

การศึกษาระบบสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊มไอน้ำ

A Study Steam Jet Pump in Vacuum Drying System.

วรเชษฐ์ แสงสีดา¹, อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์², สุพัตรา บุตรเสรีชัย³

เลิศฤทธิ์ ตั้งชวงษ์⁴, ธนัชพร ปีกชัยภูมิ⁵

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ^{1, 2, 3}

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ⁴, โรงเรียนห้วยต้อนพิทยาคม⁵

Worachate Sangsida¹, Achitpon Sasitharanuwat², Supattra Budsareechai³,

Lertrit Tungchuvong⁴, Thanutchaporn Peekchaiyaphum⁵

Project of The Faculty of Engineering Chaiyaphum Rajabhat University^{1,2,3},

Research and Development Institute Chaiyaphum Rajabhat University⁴, Huaiton

Pittayakhom School⁵

E-mail: w.sangsida@hotmail.com^{1,2,3}

E-mail: Lertrit2014@gmail.com⁴

E-mail: Thanutchapornn20@email.com⁵

Received: April 30, 2021; Revised: June 1, 2021; Accepted June 14, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ประยุกต์ใช้ในระบบอบแห้งสุญญากาศ เพื่อศึกษาตัวแปรสถานะเงื่อนไขการทำงานที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตำแหน่งของหัวฉีดหลัก (NXP) ความดันปฐมภูมิ (Pp) เกณฑ์ในการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ ได้แก่ ค่าความดันสุญญากาศ (Ps) การสร้างสุญญากาศเทียบกับเวลา พบว่า ตำแหน่งปากทางออกของหัวฉีดและความดันปฐมภูมิมีผลต่อการสร้างสุญญากาศ เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ - 0.8 bar (ความดันเกจ) ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และใช้เวลาประมาณ 4 นาทีสำหรับห้องอบแห้งขนาด 600 ลิตร การอบแห้งสุญญากาศสตรอว์เบอร์รี่แบบเจ็ทปั๊ม ที่อุณหภูมิแตกต่างกันจะส่งผลต่อการลดความชื้นแตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 60 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุด สามารถลดความชื้นภายในเวลา 240 นาที อุณหภูมิ 50 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุด สามารถลดความชื้นภายในเวลา 270 นาที อุณหภูมิ 40 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุด สามารถลดความชื้นภายในเวลา 410 นาที

คำสำคัญ: เจ็ทปั๊ม สุญญากาศ อบแห้ง

ABSTRACT

This paper presented the study of the performance of a steam jet pump in vacuum drying application under different operating condition variables using the developed experimental set. The variables to be studied were the primary nozzle's position (NXP), primary

pressure (Pp) Important parameters used to describe the jet pump's performance were the vacuum chamber's pressure (Ps), required evacuation time, and the entrainment ratio (Rm). From the study, it was shown that vacuum process was affected by variation of primary nozzle's exit position and primary pressure. By increasing the primary pressure, the vacuum pressure increased. The maximum vacuum pressure obtained was at -0.80 bar (gauge) at the primary pressure of 5 bar (gauge) and at the nozzle's exit position of 20 mm. Under this condition, the required evacuation time was about 4 minutes for the vacuum volume of 600 liters. Strawberry vacuum pumped drying at different temperatures will result in different dehumidification. Temperature 60 ° C has the best moisture reduction, can reduce humidity within 240 minutes. Temperature 50 ° C has the best moisture reduction, humidity can be reduced within 270 minutes. Temperature 40 ° C has the best moisture reduction, humidity can be reduced within 410 minutes.

