

การออกแบบและทดสอบการทำงานของ steam ejector ชนิด CRMC ในระบบทำความเย็น

Design and Test of CRMC Steam Ejector in Refrigeration System

วิระพันธ์ สีหานาม¹ กุลเชษฐ์ เพียรทอง^{1*} ธนรัฐ ศรีวีระกุล¹ ศรัทธา อภรณ์รัตน์² Masud Behnia³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี 12121

³Dean of Postgraduate Study, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia

*E-mail: K.Pianthong@ubu.ac.th

Wirapan Seehanam¹ Kulachate Pianthong^{1*} Thanarath Sriveerakul¹ Satha Aphornratana² Masud Behnia³

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchatani University,
Ubon Ratchatani, 34190, Thailand

²Department of Mechanical Engineering, Sirinhor International Institute of Technology, Patumthani, Thailand

³Dean of Postgraduate Study, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia

*E-mail: K.Pianthong@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์เป็นระบบที่ได้ระบบความสนใจอย่าง ยิ่งในปัจจุบันเนื่องจากเป็นระบบที่ นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ให้เป็น ประโยชน์ มีระบบการทำงานที่ทนทานเนื่องจากมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่น้อย (ไม่มีเครื่องอัดไอ) นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้น้ำเป็นสารทำงานได้อีก ด้วย แต่ระบบทำความเย็นนี้มีข้อเสียคือ สมรรถนะทำความเย็นต่ำ สมรรถนะทำความเย็นของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ เป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและพัฒนาอีเจ็คเตอร์ โดยออกแบบด้วยทฤษฎีการออกแบบใหม่ ที่ใช้หลักการ Constant Rate of Momentum Change(CRMC) และใช้วิธีคำนวณเชิง ตัวเลขสำหรับการไหล(CFD)ช่วยในการจำลองการไหลและหา สมรรถนะที่สำคัญของอีเจ็คเตอร์ เช่น Entrainment ratio (R_m) และ Critical Back Pressure(CBP) แล้วนำผลของ CFD มาช่วยในการ ปรับปรุงรูปร่างอีเจ็คเตอร์ก่อนการสร้างจริง ผลการศึกษาและทดลอง พบว่าค่า R_m และ CBP จากการทดลองแตกต่างกับค่าที่ได้จาก CFD อยู่ประมาณ 11% และ 3% ตามลำดับ ผลการจำลองการไหลภายในอีเจ็คเตอร์ของ CFD พบว่าของไหลในอีเจ็คเตอร์เกิดการหมุนวนเมื่อ ความดันของเครื่องกำเนิดไอสูงเกินกว่าจุด CBP ซึ่งทำให้สมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ลดลง สำหรับการศึกษานี้ต่อไปจะได้เปรียบเทียบค่า ความดันตลอดความยาวของอีเจ็คเตอร์เพื่อตรวจสอบลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นภายในอีเจ็คเตอร์

คำหลัก อีเจ็คเตอร์, ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์, CFD, CRMC

Abstract

Recently, an ejector refrigeration system has drawn great attention from some researchers, because this system can utilize the low-grade energy for driving the cycle. Moreover this system has a simple construction, few moving parts, and of possible to operate by water. One weak point is its low COP and cooling capacity. Usually the ejector performance directly affect to the system performance. Therefore, this study is to design and investigate the new ejector in refrigeration cycle. Constant Rate of Momentum Change(CRMC) method is employed to design the new ejector. Then Computational Fluid Dynamics(CFD) is used to investigate the flow phenomena in ejector. This also predicts the ejector performance such as Entrainment ratio(R_m) and Critical Back Pressure(CBP). CFD results can be used to help modifying the ejector before actually building one for the experiment. The experimental results are compared with CFD result. It is found that the R_m and CBP from the CFD calculation is higher than those of the experiment by 11% and 3%, respectively. In CFD simulation, the reverse flow behavior is clearly displayed when the condenser pressure is over the CBP. This behaviour declines the ejector performance. Pressure profile along the ejector is being measured and will be compared with the CFD results in the near future.

