

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอยฝิ่งน้ำ



นาย เที ล้อมประสิทธิ์ศักดิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535


ISBN 974-581-319-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018497

๑๙๙๓๓๑๑๙

MATHEMATICAL MODELLING OF A BUILT-UP COOLING TOWER



MR. NATEE LIMPHRASITTISAK

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Mechanical Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

1992

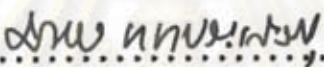
ISBN 974-581-319-2

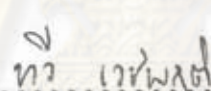
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอดังน้ำ
โดย นาย นที ล้อมประสิทธิ์ศักดิ์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ

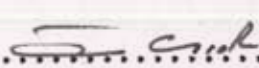
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากิจ)

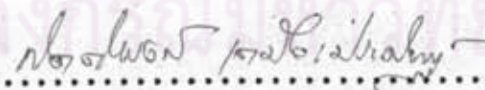
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มาณี ทองประเสริฐ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)


..... กรรมการ
(นาย กิตติพงษ์ เตมียะประดิษฐ์)



บทคัดย่อ : การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอผึ่งน้ำ (MATHEMATICAL MODELLING OF A BUILT-UP COOLING TOWER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ทวี เวชพฤติ, 197 หน้า. ISBN 974-581-319-2

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย การออกแบบและสร้างหอผึ่งน้ำ เพื่อทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากหอผึ่งน้ำ กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ ตั้งแต่ 1.4 - 2.1 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เปลี่ยนแปลงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากหอผึ่งน้ำ ตั้งแต่ 1.3 - 7.9 °C และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ตั้งแต่ 18.7 - 27.5 °C ผลการทดลองได้นำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบทางทฤษฎี ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ได้ล้มเหลวให้ สมการของเอ็นทัลปีของอากาศอิ่มตัว เป็นสมการอย่างง่าย โดยให้เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ และ แรงขับโดยเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับผลการทดลอง แล้วได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (R^2) > 0.997

สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล่งได้หลายรูปแบบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ ได้ทดลองใช้รูปทั่วไป ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับข้อมูลสมรรถนะทางเทคนิคของหอผึ่งน้ำที่ใช้ในท้องตลาด ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (R^2) > 0.952 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและพัฒนาทางด้านหอผึ่งน้ำต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

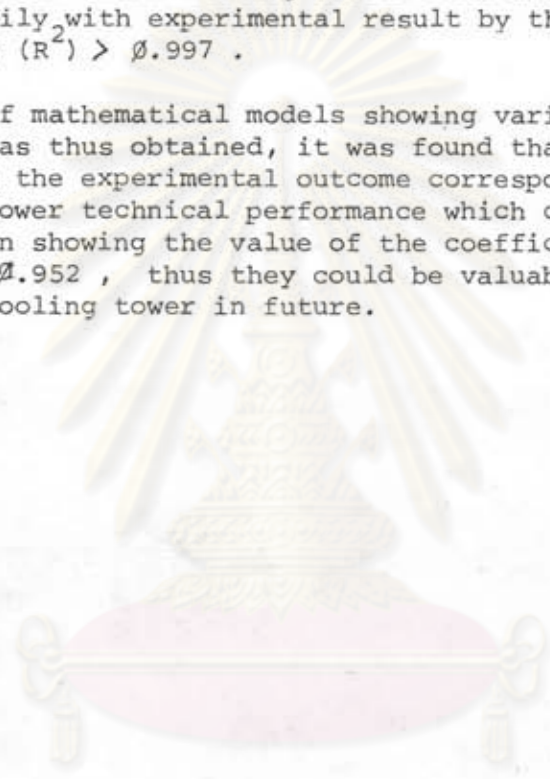
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิติ *ศ. อ. เวชพฤติ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ท. เวชพฤติ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม *(รศ. ทวี เวชพฤติ)*

NATEE LIMPHRASITTISAK : MATHEMATICAL MODELLING OF A BUILT-UP COOLING TOWER. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR TAWEE VECHAPHUTTI, 197 PR

The purpose of this thesis was to design and construct a cooling tower in order to find the relationships between the water flow rate, the temperature range of entering and leaving water, and the wet-bulb temperature, the water flow rate varied from 1.4 - 2.1 m³/hr., the temperature range of entering and leaving varied from 1.3 - 7.9 °C, and the wet-bulb temperature varied from 18.7 - 27.5 °C. The outcome from the experiment was used to formulate mathematical models which were compared with the theoretical results. The mathematical analysis assumed the enthalpy of saturated air in term of the basic equation as a function of temperature and mean driving force equaled to the arithmetic mean driving force. The mathematical models were compared satisfactorily with experimental result by the coefficient of multiple correlation (R²) > 0.997 .

