

การประยุกต์เจ็ทปั๊มเหนี่ยวเอาอากาศสำหรับการเติมออกซิเจนในน้ำ

APPLICATION OF WATER-AIR JET PUMP FOR WATER AERATION



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-030-107

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับการเติมออกซิเจนในน้ำ

APPLICATION OF WATER- AIR JET PUMP FOR WATER AERATION



T117911



ขวัญชัย เกตุทอง

KWANCHAI KETTHONG

วท.
ป.262ก
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117911

22 ค.ค. 2554

b.....
i.....

12348387

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2554
KMITL-2011-EN-M-030-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF WATER- AIR JET PUMP FOR WATER AERATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL-2011-EN-M-030-107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011






FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์เจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับการเติมออกซิเจนในน้ำ
Thesis Title APPLICATION OF WATER-AIR JET PUMP FOR WATER AERATION
นักศึกษา นายขวัญชัย เกตุทอง
รหัสประจำตัว 50060303
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2011-EN-M-030-107

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.จำลอง	ปราบแก้ว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์เจ็ดปั้มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับการเติมออกซิเจน ในน้ำ
นักศึกษา	นายขวัญชัย เกตุทอง
รหัสนักศึกษา	50060303
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. จำลอง ปรามแก้ว

บทคัดย่อ

การเติมออกซิเจนในน้ำสำหรับงานบำบัดน้ำเสีย หรือ การเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
ต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่นการใช้เครื่องตีน้ำ กังหันน้ำ การใช้หัวฉีดพ่นน้ำ การใช้เจ็ดปั้มที่มี
น้ำเป็นของไหลขับเคลื่อนเหนี่ยวนำอากาศพ่นลงในน้ำน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ ได้
เนื่องจากเจ็ดปั้มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุน โดยมีส่วนประกอบหลักที่
สำคัญคือ หัวฉีด, ท่อผสม และ ท่อลดความเร็ว ในการออกแบบเจ็ดปั้มจะต้องคำนึงถึงตัวแปร
ต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเจ็ดปั้ม เช่น อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D), รูปแบบของหัวฉีด และ ค่าความเสียดทานต่างๆ บทความนี้ได้
ศึกษาถึงสมรรถนะของเจ็ดปั้มที่ใช้เหนี่ยวนำอากาศจากท่อดูดเพื่อเติมออกซิเจนในน้ำโดยการ
ทดลอง เพื่อหาค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D)
ที่ทำให้เจ็ดปั้มมีอัตราการไหลเข้าของอากาศทางท่อดูดสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วน
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 จะได้ค่า
ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 26.19 % โดยมีอัตราส่วนกรไหลเข้าของอากาศต่ออัตราการไหลเข้า
ของน้ำ (Q_g/Q_w) เท่ากับ 0.82

Thesis Title	APPLICATION OF WATER-AIR JET PUMP FOR WATER AERATION
Student	Mr.Kwanchai Ketthong
Student ID.	50060303
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc.Prof .Dr.Chamlong Prabkaew

ABSTRACT

Oxygen addition in the water for the waste water treatment or oxygen addition in a pond for aquatic animal can do many the way. Such as using water turbine, using jet pump adds oxygen etc. Using jet pump that have the water is fluid drives to pull lead the air blows to appeared the water should be the one choice will to can apply. Jet pump has a simple structure. There are no parts which move or rotate with the core components is critical nozzle, mixing chamber and diffuser. There are many applications in engineering to use such as waste water treatment for industrial work. The jet pump design must consider variables that affect. For example, efficiency of jet pump-like nozzle head area ratio of Jet head to mixing throat (d/D), size and format of the nozzle head. As well as the value of friction. This paper will study the performance of Water-air jet pump inductance used to suck the air in the pipes that apply with waste water treatment. The size of the nozzle head find the most suitable for Water-air jet pump. Inductance will cause the air to high performance. The analytical equations for calculating performance and then perform experiments to find the effect of cutting face area ratio of nozzle head to mixing throat (d/D) results show that the intersection of the face area ratio nozzle head with mixing throat (d/D) is 0.5 to maximum efficiency is 26.19% performance fee that flow rate ratio (Q_s/Q_w) is 0.82

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดีจากบุคคลที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

รศ.ดร.จำลอง ปรารบแก้ว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และการแก้ปัญหาต่างๆ ที่พบในระหว่างงานวิจัยนี้

ผศ.มณฑล ใจกุศล ที่ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์การทดลองตลอดจนแนววิธีการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกันเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมทั้งน้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ทำให้กำลังใจและการสนับสนุนในด้านต่างๆ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา และมารดาเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



ขวัญชัย เกตุทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
สัญลักษณ์และตัวแปร.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 โครงร่างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีเจ็ตปั๊ม และการเติมออกซิเจนในน้ำ.....	9
3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเจ็ตปั๊ม.....	9
3.2 การประยุกต์ใช้เจ็ตปั๊มสำหรับเหนี่ยวนำอากาศ.....	10
3.3 การคำนวณประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับงานบำบัดน้ำเสีย.....	11
3.3.1 ข้อสมมุติฐานในการคำนวณ.....	11
3.3.2 การวิเคราะห์พลังงานทางทอสูด.....	12
3.3.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อน.....	13
3.3.4 การวิเคราะห์สมการประสิทธิภาพ.....	15
3.3.5 การวิเคราะห์ความเร็วด้านดูด.....	15
3.3.6 การวิเคราะห์ความเร็วด้านท่อขยาย.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.7 การวิเคราะห์ความดันด้านคูด	17
3.3.8 การวิเคราะห์ความดันด้านส่ง	17
3.4 การเติมออกซิเจนในน้ำ	19
3.4.1 ทฤษฎีการเติมออกซิเจน	19
3.4.2 ขั้นตอนการเติมออกซิเจนในน้ำ	19
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	22
4.1 ชุดทดลอง	22
4.2 การเตรียมอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	24
4.2.1 หัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	24
4.2.2 ท่อผสม	25
4.2.3 หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	26
4.2.4 หัวต่อท่อทางคูด	27
4.2.5 ถังพักลม	28
4.2.6 ถังบรรจุน้ำ	28
4.2.7 เครื่องสูบน้ำ	29
4.2.8 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ	30
4.2.9 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ	30
4.2.10 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน	31
4.3 การสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด	32
4.3.1 วิธีการสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด	32
4.3.2 ผลการสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด	33
4.4 วิธีการทดลอง	33
4.4.1 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	33
4.4.2 การทดลองเพื่อหาเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่เติมออกซิเจนได้ดีที่สุด	34
4.5 ผลการทดลอง	36
4.5.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 4 mm	36

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.2 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 4 mm	37
4.5.3 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 4 mm	38
4.5.4 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 6 mm	42
4.5.5 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 6 mm	43
4.5.6 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 6 mm	44
4.5.7 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 8 mm	48
4.5.8 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 8 mm	49
4.5.9 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ดบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด เท่ากับ 8 mm	50

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.10 ผลการทดลองเพื่อหาเจ็ทปั๊มเหนียวนำอากาศที่เติมออกซิเจน ได้ดีที่สุด.....	54
4.5.10.1 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมอากาศที่อัตราการไหล ผ่านปั๊มน้ำที่ 40 l/min.....	54
4.5.10.2 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมอากาศที่อัตราการไหล ผ่านปั๊มน้ำที่ 50 l/min.....	55
4.5.10.3 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมอากาศที่อัตราการไหล ผ่านปั๊มน้ำที่ 60 l/min.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	59
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	67
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	82
ภาคผนวก จ.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ.....	21
ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 10 l/min.....	64
ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 20 l/min.....	64
ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 30 l/min.....	65
ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 40 l/min.....	65
ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 50 l/min.....	66
ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบ โรตาที่อัตราการไหล 60 l/min.....	66
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=5, l/d=15$).....	68
ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=5, l/d=14$).....	68
ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=5, l/d=13$).....	68
ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=15$).....	69
ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=14$).....	69
ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=13$).....	69
ตารางที่ ข.7 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=15$).....	70
ตารางที่ ข.8 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=14$).....	70
ตารางที่ ข.9 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=13$).....	70
ตารางที่ ข.10 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=10$).....	71
ตารางที่ ข.11 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=9.5$).....	71
ตารางที่ ข.12 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=8.6$).....	71
ตารางที่ ข.13 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=10$).....	72
ตารางที่ ข.14 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=9.5$).....	72
ตารางที่ ข.15 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=8.6$).....	72
ตารางที่ ข.16 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=10$).....	73
ตารางที่ ข.17 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=9.5$).....	73
ตารางที่ ข.18 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=8.6$).....	73
ตารางที่ ข.19 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=7.7$).....	74
ตารางที่ ข.20 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=7.1$).....	74
ตารางที่ ข.21 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=6.5$).....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.22 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=7.7$).....	75
ตารางที่ ข.23 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=7.1$).....	75
ตารางที่ ข.24 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=6.5$).....	75
ตารางที่ ข.25 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=7.7$).....	76
ตารางที่ ข.26 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=7.1$).....	76
ตารางที่ ข.27 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=6.5$).....	76
ตารางที่ ข.28 ตารางแสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 40 l/min.....	77
ตารางที่ ข.29 ตารางแสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 50 l/min.....	78
ตารางที่ ข.30 ตารางแสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 60 l/min.....	79



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงไดอะแกรม Hydro Ejector ของ Morchain et al.	4
2.2 แสดงรูปแบบของโดเมนที่ใช้ในโปรแกรม CFD ของ Morchain et al.	5
2.3 แสดงโครงสร้างของ Ejector ของ SURJOSATYO และ NASIR	5
2.4 แสดงไดอะแกรมชุดทดลองของ Baylar et al.	6
2.5 แสดงไดอะแกรมชุดทดลองของ Jifei et al.	7
2.6 แสดงไดอะแกรมเจ็ทปั๊มของ Senthil et al.	7
3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของเจ็ทปั๊ม	9
3.2 แสดงลักษณะการประยุกต์ใช้งานเจ็ทปั๊ม	10
3.3 แสดงลักษณะตำแหน่งต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์	11
3.4 แสดงตำแหน่งที่พิจารณาบนหัวฉีด	13
3.5 แสดงลักษณะตำแหน่งที่พิจารณา และปริมาตรควบคุม	16
3.6 แสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของอากาศสู่ฟิล์มของชั้นของเหลว	19
4.1 ชุดทดลองเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	22
4.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	23
4.3 ลักษณะหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	24
4.4 หัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	24
4.5 ลักษณะท่อผสม	25
4.6 ท่อผสมขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	25
4.7 หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ	26
4.8 หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	26
4.9 หัวต่อท่อทางดูด	27
4.10 หัวต่อท่อทางดูดที่ใช้ในการทดลอง	27
4.11 ถังพักลม	28
4.12 ถังบรรจุน้ำ	29
4.13 เครื่องสูบน้ำ	29
4.14 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ	30
4.15 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ	31
4.16 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน	31
4.17 ผลการสอบเทียบของมาตรวัดแบบโรตา	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ใช้บันทึกผลการทดลอง.....	33
4.19 โซเดียมซัลไฟด์ และวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	35
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$, $L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ.....	36
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$, $L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ.....	37
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$, $L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ.....	38
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5$, 7 และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $1/d = 15, 14$ และ 13 ตามลำดับ.....	39
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.3$ โดย เปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $1/d = 15, 14$ และ 13 ตามลำดับ.....	40
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.3$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับและเปลี่ยนแปลง $1/d = 15, 14$ และ 13 ตามลำดับ.....	41
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ.....	36
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ.....	43
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง $1/d$ ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ.....	44
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $1/d = 10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ.....	46
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับและเปลี่ยนแปลง $l/d = 10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ.....	47
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6, L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ $7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	48
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6, L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ $7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	49
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6, L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ $7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	50
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	51
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	52
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับและเปลี่ยนแปลง $l/d = 7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ.....	53
4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 40 l/min.....	54
4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 50 l/min.....	55
4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 60 l/min.....	56

สัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (Nomenclature)

	หน่วย
A : พื้นที่หน้าตัด (Area)	m^2
B : อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดระหว่างหัวฉีดและห้องผสม (Nozzle head area ratio of Jet head to mixing throat, d/D)	—
H : การสูญเสียเฮด (Loss of head)	m
P : ความดัน (Pressure)	bar
Q : อัตราการไหลโดยปริมาตร (Volumetric flow rate)	m^3
v : ความเร็ว (Velocity)	m/s
\dot{m} : อัตราการไหลโดยมวล (Weight flow rate)	kg/s
γ : น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)	—
ρ : ความหนาแน่น (Density)	kg/m^3
ϵ : อัตราการไหลของมวลอากาศต่ออัตราการไหลของมวลทั้งหมด (Air ratio with Total mass flow ratio)	—
k : Boltzmann's constant (1.3806×10^{-23} J/K)	—
Φ : อัตราการไหล (Flow rate ratio)	—
η : ประสิทธิภาพ (Efficiency)	—
P_1 : ความดันที่ตำแหน่งที่ 1 (Pressure at point 1)	bar, kPa, kg/cm^2
P_2 : ความดันที่ตำแหน่งที่ 2 (Pressure at point 2)	bar, kPa, kg/cm^2
v_1 : ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 1 (Velocity at point 1)	m/s
v_2 : ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 2 (Velocity at point 2)	m/s
γ_1 : น้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ตำแหน่งที่ 1 (Specific weight at point 1)	kN/m^3
γ_2 : น้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ตำแหน่งที่ 2 (Specific weight at point 2)	kN/m^3
α : สัมประสิทธิ์ของความเร็ว (Coefficient of velocity)	—
μ : ค่าสัมประสิทธิ์การลื่นไถล (Slip factor)	—
C_s : ความเข้มข้นอ็อกซิเจนของออกซิเจน (Oxygen concentration)	mg/l
S : ความเข้มข้นเกลือแร่ในน้ำ (Chloride Concentration in Water)	mg/l
T : อุณหภูมิของน้ำ (Water temperature)	$^{\circ}C$
T_s : อุณหภูมิมาตรฐาน (Standard water temperature)	$^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ(ต่อ)

	หน่วย
L : ระยะความยาวของห้องผสม (Length of mixing throat)	mm
l : ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสม (Length of Nozzle head with mixing throat)	mm
d : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Diameter of Nozzle head)	mm
D : ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (Diameter of mixing throat)	mm
Hp : แรงม้า (Horse power)	watt
l/min : ลิตร ต่อ นาที	—
GPM : แกลลอน ต่อ นาที	—
LPM : ลิตร ต่อ นาที	—
DO : ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)	mg/l

สัญลักษณ์ตัวห้อย (Subscript)

d	: ด้านท่อส่ง (Diffuser)
w , j	: หัวฉีด (Nozzle)
mc	: ห้องผสม (Mixing chamber)
s	: ด้านที่ดูด (Suction side)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันนี้ มลภาวะทางน้ำที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำอย่างมากมาย น้ำเสียจากชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากอาจจะมึกลิ่น สีดำคล้ำและอาจมีสารเคมีที่มีพิษเจือปนอยู่ด้วยเมื่อน้ำเสียไหลลงสู่แหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ก็จะแปรสภาพจากแหล่งน้ำที่สะอาดตามธรรมชาติให้กลายเป็นแหล่งน้ำเสียไป ทำให้ไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นมาใช้เพื่ออุปโภค หรือบริโภคได้อีกต่อไป อีกทั้งยังส่งกลิ่นตลบไปทั่วบริเวณ ทำให้อากาศที่หายใจไม่บริสุทธิ์ เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและความเป็นอยู่ของประชาชนอย่างร้ายแรง ปลาทั้งหลายที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ หากไม่ตายก็ต้องอพยพหนีไปอยู่ที่อื่น ส่วนที่ทนอาศัยอยู่ต่อไปได้เนื่อจะมีรสชาติผิดแปลกไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นไม่เพียงแต่ในด้านอนามัยของประชาชนเท่านั้น หากยังกระทบกระเทือนถึงเศรษฐกิจของประเทศด้วยเพราะว่ากิจการที่ต้องใช้น้ำเป็นวัตถุดิบ เช่น การประปา และการอุตสาหกรรม ไม่อาจจะนำน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติเหล่านี้ไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ได้ เป็นเหตุให้ต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันและบำบัดน้ำก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ปัจจุบันทั่วไปแล้วมีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสีย หรือเรียกว่า ออกซิเจนละลายในน้ำ เช่น การใช้กังหันลอยน้ำเพื่อตีน้ำเพิ่มปริมาณออกซิเจน การใช้อุปกรณ์แรงดันสูงพ่นน้ำลงไปใต้น้ำอีกครั้ง เป็นต้น ซึ่งการใช้อุปกรณ์แรงดันสูงพ่นน้ำ หรือเรียกว่าเจ็ตปั๊มพ่นน้ำลงไปนั้นมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนได้ดี

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ และตำแหน่งการติดตั้งเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยพิจารณาถึงปริมาณของออกซิเจนที่เจ็ตปั๊มสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ดีที่สุด

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ที่ผ่านมาการเติมออกซิเจนในน้ำมีหลายวิธีเช่น การใช้เจ็ตปั๊มที่มีน้ำเป็นของไหลขับดันเหนี่ยวนำอากาศพ่นลงในน้ำน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ได้ เนื่องจากเจ็ตปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุน โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ หัวฉีด ท่อผสม และท่อลดความเร็ว การออกแบบเจ็ตปั๊มจะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อ

สมรรถนะของเจ็ทปั๊ม เช่น อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) รูปแบบของหัวฉีด และค่าความเสียดทานต่าง ๆ บทความนี้ได้ศึกษาถึงสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเพื่อใช้เหนี่ยวนำอากาศ (ออกซิเจน) เข้าทางท่อดูดเติมลงในน้ำ โดยวิธีการทดลอง เพื่อหาค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ทำให้เจ็ทปั๊มสามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าได้มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 โดยเจ็ทปั๊มสามารถเหนี่ยวนำอากาศที่อัตราการไหลของอากาศเข้าที่ดูดต่ออัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด (Q_s/Q_w) เท่ากับ 0.82 และมีอัตราส่วนความดันด้านดูดที่อากาศไหลเข้าต่อความดันด้านท่อขยาย (P_s/P_d) เท่ากับ 0.136 ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 26.19 เปอร์เซ็นต์

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบเจ็ทปั๊มน้ำเหนี่ยวนำอากาศสำหรับงานบำบัดน้ำเสีย

1.3.2 ทดสอบเจ็ทปั๊มเพื่อหาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D), ความยาวของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) และระยะห่างระหว่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) ที่เหมาะสม

1.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหลังจากบำบัดด้วยเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่ออกแบบสร้างขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ออกแบบชุดเจ็ทปั๊มสำหรับการบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองหาค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 ตามลำดับ

1.4.2 ศึกษาถึงตำแหน่งของเจ็ทปั๊มที่ใช้สำหรับเหนี่ยวนำอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลให้มีอัตราการไหลของอากาศเข้าที่ทางดูดมากที่สุด

1.4.3 หาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งหัวฉีดกับห้องผสมในช่วงระยะระหว่าง 0, 5 และ 10 mm ตามลำดับ

1.4.4 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่สามารถละลายได้ในน้ำที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียด้วยเจ็ทปั๊มซึ่งให้ค่าปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำได้ดีที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้เจ็ดยี่สิบหมื่นยว่นำอากาศและสามารถนำไปประยุกต์เพื่อลดมลภาวะในน้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมได้
- 1.5.2 สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อออกแบบสร้างเจ็ดยี่สิบหมื่นยว่นำอากาศสำหรับงานเดิมออกซิเจนในน้ำให้มีประสิทธิภาพ
- 1.5.3 สามารถลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องเติมอากาศในน้ำประเภทอื่น ๆ ที่มีราคาสูงได้

1.6 โครงร่างวิทยานิพนธ์

- 1.6.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเจ็ดยี่สิบหมื่นยว่นำอากาศ
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล และทฤษฎีการเติมอากาศในน้ำ
- 1.6.3 ออกแบบและสร้างเจ็ดยี่สิบหมื่นยว่นำอากาศโดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม ความยาวของห้องผสม และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสม
- 1.6.4 การทดลองและผลการทดลอง
- 1.6.5 สรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

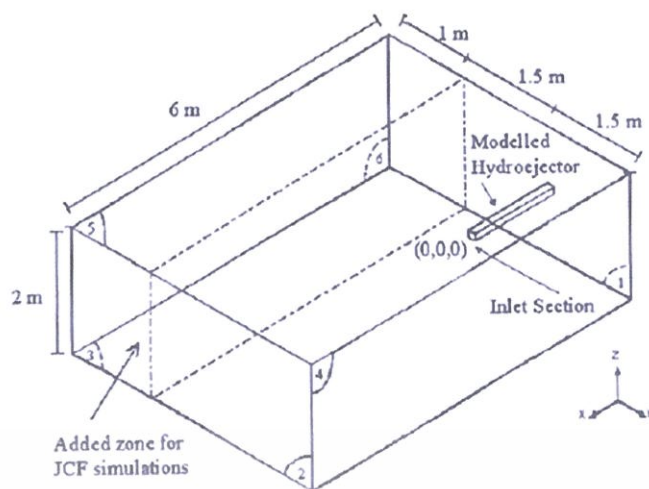
มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะของเจ็ตปั๊มเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน บำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิจัยทำการวิจัยทั้งในและต่างประเทศมากมาย พอสรุปได้ดังนี้

Morchain et al. [1] ทำการศึกษารูปแบบการถ่ายเทของก๊าซออกซิเจนระหว่างการไหลสองเฟสของเจ็ตเรเตอร์โดยโปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamic) ภายใต้อิทธิพลการไหลแบบขวาง โดยเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของน้ำที่ 50, 700 และ 3000 m³/h และเปรียบเทียบที่ค่าสัมประสิทธิ์รวมในการถ่ายเทมวลของก๊าซที่ 360, 1000 และ 3600 m³/h ผลของการทดลองกับผลของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณการเพิ่มขึ้นของก๊าซออกซิเจนในถังบรรจุน้ำนั้นสอดคล้องกัน โดยที่อัตราการไหลของน้ำที่มีค่าต่ำจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทมวลของก๊าซออกซิเจนที่ต่ำ และในอัตราการไหลของน้ำที่มีค่าสูงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทมวลที่สูงขึ้นตามไปด้วย



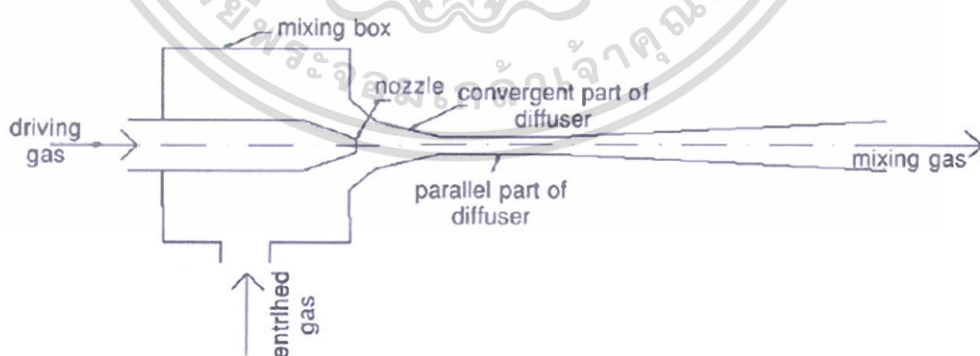
รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรม Hydro-ejector ของ Morchain et al.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



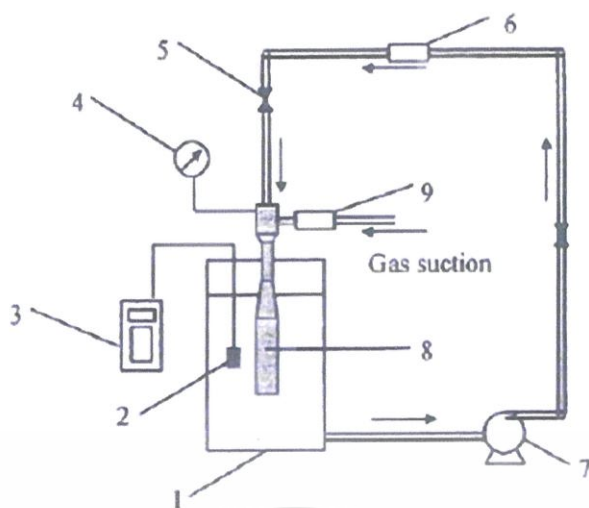
รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบของโดเมนที่ใช้ในโปรแกรม CFD ของ Morchain et al.

