บทที่ 3 ระเบียบวิธีในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย การออกแบบ และการสร้างหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้แรงดันของน้ำร้อนต่ำ เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิและลักษณะการไหลของของไหลภายในหัวผสมน้ำร้อนที่ใช้ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ซึ่งถังน้ำร้อนเป็นแบบไม่มีความดัน โดยมุ่งเน้นเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างหัวผสมน้ำร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา การกำหนดรูปร่างของปัญหา สมมติฐานของการศึกษาและขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย ลำดับในการศึกษาดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ทำการศึกษาทดลองอุณหภูมิน้ำผสมโดยใช้ก๊อกน้ำหัวผสมทั่วไปที่ใช้ตามที่พักอาศัย
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของของไหล และการกระจายอุณหภูมิของของไหลภายในหัวผสมน้ำร้อนเพื่อออกแบบหัวผสมน้ำร้อนที่ความดันต่ำ
3. วิเคราะห์ผลการจำลองจากการปรับความเร็ว อัตราการไหล และความดัน เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำผสมที่ต้องการ
4. ทำการสร้างหัวผสมน้ำร้อน และออกแบบการทดลอง
5. สรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2 ขั้นตอนการศึกษาอุณหภูมิน้ำผสมของก๊อกน้ำทั่วไป โดยใช้น้ำร้อนแรงดันต่ำ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลอง โดยการทดลองอุณหภูมิน้ำผสมของก๊อกน้ำหัวผสมชนิดที่ใช้ในโรงแรมทั่วไป โดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำประปาที่ระดับอัตราการไหลของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:4, 4:5 และ 4:6 ลิตร/นาที ตามลำดับ

วิธีทำการทดลอง (ณ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

1. เปิดน้ำเข้าถังผลิตน้ำร้อน เพื่อทำการผลิตน้ำร้อน โดยการเปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานของฮีทเตอร์และทำการปรับอุณหภูมิเทอโมสตัทที่ 60^{o}C

2. ทำการปล่อยน้ำจากถังเก็บน้ำร้อน และทำการปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่อัตรา 4 ลิตร/นาที และทำการเปิดน้ำประปา ทำการปรับอัตราการไหลน้ำประปาให้อยู่ที่อัตรา 4 ลิตร/นาที เพื่อให้น้ำไหลมาผสมกันภายในก๊อกน้ำหัวผสม
3. ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 โดยการปรับแรงดันของน้ำร้อนต่อน้ำประปา 4:5 และ 4:6 ลิตร/นาที ตามลำดับทำเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)

รูปที่ 3.1 ก๊อกน้ำหัวผสมชนิดที่ใช้ในโรงแรมทั่วไป

3.3 การคำนวณทางคณิตศาสตร์

จากปัญหาในหัวข้อ 3.2 งานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลในการคำนวณหาผลเฉลยเพื่อสังเกตลักษณะการไหลของของไหลภายในหัวผสม และคำนวณการกระจายอุณหภูมิของของไหลภายในหัวผสม เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างหัวผสมน้ำร้อน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยสังเขปดังนี้

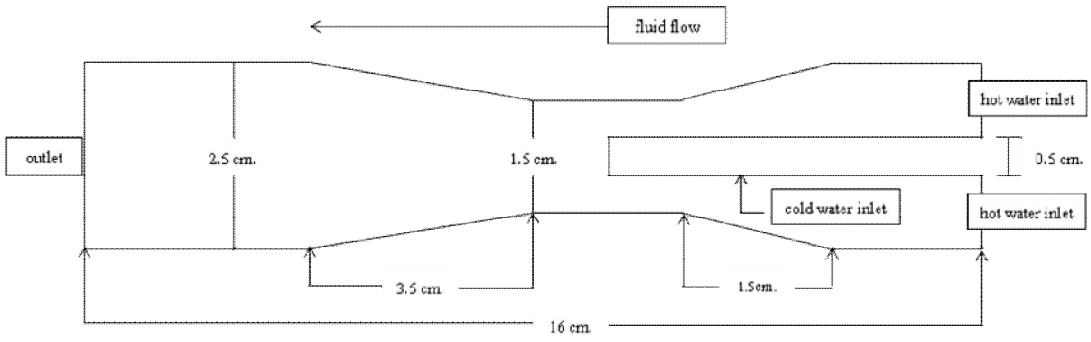
1. กำหนดลักษณะทางกายภาพของบริเวณที่สนใจ
2. สร้างเมชภายในขอบเขตที่สนใจ
3. กำหนดค่าสมบัติของของไหล
4. เลือกลักษณะของปัญหาขอบเขตที่เราสนใจ เช่น ราบเรียบหรือปั่นป่วน