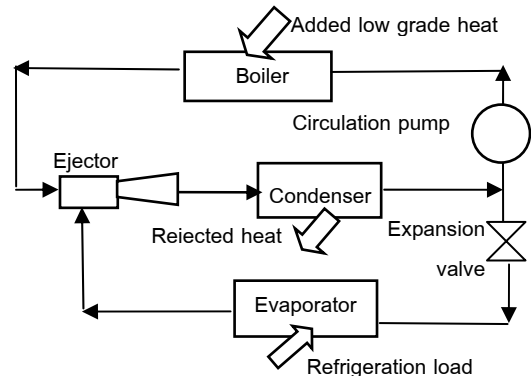
Keywords: Ejector, CFD, Ejector refrigeration, CRMC

1. บทนำ

ระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์เป็นระบบทำความเย็นทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมอย่างยิ่งกับสภาวะการในปัจจุบันเนื่องจากเป็นระบบที่สามารถนำเอาความร้อนทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือพลังงานความร้อนราคาถูกอื่นๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานขับเคลื่อนระบบ สามารถนำน้ำมาใช้เป็นสารทำความเย็นได้ ทำให้ระบบไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้แล้วยังมีอายุการใช้งานนานและเสียค่าซ่อมบำรุงต่ำกว่าระบบทั่วไป เนื่องจากมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่น้อย(ไม่มีเครื่องอัดไอ) ดังรูปที่ 1 จะสังเกตเห็นได้ว่า อีเจ็คเตอร์, เครื่องกำเนิดไอ(boiler or generator) และ บั๊มหมุนวน (circulating pump) เป็นส่วนที่ติดตั้งแทนเครื่องอัดไอ(compressor) ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยสารทำงานความดันสูงที่ได้จากการเดือดภายในเครื่องกำเนิดไอจะถูกใช้เป็นก๊าซปฐมภูมิของอีเจ็คเตอร์ ก๊าซความดันสูงนี้จะไหลและขยายตัวผ่านหัวฉีด(nozzle) ด้วยความเร็วสูง ก่อให้เกิดความดันต่ำบริเวณปากทางออกของหัวฉีดที่ต่อกับเครื่องระเหย (evaporator) ทำให้ความดันของเครื่องระเหยลดลงด้วย ดังนั้น สารทำงานในเครื่องระเหยจึงสามารถเดือดและระเหยได้ในอุณหภูมิต่ำไจากเครื่องระเหยหรือก๊าซทุติยภูมิของอีเจ็คเตอร์จะถูกดูดพร้อมเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ที่ห้องผสมและทางออกของอีเจ็คเตอร์ตามลำดับ จากนั้นจะกลั่นตัวกลับเป็นสารทำงานเหลวภายในเครื่องควบแน่น (condenser) สารทำงานเหลวนี้นี้จะถูกหมุนเวียนกลับไปสู่เครื่องกำเนิดไอด้วย บั๊มหมุนวนและสารทำงานบางส่วนจะถูกลดความดันผ่านวาล์วลดความดัน (expansion valve) ก่อนจะไม่ไหลกลับเข้าสู่เครื่องระเหยเป็นการครบวัฏจักรการทำงาน จะสังเกตเห็นได้ว่า อุปกรณ์อีเจ็คเตอร์มีผลต่อสมรรถนะทำความเย็นของระบบโดยตรง

