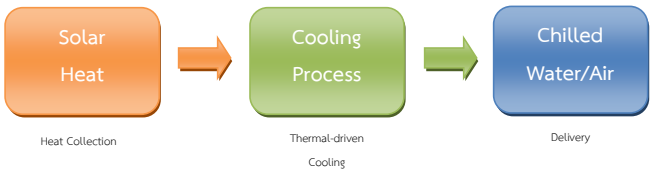
บทที่ 2
ทฤษฎี

อีเจ๊กเตอร์ (Ejector) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำสุญญากาศในระบบต่างๆ ข้อดีของอีเจ๊กเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอัดไอ หรือเครื่องสุญญากาศแบบอื่นๆ คือ อีเจ๊กเตอร์ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวดังนั้นการสึกหรอแทบจะไม่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้การบำรุงรักษาน้อยมาก และมีราคาถูก รวมถึงไม่ต้องการพลังงานกลในการขับเคลื่อน และให้ความปลอดภัยทางเทคนิคมากกว่าอุปกรณ์ อื่นๆ ได้แก่ เครื่องเป่า คอมแพรสเซอร์ และ ปั๊ม ในระบบทำความเย็นชนิดดูดกลืน (Absorption cooling system) การติดตั้งอีเจ๊กเตอร์จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบ และลดความซับซ้อนของโครงสร้างระบบลง

อีเจ๊กเตอร์ถูกประดิษฐ์และพัฒนาครั้งแรกในประเทศอังกฤษในช่วงปี ค.ศ.1901 โดย Sir Charles Parsons เพื่อใช้ในการดูดอากาศออกจากเครื่องควบแน่นของระบบกังหันไอน้ำ อีเจ๊กเตอร์ที่ใช้พลังงานไอน้ำสามารถนำมาใช้ในการปั๊มของไหลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือแม้กระทั่งของไหลที่มีของแข็งปนอยู่

2.1 ระบบทำความเย็นแบบอีเจ๊กเตอร์ที่ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Ejector Refrigeration System)

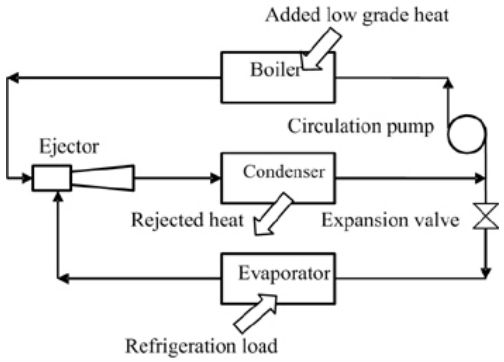
ระบบทำความเย็นแบบอีเจ๊กเตอร์ที่ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของระบบ 3 ส่วน คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) ส่วนเปลี่ยนความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นความเย็น (Cooling Process) และส่วนนำไปใช้งาน (Chilled Water/Air) อาจเป็นน้ำเย็น หรืออากาศเย็นก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบทำความเย็นแบบอีเจ๊กเตอร์ เป็นระบบทำความเย็นที่ไม่ใช้เครื่องอัดไอ (Compressor) โดยวัฏจักรการทำงานจะติดตั้งอีเจ๊กเตอร์ (Ejector), หม้อไอน้ำ (Boiler) และปั๊มน้ำหมุนเวียน เพื่อทำหน้าที่แทนเครื่องอัดไอ แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยสารทำงานความดันสูงที่ได้จากการเดือดภายในเครื่องกำเนิดไอ (Heat Generator or Boiler) ที่รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และฮีทเตอร์ความร้อนจะถูกใช้เป็นไอของไหลปฐมภูมิของอีเจ๊กเตอร์ ของไหลที่มีความดันสูงจะไหลและขยายตัวผ่านหัวฉีด (Nozzle) ด้วยความเร็วสูง ส่งผลให้บริเวณปากทางออกของหัวฉีดและเครื่องระเหยมีความดันต่ำลง ดังนั้นสารทำงานในเครื่องระเหยจึงสามารถเดือดได้ในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารทำงานในเครื่องระเหยหรือไอ

ของไหลทุติยภูมิของอีเจ็กเตอร์จะถูกดูดพร้อมเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ที่ห้องผสมและทางออกของอีเจ็กเตอร์ตามลำดับ จากนั้นจะกลั่นตัวกลับเป็นสารทำงานเหลวภายในเครื่องควบแน่น (Condenser) สารทำงานเหลวนี้ จะถูกหมุนเวียนกลับไปที่เครื่องกำเนิดไอ โดยปั๊มหมุนวน (Circulation Pump) สารทำงานบางส่วนจะถูกลดความดันผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ก่อนจะไหลกลับเข้าสู่เครื่องระเหย เป็นการครบวัฏจักรการทำงาน

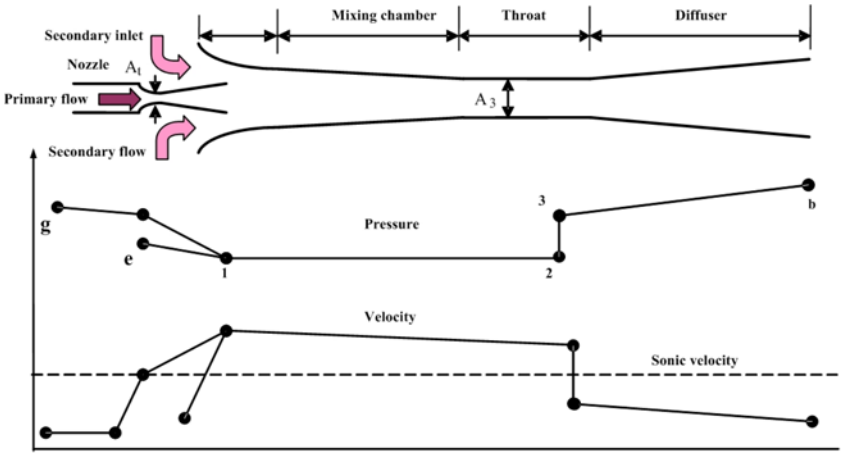


รูปที่ 2.2 ผังแสดงระบบทำความเย็นแบบอีเจ็กเตอร์อย่างง่าย

จากรูป 2.2 ระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 6 ส่วน คือ (1) อุปกรณ์ผลิตไอน้ำ ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำหรือแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (2) หัวฉีดลดความดัน (Ejector) (3) เครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการทำให้ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ (4) เครื่องระเหย (Evaporator) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความเย็นสำหรับนำความเย็นไปใช้งานในระบบ (5) ปั๊มน้ำหมุนเวียน เป็นอุปกรณ์เพิ่มแรงดันของสารทำงานในระบบ ใช้แทนตัวคอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ และ (6) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงานก่อนส่งเข้าในเครื่องระเหย

2.2 หลักการทำงานของหัวฉีดลดความดัน (Ejector)

ปรากฏการณ์การไหลที่เกิดขึ้นใน Ejector คือ ของไหลปฐมภูมิ (Primary fluid) จากเครื่องกำเนิดไอ (Heat generator or boiler) ที่ความดันสูงเข้าสู่หัวฉีด (Nozzle) ผ่านคอขอด (Throat) และขยายตัวออกทางปากทางออกหัวฉีดที่ตำแหน่ง 1 ความดันสถิตของก๊าซปฐมภูมิจะเปลี่ยนเป็นความเร็ว ทำให้ความดันที่ห้องผสม (Mixing chamber) ต่ำลงและเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ (Secondary fluid) จากเครื่องระเหย (Evaporator) มาผสมกับของไหลปฐมภูมิกระบวนการผสมกันของทั้งสองสาร ความดันจะคงที่จนกระทั่งเกิด Shock (ช่วง 2-3) เนื่องจากความดันสูงบริเวณ Throat และ Subsonic diffuser ปรากฏการณ์นี้ ทำให้ความเร็วของของผสมลดลงจาก Supersonic เป็น Subsonic อย่างรวดเร็ว จากนั้นความดันช่วง Diffuser จะเพิ่มขึ้น (ช่วง 3 – b) จนถึงปากทางออก (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2549) ดังแสดงลักษณะการไหลของสารทำงานภายในอีเจ็กเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการไหลของสารทำงานภายในอีเจ็กเตอร์

2.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

ดัชนีบอกประสิทธิภาพในการทำงานที่สำคัญของระบบปรับอากาศ คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER (kW_{th}/kW_{el})) ซึ่งเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่เครื่องระเหย ($\dot{Q}_E$, kW_{th}) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในระบบ (P_{Elect}, kW_{el}) โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$EER = \frac{\dot{Q}_E}{P_{Elect}} \tag{1}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่เครื่องระเหยสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{Evap} = \dot{m}_w C_p \left(\Delta T\right) \tag{2}$$

เมื่อ P_{Elect} คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบทั้งหมด (รวมความร้อนเสริม (Auxiliary Heater) (kW_{th})

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg-K)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำด้านเครื่องระเหย (K)