

การประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง



นางสาวนงา แสนราษฎร์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์


คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-3125-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPLICATION OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLING TO REDUCE ROOM TEMPERATURE



Miss Nada Sanrat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-3125-6

##4474156025: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: INDIRECT EVAPORATIVE COOLING / REDUCE TEMPERATURE / TEST TUBE

NADA SANRAT: AN APPLICATION OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLING TO REDUCE ROOM TEMPERATURE: PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 166 pp. ISBN 974-17-3125-6

Because of the high temperature in Thailand, Energy consumption increases from air-conditioning. The idea of using indirect evaporative cooling was suggested, by test tube, with considering benefits of nature using, The main objective of this research is to reduce the air temperature for residential buildings.

The methodology of this research consists: 1) Locating the main influential factors of water evaporation. 2) Establishing an explanatory equation to clarify the relation of the influential factors and enhance the ability to forecast the temperature within the test tube. 3) Offering the solution to minimize the energy consumption, from the application of the experiment, for the appropriate actual utilization. The temperature reduction experiment was conducted in a testing room with the size of 30.6 m². The room is equipped with stainless tube, which has six-inch diameter and 2.34 m² area. Within this room, the temperature of the air will be reduced by evaporation when flowing through the test tube.

The result of this research showed that during the daytime, from 12.00 a.m. to 3.00 p.m., the test tube can reduce the indoor temperature equal to 2.5 degree Celsius because, at this period of time, the temperature is high and the relative humidity is low. These two factors are the factors that encourage high efficiency of water evaporation. Moreover, wind speed at least 1 m/s and no influence from direct sun are important factors that enable this phenomenon to happen. The relationship between these factors can be explained in the predictive formula. The best timing for a water delivery system is releasing 28 degree Celsius water into the test tube for 30 minutes then stop for an hour can reduce the same amount of temperature.

An application of indirect evaporative cooling to reduce room temperature depends on proficient of the evaporation in low relative humidity condition with an existence of all relative factors and a well-design test tube. The test tube must be designed for the purpose to encourage the inflow air to heat transfers with the tube surface efficiently and it must not be rusty. Moreover, the test tube's surface area is also important. The effectiveness of the test tube will be higher when the area increases. The larger the surface, the more effectiveness. The best example is the Bio-Solar House, which can reduce the air temperature more than test tube 4.85 degree Celsius. Its test tube's surface area equal to 7.54 m², which is 3.5 times larger than the experimental test tube. In order to apply this idea for use in actual buildings, the buildings must be "Passive Buildings" .

Department.....Architecture..... Student's signature.....

Field of study.....Architecture..... Advisor's signature.....

Academic year.....2002.....

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 สมมติฐานการวิจัย.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 สภาพอากาศเมืองไทยกับการลดความร้อนให้แก่อาคาร ด้วยระบบการระเหยของน้ำ.....	10
2.2 การทำความเย็นด้วยระบบการระเหยของน้ำ.....	38
2.3 การเลือกวัสดุและวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน.....	49
2.4 ความคำนวณประมาณความร้อนของอากาศในระบบท่ออากาศ.....	54
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำทางอ้อม.....	53
2.6 สรุปแนวความคิดการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำในการวิจัย.....	59
2.7 การเลือกและการจัดการวัสดุเพื่อการทดสอบ.....	60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	65
	3.1 สมมติฐานการวิจัย.....	65
	3.2 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย.....	66
	3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	78
	3.4 การสรุปผล.....	80
4	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	81
	4.1 การทดสอบหาตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....	81
	4.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยวิธีทางสถิติ.....	97
	4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการให้น้ำแก่ท่อทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้.....	102
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	149
	5.1 บทสรุปจากการทดลอง.....	149
	5.2 บทสรุปการนำไปใช้.....	154
	5.3 ข้อเสนอแนะ.....	155
	รายการอ้างอิง	157
	ภาคผนวก.....	159
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	166

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราการระเหยของน้ำในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร	26
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของสาร	43
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความจุความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	50
ตารางที่ 2.4 แสดงค่า Thermal conductivity (K) ของวัสดุบางชนิด	52
ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่เป็นโลหะ	61
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่เป็นโลหะ	63
ตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบเปิดน้ำทั้งวัน	89
ตารางที่ 4.2 แสดงความเร็วลมกับความแตกต่างของอุณหภูมิ	92
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความร้อนที่ลดลงในสภาวะมีแดด-ไม่มีแดด	96
ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร	98
ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที	109
ตารางที่ 4.6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชม.	116
ตารางที่ 4.7 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.	123
ตารางที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบเปิดน้ำทั้งวัน	130
ตารางที่ 4.9 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิแบบปิดน้ำ	137
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยจากการทดสอบการให้น้ำ	142
ตารางที่ 4.11 แสดงพลังงานที่ใช้แก่การทดลองเปิดน้ำแต่ละแบบ	142
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าไฟฟ้าที่ใช้แก่การทดลองเปิดน้ำแต่ละแบบ	143
ตารางที่ 4.13 แสดงสมการทำนายของการทดสอบการให้น้ำแต่ละแบบ	144

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของสภาวะสบายในแต่ละเขต(Zone)	12
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	14
รูปที่ 2.3 แสดงร้อยละของจำนวนชั่วโมงในแต่ละเดือนที่อยู่ในสภาวะสบาย	14
รูปที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากความเย็นของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ	28
รูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยทางธรรมชาติ	29
รูปที่ 2.6 แสดงการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์	34
รูปที่ 2.7 แสดงการถ่ายเทพลังงานของโมเลกุลที่บริเวณพื้นผิวของของเหลว	42
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่าง Heat Exchanger	53
รูปที่ 2.9 แสดงShower Cool Tower	55
รูปที่ 2.10 แสดงการทดลองการใช้น้ำหยดเย็นและการเร่งการระเหยของน้ำ	57
รูปที่ 2.11 แสดงEmbedded plastic tube circulating cooled water	58
รูปที่ 2.12 แสดง Data acquisition and Measuring points	58
รูปที่ 2.13 แสดงแนวความคิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบของท่อลม	59
รูปที่ 3.1 แสดงผังพื้นที่ชั้นที่ 1 ของนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต	67
รูปที่ 3.2 แสดงรูปตัดของห้องสัมผัสธรรมชาติ	68
รูปที่ 3.3 แสดงแนวความคิดการระเหยของน้ำของท่อลมบ้านชีวาทิพย์	69
รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบท่อลมเย็นจากการระเหยของน้ำบ้านชีวาทิพย์	70
รูปที่ 3.5 แสดงบริเวณหน้าบ้านที่ติดตั้งท่อทดสอบ	70
รูปที่ 3.6 แสดงบริเวณบ้านชีวาทิพย์	71
รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองที่1	72
รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองที่2	72
รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองที่3	73
รูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองที่4	73
รูปที่ 3.11 แสดงแบบท่อทดสอบจริง	74
รูปที่ 3.12 แสดงรูปตัดการต่อท่อทดสอบ	75
รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	76
รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทาง	77
รูปที่ 3.15 แสดงเครื่อง OPUS 2000	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งสายวัดเพื่อทำการเก็บข้อมูล	82
รูปที่ 5.1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบการระเหยน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้น	149
รูปที่ 5.2 ภาพแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากความเย็นของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ	151



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 2.1 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนกุมภาพันธ์	18
แผนภูมิที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนกุมภาพันธ์	19
แผนภูมิที่ 2.3 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนเมษายน	19
แผนภูมิที่ 2.4 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนเมษายน	20
แผนภูมิที่ 2.5 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนเมษายนเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม	21
แผนภูมิที่ 2.6 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนตุลาคม	21
แผนภูมิที่ 2.7 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนตุลาคม	22
แผนภูมิที่ 2.8 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนตุลาคมเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม	23
แผนภูมิที่ 2.9 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนธันวาคม	23
แผนภูมิที่ 2.10 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนธันวาคม	24
แผนภูมิที่ 2.11 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนธันวาคมเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม	25
แผนภูมิที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนตุลาคมเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม	25
แผนภูมิที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ	30
แผนภูมิที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	33
แผนภูมิที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของการนำความร้อนกับความหนาแน่นของวัสดุ	36
แผนภูมิที่ 2.16 แสดงอุณหภูมิผิวหุ้มเปียกในร่ม (ใต้ต้นไม้) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ	45
แผนภูมิที่ 2.17 แสดงแผนผัง Psychrometric chart	48
แผนภูมิที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอก	83
แผนภูมิที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่	84
แผนภูมิที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็ก	85
แผนภูมิที่ 4.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่	86
แผนภูมิที่ 4.5 แผนภูมิ Psychrometric chart	87
แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกัน	88
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงความเร็วลมโดยเฉลี่ย	91
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิท่อเล็กที่มีแดดและไม่มีแดด	94
แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงแบบมีแดด-ไม่มีแดด	95
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงค่าการประมารจากสมการทำนาย	101

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่เปิดน้ำ30นาที	103
แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอกเปิดน้ำ30นาที	104
แผนภูมิที่ 4.13 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่เปิดน้ำ30นาที	105
แผนภูมิที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็กเปิดน้ำ30นาที	106
แผนภูมิที่ 4.15 แผนภูมิ Psychrometric chartเปิดน้ำ30นาที	107
แผนภูมิที่ 4.16 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกันปิดน้ำ1ชม.	108
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ปิดน้ำ1ชม.	110
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอกปิดน้ำ1ชม.	111
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่ปิดน้ำ1ชม.	112
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็กปิดน้ำ1ชม.	113
แผนภูมิที่ 4.21 แผนภูมิ Psychrometric chartปิดน้ำ1ชม.	114
แผนภูมิที่ 4.22 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกันปิดน้ำ1ชม.	115
แผนภูมิที่ 4.23 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่เปิดน้ำ1ชม.	117
แผนภูมิที่ 4.24 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอกเปิดน้ำ1ชม.	118
แผนภูมิที่ 4.25 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่เปิดน้ำ1ชม.	119
แผนภูมิที่ 4.26 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็กเปิดน้ำ1ชม.	120
แผนภูมิที่ 4.27 แผนภูมิ Psychrometric chartเปิดน้ำ1ชม.	121
แผนภูมิที่ 4.28 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกันเปิดน้ำ1ชม.	122
แผนภูมิที่ 4.29 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่เปิดน้ำ24ชม.	124
แผนภูมิที่ 4.30 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอกเปิดน้ำ24ชม.	125
แผนภูมิที่ 4.31 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่เปิดน้ำ24ชม.	126
แผนภูมิที่ 4.32 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็กเปิดน้ำ24ชม.	127
แผนภูมิที่ 4.33 แผนภูมิ Psychrometric chartเปิดน้ำ24ชม.	128
แผนภูมิที่ 4.34 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกันเปิดน้ำ24ชม.	129
แผนภูมิที่ 4.35 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ปิดน้ำ	131
แผนภูมิที่ 4.36 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอกปิดน้ำ	132
แผนภูมิที่ 4.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่ปิดน้ำ	133
แผนภูมิที่ 4.38 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นจากเล็กปิดน้ำ	134

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.39 แผนภูมิ Psychrometric chartปิดน้ำ	135
แผนภูมิที่ 4.40 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาต่างกันปิดน้ำ.	136
แผนภูมิที่ 4.41 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงจากการให้น้ำแบบต่างๆ	139
แผนภูมิที่ 4.42 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงจากการให้น้ำแบบต่างๆ	140
แผนภูมิที่ 4.43 เปรียบเทียบของปริมาณความร้อนที่ลดลงจากการให้น้ำแบบต่างๆ.	141
แผนภูมิที่ 4.44 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงของท่อใหญ่	146
แผนภูมิที่ 4.43 เปรียบเทียบของปริมาณความร้อนที่ลดลงของท่อเล็กกับท่อใหญ่	147



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตา กรุณา และความอนุเคราะห์จากบุคคล และสถาบันต่างๆ เหล่านี้

1. ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ข้อสังเกต และคำปรึกษาอันเป็นแนวทางที่ให้ประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อ อีกทั้งเชื้อเชื้อ สถานที่ทำการวิจัยงานวิจัยครั้งนี้
2. ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับอาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยประสานงานเอกสาร และเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้
3. ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับอาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ช่วยประสานงานเอกสาร และเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้
4. ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับอาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่เชื้อเชื้อสถานที่ทำการทดสอบข้อมูลเบื้องต้นในงานวิจัยครั้งนี้
5. ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุขตลอดเวลาที่ได้ศึกษาในสถาบันนี้

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแก่ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่ทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะปัจจุบันการใช้พลังงานของมนุษย์อย่างสิ้นเปลืองเพื่อนำมาตอบสนองความต้องการด้านต่างๆของมนุษย์ ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์ทางการขาดแคลนพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่มนุษย์นำมาใช้ในอาคารต่างๆ การประหยัดพลังงานจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดความรุนแรงของปัญหานี้ให้น้อยลง

สภาวะปัจจุบันของประเทศไทยพลังงานที่เรานำมาใช้ในชีวิตประจำวันหมดไปกับการปรับอากาศ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปที่ร้อนอบอ้าว โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูง 97 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ 1 เพอร์เซ็นต์ (ASHRAE Fundamentals, 1985) ปัญหาความร้อนนี้ส่งผลต่อการออกแบบอาคาร และการควบคุมสภาวะน่าสบายในอาคารที่เป็นไปได้ยาก (จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 68 องศาฟาเรนไฮต์ และช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 20-80 เพอร์เซ็นต์ โดย ธนิต จินดาวงศ์, 2536) ดังนั้นทางออกที่เป็นอิสระในการออกแบบอาคารให้แก่ผู้ออกแบบคือ เครื่องปรับอากาศ แต่ผลที่ตามมาคือการสูญเสียพลังงานไปเป็นจำนวนมากมหาศาล รวมทั้งค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เมื่อเทียบสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศเพื่อการทำงานในอาคารกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับกิจกรรมอื่นๆพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศเพื่อการทำงานในอาคารสูงกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับกิจกรรมอื่นๆ (สุนทร บุญญาธิการ และคณะ, 2543: 104-106)

เพื่อเป็นการสร้างสภาวะน่าสบายให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างเมืองไทย โดยคำนึงถึงประโยชน์ของการนำธรรมชาติเข้ามาใช้เพื่อเป็นการลดขนาดของเครื่องปรับอากาศ และช่วงเวลาในการใช้เครื่องปรับอากาศให้น้อยที่สุดซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่ลดลงของเครื่องปรับอากาศ จึงได้พิจารณาถึงความเย็นจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) ซึ่งในกระบวนการระเหยของน้ำ (Evaporation) เป็นการใช้พลังงานน้ำที่เป็นพลังงานทดแทน (Renewable energy) หรือเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานในอาคาร และเป็นหนทางที่ช่วยลดความรุนแรงของปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันของประเทศ

ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการนำความเย็นที่เกิดจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) โดยทำการศึกษารูปแบบของการลดอุณหภูมิของอากาศโดยด้วยการระเหยของน้ำ ซึ่งมุ่งเน้นการนำความเย็นที่ได้มาใช้โดยไม่นำความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการมาใช้ด้วย จึงทำการศึกษาดัวยระบบท่ออากาศที่ส่งผ่านลมร้อนเข้าสู่ท่อ และผ่านกระบวนการระเหยของน้ำ เมื่อสิ้นสุดจะได้ลมที่เย็นกว่าอุณหภูมิในตอนแรก หรือมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบ
2. หาสมการหลักเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการระเหยของน้ำ และสามารถทำนายอุณหภูมิภายในท่อทดสอบได้
3. เสนอแนะแนวทางระบบการให้น้ำแก่ท่อทดสอบเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และ เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการวิจัยจึงทำการวิจัยในเดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน โดยถือเป็นตัวแทนข้อมูลที่ทำนายทั้งปี ณ อ. ัญญบุรี คลอง 5 จ.ปทุมธานี
2. การศึกษาครอบคลุมเฉพาะการระเหยของน้ำที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในท่อทดสอบซึ่งใช้วัสดุที่กำหนดเท่านั้น
3. ทำการทดสอบเฉพาะการลดอุณหภูมิของอาคารที่พักอาศัยเท่านั้น

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. สภาวะน่าสบาย สภาวะที่คนเราไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวเกินไป โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 6 ตัวแปร 1) อุณหภูมิอากาศ 2) ความชื้นสัมพัทธ์ 3) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ 4) ความเร็วลม 5) อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย 6) เสื้อผ้าที่สวมใส่

2. พลังงาน (Energy) ความสามารถในการทำงาน เช่น พลังงานเสียง พลังงานศักย์ พลังงานความร้อน เป็นต้น
3. พลังงานทดแทน (Renewable energy) พลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มีวันหมดไป หรือสามารถนำมาแปรสภาพเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น พลังงานจากถ่านไม้ แกลบ ฟืน พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนจากใต้พิภพ เป็นต้น
4. พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non – renewable energy) เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในบริเวณต่างๆ ใต้ผิวโลก โดยเมื่อนำมาใช้แล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก หรือมีลักษณะใช้แล้วหมดไป เช่น พลังงานถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น
5. การระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (Evaporation) ในการระเหยของน้ำเป็นการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (Vapor) ต้องใช้พลังงานความร้อนช่วยในการเปลี่ยนสถานะ โดยการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 BTU
6. ความเย็นจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (Evaporative Cooling) ความเย็นที่เกิดระหว่างการระเหยโดยน้ำ ประกอบด้วยความเย็นและความชื้น
7. ความเย็นจากการระเหยของน้ำทางอ้อม หรือความเย็นจากการระเหยของน้ำไม่เพิ่มความชื้นในอากาศ (Indirect Evaporative Cooling) การนำความเย็นที่เกิดจากการระเหยของน้ำมาใช้ โดยไม่นำความชื้นเข้ามาด้วย
8. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet – Bulb Temperature) ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยเทอร์โมมิเตอร์ หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำ และมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยของน้ำบริเวณนั้น อันจะเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้ (Sensor) นั้นเย็นลงจนถึงจุดคงที่ และอ่านค่าอุณหภูมิต่างได้ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
9. ความจุความร้อนจำเพาะ (Heat Capacity) ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสาร

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อทดสอบการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำโดยหลีกเลี่ยงการเพิ่มความชื้นในอากาศเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ซึ่งมีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

1.5.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

เป็นการทดสอบเพื่อหาตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำในสภาพเขตร้อนชื้นของประเทศไทย จากการรวบรวมตัวแปรจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องในสภาวะที่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์และไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

1.5.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อการระเหยของน้ำโดยอาศัยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร (Multiple regression analysis) เพื่อหาตัวแปรที่เป็นตัวสำคัญต่อการระเหยของน้ำ ที่สามารถทำนายค่าการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบได้อย่างแม่นยำ

1.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการระเหยของน้ำของห้องทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการให้น้ำแก่ห้องทดสอบโดยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทั้งช่วยลดพลังงานที่ใช้ในระบบด้วย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น

ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบการให้น้ำแก่ท่อทดสอบที่ต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 30 นาที

การทดลองที่ 2 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

การทดลองที่ 3 ทดลองให้น้ำ 1 ชั่วโมง ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

การทดลองที่ 4 ทดลองให้น้ำตลอดเวลา

การทดลองที่ 5 ทดลองไม่ให้น้ำแก่ท่อทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนของแต่ละการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการให้น้ำที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณความร้อนในอากาศของท่อทดสอบกับท่อใหญ่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปลำดับขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องในสภาวะที่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์และไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์



ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อการระเหยของน้ำโดยอาศัยวิธีทางสถิติ



ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการให้น้ำแก่ห้องทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้

ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบการให้น้ำแก่ห้องทดสอบที่ต่างกัน

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานความร้อนของแต่ละการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการให้น้ำที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานจริง



ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้จริง

1.6 สมมติฐานการวิจัย

1. อิทธิพลของช่วงเวลากลางวันมีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
2. อิทธิพลของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่เข้าสู่ท่อทดสอบ ในช่วงเวลากลางวันเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
3. การให้น้ำแก่ท่อทดสอบเป็นช่วงระยะเวลาเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน แทนการให้น้ำตลอดเวลาสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบได้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการนำความเย็นจากการระเหยของน้ำมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย
2. สามารถทำนายและอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรที่อิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิภายในห้องขนาดต่างๆของอาคารที่พักอาศัยจากระบบท่ออากาศจากการระเหยของน้ำได้ตลอดทั้งปี
3. สามารถทำนายพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นจากการระเหยน้ำว่ามีปริมาณและความเหมาะสมหรือไม่ในการลดอุณหภูมิภายในห้องของอาคารที่พักอาศัย และเป็นแนวทางในการปฏิบัติสำหรับสถาปนิก และวิศวกรเพื่อใช้ในการออกแบบอาคาร และระบบทำความเย็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัย การประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านท่ออากาศ ดังนั้นในการศึกษาโครงการจำเป็นต้องเข้าใจถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อน และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องเข้าใจสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเพราะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ ดังนั้น เพื่อจะสามารถดำเนินการวิจัยอย่างถูกต้องและครอบคลุมตัวแปรได้ครบถ้วนจำเป็นต้องศึกษาหลักทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

- สภาพอากาศในเมืองไทยกับการลดความร้อนให้แก่อาคารด้วยระบบการระเหยของน้ำ
- ประวัติ และหลักการการทำความเย็นด้วยระบบการระเหยของน้ำ
- คุณสมบัติทางกายภาพวัสดุที่เหมาะสมในการทำท่ออากาศ
- การคำนวณปริมาณความร้อนของอากาศที่เข้าสู่อาคาร
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นให้แก่อาคารด้วยระบบการระเหยของน้ำทางอ้อม

สรุปแล้วการวิจัยเพื่อนำความเย็นจากการระเหยน้ำมาใช้ทางอ้อม เป็นความต้องการจะสร้างสภาวะน่าสบายของมนุษย์แก่ผู้พักอาศัยในอาคาร โดยแสวงหาแนวทางการประยุกต์ธรรมชาติและเครื่องกลที่ใช้พลังงานน้อยมาผสมผสานเพื่อสร้างความเป็นอยู่ที่สบายภายในอาคาร ดังนั้นการรวบรวมตัวแปรและข้อมูลที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญในเบื้องต้นอย่างสมบูรณ์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดในการวิจัยครั้งนี้

สภาวะน่าสบายของมนุษย์¹ (Comfort Zone) คือ สภาวะที่มนุษย์รู้สึกสบายโดยไม่สามารถระบุลงไปได้ว่าร้อนหรือหนาว โดยทำการสำรวจจากประชากรโลกชนชาติต่างๆ

¹ สุนทร บุญญาธิการ, “นวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต”, (เอกสารวิจัยส่วนบุคคลวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร, 2544-2545), หน้า 15-16.

จนได้ข้อสรุปซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกชาติแม้จะอยู่ในเขตภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% (Fanger, 1967) การสร้างสภาวะน่าสบายของมนุษย์จะต้องประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆที่ต้องเกื้อกูลกัน คือ

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ค่าที่เหมาะสมจากการทดลองประมาณ 25 องศาเซลเซียส (Olgay, 1973)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเหมาะสมในการสร้างสภาวะสบายไม่รู้สึกแห้งเกินไปหรือเหนอะหนะ อยู่ที่ค่าประมาณ 50 % (Olgay, 1973)

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature: MRT) คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้จากสภาพแวดล้อมที่แผ่รังสีความร้อนให้กับมนุษย์หรือแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับร่างกาย ทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวมากกว่าอุณหภูมิอากาศจริง มีค่าที่คำนวณได้จากสมการเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส

ความเร็วลม (Wind velocity) มีอิทธิพลต่อความรู้สึกเย็นสบายของมนุษย์ เนื่องจากเมื่อมีความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิจริงในขณะนั้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ความรู้สึกเย็นลง(องศาเซลเซียส)		=	0.381V+0.0016RH
เมื่อ	V	=	ความเร็วลม(กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
	RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์(%)

ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้มนุษย์รู้สึกเย็นลงประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส โดยลดลงมากที่สุดที่ 4 องศาเซลเซียส

เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value) จากการศึกษาในต่างประเทศ ซึ่งเป็นเขตหนาวกำหนดให้เครื่องแต่งกายของชายนักธุรกิจ คือ เสื้อสูททำงานครบชุด มีค่า Clo เท่ากับ 1 พบว่าจำนวนเสื้อผ้ายิ่งน้อยชิ้นลงจะส่งผลให้ค่า Clo ยิ่งลดลง ในทางกลับกันเสื้อผ้ายิ่งมาก ร่างกายยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงรู้สึกร้อนและไม่สบาย

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism rate) ร่างกายที่มีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงเนื่องจากการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดินขึ้นลงที่สูง หรือ การแบกของหนัก จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้รู้สึกไม่สบายเป็นผลต่อสภาวะสบายโดยรวมของมนุษย์

เมื่อเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์แล้ว ต้องศึกษาตัวแปรต่างๆ ข้างต้นที่จะนำไปสู่การประยุกต์การระเหยของน้ำทางอ้อมเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร ดังต่อไปนี้

2.1 สภาพอากาศในเมืองไทยกับการลดความร้อนให้แก่อาคารด้วยระบบการระเหยของน้ำ

ในการทำความเข้าใจจากระบบการระเหยของน้ำเป็นระบบทำความเย็นระบบธรรมชาติ (Passive cooling) ที่เกิดขึ้นมานานตั้งแต่ยุคอียิปต์โบราณ แต่ระบบนี้เป็นการใช้ความเย็นที่มาจาก การระเหยของน้ำโดยตรงซึ่งมีความเหมาะสมต่อสภาพอากาศแบบร้อนแห้งดังที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป สำหรับในประเทศไทยที่มีสภาพอากาศที่ทั้งร้อนและมีความชื้นที่สูงมากเกินความจำเป็นนั้น จำเป็นที่จะต้องดัดแปลงก่อนที่จะนำระบบการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำมาใช้ ดังนั้นการศึกษาและเข้าใจต่อสภาพอากาศของประเทศไทยและตัวแปรทางด้านปัจจัยธรรมชาติจะช่วยให้สามารถนำระบบนี้มาประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง อีกทั้งเป็นตัวแปรที่ควบคุมและมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำมากที่สุดด้วย

2.1.1 สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

ลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ทั่วไปอย่างที่เรารู้จักคือภูมิอากาศที่มีทั้งความร้อน และความชื้นที่เกินความจำเป็น จึงเป็นสาเหตุของความไม่สบายของมนุษย์ ดังนี้

ฤดูร้อน² มีลักษณะร้อนและมีความชื้นสูง การออกแบบที่เหมาะสมต้องสามารถป้องกันความร้อนและทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกเย็น ด้วยระบบธรรมชาติและระบบเครื่องกลอย่างเหมาะสม

ฤดูฝน มีลักษณะฝนตกหนักมากและความชื้นสูงมาก ที่อยู่อาศัยจำเป็นที่จะต้องสามารถป้องกันความชื้นได้ดี การใช้ระบบธรรมชาติอาจไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้ระบบเครื่องกลเข้ามาช่วย เช่น ระบบลดความชื้น (Dehumidifier) ซึ่งในที่นี้คือเครื่องปรับอากาศ เปลือกของอาคารจำเป็นจะต้องป้องกันความชื้นได้ดี

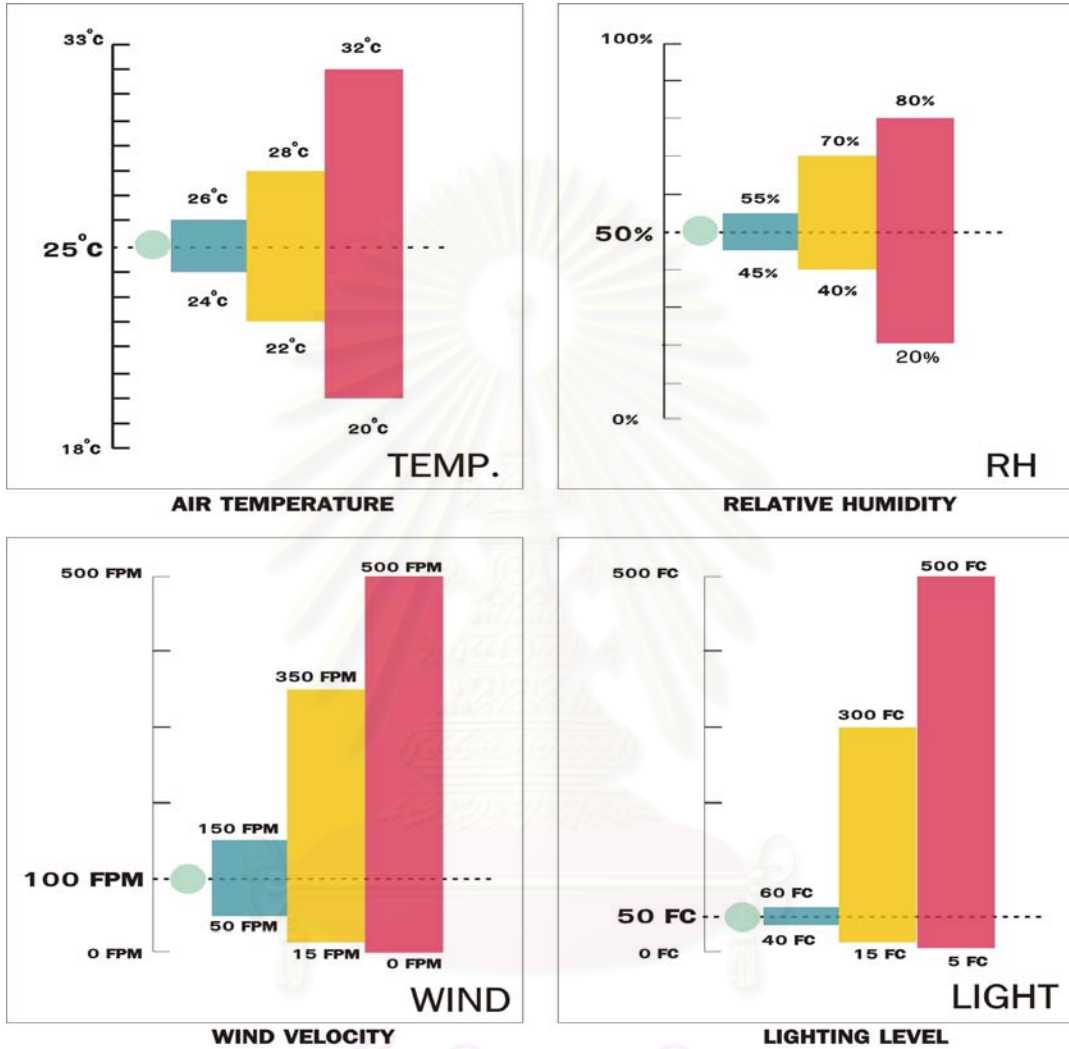
² สุนทร บุญญานุการ, “นวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต”, (เอกสารวิจัยส่วนบุคคลวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร, 2544-2545), หน้า 17.

ฤดูหนาว มีลักษณะไม่หนาวมากแต่มีความชื้นต่ำ ดังนั้นการออกแบบที่อยู่อาศัยจึงจำเป็นต้องสามารถปิดได้ ควบคุมความร้อน ชื้นได้ดี เนื่องจากใช้ความร้อนและความชื้นจากผู้อยู่อาศัยและอุปกรณ์ภายในมาสร้างสภาวะสบายในอาคารให้กับผู้ใช้อาคาร โดยไม่จำเป็นต้องเสียพลังงานให้กับการทำความอบอุ่นให้กับผู้ใช้อาคาร

จากความเข้าใจต่อสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของไทยสามารถที่นำมา กำหนดขอบเขตสภาวะน่าสบายใหม่เป็น 3 ระดับ (สุนทร บุญญาธิการ, 2544) ดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- SPECIAL CONTROL ZONE
- CONTROL ZONE
- SEMI-PASSIVE ZONE
- PASSIVE ZONE

รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของสภาวะสบายในแต่ละเขต (Zone) ในเรื่องของอุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง และความเร็วลมที่เหมาะสม (ประยุกต์จากเอกสารบรรยาย มหาวิทยาลัยชินวัตร สุนทร บุญญาธิการ, 2544)

พบว่า ในแต่ละระดับการแบ่งพื้นที่ที่จะมีความเหมาะสมต่อกิจกรรม พลังงาน และความรู้สึกลสบายของมนุษย์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

พื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ (Passive zone)

อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 20-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 0-500 ฟุตต่อนาที โดยมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย 5-500 แรงเทียน (fc) ที่ระดับนี้อากาศมีความแปรปรวนค่อนข้างมากตามสภาพภูมิอากาศ แต่สามารถอยู่ได้สบาย เปรียบกับพื้นที่ภายในบ้านได้แก่ ส่วนของห้องครัว ส่วนของพื้นที่ทานอาหารที่ต้องการบรรยากาศธรรมชาติแบบภายนอกบ้าน และห้องน้ำ ซึ่งใช้พลังงานน้อยมากในการควบคุมสภาพแวดล้อม

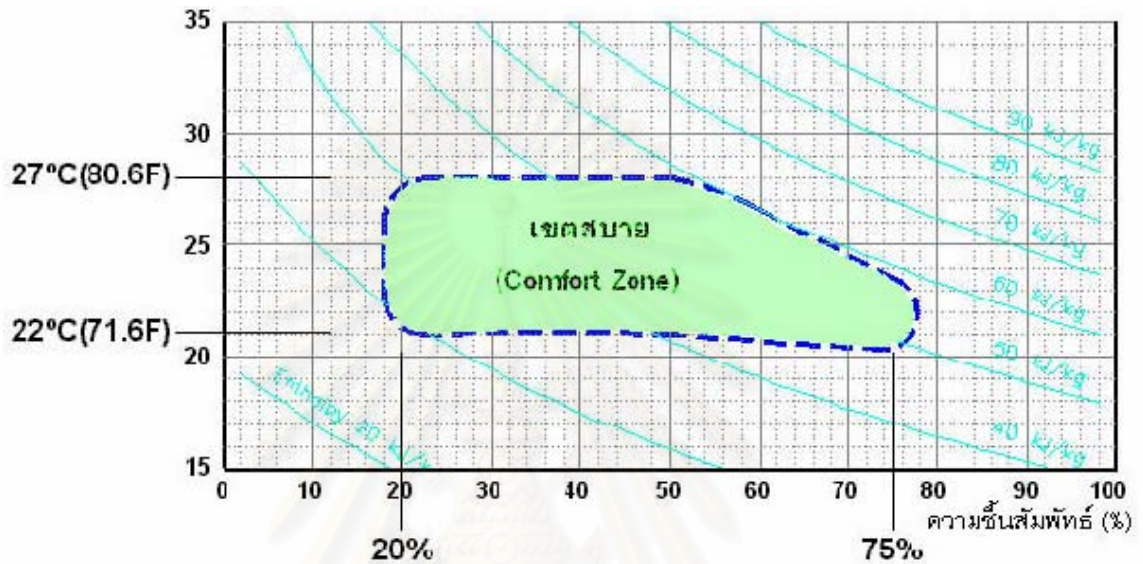
พื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (Semi-passive zone)

อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 22-28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40-70 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 15-350 ฟุตต่อนาที โดยมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย 15-300 แรงเทียน ที่ระดับนี้สภาพอากาศจะมีความแปรปรวนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศ ซึ่งกิจกรรมที่เหมาะสมที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายได้แก่ ห้องนั่งเล่น ห้องรับแขกที่ไม่ต้องการเป็นส่วนตัวมากนัก ห้องอาหาร และโถงทางเดินภายในบ้าน ซึ่งใช้พลังงานปานกลางในการควบคุมสภาพแวดล้อม

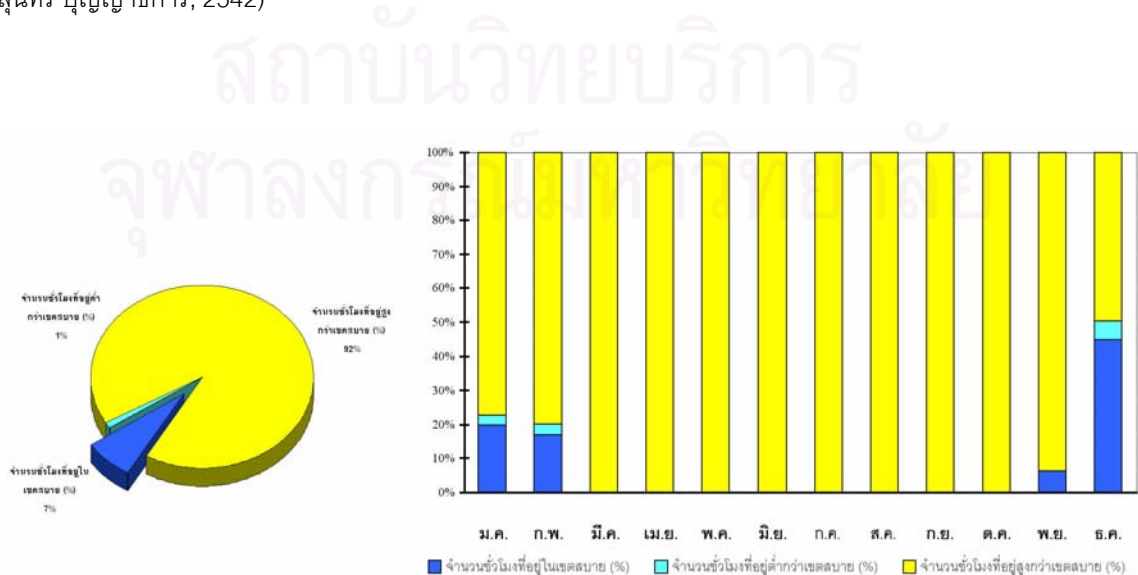
พื้นที่ควบคุมสภาพแวดล้อม (Control zone)

อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45-55 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเร็วลม 0-500 ฟุตต่อนาที โดยมีระดับความส่องสว่างเฉลี่ย 5-500 แรงเทียน ที่ระดับนี้สภาพอากาศจะไม่มี ความแปรปรวนเมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศ ซึ่งกิจกรรมที่เหมาะสมที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายเป็นกิจกรรมที่ต้องการสมาธิในการทำกิจกรรมได้แก่ ห้องทำงาน ห้องนอน ซึ่งใช้พลังงานมากในการควบคุมสภาพแวดล้อม

จากระดับในการแบ่งพื้นที่ดังกล่าว สรุปได้ว่าระบบการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำทางอ้อมนี้ต้องการที่ปรับสภาพแวดล้อมให้อยู่ในพื้นที่ระดับกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อมมากที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแสดงขอบเขตสภาวะสบายที่คนเรารู้สึกสบายจากตัวแปรสภาพอากาศ เป็นสภาวะที่คนเรารู้สึกสบายโดยที่ไม่รู้สึกร้อนหรือหนาว ไม่ชื้นหรือแห้งจนเกินไป จากภาพคนเราจะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 20-75 เปอร์เซ็นต์ (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ, 2542)



รูปที่ 2.3 แสดงร้อยละของจำนวนชั่วโมงในแต่ละเดือนที่อยู่ในสภาวะสบายของสภาพภูมิอากาศปกติ (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญธการ, 2542)

เมื่อเราเข้าใจต่อสภาพอากาศอย่างท่องแท้แล้ว เราสามารถที่จะนำตัวแปรธรรมชาติ และเครื่องกลเข้ามาผสมผสานเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัยในภูมิภาคแบบร้อนชื้นจากการประยุกต์ใช้ความเย็นจากการระเหยของน้ำทางอ้อม ซึ่งสามารถจำแนกตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

- อิทธิพลอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
- อิทธิพลของลมและอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
- อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
- การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ
- การใช้ประโยชน์จากต้นไม้

ก. อิทธิพลอุณหภูมิต่อปริมาณการระเหยของน้ำ

การที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ (Vapor) ต้องใช้ความร้อนเพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะ โดยการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 BTU (ASHREA Fundamentals, 1989) หมายความว่า ถ้าทำให้น้ำระเหยได้ในอากาศ อากาศจะเย็นลงกว่าปกติ แต่จะเย็นลงเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ระเหย เพราะความร้อนที่ใช้ทำให้น้ำระเหยมาจากอากาศบริเวณนั้น อุณหภูมิอากาศที่ได้ต่ำที่สุด คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature) จากการเกิดการระเหยของน้ำผลที่ตามมาคือทั้งน้ำและอากาศจะเย็นตัวลงระหว่างกระบวนการนี้ ระบบทำความเย็นนี้มีการประยุกต์และนำมาใช้แทนระบบทำความเย็นแบบธรรมดาที่มีต้นทุนสูงในสภาวะอากาศของทะเลทราย (ร้อนแห้ง) โดยใช้เครื่องทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative Coolers) (ผศ.ดร.สมชัย

อัศวิน และ ขวัญจิต วงษ์ชาติ, 2544) ที่เรียกว่า ระบบทำความเย็นจากการระเหยของน้ำโดยตรง (Direct Evaporative Cooling)

สำหรับอากาศในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทยมีความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูง (ประมาณ 55 % ขึ้นไป) การระเหยของน้ำจะเกิดได้ช้า (สุนทร และ ธนิต, 2536) อย่างไรก็ตาม ต้นไม้สามารถดูดน้ำจากรากแล้วส่งผ่านไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสงเกิดกระบวนการที่ทำให้น้ำระเหย (Transpiration) ผลที่ได้มาคือ ทำให้อากาศรอบๆ ต้นไม้เย็นลง อุณหภูมิรอบๆ ต้นไม้จึงเย็นลงตามไปด้วยไม่ว่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงเพียงใดการทำให้น้ำระเหยของต้นไม้จะเกิดขึ้นเสมอ จากแนวความคิดข้างต้นจึงเป็นแนวทางได้ว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อปริมาณการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ

แต่ในสภาพตามจริง น้ำจะไม่สามารถเกิดการระเหยได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของ Givoni (1994) พบว่าประสิทธิภาพของการระเหยของน้ำจะได้อุณหภูมิกะเปาะแห้งที่สูงกว่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกจริงที่ประมาณ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกะเปาะแห้งในตอนแรกกับอุณหภูมิกะเปาะเปียกในกรณีของระบบทำความเย็นจากการระเหยของน้ำโดยตรง (Direct Evaporative Cooling) สำหรับในระบบทำความเย็นจากการระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling) ประสิทธิภาพของการระเหยของน้ำที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ 40-60% ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกะเปาะแห้งในตอนแรกกับอุณหภูมิกะเปาะเปียก

พบว่า การทำความเย็นด้วยระบบ Indirect Evaporative Cooling แหล่งกำเนิดของความเย็นนี้คือ ธรรมชาติ ศักยภาพการทำความเย็นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ที่สำคัญที่สุดคือ สภาพอากาศในตอนนั้น และปัจจัยที่จะเป็นตัวแปรที่สำคัญคือ

1. อุณหภูมิกะเปาะแห้ง
2. อุณหภูมิกะเปาะเปียก

ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองที่ได้คือการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเร่งการระเหยของแต่ละสภาพอากาศ ถ้าอากาศแห้งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองจะมีค่ามาก และน้ำจะระเหยได้มาก ถ้าอากาศมีความชื้นสูง ความแตกต่างจะลดลง และน้ำจะระเหยได้น้อย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการนำระบบการระเหยของน้ำที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

จากการสังเกตพบว่า เมื่อเราอาบน้ำเสร็จใหม่ๆ ขณะที่ผิวของเรามีหยดน้ำติดอยู่ที่ผิวหนัง เราจะรู้สึกเย็นที่ผิวหนัง นั้นเกิดจาก น้ำที่ติดอยู่ที่ผิวหนังรับความร้อนจากอุณหภูมิร่างกายของเรา และสภาพอากาศรอบๆตัวเรา จึงเกิดการระเหยของน้ำขึ้น แต่เมื่อเทียบกับขณะที่เดินผ่านพัดลม หรือมีลมพัดผ่านมาในขณะนั้นผิวของเราจะแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก กระแสลมพัดผ่านมาเพิ่มผิวสัมผัสที่หยดน้ำกับอากาศมากขึ้น และทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้นจากพลังงานที่ได้รับมาจากกระแสลม โมเลกุลของน้ำจะชนกันจนหลุดออกจากของเหลวทำให้เกิดการระเหยขึ้น ดังนั้น กระแสลมจึงมีอิทธิพลเป็นตัวแปรที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำมากขึ้น

ถึงแม้จะกล่าวได้ว่า กระแสลมเป็นตัวแปรหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ แต่กระแสลมที่พัดผ่านมาต้องเป็นกระแสลมที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมด้วย คือ กระแสลมที่พัดผ่านมีความเร็วลมสูง มีอุณหภูมิร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศน้อย สำหรับในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย สามารถที่จะแบ่งลักษณะของลมและอุณหภูมิได้ออกได้เป็น 4 ลักษณะ³ ดังตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครที่นำมาอธิบายนี้เป็นข้อมูลภูมิอากาศปีพ.ศ. 2538 ดังนี้

1. กลุ่มเย็นชื้นปานกลาง คือ เดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ รวม 2 เดือน
2. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมใต้ คือ เดือนมีนาคม เมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน รวม 4 เดือน
3. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมแปรปรวน คือ เดือนกรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม รวม 4 เดือน
4. กลุ่มเย็นแห้ง คือ เดือนพฤศจิกายน และธันวาคม รวม 2 เดือน

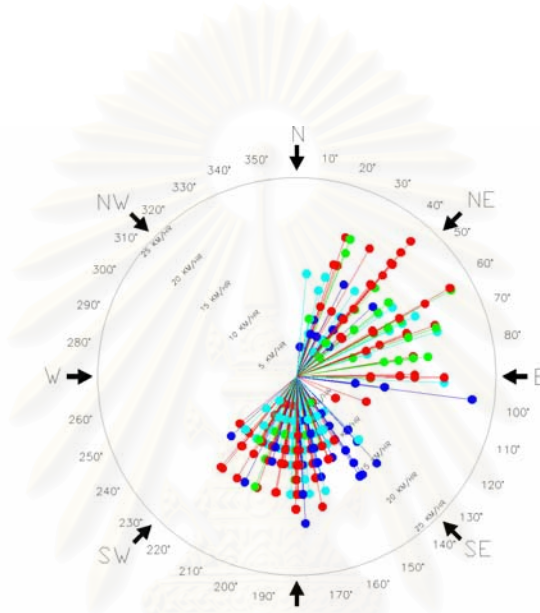
³ สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, (กรุงเทพฯ-มหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 41-55.

1. กลุ่มเย็นขึ้นปานกลาง

ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์

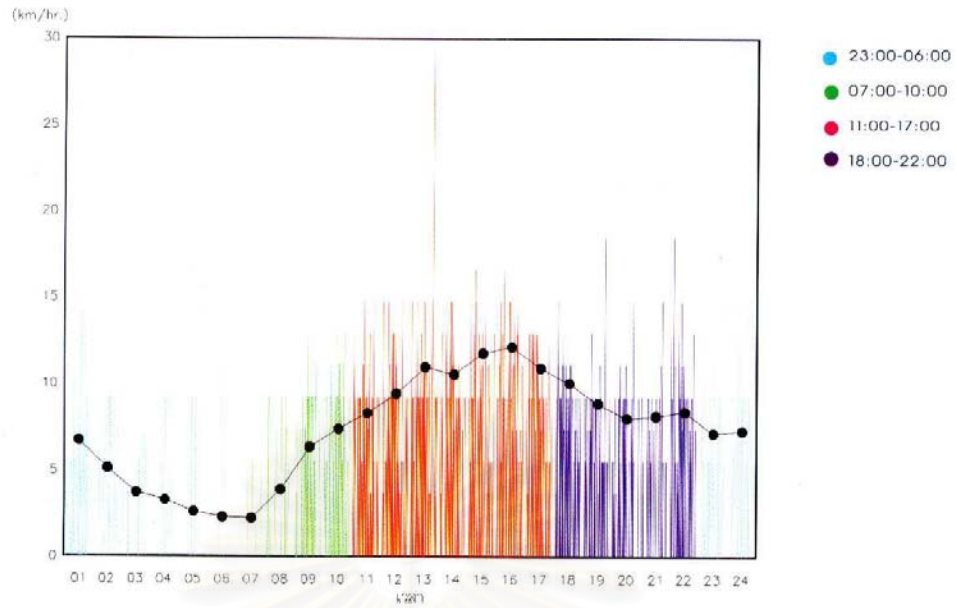
(ในกรณีนี้ได้ยกเอาข้อมูลของเดือนกุมภาพันธ์มาแสดงเป็นตัวอย่าง)

จากแผนภูมิทิศทางและความเร็วลมพบว่า ทิศทางการพัดของกระแสลมของกลุ่มเดือนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ทิศทางอย่างชัดเจน คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (กระแสลมร้อน) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (กระแสลมหนาว) และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน

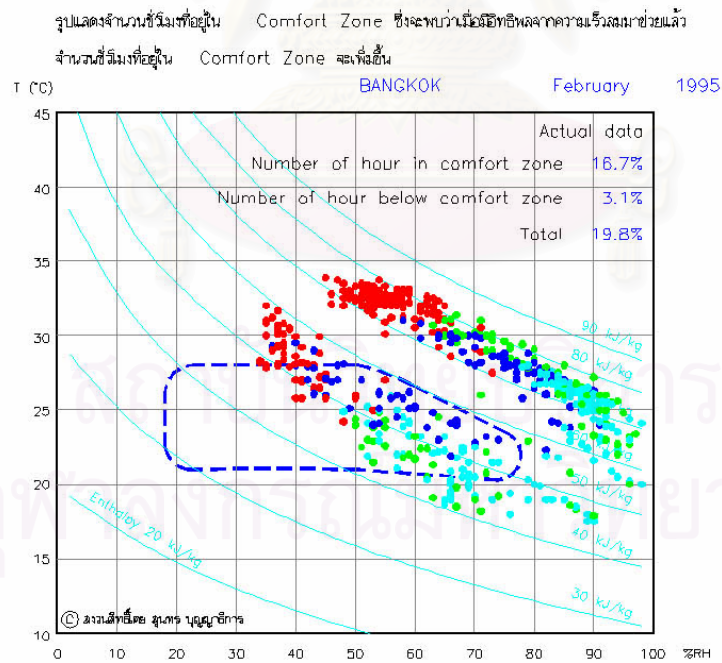


แผนภูมิที่ 2.1 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนกุมภาพันธ์ แบ่งออกเป็น 2 ทิศทางอย่างชัดเจน คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (กระแสลมร้อน) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (กระแสลมหนาว) และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

ช่วงนี้เป็นฤดูหนาว อุณหภูมิส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ ในช่วงนี้ทิศทางของแดดจะอ้อมทางทิศใต้ โดยมีบางช่วงเวลาที่อากาศเย็นจนต่ำกว่าสภาวะสบาย(แม้ว่าจะมีจำนวนชั่วโมงที่ไม่มากนัก) ซึ่งสามารถใช้ข้อดีของการแผ่รังสีจากร่างกายหรือวัสดุก่อสร้างให้กับอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่า เพื่อช่วยปรับอุณหภูมิให้เข้าไปอยู่ในสภาวะสบายได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคเหนือของประเทศไทย ส่วนในภาคกลางจะต้องระวังในเรื่องการกันแดดทางด้านทิศใต้ เพราะถ้าออกแบบให้กันแดดได้น้อยเกินไป ก็อาจทำให้อุณหภูมิร้อนจนเกินสภาวะสบายได้



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนกุมภาพันธ์ (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)



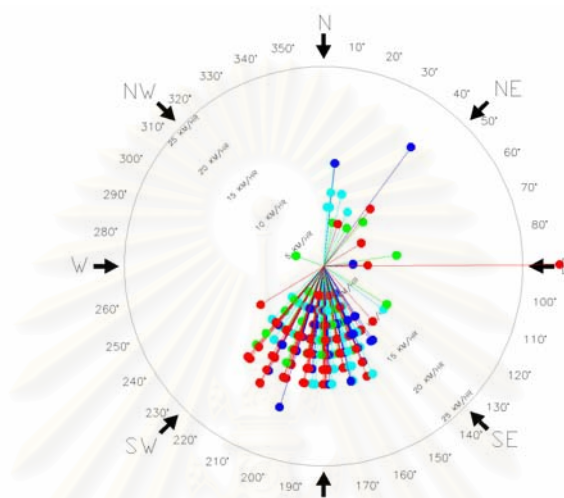
แผนภูมิที่ 2.3 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนกุมภาพันธ์เมื่อไม่มีอิทธิพลของลม จะเห็นได้ว่ามีจำนวนชั่วโมงที่ภูมิอากาศอยู่ในเขตสบายประมาณ 16.70% (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร 2542)

2. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมใต้

ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน

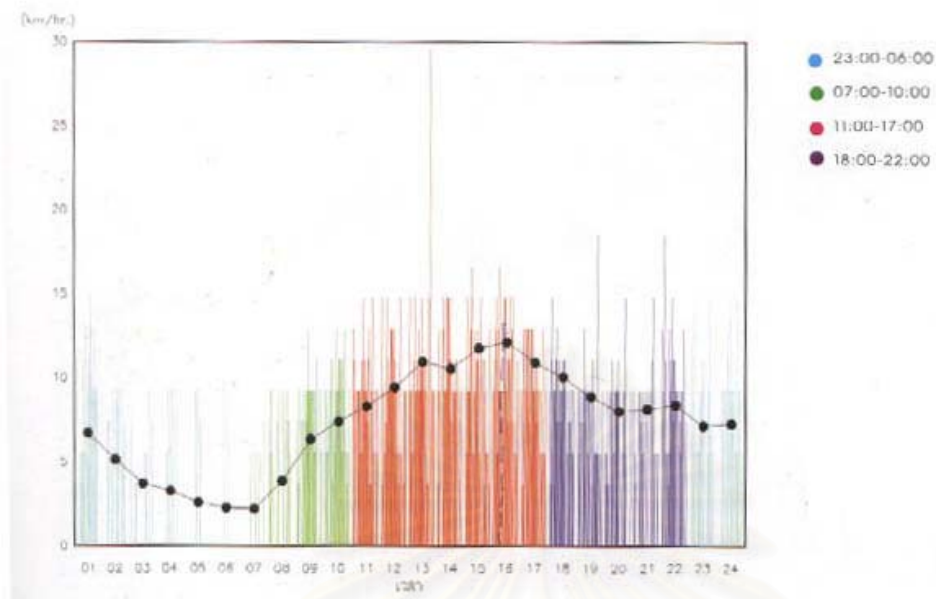
(ในกรณีนี้ได้ยกเอาข้อมูลของเดือนเมษายนมาแสดงเป็นตัวอย่าง)

จากแผนภูมิทิศทางและความเร็วลมพบว่า กระแสลมส่วนใหญ่มีทิศทางมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน

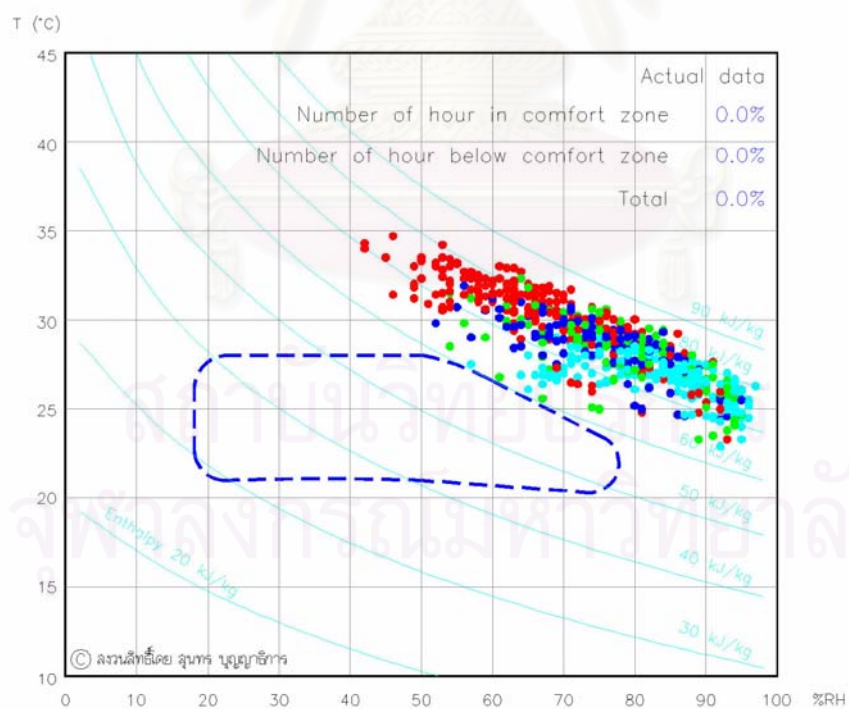


แผนภูมิที่ 2.4 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนเมษายน พบว่า กระแสลมส่วนใหญ่มีทิศทางมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

ช่วงนี้เป็นฤดูร้อนและมีระยะเวลาค่อนข้างยาวนานถึงประมาณ 4 เดือน พบว่า สภาพภูมิอากาศในกลุ่มนี้มีเป็นช่วงเดือนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูงและอยู่ห่างจากขอบเขตของสภาวะสบายมาก ถึงแม้ว่าจะนำกระแสลมมาช่วยเพื่อให้รู้สึกเย็นขึ้น แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำให้เข้าอยู่ภายในสภาวะสบายได้ หมายความว่า ในช่วงกลุ่มเดือนนี้กระแสลมธรรมชาติ(Natural ventilation)ไม่สามารถเอื้อให้เกิดสภาวะสบายได้ ในการควบคุมสภาวะภายในอาคารจึงอาจจำเป็นต้องพึ่งพาระบบเครื่องกล ในที่นี้ คือ เครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นทั้งอุปกรณ์ที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศและความชื้นที่นิยมใช้ใน ปัจจุบัน เพื่อช่วยปรับแต่งสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะสบาย หากต้องการประหยัดพลังงานโดยไม่ใช้เครื่องปรับอากาศก็อาจจะต้องยอมทนความร้อนและความชื้นที่มากกว่าระดับปกติเล็กน้อย



แผนภูมิที่ 2.5 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนเมษายน (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)



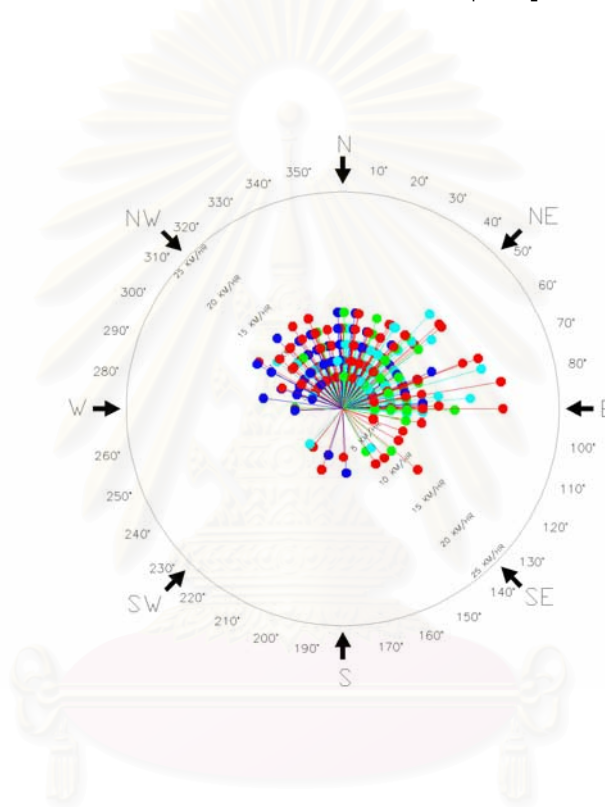
แผนภูมิที่ 2.6 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนเมษายนเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

3. กลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมแปรปรวน

ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม

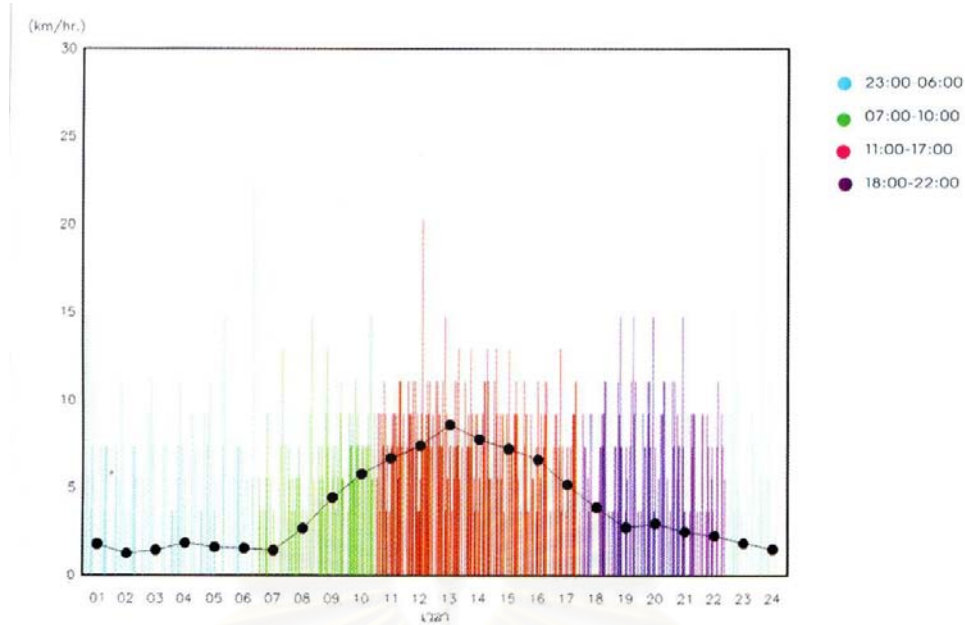
(ในกรณีนี้ได้ยกเอาข้อมูลของเดือนตุลาคมมาแสดงเป็นตัวอย่าง)

เมื่อพิจารณาด้านทิศทางลมจะพบว่า ในช่วงนี้ลมค่อนข้างจะแปรปรวนและมาจากทุกทิศทาง ดังนั้นปัญหาของการออกแบบส่วนหนึ่งจึงอยู่ที่ทิศทางของกระแสนม ในการออกแบบต้องสามารถให้ลมเข้าสู่ภายในอาคารได้จากทุกทิศทาง (เนื่องจากไม่สามารถคาดเดาได้ว่าทิศทางของกระแสนมจะมาจากทิศทางใด) เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิภายนอกได้อย่างเต็มที่

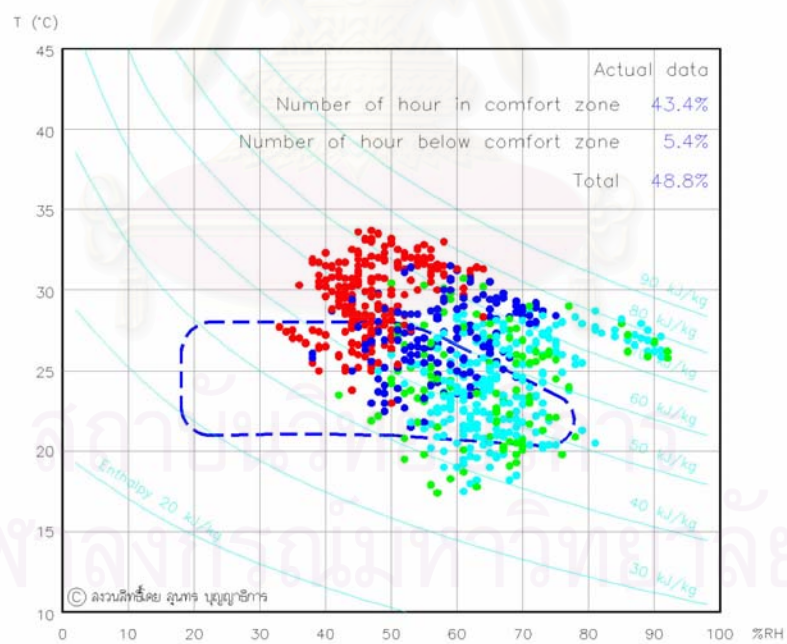


แผนภูมิที่ 2.7 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนตุลาคม ในช่วงนี้ลมค่อนข้างจะแปรปรวนและมาจากทุกทิศทาง (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญธิการ 2542)

สภาพภูมิอากาศในกลุ่มนี้มีอุณหภูมิสูงมากเกือบตลอดเวลา แต่ยังมีบางช่วงเวลาที่สามารถนำความเร็วลมมาช่วยทำให้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะสบายได้ จะเห็นว่าเป็นช่วงเดือนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าปานกลางค่อนข้างไปในทางสูงและอยู่นอกเหนือสภาวะสบาย อย่างไรก็ตาม ในบางชั่วโมงสามารถนำอิทธิพลของกระแสนมมาใช้สร้างความรู้สึกให้ผู้ใช้อาคารเสมือนหนึ่งอยู่ในสภาวะสบายได้บ้าง แต่แนะนำให้ใช้ระบบเครื่องกลในการปรับสภาวะสบายให้กับผู้อยู่อาศัยในอาคาร



แผนภูมิที่ 2.8 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนตุลาคม (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)



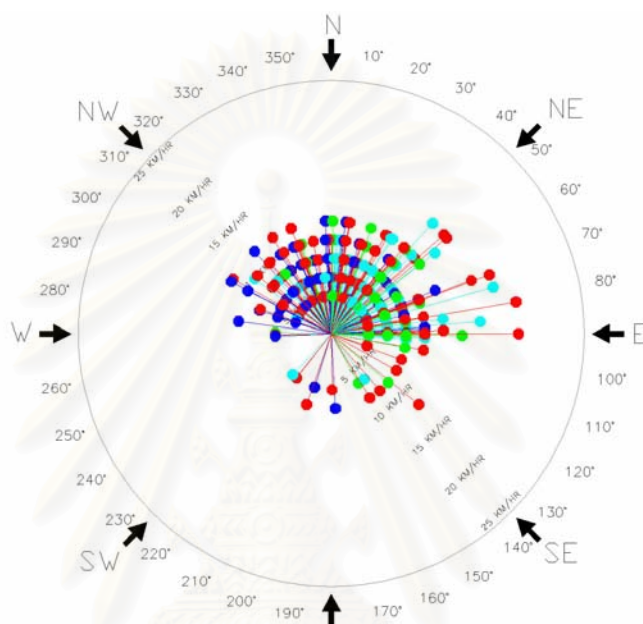
แผนภูมิที่ 2.9 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนตุลาคมเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม(ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

4. กลุ่มเย็น-แห้ง

ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนธันวาคม

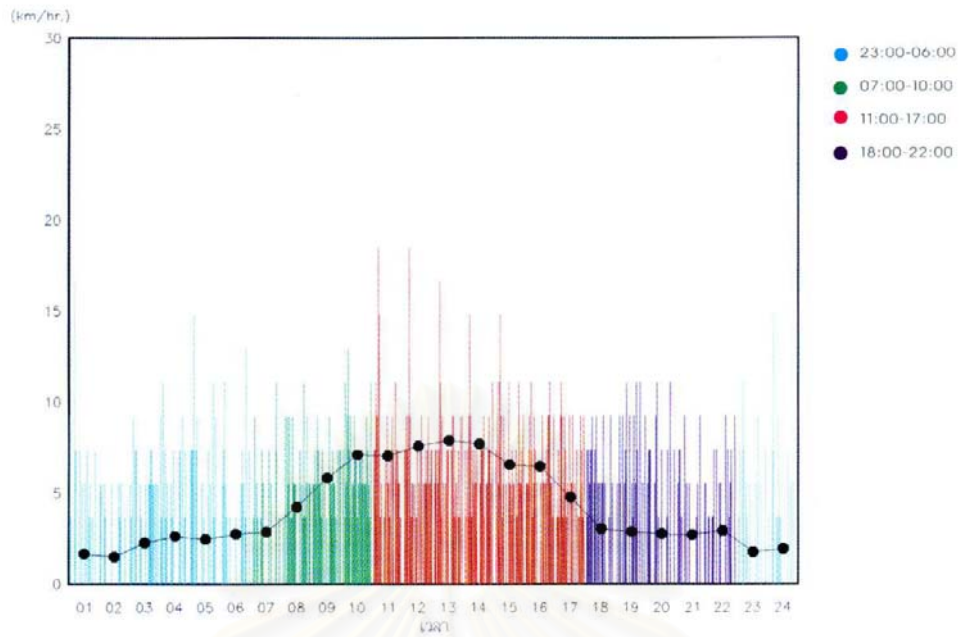
(ในกรณีนี้ได้ยกเอาข้อมูลของเดือนธันวาคมมาแสดงเป็นตัวอย่าง)

จากแผนภูมิทิศทางและความเร็วลมพบว่า ทิศทางกระแสลมของกลุ่มเดือนนี้จะพัดมาจาก 3 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นกระแสลมหนาว

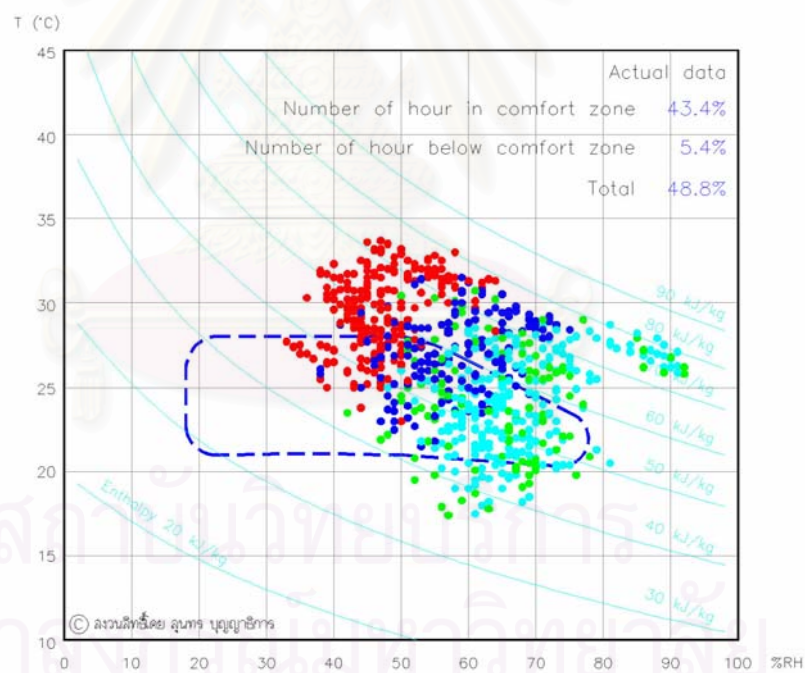


แผนภูมิที่ 2.10 แสดงทิศทางและความเร็วลมในเดือนธันวาคม ทิศทางกระแสลมของกลุ่มเดือนนี้จะพัดมาจาก 3 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงเหนือ (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

สภาพภูมิอากาศในกลุ่มนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเย็นขึ้นปานกลาง คือ เดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ กล่าวคือ บางชั่วโมงที่อุณหภูมิและความชื้นอยู่ต่ำกว่าสภาวะสบาย และสามารถนำอิทธิพลของการแผ่รังสีและอิทธิพลของกระแสลมมาช่วยปรุงแต่งอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะสบายได้ นั่นหมายความว่า ในช่วงเวลานี้สามารถใช้ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ มาช่วยเสริมสร้างสภาวะสบายได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่หากมีการปรับอากาศด้วยระบบเครื่องปรับอากาศ ไม่สมควรที่จะนำเอาอากาศที่มีความร้อนและความชื้นมากเข้าสู่อาคาร



แผนภูมิที่ 2.11 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในเดือนธันวาคม (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)



แผนภูมิที่ 2.12 แสดงอุณหภูมิและความชื้นในเดือนธันวาคมเมื่อไม่มีอิทธิพลของลม (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาธิการ 2542)

ค่าการระเหยของน้ำ (มิลลิเมตร)						กรุงเทพมหานคร							
เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ต่อปี
เฉลี่ย ต่อเดือน	140.9	153.2	190.8	192.3	184.4	156.1	158.9	157.5	134.8	124.2	124.6	135.9	1853.6
เฉลี่ย ต่อวัน	4.5	5.3	6.2	6.4	5.9	5.2	5.1	5.1	4.5	4.0	4.2	4.4	5.1
สูงสุด	7.9	8.8	10.0	30.6	13.2	10.5	9.9	12.9	9.4	9.5	8.8	8.7	30.6

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราการระเหยของน้ำในแต่ละเดือนของกรุงเทพมหานคร ประยุกต์จาก ผศ. ธนิต จินดาวงศ์, คมกฤษ ชูเกียรติมั่น และรอ.หญิงปริมลภา วสุวัต, เอกสารวิจัยส่วนบุคคลเรื่องข้อมูลอากาศ ประเทศไทยสำหรับงานอนุรักษ์พลังงาน, 2545.(เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของกระแสลม อุณหภูมิ และปริมาณการระเหยของน้ำ พบว่า ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม อัตราการระเหยของน้ำสูงกว่าทุกๆเดือนในหนึ่งปี ซึ่งตรงกับในช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมร้อนขึ้นมาก-ลมใต้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมถึงแม้กระแสลมจะมีปริมาณความชื้นสูง แต่กระแสลมมีอุณหภูมิและความเร็วลมที่สูงที่สุดตลอดปีบวกกับระยะเวลาในช่วงเวลากลางวันที่มีความชื้นที่ไม่สูงมาก (ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้เป็นกระแสลมที่ช่วยในการระเหยของลมมากที่สุด หรือตั้งสมมติฐานได้ว่า **อิทธิพลของกระแสลมนั้นจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำในช่วงระยะเวลาที่กระแสลมมีความเร็วมากพอ**

ค. อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ

จากการศึกษาสภาพอากาศในเมืองไทย (สุนทร บุญญาธิการ, 2540)พบว่า ระดับความชื้นในประเทศไทยโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก ความชื้นจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกอาคารสามารถทะลุทะลวงผ่านเข้ามาภายในอาคารได้หลายทาง เนื่องจากความดันไอที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น

1. ความชื้นที่ซึมผ่านผนัง
2. ความชื้นที่รั่วซึมผ่านขอบประตูหน้าต่าง

3. ความชื้นจากการเปิดปิดประตูหน้าต่าง

4. ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือน

สำหรับในสภาวะที่อยู่ในเขตพื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อมและพื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ ในการออกแบบอาคารต้องป้องกันความชื้นดังกล่าวเพื่อที่ลดความชื้นภายในอาคารให้ต่ำกว่าสภาวะอากาศภายนอก หลักการในการนำระบบความเย็นจากการระเหยของน้ำมาใช้เพื่อตอบสนองในการทำความเย็นภายในพื้นที่กึ่งควบคุมสภาพแวดล้อมและพื้นที่ควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ ดังนั้นจึงช่วยลดความชื้นจากภายนอกที่ไม่ต้องการ

สำหรับในสภาพอากาศที่มีความชื้นน้อย น้ำที่อยู่ในธรรมชาติสามารถที่จะระเหยได้ในปริมาณมาก เนื่องจากในอากาศมีปริมาณไอน้ำที่น้อย ไอน้ำที่เกิดจากการระเหยของน้ำจึงสามารถที่จะเติมเข้าไปในอากาศได้ในปริมาณที่มากดังเช่นสภาพอากาศแบบร้อนแห้ง ในทะเลทรายเราพบว่า ต้นไม้เองก็มีการปรับตัวเพื่อลดการระเหยของน้ำออกจากต้นให้มีน้ำที่เพียงพอในการหล่อเลี้ยง แต่สำหรับในสภาพอากาศร้อนชื้นต้นไม้มิมีความจำเป็นต้องลดการระเหยของน้ำเพื่อกักเก็บน้ำเนื่องจากมีน้ำที่เพียงพอและปริมาณไอน้ำในอากาศมากพอที่จะนำมาหล่อเลี้ยง ดังนั้นความชื้นที่สูงในสภาพแวดล้อมจึงส่งผลต่อปริมาณการระเหยของน้ำโดยตรง

สำหรับอากาศในเมืองไทยปริมาณความชื้นเมื่อเทียบเป็นรายเดือนถือได้ว่ามีปริมาณความชื้นที่สูงมากทุกเดือน แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายชั่วโมงในแต่ละวันดังแผนภูมิที่แสดง อุณหภูมิและความชื้นในกระแสลม พบว่า ในช่วงเวลาบ่ายของวันจะมีความชื้นสัมพัทธ์ในปริมาณที่ต่ำสุดของวันซึ่งทำให้เกิดการระเหยของน้ำได้มากที่สุด สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ประสิทธิภาพการระเหยของน้ำที่สูงจะเกิดขึ้นได้มากเมื่อปริมาณความชื้นที่ต่ำ ณ ช่วงเวลานั้น ๆ เท่านั้น

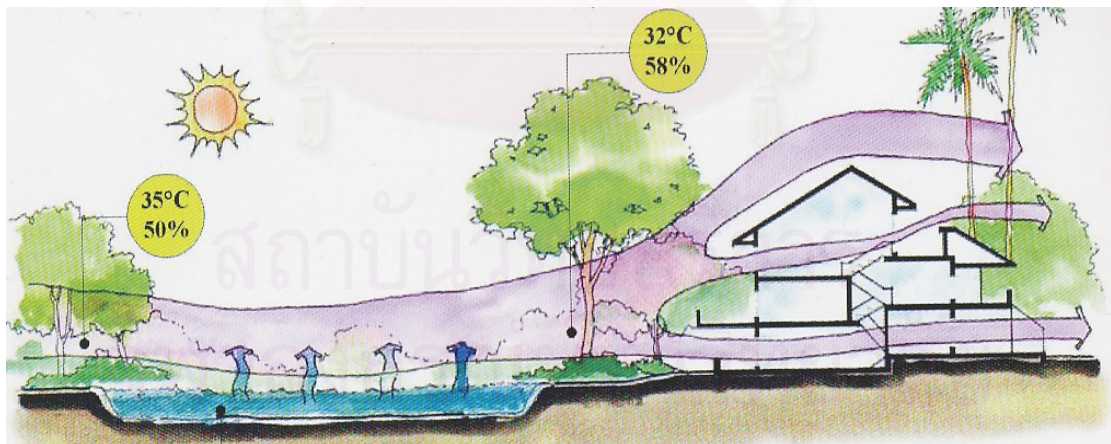
ง. การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ

ในการระเหยของน้ำทำให้อากาศเย็นลงแต่ปริมาณความชื้นในอากาศมีมากกว่าเดิม จึงต้องหาทางลดความชื้นและการระบายอากาศที่ดีด้วย

สำหรับในประเทศไทยจากการวิจัยของ วิชัย อธิวิทวิศวกุล (2539) ศึกษาถึงอิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิบริเวณนอกอาคาร พบว่าการนำประโยชน์จากแหล่งน้ำมาใช้ โดยการระเหยของน้ำทำให้อากาศเย็นลงแต่ชื้นกว่าเดิม ซึ่งแหล่งน้ำที่นำมาใช้ต้องมีความลึกตั้ง 1.50 เมตรขึ้นไป โดยการให้กระแสลมพัดผ่านบริเวณผิวหน้าของน้ำที่เย็นอันเนื่องมาจากการเกิดการระเหยของน้ำ พบว่าเมื่อลมพัดผ่านในระยะที่ยาวพอ อุณหภูมิ

อากาศจะค่อยๆ ลดและเย็นลงไปพร้อมๆ กัน แต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ สุนทร บุญญาธิการ และบัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2539) พบว่า อุณหภูมิน้ำลึก 1 เมตร จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 23 องศาเซลเซียส (ในเดือนมกราคม 2539) ตลอดทั้งวัน แสดงว่าน้ำลึก 1 เมตรมีความจุความร้อนมากจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศที่ และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน จากการศึกษาการนำประโยชน์จากแหล่งน้ำมาใช้ โดยการระเหยของน้ำ เช่นเดียวกับ วิชัย อิทธิพล โดยพบว่า ในเชิงปฏิบัติแล้ว ถ้านำอากาศดังกล่าวมาใช้ในอาคารจะไม่เป็นการช่วยใช้พลังงาน เนื่องจากอากาศนั้นมีความชื้นมากกว่าเดิม ตัวอย่างเช่น อากาศที่มี อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % เมื่อพัดผ่านพื้นน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส ในบริเวณกว้างจะทำให้อุณหภูมิกอากาศที่พัดผ่านแหล่งน้ำนั้นลดต่ำลงได้ถึง 3 องศาเซลเซียส หรือมีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 50 % เป็น 58 %

ถ้าเรานำอากาศภายนอกอาคารดังกล่าวเข้ามาใช้ในอาคารจะไม่เป็นการช่วยลดพลังงาน เนื่องจากในอากาศนั้นมีความชื้นที่มากกว่าเดิม แต่ในสภาวะทั่วไปที่มีลมพัดผ่านหรือมีอากาศถ่ายเทที่สะดวก ความชื้นจะไม่สะสมมากนัก ดังนั้นการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำทางอ้อมด้วยท่ออากาศที่การระเหยอยู่ภายนอกท่อและนอกอาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าความเย็นมาใช้โดยไม่มีปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น

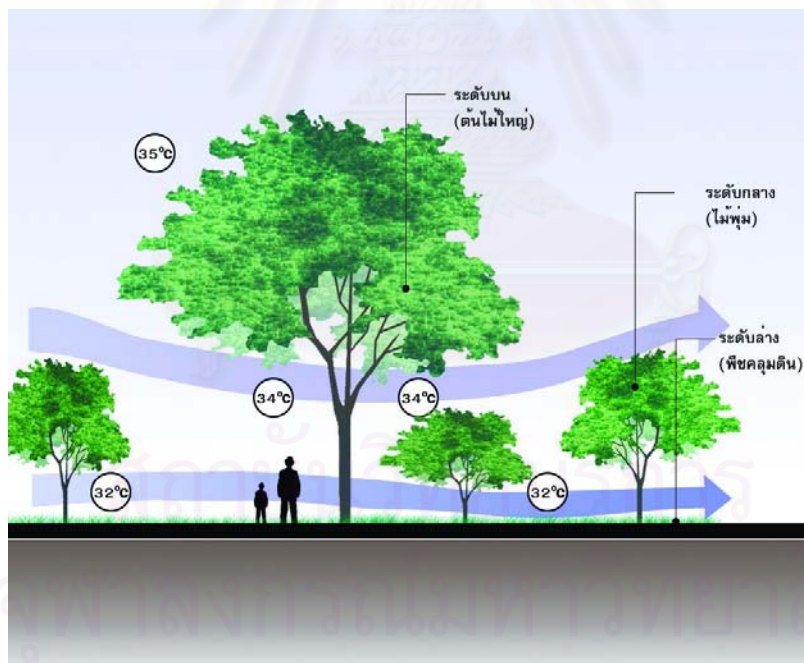


รูปที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากความเย็นของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ
ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคบ้านประหยัดพลังงาน. (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 82.

จ. การใช้ประโยชน์จากต้นไม้

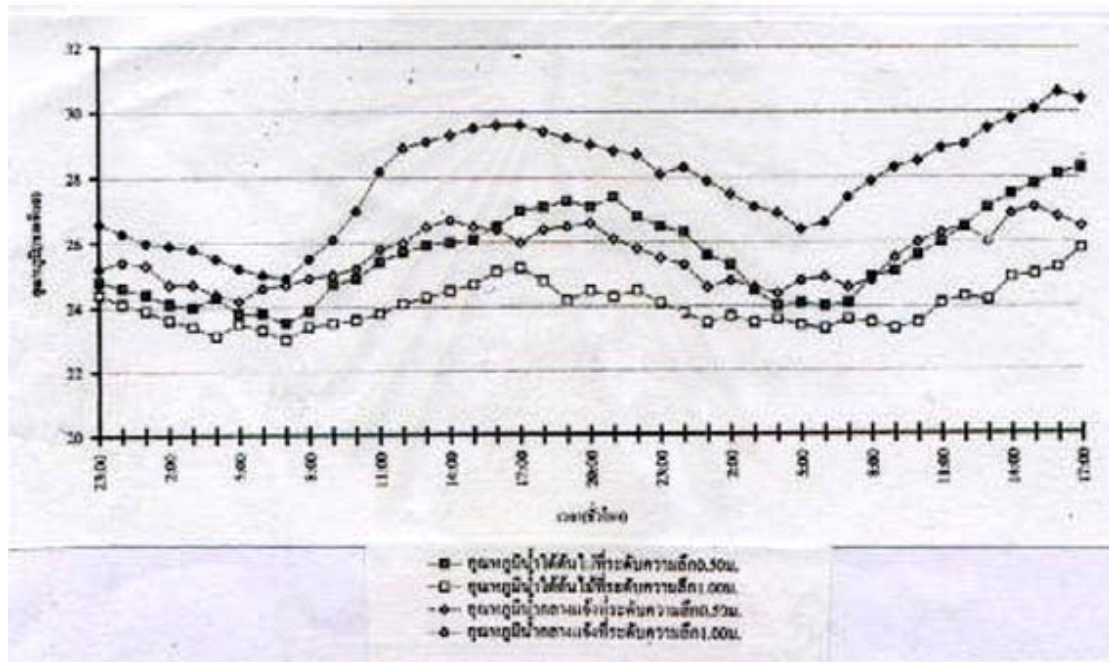
เนื่องจากต้นไม้ใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต ต้นไม้ดูดน้ำจากใต้ดินขึ้นมาแปลงสภาพให้กลายเป็นไอน้ำโดยการคายน้ำออกมาทางปากใบ กระบวนการดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2.3 เมกะจูล (2200 บีทียู) เพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ดังนั้นอาจประมาณการได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ถ้าหากต้นไม้ขนาดใหญ่ต้นหนึ่งสามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาแปลงสภาพน้ำให้กลายเป็นไอ ในอัตราประมาณ 65 ลิตรต่อวัน ต้นไม้ต้นนั้นจะมีความสามารถในการลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อม เทียบเท่ากับเครื่องปรับอากาศ 1 ต้นหรือประมาณ 12000 บีทียูต่อชั่วโมง (สุนทร บุญญาริการ, 2542: หน้า 72)

เมื่อต้นไม้ใหญ่แต่ละต้นสามารถช่วยลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้มากแล้ว ดังนั้นการปรับสภาพแวดล้อมด้วยการใช้ต้นไม้โดยการแปลงสภาพรังสีดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นไอน้ำจะช่วยให้อากาศในบริเวณนั้นต่ำลง การพาความร้อนมากับโมเลกุลของอากาศลดลง จะส่งผลให้การสะสมความร้อนในวัสดุของอาคารลดน้อยลงด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ใหญ่ที่นำมาประยุกต์เพื่อลดความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ

นอกจากต้นไม้ใหญ่จะใช้การสังเคราะห์แสงเพื่อการปรับสภาพแวดล้อมแล้ว ใบของต้นไม้ยังช่วยในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากแสงแดดโดยตรง และช่วยในการบังแสงที่จะส่องลงมาสู่พื้นโดยตรงได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้หากว่าต้นไม้ช่วยบังแดดที่จะมาตกกระทบต่อสระน้ำ หรือแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกับตัวอาคารจะทำให้อุณหภูมิในแหล่งน้ำนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าแหล่งน้ำที่โดนแสงแดดตลอดทั้งวัน (วิชัย อธิธิวิศวกุล, 2539: หน้า 96.) เมื่อเราใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในการทำความเย็นจะส่งผลให้ได้อุณหภูมิที่ลดต่ำลงด้วย



แผนภูมิที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ระดับความลึกต่างๆของแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมที่อยู่และไม่ได้อยู่ใต้ต้นไม้ ที่มา: วิชัย อธิธิวิศวกุล."อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิมิบริเวณนอกอาคาร", (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539), หน้า 95.

ดังนั้น น้ำที่ใช้ในการระเหยเพื่อทำความเย็นจึงเป็นน้ำที่ต้องไม่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง และระบบการทำความเย็นนี้ต้องไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงเช่นกัน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เมื่อกระทบกับวัตถุจะกลายเป็นพลังงานที่ให้ความร้อน (ดังที่กล่าวในหัวข้อต่อไป)

2.1.2 รังสีดวงอาทิตย์และความร้อน

จากการศึกษาข้างต้น ตัวแปรที่ทำให้เกิดความร้อนได้แก่ ดวงอาทิตย์ ถึงแม้เรา จะต้องการอุณหภูมิอากาศที่สูง และความชื้นที่ต่ำก็ตาม แต่เราไม่ต้องการรังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ น้ำ และระบบการทำควมเย็นนี้ ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจในเรื่องของ รังสีดวงอาทิตย์ และการถ่ายเทความร้อนด้วย

พลังงานที่ได้พบหรือได้ยินในชีวิตประจำวันต่างๆทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปแบบแตกต่างกัน และมีชื่อเรียกตามรูปแบบของพลังงานโดยเรียง ตามลำดับความถี่ของพลังงานจากต่ำไปสูงได้ดังนี้ ไฟฟ้า เสียง คลื่นวิทยุโทรทัศน์ รังสี อินฟราเรด แสงที่มองเห็นได้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสียูวี รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และรังสี คอสมิก (การใช้กระจก, 2543 : 10)

และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า แหล่งพลังงานความร้อนที่สำคัญของโลกและมนุษย์ คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นและเป็นพลังงานในรูปแบบสนามแม่เหล็กเช่นกัน ดังที่อธิบายในรายละเอียดเรื่องประเภทของรังสีต่อไป

ก. ประเภทของรังสีความร้อน

ประเภทของรังสีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ รังสีคลื่นสั้น และ รังสีคลื่นยาว (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2543: 11)

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave)

คือ รังสีความร้อนที่อยู่ในแสงสว่าง เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ รังสี นี้มีคุณสมบัติคือ มีอุณหภูมิสูง สามารถทะลุผ่านกระจกได้ และสามารถสะท้อนได้ดีสำหรับวัตถุ ที่มีผิวมันและสีอ่อน ส่วนวัตถุที่มีสีดำสามารถดูดซับรังสีประเภทนี้ได้ดี

รังสีคลื่นสั้นหรือแสงจากดวงอาทิตย์สามารถแยกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (การใช้กระจก, 2543: 11)

(ก) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) หรือรังสียูวี (UV)

- (1) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.29-0.4 ไมโครเมตร (μm) หรือไมโครเมตร
- (2) เป็นรังสีที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวหนัง แลทำให้สีของ เครื่องใช้ตลอดจนเฟอร์นิเจอร์ต่างๆเปลี่ยนแปลง

(3) มีสัดส่วนเป็น 9 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

(ข) รังสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light)

(1) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้

(2) เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปแบบของแสง ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง ซึ่งทำให้มนุษย์เรามองเห็นวัตถุต่างๆได้

(3) มีสัดส่วนเป็น 38 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

(ค) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Near Infrared Ray; NIR)

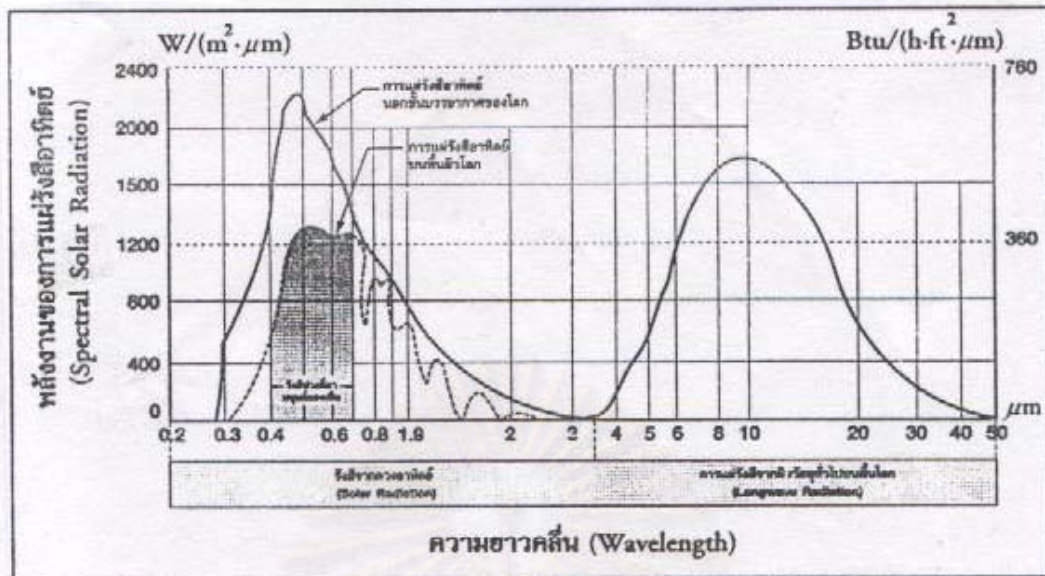
(1) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.7-3.5 ไมโครเมตร

(2) เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของความร้อนที่เราสัมผัสกันดี

(3) และเป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์กล่าวคือ มีสัดส่วนถึง 53 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเราสัมผัสกับแสงอาทิตย์เราจึงรู้สึกร้อน

2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave)

คือ รังสีที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัสดุที่บดแสง หรือส่งผ่านวัสดุไป ซึ่งรังสีคลื่นสั้นจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 3000 นาโนเมตรขึ้นไป เป็นผลให้วัสดุนั้นๆมีอุณหภูมิสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ มีรูปแบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (Conductivity) คุณสมบัติของรังสีนี้คือ เป็นรังสีที่ไม่สามารถมองเห็น แต่สามารถสะท้อนได้ดีกับวัสดุที่มีผิวมัน



แผนภูมิที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่มา: สุนทร บุญญานุรักษ์ และอุษษฎิ มิ่งวิมล, การใช้กระจก, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม. (กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2542), หน้า 10.

ข. ต้นกำเนิดและการถ่ายเทรังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่ออาคาร มีอยู่หลายลักษณะ ตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 35) คือ

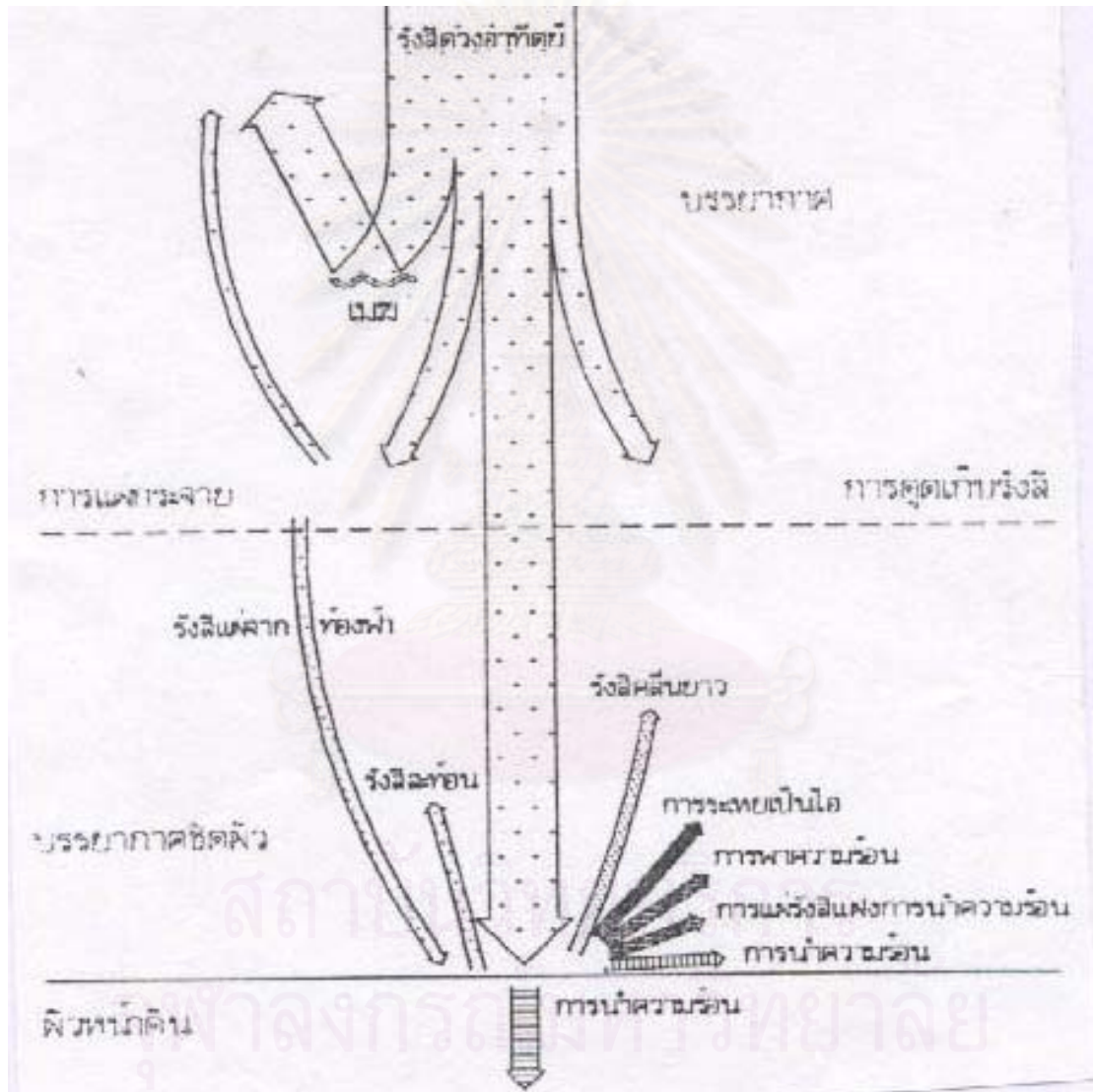
1. คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2. รังสีคลื่นสั้นแผ่กระจาย
3. คลื่นรังสีสะท้อนจากพื้นดิน หรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
4. คลื่นรังสีที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์กับคลื่นรังสีแผ่กระจายรวมกัน เรียกว่า คลื่นรังสีรวม หรือการแผ่รังสีรวม (Total Radiation) ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาเรื่อง ความร้อนด้านต่างๆ ของอาคาร และการควบคุมอุณหภูมิของอาคารเป็นต้น

ส่วนการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง โดยปกติพื้นที่แนวนอนจะได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของพื้นที่แนวตั้ง (นิสรา อารุณี, 2538: 10) ในช่วงเวลาที่เกิดความร้อนวิกฤต

(Overheat Period) เช่นจาก 14.00 ถึง 16.00 น. ฉะนั้นอาคารข้างเคียง ส่วนของอาคาร หรือแนวพื้นระดับนอน จะสะท้อนความร้อนจำนวนมากเข้ามาในอาคารโดยง่าย

ดังนั้นพื้นผิวในแนวนอนจึงเป็นแหล่งสะท้อนความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยปริมาณความร้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่ได้รับรังสีและความสามารถในการสะท้อนรังสีของสภาพแวดล้อมเหล่านั้น ในการออกแบบอาคารที่ต้องการลดปริมาณความร้อนที่จะสะท้อนเข้าสู่อาคารจึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ



รูปที่ 2.6 แสดงการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ (ภาพปรับปรุง) ที่มา: V.Olgay: Design with Climate Bioclimatic Approach to Architecture Regionalism. 4th ed.,(New Jersey:princeton University Press, 1973), 33 pp.

ค. การแลกเปลี่ยนความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนมีด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่

1. การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแหล่งที่อุณหภูมิสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงกัน หรือสสารที่สัมผัสกันโดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุล เมื่อโมเลกุลที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่าเกิดการสั่นสะเทือนและถ่ายเทพลังงานไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทางไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก และจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจนกระทั่งแหล่งพลังงานความร้อนทั้งสองที่มีอุณหภูมิที่เท่ากัน

การนำความร้อนจะแปรผันตามความหนาแน่นของวัสดุ⁴ กล่าวคือ วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย คือ เป็นวัสดุที่มีความสามารถนำความร้อนดีด้วย เช่น คอนกรีต อิฐ หินที่มีการนำความร้อนสูง แต่ต่ำกว่าวัสดุประเภทโลหะ ส่วนวัสดุที่รูพรุนอากาศ (Porous Material) จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ

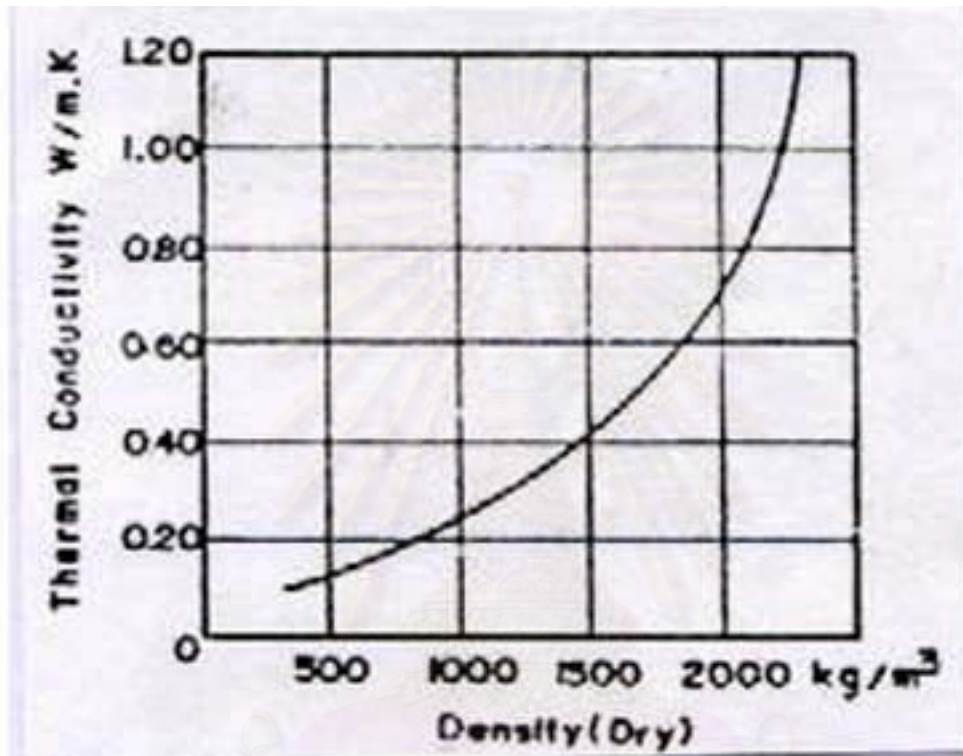
$$\text{Thermal Conduc tan ce} = K \times D$$

เมื่อ	Thermal Conductance	=	ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Btu/hr.ft ²)
	K	=	ค่าThermal Conductivity (Btu/hr.lb.°F)
	D	=	ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (lb./°F)

ค่า Thermal conductance คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ หรือสสารชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา ในที่นี้คือจำนวน บีที่ยุต่อชั่วโมงผ่านพื้นที่ของวัสดุหรือสสารเพียงหนึ่งตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลงหนึ่งองศาฟาเรนไฮด์

⁴ Fuller Moore, Environmental control system: heating cooling lighting (Singapore: Mcgraw-Hill Book, 1993), p.8.

ค่า Thermal Conductivity คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่นหนึ่งในหน่วยเวลาหนึ่ง ในที่นี้คือปีที่ยู่ต่อชั่วโมง ผ่านพื้นที่ของวัสดุหรือสสารที่มีหนึ่งตารางฟุต หนาแน่นหนึ่งนิ้วเมื่ออุณหภูมิลดลงหนึ่งองศาฟาเรนไฮต์⁵



แผนภูมิที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของการนำความร้อนกับความหนาแน่นของวัสดุ
ที่มา: Bensal.N.K., Hauser G. and Minke G. Passive Building Design A handbook of natural climate. Netherlands: Elsevier Science B.V., 1994. P.38.

⁵ Stein, B. and Reynolds, McGuinness J.w., Manical and Electrical Equipment for Building, 7th Edition (USA: John Willy & Sons, 1986), p.100.

จากภาพแสดงให้เห็นว่า ค่าการนำความร้อนของวัสดุมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของเนื้อวัสดุ วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะมีความสามารถในการนำความร้อนหรือความเย็นได้ดี และวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีความสามารถในการนำความร้อนที่ไม่ดี

2. การพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานความร้อน เช่น อากาศ น้ำ ดิน ซึ่งจะเป็นตัวกลางทำหน้าที่พาความร้อนมากระทบผิวของวัสดุ ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ข้อแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อน คือ ชนิดของโมเลกุลที่มีการเคลื่อน ในกระบวนการการนำความร้อนโมเลกุลไม่มีการย้ายตำแหน่ง แต่จะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับโมเลกุลอื่นๆโดยการสั่นสะเทือน หรือการชนต่อเนื่องกันไป สำหรับการพาความร้อนพลังงานความร้อนจากวัตถุชนิดแรกจะถูกถ่ายทอดให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่มีลักษณะเป็นของไหล การเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวกลางนี้จะเป็นตัวรับพลังงานความร้อนไปถ่ายทอดแก่วัตถุอีกตัวหนึ่ง ตัวอย่างการพาความร้อนที่พบเห็นโดยทั่วไป ได้แก่ การไหลเวียนของอากาศภายในห้อง เมื่ออากาศได้รับความร้อนโมเลกุลของอากาศจะเกิดการเคลื่อนออกห่างจากกันมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะไหลเข้าไปแทนที่อากาศที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่า และเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลก ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงไหลขึ้นบนเสมอ

ดังนั้นจะพบว่า ลมเป็นตัวกลางที่สำคัญที่สุดในการพาความร้อน จากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ และอาจตั้งสมมติฐานได้ว่าลมเป็นตัวกลางที่ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุลดต่ำลง

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การที่พลังงานความร้อนจากแหล่งกำเนิด เช่น ดวงอาทิตย์ แผ่คลื่นรังสีความร้อนออกมากระทบผิวของวัสดุ โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด รังสีความร้อนสามารถถูกสกัดกั้นโดยการใช่วัสดุที่มีผิวมันเงา วัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าดูดซับและการสะท้อนรังสีที่แตกต่างกัน โดยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีมากจะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ

จากลักษณะของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ ในกระบวนการทำความเย็นจากการระเหยของน้ำตามโครงการวิจัยนี้อาศัยหลักการในการแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เมื่อน้ำเกิดการระเหยอุณหภูมิของน้ำมีค่าเทียบเท่ากับอุณหภูมิน้ำระเหย หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ น้ำที่สัมผัสกับผิวท่ออากาศ หรือตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจากน้ำสู่ผิวท่ออากาศทำให้อุณหภูมิจึงของท่อเย็นลง เมื่อผิวท่อมีอุณหภูมิที่คาดว่าเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศภายในท่อแล้ว จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยการนำความร้อนจากผิวท่อสู่อากาศในท่อ จากอากาศที่เย็นในท่ออากาศจะเป็นตัวกลางในการพาความร้อนจากการระเหยของน้ำเข้าสู่อาคารต่อไป **ดังนั้นสรุปว่า ระบบการลดความร้อนจากการระเหยของน้ำตามโครงการวิจัยนี้ใช้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนคือ การนำและการพาความร้อน**

2.2 การลดความร้อนด้วยระบบการระเหยของน้ำ

การลดความร้อนให้กับอาคารด้วยระบบธรรมชาติ มีหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการนำลมมาใช้ประโยชน์เพื่อลดความร้อนและระบายอากาศ หรือการสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพในการกันความร้อนที่เข้าสู่อาคาร เป็นต้น แต่ระบบการเร่งการระเหยของน้ำเป็นการลดความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งพิสูจน์แล้วว่าสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลายประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง การนำมาใช้สร้างสภาวะน่าสบายในอาคารสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนแห้งเป็นการใช้โดยตรง

การลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำทางตรงนี้มีปัจจัยที่เราต้องคำนึงถึงได้แก่ ความร้อนและความชื้น เนื่องจากระบบการลดความร้อนสามารถที่จะลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ปริมาณความชื้นในอากาศภายนอกจะสูงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความเหมาะสมต่อสภาวะอากาศที่ต้องการลดอุณหภูมิหรือความร้อน และเพิ่มความชื้นในอากาศได้ดีแบบร้อนแห้ง แต่สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนั้นต้องคำนึงถึงความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ดังนั้นการประยุกต์ใช้การลดความร้อนจากการระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้น จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถลดความร้อนอากาศภายในอาคารได้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่จะไม่มี ความชื้นในอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น

การนำเทคนิคการสร้างสภาวะน่าสบายในอาคารแบบระบบธรรมชาติ ด้วยระบบการระเหยของน้ำถึงแม้จะช่วยลดอุณหภูมิในอาคารแต่ก็ไม่ช่วยลดความชื้นในอาคารแบบระบบปรับอากาศ แต่ข้อได้เปรียบของระบบนี้คือ

1. ระบบการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำสามารถรักษาสิ่งแวดล้อม เพราะไม่อาศัยสารเคมี เมื่อเทียบกับระบบการทำความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ
2. อากาศภายในอาคารที่ใช้ระบบการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำมีคุณภาพที่ดีกว่าระบบอื่น
3. พลังงานที่ใช้ในการลดความร้อนต่ำกว่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องทำความเย็น และเครื่องปรับอากาศถึงหนึ่งในสาม

ดังนั้นเทคนิคการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำจึงเป็นนิยมแพร่หลายมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่อากาศรุนแรงแบบร้อนแห้ง และร้อนชื้นในบางพื้นที่ ดังในประเทศสหรัฐอเมริกา อีกทั้งยังเป็นผู้ดำเนินการคิดค้น และวิจัย เนื่องจากต้องการลดพลังงานในบริเวณจากการทำความเย็นและสภาพอากาศในบางพื้นที่ของประเทศที่ไม่มีความเหมาะสมที่เลือกใช้ระบบเครื่องปรับอากาศ

2.2.1 ประวัติและความเป็นมาของระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ

การลดความร้อนด้วยระบบการระเหยของน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศในอาคารมีมาตั้งแต่ในอดีต โดยเริ่มตั้งแต่สมัยอียิปต์ประมาณ 2500 ปี ก่อนคริสตศตวรรษ โดยสร้างความเย็นจากเหยือกน้ำซึ่งได้เจาะรูเหยือกไว้เพื่อให้หยดน้ำไหลออกมาจากเหยือกที่ทำจากดินเผาและใช้แรงลมพัดที่ผ่านช่วยในการระเหย ซึ่งลมจะเป็นตัวนำความเย็นจากการระเหย หลังจากนั้นในประเทศสหรัฐอเมริกาในกองทหารและชาวอินเดียพื้นถิ่น รวมทั้งชาวเม็กซิกันได้มีวิธีการลดความร้อนที่คล้ายคลึงกับแบบของอียิปต์ แต่อาศัยกระเป๋ายาม หรือถุงที่ใส่น้ำแทนเหยือกดินเผา (Desert water bag)

แม้แต่ในประเทศแถบร้อนแห้งของอิหร่านเองใช้การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยการระเหยของน้ำ โดยสร้างสระน้ำไว้ใต้อาคารซึ่งสระน้ำนี้ต้องไม่ได้รับอิทธิพล

จากแสงแดดภายนอก โดยออกแบบให้เป็นห้องใต้ดิน ทางด้านบนของห้องสร้างเป็นหอคอยที่เปิดโล่งให้ลมพัดผ่าน และน้ำจะไหลภายใต้อาคาร ซึ่งจะเกิดการระเหยเมื่อลมที่พัดผ่านหอคอยพัดผ่านน้ำที่ไหลอยู่ใต้อาคาร สำหรับชาวอินเดียนในสมัยก่อนได้อาศัยผ้าที่ใช้ปิดบริเวณประตูบ้านคล้ายกับม่าน ซึ่งผ้านี้จะถูกทำให้เปียกโดยการรดน้ำและอาศัยลมที่พัดผ่านเข้าสู่ตัวบ้านเป็นตัวทำแรงการระเหยของน้ำเช่นกัน เมื่อลมพัดผ่านจะทำให้ลมที่มีอุณหภูมิสูงลดต่ำลงทำให้เกิดความรู้สึกที่เย็นสบายมากขึ้น สำหรับในปัจจุบันแนวความคิดนี้ยังคงมีอยู่ เพียงแต่เปลี่ยนวัสดุที่เป็นตัวกลางและใช้เครื่องสูบน้ำในการทำให้อากาศที่เปียกน้ำแทนการรดน้ำด้วยมือเหมือนแต่ก่อน

ต่อมา มีการพัฒนาโดยเริ่มคิดค้นการลดความร้อนซึ่งเริ่มที่การสร้างระบบการทำความเย็นจากเครื่อง air wash ในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้พัฒนาจนกลายเป็นเครื่องทำความเย็นที่มาจากการเร่งการระเหยของน้ำโดยอาศัยระบบเครื่องกลเข้ามาช่วย เครื่องทำความเย็นเครื่องแรกนั้นมีชื่อเรียกหรือเป็นที่รู้จักกันในนามว่า สแวมป์คูลเลอร์ (swamp cooler) ซึ่งเครื่องทำความเย็นจากการเร่งการระเหยของน้ำกลายเป็นต้นแบบของเครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน

สำหรับความเย็นที่ได้จากเครื่องทำความเย็นยังคงได้ทั้งความเย็นและความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งมีความเหมาะสมกับพื้นที่ที่ต้องการลดอุณหภูมิอากาศและเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศ เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายในอาคารเท่านั้น

ก. ประวัติและความเป็นมาของการลดความร้อนด้วยระบบการระเหยของน้ำทางอ้อม

การนำระบบการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำทางอ้อมมาใช้ พบที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ในอริโซนา (Arizona) และ แคลิฟอร์เนีย (California) ประมาณปี 1929 ก่อนที่จะเกิดเครื่องทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำโดยตรงโดย Arthur Hess นายกสมาคม The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning เป็นผู้ริเริ่มการพัฒนา ระบบทำความเย็น ซึ่งสามารถจะประดิษฐ์เครื่องทำความเย็นด้วยระบบการระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นได้สำเร็จและมีการนำไปใช้ในโรงงานเป็นอันดับแรก ต่อมาได้นำไปใช้ในอาคารต่างๆ เช่น โรงแรม ห้องเก็บของ ร้านอาหาร แต่ไม่เป็นที่รู้จักกันมากนักสำหรับการนำมาใช้ในอาคารพักอาศัย เพราะการพัฒนา ระบบลดความร้อนนี้ทำในเมืองที่มีอากาศแบบเขตร้อนแห้ง สาเหตุที่เกิดการคิดค้นระบบนี้ขึ้นเนื่องจากความเย็นที่ได้นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าและสามารถที่จะได้ความเย็นที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบการลดความร้อนจากเครื่องทำความเย็นแบบการระเหยของ

น้ำโดยตรงอีกทั้งเมื่อนำมารวมกับระบบเครื่องทำความเย็นแบบเดิม สามารถที่จะลดอุณหภูมิของห้องได้มากกว่าเดิมอีกด้วย

ในปัจจุบันได้มีเครื่องทำความเย็นจากระบบการระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นใช้กันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ โดยเฉพาะใน อเมริกา ออสเตรเลีย และ ยุโรป ซึ่งเป็นพื้นที่ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น และพื้นที่ที่ต้องการควบคุมความชื้น รวมทั้งได้มีการศึกษาและทำวิจัยเพื่อพัฒนาการนำระบบความเย็นแบบการระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นมาประยุกต์ใช้ในอาคารมากขึ้น ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.2.2 ทฤษฎีการระเหยของน้ำ

น้ำมีคุณสมบัติในการสะสมความร้อนที่ดีหรือมีคุณสมบัติความจุความร้อนจำเพาะ (Heat Capacity) ที่มาก เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนจำเพาะที่มากที่สุดคือ 1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส ได้ว่าในพื้นที่หนึ่งๆ แม้ว่าอุณหภูมิของอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเพียงใด อุณหภูมิได้น้ำยังคงที่เช่นเดิม แต่ที่บริเวณผิวน้ำ จะพบว่าอุณหภูมิจะขึ้นและลงตามสภาพอากาศ คุณสมบัติข้างต้นแสดงว่าอุณหภูมิที่ผิวน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากที่บริเวณผิวน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอของน้ำขึ้น ซึ่งเมื่อน้ำเกิดการระเหยจะเกิดความเย็นตามทฤษฎีดังต่อไปนี้

ก. ทฤษฎีการระเหย

จากการสังเกตบนถนนหรือทางเดินที่แฉะจะแห้งอย่างรวดเร็วหลังจากฝนตกได้ไม่นานในฤดูร้อน หรือส่วนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่หกเรียวยาวจากการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงจะหายไปอย่างรวดเร็ว การที่น้ำฝน หรือน้ำมันเชื้อเพลิงหายไปอย่างรวดเร็ว นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร จากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ เรียกว่า การระเหย จากทฤษฎีจลน์เชิงโมเลกุล⁶ สามารถอธิบายการระเหยได้เช่นเดียวกับการแพร่ดังนี้

เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง โมเลกุลจึงมีพลังงานจำเพาะส่วนหนึ่ง เมื่อโมเลกุลชนกันพลังงานจะสามารถถ่ายโอนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งได้ ถ้าโมเลกุลที่อยู่ในบริเวณพื้นผิวของของเหลวถูกชนด้วยโมเลกุลที่เคลื่อนที่ขึ้น

⁶ สมพงษ์ จันทรโพธิ์, เคมี 4 (กรุงเทพฯ: ธีรพงศ์การพิมพ์), 2541, หน้า 118.

ผู้ด้านบนของผิวของของเหลว โมเลกุลที่อยู่ในบริเวณพื้นผิวอาจได้รับพลังงานจากการชนที่เพียงพอจะหนีออกจากของเหลวได้ (จากรูปที่ 2.7) ลักษณะการถ่ายโอนพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลหนึ่งมีการคล้ายคลึงกันกับการแทงบิลเลียด เมื่อลูกบิลเลียดลูกหนึ่งไปกระทบกับอีกลูกจะมีการถ่ายโอนพลังงานทำให้ลูกบิลเลียดที่ถูกกระทบเคลื่อนที่ได้ ซึ่งการที่น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 บีที่เย็ดต่อชั่วโมง ในการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ (ASHREA Fundamentals, 1989)



รูปที่ 2.7 แสดงการถ่ายเทพลังงานของโมเลกุลที่บริเวณพื้นผิวของของเหลว ที่มา: สมพงษ์ จันทรโพธิ์, เคมี 4 (กรุงเทพฯ: อีรพงค์การพิมพ์), 2541, หน้า 118.

ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจำนวนหนึ่ง ซึ่งมากเพียงพอที่จะผลักดันให้โมเลกุลหลุดออกจากผิวของของเหลว จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การระเหย เกิดขึ้น พลังงานที่ใช้ในการผลักดันโมเลกุลนี้เรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent Heat)

การเปลี่ยนรูปของน้ำในอากาศในลักษณะต่างๆจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศ พลังงานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เรียกว่า ความร้อนจำเพาะ (Sensible Heat) และเมื่อน้ำเกิดการระเหยจะใช้พลังงานความร้อนในการเปลี่ยนแปลงสถานะในขณะที่อุณหภูมิของของเหลวไม่เพิ่มขึ้น

สรุปได้ว่า ถ้าทำให้น้ำระเหยได้ในอากาศ อุณหภูมิอากาศจะต่ำกว่าปกติ แต่จะต่ำลงเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ระเหย เพราะความร้อนที่ใส่ระเหยมาจากอากาศบริเวณนั้น ซึ่งอุณหภูมิกอากาศที่ต่ำที่สุดคือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก สำหรับการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำมีหลักการทั่วไปคือ ขณะที่น้ำเกิด

การระเหย ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำจะได้รับจากน้ำด้วยตัวเองและอากาศที่อยู่รอบๆ ผลที่ตามมาคือทั้งน้ำและอากาศจะเย็นตัวลงระหว่างกระบวนการนี้

ข. ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ

ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ คือ การเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิของวัตถุไม่เปลี่ยน⁷ ปริมาณความร้อนที่ให้กับวัตถุในช่วงนี้ใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารไม่ใช่เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ

$$Q = m \times L$$

เมื่อ	Q	= ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุ (J หรือ cal)
	m	= มวลของวัตถุ (kg หรือ cal/gm)
	L	= ความร้อนแฝงจำเพาะของวัตถุ (J/kg หรือ cal/gm)

สสาร	ความร้อนแฝงจำเพาะ	
	J/kg	Cal/g
น้ำ	2256×10^3	536 หรือ 540
น้ำแข็ง	333×10^3	80

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของสาร ที่มา: ปรับปรุงจาก อภิชัย ธีระรังสีกุล, คู่มือฟิสิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ PSP, 2540) หน้า 172

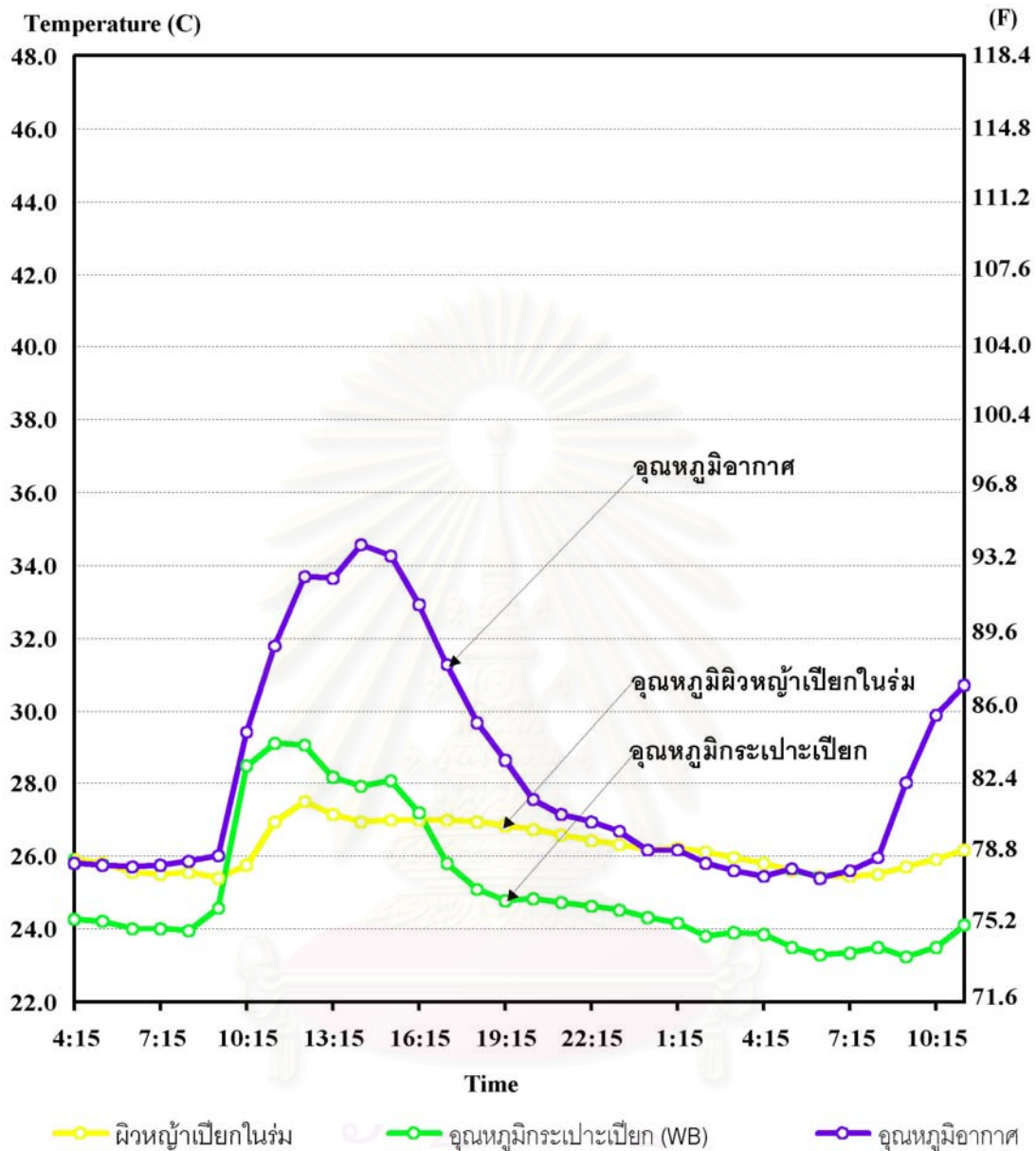
จากตารางแสดงค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ จะพบว่า ถ้าเราสามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ หรือระเหยที่ผิวของวัสดุได้มากเท่าใด จะใช้ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างไปมากเท่านั้น ดังนั้นถ้ามีน้ำบนผิวด้านบนของวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง และน้ำสามารถที่จะระเหยบนผิวของวัสดุได้มากเพียงพอ ผิวของวัสดุส่วนนั้นจะมีอุณหภูมิที่ลด หรือไม่เพิ่มจากเดิมในกรณีที่ได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น

⁷ อภิชัย ธีระรังสีกุล, คู่มือฟิสิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ PSP, 2540), หน้า 172.

ค. ค่าอุณหภูมิน้ำระเหย

ค่าอุณหภูมิน้ำระเหย หรือเรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก หมายถึง ค่าอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ซึ่งตัวรับรู้ (sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำ และมีความเร็วลม หรืออากาศพัดผ่าน จนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันเป็นผลทำให้ตัวอ่านค่ารับรู้ นั้นเย็นลงจนถึงจุดคงที่ และค่าที่อ่านได้คือ ค่าอุณหภูมิน้ำระเหย

จากการศึกษาการออกแบบการใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน (สุนทร บุญญาธิการ และบัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 2539: หน้า 74.) พบว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยในช่วงที่มีอากาศร้อนจัดอุณหภูมิที่ผิวหญ้าเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก เนื่องจากดินที่เย็นมีการกักเก็บความเย็นเอาไว้ได้มากกว่า อุณหภูมิ จึงไม่มีการแปรปรวนตามสภาพแวดล้อมภายนอก สามารถอธิบายได้ว่า ถ้ามีปริมาณน้ำที่เพียงพอ และมีการระเหยของน้ำในอัตราที่สูงมากพอต่อการดึงเอาความร้อนที่เพิ่มเข้ามานั้นออกไปได้ อุณหภูมิผิววัสดุจะไม่มีการแปรปรวนมากนักตามสภาพอากาศ



แผนภูมิที่ 2.16 แสดงอุณหภูมิฝิวหญ้าเปียกในร่ม (ได้ต้นไม้) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ เริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม 2540 เวลา 04.15 น. ถึงวันที่ 3 มีนาคม เวลา 10.30 น. จากการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิของดินได้ต้นไม้ พบว่ามีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเกือบตลอดวัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุด ประมาณ 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 24 องศาเซลเซียส แสดงว่าการปรับสภาพโดยใช้ต้นไม้และพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดอุณหภูมิโดยรอบบริเวณอาคาร ได้ (ประยุกต์จากเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: สุนทร บุญญาริการ 2542)

2.2.3 ประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ

จากที่อธิบายไว้ตอนต้นว่า การระเหยของน้ำข้างต้นเป็นการระเหยที่ใช้ความเย็นที่ได้โดยตรงซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิไซโครเมติก (Psychrometric chart) ในสภาพตามจริงนั้นน้ำจะไม่สามารถเกิดการระเหยได้ถึง 100% จากการศึกษาของ Givoni (1994) พบว่าการระเหยของน้ำนั้นจะได้อุณหภูมิกระเปาะแห้งที่สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกจริงอยู่ประมาณ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งในตอนแรกกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

ซึ่งประสิทธิภาพของการเกิดการระเหยของน้ำจะได้จากการคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$Es = \frac{DBT_{in} - DBT_{out}}{WBdepression} \times 100 \%$$

เมื่อ	Es	=	Saturation efficiency, %
	DBTin	=	dry-bulb temperature of entering air, $^{\circ}F$
	DBTout	=	dry-bulb temperature of leaving air, $^{\circ}F$
	Wbpression	=	wet-bulb depression for entering air, $^{\circ}F$

$$= \left(\{ \text{dry - bulbtemperature} \} - \{ \text{wet - bulbtemperature} \} \right) \text{ for entering air, } ^{\circ}F$$

โดยปกติแล้วสภาพอากาศของประเทศไทย ที่กรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 73.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าถ้านำความเย็นที่เกิดจากการระเหยของน้ำมาใช้โดยตรงจะไม่เกิดความเหมาะสมเนื่องจากปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ดังที่กล่าวมาตั้งแต่ต้น ดังนั้นแนวทางการนำความเย็นจากการระเหยของน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้คือ การใช้ประโยชน์จากความเย็นของการระเหยของน้ำทางอ้อมซึ่งความเย็นที่ได้นั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ได้จากการระเหยแบบการระเหยของน้ำโดยตรงสามารถอธิบายได้จาก แผนภูมิไซโครเมติก ดังแผนภูมิที่ 2.17 สามารถระเหยได้อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในประสิทธิภาพของการระเหยสูงสุดที่ 85 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ 15 เปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในตอนแรกกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งเสมือนกับการทำความเย็นของตู้เย็น (AHREA, 1995)

จาก แผนภูมิไซโครเมตริกแผนภูมิที่ 2.17 กำหนดให้อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
35 องศาเซลเซียส (A) อุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 23.9 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น
สัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ กำหนดให้เกิดประสิทธิภาพที่สามารถการระเหยของน้ำที่ 80
เปอร์เซ็นต์ เกิดจะได้ว่า

ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ

$$35 - 23.9 = 11.1 \text{ เซลเซียส}$$

ดังนั้นจะได้อุณหภูมิกระเปาะแห้งที่เกิดจากการระเหยได้จริงเท่ากับ

$$0.8 * 11.1 = 8.88 \text{ องศาเซลเซียส}$$

อุณหภูมิที่ได้จริงคือ $35 - 8.88 = 26.12$ องศาเซลเซียส (B)

ในกรณีของการระเหยแบบการระเหยของน้ำโดยอ้อมจะได้อุณหภูมิที่เกิดได้จริงดังนี้ จาก
อุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 23.9 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์
กำหนดให้เกิดประสิทธิภาพที่สามารถการระเหยของน้ำที่ 60 เปอร์เซ็นต์ จะได้ว่า

$$0.6 * 11.1 = 6.66 \text{ องศาเซลเซียส}$$

อุณหภูมิที่ได้จริงคือ $35 - 6.66 = 28.34$ องศาเซลเซียส (C)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การเลือกวัสดุ และวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการเลือกวัสดุที่เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบ เราต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติ และหลักการดังต่อไปนี้

2.3.1 มวลสารกับการลดอุณหภูมิของวัสดุ

มวลสารมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ ในเรื่องของการสะสมความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ต้องพิจารณาก่อนที่จะเลือกวัสดุนั้นๆ มาเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

ก. การสะสมความร้อน

เมื่อมวลสารได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เท่ากันในช่วงเวลากลางวัน วัสดุจะกักเก็บความร้อนไว้จนเต็มมวลสาร ทั้งนี้ปริมาณความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุ เช่น เม็ดทราย 1 เม็ด เทียบกับ ก้อนหินใหญ่ 1 ก้อน เม็ดทรายและก้อนหินมีมวลสารต่างกัน ดังนั้นความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัตถุจะต่างกัน เมื่อได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เท่าๆกัน เม็ดทรายที่มีความจุความร้อนน้อยจะเปล่งรังสีความร้อนออกมาเร็วกว่าก้อนหินใหญ่ ส่วนก้อนหินใหญ่จะร้อนช้ากว่า เนื่องจากมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้จนความร้อนที่ได้รับจะมากเกินไปกว่าความสามารถในการกักเก็บไว้ได้วัสดุจึงจะเปล่งความร้อนออกมา

$$\text{ค่าความจุความร้อน} = \text{ค่าความหนาแน่น} * \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะ}$$

(Heat Capacity) (Density) (Specific Heat)

$$\text{ความสามารถกักเก็บความร้อน} = \text{ความหนาแน่น} * \text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะ} * \text{ค่าการนำความร้อน}$$

(Thermal Storage Capacity) (Density) (Specific Heat) (Conductivity)

จากสมการ ความหนาแน่นของวัสดุคือ อัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักของวัสดุ และ ปริมาตรของวัสดุ วัสดุที่มีน้ำหนักน้อย หรือมวลสารน้อยจะสามารถร้อนหรือเย็นได้รวดเร็วกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก

การเปลี่ยนอุณหภูมิโดยไม่เปลี่ยนสถานะ⁸

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

- เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุ (J หรือ cal)
 c = ค่าความจุความร้อนของสารแต่ละตัว (J/kg.K หรือ cal/gm°C)
 m = มวลของวัตถุ (kg หรือ gm)
 ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุ (K หรือ °C)

ค่าความจุความร้อนของวัสดุนั้นแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นคุณสมบัติ
 อีกประการหนึ่งของวัสดุ

สาร	ค่าความจุความร้อน	
	J/kg.K	cal/gm°C
น้ำ (15°C)	4.18×10^3	1.00
น้ำ (0°C)	4.22×10^3	1.007
ไอน้ำ (150°C ที่ 1 บรรยากาศ)	1.98×10^3	0.472

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความจุความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ที่มา: อภิชัย ธีระรังสีกุล,
คู่มือฟิสิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ PSP, 2540), หน้า 170.

จากสูตรข้างต้น จะพบว่าวัสดุที่มีมวลสารเท่ากัน เมื่อให้พลังงานกับ
 วัสดุเท่ากัน วัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือลดลงมากกว่าวัสดุ
 ที่มีมวลสารมาก

⁸ อภิชัย ธีระรังสีกุล, คู่มือฟิสิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ PSP, 2540), หน้า 170.

ข. การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

โดยทั่วไปวัสดุที่มีมวลสารมากจะสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้ ระยะเวลาสั้นกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ความร้อนที่ผ่านวัสดุจะถูกสะสมอยู่ในมวลสารภายใน ก่อน เมื่อมวลสารภายในมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกโดยรอบ หรือสะสมจนถึงขีดสุดของ ความสามารถในการกักเก็บความร้อนแล้ว ปริมาณความร้อนที่เหลือจึงจะถ่ายเทมายังด้านที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าของวัสดุต่อไป

การกักเก็บความร้อนเป็นส่วนหนึ่งของคุณสมบัติของวัสดุมากมาย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนจำเพาะกับความหนาแน่นของวัสดุนั้น (Bansal, N.K., 1994: 52)

เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่วัสดุ วัสดุจะสะสมความร้อนนั้นไว้จนเต็ม ความสามารถที่วัสดุจะสามารถเก็บไว้ได้ แล้วจึงเปล่งรังสีความร้อนส่วนที่เกินออกมา ช่วงเวลานี้เรียกว่า ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน นอกจากนี้ ระยะเวลาการหน่วง เหนี่ยวความร้อนยังขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุอีกด้วย โดยระยะเวลาการหน่วง เหนี่ยวความร้อน ต่อชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{TimeLag} = 1.38 \text{ Thickness} \sqrt{\frac{\text{Heat Capacity}}{\text{Conductivity}}}$$

(hour) (Btu/cu.ft.°F) (Btu.ft./hr.ft².°F)

ดังนั้น วัสดุที่ดีที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนควรที่จะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สามารถกักเก็บความเย็นไว้ได้นาน เนื่องจากเราต้องการให้วัสดุสามารถที่จะเก็บสะสมความเย็นจากการระเหยของน้ำได้นานที่สุด และไม่แปรเปลี่ยนไปกับสภาวะอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกได้โดยง่าย จึงเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารมาก

2.3.2 ค่าการนำความร้อนของวัสดุ

ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity (K)) หมายถึง อัตราการนำความร้อนที่ขึ้นกับโครงสร้างของโมเลกุล ยิ่งมีการจัดเรียงเป็นระเบียบและชิดกันมากของวัตถุ เนื้อเดียวซึ่งหมายถึงมีความหนาแน่นสูงแล้ว มักจะมีค่าการนำความร้อนสูงด้วย วัตถุเนื้อเดียวจะมีค่าการนำความร้อนสูง และการที่มีโอเลคตรอนอิสระอยู่ในโมเลกุลของโลหะก็ยิ่งทำให้มีความนำความร้อนดีขึ้นไปด้วย ดังนั้นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าดีจึงมีความนำความร้อนที่ดีด้วย

ค่าการนำความร้อนนี้จะสามารถบอกถึงปริมาณความร้อนที่สามารถผ่าน วัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต มีความหนา 1 นิ้ว เมื่อมีค่าอุณหภูมิแตกต่าง 1 องศาฟาเรนไฮต์

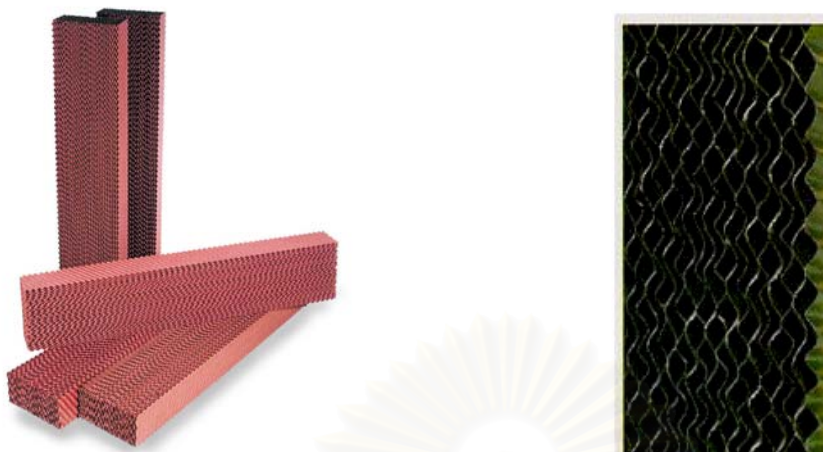
ดังนั้นวัสดุที่ดีที่มีค่าการนำความร้อนที่สูงจึงเป็นวัสดุที่ดีที่เหมาะสมกับการเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุบางชนิด⁹

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
ทองแดงบริสุทธิ์	8954	386
อลูมิเนียมบริสุทธิ์	2707	204
เหล็กหล่อ	7807	81
เหล็กเหนียว	7900	48.5
ตะกั่ว	11300	34.7
คอนกรีต	1800-2200	0.85-1.4
กระจกหน้าต่าง	2400-2700	0.78-0.81
อิฐโชว์	2000	1.32
อิฐก่อสร้าง	1900	1.0
น้ำ	997	0.604
ไม้ไผ่	690	0.15-0.2
ยางดิบ	920	0.16
ไม้สน	640	0.147
แผ่นกระดานไม้ไผ่	100-300	0.043
อากาศ	1177	0.026

จากทฤษฎีข้างต้นเราสามารถสรุปคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาทำเป็นวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อน ควรที่จะมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีค่าการนำความร้อนที่สูงในช่วงอุณหภูมิของน้ำ ประมาณ 22-28 องศาเซลเซียส (วิชัย อธิธิวิศวกุล, 2539: หน้า 95) จากระบบการทำความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็นจากระบบการระเหยของน้ำ ส่วนมากตัวแลกเปลี่ยนความร้อน มักจะเป็นวัสดุที่สามารถนำความร้อนได้ดี และมีการนำมาคิดเป็นท่อ หรือนำมาดัดแปลงเป็นลักษณะคล้ายรังผึ้ง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำให้มากขึ้น ดังเช่น รังผึ้งอลูมิเนียม, ขดท่อทองแดง เป็นต้น

⁹ สัมพันธ์ ไชยเทพ. เทอร์โมไดนามิกส์และกลศาสตร์ของไหล. เชียงใหม่, (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540), หน้า 168.



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่าง Heat Exchanger ที่มา: John R. Watt, Evaporative Air Condition Handbook, 2nd, Chapman & Hall, New York, 1963.

นอกจากนี้ ต้องคำนึงการประยุกต์ใช้งานจริงด้วย จึงต้องคำนึงถึงในเรื่องดังต่อไปนี้

1. ความทนทานต่อกัดกร่อนของน้ำ และสภาวะที่เปียกและแห้งของผิววัสดุเป็นประจำ
2. ไม่เกิดสนิมจับที่แผ่นของวัสดุเมื่อวัสดุถูกน้ำ
3. สามารถตัด โค้ง งอได้ง่าย และมีราคาที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ความคำนวณปริมาณความร้อนของอากาศในระบบท่ออากาศ

โดยปกติทั่วไป ความร้อนสามารถเข้าสู่ตัวอาคารได้หลายทาง ไม่ว่าจะเป็นการนำ การพา หรือการแผ่รังสี สำหรับปริมาณความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ หรืออากาศที่ ผ่านระบบท่อเข้ามาในอาคารสามารถหาปริมาณความร้อนได้ดังนี้

$$Q = 1.08 * CFM * (T_o - T_i)$$

เมื่อ Q	= ปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารโดยการระเหย (BTU/hr.)
CFM	= อัตราการไหลของอากาศภายในและภายนอก (ft ³ /min.)
T _o -T _i	= ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอก (F°)
1.08	= ค่าคงที่ซึ่งได้จากผลคูณระหว่างความหนาแน่นของอากาศกับ Sensible Heat ของอากาศ (BTU min./ft ³ .F hr.)

จะพบว่า ปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารจากการระบายอากาศ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศ ลักษณะการใช้งาน และจำนวนผู้ที่อยู่อาศัย ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในนั้น ถ้าสามารถทำให้อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารจะลดต่ำลงตามสัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิที่ลดลงจึง มีผลทำให้ภาวะการปรับอากาศต่ำลง

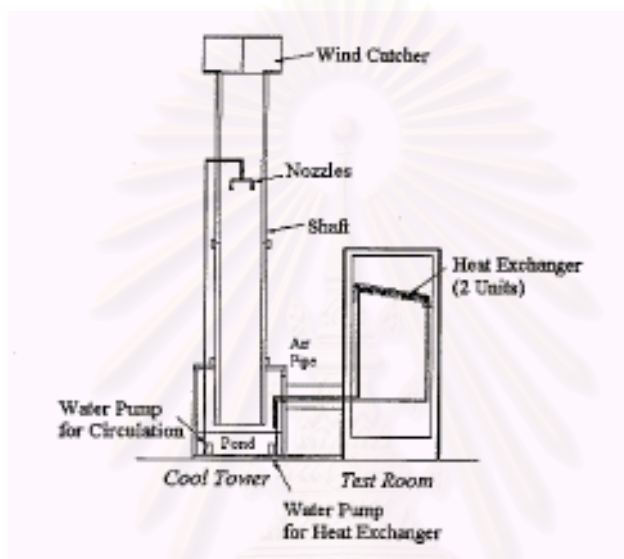
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำทางอ้อม

2.5.1 การทำความเย็นจากทฤษฎีการเร่งการระเหยของน้ำระบบหอคอยเย็น

ระบบเร่งการระเหยของน้ำโดยใช้หอคอยพ่นน้ำ (Shower Tower) เกิดจากความคิดริเริ่มของ Givoni เมื่อเป็นที่ปรึกษาการออกแบบเพื่อลดความร้อนให้แก่ลานภายนอกของ มหกรรมงานแสดงปี 1992 ในเมือซิลเวีย ประเทศสเปน และต่อมาได้นำระบบนี้มาทำความเย็นให้แก่อาคาร

หอคอยพ่นน้ำจะมีฝักบัวติดตั้งอยู่บนสุดเพื่อเป็นตัวกระจายละอองน้ำ และน้ำที่ใช้ในระบบจะเป็นน้ำที่ใช้ระบบหมุนเวียนส่งและนำน้ำที่เข้าไปทำความเย็นให้แก่อาคารแล้ว

กลับมาใช้ โดยระบบการใช้งานทางตรงนั้น อากาศพร้อมละอองน้ำจะถูกปล่อยเข้าไปในอาคาร แต่ในการใช้งานทางอ้อมละอองน้ำจะถูกเก็บอยู่ในถังเก็บด้านล่างของหอคอย น้ำส่วนหนึ่งจะถูกสูบเข้าทำความเย็นให้แก่อาคาร โดยน้ำเย็นจะถูกสูบลำผ่านวัสดุที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะแขวนอยู่ในระดับฝ้าเพดาน จากนั้นน้ำส่วนนี้จะถูกนำไปหมุนเวียนโดยจะถูกสูบไปทิ้งในถังเก็บน้ำ และน้ำส่วนนี้จะถูกสูบขึ้นไปเพื่อปล่อยลงมาเป็นละอองอีกครั้งหนึ่ง ดังรูป



รูปที่ 2.9 แสดง Shower Cool Tower ที่มา: B. Givoni, S.Yajima and S.nutalaya: Indirect Evaporative Cooling for Hot Humid Climate by the "Shower" Cooling Tower. With S.yajima & S.Nutalaya. ISES Wold Congress. S. Korea, 1997.

บนหอคอยนี้จะมีการติดตั้งที่ดักลม (Wind Catcher) เพื่อนำอากาศใหม่เข้ามาหมุนเวียนอากาศนี้จะมีพลังงานความร้อนแฝงส่วนหนึ่งที่เข้าไปเปลี่ยนรูปให้ละอองน้ำกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงนี้จะไปทำให้ละอองน้ำซึ่งถูกปล่อยลงมาจากฝักบัวด้านบนระเหย และในที่สุดน้ำในส่วนนี้ก็มีอุณหภูมิลดลงไป ณ. อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกตามหลักการระเหยของน้ำ อากาศที่อยู่โดยรอบละอองเหล่านี้จะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกเช่นเดียวกัน

สำหรับการใช้งานโดยตรงนั้น อากาศที่อยู่รอบๆ ละอองน้ำนี้จะถูกส่งโดยตรงไปยังห้องในอาคาร อากาศนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกอาคาร แต่มักจะค่าความชื้นที่สูงกว่า ฉะนั้นการนำไปใช้งานโดยตรงจะเหมาะสมกับอาคารที่อยู่ในสภาพอากาศแบบร้อนแห้งเท่านั้น เนื่องจากความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น ดังนั้นสภาพอากาศที่มี

ความชื้นมากเกินไปแล้ว การเพิ่มความชื้นเข้าไปในอาคารจะเป็นผลเสียต่อสภาพอากาศภายในอาคาร แนวความคิดที่จะนำระบบนี้มาใช้แบบทางอ้อมในกรณีที่สภาพอากาศเป็นแบบร้อนชื้นจึงเกิดขึ้น การใช้งานทางอ้อม คือ แทนที่จะใช้อากาศที่ปรับสภาพให้เย็นแต่มีความชื้นมาใช้ กลับใช้น้ำที่เกิดจากการสะสมละอองน้ำเย็นโดยผ่านวัสดุที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวมาแล้ว

อุณหภูมิภายในอาคารที่คาดหวังว่าจะได้จากการติดตั้งระบบหอคอยน้ำเย็น

เนื่องจากแหล่งความเย็นนั้นมาจากน้ำที่สะสมจากละอองน้ำที่ระเหย และอุณหภูมิของน้ำนี้จึงจะได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ขนาดปั๊มที่ใช้ในการสูบน้ำ ขนาดของถังเก็บน้ำ การใช้ฉนวนกันความร้อนรอบหอคอย ถังน้ำ และท่อต่างๆ และการกันแดดมิให้เข้าสู่ภายในหอคอยพ่นน้ำและถังเก็บน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามถ้าปัจจัยภายนอกอื่นๆเหล่านี้สามารถดำเนินการได้และถังเก็บน้ำมีขนาดใหญ่พอเพียงแล้ว อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำนี้ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียก

เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลง (Swing temperature) น้อย อันเนื่องมาจากค่ากักเก็บความร้อนที่สูง (High Heat Capacity) ในช่วงเวลากลางวันนั้น อุณหภูมิสูงสุดของน้ำซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของตัวมันเอง จะมีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกสูงสุดเทียบในวันเดียวกัน อุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็นอุณหภูมิศักยภาพสูงสุดในการทำความเย็น ณ. เวลาหนึ่งๆโดยทั่วไปอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ต่ำที่สุดอยู่ในเวลากลางคืน ซึ่งค่าไม่ได้แตกต่างจากอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่าใดนัก การระเหยของน้ำอาจเป็นไปได้ไม่ดีเท่าที่ควร การปรับอุณหภูมิในเวลากลางคืนอาจไม่มีประสิทธิภาพเท่าเวลากลางวัน แต่การนำความเย็นจากน้ำในช่วงเวลานี้มาใช้โดยใช้คุณสมบัติทางด้านการกักเก็บความร้อนของน้ำถือเป็นการนำมาใช้อย่างเป็นประโยชน์ที่สุด

ในปี 2539-2540 ได้มีการทดลองนำเอาระบบการระเหยของน้ำมาใช้กับอาคาร โดยเป็นวิจัยระหว่างประเทศญี่ปุ่นและ สุกัญญา นุดาลัย ขณะเรียนที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยเป็นระบบที่ใช้ Heat exchangers มาใช้เป็นสื่อกลางในการลดความร้อน



รูปที่ 2.10 แสดงการทดลองการใช้หอคอยน้ำเย็นและการเร่งการระเหยของน้ำ และใช้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนความร้อนที่อาคารดาตฟ้า Paloff Hall, School of Architecture, UCLA ที่มา: B. Givoni, S.Yajima and S.nutalaya: Indirect Evaporative Cooling for Hot Humid Climate by the “Shower” Cooling Tower. With S.yajima & S.Nutalaya. ISES Wold Congress. S. Korea, 1997.

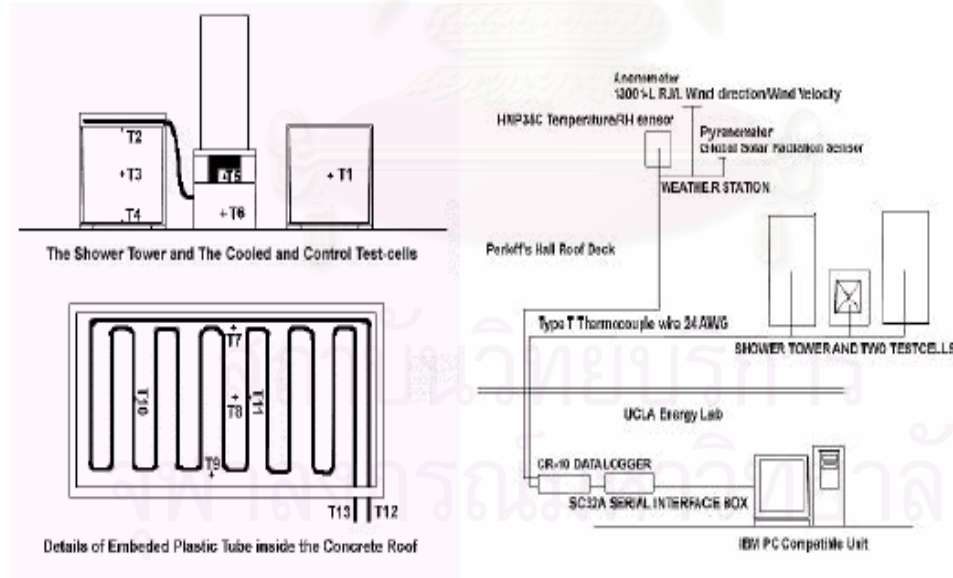
จากการทดลองระบบนี้พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ได้จากการเร่งการระเหยของน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างใกล้ชิด
ในปี 2540-2542 สุภัญญา นุตาลัย และ Givoni ได้ทำการทดลองอีกครั้ง โดยนำน้ำที่ได้จากการระเหยตามแบบแรกมาใช้ เพียงแต่นำมาใช้กับโครงสร้างของอาคารโดยตรง คือการฝังท่อความเย็นลงไปที่แผ่นคอนกรีตโดยตรง โดยการทดลองครั้งนี้จะมีการสร้างห้องจำลองเปรียบเทียบเพื่อหาค่าการใช้พลังงานจริงของอาคาร และเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงเมื่อเทียบกับอาคารที่มีประสิทธิภาพการสูญเสียความร้อนของอาคารที่เท่ากัน การทดลองนี้ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบของสภาวะของอาคารและเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1. สภาวะปกติ เป็นอาคารมวลเบา
2. เพิ่มมวลสารแก่อาคาร
3. เพิ่มมวลแก่อาคารและเปิดให้อาคารระบายอากาศในช่วงเวลากลางคืน
4. เพิ่มมวลสารแก่อาคารและทาสีอาคารด้วยสีขาว

นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาสมการเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ลดลงในอาคารและค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากการเร่งการระเหย การทดลองนั้นได้ทำในประเทศที่มีอากาศร้อนแห้ง แต่ต้องการที่จะนำมาคำนวณในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นด้วย ดังนั้นปัจจัยและตัวแปรในอากาศร้อนชื้นและร้อนแห้งมีความแตกต่างกันจึงต้องนำมาพิจารณา จากการศึกษาพบว่า สมการคาดเดาสามารถที่คาดเดาอุณหภูมิที่ลดลงใกล้เคียงได้



รูปที่ 2.11 แสดง Embedded plastic tube circulating cooled water ที่มา: B. Givoni, S.Yajima and S.nutalaya: Indirect Evaporative Cooling for Hot Humid Climate by the “Shower” Cooling Tower. With S.yajima & S.Nutalaya. ISES Wold Congress. S. Korea, 1997.

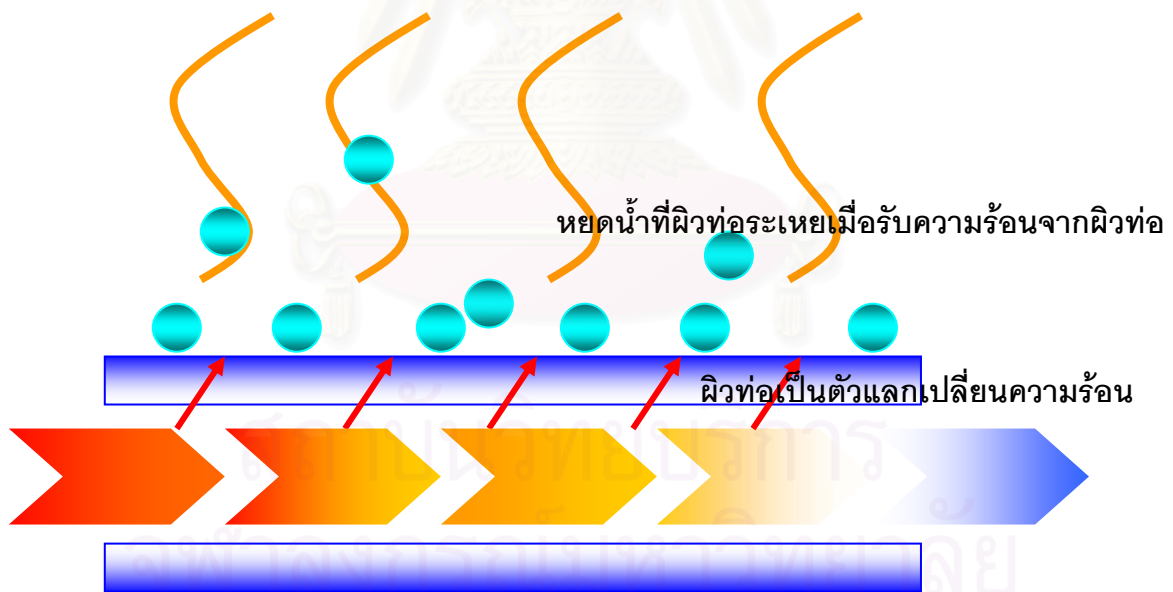


รูปที่ 2.12 แสดง Data acquisition and Measuring points ที่มา: B. Givoni, S.Yajima and S.nutalaya: Indirect Evaporative Cooling for Hot Humid Climate by the “Shower” Cooling Tower. With S.yajima & S.Nutalaya. ISES Wold Congress. S. Korea, 1997.

2.6 สรุปแนวความคิดในการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ โดยไม่เพิ่มความชื้นในอากาศ

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกจะทำการลดอุณหภูมิอากาศโดยไม่เพิ่มความชื้นจากการระเหยของน้ำด้วยระบบท่อลม ซึ่งคล้ายกับลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่เป่าลมเย็นเข้าภายในห้อง แต่การลดความร้อนของอากาศนั้นแตกต่างกัน

การลดความร้อนด้วยรูปแบบของท่อลมเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน คือ ผีเสื้อท่อลม ซึ่งต้องมีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนได้ดี โดยผีด้านในท่อลมจะสัมผัสกับอากาศร้อน และความร้อนในอากาศจะสูญเสียให้กับผีเสื้อท่อลมที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งผีด้านนอกท่อลมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายในท่อเนื่องจากจะมีการฉีดน้ำให้แก่ผีด้านนอกท่อลม เมื่อได้รับความร้อนจากอากาศภายในท่อลมที่ส่งผ่านมาที่ผีเสื้อท่อลมพลังงานความร้อนนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการระเหยของน้ำที่ผีด้านนอก ดังนั้นนอกจากผีเสื้อท่อลมจะเย็นลงแล้วอากาศภายในท่อลมจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงเช่นกัน



อากาศร้อนภายในท่อสูญเสียความร้อนให้กับผีเสื้อท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้อากาศเย็นลง

รูปที่ 2.13 แสดงแนวความคิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบของท่อลมที่ทำการวิจัยครั้งนี้

2.7 การเลือกและจัดการวัสดุเพื่อใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบวัสดุจะต้องมีการกำหนดวัสดุซึ่งจะนำมาทดสอบตามตัวแปรที่กำหนด ในขณะที่เดียวกันต้องทำการออกแบบท่ออากาศที่เหมาะสมในการนำไปใช้ ซึ่งมีขั้นตอนในการกำหนดและสร้างวัสดุทดสอบดังนี้

2.7.1 การเลือกวัสดุทดสอบ

จากการศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในข้างต้น สามารถที่จะนำมาเป็นในการตัดสินใจในการเลือกวัสดุทดสอบดังนี้

ก. เกณฑ์การเลือกวัสดุในการทดสอบ

การเลือกวัสดุทดสอบในการวิจัยโครงการนี้ ต้องการวัสดุที่เหมาะสมในการทดสอบเพียงหนึ่งชนิดเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลา ค่าใช้จ่ายในการสร้างวัสดุ ความเหมาะสมในด้านการทนทานของวัสดุในการใช้งาน และขอบเขตการศึกษาที่ต้องการศึกษาถึงพฤติกรรมการระเหยของน้ำเป็นหลัก ดังนั้นได้กำหนดเกณฑ์การเลือกวัสดุในการทดสอบ ดังนี้

1. วัสดุมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี
2. วัสดุมีคุณสมบัติในการกักเก็บอุณหภูมิได้นาน
3. วัสดุไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อผิววัสดุสัมผัสน้ำ
4. สามารถทนทานต่อสภาวะผิวที่เปียกและแห้งตลอดเวลาได้นาน
5. สามารถจัดหาได้ง่ายและเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

จากเกณฑ์การพิจารณาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าวัสดุที่นำเหมาะสมกับคุณสมบัติในข้อ 1-2 คือ **วัสดุประเภทโลหะ** จากคุณสมบัติของโลหะสามารถที่จะเลือกโลหะที่มีความเหมาะสมและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นวัสดุในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ 3 ชนิดคือ

1. ทองแดง
2. อลูมิเนียม
3. สแตนเลส

ตารางที่ 25 แสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่เป็นโลหะ ที่มา: ประยุกต์จาก E.R.G. Eckert and R.M. Drark, Heat and Mass Transfer, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.

METAL	PROPERTIES AT 20 °C				THERMAL CONDUCTIVITY ,k ,W/m°C				
	ρ kg/m ³	C _p Kj/ kg.°C	K W/ m.°C	α m ² /s *10 ⁵	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F
ALUMINUM									
PURE	2707	0.896	204	8.418	215	202	215	228	249
AL-Cu 3%-94%	2787	0.883	164	3.676	126	159	182	194	
LEAD	11373	0.130	35	2343	36.9	35.1	33.4	31.5	29.8
IRON									
PURE	7897	0.452	73	2.034	87	73	67	62	55
WROUGHT IRON 0.5%C	7849	0.46	59	1.626		59	57	52	48
STEEL									
CARBON STEEL 0.5%	7833	0.465	54	1.474		55	52	48	45
CHROME STEEL 5%	7833	0.46	40	1.110		40	38	36	33
CHROME STEEL 20%	7689	0.46	22	0.635		22	22	22	22
COPPER, PURE	8954	0.3831	386	11.234	407	386	379	374	369
SILVER, PURE	10525	0.2340	407	16.563	419	410	415	375	362
TIN,PURE	7304	0.2265	64	3.884	74	65.9	59	57	
ZINC,PURE	7144	0.3843	112.2	4.106	114	112	109	106	100

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการทนทานต่อสภาวะที่ต้องการทดสอบแล้วพบว่า

1. **ทองแดง** มีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่มากที่สุดในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ และมีค่าการนำความร้อนที่ลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น แต่ทองแดงนั้นทำปฏิกิริยาเคมีเมื่อสัมผัสกับน้ำ และกลายเป็นสนิมสีเขียวที่จับตัวที่ผิวซึ่งจะลดประสิทธิภาพของระบบลง เกิดมลภาวะ ไม่สวยงาม และมีราคาแพงในการก่อสร้าง

2. **อลูมิเนียม** มีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่รองลงมาจากทองแดง แต่เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิตดสอบจะมีค่าการนำความร้อนที่สูงตามด้วย และไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อสัมผัสกับน้ำเร็วเท่าผิวของท่อทองแดง แต่อลูมิเนียมจะมีความทนทานได้ไม่นานเมื่อเทียบกับสภาวะผิวที่เปียกและแห้งตลอดเวลาในการทดสอบ สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่สูงมากนัก

3. **สแตนเลส** มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้น้อยที่สุด แต่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่มากที่สุดในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ และมีค่าการนำความร้อนที่ลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากขึ้นเช่นเดียวกับทองแดง มีความทนทานมากที่สุดและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อสัมผัสกับน้ำ สามารถหาได้ง่าย มีราคาสูง

ดังนั้น เลือกว่าวัสดุทดสอบคือ **สแตนเลส** ดังนั้นค่าใช้จ่ายจึงสูงมาก จึงทำการทดสอบเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ได้วัสดุที่สามารถทนทานได้นานที่สุด และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตามเกณฑ์การคัดเลือก

2.7.2 การหาพื้นที่ผิวเพื่อใช้ในการระเหยน้ำของวัสดุ

หลังจากที่ได้วัสดุที่เหมาะสมในการทดสอบ คือ สแตนเลส ก่อนที่จะทำการออกแบบรูปแบบของท่ออากาศที่เหมาะสมในการทดสอบต้องหาพื้นที่ผิวที่เพียงพอที่ใช้ในการระเหยของน้ำ ดังนี้

กำหนดความเร็วลมที่ใช้ คือ 200 ฟุตต่อนาที และกำหนดพื้นที่ที่อากาศผ่าน คือ 1 ตารางฟุต

$$\text{จากสูตร } cfm = fpm * A$$

ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการคือ $= 200 * 1 = 200$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
 กำหนดให้จากอุณหภูมิอากาศ 35 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 35เปอร์เซ็นต์ ณ เวลา 13.00น. เมื่อเกิดการระเหยของน้ำปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเป็น 70 เปอร์เซนต์ ได้
 อุณหภูมิอากาศ คือ 29 องศาเซลเซียส
 ดังนั้น ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนไปคือ 6 องศาเซลเซียส หรือ 10.8 องศาฟาเรนไฮต์

จากสูตร

$$\begin{aligned} Q &= cfm * 1.08 * \Delta T \\ &= 200 * 10.8 * 1.08 \\ &= 23332.8 \text{ บีทียูต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

หรือ คิดที่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำให้น้ำระเหย คือ 2400 บีทียูต่อชั่วโมง
 การที่น้ำระเหย ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 บีทียูในการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์
 แสดงว่าพลังงาน 2400 บีทียู สามารถทำให้น้ำระเหยได้ 2400 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
 จากอัตราน้ำระเหยของกรุงเทพ 5.1 มิลลิเมตรต่อวัน คือ 5100 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 212.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

$$\text{ดังนั้น ได้พื้นที่ที่ใช้ในการระเหยน้ำคือ } \frac{2400}{212.5} = 11.3 \text{ ตารางเมตร}$$

สรุปได้ว่า ต้องการพื้นที่ที่ต้องใช้ระเหยน้ำคือ 12 ตารางเมตรเป็นอย่างน้อย

แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายและสถานที่ในการติดตั้งจึงลดขนาดของท่อทดสอบลง ดังนั้นได้พื้นที่ที่ต้องการใช้เพื่อระเหยน้ำคือ

ได้ว่า กำหนดความเร็วลม 53.7 ฟุตต่อนาที พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ 0.2 ตารางฟุต
 กำหนดให้จากอุณหภูมิอากาศ 35 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 35 เปอร์เซนต์ ณ เวลา 13.00น. เมื่อเกิดการระเหยของน้ำปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเป็น 70 เปอร์เซนต์ ได้อุณหภูมิอากาศ คือ 29 องศาเซลเซียส

จากสูตร

$$\begin{aligned} Q &= cfm * 1.08 * \Delta T \\ &= 53.7 * 10.8 * 1.08 \\ &= 469.45 \text{ บีทียูต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

หรือ คิดที่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อให้ให้น้ำระเหย คือ 469.45 บีทียูต่อชั่วโมง การที่น้ำระเหย ต้องใช้ความร้อนประมาณ 1,000 บีทียู ในการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ แสดงว่าพลังงาน 469.45 บีทียู สามารถทำให้น้ำระเหยได้ 469.45 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากอัตราน้ำระเหยของกรุงเทพ 5.1 มิลลิเมตรต่อวัน คือ 5100 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 212.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน

ดังนั้น ได้พื้นที่ที่ใช้ในการระเหยน้ำคือ $\frac{469.45}{212.5} = 2.349 \text{ ตารางเมตร}$

ดังนั้น ได้พื้นที่ที่ต้องการคือ 2.34 ตารางเมตร ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิได้ 6 องศาเซลเซียส

จากการหาพื้นที่ผิวท่อข้างต้น พบความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ผิวท่อ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และพื้นที่หน้าตัดท่อ ได้ว่า

1. ถ้าความเร็วลมมากขึ้น พื้นที่หน้าตัดท่อเท่าเดิม ได้พื้นที่ผิวท่อมากขึ้น
2. ถ้าความเร็วลมเท่าเดิม พื้นที่หน้าตัดท่อใหญ่ขึ้น ได้พื้นที่ผิวท่อมากขึ้น
3. ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้น ความเร็วลมเท่าเดิม พื้นที่หน้าตัดท่อเท่าเดิม ได้พื้นที่ผิวท่อมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ข้างต้น พบว่า เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวท่อมากขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิจากอากาศภายในท่อลมกับอากาศภายนอกอาคาร หรืออากาศภายในห้องที่ต้องการลดความร้อนจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน สรุปได้ว่า ถ้าต้องการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องมีขนาดใหญ่พื้นที่ผิวของท่อลมต้องมากขึ้นด้วยเช่นกัน

บทที่3 ระเบียบวิธีวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่มีผลต่อการประยุกต์การระเหยของน้ำทางอ้อมเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร ได้ทำการกำหนดแนวทางและวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 สมมติฐานการวิจัย
- ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย
- ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย
- ขั้นตอนที่ 4 การสรุปผล

3.1 สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อหาประสิทธิภาพการระเหยของน้ำที่ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยการใช้ท่อทดสอบ โดยมีสมมติฐานการวิจัยที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. อิทธิพลของช่วงเวลากลางวันมีผลประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
2. อิทธิพลของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิที่เข้าสู่ท่อทดสอบ ในช่วงเวลากลางวันเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ
3. การให้น้ำแก่ท่อทดสอบเป็นช่วงระยะเวลาเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน แทนการให้น้ำตลอดเวลาสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบได้

3.2 ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมการวิจัย ประกอบด้วย

1. สถานที่ทำการทดลอง
2. รูปแบบท่อที่ทำการทดสอบ
3. เครื่องมือและการติดตั้งที่ใช้ในการวิจัย

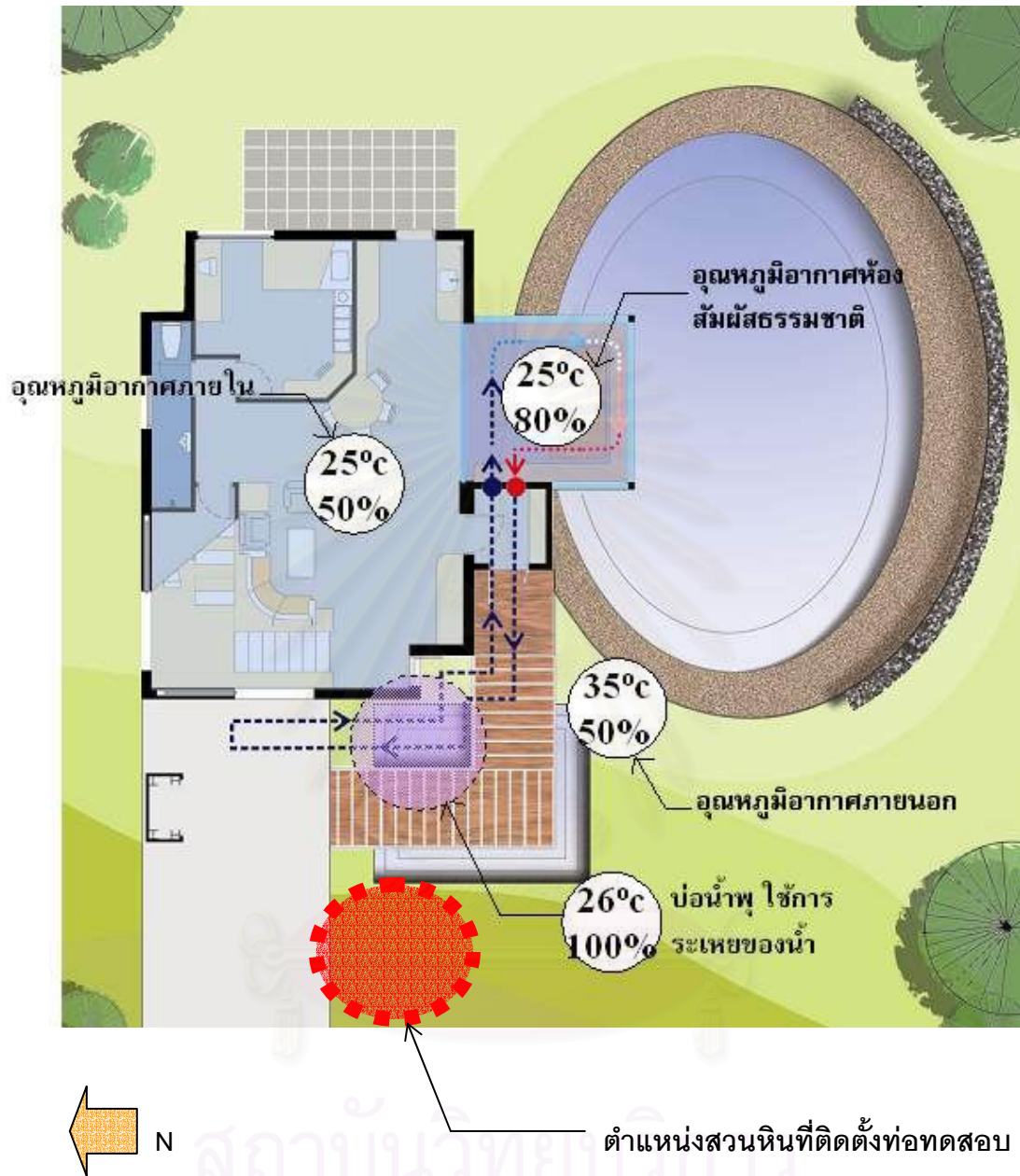
3.2.1 สถานที่ทำการทดลอง

การวิจัยนี้เลือกเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศในท่อทดสอบด้วยการระเหยของน้ำ ภายในบ้านชีวาทิพย์ คลอง 5 จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นบ้านที่สามารถผลิตพลังงานใช้เอง นอกจากนี้ภายในบ้านมีการสร้างระบบท่อเพื่อลดอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำเช่นกัน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบเพื่อเทียบประสิทธิภาพของตัวท่อทั้งสอง อีกทั้งสามารถทำการเก็บข้อมูลได้จากอาคารจริง ซึ่งเป็นการดีที่ข้อมูลที่ได้จะมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้บริเวณบ้านชีวาทิพย์เป็นพื้นที่ที่ไม่มีตึกหรืออาคารสูงที่มาปิดกั้นกระแสลมซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้การเก็บข้อมูลเพื่อการศึกษา

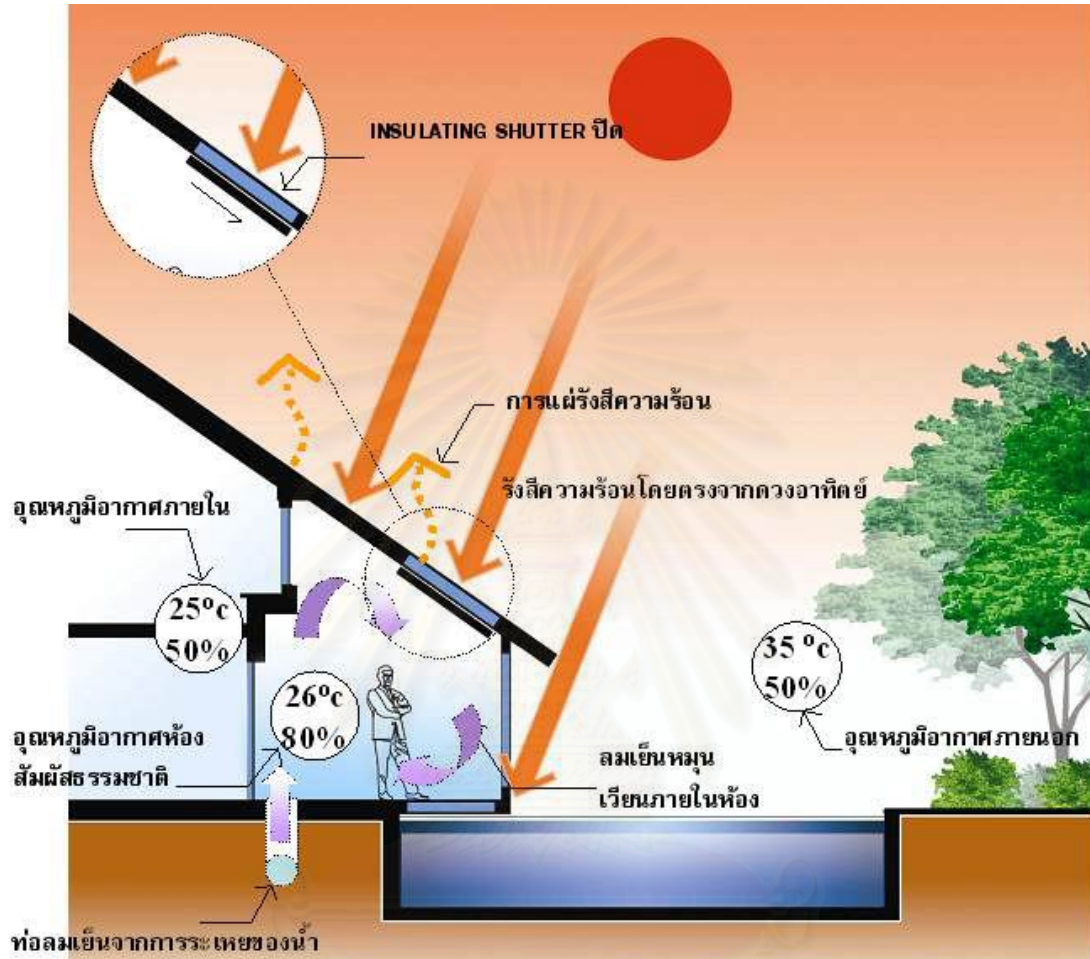
บ้านชีวาทิพย์เป็นบ้านที่นอกจากจะสามารถผลิตพลังงานใช้เองภายในบ้านแล้ว วัสดุที่นำมาก่อสร้างตัวบ้านในส่วนของกรอบอาคารเป็นวัสดุที่สามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านทั้งสิ้น ประกอบด้วย ผนังที่ทำจากโฟมโพลีสไตรีน (EIPS) กระจกที่ใช้เป็นกระจกฮีทสโตปท์ ทำให้ผลการวิจัยที่ออกมาจึงเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองในบ้านประหยัดพลังงานขั้นดี

โดยมีรูปแบบดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาพที่ 3.1 แสดงผังพื้นที่ชั้นที่ 1 ของบ้านชีวาติศย์ที่แสดงตำแหน่งของท่ออากาศภายในบ้านซึ่งช่วยลดอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ และบริเวณที่ติดตั้งท่อทดสอบ ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, เอกสารวิจัยส่วนบุคคลวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักรนวัตกรรมการที่อยู่อาศัยยุคอนาคต., 2544-2545, หน้า 17.



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

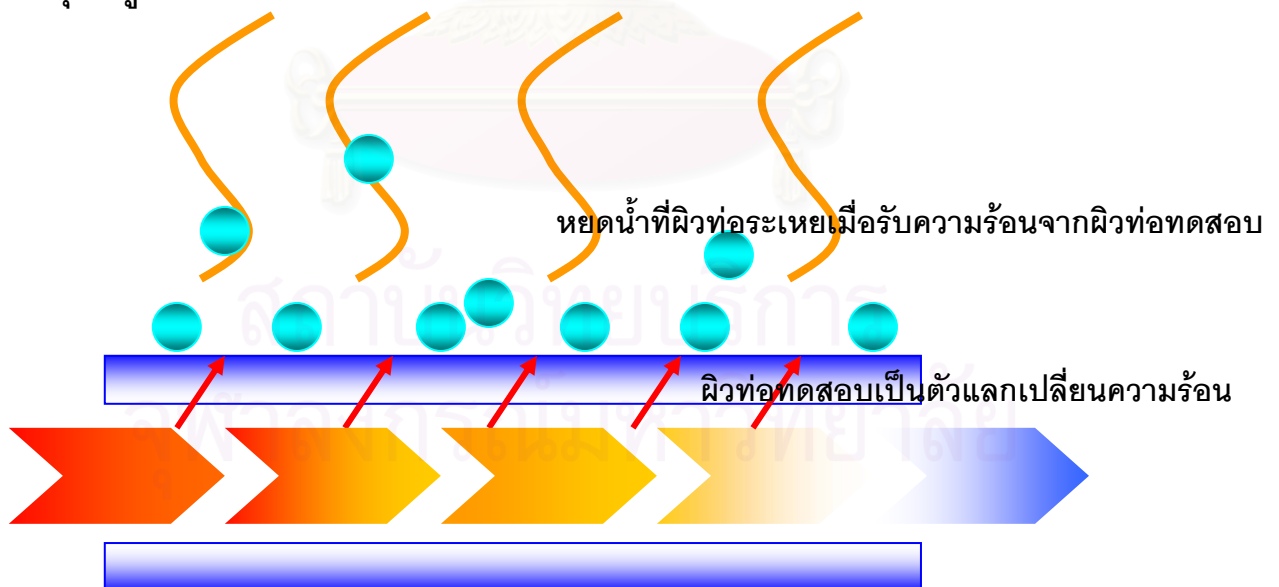
รูปภาพที่ 3.2 แสดงภาพตัดของส่วนห้องสัมผัสธรรมชาติซึ่งเป็นห้องที่ใช้ความเย็นจากท่อลมเย็นจากการระเหยของน้ำ ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, เอกสารวิจัยส่วนบุคคลวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักรนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต., 2544-2545, หน้า 17.

รูปแบบของท่อซึ่งใช้ลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยระบบการระเหยของน้ำของบ้านชีวาทิพย์ เป็นท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ยาวประมาณ 12 เมตร ทำจากการนำแผ่นสแตนเลสอย่างหนาสามม้วนเป็นท่อแล้วอุดรอยต่อด้วยซิลิโคน ท่ออากาศขนาดใหญ่จะถูกม้วนวางบริเวณสระน้ำหน้าบ้านดังรูปที่ 3.4 ซึ่งท่ออากาศนี้จะรับเอาอากาศร้อนภายในห้องกระจกเข้าสู่ท่อ อากาศร้อนภายในท่อจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิวท่อที่เย็นกว่า ผิวท่อจะเย็นได้ด้วยการฉีดน้ำบนผิวท่อแล้วปล่อยให้ น้ำที่ผิวท่อเกิดการระเหย ดังนั้นเมื่ออากาศที่ร้อนเข้าสู่ท่ออากาศ ความร้อนในอากาศจะสูญเสียให้กับความเย็นที่ผิวท่อทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง ซึ่งเรียกว่า การลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยของน้ำแบบระบบการระเหยของน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้น และอากาศภายในห้องจะหมุนเข้า-ออกจากท่อหมุนเวียนกันไป ดังรูปที่ 3.2

นอกจากการฉีดน้ำบนผิวท่อแล้ว ท่ออากาศจะถูกปกคลุมด้วยคอนกรีตซึ่งทำเป็นรูปก้อนหินเพื่อป้องกันอิทธิพลของแสงแดดตกกระทบมายังท่ออากาศ ซึ่งบริเวณภายนอกท่อที่เป็นคอนกรีตปกคลุมนี้ จะใช้การระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของผิวคอนกรีตโดยการปล่อยน้ำให้เป็นลักษณะของน้ำตกแบบธรรมชาติ ดังนั้นท่อน้ำระเหยของบ้านชีวาทิพย์จะมีการระเหยของน้ำโดยตรงที่ผิวท่อสแตนเลส และผิวคอนกรีตที่ปกคลุมท่ออีกครั้งหนึ่ง

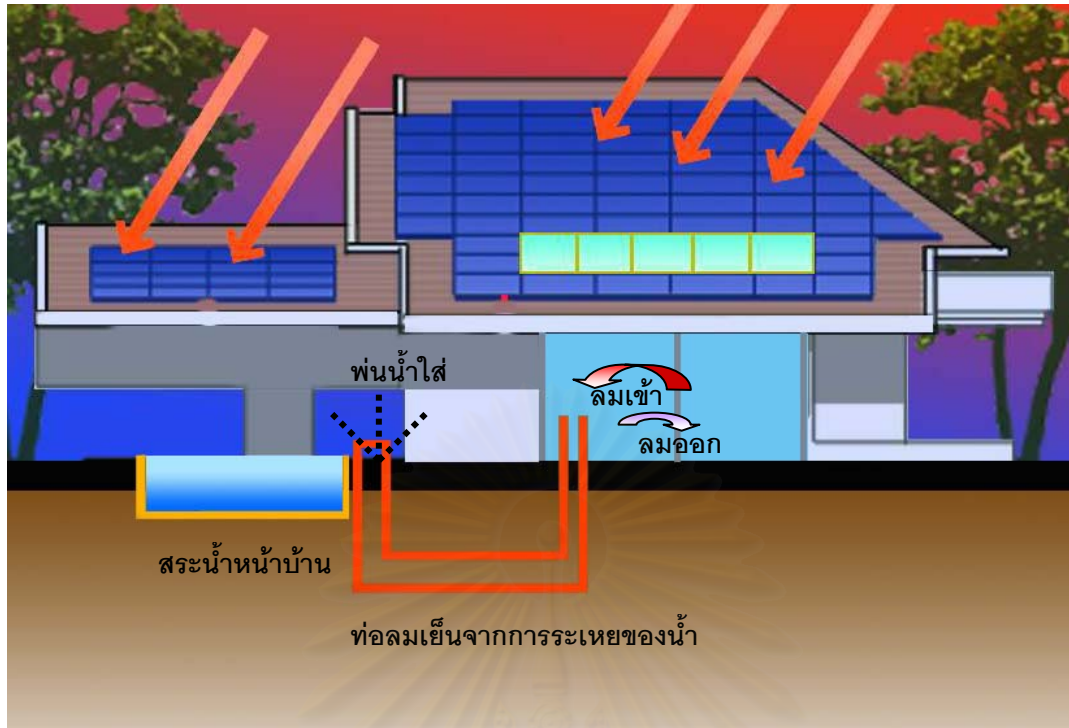
อากาศภายนอกรอบ ๆ ท่อทดสอบ

อุณหภูมิลดต่ำลงด้วย



อากาศร้อนภายในท่อทดสอบสูญเสียความร้อนให้กับผิวท่อที่มีอุณหภูมิเย็นกว่าทำให้อากาศเย็นลง

รูปที่ 3.3 แสดงการแนวความคิดการลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อลมบ้านชีวาทิพย์ด้วยระบบการระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับท่อทดสอบ



รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบท่อลมเย็นจากการระเหยของน้ำของบ้านชีวาทิตย์ที่มา: สุนทร นุญญาธิการ, เอกสารวิจัย ส่วนบุคคลวิทยาดำรงป้องกันราชอาณาจักรนวัตกรรมการที่อยู่อาศัยยุคอนาคต., 2544-2545, หน้า 30



รูปภาพที่ 3.5 แสดงบริเวณหน้าบ้านที่ทำการติดตั้งท่อทดสอบ



รูปภาพที่ 3.6 แสดงบริเวณบ้านชีวาติย์ ที่มา: สุนทร บุญญาธิการ, เอกสารวิจัยส่วนบุคคลวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักรนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคต., 2544-2545, หน้า 19

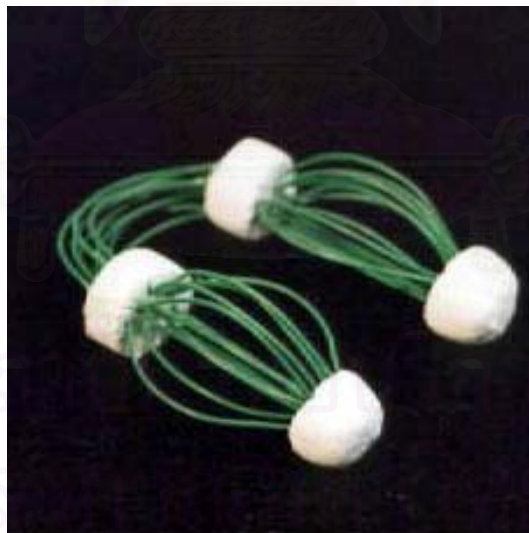
3.2.2 รูปแบบท่อที่ทำการทดสอบ

จากบริเวณที่เลือกทดสอบนี้จึงมีแนวความคิดที่ต้องสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่มีความสวยงามสามารถวางได้เหมาะสมในบริเวณสวนหิน และต้องอยู่ในพื้นที่ร่มเพื่อป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงต่อระบบการทดสอบ เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์จะเพิ่มความร้อนให้แก่ระบบ จึงทำการออกแบบและพัฒนาจนเป็นท่ออากาศที่สมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



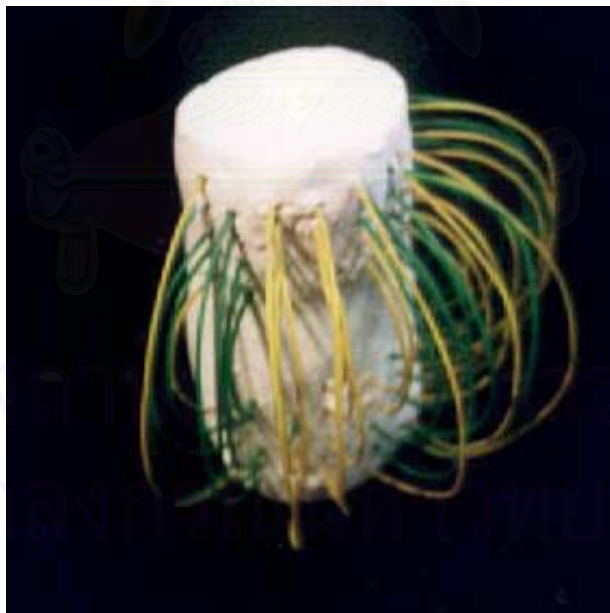
รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองแบบที่ 1 ใช้ท่อขนาดเล็กต่อเข้ากับท่อใหญ่ โดยการแบ่งท่อใหญ่ ออกเป็น 2 ส่วน



รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองแบบที่ 2 ใช้ท่อขนาดเล็กต่อเข้ากับท่อใหญ่ แต่ลดความยาวของท่อเล็ก ด้วยการขดท่อดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองแบบที่ 3 ใช้ท่อขนาดเล็กต่อเข้ากับท่อใหญ่ แต่ลดความยาวของท่อเล็กด้วยการขดท่อดังรูป



รูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองแบบที่ 4 ใช้ท่อเล็กต่อเข้ากับท่อใหญ่ แต่เป็นการเชื่อมต่อโดยไม่ต้องการทำการแบ่งท่อ



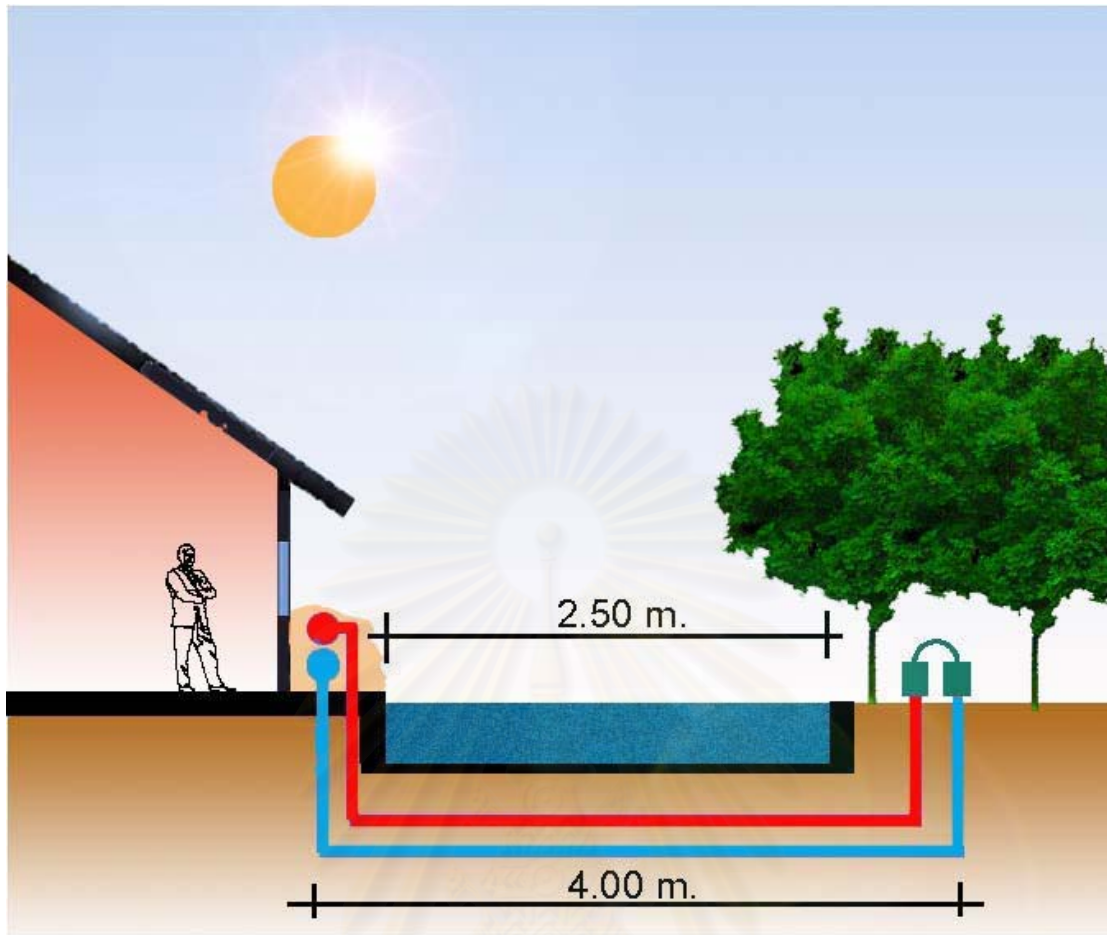
รูปที่ 3.11 แสดงแบบท่อทดสอบจริงที่พัฒนามาจากแบบจำลองทั้ง 4 แบบ และเหมาะสมต่อตำแหน่งที่ตั้ง

ท่อทดสอบประกอบด้วย

1. ท่อหลักขนาด 6 นิ้ว สูง 70 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น
2. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 35 เซนติเมตร จำนวน 11 เส้น
3. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 14 เส้น
4. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/2 นิ้ว ยาว 45 เซนติเมตร จำนวน 9 เส้น
5. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/2 นิ้ว ยาว 75 เซนติเมตร จำนวน 9 เส้น

คิดเป็นพื้นที่ผิวทั้งหมด 2.34 ตารางเมตร ที่ใช้สำหรับการระเหยของน้ำ

จากรูปแบบท่อทดสอบที่สมมุติได้รูปแบบที่มาจากข้อจำกัดคือ การก่อสร้างที่ลำบากและใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมากจึงทำการดัดแปลงโดยการต่อท่อทดสอบขนาด 6 นิ้วจากท่อใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงรูปตัดการต่อท่อจากท่ออากาศที่มีอยู่เดิมบริเวณด้านหน้าของบ้านชีวาพิศย์

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิคือ เครื่องดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger) ใช้สายรับรู้คือ สายเทอร์โมคอปเปิลชนิดเจ มีทั้งหมด 16 ช่อง รับรู้ค่าอุณหภูมิได้รวดเร็วแม่นยำ ต้องทำการต่อ เครื่องแคมเบล 21 เอ็กซ์ (cambell 21X) กับคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องช่วยเก็บและอ่านข้อมูลจาก เครื่องแคมเบล 21 เอ็กซ์ จะแสดงผลของการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิเป็นหน่วยของศาเซลเซียส



รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิเครื่องแคมเบล 21 เอ็กซ์

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิ

การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในอากาศใช้เครื่อง EE250 เป็นเครื่องมือวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียวกัน ซึ่งในการวัดค่าจะแสดงผลที่ออกมาเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ และค่าอุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส

3. เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม

เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางซึ่งสามารถต่อเข้ากับเครื่อง Opus 20000 เพื่อบันทึกค่าไว้ โดยค่าความเร็วลมที่วัดได้เป็นหน่วยเมตรต่อวินาที (m/s) และทิศทางลมที่วัดได้เป็นองศา



รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิเครื่อง เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทาง

4. เครื่องเก็บข้อมูล OPUS 2000

เป็นเครื่องมือที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่อง EE250 และ เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทาง เพื่อช่วยในการบันทึกข้อมูล และสามารถส่งข้อมูลผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิเครื่อง EE2509 ที่ต่อกับเครื่อง OPUS 2000

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมด ก่อนจะนำมาใช้ต้องทำการตั้งมาตรฐาน (calibrate) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิด้วยท่อทดสอบจากการระเหยของน้ำสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย ตัวแปรที่เก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก
3. อุณหภูมิภายในห้องกระจก (เข้าท่อใหญ่)
4. อุณหภูมิที่อากาศที่เข้าสู่ห้องกระจก (ออกท่อใหญ่)
5. อุณหภูมิที่เข้าท่อทดสอบ (เข้าท่อเล็ก)
6. อุณหภูมิที่ออกจากท่อทดสอบ (ออกท่อเล็ก)
7. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (relative humidity)

ขั้นตอนการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนตามวัตถุประสงค์ดังนี้

3.3.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบ

เป็นการทดสอบเพื่อหาตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำสำหรับสภาพเขตร้อนชื้นของประเทศไทย จากการรวบรวมตัวแปรจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตัวแปรที่ถูกเลือกเพื่อทำการทดสอบได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก
3. ความเร็วของกระแสลม
4. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
5. รั้งสี่ดวงอาทิตย์

ประกอบด้วย 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพอากาศเวลากลางวัน และกลางคืนที่ตัวแปรที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ว่ามีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำแตกต่างกันอย่างไร โดยทำการทดสอบระบบเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อสังเกตตัวแปรเวลากลางวันจะสามารถเพิ่มการระเหยของน้ำซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่ออกจากห้องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่เข้าห้องทดสอบ ตามสมมติฐานหรือไม่

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของความเร็วลมโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมงในเวลากลางวัน และกลางคืนที่ตัวแปรที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ว่ามีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำแตกต่างกันอย่างไร โดยทำการทดสอบระบบเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อสังเกตตัวแปรเวลากลางวันจะสามารถเพิ่มการระเหยของน้ำซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่ออกจากห้องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่เข้าห้องทดสอบ ตามสมมติฐานหรือไม่

การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องในสภาวะที่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์และไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิอากาศในห้องทดสอบในช่วงเวลาที่น้ำระเหยในสภาวะที่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ และไม่ได้รับอิทธิพลของ รังสีดวงอาทิตย์

3.3.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อการระเหยของน้ำโดยอาศัยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร (Multiple regression analysis) เพื่อหาตัวแปรที่เป็นตัวสำคัญต่อการระเหยของน้ำ ที่สามารถทำนายค่าการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในท่อทดสอบได้อย่างแม่นยำ

3.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการระเหยของน้ำของท่อทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการให้น้ำแก่ท่อทดสอบโดยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทั้งช่วยลดพลังงานที่ใช้ในระบบด้วย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น

ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบการให้น้ำแก่ท่อทดสอบที่ต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 30 นาที

การทดลองที่ 2 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

การทดลองที่ 3 ทดลองให้น้ำ 1 ชั่วโมง ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

การทดลองที่ 4 ทดลองให้น้ำตลอดเวลา

การทดลองที่ 5 ทดลองไม่ให้น้ำแก่ท่อทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานความร้อนของแต่ละการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการให้น้ำที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานจริง

3.4 การสรุปผล

การสรุปผลจะเป็นการเปรียบเทียบสมมติฐานที่ตั้งไว้กับตัวแปรที่ทำการทดสอบ และ ความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการทำความเย็นด้วยระบบการระเหยของน้ำ เพื่อเสนอต้นแบบและเป็นแนวทางในการประยุกต์การทำความเย็นจากการระเหยของน้ำด้วยท่ออากาศกับงานสถาปัตยกรรม

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้อง โดยแบ่งผลการวิจัยและวิเคราะห์เป็น 3 ส่วนได้แก่

1. การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ
2. การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อการระเหยของน้ำโดยอาศัยวิธีทางสถิติ
3. การทดสอบประสิทธิภาพการให้น้ำแก่ห้องทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้

4.1 การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการระเหยของน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ

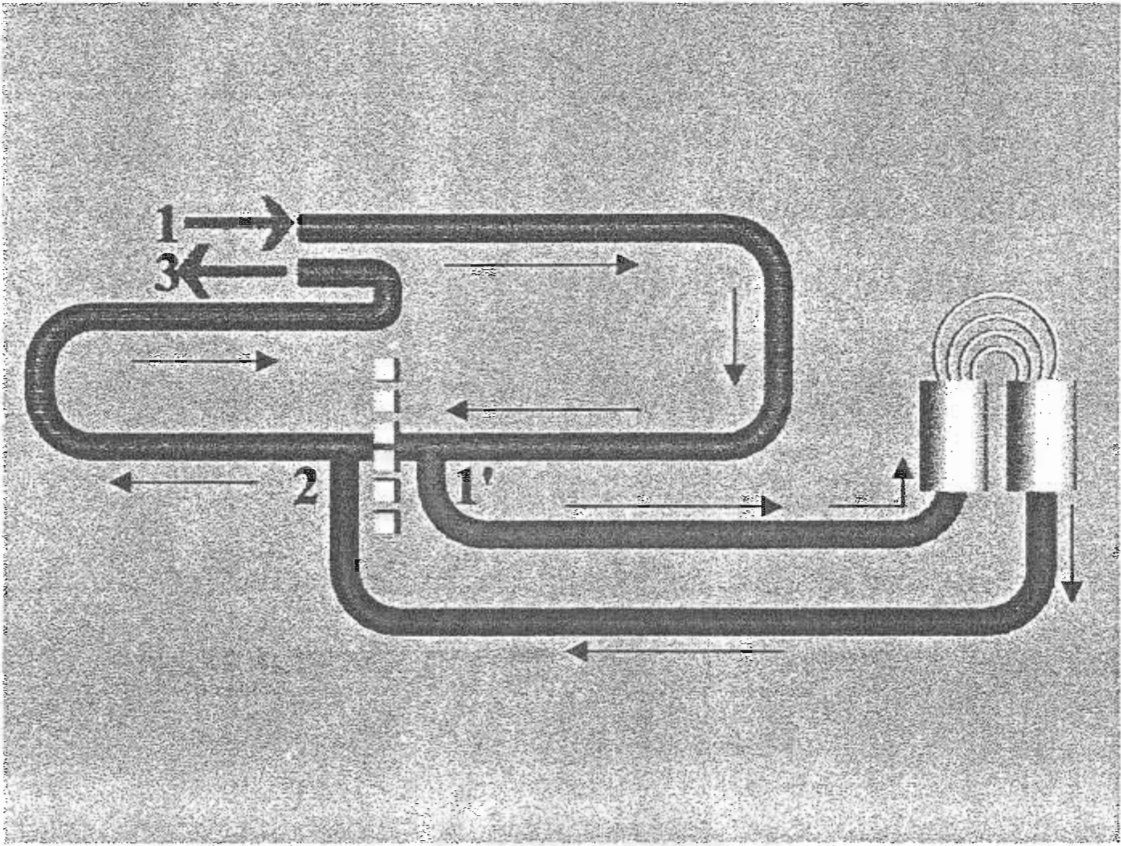
เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วนดังนี้

4.1.1 เปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

วัตถุประสงค์ เพื่อหาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ

ข้อสังเกต ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ช่วงเวลาที่มียุทธสิทธิภาพการระเหยของน้ำสูงสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบได้สูงเช่นกัน

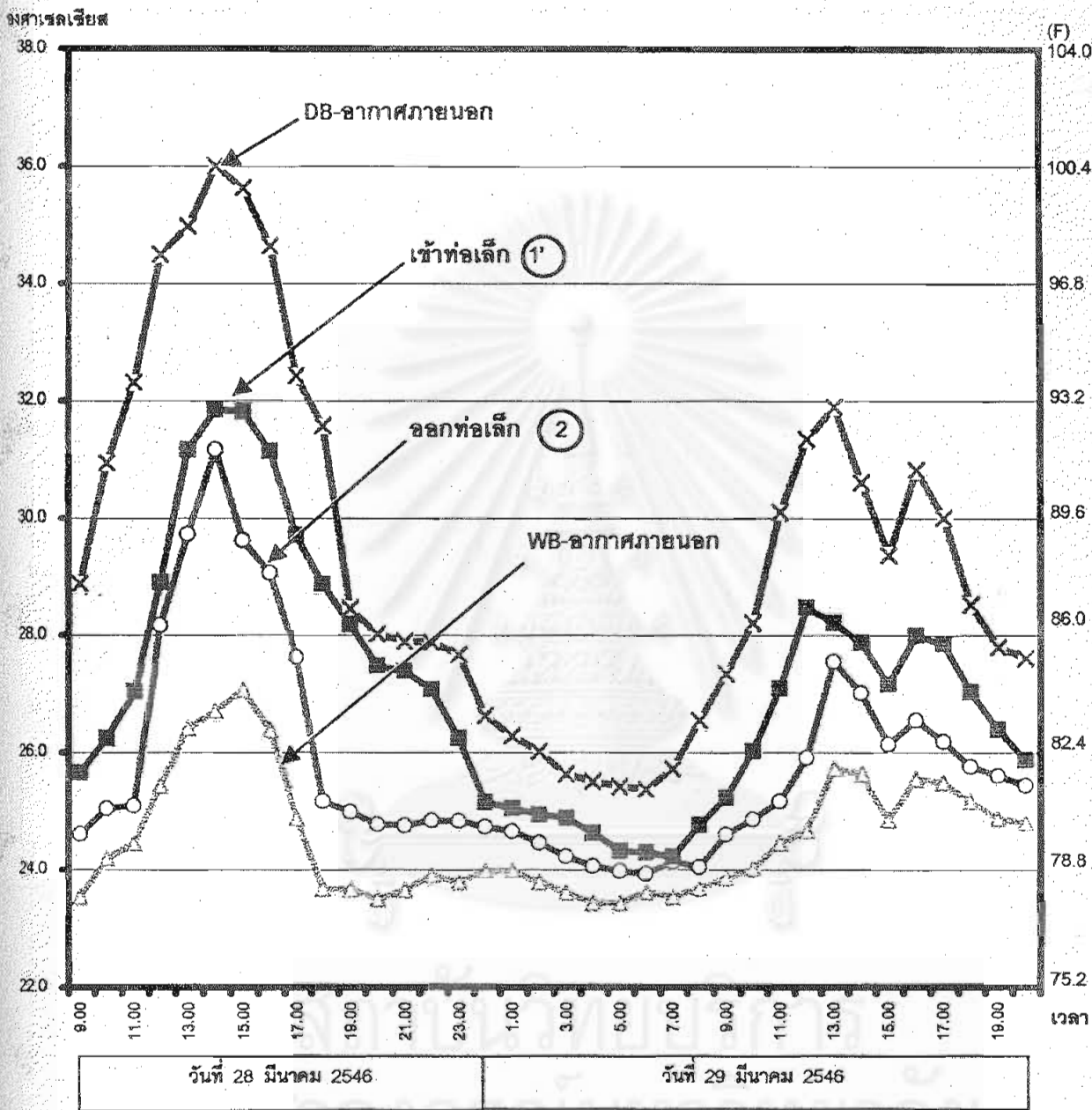
ในการเก็บข้อมูลจริงมีการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างท่อใหญ่ของบ้านที่อาศัยกับท่อเล็ก หรือท่อทดสอบที่ทำขึ้น ดังนั้นจึงแสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูลอุณหภูมิดังภาพ



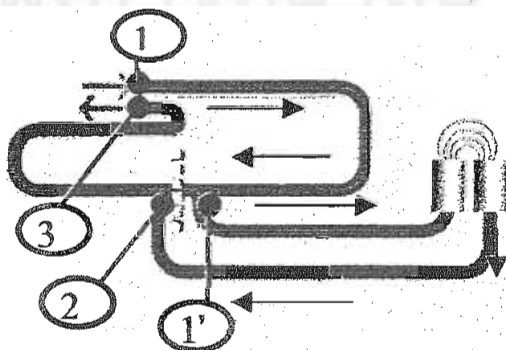
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งสายวัดเพื่อทำการเก็บข้อมูล

- จุดที่ 1 หมายถึง ตำแหน่งที่เก็บอุณหภูมิที่เข้าท่อใหญ่ หรืออุณหภูมิภายในห้องกระจก เรียกว่า อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- จุดที่ 1' หมายถึง ตำแหน่งที่เก็บอุณหภูมิจากท่อใหญ่ที่จะเข้าสู่ท่อเล็กหรือท่อทดสอบ ก่อนการผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยของน้ำ เรียกว่า อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก
- จุดที่ 2 หมายถึง ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านกระบวนการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำจากท่อเล็ก หรือท่อทดสอบแล้ว เรียกว่า อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- จุดที่ 3 หมายถึง ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านการลดความร้อนจากการระเหยของน้ำจากท่อเล็กและท่อใหญ่รวมกันเพื่อเข้าสู่ห้องกระจกอีกครั้ง เรียกว่า อุณหภูมิออกท่อใหญ่

แผนภูมิที่ 4-1 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอก
เมื่อเปิดตลอดเวลา

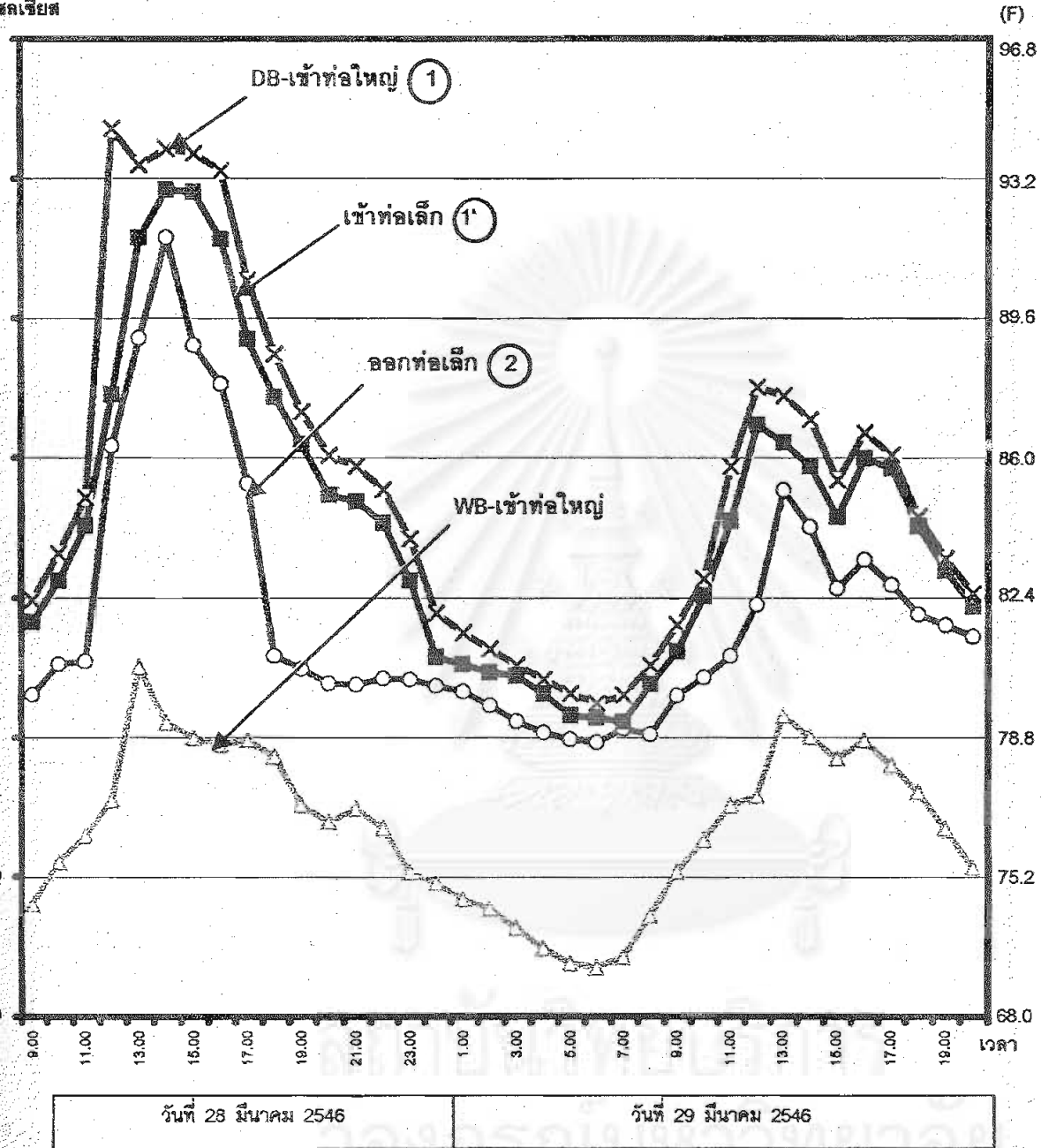


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิอากาศ
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก

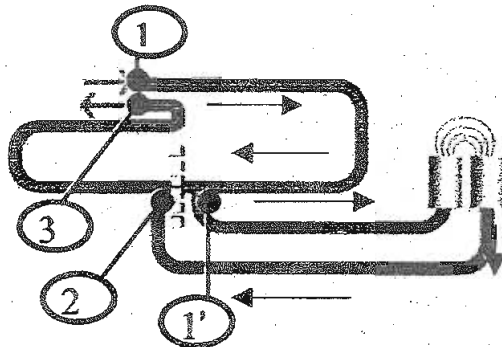


แผนภูมิที่ 4-2 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำตลอดเวลา

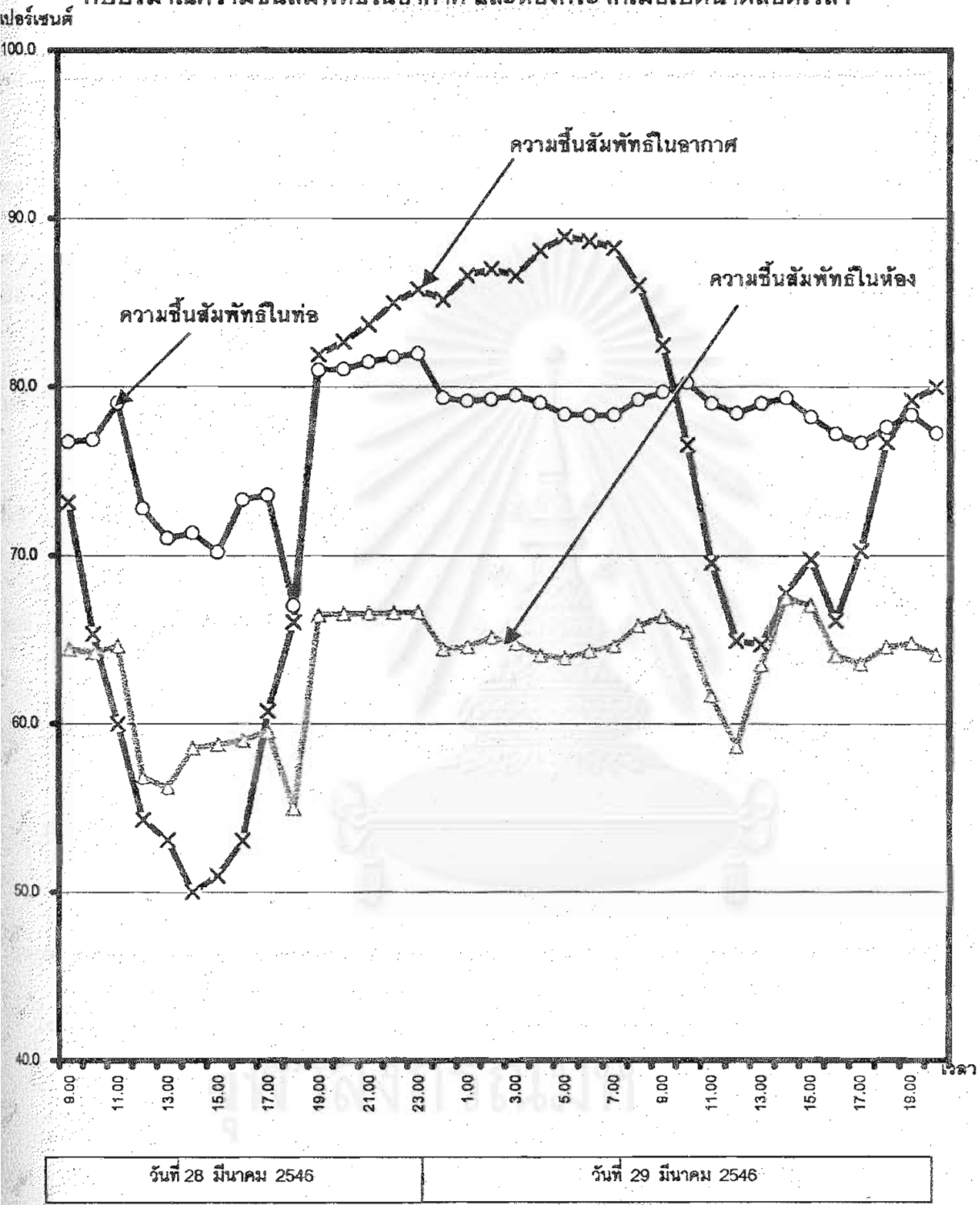
ผลเขียน



- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-3 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อเล็กเปรียบเทียบ
กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และห้องกระจกเมื่อเปิดน้ำตลอดเวลา

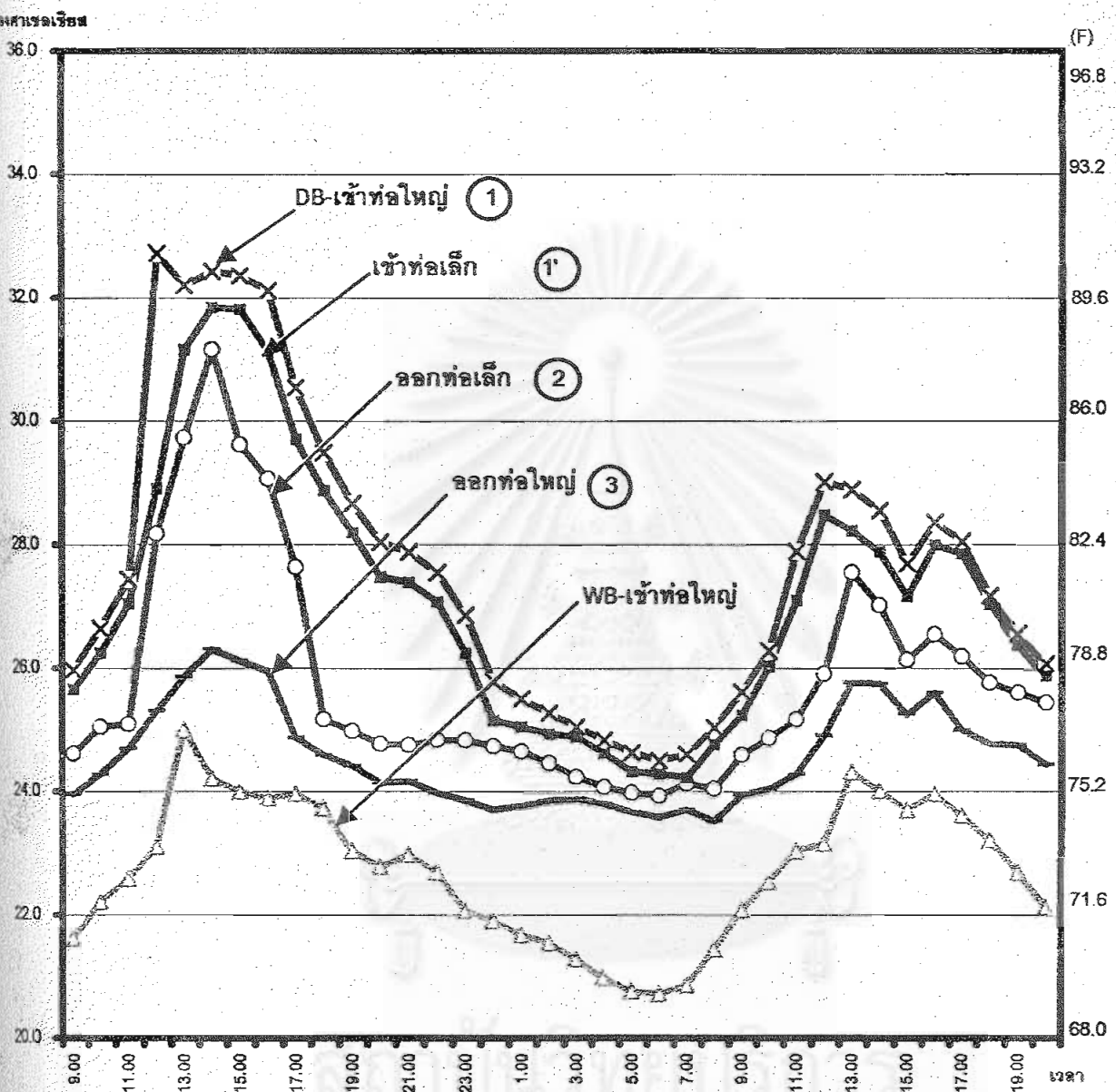


○ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อ

× ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

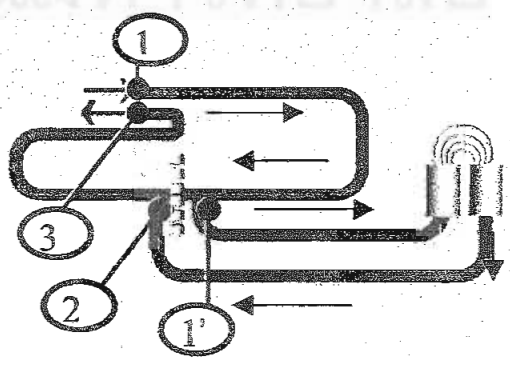
△ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องกระจก

แผนภูมิที่ 4-4 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่ เมื่อเปิดน้ำตลอดเวลา



วันที่ 28 มีนาคม 2546 วันที่ 29 มีนาคม 2546

- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- X- อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- ▲- อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



สภาพอากาศภายนอกอาคาร

34.97°C RH 53.05 %

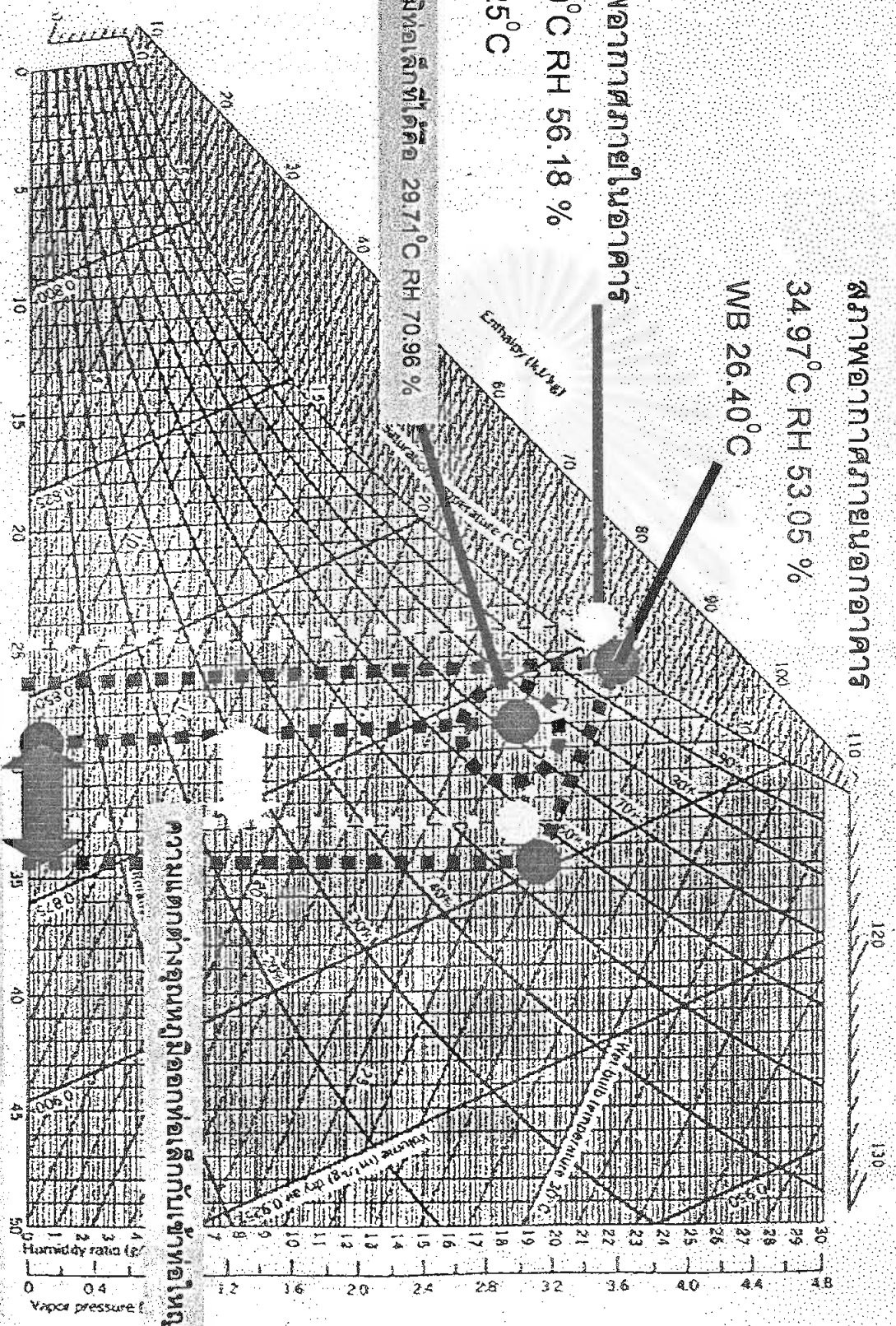
WB 26.40°C

สภาพอากาศภายในอาคาร

32.19°C RH 56.18 %

WB 25°C

อุณหภูมิของเปลือกฟิล์มคือ 29.71°C RH 70.96 %

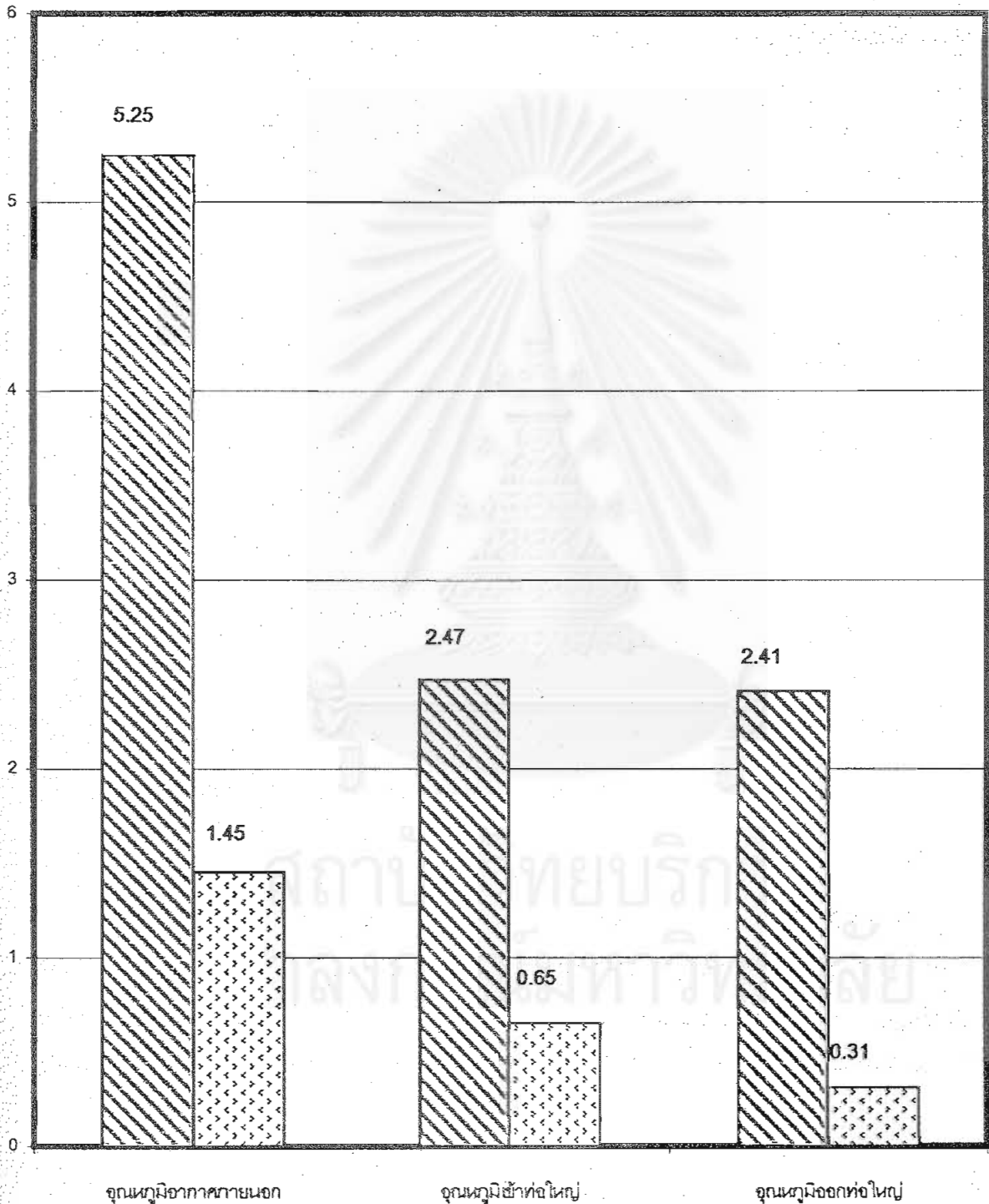


ความแตกต่างอุณหภูมิของท่อเสื่อกับเข้าท่อใหญ่คือ 2.47 °C

ความแตกต่างอุณหภูมิของท่อเสื่อกับอากาศภายนอกคือ 5.25 °C

แผนภูมิที่ 4-6 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับอากาศ
ภายนอก อากาศเข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 13.00น.และ 05.00น.
เมื่อให้น้ำตลอดทั้งวันทั้งคืน วันที่ 28-29 มีนาคม 2546

องศาเซลเซียส



▨ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. □ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 5.00น.

จากการศึกษา พบว่า ในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศสูง และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในท่อเล็ก หรือท่อทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิห้องกระจก มากกว่าในช่วงเวลากลางคืน ดังนี้

13.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	5.25
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	2.47
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	2.41
05.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	1.45
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.65
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	0.31

ตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากท่อเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า ตัวแปรทั้งอุณหภูมิที่สูงและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำในช่วงเวลากลางวันโดยเฉพาะในช่วงวิกฤตของวัน (12.00น.-15.00น.) ทำให้เกิดการระเหยน้ำได้มากดังนั้นอุณหภูมิภายในท่อทดสอบจึงลดลงได้มากในช่วงเวลานี้ และในช่วงเวลากลางคืนความแตกต่างของอุณหภูมิในท่อทดสอบกับอุณหภูมิห้องกระจกจึงต่ำเพราะตัวแปรทั้งสองเป็นในทางกลับจากช่วงเวลากลางวัน

4.1.2 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องด้วยการระเหยของน้ำ

วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระแสลมต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ

ข้อสังเกต ในช่วงเวลาที่ความเร็วลมสูงในช่วงเวลากลางวัน เป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในห้องอากาศต่ำที่สุด เช่นเดียวกับตัวแปรอุณหภูมิอากาศและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์

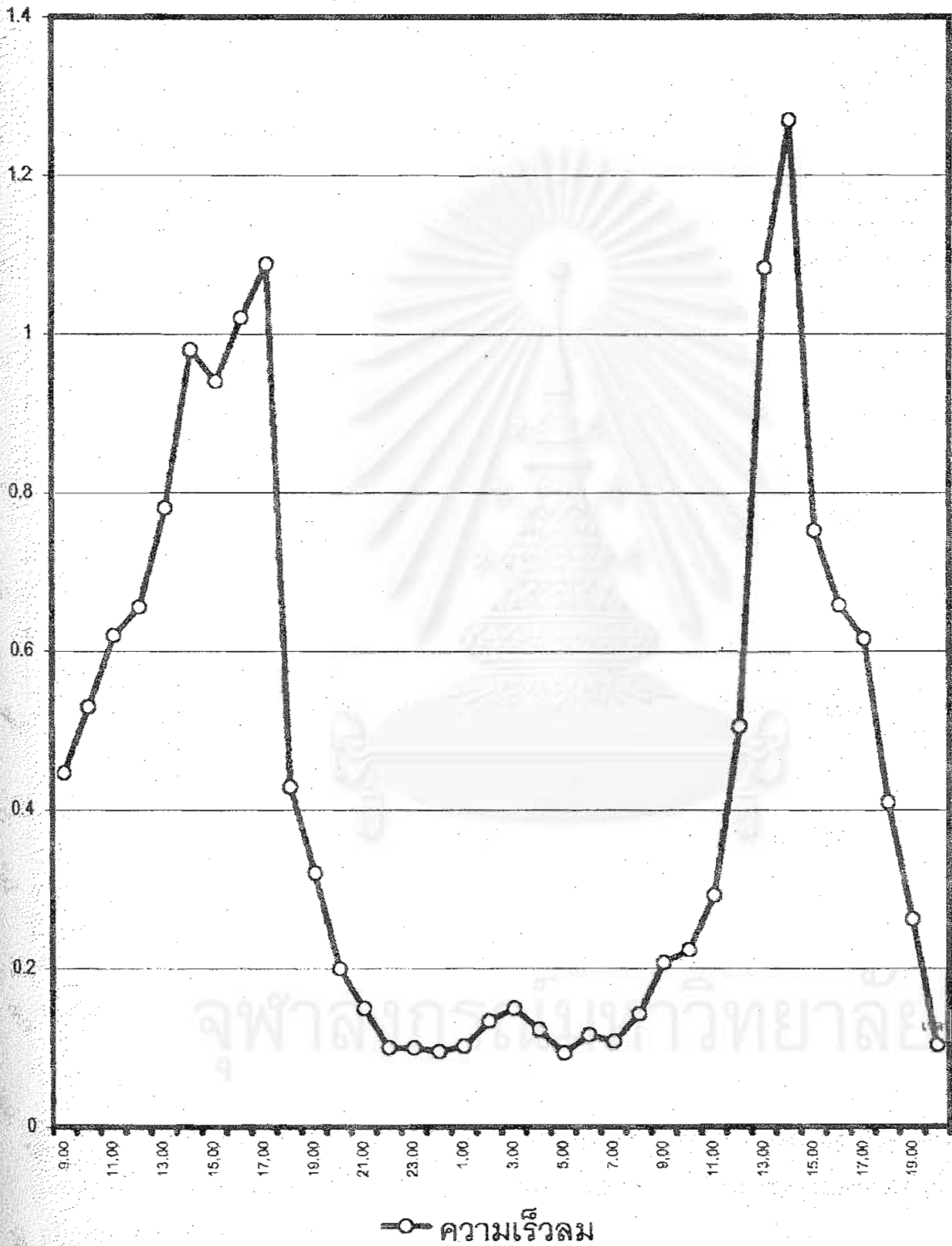
เวลาในการทำการทดสอบเป็นวันและเวลาเดียวกับการทดลองที่ 1 ในเรื่องของตัวแปรอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ คือ วันที่ 28 มีนาคม 2546 เวลา 9.00น. – วันที่ 29 มีนาคม 2546 เวลา 20.00น.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-7 แสดงความเร็วลมโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมงวันที่ 4-5 เมษายน 2546

ตารางวินาที



จากการศึกษา พบว่า ในช่วงเวลากลางวันที่ความเร็วลมโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมงสูง ส่งผลให้
 อุณหภูมิอากาศภายในท่อเล็ก หรือท่อทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิห้องกระจก
 มากกว่าในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งในช่วงเวลากลางคืนความเร็วลมที่วัดได้ต่ำมากซึ่งเราจะรู้สึกว่ามี
 ลมพัดเบาๆเอื่อยๆ เท่านั้น

โดยความสัมพันธ์ความเร็วลมและอุณหภูมิภายในท่อดังนี้

13.00น.	ความเร็วลม	0.78 เมตรต่อวินาที
	อุณหภูมิอากาศ	34.97 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	32.19 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	25.85 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกท่อเล็ก	29.71 องศาเซลเซียส
05.00น.	ความเร็วลม	0.09 เมตรต่อวินาที
	อุณหภูมิอากาศ	28.01 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	28.03 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	24.12 องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิออกท่อเล็ก	24.15 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆกับความเร็วลม ณ เวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุด
 ของวัน

ดังนั้นกระแสลมจึงเป็นตัวแปรที่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำให้สูงขึ้น
 เนื่องจากถ้ากระแสลมที่มีความเร็วลมสูงมากเท่าใดก็จะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ
 หรือเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำให้สูงมากขึ้น

4.1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องในสภาวะที่มี
อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์และไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

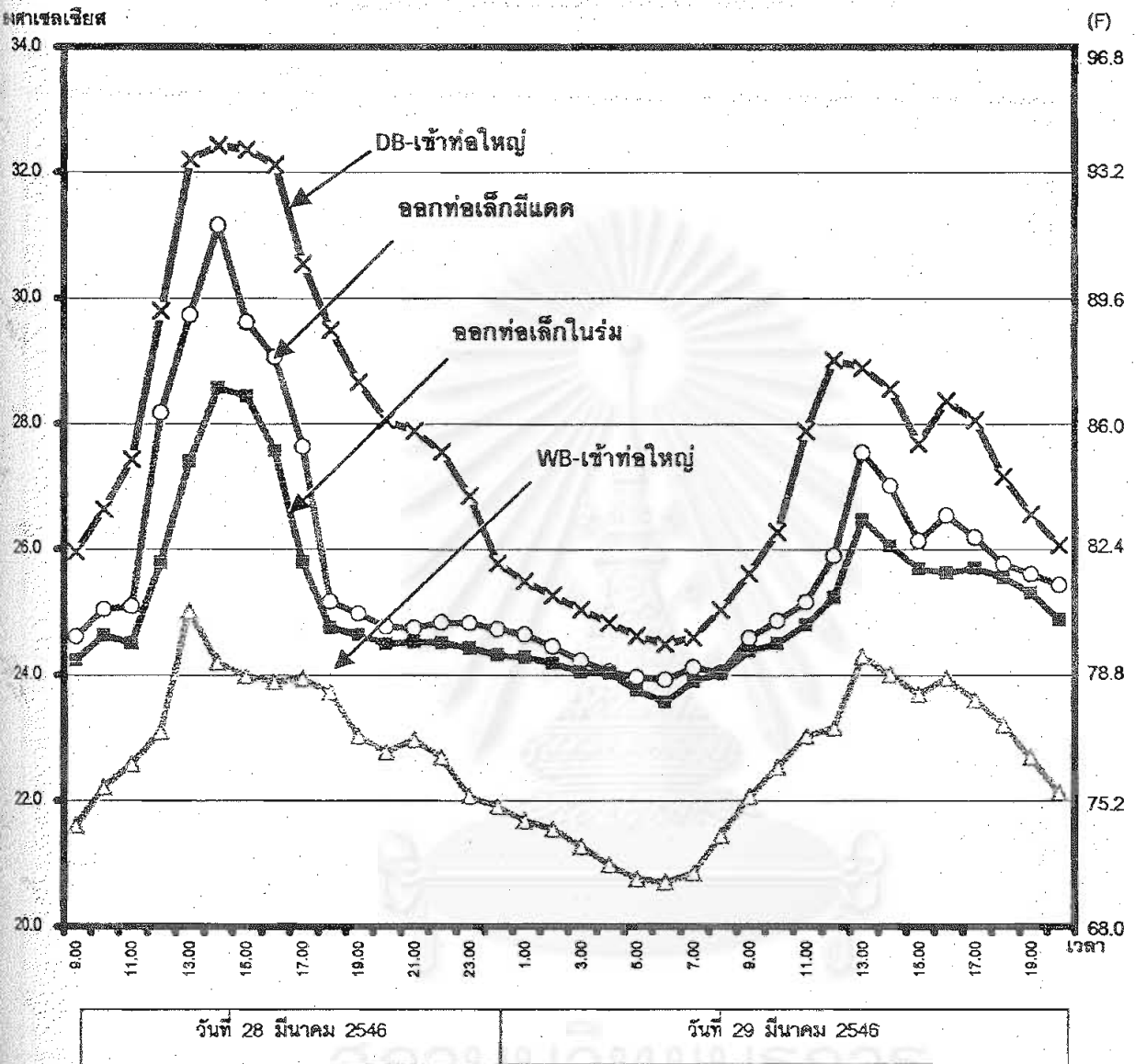
วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิในสภาวะที่ได้รับอิทธิพลของ
รังสีดวงอาทิตย์และไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

ข้อสังเกต เมื่อได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ประสิทธิภาพของการลดปริมาณความ
ร้อนต่ำกว่าในสภาวะที่ไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์



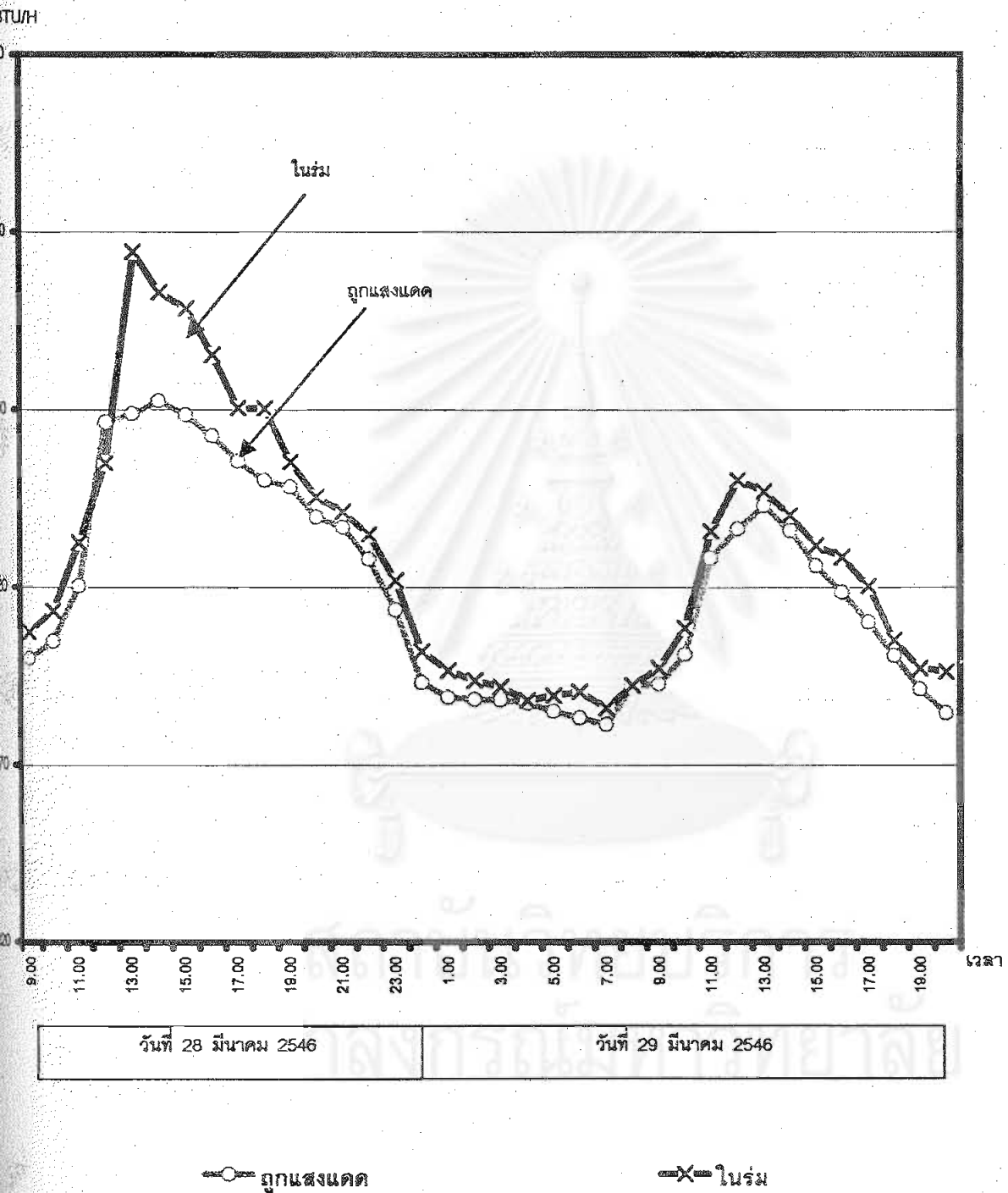
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-8 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศเข้าท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำตลอดเวลาโดยมีอิทธิพลแสงแดดและไม่มีอิทธิพลแสงแดด



- อุณหภูมิที่หน้าระเหย
- × อุณหภูมิห้องกระจก
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิที่หน้าระเหยในร่ม

แผนภูมิที่ 4-9 เปรียบเทียบค่าการลดความร้อนจากท่อน้ำระเหยจากการให้น้ำ
 ในแบบต่างๆกันเมื่อเทียบกับห้องกระจก



จากการศึกษา พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดสอบพบว่า สภาวะที่ไม่มีรังสีดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดปริมาณพลังงานความร้อนได้มากกว่าในสภาวะที่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังนี้

		ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ปริมาณความร้อนที่ลดลง (บีที่คูณต่อชั่วโมง)	
		ไม่มีแสงแดด	มีแสงแดด	ไม่มีแสงแดด	มีแสงแดด
13.00	เข้าท่อใหญ่	4.8	2.47	514.2	468.6
	อากาศภายนอก	7.58	5.25		
05.00	เข้าท่อใหญ่	0.86	1.56	389.2	384.8
	อากาศภายนอก	9.16	3.26		

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความร้อนที่ลดลงเมื่อระบบทำความเย็นเมื่อมีอิทธิพลแสงแดด และไม่มีอิทธิพลแสงแดด ณ เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของน้ำ และยังทำให้อุณหภูมิภายในห้องทดสอบสูงกว่าที่ควรจะเป็นด้วย

4.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อการระเหยของน้ำโดยอาศัยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรจะอาศัยข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร เพื่อหาตัวแปรที่เป็นตัวสำคัญต่อการระเหยของน้ำ ที่สามารถทำนายค่าการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในท่อทดสอบได้อย่างแม่นยำ

การวิเคราะห์การถดถอยนี้สามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรหนึ่ง เมื่อค่าตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนไป เนื่องจากการระเหยของน้ำจะแตกต่างกันไปตามตัวแปรหลายตัวแปร การวิเคราะห์นี้จะกำหนดให้ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่ากระทบต่อค่าตัวแปรอีกค่าหนึ่งว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable: X) ส่วนตัวแปรที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรอิสระนั้นจะเรียกว่า ตัวแปรตาม (dependent Variable: Y)

4.2.1 การวิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรในรูปสมการถดถอย

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดจะใช้การวิเคราะห์เส้นถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร (Multiple regression analysis) โดยอาศัยโปรแกรม SPSS เป็นตัววิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ในสมการมีดังนี้

1. ตัวแปรตาม (Y) คือ อุณหภูมิที่ออกจากท่อทดสอบ (องศาเซลเซียส)
2. ตัวแปรอิสระ ได้แก่
 - อุณหภูมิอากาศ
 - อุณหภูมิกระเปาะเปียก
 - ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
 - อุณหภูมิอากาศในห้องกระจก
 - อุณหภูมิกระเปาะเปียกในห้องกระจก
 - ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในห้องกระจก
 - ความเร็วของกระแสลม

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.99	0.99	0.99	3.338E-03	0.99	1245815.026	3	250	.000

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	41.648	3	13.883	1245815.026	.000
	Residual	2.786E-03	250	1.114E-05		
	Total	41.651	253			

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	-41162.802	55.094		-747.144	.000	-41271.308	-41054.295
	a	1.720E-03	.001	.009	3.363	.001	.001	.003
	r	5.702E-03	.002	.010	3.158	.002	.002	.009
	rha2	23.974	.032	.983	747.267	.000	23.911	24.037

a Dependent Variable: out

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple regression analysis) ของ
อุณหภูมิที่ออกจากท่อทดสอบ พบว่า

1. ตัวแปรอิสระที่เป็นตัวชี้วัดจากการประมาณค่าอุณหภูมิอากาศที่ออกจากท่อ
ทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์
ภายนอกอาคาร และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกระจก โดยตัวแปรอิสระทั้ง
หมดนี้จะสามารถประมาณค่าอุณหภูมิอากาศที่ออกจากท่อได้ 99 เปอร์เซ็นต์
ส่วนที่เหลืออีก 1 เปอร์เซ็นต์มีสาเหตุมาจากตัวแปรอื่นๆที่ไม่ได้นำมาศึกษา
และการใช้ตัวแปรอิสระทั้งหมดมาประมาณค่าอุณหภูมิอากาศที่ออกจากท่อ
ทดสอบที่เกิดขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.03338 องศาเซลเซียส

2. เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าต่ำ
กว่าระดับนัยสำคัญที่ จึงปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าง H_0 และยอมรับสมมติฐาน
 $H_1: \beta \neq 0$

3. จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม เพื่อตัดสินใจ
แปรทั้งหมดในสมการในการพยากรณ์นี้

$$\begin{aligned} & \text{กำหนดสมมติฐาน} \\ & H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0 \\ & H_1 : \beta \neq 0 \end{aligned}$$

อย่างน้อย 1 ตัว

4. พบว่าจากค่าทดสอบทางสถิติ T ที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ จึงปฏิเสธ
สมมติฐานที่ว่าง H_0 และยอมรับสมมติฐาน $H_1: \beta \neq 0$

สรุปได้ว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวแปรอิสระสามารถนำไปใช้ประมาณค่าอุณหภูมิ
อากาศที่ออกจากท่อทดสอบได้

ผลการวิเคราะห์ที่ได้สมการทำนาย ดังนี้

$$T_{exit} = 0.0172 * DB_{air} + 0.05702 * DB_{room} + 23.974 * RH_{air} - 41164.802$$

หรือ

$$0.0172 * \text{อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกอาคาร} + 0.05702 * \text{อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าสู่ห้อง} + 23.974 * \text{ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกอาคาร} - 41164.802$$

ยที่

$$RH_{air} = \frac{\ln(T_{exit}) - \ln(28.324056)}{\ln(0.998052)}$$

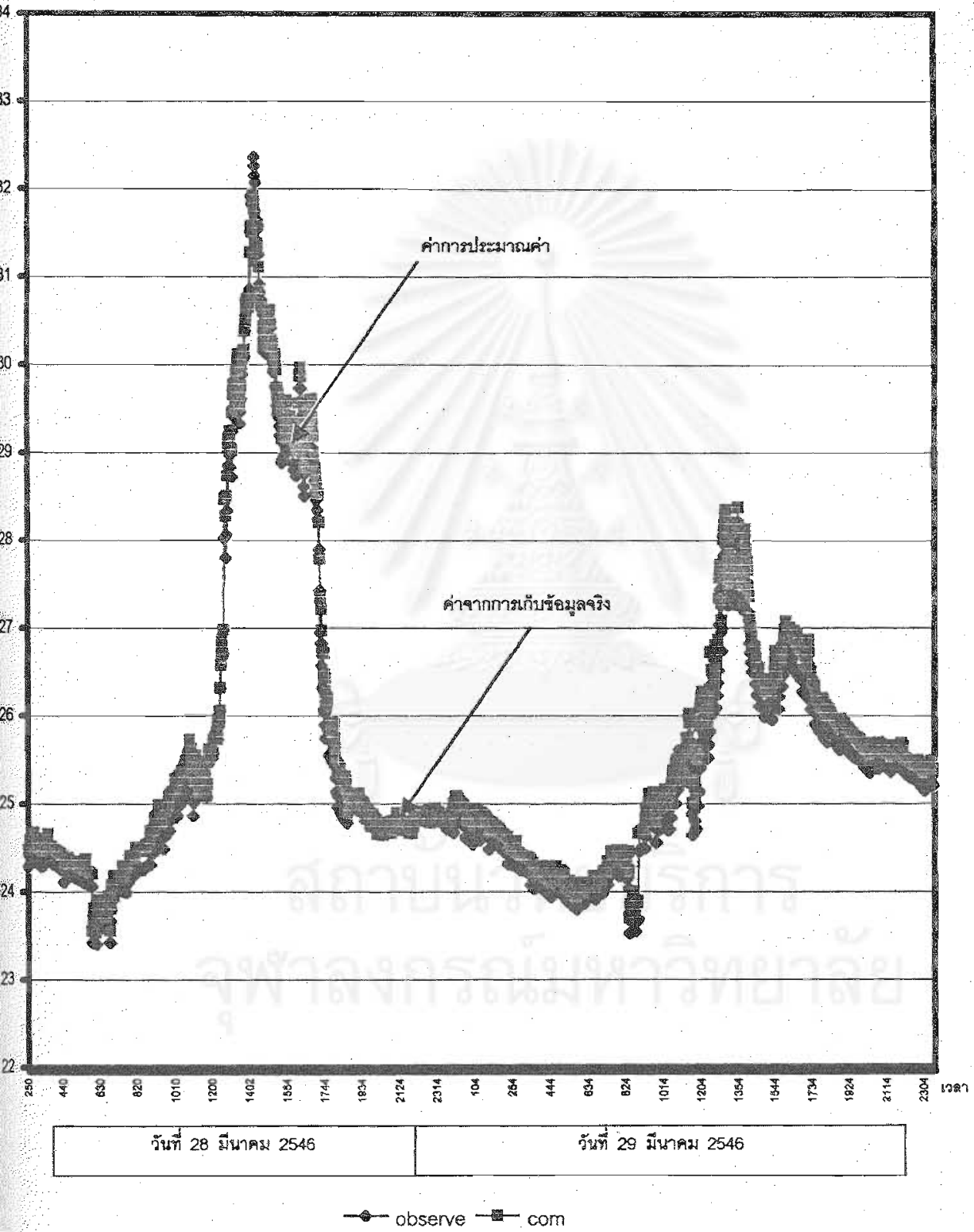
4.2.2 การทดสอบสมการ

จากสมการข้างต้นสามารถที่อธิบายการประมาณค่าค่าอุณหภูมิภายในห้องอากาศ ซึ่งมีความแม่นยำดังแผนภูมิที่แสดงการทำนาย ดังนี้

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-10 แสดงค่าการประมาณค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เปรียบเทียบกับค่าของข้อมูลที่เก็บมาจริง

ค่าเฉลี่ย



4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการระเหยของน้ำของท่อทดสอบเพื่อการประยุกต์ใช้

เพื่อหาวิธีการให้น้ำแก่ท่อทดสอบโดยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทั้งช่วยลดพลังงานที่ใช้ในระบบด้วย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.3.1 ทดสอบการระเหยของน้ำของท่อทดสอบที่ต่างกัน

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิภายในท่อทดสอบจากการให้น้ำที่ต่างกัน

ข้อสังเกต การให้น้ำที่ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการระเหยของน้ำที่ต่างกันไปทำให้อุณหภูมิภายในท่อทดสอบแตกต่างกันไปด้วย

ข้อกำหนด การกำหนดเวลาเปิด-ปิดน้ำ อาศัยอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไป โดยผู้ใช้สามารถกำหนดเวลาเปิด-ปิดได้ครั้งละไม่ต่ำกว่า 30 นาที และจากการทดสอบระยะเวลาที่ทำการเปิด-ปิดจะเป็นระยะที่ทำให้อุณหภูมิในท่อทดสอบสามารถคงที่ได้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศที่ต้องการ

การทดลอง ประกอบด้วย การทดลอง 5 ส่วนดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 30 นาที

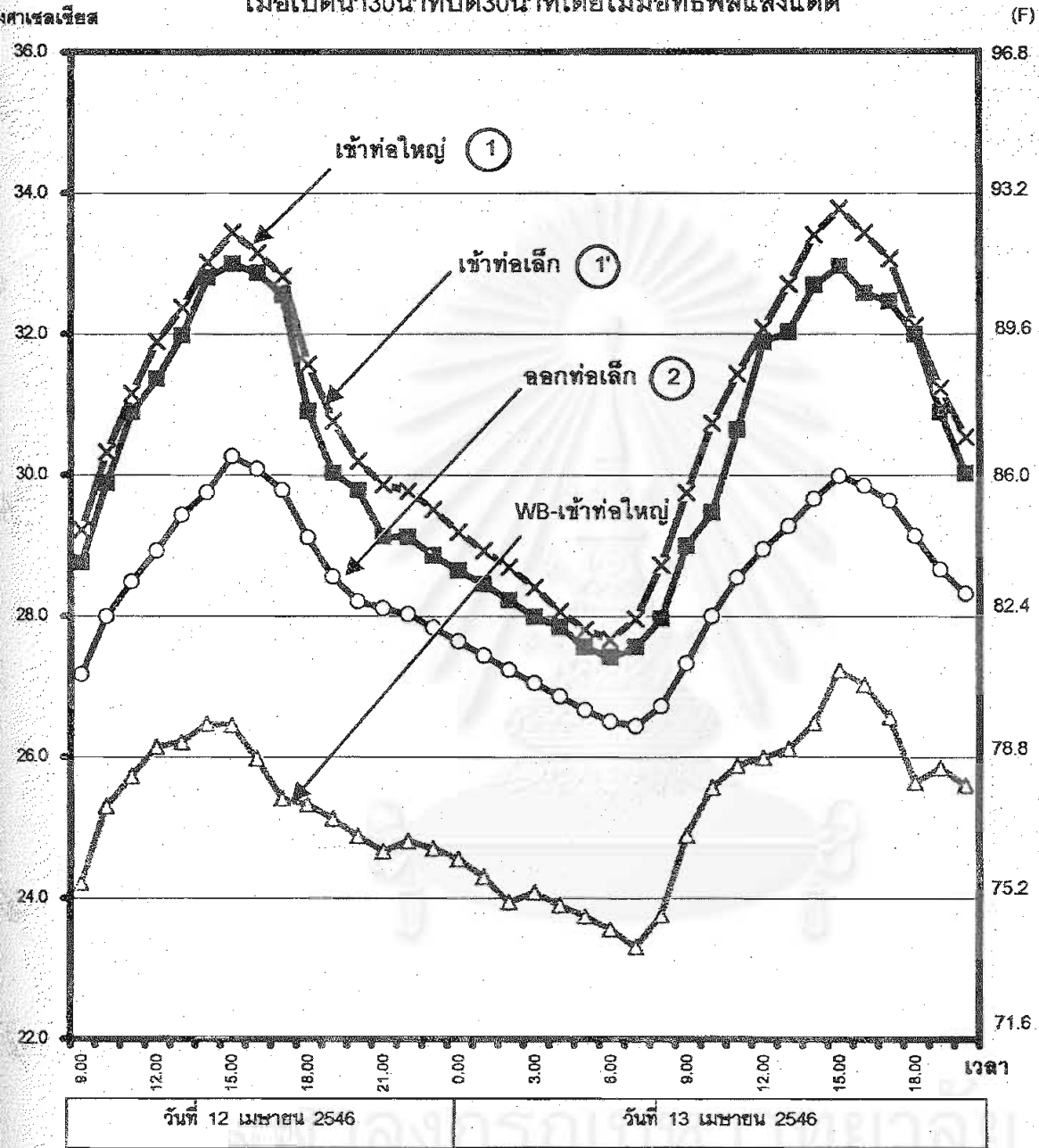
การทดลองที่ 2 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

การทดลองที่ 3 ทดลองให้น้ำ 1 ชั่วโมง ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

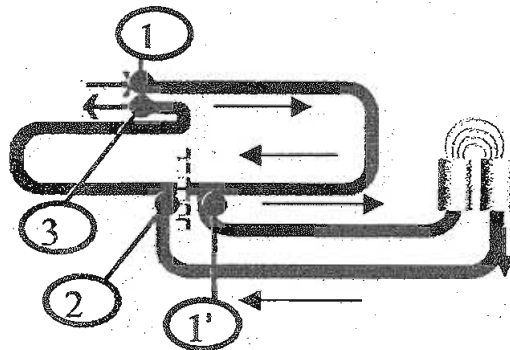
การทดลองที่ 4 ทดลองให้น้ำตลอดเวลา

การทดลองที่ 5 ทดลองไม่ให้น้ำแก่ท่อทดสอบ

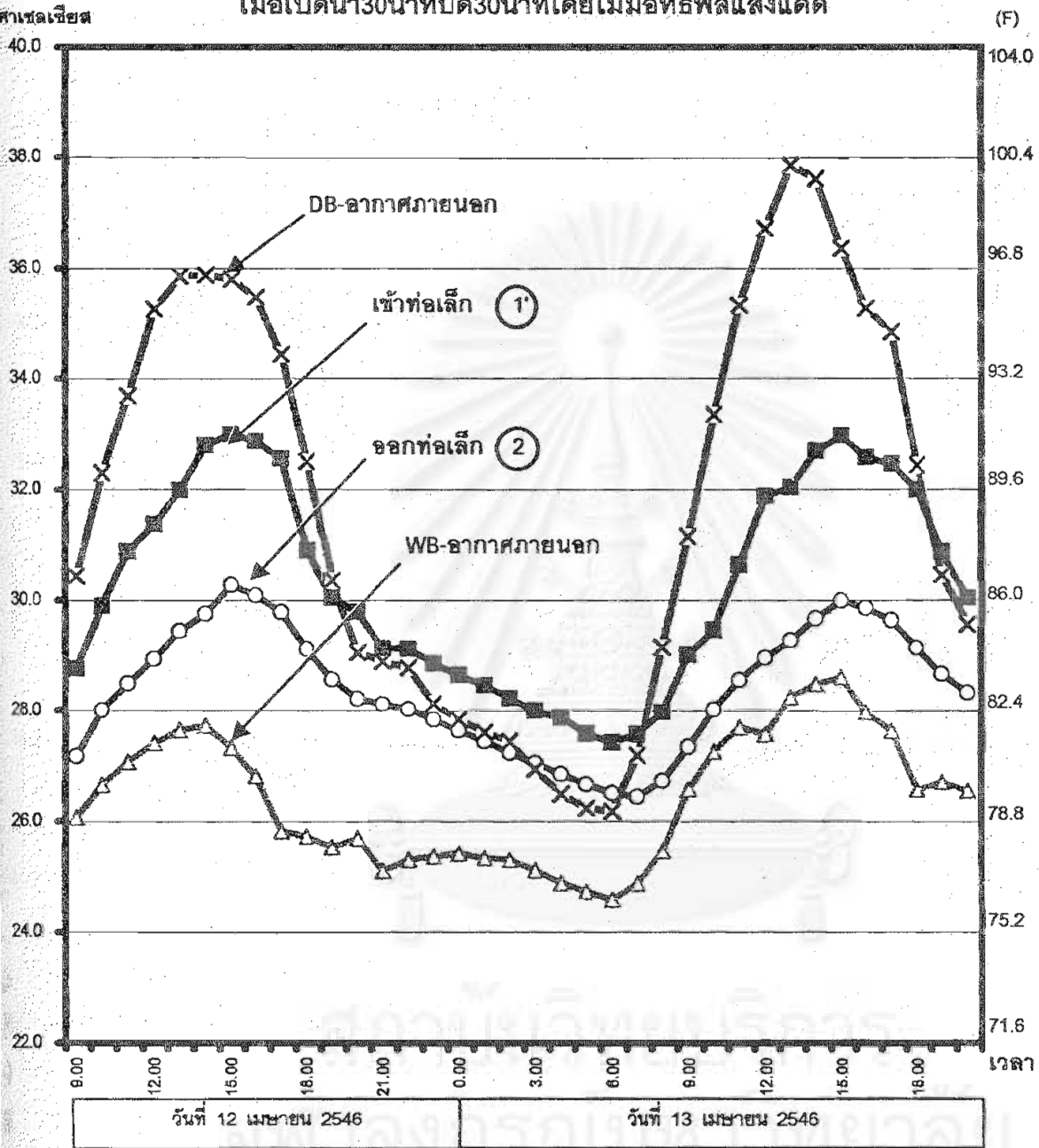
แผนภูมิที่ 4-11 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศเข้าท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาทีโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด



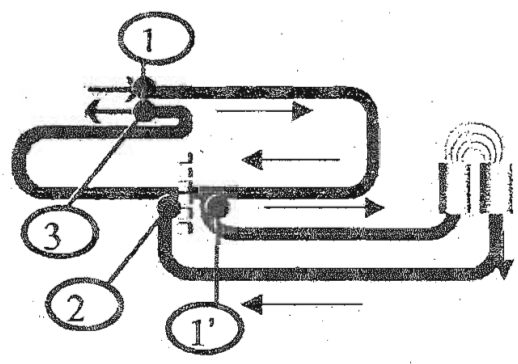
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-12 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอก
เมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาทีโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

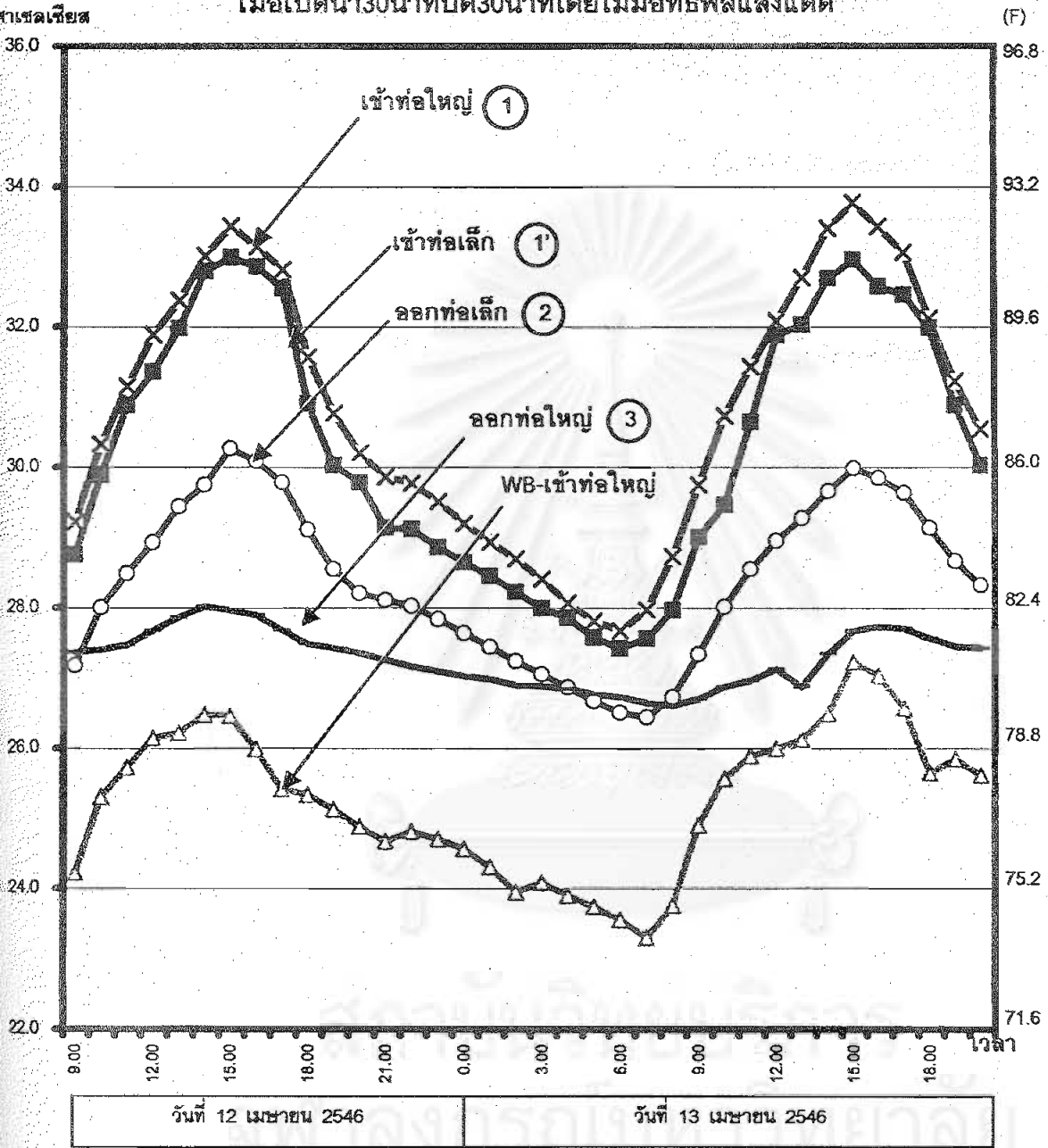


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิอากาศ
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก

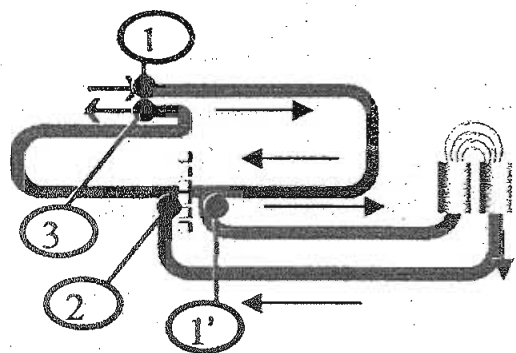


แผนภูมิที่ 4-13 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่

เมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาทีโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

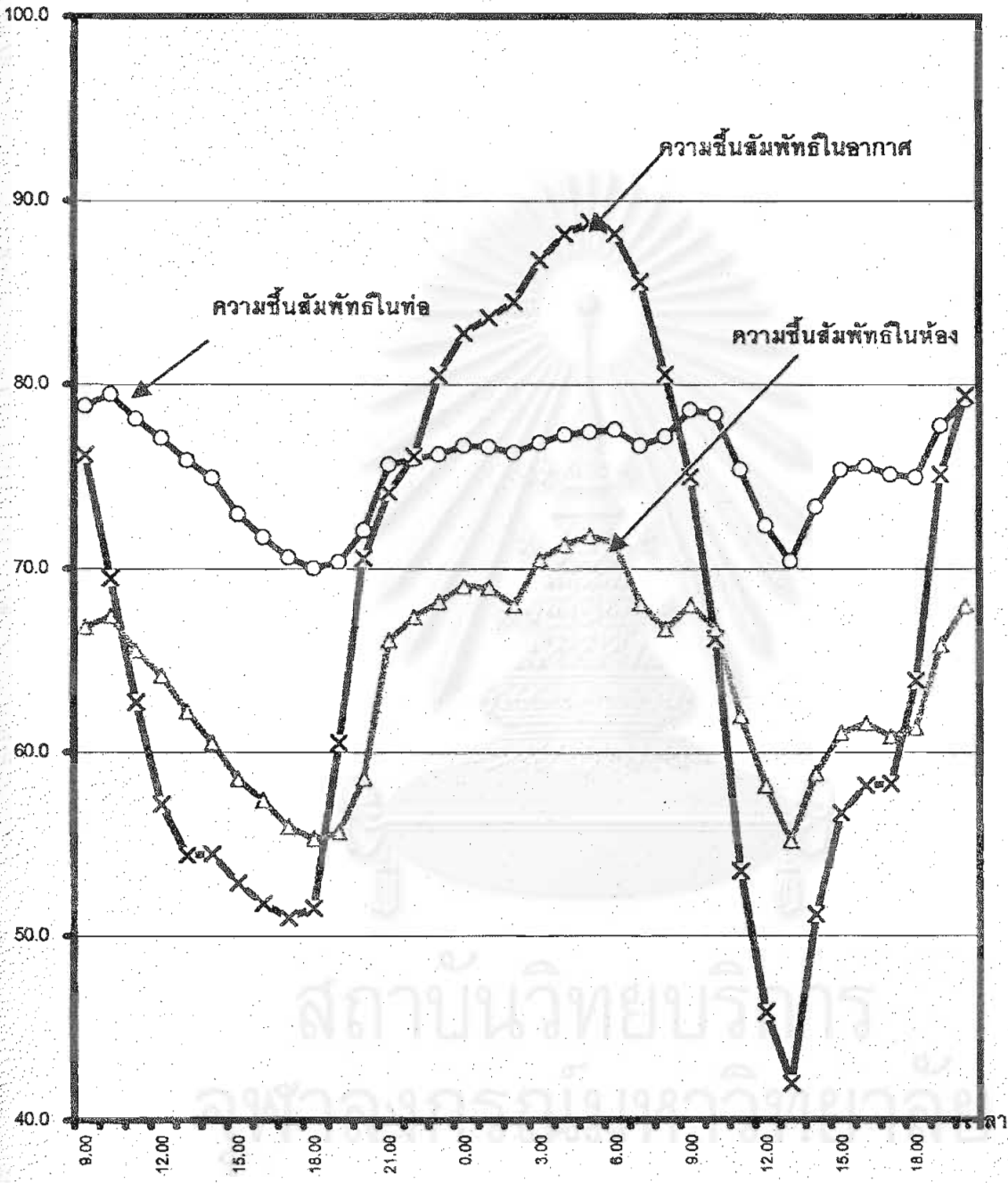


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- ×— อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △— อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-14 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของท่อเล็ก

เปอร์เซ็นต์ กับอากาศภายนอก และภายในห้องกระจกเมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที



วันที่ 12 เมษายน 2546	วันที่ 13 เมษายน 2546
-----------------------	-----------------------

- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อใหญ่
- △ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อกระจก
- × ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

สภาพอากาศภายนอกอาคาร

35.84°C RH 54.34 %

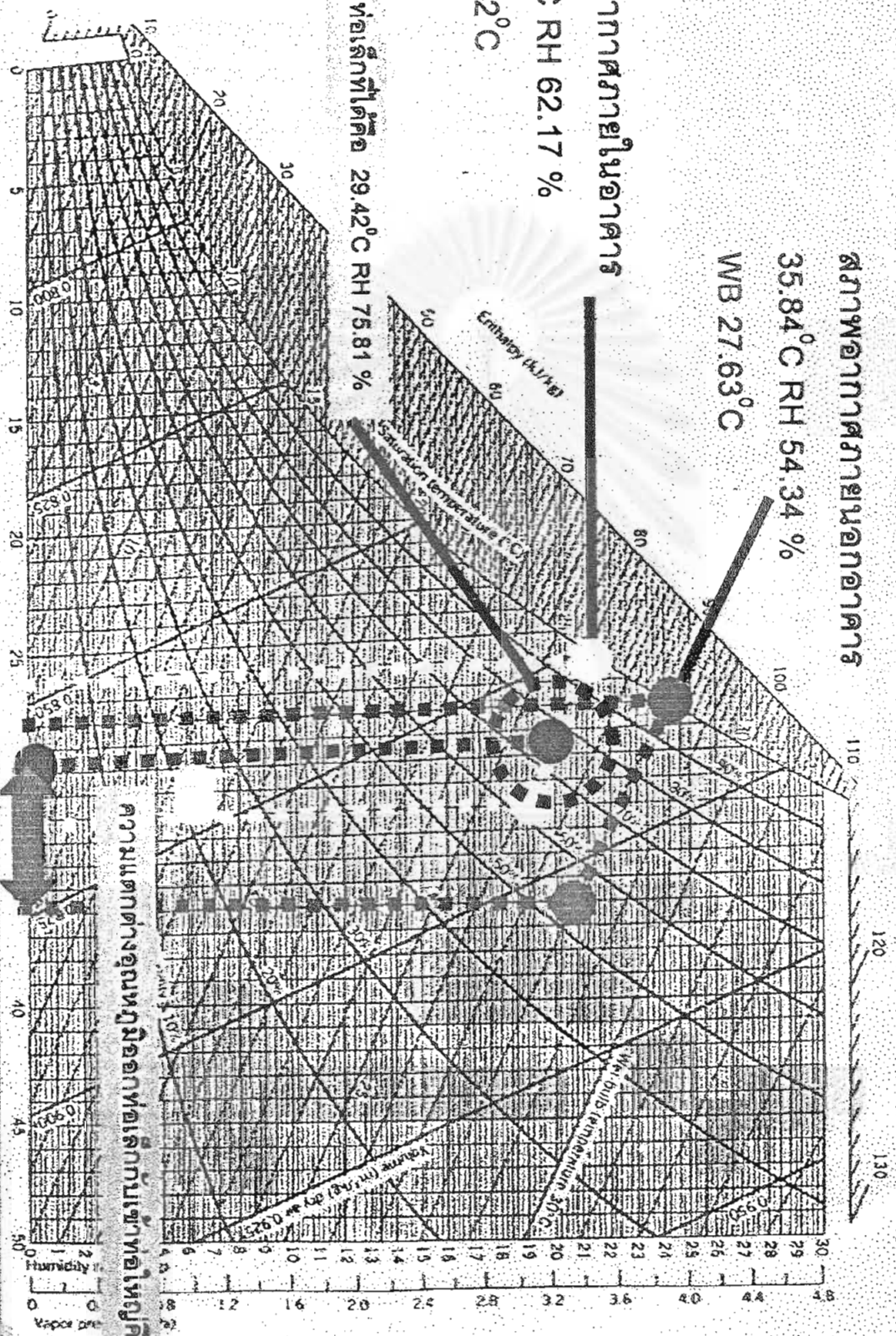
WB 27.63°C

สภาพอากาศภายในอาคาร

32.36°C RH 62.17 %

WB 26.2°C

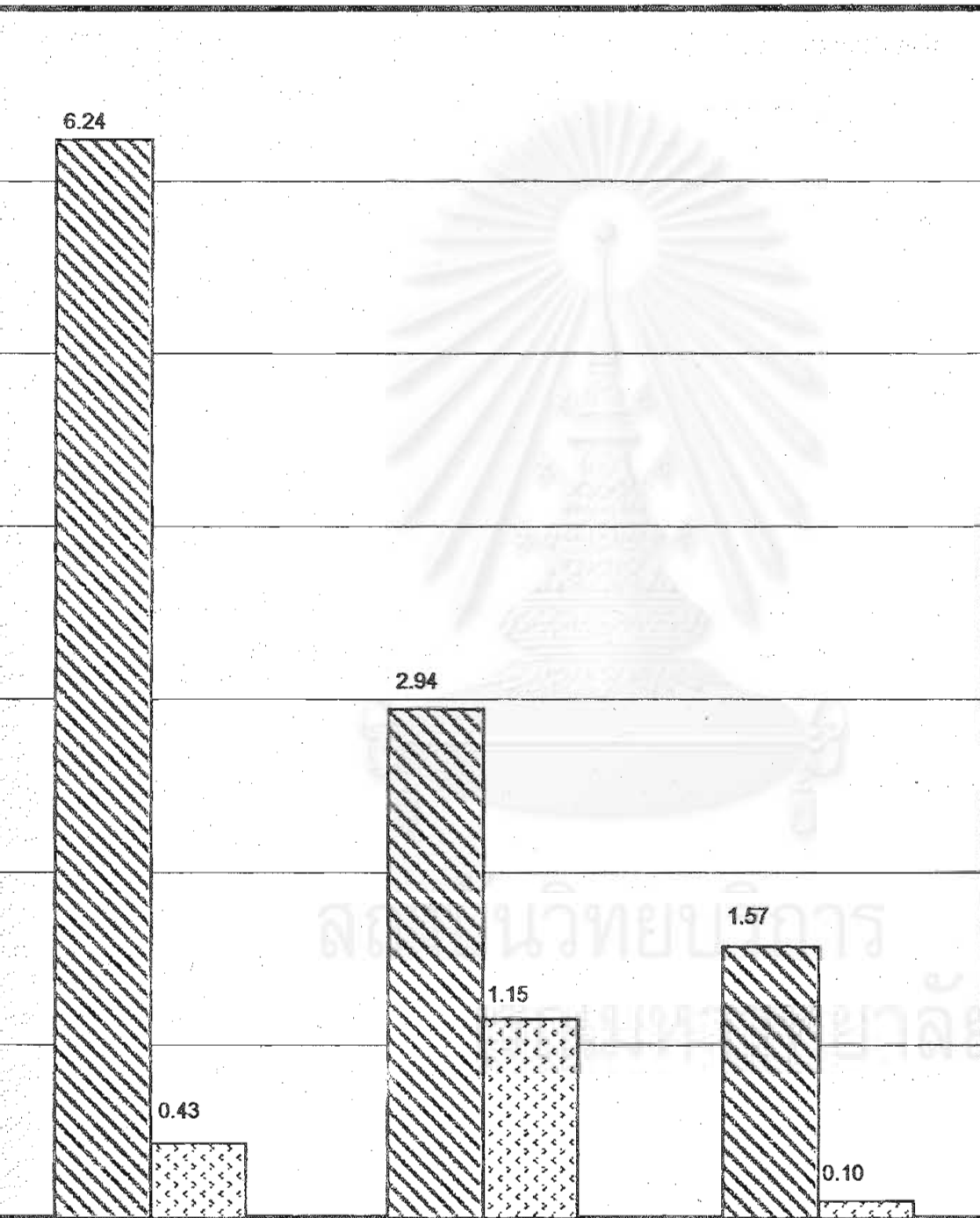
อุณหภูมิท่อเส็กที่ติดตั้ง 29.42°C RH 75.81 %



ความแตกต่างอุณหภูมิออกท่อเส็กกับเข้าท่อใหญ่คือ 2.94°C

ความแตกต่างอุณหภูมิออกท่อเส็กกับอากาศภายนอกคือ 6.24°C

แผนภูมิที่ 4-16 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับ
 อากาศภายนอก อากาศเข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 1300น. และ
 เวลา 05.00น. เมื่อให้น้ำ 30นาทีปิด 30นาที วันที่ 12-13 เมษายน 2546



อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่

อุณหภูมิออกท่อใหญ่

▨ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. ▤ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 05.00น.

การทดลองที่ 1 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 30 นาที

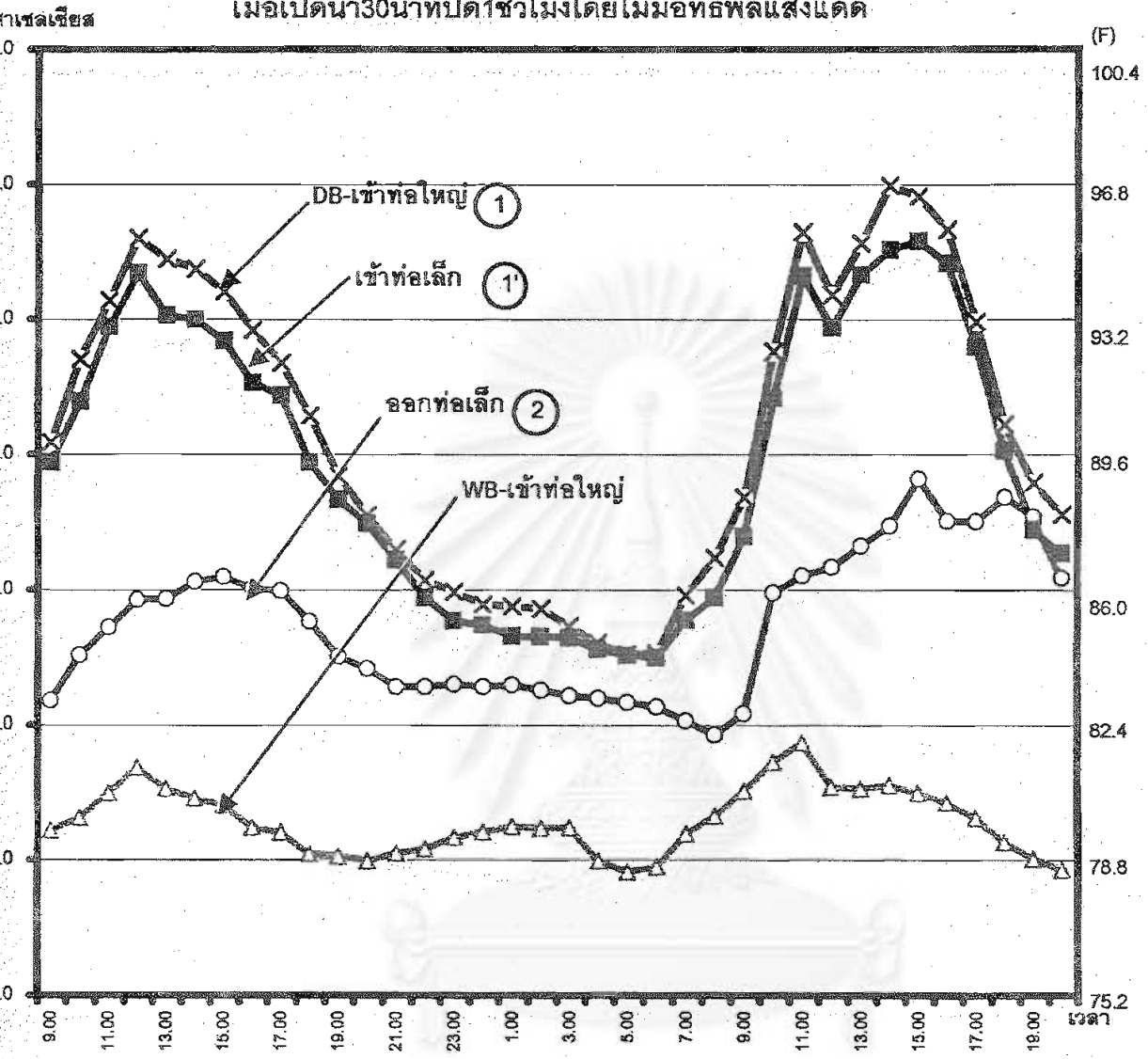
จากการศึกษา พบว่า การให้น้ำแบบนี้สามารถที่จะรักษาอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองให้คงที่ได้ และเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวที่เพียงพอทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง ดังนี้

13.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิห้องเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	6.24
	อุณหภูมิเข้าห้องใหญ่	2.94
	อุณหภูมิออกห้องใหญ่	1.57
05.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิห้องเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	0.43
	อุณหภูมิเข้าห้องใหญ่	1.15
	อุณหภูมิออกห้องใหญ่	0.1

ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากห้องเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า เวลาในช่วงวิกฤต (12.00-15.00น.) ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุดยังคงเป็นเวลาที่เกิดการระเหยของน้ำมากที่สุดเช่นเดิม เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดคือ 5.00 น.พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิออกห้องเล็กกับเข้าห้องใหญ่ในช่วงเวลา 5.00 น.ต่ำกว่า 1.39 องศาเซลเซียส

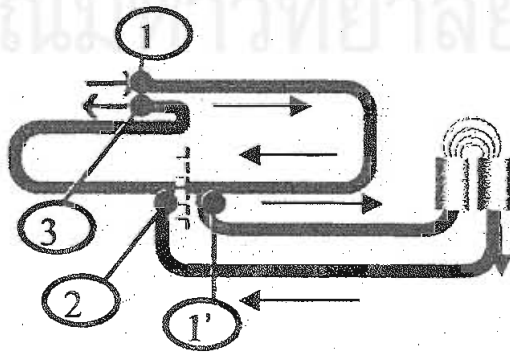
แผนภูมิที่ 4-17 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อน้ำระเหยกับห้องกระจก
เมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมงโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด



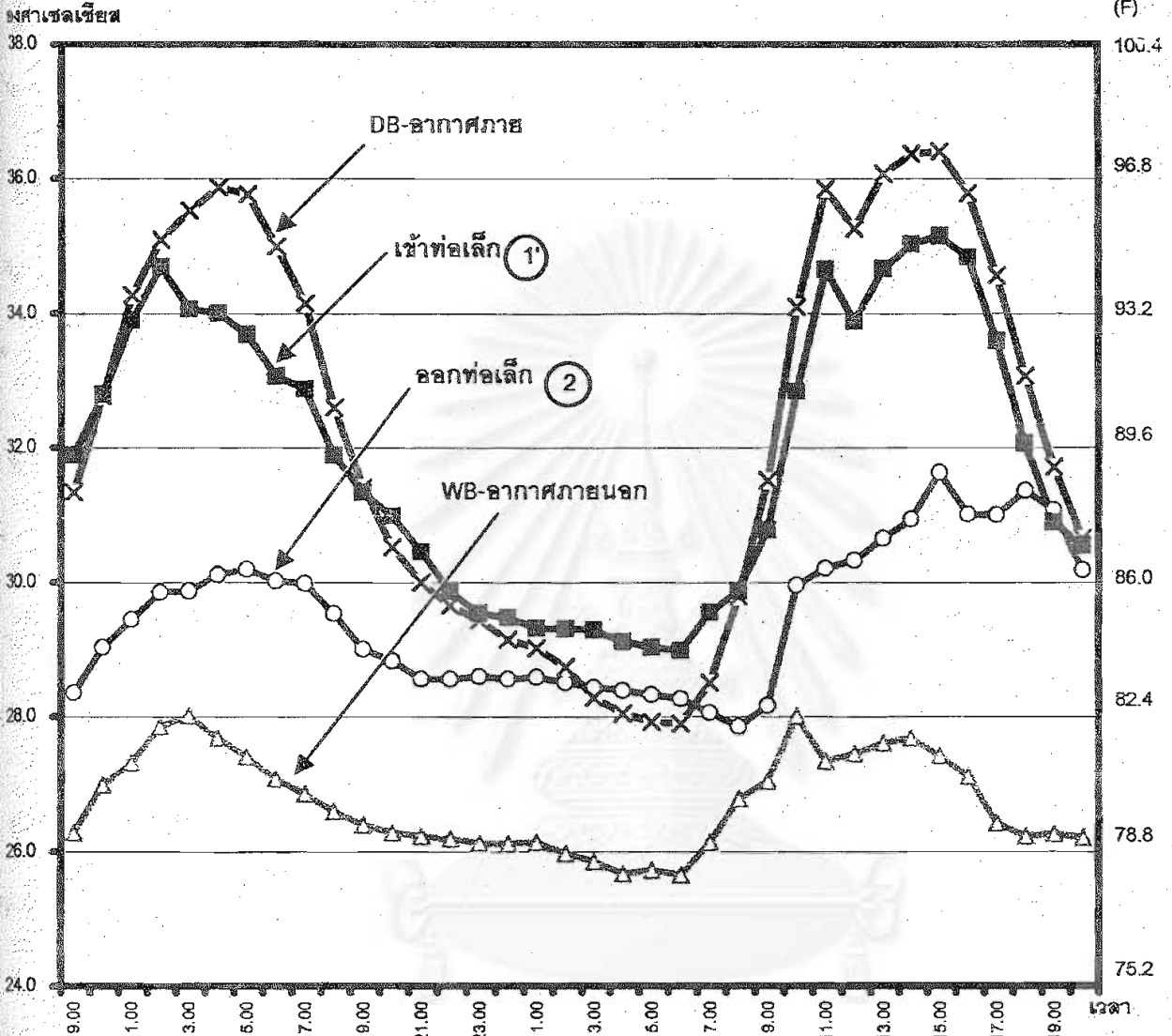
วันที่ 10 เมษายน 2546

วันที่ 11 เมษายน 2546

- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิขเข้าท่อเล็ก

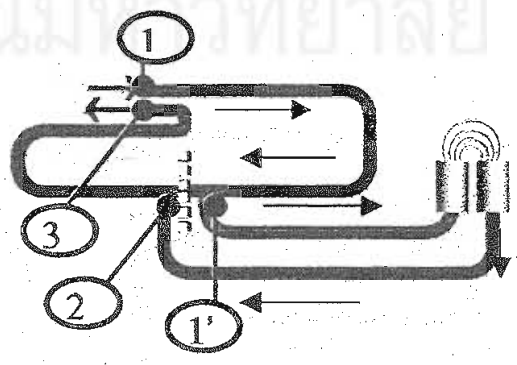


แผนภูมิที่ 4-18 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อน้ำระเหยกับอากาศภายนอก
เมื่อเปิดน้ำ 30 นาที ปิด 1 ชั่วโมง โดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

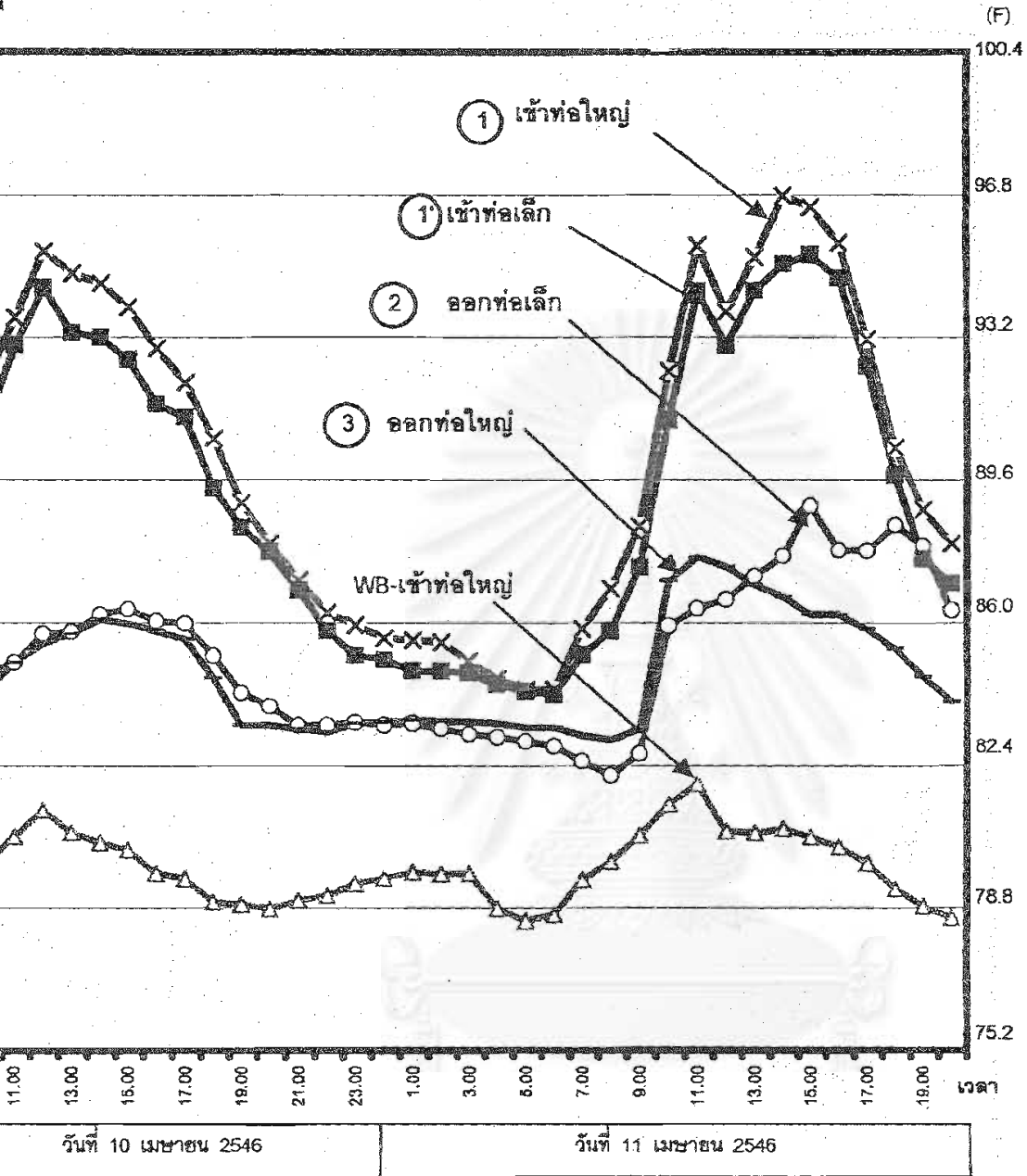


วันที่ 10 เมษายน 2546	วันที่ 11 เมษายน 2546
-----------------------	-----------------------

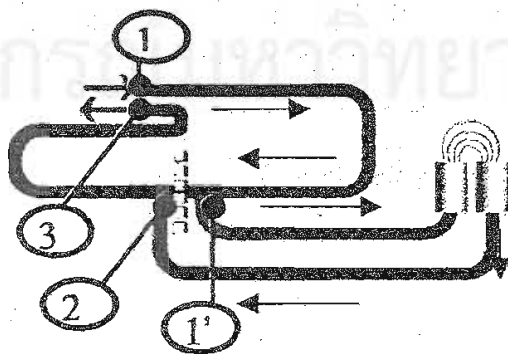
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- X- อุณหภูมิอากาศภายใน
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-19 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อน้ำระเหยกับท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมงโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

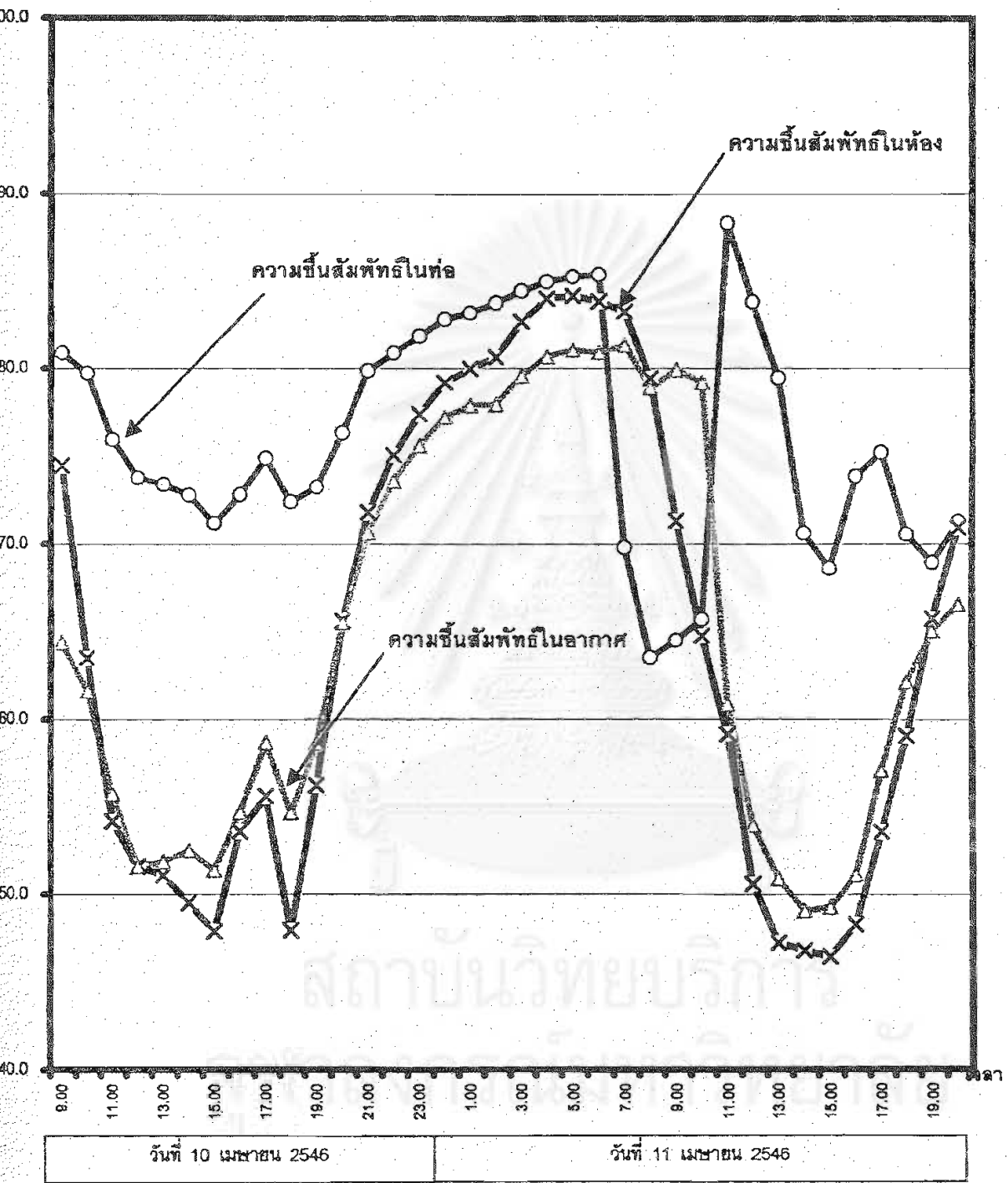


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- ▲ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-20 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่ออากาศเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และห้องกระจกเมื่อเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมง

ไอร์เซนส์



- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อ
- △ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
- × ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องกระจก

สภาพอากาศภายนอกอาคาร

35.52°C RH 51.04 %

WB 28.00°C

สภาพอากาศภายในอาคาร

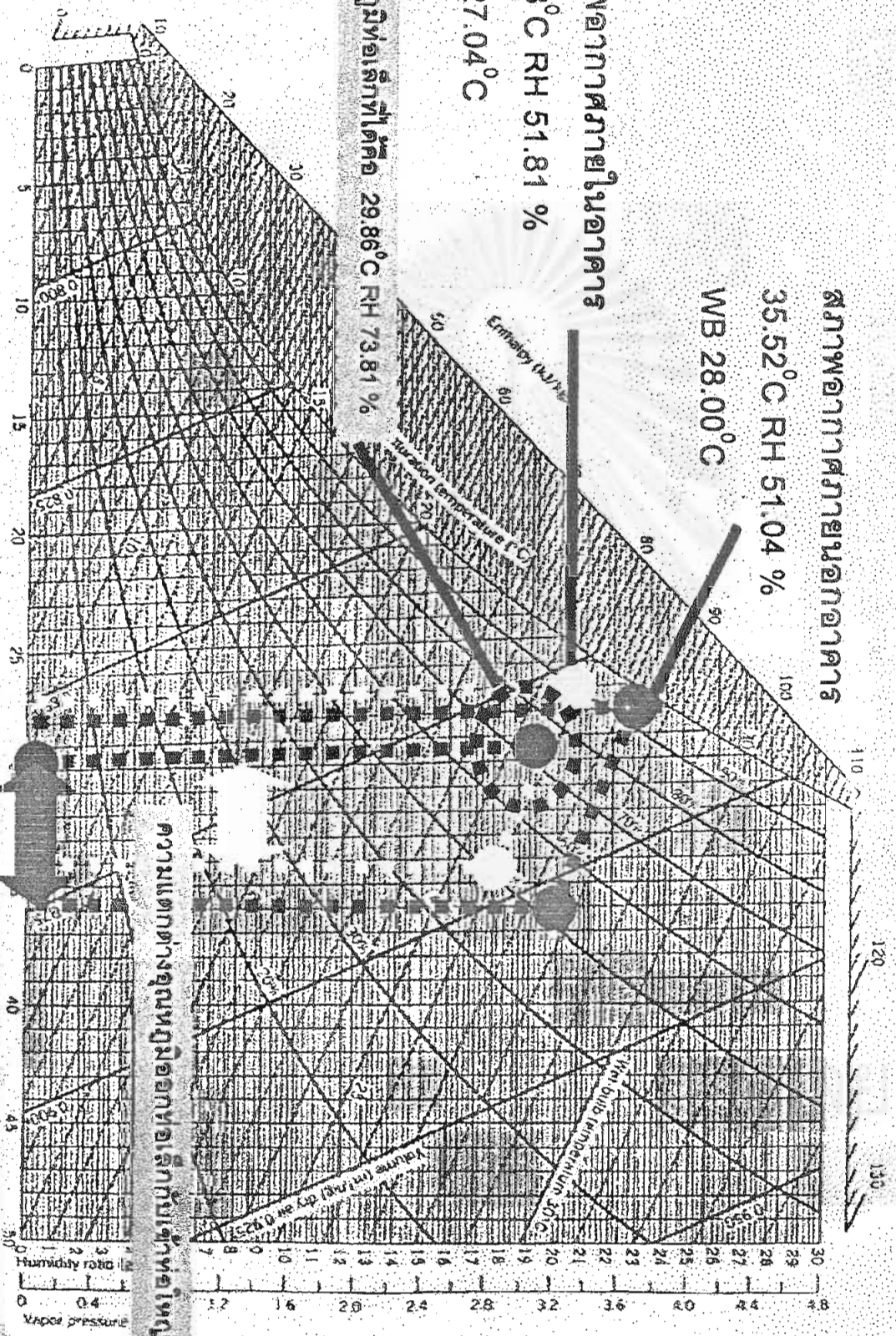
34.88°C RH 51.81 %

WB 27.04°C

อุณหภูมิของอากาศที่ติดตั้ง 29.86°C RH 73.81 %

ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศที่เข้าท่อไอเสียคือ 5.36°C

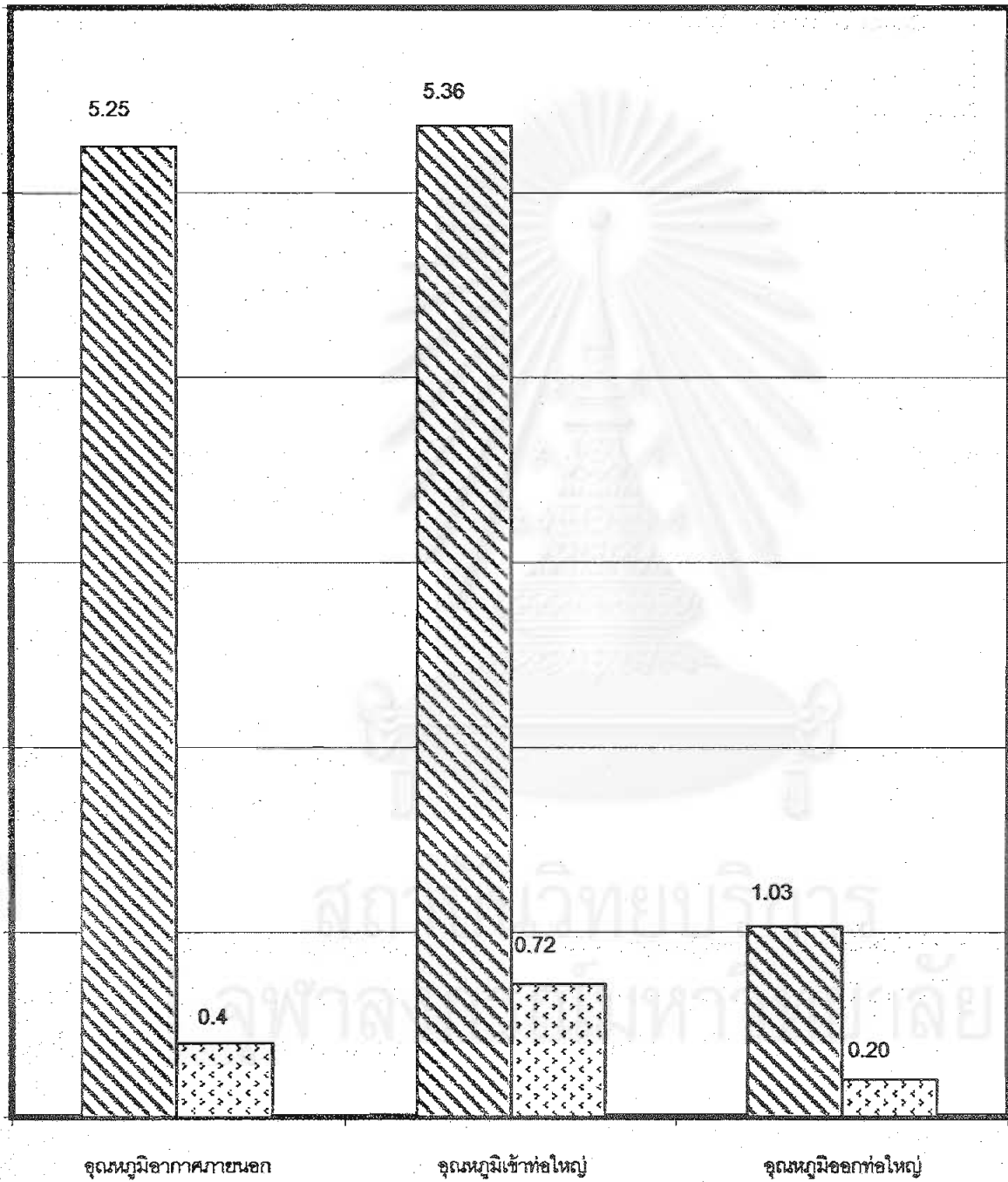
ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศที่เข้ากับอากาศภายนอกคือ 5.25°C



แผนภูมิที่ 4-22 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับอากาศ
ภายนอก อากาศเข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 13.00น. และ 05.00น.

เมื่อให้น้ำ 30 นาที ปิด 1 ชม. วันที่ 10-11 เมษายน 2546

ร้อยละ



▣ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. ▤ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 05.00น.

การทดลองที่ 2 ทดลองให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

จากการศึกษา พบว่า การให้น้ำแบบนี้สามารถที่จะรักษาอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบให้คงที่ได้ และเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวที่เพียงพอทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง ดังนี้

13.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	5.25
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	5.36
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	1.03
05.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	0.4
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.72
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	0.2

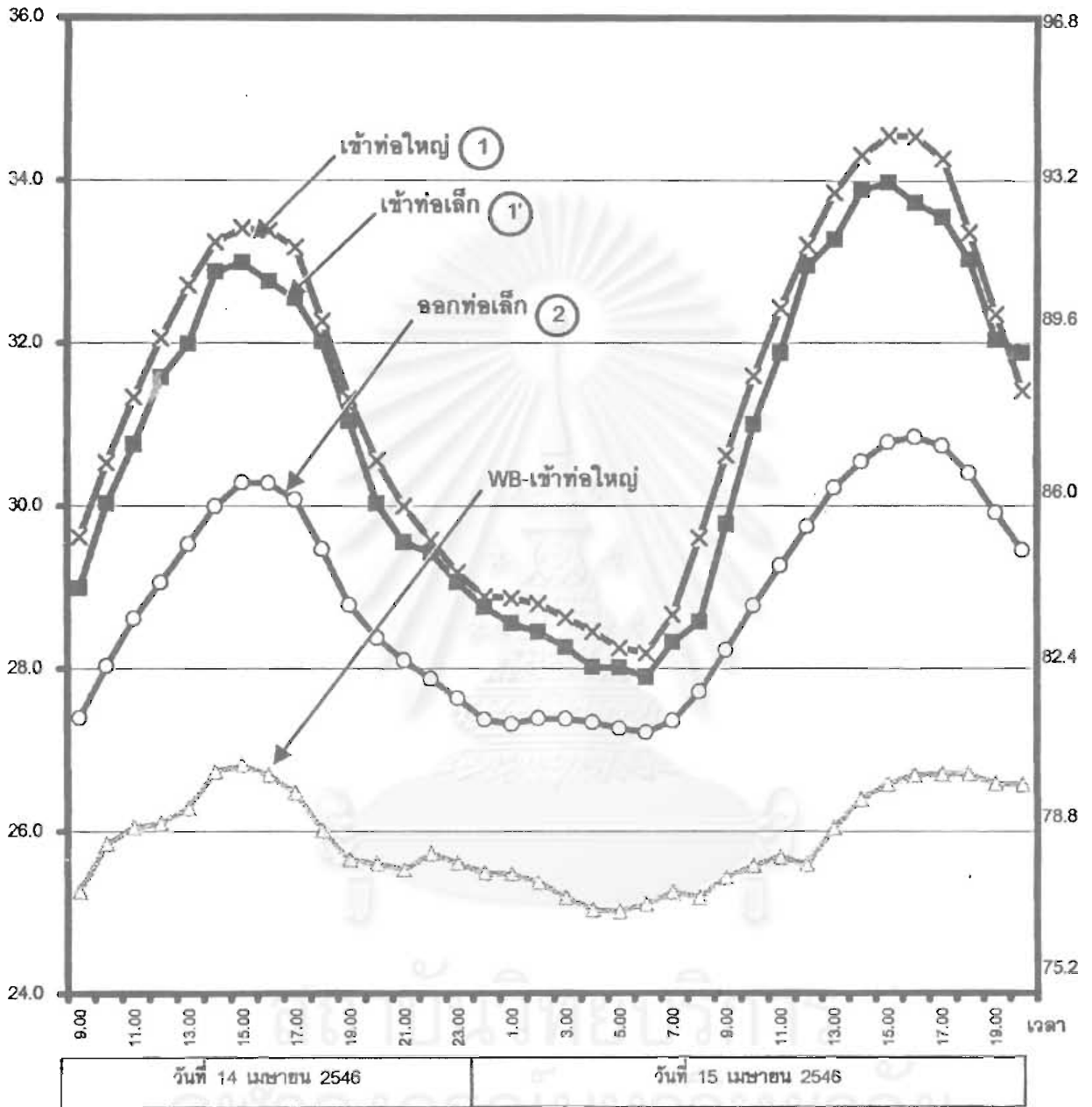
ตารางที่ 4.6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากท่อเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ.เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า เวลาในช่วงวิกฤต (12.00-15.00น.)ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุด ยังคงเป็นเวลาที่เกิดการระเหยของน้ำมากที่สุดเช่นเดิม เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดคือ 5.00 น.พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ในช่วงเวลา 5.00 น.ต่ำกว่า 4.64 องศาเซลเซียส

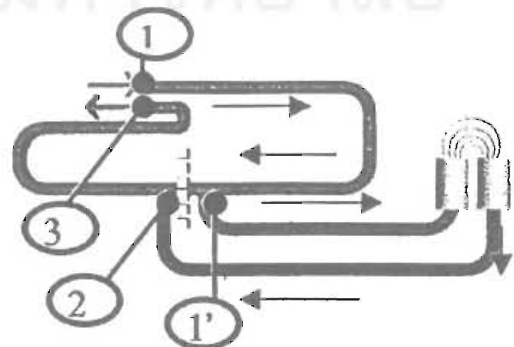
แผนภูมิที่ 4-23 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศเข้าท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำชั่วโมงปิดชั่วโมงโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

องศาเซลเซียส

(F)



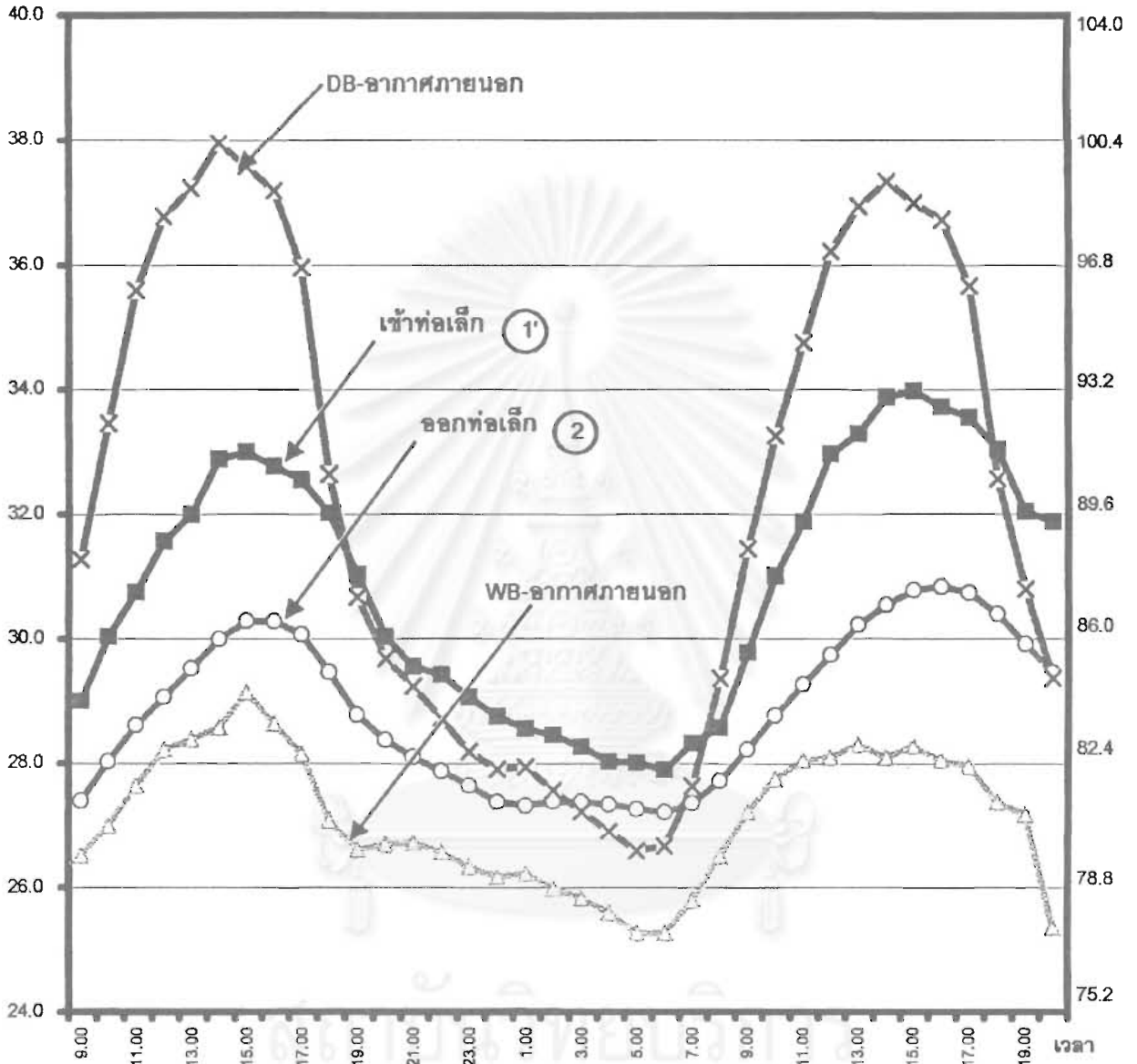
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-24 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอก
เมื่อเปิดน้ำชั่วโมงปิดชั่วโมงโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

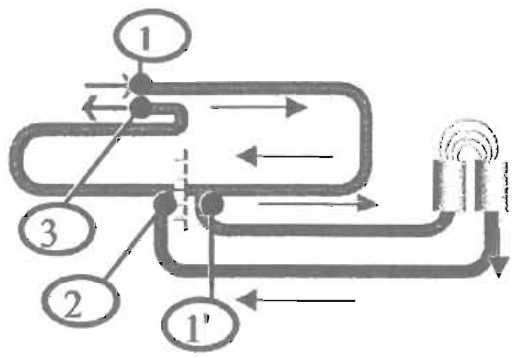
(F)

องศาเซลเซียส



วันที่ 14 เมษายน 2546 วันที่ 15 เมษายน 2546

- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิอากาศภายนอก
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



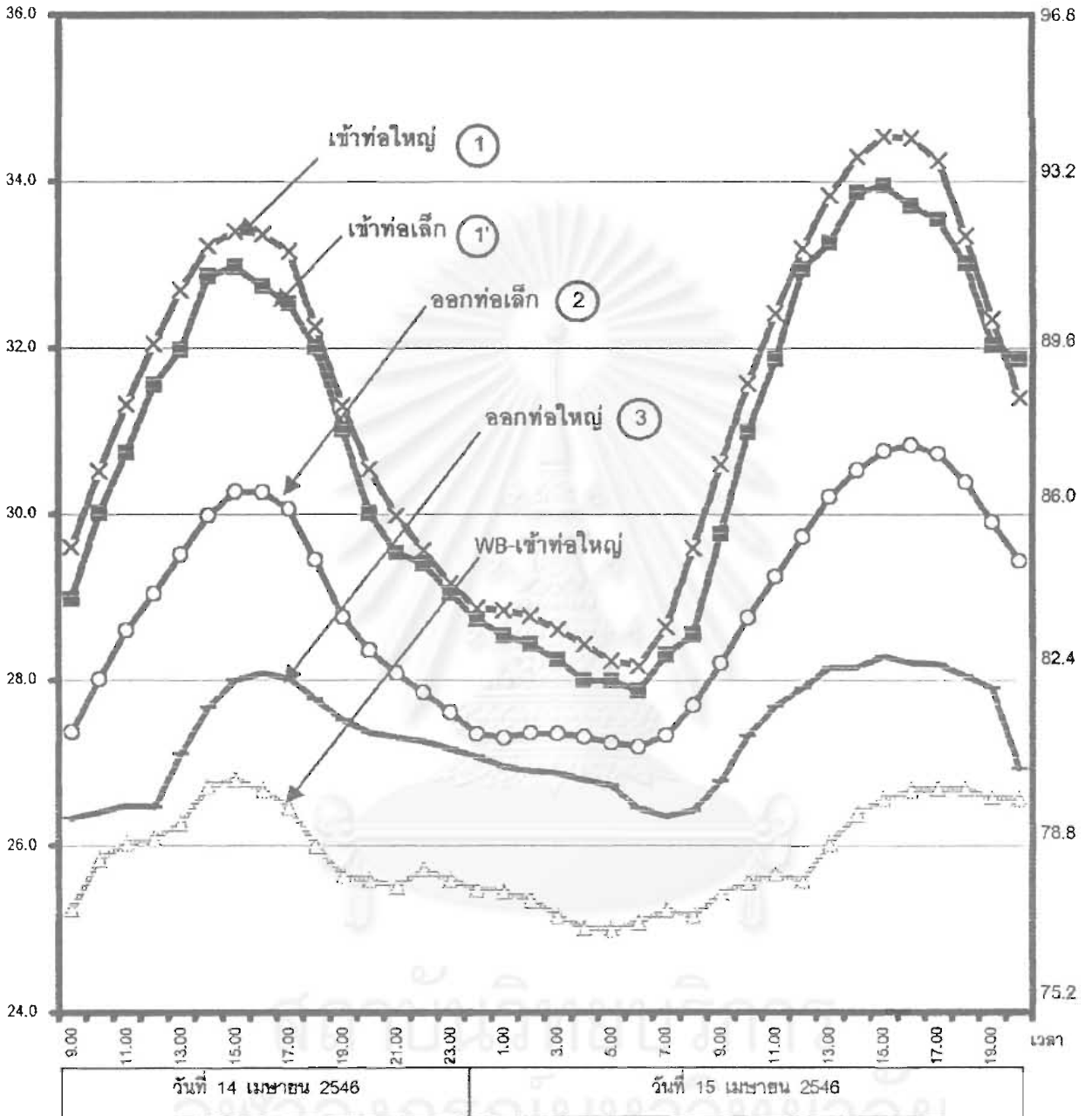
แผนภูมิที่ 4-25 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่

เมื่อเปิดน้ำชั่วโมงปิดชั่วโมงโดยไม่มีอิทธิพลแสงแดด

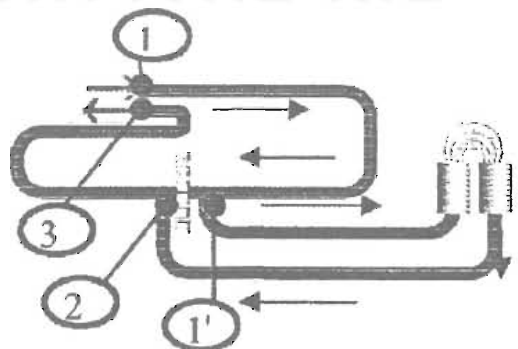
100.4 (F)

องศาเซลเซียส

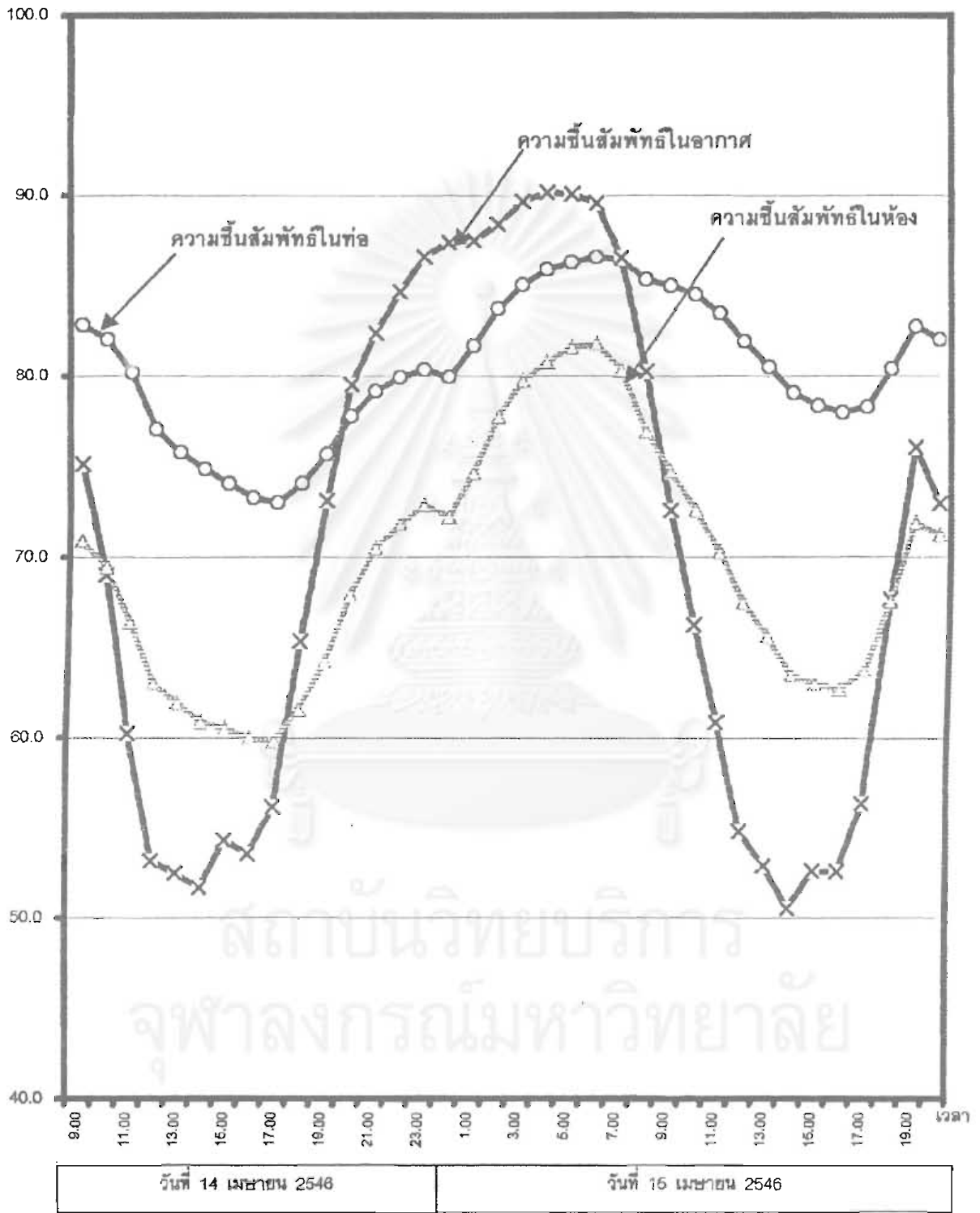
36.0



- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- อุณหภูมิระเปาะเปียง
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-26 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่ออากาศเปรียบเทียบกับ
เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และห้องกระจกเมื่อเปิดน้ำชั่วโมงปิด1ชั่วโมง



- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อ
- × ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
- △ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องกระจก

สภาพอากาศภายนอกอาคาร

37.22°C RH 52.49 %

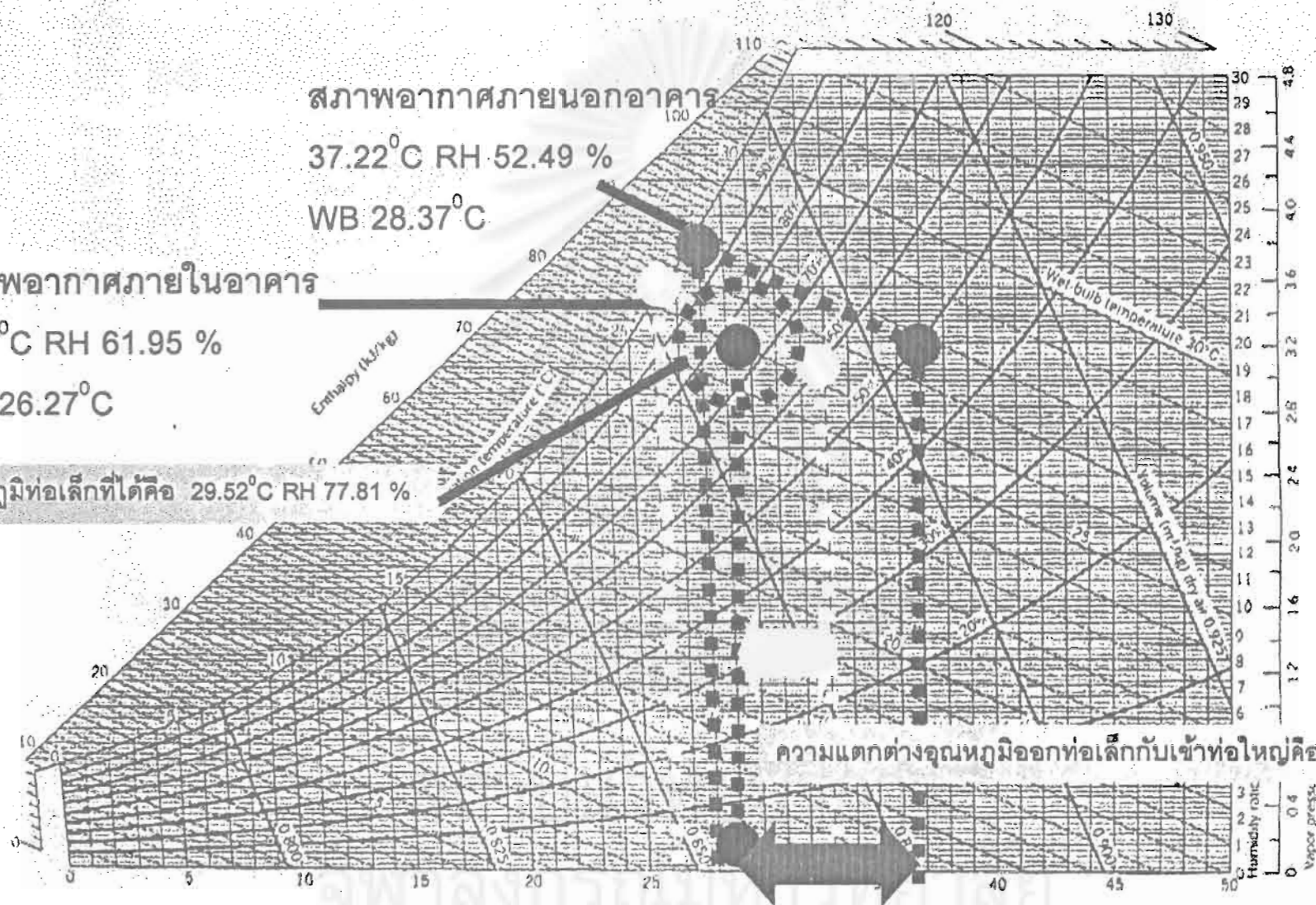
WB 28.37°C

สภาพอากาศภายในอาคาร

32.7°C RH 61.95 %

WB 26.27°C

อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่ได้คือ 29.52°C RH 77.81 %



ความแตกต่างอุณหภูมิออกห้องเล็กกับเข้าห้องใหญ่คือ 3.18°C

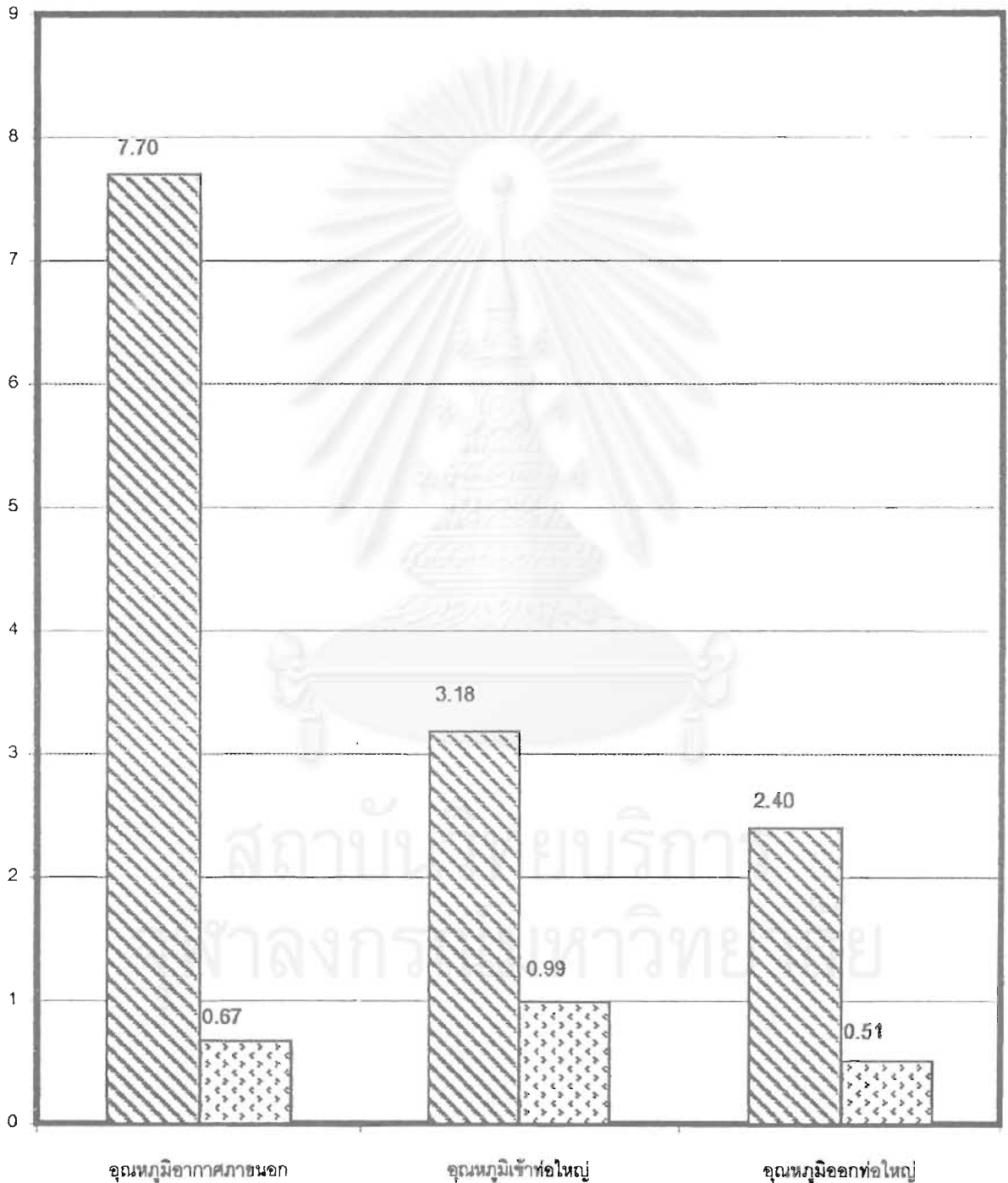
ความแตกต่างอุณหภูมิออกห้องเล็กกับอากาศภายนอกคือ 7.7 °C

แผนภูมิที่ 4-27 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศเข้าห้องใหญ่ และอุณหภูมิอากาศออกห้องเล็กบนแผนภูมิไซโครเมตริก

เมื่อเปิดแอร์ 1 ชั่วโมง เมื่อปิดแอร์ 1 ชั่วโมง

แผนภูมิที่ 4-28 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับ
อากาศภายนอก เข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 13.00น. และ 05.00น.
เมื่อให้น้ำ 1ชม.ปิด 1ชม. วันที่ 14-15 เมษายน 2546

องศาเซลเซียส



▨ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. ▤ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 05.00น.

การทดลองที่ 3 ทดลองให้น้ำ 1 ชั่วโมง ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง

จากการศึกษา พบว่า การให้น้ำแบบนี้สามารถที่จะรักษาอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบให้คงที่ได้ และเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวที่เพียงพอทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง ดังนี้

13.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิห้องเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	7.7
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	3.18
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	2.4
05.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิห้องเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	0.67
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.99
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	0.51

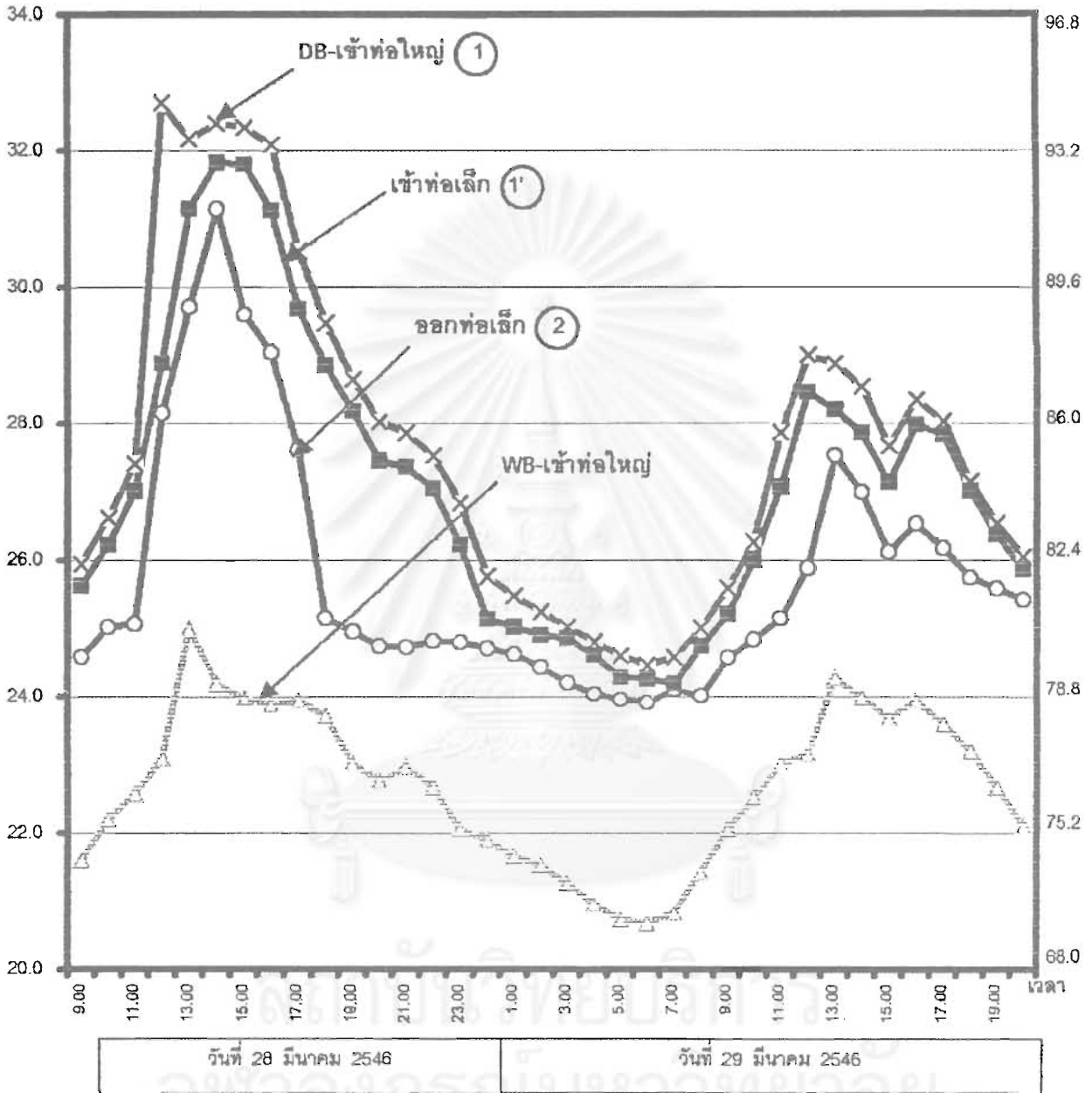
ตารางที่ 4.7 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากท่อเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ.เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า เวลาในช่วงวิกฤต (12.00-15.00น.)ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุด ยังคงเป็นเวลาที่เกิดการระเหยของน้ำมากที่สุดเช่นเดิม เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดคือ 5.00 น.พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ในช่วงเวลา 5.00 น.ต่ำกว่า 2.19องศาเซลเซียส

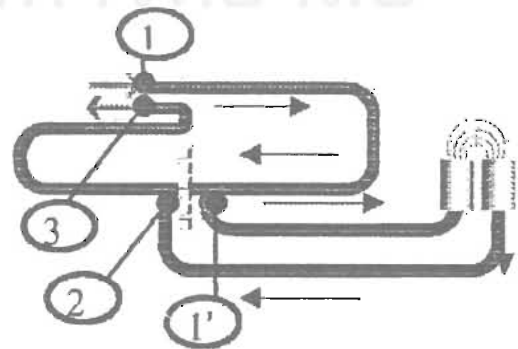
แผนภูมิที่ 4-29 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อใหญ่
เมื่อเปิดน้ำตลอดเวลา

องศาเซลเซียส

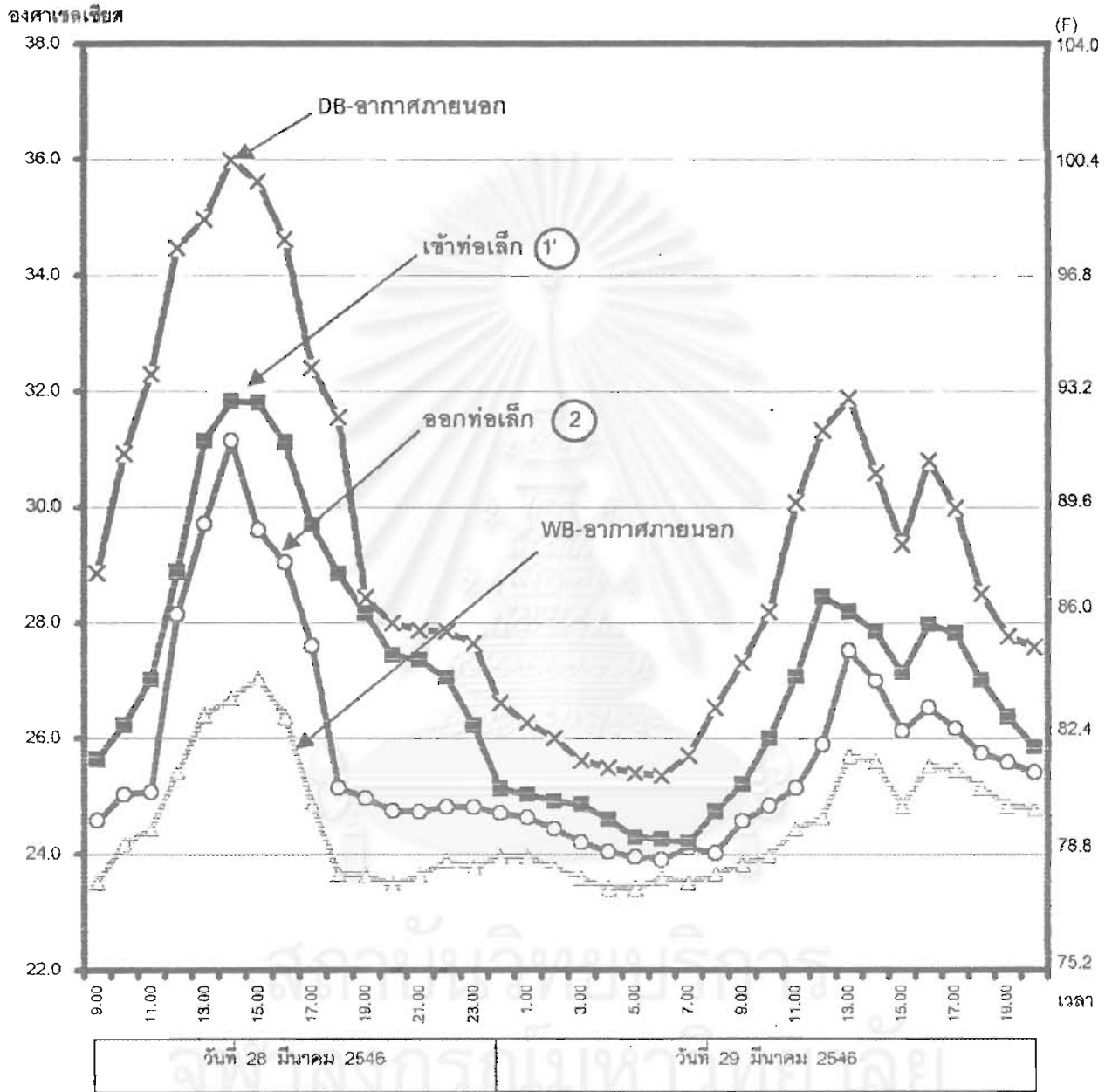
(F)



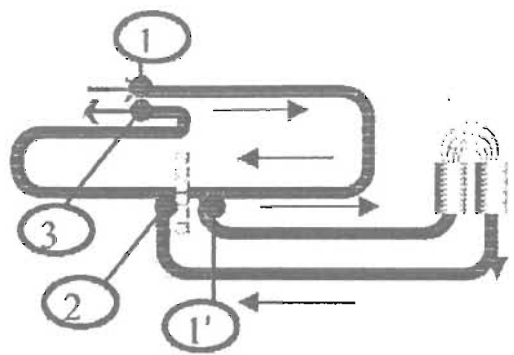
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-30 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอากาศภายนอก เมื่อเปิดตลอดเวลา

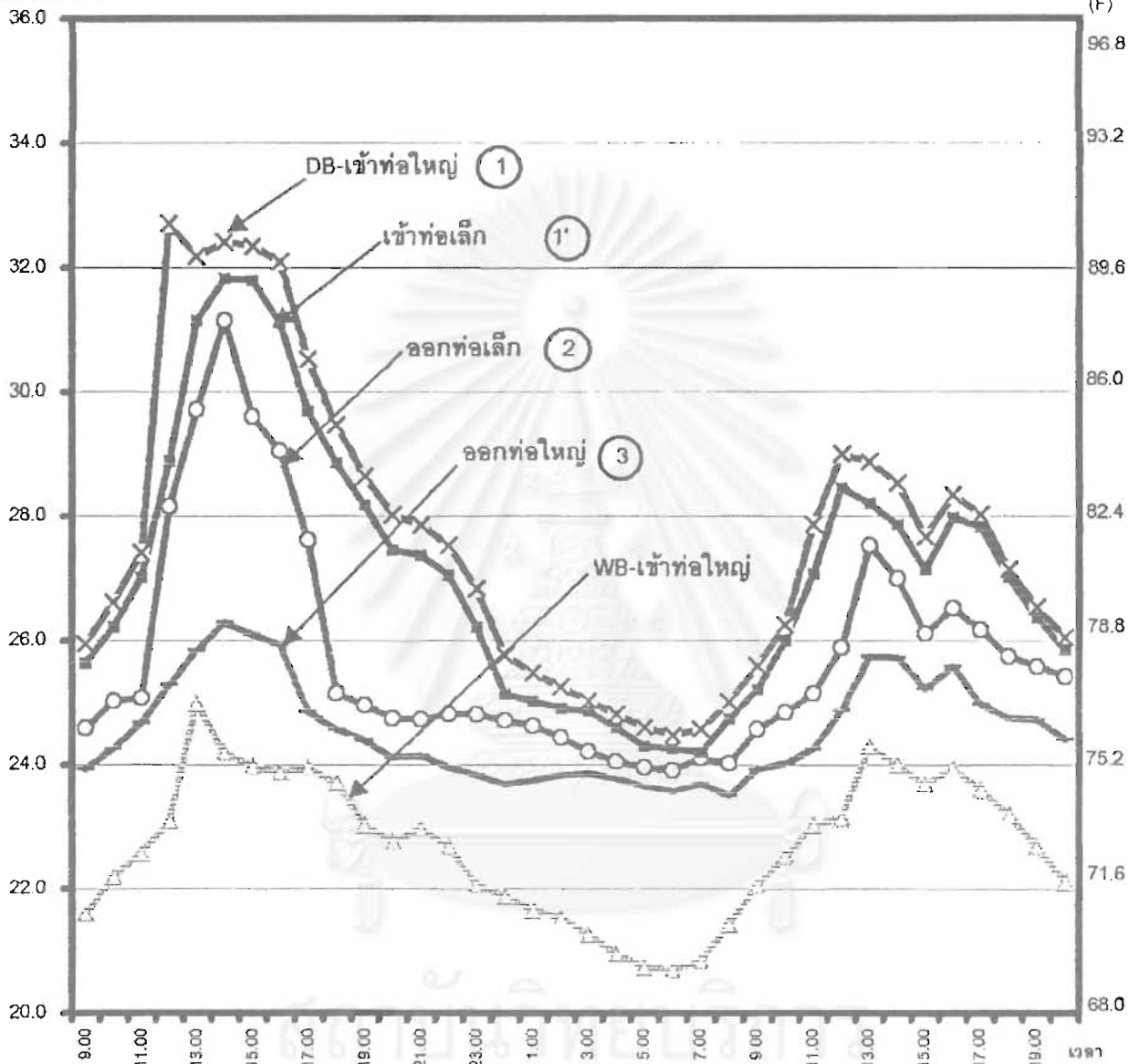


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิอากาศ
- △ อุณหภูมิกะเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



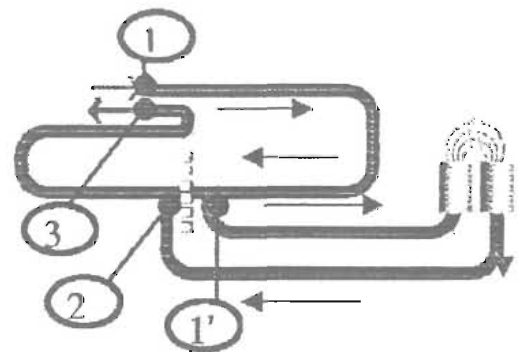
แผนภูมิที่ 4-31 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่ เมื่อเปิดน้ำตลอดเวลา

องศาเซลเซียส



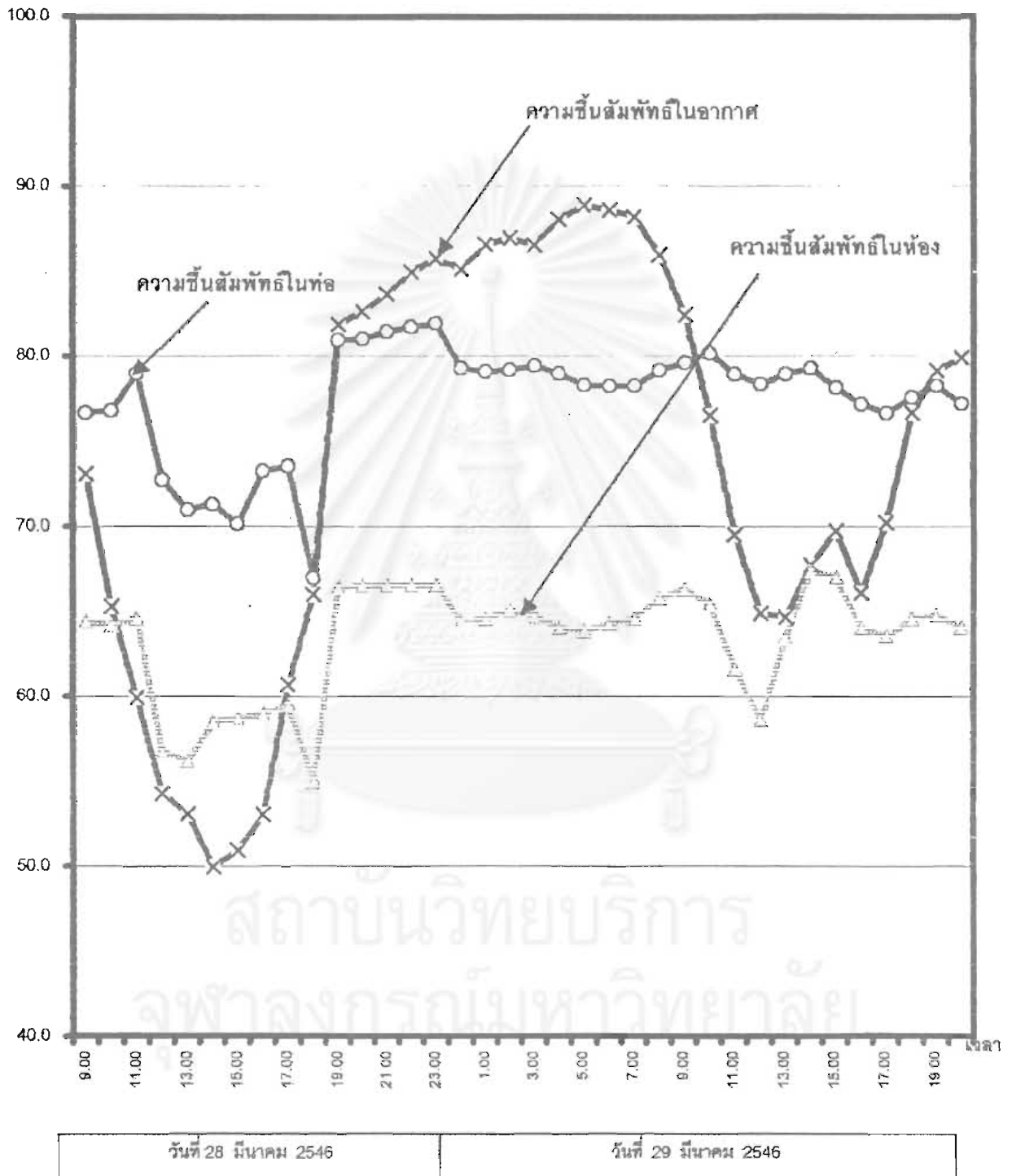
วันที่ 28 มีนาคม 2546 วันที่ 29 มีนาคม 2546

- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- (dashed) อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- (solid) อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- (thick solid) อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-32 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อเล็กเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และห้องกระจกเมื่อเปิดน้ำ

เปอร์เซ็นต์



สภาพอากาศภายนอกอาคาร

34.97°C RH 53.05 %

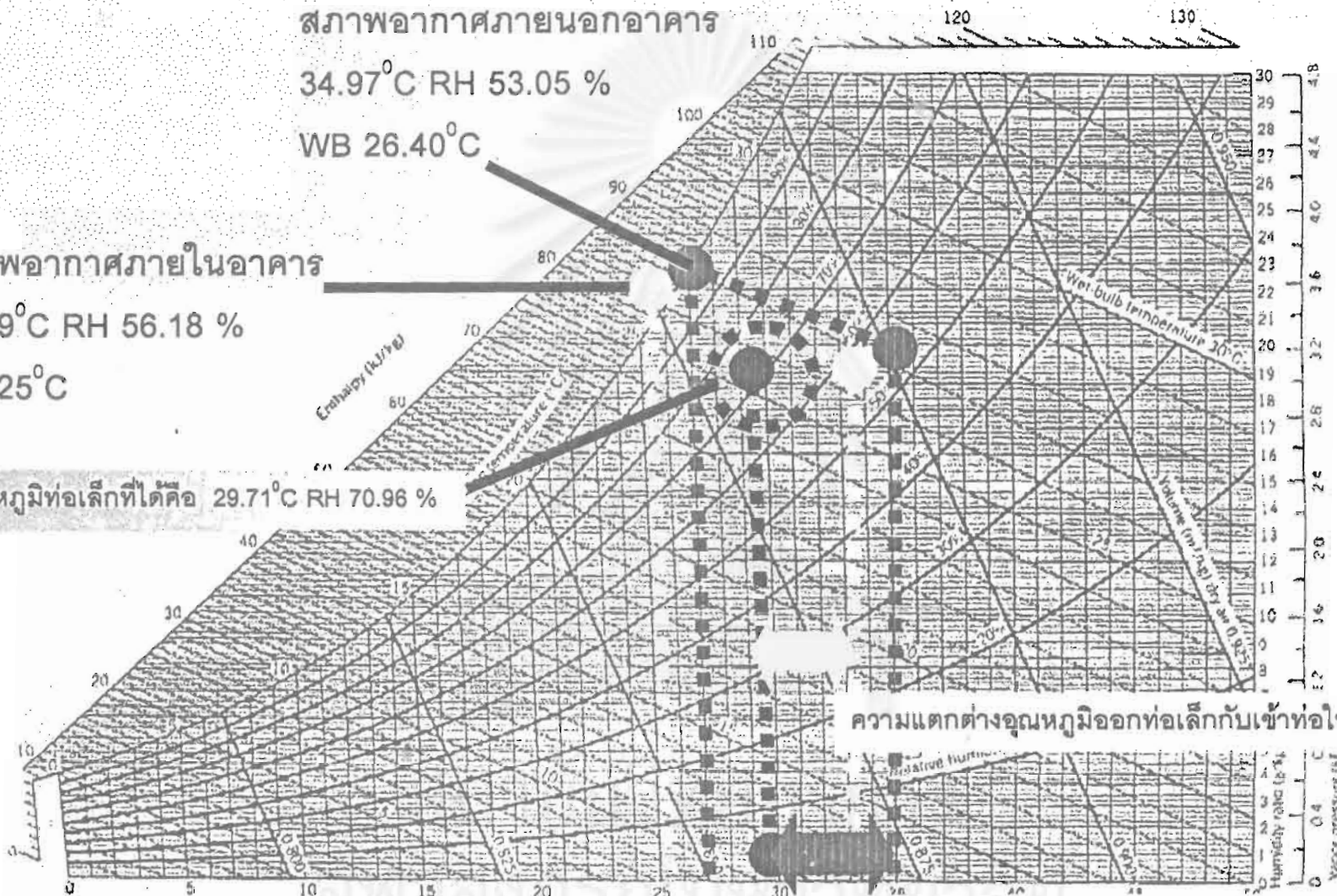
WB 26.40°C

สภาพอากาศภายในอาคาร

32.19°C RH 56.18 %

WB 25°C

อุณหภูมิที่ออกที่เล็กคือ 29.71°C RH 70.96 %



ความแตกต่างอุณหภูมิออกที่เล็กกับเข้าที่ใหญ่คือ 2.47 °C

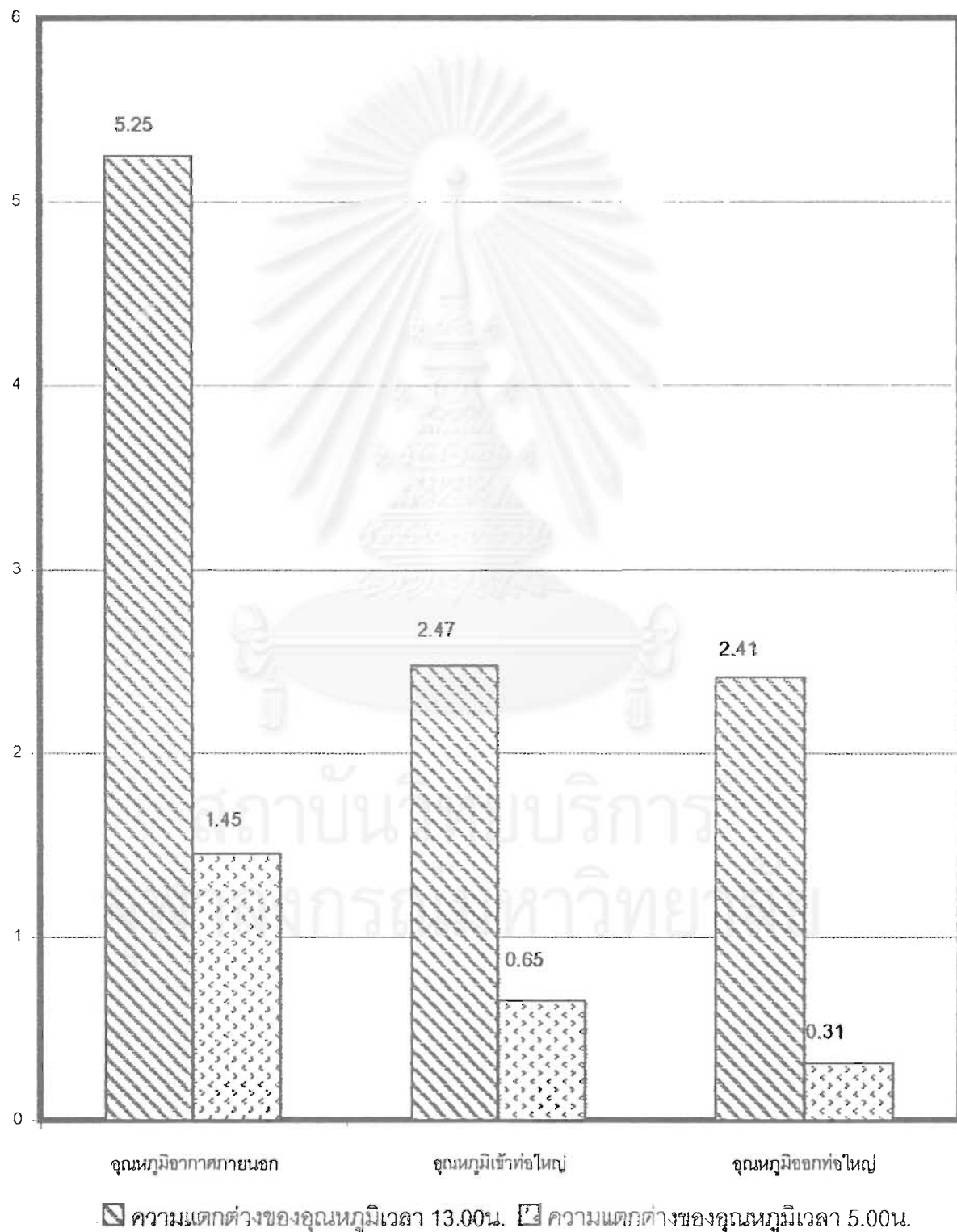
ความแตกต่างอุณหภูมิออกที่เล็กกับอากาศภายนอกคือ 5.25 °C

แผนภูมิที่ 4-33 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศเข้าที่ใหญ่/ และอุณหภูมิอากาศออกที่เล็กบนแผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิที่ 4-34 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับ
อากาศภายนอก อากาศเข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 13.00น.และ

องศาเซลเซียส

05.00น. เมื่อให้น้ำตลอดทั้งวันทั้งคืน วันที่ 28-29 เมษายน 2546



การทดลองที่ 4 ทดลองให้น้ำตลอดเวลา

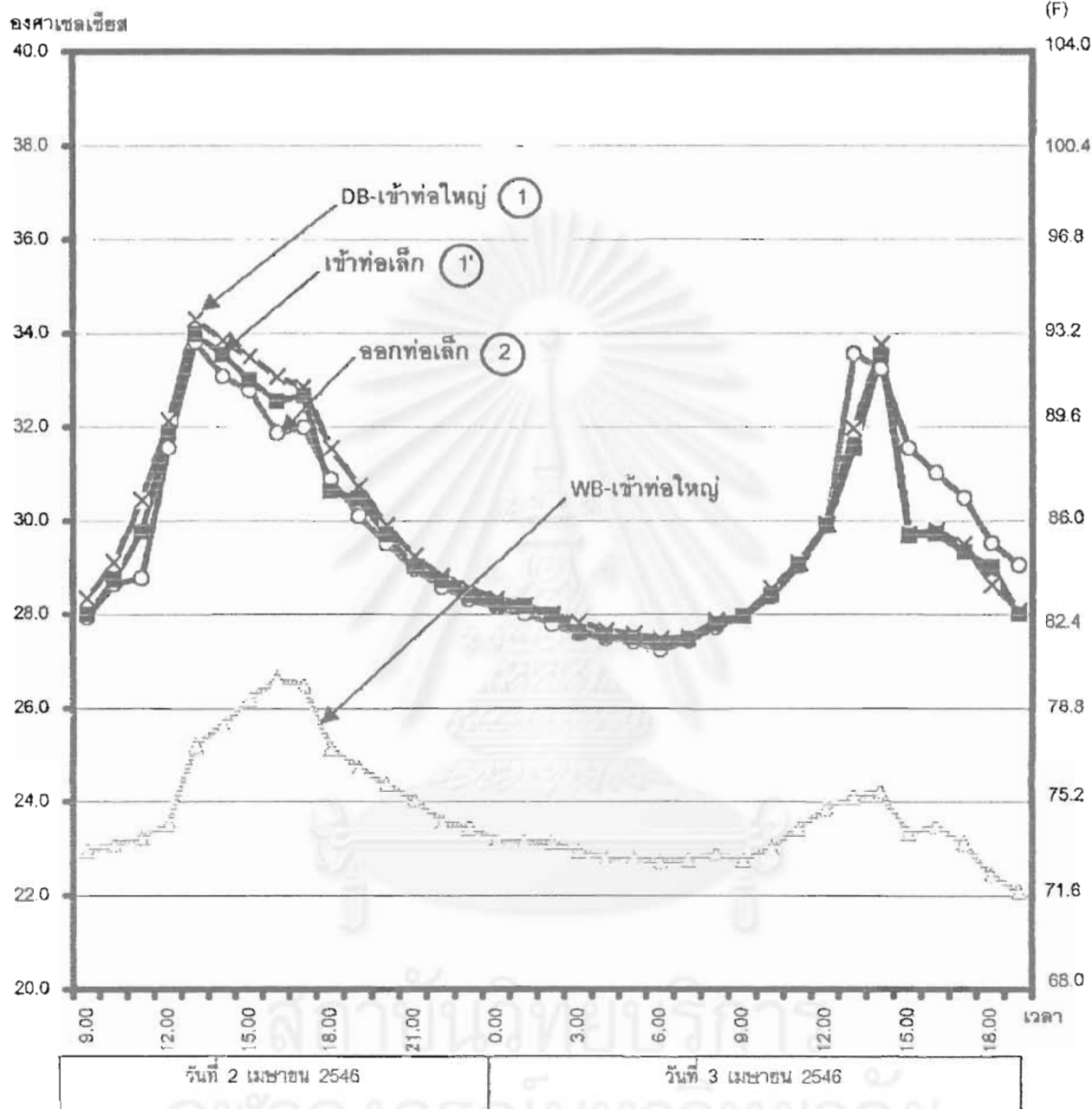
จากการศึกษา พบว่า การให้น้ำแบบนี้สามารถที่จะรักษาอุณหภูมิอากาศภายในท่อทดสอบให้คงที่ได้ และเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวที่เพียงพอทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง ดังนี้

13.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	5.25
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	2.47
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	2.41
05.00น.		ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)
	อุณหภูมิอากาศ	1.45
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.65
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	0.31

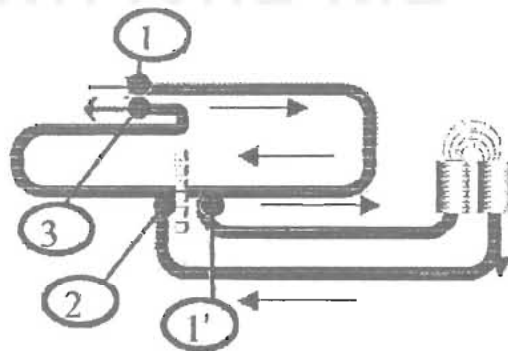
ตารางที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากท่อเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ.เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า เวลาในช่วงวิกฤต (12.00-15.00น.)ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุด ยังคงเป็นเวลาที่เกิดการระเหยของน้ำมากที่สุดเช่นเดิม เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดคือ 5.00 น.พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ในช่วงเวลา 5.00 น.ต่ำกว่า 1.82 องศาเซลเซียส

แผนภูมิที่ 4-35 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อใหญ่
เมื่อไม่ให้น้ำโดยไม่มีอิทธิพลของแสงแดด



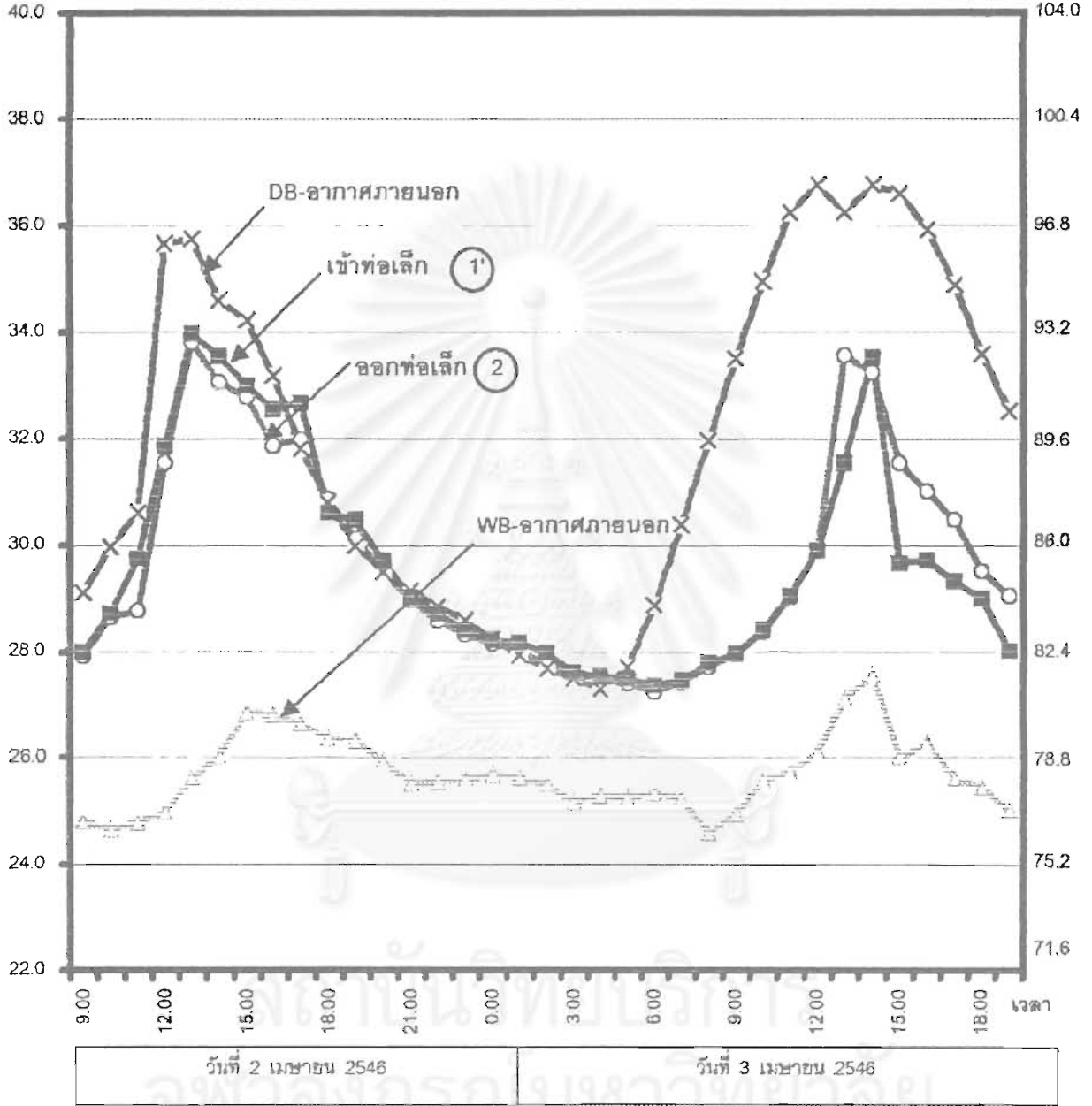
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- ×— อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



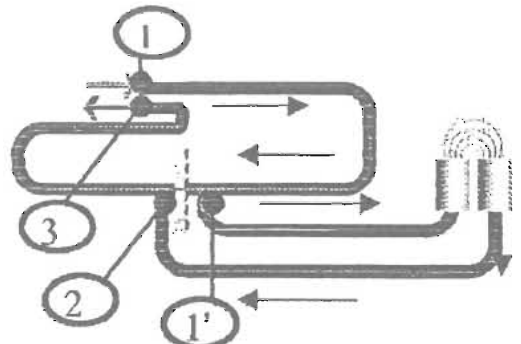
แผนภูมิที่ 4-36 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับอุณหภูมิอากาศภายนอก
เมื่อไม่ให้น้ำโดยไม่มีอิทธิพลของแสงแดด

องศาเซลเซียส

(F)



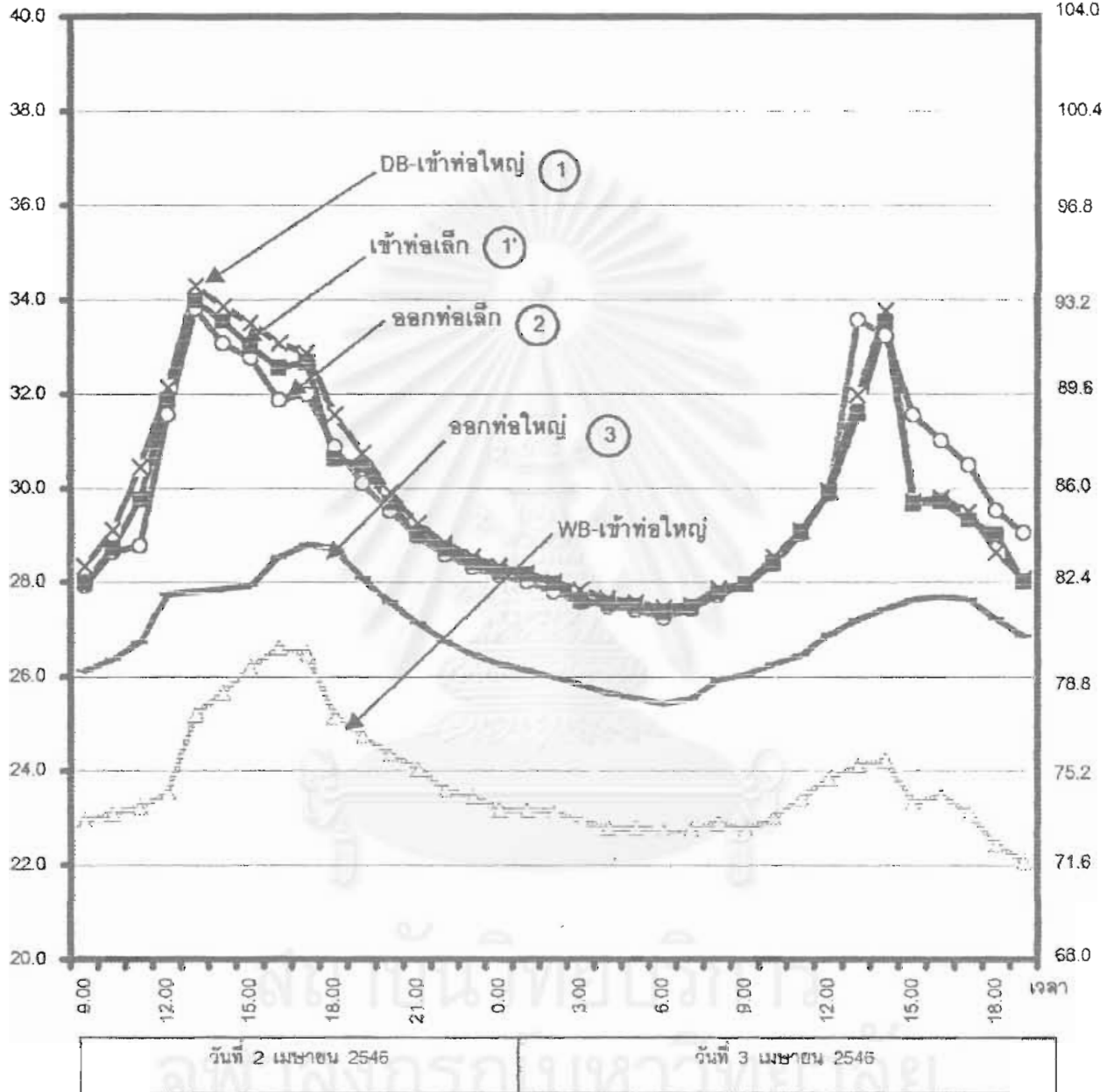
- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- × อากาศภายนอก
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



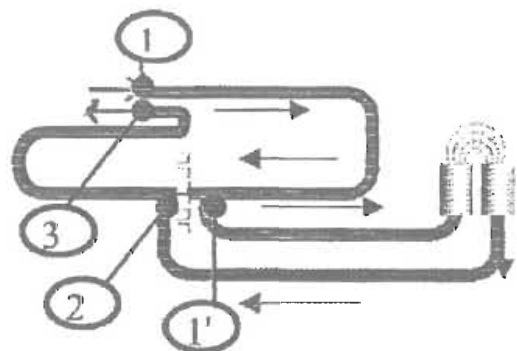
แผนภูมิที่ 4-37 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากท่อเล็กกับท่อใหญ่
เมื่อไม่ให้น้ำโดยไม่มีอิทธิพลของแสงแดด

องศาเซลเซียส

(F)

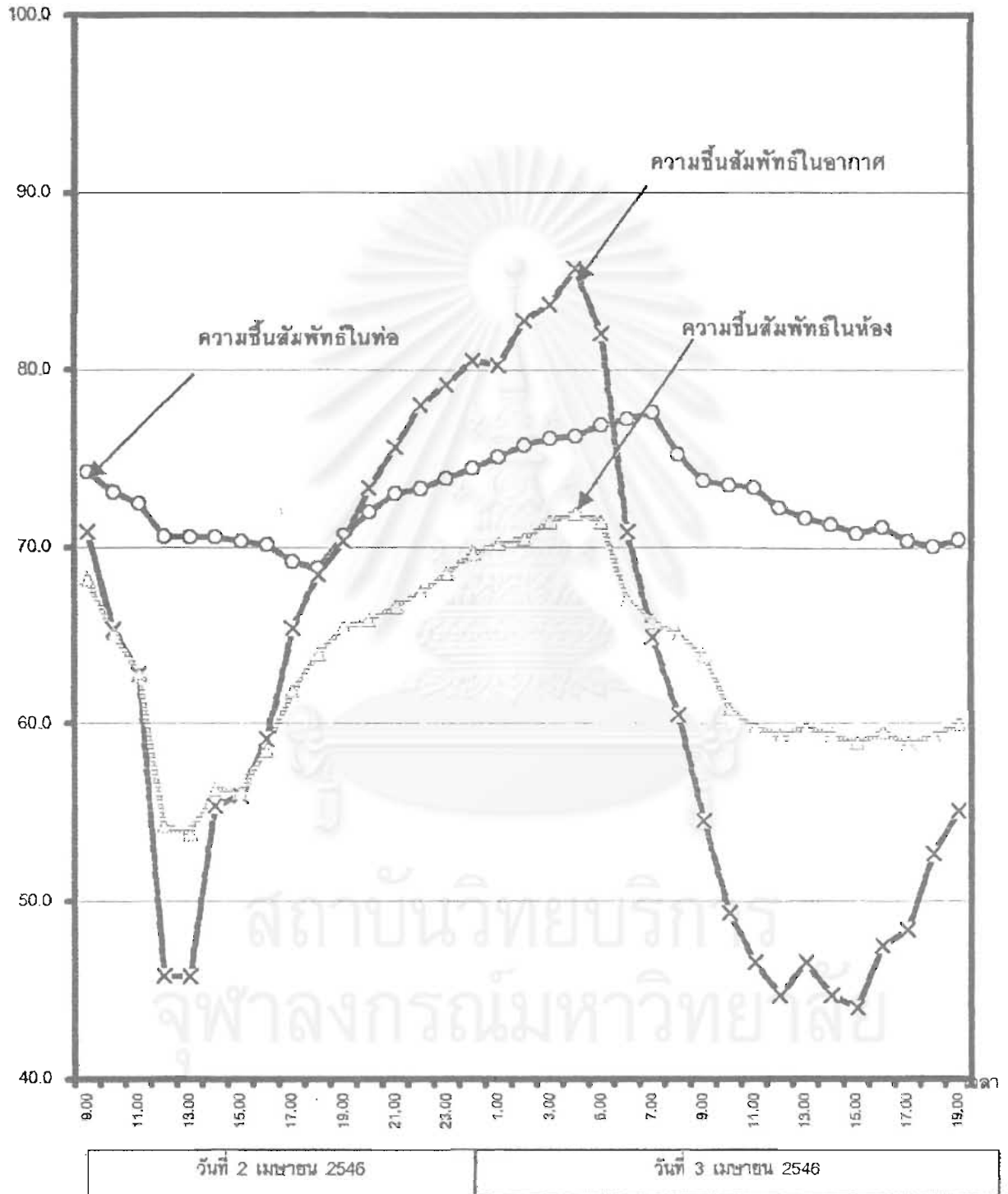


- อุณหภูมิออกท่อเล็ก
- ×— อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่
- △— อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิออกท่อใหญ่
- อุณหภูมิเข้าท่อเล็ก



แผนภูมิที่ 4-38 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อเล็กเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และห้องกระจกเมื่อไม่ให้น้ำ

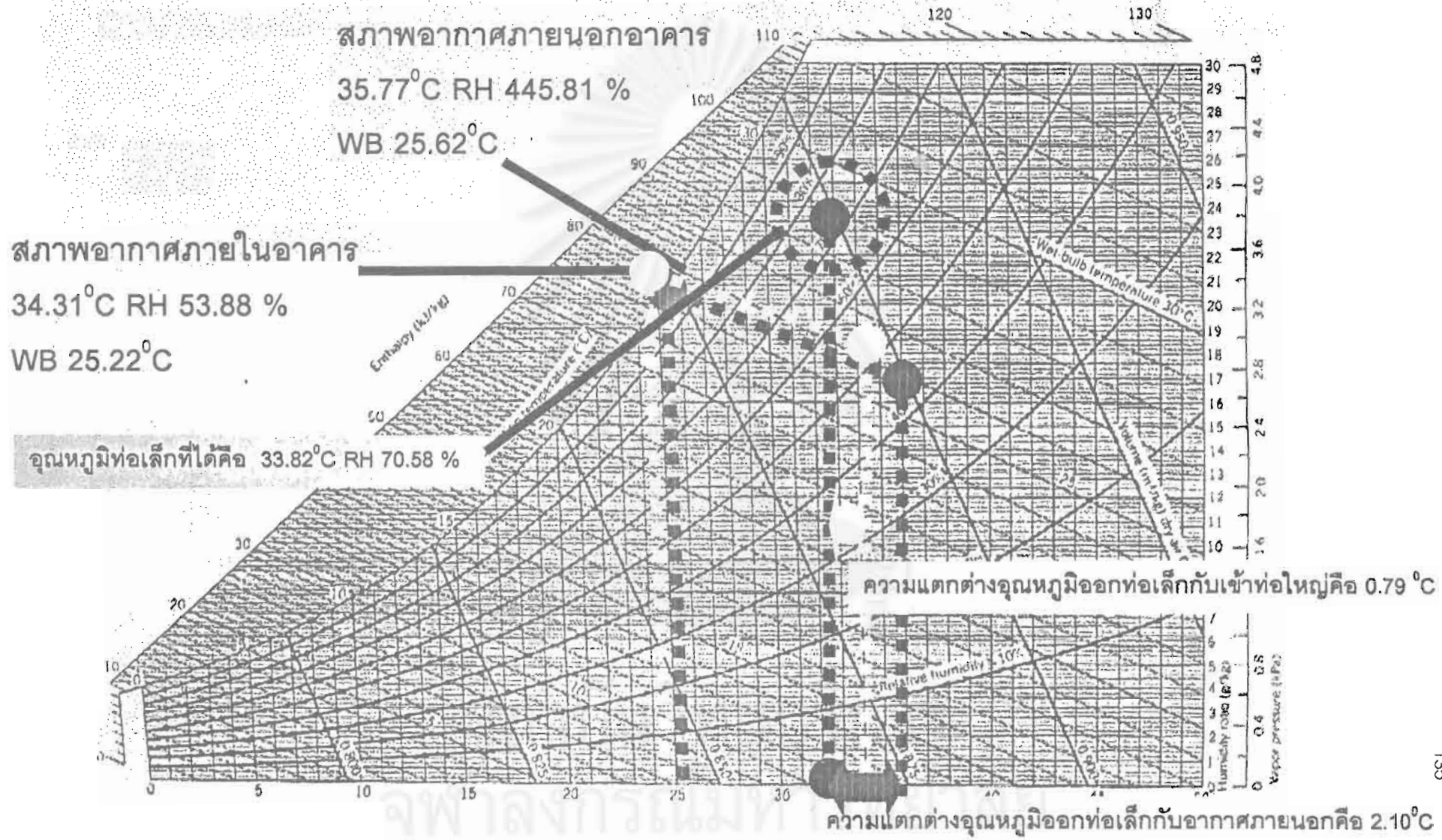
เปอร์เซ็นต์



—○— ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในท่อ

—x— ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

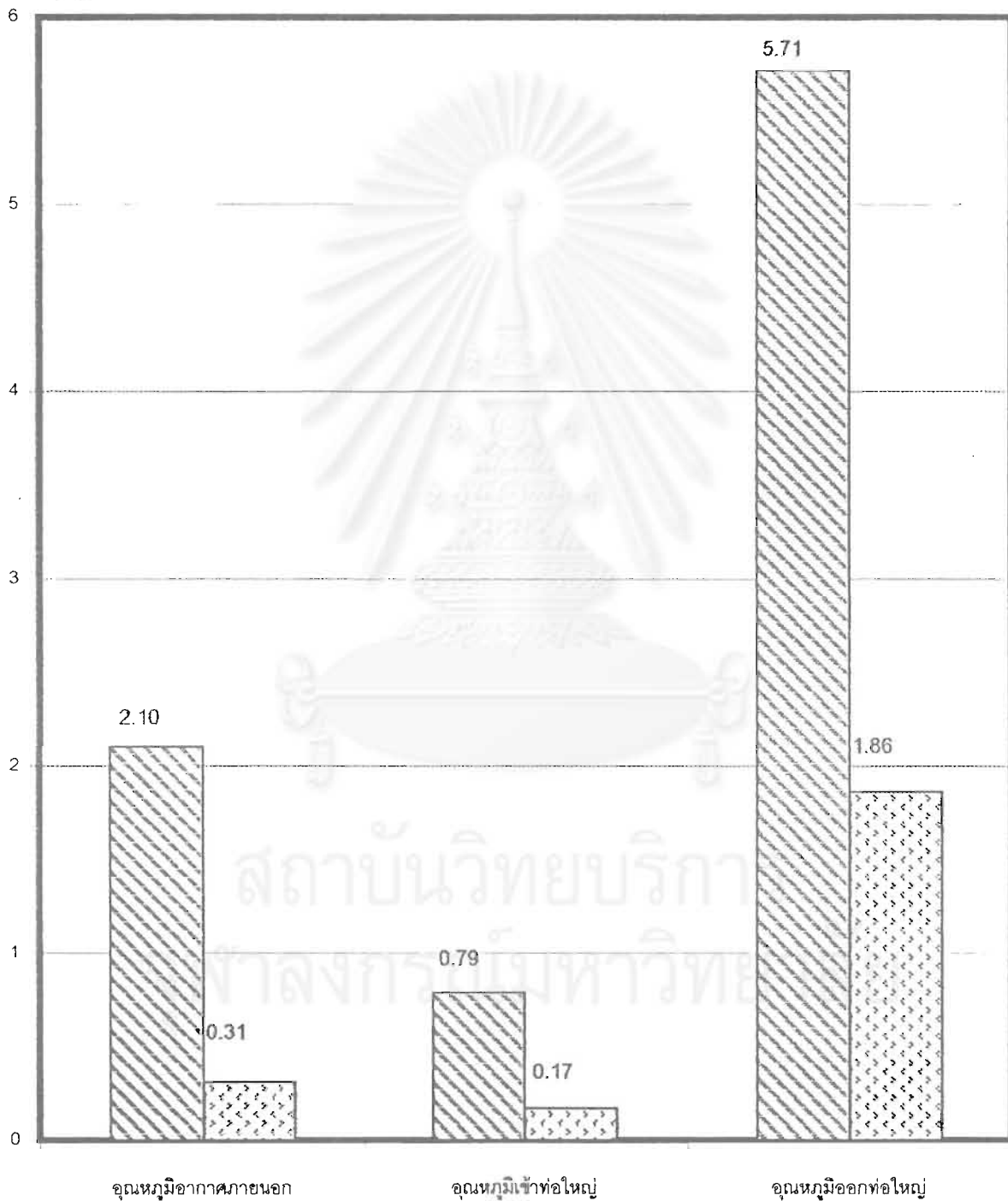
--- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องกระจก



แผนภูมิที่ 4-39 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศเข้าห้องใหญ่ และอุณหภูมิอากาศออกห้องเล็กบนแผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิที่ 4-40 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับ
อากาศภายนอก เข้าท่อใหญ่ และออกท่อใหญ่ เวลา 13.00น. และ 05.00น.
เมื่อไม่ให้น้ำ วันที่ 2-3 เมษายน 2546

องศาเซลเซียส



▨ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. ▩ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 05.00น.

การทดลองที่ 5 ทดลองไม่ให้น้ำแก่ท่อทดสอบ

จากการศึกษา พบว่า การไม่ให้น้ำเป็นการเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบต่างว่าเมื่อท่อทดสอบเทียบแต่ไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสามารถลดอุณหภูมิได้หรือไม่ ดังนี้

13.00น.	ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)	
	อุณหภูมิอากาศ	2.10
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.79
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	5.71
05.00น.	ความแตกต่างจากอุณหภูมิท่อเล็ก (องศาเซลเซียส)	
	อุณหภูมิอากาศ	0.31
	อุณหภูมิเข้าท่อใหญ่	0.17
	อุณหภูมิออกท่อใหญ่	1.86

ตารางที่ 4.9 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากท่อเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ณ.เวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุดของวัน

พบว่า เวลาในช่วงวิกฤต (12.00-15.00น.)ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุด ยังคงเป็นเวลาที่เกิดการระเหยของน้ำมากที่สุดเช่นเดิม เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดคือ 5.00 น.พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิออกท่อเล็กกับเข้าท่อใหญ่ในช่วงเวลา 5.00 น.ต่ำกว่า 0.62 องศาเซลเซียส

4.3.2 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานความร้อนของแต่ละการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการให้พื้นที่ประหยัดและเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานจริง

จากการศึกษาข้างต้นเป็นนัยแต่ละการทดลองไม่สามารถจะนำค่าการลดอุณหภูมิมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากทำการทดสอบแตกต่างกันไปในแต่ละวัน ซึ่งปัจจัยทางตัวแปรที่ก่อให้เกิดน้ำระเหยจะแตกต่างกันไป

ดังนั้นถ้าจะนำมาการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพกันนั้น ต้องทำการเปรียบเทียบถึงค่าการลดพลังงานความร้อนที่การทดลองแต่ละแบบสามารถทำได้

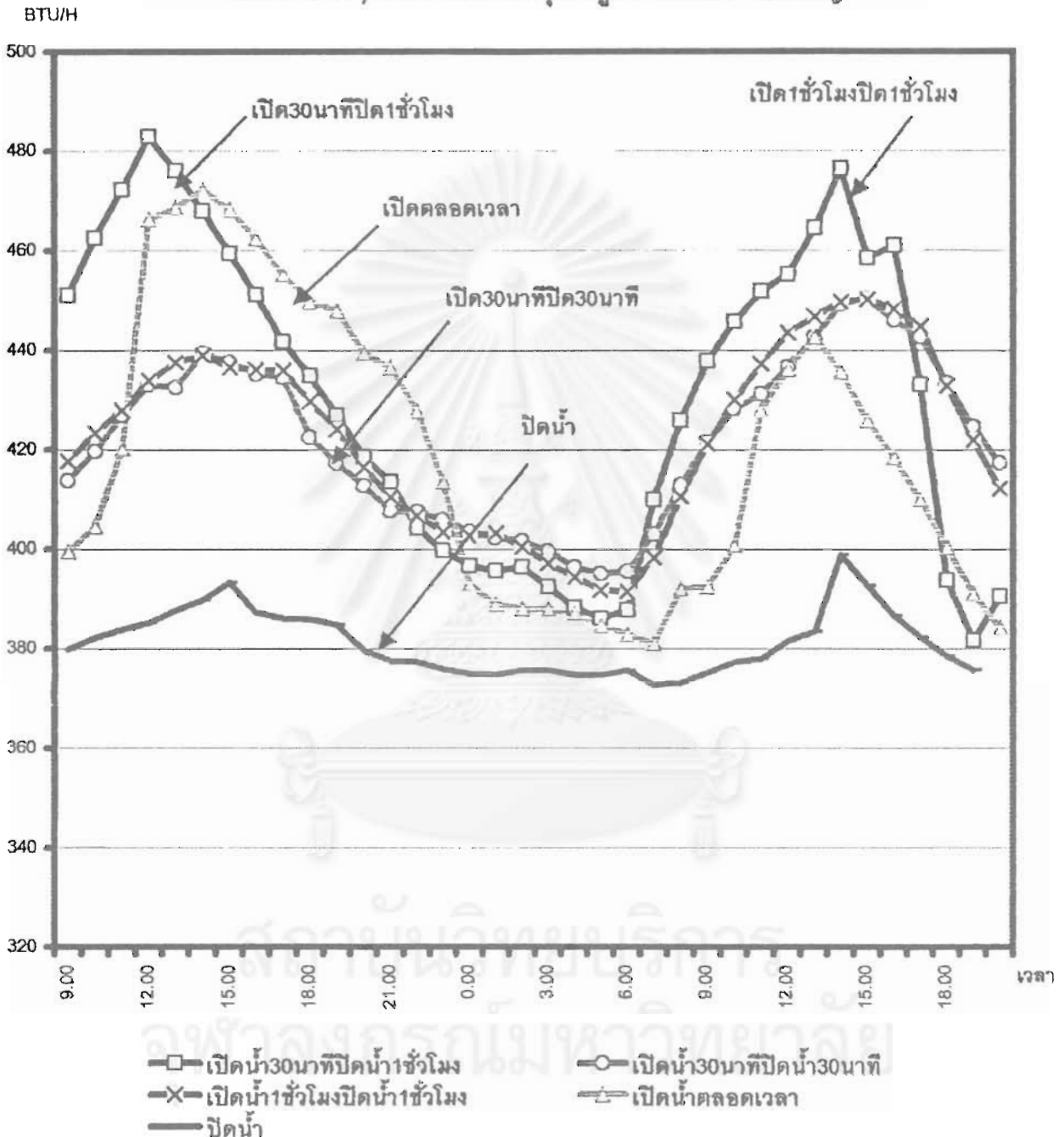
โดยอาศัยการคำนวณจากสูตร

$$Q = cfm * 1.08 * \Delta T$$

จะได้การเปรียบเทียบดังแผนภูมิต่อไปนี้

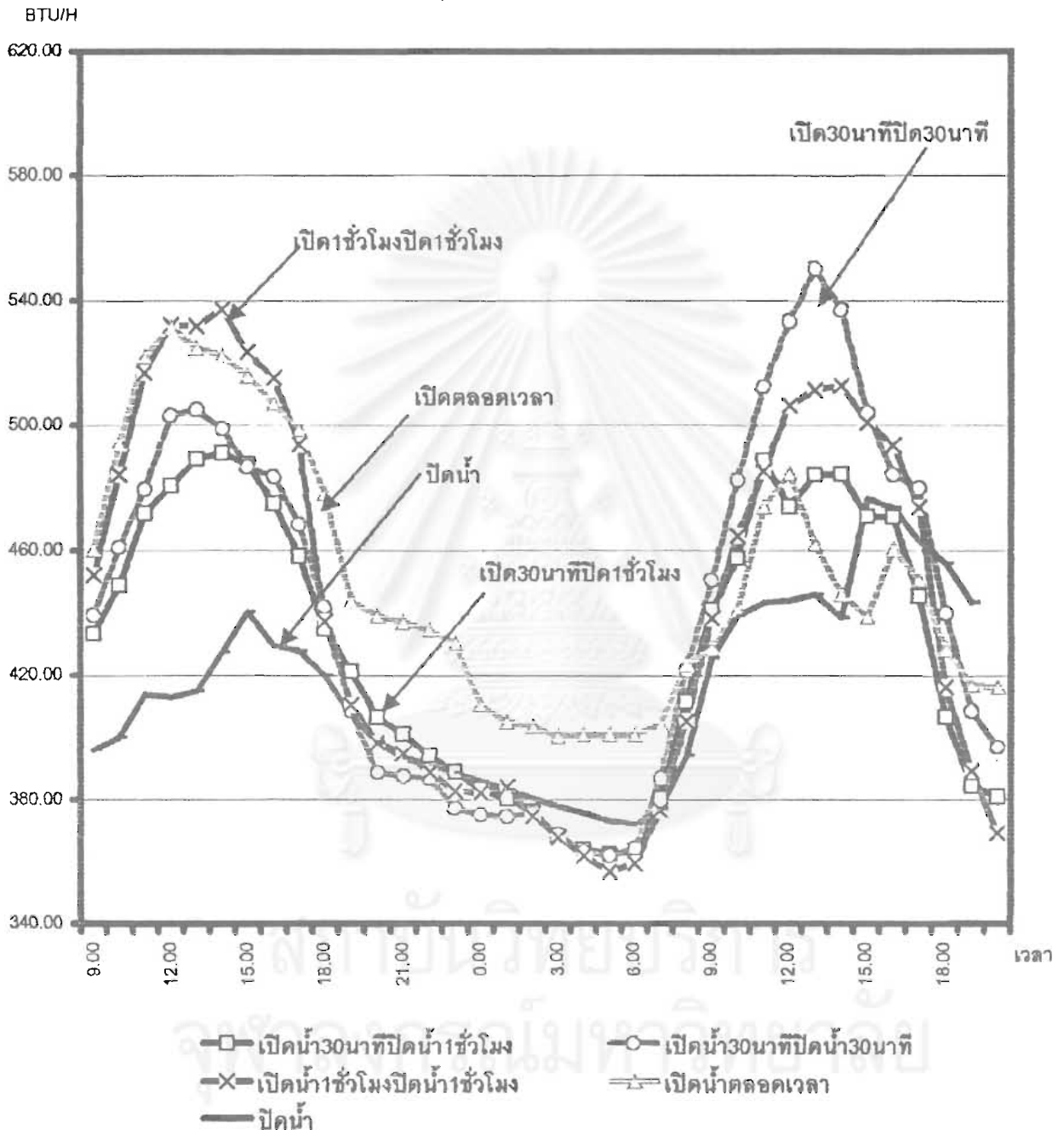
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-41 เปรียบเทียบค่าการลดความร้อนจากท่อเล็กจากการให้น้ำ
ในแบบต่าง ๆ กันเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อใหญ่



ข้อมูลที่น่ามาคำนวณเพื่อเป็นข้อมูลแสดงค่าการลดปริมาณความร้อนมาจาก ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที
เก็บข้อมูลวันที่ 12-13 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมงเก็บข้อมูลวันที่ 10-11 เมษายน
2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.เก็บข้อมูลวันที่ 14-15 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำตลอดเวลา
เก็บข้อมูลวันที่ 28-29 มีนาคม 2546 และข้อมูลการทดลองปิดน้ำตลอดเก็บข้อมูลวันที่ 2-3 เมษายน 2546

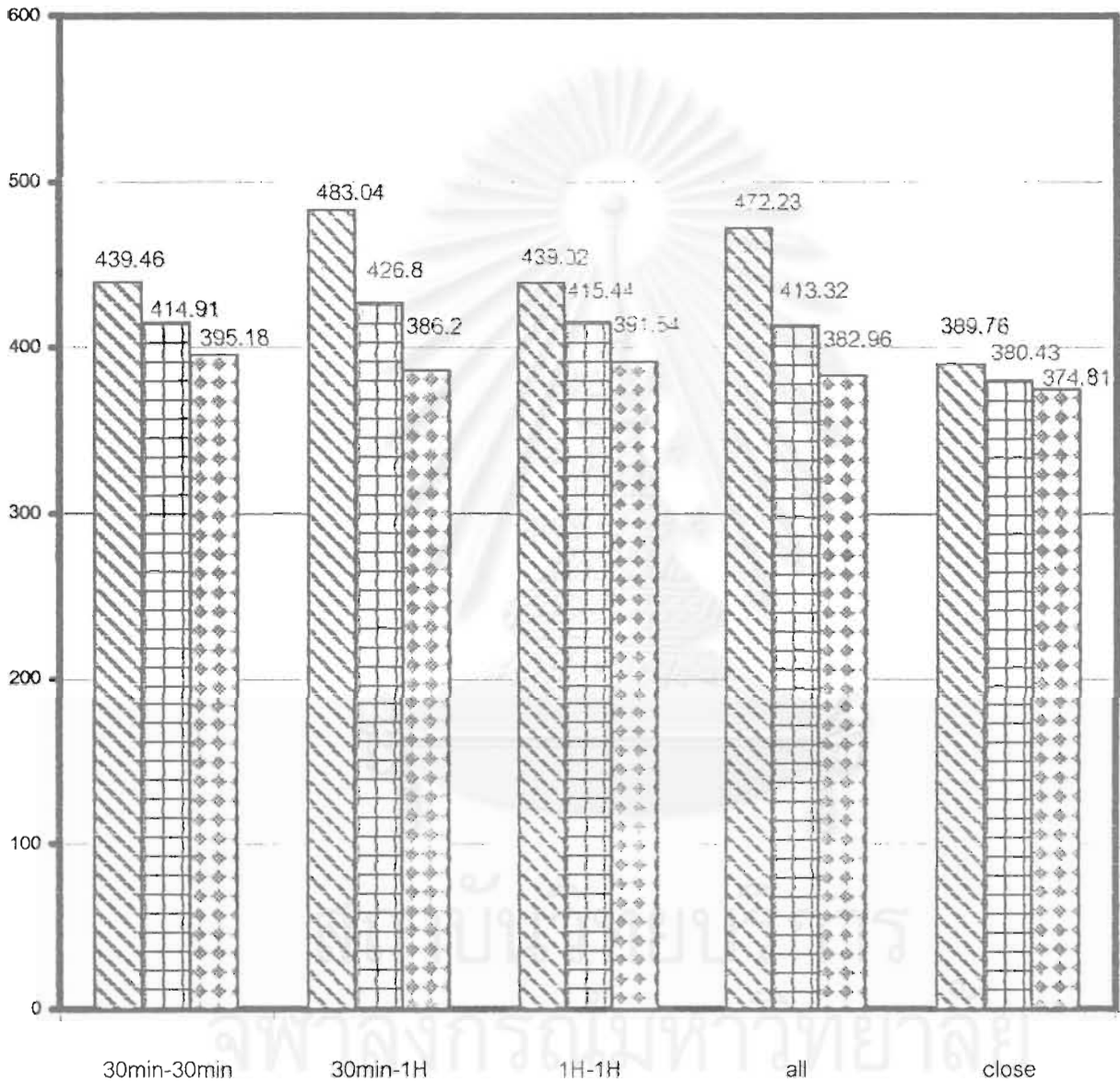
แผนภูมิที่ 4-42 เปรียบเทียบค่าการลดความร้อนจากท่อเล็กจากการให้น้ำ
ในแบบต่างๆกันเมื่อเทียบกับอากาศภายนอก



ข้อมูลที่น่ามาคำนวณเพื่อเป็นข้อมูลแสดงค่าการลดปริมาณความร้อนมาจาก ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที
เก็บข้อมูลวันที่ 12-13 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมงเก็บข้อมูลวันที่ 10-11 เมษายน
2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.เก็บข้อมูลวันที่ 14-15 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำตลอดเวลา
เก็บข้อมูลวันที่ 28-29 มีนาคม 2546 และข้อมูลการทดลองปิดน้ำตลอดเก็บข้อมูลวันที่ 2-3 เมษายน 2546

แผนภูมิที่ 4-43เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงในแต่ละระบบการให้น้ำ
ที่ต่างกันแก่ท่อเล็ก

BTU/H



▨ ค่าสูงสุด □ ค่าเฉลี่ย ▤ ต่ำสุด

ข้อมูลให้นำมาคำนวณเพื่อเป็นข้อมูลแสดงค่าการลดปริมาณความร้อนมาจาก ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีที่ปิด30 นาทีเก็บข้อมูลวันที่ 12-13 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีที่ปิด1ชั่วโมงเก็บข้อมูลวันที่ 10-11 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.เก็บข้อมูลวันที่ 14-15 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำตลอดเวลาเก็บข้อมูลวันที่ 28-29 มีนาคม 2546 และข้อมูลการทดลองปิดน้ำตลอดเก็บข้อมูลวันที่ 2-3 เมษายน 2546

จากการศึกษา พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วค่าการลดพลังงานความร้อนของแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยจากการทดสอบการให้น้ำที่แตกต่างกันแก่ท่อทดสอบ

	ปีที่ยุติชั่วโมง		
	เข้าท่อใหญ่	อากาศ	ออกท่อใหญ่
เปิด30นาที ปิด30นาที	414.91	421.27	2749.38
เปิด30นาที ปิด1ชั่วโมง	426.8	419.77	2835.2
เปิด1ชั่วโมง ปิด1ชั่วโมง	415.44	432.15	3210.4
เปิดตลอดเวลา	413.32	447.16	1613.99
ปิดตลอดเวลา	380.43	399.30	2819.9

ตารางที่ 4.11 แสดงพลังงานที่ใช้แก่การทดลองเปิดน้ำแต่ละแบบ

	จำนวนวัตต์	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 24ชม. (วัตต์ต่อชั่วโมง)				
		ทั้งวันทั้งคืน	30-30min	30min-1H	1-1H	ไม่เปิดน้ำ
พัดลมดูดอากาศ 6นิ้ว	30	720	720	720	720	720
เครื่องสูบน้ำ 1/5แอมป์	218	5232	15696	981	2616	0
รวม		5952	22896	1701	3336	720

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าไฟฟ้าที่ใช้แก่การทดลองเปิดน้ำแต่ละแบบ

ค่าไฟฟ้าต่อวัน					
		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 24ชม. (วัดต่อชั่วโมง)			
	ทั้งวันทั้งคืน	30-30min	30min-1H	1-1H	ไม่เปิดน้ำ
พัดลมดูดอากาศ 6นิ้ว	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
เครื่องสูบน้ำ 1/5แรงม้า	13.08	3.92	2.45	6.54	0
รวม	14.88	5.72	4.25	8.34	1.8
ค่าไฟฟ้าต่อเดือน					
		พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 24ชม. (วัดต่อชั่วโมง)			
	ทั้งวันทั้งคืน	30-30min	30min-1H	1-1H	ไม่เปิดน้ำ
พัดลมดูดอากาศ 6นิ้ว	54	54	54	54	54
เครื่องสูบน้ำ 1/5แรงม้า	392.4	117.74	73.58	196.2	0
รวม	446.4	171.74	127.58	250.2	54

พบว่า การให้น้ำแบบเปิด 30 นาทีและปิด 1 ชั่วโมง สามารถลดพลังงานความร้อนจากห้องกระจกได้มากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานควบคู่กันแล้วจึงเป็นเวลาที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสรุปสมการในการทำนายผลอุณหภูมิที่ได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงสมการทำนายของการทดสอบการให้น้ำแต่ละแบบ

30min- 30min	$10.796 - 0.16 * Dbair - 0.01716 * Rhair + 0.773 * Dbroom$ $R^2 = 0.994$
30min-1H	$0.177 * Dbroom + 58.324 * Dbair + 9.293 * Rhair -$ 37896.196 $R^2 = 0.981$
1H-1H	$12.278 + 0.701 * Dbroom - 0.131 * Dbair -$ $0.01637 * Rhair$ $R^2 = 0.993$
ทั้งวันทั้งคืน	$0.0172 * Dbair + 0.05702 * Dbroom + 23.974 * Rhair -$ 41164.802 $R^2 = 0.99$
ไม่เปิดน้ำ	$0.696 * Dbroom + 0.54 * Dbair + 0.08743 * Rhair -$ 13.167 $R^2 = 0.96$

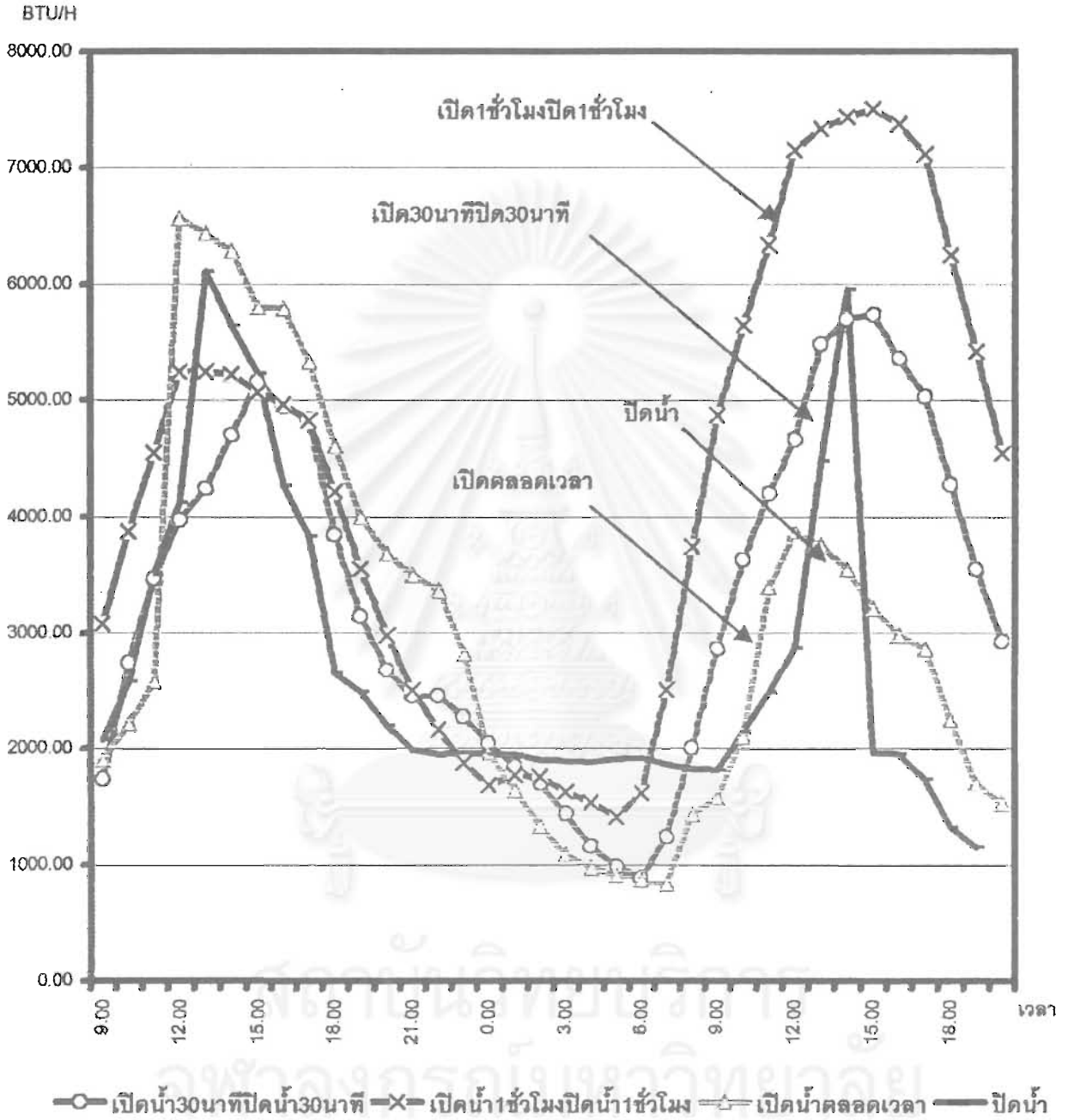
4.3.3 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงในอากาศของท่อทดสอบ (หรือท่อเล็ก) กับท่อใหญ่ของบ้านชีวาติศย์

จากการศึกษาท่อทดสอบที่บ้านชีวาติศย์ ได้ทำการวัดอุณหภูมิของท่อเล็กและท่อใหญ่เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณความร้อนในท่อทดสอบของทั้งสองที่มีความแตกต่างของพื้นที่ผิว ดังนี้

พื้นที่ผิวของท่อใหญ่ คือ 7.54 ตารางเมตร

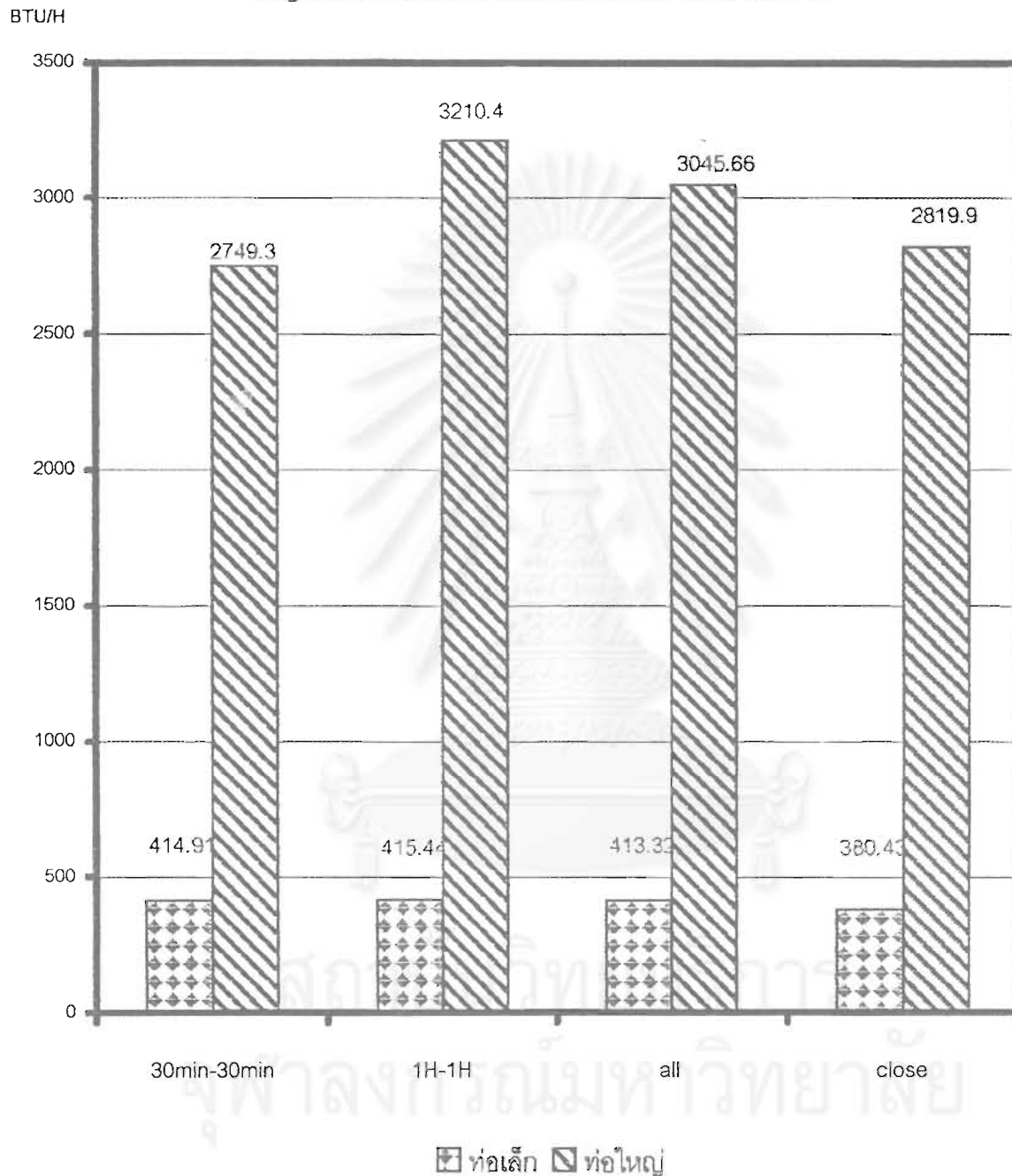
พื้นที่ผิวของท่อเล็ก คือ 2.34 ตารางเมตร

แผนภูมิที่ 4-44 เปรียบเทียบปริมาณการลดความร้อนจากท่อใหญ่เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อใหญ่



ข้อมูลที่น่ามาคำนวณเพื่อเป็นข้อมูลแสดงค่าการลดปริมาณความร้อนมาจาก ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที เก็บข้อมูลวันที่ 12-13 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิดชั่วโมงเก็บข้อมูลวันที่ 10-11 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.เก็บข้อมูลวันที่ 14-15 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำตลอดเวลา เก็บข้อมูลวันที่ 28-29 มีนาคม 2546 และข้อมูลการทดลองปิดน้ำตลอดเก็บข้อมูลวันที่ 2-3 เมษายน 2546

แผนภูมิที่ 4-45 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงจากท่อเล็กและท่อใหญ่ในแต่ละวันที่ทำการทดสอบการให้น้ำแก่ท่อเล็ก



ข้อมูลที่น่ามาคำนวณเพื่อเป็นข้อมูลแสดงค่าการลดปริมาณความร้อนมาจาก ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด30นาที เก็บข้อมูลวันที่ 12-13 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ30นาทีปิด1ชั่วโมงเก็บข้อมูลวันที่ 10-11 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำ1ชม.ปิด1ชม.เก็บข้อมูลวันที่ 14-15 เมษายน 2546 ข้อมูลการทดลองเปิดน้ำตลอดเวลา เก็บข้อมูลวันที่ 28-29 มีนาคม 2546 และข้อมูลการทดลองปิดน้ำตลอดเก็บข้อมูลวันที่ 2-3 เมษายน 2546

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ท่อใหญ่สามารถที่ลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าท่อเล็ก เนื่องจากพื้นที่ผิวท่อที่มากกว่า ดังนี้

- ท่อเล็กสามารถลดปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยใน 1 วันได้ 417.6 บีที่เยต่อชั่วโมง
- ท่อใหญ่สามารถลดปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยใน 1 วันได้ 1684.4 บีที่เยต่อชั่วโมง
- ท่อใหญ่และท่อเล็กรวมกันสามารถลดปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยใน 1 วันได้ 2102 บีที่เยต่อชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบจากปริมาณความร้อนที่ลดลงได้ว่า ท่อใหญ่สามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่า และมีอัตราการระเหยของน้ำต่อพื้นที่ที่มากกว่าเช่นกัน ดังนี้

ท่อเล็ก มีอัตราการระเหยของน้ำต่อพื้นที่ผิว

$$\text{คือ } \frac{417.6}{2.34} = 178.46 \text{ ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง}$$

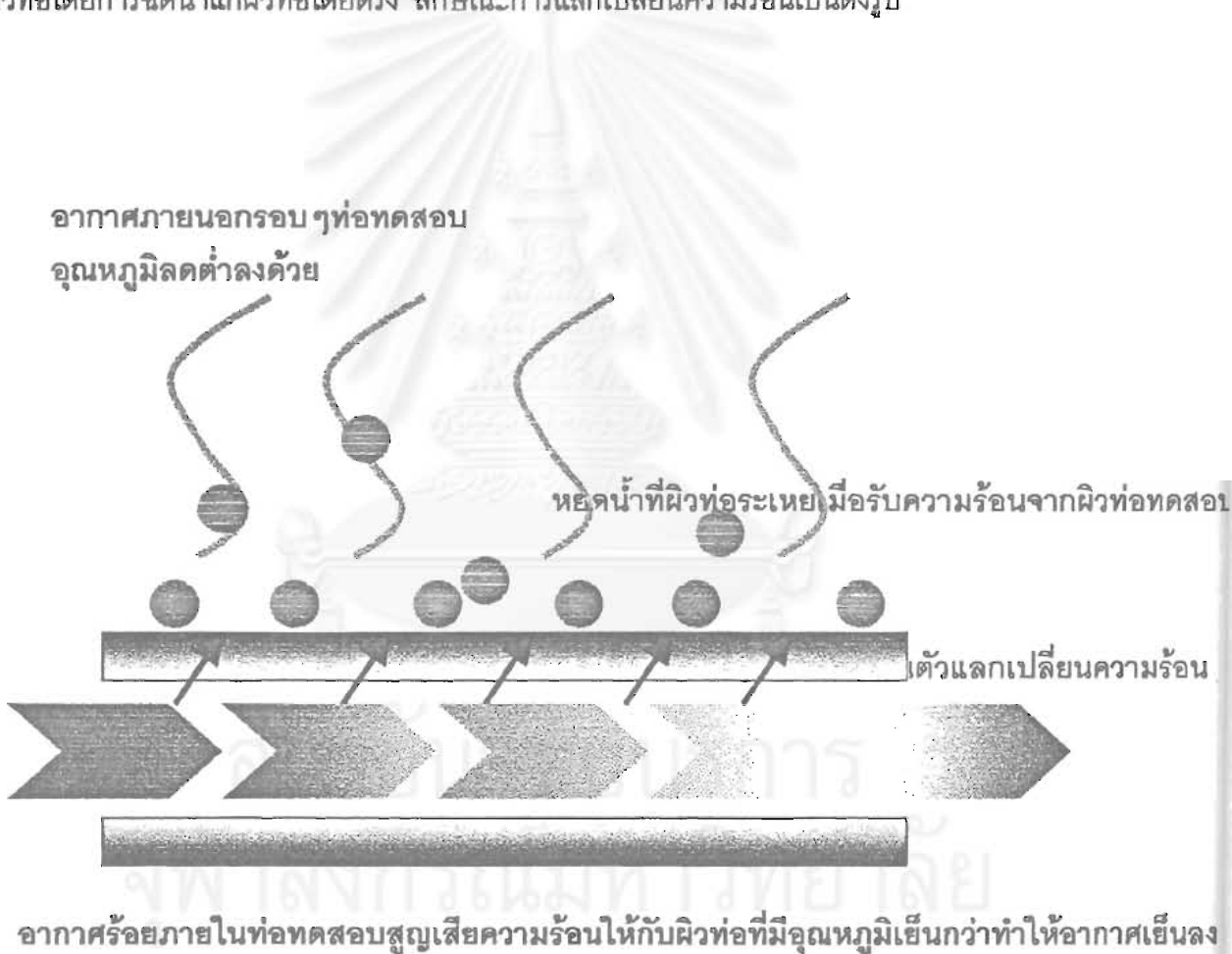
ท่อใหญ่ มีอัตราการระเหยของน้ำต่อพื้นที่ผิว

$$\text{คือ } \frac{1684.4}{7.54} = 223.4 \text{ ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง}$$

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารด้วยระบบการระเหยน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นในรูปแบบของท่อลม ซึ่งอากาศร้อนภายในท่อจะสูญเสียความร้อนแก่ผิวท่อสแตนเลสที่มีอุณหภูมิผิวที่เย็นกว่าอากาศภายในท่อ ผิวท่อสแตนเลสจะเย็นได้จากการเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวท่อโดยการฉีดน้ำแก่ผิวท่อโดยตรง ลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นดังรูป



รูปที่ 5.1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบการระเหยน้ำโดยไม่เพิ่มความชื้นในรูปแบบของท่อลมในการวิจัยครั้งนี้

จากการศึกษา และทดลองระบบการลดความร้อนนี้ ทำการศึกษาภายใต้อิทธิพลสภาพธรรมชาติจริง สามารถสรุปโดยได้ดังนี้

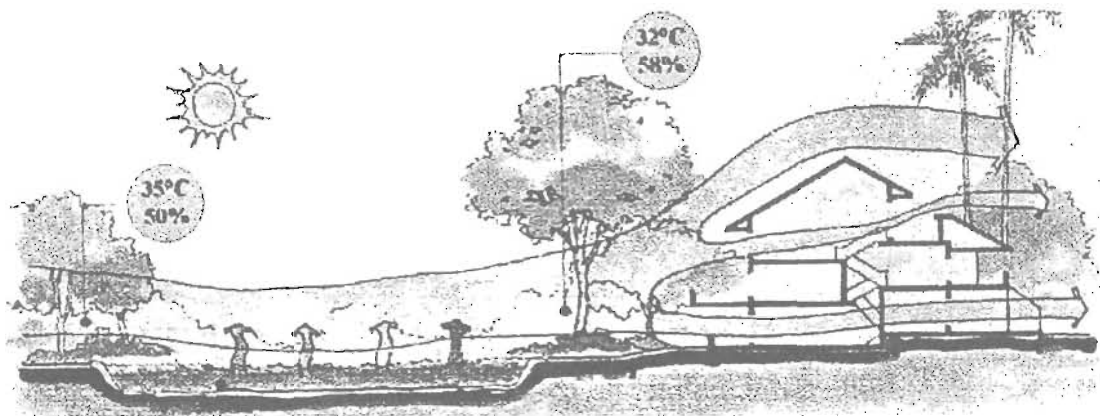
5.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ

เมื่อกล่าวถึงประสิทธิภาพการระเหยของน้ำปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กันโดยไม่สามารถจำแนกจากกันได้ คือ อุณหภูมิอากาศ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เพราะทั้ง 2 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กัน โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 จะไปในทิศทางตรงกันข้าม คือ ในสภาวะที่น้ำสามารถระเหยได้มากที่สุดของวันนั้นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าต่ำสุดของวันและความสัมพันธ์จะตรงข้ามกับความสามารถในการระเหยของน้ำ สำหรับอุณหภูมิอากาศในสภาวะที่น้ำสามารถระเหยได้มากที่สุดของวัน อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นจะเป็นเวลาที่อุณหภูมิมียุคค่าสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิสูงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจึงเป็นสภาวะที่เกิดการระเหยของน้ำได้ดี

ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จากการทดลองพบว่าช่วงเวลาวิกฤตของวัน คือ เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น. เป็นช่วงที่น้ำสามารถระเหยได้ดี เนื่องจากอุณหภูมิภายในท่อทดสอบมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้องกระจก หรืออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เข้าสู่ท่อทดสอบในตอนแรกมากที่สุด สรุปได้ว่า ช่วงเวลากลางวันจะเป็นช่วงที่สามารถเกิดการระเหยของน้ำได้มากที่สุด

5.1.2 อิทธิพลของกระแสลม

จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำ พบว่า กระแสลมเป็นตัวแปรที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพ หรือตัวเร่งให้เกิดการระเหยของน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากกระแสลมที่พัดผ่านแหล่งน้ำจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศให้มากขึ้น ดังนั้น น้ำจึงสามารถที่จะระเหยได้ดีขึ้น



ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากความเย็นของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ โดยอาศัยกระแสลมเป็นตัวช่วยในการระเหย ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

จากการศึกษาพบว่า สภาพภูมิอากาศร้อนขึ้นในประเทศไทย ในช่วงเวลากลางวันจะมีกระแสลมที่มีความเร็วลมมากจนถึงปานกลาง หรือเราจะรู้สึกถึงความเร็วลมได้ แต่สำหรับในช่วงเวลากลางคืนความเร็วลมจะลดลงต่ำจนเราแทบจะรู้สึกได้ว่าขณะนี้ไม่มีกระแสลมพัดผ่านในสภาพอากาศปกติทั่วไป ดังนั้นเวลาที่กระแสลมมีประสิทธิภาพที่เพียงพอแก่การระเหยของน้ำได้แก่ในช่วงเวลากลางวัน

แต่เนื่องจากกระแสลมเป็นปัจจัยที่ไม่คงที่ในการเปลี่ยนแปลง เช่น ในช่วงเวลา 1 นาที ความเร็วของกระแสลมสามารถที่จะเปลี่ยนความเร็วได้หลายระดับมาก ดังนั้นความเร็วลมที่เราพูดถึงจึงหมายถึงค่าเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น

5.1.3 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบที่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์จะสูงกว่าที่ไม่มีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังที่เปรียบเทียบได้เป็นค่าการลดพลังงานของทั้งสองกรณีข้างต้น

ดังนั้นถึงแม้ว่าแสงแดดทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็ตาม แต่ถ้าได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงแก่ที่ทดสอบจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ หรือพลังงานความร้อนที่มีค่าลดต่ำลงทันที เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ได้ไปกระทบ

กับท่อทดสอบและเปลี่ยนคลื่นรังสีสั้นเป็นยาวและกลายเป็นคลื่นรังสีที่มีความร้อนสะสมให้แก่ท่อทดสอบ สรุปว่า ระบบการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพที่ดีต้องไม่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

5.1.4 บทสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปร

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติสรุปได้ว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิอากาศโดยการระเหยของน้ำ มี 3 ตัวแปรด้วยกัน คือ

1. อุณหภูมิอากาศ
2. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
3. อุณหภูมิที่เข้าสู่ท่อทดสอบ

ได้สมการทำนายดังนี้

Textit =

$$0.0172 * DBair + 0.05702 * DBroom + 23.974 * RHair - 41164.802$$

หรือ

$0.0172 * \text{อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกอาคาร} + 0.05702 * \text{อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าสู่ท่อ} + 23.974 * \text{ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกอาคาร} - 41164.802$

โดยที่

$$RHair = \frac{\ln(\text{Textit}) - \ln(28.324056)}{\ln(0.998052)}$$

ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถประมาณค่าได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์

5.1.5 แนวทางการให้น้ำแก่ท่อเพื่อลดอุณหภูมิอากาศ

จากการทดสอบรูปแบบการให้น้ำทั้ง 5 แบบพบว่า ประสิทธิภาพของการลดค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากท่อทดสอบนี้ คือ 417.6 บีทียูต่อชั่วโมง สำหรับท่อใหญ่ คือ 2102 บีทียูต่อชั่วโมง โดยที่ประสิทธิภาพของท่อนใหญ่นั้นรวมของท่อทดสอบเข้าไปด้วย หรือสามารถเทียบได้ว่าเฉพาะท่อนใหญ่นั้นมีประสิทธิภาพของการลดค่าพลังงานความร้อน คือ 1684.4 บีทียูต่อชั่วโมง

และการให้น้ำที่สามารถให้ประสิทธิภาพของการลดค่าพลังงานความร้อนสูงและเสียค่าใช้จ่ายน้อยสุดคือ การให้น้ำ 30 นาที ปิดน้ำ 1 ชั่วโมง โดยสามารถหาสมการทำนายผลได้ดังนี้

$$0.177 * Dbroom + 58.324 * Dbair + 9.293 * Rhair - 37896.196$$

หรือ

0.177 * อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกอาคาร + 58.324 * อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าสู่ท่อ + 9.293 * ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกอาคาร - 37896.196

โดยที่

$$air = \frac{\ln(Texit) - \ln(21.95422)}{\ln(1.08814)}$$

$$RHair = \frac{\ln(Texit) - \ln(32.78594)}{\ln(0.998148)}$$

5.2 บทสรุปการนำไปใช้

จากการศึกษา วิเคราะห์และทดลอง สามารถสรุปรูปแบบการลดอุณหภูมิภายในอาคาร โดยการระเหยของน้ำ ดังนี้

1. การเลือกวัสดุที่นำมาเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติมีค่าการนำความร้อนที่ดีเป็นหลัก และต้องคำนึงถึงความคงทนต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากในการลดอุณหภูมินั้นอาศัยการให้น้ำที่มีการเปิดเปิดตลอดเวลา ถ้าวัสดุที่นำมาไม่สามารถทนสภาวะนี้ได้จะทำให้อายุการใช้งานต่ำและประสิทธิภาพการเป็นตัวนำที่ดีจะลดลงตามลำดับ นอกจากนี้ถ้าสามารถหาวัสดุซึ่งนอกจากจะเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีแล้วยังสามารถดูดซึมน้ำเก็บไว้ภายในตัวเองได้และระเหยออกไปได้ดี หรือวัสดุที่สามารถระเหยน้ำได้ รวมทั้งป้องกันความชื้นที่จะเพิ่มขึ้นในอากาศได้ถือว่าเป็นวัสดุที่ดีมากเหมาะแก่การเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอย่างยิ่ง
2. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบควรมีความห่างจากอาคาร เนื่องจากการระเหยของไอน้ำที่ได้มีปริมาณสูงทำให้อากาศในบริเวณนั้นมีความชื้นที่สูงกว่าปกติ ถ้าติดตั้งไว้ใกล้ตัวอาคารและวัสดุที่นำมาทำกรอบอาคารไม่มีการป้องกันความชื้นที่เหมาะสม ปัญหาที่ตามมาคือ เกิดการสะสมของไอน้ำที่กรอบอาคารทำให้อาคารเกิดเชื้อรา หรือตะไคร่น้ำได้
3. ระบบการลดความร้อนด้วยการระเหยของน้ำจำเป็นต้องอยู่ในพื้นที่ที่ไม่ได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงเพื่อที่ลดอุณหภูมิผิวท้อ (T-Solair) ให้ต่ำลงทำให้อุณหภูมิอากาศที่ออกจากท้อลดลงมากขึ้นดังผลการทดลองที่ 1.3 ดังนั้นรูปแบบของการลดอุณหภูมิให้แก่หลังคาสังกะสีด้วยการฉีดน้ำบนหลังคาเช่นร้านขายกล้วยเดี่ยวที่ริมถนนรังสิต-อ.ธัญญบุรี จึงไม่สามารถลดอุณหภูมิของผิวหลังคาได้จริง เพราะผิวหลังคายังคงได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงเท่าเดิม และน้ำที่นำมาฉีดได้รับอิทธิพลรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงเช่นกัน เมื่อน้ำที่ร้อนถึง 37 องศาเซลเซียส ฉีดลงบนหลังคาสังกะสีซึ่งมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีที่มีอุณหภูมิจึงถึง 48 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาวิกฤตของวัน พบว่า อุณหภูมิผิวของหลังคาสังกะสีลดลงเหลือ 45 องศา

เซลเซียสที่เท่ากับอุณหภูมิน้ำเท่านั้น เพราะไม่สามารถที่ลดอุณหภูมิผิว ลงได้ เนื่องจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังแผนภูมิในภาคผนวก

4. สำหรับอาคารที่เหมาะสมกับการใช้ระบบนี้ ต้องเป็นอาคารที่หักอาศัยที่ต้องการใช้ระบบธรรมชาติในการทำความเย็น และควรเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมที่เหมาะสมด้วย เช่น พื้นที่ห้องนั่งเล่น หรือ ทานข้าวของบ้านเป็นต้น เนื่องจากประสิทธิภาพการทำความเย็นไม่คงที่แน่นอนขึ้นกับสภาพดินฟ้าอากาศเป็นสำคัญ จึงไม่เหมาะสมกับกิจกรรมที่ต้องการอุณหภูมิที่อยู่ในสภาวะน่าสบายตลอดเวลาเช่น ห้องนอน หรือห้องอ่านหนังสือ เป็นต้น นอกจากนี้อาคารควรมีระบบการป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคารที่ดีด้วย ซึ่งในการทดลองเลือกที่ใช้อาคารที่มีการป้องกันความร้อนส่งผ่านเข้าสู่อาคารได้ดีมาก จึงสามารถเห็นประสิทธิภาพที่สูงสุดของระบบนี้ได้ชัดเจน

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะการลดอุณหภูมิจากการระเหยของน้ำโดยอาศัยรูปแบบของท่ออากาศเท่านั้น ซึ่งพบปัญหาในเรื่องของระยะเวลาที่จำกัดในการทดสอบและอุปสรรคด้านจำนวนเครื่องมือ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ตลอดทั้งปี ซึ่งการเก็บข้อมูลได้ทั้งปีนั้นจะทราบถึงประสิทธิภาพของระบบการลดอุณหภูมิในฤดูกาลต่างๆว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย ทั้งนี้จากการวิจัยได้ข้อสังเกตที่ควรคำนึงถึงในช่วงการดำเนินการวิจัย จึงมีข้อเสนอแนะที่เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. ในการออกแบบรูปแบบของท่ออากาศนอกจากจะคำนึงถึงรูปแบบที่สวยงามทางสถาปัตยกรรมแล้ว ยังต้องคำนึงพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศกับพื้นที่ผิวของท่อให้ได้มากที่สุดด้วย ดังนั้นรูปแบบของท่อต้องออกแบบให้เหมาะสมกับหลักของกลศาสตร์ของไหล นอกจากนี้ถ้าวัสดุที่นำมาใช้สามารถที่จะดูดซับน้ำไว้ได้จะทำให้ประสิทธิภาพการระเหยของน้ำสูงมากกว่านี้
2. พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งท่อนั้นต้องคำนึงถึงการระบายน้ำที่ดี เป็นพื้นที่ที่ต้องมีการระบายอากาศที่ดี อีกทั้งต้องอยู่ในพื้นที่ไม่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง เนื่องจากในการวิจัยบางขณะนั้นไม่สามารถที่ป้องกันอิทธิพลของรังสีดวง

อาทิตย์ได้ตลอดเวลาประสิทธิภาพการลดความร้อนในอากาศจึงไม่ดีเท่าที่ควร

3. น้ำที่นำมาใช้ถ้าสามารถนำน้ำหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ได้จะเป็นการประหยัด อีกทั้งน้ำที่หมุนเวียนกลับไปนั้นจะมีอุณหภูมิที่ต่ำลง ซึ่งช่วยให้อุณหภูมิอากาศสามารถลดลงได้ต่ำมากขึ้น
4. การลดความร้อนอากาศภายในอาคารด้วยระบบการระเหยของน้ำแบบทอลมในการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงลักษณะต้นแบบเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าแนวความคิดการลดความร้อนจากการระเหยของน้ำเป็นแนวความคิดที่ดีและควรมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในอาคารจริงต่อไป แต่รูปแบบของทอลมที่ทำการทดสอบนี้มีข้อเสียในเรื่องของพื้นที่ผิวทอลม เนื่องจากถ้าห้องที่ต้องการลดอุณหภูมิมีขนาดใหญ่มากจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวทอให้มากเพียงพอ ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ในการวางทอลมที่กว้างขวางมากขึ้น แต่ถ้าเราสามารถประยุกต์ใช้ทอลมเป็นเปลือกอาคารแทนได้ เราจะได้อาคารที่ภายในมีอากาศที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทั้งอาคารได้ด้วยระบบการระเหยของน้ำ
5. ควรมีการศึกษาต่อในการลดความร้อนจากระบบการระเหยของน้ำมาใช้เพื่อลดอุณหภูมิในรูปแบบอื่น เช่น ระบบผนัง หลังคา เป็นต้น และอาจอาศัยรูปแบบจากธรรมชาติเข้ามามีส่วนช่วยด้วย เช่น การทำหลังคาเย็นจากการปลูกสวนบนหลังคา เป็นต้น
6. จากการเสนอแนะการลดความร้อนจากการระเหยของน้ำถ้าหลายบ้านมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย รูปแบบของทอและแหล่งน้ำสามารถที่จะนำมารวมไว้เพียงแหล่งเดียวแล้วแจกจ่ายลมเย็นที่ได้เช่นเดียวกับระบบเครื่องปรับอากาศ

บทสรุปของการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญต่อบทบาทใหม่ในการลดอุณหภูมิภายในอาคารที่ไม่อาศัยเครื่องปรับอากาศ แต่เป็นนวัตกรรมรูปแบบใหม่ที่ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถลดอุณหภูมิให้กับภายในอาคารและสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารได้ไปพร้อมๆกัน เปรียบเสมือนเป็นการทำความเย็นที่ครบวงจรในคราวเดียว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธนิต จินดาวงนิค. การแสวงหาประโยชน์จากสภาพแวดล้อมเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายและประหยัดพลังงานจากการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2536.
- วิชัย อธิธิวิศวกุล. อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิบริเวณอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
- ศิริชัย พงษ์วิชัย. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2536.
- สัมพันธ์ ไชยเทพ. เทอร์โมไดนามิกส์และกลศาสตร์ของไหล. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540
- สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวงนิค. การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับอาคารสถาปัตยกรรมไทย. ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภชน์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. มิถุนายน 2536.
- สุนทร บุญญาธิการ และบัณฑิต เชื้ออาภรณ์. การวิจัยประยุกต์การออกแบบประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
- สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : 2543.
- สุพจน์ ดวงสินทวี. การทำความเย็นด้วยระบบท่อใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigeration and Air-condition Engineering. AHRAE Fundamentals 1985.

American Society of Heating, Refrigeration and Air-condition Engineering. AHRAE Fundamentals 1989.

American Society of Heating, Refrigeration and Air-condition Engineering. AHRAE Fundamentals 1995.

Baruch, Givani. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. (n.p.), 1994.

Baruch, Givani. Man, Climate and Architecture. 2nded , New York, 1981.

B. Givoni, S.Yajima and S.nutalaya: 1997 Indirect Evaporative Cooling for Hot Humid Climate by the “Shower” Cooling Tower. With S.yajima & S.Nutalaya. ISES Wold Congress. S. Korea.

Donald Watson, Fala, and Kenneth Labs. Climatic Design. USA : McGraw-hill.Inc, 1983.

Joseph B. Olivieri,P.E. How to design heating and cooling comfort systems. Third Edition. USA. : Business News Publishing Company, 1973.

John R. Watt, Evaporative Air Condition Handbook, 2nded , Chapman & Hall, New York, 1963.

Olgay, V. Design With Climate: Bioclimatic approach to Architectural Regionalism. Forth Printing. New Jersey : Printon University Press, 1961.

Rehva Wold Congress Clima 2000/NAPOLI 2001. 7thed : 2000

Stein, Reynolds, McGunness. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 7th Edition. USA : John Willey & Sons, Inc.,1986.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



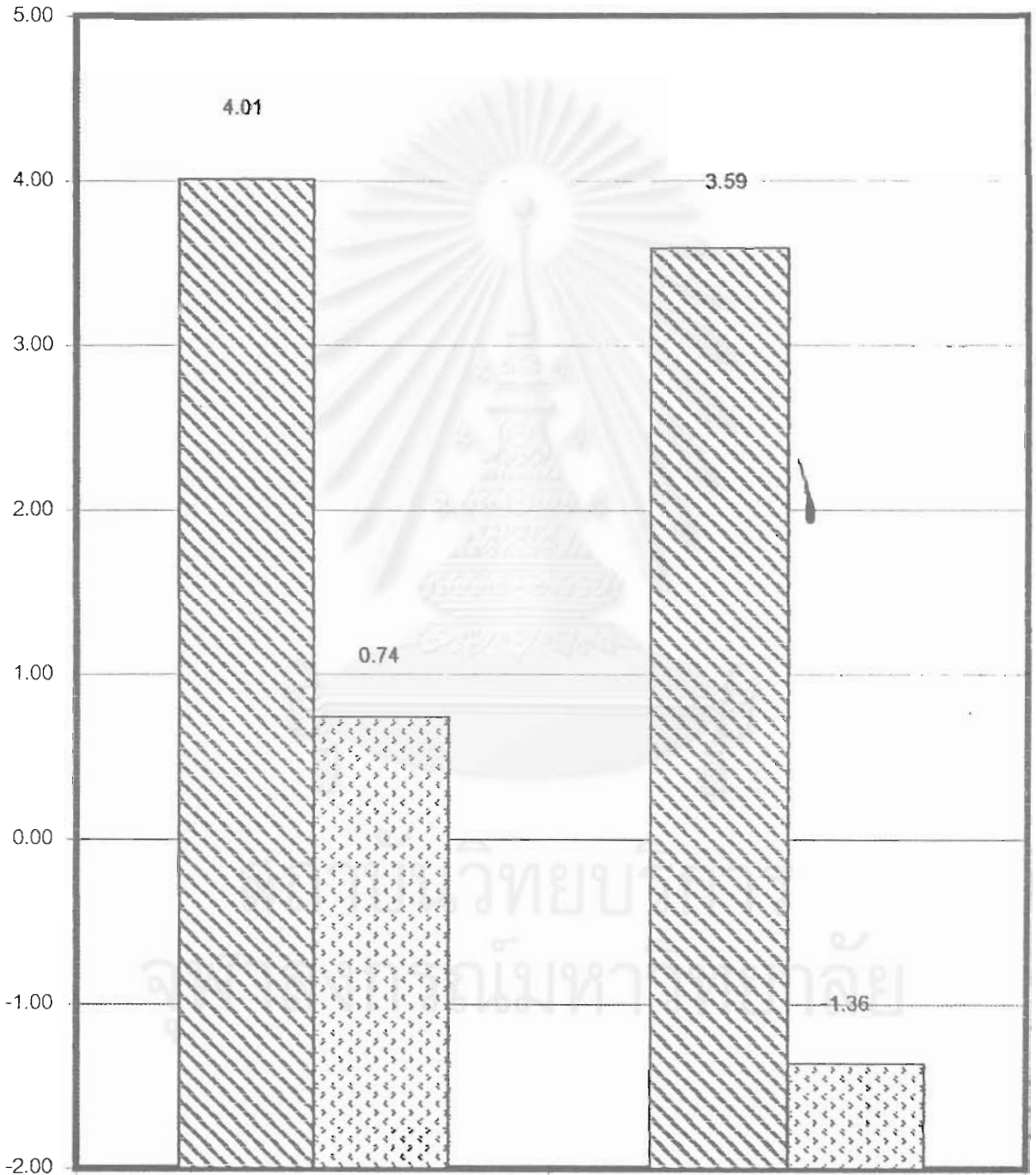
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิใต้ผิวหลังคาสังกะสีที่มีการ
 ฉีคน้ำกับอากาศภายนอกและอุณหภูมิใต้หลังคาที่ไม่มีการฉีคน้ำ

วันที่ 3-4 พฤษภาคม 2546

องศาเซลเซียส



อากาศภายนอก

อุณหภูมิใต้หลังคาไม่ฉีคน้ำ

▨ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 13.00น. ▤ ความแตกต่างของอุณหภูมิเวลา 5.00น.

ตารางแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของสมการหลัก การให้น้ำแบบเปิด 30 นาทีปิด 30 นาที

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.99	0.988	0.988	0.1292	0.002	235.060	1	1400	.000

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	1937.39	4	484.348	29020.863	.000
	Residual	23.365	1400	0.01669		
	Total	1960.757	1404			

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	10.796	.201		.00	.000	10.221	11.011
	a	-0.16	.005	-.662	.00	.001	.798	.825
	r	0.773	.005	-.438	.00	-.039	-.220	-.200
	rha	0.01716	.001	.144	.00	.026	-0.39	-.0333

a Dependent Variable: out

ตารางแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของสมการหลัก การให้น้ำแบบเปิด 30 นาที ปิด 1 ชม.

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ

Model Summary

	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
Model					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.981	0.962	0.962	.495	.962	11754.273	3	140	.000

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	8641.374	3	2880.458	11754.243	.000
	Residual	344.059	1404	.245		
	Total	8985.433	1407			

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

Coefficients

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
Model		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	37896.196	994.442		38.108	.000	359445.445	39846.948
	a	58.324	.329	-.161	177.192	.000	57.697	58.970
	r	-.177	.010	1.120	-17.470	.00	-.196	-.157
	rha2	-9.293	.515	-.163	-18.058	.000	-8.284	-8.284

a Dependent Variable: out

ตารางแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของสมการหลัก การให้น้ำแบบเปิด 1ชม.ปิด 1ชม.

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ

Model Summary

	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
Model					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.993	.985	.985	.1556	.003	304.733.1	1	1421	.000

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	2328.334	3	779.111	32058.134	.000
	Residual	34.402	1421	0.02421		
	Total	2362.736	1424			

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

Coefficients

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
Model		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	12.278	.194		63.405	.00	11.898	12.658
	a.	-.131	.003	1.235	-38.234	.00	-.137	-.124
	r	.701	.005	-.436	133.539	.00	.691	.711
	rha2	-0.01637	-.172	-.172	-17.457	.00	-.018	-.015

a Dependent Variable: out.

ตารางแสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของสมการหลัก การไม่ให้น้ำ

ผลการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.960	.922	.921	.4313	.922	2302.789	3	586	.000

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Regression	1284.881	3	428.294	2302.789	.000
	Residual	108.990	586	.186		
	Total	1393.870	589			

a Predictors: (Constant), rha2, a, r

b Dependent Variable: out

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta				Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	-12.167	1.455			-8.362	.00	-15.025	-9.309
	a	.514	.038	1.170	13.644	.00	.440	.588	
	r	.696	.055	.643	12.666	.00	.588	.804	
	rha2	-0.08743	.006	.878	13.669	.00	.075	.100	

a Dependent Variable: out

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว นงา แสนราษฎร์ เกิดเมื่อวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดขอนแก่น
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2544 และศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหา
บัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย