การออกแบบหัวฉีดแบบ Ejector เพื่อใช้กับระบบการทำความเย็น
Ejector Nozzle Design for Use in Refrigeration System

พิชญะ สมภพสกุล[1*] และ เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์[2]
1,2 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
**Email: perfectpitch.ya@gmail.com, โทร: 089-208-8536*

บทคัดย่อ

หัวฉีดแบบ Ejector เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยปรับปรุงสมรรถนะของระบบการทำความเย็นให้ดีขึ้น แต่ต้องอาศัยการดัดแปลงระบบการทำความเย็นเพื่อให้สามารถใช้กับหัวฉีดแบบ Ejector ได้อย่างเหมาะสม โดยการเพิ่มอีวาโปเรเตอร์อีกหนึ่งตัวในระบบ ในการออกแบบหัวฉีดแบบ Ejector จำเป็นจะต้องทราบสมรรถนะที่ต้องการซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้กฎการอนุรักษ์มวล กฎทางเทอร์โมไดนามิกส์ และการสมมติกระบวนการแบบอุดมคติเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลลัพธ์ในเบื้องต้นว่าหากต้องการให้กระบวนการที่เกิดขึ้นในหัวฉีด Ejector มีความเป็นไปได้ จะต้องให้อัตราส่วนระหว่างมวลของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าตัวอีวาโปเรเตอร์หลักต่อมวลสารทำความเย็นทั้งหมด มีค่าประมาณ 0.32

การศึกษาเชิงพารามิเตอร์ในทางทฤษฎีพบว่าวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าวัฏจักรแบบอัดไอ โดยจะได้ขนาดทำความเย็นและค่า COP ที่สูงกว่าภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิควบแน่น จะส่งผลให้ค่า COP ของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector ลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระเหยมีผลทำให้สัดส่วนของขนาดทำความเย็นระหว่างอีวาโปเรเตอร์หลักและอีวาโปเรเตอร์ รองเปลี่ยนไปเท่านั้น แต่จะไม่มีผลต่อค่า COP และขนาดทำความเย็นโดยรวมของวัฏจักร

คำหลัก: *หัวฉีด Ejector; ระบบทำความเย็น; อุณหภูมิควบแน่น; อุณหภูมิระเหย*

Abstract

Ejector nozzle is a device that helps improving performance of a refrigeration system. However to properly use nozzle ejector in the refrigeration system, it is necessary to modify the refrigeration system by adding one more evaporator into the system. It is also necessary to know the required performance in order to design the nozzle ejector. In this research, conservation of mass as well as laws of thermodynamics and assumptions on ideal processes is used for calculation and analysis. Preliminary results indicates that for possible process in the nozzle ejector, it is required that the ratio between mass flow into main evaporator and total mass shall be about 0.32.

From parametric study, it is found that ejector refrigeration cycle has a better performance than vapor compression refrigeration cycle. Ejector refrigeration system provides higher cooling capacity and COP under the same working conditions. Moreover it is also found that by increasing the condensing temperature, COP of ejector refrigeration system is reduced. While changing of evaporating temperature results in the change of the ratio between cooling capacity of main evaporator and pre-cool evaporator but does not affect the COP and the overall cooling capacity of the cycle.

Keywords: *Nozzle ejector; Refrigeration system; Condensing temperature; Evaporating temperature*

1. บทนำ

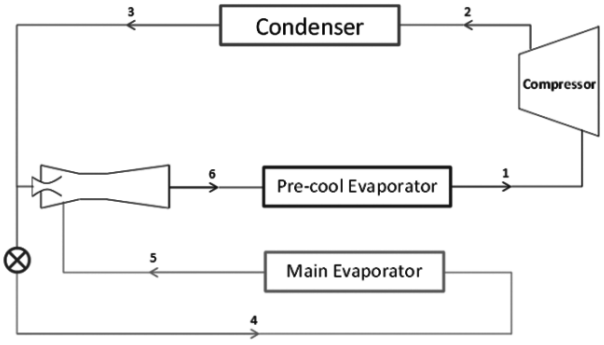
ระบบทำความเย็น ทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิในบริเวณที่ควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำตามที่ต้องการ แต่ต้องมีการให้พลังงานแก่ระบบการทำความเย็นเพื่อที่จะถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นการใช้ระบบการทำความเย็น จะต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าเสมอ หรือให้ระบบทำความเย็นนั้นมีสมรรถนะในการทำงานที่ดี

ในระบบทำความเย็นทั่วไป จะอาศัยการลดความดันให้กับสารทำความเย็น โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเอ็กแพนชั่นวาล์ว (Expansion valve) เพียงอย่างเดียว ทำให้มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นภายในตัวอุปกรณ์ดังกล่าว[2] ดังนั้น เพื่อหาทางลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะใช้อุปกรณ์อย่างอื่นมาใช้ในการช่วยลดความดันของสารทำความเย็น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจไปที่การนำอุปกรณ์หัวฉีด Ejector มาใช้เพื่อช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไปภายในตัว Expansion valve โดยแบ่งส่วนหนึ่งของสารทำความเย็นมาลดความดันด้วยกระบวนการแบบไอเซนทรอปิก (Isentropic process) ที่เกิดขึ้นภายในหัวฉีด Ejector ซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานน้อยลง

อย่างไรก็ตาม การนำหัวฉีด Ejector มาใช้จำเป็นจะต้องมีการออกแบบหัวฉีด Ejector ให้เหมาะสมกับระบบทำความเย็นนั้น ๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ในระบบการทำความเย็นที่มีผลต่อการออกแบบหัวฉีด Ejector เพื่อสร้างแนวทางการออกแบบหัวฉีด Ejector ที่เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบการทำความเย็นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

2. วัฏจักรการทำความเย็น

วัฏจักรการทำความเย็นที่จะใช้กับหัวฉีด Ejector จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำความเย็นที่ใช้กับหัวฉีด Ejector[5]

วัฏจักรที่ใช้กับหัวฉีด Ejector นั้นจะมีข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจากวัฏจักรแบบอัดไอโดยทั่วไปอยู่บางประการ ได้แก่

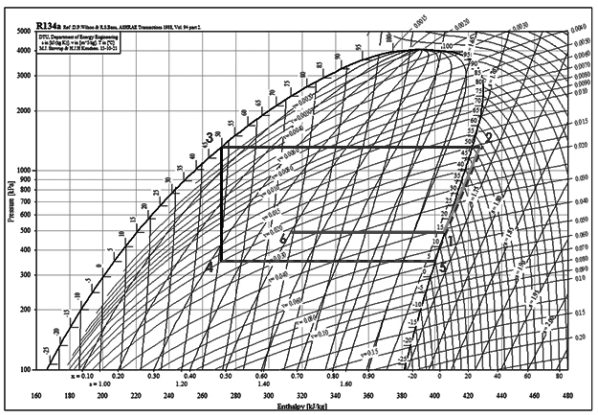
1. ต้องใช้ Evaporator สองตัว
2. มีการแยกสารทำความเย็นเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนการไหลเหนี่ยวนำ และส่วนการไหลที่ถูกเหนี่ยวนำ[1]

สารทำความเย็นเหลว ความดันสูงที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (Condenser) จะถูกแบ่งออกมาส่วนหนึ่งเพื่อทำหน้าที่สร้างการไหลเหนี่ยวนำ (Motive flow) (สถานะที่ 3 ในรูปที่ 1) โดยจะเหนี่ยวนำให้สารทำความเย็นส่วนที่เหลือซึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นไอและไหลออกจากตัวอีวาโปเรเตอร์หลัก (Main evaporator) (สถานะที่ 5 ในรูปที่ 1) ให้ไหลเข้ามาในตัวหัวฉีด Ejector โดยหลังจากผ่านกระบวนการภายใน Ejector แล้ว สารทำความเย็นจะออกมาจากตัว Ejector ในสถานะที่เป็นของไหลผสม 2 สถานะ (Two-phase mixture) (สถานะที่ 6 ในรูปที่ 1) ก่อนที่จะเข้าสู่ตัว อีวาโปเรเตอร์รอง (Pre-cool evaporator) เพื่อที่จะกลายสภาพเป็นไอทั้งหมดก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ต่อไป

จากแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรที่ใช้ Ejector ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นว่า จากการที่มีการแบ่งการไหลของสารทำความเย็นส่วนหนึ่งไปทำหน้าที่สร้างการไหลเหนี่ยวนำ ส่งผลให้ขนาดการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในตัวอีวาโปเรเตอร์หลักลดลงหรือน้อยกว่าวัฏจักรแบบอัดไอโดยทั่วไปตามเส้นประที่แสดงในรูปที่ 2 แต่อย่างไรก็ตาม การที่วัฏจักรนี้ยังมีตัวอีวาโปเรเตอร์รองเพิ่มขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากของไหล เช่น อากาศก่อนที่จะไหลผ่านตัวอีวาโปเรเตอร์หลัก จึงทำให้วัฏจักรนี้ โดยนัยกลับกันสามารถทำความเย็นได้เพิ่มขึ้น และหากรวมขนาดทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์ทั้งสองตัวเข้าด้วยกัน วัฏจักรนี้ยังมีโอกาสที่จะทำความเย็นได้มากกว่าวัฏจักรแบบอัดไอโดยทั่วไปอีกด้วย รวมทั้งจากการที่สารทำความเย็นถูกแบ่งส่วนออกไปในการลดความดัน จึงทำให้วัฏจักรนี้ยังใช้กำลังงานน้อยกว่าวัฏจักรแบบอัดไออีกด้วย ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของวัฏจักรดีกว่า

3. การออกแบบหัวฉีด Ejector

ในการออกแบบหัวฉีด Ejector สำหรับระบบทำความเย็นใดๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงสมรรถนะของหัวฉีด Ejector ที่ต้องการก่อน ดังนั้น จึงได้กำหนดเงื่อนไขในการหาสมรรถนะที่ต้องการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นที่ใช้กับหัวฉีด Ejector[4]

- หัวฉีด Ejector มีสภาพการไหลภายในแบบ 2 สถานะ โดยการไหลที่สร้างการเหนี่ยวนำเกิดจากของเหลวสารทำความเย็นอิ่มตัวและการไหลที่ถูกเหนี่ยวนำจะมาจากไอสารทำความเย็นอิ่มตัว[1]
- ณ บริเวณขาออกของหัวฉีด Ejector สารทำความเย็นจะอยู่ในสถานะที่เป็นของไหลผสม 2 สถานะ[1]
- สารทำความเย็นที่ใช้เป็น R-22
- การไหลภายในหัวฉีด Ejector จะไม่เกิดการโช้ค (Choke) ซึ่งมีผลให้อัตราการไหลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
- อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น = 50°C
- อุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็น = 5°C
- กำหนดให้สารทำความเย็นที่ไหลออกจากหัวฉีด Ejector มีอุณหภูมิ = 15°C
- อัตราการไหลรวมของสารทำความเย็นภายในวัฏจักร = 0.02 kg/s

สมการหลักที่ใช้ในการหาสมรรถนะของหัวฉีด Ejector ได้แก่ กฎการอนุรักษ์มวล กฎข้อที่ 1 และ 2 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยการวิเคราะห์ภายใต้ปริมาตรควบคุมที่ล้อมรอบหัวฉีด Ejector ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 จะได้สมการและอสมการดังนี้

$$\dot{m}_p + \dot{m}_s = \dot{m} \quad \text{——— (1)}$$

$$\frac{\dot{m}_s}{\dot{m}} = \frac{h_6 - h_3}{h_5 - h_3} \quad \text{——— (2)}$$

$$s_6 \geq s_3 + \frac{h_6 - h_3}{h_5 - h_3}(s_5 - s_3) \quad \text{—— (3)}$$

โดยที่สัญลักษณ์ของตัวแปรมีความหมายดังนี้

$\dot{m}$ อัตราการไหลเชิงมวล

h เอนทาลปี

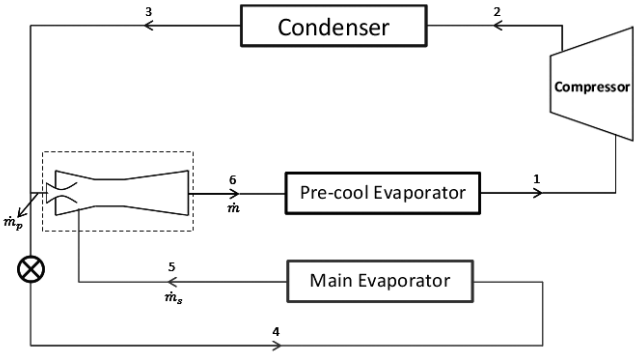
s เอนโทรปี

และตัวอักษรข้างใต้ (Subscript) มีความหมายดังนี้

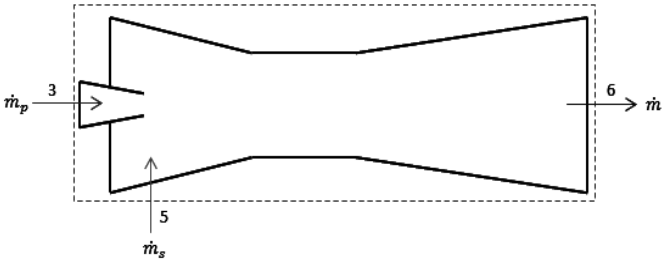
1 ถึง 6 สถานะของสารทำความเย็นที่จุดต่างๆ

p ส่วนการไหลเหนี่ยวนำ

s ส่วนการไหลที่ถูกเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3 วัฏจักรการทำความเย็นที่ใช้หัวฉีด Ejector โดยมี Evaporator สองตัวและปริมาตรควบคุม[5]



รูปที่ 4 แผนภาพหัวฉีด Ejector และปริมาตรควบคุมสำหรับการวิเคราะห์[3]

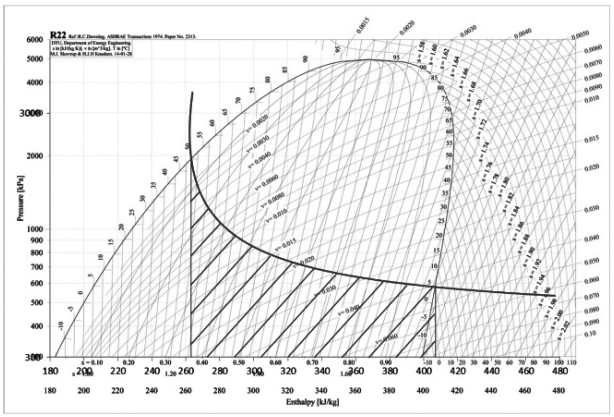
ซึ่งถ้าหากนำอสมการ (3) มาเขียนกราฟลงบนแผนภาพความดัน-เอนทาลปีดังแสดงในรูปที่ 5 จะทำให้เห็นบริเวณของสถานะที่เป็นไปได้ของสารทำความเย็นเมื่อออกจากหัวฉีด Ejector ดังนั้น หากต้องการให้สารทำความเย็นหลังจากออกหัวฉีด

Ejector มีอุณหภูมิ = 15°C จะต้องให้อัตราส่วนระหว่าง m_s ต่อ $\dot{m}$ มีค่าประมาณ 0.32

กระบวนการที่เกิดขึ้นภายในตัวหัวฉีดที่สร้างสภาพการเหนี่ยวนำ (Motive nozzle), บริเวณที่ถูกเหนี่ยวนำ (Suction chamber) และ บริเวณที่เกิดการแพร่ของการไหล (Diffuser) ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงกลับไปมาระหว่างความดันกับพลังงานจลน์[1] จะถูกวิเคราะห์ให้เป็นกระบวนการไอเซนทรอปิค (Isentropic) และไม่คิดการสูญเสียจากความเสียดทานจากสมการดังนี้

$$V = \sqrt{2(h_o - h)} \qquad (4)$$

โดยที่ h_o คือ สแต็กเนชั่นเอนทาลปี และ V คือ อัตราเร็วเฉลี่ยของสารทำความเย็น



รูปที่ 5 บริเวณของสถานะที่เป็นไปได้ของสารทำความเย็น R-22 ที่ออกจากหัวฉีด Ejector ในแผนภาพความดัน-เอนทาลปี[4]

4. การศึกษาเชิงพารามิเตอร์

จะเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ในวัฏจักรการทำความเย็น เช่น อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ ที่มีต่อสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็น โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector กับวัฏจักรการทำความเย็นโดยทั่วไป

4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นที่สถานะคงตัว

หากเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอกับวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector ภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น = 50°C
- อุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็น = 5°C
- อัตราการไหลของสารทำความเย็น R-22 เป็น 1 kg/s
- กระบวนการอัดในคอมเพรสเซอร์เป็นแบบไอเซนทรอปิค
- สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวอิ่มตัว
- สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์อยู่ในสภาพที่เป็นไออิ่มตัว
- กระบวนการภายในหัวฉีด Ejector เป็น แบบไอเซนทรอปิค
- อุณหภูมิสารทำความเย็นหลังออกจากหัวฉีด Ejector = 15°C

จะได้สมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นทั้งสองแบบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็น

	No Ejector	With Ejector
Total capacity (kW)	143.90	147.19
Work input (kW)	30.06	22.18
Rejected heat (kW)	173.96	169.37
COP	4.79	6.64

จะเห็นว่าวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector จะมีขนาดทำความเย็นมากกว่าวัฏจักรแบบอัดไอ และยังใช้กำลังงานน้อยกว่าอีกด้วย ซึ่งทำให้ค่า COP ของ

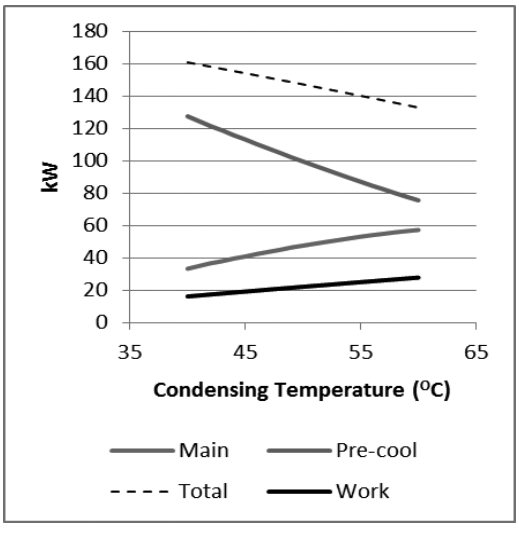
วัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector มากกว่าค่า COP ของวัฏจักรแบบอัดไอ ดังนั้นในทางทฤษฎี วัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector จะมีประสิทธิภาพมากกว่าวัฏจักรแบบอัดไอหากเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่ได้กล่าวไปข้างต้น นอกจากนั้นปริมาณความร้อนที่ต้องระบายออกยังน้อยกว่าอีกด้วย

4.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆที่มีต่อสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจมีผลให้สมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector เปลี่ยนไปดังต่อไปนี้

4.2.1 อุณหภูมิควบแน่น

สมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิควบแน่นมีการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิควบแน่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ขนาดทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์หลักเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์รองลดลง อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วขนาดทำความเย็นของทั้งวัฏจักรจะต่ำลง รวมทั้งงานที่ใช้ยังสูงขึ้นอีกด้วย



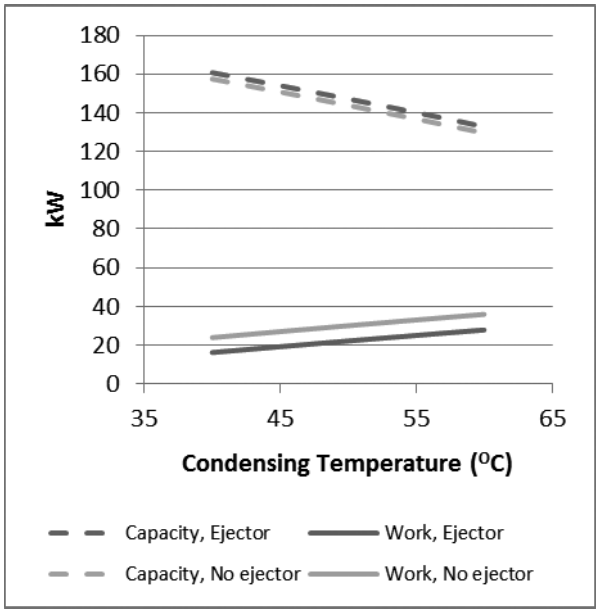
รูปที่ 6 ผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิควบแน่นที่มีต่อสมรรถนะของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector

ถ้าหากเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector กับวัฏจักรแบบอัดไอโดยทั่วไปแล้วตามรูปที่ 7 จะเห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดทำความเย็นและงานที่ต้องให้ของวัฏจักรแบบอัดไอโดยทั่วไปจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิควบแน่นจะมีลักษณะเดียวกันกับวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector นั่นคือมีขนาดทำความเย็นลดลงและงานที่ใช้มากขึ้น แต่จะสังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิควบแน่นใด ๆ ขนาดทำความเย็นของวัฏจักรแบบอัดไอจะน้อยกว่าเสมอ และงานที่ใช้ยังมากกว่าวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector เสมออีกด้วย

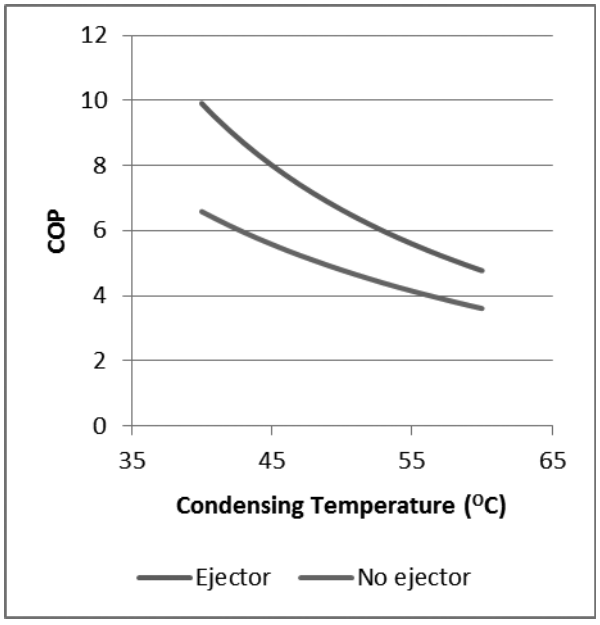
สำหรับค่า COP จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิควบแน่นเพิ่มขึ้น ค่า COP ของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector จะลดลงตามรูปที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของค่าขนาดทำความเย็นที่ลดลงและงานที่มากขึ้น และที่อุณหภูมิควบแน่นใด ๆ ค่า COP ของวัฏจักรแบบอัดไอจะน้อยกว่าเสมอ

4.2.2 อุณหภูมิระเหย

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระเหยมีผลให้สมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด Ejector มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยที่อุณหภูมิระเหยจะมีค่าน้อยกว่า 15^{o}C เนื่องจากต้องมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ลดลงก่อนหน้าเสมอ (Pre-cool temperature) จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้น จะทำให้ขนาดทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์หลักเพิ่มขึ้น แต่อีวาโปเรเตอร์รองจะมีขนาดทำความเย็นลดลง แต่ที่น่าสนใจกว่านั้นคือขนาดทำความเย็นของทั้งวัฏจักรและงานที่ใช้มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง นั่นหมายความว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระเหยมีผลให้สัดส่วนของขนาดทำความเย็นระหว่างอีวาโปเรเตอร์สองตัวเปลี่ยนไปเท่านั้น แต่จะไม่มีผลต่อขนาดทำความเย็นรวมของทั้งวัฏจักร

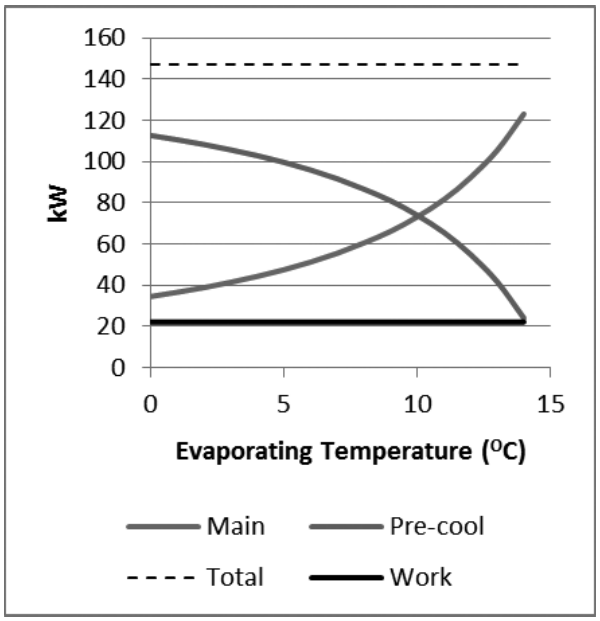


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นเมื่ออุณหภูมิควบแน่นเปลี่ยนแปลง



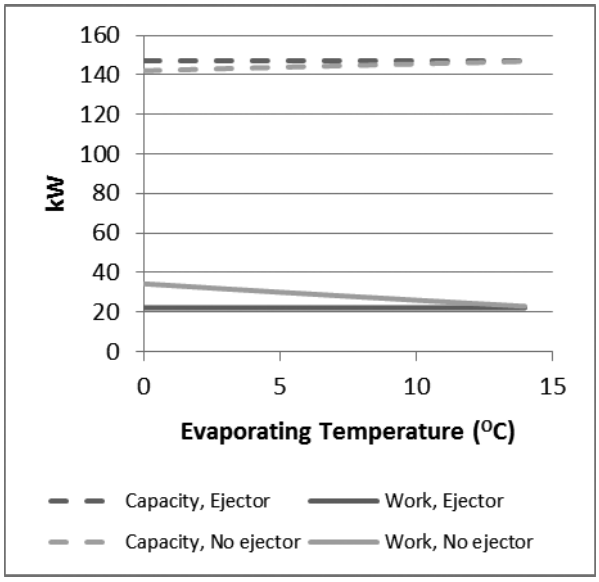
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่า COP ของวัฏจักรการทำความเย็นเมื่ออุณหภูมิควบแน่นเปลี่ยนแปลง

ถ้าหากเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector กับวัฏจักรแบบอัดไอแล้วดังแสดงในรูปที่ 10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าขนาดทำความเย็นและงานของวัฏจักรแบบอัดไอจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระเหยนั้น จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิควบแน่นกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้น จะทำให้ขนาดทำความเย็นของวัฏจักรอัดไอเพิ่มขึ้นและงานที่ใช้ลดลง อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิระเหย 0°C ถึง 14°C ขนาดทำความเย็นของวัฏจักรแบบอัดไอจะมีค่าไม่เกินค่าขนาดทำความเย็นของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector และใช้กำลังงานไม่น้อยกว่าด้วย

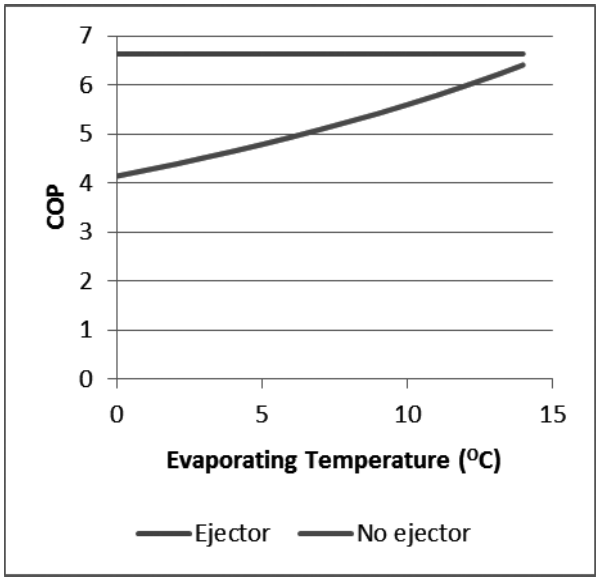


รูปที่ 9 ผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระเหย ที่มีต่อสมรรถนะของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector

จากผลข้างต้นจึงทำให้ค่า COP ของวัฏจักรแบบอัดไอเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้นแต่ก็มีค่าไม่เกินค่า COP ของวัฏจักรแบบใช้หัวฉีด Ejector ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็น เมื่อ อุณหภูมิระเหยเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่า COP ของวัฏจักรการทำความเย็น เมื่อ อุณหภูมิระเหยเปลี่ยนแปลง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Elbel, S. and Hrnjak, P. Ejector Refrigeration: An Overview of Historical and Present Developments with an Emphasis on Air-Conditioning Applications (2008)

[2] Kornhauser, A. A. The Use of an Ejector as a Refrigerant Expander (1990)

[3] Schmitt, H. Diversity of Jet Pumps and Ejector Techniques (1975)

[4] Downing, R. C. ASHRAE Transactions (1974)

[5] Ishizaka, N., Rokushima, K., Takano, Y., Thuya, A., Nakamura, T. and Sato, H. Next-generation Ejector Cycle for Car Air Conditioning Systems, ATZ autotechnology, vol. 9, issue 4, July 2009, pp. 34-39