

การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ประยุกต์ใช้ในระบบอบแห้งสุญญากาศ Performance Study of Steam Jet Pump Applications in Vacuum Drying System

วรเชษฐ์ แสงสีดา¹, ธนรัฐ ศรีวีระกุล^{2*} ชญานนท์ แสงมณี² และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง²

¹โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ต.ธาตุ อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

* E-mail: tsriveerakul@yahoo.com Tel : 045-353319

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ประยุกต์ใช้ในระบบอบแห้งสุญญากาศ เพื่อศึกษาตัวแปรสถานะเงื่อนไขการทำงานที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตำแหน่งของหัวฉีดหลัก (NXP) ความดันปฐมภูมิ (P_p) อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง (Q_s) และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง (T_s) เกณฑ์ในการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ ได้แก่ ค่าความดันสุญญากาศ (P_s) การสร้างสุญญากาศเทียบกับเวลา และอัตราส่วนการเหนียวน้ำ (R_m) พบว่า (1) ตำแหน่งปากทางออกของหัวฉีดและความดันปฐมภูมิมีผลต่อการสร้างสุญญากาศ เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.8 bar (ความดันเกจ) ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และใช้เวลาประมาณ 7 นาที (2) เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2,500 L/min จะทำให้ความดันสุญญากาศมีแนวโน้มเพิ่มคิดเป็น 6 – 12 % เมื่อเทียบกับการที่ไม่ปล่อยอากาศให้ไหลผ่านห้องอบแห้ง และ (3) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะทำให้อัตราส่วนการเหนียวน้ำจะมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 70°C มีค่าอัตราส่วนการเหนียวน้ำสูงที่สุด ประมาณ 0.24 ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 4 bar

คำหลัก: เจ็ทปั๊ม ไอน้ำ อบแห้ง สุญญากาศ

Abstract

This paper presents performance study of a steam ejector in vacuum drying application. With an experimental set up, the effects of operating conditions to the ejector's performance; the primary nozzle's exit position (NXP), primary pressure, flow rate of ventilated air through the vacuum's chamber, and the chamber's temperature, were investigated. Importance parameters used to describe the ejector's performance are the vacuum chamber's pressure (P_s), required evacuation time, and the entrainment ratio (R_m). From the study, it was shown that (1) vacuum process was affected by variation of primary nozzle's exit position and primary pressure. Increasing the primary pressure from 1-6 bar (gauge), the vacuum pressure was increased. The maximum obtained vacuum pressure was at -0.80 bar (gauge) at the primary pressure of 5 bar (gauge) and at the nozzle's exit position of 20 mm. At the condition, the required evacuation time was about 7 minutes for the vacuum volume of 8,000 liters. (2) Increasing the flow rate of ventilated air from 0-2,500 l/min, the vacuum pressure tended to drop around 6-12%. (3)

TSF-2002

Increasing the chamber's temperature from 30°C to 50°C and 70°C, the entrainment ratio was raised. The maximum entrainment ratio of 0.24 was obtained at the chamber's temperature of 70°C and at the primary pressure of 4 bar (gauge).

Keywords: jet pump, steam, drying vacuum

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งจะมีผลผลิตทางการเกษตรจำพวกพืชผักผลไม้เป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นรายได้หลักของเกษตรกรซึ่งเป็นคนส่วนใหญ่ในประเทศ และทำรายได้เข้าประเทศต่อปีจำนวนมหาศาล แต่เนื่องจากผลผลิตที่ออกมาในในแต่ละฤดูกาล ทำให้มีข้อจำกัดสำหรับระยะเวลาในการจำหน่ายและการเก็บรักษา ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิต และส่งผลถึงราคาที่ตกต่ำลง จึงได้มีการศึกษาเพื่อยืดระยะเวลาการเก็บรักษาผลผลิต เช่น การแปรรูปผลผลิตเพื่อรอการจำหน่าย เพื่อลดการสูญเสียและยังเพิ่มราคาให้ผลผลิตอีกด้วย

การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน การใช้ความเย็น การใช้รังสี การหมัก การดอง และการอบแห้ง การอบแห้งเป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศในเมืองไทย และมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรแบบอื่น

การอบแห้ง คือ การให้ความร้อนแก่วัสดุที่ต้องการอบแห้ง เพื่อให้น้ำที่อยู่ภายในวัสดุนั้นระเหยกลายเป็นไอออกไป ในรูปของความร้อนแฝงของน้ำ โดยปริมาณความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับความชื้นในผลผลิต ความดันและอุณหภูมิที่ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอในขณะนั้น

จากหลักการของเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่าที่อุณหภูมิหนึ่งของเหลวจะมีค่าความดันอิ่มตัวคงที่อยู่มากหนึ่ง เช่น ที่ความดันบรรยากาศ น้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความดันไออิ่มตัว 0.42 kPa

น้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 30°C ซึ่งจุดที่ความดันสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังกล่าวนั้นเรียกว่าจุด Flash Point จะพบว่า เมื่อความดันลดลงจะทำให้จุดเดือดของของเหลวลดต่ำลงด้วย วิธีการลดความดันให้ต่ำลงในการอบแห้งจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการระเหยน้ำในกระบวนการอบแห้ง [1] วิธีการอบแห้งด้วยความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศหรือเรียกว่าการอบแห้งระบบสุญญากาศ

การอบแห้งระบบสุญญากาศมีข้อดี คือ จะช่วยลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะมีคุณภาพสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่สภาวะความดันปกติ [3] แต่ในความเป็นจริงการอบแห้งระบบสุญญากาศไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายนัก เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งทางด้านการลงทุนและการดูแลรักษา อุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการสร้างสุญญากาศในกระบวนการอบแห้งระบบสุญญากาศ คือ ปั๊มสุญญากาศ โดยทั่วไปแล้วในการทำงานของปั๊มสุญญากาศนั้นมีชิ้นส่วนกลไกที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เมื่อมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ จึงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเสียหายได้ง่าย ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเอาเจ็ทปั๊มมาใช้สร้างความดันสุญญากาศให้กับการอบแห้งระบบสุญญากาศแทนปั๊มสุญญากาศ เพราะเจ็ทปั๊มไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในการทำงานจึงไม่เกิดการเสียหายและมีค่าซ่อมบำรุงน้อยกว่าปั๊มสุญญากาศมาก [4]

เจ็ทปั๊ม คือ อุปกรณ์ที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านคอคอด ซึ่งเปลี่ยนความดันของของไหลที่ผ่านคอคอดให้เป็นความเร็ว เพื่อเหนี่ยวนำของไหลอีกชนิดหนึ่ง กล่าวคือ เมื่อของไหลปฐมภูมิ (Primary

TSF-2002

fluid) ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงพุ่งผ่านหัวฉีดหลักที่อยู่ภายในเจ็ทปั๊ม และมีความเร็วสูงจะเกิดการเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ (Secondary fluid) เข้ามาผสมกันภายในเจ็ทปั๊ม และไหลออกจากเจ็ทปั๊มผ่านปากทางออกของเจ็ทปั๊ม เป็นอันสิ้นสุดการทำงานของเจ็ทปั๊ม

จากหลักการทำงานของเจ็ทปั๊ม ถ้าของไหลทุติยภูมิของเจ็ทปั๊ม คือ อากาศภายในห้องอบแห้ง อากาศภายในห้องอบแห้งจะถูกเหนี่ยวนำออกจากห้องอบแห้งเข้าไปยังเจ็ทปั๊มโดยของไหลปฐมภูมิและจะทำให้ห้องอบแห้งเกิดสภาวะสุญญากาศ [2]

ข้อดีของเจ็ทปั๊มอีกประการหนึ่งก็คือ สามารถใช้พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar energy) พลังงานคุณภาพต่ำ (Low grade heat) หรือความร้อนทิ้ง (Waste heat) มาขับเคลื่อนระบบได้ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงเป็นอย่างมาก

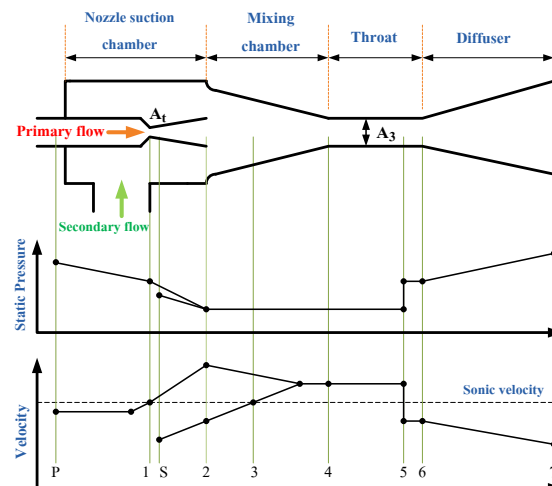
จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊ม ซึ่งได้แก่ ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้ง อัตราส่วนการเหนี่ยวนำ ไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาการอบแห้งระบบสุญญากาศต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของการไหลภายในเจ็ทปั๊ม