A variety of mathematical models showing various relationships between the variables above as thus obtained, it was found that the mathematical models obtained from the experimental outcome correspond closely with commercial cooling tower technical performance which commonly used in the market; in comparison showing the value of the coefficient of multiple correlation (R²) > 0.952 , thus they could be valuable for the design and development of the cooling tower in future.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิติศ น.ศ. นิตยา สอนดีศักดิ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ทวี เวชพาณิชย์
(เด. ทวี เวชพาณิชย์)
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่ได้ให้คำปรึกษาทางด้านเครื่องมือทดลอง ตลอดจนให้ยืมเครื่องมือ และเครื่องวัด ต่าง ๆ ขอขอบคุณ บริษัท ซีเนเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้มอบอุปกรณ์มาสร้างเครื่อง-ทดลองบางส่วน ขอขอบคุณ บริษัท เหลียงซิวอุตสาหกรรม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้มอบ Packing มาใช้ทดลอง และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัย ของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ.ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ ผู้วิจัยตลอดเวลาจนสำเร็จการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่	
1. บทนำ	1
2. หอผิงน้ำชนิดพืดลมดูด	7
3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	31
4. การทดลอง	44
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	66
6. การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้	116
7. สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ	136
เอกสารอ้างอิง	141
ภาคผนวก	142
ประวัติผู้เขียน	197

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงอัตราการไหลของน้ำและอุณหภูมิ ของห่อฝิ่งน้ำขนาดต่าง ๆ	4
6.1 แสดงมาตรฐานต่าง ๆ ของห่อฝิ่งน้ำ ของบริษัท ไทยคูลิ่งเทาเออร์ จำกัด ..	117
6.2 แสดงอัตราการไหลของน้ำ และอุณหภูมิ ต่าง ๆ ของห่อฝิ่งน้ำ ของบริษัท ไทยคูลิ่งเทาเออร์ จำกัด	118
6.3 แสดงมาตรฐานต่าง ๆ ของห่อฝิ่งน้ำ ของบริษัท เหลียงชิวตสาหกรรม จำกัด	119
6.4 แสดงอัตราการไหลของน้ำ และอุณหภูมิ ต่าง ๆ ของห่อฝิ่งน้ำ ของบริษัท เหลียงชิวตสาหกรรม จำกัด	120
6.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ใช้งานจริง ข้อมูลจากสมการทางทฤษฎี และสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของห่อฝิ่งน้ำ รุ่น LBC-3	121
7.1 แสดงรุ่นของห่อฝิ่งน้ำ, ขนาดของ Packing และ ค่าคงที่ของ Packing .	139
ก.1 คุณสมบัติของไอน้ำ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	144
ข.1 แสดงการหาค่าเอ็นทัลปีในการออกแบบ	154
ค.1 แสดงการหาค่าเอ็นทัลปีในการคำนวณ	161
ฉ.1 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 18.7 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	177
ฉ.2 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 19.2 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	178
ฉ.3 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 20.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	179
ฉ.4 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 21.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	180
ฉ.5 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 22.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	181
ฉ.6 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 23.0 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	182
ฉ.7 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 23.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	183
ฉ.8 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 24.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	184
ฉ.9 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 24.9 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	186
ฉ.10 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 25.3 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	187
ฉ.11 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 25.7 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	188
ฉ.12 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 26.4 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	189
ฉ.13 ข้อมูลจากการทดลองที่ WBT_m 27.5 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	190
ฉ.14 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{2m} 29 °C, R_m 5 °C, G_m 0.4882 Kg/sec.	192
ฉ.15 ข้อมูลจากการทดลองที่ R_m 5 °C, WBT_m 24 °C, G_m 0.4882 Kg/sec.	193
ฉ.16 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{1m} 31 °C G_m 0.4882 Kg/sec.	194
ฉ.17 ข้อมูลจากการทดลองที่ t_{1m} 31 °C, WBT_m 24 °C, G_m 0.4882 Kg/sec.	196

