

การออกแบบและสร้างหัวผสมน้ำร้อน เพื่อใช้ในระบบทำน้ำร้อน  
พลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ

นางสาวตะวัญญา พรหมจันทร์ กศ.บ. (ฟิสิกส์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รศ. ดร.สันติ หวังนิพนานโต)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รศ. ดร.ศิริชัย เทพา)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....

(ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

.....

(รศ. ดร.ณัฐ กาศยปนนท์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างหัวผสมน้ำร้อน เพื่อใช้ในระบบทำน้ำร้อน พลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวตะวิญญา พรหมจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.ศิริชัย เทพา ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
สายวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิและลักษณะการไหลของของไหลภายในหัวผสมน้ำร้อนที่ใช้ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ซึ่งถังน้ำร้อนเป็นแบบไม่มีความดัน ในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ทำการแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยใช้ระยะของท่อน้ำประปาเป็นตัวแบ่งกรณี ซึ่งมี 3 ระดับ คือ ระดับ a ระดับ b และระดับ c ในแต่ละกรณีจะทำการปรับค่าความเร็วของน้ำประปาออกเป็น 3 ค่า คือที่ 0.5, 1, 1.5 เมตร/วินาที ความเร็วของน้ำร้อนเป็นค่าคงที่ที่ 0.5 เมตร/วินาทีโดยกำหนดน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C และ 60°C น้ำประปาคืออุณหภูมิ 27°C

การทดลองโดยใช้ระยะของท่อน้ำประปาเป็นตัวแบ่งกรณี ซึ่งมี 3 ระดับ คือ ระดับ a ระดับ b และระดับ c ในแต่ละกรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนเป็นค่าคงที่ 4 ลิตร/นาที และจะทำการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำประปาเป็น 3 ค่า คือที่ 4, 5, 6 ลิตร/นาทีโดยผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 60°C พบว่า ที่ระยะ c มีผลของอุณหภูมิน้ำผสมมากกว่าระยะ a และ b เพียงเล็กน้อย อุณหภูมิน้ำผสมที่ได้ ที่ระยะ a ที่อัตราการไหล 4:4, 4:5 และ 4:6 มีค่า 43.2, 42.2 และ 41.00°C อุณหภูมิน้ำผสมที่ได้ ที่ระยะ b ที่อัตราการไหล 4:4, 4:5 และ 4:6 มีค่า 43.3, 41.7 และ 40.6°C และอุณหภูมิน้ำผสมที่ได้ ที่ระยะ c ที่อัตราการไหล 4:4, 4:5 และ 4:6 มีค่า 44.1, 42.1 และ 41.1°C

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมระหว่างการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่ามากกว่าผลของการทดลองเล็กน้อย ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำผสมเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้การวัดจากการทดลอง ของท่อทองแดงทั้ง 3 ระดับ อยู่

ในช่วงอุณหภูมิ 0.5–3.8°C และผลของทั้งสองนั้นมีแนวโน้มทางเดียวกัน ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าความผิดพลาดคลาดเคลื่อน 1.15-9 %

**คำสำคัญ:** แบบจำลองทางคณิตศาสตร์/ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์/หัวผสมน้ำร้อน/  
อุณหภูมิน้ำผสม

Thesis Title	Design and Construction of Hot Water Faucet for Low- Pressured Solar Hot Water System
Thesis Credits	12
Candidate	Miss. Tawanya Promchan
Thesis Advisors	Assoc. Prof Dr. Sirichai Thepa Dr. Roongrojana Songprakorp
Program	Master of Science
Field of Study	Energy Technology
Department	Energy Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
Academic Year	2013

### **Abstract**

This research studies a distribution of fluid temperature and a flow characteristic of fluid in Hot Water Faucet for Low- Pressured Solar Hot Water System. The mathematical models were studied in 3 cases. Each case was classified by a distance of water supply tube. There were 3 level of the water supply tube as a level, b level and c level. All of level, a flow rate of water supply was adjusted in 3 values as 0.5, 1.0 and 1.5 m/s and a flow rate of hot water was steady as 0.5 m/s. A temperature of hot water was studied as 45°C and 60°C, with 27°C of the water supply.

For an experiment, there were 3 level of the water supply tube as same as the mathematical model. The flow rate of hot water in each level was steady as 4 LPM and the flow rate of the water supply was adjusted in 3 values as 4, 5 and 6 LPM. For the experiment at 60°C of the hot water found that the temperature of mixing water at c level was slightly higher than a and b level. For the a level, the mixing water temperature at a different ratio flow rate of the hot water and the supply water (4:4, 4:5 and 4:6) were 43.2, 42.2 and 41.0°C, respectively. For the b level, the mixing water temperature at a different ratio flow rate of the hot water and the water supply (4:4, 4:5 and 4:6) were 43.3, 41.7 and 40.6°C, respectively. For the c level, the mixing water temperature at a different ratio flow rate of the hot water and the water supply (4:4, 4:5 and 4:6) were 44.1, 42.1 and 41.1°C, respectively.

A comparison of the mixing water temperature obtained from the experiment and mathematical model found that the value obtained from the mathematical model was slightly higher than the experiment. The changing value of the both data was consistent and less difference. The different value of the both data in all case was range on 0.5–3.8 °C and percent of tolerances was range on 1.15-9 %.

**Keyword:** Hot Water Faucet Mixing Temperature/ Mathematical Model/ Solar Hot Water System

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุนช่วยเหลือ การให้คำปรึกษาแนะนำ และการตัดสินใจหลายๆ เรื่อง รวมทั้งให้ข้อคิดเห็น ตลอดจนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการดำเนินการ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งวิทยานิพนธ์จะไม่สามารถสำเร็จได้ หากไม่มีบุคคลต่อไปนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ดร.ศิริชัย เทพา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำเสนอแนะแนวทางการคิดและการวิจัยต่างๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์และช่วยตรวจสอบการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ณัฐ กาศยพนันท์ ที่สละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบรูปเล่มในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.สันติ หวังนิพนานโต ที่ให้ความอนุเคราะห์สละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบจบการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณปองพล รักการงาน คุณชนนบูรณ์ ถาวรวรรณ และคุณชิตชนก แสนศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ สิ่งสำคัญที่สุดคือข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัว พรหมจันทร์ ทั้งบิดา มารดา และ สมาชิกในครอบครัวที่สนับสนุนและให้โอกาสในการเรียนตั้งแต่เด็กจนถึงระดับมหาบัณฑิตของข้าพเจ้ามาโดยตลอด ซึ่งมีความสำคัญยิ่ง

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ล้วนเกิดมาจากทุกท่านที่กล่าวมาแล้วนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้สำนึกในบุญคุณจักขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๑๑
รายการรูปประกอบ	๑๒
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	๑๓
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์	3
2.2 ส่วนประกอบหลักของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	3
2.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	3
2.3 ประเภทของระบบการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	11
2.3.1 ระบบที่ใช้ปั๊ม หรือระบบแอ็คทีฟ (Active System)	11
2.3.2 ระบบการไหลตามธรรมชาติ หรือระบบพาสซีฟ (Passive System)	12
2.4 การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำร้อน สำหรับใช้ในบ้าน	14
2.5 ตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์	14
2.6 ประเภทของก๊อคน้ำ	15
2.6.1 ทฤษฎีการไหลในท่อ	16
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	20
2.7.1 สมการเชิงอนุพันธ์มวล	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
2.7.2	สมการเชิงอนุพันธ์โม่เมนต์	22
2.7.3	สมการเชิงอนุพันธ์พลังงาน	27
2.7.4	ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์	34
2.7.5	แผนภูมิการทำงานของวิธี SIMPLE	34
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
<b>3.</b>	<b>การดำเนินการวิจัย</b>	<b>42</b>
3.1	ระเบียบวิธีวิจัย	42
3.2	การคำนวณด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์	42
3.3	การคำนวณทางคณิตศาสตร์	43
3.4	ขั้นตอนการคำนวณทางคณิตศาสตร์	44
3.4.1	แบบจำลองของหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	44
3.4.2	การสร้างเมช	44
3.4.3	การตั้งสมมติฐานของงานวิจัย	45
3.4.4	สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณ	46
3.4.5	เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณ	47
3.4.6	เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)	48
3.5	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	49
3.5.1	หัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ	50
3.5.2	ถังเก็บน้ำร้อน	51
3.5.3	ถังผลิตน้ำร้อน	52
3.5.4	ตู้ควบคุมถังผลิตน้ำร้อน	52
3.5.5	ปั๊มน้ำ	53
3.5.6	ทางเดินน้ำของน้ำร้อนและน้ำประปา	53
3.5.7	เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow Meter)	54
3.5.8	อุปกรณ์ในการเก็บผล	55
3.6	การทดลองของระบบหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ	56

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ	59
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลองและวิเคราะห์</b>	<b>60</b>
4.1	ผลการการศึกษาอุณหภูมิน้ำผสมของก๊อกน้ำทั่วไป โดยใช้น้ำร้อนแรงดันต่ำ	60
4.2	ผลของรูปแบบการไหลแบบ 2 มิติ ของหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ	63
4.3	นำผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาสร้างหัวผสมน้ำร้อน	78
4.4	ผลการทดลอง	79
4.4.1	ระยะท่อทองแดงที่ระดับ a	79
4.4.2	ระยะท่อทองแดงที่ระดับ b	81
4.4.3	ระยะท่อทองแดงที่ระดับ c	84
4.5	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำผสมของหัวผสมน้ำร้อน	91
<b>5.</b>	<b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>92</b>
5.1	สรุปผลการทดลอง	92
5.1.1	การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของน้ำในถังผสมน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร	92
5.1.2	การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของน้ำในถังผสมน้ำร้อนขนาด 2000 ลิตร	92
5.2	ข้อเสนอแนะ	93
	<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>94</b>
	<b>ภาคผนวก</b>	
ก	ผลการทดสอบและผลของอุณหภูมิต่างๆ	96
ข	ขนาดหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ทำการออกแบบ	159
	<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>162</b>

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ค่าที่ทำการปรับเปลี่ยนในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	59
4.1	เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลอง	89
4.2	ผลของอุณหภูมิน้ำผสมที่ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วน้ำร้อน ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	91
ก.1	อุณหภูมิน้ำผสมในกรณีที่ 1 ที่มีอุณหภูมิน้ำร้อน 45 และ 60 องศาเซลเซียส	97
ก.2	อุณหภูมิน้ำผสมในกรณีที่ 2 ที่มีอุณหภูมิน้ำร้อน 45 และ 60 องศาเซลเซียส	97
ก.3	อุณหภูมิน้ำผสมในกรณีที่ 3 ที่มีอุณหภูมิน้ำร้อน 45 และ 60 องศาเซลเซียส	98
ก.4	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ A ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:4	99
ก.5	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ A ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:5	104
ก.6	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ A ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:6	109
ก.7	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ B ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:4	114
ก.8	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ B ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:5	119
ก.9	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ B ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:6	124
ก.10	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:4	129
ก.11	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:5	134
ก.12	ผลการทดสอบอุณหภูมิที่ท่อทองแดงระดับ C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:6	139
ก.13	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสม ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:4	144
ก.14	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสม ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:5	149
ก.15	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสม ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:6	154

## รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ส่วนประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ	4
2.2	แผ่นดูดกลืนรังสีพร้อมท่อของไหล	4
2.3	การติดตั้งท่อน้ำในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ	5
2.4	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ใช้เทคโนโลยี Heat Pipe	6
2.5	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ใช้หลักการ Flow Through Absorber	7
2.6	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ใช้หลักการ All-glass Tubes	8
2.7	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ใช้หลักการ Storage Absorber	8
2.8	เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	10
2.9	การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์	10
2.10	ระบบแอ็คทีฟแบบวงจรเปิด	11
2.11	ระบบแอ็คทีฟแบบวงจรปิด	12
2.12	ระบบหมุนเวียนของไหลแบบเทอร์โมไซฟอน	13
2.13	หลักการงานและตัวอย่างของระบบที่มีถังน้ำร้อนในตัว	13
2.14	ระบบหมุนเวียนของไหลแบบเทอร์โมไซฟอน	15
2.15	Velocity Profile ของการไหล	17
2.16	Entrance Region, Developing Flow and Fully Developed Flow in a Pipe	18
2.17	แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเร็วของของไหล	19
2.18	รูปแบบแสดงพลั๊กซ์ของมวลผ่านกรอบขนาดเล็กที่ตรึงอยู่ในโดเมนของการไหล เพื่อใช้ในการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์มวล	20
2.19	รูปแบบแสดงแรงต่างๆ ในทิศ $x$ ที่กระทำบนก้อนของไหล	22
2.20	รูปแบบแสดงงานที่เกิดขึ้นและปริมาณพลั๊กซ์ในทิศแกน $x$ ที่ไหลผ่านก้อนมวล ซึ่งเคลื่อนที่ไปกับการไหลเพื่อใช้ในการประดิษฐ์สมการเชิงอนุพันธ์พลังงาน	27
2.21	แผนภูมิการทำงานของวิธี SIMPLE	35
3.1	ก๊อคน้ำหัวผสมชนิดที่ใช้ในโรงแรมทั่วไป	43
3.2	แบบจำลอง 2 มิติ ของหัวผสมน้ำร้อน	44
3.3	เมฆรูปสามเหลี่ยมสำหรับแบบจำลองของหัวผสมน้ำร้อน	45
3.4	ลักษณะเวกเตอร์การไหลในแบบจำลองคณิตศาสตร์	45
3.5	เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	48

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.6	แผนภูมิการทำงานของ SIMPLE	49
3.7	ระบบที่ใช้ในการทดลอง	50
3.8	หัวผสมน้ำร้อนที่ได้ทำการออกแบบ	50
3.9	หัวผสมน้ำร้อน	51
3.10	ถังเก็บน้ำร้อน	51
3.11	ถังผลิตน้ำร้อน	52
3.12	ฮีตเตอร์ทำน้ำร้อน	52
3.13	ตู้ควบคุมระบบ	53
3.14	ปั้มน้ำ	53
3.15	ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว	54
3.16	ทางเดินน้ำร้อนและน้ำประปา	54
3.17	เครื่องมือวัดอัตราการไหล	55
3.18	สายเทอร์โมคัปเปิล	55
3.19	เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)	56
3.20	ส่วนประกอบของก๊อคน้ำหัวผสม	56
3.21	ทางเข้าของทางน้ำร้อนและทางเข้าของน้ำประปา	57
3.22	ระยะท่อทองแดงทั้ง 3 ระดับ	57
3.23	(ก) ถังผลิตน้ำร้อนหมายเลข (ข) ถังเก็บน้ำร้อนที่ระยะความสูง 3 เมตร	58
4.1	เปรียบเทียบอุณหภูมิการผสมของก๊อคน้ำหัวผสมที่อัตราการไหล 4:4 ลิตร/นาที	60
4.2	เปรียบเทียบอุณหภูมิการผสมของก๊อคน้ำหัวผสมที่อัตราการไหล 4:5 ลิตร/นาที	61
4.3	เปรียบเทียบอุณหภูมิการผสมของก๊อคน้ำหัวผสมที่อัตราการไหล 4:6 ลิตร/นาที	61
4.4	เปรียบเทียบอุณหภูมิการผสมของก๊อคน้ำหัวผสมที่อัตราการไหลทั้ง 3 ระดับ	62
4.5	ลักษณะเวกเตอร์การไหลในแบบจำลองคณิตศาสตร์	63
4.6	การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำต่ำ ระยะท่อทองแดงระดับ a ความเร็วของน้ำร้อนที่ 0.5 เมตร/วินาที และความเร็วของ น้ำประปาที่ 0.5 เมตร/วินาที ( $T_h=45^{\circ}\text{C}$ )	64





## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.25	เปรียบเทียบ การกระจายตัวของอุณหภูมิน้ำภายในหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ แรงดันน้ำต่ำ กรณีที่ 2 ที่ระยะท่อน้ำประปาที่ระดับ b	76
4.26	เปรียบเทียบ การกระจายตัวของอุณหภูมิน้ำภายในหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ แรงดันน้ำต่ำ กรณีที่ 3 ที่ระยะท่อน้ำประปาที่ระดับ c	77
4.27	หัวผสมน้ำร้อนที่ทำการออกแบบ	78
4.28	หัวผสมน้ำร้อน	78
4.29	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมที่ท่อทองแดงระดับ a อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 4 ลิตร/นาทิจ	79
4.30	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมที่ท่อทองแดงระดับ a อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 5 ลิตร/นาทิจ	80
4.31	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมที่ท่อทองแดงระดับ a อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 6 ลิตร/นาทิจ	80
4.32	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมของระยะท่อทองแดงระดับ a ที่อัตรา 4:4, 4:5 และ 4:6	81
4.33	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ b อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 4 ลิตร/นาทิจ	82
4.34	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ b อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลทางน้ำประปา 5 ลิตร/นาทิจ	82
4.35	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ b ที่อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 6 ลิตร/นาทิจ	83
4.36	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมของระยะท่อทองแดงระดับ b ที่อัตรา 4:4, 4:5 และ 4:6	83
4.37	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ c ที่อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 4 ลิตร/นาทิจ	84
4.38	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ c ที่อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 5 ลิตร/นาทิจ	85
4.39	กราฟอุณหภูมิน้ำผสมช่วงท่อทองแดงระดับ c ที่อัตราการไหลน้ำร้อน 4 ลิตร/นาทิจ และอัตราการไหลน้ำประปา 6 ลิตร/นาทิจ	85
4.40	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมระยะท่อทองแดงระดับ c ที่อัตรา 4:4, 4:5 และ 4:6	86
4.41	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมของท่อทองแดงระดับ a, b และ c ที่อัตรา 4:4	86

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
4.42	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมของท่อทองแดงระดับ a, b และ c ที่อัตรา 4:5	87
4.43	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมของท่อทองแดงระดับ a, b และ c ที่อัตรา 4:6	88
4.44	เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำผสมที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองคณิตศาสตร์	89
4.45	เปรียบเทียบความถูกต้องในการคำนวณอุณหภูมิน้ำผสมที่ได้จากการทดสอบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์	90

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

$A_b$	=	พื้นที่ ( $m^2$ )
$A_c$	=	คือพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $m^2$
$C_p$	=	คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, $MJ/kg^\circ C$
$D$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
$F$	=	Loss Coefficient
$h_L$	=	การสูญเสียรวมในระบบ
$h_M$	=	การสูญเสียพลังงานหลักเนื่องจากผิวท่อ
$h_m$	=	การสูญเสียรองเนื่องจากข้อต่อต่างๆ
$I_T$	=	คือรังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง, $MJ/m^2 hr$
$K$	=	Loss Coefficient
$l_e$	=	ระยะ Entrance Length (m)
$\dot{m}_f$	=	คืออัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $kg/hr$
$\eta_{coll}$	=	คือประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์
$\dot{Q}_{coll}$	=	คืออัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $MJ/hr$
$(\tau\alpha)_e$	=	คือประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
$T_a$	=	คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, $^\circ C$
$T_{fi}$	=	คืออุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^\circ C$
$T_{fo}$	=	คืออุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^\circ C$
$T_p$	=	คืออุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $^\circ C$
$U_L$	=	คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม จากผิวคูตัวเก็บรังสีอาทิตย์, $MJ/m^2 hr^\circ C$
Re	=	จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Numbers)
$V$	=	ความเร็วการไหล (m/s)
$\mu$	=	ความหนืดของของไหล ( $kg/m.s$ )
$\rho$	=	ความหนาแน่นของของไหล ( $kg/m^3$ )