เมื่อของไหลปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิและความดันสูงในตำแหน่ง P ไต่ขยายตัวและพุ่งผ่านคอคอดของหัวฉีดที่ตำแหน่งที่ 1 ความดันสถิต (Static pressure) ของของไหลปฐมภูมิจะแปรเปลี่ยนเป็นความดันพลวัต (Dynamic pressure) กล่าวคือความดันของของไหลปฐมภูมิจะลดต่ำลง แต่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นจนมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic velocity) ที่ตำแหน่งที่ 1 และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีความเร็วสูงสุดที่ปากทางออกของหัวฉีด (ตำแหน่งที่ 2) ซึ่งมีความเร็วอยู่ในช่วงความเร็วเหนือ

เสียง (Supersonic velocity) ที่ตำแหน่งที่ 2 ความดันของของไหลปฐมภูมิลดลงจนมีค่าต่ำกว่าความดันของ



รูปที่ 1 คุณลักษณะการไหลภายในเจ็ทปั๊ม

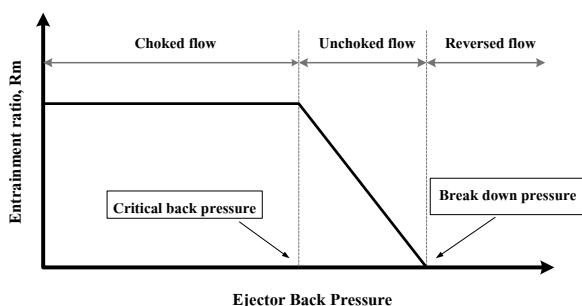
ของไหลทุติยภูมิ (ตำแหน่ง S) จึงเกิดการเหนี่ยวนำของไหลในตำแหน่ง S เข้ามายังเจ็ทปั๊ม แต่ของไหลทั้งสองจะยังไม่ผสมกันในทันที ของไหลทั้งสองจะเริ่มผสมกันก็ต่อเมื่อความเร็วของของไหลทุติยภูมิ มีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (ตำแหน่งที่ 3) และจะผสมกันโดยสมบูรณ์บริเวณปากทางเข้าช่วงคอคอดของเจ็ทปั๊ม (ตำแหน่งที่ 4) ในระหว่างที่เกิดการเหนี่ยวนำและผสมกันของของไหลทั้งสองชนิด ความดันภายในเจ็ทปั๊มจะมีค่าคงที่ และจากอิทธิพลของความดันด้านปากทางออกของเจ็ทปั๊มจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์คลื่นกระแทก (Shock) ในตำแหน่งที่ 5 ซึ่งทำให้เกิดการอัดตัวของของไหลส่งผลให้ความดันของของไหลเพิ่มขึ้นและความเร็วลดลงจนมีค่าต่ำกว่าความเร็วเสียง (Subsonic velocity) อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันทางปากทางออกของเจ็ทปั๊มมีค่าสูง จึงทำให้ความดันของของไหลภายในเจ็ทปั๊มในช่วงลู่ออกของเจ็ทปั๊ม (Diffuser) มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปากทางออกของเจ็ทปั๊ม (6 ถึง 7) [5,6]

2.2 สมรรถนะของเจ็ทปั๊ม

แผนภาพสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊มในรูปแบบที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการเหนี่ยวนำและค่าความดันปากทางออกเจ็ทปั๊ม จากรูปจะสามารถแบ่งช่วงการทำงานของอีเจคเตอร์ ออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะการไหลภายในเจ็ทปั๊ม ได้แก่

