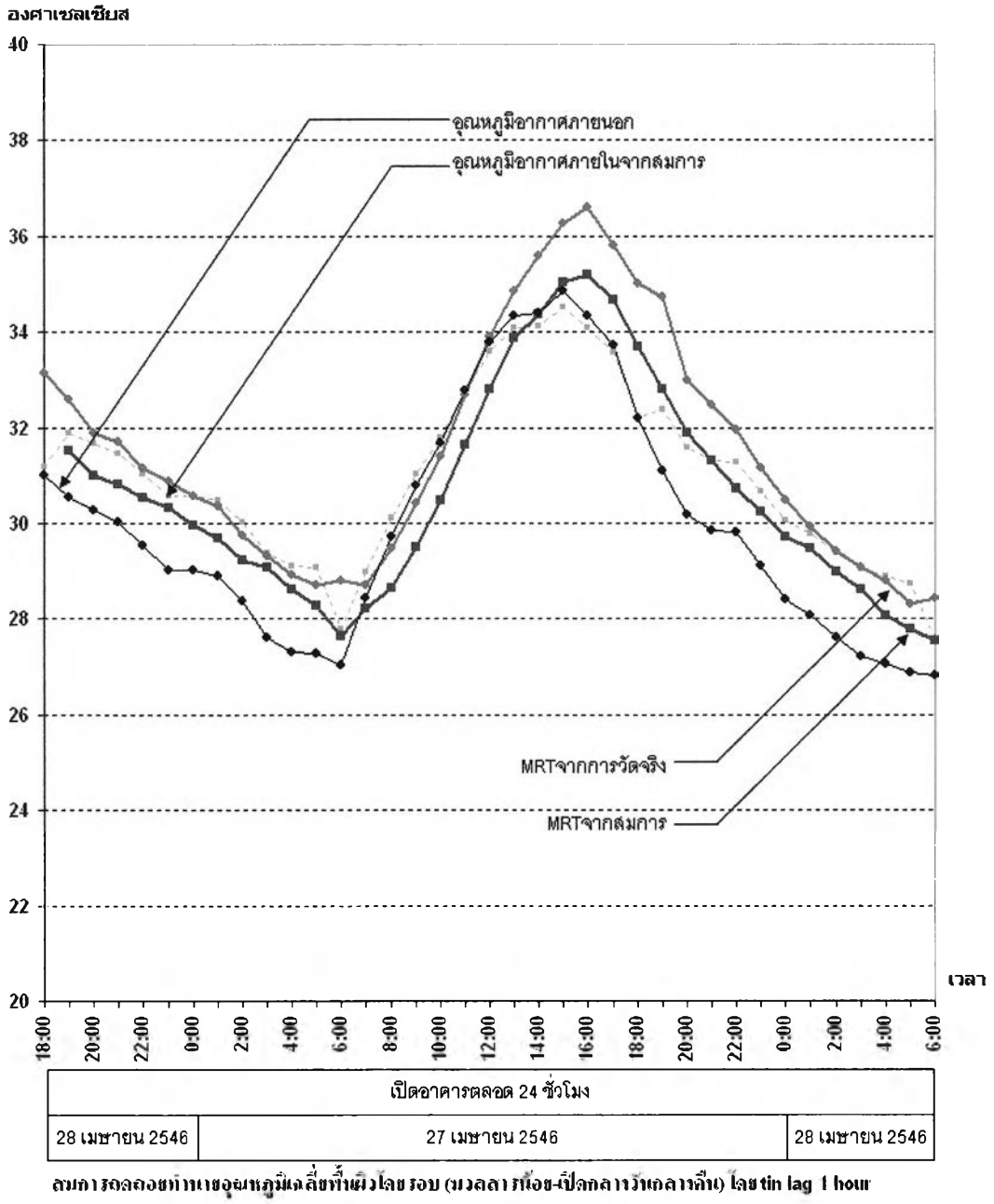
ตาราง4.4 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบมวลสารน้อย

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า MRT ภายในอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 29.09°c MRT ภายในอาคารสูงสุดอยู่ที่ 38.11°c MRT ภายในอาคารต่ำสุดอยู่ที่ 20.26 °c อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 28.66°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 37.11°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 19.25°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยเฉลี่ยอยู่ที่ 29.09°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยสูงสุดอยู่ที่ 38.11°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยต่ำสุดอยู่ที่ 20.26°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศภายใน(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง) และช่วงเวลาอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อย(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง)มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับช่วงเวลา และอุณหภูมิอากาศภายใน(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง)อาคารมวลสารน้อยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการใช้อาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของการใช้อาคารและฤดูกาลล้วนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของMRT ภายในอาคารมวลสารน้อย ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในของอาคารมวลสารน้อยได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 94.5

แผนภูมิ4.20 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) จากการวัดจริงกับที่ได้จากสมการถดถอย พระตำหนักทับขวัญ(ภาคกลาง) ประเภท มวลสารน้อย กรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวัน ฤดูร้อน วันที่ 26 ถึง 28 เมษายน 2546



จากกราฟพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ จากกรณีเปิดอาคารตลอดทั้งวันในตอนกลางวันที่อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงตาม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน ทำให้ผู้อาศัยรู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นกว่าเดิม (อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ1°c จะรู้สึกร้อนขึ้น 1.4°c)

MRT_{in}มวลสารกลาง=4.067+0.281t_{out}+0.584t_{in} -0.395time-0.135season+0.407condition-0.0007$wind_{in}$

(9.234) (16.168) (26.583) (-4.333) (-3.151) (4.855) (-4.106)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.956 R Square = 0.914 Adjusted R Square = 0.913 Std. Error = 0.6081

F = 847.171 Sig. of F = .000

โดย t_{out} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$t_{in\ lag\ 1\ hr}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางมีระยะเวลาหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง

time คือ ช่วงเวลา dummy variable 1= กลางวัน 0=กลางคืน

season คือ ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition คือ การใช้อาคาร dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	t in	condition	time	ค่าเฉลี่ย	SD
mrt in	0.813	0.906	0.153	0.212	28.93	2.0575
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.657	0.419	0.552	28.29	3.0957
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)		(1.00)	-0.054	0.032	29.37	2.1523
การใช้อาคาร (condition)			(1.00)	0.704	0.62	0.49
ช่วงเวลา (time)				(1.00)	0.58	0.49
ฤดูกาล (season)					1.08	0.71
ลมภายใน(wind in หน่วยfpm)					14.28	18.1356

