การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็น
High efficiency of Cooling water System

ผศ. ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ยานยนต์ และอุตสาหการ
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

1. บทคัดย่อ

น้ำเย็นมีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่ พร้อมทั้งยังมีการขยายตัวในการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ในส่วนของเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ดังนั้นจึงได้ออกแบบและจัดสร้างชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

การศึกษาชุดการทดสอบนี้ แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา คือ กรณีน้ำนิ่ง กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ และกรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดและปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อพร้อมกัน โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศมาช่วยทำการลดอุณหภูมิน้ำ และควบคุมปริมาตรของน้ำให้คงที่ ทำการศึกษาและทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำกับระยะเวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของน้ำจาก 30°C ถึง 7°C ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพพลังงานของการผลิตน้ำเย็น เพื่อนำข้อมูลในการศึกษามาเปรียบเทียบ

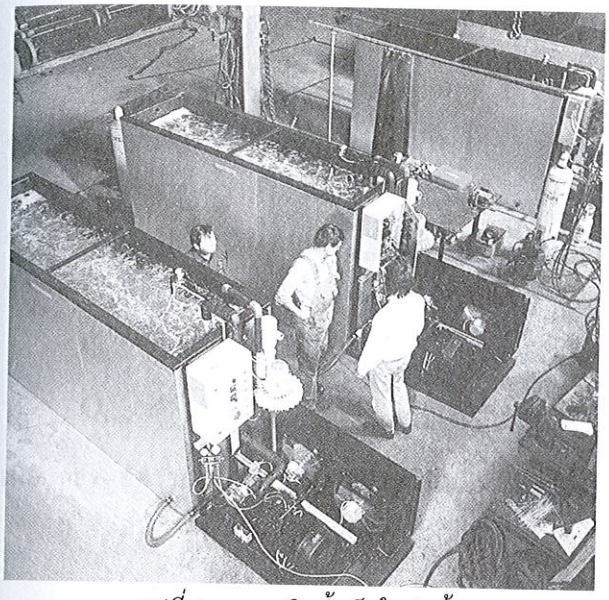
จากกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีนั้น สรุปได้ว่า กรณีน้ำที่มีการเคลื่อนที่ ทั้งแบบไหลเอื่อย และแบบไหลปั่นป่วน จะมีผลลัพธ์ในการลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีน้ำนิ่ง ส่วนของกรณีน้ำที่มีการเคลื่อนที่ กรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจะมีค่าสูงมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เท่ากับ 18.54% และ 27.65% ตามลำดับ และประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นของกรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 สูงมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 เท่ากับ 1.30% และ 7.52% ตามลำดับ ดังนั้นสรุปผลได้ว่า ชุดทดสอบระบบผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตน้ำเย็นได้

2. บทนำ

ในระยะเวลา 10 ปี ภาคอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจในประเทศมีการเจริญเติบโตก้าวหน้าอย่างรวดเร็วเป็นอย่างมาก การนำน้ำเย็นมาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีใหม่ๆ ในภาคอุตสาหกรรมก็เพิ่มทวีคูณตามไปด้วย อาทิเช่น การนำน้ำเย็นมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อน ระบบทำความเย็น และปรับอากาศ ระบบการผลิตสินค้าต่างๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 1

จากประสบการณ์ในการศึกษาและออกแบบระบบน้ำเย็นในอุตสาหกรรมต่างๆ ปัญหาที่พบบ่อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นด้านประสิทธิภาพการทำความเย็น การใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในช่วงการลดอุณหภูมิของน้ำในบ่อน้ำเย็นให้ได้ตามที่กำหนด การควบคุมและการกระจายอุณหภูมิของน้ำให้คงที่สม่ำเสมอ ซึ่งปัญหาทั้งหลายเล่านี้ คือปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรม หรือการปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่

การศึกษาในครั้งนี้ จะทำการสร้างชุดทดสอบระบบผลิตน้ำเย็น โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ระบายความร้อนด้วยอากาศ และกำหนดปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ ทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ในขณะที่น้ำอยู่ในสภาวะนิ่ง และไหลเวียน



รูปที่ 1 ระบบผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

3. วัตถุประสงค์

ออกแบบและจัดสร้างชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ พร้อมทั้งศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำกับระยะเวลาที่ใช้ผลิตน้ำเย็น สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และประสิทธิภาพพลังงานของการผลิตน้ำเย็น ใน 2 แบบ คือ แบบน้ำนิ่ง และแบบน้ำหมุนเวียน

4. ขอบเขตของการศึกษา

4.1 บ่อน้ำขนาดกว้าง 0.50 m ยาว 1.35 m สูง 0.70 m. บรรจุน้ำปริมาตร 300 L ลดอุณหภูมิน้ำเริ่มจาก 30°C ลดลงถึง 7°C โดยใช้เครื่องระเหยแบบครีบที่มีความยาวท่อยาว 18.48 m และสารทำความเย็น R-22