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 กราฟที่ใช้เลือกห่อฝิ่งน้ำชนิดพัลลมุด และสมรรถนะของห่อฝิ่งน้ำ	2
1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของน้ำ (US G.P.M.) กับ ค่าตันที่แท้จริง (CORRECTED TONS) ของห่อฝิ่งน้ำ	3
2.1 แสดงลักษณะผิวหน้าน้ำ	7
2.2 แสดงลักษณะทั่วไปของห่อฝิ่งน้ำชนิดพัลลมุด	8
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เอ็นทัลปี สำหรับใช้ออกแบบ	22
2.4 Carey and Williamson chart สำหรับหาค่า mean driving force ของห่อฝิ่งน้ำ	24
2.5 แสดงลักษณะของ Packing	25
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เอ็นทัลปี	26
3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เอ็นทัลปี ที่ใช้คำนวณ	32
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Range กับ t_2 เมื่อ W , WBT , G คงที่	34
3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W กับ t_2 เมื่อ Range , WBT , G คงที่	34
3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง WBT กับ t_2 เมื่อ Range , W , G คงที่	35
4.1 แผนผังของอุปกรณ์ทำการทดลอง และขนาดของชุดทดลองห่อฝิ่งน้ำ	45
4.2 ระบบจ่ายน้ำและท่อบายพาส	46
4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองเรื่องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของห่อฝิ่งน้ำ	47
4.4 ชุดลดทำความร้อนและถังเก็บน้ำ	49
4.5 Slide Regulator ซึ่งใช้ปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ปรับความเร็วรอบของพัลลมุด	50
4.6 เครื่องสูบน้ำ ท่อน้ำ และท่อบายพาส ที่ใช้หมุนเวียนน้ำเข้าสู่ห่อฝิ่งน้ำ	51
4.7 ท่อบายพาส และประตูน้ำ ใช้ปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ห่อฝิ่งน้ำ	52
4.8 พัลลมชนิดคูด พร้อมฐานติดตั้ง	53
4.9 Pitot Tube ใช้วัดความเร็วกระแสลม	54
4.10 มานอร์มิเตอร์ และ Pitot Tube ใช้วัดอัตราเร็วของกระแสลม	55
4.11 ตัวอย่างของ Packing ที่ใช้ทำการทดลอง	56
4.12 Packing และหัวจ่ายน้ำที่ใช้ทำการทดลอง	57
4.13 แสดงแผงควบคุมไฟฟ้าของชุดทดลอง	58

4.14	Flow Cellmeter และท่อบายพาส ที่ใช้วัดและปรับอัตราการไหล ของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำ	60
4.15	แสดงจุดวัดอุณหภูมิ 3 จุดที่ทางเข้าหอผึ่งน้ำ	61
4.16	แสดงจุดวัดอุณหภูมิ 3 จุดที่ทางออกของหอผึ่งน้ำ	62
4.17	แสดงจุดวัดอุณหภูมิ Dry-Bulb และ Wet-Bulb ของอากาศที่เข้าสู่หอผึ่งน้ำ	63
4.18	แสดงจุดวัดอุณหภูมิ Dry-Bulb และ Wet-Bulb ของอากาศที่ออกจากหอผึ่งน้ำ	64
4.19	แสดงอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ พร้อมตัวเลือก สำหรับวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ	65
5.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} เมื่อคงค่า $W = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	76
5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เมื่อคงค่า $Range_m = 5^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	77
5.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อคงค่า $Range_m = 5^\circ\text{C}$, $W_m = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	78
5.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ Ton เมื่อเปลี่ยนแปลง W_m และคงค่า $t_2 = 29^\circ\text{C}$, $Range_m = 5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	79
5.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{2m} กับ Ton เมื่อเปลี่ยนแปลง W_m และคงค่า $Range_m = 5^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	80
5.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เมื่อ คงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	81
5.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อ คงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $W_m = 1.738 \text{ Kg/sec.}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)	82
5.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 18.7^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)	83
5.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 19.2^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)	84
5.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 20.5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)	85
5.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 21.5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)	86

- 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 22.4^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 87
- 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 23.0^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 88
- 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 23.5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 89
- 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 24.4^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 90
- 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 24.9^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 91
- 5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 25.3^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 92
- 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 25.7^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 93
- 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 26.4^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 94
- 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 27.5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 95
- 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน
เมื่อ คงที่ค่า $R_m = 5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง) 96
- 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดย การทดลอง ทฤษฎี
และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า $R_m = 5^\circ C$, $W_m = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$,
 $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ 97
- 5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ T_{on} เปรียบเทียบโดย การทดลอง ทฤษฎี
และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า W_m คงที่ค่า $t_{2m} = 29^\circ C$,
 $R_m = 5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ 98
- 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{2m} กับ T_{on} เปรียบเทียบโดย การทดลอง ทฤษฎี และ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า W_m คงที่ค่า $R_m = 5^\circ C$,
 $WBT_m = 24^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ 99

5.39	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดย การทดลอง ทฤษฎี และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $W_m = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$	114
5.40	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดย การทดลอง ทฤษฎี และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$	115
6.1	แสดงลักษณะของห่อผึ่งน้ำ รุ่นต่าง ๆ	117
6.2	แสดงลักษณะรูปทรงของ Packing ชนิด Film	123
ก.1	Psychrometric chart ในหน่วย SI.	145
ก.2	Psychrometric chart ในหน่วยอังกฤษ.	146
ก.3	รูปสำหรับคำนวณหาค่า mean driving force.	147
ค.1	Packing characteristic curves	157
ค.2	Packing characteristic curves (Log-Log)	158
จ.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิล กับค่าอุณหภูมิซึ่งอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน	173
จ.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำซึ่งอ่านได้จาก Flow Cell Meter กับ อัตราการไหลของน้ำที่ถูกต้อง	174
จ.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของท่อ กับความเร็วของกระแสลม	175

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- a - ค่าคงที่พื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของ packing (packing constant area per unit volume of pack), sq. ft./cu. ft.
- a_1, a_2, a_3 - ค่าคงที่,
- A - พื้นที่ฐานของ packing (plan area of tower packing), sq. ft.
- Arith. MDF. - ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ (Arithmetic mean driving force), Btu./lb.
- b_1, b_2, b_3 - ค่าคงที่,
- c - ค่าคงที่สัมพันธ์กับการออกแบบ Packing.,
- $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$ - ค่าคงที่,
- C_{Pa} - ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (specific heat of air), Btu./lb. °F
- C_{PM} - ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศชื้น (specific heat of moist air), Btu./lb. °F
- C_{PV} - ค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (specific heat of vapour), Btu./lb. °F
- C_{PW} - ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (specific heat of water), Btu./lb. °F
- e - ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น,
- E - ความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด,
- f - ค่าของแฟกเตอร์ (value of factor),
- G - อัตราการไหลของอากาศ (air flow), lb./hr.
- G_m - อัตราการไหลของอากาศ (air flow), Kg./hr.
- h - เอนทัลปีของอากาศชื้น (enthalpy of moist air), Btu./lb.
- h_m - เอนทัลปีของอากาศอิ่มตัว (enthalpy of saturated air), Btu./lb.
- h_1 - เอนทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่เข้าหอดังน้ำ (enthalpy of saturated air on to tower), Btu./lb.
- h_2 - เอนทัลปีของอากาศอิ่มตัวที่ออกจากหอดังน้ำ (enthalpy of saturated air off tower), Btu./lb.
- h_3 - เอนทัลปีเฉลี่ยของอากาศอิ่มตัวที่เข้าและออกจากหอดังน้ำ, Btu./lb.
- h' - เอนทัลปีของอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำ (enthalpy of saturated interfacial film), Btu./lb.
- h_1' - เอนทัลปีของน้ำที่ออกจากหอดังน้ำ, Btu./lb.
- h_2' - เอนทัลปีของน้ำที่เข้าหอดังน้ำ, Btu./lb.

- h_m' - เอ็นทัลปีเฉลี่ยของน้ำที่เข้าและออกจากห่อผึ่งน้ำ, Btu./lb.
- H - ความชื้นสัมบูรณ์ ปอนด์ของไอน้ำต่อปอนด์ของอากาศแห้ง
(absolute humidity lb. of vapour per lb. dry air), lb./lb.
- H' - ความชื้นสัมบูรณ์ ของอากาศรอบ ๆ ผิวหน้า
(absolute humidity of interfacial film), lb./lb.
- K - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมทั้งหมด
(overall mass transfer coefficient), lb./hr ft²
- K_u - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสัมผัสของอากาศรอบ ๆ ผิวหน้า ไปสู่กระแสอากาศ
(film coefficient of sensible heat, interface to main air-stream), Btu./hr ft² °F
- K_L - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำ ไปที่อากาศรอบ ๆ ผิวหน้า
(film coefficient water to interface), Btu./hr ft² °F
- K' - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของอากาศรอบ ๆ ผิวหน้า สู่อากาศภายนอก
(mass transfer coefficient, interface to main airstream), lb./hr ft²
- L - ความสูงของ packing (height of tower packing), ft.
- m - อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ สู่อากาศ
(mass of vapour transfer to the air), lb./hr.
- m_u - อัตราการถ่ายเทมวลของอากาศแห้ง, Kg/sec.
- m_v - อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำ, Kg/sec.
- $MDF.$ - แรงขับ (mean driving force), Btu./hr.
- n - ค่าคงที่สัมพันธ์กับการออกแบบ Packing.,
- N - จำนวนข้อมูล,
- P - ความดันบรรยากาศ (Pressure), kPa.
- P_u - ความดันย่อยของอากาศแห้ง, kPa.
- P_v - ความดันย่อยของไอน้ำ, kPa.
- p_u - ความดันไออิ่มตัว, kPa.
- Q - ค่าการถ่ายเทความร้อน, Btu./hr.
- Q_w - อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ ไปที่อากาศรอบ ๆ ผิวหน้า (rate of heat transfer water to interfacial film), Btu./hr.

