



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเชิงตัวเลขและทดลองการจัดเรียง
หัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

Numerical and experimental studies on
arrangement of liquid-gas ejectors in wet scrubber

ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเชิงตัวเลขและทดลองการจัดเรียง
หัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก

Numerical and experimental studies on
arrangement of liquid-gas ejectors in wet scrubber

ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาเชิงตัวเลขและทดลองการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัด
อากาศแบบเปียก

แหล่งเงิน ประเภทเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ 1 กันยายน 2559 ถึง 30 กันยายน 2561

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.ณัตวิภา เจียรระโนวชิระ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ.ดร.ชินรัชย์ เจริญพงษ์

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

หัวฉีดเหนียวนำเป็นอุปกรณ์อาศัยพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ของของไหลปฐมภูมิ เพื่อทำให้เกิดการดูด, การผสม และการกระจายของของไหลทุติยภูมิ ในงานนี้ได้ศึกษาผลกระทบของการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซต่ออัตราการดูดอากาศ ได้แก่การศึกษาเชิงตัวเลข Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อสร้างแบบจำลองนำมาใช้ตรวจสอบกับผลจากการทดลอง การศึกษาอัตราการดูดอากาศภายในระบบที่อัตราการไหลของน้ำ 50-90 ลิตร/นาที่ โดยการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงและจัดจตุรัส ผลการทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการไหลของเหลวสูงขึ้น อัตราการเหนียวนำอากาศจะเพิ่มขึ้นตาม และการจัดเรียงหัวฉีดแบบจตุรัสสามารถเหนียวนำอากาศได้มากกว่าแบบเส้นตรง ตำแหน่งการจัดเรียงที่ให้ค่าการดูดอากาศมากที่สุดสำหรับการจัดเรียงแบบจตุรัส และเส้นตรง คือ 17Dj และ 8Dj ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของน้ำ 90 ลิตร/นาที่

Research Title: Numerical and experimental studies on arrangement of liquid-gas ejectors in wet scrubber

Researcher: Asst.Prof. Dr.Nuthvipa Jayranaiwachira and
Assoc.Prof. Dr.Chinaruk Thianpong

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

ABSTRACT

An ejector is a device in which the kinetic energy of a motive (primary) fluid is utilized for suction, mixing and dispersion of a secondary fluid. In this work, effects of arrangement of liquid-gas ejectors to the air suction rate were investigated. The Computational Fluid Dynamics (CFD) models have been used to obtain the results and validated with experiments. The study investigates of air suction rate in system provides liquid flow rates 50-90 l/min by using the line and square arrangement. Both experimental and simulation results show that the rate of air suction increases with increasing liquid flow rate. Arrangement of ejectors which gives the highest air suction rate is square form and the optimum positions for square and line arrangements, at the water flowrate of 90 l/min. are 17Dj and 8Dj, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาเชิงตัวเลขและทดลองการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียก” ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนโครงการวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559” ทางคณะผู้จัดทำและศิษษาขอขอบคุณการสนับสนุนในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.ณัฐวิภา เจียรระโนวชิระ
ผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ.ดร.ชินรัชช์ เขียรพงษ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.1 การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	10
3.2 การคำนวณเชิงตัวเลขและการสร้างแบบจำลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	15
4.1 การจัดเรียงหัวฉัดเหนียวนำแบบเส้นตรงที่มีการติดตั้งห้องผสมและไม่มีติดตั้งห้องผสม	15
4.2 การจัดเรียงหัวฉัดเหนียวนำแบบจตุรัสที่มีการติดตั้งห้องผสมและไม่มีติดตั้งห้องผสม	18
4.3 การสร้างแบบจำลอง และการเทียบผลการทดลอง	22
4.4 ชุดทดลองและวิธีการทดลอง	24
4.5 การทดลองหัวฉัดเหนียวนำแบบหลายหัว	27
4.6 ผลการทดลองการเหนียวนำอากาศห้องผสมผิวเรียบ	28
บทที่ 5 สรุป	31
5.1 สรุป	31
สัญลักษณ์และตัวย่อ	32
เอกสารอ้างอิง	33
สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการ	
ประวัตินักวิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางแสดงขอบเขตการทดลอง และแบบจำลองการคำนวณเชิงตัวเลข	10
3.2 ตารางแสดงวิธีการตั้งค่าในการคำนวณเชิงตัวเลข	14
4.1 ตารางเปรียบเทียบอัตราการไหล ความเข้มข้นของออกซิเจน และเวลา	26



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) ส่วนประกอบหลักของ Venturi Wet Scrubber	3
2.1 (ข) Wetted Throat Venturi Wet Scrubber	3
2.2 โครงสร้างของ Ejector ในงานวิจัยของ Adi Surjosatyo, Farid Nasir Ani	4
2.3 กลไกการจับฝุ่น	6
2.4 แสดงส่วนประกอบหลักของ Ejector	7
3.1 (ก) ไตอะแกรมของชุดทดลอง (ข) รายละเอียดภายในชุดทดลอง (ค) ชุดทดลอง	11
3.2 (ก) หัวฉีด (ข)ห้องผสมที่ใช้ในการทดลอง	11
3.3 สัญญลักษณ์และระยะต่างๆของหัวฉีดเหนี่ยวนำ	11
3.4 การจัดเรียงลักษณะเส้นตรง	12
3.5 การจัดเรียงลักษณะจัตุรัส	12
3.6 แสดงขั้นตอนการทดลอง	13
3.7 แบบจำลองโดยโปรแกรม Gambit	14
4.1 ผลการเปรียบเทียบการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสม ในลักษณะการจัดเรียงแบบเส้นตรง (ก) ไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) ติดตั้งห้องผสม	15
4.2 แสดง Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min ของการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่ขนาดต่างๆ (ไม่ติดตั้งห้องผสม)	17
4.3 แสดง Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min ของการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่ขนาดต่างๆ (ติดตั้งห้องผสม)	17
4.4 ลักษณะการไหลของอากาศภายในชุดทดลองการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่อัตราขนาด 8Dj อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min (ก) กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม (ข)กรณีติดตั้งห้องผสม	18
4.5 ผลการเปรียบเทียบการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสมในลักษณะการจัดเรียงแบบจัตุรัส (ก) ไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) ติดตั้งห้องผสม	18
4.6 แสดง Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min ของการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสที่ขนาดต่างๆ (ไม่ติดตั้งห้องผสม)	19
4.7 แสดง Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min ของการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสที่ขนาดต่างๆ (มีไม่ติดตั้งห้องผสม)	20
4.8 ลักษณะการไหลของอากาศภายในชุดทดลองการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสที่อัตราขนาด 17Dj (ก) กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) กรณีติดตั้งห้องผสม	20
4.9 Contour of Mixture Velocity Magnitude ที่อัตราการไหล 90 L/min	21
4.10 Contour of Volume Fraction ที่อัตราการไหล 90 L/min	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 การสอบเทียบผลการจำลองด้วยการทดลองหาความยาวระยะยกในแนวราบของน้ำจาก ความสูง 30 มิลลิเมตรที่อัตราไหลน้ำ (ก) 10 ลิตรต่อนาที (ข) 12.5 ลิตรต่อนาที (ค) 15 ลิตรต่อนาที และ ง) 17.5 ลิตรต่อนาที	23
4.12 กราฟแสดงการสอบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองหาความยาวระยะยก ในแนวราบของน้ำจาก ความสูง 30 มิลลิเมตรจากระดับอ้างอิง	24
4.13 (ก) แผนผังชุดทดลอง (ข) การติดตั้งชุดทดลองจริง	25
4.14 ห้องเหนี่ยวนำอากาศ	26
4.15 (ก) ห้องผสมที่ไม่ติดใบปิด (ข) กล้องยึดห้องผสมกับชุดทดลอง	26
4.16 ชุดทดลองการเติมอากาศแบบเหนี่ยวนำ	27
4.17 ระยะห่างระหว่างห้องผสม	27
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซ กับอัตราการไหลของของเหลว กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ	28
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน กับอัตราการไหลต่างๆของน้ำบริเวณปลายหัวฉีด กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ	29
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอิ่มตัวของออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน กับอัตราการไหลต่างๆของน้ำ กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ	29
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน กับอัตราการไหลต่างๆของน้ำ กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันการควบคุมฝุ่นละอองที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยการใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นนั้นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นให้เหมาะสมกับลักษณะของฝุ่น คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดคือขนาดของฝุ่น เนื่องจากประสิทธิภาพในการจับฝุ่นขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นหรืออนุภาค นอกจากนี้แล้วต้องพิจารณาคุณลักษณะของลักษณะของกระแสก๊าซ รวมถึงข้อจำกัดและค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่จะนำมาควบคุมฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) คืออนุภาคที่เป็นของแข็ง หรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศหรือก๊าซ ถ้าเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เรียกว่า แอโรโซล (Aerosol) ฝุ่นละอองที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมมักเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการผลิต จะมีลักษณะแตกต่างกันไป ได้แก่ ขนาดของฝุ่นละออง ปริมาณหรือความเข้มข้น รูปร่าง ความหนาแน่น และคุณสมบัติอื่นๆ คุณสมบัติเหล่านี้จะนำมาพิจารณาในการเลือกอุปกรณ์จับฝุ่นให้เกิดประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ซึ่งในปัจจุบันได้มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์หลายชนิดในการดักจับฝุ่นแบบแห้ง เช่น ไซโคลน ถูกรอง และการดักจับฝุ่นแบบเปียก เช่น เครื่องพ่นจับแบบเปียก (Wet Scrubber) และเครื่องพ่นจับแบบเวนทิวรี (Venturi Wet Scrubber) ซึ่งเครื่องพ่นจับแบบเปียกทั้งสองแบบมีการทำงานที่ใช้หัวฉีดพ่นน้ำเพื่อดักจับอนุภาค รวมถึงกลิ่นและก๊าซบางชนิดที่ละลายได้ในน้ำ ส่งผลให้ก๊าซที่ระบายออกไปมีความสะอาดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของเครื่องพ่นจับแบบเปียก คือเกิดการสะสมของอนุภาคของแข็ง (Solid cake) ทำให้เกิดการอุดตันขึ้น [1]

เนื่องจากเครื่องพ่นจับแบบเวนทิวรีใช้ก๊าซเป็นของไหลหลัก (Primary Fluid) ในการเหนี่ยวนำของไหลที่สอง (Secondary Fluid) และเกิดการเหนี่ยวนำเป็นหยดเล็กๆ [2,3] ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมวลและจับมวลสารจากอากาศ ในส่วนของหัวฉีดได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น การผสมของก๊าซกับของเหลวในถังปฏิกรณ์ และกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เช่น การเติมอากาศหรือการเติมโอโซนลงในน้ำเสีย โดยมีข้อดี คือ ไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์เคลื่อนที่หรือหมุน สามารถใช้กับการเติมก๊าซของระบบที่มีความลึกของของเหลวมากๆ ได้ และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ หลักการของหัวฉีดเหนี่ยวนำ คือ เมื่อของไหลหลักมีความดันสูงไหลผ่านหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ทำให้ความดันที่ปลายหัวฉีดลดลงและความเร็วของของไหลสูงขึ้น ผลของความดันที่ลดลงทำให้เกิดย่านของความดันต่ำบริเวณปลายหัวฉีด และเกิดการเหนี่ยวนำหรือการดูดของไหลที่สองที่อยู่รอบๆ ให้เข้ามาผสมกับของไหลหลักในห้องผสม (Mixing Chamber) โดยหลักการกลศาสตร์ของไหล เพื่อประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำที่ดี ของไหลหลักควรมีค่าความหนาแน่นมากกว่าของไหลที่สอง ดังนั้นการผสมระหว่างของเหลวและก๊าซ ของไหลหลักควรเป็นของเหลว เช่น น้ำ และของไหลที่สองควรเป็นก๊าซ เช่น อากาศ

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลการทดลองเปรียบเทียบกับ การคำนวณเชิงตัวเลข (CFD) หลักการของหัวฉีดเหนี่ยวนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องพ่นเปียกแบบเวนทิวรี รวมถึงการออกแบบให้ใช้หัวฉีดแบบหลายหัวในการทำงานแบบจัดรัส-ขนานที่เหมาะสมเพื่อให้อากาศที่ถูกเหนี่ยวนำเข้ามาผสมและถูกชะโดยน้ำอย่างทั่วถึงจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศ และใช้พลังงานอย่าง

คุ่มค่า ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มหรือลดจำนวนของหัวฉีด และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางชุดหัวฉีด ให้มีความเหมาะสมทั้งทางวิศวกรรมและทางเศรษฐศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาขนาดและรูปร่างของห้องผสม (Mixing chamber) ของหัวฉีดเหนียวน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการผสมระหว่างน้ำกับอากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวน้ำที่เหมาะสม และมีเกิดประสิทธิภาพในการตั้งอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ขนาดของชุดทดลองจะอยู่ในระดับสาธิต (Pilot Scale) โดยมีปริมาตรของถังรวบรวมน้ำ 0.11 m^3

1.3.2 สารติดตาม (Tracer) ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนมวล คือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งเกี่ยวข้องกับหัวฉีดเหนียวน้ำและเครื่องพ่นจับเปียกแบบเวนทูรี รวมทั้งปัญหา ข้อจำกัด และอุปสรรคที่เกิดขึ้น

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีการไหล, ทฤษฎีการถ่ายเทมวล และหลักการคำนวณต่างๆ

1.4.3 การศึกษาและทดลองประสิทธิภาพในการผสมระหว่างน้ำกับอากาศเบื้องต้น โดยการตรวจวัดค่าของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO: Dissolved Oxygen) และภาพถ่ายที่ใช้เทคนิคการถ่ายภาพการไหล (Flow Visualization) เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพการผสม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

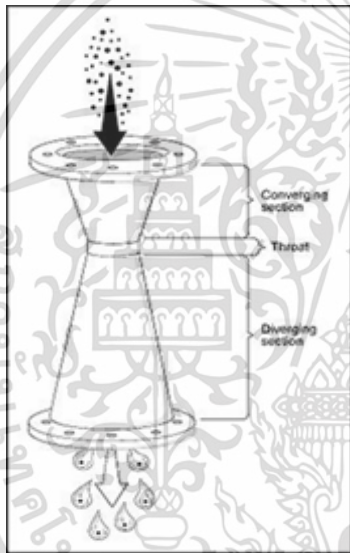
1.5.1 ขนาดและรูปร่างของห้องผสม (Mixing chamber) ของหัวฉีดเหนียวน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้ประสิทธิภาพการผสมระหว่างน้ำกับอากาศดีที่สุด

1.5.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในระดับท้องถิ่น และในภาคอุตสาหกรรม เช่น การเติมโอโซนในถังปิดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย

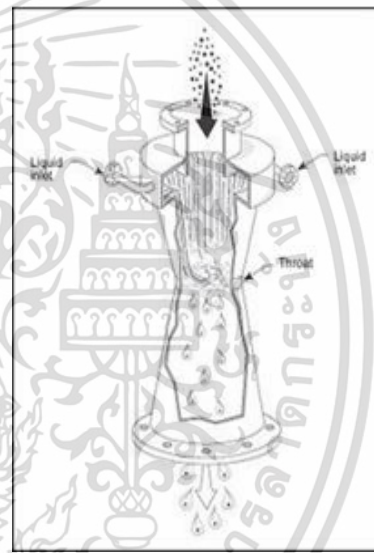
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เครื่องพ่นจับเปียกแบบเวนทูรี (Venturi Wet Scrubber) ได้ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานจากกระแสเจ็ทของก๊าซในการแตกน้ำให้เกิดเป็นละอองขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า Atomization และขัดชะอนุภาคขนาดเล็ก รวมถึงก๊าซต่างๆ ที่ปนเปื้อนมากับอากาศ จึงจัดเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมลพิษทางอากาศ Venturi Wet Scrubber ประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนลู่เข้า (Converging section) ส่วนคอคอด (Throat section) และส่วนลู่ออก ดังรูปที่ 2.1 1(ก) กระแสอากาศไหลเข้าสู่ส่วนแรกซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดลดลงทำให้ความเร็วของอากาศสูงขึ้น และเกิดการเหนียว น้ำซึ่งไหลเข้ามาในส่วนคอคอด หรือในบางชนิดไหลเข้ามาตั้งแต่ส่วนแรก (Bethea, R.M. (1978)) [4] หรือที่เรียกว่า Wetted Throat Wet Scrubber ดังรูปที่ 2.1 (ข)



รูปที่ 2.1 (ก) ส่วนประกอบหลักของ Venturi Wet Scrubber [5]



รูปที่ 2.1 (ข) Wetted Throat Venturi Wet Scrubber [5]

Brady และ Legatski (1977) [6] พบว่าส่วนคอคอดแบบกลมสามารถรับอัตราการไหลของอากาศได้ถึง $88,000 \text{ m}^3/\text{h}$ และที่อัตราการไหลสูงกวานี้ การควบคุมให้น้ำกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะเป็นไปได้ยาก อาจต้องมีการติดตั้งแผ่นกั้น (Baffle) เพื่อช่วยกระจายน้ำ สำหรับระบบใหญ่ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่สูงมาก นิยมใช้ Venturi Wet Scrubber ที่มีลักษณะยาวและแคบ รวมถึงมีส่วนคอคอดที่เป็นสี่เหลี่ยม ส่วนค่าอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ หรือ L/G ratio ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพดักจับอนุภาคนั้น พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.4 ถึง 1.3 l/m^3 และประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคโดยปกติจะอยู่ที่ 90-99% และการกำจัดก๊าซและกลิ่นที่ 30-60%

F. Mayinger (1995) [7] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการทำงานของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกที่สามารถเติมอากาศได้ด้วยตัวเอง ซึ่งมีการใช้ถังจ่ายน้ำอยู่เหนือชุดทดลองส่งผลให้ความดันของน้ำเพิ่มขึ้นตามผลต่างของระดับความสูงของถังจ่ายน้ำกับจุดที่ทำการฉีดน้ำหรือคอคอด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ยิ่งผลต่างของความสูงของถังจ่ายน้ำมาก ความดันภายในคอคอดและภายนอกยิ่งแตกต่างกันมาก และจะส่งผลให้อากาศถูกเหนียวน้ำเข้าสู่ห้องผสมมากขึ้น

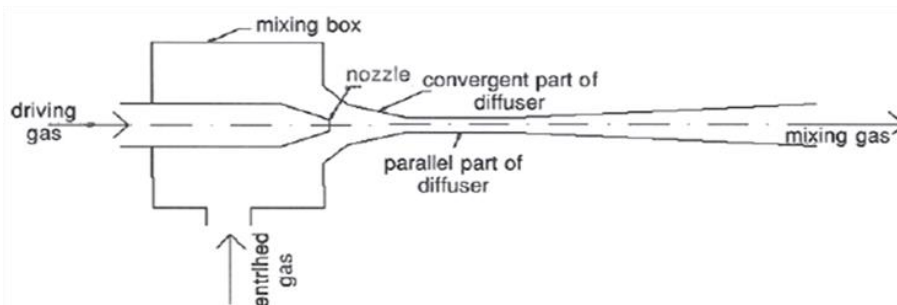
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา Gopalan Ravi และคณะ (2003) [8] ได้ศึกษาผลของการวางตัวหัวฉีดต่อการกระจายกระแสการไหล โดยกำหนดแบบการวางหัวฉีด 4 แบบที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งแบบที่ 1 คือ วางหัวฉีดเป็นแถวยาวแนวเดียว แบบที่ 2 คือวางแบบสามเหลี่ยม โดยแถวที่สองจะวางที่จุดกึ่งกลางของแถวแรก แบบที่สามคือ วางสองแถวขนานกัน และแบบสุดท้ายวางขนานกัน 3 แถว โดยมีหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 9 หัว ผลการทดลองพบว่า การกระจายของไหลมีผลไม่ต่างกันมาก ยกเว้นในรูปแบบที่ 4 จะมีการกระจายของของไหลได้ดีกว่าสามแบบแรก และจะส่งผลถึงสมรรถนะของเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกด้วย โดยใช้หัวฉีดที่มีขนาดต่างกันจัดเรียงดังรูปแบบจัดเรียงสามเหลี่ยม

หัวฉีดเหนี่ยวนำ (Inducing Jet) มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับปั้มน้ำแบบหัวฉีด (Jet Pump) และถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปร่าง ตำแหน่งและอัตราส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำ ดังนี้

N. L. Sanger (1970) [9] ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเจ็ทปั้มน้ำเพื่อการขนส่งของเหลว-ก๊าซ โดยการปรับค่าตัวแปรต่างๆพบว่าที่อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 ให้ประสิทธิภาพการผสมของน้ำกับอากาศสูงสุด และที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับปากทางเข้าห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) เท่ากับ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J.E. Gosline และ M.P. O'Brien (1934) [10] ที่พบว่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนมวลมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 รวมถึงงานวิจัยของ C. Prabkeao และ K. Aoki (2005) [11] ได้ทำการศึกษาสร้างสมการการคำนวณสมรรถนะการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีดเพื่อการขนถ่ายส่วนผสมของแข็ง-ของเหลว โดยที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่หัวฉีดเท่ากับ 1.0 ที่ห้องผสมเท่ากับ 0.3 ที่ด้านดูดเท่ากับ 0.25 และที่ด้านจ่ายเท่ากับ 0.3 และค่าประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับกรณีขนถ่ายน้ำเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 28.3% และประสิทธิภาพสูงสุดกรณีขนถ่ายของแข็งกับของเหลวเท่ากับ 19.7%

A. Surjosatyo และ F. N. Ani (2001) [12] ทำการศึกษาการไหลของอากาศในท่อวงแหวน โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งในการทดลองได้ทำเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อทางเข้าของอากาศ และเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการติดตั้งหัวฉีดก่อนเข้าห้องผสมตามระยะต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม CFD เพื่อวิเคราะห์การไหลในลักษณะสองมิติ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศที่บริเวณท่อทางเข้าจนถึง 600 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการไหลของอากาศลดลง และพบว่าที่ค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.81 จะให้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ท่อทางเข้าสูงที่สุด รูปที่ 2.2 แสดงถึงโครงสร้าง Ejector ของ A. Surjosatyo และ F. N. Ani (2001) [12]



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ Ejector ในงานวิจัยของ A. Surjosatyo และ F. N. Ani [12]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา K. Keerati และคณะ (2012) [23] ได้ศึกษาอัตราส่วนเชิงมิติของหัวฉีดเหนียวนำเพื่อใช้ในการผสมก๊าซและของเหลวพบว่า การจำลองอัตราการไหลของของไหลด้วยโปรแกรมคำนวณพฤติกรรมการไหลของของไหล และทำการเปรียบเทียบกับชุดทดลองจริงที่ออกแบบตามแบบจำลองพบว่าอัตราส่วนเชิงมิติที่มีสมรรถนะการเหนียวนำอากาศดีที่สุดคือที่ $D_c = 3D_j$, $L_c = 6D_j$, $L_a = 2D_j$ และ $Da = 2.5D_j$ เมื่อเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม (Ansys Fluent) 2 มิติความละเอียดอีลิเมนต์อยู่ในช่วง 60,000 ถึง 80,000 อีลิเมนต์ กำหนดขนาด D_j เท่ากับ 6 มิลลิเมตร อัตราส่วนเชิงมิติเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำเป็นวิธีการบำบัดมลพิษอากาศที่ถูกคิดค้นขึ้นมาเป็นเวลานานมาแล้ว โดยเริ่มต้นมาจากวิธีการบำบัดแบบแห้งในหลายกรณีไม่สามารถที่จะกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดได้อีกทั้งยังไม่สามารถกำจัดก๊าซพิษที่เกิดขึ้นได้จึงเกิดความคิดที่ว่าควรมีการใช้ของเหลว อาทิ เช่น น้ำ หรือสารละลายบางชนิดเป็นตัวช่วยในการบำบัด อีกความคิดหนึ่งมาจากการสังเกตเห็น อนุภาคฝุ่นละอองสามารถเกาะยึดติดบนผิวที่เปียกได้ดีกว่าผิวแห้ง และอีกความคิดหนึ่งเกิดจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเกี่ยวกับการละลายของก๊าซในตัวทำละลายต่างๆ ดังนั้นเครื่องบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำจึงเกิดขึ้นเพื่อใช้ในการกำจัดส่วนที่เป็นอนุภาคและส่วนที่เป็นก๊าซต่างๆ

การควบคุมมลพิษอากาศแบบเปียก (Liquid Scrubbing) [13] เป็นการกำจัดมลพิษ ทั้งในสถานะอนุภาคของแข็งและสถานะก๊าซหรือไอ โดยที่อนุภาคของแข็งจะถูกกำจัดออกโดยอาศัยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว ส่วนในสถานะก๊าซจะอาศัยการละลายของก๊าซในของเหลว การทำงานของระบบแบบนี้จะทำงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ การดักมวลสารด้วยของเหลวและการแยกของเหลวที่ใช้ดักแล้วออกจากกระแสก๊าซที่ในขาออก การอธิบายกลไกในการเก็บมวลสารนั้น จำเป็นจะต้องเข้าใจถึงลักษณะการไหลของกระแสก๊าซรอบหยดของเหลว และกลไกในการเก็บมวลสารที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของระบบการบำบัดมลพิษอากาศแบบสัมผัสน้ำนั้น อาจแบ่งได้เป็น 6 ประเภทด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

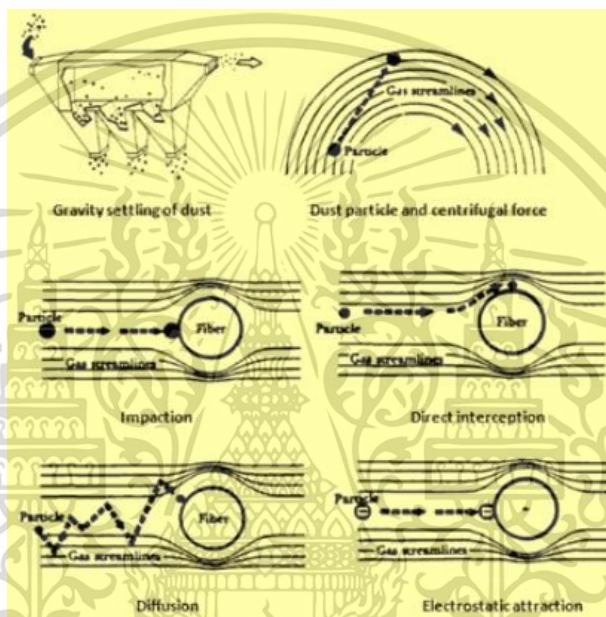
แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูงซึ่งเคลื่อนที่ไปได้ช้าในกระแสก๊าซ และจะค่อยๆ ตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและจะถูกแยกออกจากกระแสก๊าซไปในที่สุดแรงโน้มถ่วงจะมีบทบาทมากในการจัดอนุภาคของแข็งเฉพาะสำหรับอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอน

แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซเกิดการไหลหมุนวน (Vortex Flow) ในตัวเครื่องบำบัดมลพิษอากาศ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคของแข็งมีวิธีการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนและแยกออกจากกระแสก๊าซ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะมีโมเมนตัมมากจะเบี่ยงเบนออกจากกระแสก๊าซได้มากกว่าอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก

การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial Impaction) เมื่อก๊าซเข้าใกล้หยดของเหลวที่ระยะทางหนึ่งก่อนที่จะถึงหยดน้ำกระแสก๊าซจะเริ่มไหลเบี่ยงเบนออกไป ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงเฉื่อย (Inertia Force) มากจะไม่เคลื่อนที่ไปตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนออกไป แต่จะเคลื่อนที่ตรงไปกระทบกับหยดของเหลวและถูกหยดของเหลวจับไว้ในที่สุด

การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception) แม้ว่าอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ตามกระแสก๊าซที่ไหลเบี่ยงเบนไปรอบๆ หยอดของเหลวก็ตาม อนุภาคของแข็งขนาดเล็กเหล่านี้ก็มีโอกาสเข้าสัมผัส และเกาะติดกับหยดน้ำได้ด้วยกลไกของการสกัดกั้นโดยตรงหากว่าจุดศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง ซึ่งเคลื่อนที่ไปกับกระแสก๊าซอยู่ห่างจากผิวของหยดของเหลวเป็นระยะทางน้อยกว่ารัศมีของอนุภาคของแข็งนั้น

แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) อนุภาคของแข็งบางชนิดมีประจุไฟฟ้าอยู่ในตัวโดยธรรมชาติหรืออาจจะได้รับการเติมประจุไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออนุภาคของแข็งที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าสำหรับดักอนุภาคของแข็ง แรงไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะชักนำอนุภาคของแข็งให้เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นดักฝุ่นซึ่งมีประจุตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่ในอนุภาคของแข็ง

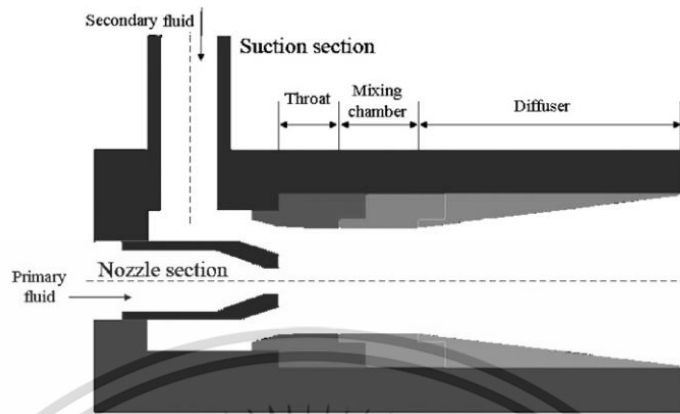


รูปที่ 2.3 กลไกการจับฝุ่น [14]

สกรับเบอร์แบบเวนจูรี (Venturi scrubber) ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาค ซึ่งสามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร กระแสอากาศเสียจะถูกบังคับให้ไหลผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เวนจูรี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาให้มีคอที่แคบลงทำให้กระแสอากาศไหลผ่านด้วยความเร็วสูงหรือถูกเร่งความเร็ว โดยมีการฉีดพ่นน้ำที่บริเวณคอหรือบริเวณก่อนที่จะถึงบริเวณคอ และจากการไหลของกระแสอากาศด้วยความเร็วสูงทำให้น้ำเกิดการแตกตัวเป็นละอองหรือหยดน้ำเล็กๆที่มีความเร็วสูงส่งผลให้สามารถดักจับอนุภาคด้วยกลไกทั้ง 3 ดังที่กล่าวข้างต้น โดยมีกลไกการกระทบด้วยความเฉื่อยจะเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดในการดักจับอนุภาค และเนื่องจากการแตกตัวเป็นหยดน้ำเล็กๆที่มีความเร็วสูง ภายหลังจากที่หยดน้ำดักจับอนุภาคได้แล้วจะถูกปล่อยให้แยกตัวออกจากกระแสของอากาศ โดยทั่วไปจะใช้ไซโคลนหรือที่ดักละอองน้ำในการแยกน้ำออกจากกระแสอากาศ

หัวฉีดเหนี่ยวนำ (Ejector) ไม่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่หรือหมุน จึงบำรุงรักษาได้ง่ายโดยแสดงส่วนประกอบในรูปที่ 2.4 ปรากฏการณ์การไหลที่เกิดขึ้นภายใน Ejector คือ ของไหลป้อน (ของเหลว) จากเครื่องสูบน้ำเข้าสู่หัวฉีด (Nozzle) ด้วยความดันสูงผ่านปลายหัวฉีด ความดันของของไหลป้อนจะเปลี่ยนเป็นความเร็วทำให้ความดันที่ห้องผสม (Mixing chamber) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chamber) ต่ำลงและเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิ (ก๊าซ) เข้าสู่ห้องผสมทำให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศเกิดขึ้น [15,16]



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบหลักของ Ejector [15]

อัตราการไหล การวัดอัตราการไหลของของเหลวนิยมวัดในลักษณะของอัตราการไหลเชิงปริมาตร ซึ่งแทนด้วย Q โดยมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$Q = Av \quad (2.1)$$

สำหรับอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) หรือ \dot{m} สามารถหาได้โดยการคูณค่าความหนาแน่นของของไหล (ρ) เข้ากับอัตราการไหลเชิงปริมาตรในสมการที่ (2.1) แสดงในสมการที่ (2.2)

$$\dot{m} = Q\rho = \rho Av \quad (2.2)$$

การที่อากาศจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่งได้นั้น จำเป็นต้องมีความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดนั้น โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีความดันสูงไปสู่จุดที่มีความดันต่ำกว่าจุดที่มีความดันต่ำกว่าในระบบมักถูกเรียกว่า ความดันลบ (negative pressure) หรือแรงดูด (suction) อัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation) (2.3) ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำ โดยพิจารณาจุดที่มีความดันต่ำที่สุด และกำหนดให้ค่าความดันและความเร็วบริเวณทางเข้ามีค่าน้อยมาก อัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำจึงหาได้ในสมการที่ (2.4)

$$\frac{P_1}{\rho_g g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_g g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.3)$$

$$Q_g = A_1 \sqrt{2g \left(\frac{-P_1}{\rho_g g} + (z_2 - z_1) \right)} \quad (2.4)$$

โดยงานวิจัยของ S. Nukiyama และ Y. Tanasawa ได้หาขนาดของหยดน้ำจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.5) [17]

$$D_d = \frac{0.585}{v_r} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l}} + 1.683 \times 10^{-3} \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\sigma \rho_l}} \right)^{0.45} \left(\frac{1000Q_l}{Q_g} \right)^{1.5} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนทางด้านความเร็วของหยดน้ำสามารถคำนวณหาจากสมการที่ (2.6) (Boll, 1973) [18] โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานจากสมการที่ (2.7) (Dickinson and Marshall, 1968) [19]

$$\frac{dv_d}{dt} = \frac{3\mu_g C_d}{4\rho_d D_d} (v_g - v_d)^2 + g \quad (2.6)$$

$$C_d = 0.22 + \frac{24}{\text{Re}} (1 + 0.15 \text{Re}^{0.6}) \quad (2.7)$$

การหาอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซ (Liquid to Gas Ratio) ในการทดลองครั้งนี้สิ่งที่สำคัญในการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลของของเหลวและก๊าซ ในสมการที่ (2.8) ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดความเหมาะสมในการเลือกใช้ลักษณะการออกแบบโดยค่าอัตราส่วนดังกล่าวจะอยู่ในรูปของตัวแปรไร้หน่วย [1]

$$\eta = \frac{L}{G} \quad (2.8)$$

ซึ่งหากค่า η มีค่าต่ำแสดงให้เห็นการเหนี่ยวนำมีสมรรถนะสูง กล่าวคือใช้ของเหลวในการเหนี่ยวนำปริมาณน้อยแต่สามารถเหนี่ยวนำก๊าซเข้ามาได้ในปริมาณที่สูงกว่า ในทางกลับกันหากค่า η มีค่าสูงแสดงให้ เห็นว่าการเหนี่ยวนำมีสมรรถนะต่ำ หรือใช้เหลวในการเหนี่ยวนำปริมาณสูงแต่สามารถเหนี่ยวนำก๊าซเข้ามาได้ปริมาณต่ำ

ส่วนทางด้านเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number) ในกลศาสตร์ของไหล, เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติ ที่เป็นการหาอัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อแรงของความหนืด ซึ่งเป็นตัวเลขสำคัญสำหรับการกำหนดเงื่อนไขการไหลเรย์โนลด์นัมเบอร์ใช้ในการอธิบายแบ่งลักษณะการไหลของของเหลวที่แตกต่างกัน เช่นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) หรือไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) กรณีเรย์โนลด์นัมเบอร์ของการไหลที่มีค่าต่ำ แสดงว่าแรงของความหนืดจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนไหวยของของเหลว ทำให้การไหลมีลักษณะราบเรียบ (Laminar) ถ้าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของการไหลที่มีค่าสูง แสดงว่าแรงของความเฉื่อยจะมีอิทธิพลต่อการไหลทำให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) และจะเกิดการหมุนวนแบบก้นหอย (Vortices) ซึ่งทำให้การไหลไม่เสถียร สมการเรย์โนลด์นัมเบอร์ แสดงในสมการที่ (2.9) และสามารถกำหนดลักษณะการไหลโดยอาศัยเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

เมื่อ	$\text{Re} < 2,300$	การไหลแบบราบเรียบ หรือ ลามินาร์ (Laminar)
	$\text{Re} > 4,000$	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

$$\text{Re} = \frac{\rho v D_h}{\mu} = \frac{v D_h}{\nu} = \frac{Q D_h}{\nu A} \quad (2.9)$$

การหาขนาดความโตของท่อทางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter, D_h) รูปร่างของท่อที่มีของเหลวไหลอยู่ภายใน นอกจากเป็นวงกลมแล้วอาจเป็นรูปร่างอื่นๆก็ได้ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม สี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นต้น ที่มีส่วนสูงและความกว้างต่างๆ สามารถเทียบเคียงลักษณะของรูปร่างที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมได้ที่เรียกว่า ขนาดความโตท่อทางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter, D_h) การหาค่า D_h แสดงในสมการที่ (2.10)

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.10)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการศึกษาและทดลองการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศแบบเปียกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการจัดทำชุดทดลองและ การคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณ

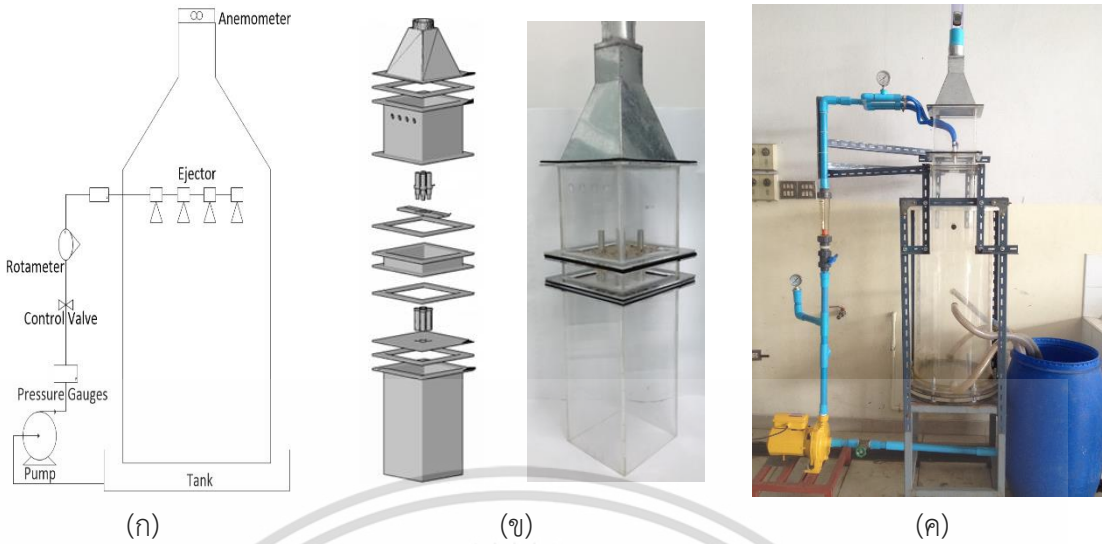
3.1 การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

การจัดทำชุดทดลองแสดงตามไดอะแกรม, รายละเอียดภายในชุดทดลอง และชุดทดลองที่ใช้ทดลองแสดงในรูปที่ 3.2(ก-ค) ตามลำดับ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำ มีขนาด 1 แรงม้า (MITSUBISHI, WCH-755S) เกจวัดความดัน (TAG TECHNOLOGY) โรตารีมิเตอร์ (NITTO, Z-5032) และแอนิโมมิเตอร์ (TESTO, 405-V1) ซึ่งลักษณะของหัวฉีดเหนียวนำและห้องผสมทำจากอลูมิเนียมแสดงในรูปที่ 3.2 อุณหภูมิในน้ำ, อากาศและค่าความดันบรรยากาศในการทดลองมีค่าเท่ากับ 27, 29°C และ 1 atm ตามลำดับ รายละเอียดขนาดของหัวฉีดและการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขอบเขตการทดลอง และแบบจำลองการคำนวณเชิงตัวเลข

Variables	Ranges
อัตราการไหลของของเหลวภายในระบบ (l/min)	50-90
หัวฉีดเหนียวนำ	
เส้นผ่านศูนย์กลางปลายหัวฉีด D_j (mm)	6
ห้องผสม, เส้นผ่านศูนย์กลาง D_c / ความยาว L_c (mm)	18 / 81
ระยะหัวฉีดที่เข้าห้องผสม (mm)	10
เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าอากาศ (mm)	57
ขนาดห้องดูดอากาศ-ผสม, กว้าง/ยาว/สูง (mm)	200 / 200 / 650
ระยะห่างในการจัดเรียงระหว่างหัวฉีด-หัวฉีด	
ลักษณะเส้นตรง	$5D_j / 6D_j / 7D_j / 8D_j / 9D_j$
ลักษณะจัดรัศมี	$5D_j / 11D_j / 17D_j / 23D_j / 28D_j$

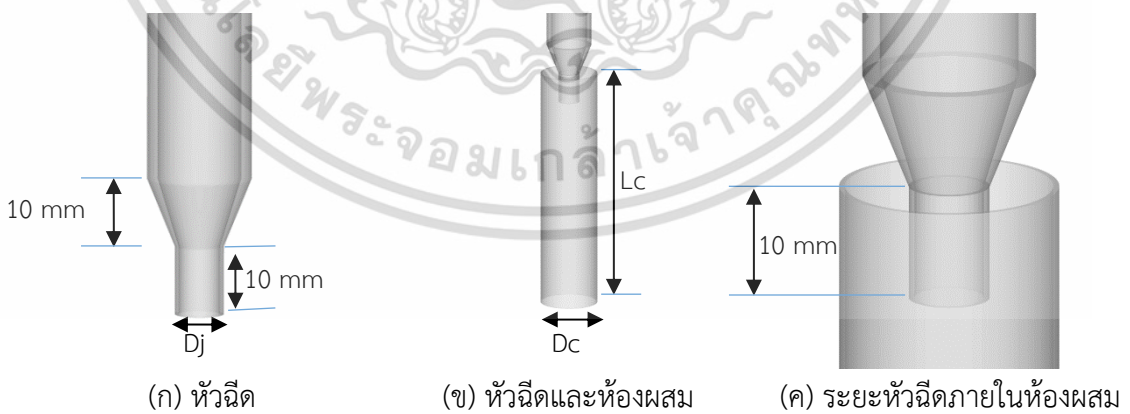
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 (ก) ไดอะแกรมของชุดทดลอง (ข) รายละเอียดภายในชุดทดลอง (ค) ชุดทดลอง