ในขั้นตอนการคำนวณจะต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต วิธีในการคำนวณ (Solver) กำหนดเงื่อนไขการลู่เข้าและค่าเริ่มต้น หลังเสร็จสิ้นการคำนวณจึงทำการแสดงผลการคำนวณในรูปแบบต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์

3.4 ขั้นตอนการคำนวณทางคณิตศาสตร์

3.4.1 แบบจำลองของหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลอง 2 มิติของหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ มีขนาดความยาว 11 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตรความกว้างช่วงคอขอด 1.5 เซนติเมตร ความกว้างของท่อน้ำเย็น 0.5 เซนติเมตร

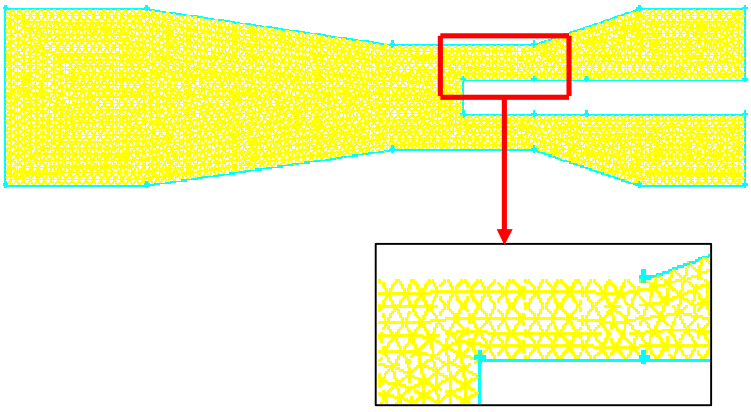


รูปที่ 3.2 แบบจำลอง 2 มิติ ของหัวผสมน้ำร้อน

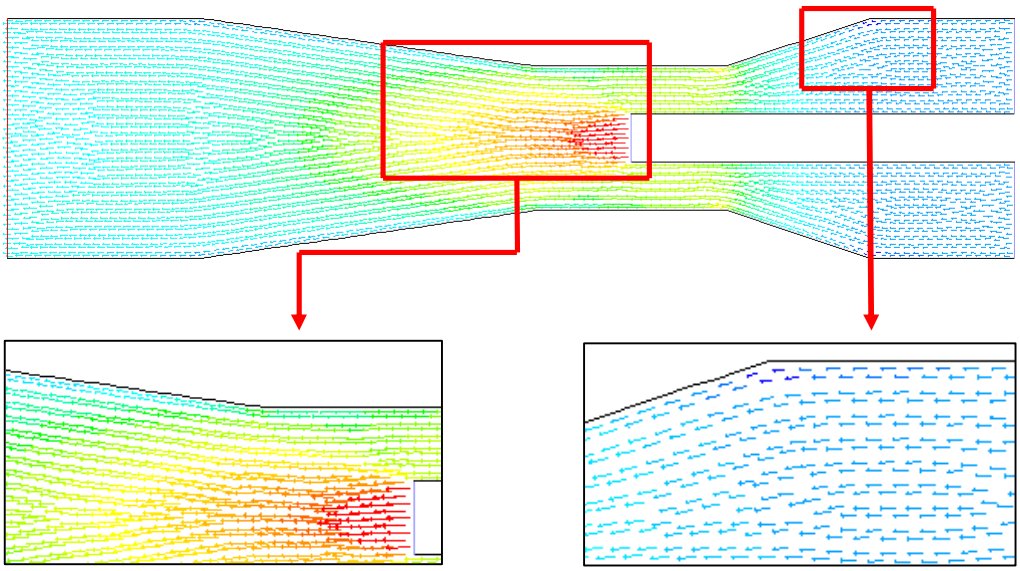
งานวิจัยนี้เริ่มจากการกำหนดขนาดของท่อน้ำร้อนและน้ำเย็นกำหนดให้ท่อน้ำร้อนเป็นท่อใหญ่ท่อน้ำเย็นเป็นท่อเล็กและท่อน้ำเย็นเป็นท่อใหญ่ท่อน้ำร้อนเป็นท่อเล็กเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำผสมที่ต้องการ เมื่อได้อุณหภูมิน้ำผสมที่ต้องการแล้วขั้นตอนต่อไปจึงทำการเลื่อนระยะท่อเล็กเพื่อหาระยะที่ทำให้เกิดการผสมระหว่างน้ำร้อนกับน้ำเย็น และอุณหภูมิผสมตามที่ต้องการ ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการ
อยู่ที่ 35-45^{o}C