4.2 จัดสร้างระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ความยาวท่อน้ำยาจากเครื่องระเหยถึงเครื่องอัดไอเท่ากับ 4.07 m ตำแหน่งของเครื่องระเหยอยู่กลางบ่อ และสูงจากพื้นล่างของบ่อ 0.18 m

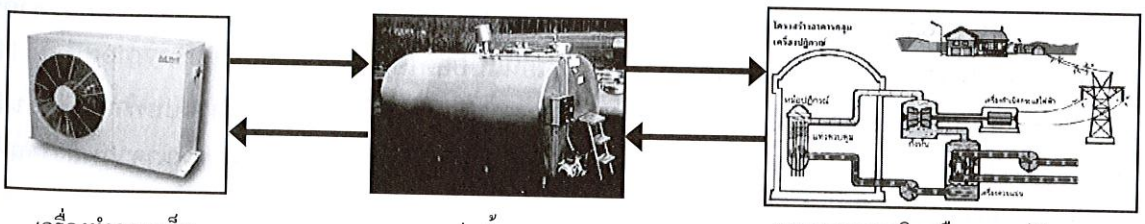
4.3 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล วัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ ความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าและทางออกเครื่องระเหย อุณหภูมิของน้ำภายในบ่อน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนใบพัด พลังงานไฟฟ้าของปั๊มน้ำ และระยะเวลาที่ใช้การลดอุณหภูมิของน้ำจาก 30°C ถึง 7°C เปรียบเทียบลักษณะของน้ำ 2 แบบ คือ แบบน้ำนิ่ง และแบบน้ำไหลหมุนเวียน โดยแบบไหลหมุนเวียนแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัด กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำ และกรณีน้ำเคลื่อนที่ โดยวิธีใช้ใบพัดและปั๊มน้ำหมุนเวียนพร้อมกัน

5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิธีที่สามารถทำให้ระบบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ขึ้นอยู่ระบบทำความเย็น และการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมจากภายนอก ในการทดสอบนี้ได้จำลอง โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ ระบายความร้อนด้วยอากาศ และสร้างบ่อน้ำที่ควบคุมผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศภายนอก

5.1 ระบบทำความเย็นในกระบวนทำน้ำเย็นของบ่อน้ำ

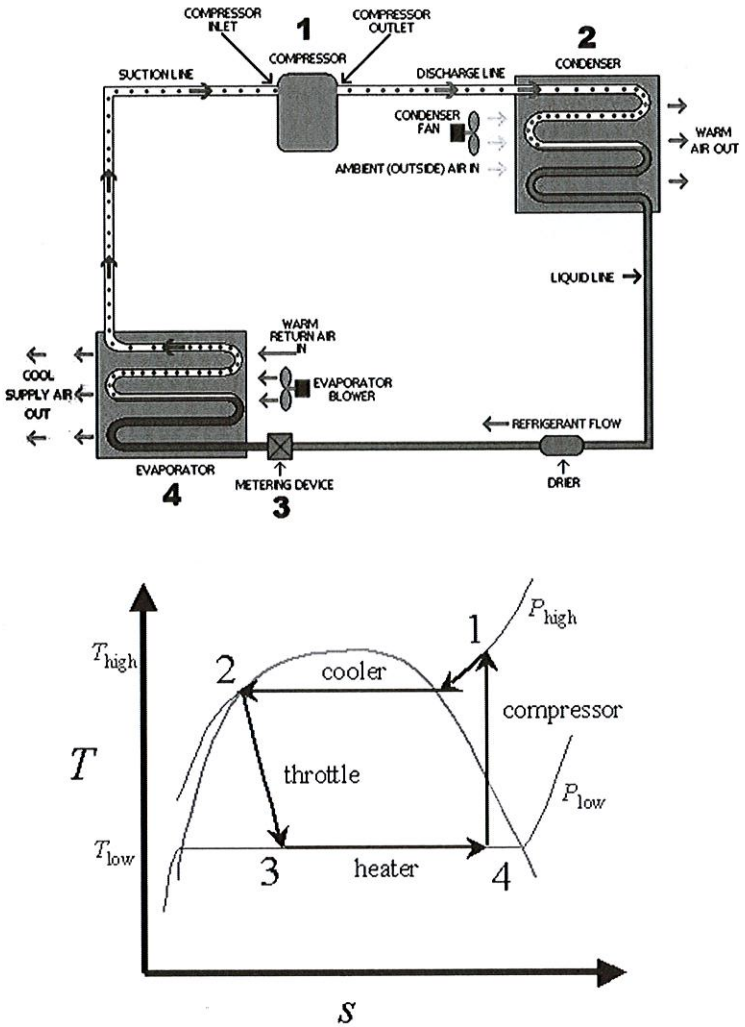
ระบบทำน้ำเย็น ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2 คือ เครื่องทำความเย็น และบ่อน้ำเย็น เครื่องทำความเย็นมีหน้าที่ทำความเย็นให้กับน้ำในบ่อน้ำ จนน้ำมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิใช้งาน แล้วจึงนำน้ำเย็น ที่ผลิตได้จากระบบทำความเย็น ส่งต่อไปกระบวนการผลิตที่ต้องการ หรือส่งไปยังระบบปรับอากาศของอาคารนั้นๆ เพื่อทำลมเย็น