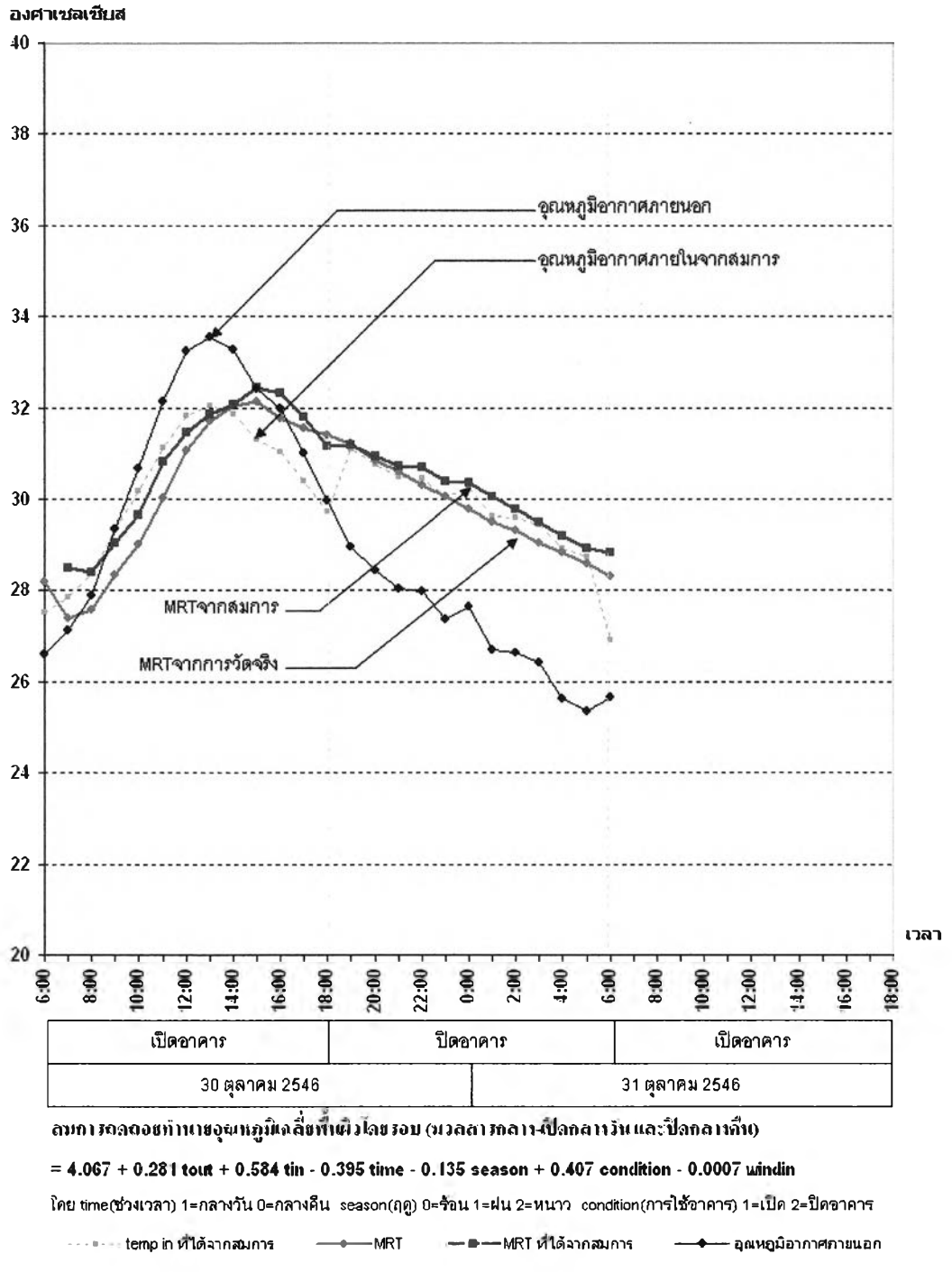
ตาราง4.5 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบมวลสารกลาง

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า MRT ภายในอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 28.93°c MRT ภายในอาคารสูงสุดอยู่ที่ 35.13°c MRT ภายในอาคารต่ำสุดอยู่ที่ 22.82 °c อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 28.29°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 37.42°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 20.46°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางเฉลี่ยอยู่ที่ 29.37°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางสูงสุดอยู่ที่ 35.28°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลางต่ำสุดอยู่ที่ 22.21°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศภายใน(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง) การใช้อาคารและช่วงเวลา การใช้อาคารมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับช่วงเวลา ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ที่ได้กล่าวมามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารน้อยที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของการใช้อาคาร ล้วนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของMRT ภายในอาคารมวลสารกลาง ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในของอาคารมวลสารกลางได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 91.4

แผนภูมิ4.21 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) จากการวัดจริงกับที่ได้จากสมการถดถอย เรือนกรดราชา (ภาคกลาง) ประเภท มวลสารกลาง กรณีเปิดกลางวัน-ปิดกลางคืน ฤดูฝน วันที่ 30 ถึง 31 ตุลาคม 2546



สมการถดถอยทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (มวลสารกลาง-ปิดกลางวันและปิดกลางคืน)

= 4.067 + 0.281 tout + 0.584 tin - 0.395 time - 0.135 season + 0.407 condition - 0.0007 windin

โดย time(ช่วงเวลา) 1=กลางวัน 0=กลางคืน season(ฤดู) 0=ร้อน 1=ฝน 2=หนาว condition(การใช้อาคาร) 1=เปิด 2=ปิดอาคาร

temp in ที่ได้จากสมการ — MRT — MRT ที่ได้จากสมการ — อุณหภูมิอากาศภายนอก

จากกราฟพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารกลาง จากกรณีเปิดอาคารกลางวันและปิดกลางคืน ในตอนกลางคืนที่ปิดอาคารได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงตาม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน ทำให้ผู้อาศัยรู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นกว่าเดิม (อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ1°c จะรู้สึกร้อนขึ้น 1.4°c)

MRT_{in}มวลสารมาก = 6.230+0.360 t_{out}+0.422 t_{in} -0.36 time-0.17 season+0.271 condition-0.0008 $wind_{in}$

(19.815) (35.467) (34.847) (-5.505) (-4.769) (4.427) (7.586)

ในวงเล็บคือค่าt R = 0.938 R Square = 0.879 Adjusted R Square = 0.879 Std. Error = 0.9551

F = 1753.926 Sig. of F = .000

โดย t_{out} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก

$t_{in\ lag\ 3\ hr}$ คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากมีระยะเวลาหน่วงความร้อน 3 ชั่วโมง

time คือ ช่วงเวลา dummy variable 1= กลางวัน 0=กลางคืน

season คือ ฤดูกาล dummy variable 0=ฤดูร้อน 1=ฤดูฝน 2=ฤดูหนาว

condition คือ การใช้อาคาร dummy variable 1=เปิดอาคาร 0=ปิดอาคาร

ตัวแปร	t out	t in	condition	time	ค่าเฉลี่ย	SD
mrt in	0.839	0.828	0.033	0.236	28.16	2.7415
อุณหภูมิอากาศภายนอก(t out)	(1.00)	0.619	-0.017	0.501	28.07	4.1285
อุณหภูมิอากาศภายใน(t in)		(1.00)	-0.116	0.037	28.17	3.0171
การใช้อาคาร (condition)			(1.00)	0.026	0.49	0.50
ช่วงเวลา (time)				(1.00)	0.61	0.49
ฤดูกาล (season)					1.02	0.85
ลมภายใน(wind in หน่วยfpm)					20.50	26.9365

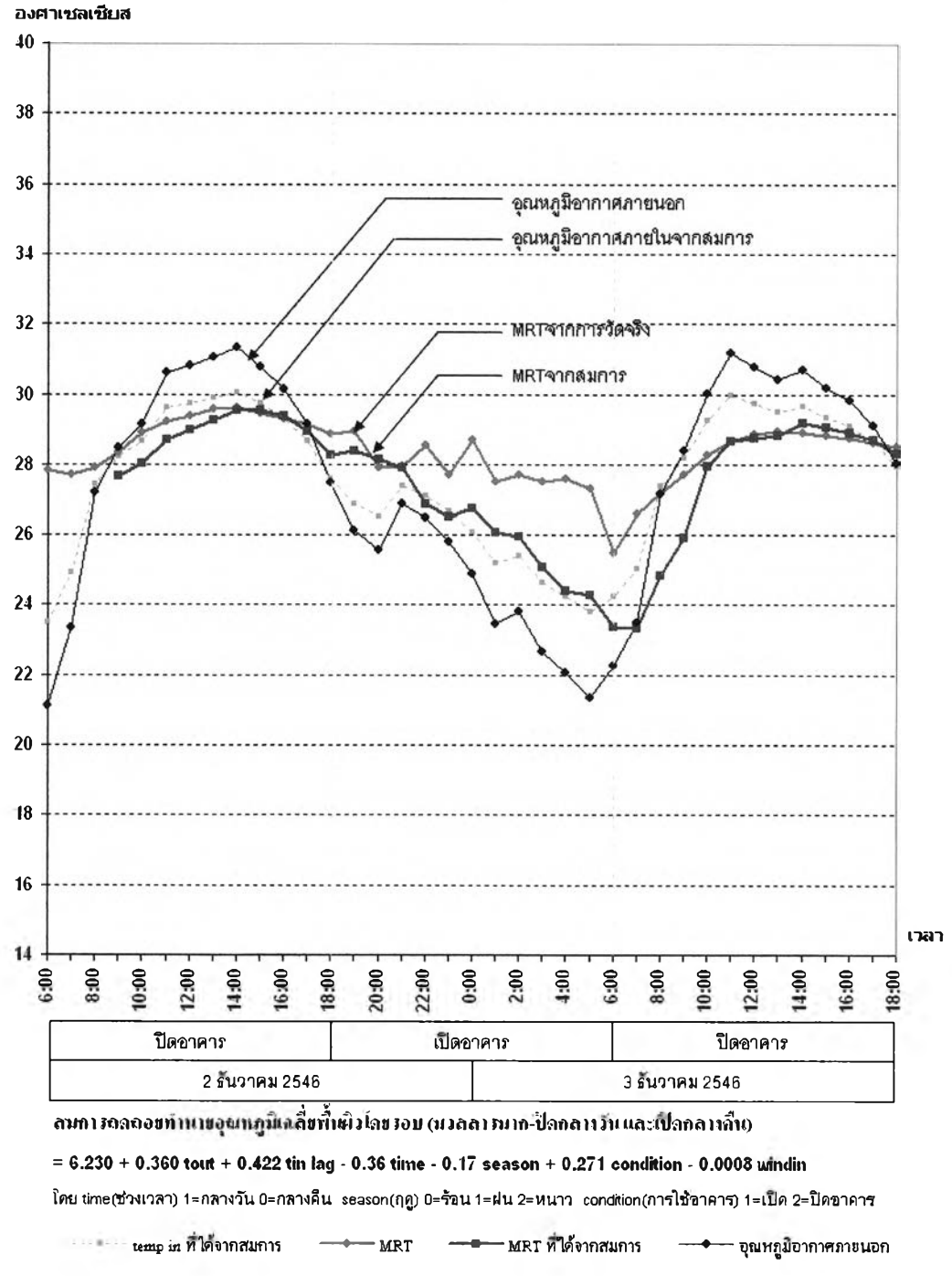
ตาราง4.6 correlationsของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทำนายอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบมวลสารมาก

จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า MRT ภายในอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 28.16°c MRT ภายในอาคารสูงสุดอยู่ที่ 35.69°c MRT ภายในอาคารต่ำสุดอยู่ที่ 17.23 °c อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 28.07°c อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 38.93°c อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 14.07°c ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากเฉลี่ยอยู่ที่ 28.17°c โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากสูงสุดอยู่ที่ 36.21°c อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากต่ำสุดอยู่ที่ 17.31°c

ในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันที่ละคู่พบว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศภายใน(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 3 ชั่วโมง)และช่วงเวลาอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมาก(ที่มีระยะเวลาการหน่วงความร้อน 1 ชั่วโมง)มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการใช้อาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ที่ได้กล่าวมามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมากที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของการใช้อาคารและลมภายใน ล้วนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ MRT ภายในอาคารมวลสารมาก ซึ่งตัวแปรอิสระที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในของอาคารมวลสารมากได้ค่อนข้างมาก ถึงร้อยละ 87.9

แผนภูมิ4.22 อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) จากการวัดจริงกับที่ได้จากสมการถดถอย พระวิหาร วัดถ้ำแฟง (ภาคกลาง) ประเภท มวลสารมาก กรณีปิดกลางวัน-เปิดกลางคืน ฤดูหนาว วันที่ 2 ถึง 3 ธันวาคม 2546



จากกราฟพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารมวลสารมาก จากกรณีปิดอาคารกลางวันและเปิดกลางคืน ในตอนกลางวันที่ปิดอาคารได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ แต่เนื่องจากผนังสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนในตอนกลางวัน ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในไม่สูง โดยตอนกลางคืนที่ความร้อนถ่ายเทสู่ภายในอาคาร อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน ทำให้ผู้อาศัยรู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นกว่าเดิม (อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ1°c จะรู้สึกร้อนขึ้น 1.4°c)

4.3.2 สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ภายในของอาคารแต่ละมวลสาร ภายใต้เงื่อนไขการเปิด-ปิดอาคาร

มวลสารน้อย อุณหภูมิอากาศภายในจะเปลี่ยนแปลงรุนแรงตลอดทั้งวันตามสภาพอากาศภายนอก เนื่องจากผนังไม้ไม่สามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากภายนอกได้ ขณะที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกร้อนอุณหภูมิผิวผนังภายในร้อนตาม ดังนั้นเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ตามพฤติกรรมการเปิด-ปิดช่องเปิดอาคารพบว่า *ลักษณะกราฟของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะเปลี่ยนแปลงรุนแรงตลอดทั้งวันตามสภาพอากาศภายนอก* โดยใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารตลอดทั้งวัน

มวลสารกลาง อุณหภูมิอากาศภายในจะสูงกว่าสภาพอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน เนื่องจากผนังก่ออิฐชั้นเดียวสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อน (time lag) ภายนอกได้ 1 ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ตามพฤติกรรมการเปิด-ปิดช่องเปิดอาคารพบว่า*ลักษณะของกราฟอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในอาคารมวลสารกลางจะสูงกว่าสภาพอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน* โดยในช่วงเวลากลางวันใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร และช่วงเวลากลางคืนจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน เนื่องจากความร้อนที่สะสมในผนังค่อย ๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาตั้งแต่ช่วงบ่ายจนถ่ายเทความร้อนในสู่อาคารมากที่สุดช่วงหัวค่ำ โดยความร้อนที่สะสมกว่าจะถ่ายเทหมดก็ช่วงใกล้เช้า

มวลสารมาก อุณหภูมิอากาศภายในจะค่อนข้างนิ่งเกือบตลอดทั้งวัน เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนที่หนากว่าปกติสามารถสร้างระยะเวลาในการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อน (time lag) จากภายนอกได้ 3 ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ตามพฤติกรรมการเปิด-ปิดช่องเปิดอาคารพบว่า *ลักษณะของกราฟอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบภายในอาคารมวลสารมากจะค่อนข้างนิ่งตลอดทั้งวัน*โดยในช่วงกลางวันอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในและตอนกลางคืนอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน เนื่องจากความร้อนที่สะสมในผนังค่อย ๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในตอนกลางคืน ซึ่งสามารถนำอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) นี้มาใช้กับจังหวัดที่มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนสูง เช่น ในฤดูหนาวของจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดอุบลราชธานี เพื่อให้

4.4 อมและการระบายอากาศ (Effects of building's ventilation)

การใช้เทคนิคปรับแต่งสภาวะน่าสบาย (Comfort zone) ภายในอาคารให้ดีขึ้นหรืออยู่ในสภาวะน่าสบายมากขึ้น นอกจากการเลือกใช้อิทธิพลจากมวลสาร การใช้อิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (MRT) นอกจากนั้นแล้วการใช้ประโยชน์จากกระแสลมธรรมชาติยังทำให้ผู้อยู่ภายในอาคารรู้สึกเย็นลงกว่ากว่าสภาพอากาศที่แท้จริง โดยกระแสลมนั้นจะต้องผ่านสภาพแวดล้อมที่มีการปรับแต่งสภาพแวดล้อมแล้วเพื่อลดอุณหภูมิของกระแสลมที่พัดเข้าสู่ตัวอาคาร

จากการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของจังหวัดต่าง ๆ ที่เป็นตัวแทนของแต่ละภาคพบว่า **ประเทศไทยมีลมในช่วงกลางวัน โดยปริมาณกระแสลมภายนอกอาคารมากช่วงบ่าย (13.00น.-17.00น.) และยังพอมีบ้างในช่วงหัวค่ำ ส่วนกลางดึกถึงรุ่งเช้าลมสงบ** จากบทที่2 ทำให้ทราบถึงทิศทาง ปริมาณลมในช่วงต่าง ๆ และความเร็วลมแต่ละจังหวัดที่เป็นกรณีศึกษา ประกอบกับทราบถึงอิทธิพลของกระแสลมที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในเขตสบายในช่วงเวลาต่าง ๆ แต่ในความเป็นจริงพบว่า ปริมาณของลมตลอดจนความเร็วลมภายในอาคารขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ตั้งแต่การจัดวางกลุ่มอาคาร รูปทรงอาคาร ช่องเปิดอาคาร (พิจารณาในส่วนของขนาด ตำแหน่งและทิศทาง) ชนิดของหน้าต่างและลักษณะการเปิด การติดมุ้งลวดหรืออุปกรณ์กันแมลง การตกแต่งอาคารตลอดจนเฟอร์นิเจอร์

ดังนั้นการระบายอากาศนอกจากช่วยทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคารนั้น ๆ มีสุขภาพที่ดีแล้ว ยังสามารถเพิ่มความรู้สึกเย็นลง (Human sensation) จากความเร็วลมภายในอาคาร นอกจากนั้นช่วยลดความร้อนจากโครงสร้าง (Structure cooling ventilation) อีกด้วย

4.4.1 การระบายอากาศภายในอาคาร

กระแสลมที่พัดเข้ามาในอาคาร นอกจากทำให้รู้สึกสบายแล้ว ยังช่วยให้คุณภาพอากาศภายในดีขึ้น โดยการช่วยลดกลิ่น ลดจำนวนแบคทีเรียตลอดจนคาร์บอนไดออกไซด์ และระบายความชื้น ซึ่งอาคารแต่ละประเภทมีลักษณะของกิจกรรมต่อพื้นที่ใช้งานต่อจำนวนคนแตกต่างกัน จึงมีการกำหนดอัตราการถ่ายเทอากาศด้วยระบบธรรมชาติขั้นต่ำ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยมีสุขภาพที่ดีในอาคารแต่ละประเภท สารมารถแบ่งการระบายอากาศออกเป็น 2 ระบบ

- **การระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ**

  จากกฎกระทรวงตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร 2522 กล่าวว่าการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ สามารถทำได้เมื่อมีผนังด้านนอกอาคารอย่างน้อย 1 ด้านและมีช่องเปิดสู่ภายนอกอาคารได้ โดยกำหนดช่องเปิดขั้นต่ำของห้องอย่างน้อย 10% ของพื้นที่ห้อง[10] ในขณะที่ประเทศสิงคโปร์**กำหนดอัตราการถ่ายเทอากาศด้วยระบบธรรมชาติขั้นต่ำของห้องนอนหรือหอพักอยู่ที่** 13 **ม**^{3} **/ชั่วโมง/คน**[11] และมาตรฐานการระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติสำหรับพื้นที่สูบบุหรี่อยู่ที่ 15 cfm / person

---

[10] กฎหมายอาคาร อาษา/2542. (กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยาม, 2542), หน้า 3-206.

[11] Ken Yeang, The skyscraper bioclimatically considered. (London: Academy Group,1996), p. 130.

- **การระบายอากาศด้วยระบบเครื่องกล (พัดลมดูดอากาศ)**

บางครั้งจากข้อจำกัดของการออกแบบอาคารประเภทบ้านพักอาศัย ทำให้ไม่สามารถใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้ สามารถติดตั้งพัดลมดูดอากาศช่วยได้

air change / hour สถานที่	อ.การระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมง	
	ประเทศไทย	ประเทศสิงคโปร์
ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	7	-
ห้องครัวของที่พักอาศัย	12	10
ห้องน้ำ ห้องส้วมของที่พักอาศัย	2	6

ตาราง4.7 การถ่ายเทอากาศด้วยระบบเครื่องกล

4.4.2 อัตราการระบายอากาศภายในอาคาร

เมื่อพิจารณาในส่วนของตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดพบว่าผลต่ออัตราการระบายอากาศแตกต่างกันไป ซึ่ง**งานวิจัยนี้เน้นศึกษาในส่วนของช่องเปิดหน้าต่างแบบพัดผ่าน (Cross ventilation)** เนื่องจากตำแหน่งช่องเปิดด้านเดียวไม่มีทางให้ลมออก ดังนั้นถึงแม้จะมีขนาดของช่องลมกว้าง ก็ไม่มากพอที่จะทำให้ผู้อยู่ภายในอาคารรู้สึกเย็นลงกว่ากว่าสภาพอากาศที่แท้จริง เนื่องจากแทบไม่มีความเร็วลมพัดเข้ามาในห้องเลย ดังนั้นควรใช้พัดลมช่วยเพิ่มความเร็วลมภายในห้องแทน

4.4.2.1 การระบายอากาศเมื่อเปิดช่องเปิดหน้าต่างแบบ Cross ventilation

$$Q = KAV \qquad (2)$$

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทอากาศเมื่อเปิดหน้าต่างแบบcross ventilation ม^3 / ชั่วโมง (m^3/hr)

A = พื้นที่ของช่องเปิดด้านลมเข้า ม^2 (m^2)

V = ความเร็วลม ม / ชั่วโมง (mph)

K = ค่าคงที่ของอัตราส่วนช่องลมเข้าต่อช่องลมออก

พื้นที่ช่องลมออก : พื้นที่ช่องลมเข้า	ค่า K
1:1	3150
2:1	4000
3:1	4250
4:1	4350
5:1	4400
3:4	2700
1:2	2000
1:4	1100

ตาราง4.8 ค่าคงที่ของอัตราส่วนช่องลมเข้าต่อช่องลมออกของการระบายอากาศเมื่อเปิดช่องเปิดหน้าต่างแบบ Cross ventilation

ที่มา: Victor Olgyay, Design with climate Bioclimatic Approach to Architecture Regionalism. (New York: Van Nostrand Reinhold,1963) p. 104.

สมการนี้ใช้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ภายในห้องนั้นจัดให้มีช่องทางเข้าของลมกับช่องทางออกของลมอยู่ในแนวเส้นตรง เนื่องจากตำแหน่งของช่องเปิดทำให้มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศที่ดี ประกอบกับขนาดของหน้าต่างก็มีอิทธิพลต่อการระบายอากาศ โดย

- **การระบายอากาศในอัตราการไหลเวียนสูงสุด (ลมออก: ลมเข้า = 1:1)**

  เป็นการระบายอากาศเพื่อช่วยลดความร้อนที่สะสมจากโครงสร้าง (Structure cooling ventilation) โดยความเร็วลมมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางของลมกับตำแหน่งช่องเปิดเป็นหลัก

- **การระบายอากาศโดยใช้ความเร็วลมสูงสุด (ลมออก: ลมเข้า = 4:1)**

  เป็นการระบายอากาศเพื่อให้ผู้อยู่ภายในอาคารรู้สึกเย็นลงกว่ากว่าสภาพอากาศที่แท้จริง เนื่องจากเกิดคอคอด (Venturi Effect) ทำให้กระแสลมที่พัดผ่านเข้ามาในอาคารมีความเร็วลมเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้ความเร็วลมภายในอาคารควรอยู่ระหว่าง 0.44 – 0.92 km/hr จะกำลังสบาย และความเร็วลมไม่ควรเกิน 5 km/hr โดยควรให้เหมาะกับกิจกรรมที่ทำด้วย ไม่ควรให้กระแสลมแรงในห้องทำงาน เป็นต้น

- **การระบายอากาศโดยใช้ความเร็วลมต่ำสุด (ลมออก: ลมเข้า = 1:4)**

  เป็นการระบายอากาศเพื่อให้มีปริมาณของกระแสลมอยู่ภายในอาคารให้นานที่สุดก่อนพัดออกไป เนื่องจากบางครั้งการเพิ่มปริมาณลมภายในอาคารมีผลดีกว่าความเร็วลมที่แรงแต่พัดออกไปเร็วมาก

4.4.3 ความเร็วลมภายในอาคาร

ความเร็วลมที่ทำให้คนสัมผัสแล้วรู้สึกสบายจะมีความเร็วระหว่าง 1.6 – 3.33 m/s หรือ 0.44 – 0.92 km/hr ซึ่งการเคลื่อนที่ของลมทำให้เรารู้สึกสบายได้ต่อเมื่อ อุณหภูมิภายในอาคารหรือห้องนั้น ๆ มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวร่างกาย (32 °c) ประกอบกับเมื่อพิจารณาในส่วนของความเร็วลมภายนอกก่อนเข้าสู่อาคาร ทิศทางที่กระแสลมพัดสู่ตำแหน่งและขนาดของช่องเปิด ชนิดของหน้าต่างและลักษณะการเปิด ตลอดจนการติดมุ้งลวดหรืออุปกรณ์กันแมลง ล้วนส่งผลต่อทั้งความเร็วลมสูงสุด และความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร

4.4.3.1 ความเร็วลมเมื่อเปิดช่องเปิดหน้าต่างแบบ Cross ventilation

Givonni's method

$$V_i = 0.45(1 - e^{-3384X})V_r \qquad (3)$$

โดยที่ V_i = ความเร็วลมเฉลี่ยภายใน

V_r = ความเร็วลมภายนอก

x = อัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (ช่องลมเข้าและออกขนาดเท่ากัน)