TSF-2002

choked flow, unchoked flow และ reversed flow ซึ่งถูกแบ่งโดยค่าความดันวิกฤต (Critical back pressure) และค่าความดันย้อนกลับ (Break down pressure) ในช่วง choked flow คือ การไหลภายใต้ความดันปากทางออกของเจ็ทปั๊มที่ต่ำกว่าความดันวิกฤต เจ็ทปั๊มจะเหี่ยวของไหลทุติยภูมิในอัตราส่วนคงที่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อัตราส่วนการเหี่ยวของไหลในช่วง unchoked flow คือ การไหลในช่วงค่าความดันปากทางออกเจ็ทปั๊ม มีค่าระหว่างค่าความดันวิกฤตและค่าความดันย้อนกลับ เจ็ทปั๊มจะเหี่ยวของไหลทุติยภูมิได้น้อยลง เป็นสาเหตุให้อัตราส่วนการเหี่ยวของไหลลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง reversed flow คือการไหลในช่วงที่ค่าความดันปากทางออกของเจ็ทปั๊ม มีค่าสูงกว่าค่าความดันย้อนกลับ การไหลจะไหลย้อนกลับเข้าไปยังปากทางเข้าของของไหลทุติยภูมิ เจ็ทปั๊มจึงไม่สามารถทำงานต่อได้ [7,8]



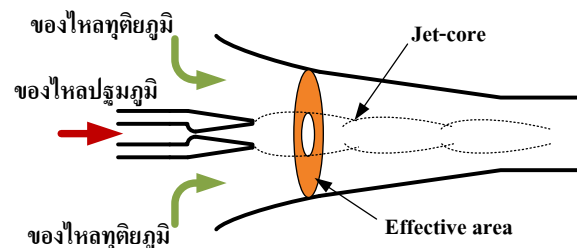
รูปที่ 2 แผนภาพสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊ม

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้เป็นตัวชี้วัดค่าสมรรถนะของเจ็ทปั๊มที่ใช้ในการออกแบบระบบสุญญากาศ คือ อัตราส่วนการเหี่ยวของไหล (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

2.3 พื้นที่ประสิทธิภาพ



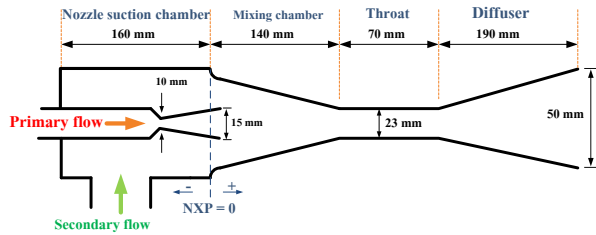
รูปที่ 3 พื้นที่ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นภายในเจ็ทปั๊ม

ในขณะที่ของไหลปฐมภูมิขยายตัวผ่านปากทางออกของเจ็ทปั๊มดังแสดงในรูปที่ 3 นั้น จะเกิดลำพุ่ง (Jet-core) ภายในเจ็ทปั๊ม ซึ่งขนาดและความเร็วของลำพุ่งนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความดันปฐมภูมิและตำแหน่งของหัวฉีด [9] ได้นิยามการเคลื่อนที่ของของไหลปฐมภูมิที่เคลื่อนที่ผ่านคอคอดของหัวฉีดว่าเป็นการ choking ของของไหลทุติยภูมิ ส่วนพื้นที่หน้าตัดนอกเหนือจากลำพุ่งที่เกิดขึ้นภายในเจ็ทปั๊มคือ พื้นที่ประสิทธิภาพ (Effective area) ซึ่งจะบ่งบอกถึงบริเวณพื้นที่ที่เจ็ทปั๊มสามารถเหี่ยวของไหลทุติยภูมิ

2.4 การออกแบบเจ็ทปั๊ม

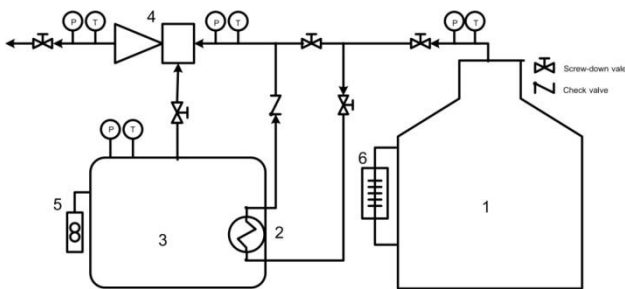
ในการออกแบบระบบสุญญากาศ เจ็ทปั๊มถือได้ว่าเป็นหัวใจของระบบ ดังนั้นการออกแบบเจ็ทปั๊มจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะในการออกแบบ เช่น ความดันของของไหลปฐมภูมิ (P_p) อุณหภูมิและความดันของของไหลทุติยภูมิ (P_s) และความดันที่ปากทางออกเจ็ทปั๊ม (p_{exit}) ในการศึกษาเลือกใช้เจ็ทปั๊มชนิด Constant Pressure Mixing (CPM) และใช้หลักการออกแบบของ (ESDU, 1986) [10] ในการหาขนาดและรูปร่างของเจ็ทปั๊มที่เหมาะสมกับสภาวะการออกแบบ ใอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอจะถูกใช้เป็นของไหลปฐมภูมิเพื่อเหี่ยวเอาอากาศภายในห้องอบแห้ง (ของไหลทุติยภูมิ) ออกจากห้องอบแห้งเข้ามายังเจ็ทปั๊มและทำให้ห้องอบแห้งเกิดสุญญากาศขึ้นในงานวิจัยนี้ได้สรุปขนาดและรูปร่างพื้นฐานของเจ็ทปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 4