KEYWORDS: Jet pump, Vacuum, Drying

บทนำ

เจ็ทปั๊ม คือ อุปกรณ์ที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านคอคอด ซึ่งเปลี่ยนความดันของของไหล ที่ผ่านคอคอดให้เป็นความเร็ว เพื่อเหนี่ยวนำของไหลอีกชนิดหนึ่ง กล่าวคือ เมื่อของไหลปฐมภูมิ (Primary fluid) ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงพุ่งผ่านหัวฉีดหลักที่อยู่ภายในเจ็ทปั๊ม และเมื่อลำพุ่งมีความเร็วสูงจะเกิดการเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ (Secondary fluid) เข้ามาผสมกันภายในเจ็ทปั๊ม และไหลออกจากเจ็ทปั๊มผ่านปากทางออกของเจ็ทปั๊มเป็นอันสิ้นสุดการทำงานของเจ็ทปั๊ม

ปัจจุบันมีการนำเอาหลักการทำงานของเจ็ทปั๊ม มาประยุกต์ ใช้งานในหลายด้านด้วยกัน เช่น นำไปใช้ในระบบทำความเย็น (Aphomratana, 1996) นำไปใช้ในการขนส่งอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก และในงานอุตสาหกรรมบางประเภท ข้อดีของเจ็ทปั๊มอีกประการหนึ่งก็คือ สามารถใช้พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar energy) พลังงานคุณภาพต่ำ (Low grade heat) หรือความร้อนทิ้ง (Waste heat) มาขับเคลื่อนระบบได้ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงเป็นอย่างมากการนำเอาเจ็ทปั๊มแบบไอน้ำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างสุญญากาศนั้น เจ็ทปั๊มจะทำหน้าที่สร้างสุญญากาศให้กับห้องอบแห้งสุญญากาศ

โดยที่เจ็ทปั๊มไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ลดปัญหาการซ่อมบำรุง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จากเดิมที่เคยใช้ปั๊มสุญญากาศ (วรเชษฐ์, 2555)

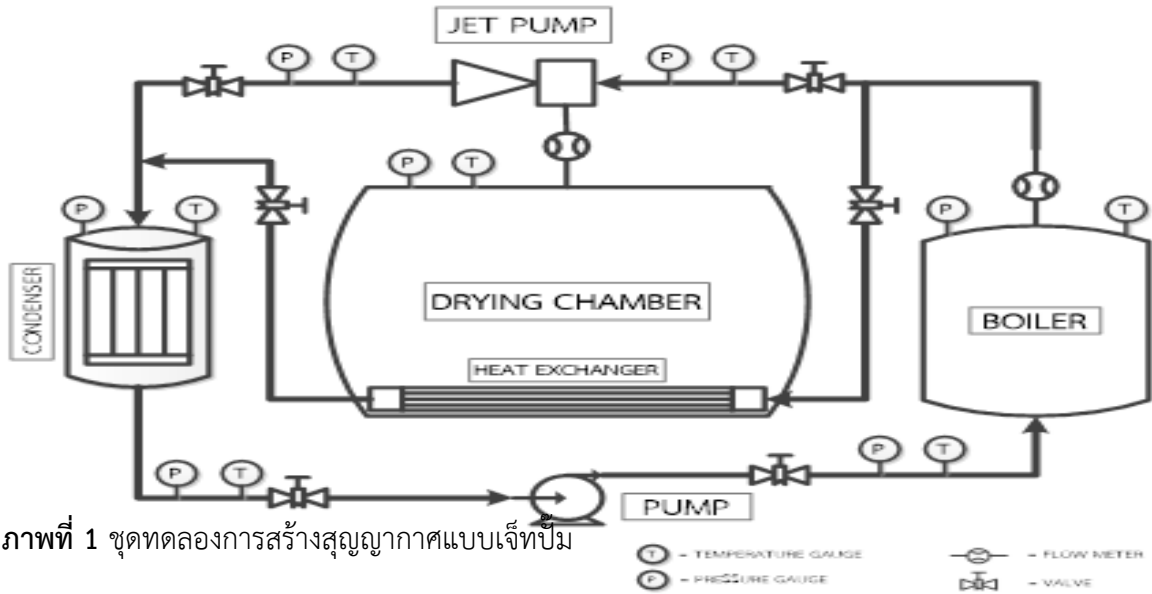
จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการทำงานของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊ม ซึ่งได้แก่ ความดันปฐมภูมิ ตำแหน่งของหัวฉีด ระยะเวลาในการสร้างสุญญากาศไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาการสร้างสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊มต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ประยุกต์ใช้กับระบบอบแห้งสุญญากาศ
2. เพื่อทดสอบชุดทดลองระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เจ็ทปั๊มไอน้ำที่ประยุกต์ใช้กับระบบอบแห้งสุญญากาศ
2. ได้ชุดทดลองระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

