



รายงานการวิจัย

การหาประสิทธิภาพพระบพทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัครรัตน์ พูลกระจ่าง  
อาจารย์นพพร เปรมใจ



คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินงบประมาณแผ่นดิน

ปีงบประมาณ พ.ศ.2553

การหาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัศวรัตน์ พูลกระจ่าง  
อาจารย์นพพร เปรมใจ



คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินงบประมาณแผ่นดิน  
ปีงบประมาณ พ.ศ.2553

ชื่อ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัครรัตน์ พูลกระจ่าง  
: อาจารย์นพพร เปรมใจ  
ชื่องานวิจัย : การหาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและ โดยอ้อม  
สาขา : วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีงบประมาณ : 2553

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม โดยมีการใช้แผ่นซับน้ำชนิดกระดาษ(Pad) สำหรับทำความเย็นชนิดโดยตรง และคอยล์(Coil)สำหรับทำความเย็นชนิดโดยอ้อม การทดลองการทำงานใน 3 สภาวะ ประกอบด้วย 1.ระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียว 2. ระบบทำความเย็นแบบโดยอ้อมอย่างเดียว 3.ระบบทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพในระบบการทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อมมีประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ย 76.11 % ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ดีที่สุด รองลงมา คือแบบระบบทำความเย็นแบบโดยอ้อมอย่างเดียวเฉลี่ย 51.21% และ แบบระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียวเฉลี่ย 27.27 % ค่าการทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบโดยอ้อมอย่างเดียว มีค่าการทำความเย็นเฉลี่ย 10.06 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นค่าการทำความเย็นที่ดีที่สุด รองลงมา คือระบบการทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อมเฉลี่ย 6.6 กิโลวัตต์ และระบบการทำความเย็นแบบโดยตรงเฉลี่ย 1 กิโลวัตต์ ค่าอุณหภูมิของอากาศออกในระบบการทำความเย็นแบบโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม มีอุณหภูมิอากาศออกเฉลี่ย 25.88 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด รองลงมา คือแบบระบบทำความเย็นแบบโดยอ้อมอย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 27.37 องศาเซลเซียส และแบบระบบทำความเย็นแบบ โดยตรงอย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 29.13 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์อุณหภูมิที่ออกจากระบบเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของประเทศไทยในช่วงเวลากลางวัน(6.00-18.00) พ.ศ.25252 พบว่า อุณหภูมิทางออกแบบชนิดโดยตรงร่วมกับโดยอ้อมมีค่าต่ำสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 25.3 องศาเซลเซียส รองมาคือ อุณหภูมิทางออกชนิดโดยอ้อมอย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส และแบบระบบทำความเย็นแบบโดยตรงอย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 28.1 องศาเซลเซียส นอกจากนั้น อุณหภูมิที่ต้องการลดกับประสิทธิภาพของระบบสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการ  $y = 17.749x - 9E-14$  โดยที่ y แทนประสิทธิภาพ และ x แทนอุณหภูมิที่ต้องการลด ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ, ระบบทำความเย็นแบบระเหย, ชนิดโดยตรง, ชนิดโดยอ้อม

**Name** : Assistant Professor Akkarat Poolkrajang  
: Mr.Nopporn Preamjai  
**Research Title** : Efficiency Evaluation of the Direct and Indirect Evaporative Cooling System  
**Major Field** : Mechanical Education  
**Budget Year** : 2010

### Abstract

The objective of this research was to construct and evaluate the efficiency of the direct and indirect evaporative cooling system. The cooling pad was used for the direct evaporative cooling system and the cooling coil was the main equipment for the indirect evaporative cooling system. There were three methods for experiment: 1. the direct evaporative cooling system 2. the indirect evaporative cooling system 3. the direct and indirect evaporative cooling system.

The results showed that the average efficiency of the direct and indirect evaporative cooling system the cooling was 76.11%, which was the highest efficiency. The second was the indirect evaporative cooling system, 51.21%, and the direct evaporative cooling system was 27.27%. The average value of 10.06 kW was the best cooling for the indirect evaporative cooling system. For the direct and indirect evaporative cooling system, the average value was 6.6 kW and the last was 1 kW for the direct evaporative cooling system. For the air temperature at the exit, the average value of the direct and indirect evaporative cooling system was 25.88 oC, which was the lowest temperature. The second was the indirect evaporative cooling system, 27.37 oC, and the direct evaporative cooling system was 28.1 oC. Furthermore, required decreasing temperature and the efficiency of the system could be shown the relationship as follows:  $y = 17.749x - 9E-14$ , where y instead of efficiency and x instead of required decreasing temperature. This equation can be used as a basis for design the evaporative cooling system in the future.

**Keywords:** Efficiency, Evaporative Cooling System, Direct, Indirect

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยและผู้ตรวจงานวิจัยทุกท่านที่อนุญาติให้ คณะผู้วิจัยได้จัดทำงานวิจัยในเรื่องดังกล่าวนี้ และให้โอกาสแก่คณะผู้วิจัยมา ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญู กตเวทิตา แก่บิดามารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัครรัตน์ พูลกระจ่าง หัวหน้าโครงการวิจัย  
อาจารย์นพพร เปรมใจ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	4
2.2 ประวัติและการพัฒนาของการปรับอากาศ	4
2.3 ความร้อนและอุณหภูมิจ	6
2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometrics chart)	8
2.5 การทำความเย็นโดยการระเหย	13
2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย	16
2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer)	16
2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)	21
บทที่ 3. การดำเนินการ	
3.1 บทนำ	26
3.2 วิธีการดำเนินงาน	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. ผลการทดลอง	
4.1 บทนำ	36
4.2 เตรียมการทดลอง	36
4.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ	37
4.4 การทดลองที่ 1 เรื่อง ใช้ Coil และ Pad	38
4.5 การทดลองที่ 2 เรื่อง ใช้ Coil อย่างเดียว	41
4.6 การทดลองที่ 3 เรื่อง ใช้ Pad อย่างเดียว	45
4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 แบบ	48
4.8 วิเคราะห์ผลทางทฤษฎี	52
บทที่ 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลที่ได้จากโครงการ	63
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	65
5.3 ข้อเสนอแนะของการวิจัย	65
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองวัดอุณหภูมิ	69
ภาคผนวก ข. สภาพอากาศประเทศไทย	82





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองใช้ Coil และ Pad เฉลี่ย	38
4.2 แสดงผลการทดลองใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ย	42
4.3 แสดงผลการทดลองใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ย	45
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบ สำหรับCoil และ Pad	53
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบ สำหรับCoil อย่างเดียว	55
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบ สำหรับ Pad อย่างเดียว	57
4.7 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบ โดยเฉลี่ยในเวลากลางวัน ของทุกเดือน ปี 2552	59
4.8 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพของระบบเมื่อต้องการอุณหภูมิอากาศจุดทางออก ลดลงจากเดิม 5, 4, 3, 2, 1°C โดยเฉลี่ยในเวลากลางวัน	61
ก.1 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 9:44 น. ถึง 10:43 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที	70
ก.2 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil อย่างเดียว โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 10:53 น. ถึง 11:52 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที	74
ก.3 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Pad อย่างเดียว โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 12:14 น. ถึง 13:13 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที	78

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.1 ตารางผลการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศออกจากชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบ ระเหยชนิดโดยตรงและ โดยอ้อม แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน,แบบ Coil อย่างเดียว และแบบ Pad อย่างเดียว กับ ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2552ทุกวัน โดยเฉลี่ย 6.00-18.00น.	83
ข.2 ตารางผลการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศออกจากชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบ ระเหยชนิดโดยตรงและ โดยอ้อม แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน,แบบ Coil อย่างเดียว และแบบ Pad อย่างเดียว กับ ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2552ทุกเดือน โดยเฉลี่ย 6.00-18.00น.	92



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เครื่องล้างอากาศ (Air washer)	5
2.2 แผนภูมิ Psychometric	9
2.3 แผนภูมิ อากาศอิมตัว อุณหภูมิกระเปาะแห้ง เปียกและจุดน้ำค้างเท่ากัน	9
2.4 แผนภูมิตัวอย่างที่ 2.1	11
2.5 แผนภูมิ Psychometric chart	12
2.6 ผลของกระบวนการทำให้เย็นโดยการระเหย	13
2.7 การทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative Cooling)	14
2.8 แผนภูมิ Psychometric และกระบวนการทำความเย็นแบบระเหย	15
2.9 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกันและแบบไหลสวนทางกัน	21
2.10 ค่าแฟคเตอร์แก้ไขของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ	23
2.11 ค่าประสิทธิภาพ NTU และ อัตราส่วนความจุ กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ	25
3.1 แสดงส่วนประกอบของชุดปรับสภาวะอากาศ	27
3.2 แสดงส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม	28
3.3 แสดงอุปกรณ์ของชุดพัฒนาระบบทำความเย็น	29
3.4 คอยล์เย็น	29
3.5 Pad กระดาษ	30
3.6 พัดลมแบบแเอ็กเซียล	30
3.7 ชุดแอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ	31
3.8 ด้านหน้า	32
3.9 ด้านหลัง	32
3.10 ด้านข้าง	33
3.11 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	33
3.12 เทอร์โมคัปเปิ้ล	34
3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วลม	34
3.14 คอมพิวเตอร์กำลังแสดงค่าอุณหภูมิผ่านทางจอมอนิเตอร์	35

### สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
4.1 แสดงภาพจุดติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์	37
4.2 แสดงภาพจุดติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม(Anemometer)	37
4.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Coil และ Pad	39
4.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Coil และ Pad	39
4.5 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Coil และ Pad	40
4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) แบบใช้ Coil และ Pad	40
4.7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Coil อย่างเดียว	42
4.8 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Coil อย่างเดียว	43
4.9 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Coil อย่างเดียว	43
4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) แบบใช้ Coil อย่างเดียว	44
4.11 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว	46
4.12 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Pad อย่างเดียว	46
4.13 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Pad อย่างเดียว	47
4.14 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) แบบใช้ Pad อย่างเดียว	47
4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) ทั้ง 3 แบบ	48
4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการทำความเย็น (Q) ทั้ง 3 แบบ	49
4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก ( $T_2$ ) ทั้ง 3 แบบ	50
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ทางออก (RH) ทั้ง 3 แบบ	51
4.19 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Coil และ Pad	54
4.20 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Coil อย่างเดียว	56
4.21 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว	58
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก (Tout) ทั้ง 3 แบบ ปี 2552 โดยเฉลี่ยในเวลากลางวันทุกเดือน	60
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก (Tout) ที่สามารถลดลงได้จากเดิมกับ ประสิทธิภาพของระบบเมื่อกำหนดให้ $T_{DB} = 29.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $T_{WB} = 23.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	62

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้ความสบายมากขึ้น ซึ่งเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันมีการใช้ที่ใช้น้ำสารทำความเย็นเป็นหลัก ซึ่งส่งผลให้มีความการปล่อยก๊าซCFC ออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้นตามมา การเกิดสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันอันเป็นผลมาจากสภาวะเรือนกระจก และจากการถูกทำลายของชั้นโอโซนในบรรยากาศ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของโลกสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งเป็นเมืองร้อนมีอากาศร้อนชื้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนซึ่งเห็นได้ตามเมืองใหญ่ ๆ มีอากาศร้อนมากขึ้น ความร้อนทำให้ผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของมนุษย์ตามมา ความร้อนทำให้มนุษย์มีความอดทนลดน้อยลงประสิทธิภาพในการทำงานก็ลดลง จากในปัจจุบันที่มีความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ก่อให้เกิดการคิดค้นประดิษฐ์กรรมต่าง ๆ ขึ้นมามากมายเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์และสร้างความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตประจำวัน และอีกทั้งยังมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศแบบระเหยพบว่าเครื่องปรับอากาศแบบระเหยเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานมากและลดการใช้ก๊าซCFCซึ่งก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนจึงถือว่าระบบปรับอากาศแบบระเหยเป็นระบบที่ดีระบบหนึ่งในระบบดังกล่าวยังมีข้อเสียคือความชื้นที่ออกมาค่อนข้างมากส่งผลต่อสุขภาพของบุคคลที่รับความชื้นจากการปรับอากาศแบบระเหยในครั้งนี้

จากสาเหตุข้างต้น การค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่จะเข้าไปในห้องบริเวณที่ต้องการ จึงเป็นที่มาของระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม ซึ่งเป็นแบบผสมผสานระหว่างแผ่นชับน้ำกับคอยล์เย็นแบบครีป ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างและหาประสิทธิภาพในการทำความเย็นและลดความชื้นของอากาศบริเวณที่ต้องการให้ลดลง และเป็นการประหยัดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้การทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศแบบระเหย ยังใช้อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบในการช่วยทำงานของระบบน้อย และเครื่องปรับอากาศแบบระเหยยังไม่มีผลกระทบหรือทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิด โดยตรงและโดยอ้อม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ระบบทำความเย็นแบบระเหย สามารถปรับลดอุณหภูมิของอากาศลง 5 องศาเซลเซียส

1.3.2 ระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถควบคุมความชื้นของอากาศที่ออกจากระบบทำความเย็นไม่ให้เกินความชื้นสูงสุดของประเทศไทย

1.3.3 แผ่นซับน้ำที่ใช้ในการทดลอง จะใช้แผ่นซับน้ำชนิดกระดาษ

1.3.4 คอยล์เย็นแบบครีปที่ใช้ในการทดลอง จะใช้ระยะครีป 7-12 ครีปต่อนิ้ว

## 1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถในการทำความเย็น โดยอากาศเมื่อผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดทางตรงและโดยอ้อม อากาศจะมีการคายความร้อนออกสู่น้ำในระบบเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศที่ออกจากระบบมีค่าต่ำลง

1.4.2 ระบบทำความเย็นแบบระเหย ชนิดทางตรง หมายถึง การลดอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการปรับอากาศ ซึ่งใช้ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำ โดยความร้อนแฝงที่ได้รับจากน้ำด้วยตัวเองและอากาศที่อยู่รอบๆ

1.4.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย ชนิดโดยอ้อม หมายถึง การลดอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการปรับอากาศ ซึ่งใช้ความร้อนสัมผัสของน้ำ โดยความร้อนสัมผัสที่ได้รับจากน้ำด้วยตัวเองและอากาศที่อยู่รอบๆ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนในวิชาทำความเย็นและปรับอากาศตามหลักสูตรอุตสาหกรรม  
ศาสตร์บัณฑิต และครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

1.5.2 เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการใช้ไฟฟ้าได้

1.5.3 เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมบรรยากาศโลกอัน  
ส่งผลทำให้โลกร้อนขึ้นได้

1.5.3 เพื่อให้เป็นแนวทางให้ผู้สนใจ นำข้อมูลไปศึกษาและพัฒนา ระบบทำความเย็นแบบ  
ระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมต่อไป



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมมีเนื้อหาที่สำคัญที่จะต้องศึกษาดังนี้

- 2.1 บทนำ
- 2.2 ประวัติและพัฒนาการของการปรับอากาศ
- 2.3 ความร้อนและอุณหภูมิต
- 2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometrics chart)
- 2.5 การทำความเย็นโดยการระเหย
- 2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย
- 2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)
- 2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

#### 2.1 บทนำ

ระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม เป็นการประยุกต์หลักการปรับอากาศแบบระเหยเข้ากับการปรับอากาศแบบใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง (Cross flow heat exchanger) เพื่อที่จะสามารถควบคุมสภาวะอากาศให้มีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นเหมาะสมตามต้องการ ซึ่งในการคำนวณสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากแผนภูมิสภาวะอากาศ (Psychometric chart)

#### 2.2 ประวัติและพัฒนาการของการปรับอากาศ

2.2.1 การค้นพบวัฏจักรการทำความเย็นและพัฒนาการของเครื่องทำความเย็น ได้เป็นแนวทางไปสู่การใช้ประโยชน์ของการปรับอากาศ โดยหลักใหญ่ๆแล้ว เครื่องอัดสารทำความเย็นทำหน้าที่อัดและทำให้ไอสารทำความเย็นเป็นของเหลว สารทำความเย็นเมื่อถูกฉีดเข้าไปในที่ที่มีความดันต่ำก็จะระเหยกลายเป็นไอทำให้อุณหภูมิลดลง ในยุคแรกๆ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุด แต่ในปัจจุบันนี้ ฟรีออนได้เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดแทน

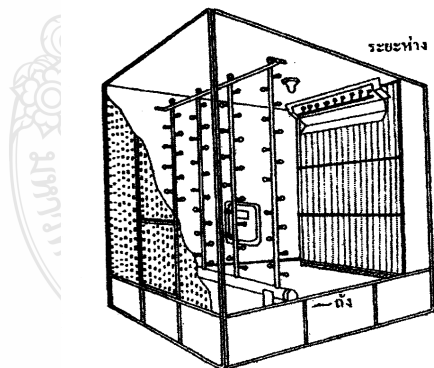
ในปี ค.ศ. 1822 คาคนาร์ด เดอ ลา ทัวร์ (Cagniard de la Tour) แห่งฝรั่งเศส ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสภาวะวิกฤตของแก๊สอีเธอร์ และในปีถัดมาฮัมฟรีย์ เดวี (Humphrey Davy)



และผู้ช่วยของเขาชื่อฟาราเดย์ (M. Faraday) แห่งอังกฤษ ได้เป็นบุคคลแรกที่สามารถทำให้ไอแอมโมเนียกลายเป็นแอมโมเนียเหลวได้สำเร็จ ในปี ค.ศ. 1824 คาร์โน (N.L.S. Carnot) แห่งฝรั่งเศส ก็ได้พบหลักเบื้องต้นของวัฏจักรการทำความร้อน และในปีเดียวกันนั่นเอง ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ของเขาก็ได้ถูกนำออกเผยแพร่ สิ่งที่ได้ถือว่าเป็นเครื่องปรับอากาศเครื่องแรกคือ สิ่งประดิษฐ์ที่ โจเซฟ แมคครีตี (Josept Mccreaty) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ประดิษฐ์ขึ้นและได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ไว้ในปี ค.ศ. 1897 ระบบของเขาเรียกว่า “เครื่องล้างอากาศ” (ระบบการทำความร้อนโดยการฉีดน้ำให้เป็นละอองเข้าไปในอากาศซึ่งมีรายละเอียดในภาพที่ 2.1) ส่วน ดร.วิลลิส ฮาวิลแลนด์ คาร์เรียร์ (Dr.Willis Haviland Carrier) แห่ง

สหรัฐอเมริกานั้นเป็นบุคคลแรกที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยที่เขาประสบความสำเร็จในการปรับอากาศในโรงพิมพ์ด้วยระบบเครื่องล้างอากาศที่ทำให้อากาศเย็นลงและอึดตัวที่จุดน้ำค้าง เมื่อปี ค.ศ. 1911 คาร์เรียร์ก็ได้เสนอทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์เขาต่อสมาคมวิศวกรเครื่องกลอเมริกัน

ในระยะแรก การปรับอากาศได้ถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ จนภายหลังสงครามโลกครั้งแรกแล้ว จึงได้มีการพัฒนาระบบปรับอากาศเพื่อความสบายของมนุษย์



ภาพที่ 2.1 เครื่องล้างอากาศ (Air washer)

### 2.2.2 คำจำกัดความของการปรับอากาศ

ดังได้กล่าวแล้วการปรับอากาศคือการกระทำต่ออากาศเพื่อที่จะควบคุมให้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้เป็นไปตามต้องการของที่นั้นๆ และพร้อมๆ กันไปก็จะต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนไหวของอากาศด้วยในบางประเทศถึงกับมีกฎหมายกำหนดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความบริสุทธิ์ และการเคลื่อนไหวของอากาศสำหรับงานแต่ละอย่างไว้ด้วย เช่น การปรับอากาศภายในสำนักงาน ภายในห้องประชุม เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว การปรับอากาศแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) การปรับอากาศเพื่อความสบาย เป็นการปรับอากาศที่มุ่งส่งเสริมสุขภาพ ความสบายและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้คนที่อาศัยหรือทำงานอยู่ที่นั่น อาทิ การปรับอากาศภายในบ้าน สำนักงาน โรงภาพยนตร์ โรงพยาบาล ฯลฯ

2) การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมภาวะบรรยากาศในกระบวนการผลิต ในการทำงานวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่างๆ ตัวอย่างเช่น การปรับอากาศในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โรงงานทอผ้า โรงบ่มยา ฯลฯ

## 2.3 ความร้อนและอุณหภูมิ

### 2.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

คือระดับสูงต่ำของความร้อนที่อยู่ในวัตถุ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุเมื่อวัตถุนั้นมีความร้อนอยู่ในตัว และเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่า ความร้อนยอมถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิคือ Thermometer

### 2.3.2 อุณหภูมิสมบูรณ์หรือศูนย์สมบูรณ์ (Absolute Temperature or Absolute Zero)

อุณหภูมิต่ำสุด หรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมาก ซึ่ง ณ จุดนี้จะไม่มีความร้อนหรือพลังงานเหลืออยู่อีกเลย เป็นจุดที่ทำให้แก๊สมีปริมาตรเป็นศูนย์ หรือมีสถานะเป็นแก๊สอยู่ต่อไปอีกไม่ได้จุดนี้จะมีอุณหภูมิ  $-273^{\circ}\text{C}$  หรือ  $-459.4^{\circ}\text{F}$

### 2.3.3 การวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

เครื่องมือสำหรับอุณหภูมิ คือ Thermometer โดยอาศัยหลักการขยายตัวของของเหลวหรือแก๊ส เช่นปรอท แอลกอฮอล์ อีเทอร์ แก๊สต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนและอากาศ เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ของเหลวมีเหมาะสมและใช้กันมาก ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ปรอท แบบทั่วไปของเทอร์โมมิเตอร์ปรอท มีลักษณะเป็นหลอดหรือแท่งแก้วยาว ปลายข้างหนึ่งตันอีกด้านหนึ่งทำเป็นกระเปาะสำหรับบรรจุปรอท แบ่งออกได้หลายแบบ

### 2.3.4 ความร้อน (Heat)

เป็นพลังงานรูปหนึ่ง (พลังงานภายใน) ที่ทำให้ปราสาทสัมผัสของคนปกติเกิดความรู้สึกร้อนเย็นได้ พลังงานความร้อนที่อยู่ในวัตถุนั้น อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ คือ เมื่อโมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหว ก็จะเกิดความร้อนขึ้นได้ แต่ถ้าโมเลกุลหยุดนิ่งก็จะไม่เกิดความร้อนขึ้นเลย เพราะโมเลกุลไม่เกิดการเสียดสีกัน เช่น เซอร์ อัมฟรี เดวี ทดลองใช้น้ำแข็งถูกับน้ำแข็งจะละลายเร็วขึ้นหรือใช้วัตถุ 2 อัน ถูกันจะเกิดความร้อนขึ้น การอัดอากาศในกระบอกสูบก็จะเกิดความร้อนเพราะโมเลกุลของอากาศเบียดเสียดกัน เป็นต้น

### 2.3.5 หน่วยวัดความร้อน (Unit of Heat)

ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในวัตถุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณหรือน้ำหนักของวัตถุและอุณหภูมิ ฉะนั้นวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำอาจมีค่าความร้อนสูงกว่าวัตถุอีกอันหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็ได้ หน่วยความร้อนที่ใช้มีหลายหน่วยดังนี้คือ

1) แคลลอรี่ (Calorie) ปริมาณความร้อน 1 แคลลอรี่ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีความร้อนสูงขึ้น 1 C บางทีเรียก “กรัมแคลลอรี่” หรือ “กรัมองศาเซ็นติเกรด” (Gram-degree Centigrade Unit )

2) แคลลอรี่ใหญ่หรือกิโลกรัมแคลลอรี่ (Big Calorie, Major Calorie or Kilogram Calorie) คือ ปริมาณความร้อนที่พอดี ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 C

ความร้อนนี้ว่า “หน่วยความร้อนเซ็นติเกรด” (Centigrade Unit of heat)

$$1 \text{ แคลลอรี่ใหญ่} = 1,000 \text{ แคลลอรี่}$$

ในประเทศอังกฤษ นอกจากจะใช้หน่วยในมาตราเมตริกแล้ว ยังมีหน่วยความร้อนเป็นของตนเองด้วย คือ

ก) ปอนด์องศาฟาเรนไฮต์ (Pond degree Centigrade Unit or Centigrade heat unit) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 C เขียนย่อๆว่า lb C หรือ (Chu) บางทีเรียกหน่วย

ข) ปอนด์องศาฟาเรนไฮต์ (Pond degree Fahrenheit Unit or lb F) คือปริมาณที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 F หรือเรียกว่า “หน่วยความร้อนอังกฤษ” (British Thermal Unit) เขียนย่อๆว่า B.Th.U หรือ B.T.U.

