

การออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนแบบ
อากาศและน้ำไหลสวนทางกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความ
ร้อนที่ได้จากแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างกัน

DESIGN AND CONSTRUCTION THE EXPERIMENTAL SET OF COOLING
TOWER COUNTER FLOW TYPE FOR COMPARING THE THERMAL
EFFICIENCY OF THE DIFFERENT TYPES OF COOLING TOWER FILLS

กรวิชญ์ กิจจาการ
กฤษฎา ภาชีอินทร์
รัตนะ ตอติต
สุวโรจน์ อภิบรรชัยพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนแบบ
อากาศและน้ำไหลสวนทางกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความ
ร้อนที่ได้จากแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างกัน

DESIGN AND CONSTRUCTION THE EXPERIMENTAL SET OF COOLING
TOWER COUNTER FLOW TYPE FOR COMPARING THE THERMAL
EFFICIENCY OF THE DIFFERENT TYPES OF COOLING TOWER FILLS

กรวิชญ์	กิจจาการ
กฤษฎา	ภาชีอินทร์
รัตน์ะ	ต่อติด
สุวโรจน์	อภิวรชัยพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

DESIGN AND CONSTRUCTION THE EXPERIMENTAL SET OF COOLING
TOWER COUNTER FLOW TYPE FOR COMPARING THE THERMAL
EFFICIENCY OF THE DIFFERENT TYPES OF COOLING TOWER FILLS

Korawich Kidjakan

Krissada Phaseein

Rattana Totid

Suwaroj Aphiwonchaiyaphong

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนแบบอากาศและน้ำไหลสวนทางกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ได้จากแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างกัน

DESIGN AND CONSTRUCTION THE EXPERIMENTAL SET OF COOLING TOWER COUNTER FLOW TYPE FOR COMPARING THE THERMAL EFFICIENCY OF THE DIFFERENT TYPES OF COOLING TOWER FILLS

ผู้จัดทำ

1. นาย กรวิชญ์ กิจจาการ รหัสประจำตัว 57010020
2. นาย กฤษฏา ภาชีอินทร์ รหัสประจำตัว 57010036
3. นาย รัตน์ะ ต่อติด รหัสประจำตัว 57011065
4. นาย สุวโรจน์ อภิวรชัยพงศ์ รหัสประจำตัว 57011427



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ณิชฎุมิ เรืองตระกูล)

การออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองการทำงานของหระบายความร้อนแบบอากาศและน้ำไหลสวนทางกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ได้จากแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างกัน

นายกรวิษณุ	กิจการ	57010020
นายภุชญา	ภาชีอินทร์	57010036
นายรัตน์	ต่อติด	57011065
นายสุโรจน์	อภิบรรชัยพงศ์	57011427
ดร ณีรัฐภูมิ	เรื่องตระกูล	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

หระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์หนึ่งในระบบทำความเย็น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำหลังจากผ่านหระบายความร้อนนั้นมีค่าลดลงจากอุณหภูมิของน้ำเมื่อตอนเข้าหระบายความร้อน ซึ่งหระบายความร้อนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันนั้นจะมีขนาดใหญ่และมีราคาสูง จึงเป็นการยากที่นักเรียนหรือนักศึกษาจะเข้าไปศึกษาการทำงานของหระบายความร้อน ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองการทำงานของหระบายความร้อน โดยการทำเป็นชุดทดลองการทำงานของหระบายความร้อนแบบเหนี่ยวนำทางกลชนิดอากาศและน้ำไหลสวนทางกันซึ่งประกอบด้วยห่อที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ, ห่อที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท และห่อที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น ซึ่งมีขนาดพอเหมาะแก่การศึกษาให้คนรุ่นหลังได้ศึกษาต่อไป และจากการทดสอบพบว่าแผงขยายฟิล์มน้ำแบบปะทะกระเซ็นที่นำมาทดสอบนั้นให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหระบายความร้อนสูงที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59.86 % รองลงมาเป็นแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสซึ่งให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหระบายความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 55.94 % และหระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำอยู่ภายในนั้นให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหระบายความร้อนน้อยที่สุดซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 47.01 %

DESIGN AND CONSTRUCTION THE EXPERIMENTAL SET OF COOLING TOWER COUNTER
FLOW TYPE FOR COMPARING THE THERMAL EFFICIENCY OF THE DIFFERENT TYPES OF
COOLING TOWER FILLS

Korawich	Kidjakan	57010020
Krissada	Phaseein	57010036
Rattana	Totid	57011065
Suwaroj	Aphibowonchaiyaphong	57011427
Dr.Natthawut	Ruangtrakoon	Advisor

Year 2017

ABSTRACT

Cooling tower is one of the refrigeration equipment. It is a heat exchanger which can reduce the temperature of water. Normally, cooling tower used in industry has a big size and it is quite expensive. Therefore, it is difficult for student to study the operating function of cooling tower system. So, the experimental set of cooling tower counter flow type was designed and constructed. In experimental set, there are three cooling towers, the first one is the cooling tower without cooling tower fill. The second one and the last one are the cooling towers with film fill and splash fill, respectively. Moreover, the experimental set was designed to be able to easily study. From the experiment, The average highest thermal efficiency of 59.86 % was obtained when the splash fill was installed in cooling tower. For film fill, the average thermal efficiency was 55.94 %. And the lowest thermal efficiency was found when the cooling tower was operated without cooling tower fill.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ดร. ณัฐวุฒิ เรื่องตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่เจษ พี่บี ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกรวิษฐ์	กิจจาการ
นายกฤษฎา	ภาชีอินทร์
นายรัตนะ	ต่อติด
นายสุวโรจน์	อภิวรชัยพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก.....	3
2.1.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง.....	3
2.1.3 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะและความชื้นสัมพัทธ์.....	3
2.1.4 อากาศแห้ง, อากาศอิ่มตัวและอากาศบรรยาอากาศ.....	4
2.1.5 แผนภูมิอากาศชื้น (psychrometric chart).....	4
2.1.6 กระบวนการปรับอากาศ.....	6
2.1.6.1 การให้ความร้อนและการทำความเย็น (Sensible Heating and Sensible Cooling).....	6
2.1.6.2 การเพิ่มความชื้นและการลดความชื้น (Humidifying and Dehumidifying).....	6
2.1.6.3 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น (Heating and Humidifying).....	6
2.1.6.4 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น (Cooling and Dehumidifying).....	7
2.1.6.5 การทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative Cooling).....	7

2.1.6.6 การผสมแบบแอเดียเบติกของกระแสอากาศ (Adiabatic mixing of air streams).....	8
2.1.7 อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำ.....	9
2.1.8 สมดุลมวลและสมดุลพลังงานในหอระบายความร้อน.....	9
2.1.9 ความดันสูญเสียภายในหอระเหยความร้อน.....	10
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของหอระบายความร้อน.....	11
2.2.1 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน.....	11
2.2.2 ส่วนประกอบของหอระบายความร้อน.....	13
2.2.3 การคำนวณพื้นฐานของหอระบายความร้อน.....	22
2.3 การคำนวณสมรรถนะของคูลลิ่งทาวเวอร์ตามมาตรฐาน CTI.....	23
2.3.1 คำนวณหาค่าออกแบบของ L/G จากค่าอัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/min).....	23
2.3.2 คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L.....	23
2.3.3 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของคูลลิ่งทาวเวอร์.....	24
2.3.4 สร้างเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ.....	24
2.3.5 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของค่าทดสอบ.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	26
3.1 คำนวณคุณสมบัติต่างๆ.....	26
3.1.1 หาอัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของน้ำ.....	26
3.1.2 หาขนาดของแผงขยายฟิล์มน้ำ.....	29
3.1.3 การออกแบบหาค่ากำลังของพัดลม.....	30
3.1.4 การคำนวณหาขนาดของปั๊ม.....	33
3.2 คำนวณหาค่า (KaV/L) _{design} , L/G _{design} สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ.....	35
3.2.1 คำนวณหาค่าออกแบบของ L/G จากค่าอัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/min).....	35
3.2.2 คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L.....	35
3.2.3 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของคูลลิ่งทาวเวอร์.....	37
3.2.4 สร้างเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ.....	39
3.3 แบบขึ้นงานชุดทดลองหอระบายความร้อน.....	44
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำชุดทดลอง.....	45
3.4.1 พัดลมดูดอากาศ (Fan).....	45
3.4.2 แผงขยายฟิล์มน้ำ (Fill).....	45
3.4.3 ฮีตเตอร์ (Heater).....	46
3.4.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).....	47

3.4.5 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay).....	47
3.4.6 รีเลย์ (Relay).....	48
3.4.7 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller).....	49
3.4.8 ปั๊มน้ำ (Water pump).....	49
3.4.9 โรตاميเตอร์ (Rotameter).....	50
3.4.10 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Wet-bulb Thermometer).....	51
3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	54
4.1 บันทึกผลการทดลอง.....	54
4.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	84
บทที่ 5 สรุป.....	86
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก. เอกสารอื่นที่ใช้ประกอบการคำนวณ.....	91
ภาคผนวก ข. รูปภาพชุดการทดลองที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง.....	93
ภาคผนวก ค. เอกสารประกอบการทดลอง.....	95
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนเท่ากับ 10 LPM และ 15 LPM.....	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์.....	21
2.2 ตารางแสดงค่าความหยاب.....	21
2.3 ตารางแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ.....	22
2.4 ตารางคำนวณค่าออกแบบของ KaV/L	24
3.1 ตารางแสดงเอนทัลปีของอากาศอิมตัว.....	28
3.2 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่อุณหภูมิ 0.01 °C - 70 °C	29
3.3 ตัวประกอบการสูญเสียเสียดความเร็วต่อหนึ่งหน่วยความสูงของแผงขยายฟิล์ม.....	33
3.4 ตารางคำนวณค่าออกแบบของ KaV/L.....	36
3.5 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	37
3.6 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ L/G = 1.358.....	39
3.7 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ L/G = 1.528.....	40
3.8 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ L/G = 1.868.....	41
3.9 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ L/G = 2.038.....	42
3.10 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	42
4.1 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	55
4.2 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	56
4.3 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	58
4.4 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM.....	59
4.5 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	61

4.17 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 5 LPM	81
4.18 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยาย ฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	82
4.19 ตารางแสดงขีดความสามารถของหอระบายความร้อนจากผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ....	84
4.20 ตารางแสดงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนจากผลการ ทดลองที่สภาวะต่างๆ.....	84
ง.1 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำ ทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM	113
ง.2 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยาย ฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 10 LPM	114
ง.3 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิว ถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 5 LPM	116
ง.4 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยาย ฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	117
ง.5 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM	119
ง.6 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยาย ฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM	120
ง.7 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำ ทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM	123
ง.8 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยาย ฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 10 LPM	124

- ง.31 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM163
- ง.32 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM.....164
- ง.33 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM.....166
- ง.34 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM167
- ง.35 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM169
- ง.36 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM170

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภูมิอากาศขึ้นที่ความดัน 101.325 kPa.....	5
2.2 รายละเอียดแผนภูมิอากาศขึ้น.....	5
2.3 กระบวนการปรับอากาศอย่างง่าย.....	7
2.4 การทำความเย็นโดยการระเหย (evaporative cooling).....	8
2.5 การผสมกันของกระแสอากาศและกระบวนการการผสมกันของกระแสอากาศเมื่ออธิบายด้วย แผนภูมิอากาศขึ้น.....	8
2.6 การถ่ายโอนความร้อนข้ามผิวร่วมระหว่างอากาศกับน้ำเมื่ออุณหภูมิของน้ำ (T) สูงกว่าอุณหภูมิ กระเปาะแห้งของอากาศ (t).....	13
2.7 รูปภาพแสดงส่วนประกอบ, การทำงาน และสมการอธิบายค่าอัตราการไหลที่ได้จากโรตารี่ มิเตอร์.....	16
2.8 รูปภาพเทอร์โมคัปเปิลและวงจรสำหรับการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ (a) ที่จุดต่อหนึ่ง (b) ที่จุดต่อทั้งสอง.....	17
2.9 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงโดยใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์.....	18
2.10 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงโดยใช้เตาไฟฟ้า.....	18
2.11 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงด้วยวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์.....	19
3.1 รูปภาพการวาดจุดที่สภาวะต่างๆ ลงบนแผนภูมิอากาศขึ้น.....	27
3.2 กราฟแสดงเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบ.....	38
3.3 กราฟแสดงเส้นแอฟโพรชของค่าออกแบบ.....	43
3.4 กราฟแสดงจุดออกแบบของหอระบายความร้อน.....	43
3.5 รูปภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของต้นแบบชุดทดลอง.....	44
3.6 รูปภาพพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งบริเวณส่วนบนของคูลลิ่งทาวเวอร์.....	45
3.7 รูปภาพแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท.....	46
3.8 รูปภาพแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น.....	46
3.9 รูปภาพฮีตเตอร์ต้มน้ำ.....	47
3.10 รูปภาพเทอร์โมคัปเปิล.....	47
3.11 รูปภาพโซลิดสเตตตรีเลย์.....	48
3.12 รูปภาพพีรีเลย์.....	48
3.13 รูปภาพ Temperature Controller.....	49
3.14 รูปภาพปั้มน้ำ.....	49
3.15 รูปภาพแสดงขนาดต่างๆ ของโรตารี่มิเตอร์รุ่น Z-3003.....	50

3.16	รูปภาพโรตاميเตอร์รุ่น Z-3003.....	50
3.17	รูปภาพเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง.....	51
4.1	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM.....	51
4.2	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการ ไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	60
4.3	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของ น้ำเท่ากับ 5 LPM	63
4.4	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM.....	67
4.5	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการ ไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	70
4.6	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของ น้ำเท่ากับ 5 LPM	73
4.7	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM.....	77
4.8	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการ ไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM	80
4.9	กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิด ปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของ น้ำเท่ากับ 5 LPM	83
ก.1	กราฟแสดงค่า KaV/L ของแผงขยายฟิล์มชนิดปะทะกระเซ็นยี่ห้อ Brentwood รุ่น HTP-25.....	92

- ง.11 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM148
- ง.12 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM151
- ง.13 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM.....155
- ง.14 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM158
- ง.15 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM161
- ง.16 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM.....165
- ง.17 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM168
- ง.18 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{test}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM171

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หอระบายความร้อนหรือคูลลิ่งทาวเวอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งในระบบทำความเย็นนั้นจะประกอบด้วย คอนเดนเซอร์, คอมเพรสเซอร์, อีวาโปเรเตอร์, เอ็กซ์แพนชัน และหอระบายความร้อนนี้จะทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำที่ผ่านการใช้งานที่คอนเดนเซอร์ โดยน้ำที่อุณหภูมิสูงจากคอนเดนเซอร์จะถูกปั๊มขึ้นไปยังด้านบนของหอระบายความร้อน และปล่อยให้ตกลงด้านล่างสัมผัสกับอากาศ โดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (Evaporation) ทำให้น้ำบางส่วนสูญเสียไปจากการระเหยแต่ส่วนใหญ่ยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อยู่ ซึ่งทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำลงก่อนนำกลับมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ โดยปกติหอระบายความร้อนจะติดตั้งอยู่ในระดับที่สูงกว่าคอนเดนเซอร์ โดยเฉพาะที่ใช้กับอาคารสูงในเขตเมือง จะติดตั้งหอทำความเย็นไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคาร เพื่อให้สามารถระบายความร้อนได้ดี ลดปัญหาเรื่องฝุ่นละอองในอากาศซึ่งจะทำให้น้ำสกปรก ปัญหาเรื่องเสียงและความชื้นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหอระบายความร้อนกับบริเวณใกล้เคียง แต่เนื่องจากการที่จะได้เรียนรู้การทำงานจริงของหอระบายความร้อน (cooling tower) นั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากหอระบายความร้อน (cooling tower) นั้นมีขนาดใหญ่และสามารถพบเห็นได้ในโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้นรวมถึงปัจจัยอื่นๆ ทางด้านความปลอดภัยที่เป็นปัญหาในการศึกษา จึงเกิดเป็นแนวคิดที่จะทำชุดทดลองหอระบายความร้อนขนาดพอเหมาะกับการศึกษา เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาการทำงานของหอระบายความร้อนได้ง่ายยิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้ทดลองได้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนที่ประกอบด้วยแผงขยายฟิล์มน้ำที่ต่างชนิดกัน และทำให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับการระบายความร้อนโดยใช้หอระบายความร้อนมากยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองหอระบายความร้อนที่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงขยายฟิล์มแต่ละแบบในหอระบายความร้อนได้
2. เพื่อศึกษาการทำงานของหอระบายความร้อน
3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

สร้างชุดทดลองหอระบายความร้อนแบบดูดอากาศออก ชนิดอากาศและน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน โดยสามารถคำนวณค่าพื้นฐานต่างๆ, ประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนที่แผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละชนิด และสามารถคำนวณประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนได้ เพื่อให้ผู้ศึกษาได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานต่างๆ ของหอระบายความร้อนและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการการทำงานและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหอระบายความร้อน
2. ออกแบบชุดการทดลองการทำงานของหอระบายความร้อน
3. จัดทำชุดการทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนสำหรับแผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละแบบ
4. ทดสอบและตรวจสอบความผิดพลาดของชุดทดลอง
5. เก็บข้อมูลที่ได้เพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนที่สามารถใช้ทำการทดลอง, ศึกษาหาความรู้ได้จริงและสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการทำงานได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

[5] อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) หมายถึงอุณหภูมิของอากาศชั้นที่สามารถอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ได้โดยตรง

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) หมายถึงอุณหภูมิของอากาศที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่บริเวณปลายกระเปาะหุ้มด้วยผ้าก๊อซเปียก โดยทางอุณหพลวัตเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก ของอากาศชั้นที่ได้มาจากการทำให้อากาศชั้นอ้อมตัวแบบแอดเดียแบติก โดยการเป่าผ่านสัมผัสกับน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า น้ำจะระเหยเข้าไปในอากาศทำให้อากาศมีความชื้นเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นอากาศอ้อมตัวที่บริเวณทางออก

2.1.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

[5] อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หมายถึงอุณหภูมิที่จุดเริ่มควบแน่นของไอน้ำในอากาศเมื่ออากาศถูกทำให้เย็นลงที่ความดันคงที่ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$T_{dp} = T_{sat@P_v} \quad (2.1)$$

เมื่อ T_{dp} คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ($^{\circ}C$) .

$T_{sat@P_v}$ คือ อุณหภูมิอ้อมตัวของน้ำที่ความดันไอของน้ำ ($^{\circ}C$)

2.1.3 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะและความชื้นสัมพัทธ์

[5] อัตราส่วนความชื้น (ω) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวลของความชื้นในอากาศต่อมวลของอากาศแห้งที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\omega = \frac{0.622P_v}{P - P_v} \quad (2.2)$$

เมื่อ ω คือ อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ (kg/kg-dry air)

P คือ ความดันบรรยากาศมาตรฐาน (101.325 kPa)

P_v คือ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ (kPa)

ความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวลของความชื้นในอากาศต่อมวลของความชื้นในอากาศอิ่มตัวภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} \quad (2.3)$$

เมื่อ ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

m_v คือ มวลของไอน้ำในอากาศ (kg)

m_g คือ มวลของอากาศ (kg)

P_g คือ ความดันไออิ่มตัวของอากาศที่อุณหภูมิขณะนั้น (kPa)

2.1.4 อากาศแห้ง, อากาศอิ่มตัวและอากาศบรรยากาศ

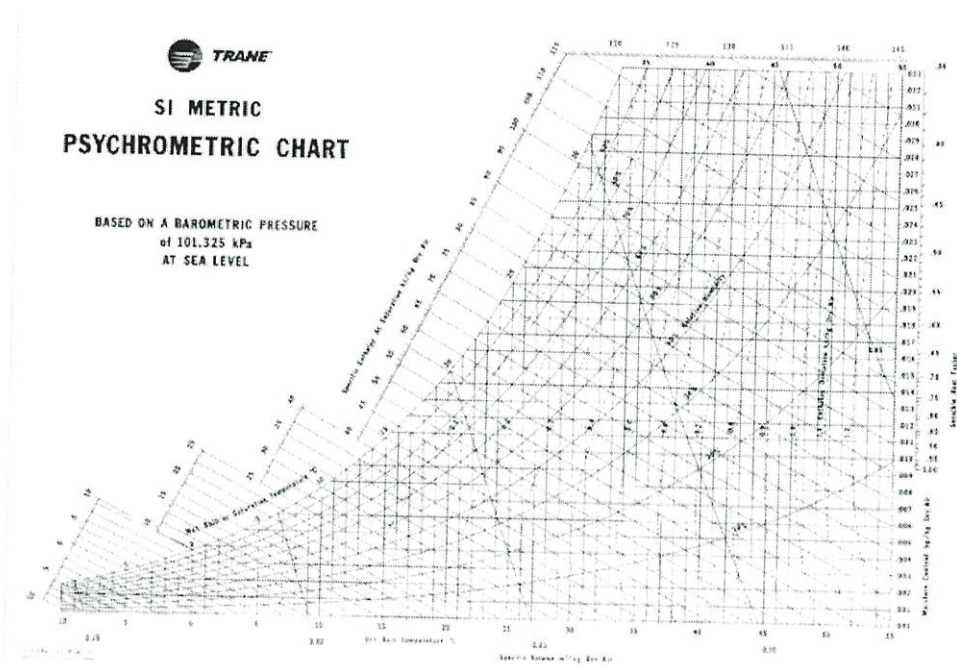
[5] ในโลกนี้อากาศจะมีองค์ประกอบเป็นก๊าซต่างๆ โดยแบ่งตามปริมาณได้เป็น ไนโตรเจน 78.1%, ออกซิเจน 20.95% และอีก 0.95% จะเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ฮีเลียม และก๊าซเฉื่อยอื่นๆ ซึ่งเราเรียกทั้งหมดนี้ว่า อากาศบรรยากาศ

โดยเมื่อแจกแจงอากาศตามอัตราส่วนความชื้นแล้ว อากาศที่ไม่มีไอน้ำเป็นองค์ประกอบ หรืออัตราส่วนความชื้นเป็นศูนย์นั้นเราจะเรียกว่าอากาศแห้ง ซึ่งถ้าเพิ่มความชื้นให้กับอากาศจะทำให้อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเมื่อเพิ่มไปถึงจุดหนึ่งอากาศจะไม่สามารถรับความชื้นหรือไอน้ำได้อีกต่อไปอากาศตรงจุดนี้เรียกว่า อากาศอิ่มตัว และความดันไอของไอน้ำตรงจุดนี้เรียกว่า ความดันไออิ่มตัว

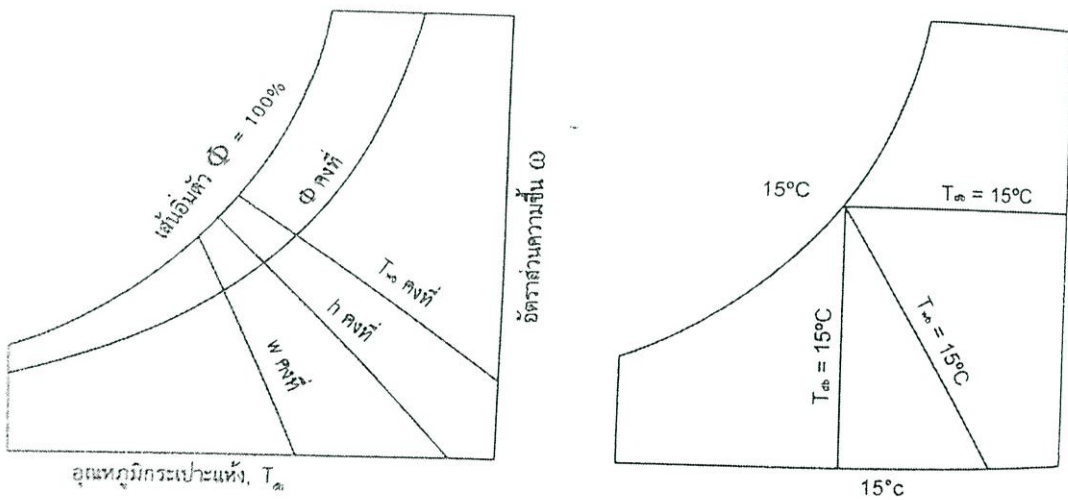
2.1.5 แผนภูมิอากาศชื้น (psychrometric chart)

[5] แผนภูมิอากาศชื้นเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้คำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศชื้นที่สถานะหนึ่งๆดังในรูป 2.1 โดยในรูปที่ 2.2 (ก) จะแสดงวิธีการหาค่าต่างๆ โดยในแนวแกนระดับจะแสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอัตราส่วนความชื้นบนแกนแนวดิ่ง มุมซ้ายด้านบนของแผนภูมิแสดงเป็นเส้นโค้งซึ่งเรียกว่า เส้นโค้งอิ่มตัว ซึ่งพบว่าอากาศอิ่มตัวทั้งหมดจะแสดงอยู่บนเส้นโค้งอิ่มตัวนี้ ($\phi = 100\%$) สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ค่าอื่นๆ จะแสดงบนเส้นโค้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่เอียงลงมาจากด้านขวามือ เส้นเอนทัลปีคงที่เกือบขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ ดังนั้นจึงใช้แทนกันได้ และเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่มีความชันของเส้นมากกว่า และในรูปที่ 2.2 (ข) สำหรับอากาศอิ่มตัวนั้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง, อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นค่าเดียวกัน ดังนั้นการหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่จุด

หนึ่งๆ บนแผนภูมิให้ลากเส้นในแนวระดับจากจุดนั้นไปยังเส้นโค้งอิ่มตัว จุดตัดที่ได้บนเส้นโค้งอิ่มตัวคืออุณหภูมิจุดน้ำค้างของสภาวะนั้น



รูปที่ 2.1 แผนภูมิอากาศชื้นที่ความดัน 101.325 kPa [15]



ก. รูปภาพแสดงวิธีการหาค่าต่างๆ ของแผนภูมิอากาศชื้น

ข. แผนภูมิอากาศชื้นที่อุณหภูมิทั้ง 3 มีค่าเท่ากัน

รูปที่ 2.2 รายละเอียดแผนภูมิอากาศชื้น [5]

การใช้แผนภูมิความชื้นก็เช่นเดียวกับการใช้สมการต่างๆ ในการคำนวณ ซึ่งต้องรู้ค่าคุณสมบัติอากาศชื้นอย่างน้อยสองค่า จากนั้นจึงจะสามารถหาค่าอื่นๆ ที่เหลือได้ แผนภูมิอากาศชื้นแต่ละอันจะ

บ่งบอกถึงความดันบรรยากาศหนึ่งๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกแผนภูมิอากาศชั้นที่มีความดันบรรยากาศตรงกับที่ต้องการ

แผนภูมิอากาศชั้น (psychrometric chart) นั้นสามารถนำมาใช้ประกอบการคำนวณสถานะของการระบายความร้อนได้หลายสถานะไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ, การลดลงของอุณหภูมิ, การเพิ่มความชื้นและอื่นๆ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ประกอบการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำสู่อากาศ

2.1.6 กระบวนการปรับอากาศ

[15] นอกจากแผนภูมิอากาศชั้นจะใช้ประกอบการคำนวณและหาค่าคุณสมบัติของอากาศที่สถานะต่างๆ ได้แล้ว แผนภูมิอากาศยังสามารถบอกกระบวนการปรับอากาศต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการปรับอากาศนั้นมีดังนี้

2.1.6.1 การให้ความร้อนและการทำความเย็น (Sensible Heating and Sensible Cooling)

เป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยที่ค่าความชื้นจำเพาะมีค่าคงที่ กล่าวคือเป็นการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิโดยไม่มีการเพิ่มความชื้นหรือเอาความชื้นออกจากอากาศ ซึ่งการให้ความร้อนสามารถทำได้โดยให้อากาศหมุนเวียนผ่านเข้าสู่ปล่องที่มีท่อแก๊สร้อนหรือขดลวดความร้อน จะทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเพิ่มขึ้นและทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดลงแต่ค่าความชื้นจำเพาะยังมีค่าคงที่ ส่วนการทำความเย็นจะคล้ายกับการให้ความร้อนเพียงแต่เปลี่ยนจากขดลวดความร้อนเป็นคอยล์ที่มีสารทำความเย็นหรือน้ำไหลผ่านอยู่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศลดลงและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความชื้นจำเพาะยังมีค่าเท่าเดิม ซึ่งเมื่อแทนกระบวนการทั้งหมดลงในแผนภูมิอากาศชั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.3

2.1.6.2 การเพิ่มความชื้นและการลดความชื้น (Humidifying and Dehumidifying)

เป็นการเปลี่ยนแปลงความชื้นเข้าสู่อากาศในสถานะที่มีอุณหภูมิคงที่ กล่าวคือเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงความชื้นจำเพาะที่อุณหภูมิมิค่าคงที่ ซึ่งเมื่อแทนกระบวนการทั้งหมดลงในแผนภูมิอากาศชั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.3

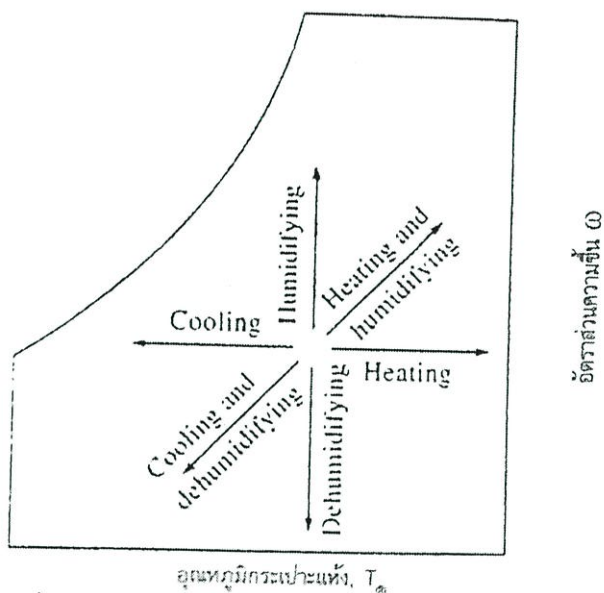
2.1.6.3 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น (Heating and Humidifying)

กระบวนการนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนให้ความร้อนและเมื่ออากาศผ่านส่วนแรกไปแล้วจะเข้าสู่ส่วนที่สองคือส่วนเพิ่มความชื้น กระบวนการนี้สามารถแก้ไขปัญหาของความชื้นสัมพัทธ์ที่น้อยเกินไปที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อน ทำให้อากาศที่ได้

มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อแทนกระบวนการทั้งหมดลงในแผนภูมิอากาศชื้นจะเป็นดังรูปที่ 2.3

2.1.6.4 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น (Cooling and Dehumidifying)

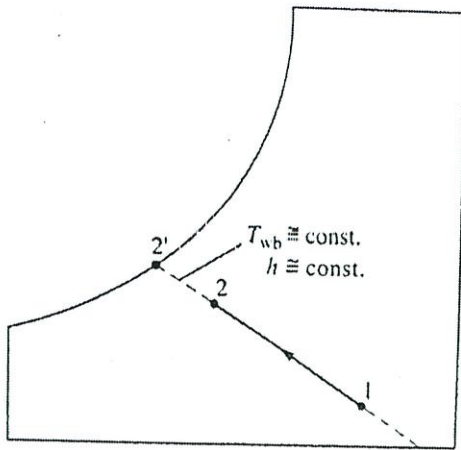
ในกระบวนการนี้ความชื้นจำเพาะของอากาศจะคงที่ตลอดช่วงกระบวนการทำความเย็น แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไปกว่าระดับที่ต้องการจะต้องกำจัดความชื้นบางส่วนออกจากอากาศโดยการทำให้อากาศนั้นเย็นตัวลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งเมื่อแทนกระบวนการทั้งหมดลงในแผนภูมิอากาศชื้นจะเป็นดังรูปที่ 2.3



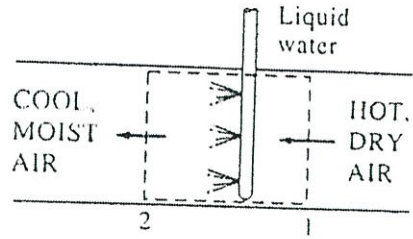
รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับอากาศอย่างง่าย [16]

2.1.6.5 การทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative Cooling)

กระบวนการปรับอากาศแบบนี้หลักการคือ ขณะที่น้ำเกิดการระเหยความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำจะได้รับจากน้ำด้วยกันเองและอากาศที่อยู่รอบๆ ทำให้ทั้งน้ำและอากาศจะเกิดการเย็นตัวลง เหมาะกับสภาวะอากาศแบบอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ ดังรูปที่ 2.4



อัตราส่วนความชื้น ω

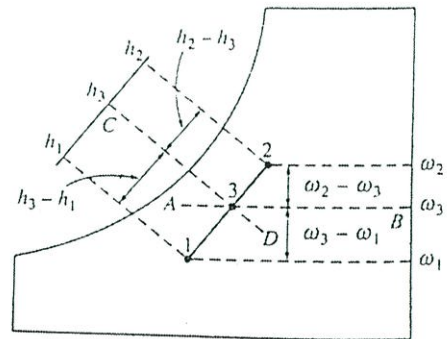
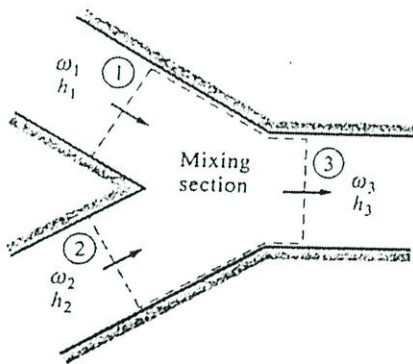


อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, T_a

รูปที่ 2.4 การทำความเย็นโดยการระเหย (evaporative cooling) [16]

2.1.6.6 การผสมแบบแอดิเยเบติกของกระแสอากาศ (Adiabatic mixing of air streams)

นอกจากแผนภูมิอากาศชื้นจะสามารถบอกค่าพื้นฐานของอากาศที่สภาวะต่างๆและกระบวนการปรับอากาศข้างต้นได้แล้ว ยังสามารถนำมาหาค่าพื้นฐานต่างๆของอากาศหลังจากการผสมกันของอากาศที่สภาวะต่างกันได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.5



อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, T_a

รูปที่ 2.5 การผสมกันของกระแสอากาศและกระบวนการการผสมกันของกระแสอากาศเมื่ออธิบายด้วยแผนภูมิอากาศชื้น [16]

2.1.7 อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำ

[16] ในกระบวนการทำความเย็นของหอระบายความร้อน นั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างก่อนและหลังการถ่ายเทความร้อนเป็นหลัก ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากรู้นั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$Q_w = \dot{m}_w C_{pw} (T_1 - T_2) \quad (2.4)$$

- เมื่อ Q_w คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากรู้น้ำ (kw)
 \dot{m}_w คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)
 C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ (4.18 KJ/Kg.K)
 T_1 คือ อุณหภูมิของน้ำบริเวณทางเข้าของคูลลิ่งทาวเวอร์ (K)
 T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำบริเวณทางออกของคูลลิ่งทาวเวอร์ (K)

2.1.8 สมดุลมวลและสมดุลพลังงานในหอระบายความร้อน

[16] ภายในตัวหอระบายความร้อนนั้นจะมีการปรับอากาศแบบการให้ความร้อนและการเพิ่มความชื้น คืออุณหภูมิของอากาศที่ออกจากหอระบายความร้อนนั้นจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าหอระบายความร้อนและยังมีความชื้นจำเพาะที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งในการคำนวณนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ สมดุลมวลภายในหอระบายความร้อนและสมดุลพลังงานภายในหอระบายความร้อน ดังนี้

สมดุลมวลภายในหอระบายความร้อน

$$\begin{aligned} \dot{m}_{in} &= \dot{m}_{out} \\ \dot{m}_{w1} &= \dot{m}_{w2} + \dot{m}_{makeup} \\ \dot{m}_{w1} &= \dot{m}_{w2} + \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) \end{aligned} \quad (2.5)$$

- เมื่อ \dot{m}_{in} คือ อัตราการไหลทั้งหมดที่ทางเข้าหอระบายความร้อน (kg/s)
 \dot{m}_{out} คือ อัตราการไหลทั้งหมดที่ทางออกหอระบายความร้อน (kg/s)
 \dot{m}_{w1} คือ อัตราการไหลของน้ำที่บริเวณทางเข้าหอระบายความร้อน (kg/s)
 \dot{m}_{w2} คือ อัตราการไหลของน้ำที่บริเวณทางออกหอระบายความร้อน (kg/s)
 \dot{m}_{makeup} คือ อัตราการไหลของน้ำที่ระเหยออกสู่อากาศ (kg/s)
 \dot{m}_a คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
 ω_1 คือ ความชื้นจำเพาะของอากาศที่ทางเข้าหอระบายความร้อน (kg/kg-dry air)

ω_2 คือ ความชื้นจำเพาะของอากาศที่ทางออกหอบายความร้อน
(kg/kg-dry air)

สมดุลพลังงานภายในหอบายความร้อน

$$\begin{aligned} H_{in} &= H_{out} \\ \dot{m}_{w1} h_{fw1} &= \dot{m}_{w2} h_{fw2} + \dot{m}_a (h_2 - h_1) \\ (\dot{m}_{w2} + \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1)) h_{fw1} &= \dot{m}_{w2} h_{fw2} + \dot{m}_a (h_2 - h_1) \\ \dot{m}_a ((h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1) h_{fw1}) &= \dot{m}_{w1} (h_{fw1} - h_{fw2}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

- เมื่อ H_{in} คือ พลังงานที่ทางเข้าหอบายความร้อน (kw)
 H_{out} คือ พลังงานที่ทางออกหอบายความร้อน (kw)
 h_1 คือ เอนทัลปีของอากาศที่อุณหภูมิเริ่มต้นของการถ่ายเทความร้อน
(KJ/Kg)
 h_2 คือ เอนทัลปีของอากาศที่อุณหภูมิสุดท้ายของการถ่ายเทความร้อน
(KJ/Kg)

2.1.9 ความดันสูญเสียภายในหอบายความร้อน

[16] ภายในหอบายความร้อนนั้นจะมีความดันที่สูญเสียในแต่ละจุดแตกต่างกัน กล่าวคือ ความดันสูญเสียทั้งหมดเท่ากับ ผลรวมของความดันสูญเสียบริเวณทางเข้าและบริเวณทางออกของหอบายความร้อน, ความดันสูญเสียเนื่องจากแผงขยายฟิล์มน้ำ และความดันสูญเสียเนื่องจากแผงกั้นน้ำกระเซ็น แต่ในชุดทดลองนี้เราไม่นำแผงกั้นน้ำกระเซ็นมาใช้จึงไม่คิดความดันสูญเสียที่แผงกั้นน้ำกระเซ็น ซึ่งทั้งหมดสามารถคำนวณได้ดังนี้

ความดันทั้งหมดที่สูญเสียภายในหอบายความร้อน

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{inlet} + \Delta P_{elim} + \Delta P_{fill} + \Delta P_{outlet} \quad (2.7)$$

- เมื่อ ΔP_{total} คือ ความดันสูญเสียทั้งหมดภายในหอบายความร้อน (Pa)
 ΔP_{inlet} คือ ความดันสูญเสียบริเวณทางเข้าหอบายความร้อน (Pa)
 ΔP_{elim} คือ ความดันสูญเสียบริเวณแผงกั้นน้ำกระเซ็น (Pa)
 ΔP_{fill} คือ ความดันสูญเสียบริเวณแผงขยายฟิล์มน้ำ (Pa)
 ΔP_{outlet} คือ ความดันสูญเสียบริเวณทางออกหอบายความร้อน (Pa)

เนื่องจากในชุดการทดลองนี้ไม่มีการใช้แผงกั้นน้ำกระเซ็น ความดันสูญเสียภายในหอระบาย ความร้อนทั้งหมดจึงเป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{inlet}} + \Delta P_{\text{fill}} + \Delta P_{\text{outlet}} \quad (2.8)$$

ความดันสูญเสียบริเวณทางเข้าและทางออกหอระบายความร้อน

$$\Delta P_{\text{inlet,outlet}} = \frac{L}{A} \frac{\rho_{\text{inlet,outlet}} V_{\text{inlet,outlet}}^2}{2} \quad (2.9)$$

เมื่อ ρ_{inlet} คือ ความหนาแน่นของอากาศบริเวณทางเข้าหอระบายความร้อน (kg / m^3)

ρ_{outlet} คือ ความหนาแน่นของอากาศบริเวณทางออกหอระบายความร้อน (kg / m^3)

V_{inlet} คือ ความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าหอระบายความร้อน (m/s)

V_{outlet} คือ ความเร็วของอากาศบริเวณทางออกหอระบายความร้อน (m/s)

L คือ ความสูงของหอระบายความร้อน (m/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของหอระบายความร้อน (m^2)

ส่วนความดันสูญเสียบริเวณแผงขยายฟิล์มนั้นจะขอกกล่าวถึงในภายหลัง

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของหอระบายความร้อน

2.2.1 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน

[8] หอระบายความร้อนมีหลักการที่สามารถอธิบายได้โดยง่าย คือหอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้ โดยการฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้กระจายไปเป็นละอองเล็กๆ หรือปล่อยให้หาค่อยๆ หยดลงไปเป็นหยดเล็กๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Fill) ละอองน้ำเล็กๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำและก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันนั้นบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำแฝงในอากาศเพราะอากาศเองยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัวน้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มขึ้นได้อีก ซึ่งกระบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้จำเป็นต้องใช้ความร้อนดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวจึงดึงความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ เครื่องทาวเวอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะช่วยในการเร่งขบวนการการลดอุณหภูมิของเครื่องทาวเวอร์อันได้แก่

1. การแตกตัวเป็นฝอยของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น
2. การเพิ่มเนื้อที่การถ่ายเทความร้อน (wetted surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากยิ่งขึ้น
3. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณของอากาศ

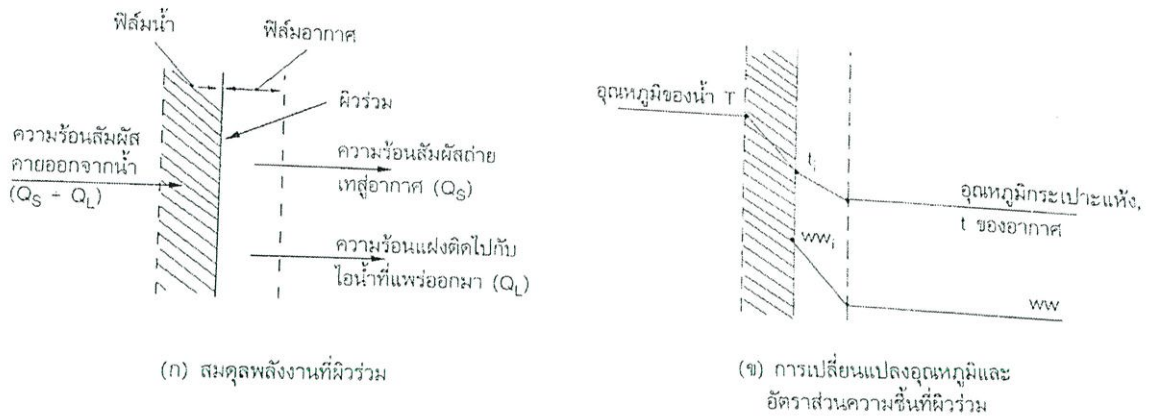
โดยคุณลักษณะท้าวเวอร์สามารถแยกประเภทได้หลักๆ 2 ประเภท ตามลักษณะการไหลของอากาศได้แก่ คุณลักษณะท้าวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ (natural draft) และคุณลักษณะท้าวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล (mechanical draft) โดยคุณลักษณะท้าวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกลแบ่งเป็นประเภทย่อยๆได้อีก 4 ประเภทได้แก่ คุณลักษณะท้าวเวอร์แบบเป่าอากาศเข้า (forced draft) ,คุณลักษณะท้าวเวอร์แบบดูดอากาศออก (induced draft) ,คุณลักษณะท้าวเวอร์แบบอากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน (cross flow) และคุณลักษณะท้าวเวอร์แบบอากาศและน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน (counter flow) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เราเลือกทำชุดการทดลองที่เป็น คุณลักษณะท้าวเวอร์ชนิดดูดอากาศออกและอากาศกับน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน (induced draft and counter flow cooling tower) โดยคุณลักษณะท้าวเวอร์ประเภทนี้จะใช้อากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล กล่าวคือจะมีการใช้ พัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจายน้ำ ทำให้อากาศเคลื่อนไหวได้ด้วยความเร็วที่สูงกว่าคุณลักษณะท้าวเวอร์ประเภทอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ จึงทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า และยังสามารถลดขนาดของคุณลักษณะท้าวเวอร์ลงได้อีกด้วย

ซึ่งปกติแล้วคุณลักษณะท้าวเวอร์ชนิดที่ผู้วิจัยเลือกมาทำเป็นชุดทดลองนั้น น้ำร้อนจะไหลเข้าด้านบนของแผงขยายฟิล์มและไหลลงสู่ด้านล่างของแผงขยายฟิล์ม จึงทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆตามทฤษฎีจะต้อง ทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดสิ้นสุดการถ่ายโอนความร้อน

ในทางปฏิบัติแล้วอุณหภูมิของน้ำจะลดลงไม่ถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้น และเมื่ออุณหภูมิของน้ำนั้น สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ถ้าน้ำยังคงอยู่ในแผงขยายฟิล์ม น้ำนั้นจะถูกทำให้เย็นลงต่อไปจนกระทั่งน้ำไหลออกจากแผงขยายฟิล์ม แต่ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของน้ำทางออกของแผงขยายฟิล์มยังคงสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศอยู่ดี ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคุณลักษณะท้าวเวอร์นั้นด้วย โดยสาเหตุที่มีผลทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวล (การระเหยตัวของน้ำ) ซึ่งก็คือ มีศักย์ขับเคลื่อนความร้อน (driving force) เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับอากาศ โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดศักย์ขับเคลื่อนความร้อนก็คือ

1. อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งจะกำหนดใช้อุณหภูมิที่ผิวร่วม และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังในรูปที่ 2.6 (ข) ศักย์ขับเคลื่อนความร้อนสัมผัสก็คือ $(t_i - t)$ จึงทำให้ความร้อนสัมผัส (Q_s) ถ่ายโอนจากผิวร่วมสู่อากาศ ดังในรูปที่ 2.6 (ก)

2. ความแตกต่างระหว่างความดันไอของอากาศที่ผิวร่วมและความดันไอของอากาศ หรือจะใช้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ผิวร่วม (ω_i) และอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอกผิวร่วม (ω) ดังในรูปที่ 2.6 (ข) ศักย์ขับเคลื่อนความร้อนแฝงก็คือ $(\omega_i - \omega)$ จึงทำให้ความร้อนแฝงติดไปกับไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผิวร่วม (Q_L) และเข้าสู่อากาศ



รูปที่ 2.6 การถ่ายโอนความร้อนข้ามผิวร่วมระหว่างอากาศกับน้ำเมื่ออุณหภูมิของน้ำ (T) สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (t) [8]

2.2.2 ส่วนประกอบของหอระบายความร้อน

1. ระบบการกระจายน้ำ

[3] ภายในตัวหอระบายความร้อนนั้นระบบต้องรับน้ำที่ถูกหมุนเวียนมาทำการกระจายให้ได้ อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งระบบกระจายน้ำนั้นแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีดังนี้

1.1 ระบบกระจายน้ำโดยใช้ถาดรองน้ำแบบเปิด ระบบกระจายน้ำแบบนี้จะใช้ถาดรองน้ำที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเท่ากับขนาดของพื้นที่หน้าตัดของแผงขยายฟิล์มน้ำ ถาดรองน้ำจะถูกเจาะเป็นรูหลายๆ รูเพื่อกระจายน้ำร้อนให้เต็มทั่วแผงขยายฟิล์มน้ำ

1.2 ระบบกระจายน้ำโดยใช้อ่างน้ำพร้อมรางน้ำล้น ระบบกระจายน้ำลักษณะนี้จะประกอบด้วยอ่างซึ่งเจาะรูหลายๆ รูที่ก้นอ่าง ซึ่งแนวรูเจาะจะตรงกับกับแนวรางน้ำล้นที่อยู่ด้านล่างซึ่งมีด้วยกันหลายๆ รางและจัดแนวครอบคลุมเหนือแผงขยายฟิล์มน้ำ ลักษณะทางน้ำล้นจะออกแบบออกเป็นร่องรูปตัววีไว้ตรงด้านข้างรางซึ่งมีลักษณะเป็นลอนลูกฟูก

1.3 ระบบกระจายน้ำโดยอาศัยหัวฉีดเป็นฝอยน้ำ ระบบกระจายน้ำลักษณะนี้มีการทำงานคือเมื่อน้ำถูกส่งเข้าท่อส่งหลักแล้วจะแยกออกไปยังท่อสาขาที่ติดตั้งหัวฉีดไว้เป็นระยะๆ หลายหัวฉีด เพื่อฉีดน้ำลงมาที่แผงขยายฟิล์มน้ำ

1.4 อ่างน้ำยาวที่ทำจากไม้ ระบบกระจายน้ำลักษณะนี้จะมีอ่างน้ำยาวที่มีหัวฉีดจำนวนมากติดอยู่ เพื่อที่จะส่งน้ำไปยังถ้วยกระเซ็นน้ำ การกระจายน้ำลักษณะนี้มักจะพบในหอระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งในชุดการทดลองนี้จะใช้ระบบการกระจายน้ำแบบใช้ถาด

รอน้ำแบบเปิด โดยจะประยุกต์ใช้เป็นการต่อท่อ PVC และเจาะรูเพื่อให้ น้ำหยดลงมาตามรูที่ เจาะไว้ลงไปสู่แผงขยายฟิล์มน้ำ เพราะจะสามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่าระบบการ กระจายน้ำแบบอื่น อีกทั้งยังง่ายต่อการออกแบบติดตั้งและไม่ต้องคำนึงถึงความดันสูญเสีย บริเวณหัวฉีดอีกด้วย

2. แผงขยายฟิล์มน้ำ

[3] แผงขยายฟิล์มน้ำนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้น้ำมาติดภายในตัวห่อระบายความร้อน เพื่อเพิ่ม ผิวสัมผัสระหว่างหยดน้ำและอากาศ ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากหยดน้ำไปสู่อากาศทำได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปแผงขยายฟิล์มน้ำแบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้ แผงขยายฟิล์มน้ำแบบปะทะกระเซ็น แผงขยาย ฟิล์มน้ำลักษณะนี้จะปล่อยน้ำร้อนจากด้านบนของห่อระบายความร้อนลงมาปะทะกับแผงไม้หรือวัสดุ อื่นทำให้น้ำกระเซ็นเป็นหยดละอองขนาดเล็ก ในขณะที่เดียวกันจะมีอากาศไหลขึ้นจากด้านล่างสู่ ด้านบน และดึงเอาความร้อนออกจากหยดน้ำเหล่านั้น ทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่าง ส่วนอีกแบบหนึ่งคือ แผงขยายฟิล์มน้ำแบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท แผงขยายฟิล์มน้ำในลักษณะนี้จะอาศัยหลักการทำงานคือ น้ำร้อนที่ปล่อยลงมาจากด้านบนของห่อระบายความร้อนจะถูกกระจายออกทั่วพื้นผิวของแผงขยาย ฟิล์ม ทำให้อากาศถ่ายเทความร้อนของน้ำเพิ่มมากขึ้น

ซึ่งในชุดการทดลองนี้จะเลือกใช้แผงขยายฟิล์มน้ำแบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท เนื่องจากมีการ ติดตั้งที่ง่ายกว่าและในแผงขยายฟิล์มน้ำที่มีขนาดเท่ากัน แผงขยายฟิล์มน้ำชนิดนี้จะสามารถเพิ่มพื้นที่ ผิวถ่ายเทความร้อนระหว่างหยดน้ำและอากาศได้มากกว่า ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า

โดยในการออกแบบชุดการทดลองนี้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของแผงขยายฟิล์มน้ำสามารถคำนวณ ได้จากสมการดังนี้

2.1 ความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำ

$$I = \frac{V}{A} \quad (2.10)$$

เมื่อ I คือ ความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำ (m)

V คือ ปริมาตรของแผงขยายฟิล์มน้ำ (m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผงขยายฟิล์มน้ำ (m^2)

2.2 ปริมาตรของแผงขยายฟิล์มน้ำ

$$V = \frac{Lc_{pw} \Delta T}{KaF \Delta h_{lm}} \quad (2.11)$$

- เมื่อ L คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)
 c_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ (4.18 KJ/Kg.K)
 ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระหว่างทางเข้าและทางออกคูลิ่งทาวเวอร์ (K)
 Ka คือ ค่าแสดงลักษณะเฉพาะต้านการถ่ายโอนความร้อนของคูลิ่งทาวเวอร์ (kcal / m³.s) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Ka = C \left(\frac{L}{A} \right)^m \left(\frac{G}{A} \right)^n \quad (2.12)$$

- เมื่อ C, m, n คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับแผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละแบบ
 G คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
 F คือ ตัวประกอบค่าแก้ไขสำหรับคูลิ่งทาวเวอร์ (ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับหอระบายความร้อนแบบอากาศและน้ำไหลสวนทางกัน)
 Δh_{lm} คือ ผลต่างของเอนทัลปีแบบลอการิทึม คำนวณได้จาก

$$\Delta h_{lm} = \frac{(h_{w1} - h_2) - (h_{w2} - h_1)}{\ln \left(\frac{h_{w1} - h_2}{h_{w2} - h_1} \right)} \quad (2.13)$$

- เมื่อ h_{w1}, h_{w2} คือ เอนทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 (kJ/kg)
 h_1, h_2 คือ เอนทัลปีของอากาศบริเวณทางเข้าและทางออก (kJ/kg-dry air)

2.3 ความดันสูญเสียขณะอากาศไหลผ่านแผงขยายฟิล์มน้ำ

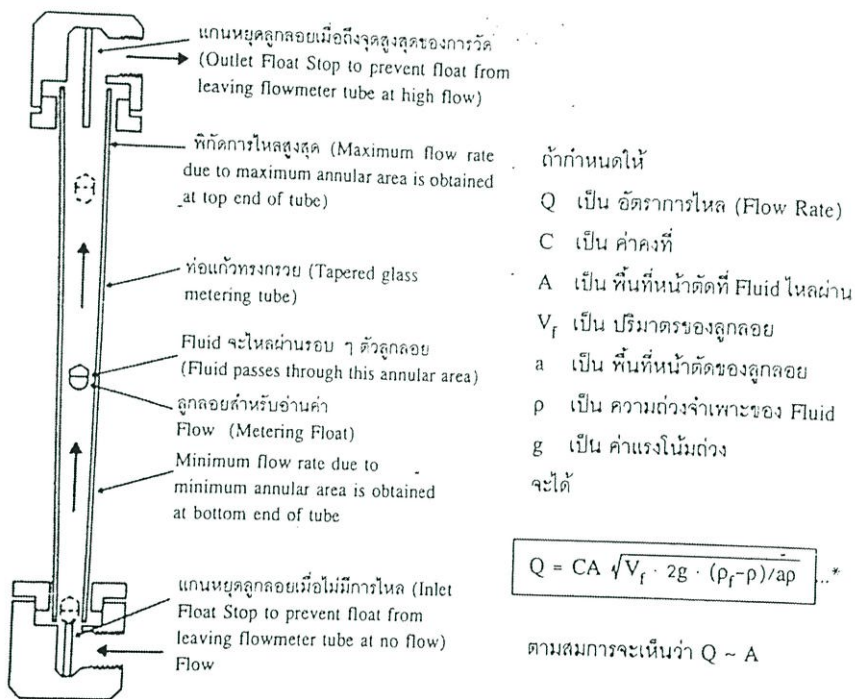
$$\Delta P_{fm} = C_{fm} I \frac{(G/A)^2}{2\rho_G} \quad (2.14)$$

- เมื่อ C_{fm} คือ ตัวประกอบการสูญเสียเฮดความเร็วต่อหนึ่งหน่วยความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำ
 ρ_G คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศ (kg / m³)

3. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ

[13] วิธีที่จะใช้วัดอัตราการไหลของน้ำนั้นมีหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นแผ่นออริฟิซ, ท่อเวนจูรี, แมนโนมิเตอร์ และอื่นๆ แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเลือกใช้โรตاميเตอร์ในการวัดอัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากโรตاميเตอร์นั้นง่ายต่อการใช้งานและการติดตั้ง

ซึ่งโรตاميเตอร์นั้นมีส่วนประกอบคือ ตัวมิเตอร์เป็นท่อไอซึ่งด้านในเป็นรูปกรวยเรียว (Tapered -Pipe) และมีลูกลอย (Float) ที่ออกแบบพิเศษบรรจุอยู่ภายในกรอบ โรตاميเตอร์นั้นทำงานโดย ของเหลวที่ต้องการวัดจะไหลเข้าไปในตัววัดทางด้านล่าง และ Velocity head ของของไหลจะทำให้ลูกลอยที่อยู่ภายในลอยตัวขึ้น ตำแหน่งของลูกลอยจะลอยนิ่งอยู่กับที่เมื่อเกิดความสมดุลระหว่าง Velocity head ของของไหลกับน้ำหนักของลูกลอย เมื่อลูกลอยลอยสูงขึ้นจะทำให้พื้นที่สำหรับของไหลไหลผ่านเพิ่มมากขึ้น เป็นการรักษาค่าความดันตกคร่อมตัววัดให้คงที่ เนื่องจากค่า Velocity head กับอัตราการไหลจะแปรเปลี่ยนไปตามกันเพราะฉะนั้น ตำแหน่งความสูงของลูกลอยจึงสามารถบอกค่าอัตราการไหลของของไหลได้ โดยส่วนประกอบ, การทำงาน และสมการอธิบายค่าอัตราการไหลที่ได้จากโรตاميเตอร์ เป็นดังรูปที่ 2.7

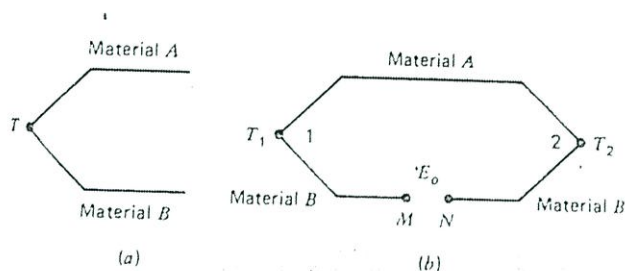


รูปที่ 2.7 รูปภาพแสดงส่วนประกอบ, การทำงาน และสมการอธิบายค่าอัตราการไหลที่ได้จากโรตاميเตอร์ [13]

4. เทอร์โมคัปเปิล

[11] อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมินั้นมีหลายอย่าง แต่ในที่นี้เราเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล เนื่องจากอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิชนิดนี้สามารถวัดอุณหภูมิจุดที่อยู่ห่างไกลกันได้ และสามารถวัดอุณหภูมิได้พร้อมกันหลายจุดโดยแต่ละจุดต่อเข้ากับเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียว ทำให้การอ่านอุณหภูมิแต่ละจุดทำได้ง่ายเพียงแค่สวิตซ์ไปยังจุดที่ต้องการอ่านเท่านั้น

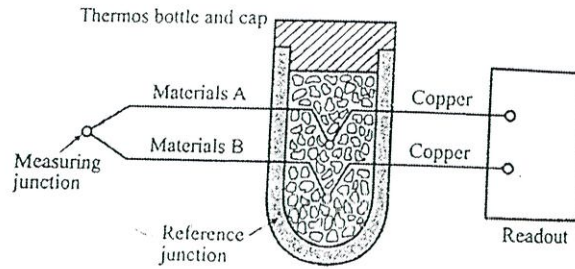
โดยเทอร์โมคัปเปิล เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์พื้นฐานที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วยลวดโลหะต่างชนิดกัน 2 เส้น มาเชื่อมต่อปลายของลวดโลหะทั้งสองเส้นเข้าด้วยกัน เมื่ออุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองต่างกัน จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสอง โดยปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อระหว่างลวดโลหะทั้งสอง และที่ปลายอีกข้างจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลต์เตจ” ซึ่งสามารถอธิบายเป็นวงจรได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปภาพเทอร์โมคัปเปิลและวงจรสำหรับการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ (a) ที่จุดต่อหนึ่ง (b) ที่จุดต่อทั้งสอง [11]

โดยผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดต่อของโลหะ 2 จุด เพราะฉะนั้นการที่จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมินั้นสามารถวัดอุณหภูมิได้จึงต้องรู้อุณหภูมิของอีกจุด โดยเรียกจุดนั้นว่า จุดอ้างอิง (Reference Junction) โดยวิธีการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงนั้นมีหลายวิธี ได้แก่

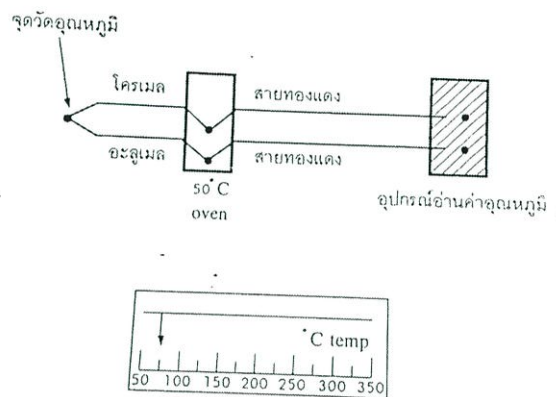
1. การรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์ มีวิธีการทำคือนำจุดอ้างอิงจุ่มลงในน้ำที่ผสมกับน้ำแข็งปนซึ่งทำจากน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิที่จุดอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0°C โดยอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้หากจุ่มจุดอ้างอิงลึกเกินไปจะทำให้อุณหภูมิที่จุดอ้างอิงไม่เป็น 0°C ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงโดยใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์ [14]