SURJOSATYO และ NASIR [2] ทำการศึกษากาโรไหลของอากาศโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งในการศึกษาได้ทำเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อทางเข้าของอากาศ และเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการติดตั้งหัวฉีดก่อนเข้าห้องผสมตามระยะต่างๆ โดยใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamic) เพื่อวิเคราะห์การไหลในลักษณะสองมิติ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของอากาศที่บริเวณท่อทางเข้าจนถึง 600 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการไหลของอากาศลดลง และผลการศึกษายังพบว่าที่อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ Driving gas ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ Entrained gas เท่ากับ 2.81 ให้ค่าอัตราการไหลบริเวณทางเข้าสูงที่สุด



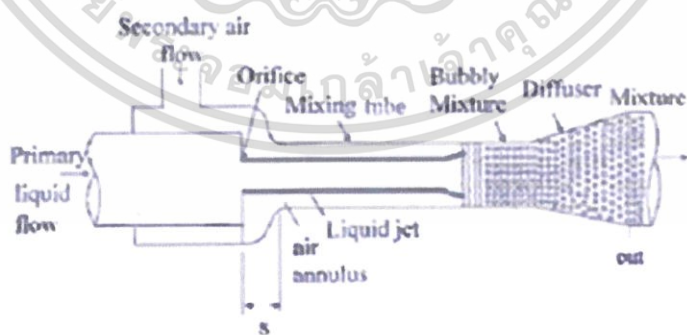
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ Ejector ของ SURJOSATYO และ NASIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมชุดทดลองของ JIFEI et al. 1.pool 2. Oxygen probe 3. Meter 4. Manometer 5.valve 6.electromagnetic flowmeter 7. Pump 8. Jet aerator 9. Turbine flowmeter

SENTHIL et al. [5] ทำการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มในการไหลของของไหลสองเฟสคือน้ำ และอากาศ ซึ่งในการทดลองได้เปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม อัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีดของเจ็ทปั๊มเข้าสู่ห้องผสม และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสม โดยผลของการทดลองแสดงค่าที่เหมาะสมคือค่าระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมคือ 33 mm ค่าอัตราการไหลของน้ำคือ 0.556 l/s ค่าอัตราการไหลของอากาศคือ 1.7 l/s ค่าความดันขาออกของท่อขยายคือ 2.4 bar ซึ่งส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมเจ็ทปั๊มของ SENTHIL et al.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SANGER [6] จากสถาบัน LEWIS Research Center, Cleveland, Ohio. ได้ทำการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีดโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีด ดังนี้ อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางปากทางเข้าห้องผสม และ ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับปากทางเข้าห้องผสม โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางดังนี้ 0.6, 0.8, 10.0 และ 12.0 mm ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 20.0 มิลลิเมตร โดยจากผลการทดลองที่ความสัมพัทธ์อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 24.7% และ ที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับปากทางเข้าห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (I/D) เท่ากับ 1.0 จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด โดยจากการศึกษาของ N.L.Sanger นี้จะใช้น้ำเป็นของไหลต้นกำลัง (Q_1) เพื่อการขนถ่ายน้ำเพียงอย่างเดียว

GRAMER et al. [7] ได้ศึกษาการทำงานของอีเจ็คเตอร์เช่นกันในงานวิจัยครั้งนี้ได้เปลี่ยนก๊าซที่ศึกษาจากไนโตรเจนเป็นน้ำแทน โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของช่วงการผสมกันระหว่างน้ำกับอากาศ (mixing zone) และช่วงฟองอากาศในน้ำ (bubble zone) ที่มีผลต่อค่าการละลายของอากาศในน้ำ โดยพบว่าช่วงที่มีการหมุนปั่นป่วนระหว่างน้ำกับอากาศ (swirl mixing zone) จะเกิดอยู่ในช่วง 0-4 mm ห่างจากน็อคเชิล และเมื่อเป็นส่วนที่ไม่หมุนปั่นป่วน (without swirl mixing zone) จะมีการเกิดอยู่ในช่วง 0-160 mm ห่างจากน็อคเชิลและยังพบว่าอัตราการละลายของอากาศของช่วงที่มีการหมุนปั่นป่วนระหว่างน้ำกับอากาศจะดีกว่าช่วงที่ไม่มีการหมุนปั่นป่วน และค่าละลายของอากาศในน้ำในช่วงการผสมกันระหว่างน้ำกับอากาศ จะดีกว่าช่วงที่เป็นฟองอากาศ ซึ่งจะเกิดหลังจากช่วงที่มีการผสมกันระหว่างน้ำกับอากาศ

Katsumi Aoki และ Chamlong Prabkeao [16] ได้ทำการศึกษาวิจัยสมการการคำนวณสมรรถนะการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีด (water jet pump) และ ได้สร้างสมการสำหรับการคำนวณสมรรถนะการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีดเพื่อการขนถ่ายส่วนผสมระหว่างของไหลกับของแข็ง (solids handing jet pump) โดยกำหนดตัวแปรในการคำนวณ ดังนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดต่อห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่หัวฉีด (K_j) เท่ากับ 1.0 ที่ห้องผสม (K_{mc}) เท่ากับ 0.3 ที่ด้านดูด (K_s) เท่ากับ 0.25 และที่ด้านจ่าย (K_d) เท่ากับ 0.3 ค่าความหนาแน่นของของแข็งเท่ากับ 2650 Kg/m^3 (กรณีดูดส่วนผสมระหว่างน้ำกับของแข็ง) และ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่ด้านดูดเท่ากับ 20% ผลจากการคำนวณโดยสมการที่ได้จำลองขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้ สำหรับกรณีการขนถ่ายน้ำเพียงอย่างเดียว (water jet pump) ประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้เท่ากับ 28.3% ส่วนสำหรับกรณีขนถ่ายส่วนผสมระหว่างของไหลกับของแข็ง (solids handing jet pump) ประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้เท่ากับ 19.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

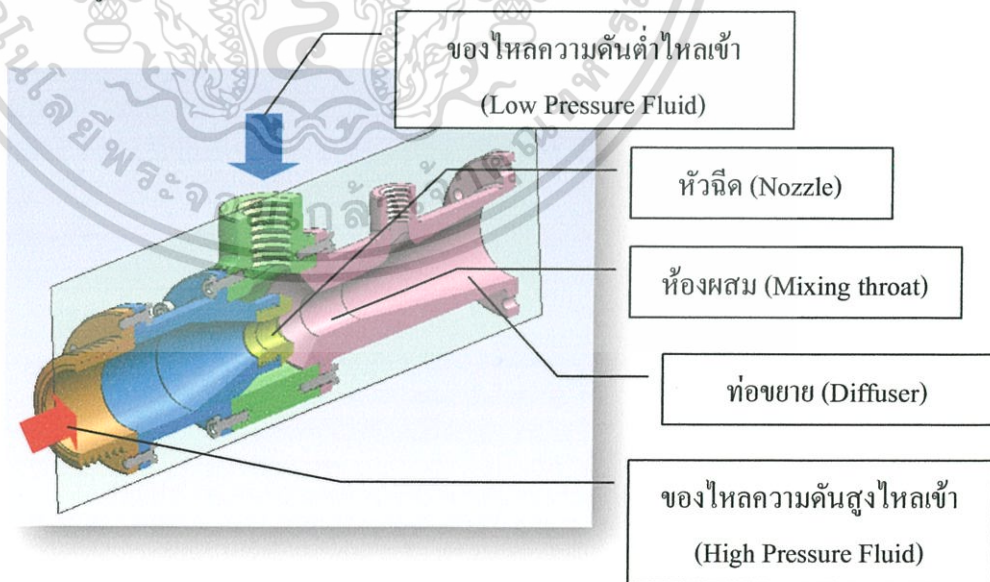
บทที่ 3

ทฤษฎีเจ็ทปั๊ม และการเติมออกซิเจนในน้ำ

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศของปั๊มน้ำแบบหัวฉีด จะขึ้นอยู่กับตัวประกอบมากมาย ดังนั้นการที่จะคำนวณหาประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศของปั๊มน้ำแบบหัวฉีดจึงต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ด้วย เช่น อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D), ความดันที่ด้านดูดอากาศ (P_s), ความดันน้ำที่หัวฉีด (P_w), ความดันผสมที่ทางออกห้องผสม (P_d), อัตราการไหลของน้ำที่หัวฉีด (Q_w), อัตราการไหลของอากาศที่ถูกดูด (Q_a), ความเร็วของน้ำที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด (V_j) และความเร็วของอากาศที่ถูกดูด (V_s) เป็นต้น และการวิเคราะห์เบื้องต้นในการคำนวณหาประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศเจ็ทปั๊มแบบหัวฉีดเมื่อน้ำผ่านหัวฉีด หัวฉีดจะขัดกันทำให้ความเร็วที่ปลายหัวฉีดเพิ่มมากขึ้นแต่มีความดันลดลงส่งผลให้เกิดการดูดอากาศผ่านช่องดูดไหลมาผสมกับน้ำจากหัวฉีดที่ห้องผสม และไหลผ่านท่อส่ง (Diffuser) ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของห้องผสมให้เป็นพลังงานความดัน

3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเจ็ทปั๊ม (Jet Pump)

เจ็ทปั๊มมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ หัวฉีด (Nozzle) ห้องผสม (Mixing throat) และท่อส่ง (Diffuser) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของเจ็ทปั๊ม (Jet Pump)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเจ็ทปั๊มแบบหัวฉีดนั้น มีหน้าที่ดังนี้

1. หัวฉีด ทำหน้าที่ลดความดัน และเพิ่มความเร็วให้กับของไหล
2. ท่อดูด ทำหน้าที่ลำเลียงของไหลที่ถูกดูดไปยังห้องผสม
3. ห้องผสม ทำหน้าที่รวมของไหลจากหัวฉีดกับท่อดูดเข้าด้วยกันและส่งผ่านไปยังท่อส่ง
4. ท่อส่ง ทำหน้าที่ส่งผ่านของไหลผสมออกไปโดยทำให้ของไหลมีความดันเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วจะลดลง

การทำงานของเจ็ทปั๊มแบบหัวฉีดอาศัยหลักการจลนศาสตร์ของไหล โดยให้ของไหลที่มีความดันสูงไหลผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูงผลของความเร็วสูงจะทำให้ความดันต่ำในช่วงทางเข้าของห้องผสมจึงทำให้ของไหลที่ช่องทางดูด (Suction) ถูกดูดเข้ามา การดูดเข้ามาในห้องผสมจะเกิดโมเมนตัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยระหว่าง ความเร็วของของไหลจากหัวฉีดและความเร็วของของไหลจากท่อดูด โดยความเร็วจะลดลงในส่วนของท่อส่ง (Diffuser) และเกิดการเปลี่ยนเป็นความดันผลักดันให้ของผสมไหลออกที่ท่อส่ง โดยสามารถสรุปเป็นหลักการการทำงานของเจ็ทปั๊มแบบหัวฉีดได้ดังนี้

1. ของไหลแรงดันสูงจะถูกอัดฉีดจากปั๊มน้ำแรงดันสูงออกมาทางปลายหัวฉีด ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานความดันเป็นพลังงานความเร็วที่บริเวณปลายหัวฉีด
2. ของไหลที่ด้านดูดถูกดูดเข้ามาผสมกับของไหลจากหัวฉีดเข้าไปในห้องผสมเนื่องจากพลังงานความดันแตกต่างที่บริเวณปลายหัวฉีดกับท่อดูด
3. ของไหลผสมกันในห้องผสมและเปลี่ยนเป็นพลังงานความดันที่ด้านจ่าย
4. ไม่มีส่วนใดของเจ็ทปั๊มแบบหัวฉีดเคลื่อนที่หรือหมุนขณะทำงาน

3.2 การประยุกต์ใช้เจ็ทปั๊มสำหรับเหนี่ยวนำอากาศ



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการประยุกต์ใช้งานเจ็ทปั๊ม

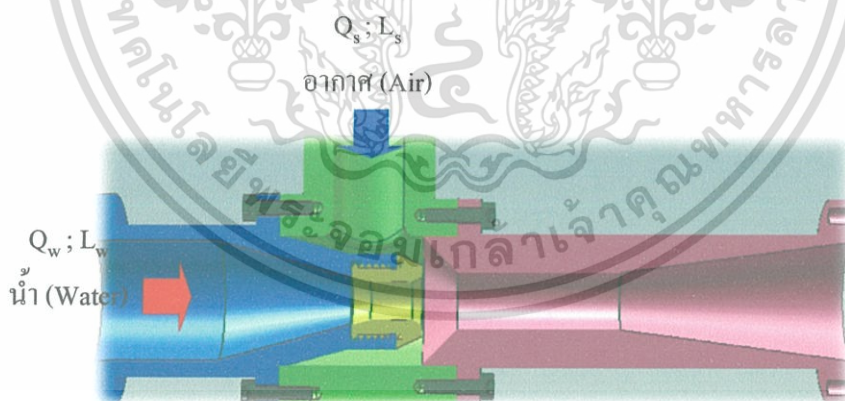
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการประยุกต์ใช้งานเจ็ทปั๊มเพื่อเหนี่ยวนำอากาศจากบรรยากาศลงมาผสมกับน้ำที่ได้ผิวน้ำเพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย โดยลักษณะการประยุกต์ใช้งานจากรูปด้านบนนั้น เราไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการปั้มน้ำผ่านเข้าหัวฉีด เพราะน้ำเสียจะไหลลงท่อด้านหน้าฝายกั้นน้ำที่เราต่อไว้ก่อนที่น้ำส่วนที่เหลือจะไหลผ่านฝายกั้นน้ำ หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลผ่านท่อไปยังหัวฉีด (Nozzle Head) จะมีค่าความดันที่ต่ำ อากาศจะเหนี่ยวนำผ่านท่อสู่อากาศเข้าไปในท่อทำให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำกับอากาศ และถูกพ่นออกมาเป็นฟอง เจ็ทปั้มนั้นสามารถเหนี่ยวนำอากาศ และผสมออกซิเจนที่ถูกดึงมาจากบรรยากาศกับน้ำได้ดี ข้อดีของการประยุกต์ใช้งานเจ็ทปั๊มเพื่อเหนี่ยวนำอากาศแบบนี้คือ การถ่ายเทก๊าซเป็นไปอย่างรวดเร็วหลักการทำงานง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ยุ่งยาก ไม่มีเสียงรบกวนเหมาะสำหรับงานเฉพาะอย่าง แต่มีข้อเสียคือ อาจเกิดการอุดตันได้ง่าย

3.3 การคำนวณประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับงานบำบัดน้ำเสีย

3.3.1 ข้อสมมุติฐานในการคำนวณมีดังนี้

- (1) อุณหภูมิของไหลทั้งระบบมีค่าเท่ากัน
- (2) ความหนาของผนังหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศมีค่าเป็นศูนย์
- (3) การกระจายความดันที่ทางเข้าห้องผสม (Mixing chamber) เป็นแบบสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดทางเข้า
- (4) การไหลของของไหลในท่อกับการไหลแบบคงที่ (Steady flow)



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากรูปที่ 3.3 พิจารณาการไหลปฐมภูมิ (Primary flow) ในที่นี้ให้เป็นน้ำจากหัวฉีด และพิจารณาการไหลทุติยภูมิ (Secondary flow) ในที่นี้ให้เป็นอากาศที่ดูด โดยวิเคราะห์หาค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

work load, L_w) โดยเราสมมุติให้อากาศ (Air) ที่ถูกดูดเข้าที่ท่อดูดเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic process) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์

$$Pv^k = c \text{ (ค่าคงที่)} \quad (3.1)$$

3.3.2 การวิเคราะห์พลังงานทางท่อดูด (Secondary work load, L_s)

สมมุติให้เป็นกรณีกระบวนการไหลที่ย้อนกลับได้ (Reversible steady-flow work) และจากความสัมพันธ์ของกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First law of Thermodynamics) และกรณีที่เป็นระบบเปิด (Open Thermodynamics system) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์

$$W_{rev} = \int vdP + \Delta ke + \Delta pe \quad (3.2)$$

กำหนดให้ $L_s = W_{rev}$ และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์มีค่าน้อยมาก

$$L_s = \int vdP \quad (3.3)$$

เมื่อเราพิจารณาจากสมการ 3.1

$$Pv^k = P_s v_s^k = P_a v_a^k$$

$$v = \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} v_s \quad (3.4)$$

แทนค่า v ในสมการที่ 3.3; $L_s = \int_{P_s}^{P_d} \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} v_s dP$

$$L_s = v_s P_s^{\frac{1}{k}} \int_{P_s}^{P_d} \left(P^{-\frac{1}{k}}\right) dP \quad (3.5)$$

$$L_s = v_s P_s^{\frac{1}{k}} \left[\frac{P^{\frac{k-1}{k}}}{\frac{k-1}{k}} \right]_{P_s}^{P_d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_s = v_s P_s^{\frac{1}{k}} \left[\frac{P_d^{\frac{k-1}{k}} - P_s^{\frac{k-1}{k}}}{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$L_s = \frac{k}{k-1} v_s P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (\text{J/kg}) \quad (3.6)$$

เปลี่ยนหน่วยของ L_s ให้เป็นหน่วย J/s ด้วยการคูณ L_s ด้วย m_s เมื่อกำหนดให้ m_s คืออัตราการไหลของมวลอากาศ (kg/s) เปลี่ยนหน่วยของ L_s ให้เป็น J/s จะได้ $L_s \times m_s$

$$L_s = \frac{k}{k-1} v_s m_s P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

เพราะฉะนั้นเราได้สมการพลังงานทางท่อชุด ดังนี้

$$L_s = \frac{k}{k-1} Q_s P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (\text{J/s}) \quad (3.7)$$

3.3.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อน (Primary work load ; L_w)

ซึ่งในกรณีนี้เราวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อน (Primary work load) โดยให้อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งที่พิจารณาบนหัวน็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) สมมติให้ไม่มีค่าของแรงเสียดทาน

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\bar{v}_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3.8)$$

เนื่องจาก $Z_1 = Z_2$ ดังนั้น

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\bar{v}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\bar{v}_2^2}{2g} \quad (3.9)$$

เมื่อ $\frac{P_2}{\rho g} = 0$ เนื่องจาก $P_{abs} = P_{atm} / P_{gage} = 0$; ที่ตำแหน่งที่ 2 ได้ว่า

$$\frac{P_{tot}}{\rho g} = \frac{\bar{v}_2^2}{2g} \quad (3.10)$$

ดังนั้น

$$P_w = P_{tot} = \rho \frac{\bar{v}_2^2}{2g}$$

จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของ P_w จะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ (KE) ซึ่งพลังงานจลน์จะแปรผันตรงกับความเร็ว ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์ทำให้ได้ว่า $KE = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$

$$KE = L_w = \frac{1}{2} m_w \bar{v}_w^2$$

$$KE = L_w = \frac{1}{2} \gamma_w Q_w \bar{v}_w^2$$

$$KE = L_w = \frac{\bar{v}_w^2}{2g} \gamma_w \cdot Q_w \quad (3.11)$$

จากพลังงานจลน์ในสมการ 3.11 ทำให้ได้ว่า

$$\frac{P_w}{\gamma_w} = \frac{\bar{v}_w^2}{2g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\gamma_w = \rho g$
 เพราะฉะนั้นเราได้สมการพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อน ดังนี้

$$L_w = \frac{P_w}{\gamma_w} \gamma_w Q_w = P_w Q_w \quad (3.12)$$

3.3.4 การวิเคราะห์สมการประสิทธิภาพ (η , %)

เราสามารถวิเคราะห์สมการประสิทธิภาพได้จากอัตราส่วนของพลังงานทางท่อชุด (L_s) ต่อพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อน (L_w)

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{Input}} = \frac{L_s}{L_w}$$

$$\eta = \frac{\frac{k}{k-1} Q_s P_s \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{Q_w P_w}$$

เพราะฉะนั้นทำให้ได้สมการประสิทธิภาพ

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_w} \cdot \frac{P_s}{P_w} \left[\frac{k}{k-1} \left(\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right] \quad (3.13)$$

3.3.5 การวิเคราะห์ความเร็วท่อชุด (\bar{v}_s)

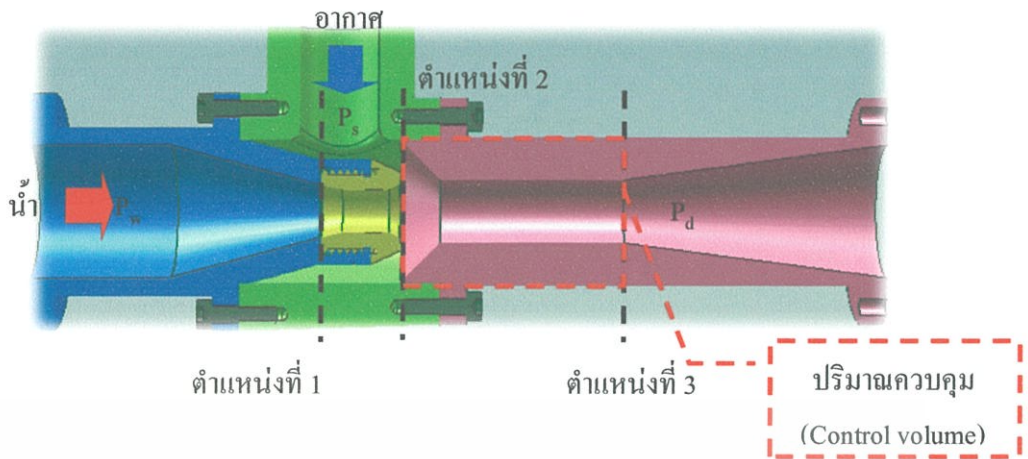
เมื่อเราทำการวิเคราะห์ความเร็วท่อชุดกำหนดให้

$$\varepsilon = \frac{m_s}{m_j + m_s}$$

$$\rho_d = [(1-\varepsilon)\rho_j + \varepsilon\rho_s]; \quad \phi = \frac{\gamma_s Q_s}{\gamma_j Q_j}$$