เครื่องทำความเย็น บ่อน้ำ กระบวนการผลิตหรือระบบปรับอากาศ

รูปที่ 2 แผนภาพรวมแสดงระบบทำน้ำเย็น

5.2 วัฏจักรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 3 วัฏจักรระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

จากรูปที่ 3 การทำงานระบบทำความเย็นแบบอัดไอ คือ การนำเอาความร้อนจากภายในสิ่งที่ต้องการถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก เริ่มต้นจากเครื่องอัดไอ (Compressor) เริ่มทำงานจากนั้นเครื่องอัดไอจะทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นที่เป็นก๊าซยิ่งยวด (Superheated vapor) ที่ความดันต่ำออกจากเครื่องระเหย (Evaporator) เข้ามาทำการอัดให้มีความดันสูงขึ้นและส่งสารทำความเย็นที่เป็นก๊าซยิ่งยวดที่ความดันสูงไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งเครื่องควบแน่นจะทำการระบายความร้อนออกทำให้สารทำความเย็นเกิดการควบแน่นจนกลายเป็นของเหลวที่ความดันสูง จากนั้นส่งไปยังเครื่องกรอง และลดความชื้น (Dryer) จะทำการกรองสิ่งสกปรก และลดความชื้นที่มากับสารทำความเย็นออกก่อนส่งไปยังวาล์วลดความดัน (Expension valve) และวาล์วลดความดันจะรับสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวความดันสูงเข้ามาทำการลดความดันลง และฉีดให้เป็นละอองส่งต่อไปยังเครื่องระเหยเมื่อสารทำความเย็นถูกลดความดันลงจากนั้นเครื่องระเหยจะทำหน้าที่รับความร้อนบริเวณสิ่งที่ต้องการเข้ามาจนสารทำความเย็นเกิดการเดือดก็จะกลายสถานะเป็นก๊าซร้อนความดันต่ำส่งไปที่เครื่องอัดไอเพื่ออัดให้เป็นก๊าซยิ่งยวด ความดันสูงอีกครั้งหนึ่ง ทำอย่างนี้ให้เป็นวัฏจักรที่สมบูรณ์สำหรับการทำความเย็นแบบอัดไอ

การวิเคราะห์วัฏจักรของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ สามารถทำได้โดยการพิจารณาจากพลังงานที่เข้าและออกจากระบบซึ่งมีผลดังนี้

5.2.1 ปริมาณความร้อนที่ออกจากวัฏจักร คือ ความร้อนที่สารทำความเย็น ถ่ายเทให้กับสารหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการที่มีความดันคงที่

$$q_{high} = h_1 - h_2 \quad \text{.....(1)}$$

$$Q_{high} = mq_{high} = m(h_1 - h_2) \quad \text{.....(2)}$$

5.2.2 ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักร หรือความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating Effect) หมายถึง ความร้อนที่สารทำความเย็นรับเข้าสู่ตัวเองภายในเครื่องระเหยเกิดขึ้นในกระบวนการที่มีความดันคงที่

$$q_{low} = h_4 - h_3 = h_4 - h_2 \quad \text{.....(3)}$$

$$Q_{low} = m\,q_{low} = m(h_4 - h_2) \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ m = อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s

h = เอนทาลปีของสารทำความเย็น, kJ/kg

5.2.3 งานที่เข้าสู่วัฏจักร คือ งานที่ใช้ขับเครื่องอัดไอเกิดขึ้นในกระบวนการไอเซ็นโทรปิค

$$W_{com} = h_1 - h_4 \quad \text{.....(5)}$$

$$W_{com} = m(h_1 - h_4) \quad \text{.....(6)}$$

5.2.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP : Coefficient of Performance) ของระบบทำความเย็น ของระบบทำความเย็น คือ อัตราส่วนความสามารถในการทำความเย็น ต่อกำลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็น ซึ่งค่า COP เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

$$COP = \frac{Q_{low}}{W_{com}} \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อ Q_{low} = ความสามารถในการทำความเย็น, W

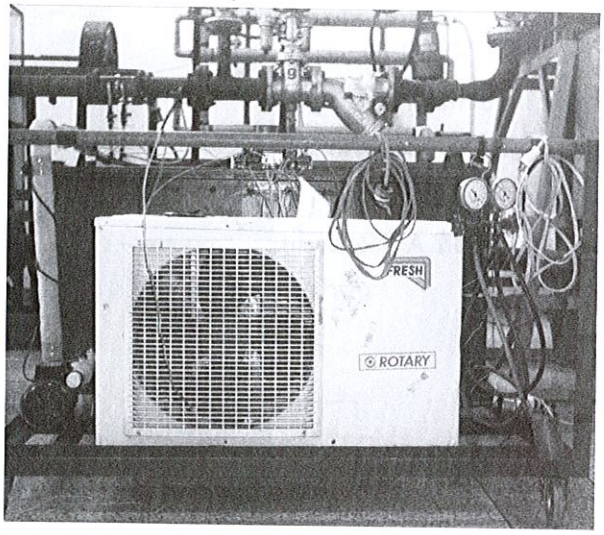
W_{com} = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, W

5.2.5 ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น (EER : Energy Efficiency Radio) จะเท่ากับความสามารถในการทำความเย็นของระบบต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้

$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น(Btu/hr)}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้(W)}} \quad \text{.....(8)}$$

6. อุปกรณ์เครื่องมือการทดสอบ

6.1 ชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงชุดจำลองการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

6.2 เครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องวัดค่าไฟฟ้า (Digital Power Meter) เทอร์โมมิเตอร์ (Themometer) แมนนิโฟลเกจ (Manifold Gauge) และนาฬิกาจับเวลา เป็นต้น

7. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

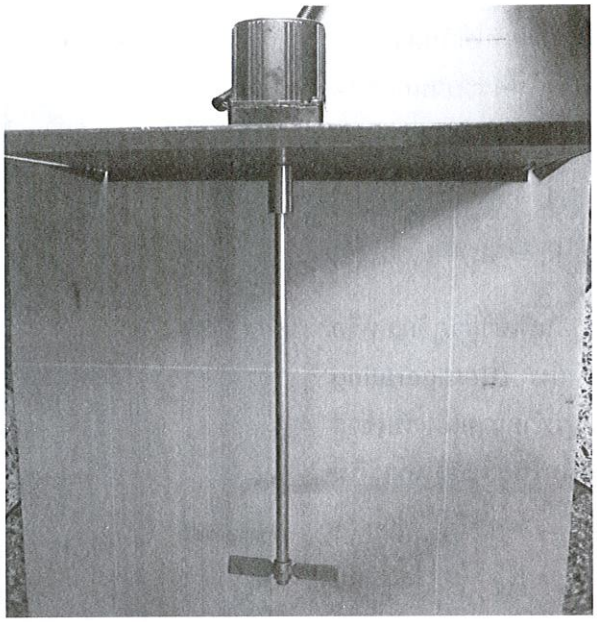
7.1 ติดตั้งชุดการทดสอบ และอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4

7.2 ทำการทดสอบโดยแบ่งเป็น 4 กรณี คือ

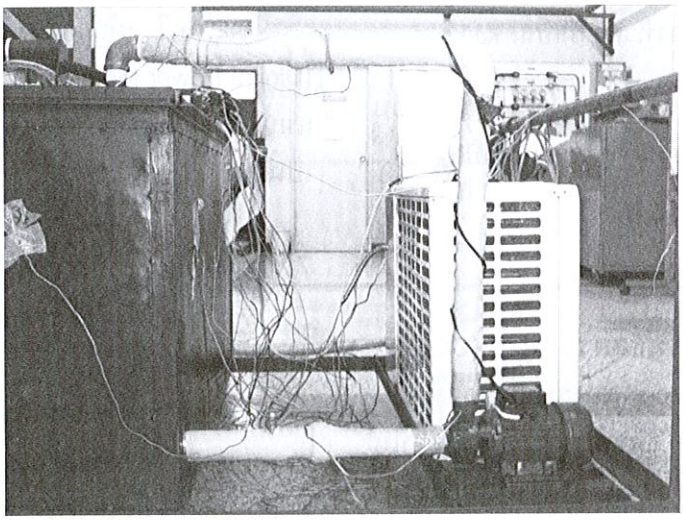
7.2.1 กรณีน้ำนิ่ง (กรณีศึกษาที่ 1) ทำการทดสอบโดยการให้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทำงานตามปกติ โดยน้ำในบ่อไม่มีการเคลื่อนไหว

7.2.2 กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 2) ทำการทดสอบโดยการให้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทำงานตามปกติ ซึ่งน้ำที่บรรจุอยู่ในบ่อถูกกระทำด้วยใบพัดให้น้ำมีการไหลเวียนที่ความเร็วรอบของใบพัดเท่ากับ 28 rpm ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 5

7.2.3 กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 3) ทำการทดสอบโดยการให้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทำงานตามปกติ ซึ่งน้ำที่บรรจุอยู่ในบ่อถูกกระทำด้วยปั๊มน้ำให้น้ำมีการไหลเวียนที่ความเร็วของน้ำเฉลี่ย 0.187 m/s ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งกรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ



รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งกรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ

7.2.4 กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดและปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อพร้อมกัน (กรณีศึกษาที่ 4) ทำการทดสอบโดยการให้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทำงานตามปกติ ซึ่งน้ำที่บรรจุอยู่ในบ่อถูกกระทำด้วยใบพัดให้น้ำมีการไหลเวียนที่ความเร็วรอบของใบพัดเท่ากับ 28 rpm ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา และปั๊มน้ำให้น้ำมีการไหลเวียนที่ความเร็วของน้ำเฉลี่ย 0.187 m/s