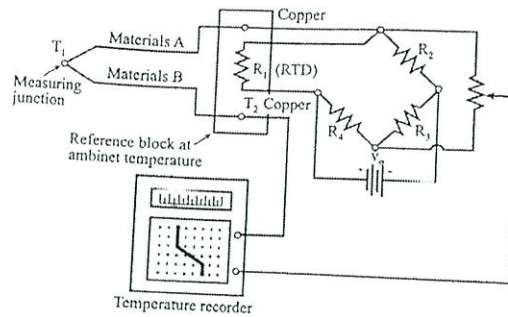
2. ใช้เครื่องทำความเย็นรักษาอุณหภูมิ วิธีการนี้จุดอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิลจะอยู่ในบ่อที่บรรจุด้วยอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำและรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0°C

3. การรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงด้วยเตาไฟฟ้า วิธีการนี้จะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศที่จะเป็นไปได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็น 50°C ทำให้การรักษาอุณหภูมิจุดอ้างอิงด้วยวิธีนี้ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะแสดงผลที่ 50°C ขึ้นไป ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงโดยใช้เตาไฟฟ้า [14]

4. การใช้วงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ วิธีการนี้จะใช้การต่อวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์เข้ากับอุปกรณ์บันทึกแบบโพเทนชิโอมิเตอร์เพื่อเป็นการชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับจุดต่ออ้างอิง ซึ่งเป็นอิสระตามเงื่อนไขของอุณหภูมิที่อยู่รอบๆ วิสโตนบริดจ์ และใช้ RTD เป็นส่วนแอกติฟในวงจร RTD และจุดต่ออ้างอิงถูกยึดติดกับบล็อกอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิรอบๆ ของบล็อกเปลี่ยนแปลง ความต้านทานของ RTD ก็จะเปลี่ยนแปลงและทำให้บริดจ์ผลิตแรงดันเอาต์พุตที่มีขนาดเท่ากับแรงดันที่เกิดขึ้นในเทอร์โมคัปเปิล แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นบริดจ์ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีชดเชยแบบอัตโนมัติสำหรับอากาศรอบๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปภาพแสดงการรักษาอุณหภูมิ ณ จุดอ้างอิงด้วยวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ [14]

6. ปั๊มน้ำ

ในชุดทดลองนั้นจะต้องมีการนำน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนแล้วมาผ่านเครื่องให้ความร้อนและนำขึ้นไปเข้าระบบหอระบายความร้อนใหม่อีกครั้ง ซึ่งวัสดุที่จำเป็นต่อการนำน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนแล้วกลับเข้าไปสู่หอระบายความร้อนใหม่อีกครั้งก็คือปั๊มน้ำ ซึ่งความสูงที่ปั๊มน้ำสามารถส่งขึ้นไปได้เรียกว่าเฮดของระบบหรือ Total Dynamic Head (TDH) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

เฮดทั้งหมดของระบบ = เฮดความดัน + เฮดสถิตย + เฮดการสูญเสียรวม

$$TDH = \left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + H_L \quad (2.15)$$

เมื่อ TDH คือ เฮดทั้งหมดของระบบ (m)

P_1, P_2 คือ ความดันที่จุดต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ (N/m^2)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (N/m^3)

Z_1, Z_2 คือ ความสูงของของเหลวที่จุดต่ำสุดและจุดสูงสุดตามลำดับ (m)

H_L คือ เฮดการสูญเสียรวม (m)

ซึ่งเฮดการสูญเสียรวมจะประกอบด้วย การสูญเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลักและการสูญเสียเฮดเนื่องจากของเหลวไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง ซึ่งอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_L = H_f + H_{Lc}$$

$$H_L = \left(f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \right) + \left(\sum K \frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.16)$$

- เมื่อ H_L คือ เฮดการสูญเสียรวม (m)
 H_f คือ การสูญเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก (m)
 H_{Lc} คือ การสูญเสียเฮดเนื่องจากของเหลวไหลผ่านอุปกรณ์หรือ
 การสูญเสียรอง (m)
 f คือ ตัวประกอบความเสียดทาน
 L คือ ความยาวท่อ (m)
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
 V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
 K คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของ
 อุปกรณ์ ซึ่งสามารถหาได้จากตารางที่ 2.1

โดยค่าตัวประกอบความเสียดทานนั้นสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Swamee
 - Jain's เป็นดังนี้

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (2.17)$$

- เมื่อ ε คือ ค่าความหยาบ (m) ซึ่งสามารถหาได้จากตารางที่ 2.2
 Re คือ อัตราส่วนของแรงเฉื่อยและแรงหนืด หรือเลขเรย์โนลด์ ซึ่งสามารถ
 คำนวณได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.18)$$

- เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1000 kg/m^3)
 μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$) ซึ่งสามารถหาได้จากตาราง
 ที่ 2.3
 V คือ ความเร็วของของไหลภายในท่อคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.19)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของของไหลที่ผ่านท่อ (m^3 / s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ [20]

Valve or Fitting	Loss Coefficient K_L
1. Globe valve	
Fully open	10.0
$\frac{1}{2}$ open	12.5
2. Gate valve	
Fully open	0.19
$\frac{1}{2}$ open	0.90
$\frac{1}{4}$ open	4.5
$\frac{1}{8}$ open	24.0
3. Swing check valve	
Through flow	2.0
Blocked flow	∞
4. Tee	
Line flow	0.40
Branch flow	1.5
5. Elbow	
45°	0.40
90°	0.75
6. Return bend	2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าความหยาบ [19]

ค่าความสูงของผิวขรุขระของท่อ : ϵ และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ : C

ลักษณะผิว	Surface	Absolute Roughness - k (ϵ)		Hazen-Williams Coefficient : C
		(m)	(feet)	
ทองแดง, ตะกั่ว, ทองเหลือง, อลูมิเนียม, (ใหม่)	Copper, Lead, Brass, Aluminum (new)	$1.0 - 2.0 \times 10^{-6}$	$3.3 - 6.7 \times 10^{-5}$	130
ท่อพีวีซี, ท่อพลาสติก, ท่อแก้ว	PVC, Plastic and Glass Pipes	$1.5 - 7.0 \times 10^{-5}$	$0.5 - 2.33 \times 10^{-4}$	150
ท่ออีพ็อกซี, ไวนิลเอสเตอ์	Epoxy, Vinyl Ester	5.2×10^{-5}	1.7×10^{-4}	140
เหล็กกล้าไร้สนิม	Stainless steel	1.52×10^{-4}	5×10^{-4}	130
ท่อเหล็กเชิงพาณิชย์	Steel commercial pipe	$4.5 - 9.14 \times 10^{-5}$	$1.5 - 3 \times 10^{-4}$	100
เหล็กยึด	Stretched steel	1.52×10^{-5}	5×10^{-5}	140
เหล็กตีเชื่อม	Weld steel	4.5×10^{-5}	1.5×10^{-4}	100
เหล็กชุบสังกะสี	Galvanized steel	1.52×10^{-4}	5×10^{-4}	120
เหล็กมีสนิม (ถูกกัดกร่อน)	Rusted steel (corrosion)	$1.52 - 4.0 \times 10^{-4}$	$5 - 13.3 \times 10^{-4}$	120
เหล็กหล่อใหม่	New cast iron	$2.44 - 8.23 \times 10^{-4}$	$8 - 27 \times 10^{-4}$	130
เหล็กหล่อสึกกร่อน	Worn cast iron	$8.23 - 15.2 \times 10^{-4}$	$2.7 - 5 \times 10^{-3}$	89 - 100
เหล็กหล่อเป็นสนิม	Rusty cast iron	$1.52 - 2.5 \times 10^{-3}$	$5 - 8.3 \times 10^{-3}$	64 - 83
เหล็กแผ่น หรือถูกเคลือบผิวด้วยแอสฟัลท์	Sheet or asphalted cast iron	$1.0 - 1.52 \times 10^{-5}$	$3.33 - 5 \times 10^{-5}$	130 - 140
คอนกรีตฉาบผิวเรียบ	Smoothed cement	3.05×10^{-4}	1×10^{-3}	130
คอนกรีตผิวธรรมดา	Ordinary concrete	$0.3 - 1.0 \times 10^{-3}$	$1 - 3.33 \times 10^{-3}$	120
คอนกรีตผิวหยาบ	Coarse concrete	$0.3 - 5.0 \times 10^{-3}$	$1 - 16.7 \times 10^{-3}$	100 - 110
ไม้ไผ่ผิวเรียบ	Well planed wood	$1.83 - 9.4 \times 10^{-4}$	$6 - 30 \times 10^{-4}$	89 - 100

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ [20]

Temperature		Absolute - Dynamic - Viscosity (cP)
(°F)	(°C)	
32	0	1.794
40	4.4	1.546
50	10.0	1.310
60	15.6	1.129
70	21.1	0.982
80	26.7	0.862
90	32.2	0.764
100	37.8	0.682
120	48.9	0.559
140	60.0	0.470
160	71.1	0.401
180	82.2	0.347
200	93.3	0.305

2.2.3 การคำนวณพื้นฐานของหอบายความร้อน

[11] 1. ประสิทธิภาพของหอบายความร้อน เนื่องจากตามทฤษฎีน้ำที่บริเวณทางออกของหอบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ แต่ในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิจากบริเวณทางออกของหอบายความร้อนยังคงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศบรรยากาศอยู่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพของหอบายความร้อนสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดของน้ำที่เข้าและออกจากหอบายความร้อนต่อความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% \quad (2.20)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหอบายความร้อน (%)

t_{c1} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางเข้าของหอบายความร้อน (°C)

t_{c2} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางออกของหอบายความร้อน (°C)

t_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ (°C)

[12] 2. ภาระของหอทำความเย็น (heat load) หรือขนาดของหอทำความเย็น คือค่าความร้อนที่หอระบายความร้อนระบายออกมาจากน้ำ โดยมีหน่วยเป็น บีทียู/ชั่วโมง ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Q = \text{GPM} \times 500 \times \text{TD} \quad (2.21)$$

โดย Q คือ ภาระของหอทำความเย็น (บีทียู/ชั่วโมง)

GPM คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านหอระบายความร้อน (แกลลอน/นาที)

500 คือ ค่าคงที่จากค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ $\frac{1\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times \frac{60\text{min}}{\text{hr.}} \times \frac{8.33\text{lb}}{\text{gal}}$

TD คือ ผลต่างอุณหภูมิของน้ำระหว่างบริเวณทางเข้าและทางออกของหอระบายความร้อน ($^\circ\text{F}$)

และหอระบายความร้อนขนาด 1 ตันนั้น จะมีภาระของหอทำความเย็น 15,000 บีทียู/ชั่วโมง

2.3 การคำนวณสมรรถนะของคูลลิ่งทาวเวอร์ตามมาตรฐาน CTI

[10] ในการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดกราฟทางกล จะยึดปฏิบัติตามกฎเงื่อนไขของการทดสอบตามมาตรฐาน CTI ซึ่งเป็นการคำนวณผลการทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าออกแบบของ KaV/L และของ L/G เพื่อนำไปสร้างเส้นลักษณะเฉพาะ (characteristic curve) ของคูลลิ่งทาวเวอร์จากผู้ผลิต และสร้างเส้นแอฟโพรช (approach curve) เพื่อหาจุดออกแบบ (design point) ซึ่งก็คือจุดตัดระหว่างเส้นกราฟทั้งสองนั่นเอง ซึ่งในการคำนวณจะมีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 คำนวณหาค่าออกแบบของ L/G จากค่าอัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/min)

2.3.2 คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L

คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L ตามวิธีขยายเซฟท์โดยสรุปได้เป็นดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางคำนวณค่าออกแบบของ KaV/L [18]

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 =$ _____		อากาศทางเข้าที่ $twb1, ha1$ $=$ _____		
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $=$ _____		$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $=$ _____		
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $=$ _____		$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $=$ _____		
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $=$ _____		$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $=$ _____		
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $=$ _____		$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $=$ _____		
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 =$ _____		$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $=$ _____		
$\sum(1/\Delta h)$				

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{design}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{design} = c_w (T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4} \quad (2.22)$$

2.3.3 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของคูลิ่งทาวเวอร์

นำค่า KaV/L และ L/G ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาพล็อตกราฟโดยใช้จุดแรกสุดเป็นค่าออกแบบ L/G แล้วกำหนดจุดอื่นๆ เป็น L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้น

2.3.4 สร้างเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ

CTI กำหนดการวิเคราะห์หาสมรรถนะการทำงานของคูลิ่งทาวเวอร์ชนิดกราฟทางกล จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคำนวณหาค่าของ KaV/L และอาศัยข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตนำมาสร้างเส้น

ลักษณะเฉพาะ ซึ่งใช้ค่า KaV/L เป็นแกนตั้งและพล็อตกับค่าของ L/G เป็นแกนนอน นอกจากนี้ยังต้องอาศัยผลการทดสอบจากผู้ผลิต เพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกแบบ KaV/L และ L/G โดยตรงดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = c \left(\frac{L}{G} \right)^n \quad (2.23)$$

สำหรับค่า C และ n เป็นค่าคงตัวในคูลิ่งทาวเวอร์ชนิดกราฟลมดูดไหลสวนทาง แต่ละผู้ผลิตจะกำหนดใช้ค่าของ n ในช่วงระหว่าง -0.51 ถึง -0.60 ซึ่งทางผู้จัดสร้างจะเลือกใช้ค่า -0.60 เพื่อให้ได้ค่าที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำได้

2.3.5 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของค่าทดสอบ

สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของการทดสอบโดยทำตามขั้นตอนที่ 2.3.1 ถึง 2.3.3 อีกครั้งโดยใช้ค่าทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบและนำเส้นลักษณะเฉพาะของค่าทดสอบที่ได้มาพล็อตรวมกับเส้นแอฟโพรชและเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบ โดยจุดตัดระหว่างเส้นลักษณะเฉพาะกับเส้นแอฟโพรชของค่าออกแบบและค่าทดสอบจะนำมาหาขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์ได้ดังนี้

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 \quad (2.24)$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 การออกแบบและการคำนวณ

เริ่มออกแบบหอบรรบายความร้อนภายใต้เงื่อนไขการออกแบบดังนี้

1. หอบรรบายความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนหรือ $Q = 6 \text{ kw}$
2. มีช่วงอุณหภูมิของน้ำหรือ $\Delta T = 5$
3. พื้นที่หน้าตัดของตัวหอบรรบายความร้อนเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$
4. อุณหภูมิอากาศบริเวณทางเข้าหอบรรบายความร้อนเท่ากับ 37°C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 80%
5. อุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกหอบรรบายความร้อนเท่ากับ 39°C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%
6. อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าหอบรรบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 45°C

3.1.1 หาอัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของน้ำ

หาอัตราการไหลของน้ำจากอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำโดยคำนวณจากสมการที่ 2.4 ได้เป็น

$$Q_w = \dot{m}_w C_{pw} (T_1 - T_2)$$

โดย $Q_w = Q = 6 \text{ kw}$; $C_{pw} = 4.18 \text{ kJ / kg.K}$

$$T_1 - T_2 = \Delta T = 5$$

จึงได้เป็น

$$6 = \dot{m}_w (4.18)(5)$$

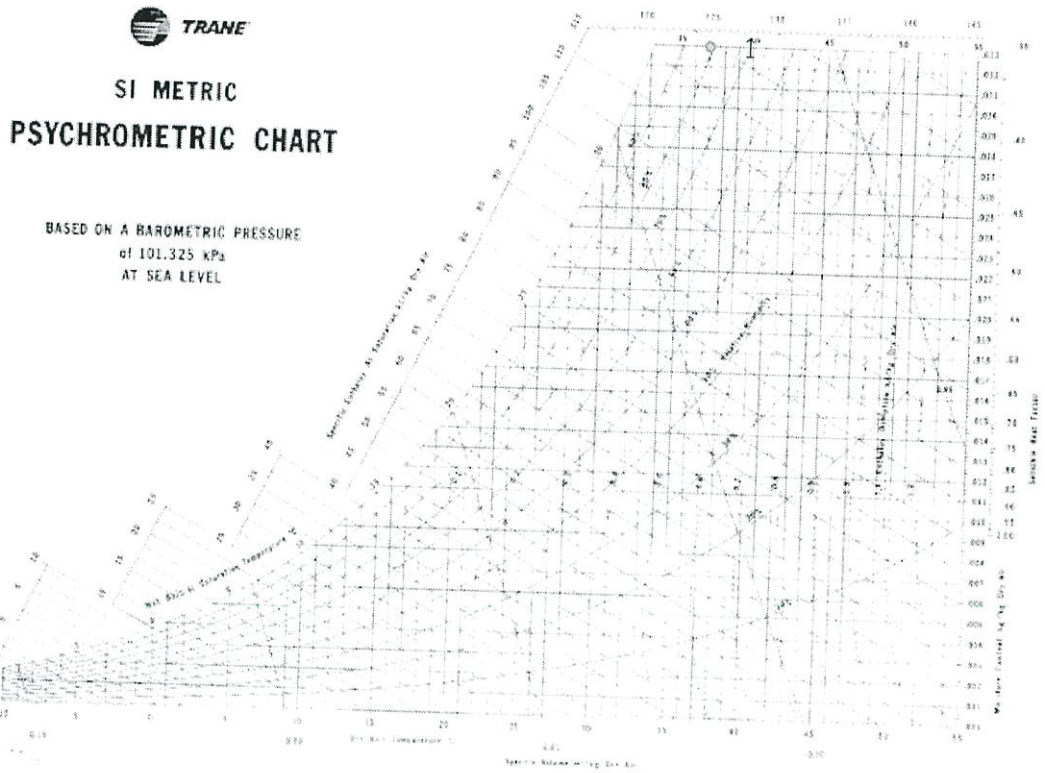
$$\dot{m}_w = 0.287 \text{ kg / s}$$

$$\dot{m}_w \approx 17 \text{ kg / min}$$

หาอัตราการไหลของอากาศจากอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำออกสู่อากาศโดยคำนวณจากสมดุลพลังงานภายในหอบรรบายความร้อนสมการที่ 2.6 ได้เป็น

$$\dot{m}_a ((h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1)h_{fw1}) = \dot{m}_w (h_{fw1} - h_{fw2})$$

โดย h_1, ω_1 สามารถหาได้จากการแทนจุดที่สภาวะต่างๆของอากาศ ลงในแผ่นภูมิความชื้น (psychrometric chart) ซึ่งวาดจุดต่างๆ ลงในแผ่นภูมิความชื้นได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปภาพการวาดจุดที่สภาวะต่างๆ ลงบนแผนภูมิอากาศชื้น [23]

จากแผนภูมิอากาศชื้นจะได้ $h_1 = 120 \text{ kJ/kg - dry air}$ และ $\omega_1 = 0.032 \text{ kg/kg - dry air}$ และหาค่า h_2 และ ω_2 ได้เป็น $h_2 = 157.9 \text{ kJ/kg - dry air}$ และ $\omega_2 = 0.046 \text{ kg/kg - dry air}$ จากตารางอากาศอิ่มตัวดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงเอนทัลปีของอากาศอิมตัว [9]

Temp (C)	Interval (C)									Temp (C)	
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9		
0	9.41	9.61	9.78	9.95	10.12	10.30	10.47	10.64	10.82	10.99	0
1	11.16	11.34	11.52	11.69	11.87	12.05	12.22	12.40	12.58	12.76	1
2	12.94	13.12	13.30	13.48	13.66	13.85	14.03	14.21	14.40	14.58	2
3	14.77	14.95	15.12	15.32	15.51	15.70	15.89	16.08	16.27	16.46	3
4	16.85	16.84	17.03	17.22	17.42	17.61	17.80	18.00	18.19	18.39	4
5	18.59	18.78	18.98	19.18	19.38	19.58	19.78	19.98	20.18	20.38	5
6	20.59	20.79	21.00	21.20	21.41	21.61	21.82	22.03	22.23	22.44	6
7	22.55	22.85	23.07	23.29	23.50	23.71	23.92	24.14	24.36	24.57	7
8	24.79	25.00	25.22	25.44	25.66	25.88	26.10	26.32	26.55	26.77	8
9	26.99	27.22	27.44	27.67	27.90	28.13	28.35	28.58	28.81	29.05	9
10	29.28	29.51	29.74	29.98	30.21	30.45	30.69	30.92	31.16	31.40	10
11	31.64	31.88	32.13	32.37	32.61	32.86	33.10	33.35	33.59	33.84	11
12	34.09	34.34	34.59	34.84	35.10	35.35	35.61	35.86	36.12	36.37	12
13	36.63	36.89	37.15	37.41	37.67	37.94	38.20	38.47	38.73	39.00	13
14	39.27	39.54	39.81	40.08	40.35	40.62	40.90	41.17	41.45	41.73	14
15	42.00	42.28	42.56	42.85	43.13	43.41	43.70	43.98	44.27	44.56	15
16	44.85	45.14	45.43	45.72	46.02	46.31	46.61	46.90	47.20	47.50	16
17	47.80	48.10	48.41	48.71	49.02	49.32	49.63	49.94	50.25	50.56	17
18	50.87	51.19	51.50	51.82	52.14	52.46	52.78	53.10	53.42	53.75	18
19	54.07	54.40	54.73	55.06	55.39	55.72	56.05	56.39	56.72	57.06	19
20	57.40	57.74	58.08	58.43	58.77	59.12	59.46	59.81	60.16	60.51	20
21	60.87	61.22	61.58	61.94	62.29	62.66	63.02	63.38	63.75	64.11	21
22	64.48	64.85	65.22	65.59	65.97	66.34	66.72	67.10	67.48	67.86	22
23	68.25	68.63	69.02	69.41	69.80	70.19	70.59	70.98	71.38	71.78	23
24	72.18	72.58	72.98	73.39	73.80	74.21	74.62	75.03	75.44	75.86	24
25	76.28	76.70	77.12	77.54	77.97	78.39	78.82	79.25	79.69	80.12	25
26	80.56	81.00	81.44	81.88	82.32	82.77	83.22	83.67	84.12	84.57	26
27	85.03	85.49	85.95	86.41	86.87	87.34	87.81	88.28	88.75	89.22	27
28	89.70	90.18	90.66	91.14	91.63	92.11	92.60	93.09	93.59	94.08	28
29	94.58	95.08	95.58	96.09	96.60	97.11	97.62	98.13	98.65	99.17	29
30	99.69	100.21	100.74	101.26	101.79	102.33	102.86	103.40	103.94	104.48	30
31	105.03	105.57	106.12	106.68	107.23	107.79	108.35	108.91	109.48	110.04	31
32	110.61	111.19	111.76	112.34	112.92	113.50	114.09	114.68	115.27	115.86	32
33	116.46	117.06	117.66	118.27	118.88	119.49	120.10	120.72	121.34	121.96	33
34	122.59	123.21	123.84	124.48	125.11	125.75	126.40	127.04	127.69	128.34	34
35	129.00	129.66	130.32	130.98	131.65	132.32	132.99	133.67	134.35	135.03	35
36	135.72	136.41	137.10	137.80	138.50	139.20	139.91	140.62	141.33	142.05	36
37	142.77	143.49	144.21	144.94	145.68	146.41	147.16	147.90	148.65	149.40	37
38	150.15	150.91	151.67	152.44	153.21	153.98	154.76	155.54	156.32	157.11	38
39	157.90	158.70	159.50	160.30	161.11	161.92	162.73	163.55	164.37	165.20	39
40	166.03	166.87	167.71	168.55	169.40	170.25	171.10	171.96	172.83	173.69	40
41	174.57	175.44	176.32	177.21	178.10	178.99	179.89	180.79	181.70	182.61	41
42	183.53	184.45	185.37	186.30	187.24	188.18	189.12	190.07	191.02	191.98	42
43	192.94	193.91	194.88	195.86	196.84	197.83	198.82	199.82	200.82	201.82	43
44	202.84	203.85	204.87	205.90	206.93	207.97	209.01	210.06	211.11	212.17	44
45	213.24	214.31	215.38	216.46	217.55	218.64	219.73	220.84	221.94	223.06	45
46	224.18	225.30	226.43	227.57	228.71	229.86	231.01	232.17	233.34	234.51	46
47	235.69	236.87	238.06	239.26	240.46	241.67	242.88	244.10	245.33	246.56	47
48	247.80	249.05	250.30	251.56	252.83	254.10	255.38	256.67	257.96	259.26	48
49	260.57	261.88	263.20	264.53	265.86	267.20	268.55	269.90	271.27	272.64	49

(ตารางนี้มาจากมาตรฐาน BS4485 Part 2: 1988)

และหาค่า h_{fw1} และ h_{fw2} จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ได้เป็น

$h_{fw1} = 188.44 \text{ kJ/kg}$ และ $h_{fw2} = 167.53 \text{ kJ/kg}$

ตารางที่ 3.2 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่อุณหภูมิ 0.01 °C - 70 °C [16]

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	205.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9467	9.0219
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7468	8.8979
15	1.7057	0.001001	77.835	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1875	8.5547
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	189.43	2247.7	2436.1	189.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.25	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9882
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0395	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7959	7.7540

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการที่ 2.6 ได้เป็น

$$\dot{m}_a ((157.9 - 120) - (0.046 - 0.032)167.53) = 0.287(188.4 - 167.53)$$

$$\dot{m}_a = 0.169 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_a \approx 10 \text{ kg/min}$$

3.1.2 หาขนาดของแผงขยายฟิล์มน้ำ

คำนวณหาค่าแสดงลักษณะเฉพาะด้านการถ่ายโอนความร้อนของคู่อลูมิเนียมจากสมการที่

2.12

$$Ka = C \left(\frac{L}{A} \right)^m \left(\frac{G}{A} \right)^n$$

เนื่องจากผู้วิจัยเลือกที่จะใช้แผงขยายฟิล์มน้ำชนิดลอนลูกฟูกแนวตั้ง

จึงเลือกใช้ค่า $C=0.534375$, $m=0.747$ และ $n=0.253$

โดยพื้นที่หน้าตัดของหีบระบายความร้อนเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสกว้างด้านละ 20 cm

จึงได้พื้นที่หน้าตัด (A) เป็นดังนี้

$$A = L \times H = 20 \times 20 = 0.04 \text{ m}^2$$

แทนค่าทั้งหมดลงไปนสมการที่ 2.12 ได้เป็น

$$Ka = (0.534375) \left(\frac{0.287}{0.04} \right)^{0.747} \left(\frac{0.169}{0.04} \right)^{0.253} = 3.353 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{s}$$

คำนวณหาค่าผลต่างของเอนทัลปีแบบลอกการิทึมจากสมการที่ 2.13

$$\Delta h_{lm} = \frac{(h_{w1} - h_2) - (h_{w2} - h_1)}{\ln\left(\frac{h_{w1} - h_2}{h_{w2} - h_1}\right)}$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 2.13 ได้เป็น

$$\Delta h_{lm} = \frac{(213.24 - 157.94) - (166.03 - 120)}{\ln\left(\frac{213.24 - 157.94}{166.03 - 120}\right)} = 50.523$$

นำค่าแสดงลักษณะเฉพาะด้านการถ่ายโอนความร้อนของคู่อากาศและค่าผลต่างของเอนทัลปีแบบลอกการิทึมไปแทนลงในสมการที่ 2.11 จะได้ค่าปริมาตรของแผงขยายฟิล์มน้ำเป็นดังนี้

$$V = \frac{(0.287)(4.18)(5)}{(3.353)(1)(50.523)} = 0.035 \text{ m}^3$$

และเมื่อนำปริมาตรของแผงขยายฟิล์มน้ำไปแทนในสมการที่ 2.10 จะได้ความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำเป็นดังนี้

$$I = \frac{0.035}{0.040} = 0.875 \text{ m หรือประมาณ } 88 \text{ cm}$$

3.1.3 การออกแบบหากล้างของพัดลม

กำลังของพัดลมที่ต้องใช้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Power} = Q\Delta P$$

โดยที่ ΔP คือความดันสูญเสียทั้งหมดขณะที่อากาศไหลผ่านหอระบายความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย ความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศอยู่บริเวณทางเข้าหอระบายความร้อน, ความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศอยู่บริเวณทางออกหอระบายความร้อน, ความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศไหลผ่านแผงขยายฟิล์มน้ำ และความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศไหลผ่านแผงกั้นน้ำกระเซ็น แต่เนื่องจากในงานวิจัย

นี้ผู้วิจัยไม่ได้มีการใช้งานแผงกั้นน้ำกระเซ็น จึงไม่มีการคิดความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศไหลผ่านแผงกั้นน้ำกระเซ็น ซึ่งอธิบายจากสมการที่ 2.8 ดังนี้

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{inlet}} + \Delta P_{\text{fill}} + \Delta P_{\text{outlet}}$$

โดยที่ความดันสูญเสียบริเวณทางเข้าหอรบายความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9 ได้ดังนี้

$$\Delta P_{\text{inlet}} = \frac{L}{A} \frac{\rho_{\text{inlet}} v_{\text{inlet}}^2}{2}$$

โดยค่า ρ_{inlet} และ v_{inlet} สามารถหาได้ดังนี้

$$\rho_{\text{inlet}} = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T_{\text{ai}}} = \frac{101.3 \times 10^3}{287(37 + 273)} = 1.138 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{\text{inlet}} = \frac{\dot{m}_a}{A_{\text{tower}} \rho} = \frac{0.169}{0.04 \times 1.138} = 3.713 \text{ m/s}$$

จะได้ความดันสูญเสียบริเวณทางเข้าหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{inlet}} = \left(\frac{0}{0.04} \right) \times \left(\frac{1.131 \times 3.713^2}{2} \right) = 0 \text{ Pa}$$

ความดันสูญเสียบริเวณทางออกหอรบายความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 ได้ดังนี้

$$\Delta P_{\text{outlet}} = \frac{L}{A} \frac{\rho_{\text{outlet}} v_{\text{outlet}}^2}{2}$$

โดยค่า ρ_{inlet} และ v_{inlet} สามารถหาได้ดังนี้

$$\rho_{\text{outlet}} = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T_{\text{ao}}} = \frac{101.3 \times 10^3}{287(39 + 273)} = 1.131 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{\text{outlet}} = v_{\text{ob}} = \frac{\dot{m}_a}{A_{\text{fan}}} = \frac{0.169}{\pi \left(\frac{0.203}{2} \right)^2} = 4.617 \text{ m/s}$$

จะได้ความดันสูญเสียบริเวณทางออกหอบระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{outlet}} = \frac{1}{\pi \left(\frac{0.203}{2} \right)^2} \times \left(\frac{1.131 \times 4.617^2}{2} \right) = 372.4 \text{ Pa}$$

และสุดท้ายความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศไหลผ่านแผงขยายฟิล์มน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14 เป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{fill}} = C_{\text{fill}} I \frac{(G/A)^2}{2\rho_G}$$

จากตารางการสูญเสียเฮดความเร็วต่อหนึ่งหน่วยความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยแผงขยายฟิล์มน้ำเป็นแผงขยายฟิล์มชนิดแผ่นลูกฟูกมีค่า $\frac{G}{A} \approx 2.7$ และ $\frac{L}{A} \approx 4.6$ จากการประมาณค่าจากตารางที่ 3.3 ทำให้ได้ค่า $C_{\text{fill}} \approx 9.6$ จากตารางที่ 3.4 และค่า ρ_G สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$\rho_G = \frac{\rho_{\text{inlet}} + \rho_{\text{outlet}}}{2} = \frac{1.138 + 1.131}{2} = 1.134 \text{ kg/m}^3$$

ตารางที่ 3.3 ตัวประกอบการสูญเสียเฮดความเร็วต่อหนึ่งหน่วยความสูงของแผงขยายฟิล์ม [9]

ชนิดของแผงขยายฟิล์ม	L/A = 1.35 kg/s.in ²		L/A = 2.7 kg/s.in ²	
	G/A = 1	G/A = 2	G/A = 1	G/A = 2
รูปสามเหลี่ยม	6.6	5.6	8.5	6.9
รูปสี่เหลี่ยม	8.2	6.2	10.2	8.9
แผ่นลูกฟูก	14.1	10.2	16.7	11.8

นำค่าทั้งหมดแทนในสมการที่ 2.14 จะได้ความดันที่สูญเสียขณะที่อากาศไหลผ่านแผงขยายฟิล์มเป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{fill}} = (9.6)(0.875) \frac{(2.7)^2}{2(1.134)} = 27 \text{ Pa}$$

ได้ความดันสูญเสียทั้งหมดขณะที่อากาศไหลผ่านหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\Delta P_{\text{total}} = 0 + 372.4 + 27 = 399.4 \text{ Pa}$$

และค่า Q คืออัตราการไหลของอากาศบริเวณทางออกซึ่งหาค่าได้จาก

$$Q = V \times A = (4.617)(0.032) = 0.148 \text{ m}^3/\text{s}$$

จึงได้ค่ากำลังขั้นต่ำของพัดลมเป็น

$$\text{Power} = Q\Delta P = (0.148)(399.4) = 59.11 \text{ W หรือประมาณ } 60 \text{ W}$$

3.1.4 การคำนวณหาขนาดของปั๊ม

การคำนวณขนาดของปั๊มน้ำที่ต้องใช้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากความสูงของระดับน้ำที่ปั๊มสามารถปั๊มขึ้นไปได้ซึ่งเรียกว่าเฮดของระบบหรือ Total Dynamic Head (TDH) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$\text{TDH} = \left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + H_L$$

จากการออกแบบพบว่า P_1 และ P_2 มีค่าน้อยมากจึงแทนค่า $P_2 - P_1 = 0$ และค่า $Z_2 - Z_1 = L = 1.162 \text{ m}$ ค่าเฮดการสูญเสียรวมสามารถหาได้จากสมการที่ 2.16

$$H_L = \left(f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \right) + \left(\sum K \frac{v^2}{2g} \right)$$

โดยค่า f หรือตัวประกอบความเสียดทานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.17

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

ซึ่งจากตารางที่ 2.2 จะได้ ϵ หรือค่าความหยาบเท่ากับ $7 \times 10^{-6} \text{ m}$ ส่วนค่า Re หรืออัตราส่วนของแรงเฉื่อยและแรงหนืดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.18 ดังนี้

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

ซึ่งจากตารางที่ 2.3 จะได้ μ หรือความหนืดสมบูรณ์เท่ากับ $0.8032 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$, ค่า D หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ $3/4$ นิ้ว หรือประมาณ 0.01905 m และค่า V สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 ดังนี้

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.000283}{\frac{\pi}{4}(0.01905)^2} = 0.993 \text{ m/s}$$

แทนค่า V , D , ρ และ μ ลงในสมการที่ 2.18 ได้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{1000 \times 0.993 \times 0.01905}{0.8032 \times 10^{-3}} = 23551$$

จากเลขเรย์โนลด์จะพบว่าการไหลของของไหลนี้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) และเมื่อแทนค่า Re , ϵ และค่า D ลงในสมการที่ 2.17 จะได้เป็น

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{7 \times 10^{-6}}{3.7 \times 0.01905} + \frac{5.74}{(23551)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0258$$

จากการออกแบบพบว่ามีข้อต่อแบบ 90° จำนวน 16 จุด, วาล์วปรับอัตราการไหลแบบลูกบอล (globe valve) จำนวน 1 จุด และข้อต่อ 3 ทาง (Tee branch flow) จำนวน 3 จุด เมื่อดูจากตารางที่ 2.1 จึงได้ค่า K เท่ากับ $(16 \times 0.75) + 10 + (3 \times 1.5) = 26.5$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 2.16 จะได้เฮดการสูญเสียรวมเป็นดังนี้

$$H_L = \left(f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \right) + \left(\sum K \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$H_L = \left((0.0258) \left(\frac{3.365}{0.01905} \right) \frac{(0.993)^2}{2(9.81)} \right) + \left((26.5) \frac{(0.993)^2}{2(9.81)} \right)$$

$$H_L = 0.229 + 1.332 = 1.561 \text{ m}$$

เมื่อแทนค่าทั้งหมดลงในสมการที่ 2.15 จะได้เฮดของระบบเป็นดังนี้

$$TDH = \left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + H_L = 0 + 1.162 + 1.561 = 2.723 \text{ m} \approx 2.8 \text{ m}$$

3.2 คำนวณหาค่า $\left(\frac{KaV}{L} \right)_{\text{design}}$, L/G_{design} สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบ และเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ

ตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.3 เกี่ยวกับการคำนวณหาสมรรถนะของคูลลิ่งทาวเวอร์ตามมาตรฐาน CTI ซึ่งการที่จะคำนวณหาสมรรถนะของคูลลิ่งทาวเวอร์จำเป็นต้องสร้างเส้นลักษณะเฉพาะ (characteristic curve) ของคูลลิ่งทาวเวอร์ และสร้างเส้นแอฟโพรช (approach curve) เพื่อหาจุดออกแบบ (design point) ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 2.3 โดยในการออกแบบจะใช้ข้อจำกัดดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ $(T_1) = 45^\circ\text{C}$
2. อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกหอบายความร้อนเท่ากับ $(T_2) = 40^\circ\text{C}$
3. อัตราการไหลโดยมวลของน้ำ $(L) = 0.287 \text{ kg/s}$
4. อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ $(G) = 0.169 \text{ kg/s}$
5. อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอบายความร้อนเท่ากับ $(T_{\text{wbi}}) = 33.7^\circ\text{C}$
6. $C_w = 4.18 \text{ kJ/kg.K}$

3.2.1 คำนวณหาค่าออกแบบของ L/G จากค่าอัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/min)

$$\left(\frac{L}{G} \right)_{\text{design}} = \frac{0.287}{0.169} = 1.698$$

3.2.2 คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L

คำนวณค่าออกแบบของ KaV/L ตามวิธีขยายเชฟฟ์โดยสรุปได้เป็นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางคำนวณค่าออกแบบของ KaV/L

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}C$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}C$	-	อากาศทางเข้าที่ $twb1, ha1 =$ 120.72	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.5^{\circ}C$	170.25	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 124.27$	45.98	0.0212
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42^{\circ}C$	183.53	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 134.92$	48.61	0.0206
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}C$	192.94	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 142.01$	50.93	0.0196
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.5^{\circ}C$	207.97	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 152.66$	55.31	0.0181
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}C$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 156.21$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0795

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{design}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{design} = c_w (T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{design} = (4.18)(5) \frac{0.0795}{4} = 0.415$$

3.2.3 สร้างเส้นลักษณะเฉพาะของคู่ออกแบบ

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = c \left(\frac{L}{G} \right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L} \right)_{design} = 0.415$, $\left(\frac{L}{G} \right)_{design} = 1.698$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็นดังนี้

$$0.415 = C(1.698)^{-0.6}$$

$$C = 0.570$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

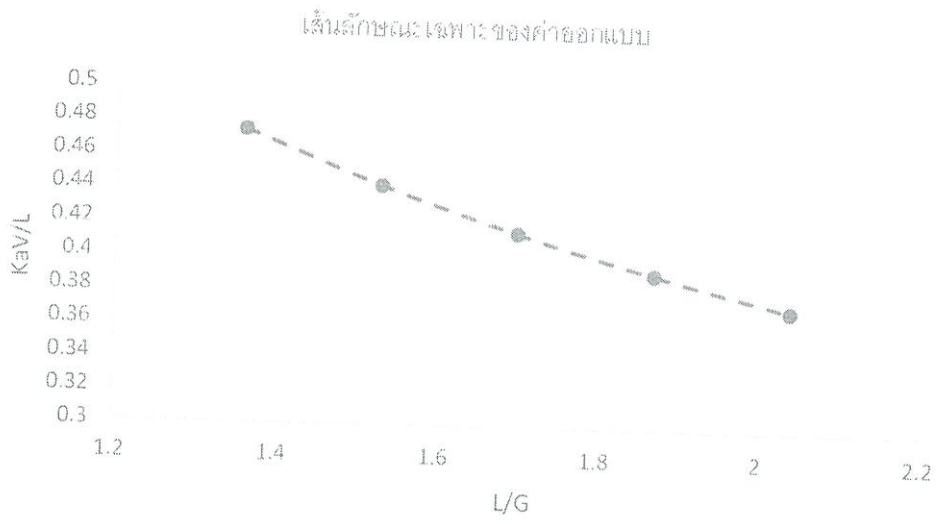
$$\frac{KaV}{L} = 0.57 \left(\frac{L}{G} \right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.358	0.474
90	1.528	0.442
100	1.698	0.415
110	1.868	0.392
120	2.038	0.372

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าออกแบบได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบ

3.2.4 สร้างเส้นแอฟโพรชค่าออกแบบ

การสร้างเส้นแอฟโพรชนั้นจะใช้ค่า L/G ค่าเดิมกับที่ใช้ในการสร้างเส้นลักษณะเฉพาะ แต่ต้องหาค่า KaV/L ของ L/G แต่ละค่าใหม่โดยใช้วิธีขยายเซพพ์ ได้เป็นดังนี้

ค่า L/G ที่ 80% ของ $L/G = 1.358$

ตารางที่ 3.6 ตารางคำนวณค่า $\sum (1/\Delta h)$ ที่ $L/G = 1.358$

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} =$ 120.72	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.5^{\circ}\text{C}$	170.25	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 123.56$	46.69	0.0214
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42^{\circ}\text{C}$	183.53	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 132.07$	51.46	0.0194
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}\text{C}$	192.94	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 137.75$	55.19	0.0181
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.5^{\circ}\text{C}$	207.97	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 146.26$	61.71	0.0162
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 149.10$	-	-
$\sum (1/\Delta h)$				0.0751

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\frac{L}{G}=1.358} = (4.18)(5) \frac{0.0751}{4} = 0.392$$

ค่า L/G ที่ 90% ของ $L/G = 1.528$

ตารางที่ 3.7 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ที่ $L/G = 1.528$

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ $twb1, ha1 =$ 120.72	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.5^{\circ}\text{C}$	170.25	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 123.91$	46.34	0.0216
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42^{\circ}\text{C}$	183.53	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 133.49$	50.04	0.0200
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}\text{C}$	192.94	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 139.88$	53.06	0.0188
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.5^{\circ}\text{C}$	207.97	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 149.47$	58.50	0.0171
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 152.66$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0775

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\frac{L}{G}=1.528} = (4.18)(5) \frac{0.0775}{4} = 0.405$$

ค่า L/G ที่ 110% ของ $L/G = 1.868$

ตารางที่ 3.8 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ที่ $L/G = 1.868$

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ $twb1, h_{a1} =$ 120.72	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.5^{\circ}\text{C}$	170.25	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 124.62$	45.63	0.0219
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}\text{C}$	183.53	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 136.34$	47.19	0.0212
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}\text{C}$	192.94	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 144.14$	48.80	0.0205
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.5^{\circ}\text{C}$	207.97	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 155.86$	52.11	0.0192
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 159.76$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0828

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\frac{L}{G}=1.868} = (4.18)(5) \frac{0.0828}{4} = 0.433$$

ค่า L/G ที่ 120% ของ L/G = 2.038

ตารางที่ 3.9 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ที่ L/G = 2.038

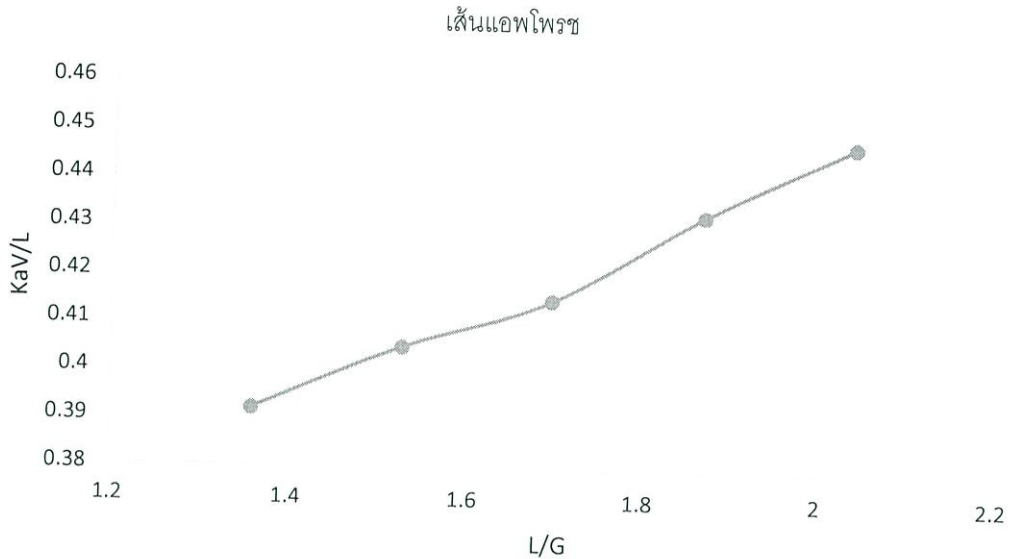
อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ $twb1, ha1 =$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.5^{\circ}\text{C}$	170.25	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 124.98$	45.27	0.0221
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42^{\circ}\text{C}$	183.53	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 137.76$	45.77	0.0218
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43^{\circ}\text{C}$	192.94	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 146.27$	46.67	0.0214
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.5^{\circ}\text{C}$	207.97	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 159.05$	48.92	0.0204
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 163.31$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0857

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\frac{L}{G}=2.038} = (4.18)(5) \frac{0.0857}{4} = 0.448$$

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

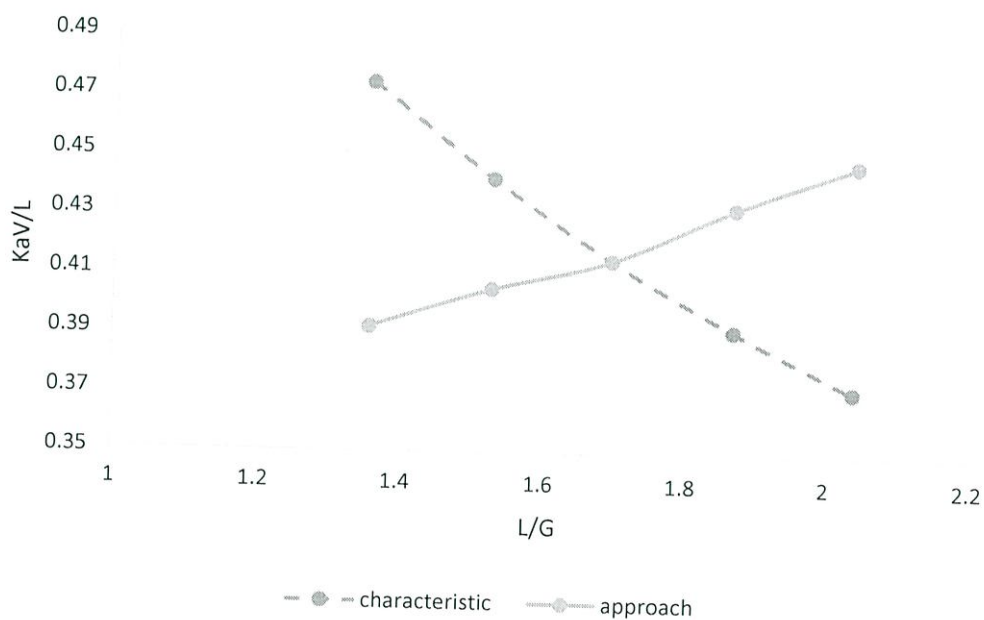
เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.358	0.392
90	1.528	0.405
100	1.698	0.415
110	1.868	0.433
120	2.038	0.448

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นแอฟโพรชของค่าออกแบบได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงเส้นแอฟโพรชของค่าออกแบบ

นำกราฟเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและกราฟเส้นแอฟโพรชมาพล็อตรวมกันเพื่อหาจุดออกแบบของหอระบายความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจุดออกแบบของหอระบายความร้อน

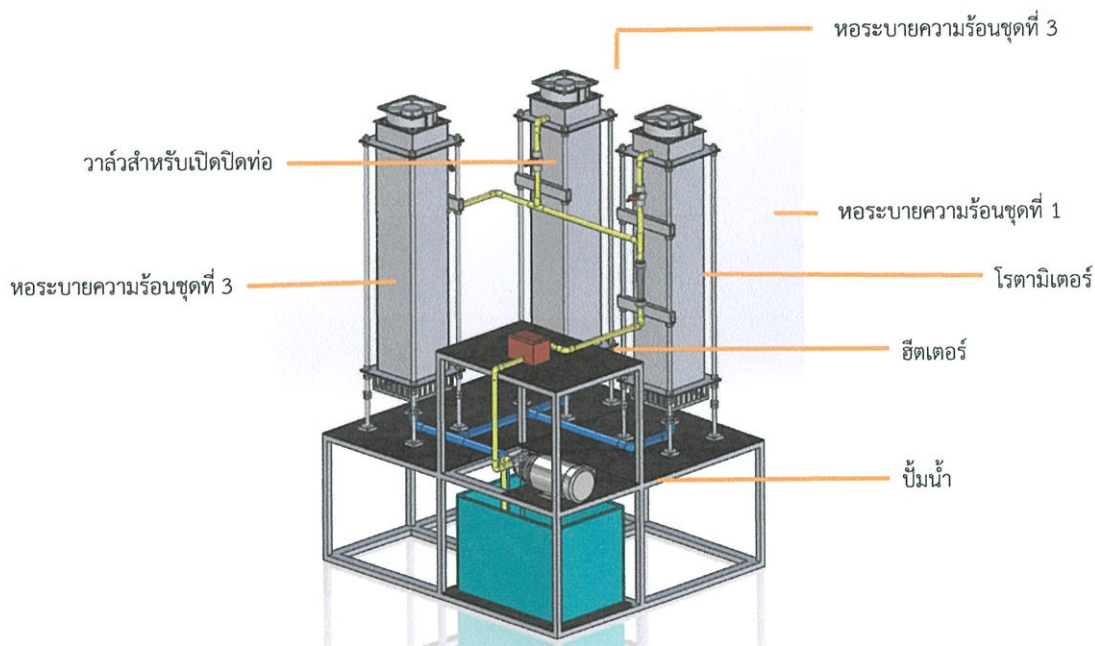
โดยจุดตัดของกราฟเส้นลักษณะเฉพาะและเส้นแอฟโทรซที่ได้ออกแบบ

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}} = 1.698$$

ซึ่งค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้คำนวณในสมการ 2.24 เพื่อหาสมรรถนะของหอระบายความร้อนต่อไป

3.3 แบบชิ้นงานชุดทดลองหอระบายความร้อน

จากการออกแบบจะได้ชุดทดลองการทำงานของหอระบายความร้อนแบบใช้พัดลมดูดอากาศ ออกชนิดอากาศและน้ำไหลสวนทางกันที่แผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างๆ ซึ่งมีรูปภาพและส่วนประกอบต่างๆเป็นดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของต้นแบบชุดทดลอง

จากการออกแบบทางผู้ออกแบบได้แบ่งตัวหอระบายความร้อนออกเป็น 3 ชุด ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วยแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดกันดังนี้ หอระบายความร้อนชุดที่ 1 จะเป็นหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ หอระบายความร้อนชุดที่ 2 จะเป็นหอระบายความร้อนที่ใช้แผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท หอระบายความร้อนชุดที่ 3 จะเป็นหอระบายความร้อนที่ใช้แผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น โดยขนาดความสูงของแผงขยายฟิล์มน้ำทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนที่เกิดจากแผงขยายฟิล์มน้ำที่มีชนิดแตกต่างกัน และอุณหภูมิของน้ำที่เข้าตัวหอระบายความร้อนที่แตกต่างกัน โดยที่หอระบาย

ความร้อนทั้ง 3 ชุด จะทำจากสแตนเลสและมีขนาดและโครงสร้างที่เหมือนกันเพื่อให้ผู้ทดลองได้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนที่ประกอบด้วยแผงขยายฟิล์มน้ำและไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำและทราบถึงระบบการทำงานของหอระบายความร้อน

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำชุดทดลอง

3.4.1 พัดลมดูดอากาศ (Fan)

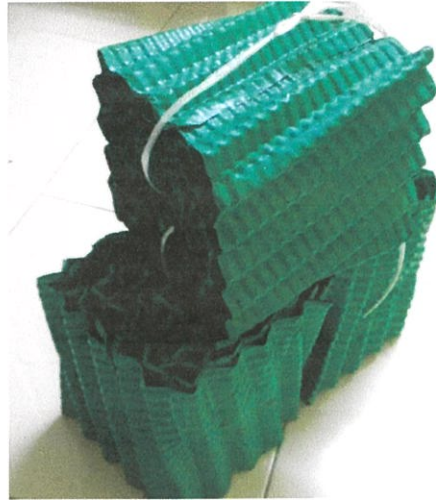
จากที่แสดงดังรูปที่ 3.6 พัดลมดูดอากาศใช้สำหรับดูดอากาศออกจากคูลิ่งทาวเวอร์หลังจากอากาศแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำ ซึ่งจากการคำนวณทำให้ได้กำลังขั้นต่ำของพัดลมคือ 6 w ทางผู้จัดทำจึงเลือกใช้พัดลมกำลัง 65 w เนื่องจากมีขนาดเหมาะสมกับตัวทาวเวอร์ที่ใช้ในชุดการทดลอง



รูปที่ 3.6 รูปภาพพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งบริเวณส่วนบนของคูลิ่งทาวเวอร์

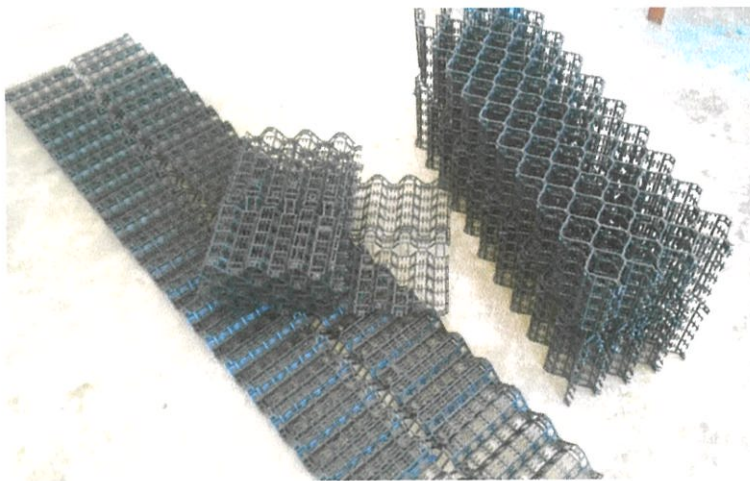
3.4.2 แผงขยายฟิล์มน้ำ (Fill)

[17] แผงขยายฟิล์มน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มเวลาที่น้ำจะสัมผัสกับอากาศให้มากขึ้น ทำให้การระบายความร้อนจากน้ำไปสู่อากาศทำได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในชุดทดลองนี้จะใช้แผงขยายฟิล์มน้ำ 2 ชั้น โดยชั้นแรกเป็นแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท (Film fills) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งวัสดุทำมาจากพลาสติก PVC สามารถทนความร้อนได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 60 °c โดยใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงตามที่ออกแบบไว้ สาเหตุที่เลือกใช้แผงขยายฟิล์มน้ำแบบนี้เนื่องจากแผงขยายฟิล์มน้ำแบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ



รูปที่ 3.7 รูปภาพแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท

และ [22] แผงขยายฟิล์มน้ำชั้นที่ 2 เป็นแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น (Splash fills) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.8 โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้แผงขยายฟิล์มชนิดปะทะกระเซ็นยี่ห้อ Brentwood รุ่น HTP-25 โดยใช้ขนาดและความสูงเท่ากับแผงขยายฟิล์มน้ำแบบแรก เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพการระบายความร้อนของทอระบายความร้อนที่ได้จากแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.8 รูปภาพแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็น

3.4.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

จากรูปที่ 3.9 ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อนกับน้ำทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นก่อนจะนำน้ำนั้นไปเข้าระบบทอระบายความร้อน เพื่อศึกษาระบบการทำงานของทอระบายความร้อนต่อไปโดยผู้จัดทำได้เลือกใช้ฮีตเตอร์แบบแท่งสำหรับต้มน้ำโดยเลือกใช้กำลัง 6 kw



รูปที่ 3.9 รูปภาพฮีตเตอร์ต้มน้ำ

3.4.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

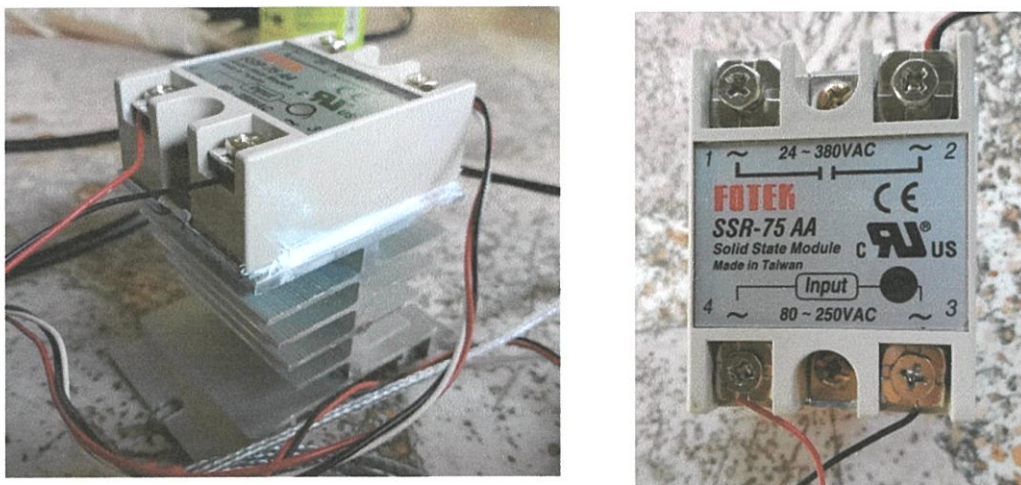
เทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิซึ่งเทอร์โมคัปเปิลตัวนี้จะใช้วัดอุณหภูมิของน้ำบริเวณฮีตเตอร์จากนั้นจะไปที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเพื่อตัดการทำงานของฮีตเตอร์เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว



รูปที่ 3.10 รูปภาพเทอร์โมคัปเปิล

3.4.5 โซลิตสเตรรีเลย์ (Solid State Relay)

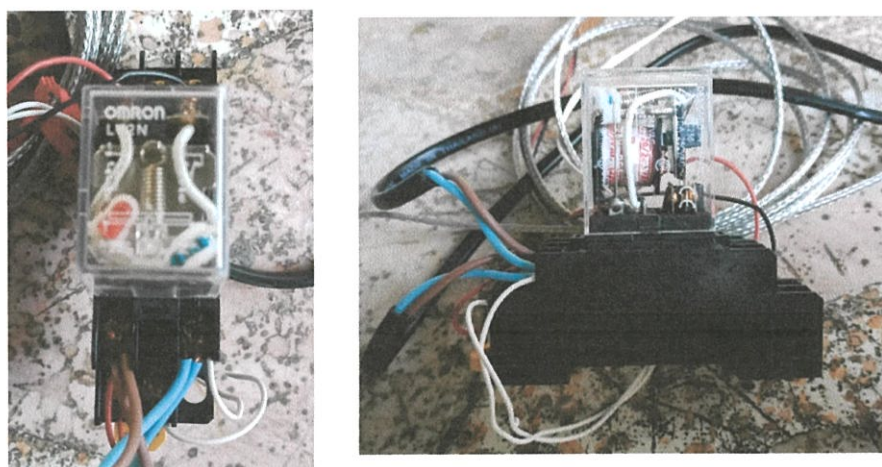
จากรูปที่ 3.11 โซลิตสเตรรีเลย์คือ รีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาว ซึ่งในที่นี้จะใช้ทำงานร่วมกับตัว temperature controller เพื่อควบคุมการตัดไฟของฮีตเตอร์เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิที่ต้องการ



รูปที่ 3.11 รูปภาพโซลิดสเตตตรีเลย์

3.4.6 รีเลย์ (Relay)

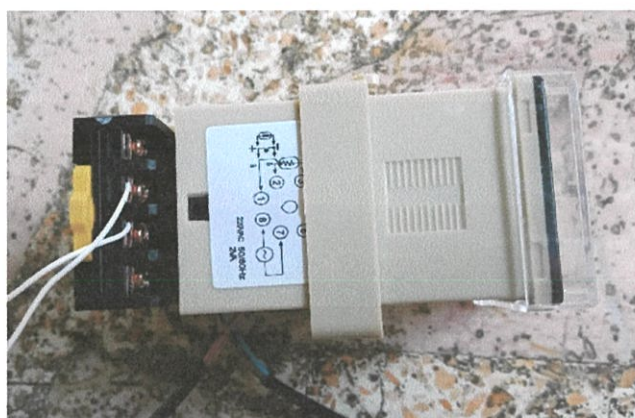
จากรูปที่ 3.12 รีเลย์ คืออุปกรณ์เปิดปิดวงจรไฟฟ้าโดยการใช้สนามแม่เหล็กในการเปิดปิดกลไกทางกล ซึ่งปกติแล้วไม่จำเป็นต้องต่อรีเลย์ธรรมดาเพิ่มก็ได้ เนื่องจากตัว temperature controller นั้นจะมีตัวรีเลย์อยู่แล้ว แต่การต่อรีเลย์เพิ่มนั้นจะทำให้สามารถซ่อมแซมได้ง่ายขึ้นและลดความเสียหายของอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ เมื่อเกิดความเสียหายที่ตัวรีเลย์ในตัว temperature controller



รูปที่ 3.12 รูปภาพรีเลย์

3.4.7 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

จากรูปที่ 3.13 Temperature Controller คืออุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิโดยสามารถตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการได้ ซึ่งประกอบไปด้วยอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลและนำค่าที่ได้ส่งต่อไปยังตัวโซลิตสเตรียเพื่อทำการตัดวงจรของฮีตเตอร์เมื่อฮีตเตอร์ทำงานจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว



รูปที่ 3.13 รูปภาพ Temperature Controller

3.4.8 ปั๊มน้ำ (Water pump)

จากรูปที่ 3.14 ปั๊มน้ำใช้สำหรับสูบน้ำเข้าไปในวงจรการทำงานของหอระบายความร้อน ซึ่งใช้ปั๊มน้ำกำลัง 0.5 แรง

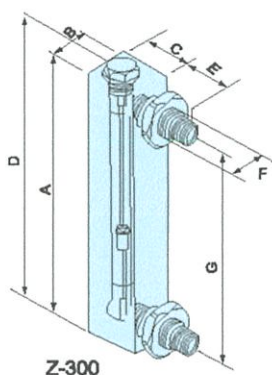


รูปที่ 3.14 รูปภาพปั๊มน้ำ

3.4.9 โรตاميเตอร์ (Rotameter)

จากรูปที่ 3.15 และ 3.16 โรตاميเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจากการคำนวณจะได้ข้อ

อัตราการไหลของน้ำมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 17 kg/min และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3/4 นิ้ว หรือ 6 หุน ผู้จัดทำจึงเลือกใช้โรตاميเตอร์ยี่ห้อ Treatton รุ่น Z-3003 ทางน้ำเข้า-ออก มีลักษณะเป็นเกลียวนอก 3/4" MIP ตัวเรือน ทำจากวัสดุ ABS สามารถวัดอัตราการไหลได้ 5 – 40 ลิตร/นาที และมีขนาดดังนี้



Specifications

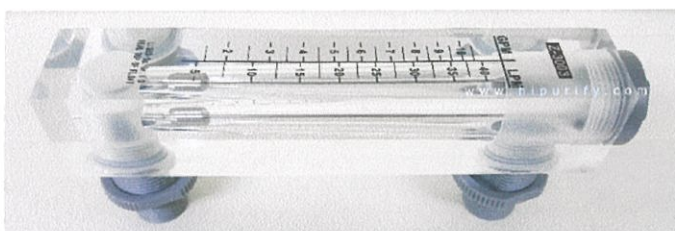
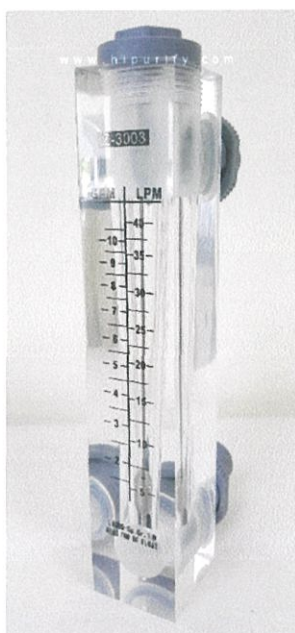
Z-300

Model	Measuring range			Thread	Weights (KG)	Working pressure	Accuracy	Working temperature °C
	GPM	LPM	LPH(optional)					
Z-3003	2-10	5-40	300-2400	BSP3/4"	0.6	≤ 0.8MPa	±5%	≤55
Z-3004	2-16	10-60	500-3500					

Sizes

Model	(mm)						
	A	B	C	D	E	F	G
Z-3003	220	41	45	233	47	33	165
Z-3004							

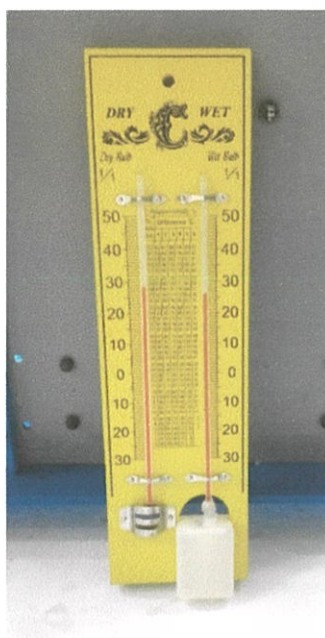
รูปที่ 3.15 รูปภาพแสดงขนาดต่างๆ ของโรตاميเตอร์รุ่น Z-3003 [21]



รูปที่ 3.16 รูปภาพโรตاميเตอร์รุ่น Z-3003 [21]

3.4.10 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Wet-bulb Thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.17 นั้นจะต่างจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาตรงที่เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้สามารถหาได้ทั้งค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศและยังสามารถนำค่าเหล่านี้มาหาค่าความชื้นของอากาศที่เข้าสู่ชุดทดลองได้อีกด้วย



รูปที่ 3.17 รูปภาพเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดวาล์วของหอระบายความร้อนที่ 1 จากนั้นทำการเปิดการทำงานของปั้มน้ำให้น้ำไหลตามวัฏจักรการทำงานและทำการเปิดการทำงานของฮีตเตอร์
2. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิที่ 45 °C และปรับวาล์วที่อยู่ก่อนเข้ากล่องฮีตเตอร์ให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าเท่ากับ 5 LPM
3. รอจนอุณหภูมิน้ำเข้าคองที่หลังจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิแต่ละจุดภายในทาวเวอร์และวัดอุณหภูมิน้ำขาออก
4. รอจนอุณหภูมิแต่ละจุดคงที่และทำการบันทึกผล
5. ทำการทดลองขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 โดยทดลองในสภาวะที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้ามีค่าเท่ากับ 50 °C และ 55 °C ตามลำดับ
6. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอน 2 ถึง 5 ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเป็น 10 LPM และ 15 LPM

7. นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแต่ละจุดกับอุณหภูมิแต่ละจุดของหอระบายความร้อน
8. คำนวณค่าสมรรถนะของหอระบายความร้อนตามมาตรฐาน CTI
9. ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน จากสมการดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\%$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน (%)

t_{c1} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางเข้าของหอระบายความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

t_{c2} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางออกของหอระบายความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

t_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

10. นำขีดความสามารถของหอระบายความร้อนและค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์มาเปรียบเทียบกันหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

จากชุดการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น ทางผู้ทดลองได้ทำการออกแบบบันทึกผลการทดลองไว้ดังนี้

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการใช้ของน้ำ :

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า ($^{\circ}\text{C}$)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 ($^{\circ}\text{C}$)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 ($^{\circ}\text{C}$)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 ($^{\circ}\text{C}$)			
อุณหภูมิน้ำขาออก ($^{\circ}\text{C}$)			

ผลการทดลอง

4.1 บันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 5 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 30.5 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	35.9	39.6	29
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	33	36.8	28.8
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	32.7	30.6	27.9
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	37	34	33

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.1 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 37^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 37.8^{\circ}\text{C}$	148.65	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 86.98$	61.67	0.0162
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 40.2^{\circ}\text{C}$	167.71	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 92.84$	74.87	0.0134
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.8^{\circ}\text{C}$	181.70	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.75$	87.86	0.0114
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.2^{\circ}\text{C}$	204.87	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 102.61$	102.26	0.0098
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 104.56$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0508

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{\text{L}}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(8) \frac{0.0508}{4} = 0.425$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.425$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.584$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.425 = C(0.584)^{-0.60}$$

$$C = 0.308$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

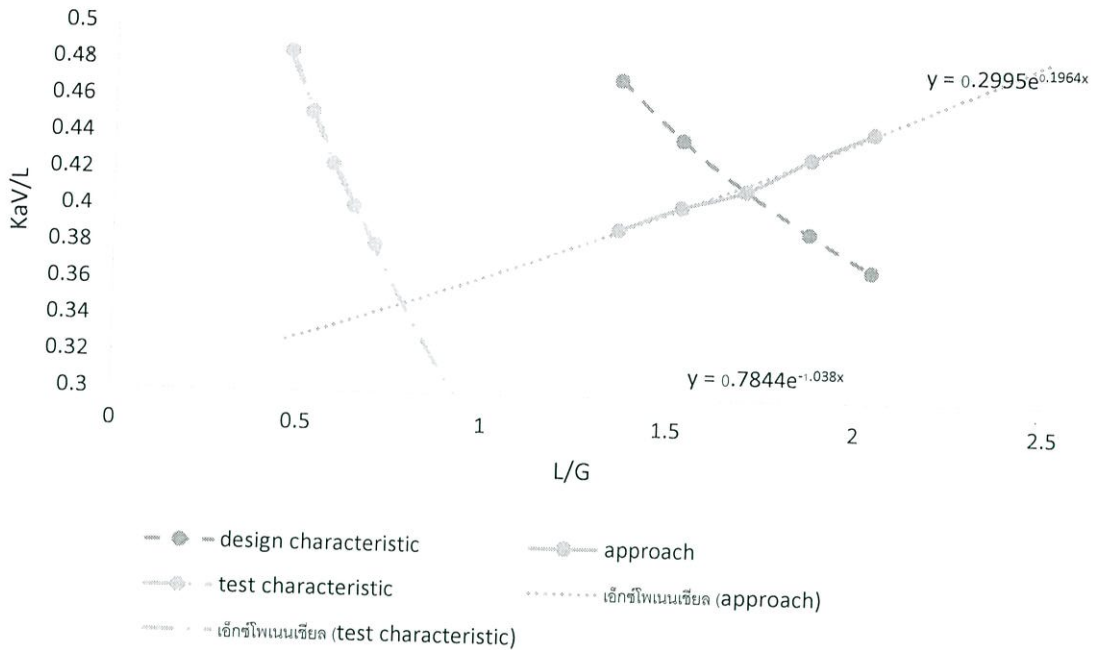
$$\frac{KaV}{L} = 0.308 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และ
อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.351	0.486
90	0.395	0.453
100	0.439	0.425
110	0.483	0.402
120	0.527	0.381

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (0.780, 0.349) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 0.780$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{0.780}{1.698} \times 100 = 45.94 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 37}{45 - 27} \times 100\% = 44.44 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 34^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 35.1^{\circ}\text{C}$	129.66	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 88.70$	40.96	0.0244
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 38.4^{\circ}\text{C}$	153.21	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 99.71$	53.50	0.0187
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 40.6^{\circ}\text{C}$	171.60	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 107.04$	64.56	0.0155
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 43.9^{\circ}\text{C}$	201.82	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 118.05$	83.77	0.0119
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 121.72$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0705

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(11) \frac{0.0705}{4} = 0.810$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.810$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.810 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.707$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

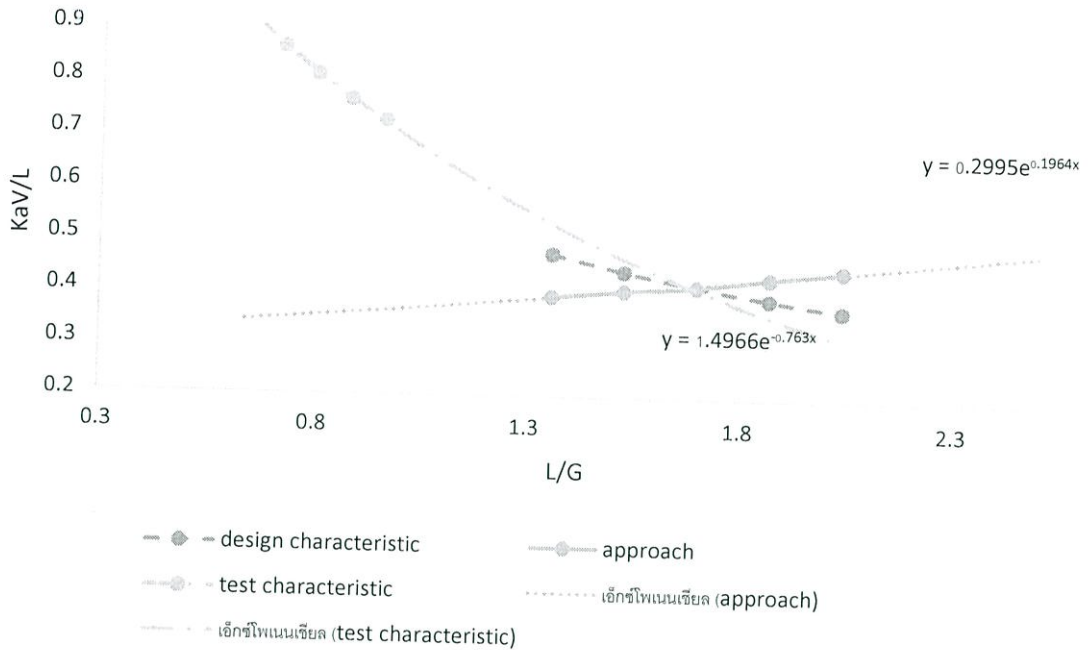
$$\frac{KaV}{L} = 0.707 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	0.926
90	0.718	0.862
100	0.798	0.810
110	0.878	0.764
120	0.958	0.725

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.725, 0.420) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.725$

$$\text{ขีดความสามารถของकुल्लिंगावैर} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.725}{1.698} \times 100 = 101.59 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 34}{45 - 27} \times 100\% = 61.11 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ กระเซ็นโดย อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.5 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิของน้ำออก, $T_2 = 33^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 34.2^{\circ}\text{C}$	123.84	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 89.03$	34.81	0.0287
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 37.8^{\circ}\text{C}$	148.65	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 101.04$	47.61	0.0210
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 40.2^{\circ}\text{C}$	167.71	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 109.05$	58.66	0.0170
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 43.8^{\circ}\text{C}$	200.82	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 121.06$	79.76	0.0125
อุณหภูมิของน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 125.06$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0792

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(12) \frac{0.0792}{4} = 0.993$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.993$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.993 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.867$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปนสมการ 2.23 ได้เป็น

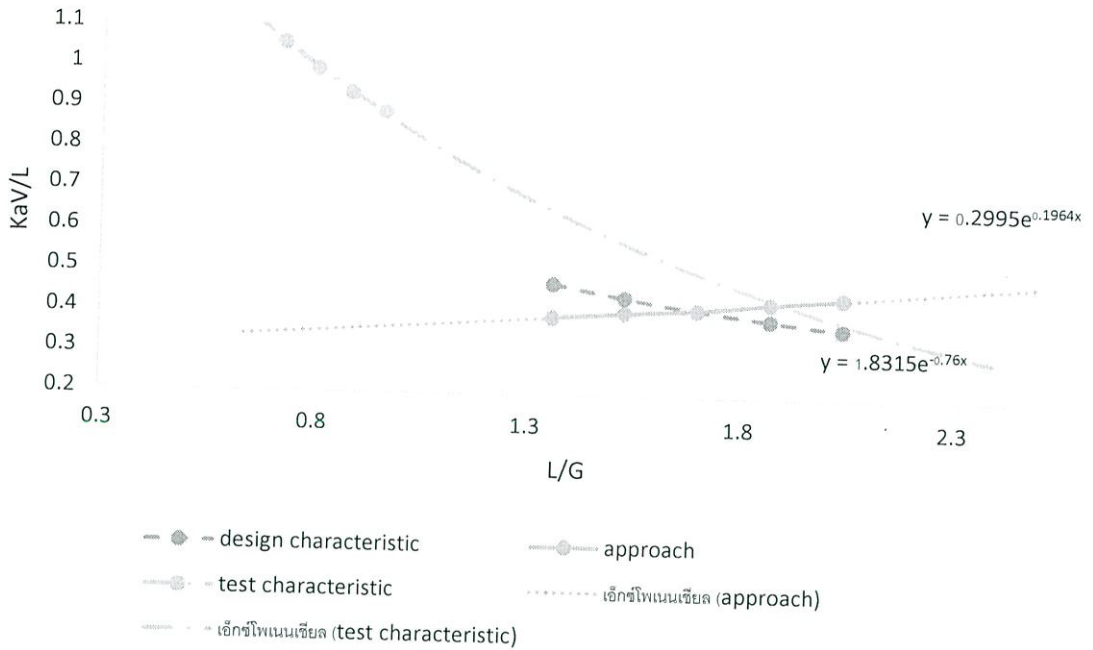
$$\frac{KaV}{L} = 0.867 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	1.135
90	0.718	1.058
100	0.798	0.993
110	0.878	0.937
120	0.958	0.890

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $45^{\circ}C$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.893, 0.434) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 1.893$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{1.893}{1.698} \times 100 = 111.48 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 33}{45 - 27} \times 100\% = 66.67 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 5 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	37.1	37.7	31.7
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	35.6	36.3	32
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	35	33.4	30.5
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	38	36	35

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.7 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 38^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 39.2^{\circ}\text{C}$	159.50	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 87.96$	71.54	0.0140
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42.8^{\circ}\text{C}$	191.02	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.75$	94.27	0.0106
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.2^{\circ}\text{C}$	215.38	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 102.60$	112.78	0.0089
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.8^{\circ}\text{C}$	257.96	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 111.39$	146.57	0.0068
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 114.32$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0403

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(12) \frac{0.0403}{4} = 0.505$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.505$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.584$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.505 = C(0.584)^{-0.60}$$

$$C = 0.366$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

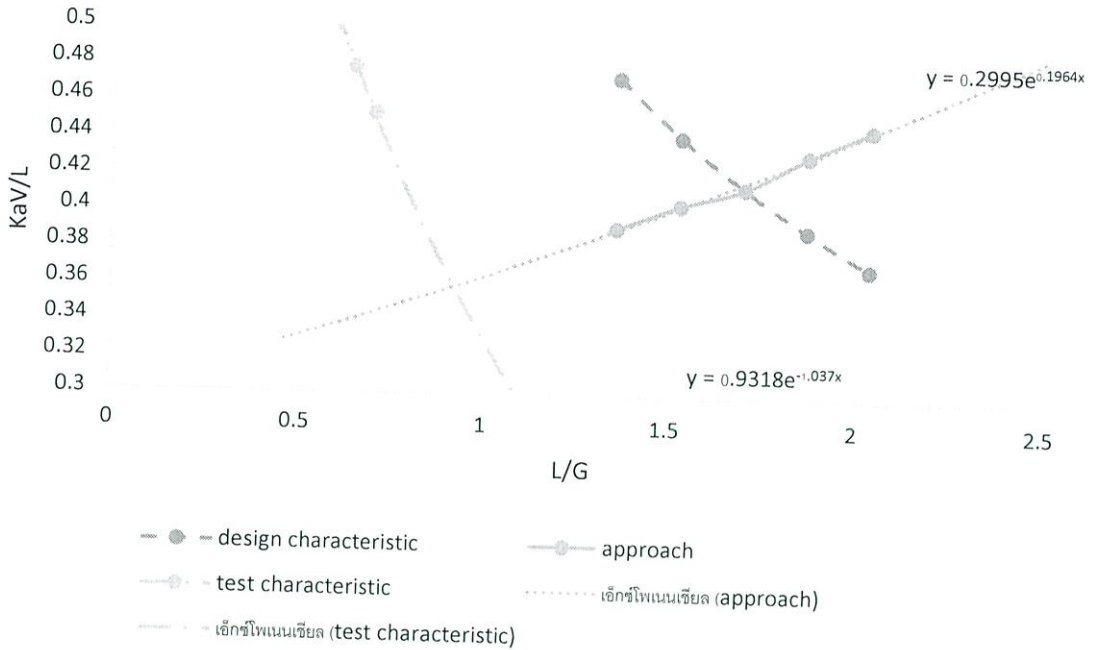
$$\frac{KaV}{L} = 0.366 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.467	0.578
90	0.526	0.538
100	0.584	0.505
110	0.642	0.478
120	0.701	0.453

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอรบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอรบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (0.920, 0.359) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 0.920$

$$\text{ขีดความสามารถของคู่อลูมิเนียมทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{0.920}{1.698} \times 100 = 54.18 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 38}{50 - 27} \times 100\% = 52.17 \%$$

ที่หอบรรยายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.9 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการ
ไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 37.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	145.68	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 89.70$	55.98	0.0179
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.6\text{ }^{\circ}\text{C}$	179.89	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 103.71$	76.18	0.0131
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	206.93	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 113.05$	93.88	0.0106
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.6\text{ }^{\circ}\text{C}$	255.38	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 127.06$	128.32	0.0078
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 131.73$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0494

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(14) \frac{0.0494}{4} = 0.723$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.723$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.723 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.631$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

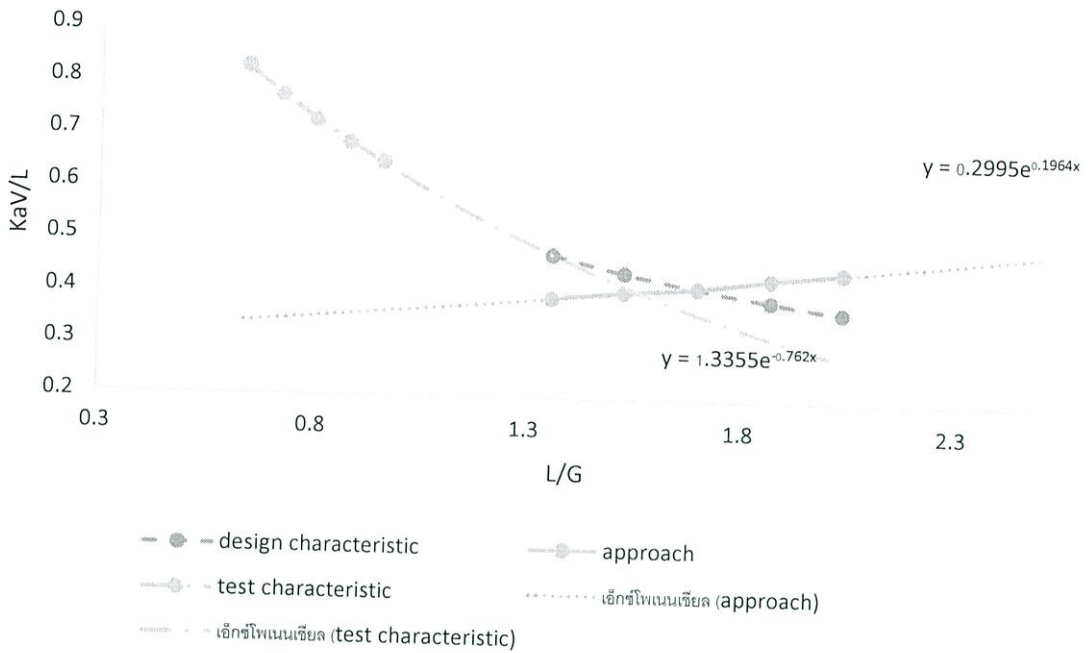
$$\frac{KaV}{L} = 0.631 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	0.826
90	0.718	0.770
100	0.798	0.723
110	0.878	0.682
120	0.958	0.647

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °c และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.560, 0.407) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 1.560$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{1.560}{1.698} \times 100 = 91.87 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 36}{50 - 27} \times 100\% = 60.87 \%$$

ที่หอบรรยายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.11 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 35^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 36.5^{\circ}\text{C}$	139.20	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 90.03$	49.17	0.0203
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41^{\circ}\text{C}$	174.57	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 105.04$	69.53	0.0144
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44^{\circ}\text{C}$	202.84	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 115.05$	87.79	0.0114
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.5^{\circ}\text{C}$	254.10	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 130.06$	124.04	0.0081
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 135.06$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0542

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(15) \frac{0.0542}{4} = 0.850$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.850$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.850 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.742$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปนสมการ 2.23 ได้เป็น

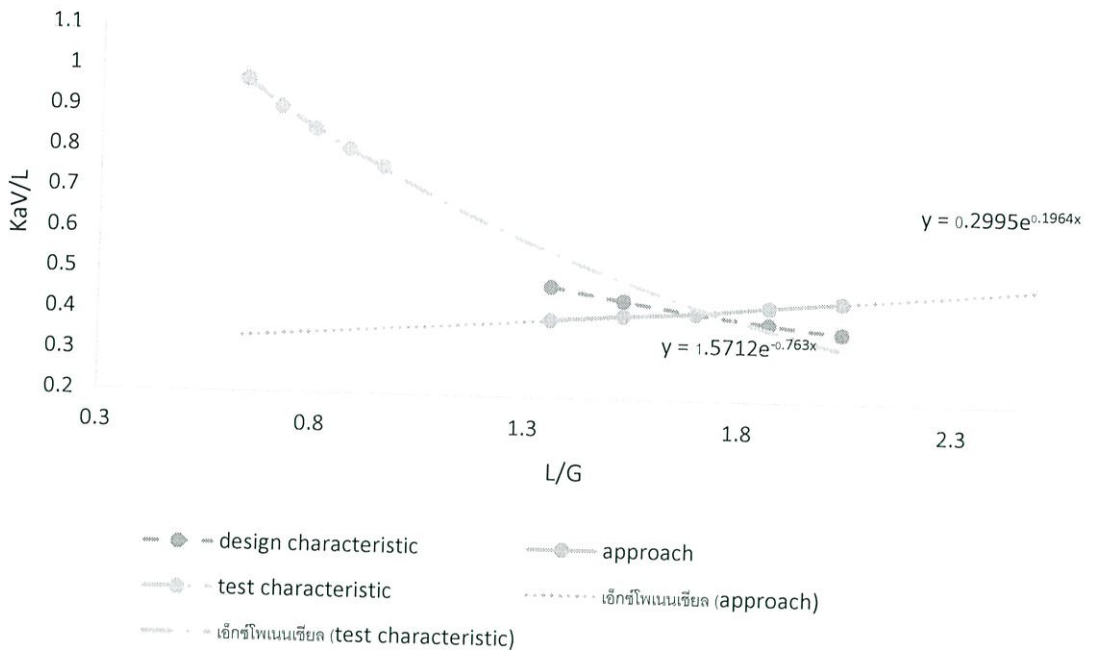
$$\frac{KaV}{L} = 0.742 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผง ขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	0.972
90	0.718	0.905
100	0.798	0.850
110	0.878	0.802
120	0.958	0.761

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.728, 0.420) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.728$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.728}{1.698} \times 100 = 101.77 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 35}{50 - 27} \times 100\% = 65.22 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 5 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 28 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	37.8	41.7	32.3
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	36.3	40.7	30.9
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	35.7	35.6	29.6
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	41	37	36

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.13 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 41^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 42.4^{\circ}\text{C}$	187.24	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 93.12$	94.12	0.0106
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 46.6^{\circ}\text{C}$	231.01	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 103.37$	127.64	0.0078
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 49.4^{\circ}\text{C}$	265.86	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 110.21$	155.65	0.0064
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.6^{\circ}\text{C}$	328.99	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 120.46$	208.53	0.0048
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 123.88$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0296

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{\text{L}}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(14) \frac{0.0296}{4} = 0.433$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.433$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.584$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.433 = C(0.584)^{-0.60}$$

$$C = 0.314$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

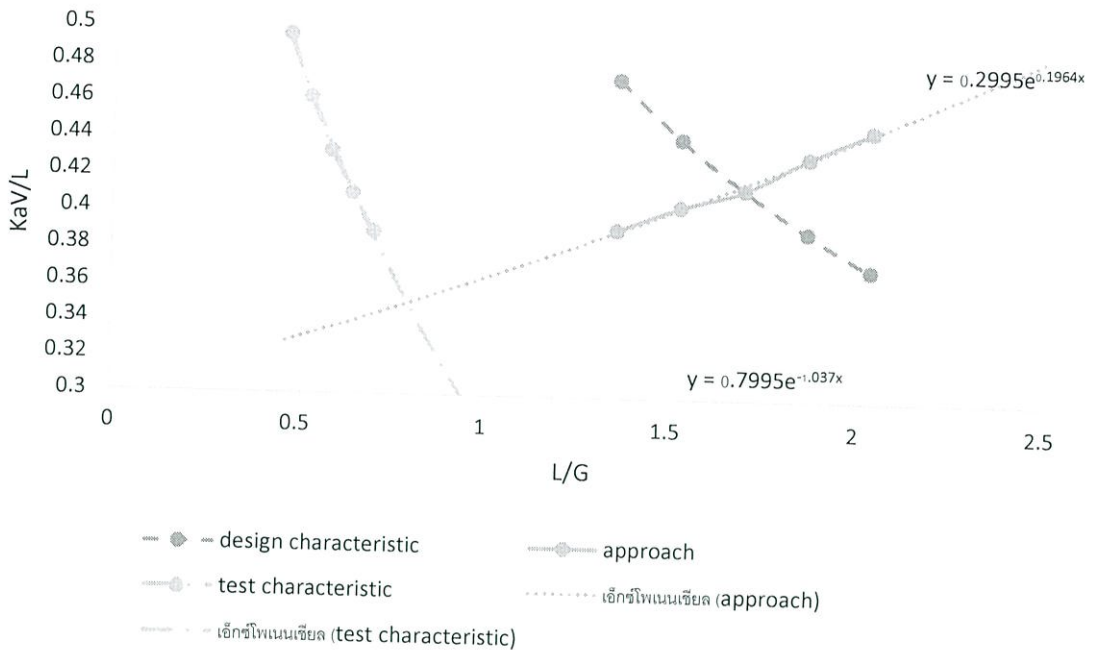
$$\frac{KaV}{L} = 0.314 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.467	0.496
90	0.526	0.462
100	0.584	0.433
110	0.642	0.410
120	0.701	0.389

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (0.796, 0.350) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 0.796$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{0.796}{1.698} \times 100 = 46.88 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 41}{55 - 28} \times 100\% = 51.85 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (l/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.15 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 37^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 38.8^{\circ}\text{C}$	156.32	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 95.70$	60.62	0.0165
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44.2^{\circ}\text{C}$	204.87	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 113.72$	91.15	0.0110
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 47.8^{\circ}\text{C}$	245.33	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 125.72$	119.61	0.0084
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.2^{\circ}\text{C}$	322.35	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 143.74$	178.61	0.0056
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 149.74$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0415

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{\text{L}}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(18) \frac{0.0415}{4} = 0.781$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.781$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.781 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.682$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

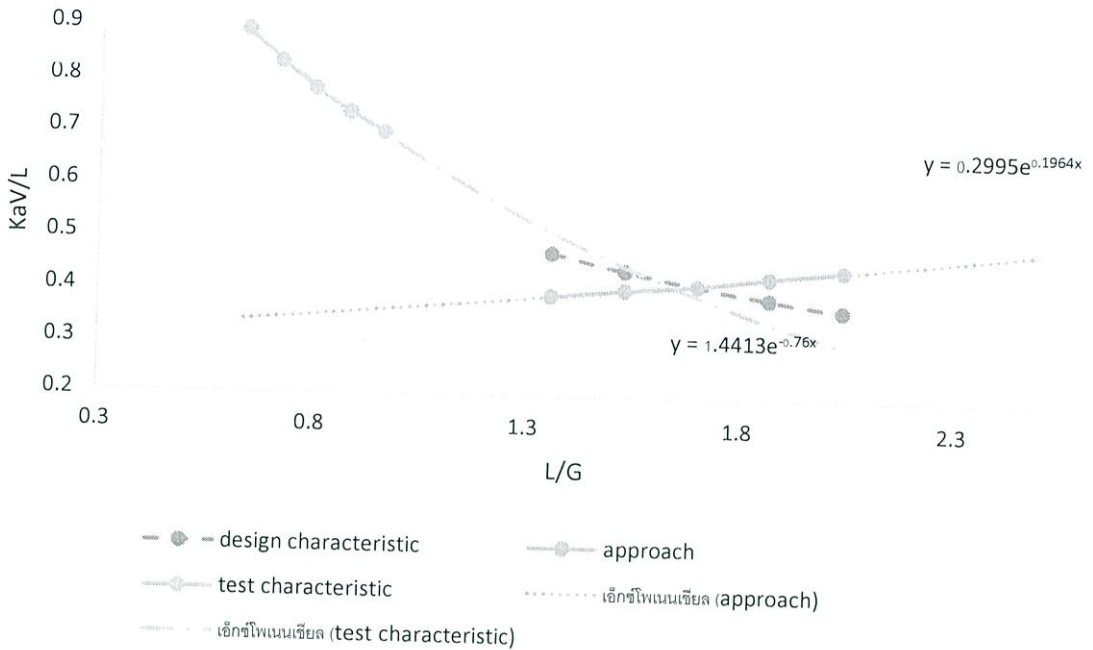
$$\frac{KaV}{L} = 0.682 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	0.893
90	0.718	0.832
100	0.798	0.781
110	0.878	0.737
120	0.958	0.700

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟไพโรซได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $55^{\circ}C$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟไพโรซเป็น (1.643, 0.414) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 1.643$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{1.643}{1.698} \times 100 = 96.76 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 37}{55 - 28} \times 100\% = 66.67 \%$$

ที่หอบรรยายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 5 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.083 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ 4.17 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 36^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 37.9^{\circ}\text{C}$	149.40	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.04$	53.36	0.0187
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43.6^{\circ}\text{C}$	198.82	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 115.05$	83.77	0.0119
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 47.4^{\circ}\text{C}$	240.46	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 127.73$	112.73	0.0089
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.1^{\circ}\text{C}$	320.72	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 146.74$	173.98	0.0058
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 153.08$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0453

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(19) \frac{0.0453}{4} = 0.899$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.899$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 0.798$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.899 = C(0.798)^{-0.60}$$

$$C = 0.785$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

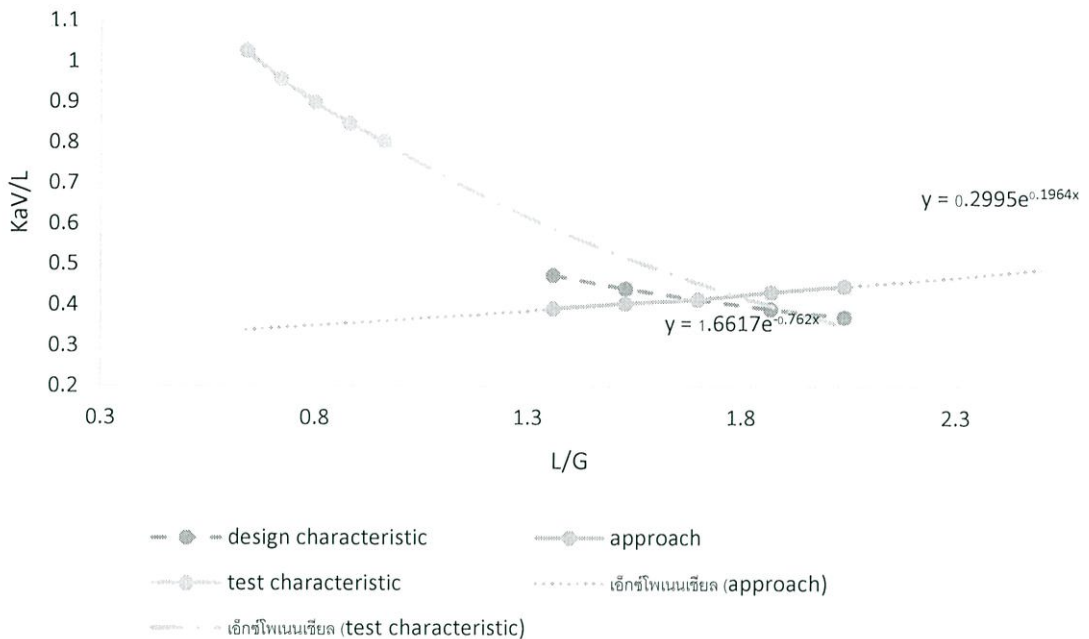
$$\frac{KaV}{L} = 0.785 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.638	1.028
90	0.718	0.958
100	0.798	0.899
110	0.878	0.849
120	0.958	0.805

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.788, 0.426) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.788$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.788}{1.698} \times 100 = 105.30\%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 36}{55 - 28} \times 100\% = 70.37\%$$

และผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนเท่ากับ 10 LPM และ 15 LPM จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ง.