ในอดีตการออกแบบอีเจ็คเตอร์มีทฤษฎีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางอยู่ 2 ทฤษฎี อันที่หนึ่งได้แก่ทฤษฎีของ Keenan และคณะ [1,2] ซึ่งอยู่ภายใต้ของข้อสมมติฐาน 2 ประการตามแต่ชนิดของอีเจ็คเตอร์คือ การผสมกันแบบความดันคงที่(constant pressure mixing) และการผสมกันในพื้นที่หน้าตัดคงที่(constant mixing area) แต่ทฤษฎีนี้ก็ไม่สามารถอธิบายคุณสมบัติบางประการของอีเจ็คเตอร์ได้ ดังนั้น ในลำดับต่อมา Muday และ Bagster[3] ได้เสนอทฤษฎีที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ของอีเจ็คเตอร์ได้ครอบคลุมมากขึ้น จากอดีตถึงปัจจุบันทั้งสองทฤษฎีนี้ถูกใช้ในการออกแบบอีเจ็คเตอร์กันอย่างขวาง จนเมื่อเร็วๆ นี้ Eames[4] ได้เสนอทฤษฎี Constant Rate of Momentum Change(CRMC) ใน diffuser ของอีเจ็คเตอร์ทำให้ได้อีเจ็คเตอร์มีรูปร่างของ diffuser ที่ต่างจากรูปร่างเดิมในอดีตที่ผ่านมา แต่ทฤษฎีนี้ก็ไม่ได้แนะนำถึงรูปร่างส่วนอื่นๆของอีเจ็คเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ร่วมกับทฤษฎีนี้

ปัจจุบันได้มีการนำความรู้ด้านการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหล(CFD) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ควบคู่กับการทดลองซึ่งให้ผลที่ยอมรับได้ [5,6,7] ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีแนวคิดที่จะนำความรู้ทาง CFD ช่วยในการศึกษาและพัฒนาอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบโดยทฤษฎีการออกแบบ CRMC ให้มีรูปร่างที่เหมาะสมมากขึ้นก่อนการนำไปสร้างจริงและทดลอง



รูปที่ 1 แผนผังแสดงระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์

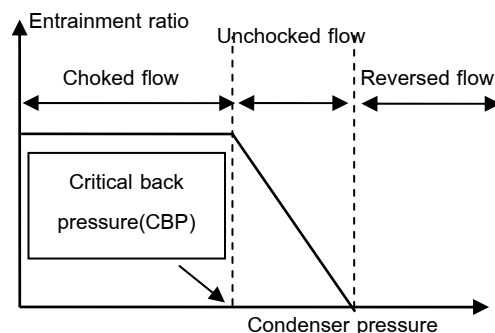
2. คุณลักษณะและสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์

สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอีเจ็คเตอร์เป็นหลัก โดยอีเจ็คเตอร์มีพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ 2 อย่างด้วยกันดังนี้

$$\text{Entrainment ratio } R_m = \frac{\text{mass of secondary flow}}{\text{mass of primary flow}} \quad (1)$$

$$\text{Pressure lift ratio } PLR = \frac{\text{static pressure at diffuser exit}}{\text{static pressure of secondary flow}} \quad (2)$$

ทั้งนี้ค่า R_m และ PLR จะเป็นค่าบ่งบอกความสามารถในการเหนี่ยวนำสารและทำความดันของอีเจ็คเตอร์ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ก็ถูกจำกัดอยู่ในช่วงความดันที่ทางออกของอีเจ็คเตอร์ ดังรูปที่ 2 จากรูปเราเรียกความดันที่ทางออกสุดท้ายที่สมรรถนะของอีเจ็คเตอร์(R_m) ไม่ลดลงว่า critical back pressure(CBP) ช่วงความดันที่ R_m คงที่ ไ้มาจากเครื่องเครื่องระเหย(evaporator) จะเกิดปรากฏการณ์ choking แต่ในช่วงหลังจากจุด CBP จะไม่เกิดปรากฏการณ์นี้ทำให้ความสามารถในการเหนี่ยวนำสารของอีเจ็คเตอร์ลดลง[1] ทั้งนี้สมรรถนะของอีเจ็คเตอร์จะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของระบบด้วย



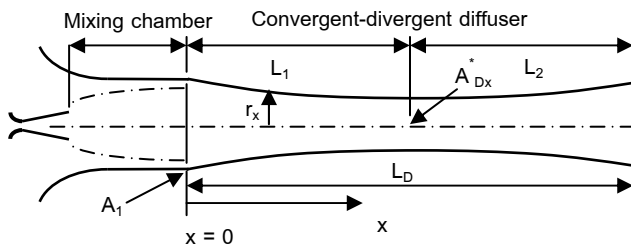
รูปที่ 2 คุณลักษณะทั่วไปของอีเจ็คเตอร์

3. ทฤษฎีการออกแบบอีเจ็คเตอร์แบบ CRMC

การออกแบบอีเจ็คเตอร์ด้วยทฤษฎี Constant Rate of Momentum Change(CRMC) ถูกเสนอโดย Eames[2] ซึ่งเป็นความพยายามลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ shock ในอีเจ็คเตอร์ ซึ่งกำหนดสมมติฐานที่เกิดขึ้นใน Diffuser เป็น

$$\frac{dM_o}{dx} = m_g(1 + R_m) \frac{dV}{dx} = \beta \quad (3)$$

เมื่อ M_o คือ โมเมนตัมของของไหล, m_g คือ อัตราการไหลของของไหลจากเครื่องกำเนิดไอ และ V คือความเร็วของของไหล



รูปที่ 3 รูปร่างทั่วไปของ CRMC ejector

จากสมการที่(3) และรูปที่ 3 มีเงื่อนไขขอบเขตของสมการเป็น

$$V_{D,x} = V_1 \quad \text{at } x = 0 \text{ ที่ทางเข้า diffuser}$$

$$\text{และ } V_{D,x} = V_{DE} \quad \text{at } x = L_D \text{ ที่ทางออกของ diffuser}$$

จะได้

$$V_{D,x} = V_1 - \frac{(V_1 - V_{DE})x}{L_D} \quad \text{for } 0 \leq x \leq L_D \quad (4)$$

ความดันคงที่ในช่วงการผสมกันของของไหลจากสมการอนุรักษ์ momentum จะได้

$$V_1 = \frac{V_{NE} + R_m V_s}{1 + R_m} \quad (5)$$

โดย V_{NE} และ V_s เป็นความเร็วที่ปลายทางออกของหัวฉีดและปากทางเข้าของของไหลตามลำดับ

สมดุลพลังงานในช่วงการผสมกันจะได้สมการ อุณหภูมิสถิต ($T_{o,1}$) และ อุณหภูมิรวม (T_1) ที่ทางเข้าของ diffuser เป็น

$$T_{o,1} = \frac{T_{o,p} + R_m T_{o,s}}{1 + R_m} \quad (6)$$

$$T_1 = T_{o,1} - \frac{V_1^2}{2C_p} \quad (7)$$

โดย C_p คือค่าความร้อนจำเพาะ(Specific heat) ของของไหล กำหนดให้ความดันสถิตที่กระบวนการผสมกันเท่ากับ P_{NE} จะได้ความดันสถิต ($P_{o,1}$) และความดันรวม (P_1) ที่ทางเข้า diffuser เป็น

$$P_{o,1} = P_{NE} \left(\frac{T_{o,1}}{T_1} \right)^{k/(k-1)} \quad (8)$$

$$P_1 = P_{o,s} - \frac{\rho_s V_s^2}{2} \quad (9)$$

อุณหภูมิรวม ความดันรวม และ ความหนาแน่น ที่ตำแหน่ง x ใดๆจะได้

$$T_x = T_{o,1} - \frac{V_{D,x}^2}{2C_p} \quad (10)$$

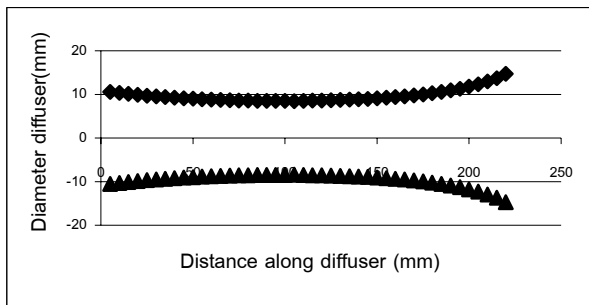
$$P_x = P_{o,1} \left(\frac{T_x}{T_{o,1}} \right)^{k/(k-1)} \quad (11)$$