สมการนี้ได้มาจากการทดลองจริงของ Givoni[12] ใช้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ภายในห้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้นจัดให้มีช่องทางเข้าของลมกับช่องทางออกของลมอยู่ในแนวเส้นตรง จากสูตรพบว่าช่องเปิดกว้าง จะมีความเร็วลมภายในมากกว่าช่องเปิดเล็ก ดังนี้

กรณี พื้นที่หน้าต่าง: พื้นที่ผนัง = 0.9 ผลคือ $V_i / V_r = 0.44$

หรือ $V_i = 0.44\ V_r$ (4)

กรณี พื้นที่หน้าต่าง: พื้นที่ผนัง = 0.1 ผลคือ $V_i / V_r = 0.14$

หรือ $V_i = 0.14\ V_r$ (5)

Methods based on tabulated data

ความเร็วลมเฉลี่ยภายในที่มีผลจากตำแหน่งหน้าต่างและทิศทางลม

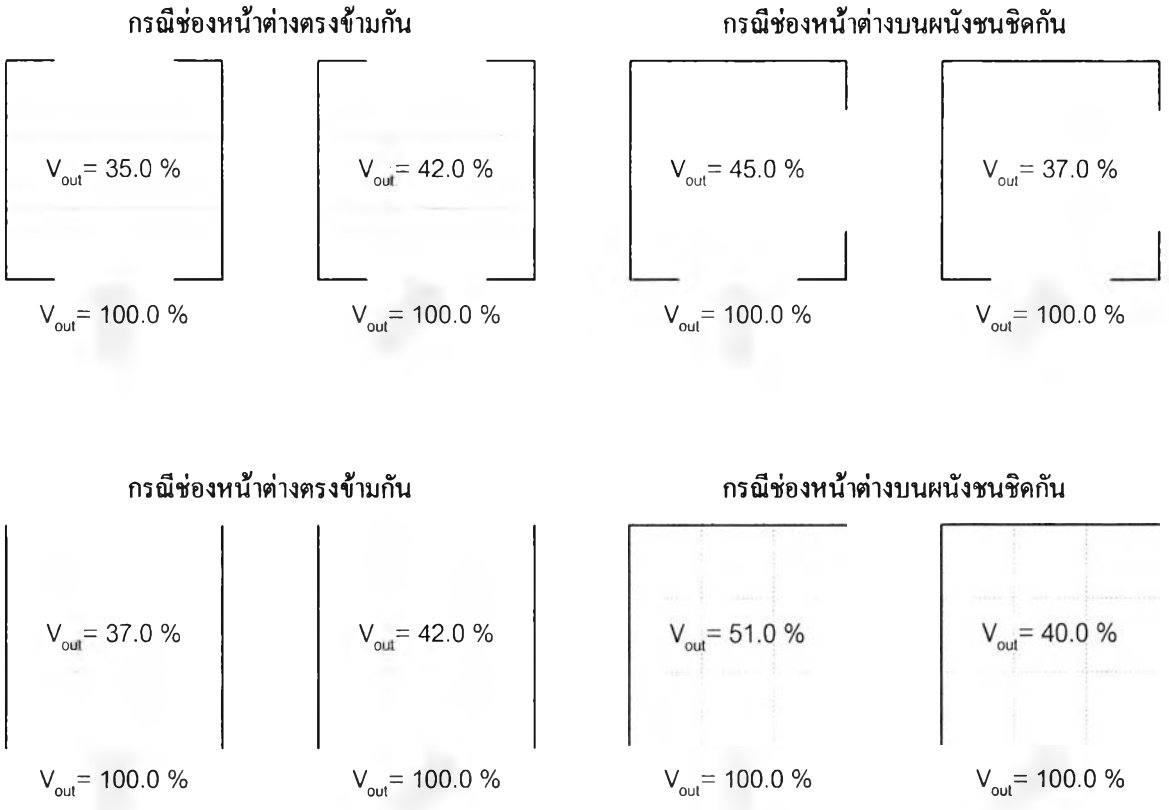
ตำแหน่งช่องเปิดและทิศทางลมมีผลต่อความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร ดังการทดลองของ Givoni พบว่าช่องเปิดแบบ Cross ventilation ทั้งแบบประชิดกันและแบบตรงข้ามกัน จะทำให้มีปริมาณอากาศเคลื่อนที่ในห้องมากขึ้น ในบางกรณีความเร็วของลมยังมากกว่าความเร็วลมภายนอกดังตาราง

ตำแหน่งช่องเปิด	ทิศทางลม	ความกว้างช่องเปิด : ความกว้างผนัง			
		2/3 = 0.66		3/3 = 1	
		V_{AVG}(%)	V_{MAX}(%)	V_{AVG}(%)	V_{MAX}(%)
ช่องเปิดด้านเดียวเปิดด้านปะทะลม	ตั้งฉาก	13	18	16	20
	ทำมุม	15	33	23	36
ช่องเปิดด้านเดียวเปิดด้านอับลม	ทำมุม	17	44	17	17
ช่องเปิด 2 ช่องเปิดด้านอับลม	ทำมุม	22	56	-	-
ช่องเปิด 2 ช่องเปิดด้านปะทะลมโดยช่องเปิดอยู่ด้านผนังประชิดกัน	ตั้งฉาก	45	68	51	103
	ทำมุม	37	118	40	110
ช่องเปิด 2 ช่องเปิดด้านปะทะลมโดยช่องเปิดอยู่ด้านตรงข้ามกัน	ตั้งฉาก	35	65	37	102
	ทำมุม	42	83	42	94

ตาราง4.9 ความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลจากตำแหน่งหน้าต่างและทิศทางลม

ที่มา: Allard, F. Natural Ventilation in Building: A Design Handbook. (London: James & James,1998),p. 69.

[12] Allard, F. Natural Ventilation in Building: A Design Handbook. (London: James & James,1998), p. 68.