ใช้หลักกฎทรงมวล (Principle of conservation of mass) พิจารณาจากตำแหน่งที่ 2 ไปตำแหน่งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะตำแหน่งที่พิจารณา และปริมาณควบคุม

$$\begin{aligned}
 m_j + m_s &= m_d \\
 (\rho \bar{v} A)_j + (\rho \bar{v} A)_s &= (\rho \bar{v} A)_d \\
 (\rho \bar{v} A)_s &= \left\{ \bar{v}_d A_d [(1-\varepsilon)\rho_j + \varepsilon\rho_s] \right\} - (\rho \bar{v} A)_j \\
 \bar{v}_s &= \frac{\left\{ \bar{v}_d A_d [(1-\varepsilon)\rho_j + \varepsilon\rho_s] \right\} - (\rho \bar{v} A)_j}{\rho_s A_s}
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

3.3.6 การวิเคราะห์ที่ความเร็วที่ถอยหาย (\bar{v}_d)

ซึ่งในการวิเคราะห์ที่ความเร็วที่ถอยหายเราพิจารณาตามหลักกฎทรงมวล (Principle of conservation of mass) โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ 2 ไปถึงตำแหน่งที่ 3 ดังนี้

$$\gamma_d Q_d = \gamma_j Q_j + \gamma_s Q_s$$

$$g(\rho \bar{v}_d A_d) = \gamma_j Q_j + \gamma_s Q_s$$

$$\bar{v}_d = \frac{\gamma_j Q_j + \gamma_s Q_s}{g A_d [(1-\varepsilon)\rho_j + \varepsilon\rho_s]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$\bar{v}_d = \frac{\left(1 + \frac{\gamma_s Q_s}{\gamma_j Q_j}\right) \gamma_j Q_j}{g A_d [(1 - \varepsilon) \rho_j + \varepsilon \rho_s]}$$

$$\bar{v}_d = \frac{\left(1 + \frac{\gamma_s Q_s}{\gamma_j Q_j}\right) \gamma_j (\bar{v}_j A_j)}{g A_d [(1 - \varepsilon) \rho_j + \varepsilon \rho_s]}$$

เพราะฉะนั้นทำให้ได้สมการความเร็วที่ขยาย

$$\bar{v}_d = \frac{B(1 + \phi) v_j \gamma_j}{g [(1 - \varepsilon) \rho_j + \varepsilon \rho_s]} \quad (3.15)$$

3.3.7 การวิเคราะห์ความดันที่ดูด (P_s)

ในการวิเคราะห์ความดันที่ดูดโดยความสัมพันธ์ของสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) ซึ่งเราพิจารณาจากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 2 ดังนี้

$$\frac{P_{atm}}{g \rho_{air}} + \frac{\bar{v}_{air}^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_{atm}}{g \rho_{air}} + \frac{\bar{v}_s^2}{2g} + h + h_L$$

เมื่อกำหนดให้ $\bar{v}_{air} = 0; Z_1 = 0; h_L = 0$ จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$P_s = P_{atm} - \frac{\bar{v}_s^2}{2} (\rho_{air}) - h(\rho_{air} g)$$

$$P_s = P_{atm} - \frac{\rho_s \left\{ \left(\frac{[\bar{v}_d A_d [(1 - \varepsilon) \rho_j + \varepsilon \rho_s]] - (\rho \bar{v} A)_j}{\rho_s A_s} \right)^2 \right\}}{2} - h \rho_s g \quad (3.16)$$

3.3.8 การวิเคราะห์ความดันที่ส่ง (P_d)

ในการวิเคราะห์ความดันที่ส่งนั้นจากความสัมพันธ์ของสมการโมเมนตัม (Momentum equation) เรานำมาใช้ในการวิเคราะห์ความดันที่ขยาย

$$\sum F_{sys} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \bar{v} dV + \int_{cs} \rho \bar{v} (\bar{v} \cdot \bar{n}) dA \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำหนดให้เป็นการไหลแบบคงตัว (Steady flow) โดยไม่พิจารณาแรงเสียดทาน

$$\text{ดังนั้น } \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \vec{v} dv = 0$$

$$\sum F = \int_{cs} \rho \vec{u}_1 (-\vec{v}_1) dA_1 + \int_{cs} \rho \vec{u}_2 (-\vec{v}_2) dA_2 + \int_{cs} \rho \vec{u}_3 (-\vec{v}_3) dA_3$$

$$\sum F = \rho_1 \vec{u}_1 (-\vec{v}_1) A_1 + \rho_2 \vec{u}_2 (-\vec{v}_2) A_2 + \rho_3 \vec{u}_3 (-\vec{v}_3) A_3$$

$$\sum F = \vec{u}_1 (-\dot{m}_1) + \vec{u}_2 (-\dot{m}_2) + \vec{u}_3 \dot{m}_3 \quad (3.18)$$

$$\sum F = P_1 A_1 + P_2 A_2 - P_3 A_3$$

$$\sum F = P_s A_s + P_j A_j - P_d A_d \quad (3.19)$$

แทนค่าสมการ 3.18 ในสมการ 3.19

$$P_s A_s = -\vec{u}_1 \dot{m}_1 - \vec{u}_2 \dot{m}_2 + \vec{u}_3 \dot{m}_3 + P_d A_d$$

$$P_d A_d = P_s A_s + \vec{u}_s \dot{m}_s + \vec{u}_j \dot{m}_j - \vec{u}_d \dot{m}_d + P_j A_j$$

$$P_d = \frac{P_s A_s + \vec{u}_s \dot{m}_s + \vec{u}_j \dot{m}_j - \vec{u}_d \dot{m}_d + P_j A_j}{A_d}$$

เพราะฉะนั้นทำให้ได้สมการความดันที่ขยาย

$$P_d = \frac{P_s A_s + \vec{v}_s \dot{m}_s + \vec{v}_j \dot{m}_j - \vec{v}_d \dot{m}_d + P_j A_j}{A_d} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเติมออกซิเจนในน้ำ

3.4.1 ทฤษฎีการเติมออกซิเจน

การเติมออกซิเจน [8,13] เป็นกระบวนการทางกายภาพเป็นการนำอากาศเข้าไปสู่มวลของน้ำโดยการทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศ ทฤษฎีของการเติมอากาศได้ถูกศึกษามาหลายลักษณะโดย Lewis และ Whitman ได้อธิบายด้วยทฤษฎีการถ่ายเทมวล โดยพิจารณา เป็น 2 ชั้น คือ ชั้นของเหลว และชั้นก๊าซดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยก๊าซจะซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว จนกระทั่งเข้าถึงระดับลึกของของเหลว ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซจะค่อย ๆ ลดลง ขณะที่ก๊าซได้ซึมผ่านชั้นก๊าซและชั้นของเหลว



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของอากาศสู่ฟิล์มของชั้นของเหลว

3.4.2 ขั้นตอนการเติมออกซิเจนในน้ำ

ขั้นตอนการเติมออกซิเจนในน้ำสามารถทำได้ 3 ขั้นตอน [15] คือ

1. การทำให้มีการสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศให้มากที่สุด

ทำได้โดยการเป่าฟองอากาศลงไปใต้น้ำให้ฟองอากาศอยู่ในน้ำซึ่งจะทำให้มีการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากฟองอากาศผ่านเข้าสู่ชั้นฟิล์มของน้ำ หรืออีกวิธีก็คือทำให้หยดน้ำกระเด็นขึ้นไปด้านบน โดยวิธีนี้จะเป็นการทำให้ออกซิเจนในอากาศเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นฟิล์มของหยดน้ำที่พ่นขึ้นไป จากทั้งสองวิธีการนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ดังนั้นการทำให้ฟองอากาศหรือละอองน้ำยังมีขนาดเล็กยิ่งจะทำให้มีการถ่ายเทมวลได้มาก

2. การทำให้โมเลกุลของก๊าซในอากาศเคลื่อนย้ายผ่านฟิล์มบาง ๆ บนผิวน้ำเข้าไปในน้ำ

แรงขับเคลื่อนที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของออกซิเจน คือความแตกต่างระหว่าง

ออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูงในอากาศและออกซิเจนที่มีความเข้มข้นต่ำในน้ำ ซึ่งฟิล์มบาง ๆ บนผิวน้ำจะเป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทมวลจากอากาศไปสู่ใต้น้ำอย่างมาก โดยถ้ามีการทำให้ผิวน้ำเกิดความปั่นป่วนก็จะทำชั้นฟิล์มของน้ำกระจายตัวออกและมีการถ่ายเทออกซิเจนสู่ใต้น้ำมากขึ้น

3. การแพร่กระจายของโมเลกุลน้ำ

โมเลกุลของออกซิเจนจะแพร่กระจาย ด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำบริเวณใต้ชั้นฟิล์มไปสู่จุดอื่น ๆ ของน้ำ วิธีทำให้มีการแพร่กระจายทำได้โดยการกวนน้ำ ซึ่งจะช่วยให้การถ่ายเทมวลของออกซิเจนดีขึ้น แต่ถ้ามองการกวนน้ำเพียงอย่างเดียวจะช่วยให้ค่าความเข้มข้นของการละลายเท่ากันหมดทุกส่วนของน้ำ แต่ถ้าไม่มีการกวนค่าความเข้มข้นจะมีความแตกต่างกันตามระดับความลึกของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปยิ่งน้ำลึกเท่าใด ค่าความเข้มข้นจะยิ่งน้อยลงไปเรื่อย ๆ จนถึงสภาวะสมดุล

และนอกจากนั้นยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการเติมออกซิเจนในน้ำด้วย เช่นขนาดของน้ำหรือฟองอากาศ ความเข้มข้นของก๊าซในน้ำ ความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ ความกดดันอากาศหรือความดันบรรยากาศ ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำ เวลาสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ โดยเฉพาะความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำ จะแปรผันกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำสูง ความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำก็จะลดลง ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่หรือความเข้มข้นสูงสุดที่ออกซิเจนละลายอยู่ได้ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนน้ำบริสุทธิ์ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ นั้นได้แสดงดังตาราง 3.1 อาจหาได้โดยประมาณได้จากสมการด้านล่าง [14]

$$C_s = \frac{475 - (2.65 \times S)}{33.5 + T} \quad (3.21)$$

เมื่อ	C_s	คือ	ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจน (mg/l)
	S	คือ	ความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ (g/l)
	T	คือ	อุณหภูมิของน้ำ °C

ตารางที่ 3.1 แสดงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ [9]

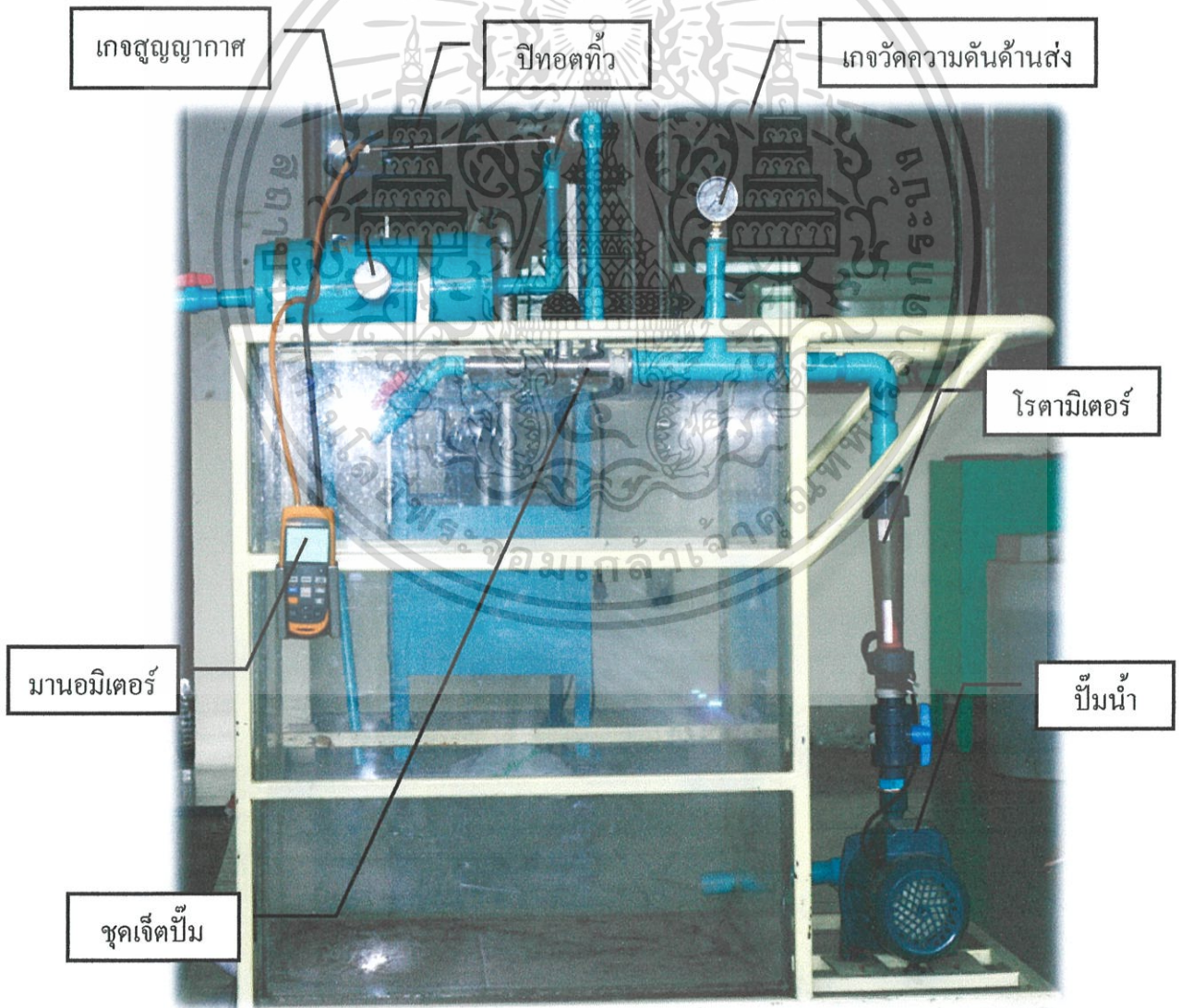
Temperature In °C	Chloride Concentration in Water (mg/l)					Difference Per 100 mg Chloride
	0	5000	1000	15000	20000	
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0	0.014
6	12.5	11.8	11.1	10.5	9.8	0.014
7	12.2	11.5	10.9	10.2	9.6	0.013
8	11.9	11.2	10.6	10.0	9.4	0.013
9	11.6	11.0	10.4	9.8	9.2	0.012
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0	0.012
11	11.1	10.5	9.9	9.4	8.8	0.011
12	10.8	10.3	9.7	9.2	8.6	0.011
13	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5	0.011
14	10.4	9.9	9.3	8.8	8.3	0.010
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1	0.010
16	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	0.010
17	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8	0.010
18	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7	0.009
19	9.4	8.9	8.5	8.0	7.6	0.009
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4	0.009
21	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3	0.009
22	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1	0.008
23	8.7	8.3	7.9	7.4	7.0	0.008
24	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	0.008
25	8.4	8.0	6.7	7.2	6.7	0.008
26	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	0.008
27	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5	0.008
28	7.9	7.5	7.1	6.8	6.4	0.008
29	7.8	7.4	7.0	6.6	6.3	0.008
30	7.6	7.3	6.9	6.5	6.1	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

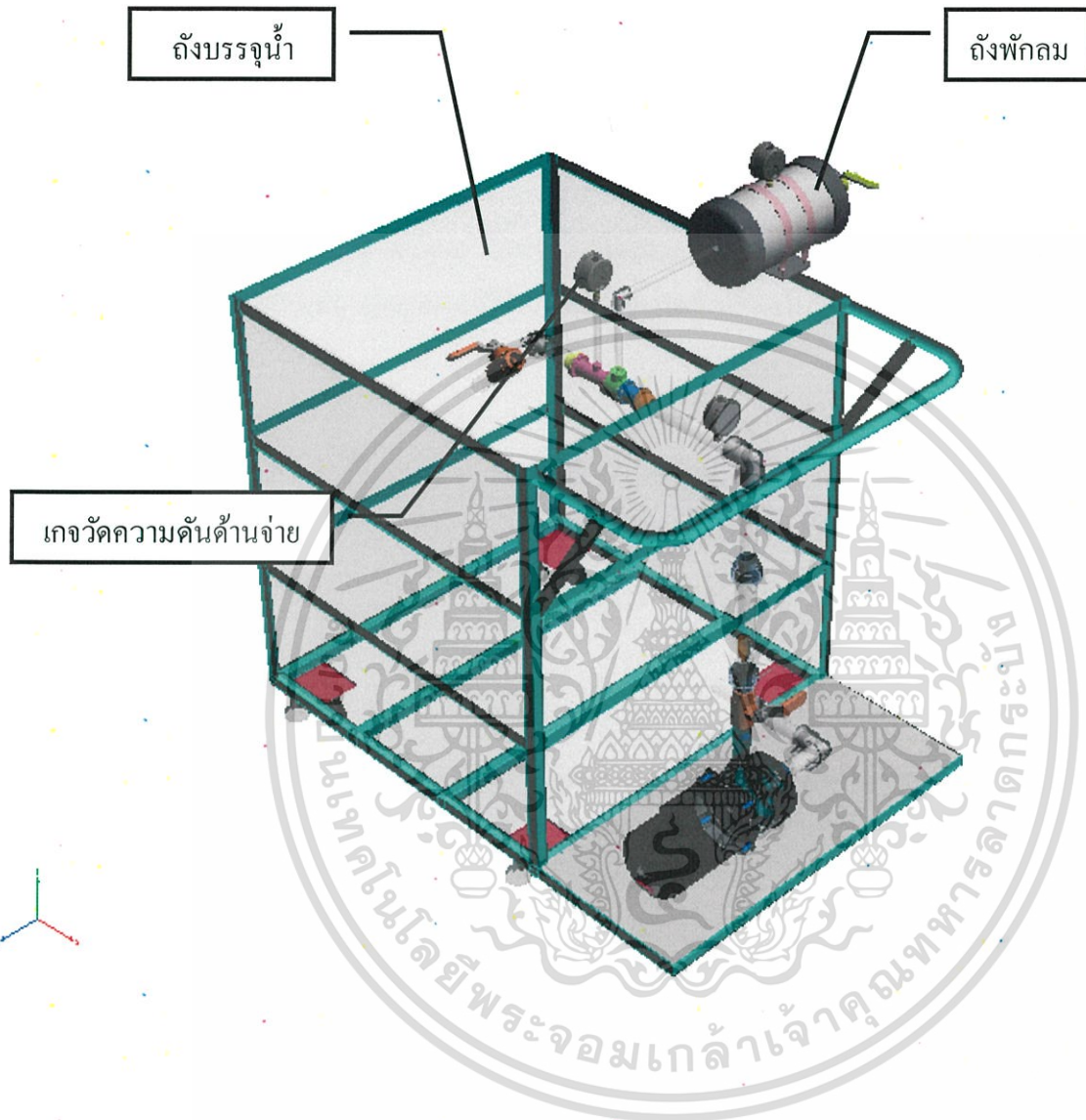
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะแยกการดำเนินการศึกษาออกเป็นสองส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกจะเป็นการสร้างเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศตามหลักการออกแบบซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ความยาวของห้องผสม และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับห้องผสม เพื่อใช้ในการดำเนินการทดลอง จากนั้นนำมาทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับเดิมออกซิเจน ส่วนที่สองเป็นการนำเอาเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศและอัตราการไหลที่ได้จากการศึกษาในส่วนแรกไปศึกษาหาอัตราการเดิมออกซิเจนที่ดีที่สุด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานเดิมออกซิเจนเพื่อใช้งานบำบัดน้ำเสียต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.1 ชุดทดลองเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ชุดทดลอง

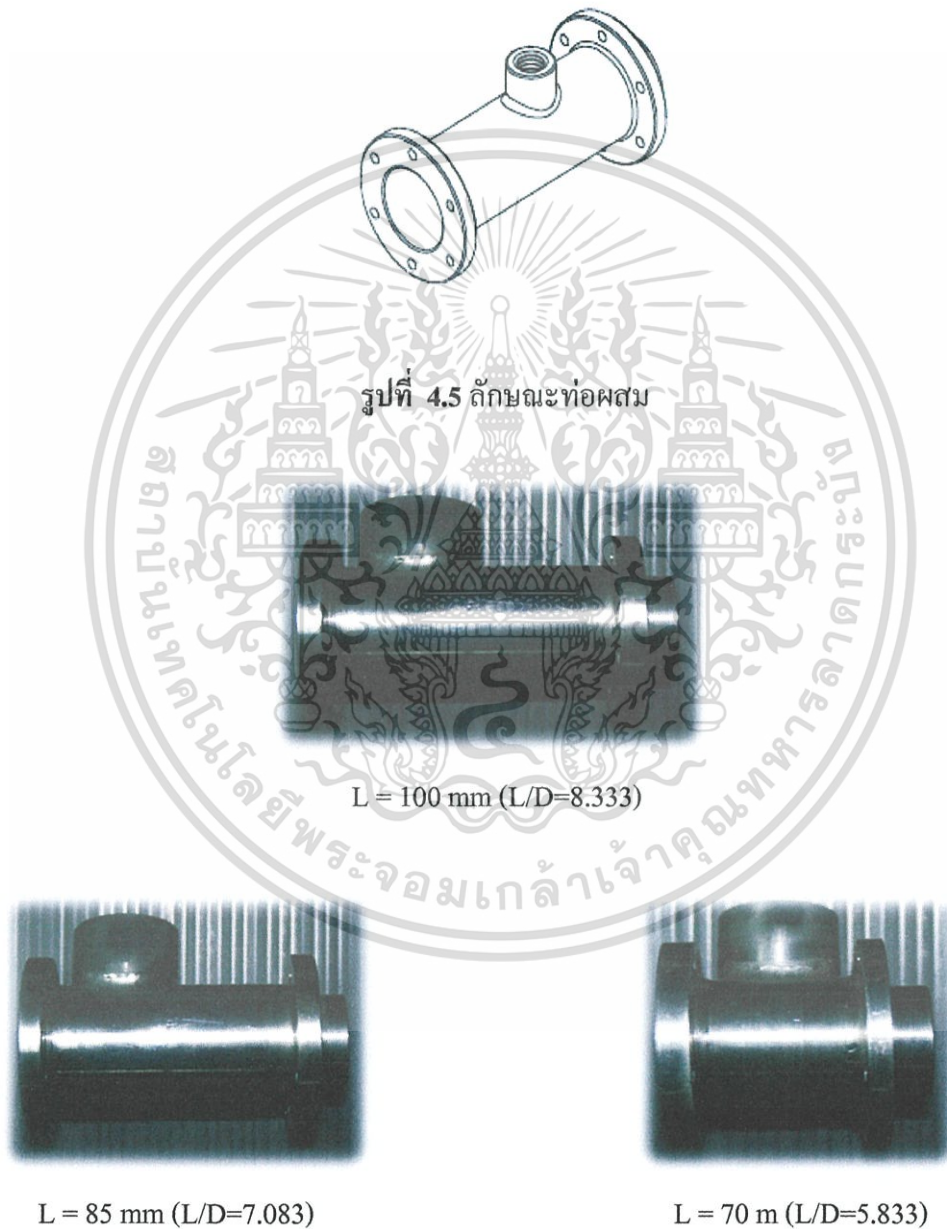


รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองเจ็ดปีมหินี่ยวนำอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ท่อผสม (Mixing Throat)