- Q_s - อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัสของอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำ สู่อากาศภายนอก
(rate of sensible heat transfer, interface to air stream),
Btu./hr.
- Q_L - อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝงของอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำ สู่อากาศภายนอก
(rate of latent heat transfer, interface to air stream),
Btu./hr.
- q - ความร้อนแฝงของการระเหย (latent heat of vaporisation), Btu./lb.
- R - ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำขาเข้า กับอุณหภูมิของน้ำขาออก (Range), °F
- R_u - ค่านิยของอากาศ (Gas Constant of Air), kJ/kg K
- R_v - ค่านิยของไอน้ำ (Gas Constant of Steam), kJ/kg K
- R^2 - สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (coefficient of multiple correlation),
- S - ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ
(Standard Error of Estimation),
- STD. - ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
- t - อุณหภูมิของน้ำ (water temperature), °F
- t_1 - อุณหภูมิน้ำเข้าหอผึ่งน้ำ (water temperature on to tower), °F
- t_2 - อุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ (water temperature off tower), °F
- t_3 - อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำ และออกจากหอผึ่งน้ำ, °F
- t_{db} - อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (dry-bulb temperature), °F
- t_{wb} - อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ (wet-bulb temperature), °F
- T' - อุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ ผิวน้ำ
(temperature of saturated interfacial film), °F
- T_o - อุณหภูมิอ้างอิง (datum temperature), °F
- T - อุณหภูมิของอากาศ (bulk air temperature), °F
- \bar{T} - อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature), K
- Ton - ค่าตันของการทำความเย็น, Ton
- U - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, Btu./hr-ft²-°F
- v - ความเร็วลมเข้าหอผึ่งน้ำ, ft/sec.
- V - ปริมาตรของ Packing (operating pack volume), cu. ft.
- V' - อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ, m³/sec.
- W - อัตราการไหลของน้ำ (water flow rate), lb./hr.

- WBT - อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศสิ่งแวดล้อม
(wet bulb temperature of entering air), °F
- X - จำนวนของตัวคงที่ในสมการเส้นถดถอย
- y_1 - ค่าความแตกต่างระหว่างเอนทัลปีของน้ำที่ออกจากหอผึ่งน้ำกับอากาศอิ่มตัวที่เข้าหอผึ่งน้ำ, Btu./lb.
- y_2 - ค่าความแตกต่างระหว่างเอนทัลปีของน้ำที่เข้าหอผึ่งน้ำกับอากาศอิ่มตัวที่ออกจากหอผึ่งน้ำ, Btu./lb.
- y_m - ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของแรงขับ (Arithmetic mean driving force), Btu./lb.
- Y_1 - ค่าตัวแปร,
- \bar{Y} - ค่าเฉลี่ยของ Y_1 ,
- ρ_1 - ค่าที่กะประมาณของตัวแปร Y_1 ,
- (N.T.U.)_e - Number of transfer units based on enthalpy difference.
- (H.T.U.)_e - Height of transfer unit based on enthalpy difference, ft.
- (N.T.U.)_t - Number of transfer units based on temperature difference.
- (H.T.U.)_t - Height of transfer unit based on temperature difference, ft.

ตัวอักษรกรีก

- θ - มุมของเส้น Air operating line,
- θ' - $273.16/T$,
- ϕ - ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity), %
- ω - อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio),

ตัวห้อยท้าย (subscript)

- m - หน่วยทาง SI.
- i - ที่ได้จากการทดลอง
- e - ที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชัน