บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเจ็ท

ทฤษฎีเจ็ทเป็นทฤษฎีหลักที่ใช้ในการคำนวณและคาดเดาแนวโน้มในโครงงานวิจัยนี้ การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมต่างๆจึงมุ่งเน้นไปยังวรรณกรรมที่เกี่ยวกับทฤษฎีเจ็ทเป็นหลักโดยสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 ลักษณะเฉพาะของเจ็ท

การไหลแบบปั่นป่วนถูกนำมาพิจารณาเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือช่วยในการกระจายตัวของของไหลชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่งและเพื่อสร้างพื้นที่ที่เกิดการสัมผัสกัน สำหรับการถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวและก๊าซส่วนมากนั้น การกระจายตัวของของไหลชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ตัวอย่างเช่น ความเร็วของเจ็ท ความแตกต่างของความดัน รูปทรงของหัวฉีด อุณหภูมิของของไหลทั้งสองชนิด และคุณสมบัติของของไหลต่างๆ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความเค้นที่ผิวสัมผัส ความดันไอ เป็นต้น

การกระจายตัวของเจ็ทได้ถูกศึกษาโดยนักวิจัยจำนวนมากเป็นเวลานับศตวรรษ โดยเพลโต [7] กล่าวไว้ว่าการกระจายตัวของเจ็ทมีระยะเท่ากับ 2π เท่าของรัศมีหัวฉีด เรย์ลี่ [7] อธิบายว่าความไม่เสถียรของพลศาสตร์ของไหล (Hydrodynamic Instability) มีผลต่อการกระจายตัวของเจ็ท เวเบอร์ [8] ได้ศึกษาผลกระทบจากความหนาแน่นของของไหลรอบนอกเจ็ทและความหนืด นอกเหนือจากนั้น โทโมติกะ [9] อธิบายถึงอัตราส่วนที่ดีที่สุดของความหนืดของของไหลรอบนอกและของเจ็ทที่ทำให้เจ็ทมีอัตราการขยายตัวสูงที่สุด แชนดราเซคาร์ [10] อธิบายความหนืดของเจ็ทไว้อย่างละเอียดเช่นเดียวกับความหนาแน่น ซึ่งในการวิจัยของเรย์ลี่ไม่ได้พิจารณาในส่วนนี้ และได้พิสูจน์ด้วยกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์ว่าเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราการกระจายตัวของเจ็ทลดลง

2.1.2 พฤติกรรมของเจ็ท

2.1.2.1 เจ็ทอิสระ (Free Jets)

เจ็ทอิสระที่ออกจากหัวฉีดทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของไหลรอบนอก เป็นผลให้เจ็ทมีความเร็วลดลงและขยายตัวกว้างขึ้น โมเมนตัมทั้งหมดซึ่งถูกอนุรักษ์อยู่ในรูปของโมเมนตัมของเจ็ทจะถ่ายเทไปยังของไหลที่ถูกเหนี่ยวนำ เจ็ทที่มีเลขเรย์โนลด์สูงกว่า 2000 ให้พิจารณาเป็นเจ็ทอิสระ

2.1.2.2 ความยาวเจ็ท

เจ็ทความเร็วสูงที่ออกจากหัวฉีดถ้าพิจารณาจากบริเวณปลายหัวฉีดนั้น มีเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันในระยะทางต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ที่แกนของเจ็ท (Core) ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่
- พื้นที่หน้าตัดของแกนมีขนาดลดลงตามระยะห่างจากหัวฉีด
- แกนเจ็ทถูกล้อมด้วยกระแสปั่นป่วน ซึ่งมีความเร็วลดลงตามระยะห่างในแนวรัศมีและระยะตามแนวแกนกลาง
- แกนของเจ็ทเสื่อมลงและหายไปในระยะช่วงหนึ่ง
- กระแสปั่นป่วนยังคงขยายตัวต่อไปเรื่อยๆถึงแม้ว่าแกนหายไป อย่างไรก็ตามความเร็วของกระแสปั่นป่วนนี้มีค่าลดลงอย่างคงที่
- ความเปลี่ยนแปลงในความเร็วและความดันนั้นเป็นไปตามหลักของแบร์นูลี่ (Bernoulli Principle)

2.1.3 ผลกระทบจากตัวแปรต่างๆต่อการกระจายตัวของเจ็ท

ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการกระจายตัวของเจ็ทมีมาก ทั้งความดันที่สภาวะแวดล้อม ผลกระทบจากความปั่นป่วนของเจ็ท ความหนืดของของไหลทั้งในเจ็ทและของไหลรอบนอก เป็นต้น ผลกระทบดังกล่าวได้อธิบายในหัวข้อต่อไปนี้