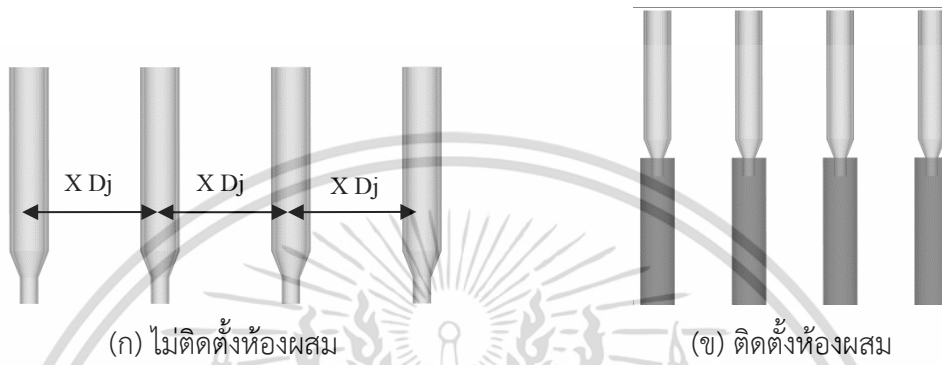
รูปที่ 3.2 (ก) หัวฉีด (ข) ห้องผสมที่ใช้ในการทดลอง



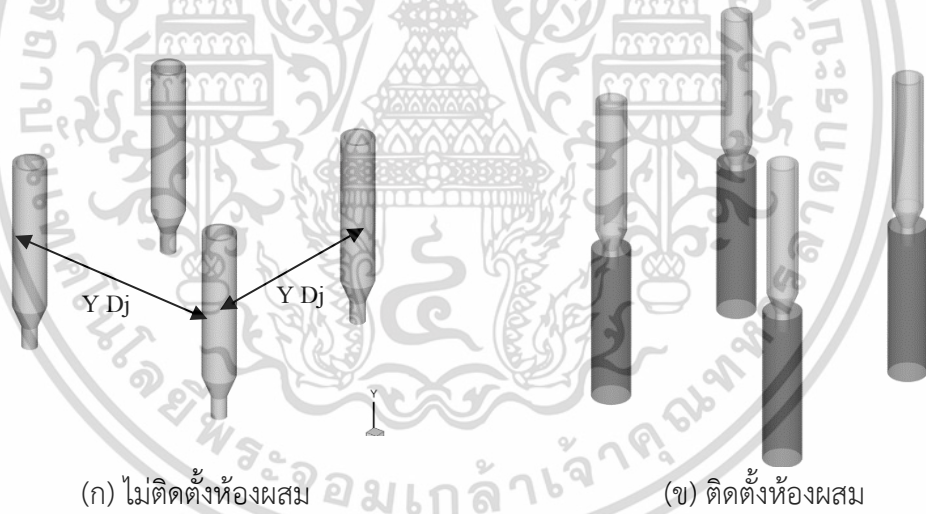
รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ลักษณะและระยะต่างๆของหัวฉีดเหนี่ยวนำ

รูปที่ 3.3 แสดงสัญลักษณ์ และระยะต่างๆของหัวฉีดในการศึกษาตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของหัวฉีดสัญลักษณ์ D_j มีค่าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร เป็นตัวแปรที่กำหนดค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆในการศึกษา เช่น ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม (Dc) ความยาวห้องผสม (Lc) รูปที่ 3.4 แสดงระยะการจัดเรียงลักษณะเส้นตรง ในการศึกษาการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงตัวแปร X เป็นค่า 5, 6, 7, 8 และ 9 ส่งผลให้ได้ระยะห่างในการศึกษา 30, 36, 42, 48 และ 54 มิลลิเมตรตามลำดับทั้งในกรณีติดตั้งห้องผสม และไม่ติดตั้งห้องผสม รูปที่ 3.5 แสดงระยะการจัดเรียงลักษณะจัตุรัส ตัวแปร Y ถูกกำหนดค่า 5, 11, 17, 23 และ 28 ระยะห่างในการศึกษา 30, 102, 00, 138 และ 168 มิลลิเมตรตามลำดับทั้งในกรณีติดตั้งห้องผสม และไม่ติดตั้งห้องผสม



รูปที่ 3.4 การจัดเรียงลักษณะเส้นตรง

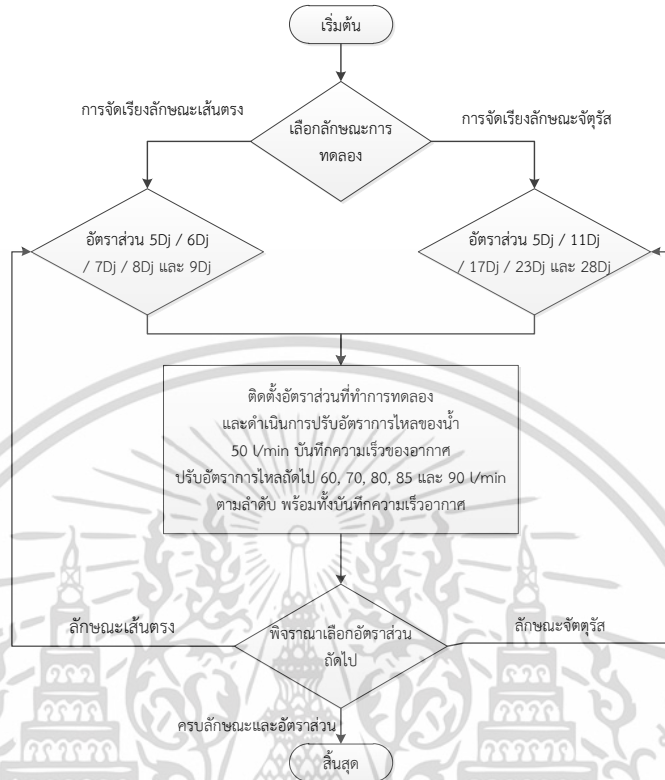


รูปที่ 3.5 การจัดเรียงลักษณะจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลอง

3.2 การคำนวณเชิงตัวเลขและการสร้างแบบจำลอง

ทางด้านการคำนวณเชิงตัวเลขได้อาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป 2 โปรแกรมได้แก่ โปรแกรม Gambit และ ANSYS Fluent ได้ทำการศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขในลักษณะสามมิติ ทำการวาดแบบจำลองตามขนาดที่ออกแบบแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.7 (ก) ประเภท Mesh ที่ทำการแบ่ง ได้แก่ Tet/Hybrid โดยใช้โปรแกรม Gambit ความละเอียดของ Mesh ทั้งหมดของการศึกษาประมาณ 2,000,000 อิลิเมนต์ (รูปที่ 3.3(ข)) ช่วงที่ของเหลวและก๊าซสัมผัสกันมีความละเอียด ประมาณ 850,000 อิลิเมนต์ ส่วนการคำนวณใช้โปรแกรม ANSYS Fluent 15.0 การคำนวณพิจารณาในช่วง Steady State คิดบนพื้นฐานของการไหลแบบปั่นป่วนโดยอาศัย standard $k-\epsilon$ model นอกจากนี้แล้วการตั้งค่าการคำนวณได้กำหนดปลายหัวฉีดมีความเร็วขาเข้าและความเร็วของของเหลวที่บริเวณปลายหัวฉีดเหนี่ยวนำตามการทดลองในตารางที่ 3.1 ด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ และบริเวณทางเข้าอากาศกำหนดให้เป็นความดันขาเข้าซึ่งความดันเกจมีค่าเป็นศูนย์ บริเวณทางออกกำหนดเป็นความดันขาออกสำหรับเหลวและก๊าซ เงื่อนไขขอบเขตไม่มีการไถลที่ผนัง (No-Slip Conditions) หรือความเร็วที่ผนังมีค่าเป็นศูนย์เป็นผนังที่อยู่กับที่ (Stationary Wall) ขั้นตอนวิธีการตั้งค่าการคำนวณแสดงในตารางที่ 3.2 และการคำนวณสิ้นสุดต่อเมื่อเงื่อนไขการลู่เข้าหาค่าตอบทุกค่าตอบต่ำกว่า 10^{-5} [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 แบบจำลองโดยโปรแกรม Gambit

ตารางที่ 3.2 วิธีการตั้งค่าในการคำนวณเชิงตัวเลข

Solution	Methods/Controls
Pressure	PRESTO! / 0.2
Momentum	Second Order Upwind / 0.2
Volume Fraction	Second Order Upwind / 0.5
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind / 0.2
Turbulent Dissipation Rate	Second Order Upwind / 0.2

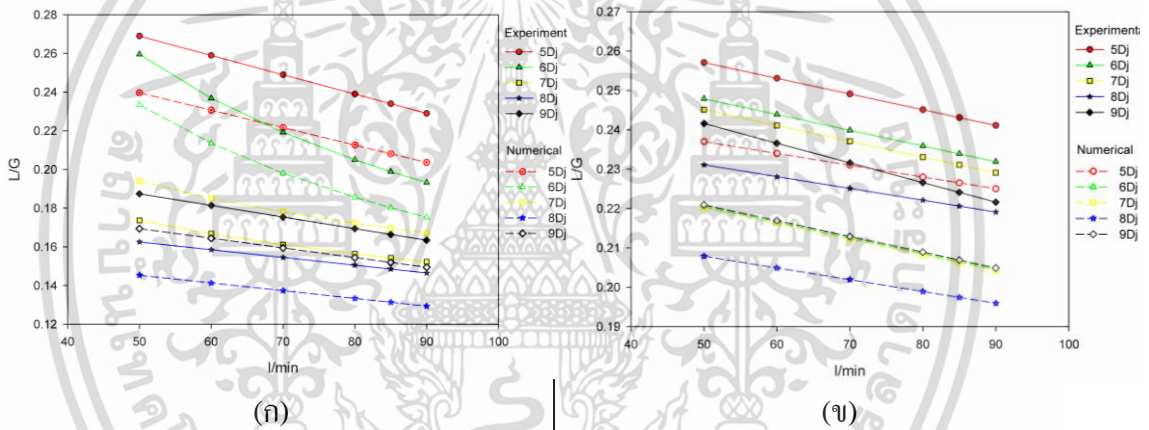
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการศึกษานี้ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม ANSYS ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่สภาวะการทำงานและรูปแบบการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวน้ำเดียวกัน ดังนี้ ขนาดของหัวฉีดเหนียวน้ำเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ความยาวห้องผสมเท่ากับ 81 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.2 (ก,ข)) ชุดทดลองทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 เซนติเมตร ความสูงของชุดทดลองรวมเท่ากับ 117 เซนติเมตร (รูปที่ 3.1) ทำการทดลองทั้งแบบที่ติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 50, 60, 70, 80, 85 และ 90 l/min โดยการจัดเรียงแบบเส้นตรงทำการทดลองที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเท่ากับ 5Dj, 6Dj, 7Dj, 8Dj และ 9Dj และแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำการทดลองที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเท่ากับ 5Dj, 11Dj, 17Dj, 23Dj และ 28Dj

4.1 การจัดเรียงหัวฉีดเหนียวน้ำแบบเส้นตรงที่มีการติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม



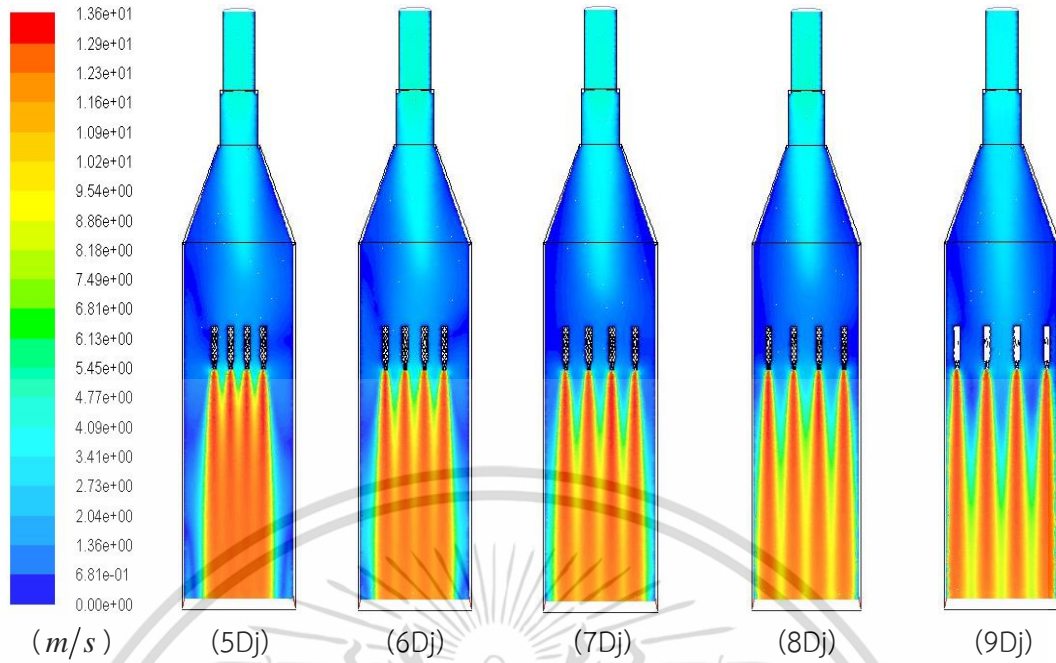
รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสมในลักษณะการจัดเรียงแบบเส้นตรง
(ก) ไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) ติดตั้งห้องผสม