7.3 ทำการวัดและบันทึกผลการทดสอบต่างๆ ได้แก่

7.3.1 ค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ ใบพัด และปั๊มน้ำ

7.3.2 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น

7.3.3 อัตราการไหลของน้ำของปั๊มน้ำ

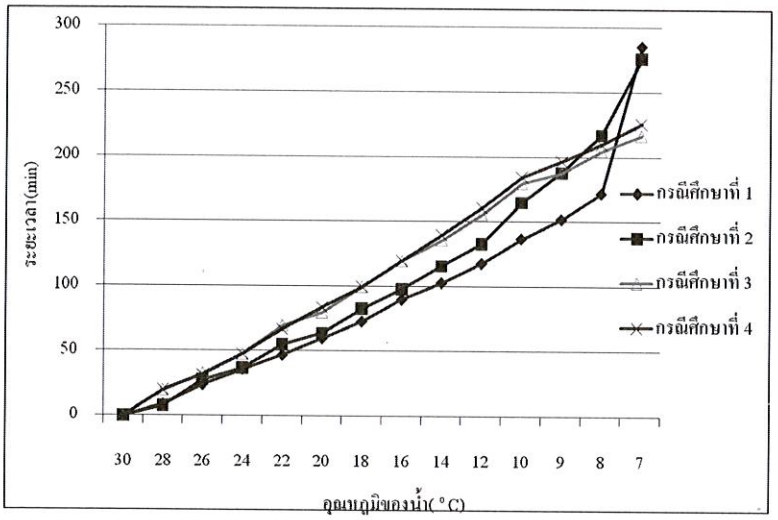
7.3.4 อุณหภูมิของน้ำในบ่อ และผิวของผนังของบ่อทั้ง 6 ด้าน

7.3.5 เวลาที่ใช้ในการทำความเย็น

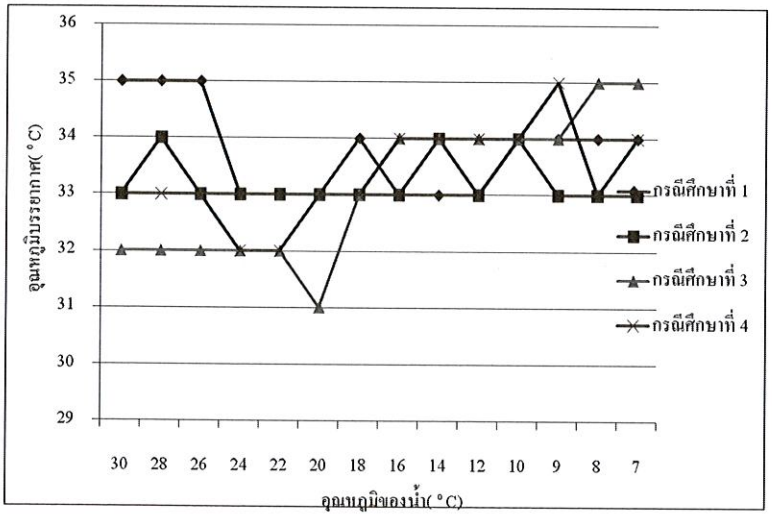
8. ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 7 เป็นผลการทดสอบโดยเริ่มจากอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 30°C ลดลงถึง 7°C ซึ่งเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของน้ำ กรณีน้ำนิ่ง (กรณีศึกษาที่ 1) กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 2) กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 3) และกรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดและปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อพร้อมกัน (กรณีศึกษาที่ 4)

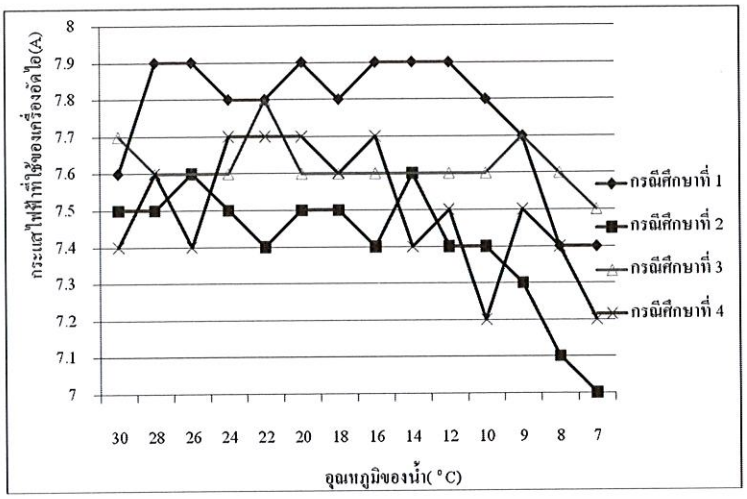
จากนั้นได้ทดสอบวัดและบันทึกผลการทดสอบต่างๆ ดังรูปที่ 8 ถึง รูปที่ 10 และตารางที่ 1 รูปที่ 8 แสดงการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของบรรยากาศ ทั้ง 4 กรณีศึกษา จะอยู่ในช่วง 31°C ถึง 35°C เพื่อควบคุมให้คงที่ในช่วงดังกล่าว ส่วนรูปที่ 9 ใช้เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ของเครื่องอัดไอของทั้ง 4 กรณีศึกษา ซึ่งยังไม่รวมพลังงานไฟฟ้าส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบ จะอยู่ในช่วง 7 A ถึง 7.9 A และช่วง 209 V ถึง 216V ตามลำดับ



รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำกับระยะเวลาที่ใช้ ทั้ง 4 กรณีศึกษา

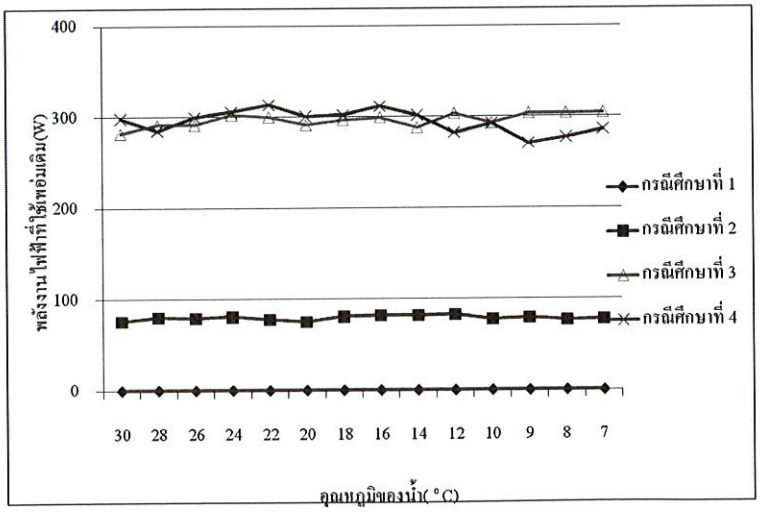


รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำกับอุณหภูมิบรรยากาศ ทั้ง 4 กรณีศึกษา



รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดไอทั้ง 4 กรณีศึกษา

จากรูปที่ 10 ได้ทำการวัดผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ โดยในกรณีน้ำนิ่ง (กรณีศึกษาที่ 1) นั้นไม่ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม แต่กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 2), กรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ (กรณีศึกษาที่ 3) และกรณีน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัด และปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อพร้อมกัน (กรณีศึกษาที่ 4) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของปั๊มน้ำ และใบพัด ซึ่งบันทึกผลได้ดังนี้ ใบพัดใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงประมาณ 74.88 W ถึง 81.9 W ส่วนปั๊มน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงประมาณ 281.96 W ถึง 304.59 W และทั้งใบพัดร่วมกับปั๊มน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงประมาณ 270.5 W ถึง 313.2 W



รูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มเติม ทั้ง 4 กรณีศึกษา

เมื่อเริ่มทำการทดสอบได้ระยะเวลาหนึ่งจนอยู่ในสภาวะคงที่ จึงได้ทำการวัดค่าปริมาตรของน้ำในบ่อ และอุณหภูมิผิวของผนังด้านนอกของบ่อ ทั้ง 6 ด้าน ค่าความดันด้านสูง และด้านต่ำของสารทำความเย็น พร้อมทั้งอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น และวาล์วลดความดัน จากนั้นวัดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า และออกจากเครื่องควบแน่น ดังตารางที่ 1

9. วิเคราะห์และสรุป

จากผลการทดสอบเมื่อนำผลการศึกษาการลดอุณหภูมิของน้ำจาก 30°C ถึง 7°C วิเคราะห์ลักษณะของน้ำ 2 แบบ คือแบบน้ำนิ่ง และแบบน้ำไหลหมุนเวียน จะได้กรณีศึกษาทั้งหมด 4 กรณี ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 เมื่อน้ำนิ่ง หรือน้ำในบ่อไม่มีการเคลื่อนไหว

กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อ

กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ

กรณีศึกษาที่ 4 เมื่อน้ำเคลื่อนที่โดยวิธีใช้ใบพัดและปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อทำงานพร้อมกัน

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น,อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิและปริมาตรของน้ำในบ่อ และอุณหภูมิผิวของผนังด้านนอกของบ่อ ทั้ง 6 ด้าน

กรณีศึกษา	ปริมาตร(L)	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกบ่อ ทั้ง 6 ด้าน (°c)						ความดันสารทำความเย็น (kgf/cm²)		อุณหภูมิสารทำความเย็น R-22 (°c)				อุณหภูมิอากาศ (°c)	
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	P_{high}	P_{low}	T_{evap}	T_{com}	T_{cond}	T_{exp}	$T_{cond,in}$	$T_{cond,out}$
กรณีศึกษาที่ 1	300	34	34	34	34	34	30	3.02	17.58	28	72	39	14	36	42
กรณีศึกษาที่ 2	300	32	323	31	31	32	29	2.6	16.17	20	68	40	9	34	40
กรณีศึกษาที่ 3	300	32	32	30	30	30	30	2.88	16.87	26	71	36	9	35	40
กรณีศึกษาที่ 4	300	31	31	30	30	32	29	2.88	16.87	22	65	35	10	35	41