2.1.3.1 ผลกระทบจากความปั่นป่วน

คุณสมบัติของเจ็ทนั้นมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับการก่อตัวขึ้นของความปั่นป่วนที่ปลายหัวฉีดเป็นอย่างมาก เฟียท์และวู [11] ยืนยันเรื่องนี้โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่ปลายหัวฉีด ซึ่งได้ผลคืออัตราการผสมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของความปั่นป่วนของเจ็ทเพิ่มขึ้น และนำเสนอการวิเคราะห์สำหรับเจ็ทปั่นป่วนโดยสมบูรณ์

2.1.3.2 ผลกระทบจากความหนืด

โดยทั่วไปแล้ว การเพิ่มความหนืดของของไหลนั้นเป็นการชะลอการกระจายตัวของเจ็ทอันเป็นผลจากการคงสภาวะสมดุลของความเฉื่อย เรทซ์และบราคโค [12] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความหนืดโดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกลีเซอรอลกับน้ำในสถานะของเหลว พวกเขาได้แสดงให้เห็นว่าความไม่เสถียรนั้นถูกทำให้น้อยลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เจ็ทมีรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ ทามากิและชิมิซุ [13] ศึกษาผลกระทบของความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ต่อความยาวของการกระจายตัวของของเหลวความหนืดสูงที่ฉีดด้วยหัวฉีดความดันสูงถึง 15 เมกะปาสคาล

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบนั้น ช่วยกำหนดขอบเขตการออกแบบและการสร้างแบบจำลองง่ายและรวดเร็ว รวมถึงมีความถูกต้องต่อการวิเคราะห์แนวโน้มของผลการทดลอง การออกแบบนี้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม CFD และการออกแบบชุดทดลอง

2.2.1 การออกแบบและการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม CFD นั้นผ่านการใช้โปรแกรม 2 ชนิดด้วยกัน คือ โปรแกรมแกมบิท (GAMBIT) และแอนซิสฟลูเอนท์ (AnsysFLUENT) ปาลานี [14] ได้วิเคราะห์รูปแบบของของเหลว-แก๊สผ่านหัวฉีดด้วยโปรแกรม CFD โดยให้ของเหลวเป็นของไหลหลักเหนี่ยวนำให้แก๊สเข้ามาผสม เพื่อสร้างสมการคาดเดาค่าการไหลเข้าของอากาศ โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติการบีบอัดของอากาศ ค่าความดันที่เสียไปในของไหลสองเฟส และพลังงานที่เสียไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด ยูโทโมะและคณะ [3] ได้ศึกษารูปแบบของการถ่ายเทมวลของของไหลสองชนิดคือแก๊สและของเหลว (อากาศและน้ำ ตามลำดับ) โดยใช้การจำลอง 3 มิติด้วยโปรแกรม CFD โดยกำหนดตัวแปรควบคุมคือ อัตราส่วนของอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำในช่วง 0.2-1.2 อัตราส่วนของความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดในช่วง 4-10 โดยผลสรุปออกมาว่าที่อัตราส่วนของความยาวท่อผสมต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดมีค่า 5.5 ความสามารถในการถ่ายเทมวลเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ในขณะที่ที่อัตราส่วนของความยาวท่อผสมต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดมีค่า 4.0 ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลเชิงปริมาตรมีค่าสูงที่สุดที่ค่าอัตราการไหลของอากาศต่อน้ำมีค่าเป็น 0.6

2.2.2 การออกแบบและการสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองที่ถูกออกแบบมาในโครงงานนี้ทำขึ้นโดยพิจารณาให้มีสรรถนะการเติมอากาศสูงที่สุด และมีพลังงานที่สูญเสียไปน้อยที่สุด เบย์ล่าร์ [6] ได้ทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบของขนาดและอัตราส่วนเชิงมิติของท่อเวนทูรี่ต่ออัตราการเติมฟองอากาศ โดยมุมของหัวฉีดที่มีการสูญเสียความดันผ่านหัวฉีดน้อยที่สุดคือ 21 องศา (ASME MFC-3M-1989) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านท่อเวนทูรี่ต่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าสูงที่สุด เมื่ออัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของฐานหัวฉีด จำลอง ปราบแก้ว [15] กล่าวถึงค่าอัตราส่วนเชิงมิติของหัวฉีดและห้องผสมที่มีสมรรถนะดีที่สุดนั้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองรูปแบบห้องผสมในโครงงานนี้ คือ ความยาวของห้องผสมนั้นมีค่าเป็น 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด