



ระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊มไอน้ำ
Steam Jet Pump Applications in Vacuum Drying System

วรเชษฐ์ แสงสีดา¹, ธนรัฐ ศรีวีระกุล²

¹โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 36000 โทร 044-815111 ต่อ 222 E-mail: w.sangsida@hotmail.com

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190 โทร 045-353309 E-mail: tsriveerakul@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบอบแห้งสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊มไอน้ำเพื่อศึกษาตัวแปรสถานะเงื่อนไขทำงานที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊มจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นตัวแปรที่ทำการศึกษได้แก่ตำแหน่งของหัวฉีดหลัก (NXP) ความดันปฐมภูมิ (Pp) อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง (Qs) และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง (Ts) เหนือในการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศได้แก่ค่าความดันสุญญากาศ (Ps) การสร้างสุญญากาศเทียบกับเวลาและอัตราส่วนการเหนี่ยวนำ (Rm) พบว่าตำแหน่งปากทางออกของหัวฉีดและความดันปฐมภูมิจึงผลต่อการสร้างสุญญากาศเมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.8 bar (ความดันเกจ) ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และใช้เวลาประมาณ 7 นาทีเมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2,500 L/min จะทำให้ความดันสุญญากาศมีแนวโน้มเพิ่มคิดเป็น 6 – 12 % เมื่อเทียบกับการที่ไม่ปล่อยอากาศให้ไหลผ่านห้องอบแห้ง

คำสำคัญ : เจ็ทปั๊ม; สุญญากาศ; อบแห้ง;

1. ที่มาและความสำคัญ

เจ็ทปั๊มคืออุปกรณ์ที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านคอขวดซึ่งเปลี่ยนความดันของของไหลที่ผ่านคอขวดให้เป็นความเร็วเพื่อเหนี่ยวนำของไหลอีกชนิดหนึ่งกล่าวคือเมื่อของไหลปฐมภูมิ (Primary fluid) ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงพุ่งผ่านหัวฉีดหลักที่อยู่ภายในเจ็ทปั๊มและมีความเร็วสูงจะเกิดการเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ (Secondary fluid) เข้ามาผสมกันภายในเจ็ทปั๊มและไหลออกจากเจ็ทปั๊มผ่านปากทางออกของเจ็ทปั๊มเป็นอันสิ้นสุดการทำงานของเจ็ทปั๊ม

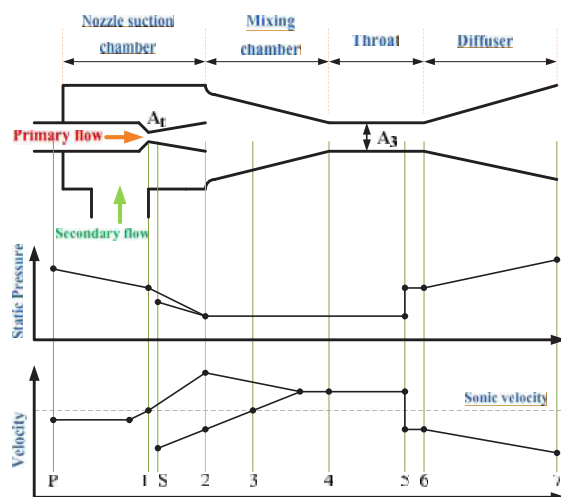
ปัจจุบันมีการนำเอาหลักการทางานของเจ็ทปั๊มมาประยุกต์ใช้งานในหลายด้านด้วยกันเช่นนำไปใช้ในระบบบทความเย็น [1] นำไปใช้ในการขนส่งอนุภาคของแข็งขนาดเล็กและในงานอุตสาหกรรมบางประเภท [2,3] ข้อดีของเจ็ทปั๊มอีกประการหนึ่งก็คือสามารถใช้พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar energy) พลังงานคุณภาพต่ำ (Low grade heat) หรือความร้อนทิ้ง (Waste heat) มาขับเคลื่อนระบบได้ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงเป็นอย่างมาก

การนำเอาเจ็ทปั๊มแบบไอน้ำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างสุญญากาศนั้นเจ็ทปั๊มจะทำหน้าที่สร้างสุญญากาศให้กับห้องอบแห้งสุญญากาศโดยที่เจ็ทปั๊มไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ลดปัญหาการซ่อมบำรุงลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิมที่เคยใช้ปั๊มสุญญากาศ

จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการทำงานของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการทางานของเจ็ทปั๊มซึ่งได้แก่ความดันปฐมภูมิตำแหน่งของหัวฉีดระยะเวลาในการสร้างสุญญากาศและอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาการสร้างสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊มต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

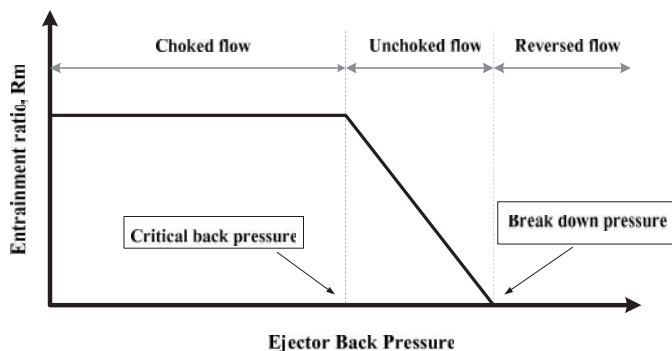
2.1.คุณลักษณะของการไหลภายในเจ็ทปั๊ม เมื่อของไหลปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ในตำแหน่ง P ได้ขยายตัวและพุ่งผ่านคอขวดของหัวฉีดที่ตำแหน่งที่ 1 ความดันสถิต (Static pressure) ของของไหลปฐมภูมิจะแปรเปลี่ยนเป็นความดันพลวัต (Dynamic pressure) กล่าวคือ ความดันของของไหลปฐมภูมิจะลดต่ำลง แต่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นจนมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic velocity) ที่ตำแหน่งที่ 1 และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีความเร็วสูงสุดที่ปากทางออกของหัวฉีด (ตำแหน่งที่ 2) ซึ่งมีความเร็วอยู่ในช่วงความเร็วเหนือเสียง (Supersonic velocity) ที่ตำแหน่งที่ 2 ความดันของของไหลปฐมภูมิลดลงจนมีค่าต่ำกว่าความดันของ



รูปที่ 1: คุณลักษณะการไหลภายในเจ็ทปั๊ม

ของไหลทุติยภูมิ (ตำแหน่ง S) จึงเกิดการเหนี่ยวนำของไหลในตำแหน่ง S เข้ามายังเจ็ทปั๊ม แต่ของไหลทั้งสองจะยังไม่ผสมกันในทันที ของไหลทั้งสองจะเริ่มผสมกันก็ต่อเมื่อความเร็วของของไหลทุติยภูมิมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (ตำแหน่งที่ 3) และจะผสมกันโดยสมบูรณ์บริเวณปากทางเข้าช่วงคอคอของเจ็ทปั๊ม (ตำแหน่งที่ 4) ในระหว่างที่เกิดการเหนี่ยวนำและผสมกันของของไหลทั้งสองชนิด ความดันภายในเจ็ทปั๊มจะมีค่าคงที่ และจากอิทธิพลของความดันด้านปากทางออกของเจ็ทปั๊มจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์คลื่นกระแทก (Shock) ในตำแหน่งที่ 5 ซึ่งทำให้เกิดการอัดตัวของของไหลส่งผลให้ความดันของของไหลเพิ่มขึ้นและความเร็วลดลงจนมีค่าต่ำกว่าความเร็วเสียง (Subsonic velocity) อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันทางปากทางออกของเจ็ทปั๊มมีค่าสูงจึงทำให้ความดันของของไหลภายในเจ็ทปั๊มในช่วงลู่ออกของเจ็ทปั๊ม (Diffuser) มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปากทางออกของเจ็ทปั๊ม (6 ถึง 7) [5,6]

