

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็คเตอร์ โดยในการศึกษาจะเป็นการทดสอบการทำงานของระบบทำความเย็น ที่มีขนาดการทำความเย็น 1 ตันทำความเย็น (3.5 kW) ภายใต้สภาวะการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) โดยควบคุมอุณหภูมิของสารทำงานในระบบทำความเย็นด้วยหม้อไอน้ำไฟฟ้า (Electrical Boiler) ที่อุณหภูมิและความดันของสารทำงานในระบบทำความเย็น 120 °C และ 2 bar ตามลำดับ เป็นแหล่งพลังงานป้อนให้กับระบบทำความเย็น จากนั้นจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหย (Evaporator, Q_E) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ที่ซึ่งเป็นดัชนีบอกประสิทธิภาพในการทำงานที่สำคัญของระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

3.1.1 ชุดทดสอบระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็คเตอร์ ที่มีขนาดการทำความเย็น 1 ตันทำความเย็น (3.517 kW) ใช้น้ำในรูปไอน้ำเป็นสารทำงานในระบบ (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบระบบทำความเย็น

3.1.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดฮีตไปป์ เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนรูปพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ 0.81 และ 2.55 $W/m^2 - C^\circ$ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีพื้นที่รับรังสี 2.40 m^2 จำนวน 1 แผง เอียงทำมุมประมาณ 16° กับแนวระดับ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดฮีตไปป์

3.1.3 อีเจ็กเตอร์ (Ejector) ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากเครื่องทำระเหย (Ejector) (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 หัวฉีดลดความดัน (Ejector)

3.1.4 หม้อไอน้ำไฟฟ้า (Electrical Boiler) คุ้มฉนวนอย่างดี ประกอบด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 kW จำนวน 2 ชุด เป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำที่ความดัน 2 bar อุณหภูมิ 120 °C ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารทำงาน ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนเสริมป้อนให้กับระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็กเตอร์ (Ejector) (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 หม้อไอน้ำไฟฟ้า (Electrical Boiler)

3.1.5 เครื่องควบแน่น (Condenser) ระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 11.2 kW เป็นอุปกรณ์ในการทำให้ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 เครื่องควบแน่น (Condenser)

3.1.6 เครื่องระเหย (Evaporator) หุ้มฉนวนอย่างดี ขนาด 3 kW ทำหน้าที่เป็นแหล่งความเย็นสำหรับผลิตน้ำเย็นไปใช้งานในระบบทำความเย็น (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 เครื่องระเหย (Evaporator)

3.1.7 ถังเก็บน้ำเย็น (Chill Water Storage Tank) หุ้มฉนวนอย่างดีมีขนาดความจุ 200 Liter ทำหน้าที่เก็บน้ำเย็นที่ได้จากระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็กเตอร์ (Ejector) (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 ถังเก็บน้ำเย็น (Chill Water Storage Tank)

3.1.8 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ยี่ห้อ Danfoss รุ่น EVR 10 ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงานก่อนส่งเข้าไปในเครื่องระเหย (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

3.1.9 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower) แบบไหลสวนทางกัน (Counter Flow) ยี่ห้อ COOLING MAN รุ่น CMB – 10 ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากเครื่องควบแน่น (Condenser) (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower)

3.1.10 ปั๊มน้ำหมุนเวียน (Circulation Pump) ยี่ห้อ ELECTRA รุ่น WB – WB2 Series โดยมี Capacity up to 16 m³/hr, Head up to 60 m ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 380 Volt ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันของสารทำงานในระบบ ใช้แทนตัวคอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำหมุนเวียน

3.1.11 แผงแสดงสถานะการทำงานของระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็กเตอร์ (Ejector) (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 แผงแสดงสถานะการทำงานของระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็กเตอร์ (Ejector)

3.1.12 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI 210 ใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจ็กเตอร์ (Ejector) ใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ขนาด 8 ช่องสัญญาณ ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$ (รูปที่ 3.12)



(ก) เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210



(ข) คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล

รูปที่ 3.12 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล

(ก) เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210

(ข) คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล

3.1.13 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ของสารทำงานในระบบ ยี่ห้อ Denki ใช้ในการวัดแรงดันด้านความดันสูงและความดันต่ำ โดยมีช่วงการวัดอยู่ที่ 0 – (-30) inHg / 0 – (-76) cmHg (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ยี่ห้อ Denki

3.1.14 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ KYORITSU รุ่น KEW MATE MODEL 2001 ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจกเตอร์ (Ejector) (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ KYORITSU รุ่น KEW MATE MODEL 2001

