บทที่ 7

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อสรุปของงานวิจัย

1. การเพิ่มอัตราการไหลโดยมวล Em จะทำให้ประสิทธิภาพมีค่ามากขึ้นและอัตราส่วนความดันสูญเสียลดลง โดยพารามิเตอร์ที่สนใจและมีผลต่อประสิทธิภาพอัตราส่วนความดันสูญเสียของระบบคือ x/d, Po1/Po2, เลขมัค และ Em

2. ในการออกแบบนั้นการออกแบบให้ความดันที่ทางออกของนอซเซิลปฐมภูมิให้เข้ากัน (match pressure) กับความดันที่สภาวะ stagnation ของ secondary line เพื่อลดปัญหาอันเนื่องจากการเกิดคลื่นช็อค (shock wave) และถ้าหากอัตราส่วนความดัน P_{o1}/P_{o2} สูงกว่าค่าที่ match pressure แล้ว จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ expansion fan ซึ่งลำของเจ็ทจะกั้นการไหลของ m_2 ทำให้ไหลเข้า mixing throat ได้ยากขึ้น ซึ่งสำหรับงานวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดของสตีมอีเจคเตอร์ที่ทดสอบมีค่า เท่ากับ 35% ที่ x/d = 3, Mp= 1.7 และ P_{o1}/P_{o2} = 7.1

3. การออกแบบรูปทรงของ mixing chamber ให้เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงระยะทางของการผสมกันของ 2 stream เพื่อให้ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีผลอย่างมากในส่วนเริ่มต้นของการผสม นั่นก็คือส่วน convergence nozzle ของ mixing tube เพราะถ้าหากระยะทางของการผสมสั้นเกินไปแล้ว ก็จะทำให้ของไหลทั้งสองผสมกันไม่สมบูรณ์ เนื่องจากถ้าหากระยะทางสำหรับการผสมสั้นแล้วจะทำให้มุมเอียงของท่อผสมส่วนนี้จะชันมาก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อ streamline และการไหลของของไหล และสำหรับงานวิจัยนี้ที่ระยะ x/d = 3 จะให้ประสิทธิภาพในการผสมได้ดีที่สุด

4. จากการทดลองและแบบจำลอง การ fit curve ที่ได้พบว่าการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดในส่วนการผสมที่เป็น shear layer ซึ่งประมาณ 80% ของการสูญเสียทั้งหมดในสตีมอีเจคเตอร์ และจากแบบจำลองการสูญเสีย และถ้าหากหาค่าสัมประสิทธิ์ c_τ ตามสมการ (3.50) ของ

shear layer ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ pressure gradient ได้ก็จะทำให้สามารถทำนายการค่าความดันในแต่ละส่วนได้ถูกต้องมากขึ้น

7.2 ข้อแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย

จากประสบการณ์ที่ได้รับในระหว่างการทำการวิจัย ผู้วิจัยใคร่ขอเสนอแนะแนวทางต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทั้งในด้านขั้นตอนการปฏิบัติงาน และการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเพื่อเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยต่อ ๆไปดังนี้

ข้อแนะนำเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงาน

เลือกวัสดุที่ใช้ทำสตีมอีเจคเตอร์ให้เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จะใช้ทองเหลืองเป็นวัสดุสำหรับทำสตีมอีเจคเตอร์ เนื่องจากทองเหลืองสามารถกลึงผิวให้เรียบได้ง่าย ทนต่ออุหภูมิและความดันที่ใช้งานกับไอน้ำ 7 บาร์ โดยไม่เปลี่ยนรูป และไม่เป็นสนิม ซึ่งถ้าหากใช้เหล็กเหนียวหรือเหล็กหล่อทำสตีมอีเจคเตอร์แล้วจะมีปัญหาเรื่องการเกิดสนิมขึ้นภายในท่อ ทำให้มีผลกระทบต่อการไหลของของไหล และการ machining จะต้องทำให้ผิวด้านในมีความเรียบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (friction coefficient) และลดการเกิดช็อคขึ้นภายในท่อด้วย

พยายามให้มีการใช้ข้อต่อ (fitting) หรือจุดเชื่อมต่อในระบบน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อลดปัญหาอันเนื่องจาก minor friction loss และควรจะติดตั้งเกจความดันให้อยู่ก่อนทางเข้าและหลังทางออกของอีเจคเตอร์โดยไม่มีข้อต่อขั้นกลาง

เพื่อจะให้สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความดันในแต่ละหน้าตัด ดังนั้นติดตั้งจุดวัดความดัน (pressure tap) เป็นช่วงๆ ในแต่ละหน้าตัดของสตีมอีเจคเตอร์

มุมของท่อ secondary line ที่เข้ามาร่วมกับท่อ primary line ควรจะทำให้มีมุมเอียงน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อลดปัญหาความสูญเสียความดัน

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับอุปกรณ์

ต้นกำลังของไอน้ำคือหม้อต้มไอน้ำ ควรจะสามารถสร้างความดันและอัตราการไหลของมวลให้เป็นไปได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัยก็คือ หม้อต้ม

ไอน้ำไม่สามารถสร้างแรงดันตามอัตราการการไหลสูงๆได้ เพราะหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ทดสอบมีขนาดเล็กเกินไป เมื่อเกิดสภาวะโช๊คของทั้ง 2 stream จะทำให้ความดันตกและไม่สามารถทดสอบค่าที่สภาวะอัตราส่วนการไหลของมวลสูงๆ ได้ และเนื่องจากไอน้ำที่ใช้ในการทดลองมาจาก header เดียวกัน ทำให้การปรับอัตราการไหลและความดันที่ line หนึ่งจะส่งผลกระทบต่ออีก line หนึ่งซึ่งการปรับวาวล์ต่างๆ จะค่อนข้างยุ่งยากขณะทดลอง ดังนั้นถ้าหากเป็นไปได้ควรจะแยกแหล่งกำเนิดไอน้ำให้มาจากคนละ line กัน หรือใช้หม้อต้มไอน้ำที่มีขนาด capacity สูงๆ เพื่อเป็นการป้องกันการป้อนไอน้ำไม่พอขณะเกิดสภาวะ choke ของทั้งสอง line พร้อมกัน

อุปกรณ์การวัด

อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure gauge)

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า Em จะทำให้ค่าความดันในแต่ละหน้าตัดเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นถ้าเครื่องมือวัดมีความละเอียด (resolution) ไม่เพียงพอสำหรับการแสดงค่าความดันที่แตกต่างในแต่ละตำแหน่งแล้ว ก็จะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าการเปลี่ยนค่าความดันได้ ดังนั้นจึงควรใช้อุปกรณ์วัดความดันที่เป็นอิเลคโทรนิค เช่น pressure transducer หรือ pressure transmitter เป็นอุปกรณ์วัดค่าความดันในแต่ละหน้าตัด

วาวล์ปรับอัตราการไหล

จากการทดสอบจำเป็นจะต้องปรับอัตราการไหลของมวลของไอน้ำ ดังนั้นจึงควรจะเลือกใช้วาวล์ที่สามารถปรับค่าอัตราการไหลได้ละเอียดและสามารถต่อความดันและอุณหภูมิที่ใช้งานได้ด้วย ในที่นี้ขอแนะนำให้ใช้ needle valve แทน globe valve เพราะสามารถปรับอัตราการไหลได้ละเอียดกว่า

ข้อแนะนำอื่นๆ

เนื่องจากสมการแบบจำลองการสูญเสียจำเป็นจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการทดลองนั้นๆ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบกับ mixing chamber ที่มีรูปร่างและขนาดที่ตายตัว ทำให้แบบจำลองที่ได้ไม่สามารถใช้กับสตีมอีเจคเตอร์ที่มีรูปร่างเป็นแบบอื่นเพื่อทำนายผลการทดลองได้ถูกต้อง แต่จากแบบจำลองที่แสดงให้เห็นจะทำการหาค่า c_τ จากผลการทดลองที่

ทดสอบได้จริง ซึ่งแนวโน้มที่ได้จากกราฟก็สอดคล้องกับค่าที่ควรจะเป็นจริง ดังนั้นจำเป็นจะต้องเลือกค่า c_τ และค่า f (friction factor) ให้เหมาะสมกับชุดการทดลอง

ในกรณีที่ไม่สามารถปรับความดันทางเข้าและอัตราการไหลให้ได้ตามที่ต้องการจะต้องทำการปรับวาวล์ที่ storage tank ให้เหมาะสมกับทางเข้า หรืออาจจะปรับ presure regulator ช่วยอีกด้วย

กรณีศึกษาการออกแบบสตีมอีเจคเตอรที่ใช้กับเครื่องอบเส้นบะหมี่ของโรงงานทำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปดังแสดงใน ภาคผนวก ง

7.3 งานวิจัยที่ต่อเนื่อง

พื้นฐานความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้นำไปสู่งานวิจัยที่ต่อเนื่องออกไป ดังนี้

ศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของความดันภายในท่อแต่ละจุดเพื่อปรับปรุงแบบจำลองการสูญเสียให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ศึกษาผลของรูปทรงของ Mixing tube รูปร่างอื่น ๆ โดยการปรับมุมที่ทางเข้า และที่ทางออกรูปแบบนั้นๆ จะมีผลเช่นไรต่อประสิทธิภาพของระบบ

ศึกษาผลของเรลโนนัมเบอร์ของของไหลปฐมภูมิจะมีผลเช่นไรต่อระยะของการผสมที่เหมาะสม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดของของไหลทั้งแบบเหมือนกันแต่เป็นของไหลชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไอน้ำ และแบบของไหลต่างชนิดกัน

ออกแบบการทดลองเพื่อหาผลของการเปลี่ยนแปลงความดัน ∇P ที่มีต่อ c_τ

พัฒนาการคำนวณการออกแบบและการทำนายผลแบบจำลองการสูญเสียโดยประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์