สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
สารบัญกราฟ	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ระบบของ Cooling Tower	4
2.2 ชนิดของ Cooling Tower	8
2.3 ส่วนประกอบของ Cooling Tower	12
2.4 หลักการทำงานของ Cooling Tower แบบอากาศไหลสวนทางกับน้ำ	17
2.5 ปริมาณความร้อนถ่ายเทระหว่างหยดน้ำกับอากาศ	18
2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นที่ผิวร่วม	21
2.7 การถ่ายเทความร้อนใน Cooling Tower	22
2.8 การคำนวณความสูงของแผงกระจายน้ำ	24
2.9 คำนวณมวลอากาศจาก Orifice	26
2.10 การสูญเสียน้ำใน Cooling Tower	28
2.11 ปัญหาที่เกิดกับระบบน้ำหล่อเย็น	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ส่วนประกอบในชุดทดลองการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์ 31

3.2 การดำเนินการจัดสร้าง 45

3.3 หลักการทำงานของชุดทดลองการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์ 47

3.4 ขั้นตอนการทดลอง 48

บทที่ 4 ผลการทดลอง และผลการวิเคราะห์

4.1 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำ 59

4.2 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ 59

4.3 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ 61

4.4 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ 62

4.5 การคำนวณประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อน 62

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง 62

บทที่ 5 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 64

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

5.3 สรุปผลโครงงาน 65

5.4 การพัฒนาโครงงานในอนาคต 65

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.คู่มือปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล
การทดลองการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์ 69

ภาคผนวก ข. ตารางที่ 1 Physical properties of water in SI. unit 100

ภาคผนวก ค. ตารางที่ 2. Water : Properties of liquid and saturated vapor 101

ภาคผนวก ง ตารางที่ 3. Moist air :Thermodynamic properties of saturated air at atmospheric pressure of 101.325 kPa 104

ภาคผนวก จ. ตารางที่ 4. Physical properties of air at atmospheric pressure of 101.325 kPa 107

ภาคผนวก ฉ. Psychrometric chart 108

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ช. แผนภูมิตัวประกอบสตีเฟ่น (STEPHENS W.L.)	109
ประวัติผู้ทำโครงงาน	110

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางการดำเนินการ	2
ตารางงบประมาณ	3
ตารางบันทึกผลการทดลอง	49
ตารางบันทึกผลการคำนวณ	50

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 Cooling Tower ในระบบปรับอากาศ 4

รูปที่ 2.1 Cooling Tower ในระบบปรับอากาศ 5

รูปที่ 2.3 Cooling Tower ในเครื่องยนต์ดีเซล 5

รูปที่ 2.4 Cooling Tower ในเตาหลอมเหนี่ยวนำ 7

รูปที่ 2.5 Cooling Tower ในกระบวนการชุบแข็ง 7

รูปที่ 2.6 Cooling Tower ชนิด Mechanical draft counter flow 9

รูปที่ 2.7 Cooling Tower ชนิด Mechanical draft cross flow 10

รูปที่ 2.8 Cooling Tower ชนิด Natural draft counter flow 10

รูปที่ 2.9 Cooling Tower ชนิด Natural draft cross flow 11

รูปที่ 2.10 Cooling Tower ชนิด Mechanical draft counter flow 12

รูปที่ 2.11 Cooling Tower ชนิด Mechanical draft cross flow 12

รูปที่ 2.12 ระบบกระจายน้ำ (a)Gravity (b)Spray (c)Rotary 13

รูปที่ 2.13 แผงขยายฟิล์มน้ำ (a) Splash (b) Film 15

รูปที่ 2.14 แผงกันน้ำกระเซ็น 16

รูปที่ 2.15 พัดลมชนิด Induce draft fan 17

รูปที่ 2.16 การทำงานของ Cooling Tower ชนิด Mechanical draft counter flow 18

รูปที่ 2.17 การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างหยดน้ำกับอากาศ 19

รูปที่ 2.18 การถ่ายเทความร้อนใน Cooling Tower เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงกว่า
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ 21

รูปที่ 2.19 การถ่ายเทความร้อนใน Cooling Tower เมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำกว่า
อุณหภูมิกระเปาะ แห้งของอากาศ 21

รูปที่ 2.20 การแลกเปลี่ยนพลังงานใน Cooling Tower
ชนิด Mechanical draft counter flow 22

รูปที่ 2.21 Range and approach in a cooling tower 23

รูปที่ 2.22 ศักย์ความร้อนของ Cooling Tower 24

รูปที่ 2.23 แผนภูมิหาตัวประกอบสตีเฟน (STEPHENS W.L.) 25

รูปที่ 2.24 Orificc plate 27

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 แผนภูมิ Flow Coefficient	28
รูปที่ 3.1 วงจรการทำงานของ Cooling Tower	33
รูปที่ 3.2 Drawing	34
รูปที่ 3.3 เครื่องทำน้ำอุ่น	35
รูปที่ 3.4 ปั๊ม	36
รูปที่ 3.5 พัดลมดูดอากาศ	36
รูปที่ 3.6 แผงกระจายน้ำ	37
รูปที่ 3.7 โครงเหล็กส่วนตัวถังและโครงเหล็กพัดลม	39
รูปที่ 3.8 แผนภูมิท่อกลมสมมูล	40
รูปที่ 3.9 Orifice	41
รูปที่ 3.10 ชุดหัวฉีดน้ำ	42
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์วัดอัตราไหลของน้ำ	42
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์วัดอัตราไหลของลม	43
รูปที่ 3.13 ระบบท่อน้ำ	43
รูปที่ 3.14 อ่างเก็บน้ำและอ่างรองน้ำ	44
รูปที่ 3.15 เทอร์โมมิเตอร์	44
รูปที่ 3.16 Cooling Tower Apparatus	47

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 1 แสดงค่า $Q^{\bullet}_{w}$ และ $Q^{\bullet}_{a}$ กับข้อมูล ที่อัตราการไหลน้ำ 0.091 kg/s 51

กราฟที่ 2 แสดงค่า $Q^{\bullet}_{w}$ และ $Q^{\bullet}_{a}$ กับข้อมูล ที่อัตราการไหลน้ำ 0.062 kg/s 51

กราฟที่ 3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของผลต่างความดัน 2.5 mmH_2O กับ 4 mmH_2O 52

กราฟที่ 4 เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของอัตราการไหลน้ำ 0.091 kg/s กับ 0.062 kg/s 52

กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (2.5 mmH_2O) 53

กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (2.5 mmH_2O) 53

กราฟที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (4 mmH_2O) 54

กราฟที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 34 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (4 mmH_2O) 54

กราฟที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (2.5 mmH_2O) 55

กราฟที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (2.5 mmH_2O) 55

กราฟที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (4 mmH_2O) 56

กราฟที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 38 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (4 mmH_2O) 56

กราฟที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (2.5 mmH_2O) 57

กราฟที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (2.5 mmH_2O) 57

กราฟที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.091 kg/s (4 mmH_2O) 58

กราฟที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอลทาลปีกับอุณหภูมิน้ำ (น้ำเข้า 42 $^{\circ}C$)
ที่อัตราไหลของน้ำ 0.062 kg/s (4 mmH_2O) 58

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ปริมาตร	หน่วย
$\dot{M}_w$	อัตราการแพร่มวลไอน้ำผ่านผิวร่วม	kg / s
λ_w	ความร้อนแฝงจำเพาะของไอน้ำที่แพร่กระจายออก	kJ / kg
$\dot{Q}_{diff}$	อัตราความร้อนแพร่กระจายติดไปกับไอน้ำ	kW
$\dot{Q}_{sen}$	อัตราความร้อนถ่ายเทจากอากาศสู่น้ำโดย การพาความร้อน	kW
α	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวร่วม	kW / m^2-K
A_j	พื้นที่ผิวหยดน้ำ	m^2
K_g	สัมประสิทธิ์ฟิล์มของการแพร่	s / m
t_i	อุณหภูมิที่ผิวร่วม	^oC
P_i	ความดันย่อยของไอน้ำที่ผิวร่วม	kPa
P_a	ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ	kPa
K_g'	สัมประสิทธิ์การแพร่	kg / m^2 - s
w_j	อัตราส่วนความชื้นที่ผิวร่วม	kg / kg
w_a	อัตราส่วนความชื้นในอากาศ	kg / kg
$\dot{Q}_w$	อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ	kW
$\dot{Q}_a$	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ	kW
$\dot{m}_w$	อัตราการไหลของน้ำ	kg / s
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลของอากาศ	kg / s
Cp_w	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่	kJ/kg-K
t_{wi}	อุณหภูมิของน้ำทางเข้า Cooling Tower	^oC
t_{wo}	อุณหภูมิของน้ำทางออก Cooling Tower	^oC
t_{wbi}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ทางเข้า Cooling Tower	^oC
t_{ao}	อุณหภูมิของอากาศทางออก Cooling Tower	^oC
h_{ai}	เอนทาลปีของอากาศตรงทางเข้า Cooling Tower	kJ / kg
h_{ao}	เอนทาลปีของอากาศตรงทางออก Cooling Tower	kJ / kg
Δh_m	ศักย์ขับความร้อนเฉลี่ย	kJ / kg

สัญลักษณ์	ปริมาตร	หน่วย
K_a	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร	$kg/m^3 - s$
L	ความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำ	m
A	พื้นที่ภาคตัดขวางของแผงขยายฟิล์มน้ำ	m^2
f	ตัวประกอบสตีเฟ่น	
h_{wm}	เอนทาลปีของเส้นโค้งอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ย	kJ / kg
h_{am}	เอนทาลปีสภาวะของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย	kJ / kg
c , m , n	ค่าคงที่สำหรับแผงขยายฟิล์มน้ำ	
Re	Reynold's number	
V	ความเร็วของอากาศ	m/s
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	m
ν	Kinemetic viscosity of air	m^2/s
C	Discharge coefficient	
C_d	Flow coefficient	
h_s	ผลต่างความดันจากมานอมิเตอร์	mmH_2O
g_c	Conversion factor	$1.0\ kg-m/(N\text{-}s^2)$
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (Density of air)	kg/m^3
υ	ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)	m^3/kg
Range	ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับน้ำออก	^oC
Approach	ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำออกกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้า	^oC
ε	ประสิทธิผลการถ่ายเทความร้อนของ Cooling Tower (Effectiveness of A Counterflow Cooling Tower)	