3.1.15 อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวม (Pyranometer) ยี่ห้อ KIPP & ZONE รุ่น CM11
ค่า SENSITIVITY $11.37 \times 10^{-6} \text{ V/wm}^{-2}$ ทำหน้าที่วัดปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์รังสีรวม หน่วย W/m^2
ค่าความผิดพลาด $< \pm 0.6\%$ ($< 1000 \text{ W/m}^2$) (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ชนิดรังสีรวม (Pyranometer)
ยี่ห้อ KIPP & ZONE รุ่น CM11

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการติดตั้งอีเจกเตอร์ (Ejector) โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาข้อมูล จัดหาวัสดุ และออกแบบระบบทำความเย็นฯ

3.2.2 สร้างส่วนประกอบต่างๆ และติดตั้งระบบทำความเย็นฯ โดยมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

3.2.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

3.2.2.2 หัวฉีดลดความดัน (Ejector) โดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือ หัวฉีด (Nozzle), ท่อผสม (Mixing Tube) และท่อเพิ่มความดัน (Diffuser Entrance)

3.2.2.3 เครื่องระเหย (Evaporator)

3.2.2.4 เครื่องควบแน่น (Condenser)

3.2.2.5 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

3.2.2.6 หม้อไอน้ำ (Boiler)

3.2.2.7 ระบบท่อ และปั๊ม (Piping System and Pump)

3.2.2.8 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower)

3.2.2.9 ถังเก็บน้ำเย็น (Chill Water Storage Tank)

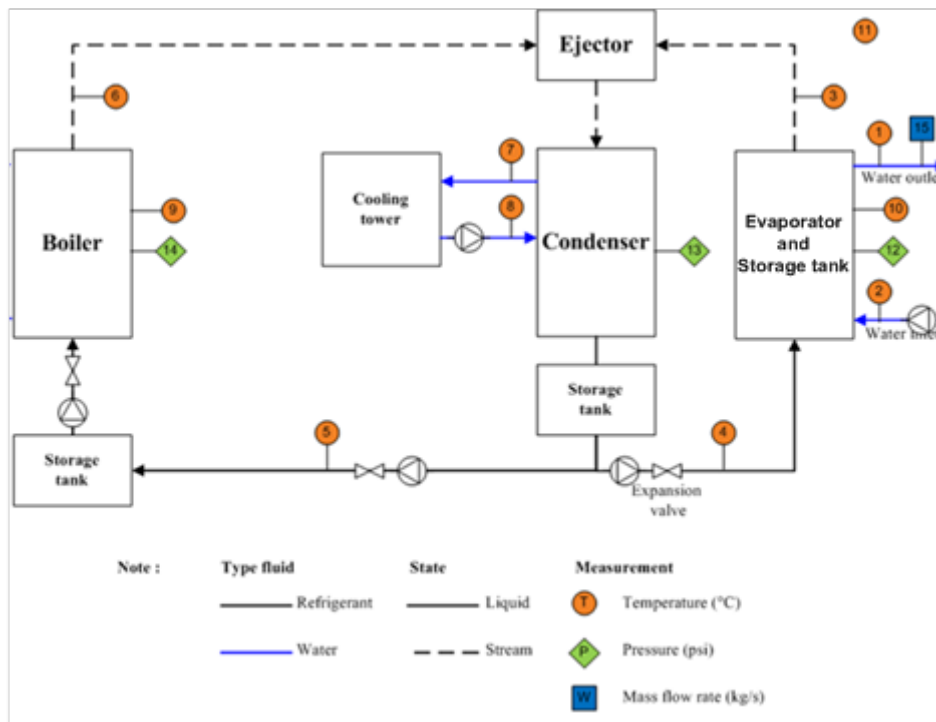
3.2.3 ทดสอบระบบทำความเย็นที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอีเจกเตอร์ (Ejector)

การทดสอบระบบทำความเย็นฯ เพื่อหาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้า – ออก เครื่องทำระเหย (Evaporator), อุณหภูมิน้ำเข้า – ออก หอผึ่งเย็น (Cooling Tower), อุณหภูมิสารทำงานเข้า – ออก เครื่องทำระเหย (Evaporator), อุณหภูมิสารทำงานเข้า – ออก หม้อไอน้ำ (Boiler), อุณหภูมิสารทำงานในหม้อไอน้ำ (Boiler), อุณหภูมิสารทำงานในเครื่องทำระเหย (Evaporator), อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, ความดันสารทำงานในเครื่องทำระเหย (Evaporator), ความดันสารทำงานในเครื่องควบแน่น (Condenser), ความดันสารทำงานในหม้อไอน้ำไฟฟ้า (Electrical Boiler), อัตราการไหลของน้ำออก เครื่องทำระเหย (Evaporator) และค่าพลังงานไฟฟ้า โดยในการทดสอบจะแบ่งการดำเนินการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ทดสอบระบบทำความเย็นฯ ก่อนการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) ดังรูปที่ 3.16 และ (2) ทดสอบระบบทำความเย็นฯ หลังติดตั้งตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) ดังรูปที่ 3.17 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

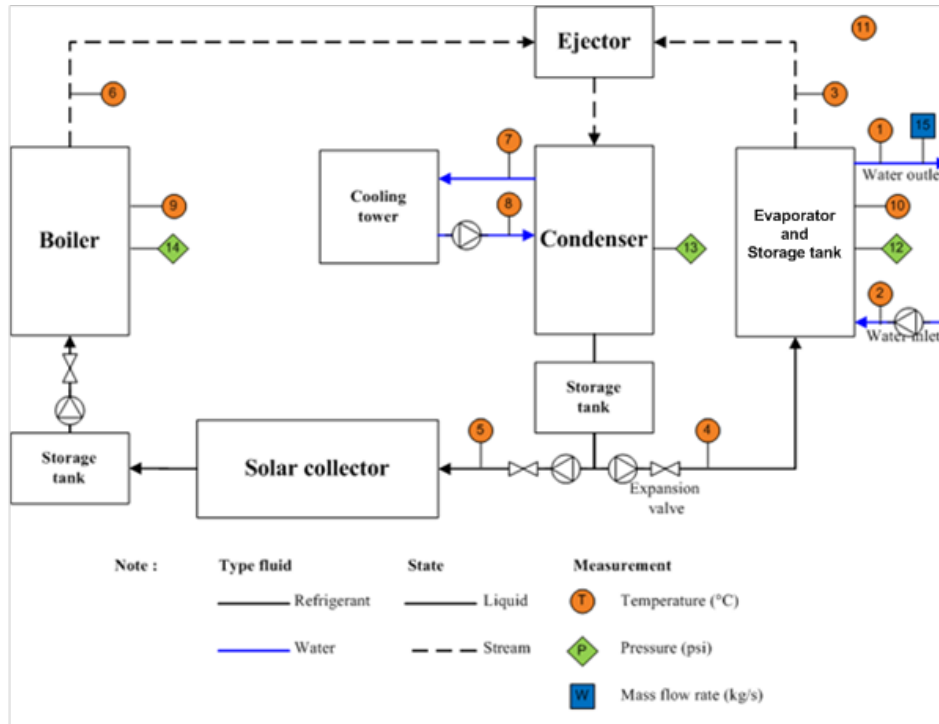
- (1) ตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำเย็น (Chill Water Storage Tank) เพื่อใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องทำระเหย (Evaporator) ของระบบทำความเย็นฯ และตรวจสอบระดับน้ำในหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) เพื่อใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser)
- (2) ตรวจสอบความดันในระบบทำความเย็นฯ โดยความดันที่เครื่องควบแน่น (Condenser) จะต้องมีความดันอยู่ที่ประมาณ -29 inHg (Gauge)
- (3) เปิดเครื่องเพื่อทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะการควบคุมการทำงานของหม้อไอน้ำไฟฟ้า (Electrical Boiler) ที่อุณหภูมิ และความดันของสารทำงานในระบบทำความเย็นฯ ประมาณ 120°C และ 2 bar ตามลำดับ โดยอัตราการไหล

ของสารทำงานจากหม้อไอน้ำ (Boiler) ไปยังหัวฉีดลดความดัน (Ejector) อยู่ที่ประมาณ 10 (ระดับวาล์ว คือ 0 – 99)

- (4) ทำการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นฯ โดยควบคุมอุณหภูมิและความดันของสารทำงานที่ออกจากหม้อไอน้ำ (Boiler) ให้อยู่ที่ประมาณ 120°C และ 2 bar ตามลำดับ โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรที่จุดต่างๆ ทุกๆ 5 นาที (ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น)
- (5) เมื่ออุณหภูมิน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเย็น (Chill Water Storage Tank) มีค่าประมาณ 18°C ทำการทดสอบที่อัตราการใช้น้ำร้อนที่ทำให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งในการทดสอบระบบทำความเย็นฯ
ก่อนการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งในการทดสอบระบบทำความเย็นฯ
หลังติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่เครื่องระเหย ($\dot{Q}_E, kW_{th}$) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในระบบ (P_{Elect}, kW_{el})