รูป4.2 ทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลจากตำแหน่งหน้าต่าง

ความเร็วลมเฉลี่ยภายในที่มีผลจาก<u>ขนาดหน้าต่าง</u>และทิศทางลม

ขนาดช่องเปิดและทิศทางลมมีผลต่อความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคาร ดังการทดลองของ Givoni เมื่อกำหนดให้ขนาดช่องเปิดให้ลมเข้าคงที่ในขณะที่ช่องเปิดให้ลมออกเพิ่มขึ้น พบว่าขนาดของช่องเปิดให้ลมเข้าและช่องเปิดให้ลมออกทำให้เกิดผลต่างของความเร็วลมภายในเล็กน้อย แต่สัดส่วนของช่องเปิดมีผลต่อปริมาณลมภายในอาคาร คือ ช่องเปิดให้ลมเข้าเล็กโดยที่ช่องเปิดให้ลมออกใหญ่ทำให้เกิดปริมาณลมในอาคารมากขึ้นกว่าลักษณะช่องเปิดให้ลมเข้าใหญ่ส่วนช่องเปิดให้ลมออกเล็ก

- **กรณีหน้าต่างลมเข้าและลมออกอยู่ในแนวเดียวกัน** ความเร็วลมภายในห้องจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่ลมพัด คือ ลมที่มาในทิศทางตั้งฉากกับช่องเปิดหรือหน้าต่าง กระแสลมแรงจะพัดออกจากห้องไปอย่างรวดเร็ว พื้นที่ส่วนอื่น ๆ นอกแนวช่องหน้าต่างลมจะพัดผ่านน้อยมาก แต่ถ้าลมพัดเข้าช่องเปิดในลักษณะทำมุม เช่น 45° กับช่องเปิดที่เป็นทางลมเข้า เมื่อลมเข้าไปในห้องจะเกิดการหมุนวน ทำให้ลมไหลทั่วทั้งห้อง

- **กรณีหน้าต่างลมเข้าและลมออกไม่ได้อยู่ตรงข้ามกัน แต่อยู่บนผนังที่ชนประชิดกัน** ความเร็วลมจะต่ำกว่ากรณีช่องหน้าต่างตรงกัน เนื่องจากลมที่มาในทิศทางตั้งฉากกับช่องเปิดหรือหน้าต่างเมื่อเข้าไปในห้องจะปะทะกับผนังด้านตรงข้ามกับช่องเปิดแล้วเกิดการไหลวนก่อนออกจากช่องเปิดอีกด้านหนึ่ง ผลการระบายอากาศภายในห้องกลับอยู่ในสภาพที่ดีในลักษณะลมไหลทั่วห้อง

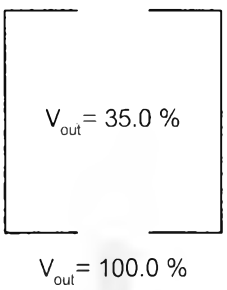
ความกว้างหน้าต่าง : ความกว้างผนัง		ช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน		หน้าต่างบนผนังชนชิดกัน	
ช่องเปิด (ทางเข้า)	ช่องเปิด (ทางออก)	ลมตั้งฉาก	ทำมุม	ลมตั้งฉาก	ทำมุม
1/3	**1/3**	**35%**	**42%**	45%	37%
1/3	2/3	39%	40%	39%	40%
1/3	3/3	44%	44%	51%	45%
2/3	1/3	34%	43%	51%	36%
2/3	**2/3**	**37%**	**51%**	-	-
2/3	3/3	35%	59%	-	-
3/3	1/3	32%	41%	50%	37%
3/3	2/3	36%	62%	-	-
3/3	**3/3**	**47%**	**65%**	-	-

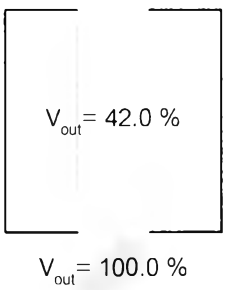
ตาราง4.10 ความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลจากขนาดหน้าต่างและทิศทางลม

ที่มา: Francis Allard. Natural Ventilation in Building: A Design Handbook. (London: James & James,1998), pp. 70-71.

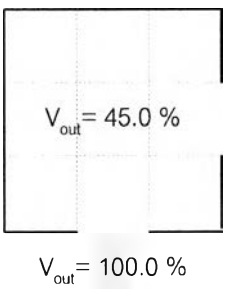
- **ความเร็วลมเฉลี่ยเมื่อระบายอากาศในอัตราการไหลเวียนสูงสุด (ลมออก: ลมเข้า = 1:1)**

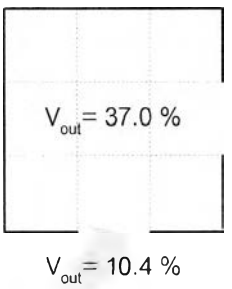
กรณีช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน



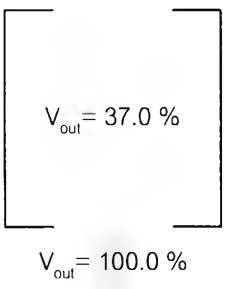


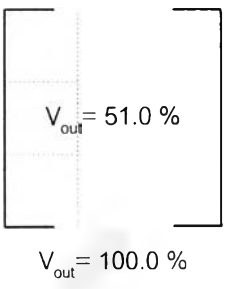
กรณีช่องหน้าต่างบนผนังชนชิดกัน



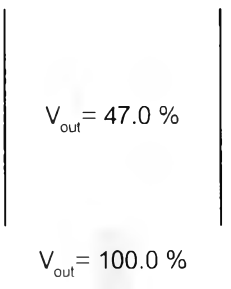


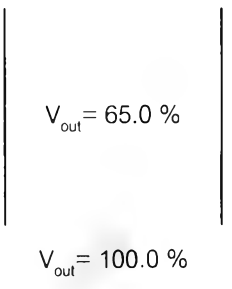
กรณีช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน





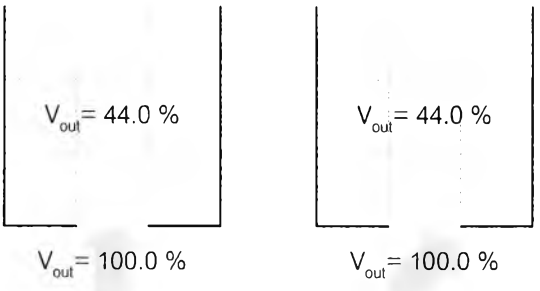
กรณีช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน



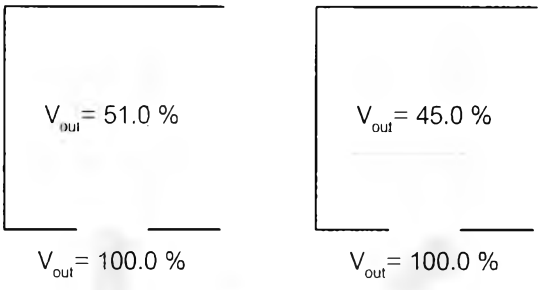


- **ความเร็วลมเฉลี่ยเมื่อระบายอากาศโดยใช้ความเร็วลมสูงสุด (ลมออก: ลมเข้า = 3:1)**

กรณีช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน

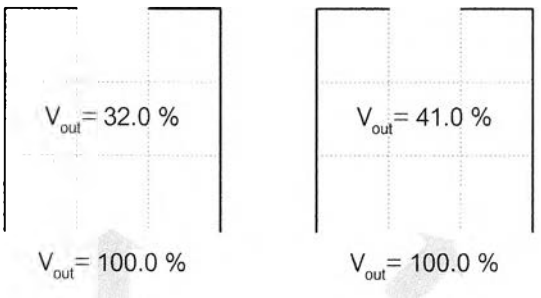


กรณีช่องหน้าต่างบนผนังชนชิดกัน

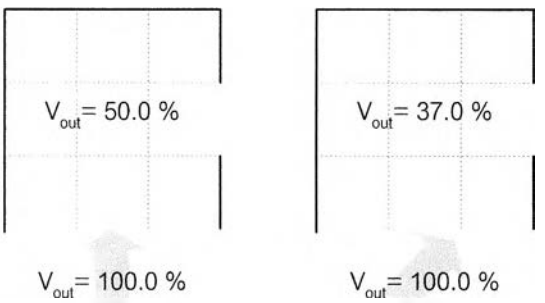


- **ความเร็วลมเฉลี่ยเมื่อระบายอากาศโดยใช้ความเร็วลมต่ำสุด (ลมออก: ลมเข้า = 1:3)**

กรณีช่องหน้าต่างตรงข้ามกัน



กรณีช่องหน้าต่างบนผนังชนชิดกัน



รูป4.3 ทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลจากขนาดหน้าต่าง

4.4.4 ชนิดของหน้าต่างและลักษณะการเปิด

นอกจากตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อปริมาณลมและความเร็วลมภายในอาคารแล้ว ชนิดของหน้าต่างทางลมเข้าที่แตกต่างกัน มีผลต่อการไหลของอากาศภายในห้องที่แตกต่างกัน โดยช่องเปิดในแนวตั้งจะมีผลมากกว่าแนวนอน เนื่องจากกระแสลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้น

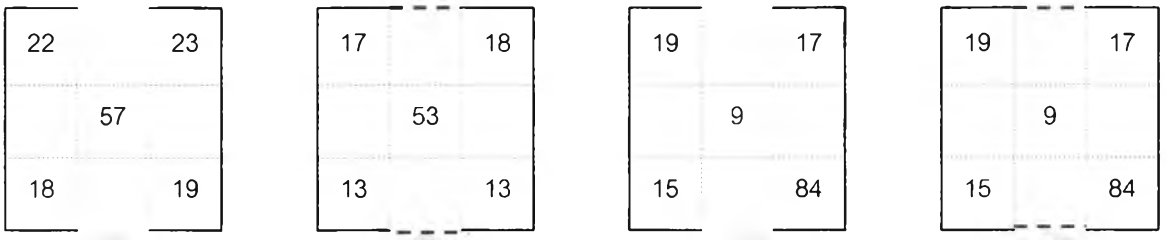
งานวิจัยนี้จากอาคารกรณีศึกษาเป็นหน้าต่างบานพับชนิดเปิดออกข้างนอก (Casement window) หน้าต่างแบบนี้สามารถทำหน้าที่เป็นปีกผนังด้วย (wing wall) เมื่อเปิดออกแค่ด้านเดียว แต่เมื่อเปิดออกทั้งสองด้านจะทำให้ประสิทธิภาพการไหลของอากาศลดลง เนื่องจากรบกวนการไหลของลม

นอกจากนั้นควรพิจารณาความสูงหน้าต่างด้านลมเข้าและลมออก เพื่อให้กระแสลมไหลผ่านบริเวณที่ผู้พักอาศัยทำกิจกรรมภายในห้องนั้น ๆ (Living Space) **ซึ่งการกำหนดความสูงของตำแหน่งของช่องลมเข้าเป็นตัวกำหนดลักษณะการพัดเข้าของกระแสลม และสามารถควบคุมทิศทางของลม** ดังนี้

รูป4.4 รูปแบบกระแสลมภายในห้องที่มีผลจากตำแหน่งของหน้าต่าง

4.4.5 การติดมุ้งลวดหรืออุปกรณ์กันแมลง

จากการทดลองของ Givoni[13] พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องหรืออาคารลดลงเล็กน้อย (ประมาณ 5 %) เมื่อมีการติดมุ้งลวดกันแมลง สำหรับอาคารประเภทบ้านพักอาศัยในประเทศไทยส่วนใหญ่ติดมุ้งลวดทั้งหลัง



V_{avg} = 27.7 % V_{avg} = 22.8 % V_{avg} = 28.8 % V_{avg} = 28.8 %

รูป4.5 ความเร็วลมเฉลี่ยที่มีผลจากการติดตั้งมุ้งลวดหน้าต่าง (– – –)

หมายเหตุ: ความเร็วลมภายใน (v_{avg}) ได้มาจากความเร็วลมภายนอกที่ระดับความสูงเดียวกัน

4.4.6 อิทธิพลของการกั้นผนังภายในห้องต่อการระบายอากาศ

การออกแบบบางครั้งจำเป็นต้องมีการแบ่งพื้นที่ภายในห้องออกเป็นส่วน ๆ โดยใช้ผนังกั้น ที่เป็นปัญหาคือการกั้นผนังที่เต็มตลอดความสูงของห้องจากพื้นถึงเพดาน ถ้าการวางตำแหน่งผนังที่ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดพื้นที่ที่ไม่มีลมไหลผ่าน ซึ่งขัดต่อเงื่อนไขการระบายอากาศโดยธรรมชาติที่ดี ดังนั้น Givoni ได้ทำการทดลองการเคลื่อนที่ของลมผ่านห้องที่มีการกั้นผนังลักษณะต่าง ๆ กัน และลมเข้าปะทะในมุมต่าง ๆ กันทั้งด้านช่องเปิดและด้านผนังทึบต่อหุ่นจำลองสี่เหลี่ยมจัตุรัสในอุโมงค์ลม ผลปรากฏว่าตำแหน่งของผนังภายในที่ดีไม่ควรอยู่ประชิดหรือใกล้ช่องเปิดที่ลมเข้า ถ้าห่างออกไปยิ่งมาก การกระจายตัวของลมในห้องจะยิ่งดี ในกรณีที่หน้าต่างอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน การมีผนังมากั้นจะทำให้การกระจายตัวของลมดีขึ้น ในกรณีที่หน้าต่างลมเข้า และลมออกไม่ตรงกัน ผนังควรตรงกับแนวหน้าต่างลมเข้าจะทำให้การกระจายตัวของลมในห้องดีขึ้น

---

[13] Baruch Givoni, Passive and Low Energy Cooling of Buildings. (New York: Van Nostrand Reinhold,1994) p. 51.