$$\rho_x = \frac{P_x}{RT_x} \quad (12)$$

จากกฎทรงมวล จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูปร่าง diffuser เป็น

$$D_{D,x} = 2 \sqrt{\frac{m_g(1 + R_m)RT_x}{\pi P_x V_{D,x}}} \quad (13)$$

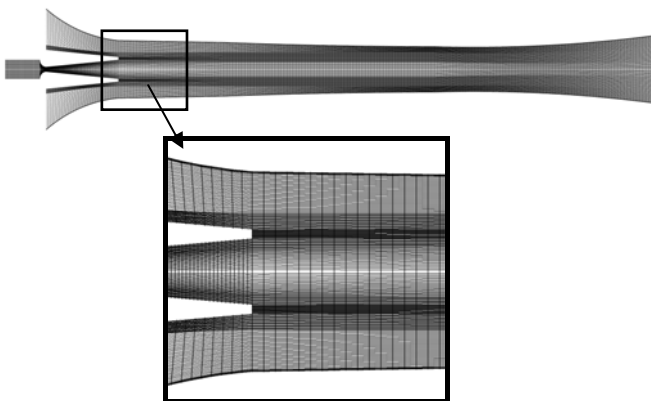
จากสมการที่ (5)-(13) จะได้รูปร่างของ diffuser ดังรูปที่ 4 เนื่องจากทฤษฎีการออกแบบ CRMC ไม่ได้แนะนำการออกแบบรูปร่างของ ห้องผสม(Mixing chamber) ไว้ ดังนั้นเราจึงได้นำเอา CFD เข้ามาช่วยหารูปร่างที่เหมาะสมของ Mixing chamber พร้อมกับการคาดคะเนสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ก่อนนำไปสร้างจริง



รูปที่ 4 พื้นที่หน้าตัดตลอดความยาวของ Diffuser จากการออกแบบ

4. CFD modeling

การจำลองปรากฏการณ์การไหลและตรวจสอบสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์จะทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม FLUENT โดยใช้กริดสี่เหลี่ยม ประมาณ 48,000 โหนด และจะเพิ่มความหนาแน่นของกริดที่บริเวณช่วงที่ของไหลทั้งสองชนิดผสมกันดังรูป 5 แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้เป็น $k-\epsilon$ แบบ realizable รูปแบบการแก้ปัญหาแบบ couple-implicit โดยจำลองรูปร่างเป็นแบบ axis symmetry กำหนดเงื่อนไขขอบเขตทางเข้าและทางออกเป็น pressure inlet และ pressure outlet ตามลำดับ ของไหลภายในกำหนดสมบัติเป็น ideal gases ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ให้ผลที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลอง



รูปที่ 5 รูปร่างและกริดของแบบจำลองอีเจ็คเตอร์ใน CFD

5. ชุดอุปกรณ์การทดลอง

ชุดการทดลองของระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์เป็นระบบทำความเย็นที่สามารถรับภาระทำความเย็นได้ที่ 4 kW โดยใช้เป็นสารทำความเย็นซึ่ง ติดตั้งที่สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (เอกสารอ้างอิง[8]) อีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบไว้ จะถูกนำไปต่อเข้ากับระบบ และทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานของ เครื่องกำเนิดไอ เครื่องระเหย ที่ค่าความดันของเครื่องควบแน่นต่างๆ การวัดอัตราการไหลของก๊าซปฐมภูมิ และทุติยภูมิ จะวัดระดับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเหลวในเครื่องกำเนิดไอและเครื่องระเหยตามลำดับ อีเจ็คเตอร์รูปร่างใหม่แสดงดังรูปที่ 6 และ ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 อีเจ็คเตอร์รูปร่างใหม่ที่ติดตั้งในชุดทดลอง

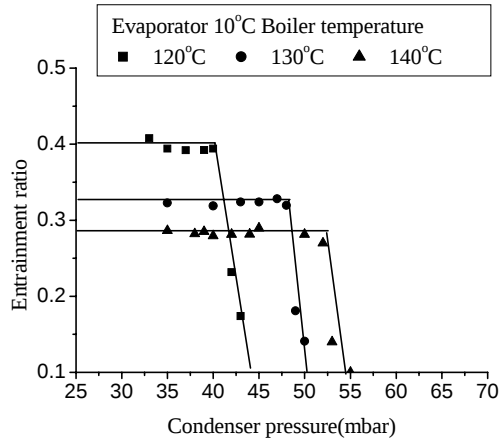


รูปที่ 7 ชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบอีเจ็คเตอร์

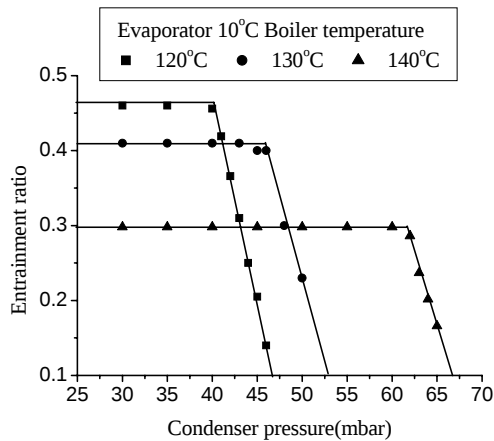
5. ผลการศึกษา

5.1 ผลกระทบของอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไอ

ช่วงอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไอในการทดลองจะอยู่ที่ 120°C - 140°C ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งแสดงค่า Entrainment ratio (R_m) ที่เปลี่ยนแปลงความดันของเครื่องควบแน่น ของแต่ละอุณหภูมิเครื่องกำเนิดไอ จะเห็นว่าอีเจ็คเตอร์จะสามารถเหนี่ยวนำสารได้มากขึ้นหากอุณหภูมิของเครื่องกำเนิดต่ำเนื่องจากปรากฏการณ์ choking ของก๊าซทุติยภูมิ[1] แต่เนื่องจากความดันของก๊าซปฐมภูมิต่ำยังผลให้จุด CBP ต่ำด้วยซึ่งทำให้อีเจ็คเตอร์สามารถทำงานได้ในช่วงความดันของเครื่องควบแน่นที่แคบ



รูปที่ 8 ผลการทดลองของอิทธิพลจากเครื่องกำเนิดไอ

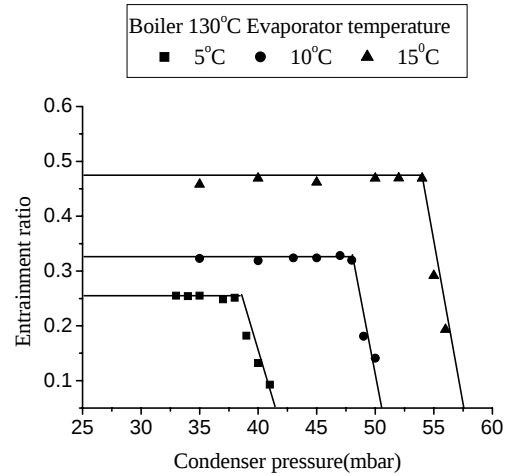


รูปที่ 9 ผลคำนวณจาก CFD ของอิทธิพลจากเครื่องกำเนิดไอ

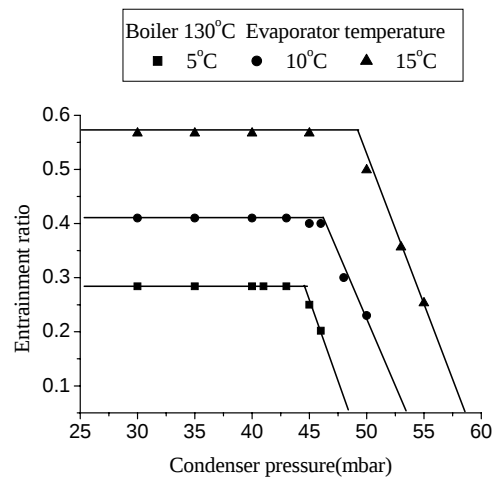
รูปที่ 9 แสดงผลของการคำนวณค่าคะแนนสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์จาก CFD คุณลักษณะพื้นฐานของสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ที่สามารถรักษาสมรรถนะได้ในช่วงความดันของเครื่องควบแน่นยังปรากฏ ในผลจาก CFD และค่าสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ที่คาดคะเนจาก CFD มีค่าต่างจากจากการทดลองประมาณ 11%

5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิเครื่องระเหย

อุณหภูมิของเครื่องระเหยในการทดลองจะทำงานอยู่ที่ 5°C, 10°C และ 15°C พบว่าอีเจ็คเตอร์จะสามารถทำงานได้ดีขึ้นเมื่อเครื่องระเหยมีอุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 10 และแสดงผลจาก CFD ดังรูปที่ 11 เช่นเดียวกับผลของอุณหภูมิของเครื่องกำเนิดไอ สมรรถนะของอีเจ็คเตอร์นั้นคือ ค่า R_m และ CBP ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขจะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 11% และ 3% ตามลำดับ



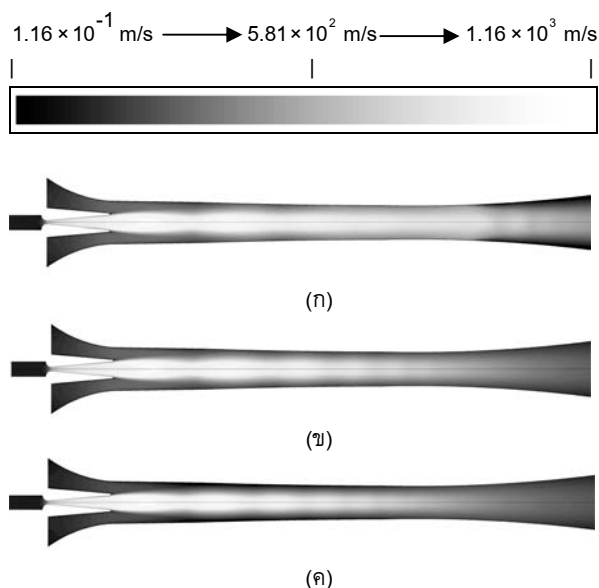
รูปที่ 10 ผลการทดลองของอิทธิพลจากเครื่องระเหย



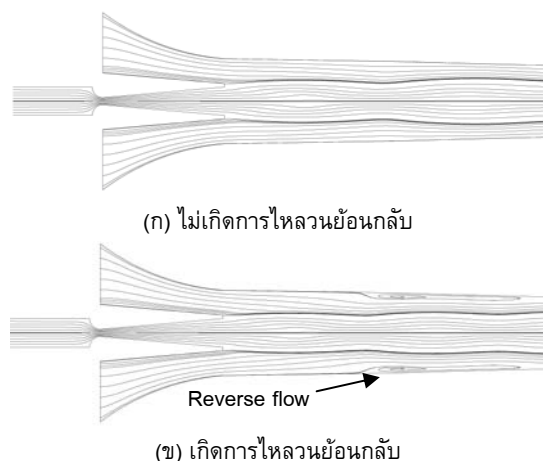
รูปที่ 11 ผลคำนวณจาก CFD ของอิทธิพลจากเครื่องกำเนิดไอ

5.3 ผลการจำลองการไหล

ข้อได้เปรียบของผลที่ได้จากการคำนวณของ CFD นั้นก็คือสามารถแสดงผลจำลองการไหลที่เกิดขึ้นภายในอีเจ็คเตอร์ได้ ดังแสดงดังภาพที่ 12 ซึ่งเป็นการแสดงภาพระดับสีขนาดความเร็วของปรากฏการไหลที่เกิดขึ้นในอีเจ็คเตอร์แต่ละความดันของเครื่องควบแน่นต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อความดันน้อยกว่าจุด CBP ความเร็วของอีเจ็คเตอร์จะลดลงรวดเร็ว(เนื่องจากผลของ shock wave)ที่บริเวณ ไกลทางออกของอีเจ็คเตอร์ เมื่อเพิ่มความดันของเครื่องควบแน่นยิ่งทำให้ความเร็วของไหลที่บริเวณใกล้ปากทางออกลดลง และหากเพิ่มความดันเครื่องควบแน่นมากขึ้นเกินจุด CBP แล้วจะทำให้ของไหลบางส่วนหมุนวน (แสดงดังภาพที่ 13) เป็นเหตุให้สมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ลดลง



รูปที่ 12 แถบสีความเร็วของอีเจ็คเตอร์ที่อุณหภูมิเครื่องกำเนิดไอ 130°C และ อุณหภูมิเครื่องระเหย 10°C โดยที่ความดันเครื่องควบแน่น (ก) 30 mbar (ข) 45 mbar และ (ค) 48 mbar



รูปที่ 13 เส้นทางการไหลภายในอีเจ็คเตอร์ที่อุณหภูมิเครื่องกำเนิดไอ 130°C และ อุณหภูมิเครื่องระเหย 10°C โดยที่ความดันเครื่องควบแน่น (ก) 30 mbar (ข) 48 mbar

6. สรุป

การศึกษานี้ได้นำเสนอการออกแบบอีเจ็คเตอร์ใหม่แบบ CRMC และได้วิธีเชิงตัวเลขหรือ CFD เข้ามาช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติและคาดคะเนสมรรถนะของอีเจ็คเตอร์ และอธิบายปรากฏการณ์การไหลเมื่ออีเจ็คเตอร์ทำงานในช่วงความดันของเครื่องควบแน่นต่ำและสูงกว่าจุด CBP เมื่อนำอีเจ็คเตอร์ที่ออกแบบไว้ไปสร้างและทำการทดลองพบว่า ค่า R_m และ CBP ของอีเจ็คเตอร์ที่ได้ต่างจาก CFD ประมาณ 11% และ 3% ทั้งนี้ในการศึกษาขั้นต่อไปจะได้เปรียบเทียบค่าความดันตลอดความยาวของอีเจ็คเตอร์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นภายในอีเจ็คเตอร์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) และ ได้รับความร่วมมือ และ ช่วยเหลืออุปการะชุดการทดลองจาก สถาบันเทคโนโลยี นานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Keenan JH, Neumann EP, Lustwerk. *An investigation of ejector design by analysis and experiment*. ASME J Appl MechTrans 1950;72:299-309.
- [2] Keenan JH, Neumann EP. *A simple air ejector*. ASME J Appl MechTrans 1942; 64:75-81.
- [3] J.T. Munday, D.F. Bagster, "A new theory applied to steam jet refrigeration", Industrial Engineering Chemical Process, Vol. 16, No.14, 1997, pp.442-449.
- [4] I.W. Eame, "A New Prescription for Desing of Supersonic Jet-Pumps: Constant Rate of Mometum Change Method", Applied thermal engineering, Vol. 22, 2002, pp.121-131
- [5] S.B. Riffat and S.A. Omer, "CFD modelling and experimental investigation of an ejector refrigeration system using metanol as the working fluid", International Jurnal Energy , Vol. 25, 2001, pp 115-128.
- [6] E Rusly, Lu Aye, Charters WWS, A Ooi, K Pianthong, "Ejector CFD modelling with real gas model", Proceedings of the 16th Annualconference of Mechanical Engineering Network, Phuket, Thailand, 14-16 October, 2002.
- [7] W. Seehanam, K. Pianthong, Masud Behnia, "Prediction of Flow Characteristics and Performance of Steam Ejector in Refrigeration Cycle Using CFD", Proceeding of the 8th Asian symposium on visualization, Chiangmai, Thailand, 23 -27, May, 2005, pp119-120.
- [8] K. Chunnanond, S. Aphornratana, "An experimental investigation of a stream ejector refrigerator: the analysis of the pressure profile along the ejector", Apply Thermal Engineering, Vol. 22, 2004, pp 311-322.