รูปที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า L/G (อัตราการไหลของน้ำต่ออากาศ) ที่อัตราการไหลต่างๆ ระหว่างการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสมในลักษณะการจัดเรียงแบบเส้นตรง พบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น ค่า L/G มีค่าลดลง หรืออีกนัยหนึ่งคือปริมาณอากาศถูกเหนียวน้ำเพิ่มสูงขึ้น และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งผลจากการทดลองและผลจากการคำนวณเชิงตัวเลข นอกจากนี้จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่า L/G มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของน้ำ 50-90 l/min และมีแนวโน้มลดลงอย่างสม่ำเสมอ ยกเว้นการจัดเรียงขนาด 6Dj ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราการไหล 50-70 l/min และลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงอัตราการไหลมากกว่า 80 l/min แต่ในทางตรงกันข้ามรูป 4.1ข พบว่าค่า L/G มีค่าลดลงสม่ำเสมออย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของน้ำ 50-90 l/min ทุกการจัดเรียง

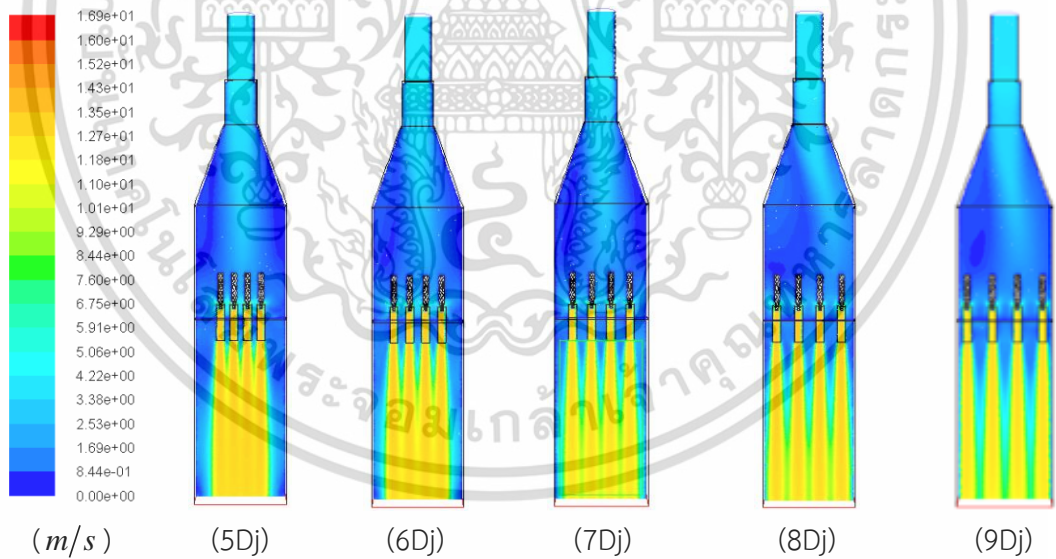
จากรูป 4.1 ค่า L/G ของระบบที่หัวฉีดไม่ติดตั้งห้องผสมมีค่าต่ำกว่าระบบที่ติดตั้งห้องผสม ในทุกระยะห่างระหว่างหัวฉีด โดยมีค่า L/G สูงสุดเมื่อระยะห่างเท่ากับ 5Dj และมีค่าต่ำลงเมื่อระยะห่างมากขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่ระยะห่างเท่ากับ 8Dj เพราะเมื่อระยะห่างเท่ากับ 9Dj ค่า L/G กลับมีค่าสูงขึ้น ค่า L/G ต่ำสุดเมื่อระยะห่างระหว่างหัวฉีดที่ 8Dj ทั้งแบบที่ติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม โดยที่อัตราการไหลของน้ำ 90 V/min ค่า L/G เท่ากับ .0.142 (0.128 จากการคำนวณเชิงตัวเลข) สำหรับแบบไม่ติดตั้งห้องผสม และเท่ากับ 0.219 (0.1959 จากการคำนวณเชิงตัวเลข) สำหรับแบบติดตั้งห้องผสม

4.1.1 การวิเคราะห์แบบจำลองการจัดเรียงหัวฉีดเหนี่ยวนำแบบเส้นตรงที่มีการติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม จากรูปที่ 4.2 แสดงความเร็วในแบบจำลองระหว่างน้ำและอากาศที่การจัดเรียงขนาดต่างๆ (5Dj , 6Dj , 7Dj ,8Dj และ 9Dj) ที่อัตราการไหล 90 V/min กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม พบว่า การกระจายตัวของความเร็วผสมระหว่างน้ำและอากาศในการจัดเรียงลักษณะเส้นตรง ระยะห่าง 8Dj มีลักษณะการกระจายตัวเต็มรูปแบบบริเวณด้านล่างปลายหัวฉีดภายในแบบจำลอง ส่งผลให้การเหนี่ยวนำอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุดจากกรณีศึกษาลักษณะการจัดเรียงแบบเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 4.1ก ระยะห่าง 8Dj สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้สูงสุด ส่วนทางด้านกรณีติดตั้งห้องผสมรูปที่ 4.3 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วผสมในแบบจำลองบริเวณเหนือหัวฉีดในการจัดเรียงระยะ 8Dj และ 9Dj ลักษณะความเร็วของอากาศมีการเบี่ยงเบนจากแนวกึ่งกลาง โดยความเร็วของอากาศก่อนเข้าห้องผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งความเร็วผสมระหว่างน้ำและอากาศมีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีไม่มีห้องผสม ดังนั้นการจัดเรียงลักษณะหัวฉีดจึงส่งผลต่อความเร็วของอากาศที่เคลื่อนที่ภายในแบบจำลองที่เกิดแรงเฉือนระหว่างน้ำกับอากาศ และอากาศกับอากาศ ส่งผลให้เกิดความเร็วลิ้นไหล นอกจากนี้รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในแบบจำลองการจัดเรียงลักษณะ

เส้นตรงระยะ 8Dj ทั้ง 2 กรณี (ไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสม) ที่อัตราการไหลของน้ำ 90 V/min พบว่า อากาศที่ไหลผ่านแบบจำลองไม่ติดตั้งห้องผสม (รูปที่ 4.4ก) สามารถเคลื่อนที่ผ่านแบบจำลองได้โดยไม่เกิดการหมุนวนของอากาศ แต่ในตรงกันข้ามแบบจำลองติดตั้งห้องผสมรูปที่ 4.4ข แสดงให้เห็นอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่แบบจำลองเกิดการหมุนวนภายในอย่างชัดเจน

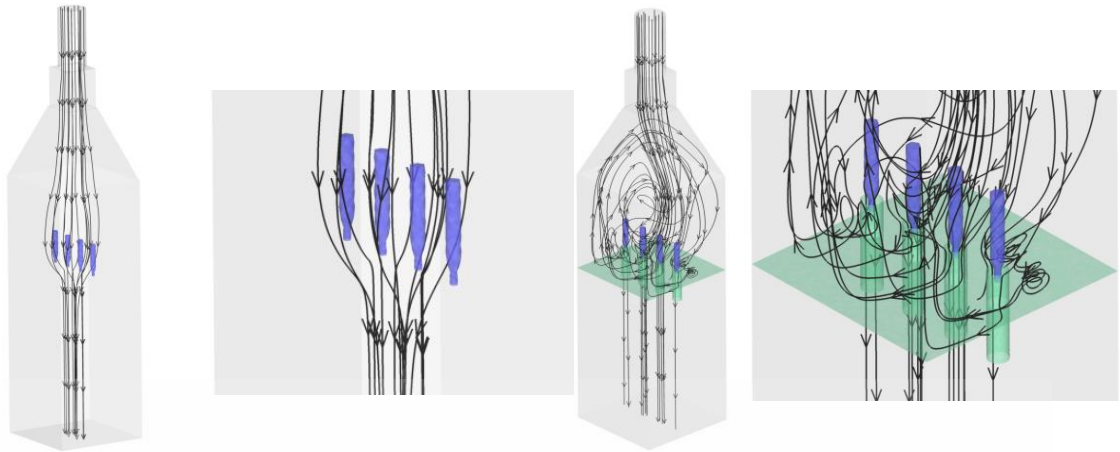


รูปที่ 4.2 Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min (ความเร็วปลายหัวฉีด 13.26 m/s) ของการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่ขนาดต่างๆ (ไม่ติดตั้งห้องผสม)



รูปที่ 4.3 Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min (ความเร็วปลายหัวฉีด 13.26 m/s) ของการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่ขนาดต่างๆ (ติดตั้งห้องผสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

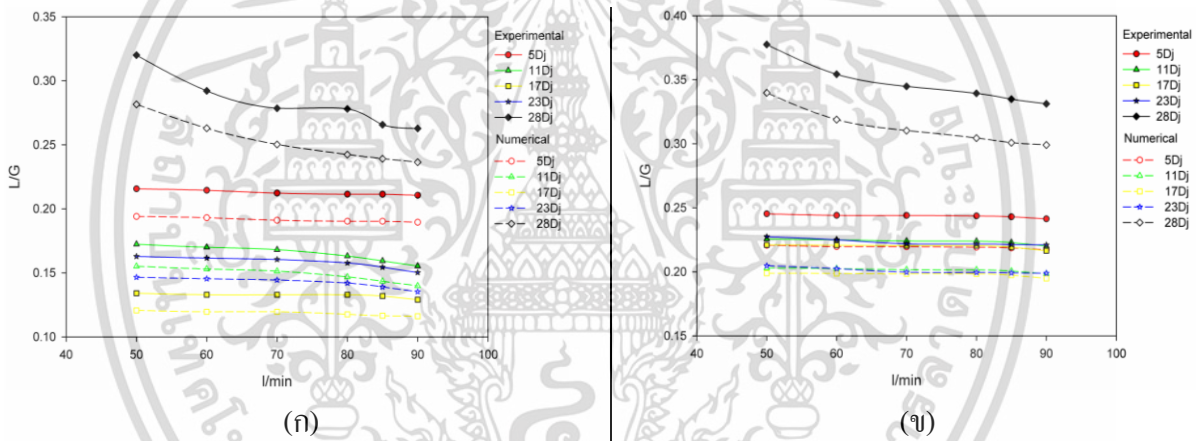


(ก) กรณีไม่มีห้องผสม

(ข) กรณีมีห้องผสม

รูปที่ 4.4 ลักษณะการไหลของอากาศภายในชุดทดลองการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงที่อัตราขนาด 8Dj อัตราการไหลของน้ำ 90 l/min (ก) กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม (ข)กรณีติดตั้งห้องผสม

4.2 การจัดเรียงหัวฉีดเหนี่ยวนำแบบจตุรัสที่มีการติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสมในลักษณะการจัดเรียงแบบจตุรัส (ก) ไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) ติดตั้งห้องผสม

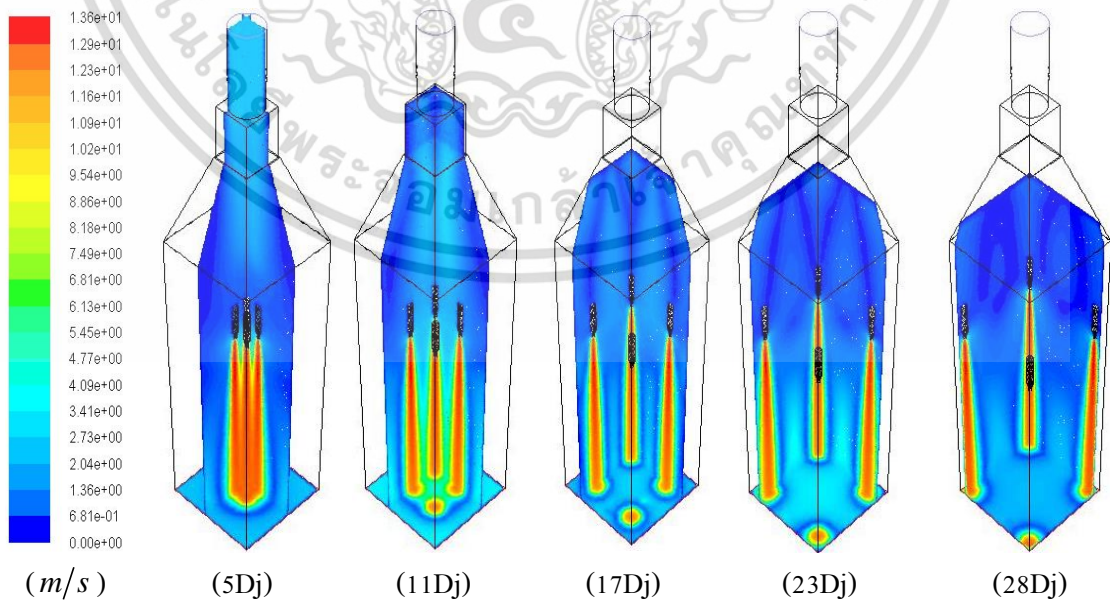
รูปที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า L/G (อัตราการไหลของน้ำต่ออากาศ) ที่อัตราการไหลต่างๆ ระหว่างการไม่ติดตั้งห้องผสมและติดตั้งห้องผสมในลักษณะการจัดเรียงแบบจตุรัส พบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น ค่า L/G มีค่าลดลงเช่นเดียวกับการจัดเรียงเส้นตรง และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งผลจากการทดลองและผลจากการคำนวณเชิงตัวเลข รูปที่ 4.5ก พบว่า การจัดเรียงระยะห่าง 5Dj ค่า L/G คงที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันการจัดเรียงขนาด 11Dj, 17Dj และ 23Dj ค่า L/G มีแนวโน้มปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของน้ำ 50-80 l/min และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราการไหลมากกว่า 85 l/min ส่วนการจัดเรียงขนาด 28Dj ค่า L/G มีแนวโน้มปรับตัวลดลงอย่างรวดเร็วที่อัตราการไหลของน้ำ 50-80 l/min และลดลงอย่างคงที่เมื่อความเร็วของน้ำมากกว่า 85 l/min ส่วนทางด้านรูป 4.1ข พบว่า ค่า L/G มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของน้ำ 50-90 l/min. ในลักษณะการจัดเรียง 5Dj ,11Dj, 17Dj และ 23Dj แต่ลักษณะการจัดเรียง 28Dj ลดลงอย่างรวดเร็วที่อัตราไหล 50-80 l/min และมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องตั้งแต่

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

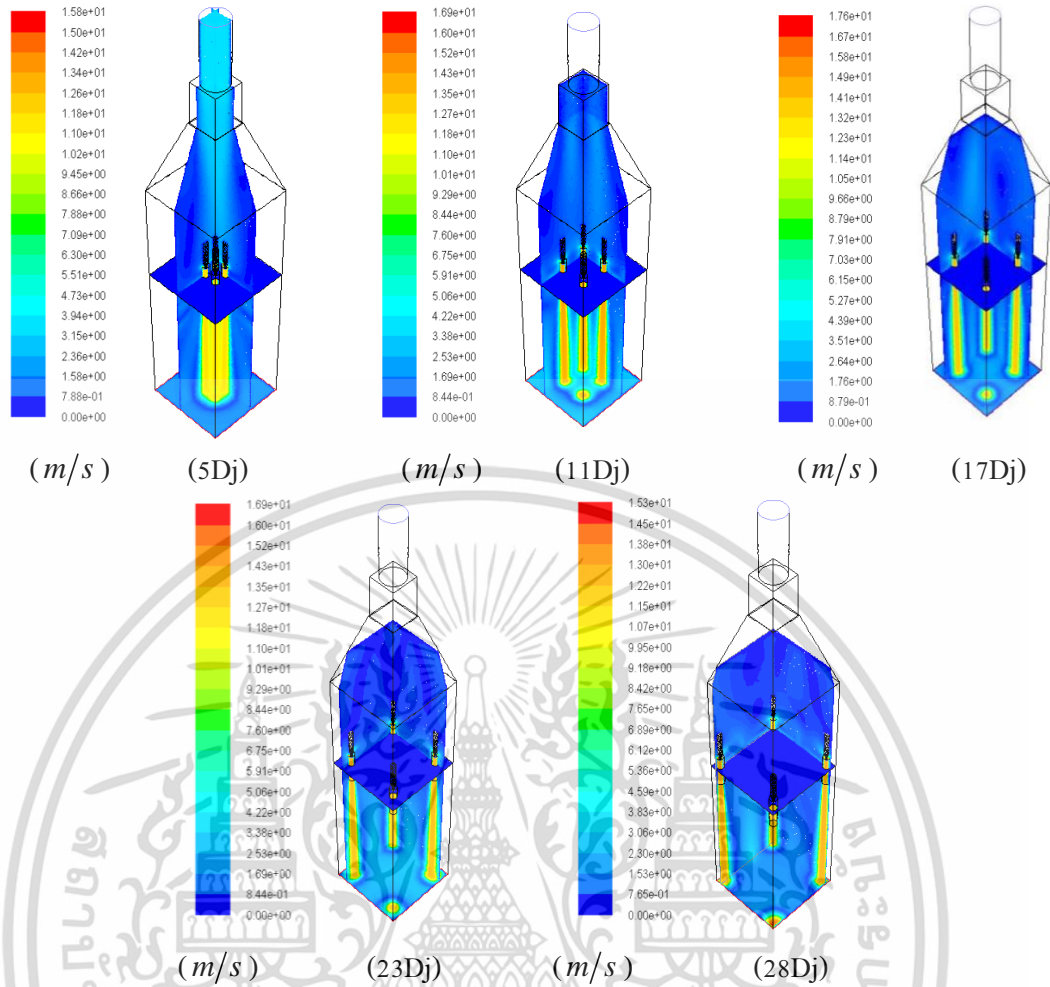
จากรูป 4.5 ค่า L/G ของระบบที่หัวฉีดไม่ติดตั้งห้องผสมมีค่าต่ำกว่าระบบที่ติดตั้งห้องผสม ในทุกระยะห่างระหว่างหัวฉีด โดยมีค่า L/G สูงสุดเมื่อระยะห่างเท่ากับ 28Dj และมีค่าต่ำลงเมื่อระยะห่างน้อยลง โดยมีค่าต่ำสุดที่ระยะห่างเท่ากับ 17Dj เพราะเมื่อระยะห่างเท่ากับ 11Dj ค่า L/G กลับมีค่าสูงขึ้น ค่า L/G ต่ำสุดเมื่อระยะห่างระหว่างหัวฉีดที่ 17Dj ทั้งแบบที่ติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม โดยที่อัตราการไหลของน้ำ 90 l/min ค่า L/G เท่ากับ 0.129 (0.116 จากการคำนวณเชิงตัวเลข) สำหรับแบบไม่ติดตั้งห้องผสม และเท่ากับ 0.216 (0.194 จากการคำนวณเชิงตัวเลข) สำหรับแบบติดตั้งห้องผสม

4.2.1 การวิเคราะห์แบบจำลองการจัดเรียงหัวฉีดเหนี่ยวนำแบบจัตุรัสที่มีการติดตั้งห้องผสม และไม่มีติดตั้งห้องผสม จากรูปที่ 4.6 แสดงความเร็วในแบบจำลองระหว่างน้ำและอากาศที่การจัดเรียงขนาดต่างๆ (5Dj , 11Dj, 17Dj ,23Dj และ 28Dj) ที่อัตราการไหล 90 l/min กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม พบว่า การกระจายตัวของความเร็วผสมระหว่างน้ำและอากาศในการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสบริเวณลำน้ำและอากาศเคลื่อนที่มีความเร็วสูงสุดและปรับตัวลดลงเมื่อออกห่างจากจุดกึ่งกลางลำน้ำ ระยะห่างการจัดเรียง 28Dj ลักษณะความเร็วน้ำและอากาศมีค่าสูงสุดบริเวณผนังหัวมุมชุดจำลอง ส่งผลให้ความสามารถในการเหนี่ยวนำอากาศต่ำที่สุด และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะห่างการจัดเรียงลดลง (23Dj) โดยค่าความเร็วผสมระหว่างน้ำและอากาศกระจายตัวเหมาะสมที่การจัดเรียง 17Dj และปรับตัวลดลงเมื่อระยะห่างการจัดเรียงมีค่าน้อยลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองรูปที่ 4.5ก ส่วนทางด้านการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสติดตั้งห้องผสมจากรูปที่ 4.7 แสดงความเร็วในแบบจำลองระหว่างน้ำและอากาศที่การจัดเรียงขนาดต่างๆ (5Dj , 11Dj, 17Dj ,23Dj และ 28Dj) ที่อัตราการไหล 90 l/min กรณีติดตั้งห้องผสม พบว่า การกระจายตัวของความเร็วอากาศเข้าห้องผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะการจัดเรียงเพิ่มขึ้น โดยระยะห่าง 17Dj มีค่าความเร็วของอากาศสูงสุด และปรับตัวลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองรูปที่ 4.5ข นอกจากนี้แล้วนั้นลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศกรณีมีห้องผสมส่งผลให้อากาศที่เคลื่อนที่เข้ามาภายในแบบจำลองเกิดการหมุนวนสูงกว่ากรณีไม่มีห้องผสมแสดงในรูปที่ 4.8

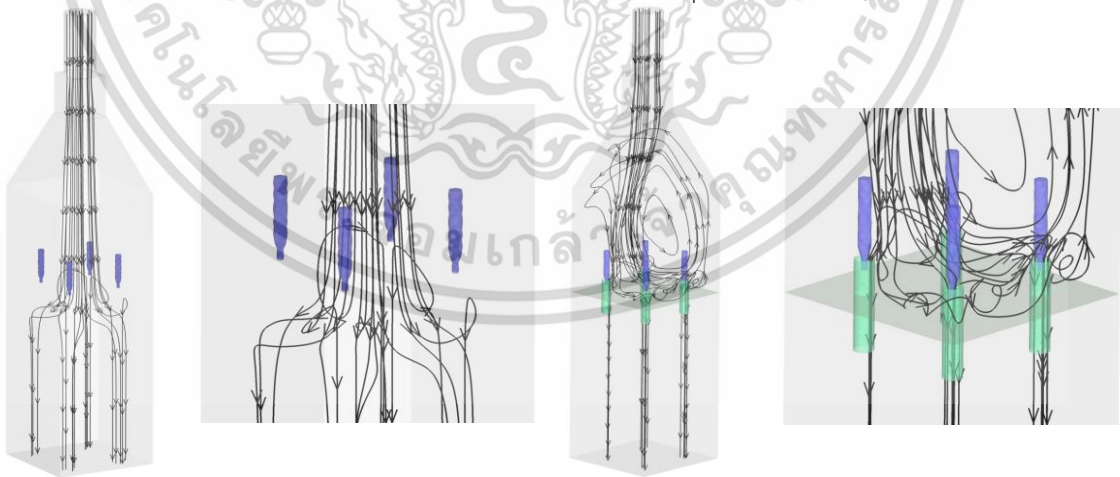


รูปที่ 4.6 Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 l/min

(ความเร็วปลายหัวฉีด 13.26 m/s) ของการจัดเรียงลักษณะจัตุรัสที่ขนาดต่างๆ (ไม่ติดตั้งห้องผสม) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 Contours of Velocity Magnitude (Mixture) อัตราการไหลของน้ำ 90 L/min (ความเร็วปลายหัวฉีด 13.26 m/s) ของการจัดเรียงลักษณะจัตูรัสที่ขนาดต่างๆ (ไม่ติดตั้งห้องผสม)



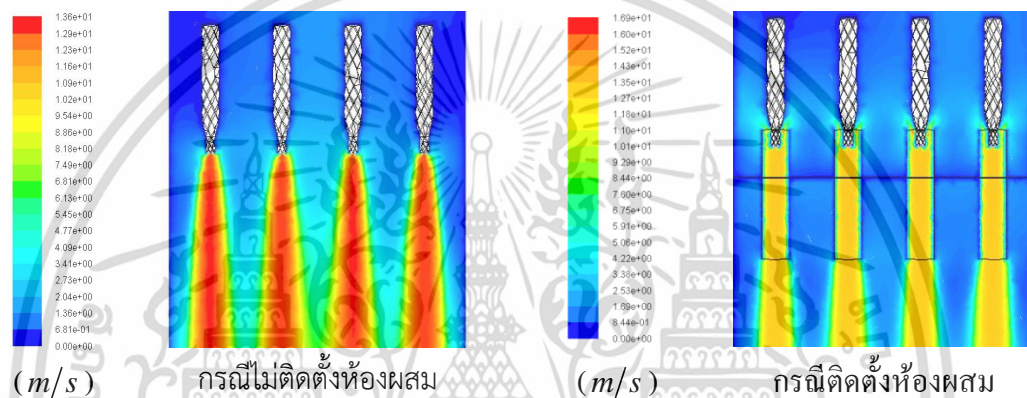
(ก) กรณีไม่มีห้องผสม

(ข) กรณีมีห้องผสม

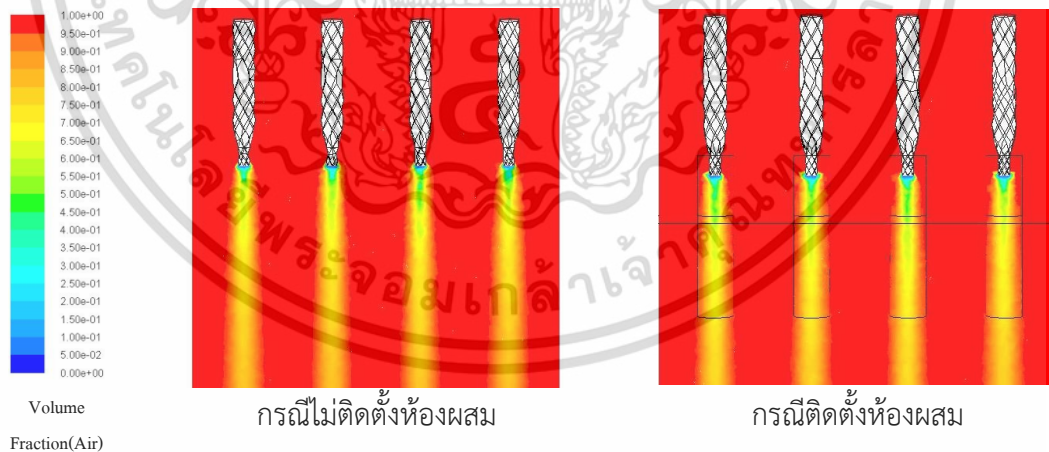
รูปที่ 4.8 ลักษณะการไหลของอากาศภายในชุดทดลองการจัดเรียงลักษณะจัตูรัสที่อัตราขนาด 17Dj (ก) กรณีไม่ติดตั้งห้องผสม (ข) กรณีติดตั้งห้องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุนวนของอากาศ (รูปที่ 4.4ข และ 4.8ข) ภายในแบบจำลองเกิดจากการบังคับให้อากาศไหลผ่านเพียงบริเวณห้องผสมส่งผลให้อากาศที่ถูกเหนี่ยวนำมีอัตราการไหลลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งห้องผสม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองและค่าคำนวณเชิงตัวเลขรูปที่ 4.1 และ 4.5 และงานวิจัยของ Sudip Kumar Das และ Manindra Nath Biswas.(2006) [22] ที่พบว่าอัตราการเหนี่ยวนำอากาศจะลดต่ำลงเมื่ออัตราส่วนของพื้นที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการนำห้องผสมเข้ามาใช้งานในแบบจำลอง Wet Scrubber จะส่งผลถึงการเหนี่ยวนำอากาศลดลง แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศจะเข้าสัมผัสกับน้ำได้ดีกว่าในกรณีไม่มีห้องผสมเนื่องจากกรณีไม่มีห้องผสมมีอากาศบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านแบบจำลองโดยไม่สัมผัสกับน้ำแสดงในรูปที่ 4.9-4.10 ซึ่งประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศโดยมีห้องน้ำผสมสามารถเพิ่มขึ้น โดยการหาอัตราส่วนหัวฉีดกับห้องผสมรวมถึงการออกแบบลักษณะหัวฉีด/ห้องผสมให้เหมาะสม



รูปที่ 4.9 Contour of Mixture Velocity Magnitude ที่อัตราการไหล 90 U/min



รูปที่ 4.10 Contour of Volume Fraction ที่อัตราการไหล 90 U/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างแบบจำลอง และการเทียบผลการทดลอง