2.2. สมรรถนะของเจ็ทปั๊ม แผนภาพสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊มในรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการเหนี่ยวนำและค่าความดันปากทางออกเจ็ทปั๊ม จากรูปจะสามารถแบ่งช่วงการทำงานของอีเจคเตอร์ ออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะการไหลภายในเจ็ทปั๊ม ได้แก่ choked flow, unchoked flow และ reversed flow ซึ่งถูกแบ่งโดยค่าความดันวิกฤต (Critical back pressure) และค่าความดันย้อนกลับ (Break down pressure) ในช่วง choked flow คือ การไหลภายใต้ความดันปากทางออกของเจ็ทปั๊มที่ต่ำกว่าความดันวิกฤต เจ็ทปั๊มจะเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิในอัตราส่วนคงที่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อัตราส่วนการเหนี่ยวนำคงที่ ในช่วง unchoked flow คือ การไหลในช่วงค่าความดันปากทางออกเจ็ทปั๊มมีค่าระหว่างค่าความดันวิกฤตและค่าความดันย้อนกลับ เจ็ทปั๊มจะเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิได้น้อยลงเป็นสาเหตุให้อัตราส่วนการเหนี่ยวนำลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง reversed flow คือการไหลในช่วงที่ค่าความดันปากทางออกของเจ็ทปั๊มมีค่าสูงกว่าค่าความดันย้อนกลับ การไหลจะไหลย้อนกลับเข้าไปยังปากทางเข้าของของไหลทุติยภูมิเจ็ทปั๊มจึงไม่สามารถทำงานต่อได้[7,8]



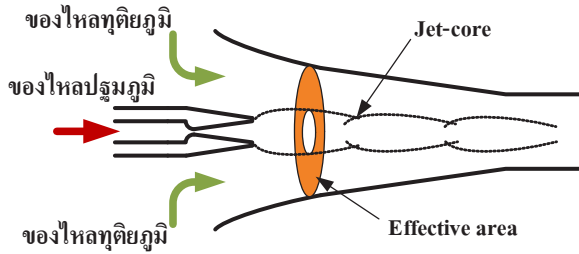
รูปที่ 2: แผนภาพสมรรถนะการทำงานของเจ็ทปั๊ม

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

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

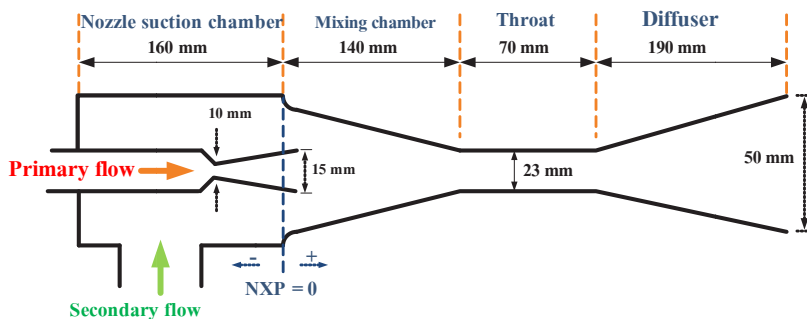
โดยที่ \dot{m}_p คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลปฐมภูมิ และ \dot{m}_s คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลทุติยภูมิ

2.3. พื้นที่ประสิทธิภาพ ในขณะที่ของไหลปฐมภูมิขยายตัวผ่านปากทางออกของเจ็ทบีบอัดแสดงในรูปที่ 3 นั้น จะเกิดลำพุ่ง (Jet-core) ภายในเจ็ทบีบอัด ซึ่งขนาดและความเร็วของลำพุ่งนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความดันปฐมภูมิและตำแหน่งของหัวฉีด [9] ได้นิยามการเคลื่อนที่ของของไหลปฐมภูมิที่เคลื่อนที่ผ่านคอคอดของหัวฉีดว่าเป็นการ chocking ของของไหลทุติยภูมิ ส่วนพื้นที่หน้าตัดนอกเหนือจากลำพุ่งที่เกิดขึ้นภายในเจ็ทบีบอัดคือ พื้นที่ประสิทธิภาพ (Effective area) ซึ่งจะบ่งบอกถึงบริเวณพื้นที่ที่เจ็ทบีบอัดสามารถเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ



รูปที่ 3: พื้นที่ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นภายในเจ็ทบีบอัด

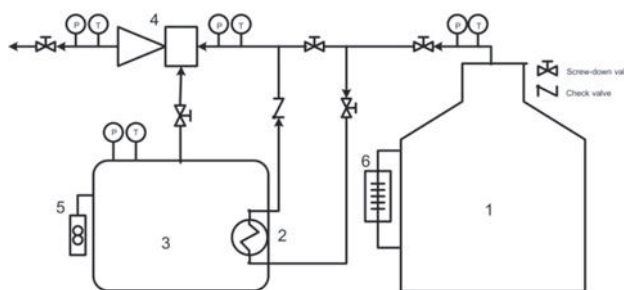
2.4. การออกแบบเจ็ทบีบอัด ในการออกแบบระบบสุญญากาศ เจ็ทบีบอัดถือว่าเป็นหัวใจของระบบ ดังนั้นการออกแบบเจ็ทบีบอัดต้องออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะในการออกแบบ เช่น ความดันของของไหลปฐมภูมิ (P_p) อุณหภูมิและความดันของของไหลทุติยภูมิ (P_s) และความดันที่ปากทางออกเจ็ทบีบอัด () ในการศึกษาเลือกใช้เจ็ทบีบอัด Constant Pressure Mixing (CPM) และใช้หลักการออกแบบของ (ESDU, 1986) [10] ในการหาขนาดและรูปร่างของเจ็ทบีบอัดที่เหมาะสมกับสภาวะการออกแบบ ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอจะถูกใช้เป็นของไหลปฐมภูมิเพื่อเหนี่ยวนำเอาอากาศภายในห้องอบแห้ง (ของไหลทุติยภูมิ) ออกจากห้องอบแห้งเข้ามายังเจ็ทบีบอัดและทำให้ห้องอบแห้งเกิดสุญญากาศขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้สรุปขนาดและรูปร่างพื้นฐานของเจ็ทบีบอัด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4: ขนาดและรูปร่างพื้นฐานของเจ็ทบีบอัด

3. ชุดทดลองการสร้างสุญญากาศแบบเจ็ทบีบอัด

แผนผังชุดทดลองห้องสุญญากาศแบบเจ็ทบีบอัดแสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้ ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (1) จะถูกใช้เป็นของไหลปฐมภูมิของเจ็ทบีบอัด อัตราการไหลของไอน้ำวัดจากระดับน้ำภายในเครื่องกำเนิดไอน้ำที่หายไปซึ่งสังเกตได้จากหลอดแก้ว (sight glass) ที่ติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของตัวเครื่องกำเนิดไอ (6) ไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบชีวมวลนอกจากจะใช้เป็นของไหลปฐมภูมิของเจ็ทบีบอัดแล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องอบแห้ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้งสุญญากาศ (3) โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (2) แล้วจึงเข้าสู่เจ็ทบีบอัด (4) เมื่อของไหลปฐมภูมิพุ่งผ่านหัวฉีดภายในเจ็ทบีบอัด จะเกิดการเหนี่ยวนำอากาศ(ของไหลทุติยภูมิ)ภายในห้องอบแห้งเข้าสู่เจ็ทบีบอัดและทำให้เกิดความดันสุญญากาศขึ้นภายในห้องอบแห้ง โดยอัตราการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งสามารถวัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ (5) การไหลของไอน้ำในทุกส่วนของชุดทดลองจะถูกควบคุมด้วยวาล์วทองเหลือง วัดค่าความดันและอุณหภูมิด้วยเกจวัดความดัน (Pressure gauge) และเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ตามลำดับ

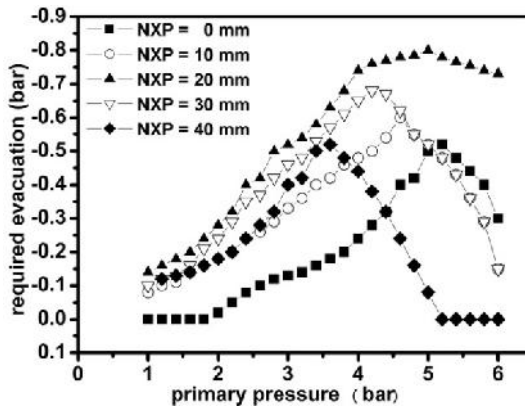


รูปที่ 5: ชุดทดลองการสร้างสุญญากาศแบบเจ็ทบีบอัด

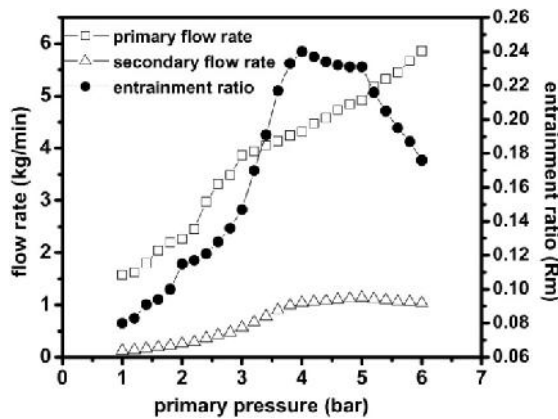
4. ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ต่อค่าความดันสูญญากาศ (P_s) การศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ที่มีต่อค่าความดันสูญญากาศ (P_s) จะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 mm เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดและศึกษาค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งที่เปลี่ยนไปในช่วงความดันปฐมภูมิที่ 1 – 6 bar (ความดันเกจ) จากรูปที่ 7 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิจะทำให้ความดันสูญญากาศมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงต่ำที่สุดในช่วงความดันปฐมภูมิ 3.5 – 5 bar แต่เมื่อเพิ่มความดันปฐมภูมิให้สูงขึ้นอีกค่าความดันสูญญากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm และความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar

ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อความเร็วลำพุ่งของของไหลปฐมภูมิที่พุ่งผ่านหัวฉีดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันที่ปากทางออกของเจ็ทบีบลดต่ำลงและเหนี่ยวนำอากาศในห้องอบแห้งได้มากขึ้นทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งมีค่าลดลงและในขณะที่ความเร็วของลำพุ่งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความดันปฐมภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือตำแหน่งหัวฉีด (NXP) ที่เข้าใกล้เข้าใกล้คอคอดของเจ็ทบีบมากขึ้นไปนั้นขนาดของลำพุ่ง (Jet core) ของของไหลปฐมภูมิก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วยเมื่อถึงจุดๆหนึ่งจึงทำให้มีพื้นที่ในการเหนี่ยวนำอากาศภายในห้องอบแห้งเข้ามายังเจ็ทบีบลดลงเป็นผลให้อัตราส่วนการเหนี่ยวนำลดลงดังแสดงในรูปที่ 8 และทำให้ความดันภายในห้องอบแห้งสูญญากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [3]

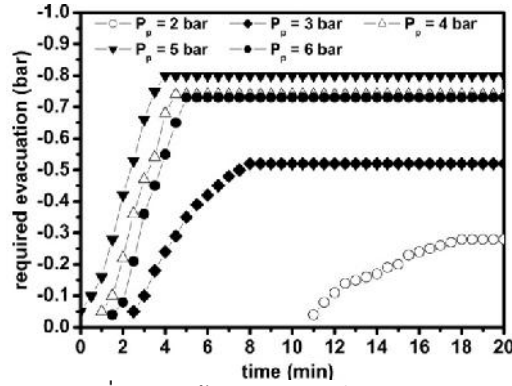


รูปที่ 7: ตำแหน่งของหัวฉีดที่มีผลต่อความดันสูญญากาศ



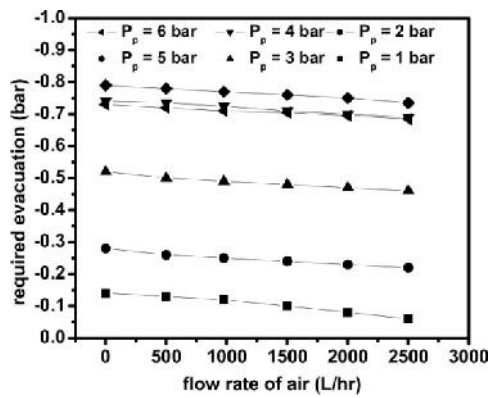
รูปที่ 8: อัตราส่วนการเหนี่ยวนำของเจ็ทบีบที่ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm

4.2 อิทธิพลของความดันปฐมภูมิ (P_p) ต่อการสร้างความดันสูญญากาศ (P_s) การศึกษาอิทธิพลของความดันปฐมภูมิ (P_p) ที่มีต่อการสร้างความดันสูญญากาศจะทำการปรับตำแหน่งหัวฉีดที่ 20 mm เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าความดันสูญญากาศในห้องอบแห้งขนาด 2,000 ลิตรที่เปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลาในช่วงความดันปฐมภูมิที่ 2 – 6 bar (ความดันเกจ) จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปจนความดันในห้องอบแห้งเริ่มเกิดสูญญากาศจากนั้นความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความดันสูญญากาศลดลงต่ำที่สุดที่ความสามารถของเจ็ทบีบในแต่ละช่วงความดันปฐมภูมิสามารถทำได้ความดันสูญญากาศภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะคงที่โดยที่ความดันปฐมภูมิ 5 bar สามารถสร้างความดันสูญญากาศต่ำที่สุดได้ -0.80 bar โดยใช้เวลาประมาณ 4 นาที



รูปที่ 9: การสร้างสุญญากาศเทียบกับเวลา

4.3. อิทธิพลของการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสุญญากาศ (Q_a) ต่อค่าความดันสุญญากาศ (P_s)



รูปที่ 10: อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสุญญากาศต่อค่าความดันสุญญากาศ

โดยทั่วไปกระบวนการอบแห้งระบบสุญญากาศจะนำความชื้นที่มีอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์และห้องอบแห้งออกจากห้องอบแห้งสุญญากาศ โดยการนำเอาอากาศจากภายนอกไหลผ่านห้องอบแห้งสุญญากาศ เพื่อนำความชื้นที่มีอยู่ภายในห้องอบแห้งออกไปในการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ห้องอบแห้งสุญญากาศ (Q_a) ต่อค่าความดันสุญญากาศ (P_s) ทำได้โดยการนำอากาศจากภายนอกไหลผ่านห้องอบแห้งสุญญากาศด้วยอัตราการไหล 0 – 2,500 L/hr และศึกษาค่าความดันสุญญากาศที่เปลี่ยนไป โดยใช้ความดันปฐมภูมิในช่วง 1 – 6 bar (ความดันเกจ) ในการสร้างความดันสุญญากาศให้กับห้องอบแห้ง จากรูปที่ 10 พบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ความดันในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้ความดันสุญญากาศมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าลดลงประมาณ 6 – 12 %

ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการไหลเข้าห้องอบแห้งของอากาศจากภายนอกมีค่ามากกว่าอัตราการเหนี่ยวนำอากาศออกจากห้องอบแห้งโดยเจ็ทปั๊ม จึงทำให้ความดันในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของความดันภายในห้องอบแห้งยังมีค่าความดันอยู่ในช่วงความดันสุญญากาศ

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาตัวแปรของการอบแห้งสุญญากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊มไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งระบบสุญญากาศ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความดันปฐมภูมิ ตำแหน่งของหัวฉีด อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง สมรรถนะของเจ็ทปั๊มที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนการเหนี่ยวนำ จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า เมื่อความดันปฐมภูมิเพิ่มขึ้น ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดลง โดยค่าความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -0.80 bar ที่ความดันปฐมภูมิเท่ากับ 5 bar ตำแหน่งหัวฉีด 20 mm

ในการสร้างสุญญากาศ พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป จนความดันในห้องอบแห้งเริ่มเกิดสุญญากาศ จากนั้นความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความดันสุญญากาศลดลงต่ำที่สุด ที่ความสามารถของเจ็ทปั๊มในแต่ละช่วงความดันปฐมภูมิสามารถทำได้ ความดันสุญญากาศภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะคงที่โดยที่ความดันปฐมภูมิ 5 bar สามารถสร้างความดันสุญญากาศต่ำที่สุดได้ -0.80 bar โดยใช้เวลาประมาณ 4 นาที

เมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 2,500 L/hr ความดันในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้ความดันสุญญากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 6 – 12 % เมื่อเทียบกับการที่ไม่ปล่อยอากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย



7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Aphornratana, S. “Theoretical Study of a Steam – Ejector Refrigerator” (1996), RERIC International Energy Journal.Vol 18 (1): pp. 61-74, 1996.
- [2] สัมพันธ์ ไชยเทพ (2555).“รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การออกแบบและประเมินสมรรถนะระบบอบแห้งสุญญากาศแบบหัวฉีดน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่”, 2545.
- [3] วรเชษฐ์ แสงสีดา ธนรัฐ ศรีวีระกุล ชญานนท์ แสงมณี และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง (2555). การศึกษาสมรรถนะอีเจ็คเตอร์ไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งสุญญากาศ, วิศวกรรมสาร มข., ฉบับที่ 39(3), กรกฎาคม- กันยายน 2555, หน้า 291–299.
- [4] Montgomery,S.W., Goldschmidt, V.W.andFranchek, M.A. (1998) “Vacuum Assisted Drying of Hydrophilic Plates: Static Drying Experiment”, Journal of Heat Mass Transfer. Vol 415(41): pp. 735-744, 1998.
- [5] Kyu Yong Seo, Anyang-Shi. Delta Medical Co. Ltd., Kyonggi-Do (KR). 2002
- [6] Keenan, J.H. and E.P. Neumann. “A simple air ejector” (1942), Transactions of the ASME Journal ofApplied Mechanics.Vol 64: pp. 75-81, 1942.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Ejector and jet pump Data item 86030, UK; ESDU International Ltd. 1985.