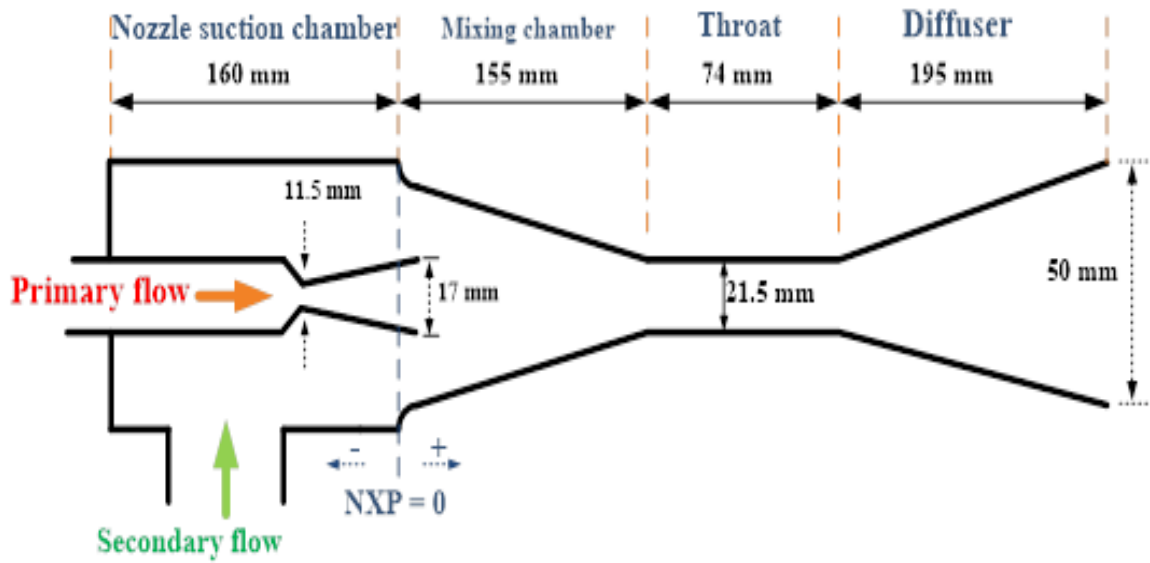


ภาพที่ 1 ชุดทดลองการสร้างสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม เป็นระบบอบแห้งสุญญากาศที่ไม่ใช้ปั๊มสุญญากาศ โดยวัฏจักรการทำงาน จะติดตั้ง jet pump, boiler และ circulating pump เพื่อทำหน้าที่แทน vacuum pump ดังแสดงในรูปที่ 1 ไอน้ำที่ได้จากการเดือดภายในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (heat generator or boiler) ที่รับความร้อนทั้งจากภายนอก จะถูกใช้เป็นก๊าซป้อนของเจ็ทปั๊ม ก๊าซความดันสูงจะไหลและขยายตัวผ่านหัวฉีด (nozzle) ด้วยความเร็วสูงส่งผลให้บริเวณปากทางออกของหัวฉีดและห้องอบแห้งมีความดันต่ำลง โดยที่ไอน้ำส่วนหนึ่งจะถูกแบ่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ห้องอบแห้งสุญญากาศ ดังนั้นน้ำในผลิตภัณฑ์ภายในเครื่องอบแห้งสุญญากาศจึงสามารถเดือดได้ในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งน้ำในผลิตภัณฑ์ภายในเครื่องอบแห้งสุญญากาศและก๊าซทุติยภูมิของเจ็ทปั๊มจะถูกดูดพร้อมเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ที่ห้องผสมและทางออกของเจ็ทปั๊มตามลำดับ จากนั้นจะกลับตัวกลับเป็นสารทำงานเหลวภายในเครื่องควบแน่น