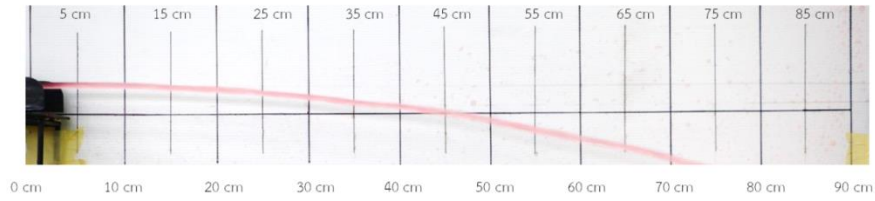
การสร้างรูปจำลองของห้องผสมของของฉืดเหนียวนำอากาศ โดยอ้างอิงขนาดอัตราส่วนเชิงมิติได้ ทำการวิจัยค่าอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉืด (D_j) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม (D_c) มีค่าหนึ่งต่อสามซึ่งทำให้เกิดการเหนียวนำอากาศสูงที่สุด ดังนั้นหัวฉืดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จึงใช้ห้องผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 18 มิลลิเมตรเป็นแบบแผนในการออกแบบห้องผสม

4.3.1 การเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง (Model Validation)

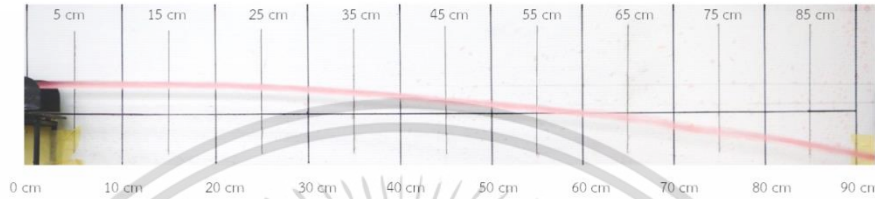
การสอบเทียบผลการจำลองด้วยการทดลองด้วยรูปทรงที่เป็นพื้นฐาน โดยได้ออกแบบการทดลองในการฉีดน้ำที่อัตราไหลที่ 10, 12.5, 15 และ 17.5 ลิตรต่อนาที ที่ความสูง 30 มิลลิเมตรจากจุดอ้างอิงเพื่อดูระยะตกของลำน้ำในแนวระนาบ

ผลการจำลองได้แสดงในลักษณะของสัดส่วนปริมาตรน้ำในของไหลทั้งสองซึ่งจะเป็นการแสดงผลพฤติกรรมการไหลของผสมอย่างชัดเจนจากการสังเกตอัตราส่วนปริมาตรของเฟสที่ปรากฏผลการสอบเทียบการตั้งค่าของแบบจำลองเทียบกับผลทดลองได้แสดงดังรูปที่ 4.11

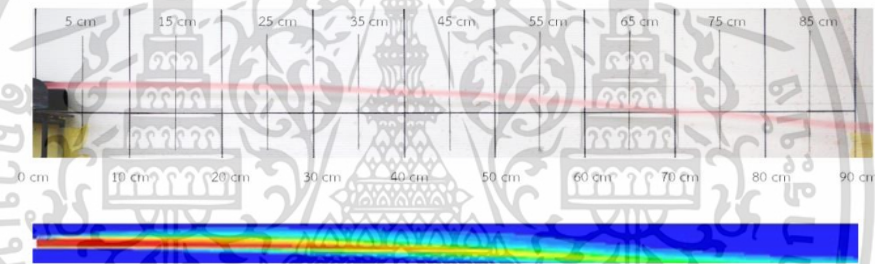




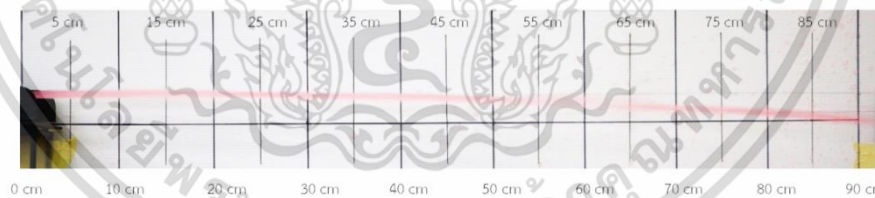
(ก) 10 ลิตรต่อนาที



(ข) 12.5 ลิตรต่อนาที



(ค) 15 ลิตรต่อนาที

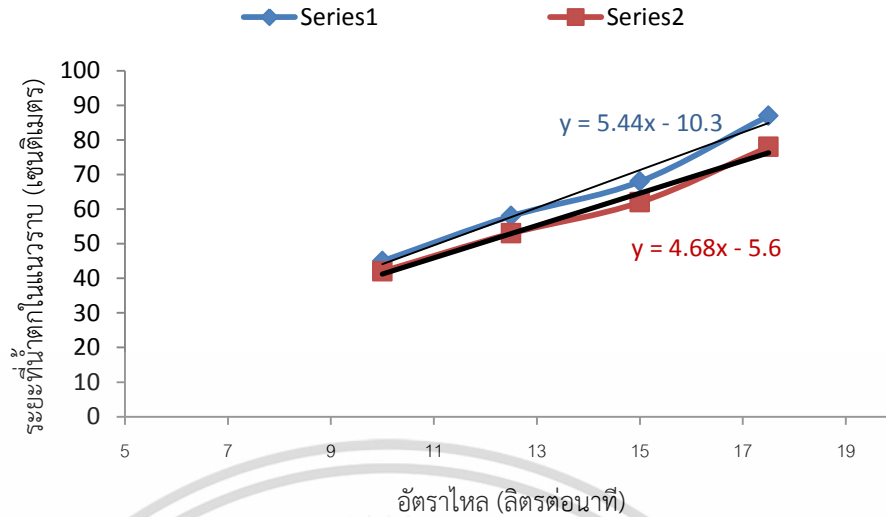


(ง) 17.5 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 4.11 การสอบเทียบผลการจำลองด้วยการทดลองหาความยาวระยะยกในแนวราบของน้ำจาก ความสูง 30 มิลลิเมตรและที่อัตราการไหลต่าง

เมื่อทำการวัดระยะตกของน้ำจากการทดลองกับระยะจากผลการจำลอง ได้แสดงเป็นกราฟ เปรียบเทียบของระยะตกกับอัตราไหลดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีค่าความแตกต่างของความชันเส้นตรงของ ข้อมูลระยะทั้งสอง 8.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเพียงพอที่จะยอมรับได้ของการสอบเทียบแบบจำลอง

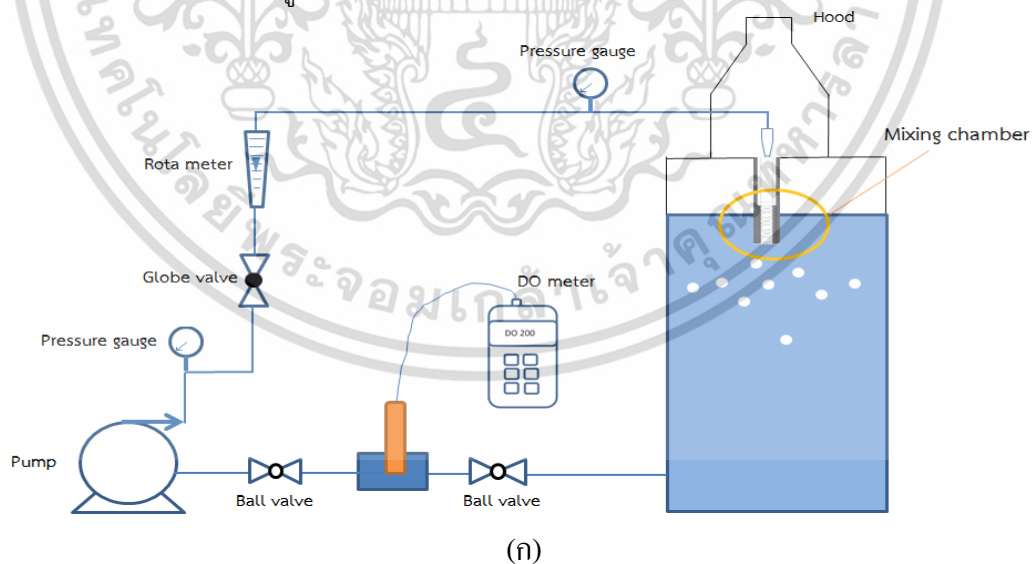
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การสอบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองหาความยาวระยะยกในแนวราบของน้ำจาก ความสูง 30 มิลลิเมตรจากระดับอ้างอิง

4.4 ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

การออกแบบชุดทดลองของชุดห้องผสม ได้ดูการผสมจากการถ่ายโอนออกซิเจน ในการทดลอง ได้ทำการล้างออกซิเจนน้ำในถังผสมออกก่อน เมื่อเริ่มการทดลอง น้ำที่ค่าความเข้มข้นออกซิเจนเป็น ศูนย์จะถูกปั๊มมาสู่หัวฉีดเพื่อเหนี่ยวนำอากาศ เมื่ออากาศถูกเหนี่ยวนำจะเข้าสู่ห้องผสมทำให้เกิดการ แลกเปลี่ยนมวลของออกซิเจนลงสู่น้ำที่มีค่าความเข้มข้นออกซิเจนต่ำกว่าจากนั้นของผสมจึงไหลออกสู่ ถังผสม กระบวนการนี้จะทำการเติมออกออกซิเจนน้ำในถังผสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าอิ่มตัวของ ออกซิเจนของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

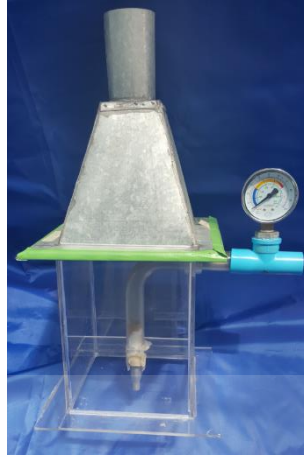


(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) แผนผังชุดทดลอง (ข) การติดตั้งชุดทดลองจริง

โดยการออกแบบหัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศที่นำมาใช้ทดลองถูกออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดที่ 6 มิลลิเมตร การออกแบบขนาดสัดส่วนต่างๆเป็นไปตามมาตรฐาน ASME (American Society Mechanical Engineering) ห้องเหนี่ยวนำอากาศมีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 15x15x20 เซนติเมตรได้ใช้ท่อออลิลิค ที่ยึดที่ปลายทั้งสองข้างติดแน่นกับผนังของห้องเหนี่ยวนำ ที่ปลายได้ยึดกับหัวฉีดที่บริเวณกึ่งกลางห้องผสม ด้านบนได้ติดปล่องดูดอากาศ (Hood) ซึ่งถูกออกแบบตามมาตรฐาน ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) โดยขนาดพอดีกับขนาดห้องเหนี่ยวนำ แผ่นออลิลิคที่ใช้มีความหนา 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ห้องผสม (Mixing Chamber) ห้องผสมที่ใช้ในการทดลอง คือ ห้องผสมเปล่าที่ไม่ติดใบพัด ห้องผสมถูกทำขึ้นจากท่อออลิลิคใส เพื่อสะดวกในการศึกษาสภาพฟองอากาศที่เกิดขึ้น ขนาดห้องผสมเท่ากับ 18 มิลลิเมตร มีความยาว 250 มิลลิเมตร ในการทดลองห้องผสมได้ถูกยึดไว้กับกับผสมส่วนบนที่มีลักษณะเป็นกล่องออลิลิคใส มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 15x15x30 เซนติเมตร มีแผ่นปีกสำหรับเกาะยึดกับห้องเหนี่ยวนำอากาศด้านบนและถึงผสมด้านล่างเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 25x5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ห้องเหนี่ยวนำอากาศ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 (ก) ห้องผสมที่ไม่ติดใบบิด (ข) กล่องยึดห้องผสมกับชุดทดลอง

ผลการทดลองการเติมอากาศพบว่า เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นระยะเวลาการเติมอากาศถึงจุดอิ่มตัวใช้เวลาน้อยลง ส่วนทางด้านสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการเติมอากาศและประสิทธิภาพการเติมออกซิเจนพบว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นสูงขึ้นสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการเติมอากาศและประสิทธิภาพการเติมออกซิเจนมีค่าสูงขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบอัตราการไหล ความเข้มข้นของออกซิเจน และเวลา

ชนิดห้องผสม	อัตราไหล (LPM)	ค่าความเข้มข้นออกซิเจนที่จุดอิ่มตัว (mg/L)	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าความเข้มข้นอิ่มตัว (s)	$k_L a$ (per hour)	AE_T (kgO ₂ /kWh)
ห้องผสมที่ไม่ติดใบบิด	6	6.28	4200	2.14	2.13
	8	6.61	2280	3.57	3.55
	10	6.78	1800	4.68	4.66
	12	6.81	1200	7.72	7.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองหัวฉีดเหนียวนำแบบหลายหัว

ชุดทดลองการเติมอากาศแบบเหนียวนำเป็นชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองห้องผสมผนังเรียบ แสดงแผนผังดังรูปที่ 4.16 ห้องผสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร จำนวน 8 ห้องผสม และมีระยะห่างระหว่างห้องผสมเท่ากับ 45 มิลลิเมตรจากจุดศูนย์กลางของห้องผสมดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ชุดทดลองการเติมอากาศแบบเหนียวนำ



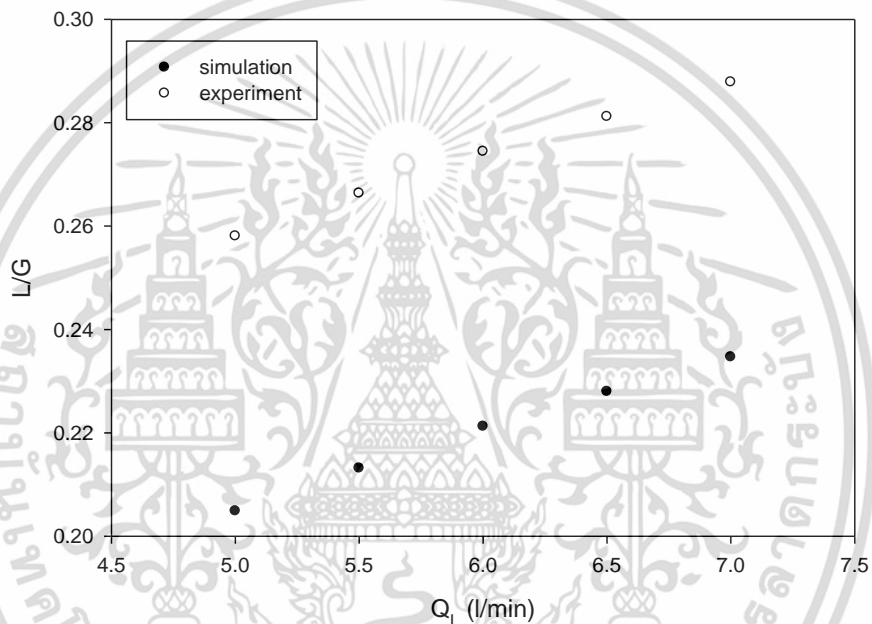
รูปที่ 4.17 ระยะห่างระหว่างห้องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองการเหนี่ยวนำอากาศห้องผสมผิวเรียบ

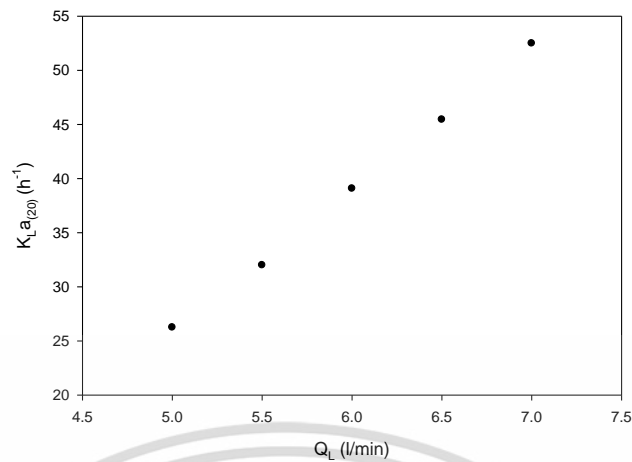
4.6.1 อัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซ (Liquid to Gas Ratio)

ในรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหลของของเหลวต่อก๊าซกับอัตราการไหลของของน้ำบริเวณปลายหัวฉีด กรณีห้องผสมมีผิวเรียบจากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซจากการทดลองและค่าอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซจากผลคำนวณเชิงตัวเลข พบว่าในช่วงอัตราการไหลของการคำนวณเชิงตัวเลขมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซจากการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.32%



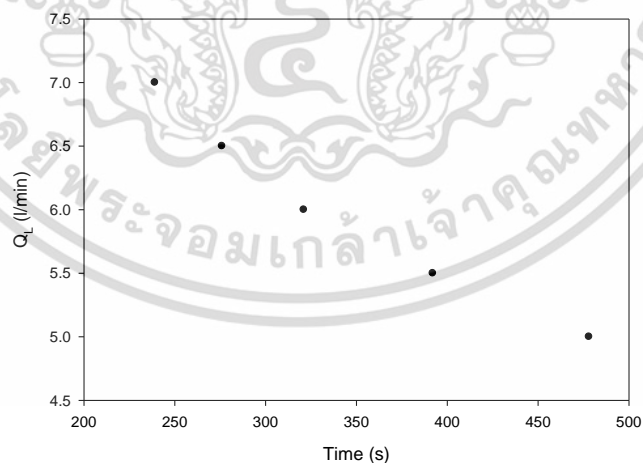
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซกับอัตราการไหลของของเหลว กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ

4.6.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Oxygen Transfer Coefficient at 20 °C) ในรูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐานกับอัตราการไหลของน้ำบริเวณปลายหัวฉีด กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นอย่างคงที่ การเติมออกซิเจนที่อัตราการไหลสูงสุด 7 ลิตรต่อนาที มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจน 52.48 ต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่ามากกว่า 2 เท่าจากการเติมออกซิเจนที่อัตราไหล 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน กับอัตราการไหลต่างๆของน้ำบริเวณปลายหัวฉีด กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ

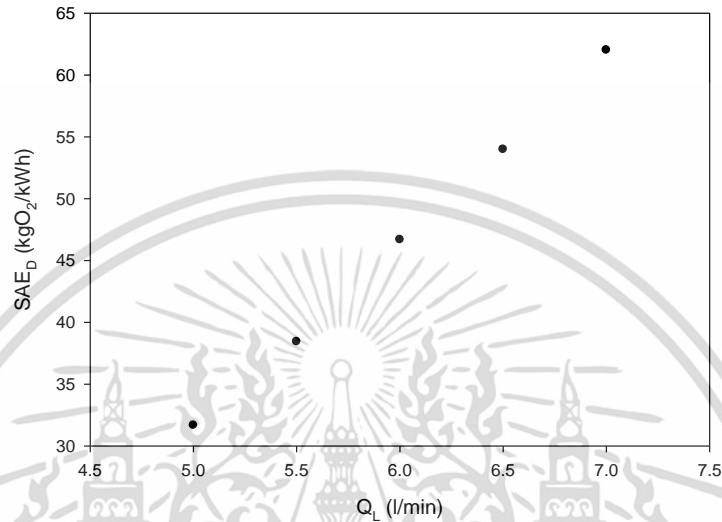
4.6.3 ระยะเวลาการเติมอากาศในรูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอิมตัวของออกซิเจนกับอัตราการไหลของน้ำที่บริเวณปลายหัวฉีด กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ จากการทดลองพบว่า การเติมออกซิเจนจาก 0 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงจุดอิมตัว เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาอิมตัวของออกซิเจนลดลง โดยลักษณะระยะเวลาการเติมออกซิเจนนั้นที่อัตราการไหล 5-6 ลิตรต่อนาทีใช้เวลาในการเติมออกซิเจนลดลงและลดลงอย่างรวดเร็วที่อัตราการไหล 6-7 ลิตรต่อนาที การเติมอากาศที่อัตราการไหลสูงสุด 7 ลิตรต่อนาที ใช้ระยะเวลาการเติมออกซิเจนจาก 0 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงจุดอิมตัว 240 วินาทีซึ่งใช้เวลาในการเติมออกซิเจน 50.2% จากอัตราการไหลของน้ำ 5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาอิมตัวของออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน กับอัตราการไหลต่างๆของน้ำ กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 ประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Aeration Efficiency; SAE_D) ในรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐานกับอัตราการไหลของน้ำ กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเติมอากาศปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลบริเวณปลายหัวฉีด 7 ลิตรต่อวินาทีเป็นอัตราการไหลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 62.01 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเติมอากาศที่สภาวะมาตรฐานกับอัตราการไหลต่างๆของน้ำ กรณีห้องผสมมีผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุป

5.1 สรุป

บทความนี้ทำการศึกษาการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศแบบเป็ยกเปรียบเทียบกับระหว่างผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการทดลอง การศึกษาการจัดเรียงหัวฉีดเหนียวนำของเหลว-ก๊าซในเครื่องบำบัดอากาศกำหนดความเร็วของของเหลวที่ปลายหัวฉีดอยู่ในช่วง $7.37-13.26 \text{ m/s}$ ลักษณะการจัดเรียงประกอบด้วยการจัดเรียงเส้นตรง และจตุรัส พบว่า การจัดเรียงลักษณะจตุรัสสามารถเหนียวนำอากาศสูงกว่าการจัดเรียงลักษณะเส้นตรงซึ่งลักษณะจากจัดเรียงจตุรัสที่มีค่าสุดได้แก่ $17D_j$, $23D_j$, $11D_j$, $5D_j$ และ $28D_j$ ตามลำดับทั้งกรณีติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม การจัดเรียงเส้นตรงมีค่าสุดได้แก่ $8D_j$, $9D_j$, $7D_j$, $6D_j$ และ $5D_j$ ตามลำดับทั้งกรณีติดตั้งห้องผสมและไม่ติดตั้งห้องผสม โดยสมรรถนะความสามารถการเหนียวนำอากาศสูงสุดประมาณ 0.12 จากการคำนวณเชิงตัวเลข และ 0.13 จากการทดลอง ในการจัดเรียงแบบจตุรัส

แต่ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาการผสมระหว่างน้ำและอากาศ กรณีติดตั้งห้องผสมจะสามารถผสมน้ำและอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีไม่ติดตั้งห้องผสม แต่จะสามารถเหนียวนำอากาศได้ต่ำกว่ากรณีไม่ติดตั้งห้องผสม โดยความสามารถในการเหนียวนำอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเร็วของของเหลวที่ปลายหัวฉีดเพิ่มขึ้นแต่จะลดลงเมื่ออัตราส่วนของพื้นที่เพิ่มขึ้นส่วนทางการศึกษาเชิงตัวเลข พบว่า ผลการคำนวณเชิงตัวเลขมีความสอดคล้องเช่นเดียวกับผลการทดลอง

ส่วนทางการนำหัวฉีดเหนียวมาประยุกต์ใช้แบบหลายหัวพบว่าอัตราส่วนการเหนียวนำน้ำต่ออากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศและประสิทธิภาพการเติมอากาศที่มีการปรับตัวสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มสูงขึ้น สาเหตุของการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศและประสิทธิภาพการเติมอากาศมาจากระยะเวลาการเติมอากาศที่มีค่าน้อยลงในการเติมอากาศ โดยพบว่ามีอัตราการไหลต่ำระยะเวลาการเติมอากาศมีค่าสูง

สัญลักษณ์และตัวย่อ

Q	คือ อัตราการไหลของของไหล (m^3/s)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล (m^2)
v	คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ (m/s)
\dot{m}	คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
g	คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)
ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
σ	คือ surface tension (N/m)
C_d	คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการเคลื่อนที่
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)
L	คือ อัตราการไหลของของเหลว (m^3/s)
G	คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
Re	คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์
D_h	คือ ขนาดความโตภายในของท่อไฮดรอลิก (m)
μ	คือ ความหนืดของของเหลวแบบไดนามิก ($kg/(m \cdot s)$ หรือ $N \cdot s/m^2$)
ν	คือ ความหนืดของของเหลวแบบคิเนมาติก (m^2/s)
P	คือ ระยะทางของเส้นรอบรูปที่สัมผัสการไหลเท่านั้น
ตัวย่อ	
g	คือ ก๊าซ
l	คือ ของเหลว
d	คือ หยดน้ำ
r	คือ สัมผัส

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schnelle, B. J. and Brown, A., 2002, Air pollution control technology handbook, Florida, CRC Press.
- [2] Agrawal, K. S., 2013, Performance of Venturi Scrubber, International Journal of Engineering Research and Development 7, 53-69.
- [3] Cheremisinoff, P. N., 1993, Air pollution control and design for industry, New York: Marcel Dekker.
- [4] Bethea, R. M., 1978, Air pollution control technology: an engineering analysis point of view, New York Van Nostrand Reinhold.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Venturi_scrubber
- [6] Brady, J. D., and Legatski, L. K., 1977, Air Pollution Control and Design Handbook Part 2, New York, Marcel Dekker.
- [7] Mayinger, F., and Lehner, M., 1995, Operating results and aerosol deposition of a venturi scrubber in self-priming operation, Chemical Engineering and Processing 34, 283-288.
- [8] Gopalan, R., Viswanathan, S., Santosh K. G. and Madhumita, B. R., 2003, Multi-objective optimization of venture scrubbers using a three-dimensional model for collection efficiency, J Chem Technol Biotechnol. 78, 308-313.
- [9] Sanger, N. L., 1970, An Experimental Investigation of Several Low-Area-Ratio Water Jet Pumps, J Basic Eng 92(1), 11-19.
- [10] Gosline, E. and O'Brien, M. P., 1934, The water jet pump, Univ. of Calif. In Eng.3(3), 167-190
- [11] Prabkeao, C. and Aoki, K., 2005, Study on the optimum mixing throat length for drive nozzle position of the central jet pump, Journal of Visualization 8(4), 347-355.
- [12] Surjosatyo, A. and Farid, N. A., 2001, A numerical study of air flow in c coaxial pipe, Jurnal Teknologi 34(A), 1-15.
- [13] Joepad, B. and Thianpong, C., 2003, Study and design of venturi water cyclone scrubber, The 17th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, 185-190.
- [14] <http://ispatguru.com/air-pollution-control-control-of-particulate-emissions/>
- [15] Myoung, I. K., Og, S. K., Dong, H. L., and Sang, D. K., 2007, Numerical and experimental investigations of gas-liquid dispersion in an ejector, Chemical Engineering Science 62, 7133-7139.

- [16] Chen,W., Shi, C., Hu, M., Chong, D., Wang, J. and Yan J., 2014, Numerical and experimental analysis of two phase flow in ejector, Energy Procedia 61, 1298–1301.
- [17] Nukiyama, S., and Tanasawa, Y., 1938, An experiment on the atomisation of liquid by means of air stream, Transactions of the Society of Mechanical Engineers (Japan) 14(4), 86-93.
- [18] Boll, R. H., 1973, Particle collection and pressure drop in venturi scrubbers, Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals 12(1), 40-50.
- [19] Dickinson, D. R. and Marshall, W. R., 1968, The rates of evaporation of sprays, AIChE Journal 14, 541-552.
- [20] FLUENT Inc., 2009. FLUENT 12. user's guide.
- [21] Majid, A., Changqi, Y., Zhongning, S., Haifeng, G. and Khurram, M., 2012, Dust particle removal efficiency of a venturi scrubber, Annals of Nuclear Energy 54, 178-183.
- [22] Sudip, K. D., and Manindra, N. B., 2006, Studies on ejector-venturi fume scrubber. Chemical Engineering Journal 119, 153–160.
- [23] Kirasamutranon, K., Jayranaiwachira, N., and Thianpon, C., 2014, Dimension ratio of inducing jet for gas-liquid mixing, The 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 87-95.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นางสาวณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ
ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
B.Eng.	Agricultural and Food Engineering	KMITL, Thailand	2534
M.Phil.	Chemical Engineering	The University of Manchester, UK	2540
Ph.D.	Chemical Engineering	The University of Manchester, UK	2543

ชื่อ-สกุล นายชินรักษ์ เขียรพงษ์
ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
B.Eng.	Mechanical Engineering	KMITL, Thailand	2534
M.Sc.	Mechanical Engineering	The University of Manchester, UK	2538
Ph.D.	Mechanical Engineering	The University of Manchester, UK	2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้