TSF-2002



รูปที่ 4 ขนาดและรูปร่างพื้นฐานของเจ็ทปั๊ม

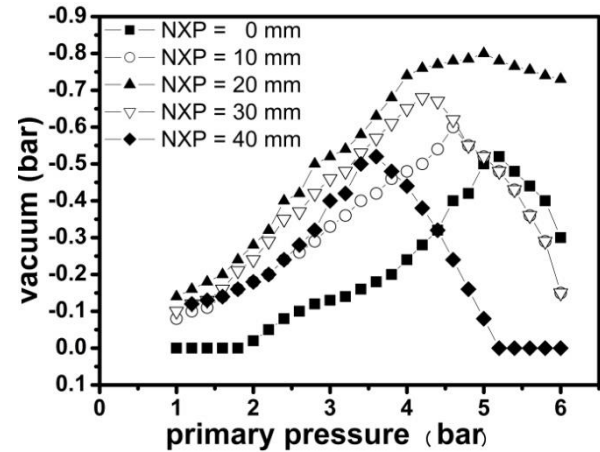
3. ชุดทดลองระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม



รูปที่ 5 ชุดทดลองระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม
แผนผังชุดทดลองการอบแห้งระบบสุญญากาศที่ใช้เจ็ทปั๊มเป็นตัวสร้างสุญญากาศ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้ ไอ้ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอ้ไอน้ำ (1) จะถูกใช้เป็นของไหลปฐมภูมิของเจ็ทปั๊ม อัตราการไหลของไอ้ไอน้ำวัดจากระดับน้ำภายในเครื่องกำเนิดไอ้ไอน้ำที่หายไปซึ่งสังเกตได้จากหลอดแก้ว (sight glass) ที่ติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตัวเครื่องกำเนิดไอ้ไอน้ำ (6) ไอ้ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอ้ไอน้ำ นอกจากจะใช้เป็นของไหลปฐมภูมิของเจ็ทปั๊มแล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องอบแห้ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้งสุญญากาศ (3) โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (2) แล้วจึงเข้าสู่เจ็ทปั๊ม (4) เมื่อของไหลปฐมภูมิพุ่งผ่านหัวฉีดภายในเจ็ทปั๊ม จะเกิดการเหนี่ยวนำอากาศ (ของไหลทุติยภูมิ) ภายในห้องอบแห้งเข้าสู่เจ็ทปั๊มและทำให้เกิดความดันสุญญากาศขึ้นภายในห้องอบแห้ง โดยอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งสามารถวัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ (5) การไหลของไอ้ไอน้ำในทุกลส่วนของชุดทดลองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วทองเหลือง วัดค่าความดันและอุณหภูมิด้วยเกจวัดความดัน (Pressure gauge) และเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ตามลำดับ

4 ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของตำแหน่งหัวฉีด(NXP) ต่อค่าความดันสุญญากาศ (P_s)



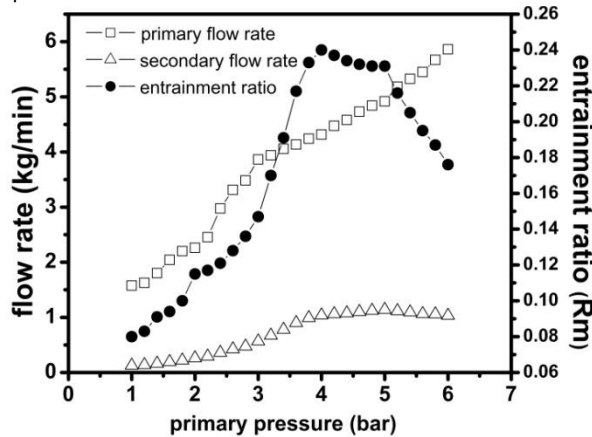
รูปที่ 7 ตำแหน่งของหัวฉีดที่มีผลต่อความดันสุญญากาศ

การศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งหัวฉีด(NXP) ที่มีต่อค่าความดันสุญญากาศ (P_s) จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 mm เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดและศึกษาค่าความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งที่เปลี่ยนไป ในช่วงความดันปฐมภูมิที่ 1 – 6 bar (ความดันเกจ) จากรูปที่ 7 พบว่า เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสุญญากาศจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงต่ำที่สุดในช่วงความดันปฐมภูมิ 3.5 – 5 bar แต่เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิให้สูงขึ้น ค่าความดันสุญญากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar

ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อความเร็วลำพุ่งของ ของไหลปฐมภูมิที่พุ่งผ่านหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันที่ปากทางออกของเจ็ทปั๊มลดลง และเหนี่ยวนำอากาศในห้องอบแห้งได้มากขึ้น ทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งมีค่าลดลง และในขณะที่ความเร็วของลำพุ่งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความดันปฐมภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ที่เข้าใกล้เข้าใกล้คอคออดของเจ็ทปั๊มมากเกินไปนั้น ขนาดของลำพุ่ง (Jet core) ของของไหลปฐมภูมิก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย

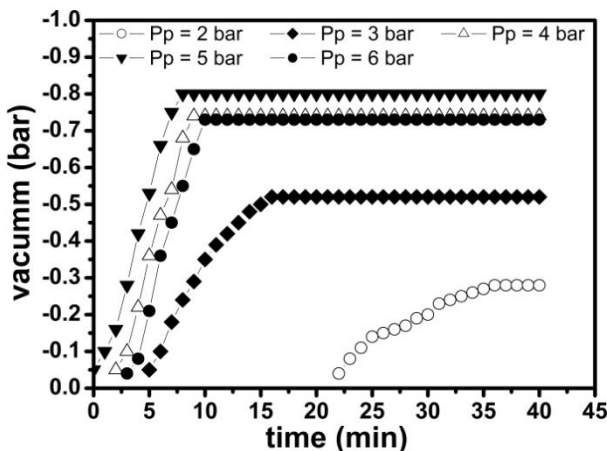
TSF-2002

เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง จึงทำให้มีพื้นที่ในการเหนี่ยวนำอากาศภายในห้องอบแห้งเข้ามายังเจ็ทปัดลดลง เป็นผลให้อัตราส่วนการเหนี่ยวนำลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 และทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งสูญญากาศสูญญากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [2]



รูปที่ 8 อัตราส่วนการเหนี่ยวนำของเจ็ทปัดที่ ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm

4.2 อิทธิพลของความดันปฐมภูมิ(P_p) ต่อการสร้าง ความดันสูญญากาศ (P_s)

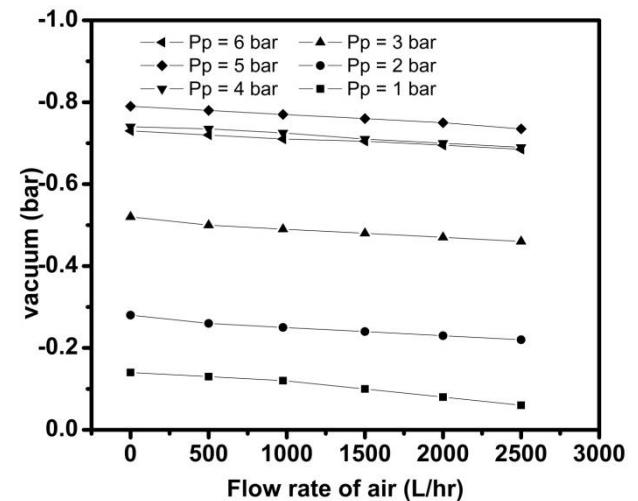


รูปที่ 9 การสร้างสูญญากาศเทียบกับเวลา

การศึกษาอิทธิพลของความดันปฐมภูมิ (P_p) ที่มีต่อการสร้างความดันสูญญากาศ จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 20 mm เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งขนาด 8,000 ลิตร ที่เปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงความดันปฐมภูมิที่ 2 – 6 bar (ความดันเกจ) จากรูปที่ 9 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจนความดันในห้องอบแห้งเริ่มเกิดสูญญากาศ จากนั้นความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความดันสูญญากาศลดลงต่ำที่สุด ที่ความสามารถของเจ็ทปัด

ในแต่ละช่วงความดันปฐมภูมิสามารถทำได้ ความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะคงที่ โดยที่ความดันปฐมภูมิ 5 bar สามารถสร้างความดันสูญญากาศต่ำที่สุดได้ -0.80 bar โดยใช้เวลาประมาณ 7 นาที

4.3 อิทธิพลของการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสูญญากาศ (Q_a) ต่อค่าความดันสูญญากาศ (P_s)



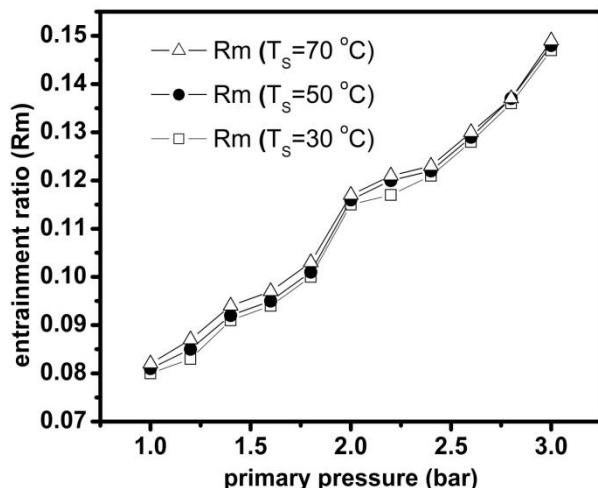
รูปที่ 10 อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสูญญากาศต่อค่าความดันสูญญากาศ

โดยทั่วไปกระบวนการอบแห้งระบบสูญญากาศ จะนำความชื้นที่มีอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์และห้องอบแห้งออกจากห้องอบแห้งสูญญากาศ โดยการนำเอาอากาศจากภายนอกไหลผ่านห้องอบแห้งสูญญากาศ เพื่อนำความชื้นที่มีอยู่ภายในห้องอบแห้งออกไปในการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสูญญากาศ (Q_a) ต่อค่าความดันสูญญากาศ (P_s) ทำได้โดยการนำอากาศจากภายนอกไหลผ่านห้องอบแห้งสูญญากาศด้วยอัตราการไหล 0 – 2,500 L/hr และศึกษาค่าความดันสูญญากาศที่เปลี่ยนไป โดยใช้ความดันปฐมภูมิในช่วง 1 – 6 bar (ความดันเกจ) ในการสร้างความดันสูญญากาศให้กับห้องอบแห้ง จากรูปที่ 10 พบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ความดันในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้ความดันสูญญากาศมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าลดลงประมาณ 6 – 12 % ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการไหลเข้าห้องอบแห้งของอากาศจากภายนอกมีค่า

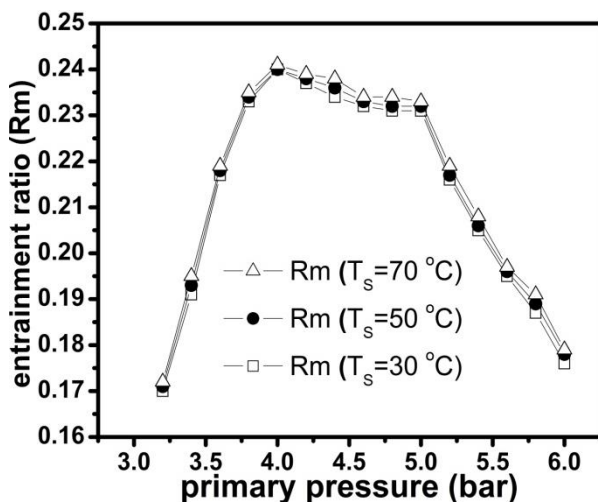
TSF-2002

มากกว่าอัตราการเหี่ยวน้ำอากาศออกจากอบแห้ง โดยเจ็ทปั๊ม จึงทำให้ความดันในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของความดันภายในห้องอบแห้งยังมีค่าความดันอยู่ในช่วงความดันสูญญากาศ

4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง (T_s) ที่มีผลต่ออัตราส่วนการเหี่ยวน้ำ (R_m)



รูปที่ 11 ผลของอุณหภูมิทุติยภูมิต่ออัตราส่วนการเหี่ยวน้ำ (R_m) ที่ช่วงความดันปฐมภูมิ 1-3 bar



รูปที่ 12 ผลของอุณหภูมิทุติยภูมิต่ออัตราส่วนการเหี่ยวน้ำ (R_m) ที่ช่วงความดันปฐมภูมิ 3-6 bar

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่มีผลต่ออัตราส่วนการเหี่ยวน้ำของเจ็ทปั๊ม โดยอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 30°C , 50°C และ 70°C และค่าความดันปฐมภูมิมิมีค่าอยู่ในช่วง 1 - 6 bar จากรูปที่ 11 และ 12 พบว่า เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่า

สูงขึ้นค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำจะมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยที่ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 70°C มีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงกว่าที่อุณหภูมิ ที่ 30°C และ 50°C โดยเฉลี่ยร้อยละ 10.3 และ 3.9 ตามลำดับ

เมื่อค่าความดันปฐมภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1 - 4 bar ค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงสุดประมาณ 0.24 ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 4 bar และเมื่อค่าความดันปฐมภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4 - 6 bar อัตราส่วนการเหี่ยวน้ำจะมีแนวโน้มลดลง

ทั้งนี้เนื่องจากว่าที่ความดันปฐมภูมิในช่วง 4 - 5 bar อัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลเชิงมวลของของไหลปฐมภูมิมีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของของไหลทุติยภูมิ และที่ความดันปฐมภูมิในช่วง 5 - 6 bar อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลทุติยภูมิมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 จึงทำให้อัตราส่วนการเหี่ยวน้ำมีค่าลดลง

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาตัวแปรของการอบแห้งสูญญากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำร้อนที่ใช้ในการอบแห้งระบบสูญญากาศ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ความดันปฐมภูมิ ตำแหน่งของหัวฉีด อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง สมรรถนะของเจ็ทปั๊มที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนการเหี่ยวน้ำ จากการศึกษา พบว่า เมื่อความดันปฐมภูมิเพิ่มขึ้น ความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดลง โดยค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm

เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 2,500 L/hr ความดันในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้ความดันสูญญากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 6 - 12 % เมื่อเทียบกับการที่ไม่ปล่อยอากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง

TSF-2002

เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่าสูงขึ้นค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำจะมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งเท่ากับ 70°C มีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงกว่าที่อุณหภูมิที่ 30°C และ 50°C โดยเฉลี่ยร้อยละ 10.3 และ 3.9 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอัตราส่วนการเหี่ยวน้ำสูงสุดประมาณ 0.24 ที่ความดันปฏิกิริยาเท่ากับ 4 bar

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนการทำการวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สัมพันธ์ ไชยเทพ (2555). "รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การออกแบบและประเมินสมรรถนะระบบอบแห้งสุญญากาศแบบหัวฉีดน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.
- [2] วรเชษฐ์ แสงสีดา ธนรัฐ ศรีวีระกุล ชญานนท์ แสงมณี และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง (2555). การศึกษาสมรรถนะอีเจ็คเตอร์ไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งสุญญากาศ, วิศวกรรมสาร มข., ฉบับที่ 39(3), กรกฎาคม – กันยายน 2555, หน้า 291 – 299.
- [3] 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. Vol 415(41): pp. 735-744, 1998.
- [4] Kyu Yong Seo, Anyang-Shi. Delta Medical Co. Ltd., Kyonggi-Do (KR). 2002
- [5] Keenan, J.H. and E.P. Neumann. "A simple air ejector" (1942), Transactions of the ASME Journal of Applied Mechanics. Vol 64: pp. 75-81, 1942.
- [6] Keenan, J.H., E.P. Neumann and F. Lustwerk. (1950) "An investigation of ejector design by

analysis and experiment", Transactions of the ASME Journal of Applied Mechanics. Vol 72: pp. 299-309, 1950.

[7] Sriveerakul, T., S. Aphornratana and K. Chunnanond. (2007) "Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 1. Validation of the CFD results", International Journal of Thermal Sciences. Vol 46(8): pp. 812-822, 2007a.

[8] Sriveerakul, T., S. Aphornratana and 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. Vol 46(8): pp. 823-833, 2007b.

[9] Aphornratana, S. "Theoretical Study of a Steam – Ejector Refrigerator" (1996), RERIC International Energy Journal. Vol 18 (1): pp. 61-74, 1996.

[10] Ejector and jet pump Data item 86030, UK; ESDU International Ltd. 1985.