(condenser) และจะถูกหมุนเวียนกลับไปเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยปั๊มหมุนวน (Circulation pump) ไหลกลับเข้าสู่เครื่องระเหย เป็นการครบวัฏจักรการทำงานในการอบแห้งระบบสุญญากาศ เจ็ทปั๊มถือได้ว่าเป็นหัวใจของระบบ ดังนั้นการออกแบบเจ็ทปั๊มจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะในการอบแห้ง เช่น ความดันของของไหลป้อน (P_p) อุณหภูมิและความดันของของไหลทุติยภูมิ (P_s) และความดันที่ปากทางออกเจ็ทปั๊ม (P_{exit}) ในการศึกษาี้เลือกใช้เจ็ทปั๊มชนิด Constant Pressure Mixing (CPM) และใช้หลักการออกแบบของ (ESDU, 1986) ในการหาขนาดและรูปร่างของเจ็ทปั๊มที่เหมาะสมกับสภาวะการอบแห้ง ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำจะถูกใช้เป็นของไหลป้อนเพื่อเหนี่ยวนำเอาอากาศภายในห้องอบแห้ง (ของไหลทุติยภูมิ) ออกจากห้องอบแห้งเข้ามาয়เจ็ทปั๊มและทำให้ห้องอบแห้งเกิดสุญญากาศขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปร่างและขนาดของเจ็ทปั๊ม

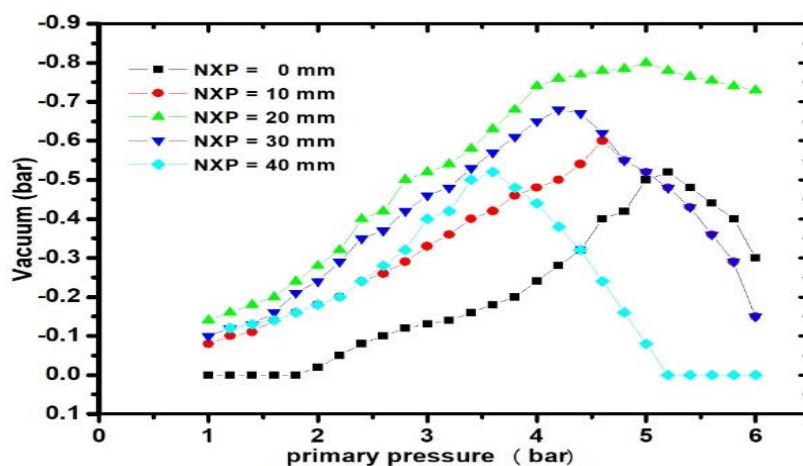
ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้เป็นตัวชี้วัดค่าสมรรถนะของเจ็ทปั๊มที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ คือ อัตราส่วนการเหนี่ยวนำ (Entrainment ratio, R_m) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลทุติยภูมิต่ออัตราการไหลเชิงมวลของของไหลปฐมภูมิ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$R_m = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_p} \quad (1)$$

โดยที่ \dot{m}_p คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลปฐมภูมิ และ \dot{m}_s คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลทุติยภูมิ

ผลการวิจัย

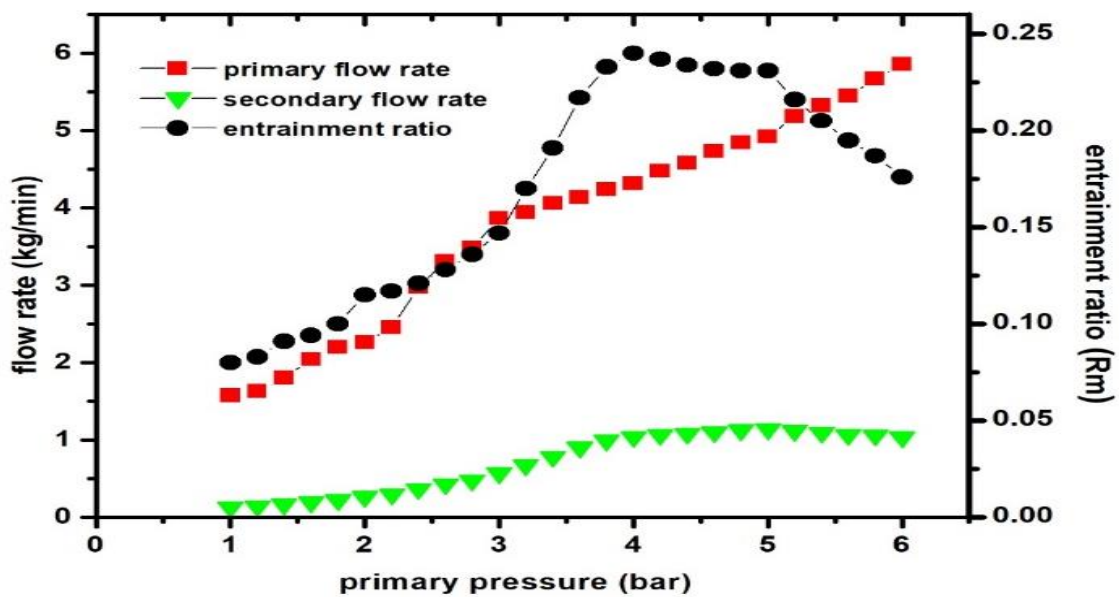
1. ตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ที่มีต่อค่าความดันสุญญากาศ (P_s)



ภาพที่ 3 ตำแหน่งของหัวฉีดที่มีผลต่อความดันสุญญากาศ

จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 mm เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดและศึกษาค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งที่เปลี่ยนไป ในช่วงความดันปฐมภูมิ ที่ 1 – 6 bar (ความดันเกจ) จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสูญญากาศจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงต่ำที่สุดในช่วงความดันปฐมภูมิ 3.5 – 5 bar แต่เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิให้สูงขึ้นอีก ค่าความดันสูญญากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อความเร็วลำพุ่งของของไหลปฐมภูมิที่พุ่งผ่านหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะทำ

ให้ความดันที่ปากทางออกของเจ็ทป้อนต่ำลง และเหนี่ยวนำอากาศในห้องอบแห้งได้มากขึ้น ทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งมีค่าลดลง และในขณะที่ความเร็วของลำพุ่งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความดันปฐมภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ที่เข้าใกล้เข้าใกล้คอคอของเจ็ทป้อนมากเกินไปนั้น ขนาดของลำพุ่ง (Jet core) ของของไหลปฐมภูมิก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย เมื่อถึงจุดๆ หนึ่ง จึงทำให้มีพื้นที่ในการเหนี่ยวนำอากาศภายในห้องอบแห้งเข้ามายังเจ็ทป้อนต่ำลง เป็นผลให้อัตราส่วนการเหนี่ยวนำลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4 และทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งสูญญากาศสูญญากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

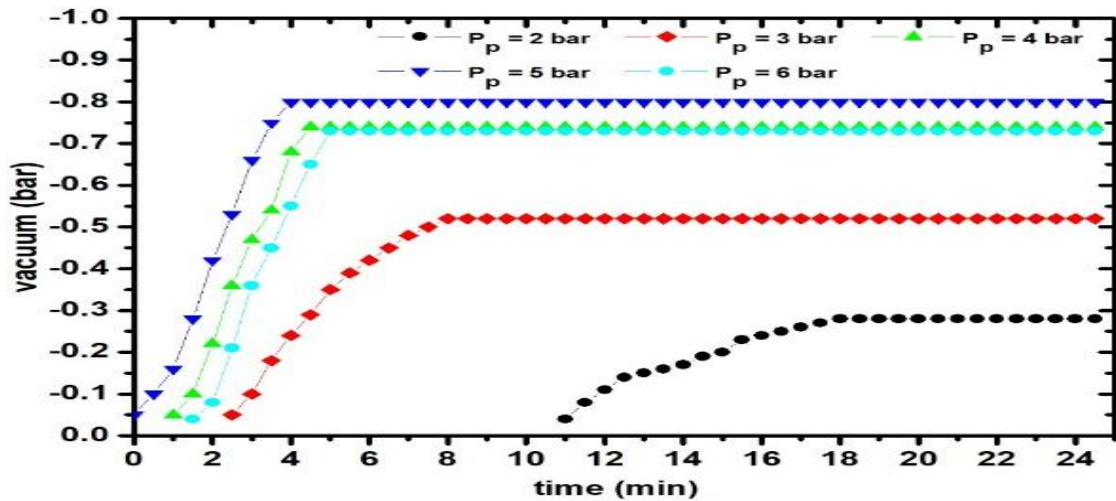


ภาพที่ 4 อัตราส่วนการเหนี่ยวนำของเจ็ทป้อนที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm

2. ความดันปฐมภูมิ (Pp) ต่อการสร้างความดันสูญญากาศ (Ps)

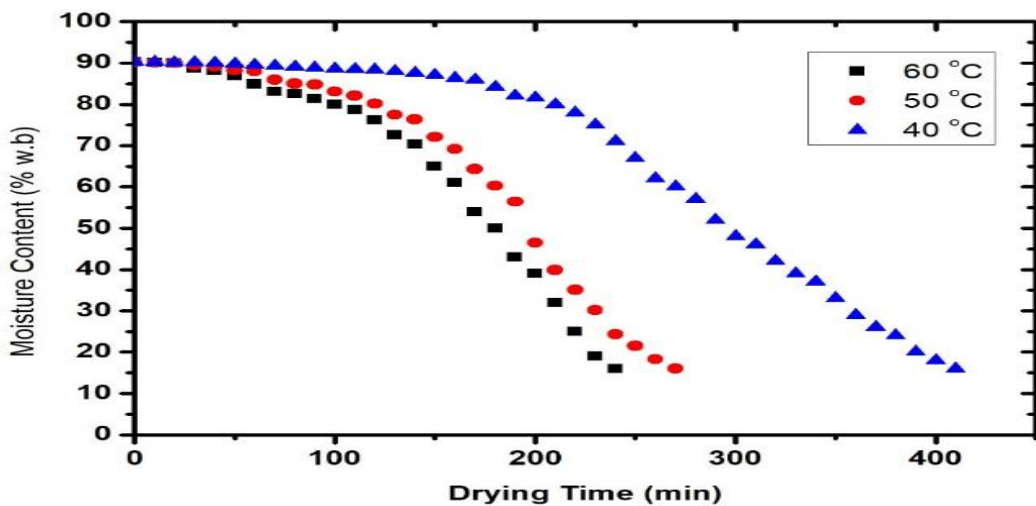
การศึกษาความดันปฐมภูมิ (Pp) ที่มีต่อการสร้างความดันสูญญากาศ จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 20 mm เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งขนาด 600 ลิตร ที่เปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงความดันปฐมภูมิที่ 2-6 bar (ความดันเกจ) จากรูปที่ 4.3 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจนความดันในห้องอบแห้งเริ่มเกิดสูญญากาศ

จากนั้นความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความดันสูญญากาศลดลงต่ำที่สุด ที่ความสามารถของเจ็ทป้อนในแต่ละช่วงความดันปฐมภูมิสามารถทำได้ ความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะคงที่ โดยที่ความดันปฐมภูมิ 5 bar สามารถสร้าง ความดันสูญญากาศต่ำที่สุดได้ -0.80 bar โดยใช้เวลาประมาณ 4 นาที



ภาพที่ 5 ความดันปรอทสัมบูรณ์ (Pp) ต่อการสร้างความดันสุญญากาศ (Ps)

3. อุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้นของสตรอว์เบอร์รี



ภาพที่ 6 ระยะเวลาการอบแห้งเทียบกับค่าความชื้นของสตรอว์เบอร์รี

การศึกษาอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อการลดความชื้น ในครั้งนี้ใช้ตัวอย่าง สตรอว์เบอร์รี น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 91% (w.b.) อบแห้งจนกระทั่งที่ความชื้นสุดท้าย 16% (w.b.) ทำการทดลองที่เงื่อนไข ความดันสุญญากาศ -0.7 bar อุณหภูมิอบแห้งที่ 40°C , 50°C , 60°C เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาในการอบแห้งและทราบค่าอัตราส่วนการอบแห้ง

จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งสุญญากาศสตรอว์เบอร์รีแบบเจ็ทปั๊ม ที่อุณหภูมิ

แตกต่างกันจะผลต่อการลดความชื้นแตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 60°C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดที่สามารถลดความชื้นภายในเวลา 240 นาที อุณหภูมิ 50°C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดสามารถลดความชื้นภายในเวลา 270 นาที อุณหภูมิ 40°C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดที่สามารถลดความชื้นภายในเวลา 410 นาที ดังแสดงในภาพที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 mm เพื่อหาตำแหน่ง ที่เหมาะสมของหัวฉีดและศึกษาค่าความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งที่เปลี่ยนไป ในช่วงความดันปฐมภูมิ ที่ 1 – 6 bar (ความดันเกจ) พบว่า เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสุญญากาศจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและลดต่ำที่สุดในช่วงความดันปฐมภูมิ 3.5 – 5 bar แต่เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิให้สูงขึ้นอีก ค่าความดันสุญญากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ความดันปฐมภูมิ (Pp) ที่มีต่อการสร้างความดันสุญญากาศ จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 20 mm พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจนความดันในห้องอบแห้งเริ่มเกิดสุญญากาศ จากนั้นความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความดันสุญญากาศลดต่ำที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- วรเชษฐ์ แสงสีดา ธนรัฐ ศรีวีระกุล ชญานนท์ แสงมณี และกุลเชษฐ์ เพียรทอง, 2555. การศึกษาสมรรถนะอีเจ็คเตอร์ไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งสุญญากาศ, *วิศวกรรมสาร มช.*, 39(3): 291 – 299.
- Aphornratana, S., 1996, "Theoretical Study of a Steam – Ejector Refrigerator" (1996), *RERIC International Energy Journal*. 18 (1): 61-74.
- Keenan, J.H. and E.P. Neumann. (1942), A simple air ejector. *Transactions of the ASME Journal of Applied Mechanics*. 64, 75-81.
- Keenan, J.H., E.P. Neumann X. & F. Lustwerk. (1950), An investigation of ejector design by analysis and experiment, *Transactions of the ASME Journal of Applied Mechanics*. 72, 299-309.
- Montgomery, S.W., Goldschmidt, V.W. and Franchek, M.A. , (1998). Vacuum Assisted Drying of Hydrophilic Plates: Static Drying Experiment, *Journal of Heat Mass Transfer*. 415(41): 735-744.
- Power R.B. (1993). *Steam Jet Ejectors for the process Industries*. McGraw-Hill.
- Priveerakul, T., S. Aphornratana & K. Chunnanond. (2007). Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 1. Validation of the CFD results, *International Journal of Thermal Sciences*. 46(8): 812-822.
- Priveerakul, T., S. Aphornratana & K. Chunnanond. (2007). Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 2. Flow structure of a steam ejector influenced by operating pressures and geometries, *International Journal of Thermal Sciences*. 46(8): 823-833.

ที่ความสามารถของเจ็ทปั๊มในแต่ละช่วงความดันปฐมภูมิสามารถทำได้ ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะคงที่ โดยที่ความดันปฐมภูมิ 5 bar สามารถสร้าง ความดันสุญญากาศต่ำที่สุดได้ -0.80 bar โดยใช้เวลาประมาณ 4 นาที การอบแห้งสุญญากาศสตรอว์เบอร์รี่แบบเจ็ทปั๊ม ที่อุณหภูมิแตกต่างกันจะผลต่อการลดความชื้นแตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 60 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดที่สามารถลดความชื้นภายในเวลา 240 นาที อุณหภูมิ 50 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดสามารถลดความชื้นภายในเวลา 270 นาที อุณหภูมิ 40 °C มีการลดลงของความชื้นดีที่สุดสามารถลดความชื้นภายในเวลา 410 นาที

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย มา ณ โอกาสนี้ด้วย