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำบ่อจาก 30°C ถึง 7°C

ระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำบ่อ (min)			
กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
285	276	217	226

ตารางที่ 3 พลังงานที่ใช้ของระบบทำความเย็นและพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

กรณีศึกษา	พลังงานที่ใช้ของระบบทำความเย็น (W)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด(W)
กรณีศึกษาที่ 1	1,677	1,677.00
กรณีศึกษาที่ 2	1,575	1,655.56
กรณีศึกษาที่ 3	1,611	1,907.80
กรณีศึกษาที่ 4	1,634	1,936.40

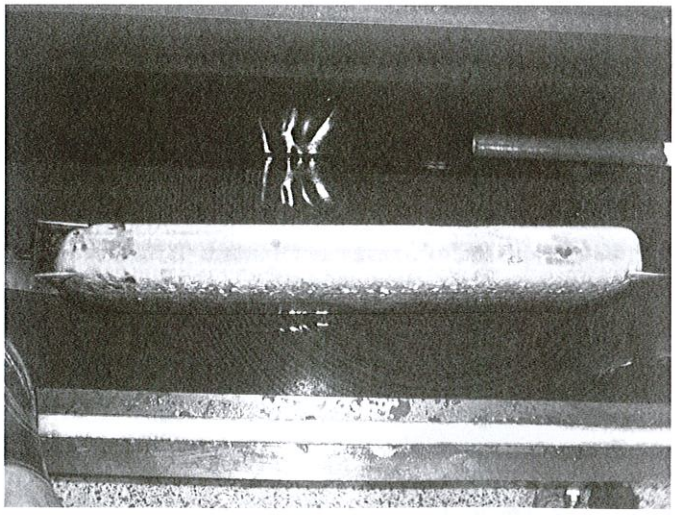
ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)			
กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
6.58	7.80	8.40	6.75

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็น (EER) ของชุดการทดสอบการผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำ

ประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็น(EER)			
กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
20.72	20.99	22.28	17.86

กรณีศึกษาที่ 1 ในระยะช่วงเวลาแรกอุณหภูมิของน้ำในบ่อจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่น้ำจะเย็นเฉพาะรอบๆ เครื่องระเหย เพราะไม่มีการเคลื่อนที่ของน้ำ จากนั้นจะกระจายความเย็นไปยังบริเวณรอบๆ เมื่ออุณหภูมิน้ำเย็นตัวลงประมาณ 10°C จะเกิดฟิล์มหนาของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหย และท่อของสารทำความเย็นและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้น้ำไม่สัมผัสกับความเย็นของเครื่องระเหยโดยตรง การแลกเปลี่ยนความเย็นจึงต้องใช้ระยะเวลานาน ในช่วงอุณหภูมิ 8°C ไป 7°C รวมใช้ระยะเวลาทั้งหมด 285 min เป็นระยะเวลานานกว่าทุกกรณีแล้วอุณหภูมิก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อวิเคราะห์ผลค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจะต่ำสุด เมื่อเทียบกับทุกกรณี และค่าประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นจะสูงเป็นอันดับ 3 ดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5

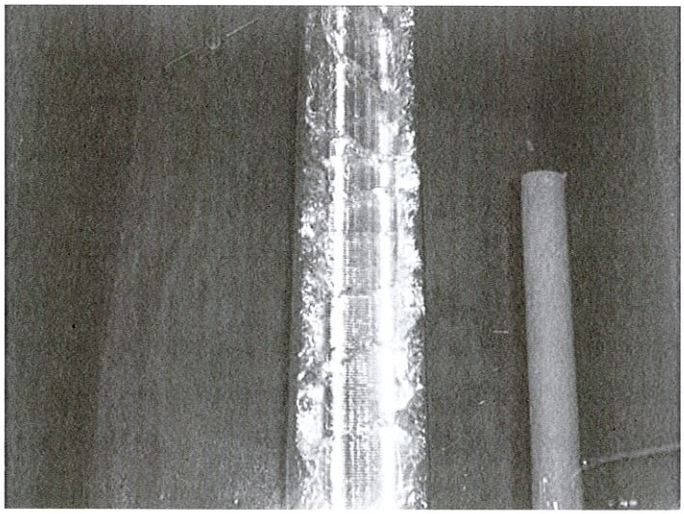


รูปที่ 11 ลักษณะการเกิดฟิล์มหนาของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหยในกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 จากผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำกับระยะเวลาที่ใช้ ดังรูปที่ 7 จะพบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 9°C จะเกิดฟิล์มหนาของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหยและท่อของสารทำความเย็น พร้อมกันนั้นน้ำจะเย็นตัวลงทั่วทั้งบ่อแบบช้าๆ เนื่องจากใบพัดน้ำหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 28 rpm และปริมาณของน้ำเท่ากับ 300 L จึงส่งผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำช้ามากหรือเรียกได้ว่าเป็นการไหลแบบเอื่อย ดังนั้นจึงเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำแบบเอื่อย และมีกระจายความเย็นแบบช้าๆ จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของน้ำน้อยกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงกว่าและค่าประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5

กรณีศึกษาที่ 3 เป็นการใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในบ่อ จากรูปที่ 7 จะพบว่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิจะลดลงค่อนข้างสม่ำเสมอ จนอุณหภูมิลดลงถึง 8°C จะเกิดฟิล์มบางของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหยและท่อของสารทำความเย็น ดังรูปที่ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 ฟิล์มของน้ำแข็งจะบางกว่า เนื่องจากปั๊มน้ำทำให้การไหลของน้ำมีความเร็วเฉลี่ย 0.187 m/s จึงเป็นการไหลเวียนของน้ำแบบปั่นป่วน โดยใช้หลักการดูดน้ำที่ก้นบ่อ และส่งไปยังบริเวณผิวน้ำของบ่อ ทำให้น้ำเย็นทั่วถึงทั้งบ่ออย่างรวดเร็ว จากตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 5 จะเห็นได้จากระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 217 min เป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดกว่าทุกกรณี และเมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจะที่ค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกกรณีศึกษา ส่วนค่าประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นจะมีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน

กรณีศึกษาที่ 4 เป็นการใช้ใบพัด และปั๊มน้ำหมุนเวียนร่วมกัน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำลดลงอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 7 จนอุณหภูมิลดลงถึง 8°C จะเกิดฟิล์มบางของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหย และท่อของสารทำความเย็น ดังรูปที่ 12 จากความเร็วของใบพัด และความเร็วของปั๊มน้ำ จึงทำให้เกิดการไหลหมุนเวียน พร้อมกับความเย็นกระจายได้ทั่วทั้งบ่อ จากตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 5 จะเห็นได้จากระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด 226 min เป็นระยะเวลาที่น้อยเป็นอันดับสองเมื่อเทียบกับทุกกรณี แต่เป็นที่น่าสังเกต ในการทดสอบกรณีศึกษานี้ได้ทดลองแบบให้มีไหลเวียนของน้ำไม่เป็นทิศทางเดียวกัน โดยดูผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงวิเคราะห์ได้ว่า การไหลของน้ำที่ปั่นป่วนแบบไม่มีทิศทางก็ยังมีการใช้ระยะเวลาที่น้อย แต่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและค่าประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นค่อนข้างต่ำกว่าทุกกรณี



รูปที่ 12 ลักษณะการเกิดฟิล์มบางของน้ำแข็งเกาะที่บริเวณเครื่องระเหยในกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4

จากการวิเคราะห์กรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีนั้น สรุปได้ว่า กรณีน้ำที่มีการเคลื่อนที่ ทั้งแบบไหลเอื่อยและแบบไหลปั่นป่วน จะมีผลลัพธ์ในการลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็น ดังกรณีศึกษาที่ 3 ลดลง 23.85% และกรณีศึกษาที่ 4 ลดลง 20.70% เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งกรณีนี้น้ำจะอยู่นิ่ง

ส่วนของกรณีน้ำที่มีการเคลื่อนที่ กรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 จะมีค่าสูงมากกว่ากรณีศึกษาที่ 1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นมีค่า COP เท่ากับ 18.54% ค่า EER เท่ากับ 1.30% และค่า COP เท่ากับ 27.65% ค่า EER เท่ากับ 7.52% ตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสังเกตประเด็นของกรณีศึกษาที่ 4 ที่มีระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็นลงน้อยลง แต่ตรงกันข้ามค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและประสิทธิภาพพลังงานของการทำน้ำเย็นที่ค่าใกล้เคียงกับกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งสรุปส่วนนี้ได้จากผลกระทบจากการไม่กำหนดทิศทางการไหลเวียนของน้ำในบ่อ แต่น้ำก็ยังไหลแบบปั่นป่วน

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงสรุปผลได้ว่า ชุดทดสอบระบบผลิตน้ำเย็นในบ่อน้ำนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตน้ำเย็นได้

10. เอกสารอ้างอิง

1] Dossat. Roy J., Principle of refrigeration, 4th ed., Upper Saddle River, N.J, Prentice-Hall,1997.

2] Willbert, F.and Stoecker, J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, Singapore, McGraw Hill.

3] ASHRAE Handbook-Fundamentals (1989). American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

4] Wang, Shan K., Handbook of air conditioning and refrigeration, McGraw-Hill, New York,1993.

5] http://www.singhsonsref.com

6] http://www.mellcon.com

7] ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร. "การทำน้ำเย็นในบ่อน้ำเย็น." วิสัยทัศน์ งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต.1 (พฤศจิกายน 2541) : 178-184.

8] Overseas vocational training association employment promotion corporation. พื้นฐานการทำความเย็น และการปรับอากาศภาคทฤษฎี. แปลโดย วิทยา ยงเจริญและธนู วิบูลยานนท์. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2536.