3.4.2 การสร้างเมช

เนื่องจากรูปร่างลักษณะของปัญหาไม่มีความสมมาตรกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เมชรูปสามเหลี่ยมสำหรับแบบจำลองหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เมชรูปสามเหลี่ยมสำหรับแบบจำลองของหัวผสมน้ำร้อน



รูปที่ 3.4 ลักษณะเวกเตอร์การไหลในแบบจำลองคณิตศาสตร์

3.4.3 การตั้งสมมติฐานของงานวิจัย

ในการจำลองหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.3 ด้วยการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลได้มีการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1. สถานะคงตัว (Steady State)
2. ลักษณะการไหลเป็นแบบ 2 มิติ
3. กำหนดให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วน เนื่องจากความเร็วของน้ำร้อนและน้ำเย็นที่กำหนดมีค่า Re (Reynolds Number) อยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

4. กำหนดให้ผนังท่อเป็นฉนวนโดยสมบูรณ์ เพราะต้องการสังเกตพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในท่อ
5. กำหนดให้อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นคงที่

3.4.4 สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณ

สมการที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบนี้ประกอบด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) สมการพลังงาน (Energy Equation) และใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Standard k-ε Model) เพื่ออธิบายสภาวะการไหลที่เป็นแบบปั่นป่วน ในการจัดรูปแบบสมการคำนวณพลศาสตร์ของไหลนี้ได้ใช้ระเบียบวิธี Finite Volume และเทคนิคการคำนวณแบบ SIMPLE Algorithm [14]

สมการเชิงอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{3.1}$$

สมการโมเมนตัม

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial x}=\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \tag{3.2}$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial p}{\partial y}=\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \tag{3.3}$$

ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ทั้ง 3 สมการนี้ ประกอบด้วยตัวแปรตาม (Dependent Variable) ที่ไม่รู้ค่า 3 ตัว ซึ่งแปรผันไปตามตัวแปรต้น (Independent Variable) x และ y ตัวแปรทั้ง 3 ตัวนี้ประกอบด้วยความเร็ว u ในแนวแกน x; ความเร็ว v ในแนวแกน y; และความดัน p ที่ต่างเป็นฟังก์ชันของทั้ง x และ y; ส่วน ρ และ μ คือค่าความหนาแน่น (Density) และค่าความหนืด(Viscosity) ของของไหลนั้น ตามลำดับ

ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์

สมการเชิงอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นจากความจริงที่ว่า มวลนั้นไม่มีการสูญหาย การใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน และพลังงานนั้นไม่มีการสูญหาย ก่อให้เกิดระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

สมการเชิงอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \vec{V} \right) = 0 \tag{3.4}$$

สมการเชิงอนุรักษ์โมเมนตัม

แกน x: $$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \left(\rho u \vec{V} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \rho f_x \tag{3.5}$$

แกน y: $$\frac{\partial \left(\rho v \right)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \left(\rho v \vec{V} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \rho f_y \tag{3.6}$$

สมการเชิงอนุรักษ์พลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \vec{V} \right] = \rho \bar{Q} + \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial (up)}{\partial x}$$

$$-\frac{\partial (vp)}{\partial y} + \frac{\partial (u\sigma_x)}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\sigma_y)}{\partial y} + \rho \bar{f} \cdot \vec{V} \tag{3.7}$$

3.4.5 เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณ

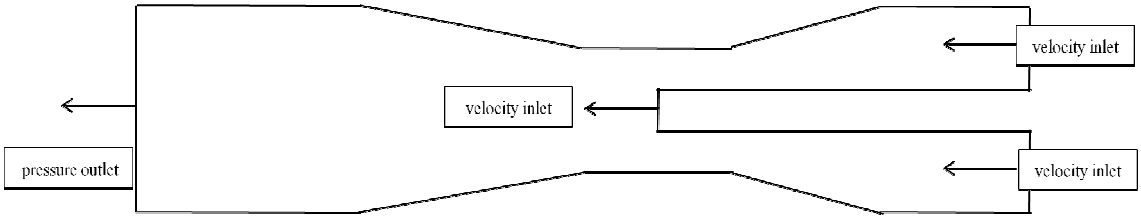
เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรบางตัวเพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น ดังนี้

1. ความเร็วน้ำร้อน 0.5 เมตร/วินาที
2. ความเร็วน้ำเย็น 0.5, 1 และ 1.5 เมตร/วินาที
3. อุณหภูมิน้ำร้อน 45°C และ 60°C
4. อุณหภูมิน้ำเย็น 27°C

5. ลักษณะการไหล การไหลแบบปั่นป่วน
6. ลักษณะของของไหล น้ำ

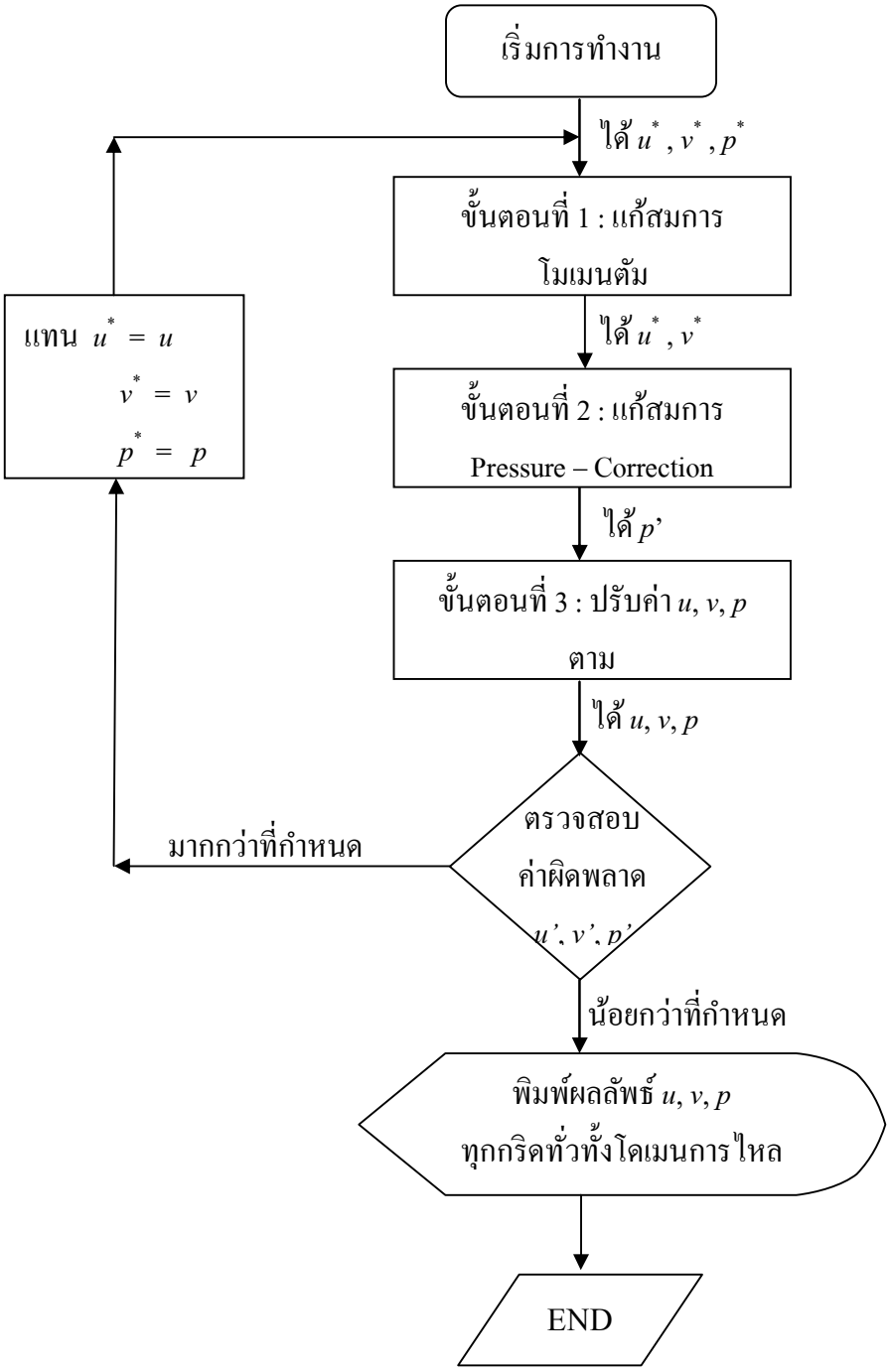
3.4.6 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับแบบจำลองหัวผสมน้ำร้อนที่บริเวณต่างๆ ดังรูปที่ 3.5 โดยพิจารณาถึงความดัน อุณหภูมิ ความเร็ว



รูปที่ 3.5 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. ทางเข้าของน้ำร้อน ได้กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบ Velocity Inlet โดยกำหนดค่าความเร็วที่1 เมตร/วินาที และกำหนดให้อุณหภูมิน้ำร้อนมีค่า 45^{o}C และ 60^{o}C
2. ทางเข้าของน้ำเย็น ได้กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบ Velocity Inlet โดยกำหนดค่าความเร็วที่ 1, 1.5 และ 2 เมตร/วินาที และกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเย็นมีค่าคงที่ที่ 27^{o}C
3. ทางน้ำออกของน้ำผสม ได้กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบ Pressure Inlet ซึ่งความดันรวมที่พื้นผิวนี้มีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.6 แผนภูมิการทำงานของ SIMPLE [8]

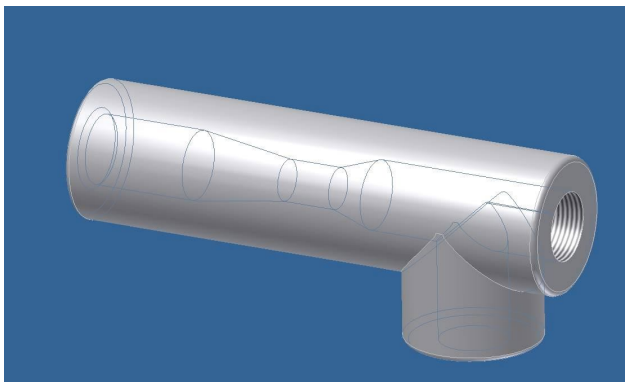
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยถังเก็บน้ำร้อนซึ่งมีการหุ้มฉนวนวางไว้ที่ระดับความสูง 2 เมตร (วัดจากก้นถังเก็บน้ำร้อนถึงระดับหัวผสมน้ำร้อน) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

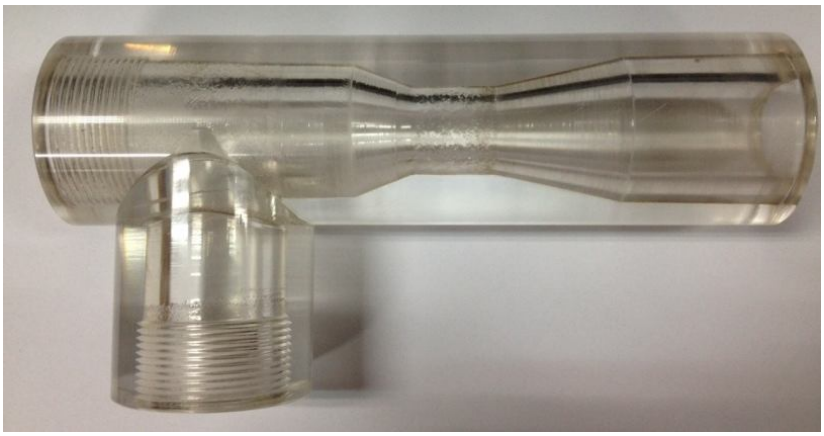
รูปที่ 3.7 ระบบที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 หัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำร้อนต่ำ

การออกแบบ และสร้างหัวผสมน้ำร้อนโดยใช้ลักษณะของเวนจูรี่ในการออกแบบ และสร้างหัวผสมน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 หัวผสมน้ำร้อนที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.9 หัวผสมน้ำร้อน

3.5.2 ถังเก็บน้ำร้อน

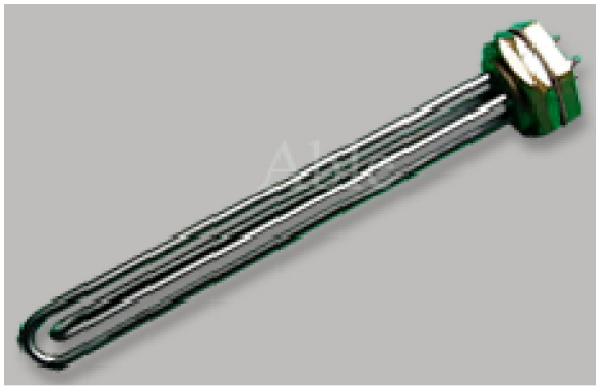
ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง เป็นถังที่ทำจากสเตนเลสมีการหุ้มฉนวนความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนของระบบ มีการยกระดับของถังให้สูงจากพื้น เพื่อให้มีแรงดันขับเคลื่อนของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 ถังเก็บน้ำร้อน

3.5.3 ถังผลิตน้ำร้อน

รูปที่ 3.11 เป็นถังสำหรับใช้ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการทดลอง ภายในถังผลิตน้ำร้อนจะประกอบไปด้วยฮีทเตอร์ขนาด 1500 วัตต์ ใช้ในการผลิตน้ำร้อน และมีเทอร์โมสตัท เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้มีค่า 60°C โดยมีหลักการในการทำงานของเทอร์โมสตัทคือ เมื่อฮีทเตอร์ทำงานจนได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เทอร์โมสตัทจะทำหน้าที่หยุดการทำงานของฮีทเตอร์

รูปที่ 3.11 ถังผลิตน้ำร้อน



รูปที่ 3.12 ฮีทเตอร์ทำน้ำร้อน [15]

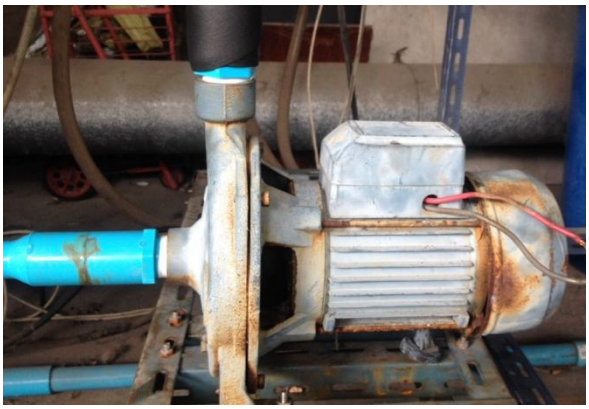
3.5.4 ตู้ควบคุมถังผลิตน้ำร้อน

ภายในตู้ควบคุมจะประกอบไปด้วยสวิตช์ควบคุมการทำงานของฮีทเตอร์ และสวิตช์ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.13 ตู้ควบคุมระบบ

3.5.5 ปั๊มน้ำ

เมื่อถังผลิตน้ำร้อนได้น้ำอุณหภูมิตามที่ต้องการจะทำการปั๊มน้ำขึ้นไปยังถังเก็บน้ำร้อนด้านบน โดยสวิตช์เปิด – ปิด การทำงานของปั๊มน้ำจะอยู่ที่ตู้ควบคุมระบบ



รูปที่ 3.14 ปั๊มน้ำ

3.5.6 ทางเดินน้ำของน้ำร้อนและน้ำประปา

ในระบบการทดลอง จะใช้ท่อ PVC ขนาด 4 หุน ใช้เป็นทางเดินของน้ำร้อนและน้ำประปา โดยที่น้ำร้อนจะใช้ AEROTAPE เป็นฉนวนหุ้มท่อ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

รูปที่ 3.15 ท่อ PVC ขนาด 4 หุน

รูปที่ 3.16 ทางเดินน้ำร้อนและน้ำประปา

3.5.7 ครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow Meter)

จากรูปที่ 3.16 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็น ให้ได้ค่าอัตราการไหลตามที่ต้องการในการทดลอง

รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

3.5.8 อุปกรณ์ในการเก็บผล

- สายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K ค่าความแม่น (Accuracy) $\pm 0.5^{o}C$ ใช้ในการวัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-200^{o}C$ ถึง $1350^{o}C$ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยติดตั้งสายเทอร์มอคัปเปิลที่ถังผลิตน้ำร้อน ถังเก็บน้ำร้อนด้านบน น้ำร้อนก่อนเข้าหัวก๊อก น้ำประปาก่อนเข้าหัวก๊อก และทางออกของก๊อกน้ำหัวผสม แล้วส่งค่าที่ได้ไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Sensitivity41 $\mu V/^{o}C$)

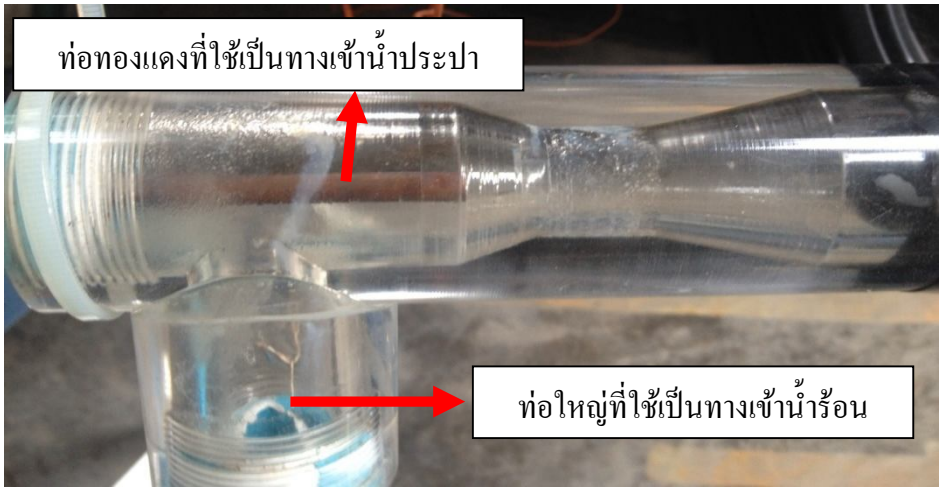
รูปที่ 3.18 สายเทอร์มอคัปเปิล

- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) ของ YOKOGAWA รุ่น DX230-3-2 STYLE S4 ใช้บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

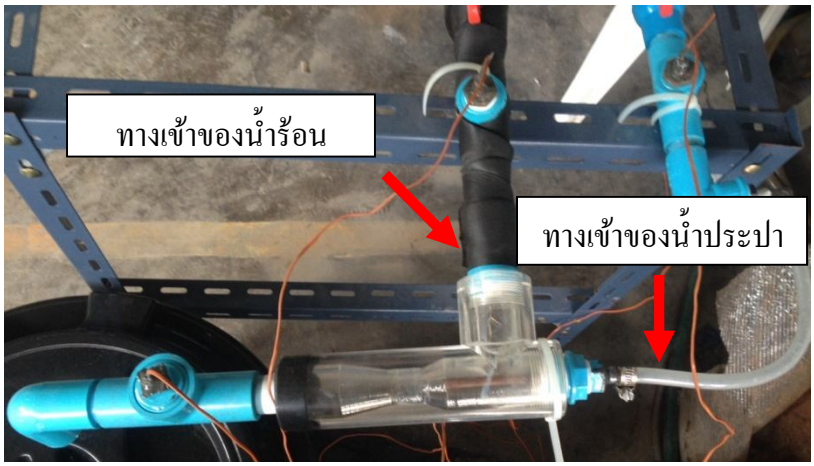
รูปที่ 3.19 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) [16]

3.6 การทดลองของระบบหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำร้อนต่ำ

1. ในการวิจัยนี้ได้แบ่งระยะของท่อน้ำประปาออกเป็น 3 ระดับดังแสดงในรูปที่ 3.22
2. ตัวแปรที่ต้องการวัดขณะที่ทำการทดลอง
   - อุณหภูมิน้ำร้อน น้ำประปา และน้ำผสม
3. กำหนดให้ท่อใหญ่เป็นน้ำร้อน ท่อทองแดงเป็นน้ำประปา ดังแสดงในรูปที่ 3.19

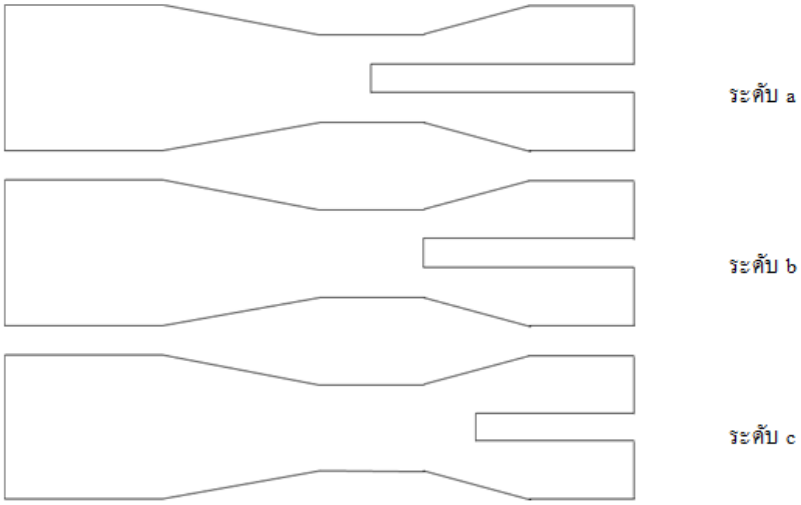


รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบของก๊อกน้ำหัวผสม



รูปที่ 3.21 ทางเข้าของน้ำร้อนและทางเข้าของน้ำประปา

3. ใช้ฮีทเตอร์ในการผลิตน้ำร้อน และเทอร์โมสตัทใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในถังผลิตน้ำร้อน
4. ปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนให้มีค่าคงที่ที่ 4 ลิตร/นาที และปรับอัตราการไหลน้ำประปาให้มีค่าอัตราการไหล 4, 5 และ 6 ลิตร/นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 ระยะท่อทองแดงทั้ง 3 ระยะ

จากรูปที่ 3.22 เป็นรูปแสดงระยะท่อทองแดงทั้ง 3 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับมีระยะของท่อทองแดงดังนี้
ระยะท่อทองแดงระดับ a อยู่ตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางคอคอดของท่อเวนจูรี่
ระยะท่อทองแดงระดับ b อยู่ตำแหน่งบริเวณขอบคอคอดของท่อเวนจูรี่ ทางด้านน้ำเข้า
ระยะท่อทองแดงระดับ c อยู่ตำแหน่งถัดจากขอบคอคอดของท่อเวนจูรี่ไปทางด้านน้ำเข้า 1 cm.

(ก) (ข)

รูปที่ 3.23 (ก) ถังผลิตน้ำร้อนหมายเลข (ข) ถังเก็บน้ำร้อนที่ระยะความสูง 3 เมตร

วิธีทำการทดลอง (ณ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) การทดลองจะทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 ลิตร/นาที และจะทำการปรับอัตราการไหลของน้ำประปาที่ 4, 5 และ 6 ลิตร/นาที

1. เปิดน้ำเข้าถังผลิตน้ำร้อน (ก) เพื่อทำการผลิตน้ำร้อน โดยการเปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานของฮีทเตอร์ และทำการปรับอุณหภูมิเทอโมสตัทที่ 60°C
2. เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนในถังผลิตน้ำร้อน (ก) ได้อุณหภูมิ 60°C ตามที่ต้องการ จะทำการเปิดสวิตช์ปั๊มเพื่อปั๊มน้ำขึ้นสู่ถังเก็บน้ำร้อนที่ระยะความสูง 3 เมตร (ข)
3. ทำการปล่อยน้ำจากถังเก็บน้ำร้อน (ข)และทำการปรับอัตราการไหลได้อยู่ที่ระดับ 4 ลิตร/นาที และทำการเปิดน้ำประปา ทำการปรับอัตราการไหลทางน้ำประปาให้อยู่ที่อัตราการไหล 4 ลิตร/นาที เพื่อให้น้ำไหลมาผสมกันภายในก๊อกน้ำหัวผสม
4. ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)

   4.1 ทำการทดลองที่อัตราการไหลน้ำประปา 5 ลิตร/นาที โดยการปรับอัตราการไหลของทางน้ำประปาให้ อยู่ที่ 5 ลิตร/นาที เพื่อให้น้ำไหลมาผสมกันภายในก๊อกน้ำหัวผสม

   4.2 ทำการทดลองที่อัตราการไหลน้ำประปา 6 ลิตร/นาที โดยการปรับอัตราการไหลของทางน้ำประปาให้ อยู่ที่ 6 ลิตร/นาที เพื่อให้น้ำไหลมาผสมกันภายในก๊อกน้ำหัวผสม
5. ทำการทดลองที่ระยะท่อทองแดงระยะ b และ c โดยทำตามการทดลองซ้ำขั้นตอนการทดลอง 1-4

   วิเคราะห์ข้อมูล

   -สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของอุณหภูมิน้ำผสมที่ระยะท่อทองแดงทั้ง 3 ระยะ

   - สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของอุณหภูมิน้ำผสมที่อัตราการไหล ในระดับต่างๆ

   - สร้างกราฟเปรียบเทียบโดยแสดงความสัมพันธ์ ของอุณหภูมิน้ำผสมที่ระยะท่อทองแดงทั้ง 3 ระยะ ที่อัตราการไหล ในระดับต่างๆ

3.7 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำหัวผสมน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์แรงดันน้ำร้อนต่ำ

กาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหัวผสมน้ำร้อน ทางผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่ได้มาศึกษาเพิ่มเติม โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วของน้ำร้อนและน้ำประปาในการคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิน้ำร้อนที่เหมาะสม โดยการปรับความเร็วน้ำร้อน และน้ำประปาดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าที่ทำการปรับเปลี่ยนในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

น้ำร้อน (L/min)	น้ำร้อน V(m/s)	น้ำประปา V(m/s)
3	0.4	0.5
		1
		1.5
5	0.7	0.5
		1
		1.5