ค) เธอม (Them) เป็นหน่วยใหญ่ของ B.T.U.

ง) จูล (Joule) เป็นหน่วยวัดงาน พลังงาน และปริมาณความร้อนของระบบ S.I.unit

$$1 \text{ Therm} = 100,000 \text{ B.T.U.}$$

หน่วยความร้อนเปรียบเทียบ

$$1 \text{ B.T.U.} = 252 \text{ Calories}$$

$$= 778.26 \text{ ft.-lb.}$$

$$= 1055 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ lb } ^\circ\text{C or Chu} = 453.6 \text{ Calories}$$

$$= 1400 \text{ ft.-lb.}$$

$$1 \text{ H.P.} - \text{hr} = 2544.98 \text{ or } 2545 \text{ B.T.U.}$$

$$1 \text{ kw.} - \text{hr.} = 3413 \text{ B.T.U.} = 860 \text{ Kcal}$$

1 joule	=0.37 ฟุต – ปอนด์ =0.238 Calories, =นิ้วตัน – เมตร
1 Calorie	=4.2 joule

### 2.3.6 การส่งผ่านความร้อน (Transfer of Heat)

การส่งผ่านความร้อนหรือการเคลื่อนที่ของความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุอีกอันหนึ่งนั้นแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ

1) การนำความร้อน (Conduction of Heat) คือการที่ความร้อนส่งผ่านจะเคลื่อนที่ไปโดยอาศัยวัตถุเป็นสื่อหรือสะพานนำไป คล้ายกับไต้หรือคานไปไปตามโมเลกุลหรือวัตถุนั้นโดยที่โมเลกุลนั้นไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย ส่วนมากเป็นพวกของแข็ง

2) การพาความร้อน (Convection of Heat) วิธีนี้จะเคลื่อนที่ความร้อนไปได้โดยอาศัยเกาะไปกับโมเลกุลของวัตถุ เมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่ไปความร้อนจึงเคลื่อนที่ไปได้โดยมากเป็นของเหลวและก๊าซ

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation of Heat) การส่งความร้อนโดยวิธีนี้ส่งออกเป็นคลื่น (Wave) โดยไม่ต้องอาศัยสื่อกลางเหมือน 2 วิธีแรก และไม่ทำให้ ตัวกลางที่ความร้อนผ่านร้อนขึ้นเลย เช่น การส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านอวกาศมายังโลก การแผ่รังสีนี้จะเร็วไปอย่างรวดเร็วและมีอัตราเร็วเท่าแสง

วัสดุทั้ง 3 สถานะ โดยทั่วไปแล้วของแข็งนำความร้อนได้ดีกว่าของเหลว และของเหลวนำความร้อนได้ดีกว่าก๊าซ เช่น เหล็กนำความร้อนดีกว่าน้ำ 100 เท่า และน้ำนำความร้อนดีอากาศ 15 เท่า

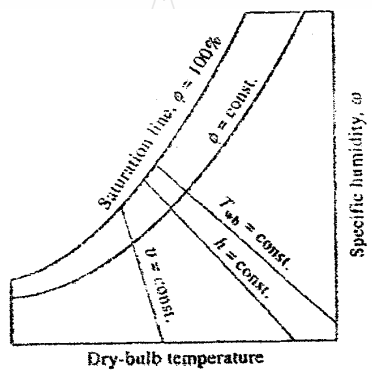
### 2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก (psychometrics chart)

โดยปกติสภาวะของอากาศในบรรยากาศที่มีความดันค่าหนึ่งนั้น สามารถถูกกำหนดได้อย่างสมบูรณ์โดยค่าสมบัติไม่ขึ้นอยู่กับมวลอิสระ (intensive property) 2 ค่า เราจะทราบค่าสมบัติของสภาวะของอากาศดังกล่าวได้โดยการคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ข้างต้น ในการออกแบบระบบปรับอากาศมักจะใช้การคำนวณเช่นนั้นมากมาย ซึ่งมักจะทำให้เกิดความรำคาญต่อนักวิศวกรออกแบบเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงได้มีผู้คิดค้นหาวิธีการคำนวณหาค่าทั้งหมด และคำนวณหาค่าที่ได้มาทำรูปของแผนภูมิที่ง่ายต่อการอ่านแผนภูมิได้นี้จะถูกเรียกว่า แผนภูมิไซโครเมตริก (psychometric chart) ซึ่งมักจะถูกใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบระบบปรับอากาศ

psychometric ที่ความดัน 1 atm (101.325 kPa หรือ 14.696 psia)

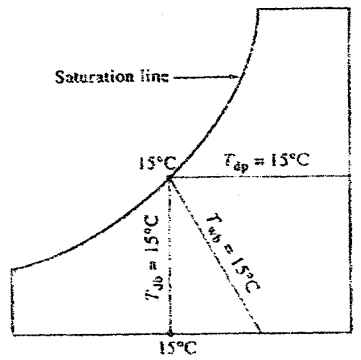
รูปร่างพื้นฐานทั่วไปของแผนภูมิ Psychrometric ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2 กล่าวคือ อุณหภูมิ กระเปาะแห้งถูกแสดงไว้เป็นแกนนอน และค่าความชื้นจำเพาะถูกแสดงไว้เป็นแกนตั้ง (บางแผนภูมิ ก็แสดงค่าความดันไอไว้เป็นแกนตั้งด้วย เพราะค่าความชื้นจำเพาะ จะมีความสัมพันธ์กับค่า ความดันเป็นไอ

ตามสมการ (2.8) เมื่อมีการค่าความดันรวม P) ที่ส่วนปลายด้านซ้ายของแผนภูมิ เราจะเห็น เส้นโค้งซึ่งเรียกว่า เส้นอิ่มตัว (Saturation line) แทนที่จะเป็นเส้นตรง สภาพอากาศอิ่มตัว ทั้งหมดจะอยู่บนเส้นโค้งนี้ ดังนั้น เส้นโค้งนี้ก็คือเส้นโค้งที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ส่วนโค้งที่ ค่าคงที่ของความชื้นสัมพัทธ์อื่นๆก็ได้แสดงในรูปร่างที่คล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิ Psychrometric

เส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จะมีลักษณะเฉียงลงมาจากขวามือ และเส้นของ ปริมาตรจำเพาะคงที่ (ในหน่วยของ m<sup>3</sup>/kg dry air) จะดูคล้ายคลึงเว้นแต่่ามีความชื้นที่มากกว่า ส่วนเส้นของเอนทาลปีคงที่ (ในหน่วยของ kJ/kg dry air) จะเกือบที่ขนานกับเส้นของอุณหภูมิ กระเปาะเปียกคงที่ ดังนั้น เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จึงมักถูกใช้ไปเป็นเส้นของเอนทาลปี คงที่ในแผนภูมิเดียวกันด้วย



ภาพที่ 2.3 แผนภูมิอากาศอิ่มตัว อุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียกและจุดน้ำค้างจะเท่ากัน

สำหรับอากาศอึมตัว อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในกระเปาะเปียก และจุดน้ำค้าง จะเท่ากันดังภาพที่ 2.3 ดังนั้นอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างของอากาศในบรรยากาศที่จุดใดๆ บนแผนภูมิสามารถถูกหาได้โดยลากเส้นแนวนอน (เส้นของ  $\square$ -คงที่ หรือ  $P[\square]$ -คงที่) จากจุดนั้นไปยังเส้นอึมตัวค่าอุณหภูมิที่จุดตัดคือ ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

นอกจากนี้แผนภูมิ psychometric ยังมีคุณค่าช่วยให้มองเห็นภาพของกระบวนการการปรับอากาศได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น กระบวนการทำร้อน หรือ กระบวนการทำความเย็นธรรมดาจะปรากฏเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิถ้าไม่มีกระบวนการเพิ่มความชื้น (humidification) หรือ กระบวนการลดความชื้น (dehumidification) เข้ามาเกี่ยวข้อง (นั่นคือ  $\square =$  คงที่) และถ้ามีการเบี่ยงเบนจากเส้นแนวนอนแล้ว จะชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความชื้นหรือเอาความชื้นออกจากอากาศในระหว่างกระบวนการ

ตัวอย่างที่ 2.1

เราลองพิจารณาห้องที่มีอากาศบรรจุอยู่ โดยมีสภาวะอยู่ที่ 1 atm, 35  $\square$ C และความชื้นสัมพัทธ์ 40% จะใช้แผนภูมิ psychometric ในการหา

ก) ความชื้นจำเพาะ

ข) ค่าเอนทาลปี (ในหน่วยของ kJ/kg dry air)

ค) อุณหภูมิกระเปาะเปียก

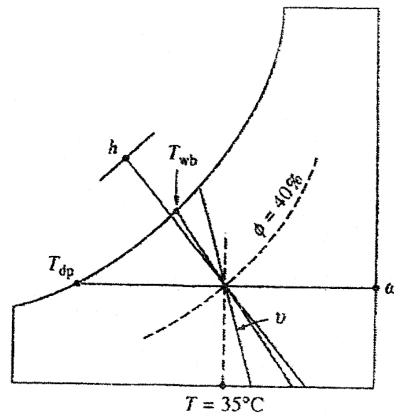
ง) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

จ) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (ในหน่วยของ  $m[\square]kg$  dry air)

**วิธีทำ** ที่ความดันรวมค่าหนึ่ง สภาวะของอากาศในบรรยากาศจะถูกกำหนดอย่างสมบูรณ์โดยค่าสมบัติอิสระ 2 ค่า เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าสมบัติอื่นๆสามารถหาได้โดยการอ่านค่าจากแผนภูมิ psychometric

ก) ความชื้นจำเพาะหาได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะที่กำหนดทางด้านขวามือจนกระทั่งตัดแกน  $\square$  ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ที่จุดตัดนี้เราอ่านค่าได้

$\square = 0.0142$  kg H $[\square]$ O/kg dry air



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิตัวอย่างที่ 2.1

ข) ค่าเอนทาลปีของอากาศในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง หาได้โดยการลากเส้นขนานกับเส้น  $h = \text{คงที่}$  จากสภาวะที่กำหนดจนกระทั่งตัดกับสเกลของเอนทาลปี ที่จุดตัดนี้เราสามารถอ่านค่าได้

$$H = 71.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

ค) อุณหภูมิกระเปาะเปียก สามารถหาได้โดยการลากเส้นขนานกับเส้น  $T_{wb} = \text{คงที่}$  จากสภาวะที่กำหนดจนกระทั่งถึงจุดอิมิตัว ที่จุดนี้เราอ่านค่าได้

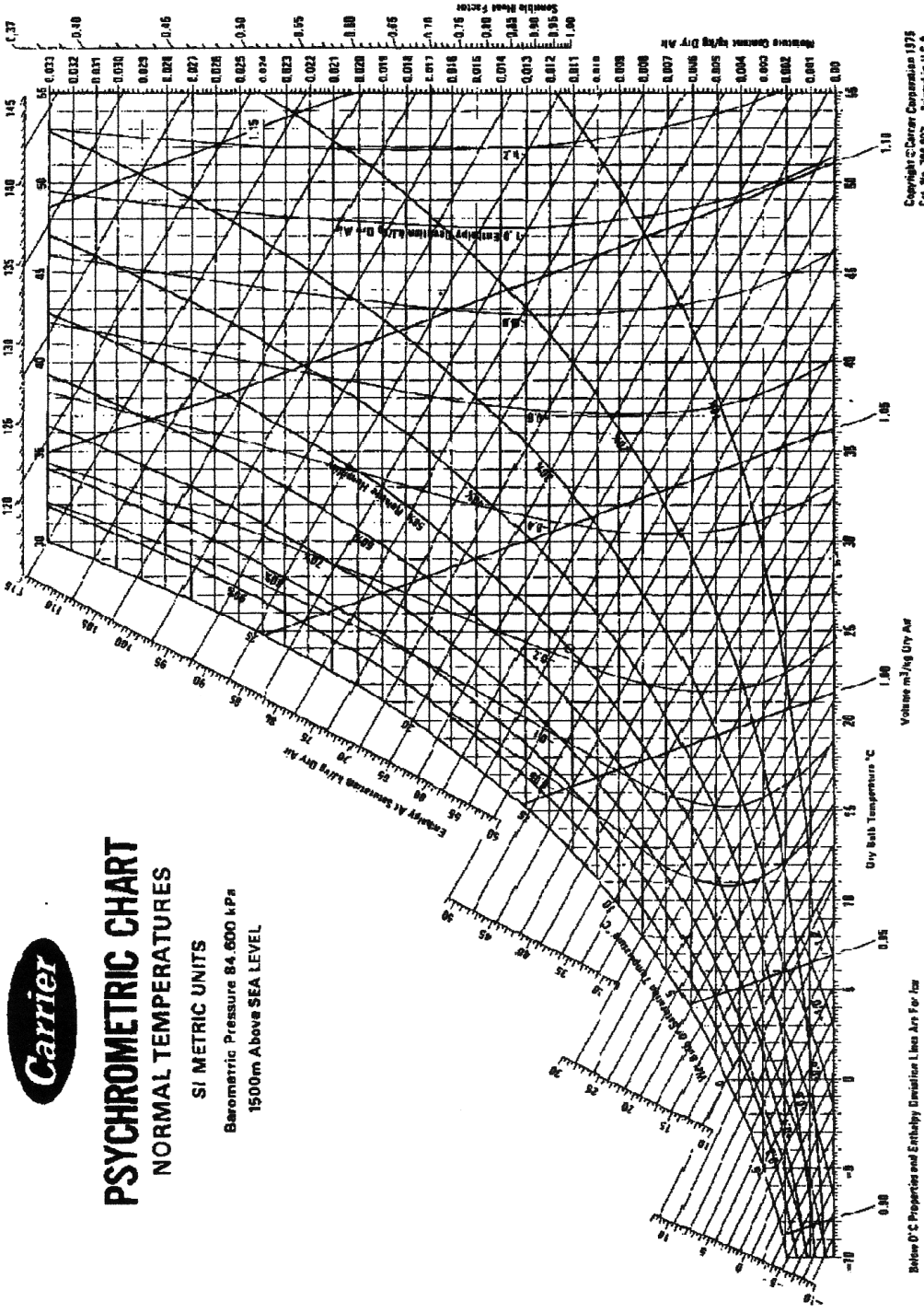
$$T_{wb} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ง) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หาได้โดยลากเส้นแนวนอนจากสภาวะที่กำหนด ไปยังซ้ายมือจนกระทั่งตัดกับเส้นอิมิตัว ที่จุดนี้เราอ่านค่าได้

$$T_{dp} = 19.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จ) ปริมาตรจำเพาะต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศสามารถหาได้โดยสังเกตรยะห่างระหว่างสภาวะที่กำหนดและเส้นของ  $V = \text{คงที่}$  ทั้งสองด้านสังเกตดูว่าสภาวะที่กำหนดนั้นอยู่ในระหว่างค่าใดบ้าง และหาค่าโดยประมาณจะได้

$$V = 0.893 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$$



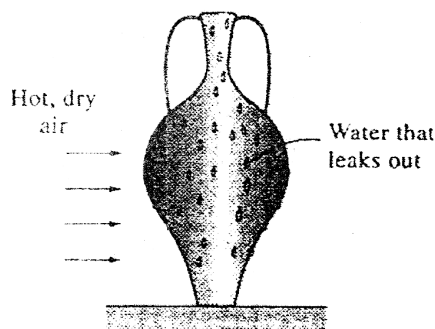
ภาพที่ 2.5 แผนภูมิ Psychrometric chart



## 2.5 การทำความเย็นโดยการระเหย

ระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติเป็นระบบที่ทำงานตามวัฏจักรทำความเย็น และสามารถใช้ได้ในทุกๆส่วนของโลก แต่ระบบทำความเย็นแบบธรรมดานี้จะมีค่าต้นทุนสูงและค่าใช้จ่ายในการทำค่อนข้างสูง ในสภาวะของอากาศทะเลทราย (ร้อนและแห้ง) เราสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติที่มีต้นทุนสูงนี้ได้ โดยใช้เครื่องทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative coolers) หรือรู้จักกันในนาม swamp cools

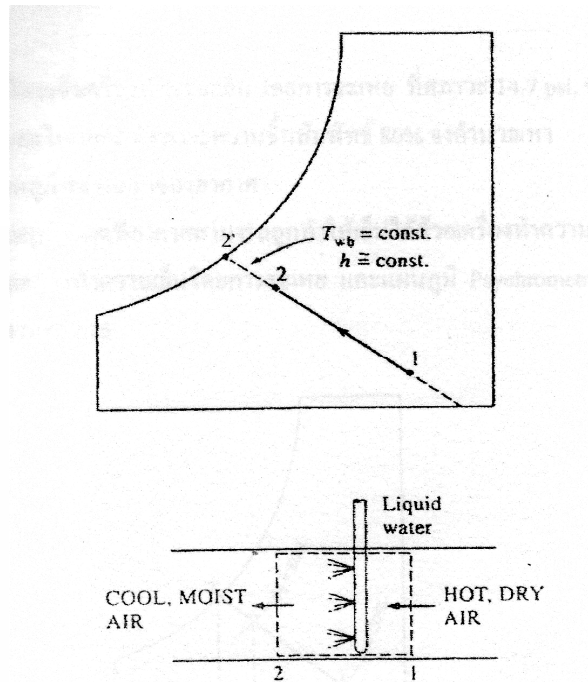
การทำความเย็นโดยการระเหยมีหลักการทั่วไปดังนี้ คือ ขณะที่เกิดการระเหย ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำจะได้รับจากน้ำด้วยตัวเองและอากาศที่รอบๆ ผลที่ตามมาคือทั้งน้ำและอากาศจะเย็นตัวลงระหว่างกระบวนการนี้และวิธีการนี้ เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ทำน้ำให้เย็นเป็นระยะเวลาเกือบพันปีมาแล้ว กล่าวคือเหยือกหรือภาชนะที่ทำเป็นรูปเหยือกมีสองหู ที่มีรูและน้ำบรรจุอยู่ภายในถูกปล่อยให้ไว้ในบริเวณที่เปิดและร่ม ปริมาณน้ำเล็กน้อยจะรั่วออกจากเหยือกโดยผ่านรูพรุนและเกิดเป็นหย่อม ในสภาวะบรรยากาศที่แห้ง น้ำนี้จะระเหยและทำให้น้ำที่เหลืออยู่ภายในเหยือกเย็นลง (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ผลของกระบวนการทำให้เย็นโดยการระเหย

บางทีเราอาจจะรู้สึกได้ว่า ในวันที่อากาศร้อนและแห้งเรารู้สึกเย็นกว่าได้ถ้ามีพ่นน้ำในสนามหญ้า ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าน้ำมีการดูดซับความร้อนจากอากาศที่อยู่รอบๆ และเกิดการระเหยขึ้นการทำงานของกระบวนการทำความเย็น โดยการระเหยก็มีการทำงาน โดยหลักการนี้ ภาพของการทำความเย็น โดยการระเหยและกระบวนการบนแผนภูมิ Psychrometric ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.7 กล่าวคือ อากาศที่ร้อนและแห้งตามสภาวะที่ 1 ไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นโดยการระเหย ซึ่งเมื่อฉีดพ่นน้ำที่อยู่ภายในสภาวะของเหลว น้ำส่วนหนึ่งจะเกิดการระเหยในระหว่างกระบวนการนี้ โดยการดูดซับความร้อนจากกระแสของอากาศ ผลที่ตามมาก็คืออุณหภูมิของกระแสอากาศจะลดลง

และมีความชื้นเพิ่มขึ้น (สภาวะที่ 2) ข้อจำกัดของกระบวนการนี้คือ อากาศจะไหลออกได้เต็มที่ที่ สภาวะอิมตัวที่สภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำได้ในกระบวนการนี้



ภาพที่ 2.7 การทำความเย็นโดยการระเหย (evaporative cooling)

กระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยนี้ จะเหมือนกับกระบวนการอิมตัวแอดียเบติก เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศและสิ่งแวดล้อมมักจะไม่มีมากนัก ดังนั้นกระบวนการทำความเย็น โดยการระเหยจะดำเนินการตามแนวเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่คงที่บนแผนภูมิ Psychrometric (ข้อสังเกต คือ สิ่งนี้จะไม่ถูกต้อนักถ้าในสถานะของเหลวถูกป้อนเข้าที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิที่ทางออกจากกระแสนอากาศ) เนื่องจากเส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่เกือบจะเป็นเส้นเดียวกันของเอนทัลปีคงที่ ดังนั้น ค่าเอนทัลปีของกระแสนอากาศสามารถถูกสมมติให้คงที่ นั่นคือ

$$T_{\text{คงที่}} \quad \dots (2.1)$$

และ  $h_{\text{คงที่}} \quad \dots (2.2)$

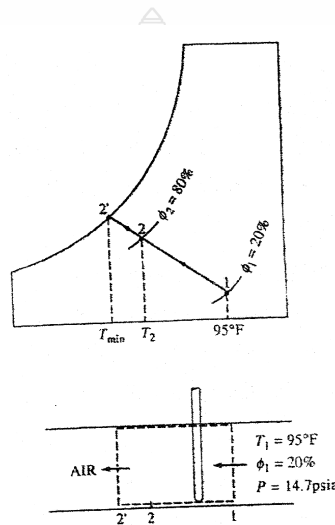
ในระหว่างกระบวนการทำความเย็นโดยการระเหย ข้อสมมตินี้มีค่าถูกต้อง โดยประมาณ และมักถูกใช้เพื่อการคำนวณในระบบปรับอากาศ

ตัวอย่างที่ 2.3

อากาศไหลเข้าเครื่องทำความเย็น โดยการระเหย ที่สภาวะ 14.7 psi, 95 °F และมี ความชื้นสัมพัทธ์ 20% และไหลออกที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 80% จงคำนวณหา

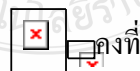
ก) อุณหภูมิที่ทางออกของอากาศ

ข) อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่อากาศสามารถถูกทำให้เย็นได้โดยเครื่องทำความเย็น โดยการระเหยนี้ วิธีทำ ภาพของเครื่องทำความเย็นโดยการระเหย และแผนภูมิ Psychometric ของกระบวนการนี้ถูก แสดงไว้ในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผนภูมิ Psychometric และกระบวนการทำความเย็นแบบระเหย

ก) ถ้าเราสมมุติว่าในสถานะของเหลวที่ถูกป้อนเข้าไปที่อุณหภูมิที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิที่ ทางออกจากกระแสน้ำในสถานะของเหลวที่กระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยจะดำเนินตามแนวเส้นที่ อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่บนแผนภูมิ Psychometric นั่นคือ



อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่สภาวะ 95 °F และความชื้นสัมพัทธ์ 20% สามารถหาได้จากแผนภูมิ Psychometric ซึ่งมีค่าเท่ากับ 66.0 °F และเส้น = 80% คือ สภาวะที่ทางออกของอากาศ อุณหภูมิที่จุดนี้เป็นอุณหภูมิที่ทางออกของอากาศ และสามารถหาทางออกได้จากแผนภูมิ Psychometric ได้ดังนี้

$$\boxed{\text{x}} = T_{\text{wb}} = 66.0 \text{ } ^\circ\text{F}$$

## 2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย

ประสิทธิภาพของการทำความเย็นแบบระเหย จะขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศที่ใกล้สภาวะอิ่มตัว ซึ่งจะเป็นตัววัดสมรรถนะในการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหย โดยทั่วไปแล้ว จะแสดงในรูปประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturation efficiency) ซึ่งจะเป็นการพิจารณาจากผลของ อุณหภูมิจากการระเหยของน้ำเมื่อมีอากาศไหลผ่านผิวเปียก ดังนั้นการพิจารณาระบบการทำความเย็นสามารถประเมินได้จากประสิทธิภาพดังนี้



...(2.3)

- โดยที่
- คือ ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)
  - คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านผิวเปียก ( $^{\circ}\text{C}$ )
  - คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก ( $^{\circ}\text{C}$ )

ระบบการทำความเย็นแบบระเหยในแบบพ่นฝอย จะให้ประสิทธิภาพถึง 90 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 25 psi ของแรงดันหัวฉีด ส่วนผิวเปียก ประสิทธิภาพในการทำความเย็นจะอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้างทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ สภาพของอากาศที่ไหลผ่าน พื้นที่ และความหนาของผิวเปียก รวมทั้งความสามารถในการรักษาระดับของปริมาณน้ำภายในผิวเปียกได้ดี ซึ่งโดยทั่วไป ประมาณ 90 % และถ้ามีการบำรุงรักษาประสิทธิภาพสามารถทำได้ถึง 80 %

## 2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

เมื่อไหร่ก็ตามที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้ เรียกว่า ความร้อน ถึงแม้ว่าวิชาเทอร์โมไดนามิกส์จะเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของพลังงานก็ตาม แต่ก็เป็นการศึกษาเฉพาะในกรณีที่ระบบความร้อนนั้นอยู่ในสภาวะสมดุลแล้วเท่านั้น ดังนั้น กฎเกณฑ์ต่างๆ ในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์จึงใช้ได้แต่เพียงทำนายจำนวนพลังที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบความร้อนนั้น อยู่ในสภาวะสมดุลจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่จะบอกให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดจากขั้นใดเร็วเพียงไร ศาสตร์จากวิชาการถ่ายเทความร้อนนี้จะช่วยต่อเติมกฎหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้

รายละเอียดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อนนั้น พิจารณาได้จากแท่งเหล็กที่กำลังร้อนขึ้นเมื่อนำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำร้อนจากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ จะทำให้สามารถหาอุณหภูมิจากแท่งเหล็กและน้ำร้อนได้เมื่อแท่งเหล็กและน้ำร้อนอยู่ในสภาวะ สมดุลแล้ว แต่ก็ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิในช่วงที่ กำหนดให้ นั่น และก็สามารถบอกให้ทราบว่าต้องใช้เวลานานเท่าไร แท่งเหล็กและน้ำร้อนจึง จะมีอุณหภูมิตามต้องการ ส่วนการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนนั้นจะสามารถทำนายอัตราการ ถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังแท่งเหล็กได้ นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของแท่ง เหล็กและน้ำในฟังก์ชันของเวลาอีกด้วย

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่ได้นั้น จะต้องทราบถึงกลไก ของการถ่ายเทความร้อนแบบ ต่างๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน (Conduction)
2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน (Convection)
3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในการออกแบบระบบความร้อนและวิเคราะห์ การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะต้องเข้าใจ กลไกของการถ่ายเทความร้อนแต่ละระบบ และต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อน แบบนั้นๆ สำหรับในบทนี้พิจารณาถึงกฎเกณฑ์ที่สำคัญๆ ของการถ่ายเทความร้อนและการใช้งานที่ ใดๆ บางอัน ส่วนรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละแบบนั้นจะกล่าวถึงในภายหลัง

#### 2.7.1 การนำ (Conduction)

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่ อุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อนความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่ เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของ ความร้อนแบบการพาความร้อนเคลื่อนที่ โดยการนำได้โดยการเคลื่อนที่ไปได้โดยการ สั่นสะเทือน (Vibration energy) อีกด้วย

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดย โจเซฟ ฟูลเรีย (Joseph Fourier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ฟูลเรียได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความ ร้อนโดยการนำในปี ค.ศ.1822 โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง ไว้ดังนี้คือ

$$Q = -KA \left( \frac{dT}{dx} \right) \quad (2.4)$$

โดยที่  $K$  คือ ค่าการนำความร้อน (Fourier Rate Equation) ของสารที่ความร้อนเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นในระบบ และ ในระบบอังกฤษ เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อนและเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

สมการนี้เรียกว่า ซึ่ง เป็นสมการที่ได้มาโดยอาศัยผลการทดลอง จากสมการนี้เราสามารถหาสมการอื่นๆ เพื่อใช้ให้เป็นประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำได้

### 2.7.2 การพา (Convection)

การพา คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้นเกิดจากการรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการและการเคลื่อนที่ของไหล การพาแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) และการพาตามธรรมชาติ (Nature หรือ Free Convection)

การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) คือการเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือเครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ (Nature หรือ Free Convection) คือการเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่ของไหลที่อยู่ที่ใกล้ผิวของของแข็ง อาจจะเคลื่อนที่ได้โดยแรงตัวของของไหลเองแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของการไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นคุณสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเหลวของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง และของเหลวเป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยการเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ความร้อนโดยการพาดังนี้คือ

$$q = h (T_s - T_f) \quad (2.5)$$

โดยที่  $h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient) ซึ่งได้รวมเอาความยุ่งยากทั้งหมดไว้ ถ้าเรารู้ว่าการคำนวณสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนได้ เราก็คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้ สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นสมการชนิดเอมไพริคัล (Empirical Equation)

$h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหน่วยเป็น  $W/m^2K$  ในระบบ SI และ  $Btu/ft^2 hr^\circ F$  ในระบบอังกฤษ

$q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของแข็งที่สัมผัสกับของไหล

$T_{\infty}$  คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)

$T_s$  คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)

### 2.7.3 การแผ่รังสี (Radiation)

ในการแผ่รังสีความร้อนเคลื่อนที่ได้ โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางดังเช่นในการนำและพาในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ การที่จะอธิบายว่าความร้อนเคลื่อนที่ได้ไว้อย่างไรนั้น เป็นสิ่งที่ยากจะอธิบายให้พฤติกรรมทางกายภาพได้ มีผู้พยายามเสนอวิธีเกี่ยวกับการแผ่รังสีมาหลายรายแต่ไม่ค่อยเป็นที่น่าพอใจนัก ทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดขณะนี้ เป็นทฤษฎีที่เสนอโดย ไอสไตน์ (Einstein) ซึ่งกล่าวว่าในการแผ่รังสีความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยกลไกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนรวมกัน (Combined Convection and Radiation)

เมื่อถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนพร้อมกัน และอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและแผ่รังสีความร้อนไม่ต่างกันมากนัก การวิเคราะห์หาค่าของการถ่ายเทความร้อนยุ่งยากมาก แต่ในบางกรณี เราอาจประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการรวมอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาและการแผ่รังสีเข้าด้วยกันได้ เช่น การไหลของก๊าซที่ได้จากการสันดาป ซึ่งประกอบด้วย  $CO_2$ ,  $CO$  และ  $H_2O$  ซึ่งมีอุณหภูมิ ในท่อซึ่งอุณหภูมิผนัง การถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไปสู่ผนังท่อ จะเกิดขึ้นโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนหากอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนมีค่าไม่มากนัก อัตราถ่ายเทความร้อนรวมจะหาได้โดยการประมาณ จากการรวมอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันดังนี้

$$q = h(T_{\infty} - T_s) + hr(T_{\infty} - T_s) \quad (2.6)$$

$$= (h + hr)(T_{\infty} - T_s)$$

$$= h_{\text{รวม}}(T_{\infty} - T_s)$$

โดยที่  $h_{\text{รวม}}$  คือ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวมของการพาและการแผ่รังสีความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ (Heat Transfer with Change of Phase)

เมื่อสารเปลี่ยนสถานะจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น เมื่อไอของสารเคลื่อนที่มาสัมผัสกับวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไอจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวใน

การกระบวนการดังกล่าว ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของสาร จะถูกคายออกมาซึ่งจะถูกระบายไปในทางตรงกันข้ามของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ เช่น การเดือดและการระเหย จะต้องมีความร้อนซึ่งถูกเก็บไว้ในไอ ในการเปลี่ยนสถานะจากแข็งเป็นของเหลวเช่นเดียวกัน จะต้องมีการถ่ายเทความร้อนไปให้สารและความร้อนแฝงจะถูกเก็บไว้ในของเหลว

การถ่ายเทความร้อนระหว่างการเปลี่ยนสถานะนี้มีความสำคัญมากในทางวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากที่อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะของสารในการระบายความร้อน วิศวกรจึงควรจึงควรมีความสามารถที่จะวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารได้

ในบางโอกาสใช้  $H$  เป็นปริมาณพื้นฐานด้วยก็ได้ ในกรณีนี้จะมีปริมาณพื้นฐาน 5 ปริมาณ คือ  $L, M, t, T$  และ  $H$

สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกชั้นเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ภายในท่อ จะเขียนได้จากสมการ ดังนี้ คือ

$$U \left[ \frac{A_i}{L} \right] = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.7)$$

โดยที่  $\left[ \frac{A_i}{L} \right]$  คือ ความหนาของผนัง

เนื่องจากท่อทำจากโลหะที่มีผนังบางมาก และมีค่านำความร้อนสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเขียนได้ดังนี้

$$U \left[ \frac{A_i}{L} \right] = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.8)$$

ในกรณีที่ผิววนอกของท่อติดครีป สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะหาได้โดยสมการที่ซึ่งเขียนได้ดังนี้ คือ

$$= \left[ \frac{A_i}{L} \right] \quad (2.9)$$



โดยที่

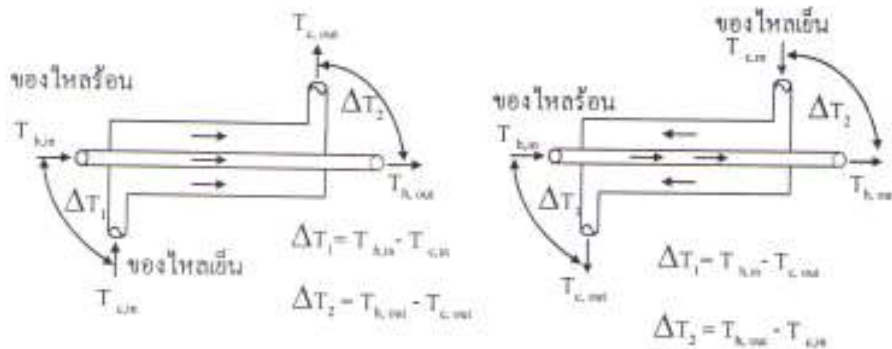
- $A_i$  คือ พื้นที่ผิวในต่อหน่วยความยาวท่อ
- $A_o$  คือ พื้นที่ผิวนอกต่อหน่วยความยาวท่อ (ไม่รวมส่วนที่ถูกครีบทับอยู่)
- $A_c$  คือ พื้นที่ผิวของครีบทับต่อหน่วยความยาวท่อ
- $\eta$  คือ ประสิทธิภาพของครีบทับ

### 2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มหรือลดพลังงานความร้อนของของไหล ซึ่งของไหลนั้นสามารถเป็นได้ทั้งของเหลวและก๊าซ หรือเป็นการเพิ่มและลดอุณหภูมิของของไหล ทฤษฎีหรือวิธีการคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิ และ วิธีของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู โดยมีหลักการคำนวณตามรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 2.8.1 วิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (LMTD, LOG MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE METHOD)

วิธีการของ LMTD ที่ใช้วิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนำมาใช้เมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและที่ทางออกของของไหล และสามารถนำมาหาค่าตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างรวดเร็ว

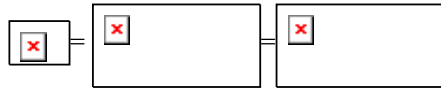


ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกันและแบบไหลสวนทางกัน

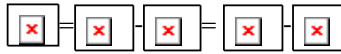
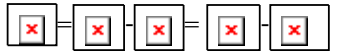
พิจารณาภาพที่ 2.9 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสามารถหาได้จากสมการ (2.10-2.11)

$$Q = \dot{m}_h C_p (T_{h,in} - T_{h,out}) = \dot{m}_c C_p (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2.10)$$

$$Q = U A_o \Delta T_{lm} \quad (2.11)$$



โดยที่



ปริมาณความร้อน (kJ/s)

อัตราการไหลเชิงมวลของไอลร้อน (kg/s)

อัตราการไหลเชิงมวลของไอลเย็น (kg/s)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไอลร้อน (kJ/kg)

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไอลเย็น (kJ/kg)

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม ( $W/m^2.K$ )

พื้นที่การถ่ายเทความร้อน ( $m^2$ )

ค่าแฟกเตอร์แก้ไข (มีค่าเท่ากับ 1 กรณีแบบท่อซ้อนทั่วไป ถ้ามีรูปร่างอื่นต้องหา

จากภาพที่ 2.10 )

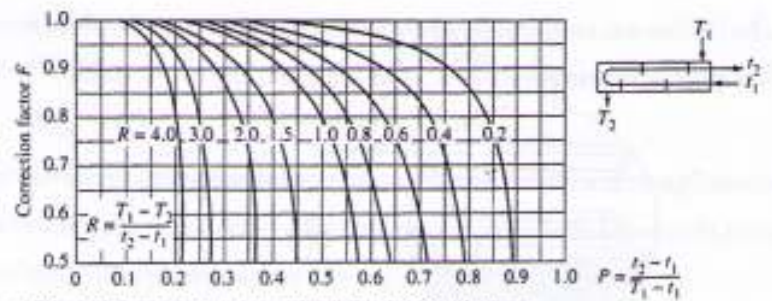
ชุดค่าของอุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน (K)

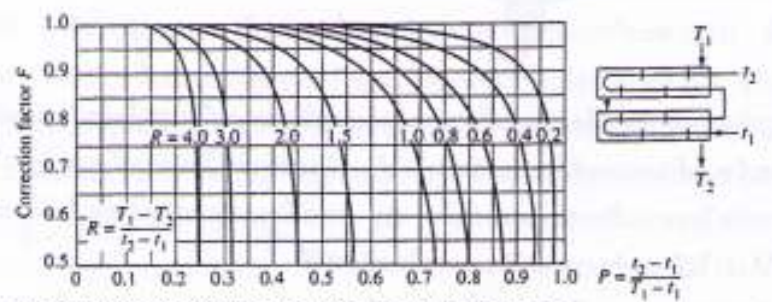
อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน (K)

อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น (K)

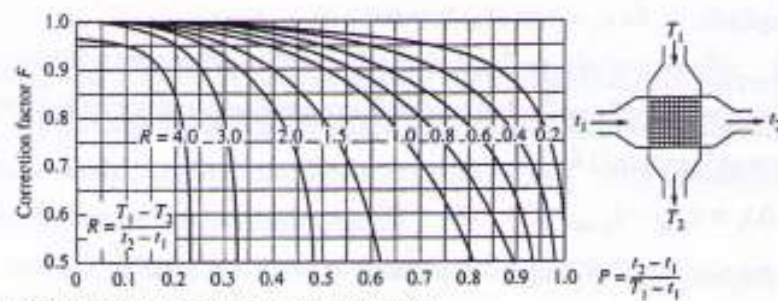
อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น (K)



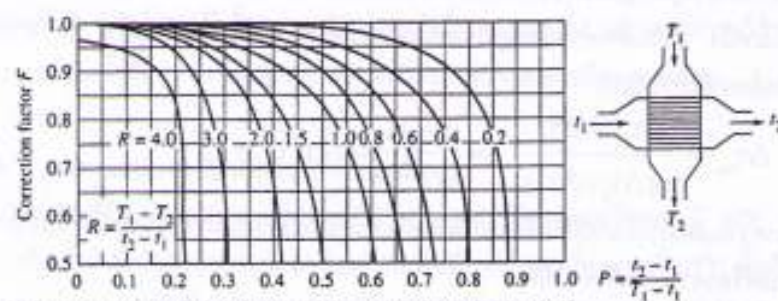
(a) One-shell pass and 2, 4, 6, etc. (any multiple of 2), tube passes



(b) Two-shell passes and 4, 8, 12, etc. (any multiple of 4), tube passes



(c) Single-pass cross-flow with both fluids unmixed



(d) Single-pass cross-flow with one fluid mixed and the other unmixed

ภาพที่ 2.10 ค่าแฟคเตอร์แก้ไขของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

### 2.8.2 วิธีการของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู (Effectiveness-NTU Method)

ในกรณีที่ทราบค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว แต่ไม่ทราบค่าอุณหภูมิทางออก สามารถหาค่าได้จากวิธีการของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู ซึ่งจะรวดเร็วกว่า เพราะไม่ต้องทำการแก้ค่าสมการลึอกจากวิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (2.12)$$

โดยที่

$Q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจริง (kJ/s)

$Q_{\max}$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนได้สูงสุด (kJ/s)

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจริงสามารถหาได้ดังนี้

$$Q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o}) = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.13)$$

โดยที่

$\dot{m}_c$ ,  $\dot{m}_h$  คือ อัตราความจุความร้อนสำหรับของไหลเย็นและร้อน

$C_{p,c}$  = อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน (K)

$C_{p,h}$  = อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน (K)

$C_{p,c}$  = อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น (K)

$C_{p,h}$  = อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น (K)

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนได้สูงสุดคำนวณได้จาก

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2.14)$$

โดยที่

$C_{\min}$  = ค่าต่ำสุดของค่า ( $\dot{m}_c C_{p,c}$ ,  $\dot{m}_h C_{p,h}$ )

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตและเส้นทางของของไหล ดังนั้นเราสามารถหาค่า ประสิทธิภาพได้ดังนี้

กำหนดให้ เอ็นทียู(NTU) มีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.15)

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (2.15)$$

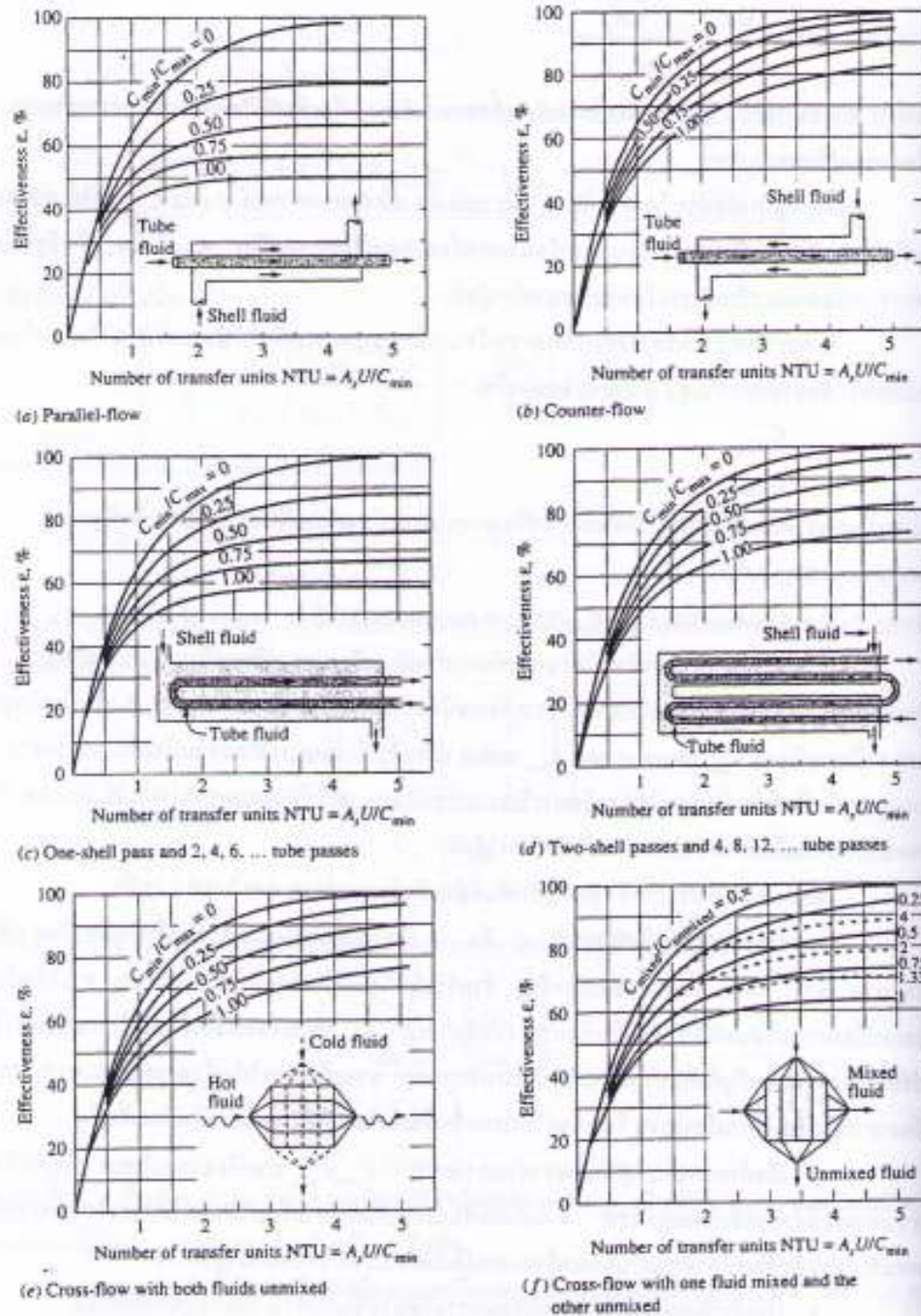
อัตราส่วนความจุ

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (2.16)$$

ค่าประสิทธิผลสามารถเขียนในรูปตัวแปร NTU และ อัตราส่วนความจุ

$$\epsilon = \text{function}(NTU, C)$$

$$(2.17)$$



ภาพที่ 2.11 ค่าประสิทธิผล NTU และ อัตราส่วนความจุ กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 บทนำ

ในการสร้างและทดสอบชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม เริ่มจากการศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านส่วนประกอบ ระบบ วัสดุเครื่องมือ รวมทั้งค้นหาแหล่งข้อมูลจากหนังสือตำราต่าง ๆ และจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบดังกล่าว จากนั้นได้ทำการจัดสร้างและทดสอบ และทำการทดสอบเก็บข้อมูลการทดลองตามแผนดำเนินงาน

#### 3.2 วิธีดำเนินการ

##### 3.2.1 ศึกษารวบรวมข้อมูล

- 1) ทำการค้นหาข้อมูลจากตำราที่เกี่ยวข้อง เช่น หนังสือการปรับอากาศและการทำความเย็น หนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ ปัมและระบบสูบน้ำ และ หนังสือเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรม
- 2) หาข้อมูลจาก Internet ตามเว็บไซต์ต่างๆ
- 3) สอบถามและขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการทำความเย็นและปรับอากาศ ระบบควบคุมทางไฟฟ้าและเครื่องมือวัด

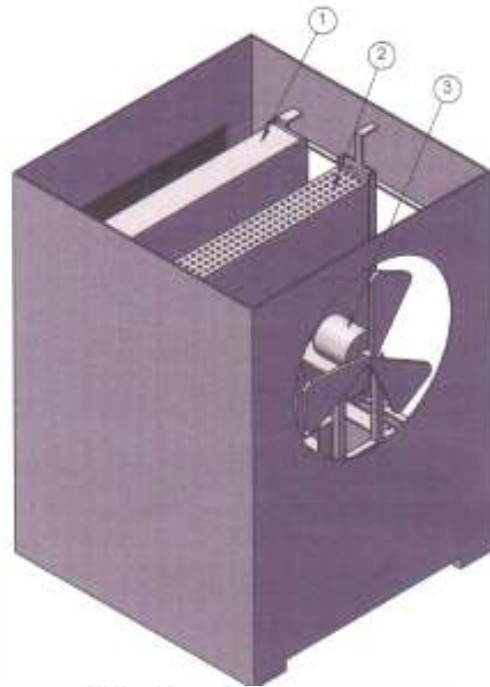
##### 3.2.2 ออกแบบและสร้าง

- 1) ชุดปรับสภาวะอากาศ

ชุดปรับสภาวะอากาศ เป็นที่รวบรวมสำหรับอุปกรณ์ต่างๆที่จะทำการติดตั้ง ซึ่งประกอบไปด้วย

1. พัดลม
2. คอยล์เย็น
3. Pad กระดาษ
4. ปัมน้ำ
5. แผงรับและจ่ายลม
6. ที่เก็บน้ำไว้ด้านล่าง

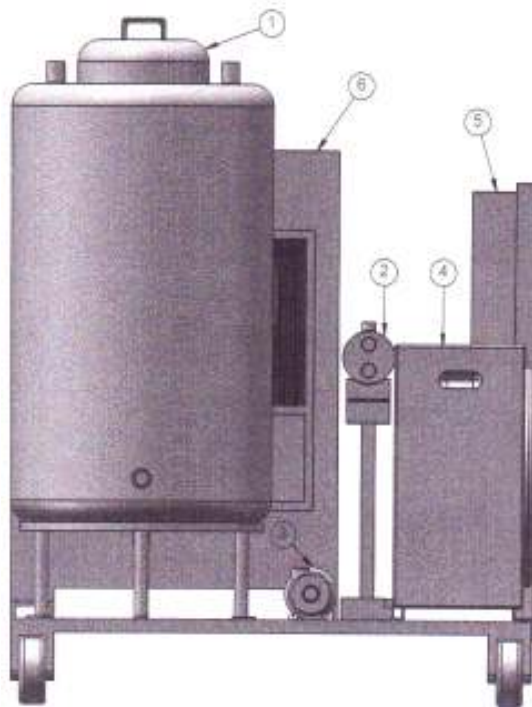
ชุดปรับสภาวะอากาศทำจากแอสตนเลส มีขนาด 75x75x125 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของชุดปรับสภาวะอากาศ

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | → | คอยล์เย็นชนิดกริบ ขนาด 90×600×460 มิลลิเมตร |
| 2 | → | Pad กระดาษ ขนาด 90×600×550 มิลลิเมตร        |
| 3 | → | พัดลม ขนาดใบพัด 18 นิ้ว                     |

## 2) ระบบปรับสภาพน้ำและระบบควบคุมทางไฟฟ้า

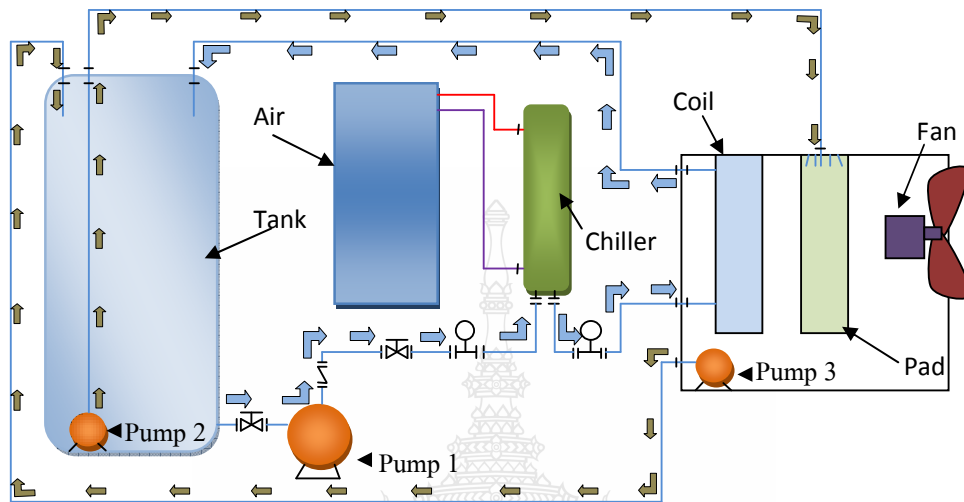


ภาพที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

- |   |   |                          |
|---|---|--------------------------|
| 1 | → | ถังเก็บน้ำ ขนาด 250 ลิตร |
| 2 | → | ซินเดออร์ Shell & Tube   |
| 3 | → | ปั๊มน้ำ ขนาด 0.5 แรงม้า  |
| 4 | → | แอร์ 12,000 BTU          |
| 5 | → | ตู้ควบคุมไฟฟ้า           |
| 6 | → | ชุดปรับสภาวะอากาศ        |



3) ระบบท่อน้ำ ระบบปรับสภาพน้ำ และ ระบบปรับสภาวะอากาศ



ภาพที่ 3.3 แสดงวงจรการทำงานชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

4) คอยล์เย็น ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากอากาศในชุดปรับสภาวะอากาศ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ลักษณะเป็นท่อทองแดงขดกันเป็นแถวเรียง



ภาพที่ 3.4 คอยล์เย็น

- 5) Pad กระจาย ทำหน้าที่จับน้ำและระเหยน้ำในตู้ทำให้ลมที่ผ่านนั้นเย็น ถูกติดตั้งไว้หลังพัดลมข้างหน้าคอยล์เย็น



ภาพที่ 3.5 Pad กระจาย

- 6) พัดลม ทำหน้าที่ดูดลมในชุดปรับสภาวะอากาศ เป็นแบบแอ็กเซียล ชนิดมอเตอร์กันน้ำ เพราะตัวพัดลมติดตั้งอยู่ภายในชุดปรับสภาวะอากาศ



ภาพที่ 3.6 พัดลมแบบแอ็กเซียล

7). ชุดแอร์ ทำหน้าที่สร้างความเย็นเพื่อไปแลกเปลี่ยนความเย็นกับน้ำที่ชุดซินเลอร์ ใช้สารทำความเย็น R 22



ภาพที่ 3.7 ชุดแอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ



8) ชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม



ภาพที่ 3.8 ด้านหน้า



ภาพที่ 3.9 ด้านหลัง



ภาพที่ 3.10 ด้านข้าง

### 3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ประเมินผลนั้น เครื่องมือวัดต่างๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งในที่นี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญด้วยกันดังนี้

- 1) ดาตาดอกเกอร์(Data logger )



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

2) เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K TYPE



ภาพที่ 3.12 เทอร์โมคัปเปิ้ล

3) แอนนิโมมิเตอร์ หรือ อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

4) คอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ชุด



ภาพที่ 3.14 คอมพิวเตอร์กำลังแสดงค่าอุณหภูมิผ่านทางจอมอนิเตอร์



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

หลังจากดำเนินการสร้างชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมเสร็จสมบูรณ์แล้ว ก็เข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบเพื่อที่จะศึกษาและเก็บข้อมูลทางด้านต่าง ๆ ไว้สำหรับวิเคราะห์และตรวจสอบข้อบกพร่องและผลวิเคราะห์ต่าง ๆ กลับมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นและสามารถใช้งานในขอบเขตที่กว้างขวางขึ้นกว่าเดิมซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1 เตรียมการทดลอง

4.1.2 ติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ

4.1.3 ทดลอง

4.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1.5 วิเคราะห์ผลทางทฤษฎี

#### 4.2 เตรียมการทดลอง

4.2.1 เติมน้ำในถังเก็บน้ำให้ได้ระดับ 120 ลิตร

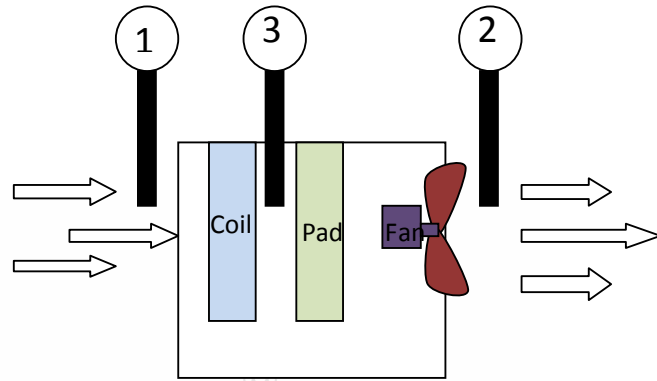
4.2.2 เติมน้ำในอ่างน้ำของ Evaporative

4.2.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลม



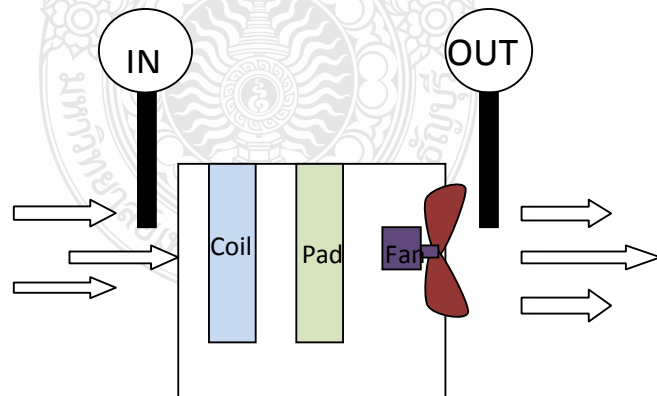
### 4.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ

#### 4.3.1 ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.1 แสดงจุดติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์

#### 4.3.2 ติดตั้ง Anemometer วัดความเร็วลม



ภาพที่ 4.2 แสดงจุดติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

#### 4.4 การทดลองที่ 1 เรื่อง ใช้ Coil และ Pad

##### 4.4.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

1) ปรับเทอร์โมสแตทที่เครื่องปรับอากาศที่ 15 องศาเซลเซียส  
 2) ตั้ง Timer เปิดวาล์วน้ำหยด Pad 30 วินาที ปิดวาล์วน้ำหยด Pad 30 นาที ใช้เวลาทดลอง 1 ชั่วโมง อ่านค่าทุก 1 นาที

3) ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อ่านค่าทุก ๆ 1 นาที

4) ทำการจดบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตาราง

5) นำผลการคำนวณ มาพล็อตกราฟ

##### 4.4.2 ผลการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองใช้ Coil และ Pad เฉลี่ย

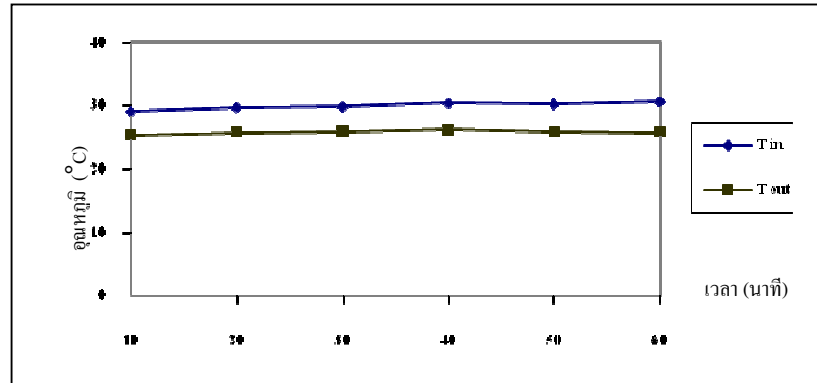
Time (min)	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ °C	m· (kg/s)	RH		Q (kw)	η %
	DB1 °C	WB1 °C	DB2 °C	WB2 °C	DB3 °C	WB3 °C			in %	out %		
10	29.13	24.97	25.46	24.22	20.44	22.45	29.26	1.02	71.33	90.34	2.90	88.06
20	29.78	24.65	25.83	23.23	19.87	20.42	29.47	1.02	65.62	80.24	5.53	77.05
30	29.89	24.60	26.02	22.98	19.84	20.23	29.72	1.02	64.73	77.20	6.33	73.22
40	30.43	24.55	26.26	22.47	19.69	20.08	30.05	1.02	61.61	72.08	8.11	70.94
50	30.34	24.39	25.89	22.20	19.37	19.83	30.13	1.02	61.15	72.56	8.46	74.79
60	30.68	24.01	25.84	21.83	19.03	19.49	30.38	1.02	57.29	70.33	8.24	72.60
เฉลี่ย	30.04	24.53	25.88	22.82	19.71	20.42	29.84	1.02	63.62	77.13	6.60	76.11

หมายเหตุ

T<sub>1</sub> = อุณหภูมิทางเข้า

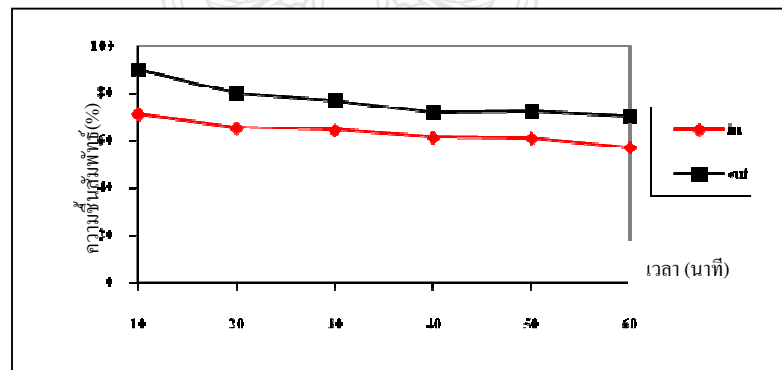
T<sub>2</sub> = อุณหภูมิทางออก

T<sub>3</sub> = อุณหภูมิในตู้ Evaporative (ในตู้)



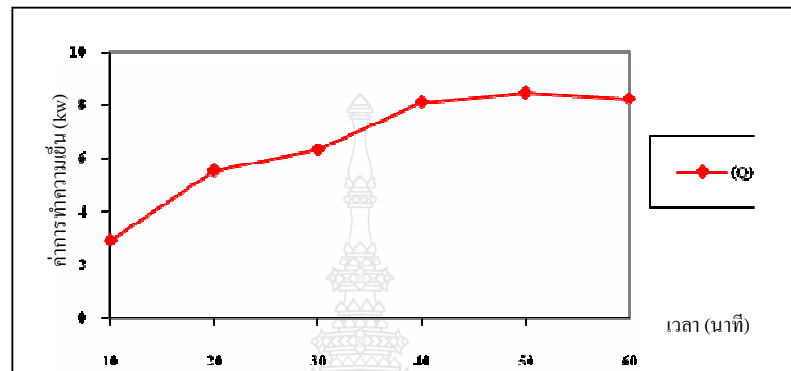
ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Coil และ Pad

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสามารถลดลงได้ 4.16 องศาเซลเซียสที่ใช้การทดลองแบบ Coil และ Pad ร่วมกัน อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้า 30.04 องศาเซลเซียส และทางออก 25.88 องศาเซลเซียส



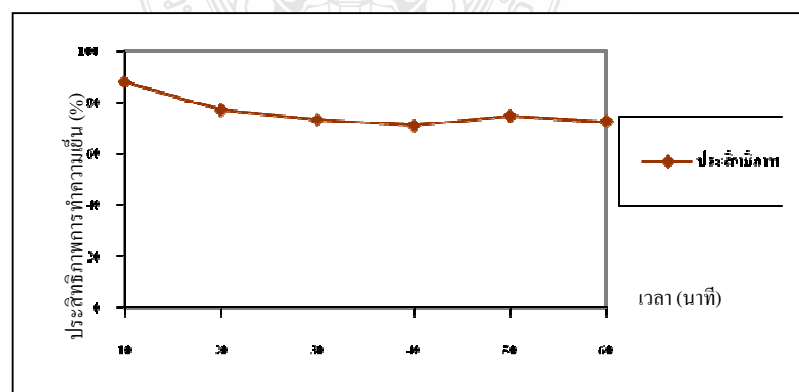
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Coil และ Pad

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 13.51 % เมื่อเปรียบเทียบกับทางเข้า แบบใช้ Coil และ Pad โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทางเข้า 63.62% และทางออก 77.13 %



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Coil และ Pad

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะการทำความเย็นแปรผันตรงกับเวลาซึ่งบ่งบอกแนวโน้มของค่าสมรรถนะการทำความเย็นมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีเวลามากขึ้น โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.60 kw



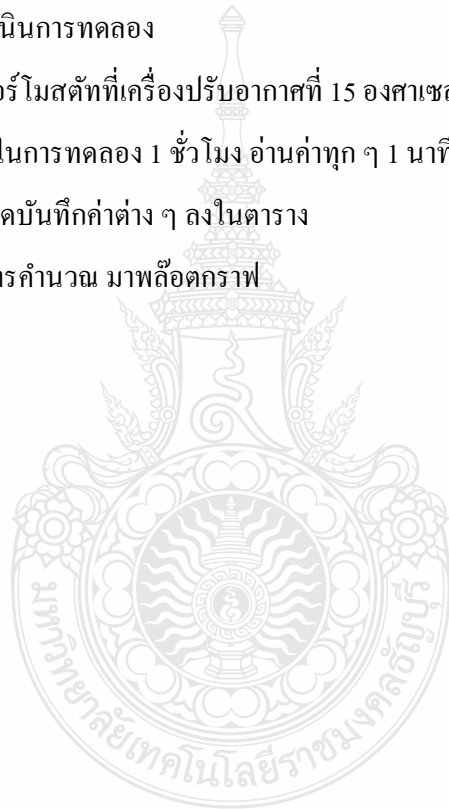
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น (η) แบบใช้ Coil และ Pad

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นจะอยู่ระหว่างที่ 70-90 % ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง และพบว่าในช่วงเวลาที่ 40 ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เปิดน้ำให้กับ Pad เฉลี่ยแล้วประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ 76.11 %

#### 4.5 การทดลองที่ 2 เรื่อง ใช้ Coil อย่างเดียว

##### 4.5.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

- 1) ปรับเทอร์โมสตัทที่เครื่องปรับอากาศที่ 15 องศาเซลเซียส
- 2) ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อ่านค่าทุก ๆ 1 นาที
- 3) ทำการจดบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตาราง
- 4) นำผลการคำนวณ มาพล็อตกราฟ



## 4.5.2 ผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ย

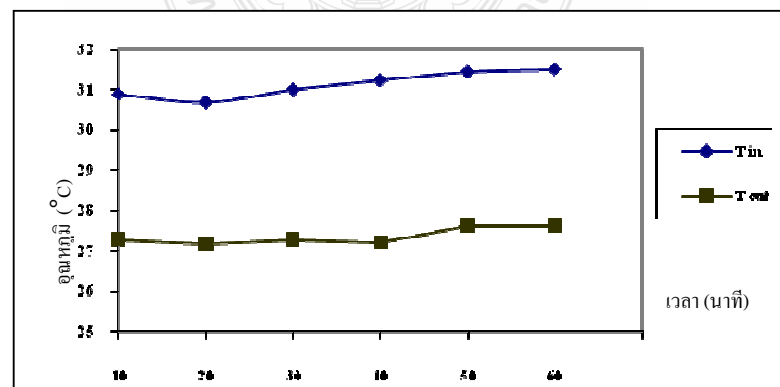
Time (min)	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ °C	m' (kg/s)	RH		Q (kw)	η %
	DB1 °C	WB1 °C	DB2 °C	WB2 °C	DB3 °C	WB3 °C			in %	out %		
10	30.89	23.94	27.28	21.58	18.77	19.80	30.66	1.02	55.89	60.33	9.00	51.92
20	30.69	23.47	27.19	20.86	18.39	18.77	30.64	1.02	54.24	56.38	9.77	48.50
30	31.01	23.65	27.29	20.91	18.42	18.75	30.83	1.02	53.75	56.14	10.30	50.50
40	31.24	23.73	27.21	20.97	18.40	18.70	31.04	1.02	53.13	56.93	10.38	53.64
50	31.45	24.24	27.62	21.30	18.47	18.86	31.25	1.02	54.93	56.80	11.31	53.20
60	31.51	23.64	27.62	21.08	18.40	18.75	31.38	1.02	51.44	55.48	9.61	49.46
เฉลี่ย	31.13	23.78	27.37	21.12	18.48	18.94	30.97	1.02	53.90	57.01	10.06	51.21

หมายเหตุ

T<sub>1</sub> = อุณหภูมิทางเข้า

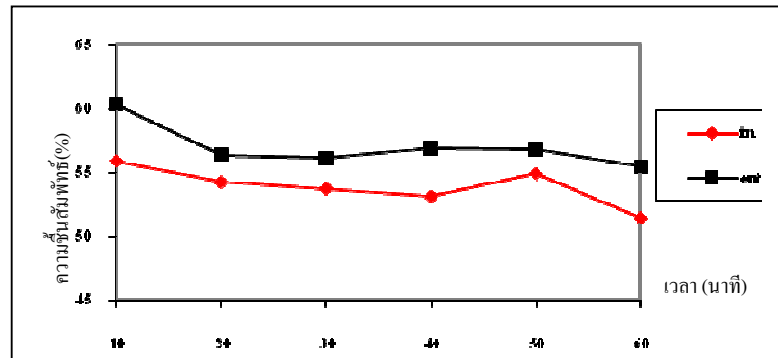
T<sub>2</sub> = อุณหภูมิทางออก

T<sub>3</sub> = อุณหภูมิในตู้ Evaporative (ในตู้)



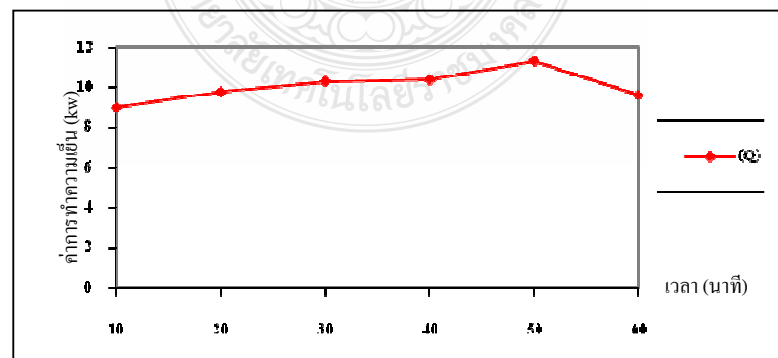
ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Coil อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสามารถลดลงได้ 3.76 องศาเซลเซียส ที่การทดลองแบบใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ยอุณหภูมิทางเข้า 31.13 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิทางออก 27.37 องศาเซลเซียส



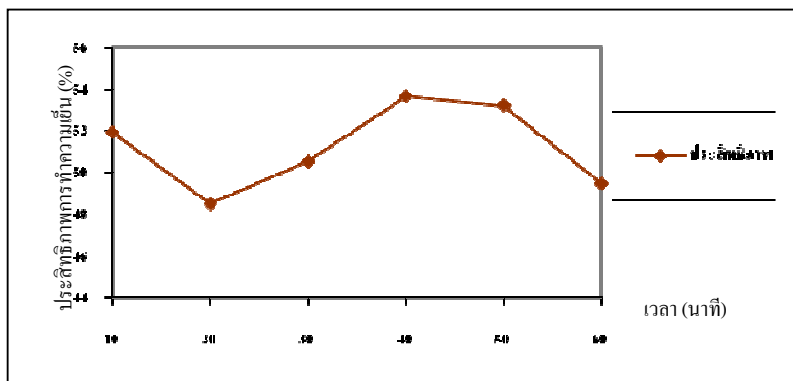
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Coil อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 3.20 % เมื่อเฉลี่ยเปรียบเทียบกับทางเข้า แบบใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าเท่ากับ 53.90 % และทางออกเท่ากับ 57.01 %



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Coil อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นและพบว่าในช่วงระหว่างนาที่ที่ 50-60 สมรรถนะการทำความเย็นลดลง เฉลี่ยค่าการทำความเย็นเท่ากับ 10.06 kw



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) แบบใช้ Coil อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุดอยู่ที่ 53.2 % จะอยู่ในช่วงเวลานาทีที่ 40 และประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงในช่วงเวลานาทีที่ 20 และ 60 ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงอยู่ที่ 48.5 % เฉลี่ยประสิทธิภาพการทำความเย็นเท่ากับ 51.21 %



#### 4.6 การทดลองที่ 3 เรื่อง ใช้ Pad อย่างเดียว

##### 4.6.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

1) ตั้ง Timer เปิดวาล์วน้ำหยด Pad 30 วินาที ปิดวาล์วน้ำหยด Pad 30 นาที ใช้เวลาทดลอง 1 ชั่วโมง อ่านค่าทุก 1 นาที

2) ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อ่านค่าทุก ๆ 1 นาที

3) ทำการจดบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตาราง

4) นำผลการคำนวณ มาพล็อตกราฟ

##### 4.6.2 ผลการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ย

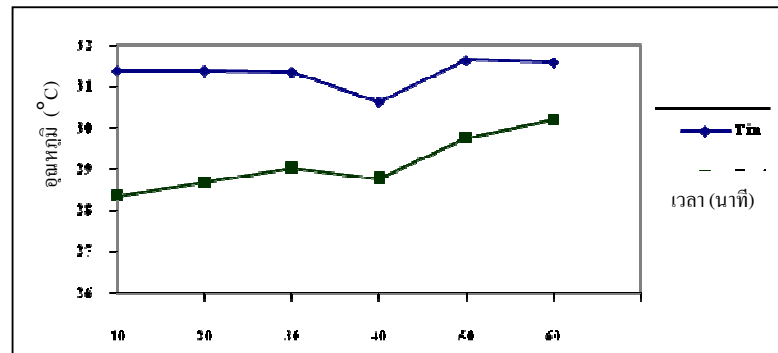
Time (min)	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ °C	m' (kg/s)	RH		Q (kw)	η
	DB1 °C	WB1 °C	DB2 °C	WB2 °C	DB3 °C	WB3 °C			in %	out %		
10	31.39	23.25	28.36	22.85	22.39	22.03	31.34	1.02	49.93	62.38	1.30	37.33
20	31.39	23.34	28.67	23.06	23.55	22.74	31.38	1.02	50.39	61.95	0.86	33.78
30	31.35	23.24	29.03	22.90	25.24	22.82	31.18	1.02	50.04	59.11	1.14	28.62
40	30.63	23.28	28.78	22.96	25.56	22.45	31.68	1.02	53.57	60.85	1.10	23.90
50	31.64	23.44	29.76	23.09	29.32	23.03	31.60	1.02	49.83	56.55	1.23	22.93
60	31.59	23.44	30.20	23.31	30.86	23.43	31.68	1.02	50.04	55.66	0.39	17.03
เฉลี่ย	31.33	23.33	29.13	23.03	26.15	22.75	31.48	1.02	50.64	59.42	1.00	27.27

หมายเหตุ

T<sub>1</sub> = อุณหภูมิทางเข้า

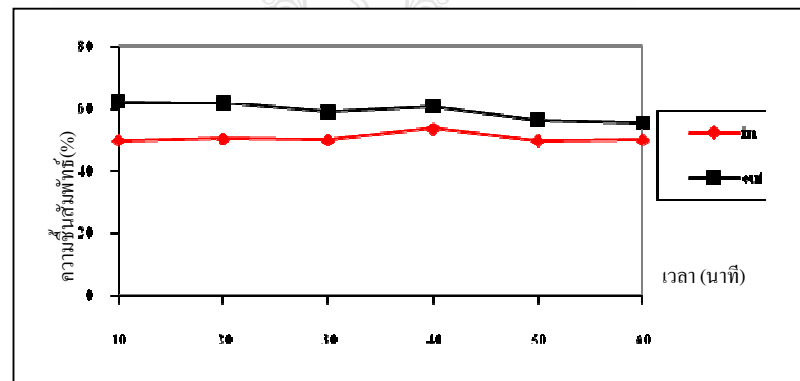
T<sub>2</sub> = อุณหภูมิทางออก

T<sub>3</sub> = อุณหภูมิในตู้ Evaporative (ในตู้)



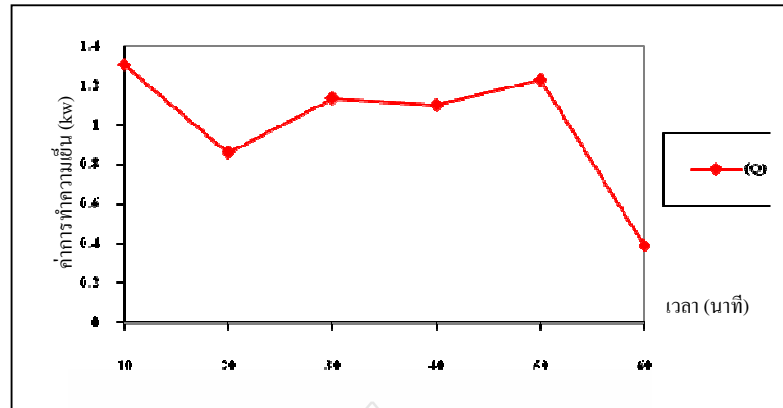
ภาพที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางเข้าและออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิเฉลี่ยสามารถลดลงได้ 2.2 องศาเซลเซียส ในช่วงการทดลองใช้เวลา 1 ชั่วโมง แบบใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ยอุณหภูมิทางเข้าเท่ากับ 31.33 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิทางออกเท่ากับ 29.13 องศาเซลเซียส



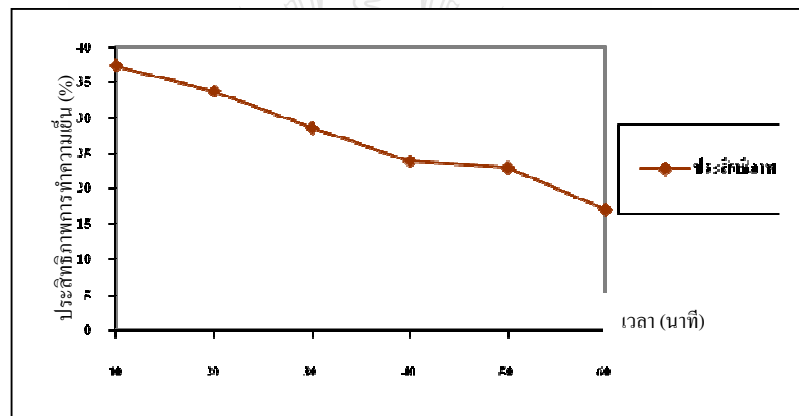
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าและทางออก (RH) แบบใช้ Pad อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงในการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ทางออกเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 9.28 % เมื่อเทียบกับทางออก แบบใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ทางเข้าเท่ากับ 50.64 % และทางออกเท่ากับ 59.42 %



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่าการทำความเย็น (Q) แบบใช้ Pad อย่างเดียว

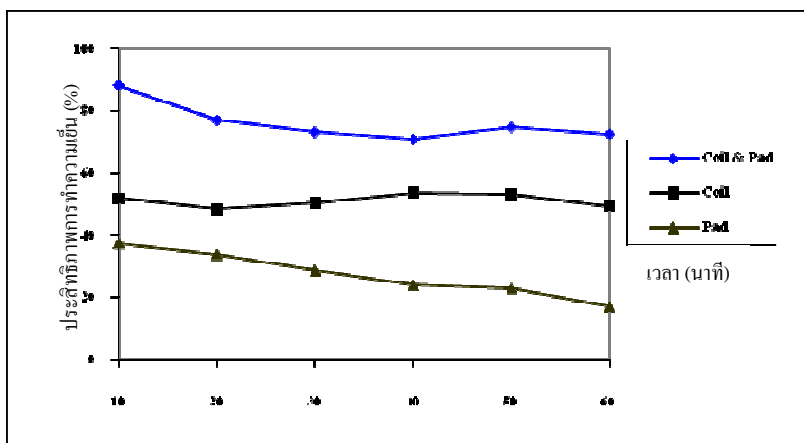
จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะการทำความเย็นลดลงมากในช่วง 50-60 นาที เฉลี่ยค่าการทำความเย็นเท่ากับ 1 kw



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) แบบใช้ Pad อย่างเดียว

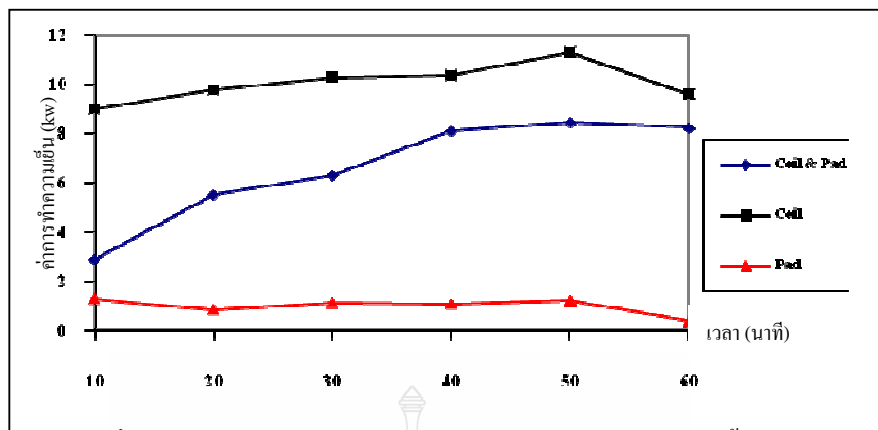
จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาการทดลอง 1 ชั่วโมง เฉลี่ยประสิทธิภาพการทำความเย็นเท่ากับ 27.27 %

#### 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 แบบ



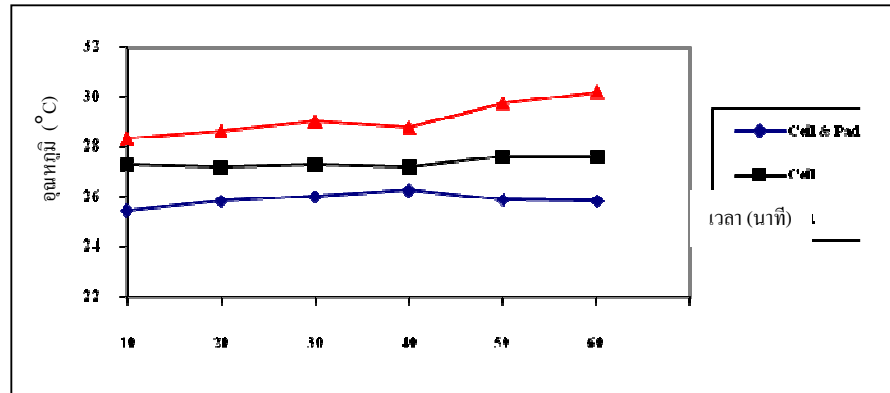
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็น ( $\eta$ ) ทั้ง 3 แบบ

จากกราฟที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการทำความเย็น การทดลองแบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน จากกราฟจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นจะเริ่มคงที่ตามระยะเวลาการทดลองเฉลี่ย 76.11 % ส่วนการทดลองแบบใช้ Pad อย่างเดียวประสิทธิภาพในการทำความเย็นได้สูงสุดเพียง 37.3 % ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ และมีแนวโน้มที่จะต่ำลงเรื่อย ๆ ตามเวลาการทดลองเฉลี่ย 27.27 % และการทดลองแบบใช้ Coil อย่างเดียว ได้ประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ย 51.21 % เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 แบบ พบความแตกต่างของประสิทธิภาพการทำความเย็นระหว่าง แบบที่ 1 กับ แบบที่ 2 ต่างกัน 24.9 % สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบใช้ Coil ร่วมกับ Pad นั้นดีที่สุด



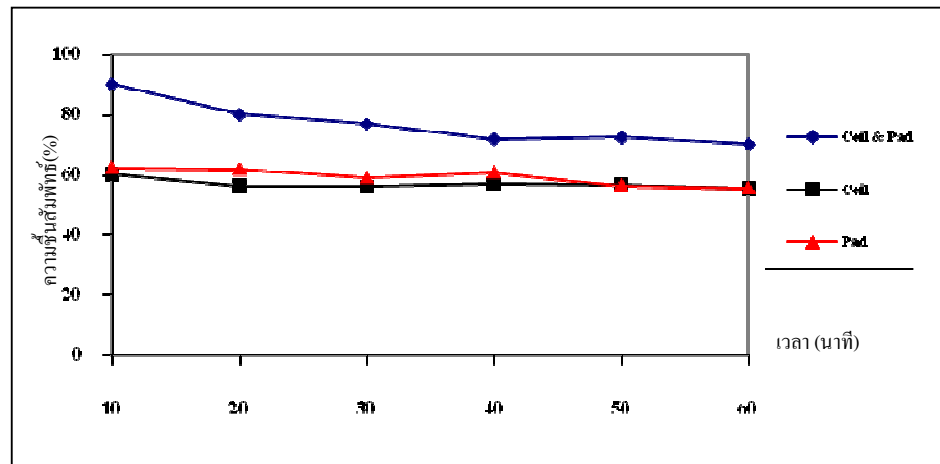
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการทำความร้อน (Q) ทั้ง 3 แบบ

จากกราฟที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า แบบใช้ Coil อย่างเดียวมีค่าการทำความร้อนสูงสุด แต่มีแนวโน้มว่าค่าการทำความร้อนจะต่ำลงเมื่อมีระยะเวลาการทดลองนานขึ้นเพราะในช่วง นาทีที่ 50 กราฟเริ่มตกลง ส่วนแบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน มีค่าการทำความร้อนอยู่ในช่วงกลางระหว่าง 3 แบบ แต่กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการทดลอง และความแตกต่างกันระหว่าง แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 นั้น กราฟทั้งสองพุ่งขึ้นทั้ง 2 แบบ จนถึงนาทีที่ 50 กราฟแบบที่ 1 เริ่มคงที่ แต่แบบที่ 2 เริ่มตกลง ส่วนกราฟการทดลองแบบใช้ Pad อย่างเดียวนั้น คงที่มีค่าการทำความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1 kw ต่ำกว่าทั้ง 2 แบบแรก และมีแนวโน้มที่จะตกลงตามระยะเวลาการทดลอง



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก ( $T_2$ ) ทั้ง 3 แบบ

จากภาพที่ 4.17 จะเห็นว่าอุณหภูมิทางออกของแบบที่ 1 นั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าทั้ง 2 แบบ เฉลี่ยอยู่ที่ 25.88 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุด 26.26 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 2 จะมีอุณหภูมิต่างกัน อยู่ที่ 1.49 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบกับแบบที่ 3 มีอุณหภูมิต่างกัน 3.25 องศาเซลเซียส แสดงว่าอุณหภูมิทางออกที่ดีที่สุดคือ การทดลองแบบใช้ Coil ร่วมกับ Pad เพราะมีค่าอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ทางออก (RH) ทั้ง 3 แบบ

จากภาพที่ 4.18 จะเห็นความแตกต่างของกราฟแบบที่ 1 จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าทั้ง 2 แบบ แบบที่ 2 และ 3 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 57.01% และ 59.42 % ตามลำดับ ส่วนแบบที่ 1 นั้นมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 77.13 % โดยการทดลองนี้แบบใช้ Coil อย่างเดียวมีค่าความชื้นทางออกที่ต่ำที่สุด มีความชื้นสัมพัทธ์ 55.48 % ส่วนการทดลองแบบใช้ coil ร่วมกับ Pad นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุด 90.34 %

#### 4.8 วิเคราะห์ผลทางทฤษฎี

#### 4.8.1 สมการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศที่จุดออกระบบ

จากนิยามของประสิทธิภาพ ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{T_{in,DB} - T_{out,DB}}{T_{in,DB} - T_{in,WB}} \quad (4.1)$$

โดยที่  $\eta$  = ประสิทธิภาพ

$T_{in,DB}$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่จุดเข้าระบบ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{in,WB}$  = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่จุดเข้าระบบ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{out,DB}$  = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่จุดออกระบบ ( $^{\circ}\text{C}$ )

และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพจาก ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองใช้ Coil และ Pad เฉลี่ย, ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ย และตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ย จะได้สมการที่สามารถนำไปใช้คำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบได้ดังนี้

รูปแบบทั่วไป

$$T_{out,DB} = T_{in,DB} - \eta(T_{in,DB} - T_{in,WB}) \quad (4.2)$$

สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับ Coil และ Pad

$$T_{out,DB} = T_{in,DB} - 0.7611 * (T_{in,DB} - T_{in,WB}) \quad (4.3)$$

สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับ Coil อย่างเดียว

$$T_{out,DB} = T_{in,DB} - 0.5121 * (T_{in,DB} - T_{in,WB}) \quad (4.4)$$

สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับ Pad อย่างเดียว

$$T_{out,DB} = T_{in,DB} - 0.2727(T_{in,DB} - T_{in,WB}) \quad (4.5)$$

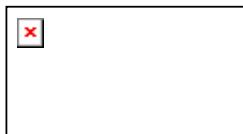
#### 4.8.2 การวิเคราะห์ผลการใช้สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกของระบบ

กำหนดให้ ค่าความผิดพลาด (Error, %)

$$\text{Error (\%)} = \text{absolute} \left( \frac{\text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี} - \text{ค่าที่ได้จากการคำนวณ}}{\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}} \right) \times 100 \quad (4.6)$$

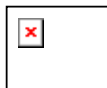
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)





(4.7)

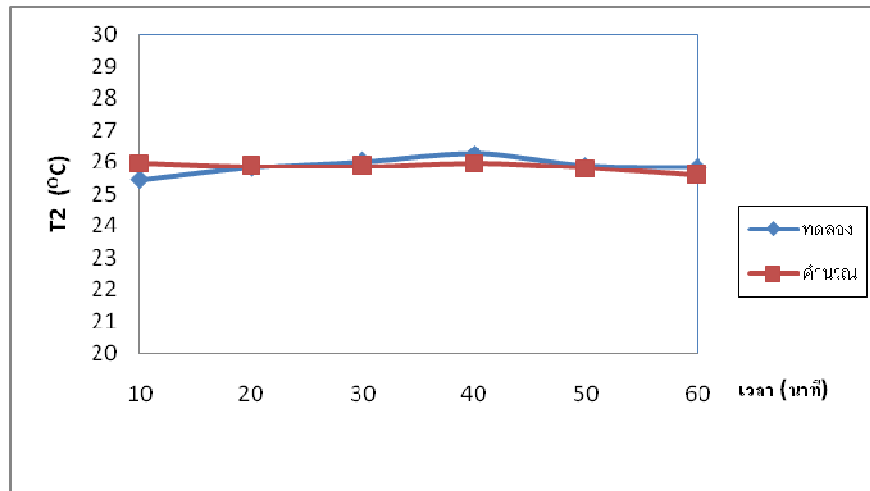
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard deviation of mean)



(4.8)

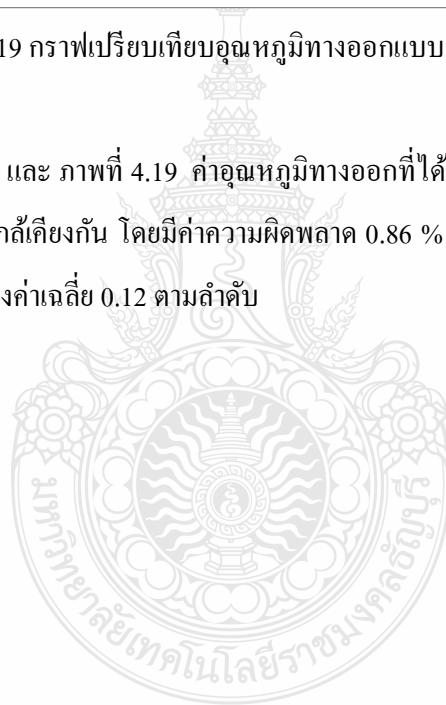
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับCoil และ Pad

Time (min)	T1(°C)		T2(°C)		Error	Err <sup>2</sup>
	DW1	WB1	ทดลอง	คำนวณ	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=abs[(4)-(5)]/(4)x100	(7)=[(4)-(5)] <sup>2</sup>
10	29.13	24.97	25.46	25.96	1.98	0.25
20	29.78	24.65	25.83	25.88	0.18	0.00
30	29.89	24.6	26.02	25.86	0.60	0.02
40	30.43	24.55	26.26	25.95	1.16	0.09
50	30.34	24.39	25.89	25.81	0.30	0.01
60	30.68	24.01	25.84	25.60	0.92	0.06
เฉลี่ย	30.04	24.53	25.88	25.85	0.86	0.07
ผลรวม						0.44
Sd						0.30
σ						0.12



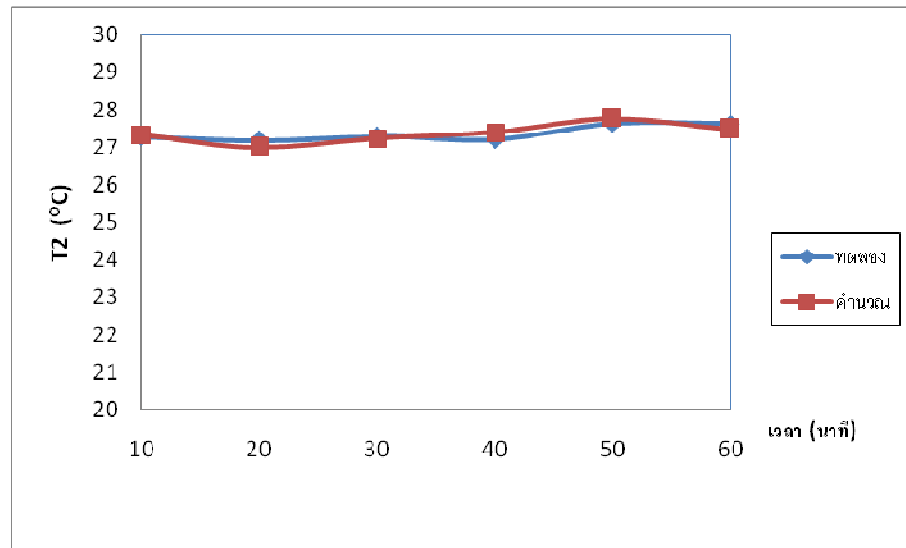
ภาพที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Coil และ Pad

จากตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิทางออกที่ได้จากการทดลองและคำนวณแบบใช้ Coil และ Pad มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความผิดพลาด 0.86 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.12 ตามลำดับ



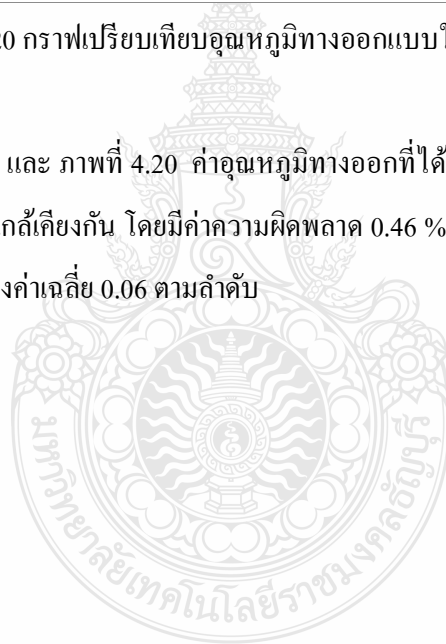
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับCoil อย่างเดียว

Time (min)	T1(°C)		T2(°C)		Error	Err <sup>2</sup>
	DW1	WB1	ทดลอง	คำนวณ	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=abs[(4)-(5)]/(4)x100	(7)=[(4)-(5)] <sup>2</sup>
10	30.89	23.94	27.28	27.33	0.19	0.00
20	30.69	23.47	27.19	26.99	0.71	0.04
30	31.01	23.65	27.29	27.24	0.18	0.00
40	31.24	23.73	27.21	27.39	0.68	0.03
50	31.45	24.24	27.62	27.76	0.50	0.02
60	31.51	23.64	27.62	27.48	0.51	0.02
เฉลี่ย	31.13	23.78	27.37	27.37	0.46	0.02
ผลรวม						0.11
Sd						0.15
σ						0.06



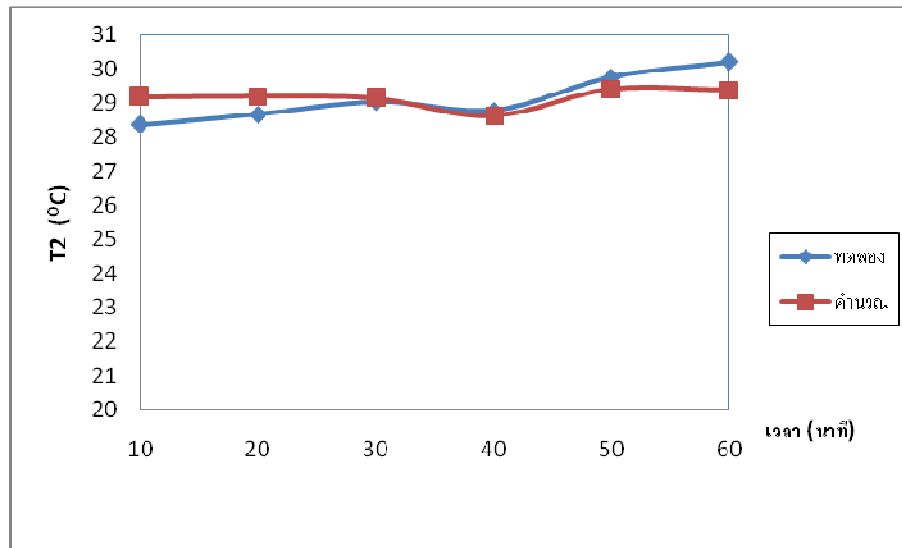
ภาพที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Coil อย่างเดียว

จากตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิทางออกที่ได้จากการทดลองและคำนวณแบบใช้ Coil อย่างเดียว มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความผิดพลาด 0.46 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.06 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์สมการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบสำหรับ Pad อย่างเดียว

Time (min)	T1(°C)		T2(°C)		Error	Err <sup>2</sup>	
	DW1	WB1	ทดลอง	คำนวณ	(%)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=abs[(4)-(5)]/(4)x100	(7)=[(4)-(5)] <sup>2</sup>	
10	31.39	23.25	28.36	29.17	2.86	0.66	
20	31.39	23.34	28.67	29.19	1.83	0.28	
30	31.35	23.24	29.03	29.14	0.37	0.01	
40	30.63	23.28	28.78	28.63	0.54	0.02	
50	31.64	23.44	29.76	29.40	1.20	0.13	
60	31.59	23.44	30.2	29.37	2.76	0.69	
เฉลี่ย	31.33	23.33	29.13	29.15	1.59	0.30	
ผลรวม							1.79
sd							0.60
σ							0.24



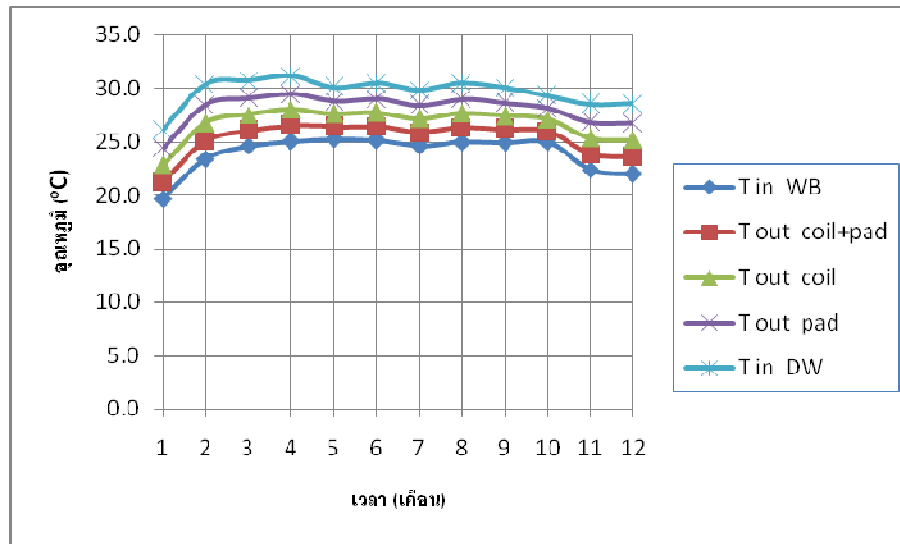
ภาพที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว จากตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.21 ค่าอุณหภูมิทางออกที่ได้จากการทดลองและคำนวณแบบใช้ Pad อย่างเดียว มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความผิดพลาด 1.59 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.60 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.24 ตามลำดับ

#### 4.8.3 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศจุดทางออกของระบบกับสภาพอากาศของประเทศไทย

จากข้อมูลสภาพอากาศของประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2552 ทุกวันโดยเฉลี่ยในเวลากลางวัน(6.00 น.-18.00 น.) สามารถแสดงผลการคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิอากาศจุดทางออกระบบโดยเฉลี่ยในเวลากลางวันของทุกเดือน ปี 2552

Time (month)	Tin (°C)		Tout (°C)		
	DW	WB	Coil+Pad	Coil	Pad
1	26.1	19.7	21.2	22.8	24.3
2	30.4	23.4	25.1	26.8	28.5
3	30.7	24.6	26.1	27.6	29.1
4	31.2	25.0	26.5	28.0	29.5
5	30.1	25.2	26.4	27.6	28.8
6	30.5	25.1	26.4	27.8	29.0
7	29.8	24.6	25.9	27.2	28.4
8	30.5	25.0	26.3	27.7	29.0
9	30.1	24.9	26.1	27.4	28.6
10	29.3	25.0	26.0	27.1	28.1
11	28.5	22.4	23.8	25.4	26.8
12	28.6	22.0	23.6	25.2	26.8
เฉลี่ย	29.6	23.9	25.3	26.7	28.1



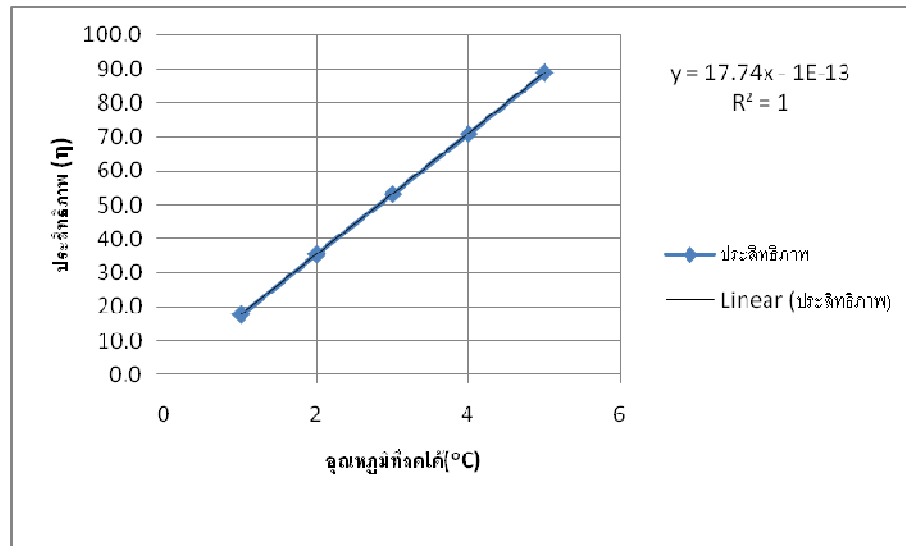
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก (Tout) ทั้ง 3 แบบ  
ปี 2552 โดยเฉลี่ยในเวลากลางวันทุกเดือน

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.22 จะพบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทางออก เมื่อใช้ Coil กับ Pad  
ร่วมกัน จะให้อุณหภูมิต่ำสุด เฉลี่ยที่  $25.3^{\circ}\text{C}$  รองลงมาคือ แบบใช้ Coil อย่างเดียว เฉลี่ยที่  $26.7^{\circ}\text{C}$   
และ สุดท้าย คือ แบบใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ยที่  $28.1^{\circ}\text{C}$  โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าทั้งปี 2552  
เท่ากับ  $29.6^{\circ}\text{C}$



ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพของระบบเมื่อต้องการอุณหภูมิอากาศจุดทางออกลดลงจากเดิม 5, 4, 3, 2, 1°C โดยเฉลี่ยในเวลากลางวัน

Time (month)	T (°C)		$\Delta T$ (°C)	$\eta$				
	DW	WB		$\Delta T_{drop} = 1$ (°C) (4)=1/(3)*100	$\Delta T_{drop} = 2$ (°C) (5)=2/(3)*100	$\Delta T_{drop} = 3$ (°C) (4)=3/(3)*100	$\Delta T_{drop} = 4$ (°C) (4)=4/(3)*100	$\Delta T_{drop} = 5$ (°C) (4)=5/(3)*100
1	26.1	19.7	6.4	15.6	31.3	46.9	62.5	78.1
2	30.4	23.4	7.0	14.3	28.6	42.9	57.2	71.5
3	30.7	24.6	6.1	16.3	32.5	48.8	65.0	81.3
4	31.2	25.0	6.1	16.3	32.5	48.8	65.0	81.3
5	30.1	25.2	4.9	20.5	41.1	61.6	82.1	102.7
6	30.5	25.1	5.4	18.6	37.3	55.9	74.5	93.2
7	29.8	24.6	5.2	19.3	38.5	57.8	77.0	96.3
8	30.5	25.0	5.5	18.2	36.4	54.7	72.9	91.1
9	30.1	24.9	5.1	19.5	38.9	58.4	77.9	97.4
10	29.3	25.0	4.4	22.9	45.9	68.8	91.8	114.7
11	28.5	22.4	6.1	16.4	32.7	49.1	65.4	81.8
12	28.6	22.0	6.6	15.1	30.2	45.3	60.4	75.5
เฉลี่ย	29.6	23.9	5.7	17.7	35.5	53.2	71.0	88.7



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออก (TouT) ที่สามารถลดลงได้จากเดิมกับ ประสิทธิภาพของระบบเมื่อกำหนดให้  $T_{DB} = 29.6^{\circ}\text{C}$  และ  $T_{WB} = 23.9^{\circ}\text{C}$

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.23 จะพบว่า อุณหภูมิอากาศที่ทางออก สามารถลดลงได้ก็ ต่อเมื่อ ประสิทธิภาพของระบบมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ จากสภาพอากาศของประเทศไทยปี 2552 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะแห้งเท่ากับ  $29.6^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิเฉลี่ยกระเปาะเปียกเท่ากับ  $23.9^{\circ}\text{C}$  ดังนั้น เพื่อที่ทำการลดอุณหภูมิลงให้ได้มาก เช่น  $5^{\circ}\text{C}$  ประสิทธิภาพระบบโดยเฉลี่ยจะต้องเท่ากับ  $88.7\%$  เป็นต้น และจะพบอีกว่า เดือนพฤษภาคม และ เดือนตุลาคม ไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้  $5^{\circ}\text{C}$  เพราะ อุณหภูมิที่ลดได้นั้นมีเงื่อนไขจำกัดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และกระเปาะเปียก ซึ่งเท่ากับ  $4.9^{\circ}\text{C}$  และ  $4.4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลม และข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ถูกบันทึกค่า และนำมาคำนวณหาค่าต่างๆซึ่งแสดงไว้แล้ว ตลอดจนผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เพื่อหาความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในสภาพอากาศของประเทศไทย ในส่วนนี้จะดำเนินการสรุปผลการทดลองที่ดำเนินการมาแล้วต่อไป

#### 5.1 สรุปผลที่ได้จากโครงการ

ผลจากการวิจัยโดยวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 อุณหภูมิทางออกแบบใช้ coil และ Pad มีค่าต่ำสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 25.88 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิทางเข้า 30.04 องศาเซลเซียส หรือลดอุณหภูมิลงได้ เฉลี่ยอยู่ที่ 4.2 องศาเซลเซียส สำหรับความสามารถในการลดอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 5.1 องศาเซลเซียส รองมาคือ อุณหภูมิทางออกแบบใช้ coil อย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 27.37 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิทางเข้า 31.13 องศาเซลเซียส หรือลดอุณหภูมิลงได้ เฉลี่ยอยู่ที่ 3.76 องศาเซลเซียส สำหรับความสามารถในการลดอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 4.4 องศาเซลเซียส และ สุดท้าย อุณหภูมิทางออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 29.13 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิทางเข้า 31.33 องศาเซลเซียส หรือลดอุณหภูมิลงได้ เฉลี่ยอยู่ที่ 2.2 องศาเซลเซียส สำหรับความสามารถในการลดอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 4.5 องศาเซลเซียส

5.1.2 ความชื้นทางออกแบบใช้ coil และ Pad มีค่าสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 77.13 เปอร์เซ็นต์ จากความชื้นทางเข้า 63.62 เปอร์เซ็นต์ หรือ ความชื้นเพิ่มขึ้น เฉลี่ยอยู่ที่ 13.51 เปอร์เซ็นต์ รองมาคือ ความชื้นทางออกแบบใช้ Pad มีค่าต่ำสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 59.42 เปอร์เซ็นต์ จากความชื้นทางเข้า 50.64 เปอร์เซ็นต์ หรือ ความชื้นเพิ่มขึ้น เฉลี่ยอยู่ที่ 9.28 เปอร์เซ็นต์ และ ความชื้นทางออกแบบใช้ coil เฉลี่ยอยู่ที่ 57.01 เปอร์เซ็นต์ จากความชื้นทางเข้า 53.90 เปอร์เซ็นต์ หรือ ความชื้นเพิ่มขึ้น เฉลี่ยอยู่ที่ 3.20 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 ความสามารถในการทำความเย็นแบบใช้ coil มีค่าสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 10.6 กิโลวัตต์ รองมาคือ ความสามารถในการทำความเย็นแบบใช้ coil และ Pad เฉลี่ยอยู่ที่ 6.6 กิโลวัตต์ และ ความสามารถในการทำความเย็นแบบใช้ Pad เฉลี่ยอยู่ที่ 1 กิโลวัตต์ แต่ทว่าถ้าใช้งานนานจะพบว่า แนวโน้มความสามารถในการทำความเย็นแบบใช้ coil และ Pad จะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ แบบใช้ coil จะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นในการ เลือก ใช้งานจะเป็นแบบ coil และ Pad ตามมาด้วย แบบใช้ coil และสุดท้าย เป็นแบบใช้ Pad ตามลำดับ

5.1.4 ประสิทธิภาพในการทำความเย็น แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน จะมีค่าสูงสุด เฉลี่ย 76.11 % รองลงมาแบบใช้ Coil อย่างเดียว ได้ประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ย 51.21 % และ แบบใช้ Pad อย่างเดียวประสิทธิภาพในการทำความเย็นเฉลี่ย 27.27 % จึงสรุปได้ว่าประสิทธิภาพ การทำความเย็นแบบใช้ Coil ร่วมกับ Pad นั้นดีที่สุด

5.1.5 สมการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศที่ออกจากระบบ โดยแทนค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยใน การทำความเย็นแบบ แบบใช้ Coil และ Pad 76.11 % แบบใช้ Coil 51.21 % และ แบบใช้ Pad 27.27 % พบว่า ค่าความผิดพลาดในการคำนวณเมื่อเทียบกับผลการทดลองสามารถยอมรับเพื่อ นำไปใช้งานได้ โดยแบบใช้ Coil และ Pad มีความผิดพลาด 0.86 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.30 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.12 แบบใช้ Coil อย่างเดียว มีความผิดพลาด 0.46 % ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.06 และ แบบใช้ Pad อย่างเดียว มี ค่าความผิดพลาด 1.59 % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.60 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.24 ตามลำดับ

5.1.6 ผลการคำนวณ โดยแทนค่าสภาวะอากาศของประเทศไทยปี 2552 เฉลี่ยในเวลา กลางวัน(6.00-ง8.00) พบว่า อุณหภูมิทางออกแบบใช้ coil และ Pad มีค่าต่ำสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 25.3 องศา เซลเซียส รองมาคือ อุณหภูมิทางออกแบบใช้ coil อย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส และ สุดท้าย อุณหภูมิทางออกแบบใช้ Pad อย่างเดียว เฉลี่ยอยู่ที่ 28.1 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิอากาศ กระทบะเปาะแห้ง 29.6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศกระทบะเปียก 23.9 องศาเซลเซียส

5.1.7 อุณหภูมิต่างๆเช่นอุณหภูมิกระทบะเปาะแห้ง อุณหภูมิกระทบะเปียก และอุณหภูมิที่ ต้องการลดมีผลต่อประสิทธิภาพ คือ ถ้าต้องการลดอุณหภูมิ ให้ได้ 3 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพ

ของระบบเฉลี่ยต้องเท่ากับ 53.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการทำงานจึงได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิที่ต้องการลดกับประสิทธิภาพของระบบขึ้น โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทยปี 2552 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการ  $y = 17.749x - 9E-14$  โดยที่  $y$  แทนประสิทธิภาพ และ  $x$  แทนอุณหภูมิที่ต้องการลด ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบต่อไปในอนาคต

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยปรากฏว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมแบบใช้ coil และ Pad สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ถึง 5 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าสูงสุดได้ 5.1 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ย 4.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนแบบใช้ coil และแบบใช้ pad จะมีค่าต่ำกว่า สำหรับ ประสิทธิภาพของ ระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมแบบใช้ coil และ Pad มีค่า 76.11 % แบบใช้ Coil มีค่า 51.21 % และ แบบใช้ Pad เท่ากับ 27.27 % จากผลที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมแบบใช้ coil และ Pad จะเป็นแบบที่ดีที่สุด ที่สามารถนำไปใช้งาน กับวงการอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานที่อยู่กลางแจ้งและไม่สามารถติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้ โดยตรง รวมทั้ง บริเวณอาคารร้อนที่มีความชื้นต่ำ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้มีผลสอดคล้องกับ Hisham El-Dessouky, Hisham Ettouney, Ajeel Al-Zeefari เรื่อง PERFORMANCE ANALYSIS OF TWO-STAGE EVAPORATIVE COOLERS

## 5.3 ข้อเสนอแนะของการวิจัย

5.3.1 การวิจัยครั้งนี้ออกแบบให้ลมเข้าด้านหลังและออกด้านหน้า ดังนั้นในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรทำการออกแบบให้ลมเข้าและออกได้หลายทิศทาง

5.3.2 การวิจัยครั้งนี้มีขนาดของชุดระบบทำความเย็นมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนน้อย และขนาดเล็ก ดังนั้นการพัฒนาระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมแบบ ครั้งต่อไปควรออกแบบให้ใหญ่มากกว่าจะได้ประสิทธิภาพและปริมาณความสามารถในการทำความเย็นที่มาก

5.3.3 ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรออกแบบแผ่นซับน้ำให้มีวัสดุที่รับและถ่ายเทความร้อนได้ดี นอกจากนั้นยังสามารถซับน้ำได้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

5.3.4 ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรออกแบบแผ่นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือ coil แบบอื่น เพื่อให้สามารถถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศได้ดีและอยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

5.3.5 ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาในเรื่องความดันตกคร่อมของระบบ เพื่อใช้ในการออกแบบหาขนาดพัดลมที่เหมาะสมต่อการใช้งานต่อไป



### บรรณานุกรม

- ประเสริฐ เทียนนิมิตร ปานเพชร ชินินทร และ วิเวตน์ ภัททิยธนี(2545).**ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์**. กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น
- ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และเฮอิโซ ไชโต (2524) **การปรับอากาศ**. กรุงเทพฯ : ดวงกมล
- สมชัย อัครทิวาและขวัญจิตร วงษ์ชาติ(2545) **เทอร์โมไดนามิกส์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป
- อัคครัตน์ พูลกระจำง(2547).**การทำความเย็นและการปรับอากาศ**.กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ
- ASHRAE(1998). **1998 ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION SI EDITION**. Atlanta, USA
- ASHRAE(2001). **2001 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS SI EDITION**. Atlanta, USA
- W. F. Stocker, J. W. Jones (1982), **Refrigeration & Air Conditioning**. Singapore: McGraw-Hill Book Company
- J. R. Camargo, C. D. Ebinuma, S. Cardoso(2003) **A Mathematical Model for Direct Evaporative Cooling Air Conditioning System** Engenharia Trmica, p.30-34
- Gary B. Fernstrom, PG&E.(2004) **Analysis of Standards Options For Evaporative Coolers**. Codes and Standards Enhancement Initiative For PY2004: Title 20 Standards Development Davis Energy Group Energy Solutions
- Krishan Kant, Ashvini Kumar, S.C. Mullick.(1999) **Space conditioning using evaporative cooling for summers in Delhi** Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology New Delhi India.
- Y.J. Dai, K. Sumathy (2002) **Theoretical study on a cross-flow direct evaporative cooler using honeycomb paper as packing material** Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong, Hong Kong.
- Carla Fernanda Barbosa, Teixeira and Lucila Chebel Labaki(2006) **Evaporative Cooling in Tropical Climate: Case Study of Campinas, Brazil** Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland

Hisham El-Dessouky, Hisham Ettouney, Ajeel Al-Zeefari(2004) ***Performance analysis of two-stage evaporative coolers*** College of Engineering and Petroleum, Kuwait University, Kuwait

Dilip Jain (2006) ***Development and testing of two-stage evaporative*** Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology, PAU Campus, Ludhiana 141 004, India





ภาคผนวก ก  
ผลการทดลองวัดอุณหภูมิ



ตาราง ก. 1 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil ร่วมกับ Pad ร่วมกัน โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 9:44 น. ถึง 10:43 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที

Time (min)	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ °C	m' (kg/s)	RH		ΔT T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> °C	Q (kw)	η %
	in	WB1	out	WB2	DB3	WB3			in	out			
	°C	°C	°C	°C	°C	°C			%	%			
09:44:00	27.7	25.3	25.8	25.3	25.6	26.2	29.4	1.023	82.4	96.0	1.9	0.00	79.17
09:45:00	29.2	25.1	25.2	25.1	20.1	24.8	29.2	1.023	71.7	99.2	4.0	0.00	97.56
09:46:00	29.5	25.3	25.4	25.3	19.8	23.5	29.4	1.023	71.2	99.2	4.1	0.00	97.62
09:47:00	29.5	25.3	25.5	24.6	19.8	22.6	29.3	1.023	71.2	92.9	4.0	2.63	95.24
09:48:00	29.3	25.1	25.4	24.2	19.9	22.0	29.3	1.023	71.1	90.5	3.9	3.47	92.86
09:49:00	29.1	24.9	25.5	23.9	19.8	21.6	29.1	1.023	71.0	87.5	3.6	3.89	85.71
09:50:00	29.1	24.8	25.4	23.6	19.9	21.2	29.1	1.023	70.3	86.0	3.7	4.69	86.05
09:51:00	29.3	24.7	25.4	23.5	19.8	21.0	29.1	1.023	68.6	85.2	3.9	4.65	84.78
09:52:00	29.5	24.6	25.5	23.4	19.9	20.8	29.3	1.023	66.8	83.8	4.0	4.62	81.63
09:53:00	29.1	24.6	25.5	23.3	19.8	20.8	29.4	1.023	69.1	83.0	3.6	5.07	80.00
09:54:00	29.5	24.5	25.5	23.3	19.8	20.6	29.2	1.023	66.2	83.0	4.0	4.60	80.00
09:55:00	29.8	24.6	25.9	23.3	19.8	20.5	29.5	1.023	65.2	80.3	3.9	5.04	75.00

09:56:00	29.8	24.6	25.8	23.2	19.9	20.5	29.4	1.023	65.2	80.2	4.0	5.44	76.92
09:57:00	29.8	24.6	25.9	23.2	19.9	20.4	29.5	1.023	65.2	79.5	3.9	5.45	75.00
09:58:00	29.5	24.6	25.6	23.2	19.8	20.4	29.3	1.023	66.8	81.6	3.9	5.45	79.59
09:59:00	29.7	24.7	25.8	23.2	19.9	20.4	29.4	1.023	66.4	80.2	3.9	5.88	78.00
10:00:00	30.0	24.7	26.1	23.2	19.9	20.4	29.6	1.023	64.7	78.2	3.9	5.87	73.58
10:01:00	29.8	24.8	25.8	23.2	19.9	20.4	29.5	1.023	66.4	80.2	4.0	6.30	80.00
10:02:00	29.8	24.7	25.9	23.2	19.9	20.3	29.6	1.023	65.8	79.5	3.9	5.88	76.47
10:03:00	30.1	24.7	26.0	23.3	19.9	20.3	29.7	1.023	64.2	79.6	4.1	5.45	75.93
10:04:00	29.4	24.7	25.7	23.3	19.8	20.3	29.5	1.023	68.0	81.6	3.7	5.49	78.72
10:05:00	29.6	24.5	25.8	23.2	19.8	20.3	29.5	1.023	65.7	80.2	3.8	5.03	74.51
10:06:00	30.0	24.6	26.0	23.2	19.9	20.3	29.8	1.023	64.1	78.9	4.0	5.43	74.07
10:07:00	29.9	24.5	25.9	23.3	19.9	20.2	29.8	1.023	64.1	80.3	4.0	4.60	74.07
10:08:00	29.8	24.6	26.0	23.2	19.9	20.2	29.8	1.023	65.2	78.9	3.8	5.46	73.08
10:09:00	30.1	24.6	26.2	22.9	19.9	20.2	29.8	1.023	63.6	75.4	3.9	6.65	70.91
10:10:00	29.8	24.6	26.2	22.8	19.8	20.2	29.7	1.023	65.2	74.7	3.6	7.08	69.23
10:11:00	30.3	24.6	26.2	22.7	19.8	20.2	29.6	1.023	62.6	74.0	4.1	7.43	71.93
10:12:00	30.1	24.6	26.0	22.6	19.8	20.2	29.8	1.023	63.6	74.6	4.1	7.83	74.55
10:13:00	29.9	24.7	26.2	22.6	19.8	20.2	29.9	1.023	65.3	73.3	3.7	8.30	71.15

10:14:00	30.1	24.6	26.2	22.5	19.8	20.1	29.9	1.023	63.6	72.7	3.9	8.24	70.91
10:15:00	30.4	24.5	26.2	22.5	19.8	20.1	30.0	1.023	61.5	72.7	4.2	7.78	71.19
10:16:00	30.1	24.5	26.2	22.5	19.7	20.1	30.0	1.023	63.0	72.7	3.9	7.81	69.64
10:17:00	30.5	24.5	26.3	22.5	19.7	20.1	30.0	1.023	61.0	72.0	4.2	7.78	70.00
10:18:00	31.0	24.5	26.5	22.5	19.6	20.1	30.1	1.023	58.5	70.8	4.5	7.75	69.23
10:19:00	30.4	24.5	26.2	22.5	19.7	20.1	30.0	1.023	61.5	72.7	4.2	7.78	71.19
10:20:00	30.4	24.6	26.2	22.5	19.7	20.1	30.1	1.023	62.0	72.7	4.2	8.21	72.41
10:21:00	30.4	24.6	26.2	22.4	19.7	20.1	30.1	1.023	62.0	72.0	4.2	8.60	72.41
10:22:00	30.4	24.6	26.2	22.4	19.6	20.0	30.2	1.023	62.0	72.0	4.2	8.60	72.41
10:23:00	30.6	24.6	26.4	22.4	19.6	20.0	30.1	1.023	61.0	70.7	4.2	8.60	70.00
10:24:00	30.1	24.6	25.9	22.4	19.6	20.0	30.0	1.023	63.6	73.9	4.2	8.60	76.36
10:25:00	30.1	24.6	26.0	22.3	19.5	20.0	29.8	1.023	63.6	72.5	4.1	9.00	74.55
10:26:00	30.1	24.5	25.8	22.2	19.5	19.9	29.8	1.023	63.0	73.1	4.3	8.95	76.79
10:27:00	30.3	24.5	26.1	22.2	19.5	19.9	30.1	1.023	62.0	71.2	4.2	8.95	72.41
10:28:00	30.5	24.4	26.3	22.2	19.4	19.8	30.2	1.023	60.4	70.0	4.2	8.53	68.85
10:29:00	30.4	24.4	26.2	22.2	19.3	19.8	30.4	1.023	60.9	70.6	4.2	8.53	70.00
10:30:00	30.3	24.3	25.6	22.2	19.3	19.8	30.3	1.023	60.8	74.4	4.7	8.05	78.33
10:31:00	30.8	24.2	25.8	22.1	19.2	19.7	30.2	1.023	57.8	72.4	5.0	7.99	75.76

10:32:00	30.4	24.2	25.7	22.1	19.2	19.7	30.3	1.023	59.7	73.1	4.7	8.02	75.81
10:33:00	30.4	24.2	25.5	22.1	19.2	19.7	30.2	1.023	59.7	74.4	4.9	8.00	79.03
10:34:00	30.5	24.1	25.7	21.9	19.2	19.6	30.0	1.023	58.7	71.7	4.8	8.36	75.00
10:35:00	30.4	24.0	25.6	21.9	19.2	19.5	30.4	1.023	58.6	72.3	4.8	7.94	75.00
10:36:00	30.4	24.0	25.8	22.0	19.1	19.5	30.2	1.023	58.6	71.7	4.6	7.57	71.88
10:37:00	30.4	24.0	25.8	21.8	19.1	19.5	30.4	1.023	58.6	70.4	4.6	8.34	71.88
10:38:00	31.0	24.1	25.8	21.8	19.0	19.5	30.2	1.023	56.2	70.4	5.2	8.70	75.36
10:39:00	31.1	24.1	26.2	21.8	19.0	19.5	30.4	1.023	55.8	67.9	4.9	8.73	70.00
10:40:00	30.7	24.0	25.6	21.8	19.0	19.5	30.4	1.023	57.1	71.6	5.1	8.29	76.12
10:41:00	30.7	24.0	25.9	21.8	18.9	19.5	30.6	1.023	57.1	69.7	4.8	8.32	71.64
10:42:00	30.7	23.9	26.0	21.8	18.9	19.4	30.6	1.023	56.6	69.1	4.7	7.91	69.12
10:43:00	30.9	23.9	26.0	21.7	18.9	19.4	30.6	1.023	55.6	68.4	4.9	8.27	70.00
เฉลี่ย	30.0	24.5	25.9	22.8	19.7	20.4	29.8	1.023	63.6	77.1	4.2	6.6	76.1

ตาราง ก. 2 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil อย่างเดียว โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง  
เริ่มตั้งแต่ 10:53 น. ถึง 11:52 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที

Time	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ	m <sup>3</sup>	RH		ΔT T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	Q	η
	DB1 °C	WB1 °C	DB2 °C	WB2 °C	DB3 °C	WB3 °C			in %	out %			
(min)													
10:53:00	30.7	24.3	27.5	22.6	19.3	21.1	30.7	1.023	58.8	65.5	3.2	6.63	50.00
10:54:00	30.7	24.2	27.3	22.2	19.0	20.6	30.6	1.023	58.2	64.1	3.4	7.75	52.31
10:55:00	31.0	24.2	27.5	21.8	18.8	20.2	30.7	1.023	56.8	60.5	3.5	9.28	51.47
10:56:00	31.2	24.0	27.1	21.6	18.7	19.9	30.8	1.023	54.8	61.4	4.1	9.14	56.94
10:57:00	31.1	24.0	27.3	21.5	18.7	19.8	30.8	1.023	55.2	59.7	3.8	9.55	53.52
10:58:00	30.9	23.9	27.1	21.4	18.7	19.5	30.7	1.023	55.6	60.2	3.8	9.51	54.29
10:59:00	30.8	23.8	27.3	21.3	18.7	19.4	30.4	1.023	55.5	58.5	3.5	9.50	50.00
11:00:00	31.0	23.8	27.3	21.2	18.6	19.3	30.7	1.023	54.6	57.9	3.7	9.85	51.39
11:01:00	30.8	23.7	27.2	21.1	18.6	19.2	30.5	1.023	55.0	57.8	3.6	9.82	50.70
11:02:00	30.7	23.5	27.2	21.1	18.6	19.0	30.7	1.023	54.4	57.8	3.5	9.01	48.61
11:03:00	30.6	23.5	27.1	20.9	18.4	18.9	30.2	1.023	54.8	57.1	3.5	9.74	49.30
11:04:00	30.3	23.4	27.1	20.8	18.3	18.7	30.5	1.023	55.5	56.8	3.2	9.47	46.63

11:05:00	30.1	23.3	27.0	20.7	18.2	18.6	30.1	1.023	55.9	56.5	3.1	9.45	45.12
11:06:00	30.3	23.2	27.0	20.6	18.1	18.4	30.7	1.023	54.4	56.1	3.3	9.38	46.73
11:07:00	31.0	23.6	27.2	21.0	18.5	18.9	30.9	1.023	53.5	57.2	3.8	9.75	51.35
11:08:00	30.8	23.6	27.2	20.9	18.5	18.9	30.8	1.023	54.4	56.5	3.6	10.14	50.00
11:09:00	31.1	23.5	27.3	20.9	18.4	18.8	31.0	1.023	52.5	56.0	3.8	9.71	50.00
11:10:00	30.7	23.5	27.4	20.9	18.5	18.8	30.8	1.023	54.4	55.5	3.3	9.76	45.83
11:11:00	31.2	23.6	27.5	20.9	18.4	18.8	30.7	1.023	52.6	55.0	3.7	10.13	48.68
11:12:00	30.8	23.6	27.1	20.9	18.5	18.8	30.7	1.023	54.4	57.1	3.7	10.13	51.39
11:13:00	30.9	23.6	27.3	20.9	18.4	18.8	30.8	1.023	54.0	56.0	3.6	10.14	49.32
11:14:00	30.9	23.6	27.5	20.9	18.5	18.7	31.0	1.023	54.0	55.0	3.4	10.16	46.58
11:15:00	31.2	23.7	27.3	20.9	18.4	18.8	30.9	1.023	53.1	56.0	3.9	10.52	52.00
11:16:00	31.0	23.7	27.1	20.9	18.4	18.8	30.7	1.023	54.1	57.1	3.9	10.53	53.42
11:17:00	30.9	23.6	27.5	20.9	18.5	18.7	30.9	1.023	54.0	55.0	3.4	10.16	46.58
11:18:00	31.3	23.8	27.5	20.9	18.4	18.8	30.7	1.023	53.2	55.0	3.8	10.94	50.67
11:19:00	31.0	23.7	27.2	20.9	18.4	18.8	31.0	1.023	54.1	56.5	3.8	10.53	52.05
11:20:00	31.5	23.6	27.2	20.9	18.4	18.7	30.9	1.023	51.3	56.5	4.3	10.07	54.43
11:21:00	30.7	23.6	27.2	21.0	18.4	18.7	30.7	1.023	54.9	57.2	3.5	9.78	49.30
11:22:00	30.7	23.6	27.1	20.9	18.4	18.7	30.7	1.023	54.9	57.1	3.6	10.14	50.70

11:23:00	31.1	23.5	27.2	20.9	18.4	18.6	30.9	1.023	52.5	56.5	3.9	9.70	51.32
11:24:00	31.1	23.6	27.0	20.9	18.4	18.7	31.0	1.023	53.1	57.6	4.1	10.09	54.67
11:25:00	31.5	23.7	27.2	20.9	18.4	18.7	31.2	1.023	51.8	56.5	4.3	10.48	55.13
11:26:00	31.3	23.8	27.2	21.0	18.4	18.7	31.0	1.023	53.2	57.2	4.1	10.55	54.67
11:27:00	31.0	23.8	27.1	21.0	18.4	18.7	31.0	1.023	54.6	57.7	3.9	10.57	54.17
11:28:00	31.0	23.7	27.2	21.0	18.4	18.7	31.0	1.023	54.1	57.2	3.8	10.17	52.05
11:29:00	31.2	23.7	27.3	21.0	18.4	18.7	31.0	1.023	53.1	56.6	3.9	10.15	52.00
11:30:00	31.2	23.8	27.5	20.9	18.4	18.7	31.0	1.023	53.7	55.0	3.7	10.95	50.00
11:31:00	31.5	23.8	27.1	21.0	18.4	18.7	31.1	1.023	52.3	57.7	4.4	10.52	57.14
11:32:00	31.5	23.9	27.3	21.1	18.4	18.8	31.2	1.023	52.9	57.2	4.2	10.58	55.26
11:33:00	31.4	23.9	27.5	21.1	18.4	18.9	31.3	1.023	53.3	56.2	3.9	10.61	52.00
11:34:00	31.6	23.9	27.7	21.1	18.5	18.9	31.2	1.023	52.4	55.2	3.9	10.61	50.65
11:35:00	31.3	23.9	27.6	21.2	18.5	18.9	31.3	1.023	53.8	56.3	3.7	10.26	50.00
11:36:00	31.3	24.1	27.4	21.1	18.5	18.9	31.1	1.023	54.8	56.7	3.9	11.45	54.17
11:37:00	31.4	24.1	27.8	21.1	18.5	18.9	31.2	1.023	54.4	54.7	3.6	11.47	49.32
11:38:00	31.7	24.8	27.7	21.5	18.5	18.9	31.3	1.023	56.8	57.6	4.0	12.92	57.97
11:39:00	31.4	24.9	27.8	21.8	18.6	18.9	31.3	1.023	58.8	58.9	3.6	12.26	55.38
11:40:00	31.3	24.5	27.5	21.5	18.4	18.8	31.2	1.023	57.0	58.6	3.8	11.66	55.88



11:41:00	31.9	24.2	27.7	21.4	18.4	18.8	31.4	1.023	52.7	57.0	4.2	10.72	54.55
11:42:00	31.2	24.1	27.5	21.2	18.4	18.7	31.2	1.023	55.3	56.8	3.7	11.10	52.11
11:43:00	31.5	24.0	27.8	21.2	18.4	18.8	31.4	1.023	53.4	55.3	3.7	10.67	49.33
11:44:00	31.5	23.8	27.3	21.1	18.4	18.8	31.3	1.023	52.3	57.2	4.2	10.17	54.55
11:45:00	31.3	23.7	27.2	21.1	18.4	18.7	31.3	1.023	52.7	57.8	4.1	9.77	53.95
11:46:00	31.3	23.6	27.4	21.1	18.4	18.7	31.3	1.023	52.2	56.7	3.9	9.37	50.65
11:47:00	31.5	23.6	27.9	21.1	18.4	18.8	31.3	1.023	51.3	54.2	3.6	9.40	45.57
11:48:00	31.3	23.5	27.6	21.1	18.4	18.7	31.4	1.023	51.6	55.7	3.7	8.98	47.44
11:49:00	31.7	23.6	27.8	21.0	18.4	18.8	31.4	1.023	50.4	54.1	3.9	9.74	48.15
11:50:00	31.8	23.5	27.5	21.0	18.4	18.7	31.5	1.023	49.4	55.6	4.3	9.29	51.81
11:51:00	31.6	23.5	27.8	21.1	18.4	18.7	31.5	1.023	50.3	54.7	3.8	8.97	46.91
11:52:00	31.6	23.6	27.9	21.0	18.4	18.8	31.4	1.023	50.8	53.6	3.7	9.76	46.25
เฉลี่ย	31.1	23.8	27.4	21.1	18.5	18.9	31.0	1.0	53.9	57.0	3.8	10.06	51.21

ตาราง ก. 3 ตารางการทดลองชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Pad อย่างเดียว โดยใช้เวลาทำการทดลอง 1 ชั่วโมง  
เริ่มตั้งแต่ 12:14 น. ถึง 13:13 น. และบันทึกผลทุก ๆ 1 นาที

Time (min)	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		อุณหภูมิ ปกติ °C	m. (kg/s)	RH		ΔT T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> °C	Q (kw)	η %
	DB1 °C	WB1 °C	DB2 °C	WB2 °C	DB3 °C	WB3 °C			in %	out %			
12:14:00	31.0	23.5	27.2	23.3	21.5	21.3	31.6	1.023	52.97	71.87	3.8	0.43	50.67
12:15:00	31.7	23.4	28.3	22.7	21.6	21.3	31.4	1.023	49.36	61.72	3.4	2.47	40.96
12:16:00	31.1	23.3	28.4	22.6	22.2	21.7	31.4	1.023	51.45	60.58	2.7	2.53	34.62
12:17:00	31.1	23.2	28.1	22.7	22.5	21.9	31.4	1.023	50.92	62.8	3.0	1.70	37.97
12:18:00	31.6	23.2	28.6	22.8	22.5	22.2	31.2	1.023	48.75	60.73	3.0	1.31	35.71
12:19:00	31.4	23.2	28.6	22.8	22.5	22.2	31.1	1.023	49.61	60.73	2.8	1.33	34.15
12:20:00	31.4	23.1	28.4	22.9	22.6	22.3	31.2	1.023	49.09	62.41	3.0	0.51	36.14
12:21:00	31.0	23.2	28.4	22.9	22.8	22.4	31.1	1.023	51.36	62.41	2.6	0.95	33.33
12:22:00	31.7	23.2	28.7	22.9	22.8	22.5	31.4	1.023	48.33	60.81	3.0	0.91	35.29
12:23:00	31.9	23.2	28.9	22.9	22.9	22.5	31.6	1.023	47.49	59.76	3.0	0.91	34.48
12:24:00	31.7	23.2	28.8	23.0	23.0	22.5	31.7	1.023	48.33	60.88	2.9	0.52	34.12
12:25:00	31.3	23.3	28.6	23.0	23.2	22.7	31.5	1.023	50.57	61.94	2.7	0.94	33.75

12:26:00	31.2	23.3	28.5	23.0	23.2	22.7	31.4	1.023	51.01	62.48	2.7	0.94	34.18
12:27:00	31.8	23.5	29.1	23.1	23.4	22.8	31.7	1.023	49.45	59.92	2.7	1.35	32.53
12:28:00	31.5	23.5	28.6	23.2	23.5	22.8	31.5	1.023	50.74	63.17	2.9	0.93	36.25
12:29:00	31.4	23.4	28.7	23.1	23.6	22.8	31.3	1.023	50.65	62.02	2.7	0.95	33.75
12:30:00	31.5	23.4	28.9	23.1	23.7	22.8	31.2	1.023	50.22	60.96	2.6	0.96	32.10
12:31:00	30.9	23.4	28.6	23.1	23.9	22.8	30.8	1.023	52.88	62.55	2.3	0.99	30.67
12:32:00	31.2	23.2	28.2	23.0	23.9	22.8	31.3	1.023	50.48	64.12	3.0	0.51	37.50
12:33:00	31.4	23.2	28.7	23.0	24.1	22.7	31.4	1.023	49.61	61.41	2.7	0.54	32.93
12:34:00	31.2	23.2	28.7	22.9	24.2	22.7	31.1	1.023	50.48	60.81	2.5	0.96	31.25
12:35:00	31.2	23.3	28.9	22.9	24.5	22.8	31.4	1.023	51.01	59.76	2.3	1.38	29.11
12:36:00	31.2	23.2	28.7	22.9	24.7	22.7	31.3	1.023	50.48	60.81	2.5	0.96	31.25
12:37:00	31.0	23.2	28.7	22.9	24.8	22.8	31.0	1.023	51.36	60.81	2.3	0.98	29.49
12:38:00	31.4	23.3	29.0	22.9	25.0	22.8	31.4	1.023	50.13	59.25	2.4	1.37	29.63
12:39:00	31.4	23.3	29.1	22.9	25.2	22.9	31.0	1.023	50.13	58.74	2.3	1.38	28.40
12:40:00	31.2	23.3	29.1	22.9	25.5	22.9	30.8	1.023	51.01	58.74	2.1	1.40	26.58
12:41:00	31.8	23.2	29.3	22.9	25.8	22.8	31.2	1.023	47.91	57.72	2.5	0.96	29.07
12:42:00	31.7	23.2	29.3	22.9	26.2	22.9	31.2	1.023	48.33	57.72	2.4	0.97	28.24
12:43:00	31.4	23.2	29.5	22.9	26.5	22.9	31.4	1.023	49.61	56.73	1.9	1.02	23.17

12:44:00	30.7	23.2	29.5	23.0	26.5	22.9	31.6	1.023	52.71	57.31	1.2	0.69	16.00
12:45:00	29.5	23.2	29.2	23.1	26.3	22.8	31.6	1.023	58.47	59.4	0.3	0.37	4.76
12:46:00	29.9	23.2	29.5	23.1	26.1	22.8	31.6	1.023	56.48	57.88	0.4	0.36	5.97
12:47:00	29.8	23.2	28.8	23.1	25.9	22.7	31.6	1.023	56.97	61.49	1.0	0.30	15.15
12:48:00	30.2	23.3	28.8	23.1	25.8	22.7	31.6	1.023	55.6	61.49	1.4	0.67	20.29
12:49:00	30.1	23.3	28.8	23.1	25.8	22.7	31.7	1.023	56.08	61.49	1.3	0.68	19.12
12:50:00	31.7	23.4	27.2	23.2	21.1	21.8	31.7	1.023	49.36	71.2	4.5	0.36	54.22
12:51:00	31.3	23.4	28.3	22.7	24.5	21.8	31.9	1.023	51.09	61.72	3.0	2.51	37.97
12:52:00	31.4	23.3	28.6	22.5	26.3	22.0	31.8	1.023	50.13	58.93	2.8	2.92	34.57
12:53:00	31.7	23.3	29.1	22.7	27.3	22.3	31.7	1.023	48.84	57.56	2.6	2.15	30.95
12:54:00	31.6	23.4	29.5	22.8	28.0	22.6	31.7	1.023	49.79	56.16	2.1	2.20	25.61
12:55:00	31.7	23.4	29.5	22.9	28.5	22.8	31.7	1.023	49.36	56.73	2.2	1.80	26.51
12:56:00	31.7	23.5	29.7	23.1	29.0	22.9	31.8	1.023	49.88	56.89	2.0	1.42	24.39
12:57:00	31.3	23.5	29.4	23.1	29.1	23.0	31.7	1.023	51.62	58.39	1.9	1.43	24.36
12:58:00	31.4	23.4	29.7	23.1	29.3	23.0	31.3	1.023	50.65	56.89	1.7	1.04	21.25
12:59:00	31.6	23.4	29.6	23.1	29.4	23.1	31.4	1.023	49.79	57.39	2.0	1.01	24.39
13:00:00	31.7	23.4	30.0	23.2	29.6	23.2	31.6	1.023	49.36	56	1.7	0.64	20.48
13:01:00	32.0	23.4	30.1	23.2	29.9	23.2	31.7	1.023	48.09	55.52	1.9	0.62	22.09

13:02:00	31.7	23.5	30.1	23.2	30.2	23.2	31.7	1.023	49.88	55.52	1.6	1.06	19.51
13:03:00	31.7	23.5	30.0	23.2	30.2	23.3	31.4	1.023	49.88	56	1.7	1.05	20.73
13:04:00	31.8	23.5	30.1	23.2	30.4	23.4	31.4	1.023	49.45	55.52	1.7	1.05	20.48
13:05:00	31.6	23.4	30.2	23.2	30.5	23.3	31.7	1.023	49.79	55.04	1.4	0.67	17.07
13:06:00	31.3	23.3	30.0	23.2	30.6	23.3	31.7	1.023	50.57	56	1.3	0.28	16.25
13:07:00	31.4	23.4	30.0	23.3	30.7	23.3	31.7	1.023	50.65	56.57	1.4	0.27	17.50
13:08:00	31.7	23.4	30.3	23.3	30.9	23.4	31.8	1.023	49.36	55.12	1.4	0.27	16.87
13:09:00	31.9	23.4	30.4	23.3	31.1	23.4	31.8	1.023	48.51	54.65	1.5	0.26	17.65
13:10:00	31.7	23.5	30.3	23.3	31.1	23.5	31.7	1.023	49.88	55.12	1.4	0.67	17.07
13:11:00	31.4	23.5	30.1	23.4	31.1	23.5	31.7	1.023	51.18	56.65	1.3	0.28	16.46
13:12:00	31.7	23.5	30.3	23.4	31.1	23.6	31.6	1.023	49.88	55.68	1.4	0.27	17.07
13:13:00	31.4	23.5	30.3	23.5	31.1	23.6	31.7	1.023	51.18	56.24	1.1	0.11	13.92
เฉลี่ย	31.3	23.3	29.1	23.0	26.2	22.8	31.5	1.0	50.6	59.4	2.2	1.0	27.3

ภาคผนวก ข  
สภาพอากาศประเทศไทย



ตาราง ข. 1 ตารางผลการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศออกจากชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน,แบบ Coil อย่างเดียว และแบบ Pad อย่างเดียว กับ ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2552 ทุกวันโดยเฉลี่ย 6.00-18.00 น.