4.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปค่าขีดความสามารถของหอยระบายความร้อนที่สภาวะต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.55

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงขีดความสามารถของหอยระบายความร้อนจากผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ

	หอยระบายความร้อนที่ 1			หอยระบายความร้อนที่ 2			หอยระบายความร้อนที่ 3		
อุณหภูมิน้ำขา เข้า (°C)	45	50	55	45	50	55	45	50	55
อัตราการไหล ของน้ำ 5 LPM	45.94	54.18	46.88	101.59	91.87	96.76	111.48	101.77	105.30
อัตราการไหล ของน้ำ 10 LPM	70.02	89.63	77.15	144.76	139.05	151.35	169.85	158.72	168.32
อัตราการไหล ของน้ำ 15 LPM	131.04	110.48	130.15	225.15	185.22	202.71	225.15	211.72	229.09

จากผลการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิที่ทางเข้าหอยระบายความร้อนที่ต่างกันทำให้ค่าเอนทัลปีของแต่ละช่วงต่างกันส่งผลทำให้ค่าทดสอบ L/G เปลี่ยนไปซึ่งทำให้ค่าขีดความสามารถของหอยระบายความร้อนเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอยระบายความร้อนทำให้ค่าทดสอบ L/G ที่ได้เปลี่ยนไปจึงทำให้ขีดความสามารถของหอยระบายความร้อนเปลี่ยนตามไปด้วย และสุดท้ายแผงขยายฟิล์มน้ำจะทำให้ค่าทดสอบ KaV/L เปลี่ยนไป ส่งผลให้ขีดความสามารถของหอยระบายความร้อนที่บรรจุแผงขยายฟิล์มน้ำต่างชนิดกัน มีค่าต่างกัน และจากผลการทดลองสามารถสรุปค่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอยระบายความร้อนที่สภาวะต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.56

ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอยระบายความร้อนจากผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ

	หอยระบายความร้อนที่ 1			หอยระบายความร้อนที่ 2			หอยระบายความร้อนที่ 3		
อุณหภูมิน้ำขา เข้า (°C)	45	50	55	45	50	55	45	50	55
อัตราการไหลของน้ำ 5 LPM	44.44	52.17	51.85	61.11	60.87	66.67	66.67	65.22	70.37
อัตราการไหลของน้ำ 10 LPM	38.89	47.83	48.15	50.00	52.17	59.66	55.56	56.52	62.96
อัตราการไหลของน้ำ 15 LPM	44.44	43.48	51.85	50.00	47.83	55.56	50.00	52.17	59.26

จากผลการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนที่ต่างกันส่งผลให้เรจันของการลดลงของอุณหภูมิที่ได้มีค่าต่างกันจึงทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนเปลี่ยนไป จากอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนที่เปลี่ยนไปทำให้เวลาในการระบายความร้อนระหว่างน้ำสู่อากาศเปลี่ยนไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และสุดท้ายตัวแผงขยายฟิล์มน้ำจะช่วยให้หยดน้ำสามารถสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้นและมีเวลาในการระบายความร้อนสู่อากาศนานมากยิ่งขึ้น ซึ่งแผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรของแผงขยายฟิล์มน้ำ (Ka) ต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเปลี่ยนไป โดยแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นที่นำมาทดสอบนั้นสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าเนื่องจากมีค่า $Ka = 5.846$ ซึ่งมากกว่าแผงขยายฟิล์มน้ำแบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทที่มีค่า $Ka = 3.353$ ที่ความสูงของแผงขยายฟิล์มเดียวกันและปริมาตรเท่ากัน

บทที่ 5

สรุป

สรุปผล

หลังจากออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว เมื่อลองทำการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอบายความร้อนจาก 45 °C ไปเป็น 50 °C ทำให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนลดลงโดยเฉลี่ย 9.59 % ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.42 % และการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอบายความร้อนจาก 45 °C ไปเป็น 55 °C ทำให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนลดลงโดยเฉลี่ย 1.92 % ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 6.65 % จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอบายความร้อนนั้นแปรผกผันกับขีดความสามารถของหอบายความร้อน และอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่หอบายความร้อนยังแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนอีกด้วย

การเพิ่มอัตราการไหลจาก 5 LPM ไปเป็น 10 LPM จะมีผลทำให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนเพิ่มขึ้นมากที่สุดถึง 63.02 % และเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 45.90 % ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนมีค่าลดลงมากที่สุดอยู่ที่ 11.11 % และลดลงโดยเฉลี่ย 7.56 % การเพิ่มอัตราการไหลจาก 10 LPM ไปเป็น 15 LPM จะมีผลทำให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนเพิ่มขึ้นมากที่สุดถึง 80.39 % และเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 53.54 % ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนมีค่าลดลงมากที่สุดอยู่ที่ 5.56 % และลดลงโดยเฉลี่ย 1.86 % จึงสรุปได้ว่าอัตราการไหลของน้ำที่เข้าหอบายความร้อนแปรผันตรงกับขีดความสามารถของหอบายความร้อน และแปรผกผันกับประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อน

ปัจจัยสุดท้ายที่ศึกษาคือความแตกต่างของขีดความสามารถของหอบายความร้อนและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนที่แผงขยายฟิล์มน้ำต่างชนิดกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าแผงขยายฟิล์มน้ำแบบปะทะกระเซ็นที่นำมาทดสอบนั้นให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนสูงที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 164.60 % และ 59.86 % ตามลำดับ รองลงมาเป็นแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสซึ่งให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 148.72 % และ 55.94 % ตามลำดับ และหอบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำอยู่ภายในนั้นให้ขีดความสามารถของหอบายความร้อนและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบายความร้อนน้อยที่สุดซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 83.94 % และ 47.01 %

ข้อเสนอแนะ

การทดลองถูกออกแบบมาให้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนของ หอระบายความร้อน ที่แผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละชนิดซึ่งแผงขยายฟิล์มน้ำแต่ละชนิดยังมีแบบให้เลือก มากมายแยกย่อยไปอีก ในอนาคตจึงสามารถนำแผงขยายฟิล์มน้ำแบบอื่นมาศึกษาเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ได้รวมไปถึงการออกแบบแผงขยายฟิล์มน้ำขึ้นมาใหม่อีกด้วย

ชุดทดลองใช้การต่อท่อที่เป็นข้องอจำนวนมากรวมถึงตัวโรตاميเตอร์ ซึ่งเป็นแบบตั้งฉากกับ ท่ออีกด้วยทำให้มีการสูญเสียความดันจำนวนมาก ในอนาคตจึงควรเปลี่ยนมาใช้โรตاميเตอร์แบบ ขนานกับท่อและทำการวางแผนการเดินท่อใหม่เพื่อลดการสูญเสียความดันภายในท่อ

ตัวอ่านอุณหภูมิของน้ำบริเวณทางเข้าและทางออกหอระบายความร้อนนั้น สามารถอ่านค่า ของอุณหภูมิได้เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ถ้าหากเปลี่ยนตัวอ่านอุณหภูมิเป็นตัวอื่นที่สามารถอ่านค่าเป็น ทศนิยมได้ จะทำให้สามารถคำนวณประสิทธิภาพการระบายความร้อนและเปรียบเทียบความแตกต่าง ของประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนได้ละเอียดยิ่งขึ้น

ด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณทำให้มีตัววัดอุณหภูมิแค่ 2 จุดต่อหอระบายความร้อน 3 ตัว ซึ่ง ในอนาคตสามารถเพิ่มตัวอ่านอุณหภูมิเป็น 1 ชุดต่อหอระบายความร้อน 1 ตัว เพื่อความเที่ยงตรงใน การวัดผลและลดการสูญเสียความร้อนจากการเดินท่อลงทำให้คำนวณหาประสิทธิภาพการระบาย ความร้อนได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิระพล ฉายัษฐิต. (2546).คู่มือลิ่งทาวเวอร์. ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 1 (หน้า 148-163).
กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [2] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ (1). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2
(หน้า 66-72). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [3] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ (2). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2
(หน้า 73-78). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [4] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ (3) ใช้ในงานอุตสาหกรรม. ระบบปรับ
อากาศ ชุดที่ 2 (หน้า 79-83). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [5] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ (4) หลักพื้นฐานในการคำนวณ. ระบบ
ปรับอากาศ ชุดที่ 2 (หน้า 84-91). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [6] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ (5). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2
(หน้า 92-100). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [7] สมเกียรติ บุญผะ. (2553).การคำนวณเกี่ยวกับคู่มือลิ่งทาวเวอร์สำหรับโรงไฟฟ้า.
ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2 (หน้า 101-109). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [8] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ ภาคคำนวณ (1). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 4
(หน้า 109-118). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [9] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ ภาคคำนวณ (2). ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 4
(หน้า 119-131). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [10] มนตรี พิรุณเกษตร. (2553).คู่มือลิ่งทาวเวอร์ ภาคคำนวณ (7). ระบบปรับอากาศ
ชุดที่ 4 (หน้า 169-181). กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- [11] สมนึก บุญพาไสว. (2550).เทอร์โมคัปเปิล. การวัดและเครื่องมือวัด (หน้า 238-245).
กรุงเทพฯ: ท้อป.
- [12] ชูชัย ต. ศิริวัฒนา. (2546).หน้าที่และการทำงานของหอทำความเย็น
(*cooling tower*). การทำความเย็นและการปรับอากาศ (หน้า 189-204).กรุงเทพฯ:
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [13] สมศักดิ์ กิตติวุฒิสระชฐ์. (2542). เครื่องมือวัด Flow แบบโรตารีมิเตอร์. หลักการและ
การใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม (หน้า 36-1 – 36-10). พิมพ์ครั้งที่ 14
กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [14] สมศักดิ์ กิตติวุฒิสระชฐ์. (2542). หลักการและแบบของเทอร์โมคัปเปิล. หลักการและ
การใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม (หน้า 2-1 – 2-15). พิมพ์ครั้งที่ 14. กรุงเทพฯ:
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

- [15] R.S. Khurmi, J.K. Gupta. **A textbook of Refrigeration and Air Conditioning**. New Delhi : Eurasia Publishing House (P) Ltd., Inc.2011.
- [16] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. **Thermodynamics: An Engineering Approach**. 6th ED. New York : McGraw-Hill Education, Inc.2008.
- [17] https://www.alibaba.com/product-detail/Cooling-Tower-Filter-Cooling-TowerPvc_60117124332.html?spm=a2700.7724857.main07.111.169e6413RFu6RL
- [18] www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC4511001.pdf
- [19] <http://industrialpumps-tsy.blogspot.com/2013/09/pipe-friction-losses.html>
- [20] <http://irre.ku.ac.th/v5/pdf/books/thandon/FluidMechanics.pdf>
- [21] <https://www.hipurify.com/product/92/flow-meter-z-3003-เครื่องวัดอัตราการไหล-วัดได้-2-10gpm-5-40lpm-เกลียวนอก-3-4-นิ้ว-6-ทวน>
- [22] https://www.brentwoodindustries.com/cooling-tower/counterflow-hybrid-fills-splash-packs/?model_type=3483
- [23] <http://vfix365.us/psychrometric-chart-pdf.html>

ภาคผนวก

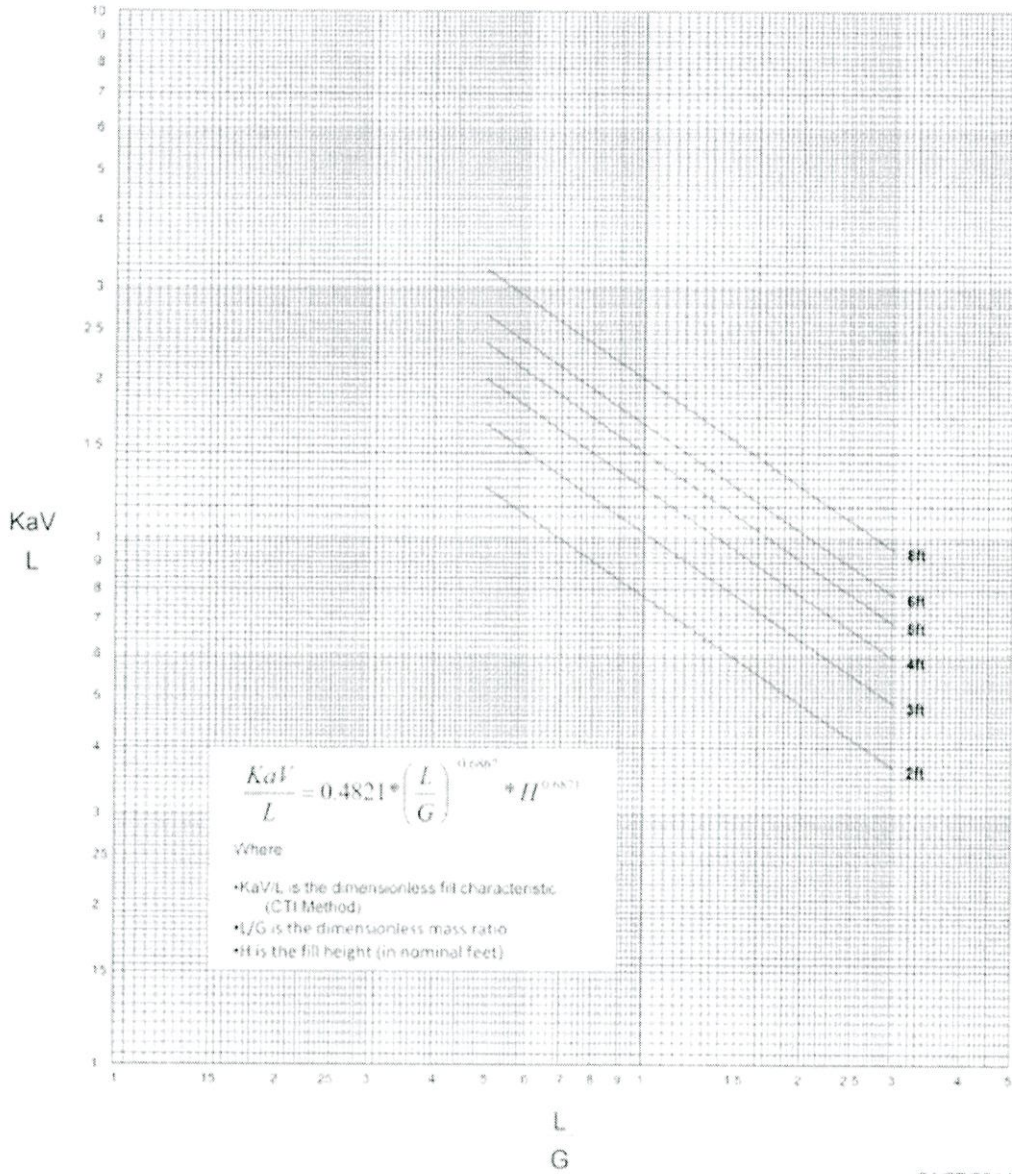
ภาคผนวก ก.
เอกสารอื่นที่ใช้ประกอบการคำนวณ

รูปที่ ก.1 กราฟแสดงค่า KaV/L ของแผงขยายฟิล์มชนิดปะทะกระเซ็นยี่ห้อ Brentwood รุ่น HTP-25 [22]

BRENTWOOD
INDUSTRIES

HTP-25

Brentwood Test Cell Data (Cell A)



ภาคผนวก ข.

รูปภาพชุดการทดลองที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง

รูปที่ ข.1 รูปภาพชุดการทดลอง



ภาคผนวก ค.
เอกสารประกอบการทดลอง

การทดลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนที่แผงขยายฟิล์มน้ำต่างชนิดกัน (thermal efficiency of cooling tower with different cooling tower fills)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาระบบการทำงานของหอระบายความร้อน และศึกษาปัจจัยบางส่วนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อน อันได้แก่ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อน, อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อน และแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดต่างๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์แนวโน้มการลดลงของอุณหภูมิภายในระบบหอระบายความร้อน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ได้

หลักการการทำงานของหอระบายความร้อน

หอระบายความร้อนมีหลักการที่สามารถอธิบายได้โดยง่าย คือหอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้ โดยการฉีบน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้กระจายไปเป็นละอองเล็กๆ หรือปล่อยให้ น้ำ ค่อยๆ หยดลงไปเป็นหยดเล็กๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Fill) ละอองน้ำเล็กๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำและก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันนั้นบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำแฝงในอากาศเพราะอากาศเองยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัวน้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มขึ้นได้อีก ซึ่งกระบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้จำเป็นต้องใช้ความร้อนดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวจึงดึงความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ คูลลิ่งทาวเวอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะช่วยในการเร่งขบวนการการลดอุณหภูมิของคูลลิ่งทาวเวอร์อันได้แก่

1. การแตกตัวเป็นฝอยของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น
2. การเพิ่มเนื้อที่การถ่ายเทความร้อน (wetted surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากยิ่งขึ้น
3. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณของอากาศ

โดยคูลลิ่งทาวเวอร์สามารถแยกประเภทได้หลักๆ 2 ประเภท ตามลักษณะการไหลของอากาศได้แก่

คูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ (natural draft) และคูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล (mechanical draft) โดยคูลลิ่งทาวเวอร์ชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล

แบ่งเป็นประเภทย่อยๆได้อีก 4 ประเภทได้แก่ คุลลิ่งทาวเวอร์แบบเป่าอากาศเข้า (forced draft) , คุลลิ่งทาวเวอร์แบบดูดอากาศออก

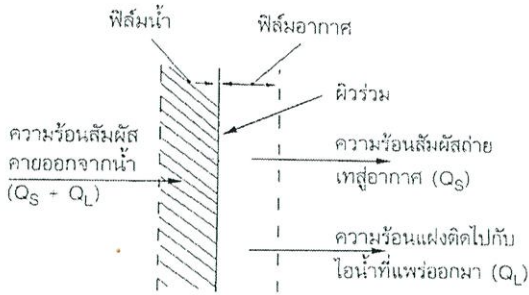
(induced draft) , คุลลิ่งทาวเวอร์แบบอากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน (cross flow) และคุลลิ่งทาวเวอร์แบบอากาศและน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน (counter flow) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เราเลือกทำชุดการทดลองที่เป็น คุลลิ่งทาวเวอร์ชนิดดูดอากาศออกและอากาศกับน้ำเคลื่อนที่สวนทางกัน (induced draft and counter flow cooling tower) โดยคุลลิ่งทาวเวอร์ประเภทนี้จะใช้อากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล กล่าวคือจะมีการใช้ พัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจายน้ำ ทำให้อากาศเคลื่อนไหวได้ด้วยความเร็วที่สูงกว่าคุลลิ่งทาวเวอร์ประเภทอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ จึงทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า และยังสามารถลดขนาดของคุลลิ่งทาวเวอร์ลงได้อีกด้วย

ซึ่งปกติแล้วคุลลิ่งทาวเวอร์ชนิดที่ผู้วิจัยเลือกมาทำเป็นชุดทดลองนั้น น้ำร้อนจะไหลเข้าด้านบนของแผงขยายฟิล์มและไหลลงสู่ด้านล่างของแผงขยายฟิล์ม จึงทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ ตามทฤษฎีจะต้อง ทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า จุดสิ้นสุดการถ่ายโอนความร้อน

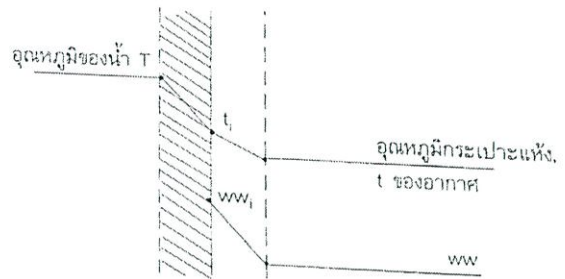
ในทางปฏิบัติแล้วอุณหภูมิของน้ำจะลดลงไม่ถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้น และเมื่ออุณหภูมิของน้ำนั้น สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ถ้าน้ำยังคงอยู่ในแผงขยายฟิล์ม น้ำนั้นจะถูกทำให้เย็นลงต่อไปจนกระทั่งน้ำไหลออกจากแผงขยายฟิล์ม แต่ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของน้ำทางออกของแผงขยายฟิล์มยังคงสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศอยู่ดี ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคุลลิ่งทาวเวอร์นั้นด้วย โดยสาเหตุที่มีผลทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวล (การระเหยตัวของน้ำ) ซึ่งก็คือ มีศักย์ขับเคลื่อนความร้อน (driving force) เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับอากาศ โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดศักย์ขับเคลื่อนความร้อนก็คือ

1. อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งจะกำหนดใช้อุณหภูมิที่ผิวร่วม และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังในรูปที่ 1 (ข) ศักย์ขับเคลื่อนความร้อนสัมผัสก็คือ $(t_i - t)$ จึงทำให้ความร้อนสัมผัส (Q_s) ถ่ายโอนจากผิวร่วมสู่อากาศ ดังในรูปที่ 1 (ก)

2. ความแตกต่างระหว่างความดันไอของอากาศที่ผิวร่วมและความดันไอของอากาศ หรือจะใช้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ผิวร่วม (ω_i) และอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอกผิวร่วม (ω) ดังในรูปที่ 1 (ข) ศักย์ขับเคลื่อนความร้อนแฝงก็คือ ($\omega_i - \omega$) จึงทำให้ความร้อนแฝงติดไปกับไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผิวร่วม (Q_L) และเข้าสู่อากาศ



(ก) สมดุลพลังงานที่ผิวร่วม



(ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นที่ผิวร่วม

รูปที่ 1 การถ่ายโอนความร้อนข้ามผิวร่วมระหว่างอากาศกับน้ำเมื่ออุณหภูมิของน้ำ (T) สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (t)

การคำนวณพื้นฐานของหอระบายความร้อน

1. ประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน เนื่องจากตามทฤษฎีน้ำที่บริเวณทางออกของหอระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ แต่ในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิบริเวณทางออกของหอระบายความร้อนยังคงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศบรรยากาศอยู่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนสามารถคำนวณได้จาก อัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดของน้ำที่เข้าและออกจากหอระบายความร้อน ต่อความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\%$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน (%)

t_{c1} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางเข้าของหอระบายความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

t_{c2} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางออกของหอระบายความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

t_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดวาล์วของหอระบายความร้อนที่ 1 จากนั้นทำการเปิดการทำงานของปั้มน้ำให้น้ำไหลตามวัฏจักรการทำงานและทำการเปิดการทำงานของฮีตเตอร์
2. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิที่ 45 °c และปรับวาล์วที่อยู่ก่อนเข้ากล่องฮีตเตอร์ให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าเท่ากับ 5 LPM
3. รอจนอุณหภูมิน้ำเข้าคังที่หลังจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิแต่ละจุดภายในทาวเวอร์และวัดอุณหภูมิน้ำขาออก
4. รอจนอุณหภูมิแต่ละจุดคงที่และทำการบันทึกผล
5. ทำการทดลองขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 โดยทดลองในสภาวะที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้ามีค่าเท่ากับ 50 °c และ 55 °c ตามลำดับ
6. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอน 2 ถึง 5 ซ้ำอีกครั้งโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเป็น 10 LPM และ 15 LPM
7. นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแต่ละจุดกับอุณหภูมิแต่ละจุด
8. ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน จากสมการดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\%$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของหอระบายความร้อน (%)

t_{c1} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางเข้าของหอระบายความร้อน (°c)

t_{c2} คือ อุณหภูมิของน้ำที่บริเวณทางออกของหอระบายความร้อน (°c)

t_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่บรรยากาศ (°c)

9. นำค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์มาเปรียบเทียบกันหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ...5 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..10 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..15 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ...5 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..10 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคุณลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคุณลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..15 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ...5 LPM....

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูคลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูคลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..10 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตารางบันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : ..15 LPM...

วันที่ทำการทดลอง : / /

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูคลิ่งทาวเวอร์ :

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูคลิ่งทาวเวอร์ :

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)			
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)			
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)			

วาดกราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในแต่ละทาวเวอร์หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหอระบายความร้อนและภาระของหอระบายความร้อนของแต่ละทาวเวอร์พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผล

ตัวอย่างบันทึกผลการทดลองและการคำนวณ

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 5 LPM.

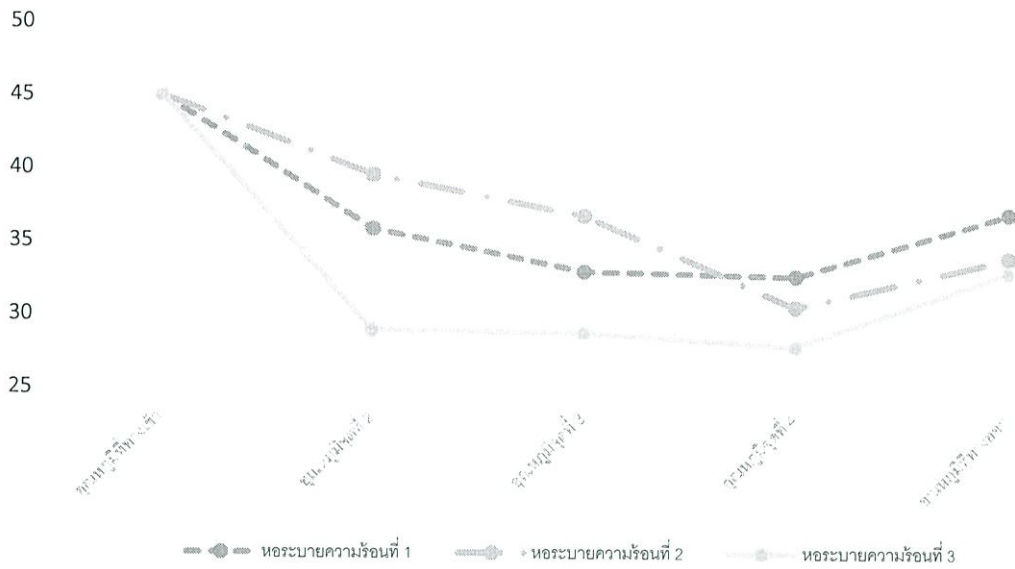
วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 30.5 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	35.9	39.6	29
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	33	36.8	28.8
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	32.7	30.6	27.9
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	37	34	33

กราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในหอระบายความร้อนแต่ละตัว



ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

หอระบายความร้อนที่ 1

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 37}{45 - 27} \times 100\% = 44.44\%$$

หอระบายความร้อนที่ 2

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 34}{45 - 27} \times 100\% = 61.11\%$$

หอระบายความร้อนที่ 3

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 33}{45 - 27} \times 100\% = 66.67\%$$

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่หอระบายความร้อนเท่ากับ 10 LPM
และ 15 LPM

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 10 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	34.2	37.5	34.6
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	33.8	36	34.2
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	31.9	35.4	33.4
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	38	36	35

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.1 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 38^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 38.7^{\circ}\text{C}$	155.54	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 88.45$	67.06	0.0149
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 40.8^{\circ}\text{C}$	172.83	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 98.71$	74.12	0.0135
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42.2^{\circ}\text{C}$	185.37	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 105.55$	79.82	0.0125
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.3^{\circ}\text{C}$	205.90	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 115.81$	90.09	0.0111
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 119.23$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0520

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{test} = (4.18)(7) \frac{0.052}{4} = 0.380$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{test} = 0.380$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{test} = 1.169$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.380 = C(1.169)^{-0.60}$$

$$C = 0.417$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

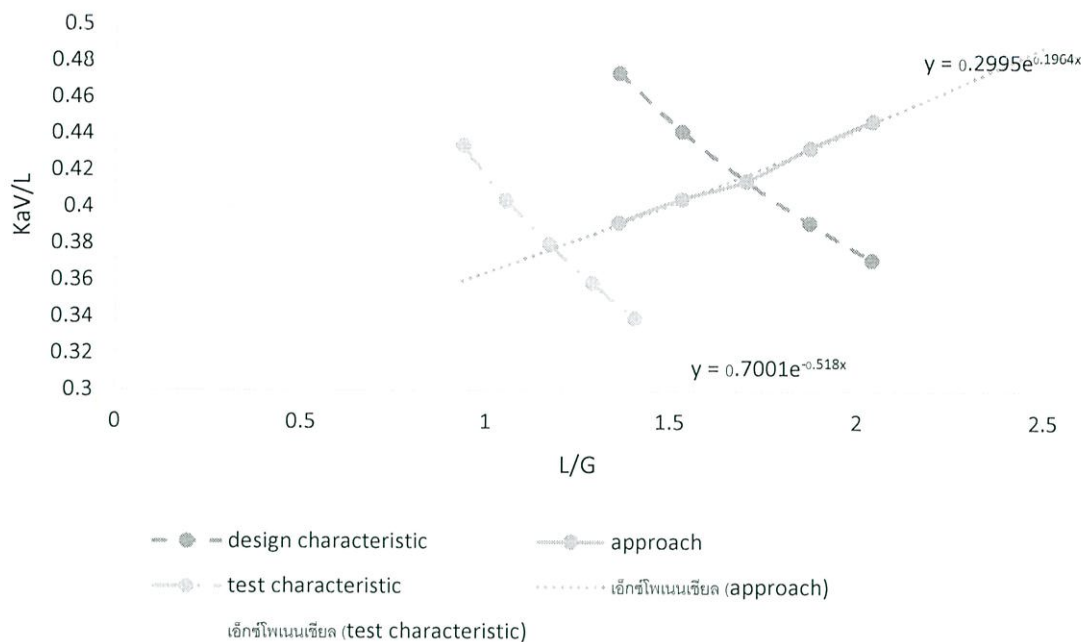
$$\frac{KaV}{L} = 0.417 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.935	0.434
90	1.052	0.404
100	1.169	0.380
110	1.286	0.359
120	1.403	0.340

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟไพโรซได้ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหორะบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอรบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟไพโรซเป็น (1.189, 0.378) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.189$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.189}{1.698} \times 100 = 70.02 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 38}{45 - 27} \times 100\% = 38.89 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.3 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w (°C)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 36$ °C	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 36.9$ °C	142.05	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 91.03$	51.02	0.0196
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 39.6$ °C	162.73	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 109.05$	53.68	0.0186
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.4$ °C	178.10	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 121.05$	57.05	0.0175
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.1$ °C	203.85	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 139.07$	64.78	0.0154
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45$ °C	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 145.07$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0711

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{test}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{test} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(9) \frac{0.0711}{4} = 0.669$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.669$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

ดังนี้

$$0.669 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 0.886$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

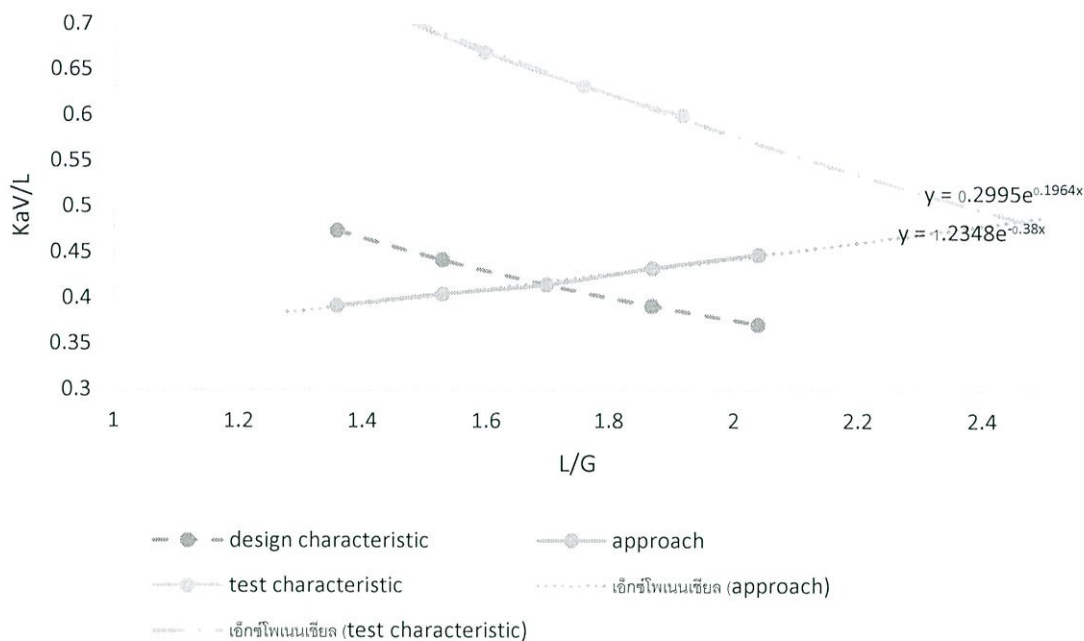
$$\frac{KaV}{L} = 0.886 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.4 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.277	0.765
90	1.436	0.713
100	1.596	0.669
110	1.756	0.632
120	1.915	0.600

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพไรซ์ได้ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหორบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ ชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอรบายความร้อนเท่ากับ 45°C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพไรซ์เป็น (2.458, 0.485) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.458$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.458}{1.698} \times 100 = 144.76 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 36}{45 - 27} \times 100\% = 50 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.5 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 35^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 36^{\circ}\text{C}$	135.72	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 91.70$	44.02	0.0227
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 39^{\circ}\text{C}$	157.90	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 111.72$	46.18	0.0216
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41^{\circ}\text{C}$	174.57	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 125.05$	49.52	0.0202
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44^{\circ}\text{C}$	202.84	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 145.07$	57.77	0.0173
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 151.74$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0818

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{test}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{test} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(10) \frac{0.0818}{4} = 0.855$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{\text{KaV}}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = 0.855$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.855 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 1.132$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

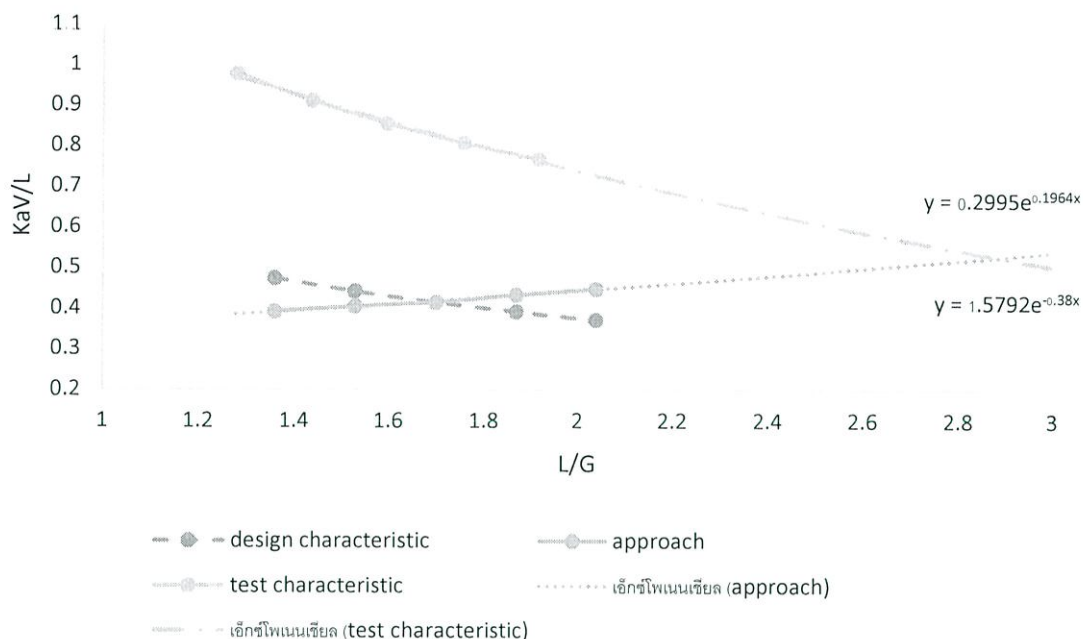
$$\frac{\text{KaV}}{L} = 1.132 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.6 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผง
ขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ
45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.277	0.978
90	1.436	0.911
100	1.596	0.855
110	1.756	0.807
120	1.915	0.767

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพไรซ์ได้ดังรูปที่ ๓.3



รูปที่ ๓.3 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพไรซ์เป็น (2.884, 0.528) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.884$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.884}{1.698} \times 100 = 169.85 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 35}{45 - 27} \times 100\% = 55.56 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 10 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	37.1	38.9	37.4
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	36.3	38.5	35.7
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	35.8	38.1	36
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	39	38	37

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.7 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดย

อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ

10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 39\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	166.87	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 90.40$	76.47	0.0131
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	196.84	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 106.53$	90.31	0.0111
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.6\text{ }^{\circ}\text{C}$	219.73	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 117.28$	102.45	0.0098
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.9\text{ }^{\circ}\text{C}$	259.26	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 133.40$	125.86	0.0079
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 138.78$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0419

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(11) \frac{0.0419}{4} = 0.482$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.482$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.169$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.482 = C(1.169)^{-0.60}$$

$$C = 0.529$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

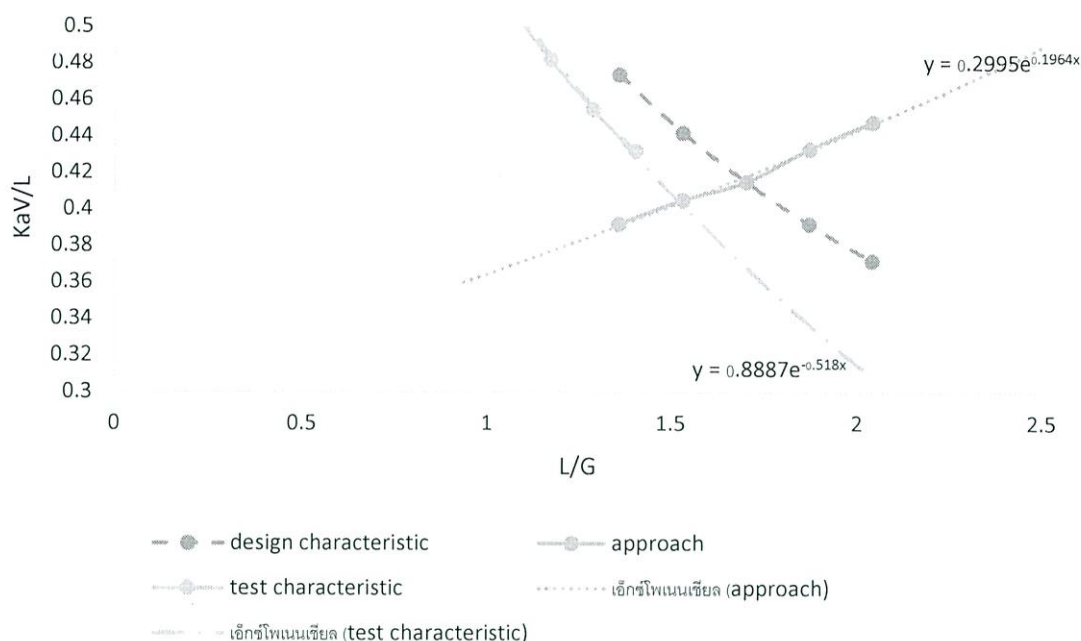
$$\frac{KaV}{L} = 0.529 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.8 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.935	0.551
90	1.052	0.513
100	1.169	0.482
110	1.286	0.455
120	1.403	0.432

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.4 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.522, 0.404) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.522$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.522}{1.698} \times 100 = 89.63 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 39}{50 - 27} \times 100\% = 47.83 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.9 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 38^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 39.2^{\circ}\text{C}$	159.50	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 93.04$	66.46	0.0150
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42.8^{\circ}\text{C}$	191.02	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 117.05$	73.97	0.0135
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.2^{\circ}\text{C}$	215.38	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 133.06$	82.32	0.0121
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.8^{\circ}\text{C}$	257.96	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 157.07$	100.89	0.0099
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 165.08$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0505

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(12) \frac{0.0505}{4} = 0.633$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.633$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.633 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 0.838$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

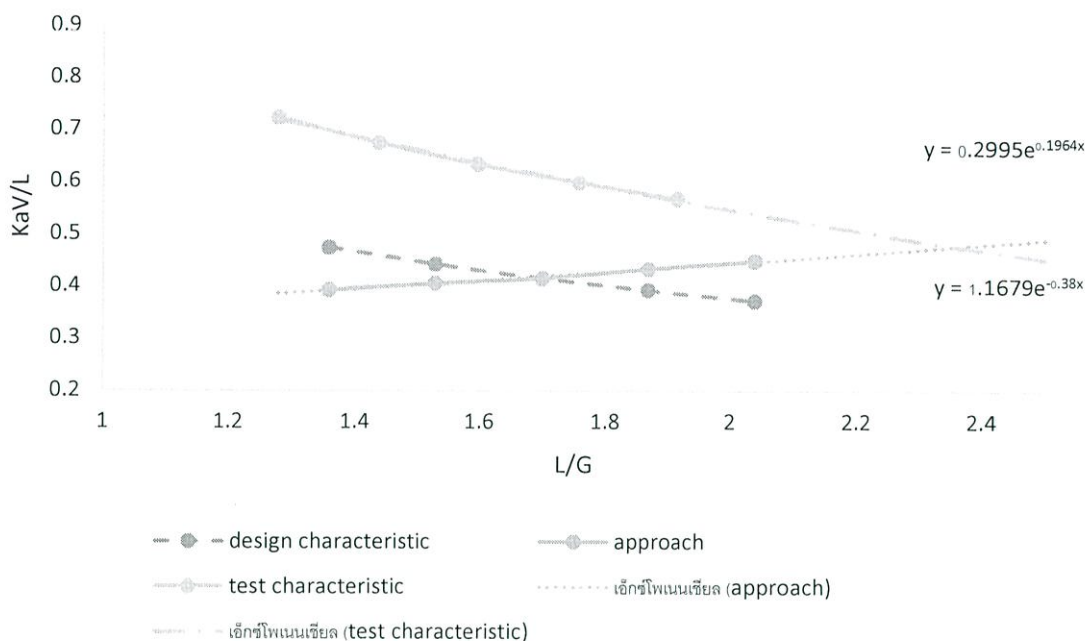
$$\frac{KaV}{L} = 0.838 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.10 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.278	0.723
90	1.437	0.674
100	1.596	0.633
110	1.757	0.598
120	1.915	0.567

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพไรซ์ได้ดังรูปที่ ๓.5



รูปที่ ๓.5 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ ชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพไรซ์เป็น (2.361, 0.476) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.361$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.361}{1.698} \times 100 = 139.05 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 38}{50 - 27} \times 100\% = 52.17 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.11 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 37^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 38.3^{\circ}\text{C}$	152.44	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 93.70$	58.74	0.0170
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42.2^{\circ}\text{C}$	185.37	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 119.72$	65.65	0.0152
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44.8^{\circ}\text{C}$	211.11	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 137.07$	74.04	0.0135
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.7^{\circ}\text{C}$	256.67	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 163.09$	93.58	0.0107
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 171.76$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0564

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(13) \frac{0.0564}{4} = 0.766$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.766$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.766 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 1.014$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

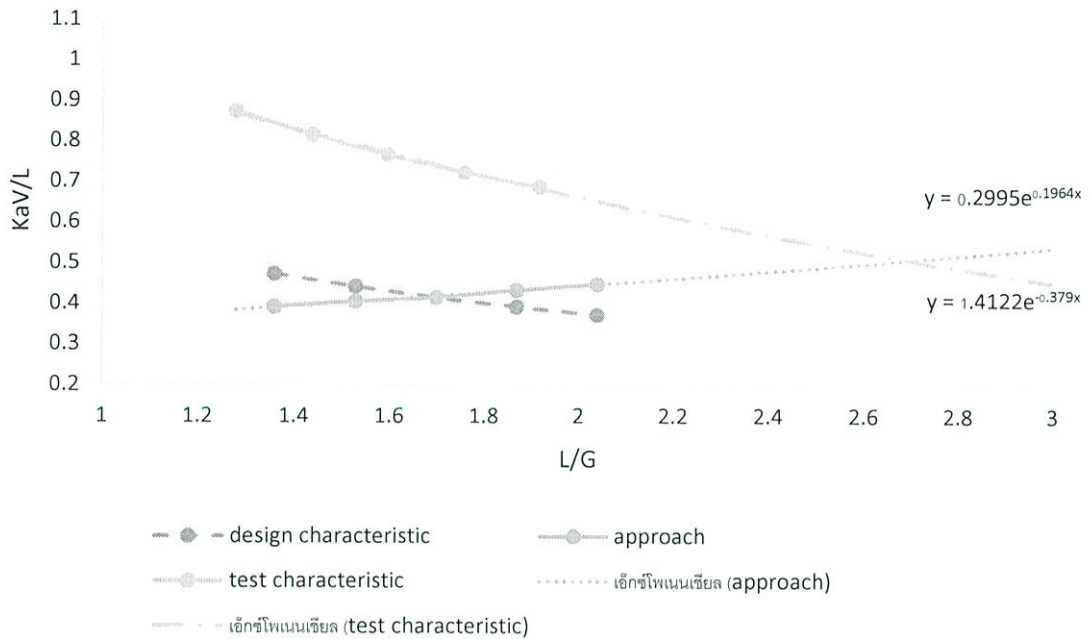
$$\frac{KaV}{L} = 1.014 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.12 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.278	0.875
90	1.437	0.816
100	1.596	0.766
110	1.757	0.723
120	1.915	0.687

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.6



รูปที่ ง.6 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหორบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอรบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (2.695, 0.508) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.695$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.695}{1.698} \times 100 = 158.72 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 37}{50 - 27} \times 100\% = 56.52 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 10 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 28 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการ ทดลอง	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
ค่าคุณสมบัติต่างๆ			
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	42.2	40.2	39.4
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	36.3	39.7	38.3
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	35.9	37.9	37.5
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	42	39	38

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.13 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w (°C)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 42$ °C	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 43.3$ °C	195.86	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.05$	99.81	0.0100
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 47.2$ °C	238.06	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 115.11$	122.95	0.0081
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 49.8$ °C	271.27	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 127.81$	143.46	0.0070
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.7$ °C	330.67	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 146.87$	183.80	0.0054
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55$ °C	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 153.22$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0305

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(13) \frac{0.0305}{4} = 0.414$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.414$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.169$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.414 = C(1.169)^{-0.60}$$

$$C = 0.455$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปนสมการ 2.23 ได้เป็น

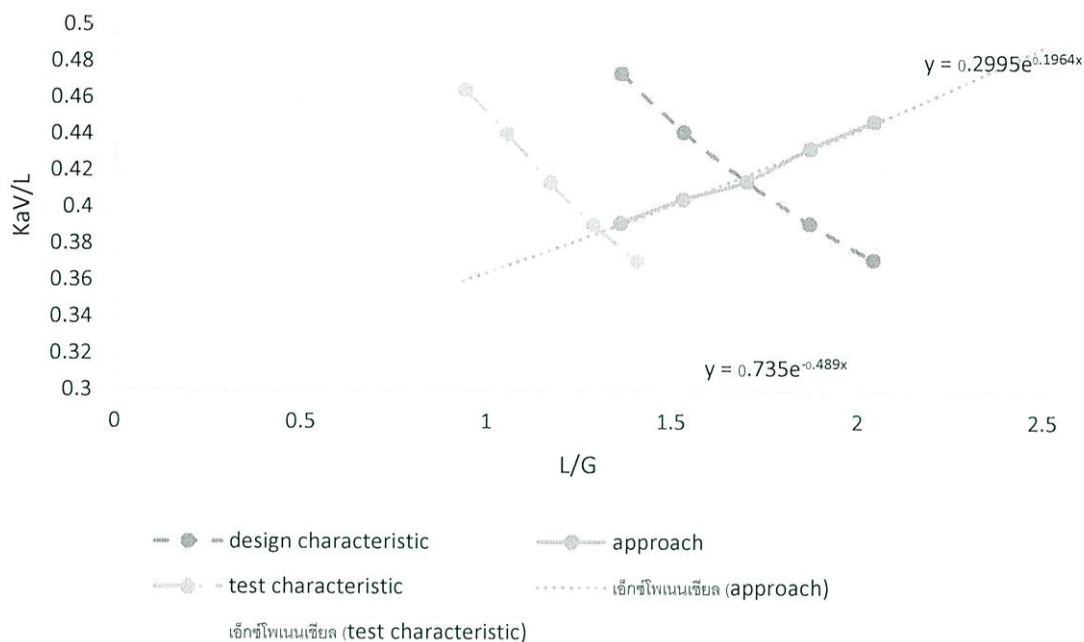
$$\frac{KaV}{L} = 0.455 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.14 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	0.935	0.465
90	1.052	0.441
100	1.169	0.414
110	1.286	0.391
120	1.403	0.371

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.7



รูปที่ ง.7 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอรบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอรบายความร้อนเท่ากับ 55 °c และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.310, 0.387) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 1.310$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{1.310}{1.698} \times 100 = 77.15 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอรบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 42}{55 - 28} \times 100\% = 48.15 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.15 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 39^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.6^{\circ}\text{C}$	171.10	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 100.37$	70.73	0.0141
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.4^{\circ}\text{C}$	217.55	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 132.40$	85.15	0.0117
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 48.6^{\circ}\text{C}$	255.38	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 153.74$	101.64	0.0098
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.4^{\circ}\text{C}$	325.66	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 185.77$	139.89	0.0071
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 196.44$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0427

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(16) \frac{0.0427}{4} = 0.714$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.714$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.714 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 0.945$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

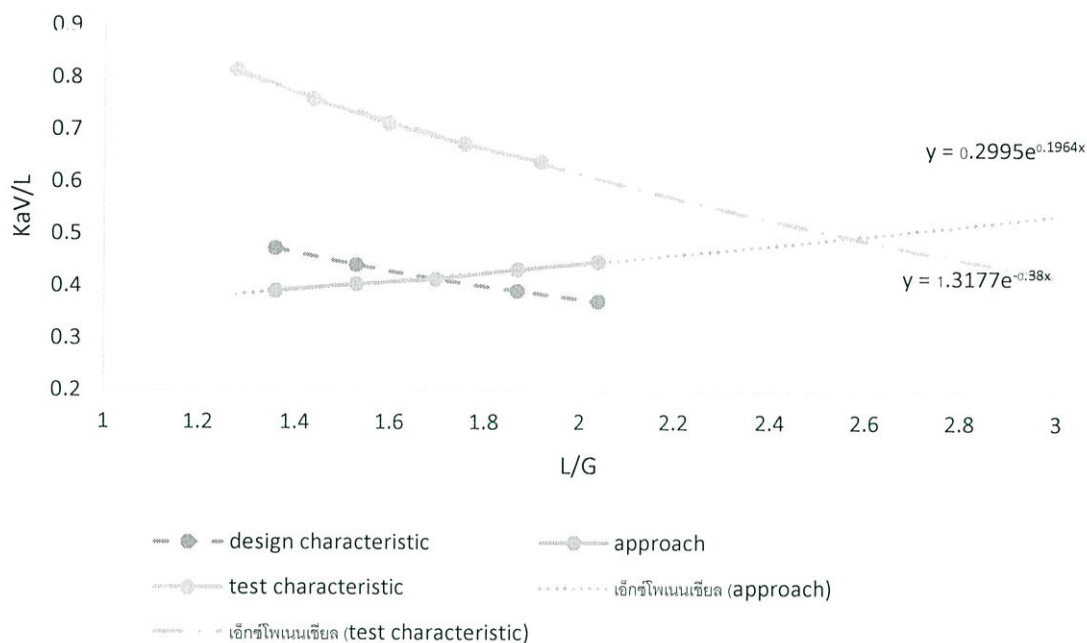
$$\frac{KaV}{L} = 0.945 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.16 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผง ขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอบายความร้อน เท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.278	0.816
90	1.437	0.760
100	1.596	0.714
110	1.757	0.674
120	1.915	0.640

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟไพโรซได้ดังรูปที่ ง.8



รูปที่ ง.8 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟไพโรซเป็น (2.570, 0.496) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.570$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.570}{1.698} \times 100 = 151.35 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 39}{55 - 28} \times 100\% = 59.26 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 10 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.166 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.17 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 10 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 38^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 39.7^{\circ}\text{C}$	163.55	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 101.04$	62.51	0.0160
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44.8^{\circ}\text{C}$	211.11	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 135.06$	76.05	0.0131
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 48.2^{\circ}\text{C}$	250.30	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 157.74$	92.56	0.0108
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.3^{\circ}\text{C}$	324.00	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 191.77$	132.23	0.0076
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 203.11$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0475

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(17) \frac{0.0475}{4} = 0.844$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.844$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.596$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.844 = C(1.596)^{-0.60}$$

$$C = 1.117$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

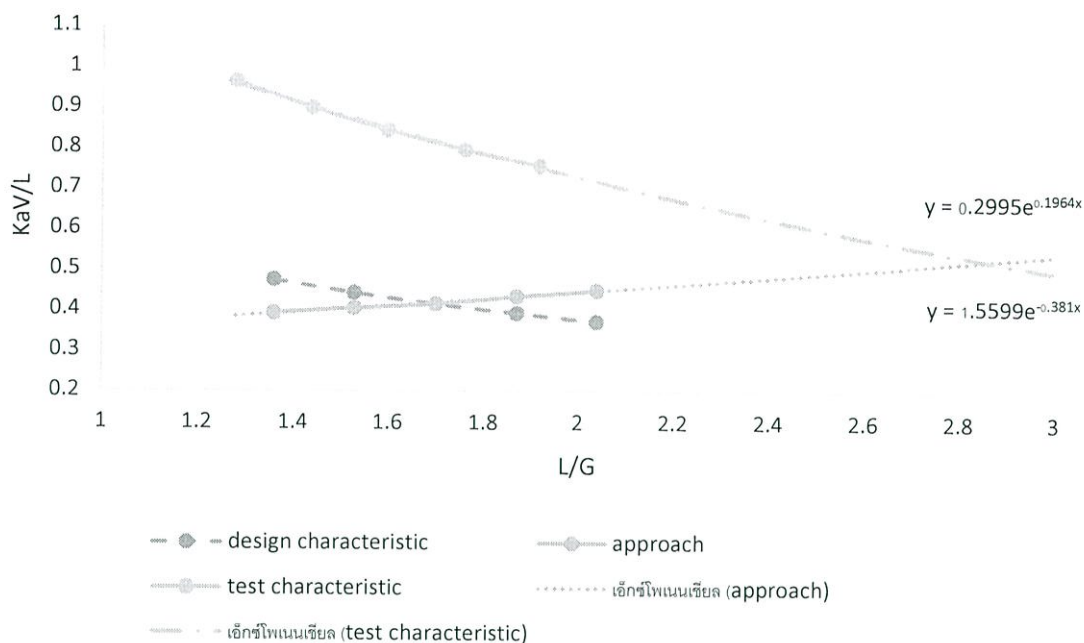
$$\frac{KaV}{L} = 1.117 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.18 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.278	0.964
90	1.437	0.899
100	1.596	0.844
110	1.757	0.796
120	1.915	0.756

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรซได้ดังรูปที่ ง.9



รูปที่ ง.9 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรซเป็น (2.858, 0.525) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.858$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.858}{1.698} \times 100 = 168.32 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 38}{55 - 28} \times 100\% = 62.96 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 15 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	45	45	45
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	35.5	35.1	34.9
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	33.3	35.4	35
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	33.2	32.8	34.6
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	37	36	36

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.19 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 37.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	148.65	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 90.87$	57.78	0.0173
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 40.2\text{ }^{\circ}\text{C}$	167.71	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 108.38$	59.33	0.0168
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.8\text{ }^{\circ}\text{C}$	181.70	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 120.07$	61.63	0.0162
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.2\text{ }^{\circ}\text{C}$	204.87	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 137.58$	67.29	0.0149
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 143.42$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0652

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(8) \frac{0.0652}{4} = 0.545$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.545$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.746$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.545 = C(1.746)^{-0.60}$$

$$C = 0.761$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

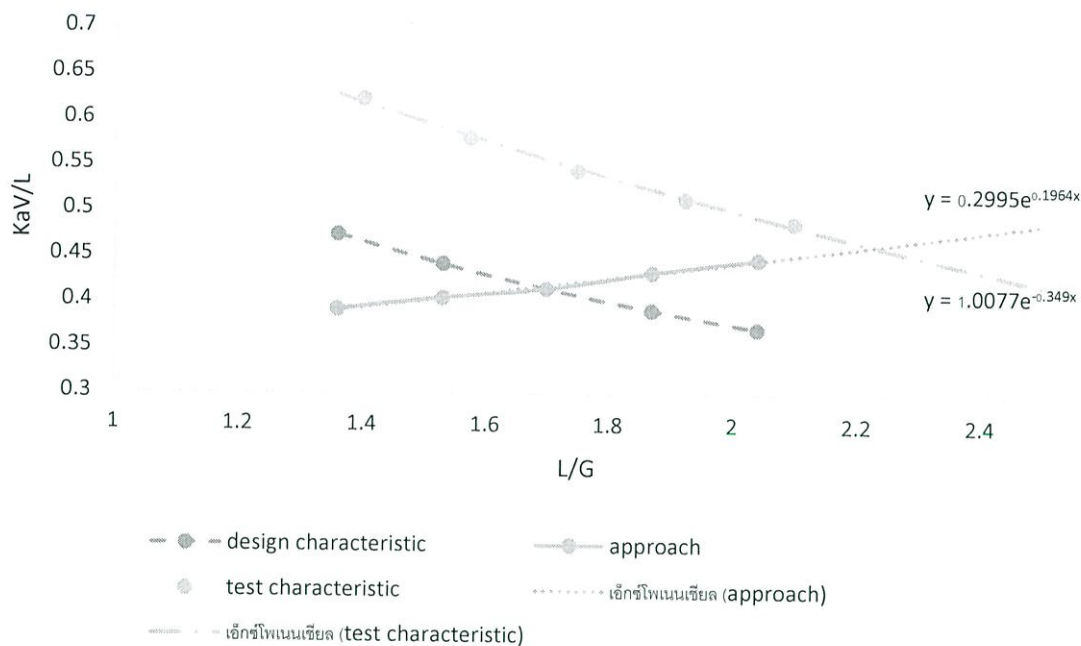
$$\frac{KaV}{L} = 0.761 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.20 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.397	0.623
90	1.571	0.580
100	1.746	0.545
110	1.921	0.514
120	2.095	0.488

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.10



รูปที่ ง.10 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (2.225, 0.464) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 2.225$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{2.225}{1.698} \times 100 = 131.04 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 37}{45 - 27} \times 100\% = 44.44 \%$$

ที่หอบรรยายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.21 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 36^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 36.9^{\circ}\text{C}$	142.05	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 94.00$	48.05	0.0208
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 39.6^{\circ}\text{C}$	162.73	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 120.92$	41.81	0.0239
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.4^{\circ}\text{C}$	178.10	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 138.86$	39.24	0.0255
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.1^{\circ}\text{C}$	203.85	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 165.78$	38.07	0.0263
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 174.75$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0965

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(9) \frac{0.0965}{4} = 0.908$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.908$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.908 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.530$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

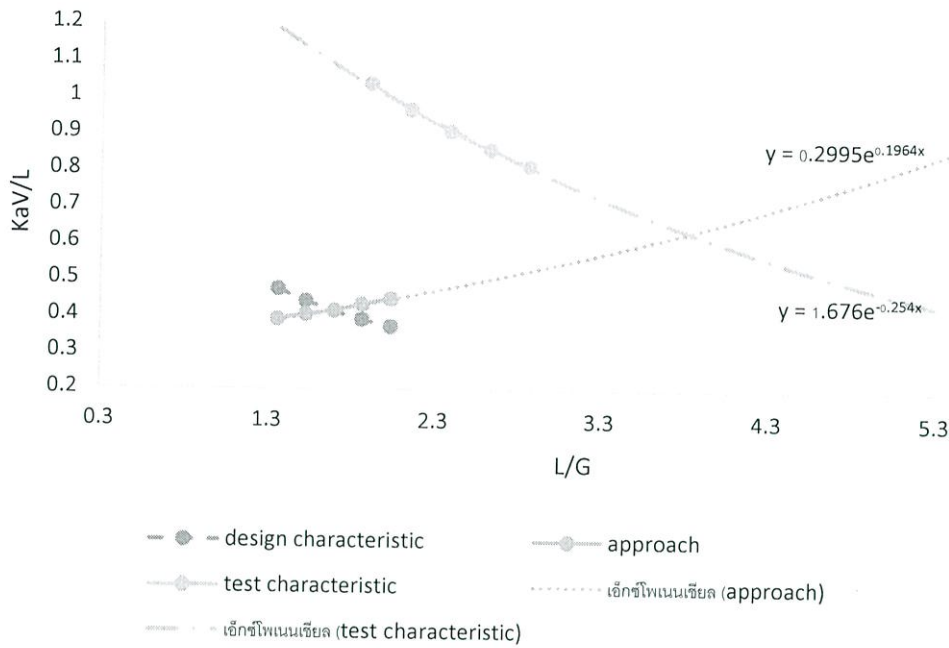
$$\frac{KaV}{L} = 1.53 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.22 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผง ขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน เท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	1.038
90	2.146	0.968
100	2.385	0.908
110	2.624	0.858
120	2.862	0.814

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.11



รูปที่ ง.11 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ ชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.823, 0.636) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 3.823$

$$\text{ขีดความสามารถของकुल्लिंगทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{3.823}{1.698} \times 100 = 225.15 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 36}{45 - 27} \times 100\% = 50 \%$$

ที่หอบรรยายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.23 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอบรรยายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรยายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 36^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 36.9^{\circ}\text{C}$	142.05	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 94.00$	48.05	0.0208
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 39.6^{\circ}\text{C}$	162.73	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 120.92$	41.81	0.0239
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 41.4^{\circ}\text{C}$	178.10	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 138.86$	39.24	0.0255
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 44.1^{\circ}\text{C}$	203.85	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 165.78$	38.07	0.0263
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 45^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 174.75$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0965

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(9) \frac{0.0965}{4} = 0.908$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.908$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.908 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.530$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

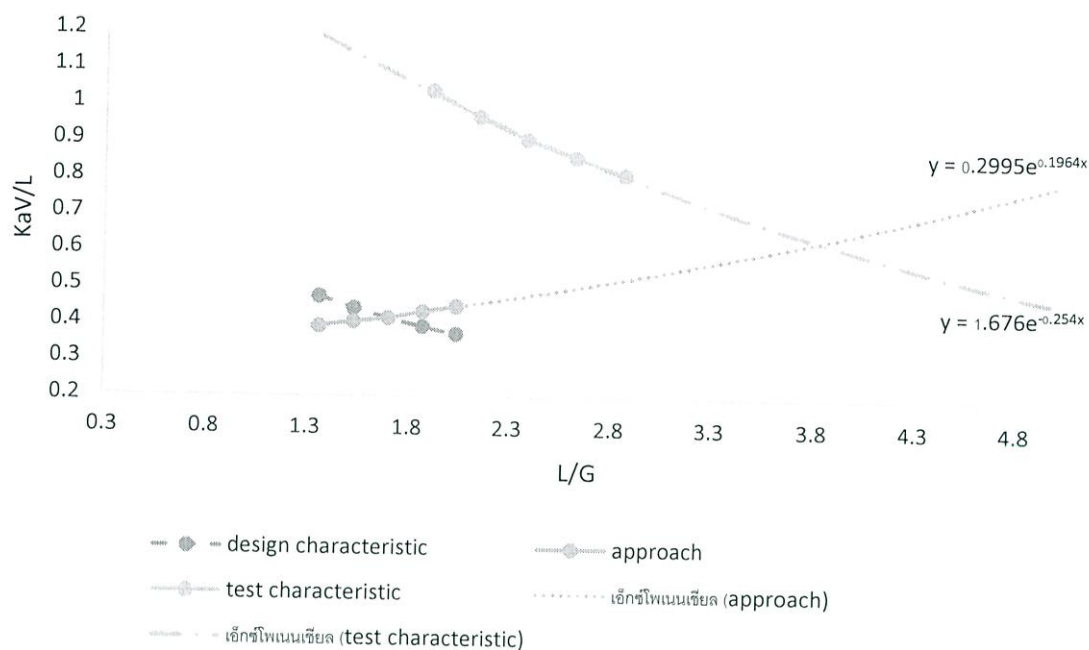
$$\frac{KaV}{L} = 1.53 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.24 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผง ขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	1.038
90	2.146	0.968
100	2.385	0.908
110	2.624	0.858
120	2.862	0.814

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.12



รูปที่ ง.12 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.823, 0.635) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 3.823$

$$\text{ขีดความสามารถของคู่อัดอากาศ} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{3.823}{1.698} \times 100 = 225.15 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{45 - 36}{45 - 27} \times 100\% = 50 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 15 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 27 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	50	50	50
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	38.4	39.2	38.9
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	37.3	38.3	37.7
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	36.8	36.2	36.5
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	40	39	38

ที่หอระบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.25 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 41^{\circ}\text{C}$	174.57	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 92.33$	82.24	0.0122
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 44^{\circ}\text{C}$	202.84	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 114.22$	88.62	0.0113
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 46^{\circ}\text{C}$	224.18	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 128.82$	95.36	0.0105
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 49^{\circ}\text{C}$	260.57	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 150.71$	109.86	0.0091
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 158.01$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0431

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(10) \frac{0.0431}{4} = 0.450$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.450$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.746$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.450 = C(1.746)^{-0.60}$$

$$C = 0.629$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

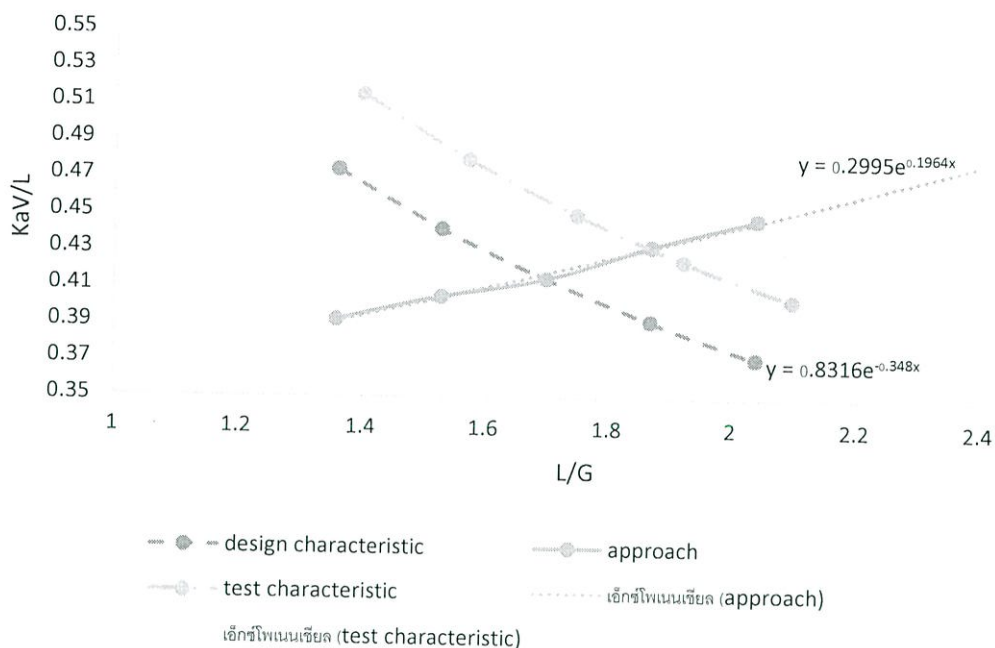
$$\frac{KaV}{L} = 0.629 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.26 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.397	0.515
90	1.571	0.480
100	1.746	0.450
110	1.921	0.425
120	2.095	0.404

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.13



รูปที่ ง.13 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (1.876, 0.433) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 1.876$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{1.876}{1.698} \times 100 = 110.48 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 40}{50 - 27} \times 100\% = 43.48 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.27 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 39^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 39.1^{\circ}\text{C}$	158.70	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.00$	62.70	0.0159
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 43.4^{\circ}\text{C}$	196.84	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 128.89$	67.95	0.0147
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.6^{\circ}\text{C}$	219.73	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 150.82$	68.91	0.0145
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.9^{\circ}\text{C}$	259.26	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 183.72$	75.54	0.0132
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 194.69$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0583

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(11) \frac{0.0583}{4} = 0.670$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.670$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.670 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.129$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

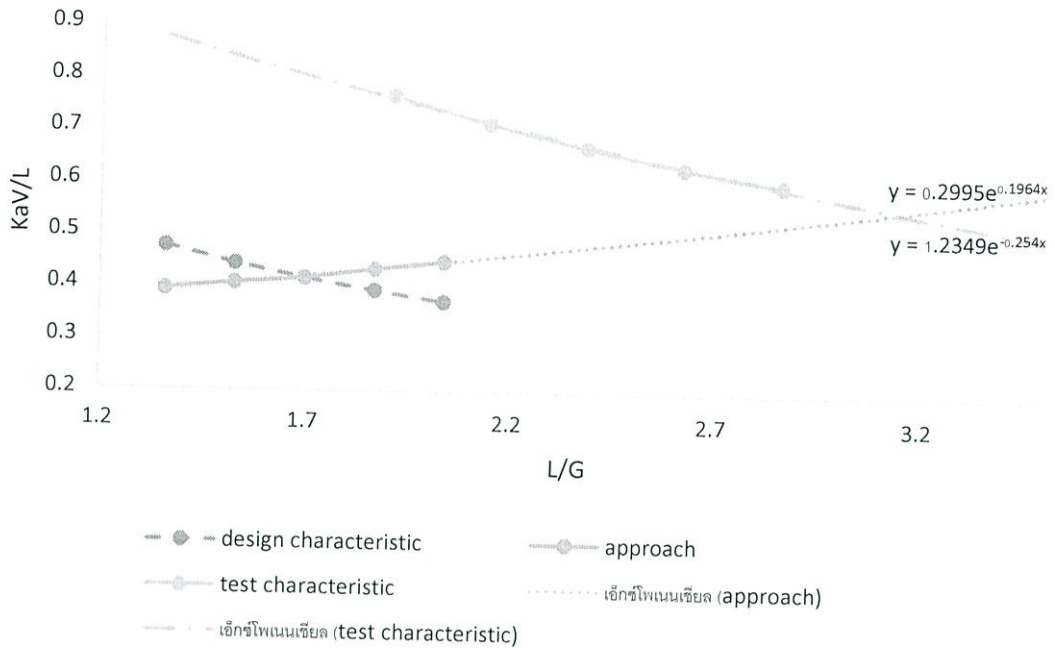
$$\frac{KaV}{L} = 1.129 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.28 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผง ขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อน เท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	0.766
90	2.146	0.714
100	2.385	0.670
110	2.623	0.633
120	2.862	0.601

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.14



รูปที่ ง.14 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °c และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.145, 0.555) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 3.145$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{3.145}{1.698} \times 100 = 185.22 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 39}{50 - 27} \times 100\% = 47.83 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.29 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 38^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 85.03$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 39.2^{\circ}\text{C}$	159.50	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 96.99$	62.51	0.0160
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 42.8^{\circ}\text{C}$	191.02	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 132.88$	58.14	0.0172
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.2^{\circ}\text{C}$	215.38	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 156.81$	58.57	0.0171
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 48.8^{\circ}\text{C}$	257.96	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 192.70$	65.26	0.0153
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 50^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 204.66$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0656

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{\text{L}}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(12) \frac{0.0656}{4} = 0.823$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.823$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.823 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.386$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

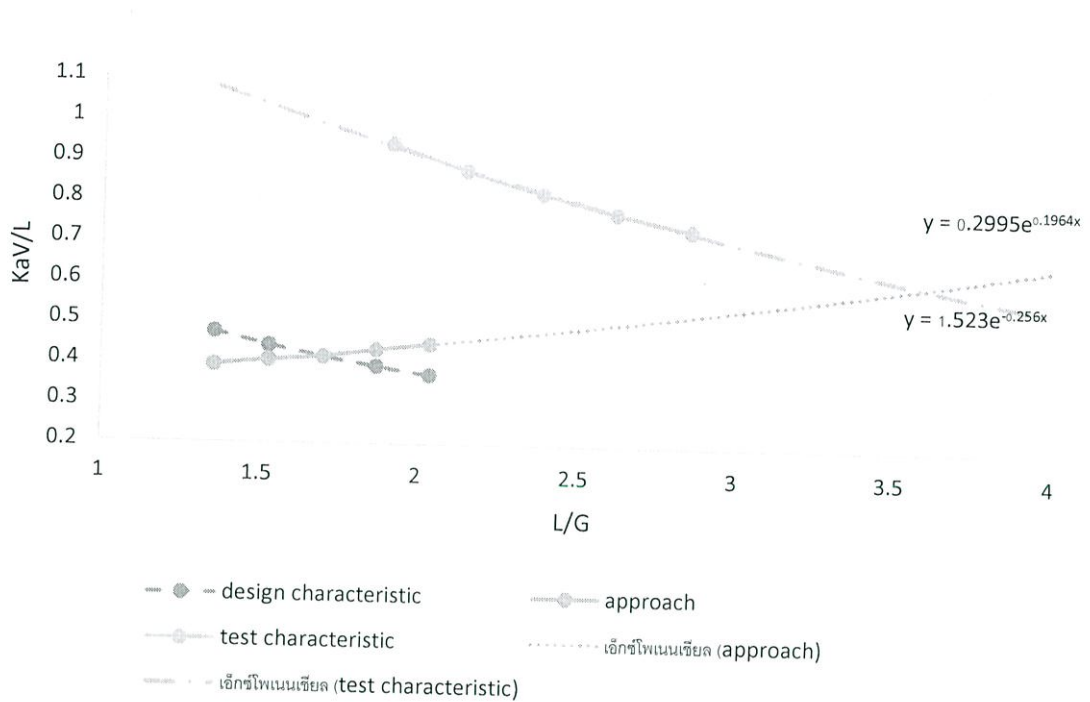
$$\frac{KaV}{L} = 1.386 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.30 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	0.941
90	2.146	0.877
100	2.385	0.823
110	2.624	0.777
120	2.862	0.737

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.15



รูปที่ ง.15 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 50 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.595, 0.607) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 3.595$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{3.595}{1.698} \times 100 = 211.72 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{50 - 38}{50 - 27} \times 100\% = 52.17 \%$$

บันทึกผลการทดลอง

อัตราการไหลของน้ำ : 15 LPM.

วันที่ทำการทดลอง : 6 / 5 / 2561

อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 31 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าคูลิ่งทาวเวอร์ : 28 °C

ทาวเวอร์ที่ทำการทดลอง ค่าคุณสมบัติต่างๆ	ทาวเวอร์ที่ 1 (ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ)	ทาวเวอร์ที่ 2 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบขยายพื้นที่ผิวถ่ายเท)	ทาวเวอร์ที่ 3 (แผงขยายฟิล์มน้ำ แบบปะทะกระเซ็น)
อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)	55	55	55
อุณหภูมิน้ำที่จุด 1 (°C)	40.4	39.4	39
อุณหภูมิน้ำที่จุด 2 (°C)	39.2	40.2	37.9
อุณหภูมิน้ำที่จุด 3 (°C)	37.2	32.1	35.6
อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)	41	40	39

ที่หอบรรบายความร้อนที่ 1

คำนวณสมรรถนะของหอบรรบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 4.1 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.142 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.31 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอบรรบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบรรบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 41^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 42.4^{\circ}\text{C}$	187.24	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 99.92$	87.32	0.0114
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 46.6^{\circ}\text{C}$	231.01	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 130.57$	100.44	0.0100
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 49.4^{\circ}\text{C}$	265.86	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 151.01$	114.85	0.0087
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.6^{\circ}\text{C}$	328.99	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 181.66$	147.33	0.0068
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 191.88$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0369

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV/L})_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{\text{L}}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(14) \frac{0.0369}{4} = 0.540$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.540$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 1.746$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.540 = C(1.746)^{-0.60}$$

$$C = 0.754$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

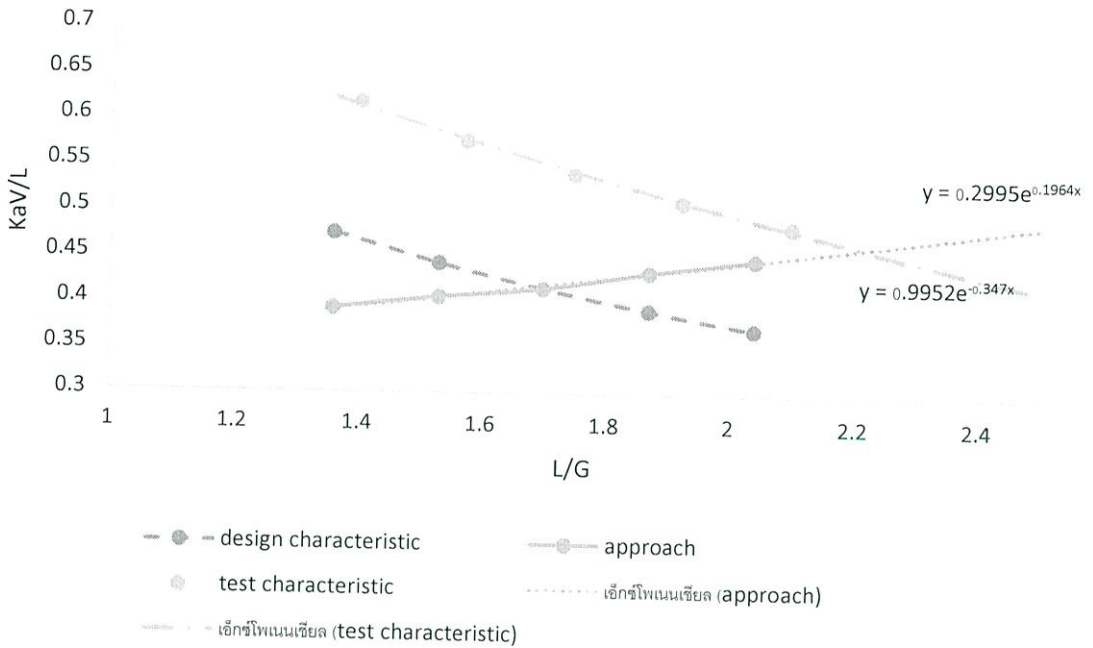
$$\frac{KaV}{L} = 0.754 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.32 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่ไม่มี
แผงขยายฟิล์มน้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.397	0.617
90	1.571	0.575
100	1.746	0.540
110	1.921	0.510
120	2.095	0.484

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.16



รูปที่ ง.16 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{test}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{design}$ ของหอระบายความร้อนที่ไม่มีแผงขยายฟิล์ม น้ำโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (2.210, 0.462) จึงได้ค่า $L/G_{test} = 2.210$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{test}}{L/G_{design}} \times 100 = \frac{2.210}{1.698} \times 100 = 130.15 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 41}{55 - 28} \times 100\% = 51.85 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 2

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อัตราการไหลของน้ำ

$$L = 15 \text{ (L/min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.33 ตารางคำนวณค่า $\Sigma(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดขยาย
พื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตรา
การไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 40^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 41.5^{\circ}\text{C}$	178.99	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 104.65$	74.34	0.0134
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 46^{\circ}\text{C}$	224.18	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 149.52$	74.66	0.0134
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 49^{\circ}\text{C}$	260.57	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 179.42$	81.15	0.0123
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.5^{\circ}\text{C}$	327.32	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 224.29$	103.03	0.0097
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 239.24$	-	-
$\Sigma(1/\Delta h)$				0.0488

นำ $\Sigma(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(\text{KaV}/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{\text{KaV}}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\Sigma(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(15) \frac{0.0488}{4} = 0.765$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.765$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น
ดังนี้

$$0.765 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.289$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

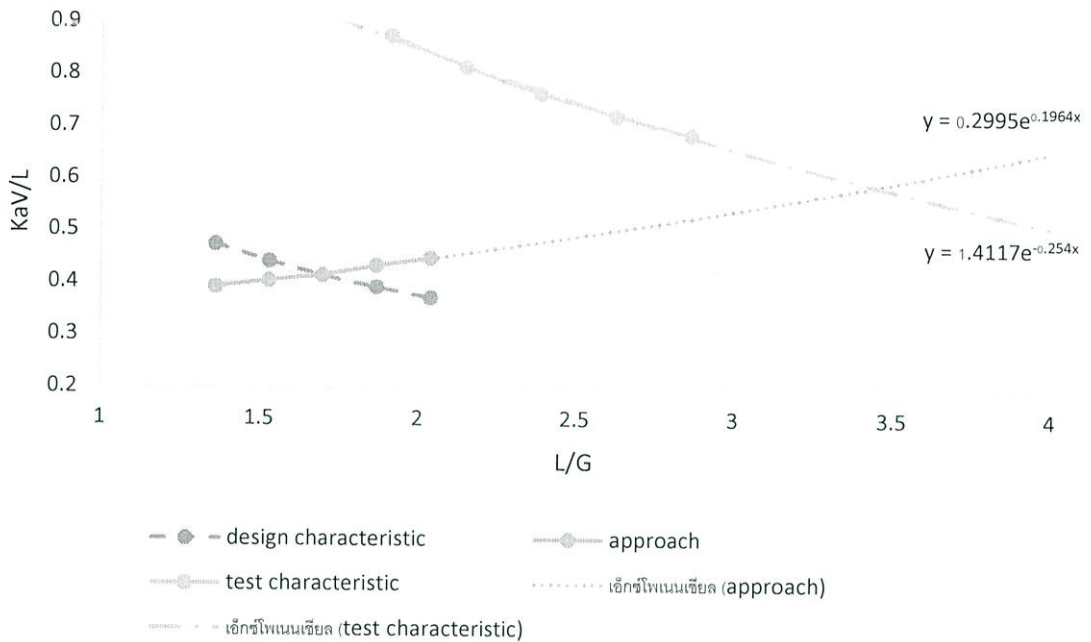
$$\frac{KaV}{L} = 1.289 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.34 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอระบายความร้อนที่มีแผง
ขยายฟิล์มน้ำชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อน
เท่ากับ 55 °c และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	0.875
90	2.146	0.815
100	2.385	0.765
110	2.624	0.723
120	2.862	0.686

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.17



รูปที่ ง.17 กราฟแสดงค่า $(\frac{L}{G})_{\text{test}}$ และค่า $(\frac{L}{G})_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำ ชนิดขยายพื้นที่ผิวถ่ายเทโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.442, 0.589) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 3.442$

$$\text{ขีดความสามารถของकुल्लिंगทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{3.442}{1.698} \times 100 = 202.71 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 40}{55 - 28} \times 100\% = 55.56 \%$$

ที่หอระบายความร้อนที่ 3

คำนวณสมรรถนะของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดย
อุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 45°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM
อัตราการไหลของน้ำ

$$I = 15 \text{ (l./min)} \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/L)} \times \frac{1}{60} \text{ (min/s)} \times 994 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.248 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศ

$$G = 3 \text{ (m/s)} \times 0.03 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.155 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.104 \text{ kg/s}$$

ตารางที่ ง.35 ตารางคำนวณค่า $\sum(1/\Delta h)$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะ
กระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหล
ของน้ำเท่ากับ 5 LPM

อุณหภูมิของน้ำสำหรับ h_w ($^{\circ}\text{C}$)	h_w (kJ/kg)	h (kJ/kg)	Δh	$1/\Delta h$
อุณหภูมิน้ำออก, $T_2 = 39^{\circ}\text{C}$	-	อากาศทางเข้าที่ twb1, $h_{a1} = 89.70$	-	-
$T_A = T_2 + 0.1(T_1 - T_2)$ $= 40.6^{\circ}\text{C}$	171.10	$h_A = h_{a1} + 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 105.65$	65.45	0.0153
$T_B = T_2 + 0.4(T_1 - T_2)$ $= 45.4^{\circ}\text{C}$	217.55	$h_B = h_{a1} + 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 153.50$	64.05	0.0156
$T_C = T_1 - 0.4(T_1 - T_2)$ $= 48.6^{\circ}\text{C}$	255.38	$h_C = h_{a2} - 0.4C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 185.41$	69.97	0.0143
$T_D = T_1 - 0.1(T_1 - T_2)$ $= 53.4^{\circ}\text{C}$	325.66	$h_D = h_{a2} - 0.1C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 233.26$	92.40	0.0108
อุณหภูมิน้ำเข้า, $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$	-	$h_{a2} = h_{a1} + C_w \left(\frac{L}{G}\right)(T_1 - T_2)$ $= 249.21$	-	-
$\sum(1/\Delta h)$				0.0560

นำ $\sum(1/\Delta h)$ ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณหา $(KaV/L)_{\text{test}}$ ซึ่งคำนวณได้จาก
สมการ 2.22

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = C_w(T_1 - T_2) \frac{\sum(1/\Delta h)}{4}$$

$$\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = (4.18)(16) \frac{0.056}{4} = 0.936$$

จากสมการ 2.23 เป็นดังนี้

$$\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^n$$

ดังนั้น แทนค่า $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{\text{test}} = 0.936$, $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}} = 2.385$ และ $n = -0.60$ ลงในสมการ 2.23 ได้เป็น

$$0.936 = C(2.385)^{-0.60}$$

$$C = 1.577$$

แทนค่า C และค่า n กลับลงไปในสมการ 2.23 ได้เป็น

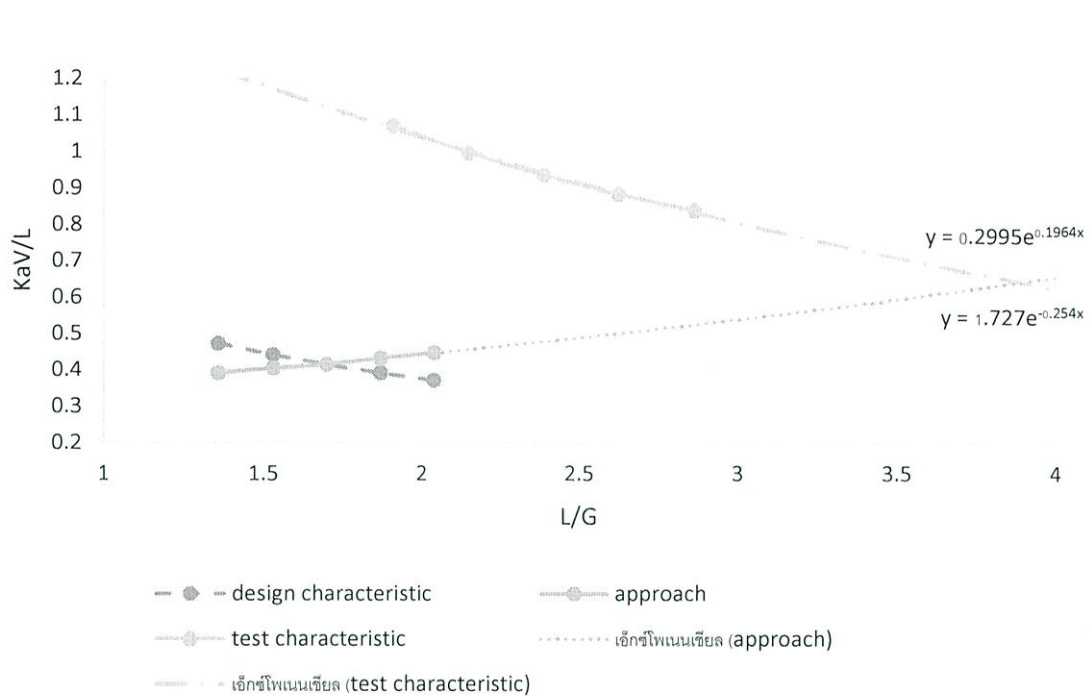
$$\frac{KaV}{L} = 1.577 \left(\frac{L}{G}\right)^{-0.6}$$

แทนค่า L/G ที่ 80, 90, 110, 120% ของค่าออกแบบนั้นและคำนวณหาค่า KaV/L และ L/G ที่ 80, 90, 110, 120% เป็นดังนี้

ตารางที่ ง.36 ตารางแสดงค่า KaV/L และ L/G ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของหอบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอบายความร้อนเท่ากับ 55 °C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 5 LPM

เปอร์เซ็นต์ของค่า L/G	ค่า L/G	ค่า KaV/L
80	1.908	1.070
90	2.146	0.997
100	2.385	0.936
110	2.624	0.884
120	2.862	0.839

นำค่า L/G และ KaV/L มาพล็อตกราฟเพื่อสร้างเส้นลักษณะของค่าทดสอบรวมกับเส้นลักษณะเฉพาะของค่าออกแบบและเส้นแอฟโพรชได้ดังรูปที่ ง.18



รูปที่ ง.18 กราฟแสดงค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{test}}$ และค่า $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{design}}$ ของหอระบายความร้อนที่มีแผงขยายฟิล์มน้ำชนิดปะทะกระเซ็นโดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าหอระบายความร้อนเท่ากับ 55°C และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 LPM

จากกราฟจะได้จุดตัดระหว่างเส้นลักษณะของการทดสอบกับเส้นแอฟโพรชเป็น (3.890, 0.643) จึงได้ค่า $L/G_{\text{test}} = 3.890$

$$\text{ขีดความสามารถของคูลลิ่งทาวเวอร์} = \frac{L/G_{\text{test}}}{L/G_{\text{design}}} \times 100 = \frac{3.890}{1.698} \times 100 = 229.09 \%$$

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอระบายความร้อนเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_{wb}} \times 100\% = \frac{55 - 39}{55 - 28} \times 100\% = 59.26 \%$$