ที่	วันที่	Tin(°C)		Tout (°C)		
		DW	WB	coil+pad	coil	pad
1	1/1/2009	26.3	20.0	21.5	23.0	24.5
2	2/1/2009	25.6	19.4	20.9	22.4	23.9
3	3/1/2009	25.1	18.8	20.3	21.9	23.4
4	4/1/2009	26.5	20.0	21.5	23.1	24.7
5	5/1/2009	27.6	20.7	22.3	24.0	25.7
6	6/1/2009	27.8	19.9	21.8	23.7	25.6
7	7/1/2009	27.5	19.9	21.7	23.6	25.5
8	8/1/2009	27.3	20.4	22.0	23.7	25.4
9	9/1/2009	24.9	18.6	20.1	21.7	23.2
10	10/1/2009	21.8	15.4	17.0	18.6	20.1
11	11/1/2009	21.5	14.5	16.2	17.9	19.6
12	12/1/2009	22.5	14.8	16.7	18.6	20.4
13	13/1/2009	22.8	16.2	17.8	19.4	21.0
14	14/1/2009	22.1	16.0	17.4	19.0	20.5
15	15/1/2009	22.0	16.3	17.7	19.1	20.4
16	16/1/2009	22.6	16.5	18.0	19.5	20.9
17	17/1/2009	24.2	17.2	18.8	20.6	22.3
18	18/1/2009	25.5	18.3	20.0	21.8	23.5
19	19/1/2009	26.1	19.0	20.7	22.5	24.2
20	20/1/2009	27.5	20.1	21.8	23.7	25.4
21	21/1/2009	27.7	20.5	22.2	24.0	25.7
22	22/1/2009	27.2	21.1	22.5	24.0	25.5
23	23/1/2009	27.8	21.5	23.0	24.6	26.1
24	24/1/2009	27.7	22.3	23.6	25.0	26.3
25	25/1/2009	27.5	20.9	22.5	24.1	25.7
26	26/1/2009	29.1	22.3	23.9	25.6	27.3
27	27/1/2009	28.7	24.1	25.2	26.3	27.4
28	28/1/2009	28.9	23.9	25.1	26.4	27.5
29	29/1/2009	28.9	23.9	25.1	26.4	27.6
30	30/1/2009	28.9	23.7	25.0	26.2	27.5
31	31/1/2009	28.9	23.7	24.9	26.2	27.5
32	1/2/2009	28.5	23.8	24.9	26.1	27.2
33	2/2/2009	29.1	23.4	24.8	26.2	27.5
34	3/2/2009	29.5	23.2	24.7	26.3	27.8

35	4/2/2009	28.7	23.4	24.7	26.0	27.3
36	5/2/2009	28.5	23.5	24.7	25.9	27.1
37	6/2/2009	28.6	22.9	24.2	25.7	27.0
38	7/2/2009	28.4	20.7	22.6	24.5	26.3
39	8/2/2009	29.4	21.7	23.5	25.5	27.3
40	9/2/2009	30.0	21.4	23.5	25.6	27.6
41	10/2/2009	29.5	20.6	22.7	25.0	27.1
42	11/2/2009	29.9	21.3	23.3	25.5	27.5
43	12/2/2009	31.0	22.5	24.5	26.6	28.7
44	13/2/2009	31.0	22.3	24.4	26.6	28.6
45	14/2/2009	30.5	19.7	22.2	24.9	27.5
46	15/2/2009	29.6	21.2	23.2	25.3	27.3
47	16/2/2009	30.5	22.4	24.3	26.4	28.3
48	17/2/2009	31.7	23.1	25.2	27.3	29.4
49	18/2/2009	30.8	25.0	26.4	27.8	29.2
50	19/2/2009	31.5	25.4	26.8	28.4	29.8
51	20/2/2009	31.5	25.7	27.1	28.5	29.9
52	21/2/2009	31.4	24.9	26.4	28.1	29.6
53	22/2/2009	31.2	25.0	26.5	28.0	29.5
54	23/2/2009	31.7	24.8	26.4	28.1	29.8
55	24/2/2009	31.4	25.0	26.5	28.1	29.7
56	25/2/2009	31.7	25.4	26.9	28.5	30.0
57	26/2/2009	31.6	25.5	27.0	28.5	30.0
58	27/2/2009	31.7	25.4	26.9	28.5	30.0
59	28/2/2009	31.6	25.8	27.2	28.6	30.0
60	1/3/2009	28.3	24.4	25.3	26.3	27.2
61	2/3/2009	30.4	24.2	25.7	27.2	28.7
62	3/3/2009	31.1	25.0	26.5	28.0	29.4
63	4/3/2009	31.9	24.5	26.3	28.1	29.9
64	5/3/2009	31.4	25.6	27.0	28.4	29.8
65	6/3/2009	31.3	25.6	27.0	28.4	29.8
66	7/3/2009	31.8	25.8	27.2	28.7	30.2
67	8/3/2009	32.6	25.2	27.0	28.8	30.6
68	9/3/2009	32.4	25.6	27.2	28.9	30.6
69	10/3/2009	31.8	25.6	27.1	28.6	30.1
70	11/3/2009	31.9	25.1	26.7	28.4	30.0
71	12/3/2009	32.0	25.4	27.0	28.6	30.2
72	13/3/2009	30.6	25.1	26.5	27.8	29.1
73	14/3/2009	27.7	22.6	23.8	25.1	26.3
74	15/3/2009	27.7	21.2	22.7	24.4	25.9
75	16/3/2009	30.5	22.2	24.2	26.3	28.3
76	17/3/2009	31.4	24.6	26.2	27.9	29.5
77	18/3/2009	28.5	23.9	25.0	26.2	27.3
78	19/3/2009	29.4	24.4	25.6	26.9	28.0



79	20/3/2009	28.0	24.5	25.4	26.2	27.0
80	21/3/2009	29.0	24.7	25.7	26.8	27.9
81	22/3/2009	30.4	24.5	25.9	27.4	28.8
82	23/3/2009	32.1	24.7	26.5	28.3	30.1
83	24/3/2009	32.2	25.3	26.9	28.7	30.3
84	25/3/2009	31.9	25.6	27.1	28.7	30.2
85	26/3/2009	31.5	25.1	26.6	28.2	29.8
86	27/3/2009	31.6	23.9	25.8	27.7	29.5
87	28/3/2009	31.6	24.4	26.1	27.9	29.6
88	29/3/2009	32.2	24.4	26.3	28.2	30.1
89	30/3/2009	30.0	24.5	25.8	27.2	28.5
90	31/3/2009	29.5	24.1	25.4	26.8	28.1
91	1/4/2009	29.3	23.3	24.7	26.2	27.7
92	2/4/2009	31.8	24.5	26.2	28.1	29.8
93	3/4/2009	31.9	25.0	26.7	28.4	30.0
94	4/4/2009	30.0	24.9	26.1	27.3	28.6
95	5/4/2009	30.1	24.7	26.0	27.3	28.6
96	6/4/2009	27.1	24.6	25.2	25.8	26.4
97	7/4/2009	30.8	25.3	26.6	28.0	29.3
98	8/4/2009	31.2	25.5	26.9	28.3	29.6
99	9/4/2009	31.2	25.4	26.8	28.3	29.6
100	10/4/2009	29.5	25.3	26.3	27.3	28.3
101	11/4/2009	27.5	25.0	25.6	26.2	26.8
102	12/4/2009	30.2	25.3	26.5	27.7	28.9
103	13/4/2009	31.6	26.0	27.3	28.7	30.1
104	14/4/2009	32.3	25.7	27.3	28.9	30.5
105	15/4/2009	30.7	25.9	27.1	28.3	29.4
106	16/4/2009	33.2	25.3	27.2	29.2	31.1
107	17/4/2009	33.5	25.5	27.4	29.4	31.3
108	18/4/2009	33.4	25.4	27.4	29.3	31.3
109	19/4/2009	32.7	25.0	26.8	28.7	30.6
110	20/4/2009	33.1	24.7	26.7	28.8	30.8
111	21/4/2009	32.8	24.5	26.5	28.5	30.5
112	22/4/2009	33.2	24.1	26.3	28.5	30.7
113	23/4/2009	33.4	24.6	26.7	28.9	31.0
114	24/4/2009	33.8	24.8	27.0	29.2	31.4
115	25/4/2009	33.1	24.9	26.8	28.9	30.9
116	26/4/2009	28.1	24.9	25.7	26.5	27.3
117	27/4/2009	29.0	25.0	25.9	27.0	27.9
118	28/4/2009	29.4	25.2	26.2	27.3	28.3
119	29/4/2009	30.2	25.3	26.5	27.7	28.9
120	30/4/2009	31.0	25.2	26.6	28.0	29.4
121	1/5/2009	30.3	26.0	27.0	28.1	29.1
122	2/5/2009	30.8	25.4	26.7	28.0	29.3

123	3/5/2009	31.5	23.7	25.6	27.5	29.4
124	4/5/2009	30.6	23.0	24.8	26.7	28.5
125	5/5/2009	31.5	23.5	25.4	27.4	29.3
126	6/5/2009	33.0	24.8	26.8	28.8	30.7
127	7/5/2009	32.9	25.7	27.5	29.2	30.9
128	8/5/2009	33.9	25.7	27.7	29.7	31.7
129	9/5/2009	33.5	25.2	27.2	29.3	31.3
130	10/5/2009	30.1	25.0	26.2	27.5	28.7
131	11/5/2009	27.6	24.8	25.5	26.2	26.9
132	12/5/2009	27.9	25.0	25.7	26.4	27.1
133	13/5/2009	28.2	25.0	25.8	26.6	27.3
134	14/5/2009	26.7	24.5	25.1	25.6	26.1
135	15/5/2009	26.2	25.0	25.3	25.6	25.8
136	16/5/2009	29.5	26.1	26.9	27.7	28.6
137	17/5/2009	30.0	25.7	26.7	27.8	28.8
138	18/5/2009	28.3	25.5	26.2	26.9	27.5
139	19/5/2009	30.6	26.3	27.3	28.4	29.4
140	20/5/2009	28.8	25.8	26.5	27.3	28.0
141	21/5/2009	30.7	25.1	26.4	27.8	29.2
142	22/5/2009	30.4	25.4	26.6	27.8	29.0
143	23/5/2009	30.7	24.9	26.3	27.7	29.1
144	24/5/2009	31.9	25.6	27.1	28.7	30.2
145	25/5/2009	31.6	25.8	27.2	28.6	30.0
146	26/5/2009	30.1	25.9	26.9	27.9	28.9
147	27/5/2009	29.7	25.9	26.8	27.8	28.7
148	28/5/2009	27.5	25.3	25.8	26.4	26.9
149	29/5/2009	30.5	25.6	26.7	28.0	29.2
150	30/5/2009	29.4	25.6	26.5	27.5	28.4
151	31/5/2009	29.1	25.6	26.4	27.3	28.1
152	1/6/2009	30.5	25.9	27.0	28.1	29.2
153	2/6/2009	29.5	24.9	26.0	27.2	28.3
154	3/6/2009	30.1	24.4	25.8	27.2	28.5
155	4/6/2009	29.5	24.4	25.6	26.8	28.1
156	5/6/2009	29.6	24.8	26.0	27.2	28.3
157	6/6/2009	30.3	24.8	26.1	27.5	28.8
158	7/6/2009	31.0	25.5	26.8	28.2	29.5
159	8/6/2009	30.4	25.3	26.5	27.8	29.0
160	9/6/2009	30.6	25.4	26.6	27.9	29.2
161	10/6/2009	31.2	25.2	26.6	28.1	29.6
162	11/6/2009	29.9	24.6	25.9	27.2	28.4
163	12/6/2009	30.4	24.5	25.9	27.4	28.8
164	13/6/2009	31.2	24.8	26.3	27.9	29.5
165	14/6/2009	31.0	24.7	26.2	27.8	29.3
166	15/6/2009	30.6	25.1	26.4	27.8	29.1

167	16/6/2009	30.1	25.4	26.5	27.7	28.8
168	17/6/2009	30.6	25.3	26.6	27.9	29.2
169	18/6/2009	30.7	25.5	26.7	28.0	29.3
170	19/6/2009	31.6	25.7	27.1	28.5	29.9
171	20/6/2009	30.6	25.2	26.5	27.8	29.1
172	21/6/2009	31.3	25.2	26.6	28.2	29.6
173	22/6/2009	30.4	25.3	26.5	27.8	29.0
174	23/6/2009	30.9	25.4	26.7	28.1	29.4
175	24/6/2009	31.3	25.3	26.8	28.3	29.7
176	25/6/2009	32.0	25.3	26.9	28.6	30.2
177	26/6/2009	31.6	25.0	26.6	28.2	29.8
178	27/6/2009	30.9	25.2	26.5	28.0	29.3
179	28/6/2009	30.3	25.5	26.7	27.9	29.0
180	29/6/2009	29.0	25.1	26.0	27.0	28.0
181	30/6/2009	27.9	25.4	26.0	26.6	27.2
182	1/7/2009	29.5	25.1	26.1	27.2	28.3
183	2/7/2009	29.4	25.1	26.1	27.2	28.2
184	3/7/2009	30.5	25.1	26.3	27.7	29.0
185	4/7/2009	31.0	25.5	26.8	28.2	29.5
186	5/7/2009	28.5	24.6	25.5	26.5	27.4
187	6/7/2009	27.2	24.4	25.1	25.8	26.4
188	7/7/2009	29.2	24.2	25.4	26.7	27.8
189	8/7/2009	28.5	24.1	25.1	26.2	27.3
190	9/7/2009	30.9	24.2	25.8	27.5	29.1
191	10/7/2009	31.6	24.6	26.3	28.0	29.7
192	11/7/2009	32.1	24.8	26.6	28.4	30.1
193	12/7/2009	31.8	25.0	26.6	28.3	29.9
194	13/7/2009	28.7	24.1	25.2	26.3	27.5
195	14/7/2009	28.6	24.5	25.5	26.5	27.5
196	15/7/2009	30.0	25.0	26.2	27.4	28.6
197	16/7/2009	29.9	24.2	25.6	27.0	28.3
198	17/7/2009	29.5	24.4	25.7	26.9	28.1
199	18/7/2009	30.1	24.0	25.4	27.0	28.5
200	19/7/2009	30.1	24.1	25.6	27.0	28.5
201	20/7/2009	30.9	24.8	26.3	27.8	29.2
202	21/7/2009	28.0	25.0	25.7	26.5	27.2
203	22/7/2009	29.2	25.2	26.1	27.2	28.1
204	23/7/2009	28.7	24.5	25.5	26.5	27.5
205	24/7/2009	29.8	24.9	26.1	27.3	28.5
206	25/7/2009	29.7	24.2	25.5	26.9	28.2
207	26/7/2009	29.7	25.0	26.1	27.3	28.4
208	27/7/2009	30.5	24.9	26.2	27.6	29.0
209	28/7/2009	30.7	24.6	26.1	27.6	29.0
210	29/7/2009	29.8	24.7	26.0	27.2	28.4

211	30/7/2009	30.2	24.4	25.8	27.2	28.6
212	31/7/2009	30.0	24.2	25.5	27.0	28.4
213	1/8/2009	30.3	24.2	25.7	27.2	28.6
214	2/8/2009	30.8	24.6	26.1	27.6	29.1
215	3/8/2009	31.1	24.8	26.3	27.9	29.4
216	4/8/2009	30.8	25.2	26.5	27.9	29.2
217	5/8/2009	32.1	25.0	26.7	28.4	30.1
218	6/8/2009	31.2	24.9	26.4	28.0	29.5
219	7/8/2009	29.7	24.8	25.9	27.1	28.3
220	8/8/2009	30.8	24.9	26.3	27.8	29.2
221	9/8/2009	30.0	24.4	25.7	27.1	28.5
222	10/8/2009	30.6	24.8	26.2	27.6	29.0
223	11/8/2009	32.1	24.8	26.5	28.3	30.1
224	12/8/2009	32.1	24.6	26.4	28.3	30.1
225	13/8/2009	31.5	24.9	26.5	28.1	29.7
226	14/8/2009	29.7	25.1	26.2	27.4	28.5
227	15/8/2009	30.7	25.8	27.0	28.2	29.3
228	16/8/2009	30.2	25.0	26.3	27.6	28.8
229	17/8/2009	29.5	25.1	26.1	27.2	28.3
230	18/8/2009	29.9	25.1	26.3	27.4	28.6
231	19/8/2009	28.5	25.1	25.9	26.7	27.6
232	20/8/2009	31.1	24.6	26.1	27.8	29.3
233	21/8/2009	32.2	25.0	26.7	28.5	30.2
234	22/8/2009	31.5	24.5	26.2	27.9	29.6
235	23/8/2009	30.6	25.3	26.6	27.9	29.2
236	24/8/2009	28.7	25.4	26.2	27.0	27.8
237	25/8/2009	30.6	25.0	26.4	27.7	29.1
238	26/8/2009	32.0	25.4	27.0	28.6	30.2
239	27/8/2009	30.8	25.5	26.8	28.1	29.4
240	28/8/2009	29.8	25.4	26.4	27.6	28.6
241	29/8/2009	29.6	25.6	26.6	27.6	28.5
242	30/8/2009	27.9	25.3	25.9	26.6	27.2
243	31/8/2009	28.6	24.7	25.7	26.6	27.6
244	1/9/2009	28.2	24.9	25.7	26.5	27.3
245	2/9/2009	29.3	24.3	25.5	26.8	28.0
246	3/9/2009	30.3	24.5	25.9	27.3	28.7
247	4/9/2009	30.9	24.6	26.1	27.7	29.2
248	5/9/2009	30.5	24.8	26.2	27.6	28.9
249	6/9/2009	30.0	24.4	25.8	27.1	28.5
250	7/9/2009	30.1	24.3	25.7	27.2	28.6
251	8/9/2009	30.6	24.6	26.0	27.5	29.0
252	9/9/2009	29.7	24.8	26.0	27.2	28.4
253	10/9/2009	31.2	25.0	26.5	28.0	29.5
254	11/9/2009	29.9	25.4	26.5	27.6	28.7

255	12/9/2009	32.0	25.2	26.8	28.5	30.1
256	13/9/2009	31.2	25.5	26.8	28.3	29.7
257	14/9/2009	31.3	25.3	26.7	28.2	29.7
258	15/9/2009	31.0	25.0	26.5	28.0	29.4
259	16/9/2009	29.1	25.5	26.3	27.2	28.1
260	17/9/2009	28.1	25.7	26.3	26.9	27.4
261	18/9/2009	29.9	26.1	27.0	27.9	28.9
262	19/9/2009	30.0	25.1	26.3	27.5	28.7
263	20/9/2009	31.0	25.3	26.7	28.1	29.5
264	21/9/2009	30.3	25.1	26.3	27.6	28.9
265	22/9/2009	30.5	24.7	26.1	27.5	28.9
266	23/9/2009	29.9	25.1	26.2	27.4	28.6
267	24/9/2009	29.6	25.0	26.1	27.3	28.4
268	25/9/2009	28.4	24.5	25.4	26.4	27.3
269	26/9/2009	29.0	24.6	25.7	26.8	27.8
270	27/9/2009	30.5	24.6	26.0	27.5	28.9
271	28/9/2009	28.4	24.6	25.5	26.4	27.3
272	29/9/2009	30.6	24.5	25.9	27.4	28.9
273	30/9/2009	29.8	24.5	25.8	27.1	28.4
274	1/10/2009	25.0	23.4	23.7	24.1	24.5
275	2/10/2009	28.4	24.7	25.6	26.5	27.4
276	3/10/2009	30.1	25.1	26.3	27.5	28.7
277	4/10/2009	31.2	24.9	26.4	27.9	29.5
278	5/10/2009	28.0	25.5	26.1	26.7	27.3
279	6/10/2009	30.6	25.4	26.6	27.9	29.2
280	7/10/2009	30.3	25.7	26.8	27.9	29.0
281	8/10/2009	30.4	25.3	26.5	27.8	29.0
282	9/10/2009	29.5	25.5	26.5	27.5	28.4
283	10/10/2009	30.2	25.3	26.5	27.7	28.9
284	11/10/2009	29.3	25.0	26.1	27.1	28.1
285	12/10/2009	28.2	24.8	25.6	26.5	27.3
286	13/10/2009	26.9	24.8	25.3	25.8	26.3
287	14/10/2009	29.0	25.2	26.1	27.0	27.9
288	15/10/2009	29.1	25.1	26.1	27.1	28.0
289	16/10/2009	28.9	25.0	25.9	26.9	27.9
290	17/10/2009	29.9	25.4	26.4	27.6	28.6
291	18/10/2009	29.5	25.6	26.6	27.5	28.5
292	19/10/2009	29.7	25.9	26.8	27.8	28.7
293	20/10/2009	29.9	25.2	26.3	27.5	28.6
294	21/10/2009	26.4	24.4	24.9	25.4	25.9
295	22/10/2009	28.9	25.2	26.1	27.0	27.9
296	23/10/2009	27.2	24.5	25.2	25.8	26.4
297	24/10/2009	29.5	25.4	26.3	27.4	28.4
298	25/10/2009	30.8	25.5	26.8	28.1	29.4

299	26/10/2009	31.1	25.7	27.0	28.4	29.6
300	27/10/2009	31.0	24.6	26.1	27.7	29.2
301	28/10/2009	29.8	24.4	25.7	27.1	28.3
302	29/10/2009	29.8	24.1	25.5	26.9	28.2
303	30/10/2009	30.4	24.1	25.6	27.2	28.6
304	31/10/2009	30.2	23.1	24.8	26.6	28.3
305	1/11/2009	29.9	23.0	24.7	26.4	28.0
306	2/11/2009	29.1	21.9	23.6	25.4	27.1
307	3/11/2009	25.2	19.7	21.0	22.4	23.7
308	4/11/2009	26.4	20.9	22.2	23.6	24.9
309	5/11/2009	28.5	22.2	23.7	25.3	26.8
310	6/11/2009	29.5	22.6	24.3	26.0	27.6
311	7/11/2009	30.6	23.8	25.4	27.1	28.7
312	8/11/2009	30.1	25.2	26.4	27.6	28.8
313	9/11/2009	30.4	25.7	26.8	28.0	29.1
314	10/11/2009	30.8	25.0	26.4	27.9	29.3
315	11/11/2009	28.9	25.4	26.3	27.1	28.0
316	12/11/2009	31.3	25.9	27.2	28.5	29.8
317	13/11/2009	31.9	26.1	27.5	28.9	30.3
318	14/11/2009	30.5	25.6	26.8	28.0	29.2
319	15/11/2009	29.4	25.5	26.4	27.4	28.3
320	16/11/2009	29.8	25.5	26.6	27.6	28.6
321	17/11/2009	30.5	25.1	26.4	27.7	29.0
322	18/11/2009	26.8	21.8	23.0	24.2	25.4
323	19/11/2009	27.1	21.3	22.7	24.1	25.5
324	20/11/2009	26.7	20.7	22.1	23.6	25.1
325	21/11/2009	25.5	19.3	20.8	22.3	23.8
326	22/11/2009	22.6	17.2	18.5	19.8	21.1
327	23/11/2009	25.1	18.2	19.8	21.5	23.2
328	24/11/2009	25.9	19.6	21.1	22.7	24.2
329	25/11/2009	27.8	20.0	21.9	23.8	25.7
330	26/11/2009	28.4	20.2	22.2	24.2	26.2
331	27/11/2009	28.8	20.8	22.7	24.7	26.6
332	28/11/2009	29.3	21.2	23.1	25.1	27.1
333	29/11/2009	29.5	21.2	23.2	25.2	27.2
334	30/11/2009	28.5	21.1	22.8	24.7	26.5
335	1/12/2009	28.1	20.6	22.4	24.3	26.0
336	2/12/2009	27.9	20.6	22.3	24.2	25.9
337	3/12/2009	27.5	20.6	22.2	23.9	25.6
338	4/12/2009	26.6	20.2	21.7	23.3	24.9
339	5/12/2009	27.1	19.9	21.6	23.4	25.1
340	6/12/2009	27.3	19.8	21.6	23.5	25.3
341	7/12/2009	27.7	20.7	22.4	24.1	25.8
342	8/12/2009	28.0	21.1	22.7	24.5	26.1

343	9/12/2009	28.3	21.5	23.1	24.8	26.5
344	10/12/2009	28.5	21.0	22.8	24.7	26.5
345	11/12/2009	28.6	21.1	22.9	24.8	26.6
346	12/12/2009	28.7	21.4	23.1	25.0	26.7
347	13/12/2009	29.2	22.2	23.8	25.6	27.3
348	14/12/2009	29.7	22.5	24.2	26.0	27.7
349	15/12/2009	30.1	23.5	25.1	26.7	28.3
350	16/12/2009	30.9	23.0	24.9	26.9	28.7
351	17/12/2009	30.5	23.4	25.1	26.9	28.6
352	18/12/2009	29.4	22.3	24.0	25.8	27.5
353	19/12/2009	28.4	22.4	23.8	25.3	26.8
354	20/12/2009	27.4	21.3	22.8	24.3	25.7
355	21/12/2009	27.1	20.9	22.4	23.9	25.4
356	22/12/2009	27.2	20.6	22.2	23.8	25.4
357	23/12/2009	28.2	21.0	22.7	24.5	26.3
358	24/12/2009	28.9	21.6	23.3	25.1	26.9
359	25/12/2009	29.4	22.4	24.1	25.8	27.5
360	26/12/2009	28.8	24.0	25.2	26.4	27.5
361	27/12/2009	29.5	24.2	25.5	26.8	28.1
362	28/12/2009	30.2	24.6	25.9	27.3	28.7
363	29/12/2009	29.9	24.3	25.7	27.1	28.4
364	30/12/2009	28.3	24.2	25.2	26.2	27.2
365	31/12/2009	28.8	24.4	25.4	26.5	27.6
เฉลี่ย		29.6	23.9	25.3	26.7	28.1



ตาราง ข. 2 ตารางผลการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศออกจากชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม แบบใช้ Coil และ Pad ร่วมกัน,แบบ Coil อย่างเดียว และแบบ Pad อย่างเดียว กับ ข้อมูลสภาพอากาศประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีสนามบินดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2552 ทุกเดือนโดยเฉลี่ย 6.00-18.00 น.

Time (month)	Tin (°C)		T out (°C)		
	DW	WB	coil+pad	coil	pad
1	26.1	19.7	21.2	22.8	24.3
2	30.4	23.4	25.1	26.8	28.5
3	30.7	24.6	26.1	27.6	29.1
4	31.2	25.0	26.5	28.0	29.5
5	30.1	25.2	26.4	27.6	28.8
6	30.5	25.1	26.4	27.8	29.0
7	29.8	24.6	25.9	27.2	28.4
8	30.5	25.0	26.3	27.7	29.0
9	30.1	24.9	26.1	27.4	28.6
10	29.3	25.0	26.0	27.1	28.1
11	28.5	22.4	23.8	25.4	26.8
12	28.6	22.0	23.6	25.2	26.8
เฉลี่ย	29.6	23.9	25.3	26.7	28.1

หมายเหตุ

T<sub>in</sub>= อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

T<sub>out</sub>= อุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม

DB= อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

WB= อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)