Al – Khalidy และ Zayonia [10] แนะนำให้ใช้อัตราส่วน L/D ซึ่งความยาวของห้องผสมนั้นควรมีค่าอยู่ระหว่าง $4 < L/D < 9$ ซึ่งในการทดลองนี้เราได้ออกแบบชุดทดลองให้อัตราส่วน L/D 7.083 สำหรับท่อผสมที่มีความยาวเท่ากับ 85 mm และอัตราส่วน L/D 8.333 สำหรับท่อผสมที่มีความยาวเท่ากับ 100 mm และ อัตราส่วน L/D 5.833 สำหรับท่อผสมที่มีความยาวเท่ากับ 70 mm ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และแสดงในรูปที่ 4.6

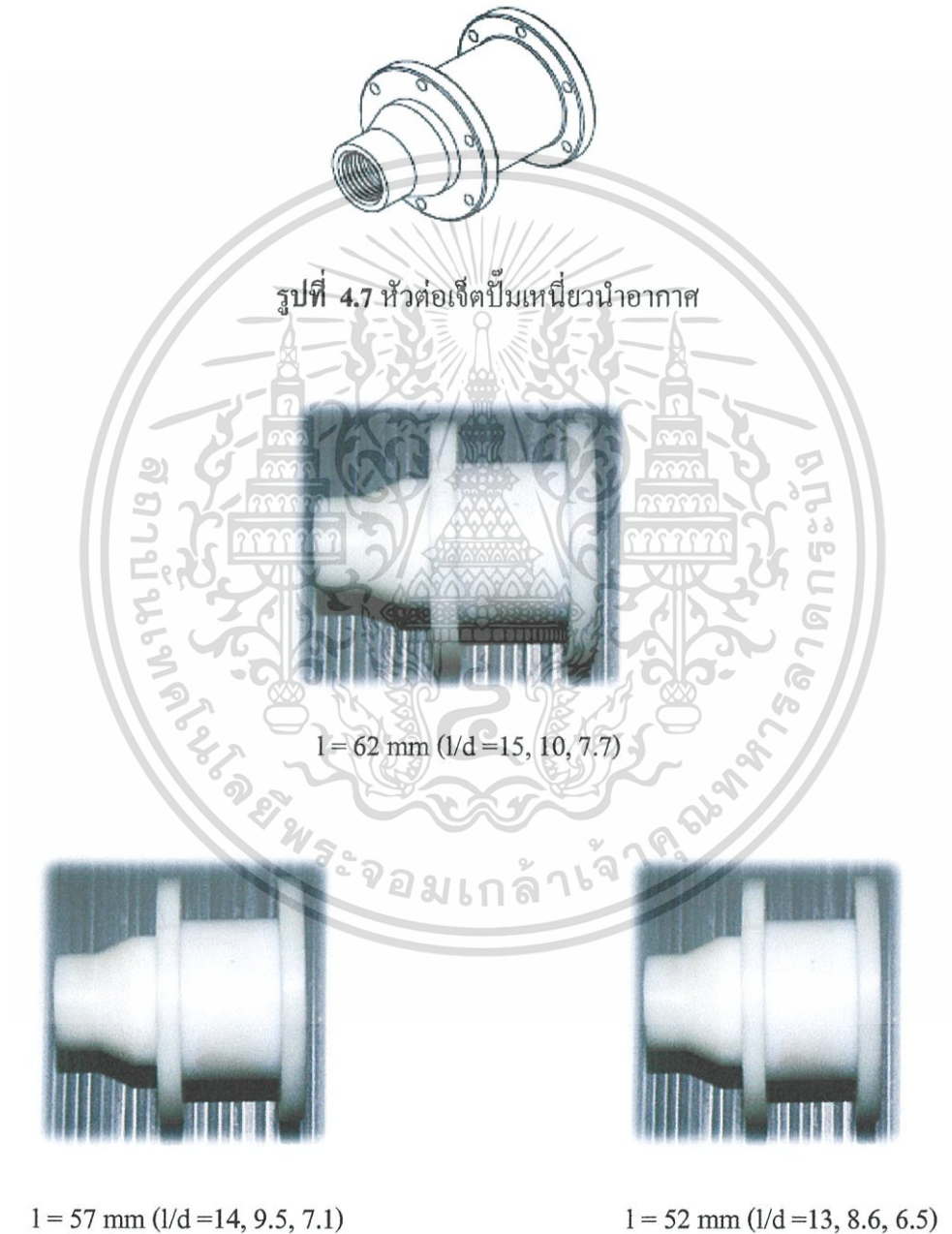


รูปที่ 4.6 ท่อผสมขนาดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Jet Head)

หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งต่อของไหลปฐุมภูมิ ซึ่งในการทดลองนี้ของไหลปฐุมภูมิเป็นน้ำ โดยของไหลปฐุมภูมินั้นถูกแรงส่งจากปั๊มขนาด 1 แรงม้า ไหลผ่านท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว หลังจากนั้นของไหลปฐุมภูมิจะถูกส่งออกไปที่หัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และแสดงในรูปที่ 4.8

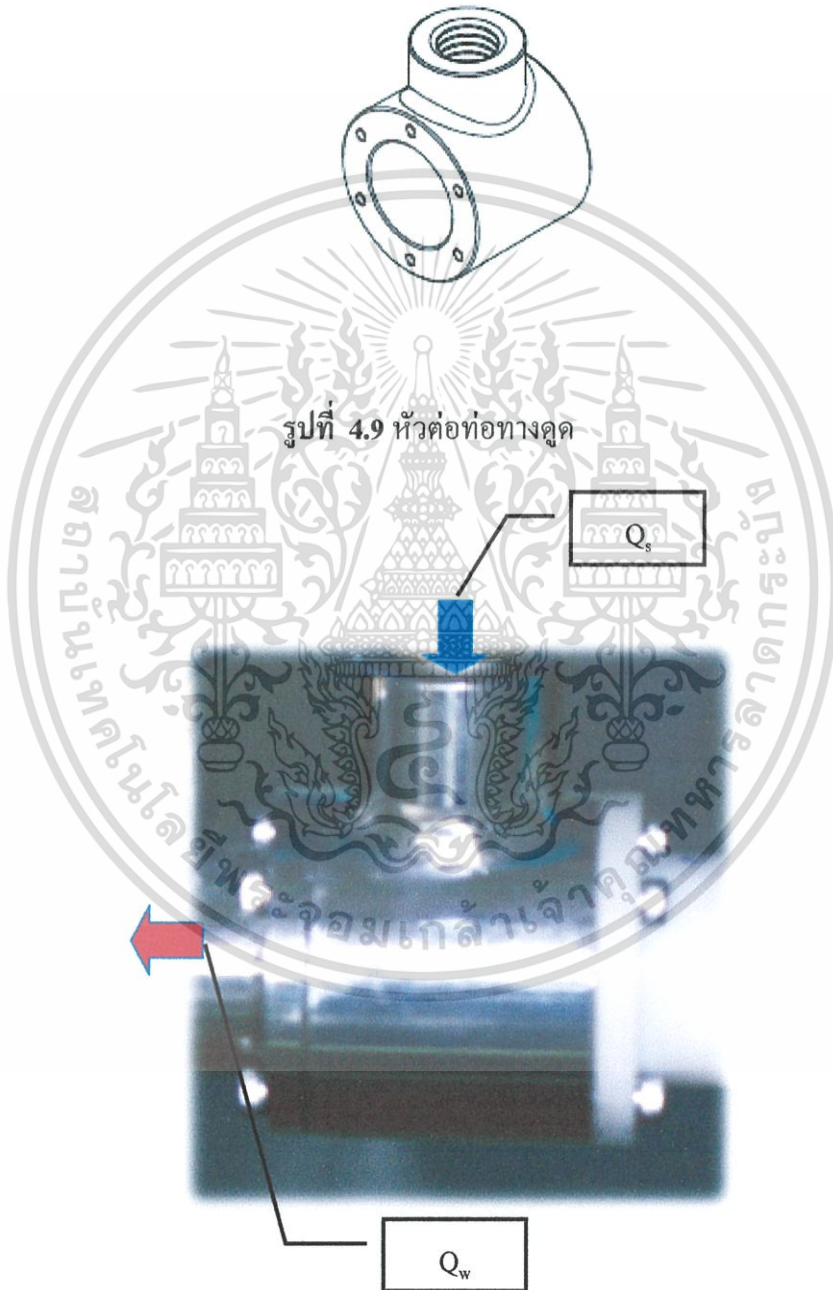


รูปที่ 4.8 หัวต่อเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 หัวต่อท่อทางดูด (Suction)

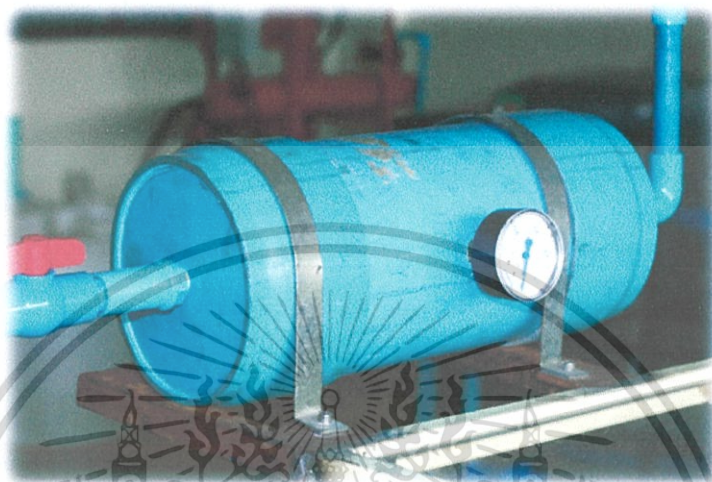
เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างท่อผสมและหัวต่อเจ็ดปี่มเหนียวนำอากาศ โดยจะทำหน้าที่ส่งต่อของไหลทุติยภูมิ ซึ่งในการทดลองนี้ของไหลทุติยภูมิคือ อากาศ โดยหัวต่อท่อทางดูดนำของไหลทุติยภูมิไปผสมกับของไหลปฐมภูมิในห้องผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และแสดงในรูปที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ถังพักลม (Air Tank)

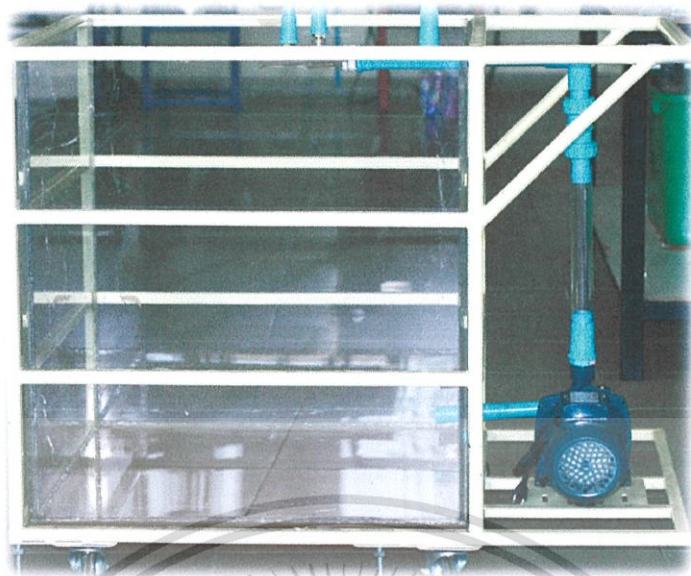
ถังพักลมเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่พักลม ซึ่งในการทดลองนี้ก็คือของไหล
 ทุกติยภูมิ โดยหลังจากนั้นของไหลทุกติยภูมิจะถูกดูดแล้วไปรวมตัวที่ห้องผสมกับของไหลปฐมภูมิ
 ซึ่งในการทดลองนี้ก็คือน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ถังพักลม

4.2.6 ถังบรรจุน้ำ (Water Tank)

ถังบรรจุน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลเพื่อเติม
 ออกซิเจนในน้ำ โดยชุดถังบรรจุน้ำมีขนาดกว้าง 80 cm ยาว 80 cm สูง 90 cm โครงของถังบรรจุน้ำ
 ทำด้วยเหล็กกล่อง และด้านในซ้อนด้วยแผ่นอะคริลิกความหนา 10 cm เพื่อใช้ในการศึกษาการเกิด
 ฟองอากาศหลังจากผ่านการเติมออกซิเจนในช่วงของห้องผสม ซึ่งด้านข้างของถังบรรจุน้ำได้
 ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับรองรับปั๊มน้ำที่ทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำในชุดทดลอง และได้ติดตั้งขา
 รองรับน้ำหนักทั้งสี่มุมของถังบรรจุน้ำเพื่อรองรับน้ำหนักทั้งสี่มุม และเพื่อให้สะดวกในการ
 เคลื่อนย้ายจึงได้ติดตั้งล้อยางเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งสี่มุม ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ถังบรรจุน้ำ

4.2.7 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง หรือแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Water Pump Model RJ-150) มีขนาดมอเตอร์ 1 Hp แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 14.8 แอมแปร์ ให้อัตราการไหลสูงสุดได้ 104 l/min เหนือความสูง 32 เมตร



รูปที่ 4.13 เครื่องสูบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Meter)

เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศในการทดลองใช้ของบริษัท Fluke Corporation Model 922 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งใช้วัดอัตราการไหลของอากาศบริเวณทางเข้าท่อ ทูตียกภูมิ และอุณหภูมิขณะทำการทดลอง โดยใช้วัดความเร็วอากาศได้อยู่ในช่วง 1-80 m/s ความละเอียดในการวัด 0.001 m/s ความแม่นยำในการวัด $\pm 2.5\%$ ในส่วนของการวัดอุณหภูมิเครื่องสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วงอุณหภูมิ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความแม่นยำในการวัด $\pm 1\%$



รูปที่ 4.14 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ

4.2.9 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Rota Meter)

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในการทดลองใช้ของบริษัท Nitto Instruments Model Z-500, Series Z-5032 ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำบริเวณท่อทางเข้าปฐภูมิขณะทำการทดลอง โดยสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 2.5-25 GPM, 10-100 LPM ที่ความดันสูงสุด 10 bar ช่วงอุณหภูมิจำกัดที่ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

4.2.10 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (DO Meter)

เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ เครื่อง Dissolved Oxygen Meter (DO Meter), Model HQ10 ของบริษัท Hach ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เป็นรูปเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบดิจิทัล สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ความแม่นยำในการวัดออกซิเจนในของเหลวเท่ากับ ± 0.4 mg/l



รูปที่ 4.16 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด (Q_w)

การวัดอัตราการไหลในท่อปิด (Flow Measurement) นั้นมีวัตถุประสงค์ทำความเข้าใจเครื่องมือและวิธีใช้ในการวัดอัตราการไหลของของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ในท่อ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของเครื่องมือวัดอัตราการไหลในแบบที่ใช้ในการทดลอง คือ มาตรวัดแบบโรตา (Rota Meter) และเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง (Calibration) ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดต่าง ๆ โดยในการวัดอัตราการไหลในท่อ ในบางครั้งไม่สามารถใช้มิเตอร์วัดอัตราการไหลแบบท่อน้ำประปา หรือไม่สามารถใช้ถังตวงได้ แต่สามารถนำเอาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงสำหรับการไหลที่มีอัตราการไหลเท่ากัน มาคำนวณหาอัตราการไหลได้ ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองนี้คือ มาตรวัดแบบโรตา (Rota Meter) นั้นใช้หลักการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ของไหลผ่าน

4.3.1 วิธีการสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด (Q_w)

1. ติดตั้งมาตรวัดโรตาเข้ากับชุดทดลอง ปลายเล็กด้านล่างต่อเข้ากับท่อส่งของปั้มน้ำปลายใหญ่ด้านบนต่อกับวาล์วปรับอัตราการไหล และต่อท่อไปยังชุดตวงวัดอัตราการไหล เติมน้ำใส่ชุดถังบรรจุน้ำ (Water Tank) ใช้น้ำประมาณ 100 ลิตร เปิดวาล์วที่ท่อคูดน้ำของปั้มน้ำให้อยู่ตำแหน่งเปิดสุด วาล์วปรับอัตราการไหลและวาล์วใช้ปั้มน้ำรวมทุกตัวปิดหมด

2. เปิดสวิทช์ให้ปั้มน้ำทำงาน ปรับวาล์วปรับอัตราการไหลให้อ่านค่าอัตราการไหลที่โรตาได้ 10 l/min

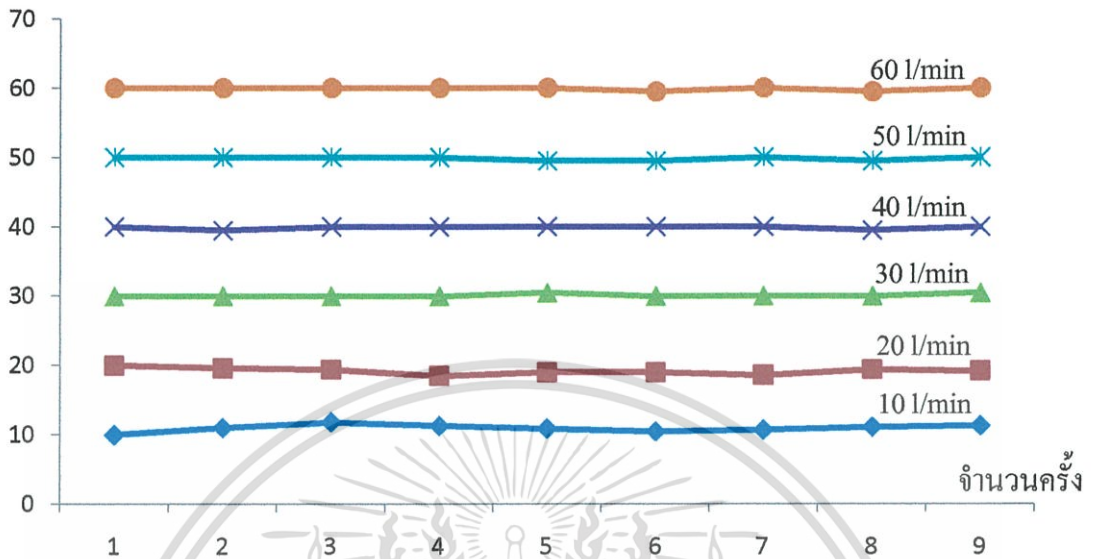
3. วัดอัตราการไหลโดยใช้ถังตวง และนาฬิกาจับเวลา

4. วัดความสูงของลูกกลอยในมาตรวัดโรตา

5. ปรับวาล์วปรับอัตราการไหล โดยทำซ้ำข้อ 2 ถึงข้อ 4 ด้วยการเพิ่มอัตราการไหลขึ้นครั้งละ 10 l/min

4.3.2 ผลการสอบเทียบหาอัตราการไหลที่หัวฉีด (Q_w)

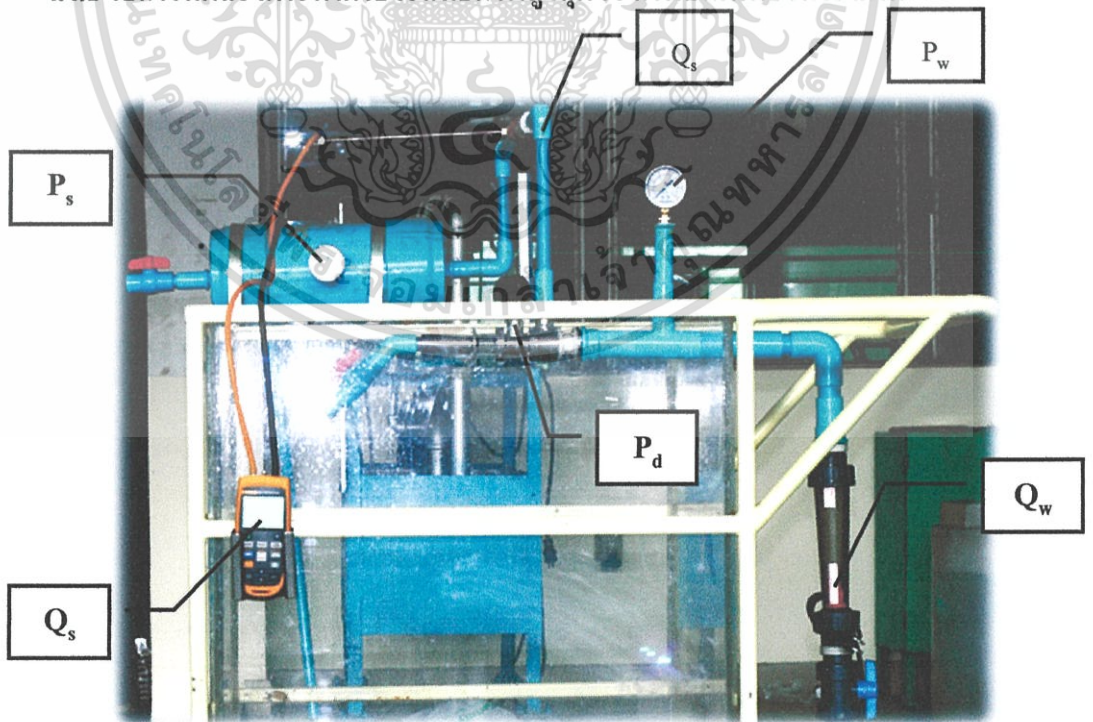
อัตราการไหล (l/min)



รูปที่ 4.17 ผลการสอบเทียบมาตรฐานวัดแบบโรตา

4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 วิธีการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ติดตั้งหัวฉีดขนาด 4 mm แล้วจึงเปิดปั๊ม โดยเปิดวาล์วด้านหัวฉีด และเปิดวาล์วด้านจ่ายให้สุด
2. เปิดวาล์วด้านหัวฉีด ตั้งค่า P_w ที่ 1.5 kg/cm^2
3. เปิดวาล์วด้านจ่าย ตั้งค่า P_d ที่ 0.1 kg/cm^2
4. อ่านค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าหัวฉีด (Q_w) และของอากาศเข้าทางท่อสูดอากาศ (Q_s) ค่าความเร็วขาเข้าของอากาศที่ท่อสูดอากาศ ค่าความดันที่เข้าหัวฉีด (P_w) ค่าความดันที่เข้าทางช่องสูดอากาศ (P_s) ค่าความดันด้านจ่าย (P_d) หลังจากนั้นบันทึกค่า Q_w , Q_s , P_w , P_s และ P_d ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ปรับค่า P_d ไปที่ 0.15 kg/cm^2 แล้วจึงปรับค่าเพิ่มขึ้น และเก็บข้อมูลตามข้อ 4 จนกระทั่งไม่สามารถเพิ่มความดันได้อีก แล้วหยุดการทดลอง
6. เปลี่ยนค่า P_w ไปที่ 2.5 และ 3.5 kg/cm^2 แล้วทำการทดลองตามข้อ 4 และข้อ 5
7. เปลี่ยนขนาดหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศไปที่ 6 และ 8 mm ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 1 ถึงข้อ 6

4.4.2 วิธีการทดลองเพื่อหาเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่เต็มออกซิเจนได้ดีที่สุด

ในการทดลองเพื่อหาเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่เต็มออกซิเจนได้ดีที่สุดนั้น เราได้เลือกประกอบชุดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศขึ้นมา 4 ชุด

1. เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ A-1 ($d/D=0.6$, $L/D=7$, $l/d=7.1$)
2. เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ A-2 ($d/D=0.5$, $L/D=7$, $l/d=9.5$)
3. เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ B-1 ($d/D=0.5$, $L/D=8$, $l/d=9.5$)
4. เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ B-2 ($d/D=0.5$, $L/D=5$, $l/d=9.5$)

เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศแต่ละชุดจะถูกนำไปประกอบเข้ากับระบบดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยปล่อยน้ำเข้าสู่ชุดถังบรรจุน้ำในปริมาณ 536 ลิตร จากนั้นวัดความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในถังที่จะทดลอง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ที่จะใช้เติมลงในน้ำเพื่อกำจัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ตามสมการเคมีด้านล่าง [11]



เติมสาร โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในชุดถังบรรจุน้ำ กวนจนกระทั่ง โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ละลายหมดแล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาเคมีประมาณ 30 นาที แล้ววัด

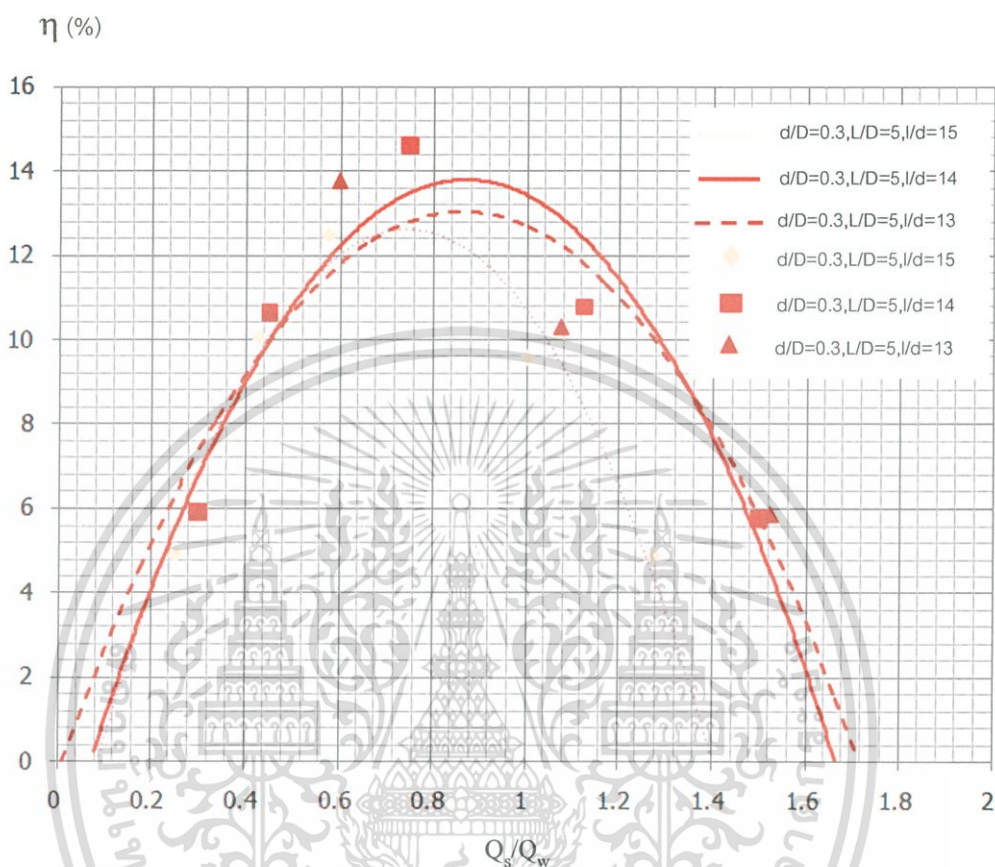
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอีกครั้งเมื่อน้ำในถังบรรจุน้ำเท่ากับ 0 mg/l แสดงว่าน้ำในถังบรรจุ น้ำพร้อมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป เมื่อการเตรียมน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการบันทึก อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ก่อนเริ่มการทดลอง จากนั้นเปิดปั๊มเพื่อให้เจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่ทำการทดลองชุดแรกเริ่ม ทำงานซึ่งมีการเติมออกซิเจน โดยให้อัตราการไหลของน้ำเริ่มต้นที่ 40 l/min วัดความเร็วอากาศที่ ดูดเข้าท่อทุติยภูมิจับเวลา และบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่ง ทำการทดลองถึงจุดอิ่มตัวด้วยออกซิเจนจึงหยุดการทดลองของเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศในชุดแรก โดยหลังจากทำการทดลองแต่ละชุดเรียบร้อยแล้ว ก่อนจะเริ่มทำการทดลองกับเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำ อากาศในชุดต่อไปจะต้องทำการเตรียมน้ำในชุดถังบรรจุน้ำอีกครั้งดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อทำ การทดลองกับเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศครบทุกชุดแล้วจึงทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนระดับอัตราการ ไหลเป็น 50 l/min และ 60 l/min ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 โซเดียมซัลไฟด์ และวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 4 mm

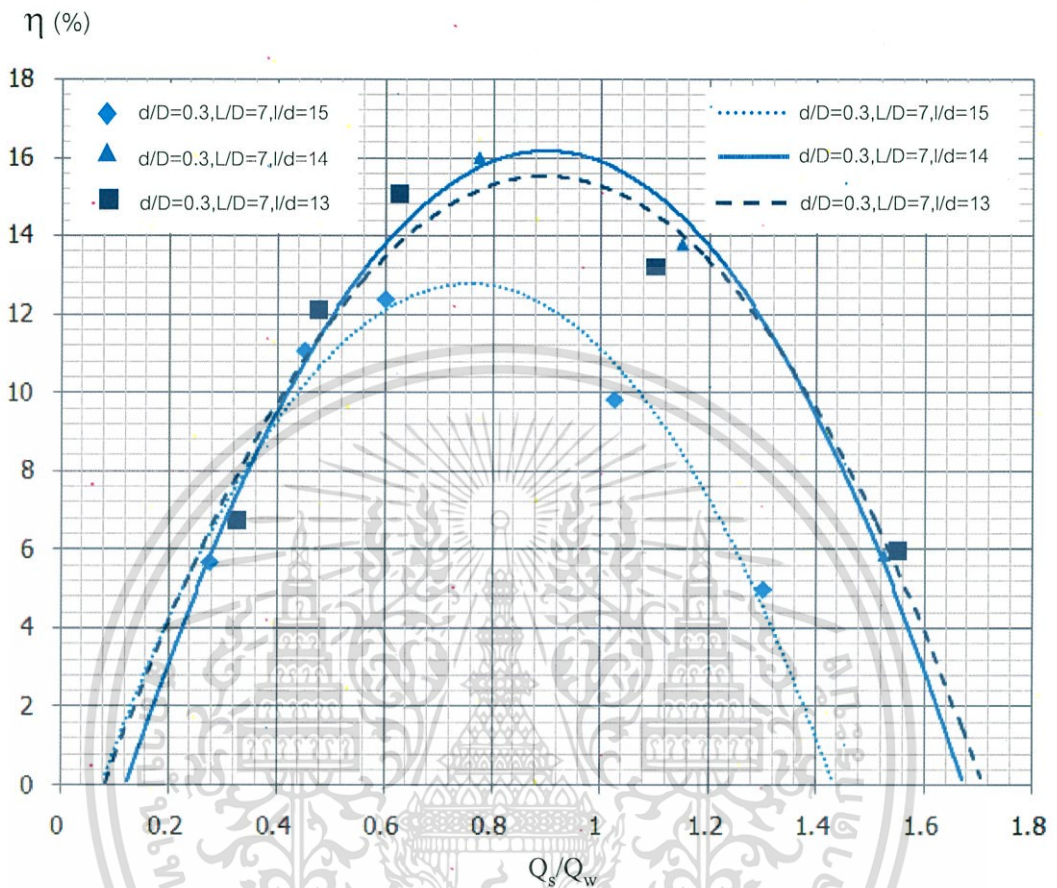


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3, L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 14.64 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.75 และมีอัตราส่วนระยะห่างห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 14 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 15 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

หมายเหตุในผลการทดลองสัญลักษณ์ \diamond, \square และ \triangle แสดงถึงค่าที่ได้จากการทดลองจริง และสัญลักษณ์ , — และ - - - แสดงถึงค่าที่ได้จากการประเมินด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

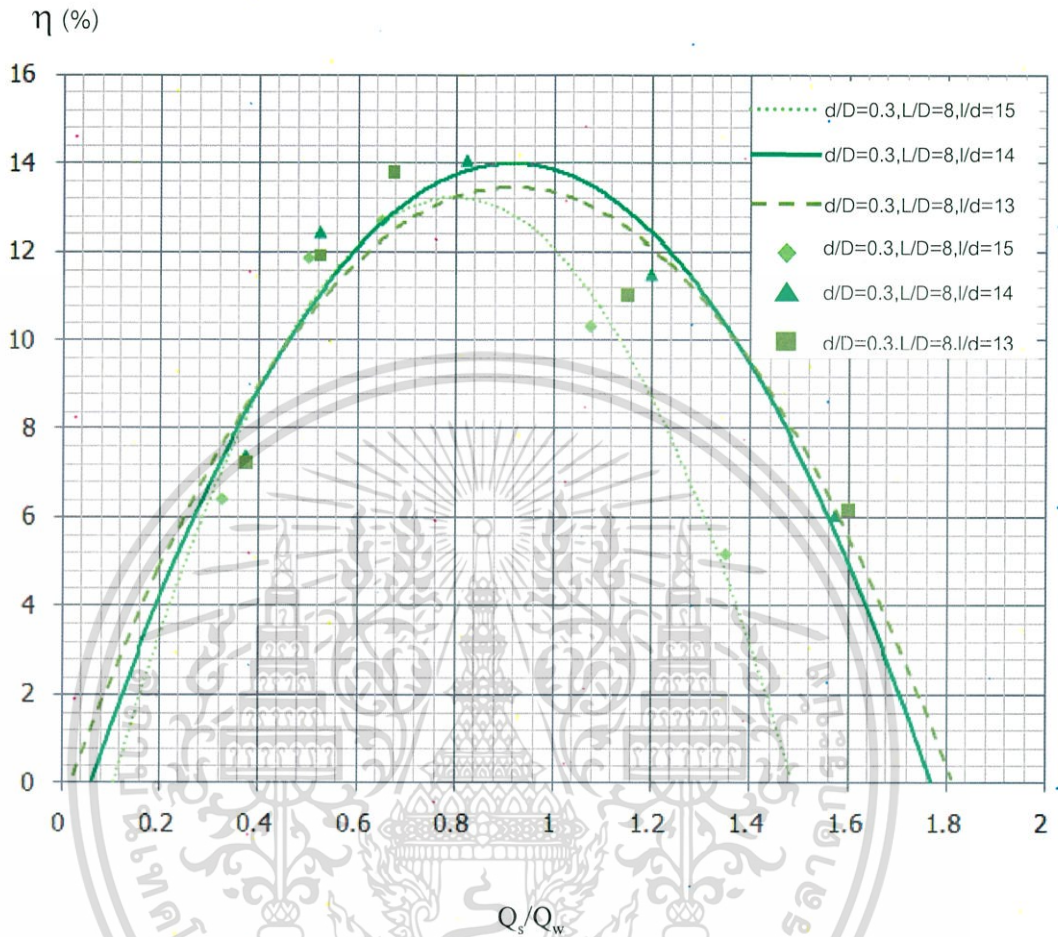
4.5.2 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 4 mm



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$, $L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ

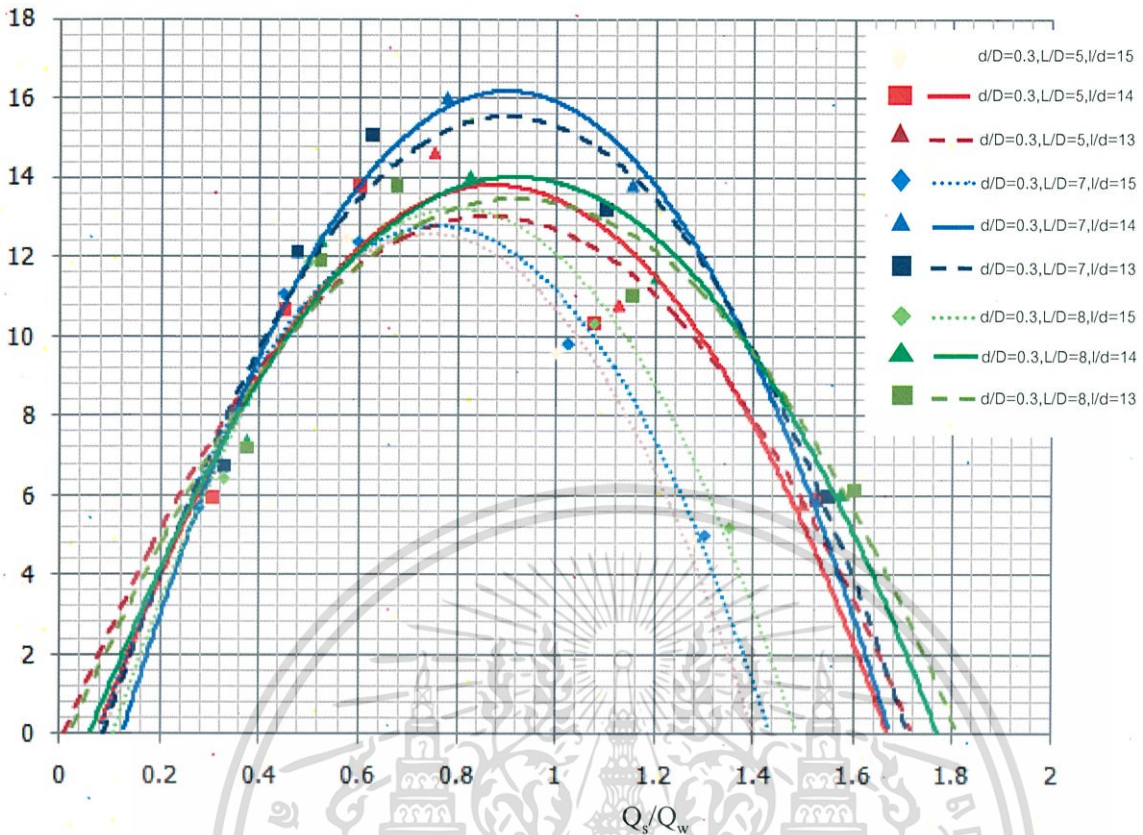
จากรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าได้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 16.00 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.77 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 14 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 15 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

4.5.3 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 4 mm



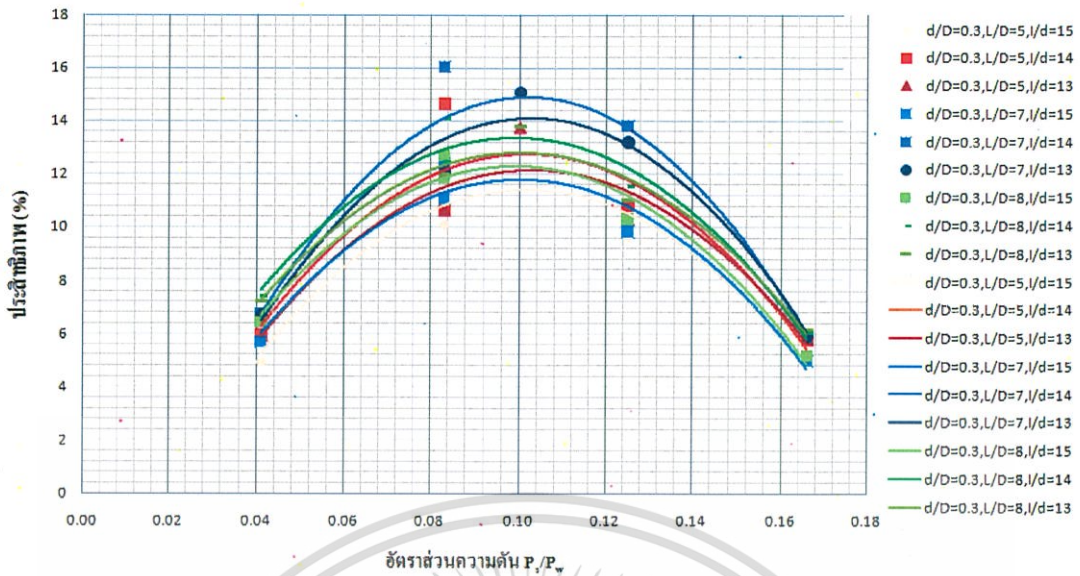
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$, $L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าได้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 14.06 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.82 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 14 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 15 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

η (%)

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.3$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d=15, 14$ และ 13 ตามลำดับ

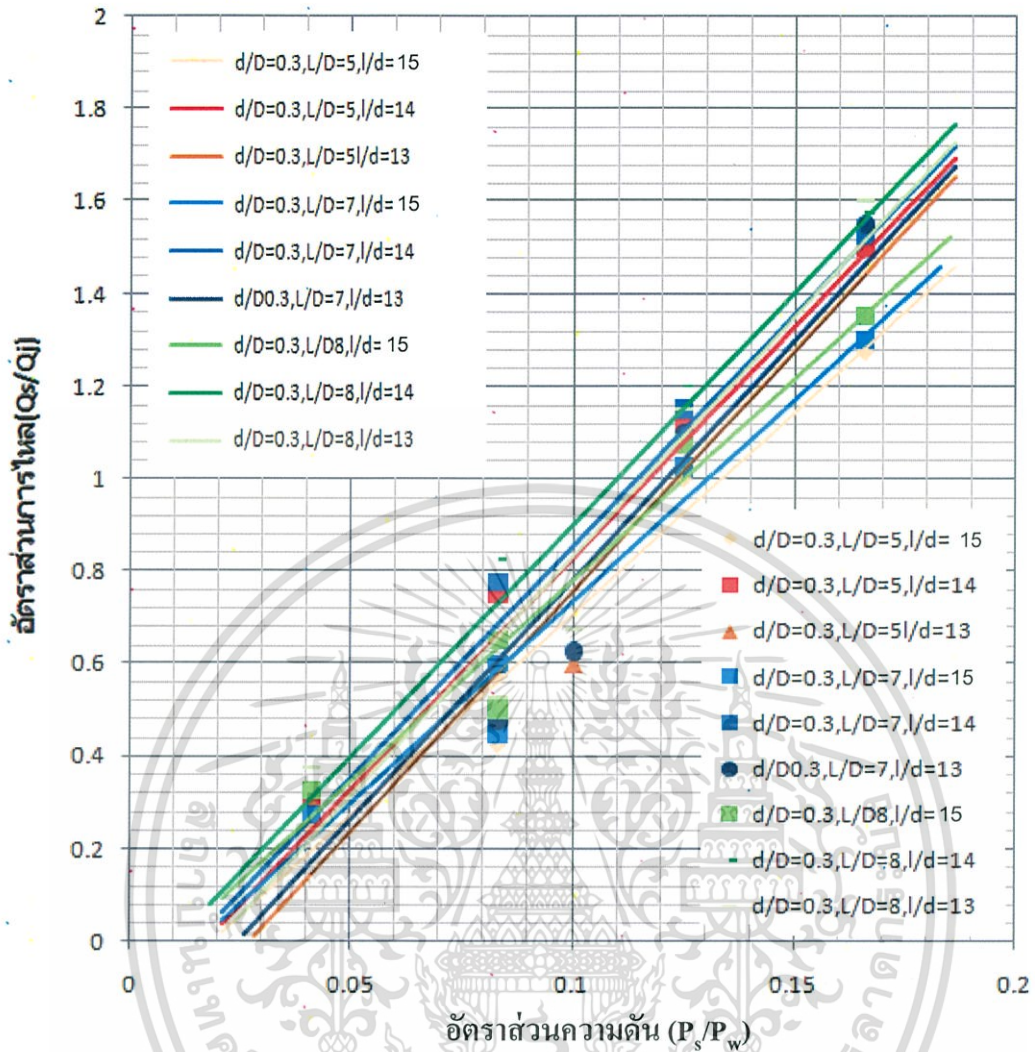
จากรูปที่ 4.23 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราการไหลของอากาศที่ท่อทางคู่กับอัตราส่วนการไหลของน้ำที่หัวฉีด โดยอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.3 แสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 16.00 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.77 โดยมีอัตราส่วนความยาวของห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) เท่ากับ 7 และระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (L/D) เท่ากับ 5 mm โดยมีอัตราส่วน l/d เท่ากับ 14 เป็นระยะทางที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.3$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 15, 14$ และ 13 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.24 ค่าประสิทธิภาพจากการทดลอง เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่อัตราส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) และระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) ต่าง ๆ พบว่าเมื่อถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะลดลง

พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม เท่ากับ 0.3 พบว่าที่อัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ประมาณ 0.083 จะให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เพิ่มขึ้นเนื่องจากความดันที่อวบน้ำ (P_d) เพิ่มขึ้น มาถึงค่าหนึ่ง (ค่าวิกฤต) จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) ลดลง เนื่องจากความดันที่ด้านจ่าย (P_w) สูงขึ้นทำให้อัตราส่วนการไหลในห้องผสมลดลง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับสมการประสิทธิภาพที่ได้กล่าวในบทที่ 3

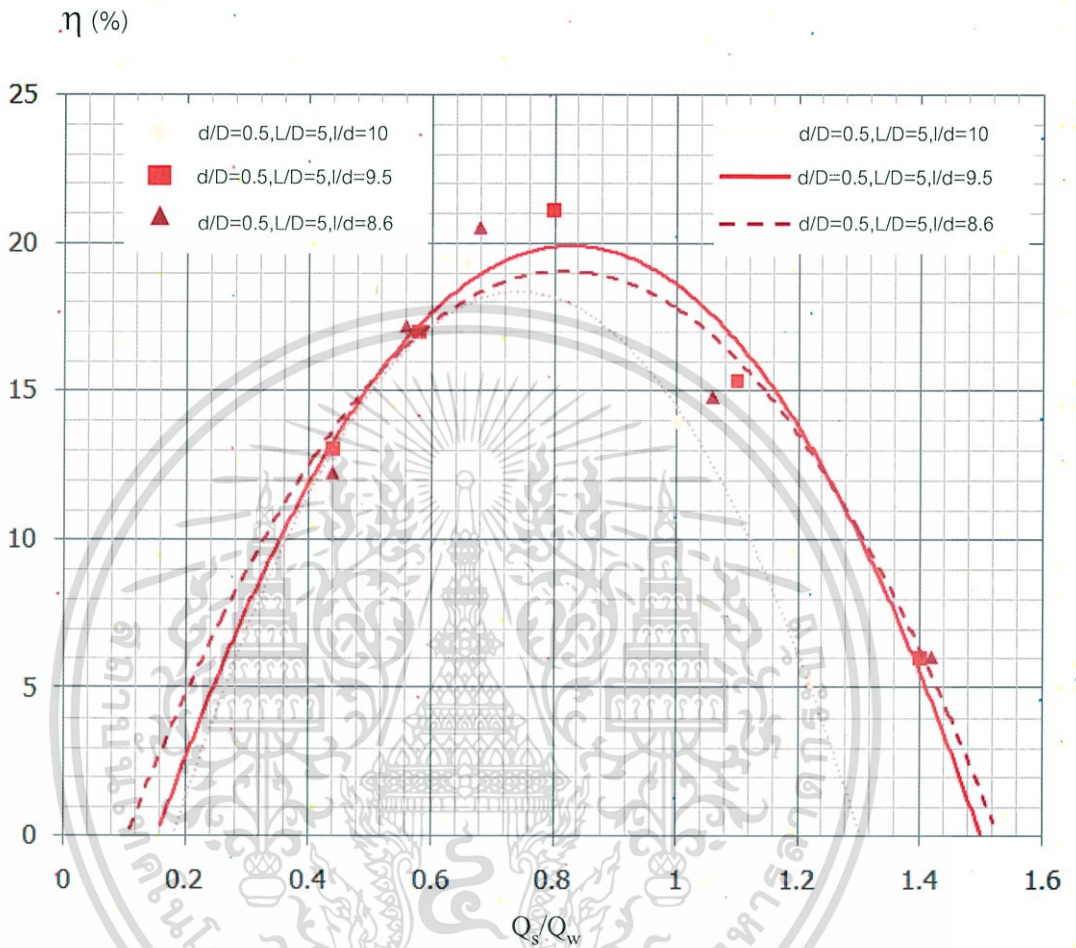


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.3$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d=15, 14$ และ 13 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.25 พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่หัวฉีดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.3 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เมื่ออัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) มีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเท่ากับ 14 มีค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) สูงที่สุด นั้นหมายความว่าที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมเท่ากับ 5 มิลลิเมตรให้อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

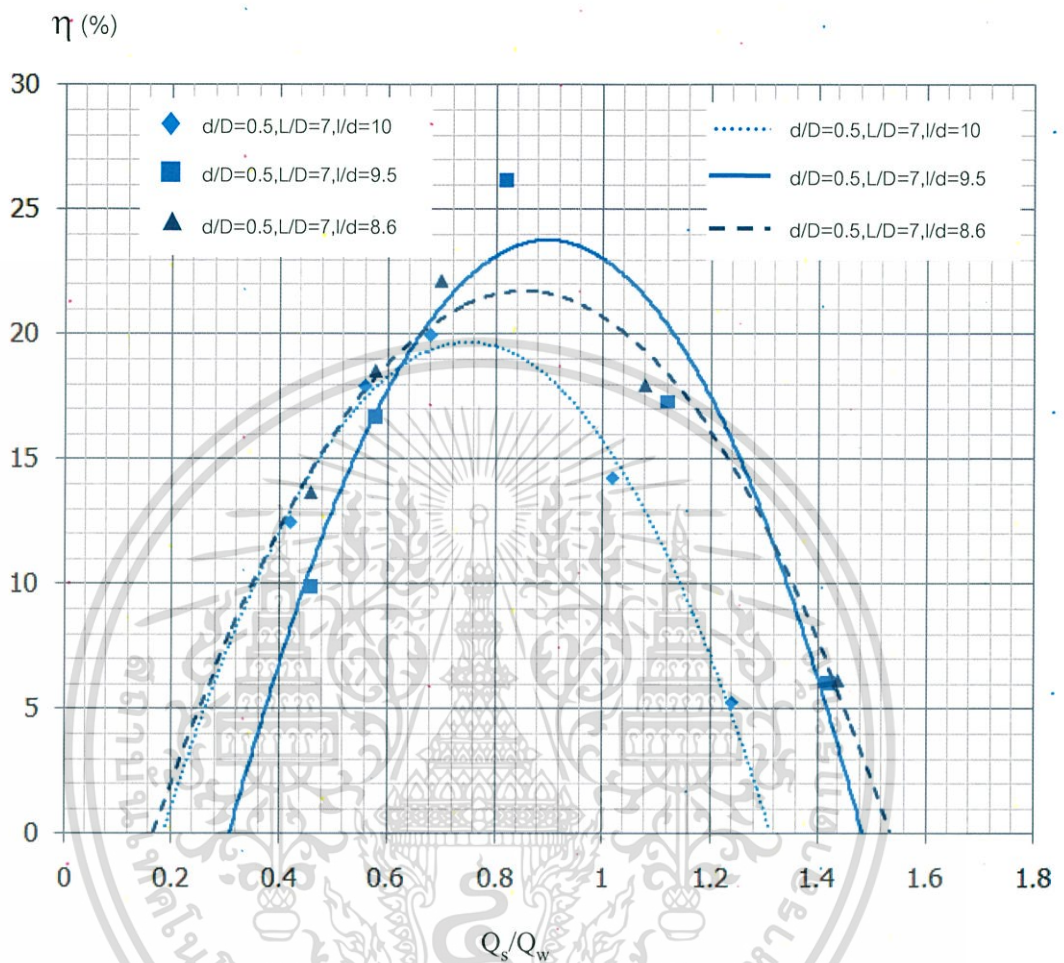
4.5.4 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 6 mm



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.3 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.80 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 9.5 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 10 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

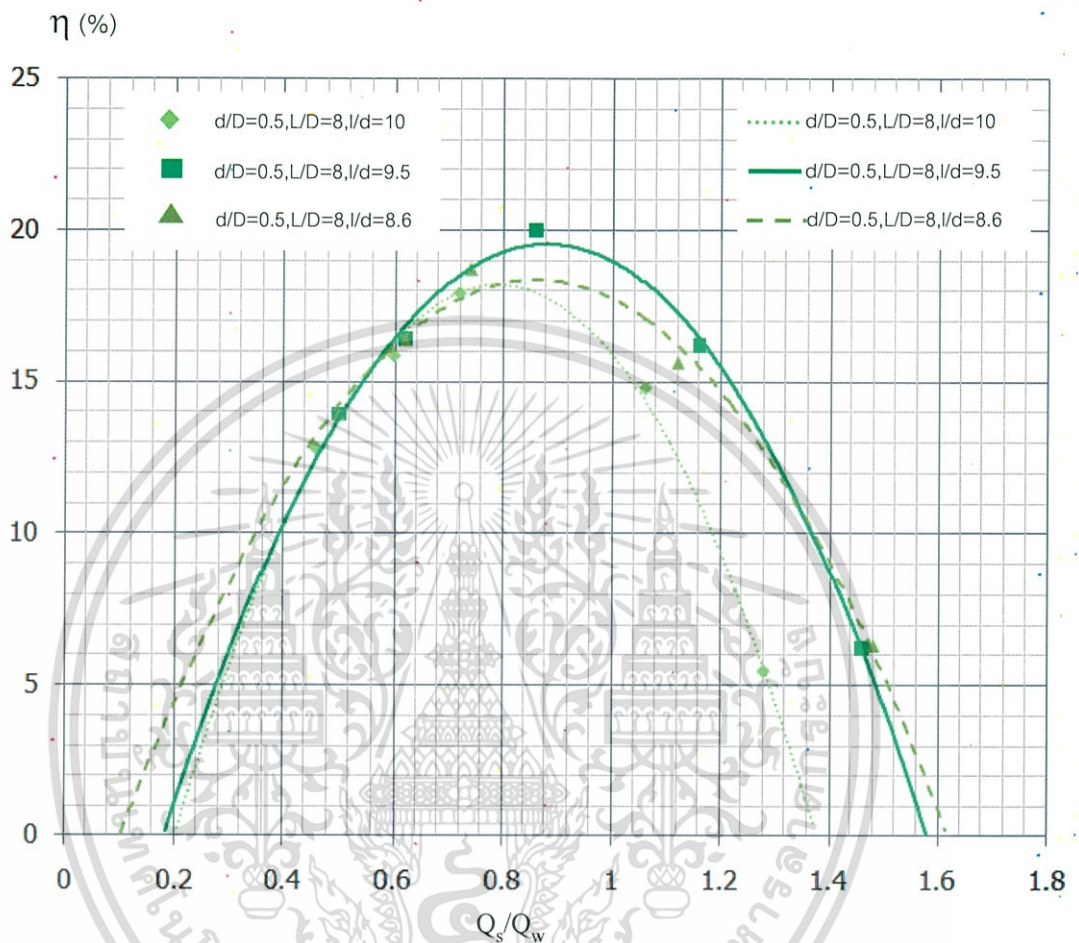
4.5.5 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทบีมเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 6 mm



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ

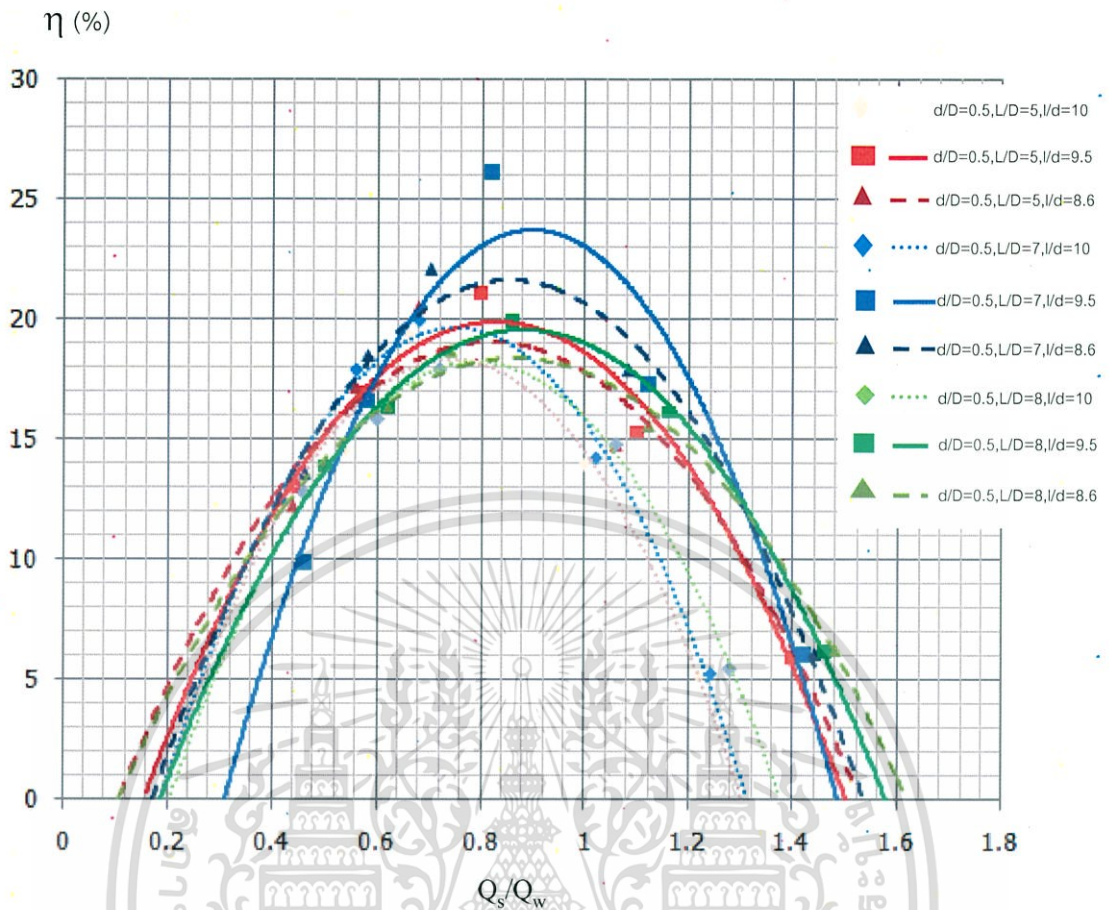
จากรูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าได้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 26.19 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.82 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 9.5 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 10 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

4.5.6 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 6 mm



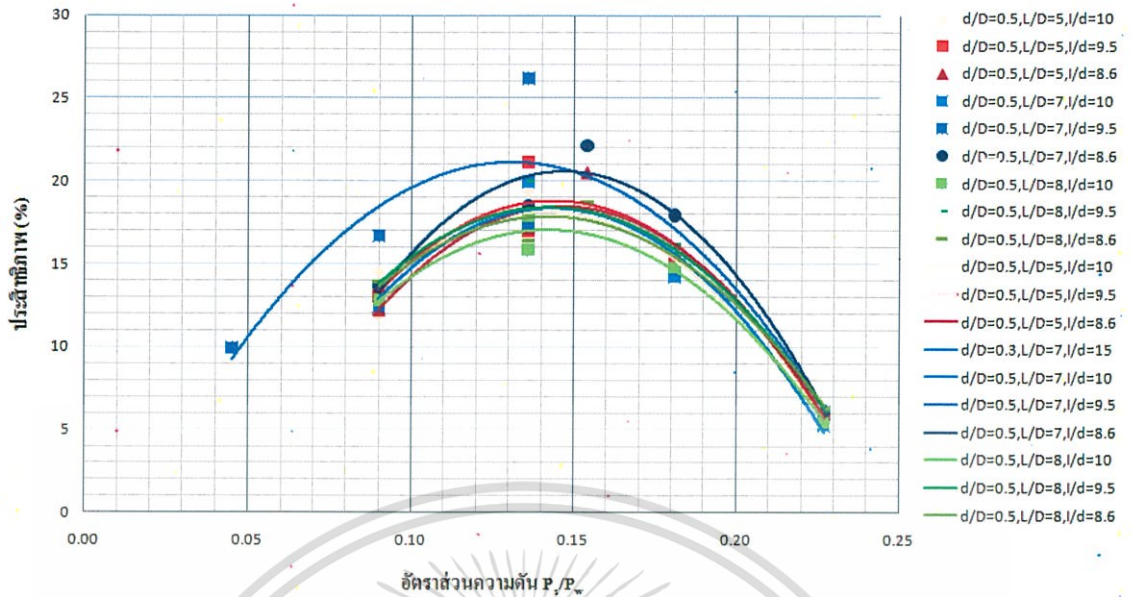
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$, $L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 10, 9.5 และ 8.6 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงว่าได้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 19.97 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.86 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 9.5 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 10 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d=10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ

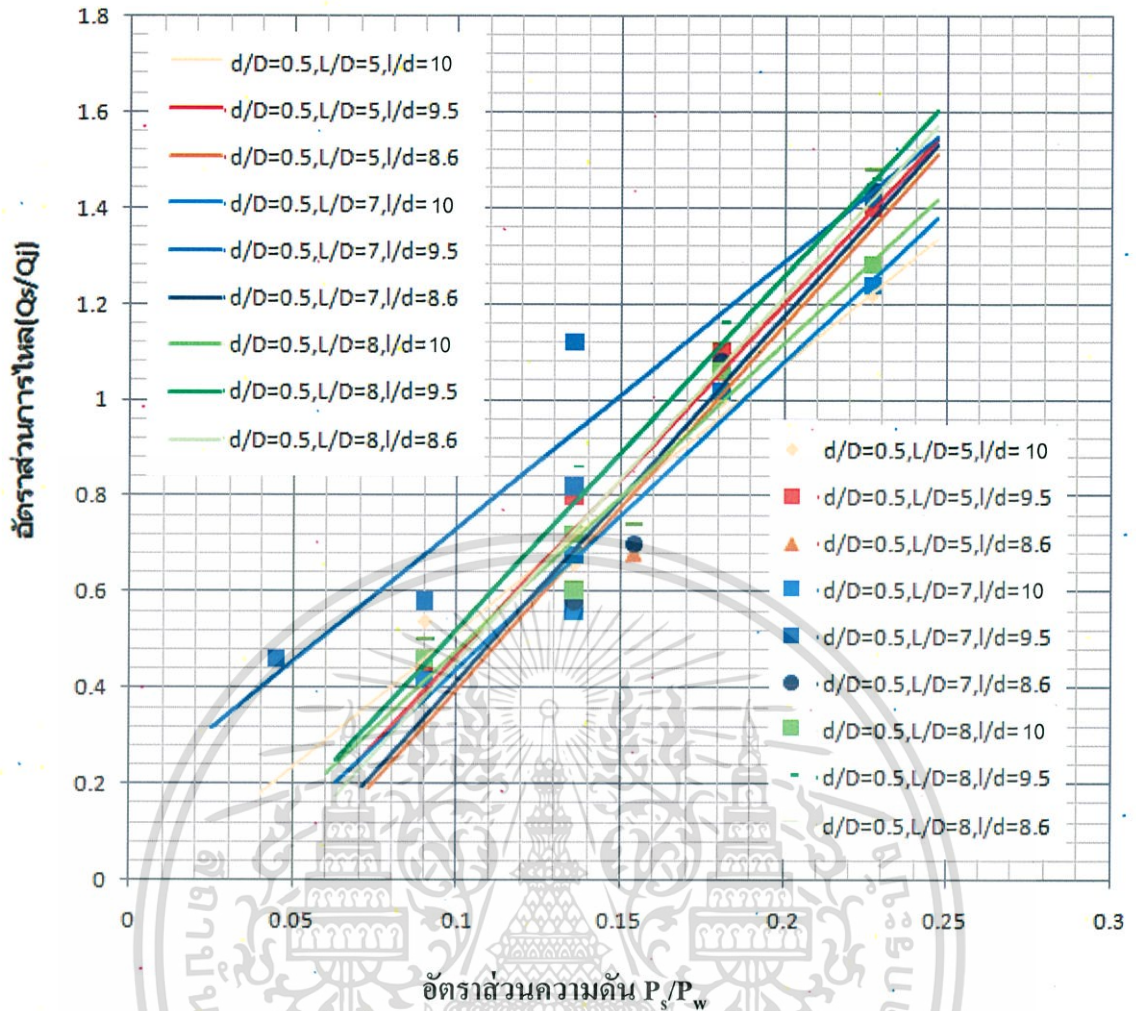
จากรูปที่ 4.29 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราการไหลของอากาศที่ท่อทางดูดกับของเหลวที่หัวฉีด ในอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดต่อพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 0.5 แสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 26.19 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.82 โดยมีอัตราส่วนความยาวของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 7 และระยะห่างระหว่างห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) เท่ากับระยะ 5 mm โดยมีอัตราส่วน l/d เท่ากับ 9.5 เป็นระยะทางที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d=10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.30 ค่าประสิทธิภาพจากการทดลอง เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่อัตราส่วนความยาวห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) และระยะห่างระหว่างห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) ต่าง ๆ พบว่าเมื่อถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะลดลง

พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม เท่ากับ 0.5 พบว่าที่อัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ประมาณ 0.136 จะให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เพิ่มขึ้นเนื่องจากความดันที่ออยขยาย (P_d) เพิ่มขึ้น มาถึงค่าหนึ่ง (ค่าวิกฤต) จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) ลดลง เนื่องจากความดันที่ด้านจ่าย (P_w) สูงขึ้นทำให้อัตราส่วนการไหลในห้องผสมลดลง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับสมการประสิทธิภาพที่ได้กล่าวในบทที่ 3

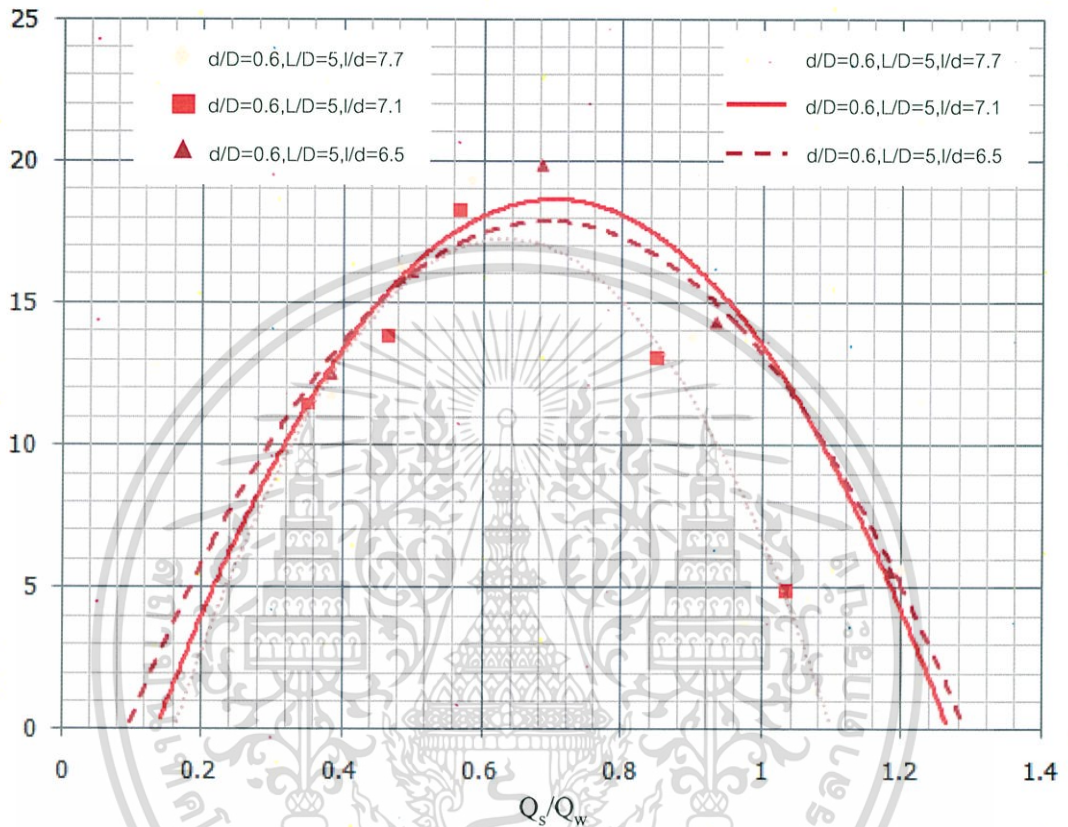


รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.5$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 10, 9.5$ และ 8.6 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.31 พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่หัวฉีดกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เมื่ออัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) มีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดเท่ากับ 9.5 มีค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) สูงที่สุด นั้นหมายความว่าที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมเท่ากับ 5 มิลลิเมตรให้อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ต่ำที่สุด

4.5.7 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 70 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 8 mm

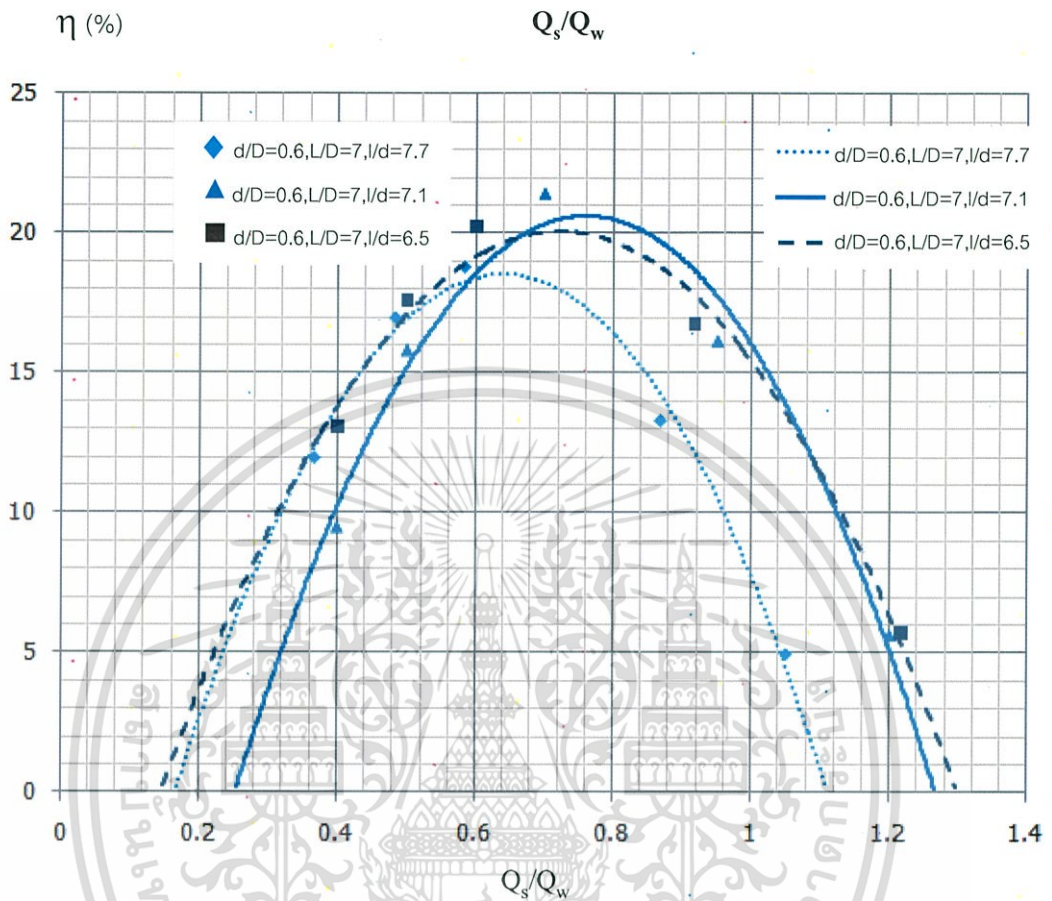
η (%)



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6$, $L/D=5$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 7.7, 7.1 และ 6.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 19.85 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.68 โดยมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 7.1 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 7.7 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

4.5.8 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 85 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 8 mm

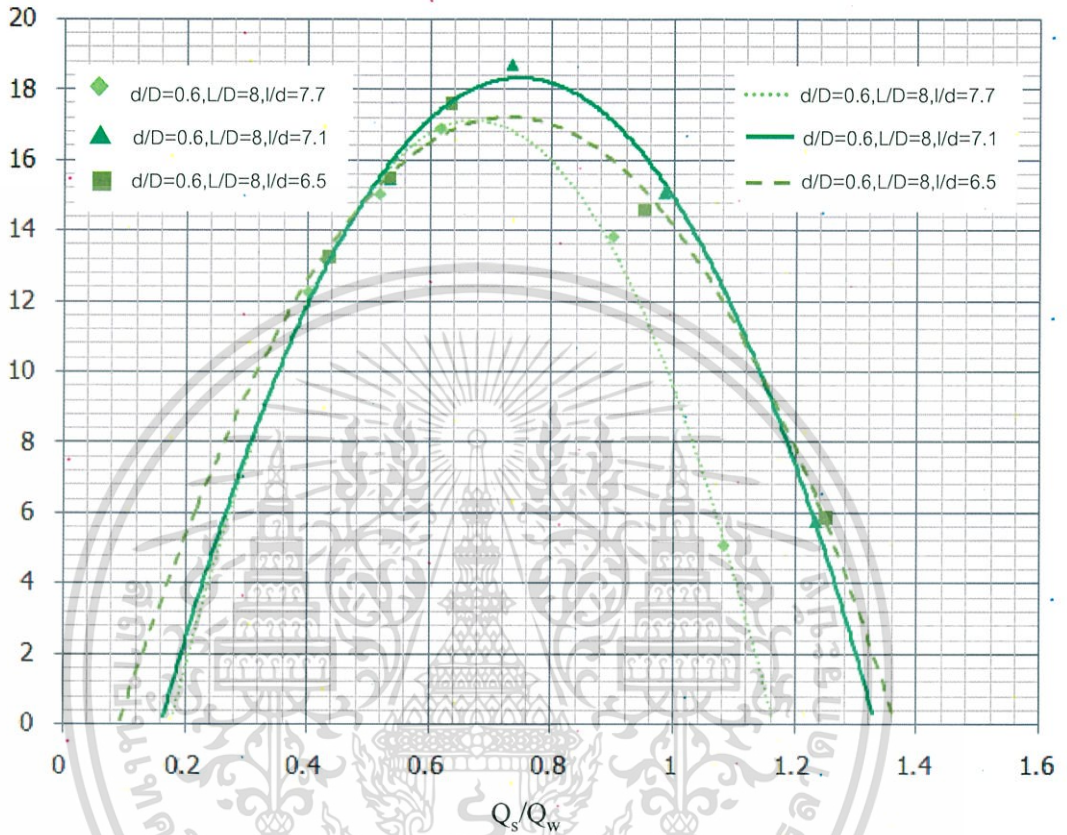


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6$, $L/D=7$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 7.7, 7.1 และ 6.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.42 % ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.70 และมีอัตราส่วนระยะห่างของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 7.1 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 7.7 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด

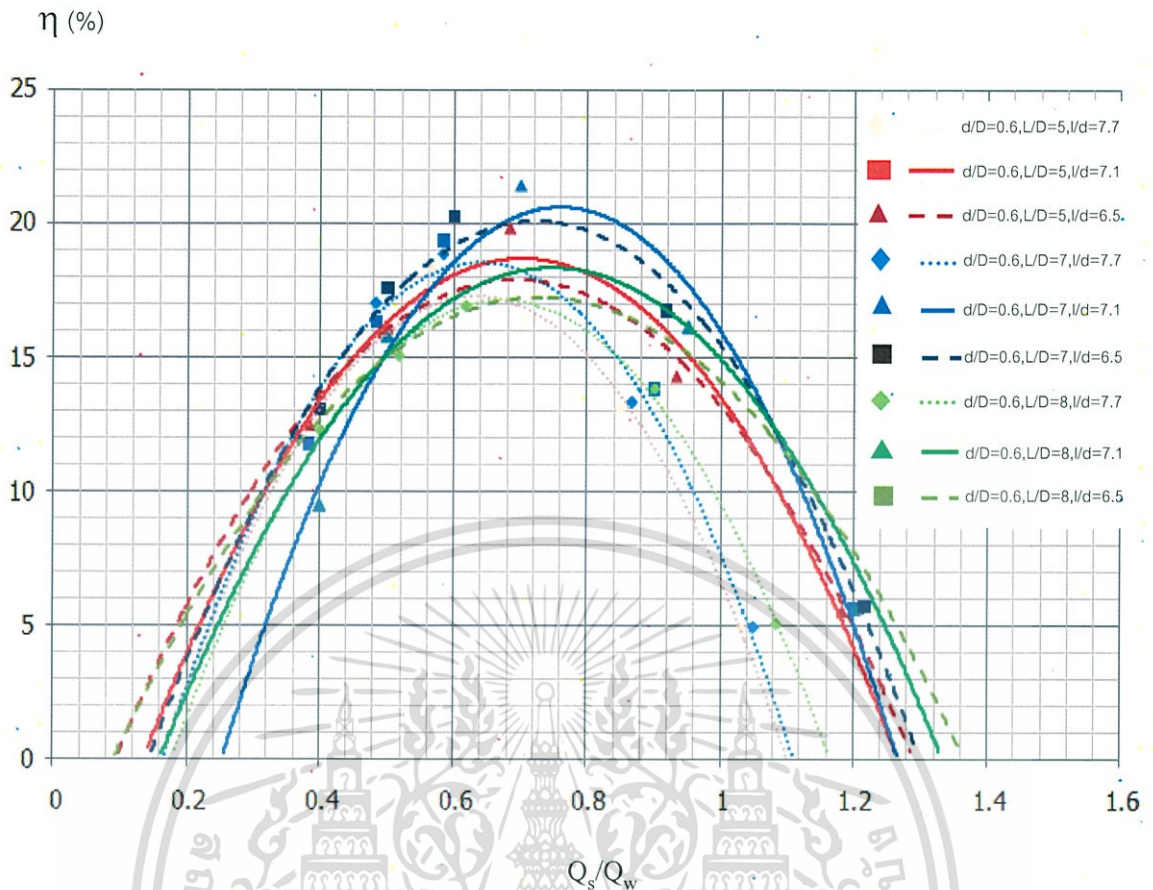
4.5.9 ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ ที่ความยาวของห้องผสมเท่ากับ 100 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 8 mm

η (%)



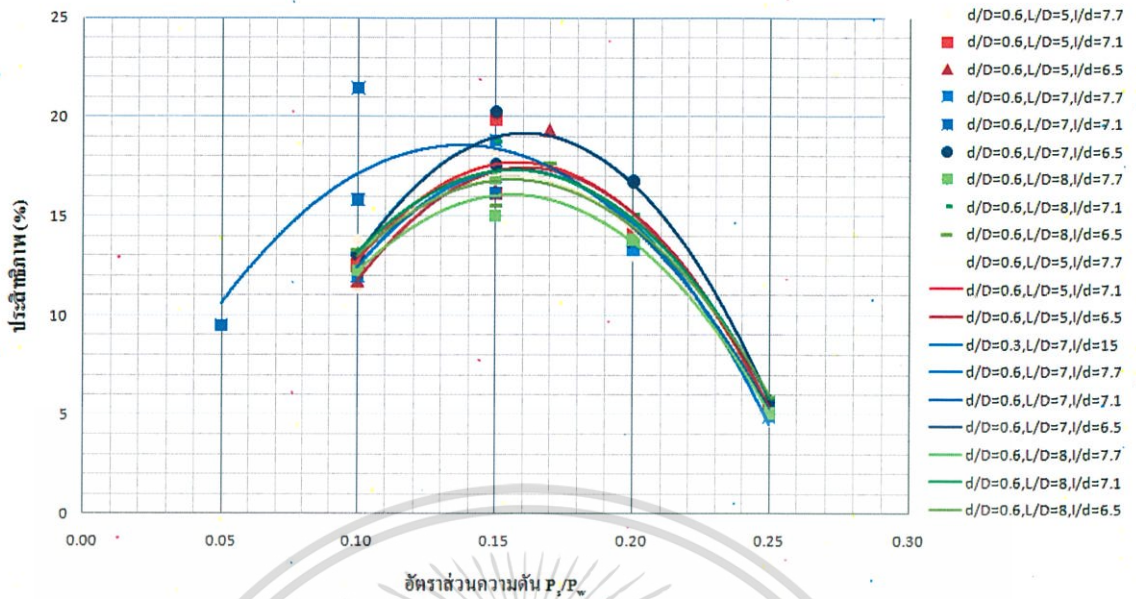
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6$, $L/D=8$ โดยเปลี่ยนแปลง l/d ที่ 7.7, 7.1 และ 6.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าได้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 18.3% ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.73 โดยมีอัตราส่วนระยะห่างห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) เท่ากับ 7.1 และที่ระยะ l/d เท่ากับ 7.7 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d=7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ

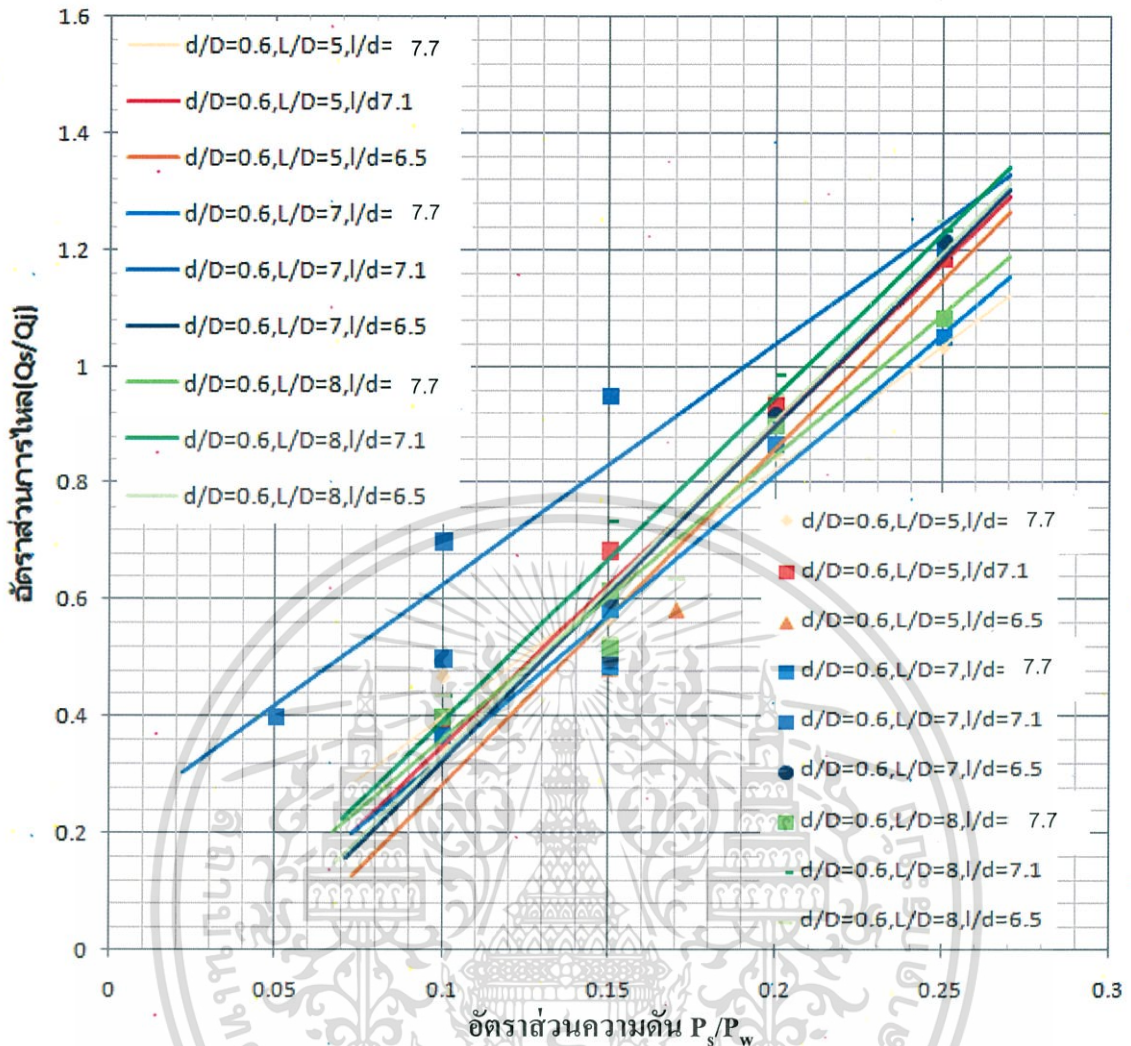
จากรูปที่ 4.35 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราการไหลของอากาศที่ท่อทางดูดกับของเหลวที่หัวฉีด ในอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 0.6 แสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.42 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.7 โดยมีอัตราส่วนความยาวของห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 7 และระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) เท่ากับระยะ 5 mm โดยมีอัตราส่วน l/d เท่ากับ 7.1 เป็นระยะทางที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D=5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $I/d=7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.36 ค่าประสิทธิภาพจากการทดลอง เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่อัตราส่วนความยาวห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) และระยะห่างระหว่างห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (I/d) ต่าง ๆ พบว่าเมื่อถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะลดลง

พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม เท่ากับ 0.6 พบว่าที่อัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ประมาณ 0.150 จะให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เพิ่มขึ้นเนื่องจากความดันที่ออบบาย (P_d) เพิ่มขึ้น มาถึงค่าหนึ่ง (ค่าวิกฤต) จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) ลดลง เนื่องจากความดันที่ด้านจ่าย (P_w) สูงขึ้นทำให้อัตราส่วนการไหลในห้องผสมลดลง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับสมการประสิทธิภาพที่ได้กล่าวในบทที่ 3



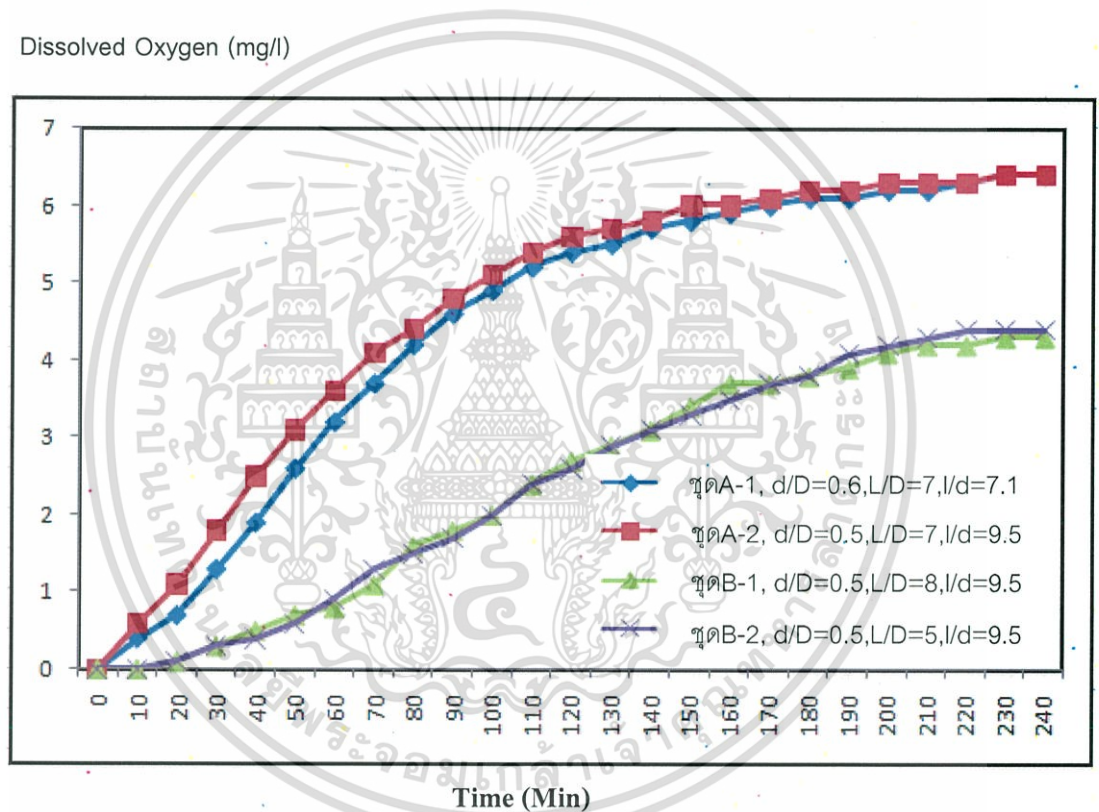
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ที่ $d/D=0.6$ โดยเปลี่ยนแปลง $L/D = 5, 7$ และ 8 ตามลำดับ และเปลี่ยนแปลง $l/d = 7.7, 7.1$ และ 6.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.37 พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่หัวฉีดกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) กับอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) เมื่ออัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) มีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ระยะห่างระหว่างห้องผสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดเท่ากับ 7.1 มีค่าอัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และอัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) สูงที่สุด นั้นหมายความว่าที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมเท่ากับ 5 mm ให้อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_w) และ อัตราส่วนความดัน (P_s/P_w) ต่ำที่สุด

4.5.10 ผลการทดลองเพื่อหาเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่เติมออกซิเจนได้ดีที่สุด

ในส่วนผลการประยุกต์ใช้งานเติมออกซิเจนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ โดยแบ่งส่วนของผลการทดลองและวิเคราะห์ผลออก คือ ส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองจากชุดทดลองเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศทั้ง 4 ชุด ซึ่งแยกการวิเคราะห์ที่ละอัตราการไหล เพื่อเปรียบเทียบว่าในแต่ละอัตราการไหลเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดใดให้อัตราการเติมอากาศได้ดีที่สุด

4.5.10.1 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมออกซิเจนที่อัตราการไหลผ่านปั๊มน้ำที่ 40 l/min



รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 40 l/min

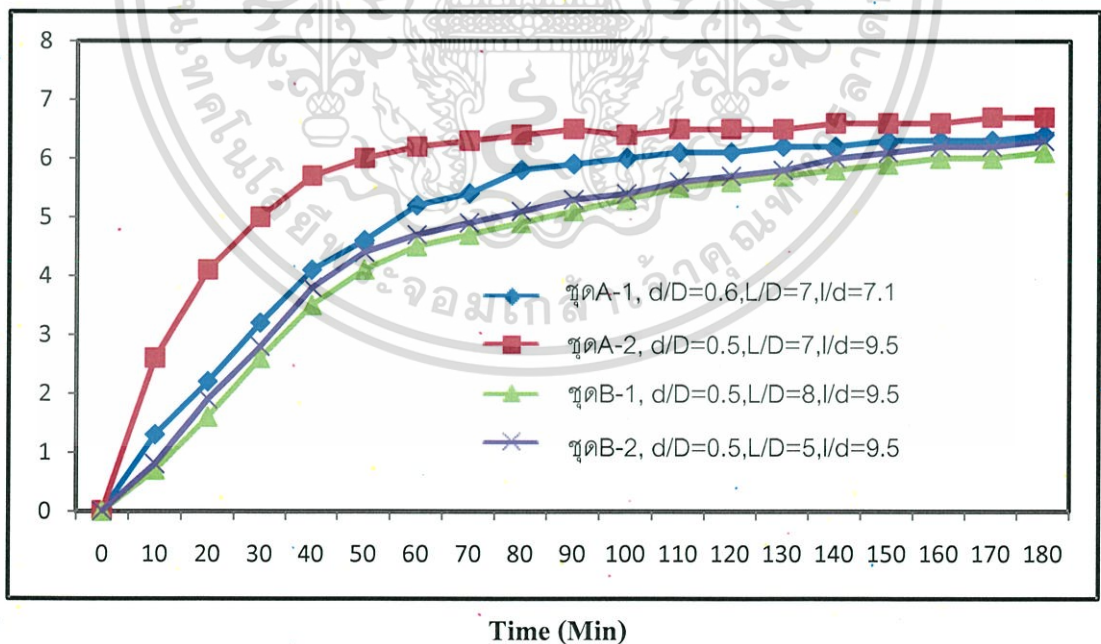
จากการทดลองเมื่อเปิดปั๊มแล้วปล่อยให้เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศทำงาน จากนั้นตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลารวมทั้งหมด 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณการเพิ่มของออกซิเจนเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเพิ่มของออกซิเจนในน้ำได้แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.36 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลาของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศในแต่ละชุด โดยเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้เร็วที่สุด ได้แก่ เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ A-2 ซึ่งให้อัตราการเติมอากาศ 136.31

mg/s รองลงมาคือ ชุดที่ A-1 ซึ่งให้อัตราการเติมอากาศ 119.51 mg/s ถัดมาคือชุดที่ B-2 ให้อัตราการเติมอากาศ 33.7 mg/s และชุดที่ให้อัตราการเติมอากาศได้ต่ำสุดคือชุดที่ B-1 ให้อัตราการเติมออกซิเจนเพียง 24.57 mg/s สังเกตได้ว่า เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศในชุดที่ A ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเล็ก จะให้อัตราการเติมอากาศได้ดีกว่าเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ B สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Nozzle Head) และความดันบรรยากาศมากกว่าเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Nozzle Head) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางทางออกใหญ่ อันเป็นเหตุให้ปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่ท่อทุติยภูมิสูงมากกว่าตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาต่อผสมและต่อเพิ่มความดันทั้งสองชุดพบว่า มีผลต่ออัตราการเติมอากาศแต่น้อยกว่าขนาดของหัวฉีดเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Jet Head) ดูจากปริมาณอากาศที่เติมเข้าไปต่อวินาทีมีค่าใกล้เคียงกันมากจนทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแต่ละช่วงเวลาไม่ค่อยแตกต่างกัน หรือบางช่วงเวลาเท่ากัน

4.5.10.2 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมออกซิเจนที่อัตราการไหลผ่านปั๊มน้ำที่ 50 l/min

จากรูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 50 l/min ของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศแต่ละชุด โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

Dissolved Oxygen (mg/l)



รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายในน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 50 l/min

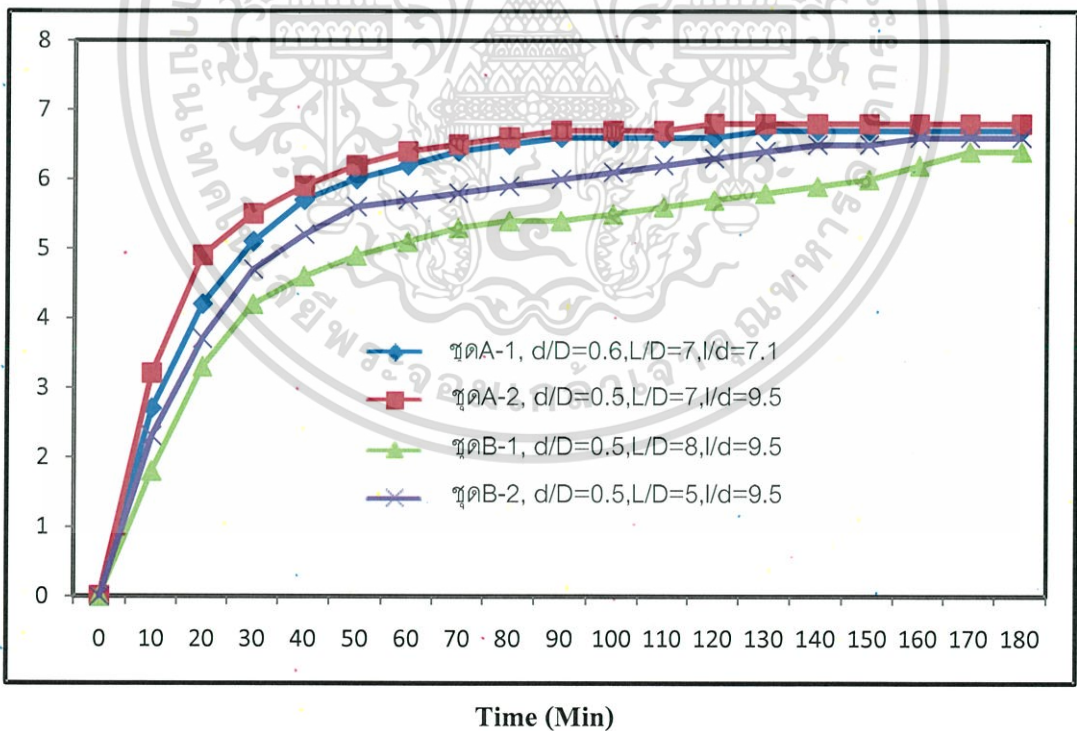
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยชุดที่ให้อัตราการเติมอากาศได้สูงสุดได้แก่ A-2 รองลงมา คือ ชุดที่ A-1 ชุดที่ B-2 ชุดที่ B-1 ตามลำดับ โดยให้อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 317.37, 245.92, 150.92 และ 145.74 mg/s ตามลำดับ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองที่อัตราการไหล 40 l/min จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกตามปริมาณการเติมอากาศสู่น้ำ เมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง ความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันมากจนเส้นกราฟเกือบจะชิดกัน แสดงให้เห็นว่าหากมีการทดลองต่อไปเรื่อย ๆ เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นมีแนวโน้มที่จะทับกันสนิท

4.5.10.3 ผลการประยุกต์ใช้งานเติมออกซิเจนที่อัตราการไหลผ่านปั้มน้ำที่ 60 l/min

เมื่อเปิดปั้มน้ำแล้วปล่อยให้เจ็ตปั้มน้ำเหี่ยวนำอากาศทำงานที่อัตราการไหล 60 l/min คอยวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลาต่อเนื่อง 3 ชั่วโมง ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงรูปที่ 4.40

Dissolved Oxygen (mg/l)



รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ละลายน้ำเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 60 l/min

จากการทดลอง พบว่าปริมาณการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนให้กับน้ำได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเจ็ตปั้มน้ำเหี่ยวนำอากาศที่

สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้รวดเร็วและมากที่สุดคือ เจ็ดปี่มเหนี่ยวนำอากาศ ชุดที่ A-2 รองลงมาคือ ชุดที่ A-1 ชุดที่ B-2 ชุดที่ B-1 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่อัตราการไหล 40 l/min และ 50 l/min โดยผลการทดลองให้อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 434.92, 354.41, 303.17 และ 275.79 mg/s ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลสูงขึ้นอัตราการเติมอากาศก็เพิ่มขึ้นด้วยสังเกตได้จากกราฟที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D), อัตราส่วนการไหลเข้าของอากาศทางท่อคู่ต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำทางหัวฉีด (Q_a/Q_w), ความยาวของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) และระยะห่างระหว่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) มีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศพอสรุปได้ดังนี้

1. เจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับของไหลสองเฟสคือน้ำกับอากาศ พบว่าให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือ 26.91 % ที่อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 ที่อัตราส่วนการไหลเข้าของอากาศต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำ (Q_a/Q_w) เท่ากับ 0.82 ที่ความยาวของห้องผสมต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) เท่ากับ 7.083 และที่แต่ละระยะห่างระหว่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (l/d) เท่ากับ 9.5

2. ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับห้องผสม เป็นระยะ 5 mm (l/d) เท่ากับ 14, 9.5 และ 7.1 เจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 23.91 % ที่อัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 และเป็นระยะห่างที่ให้ประสิทธิภาพมากกว่าระยะห่างที่หัวฉีดถอยหลังออกจากห้องผสมเป็นระยะ 10 mm (l/d) เท่ากับ 13, 8.6 และ 6.5 และยังเป็นจุดที่ให้ประสิทธิภาพมากกว่าระยะที่หัวฉีดอยู่เสมอกับห้องผสมที่ระยะ 0 mm (l/d) เท่ากับ 15, 10 และ 7.7

3. เจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศที่สามารถเติมออกซิเจนในน้ำด้วยอัตราการเติมสูงสุด คือเจ็ดปั๊มที่มีขนาดสัดส่วน $d/D=0.5$, $L/D=7$ และ $l/d=9.5$ โดยมีอัตราการเติมออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 434.92 mg/s และให้อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 60 l/min

4. การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีดมีผลให้อัตราการเติมออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น โดยให้อัตราการไหล 60 l/min ให้อัตราการเติมออกซิเจนสูงสุดเมื่อทดลองกับเจ็ดปั๊มเหนี่ยวนำอากาศชุดที่ $d/D=0.5$, $L/D=7$ และ $l/d=9.5$ แต่หากพิจารณาด้านความเหมาะสมแล้ว อัตราการไหลที่ 50 l/min สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ในเวลาที่ใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ 60 l/min ในกรณีที่มีการเพิ่มอัตราการไหลจาก 50 l/min เป็น 60 l/min ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลจะทำให้ต้องใช้พลังงานจากปั๊มสูบน้ำที่มากขึ้น ซึ่งมีผลต่อระบบคือทำให้ต้นทุนของโครงการและขนาดของระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดการสูญเสียในระบบมากเกินความจำเป็น ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับระบบที่ได้ทดลองคือ อัตราการไหลที่ 50 l/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากความละเอียดของเครื่องมือวัด และการอ่านค่าอาจเกิดการผิดพลาดได้ ในการวัดค่าแต่ละค่าจึงควรทำการทดลองซ้ำหลายครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
2. ค่าที่ได้จากการทดลองอาจจะมีข้อผิดพลาดไปบ้าง เนื่องจากสมมุติฐานในการทำการทดลองนั้น ได้ตัดปัจจัยบางอย่างที่อาจมีผลต่อการคำนวณทิ้งเพื่อความง่ายต่อการวัดค่าต่อการทดลอง และการคำนวณ ถึงแม้ในความเป็นจริงปัจจัยเหล่านั้นยังคงมีผลอยู่ จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้อาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริงในโลกแห่งความเป็นจริง แต่ก็ได้ค่าที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง
3. การเจาะรูเพื่อต่อเกจวัดแรงดันเข้ากับชุดทดลองควรเจาะรูที่มีขนาดเพียง 2-3 มิลลิเมตร เท่านั้นแต่สำหรับชุดทดลองชุดนี้ขนาดรูเจาะทั้งหมดเท่ากับ 6 mm ซึ่งภายหลังได้รับข้อมูลจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จำลอง ปรามแก้ว ว่าหากเจาะรูส่งความดันเล็ก ๆ จะทำให้อ่านเกจได้ง่ายเนื่องจากความดันไม่แกว่งมากนัก
4. การใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศซึ่งในการทดลองนี้ใช้พิทอตทิว นั้นต้องถูกวางให้อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของของไหล ซึ่งบางครั้งไม่ทราบได้ว่าทิศทางการไหลของของไหลเป็นเช่นไร สำหรับมุมของหลอดที่เบียดตัวออกไปจากแนวการไหลที่มีขนาดมากกว่า 5 องศา จะส่งผลให้มีความผิดพลาดมากพอสมควรทั้งในการวัดค่าความดันท่อส่ง (P_u) และค่าความท้อสุด (P_s)
5. มาตรวัดชนิดโรตา (Rota meter) นี้ได้ทำการติดตั้งสเกลบอกขนาดอัตราการไหลไว้ที่บริเวณข้างหลอดของเครื่องมือวัด ทำให้สะดวกต่อการอ่านค่าอัตราการไหล อย่างไรก็ตามมาตรวัดแบบโรตาจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากในช่วงที่มีการไหลน้อย ๆ และไม่เหมาะกับของไหลที่มีค่าความหนาแน่นมาก ๆ
6. ในการทดลองควรทำการทดลองแต่ละครั้งควรมีองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมของแต่ละครั้งเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิ ความกดอากาศ ความหนาแน่นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของอากาศกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] J. Morchain, C. Maranges, C.Fonade, **CFD Modelling of a Two-Phase jet aerator under influence of a crossflow**. 2000 Elsevier Science Ltd, Wat. Res. Vol. 34, No. 13, pp. 3460-3472
- [2] Adi Surjosatyo and Farid Nasir Ani, **A Numerical Study of Air Flow in a Coaxial Pipe**. Jurnal Teknologi, 34(A) Jan 2001, University Teknologi Malaysia, 1-15
- [3] A. Baylar, F. Ozkan, M. Ozturk, **Influence of venture cone angle on jet aeration system**. Proceedings of the Institution of Civil Engineer, Water Management 158, March 2005 Issue WMI, Page 9-16
- [4] Gao Jifei , Gu Guowei, Zhao Zilong and Zhang Yalei, **CFD Numerical Simulation Applied in the Design of the Jet Aerator**. Environmental Information Archives, Volume 3 (2005), 266-231
- [5] R. Senthil Kumar, S. Kumaraswamy, A. Mani, **Experimental investigations on a two-phase Jet pump used in desalination systems**. Science Direct, Desalination 204(2007), Page 437-447
- [6] Sange. N. L. **An Experimental Investigation of Several Low Area Ratio Water Jet Pump**. ASME Journal of Basic Engineer. March, 1970. Page 11-20
- [7] Gramer P.H.M.R. Smit L., Van Dierendonck L.L. and Beenackers A.A.C.M., 1993, **Hydrodynamics and local mass transfer characteristics of gas-liquid jet ejector**. The Chemical Engineering Journal, pp.69-72.
- [8] ผศ.อดุล จารุรัตน์, 2542, **วิศวกรรมกรประปาและสุขาภิบาล**. ภาควิชาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 83-94
- [9] Wesley W. Eckenfelder, Jr., 2000 , **Industrial Water Pollution control**. 3rd ., Mc Graw Hill Companies, pp 158-163.
- [10] เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518, **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน**. โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์, หน้า 179-191
- [11] Metcalf and Eddy, 1991, **Waster Water Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd International Edition, pp 283-292, pp.425-430
- [12] Ven der Viele K. 1990, **Mass transfer in jet loop reactor**. Chemical engineering science, Vol.45.
- [13] Wesley W. Eckenfelder, Jr., 2000 , **Industrial Water Pollution control**. 3rd ; Mc Graw Hill Companies, pp 158-163.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**, 2538, หน้า 39
- [15] Metcalf and Eddy, 1991, **Waster Water Engineering : Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd International Edition, pp 283-292, pp.425-430
- [16] Chamlong Prabkeao, Katsumi Aoki, **Theoretical Analysis on Hydraulic Transportation of Solid Using The Jet Pump**. Proceeding of the school of Engineering, Tokai University, Vol. 26 2001, Page 21-47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 10 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	10	11	11.8	11.3	10.9	10.56	10.75	11.13	11.32
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	10	11	11.8	11.3	10.9	10.56	10.75	11.13	11.32
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 20 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	20	19.63	19.44	18.50	19.06	19.06	18.68	19.44	19.25
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	20	19.63	19.44	18.50	19.06	19.06	18.68	19.44	19.25
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	20	20	20	20	20	20	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด (litre/min) ทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 30 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	30	30	30	30	30.5	30	30	30	30.5
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	30	30	30	30	30.5	30	30	30	30.5
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 40 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	40	39.5	40	40	40	40	40	39.5	40
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	40	39.5	40	40	40	40	40	39.5	40
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	40	40	40	40	40	40	40	40	40

ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 50 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	50	50	50	50	49.5	49.5	50	49.5	50
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	50	50	50	50	49.5	49.5	50	49.5	50
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	50	50	50	50	50	50	50	50	50

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงค่าการสอบเทียบมาตรวัดแบบโรตาที่อัตราการไหล 60 l/min

Result	Number								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantity of Water Collected(litre)	60	60	60	60	60	59.5	60	59.5	60
Time to Collect Water, T(sec)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volume Flow Rate, Q (litre/min)	60	60	60	60	60	59.5	60	59.5	60
Rota Meter Reading, Qr (litre/min)	60	60	60	60	60	60	60	60	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3$, $L/D=5$, $l/d=15$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]_1$	$k/k-1$	η (%)
10	40	0.250	0.05	1.2	1	0.041	20	0.286	1.355	3.5	4.942
17	40	0.425	0.1	1.2	0.8	0.083	8	0.286	0.812	3.5	10.071
23	40	0.575	0.1	1.2	0.7	0.083	7	0.286	0.744	3.5	12.487
40	40	1.000	0.15	1.2	0.3	0.125	2	0.286	0.219	3.5	9.592
51	40	1.275	0.2	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	4.901

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3$, $L/D=5$, $l/d=14$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]_1$	$k/k-1$	η (%)
12	40	0.300	0.05	1.2	1	0.041	20	0.286	1.355	3.5	5.930
18	40	0.450	0.10	1.2	0.8	0.083	8	0.286	0.812	3.5	10.664
34	40	0.850	0.10	1.2	0.6	0.083	6	0.286	0.669	3.5	14.642
45	40	1.125	0.15	1.2	0.3	0.125	2	0.286	0.219	3.5	10.791
60	40	1.500	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	5.766

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3$, $L/D=5$, $l/d=13$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]_1$	$k/k-1$	η (%)
12	40	0.300	0.05	1.2	1	0.041	20	0.286	1.355	3.5	5.93
18	40	0.450	0.10	1.2	0.8	0.083	8	0.286	0.812	3.5	10.66
24	40	0.600	0.12	1.2	0.7	0.100	5.8	0.286	0.655	3.5	13.77
43	40	1.075	0.15	1.2	0.3	0.125	2	0.286	0.219	3.5	10.31
61	40	1.525	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	5.86

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=15$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
11	40	0.275	0.05	1.2	1.1	0.041	22	0.286	1.420	3.5	5.69
18	40	0.450	0.10	1.2	0.85	0.083	8.5	0.286	0.844	3.5	11.08
24	40	0.600	0.10	1.2	0.65	0.083	6.5	0.286	0.708	3.5	12.39
41	40	1.025	0.15	1.2	0.30	0.125	2.0	0.286	0.219	3.5	9.8
52	40	1.300	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	4.99

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=14$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
13	40	0.325	0.05	1.2	1	0.041	22	0.286	1.420	3.5	6.73
19	40	0.475	0.10	1.2	0.9	0.083	9	0.286	0.874	3.5	12.11
31	40	0.775	0.10	1.2	0.65	0.083	6.5	0.286	0.708	3.5	16.00
46	40	1.150	0.15	1.2	0.35	0.125	2.3	0.286	0.274	3.5	13.79
61	40	1.525	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	5.86

ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=7, l/d=13$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
13	40	0.325	0.05	1.2	1.1	0.041	22	0.286	1.420	3.5	6.73
19	40	0.475	0.10	1.2	0.9	0.083	9	0.286	0.874	3.5	12.11
25	40	0.625	0.12	1.2	0.75	0.100	6.25	0.286	0.688	3.5	15.07
44	40	1.100	0.15	1.2	0.35	0.125	2.33	0.286	0.274	3.5	13.19
62	40	1.550	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	5.95

ตารางที่ ข.7 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=15$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
13	40	0.325	0.05	1.2	1.0	0.041	20	0.286	1.355	3.5	6.42
20	40	0.500	0.10	1.2	0.8	0.083	8	0.286	0.812	3.5	11.84
26	40	0.650	0.10	1.2	0.6	0.083	6	0.286	0.669	3.5	12.69
43	40	1.075	0.15	1.2	0.30	0.125	2	0.286	0.219	3.5	10.31
54	40	1.350	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	5.18

ตารางที่ ข.8 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=14$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
15	40	0.375	0.05	1.2	1.1	0.041	20	0.286	1.355	3.5	7.41
21	40	0.525	0.10	1.2	0.8	0.083	8	0.286	0.812	3.5	12.44
33	40	0.825	0.10	1.2	0.5	0.083	5	0.286	0.584	3.5	14.06
48	40	1.200	0.15	1.2	0.3	0.125	2	0.286	0.219	3.5	11.51
63	40	1.575	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	6.05

ตารางที่ ข.9 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.3, L/D=8, l/d=13$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
15	40	0.375	0.05	1.2	0.95	0.041	19	0.286	1.321	3.5	7.22
21	40	0.525	0.10	1.2	0.75	0.083	7.5	0.286	0.779	3.5	11.93
27	40	0.675	0.12	1.2	0.60	0.100	5	0.286	0.584	3.5	13.80
46	40	1.150	0.15	1.2	0.30	0.125	2	0.286	0.219	3.5	11.03
64	40	1.60	0.20	1.2	0.25	0.166	1.25	0.286	0.065	3.5	6.15

ตารางที่ ข.10 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=10$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
20	50	0.400	0.10	1.1	1.00	0.090	10	0.286	0.931	3.5	11.86
27	50	0.540	0.10	1.1	0.85	0.090	8.5	0.286	0.844	3.5	14.50
33	50	0.660	0.15	1.1	0.80	0.136	5.33	0.286	0.614	3.5	19.34
50	50	1.000	0.2	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	13.95
61	50	1.220	0.25	1.1	0.30	0.227	1.20	0.286	0.053	3.5	5.19

ตารางที่ ข.11 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=9.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
22	50	0.440	0.10	1.1	1.00	0.090	10	0.286	0.931	3.5	13.04
29	50	0.580	0.15	1.1	0.80	0.136	5.33	0.286	0.614	3.5	16.99
40	50	0.800	0.15	1.1	0.70	0.136	4.66	0.286	0.553	3.5	21.13
55	50	1.100	0.2	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	15.34
70	50	1.400	0.25	1.1	0.30	0.227	1.20	0.286	0.053	3.5	5.96

ตารางที่ ข.12 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=5, l/d=8.6$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
22	50	0.44	0.1	1.1	0.90	0.090	9	0.286	0.874	3.5	12.24
28	50	0.56	0.15	1.1	0.85	0.136	5.66	0.286	0.642	3.5	17.16
34	50	0.68	0.17	1.1	0.80	0.154	4.7	0.286	0.557	3.5	20.49
53	50	1.06	0.20	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	14.78
71	50	1.42	0.25	1.1	0.30	0.227	1.20	0.286	0.053	3.5	6.04

ตารางที่ ข.13 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=10$)

Q_s (l/min)	Q_j (l/min)	Q_s/Q_j	P_s (bar)	P_j (bar)	P_d (bar)	P_s/P_j	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
21	50	0.42	0.1	1.1	1.00	0.090	10	0.286	0.931	3.5	12.45
28	50	0.56	0.15	1.1	0.90	0.136	6	0.286	0.669	3.5	17.89
34	50	0.68	0.15	1.1	0.80	0.136	5.33	0.286	0.614	3.5	19.92
51	50	1.02	0.20	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	14.23
62	50	1.24	0.25	1.1	0.30	0.227	1.20	0.286	0.053	3.5	5.27

ตารางที่ ข.14 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=9.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
23	50	0.46	0.05	1.1	1.00	0.045	20	0.286	1.355	3.5	9.92
29	50	0.58	0.10	1.1	0.95	0.090	9.5	0.286	0.903	3.5	16.67
41	50	0.82	0.15	1.1	0.90	0.136	6	0.286	0.669	3.5	26.19
56	50	1.12	0.15	1.1	0.40	0.136	2.66	0.286	0.323	3.5	17.30
71	50	1.42	0.25	1.1	0.30	0.227	1.20	0.286	0.053	3.5	6.04

ตารางที่ ข.15 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=7, l/d=8.6$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
23	50	0.46	0.1	1.1	1.00	0.090	10	0.286	0.931	3.5	13.64
29	50	0.58	0.15	1.1	0.90	0.136	6	0.286	0.669	3.5	18.52
35	50	0.70	0.17	1.1	0.85	0.154	5	0.286	0.584	3.5	22.13
54	50	1.08	0.20	1.1	0.45	0.181	2.25	0.286	0.261	3.5	17.93
72	50	1.44	0.25	1.1	0.30	0.227	1.2	0.286	0.053	3.5	6.13

ตารางที่ ข.16 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=10$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
23	50	0.46	0.1	1.1	0.90	0.090	9	0.286	0.874	3.5	12.80
30	50	0.60	0.15	1.1	0.70	0.136	4.66	0.286	0.553	3.5	15.85
36	50	0.72	0.15	1.1	0.65	0.136	4.33	0.286	0.521	3.5	17.90
53	50	1.06	0.20	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	14.78
64	50	1.28	0.25	1.1	0.30	0.227	1.2	0.286	0.053	3.5	5.45

ตารางที่ ข.17 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=9.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
25	50	0.50	0.1	1.1	0.90	0.090	9	0.286	0.874	3.5	13.91
31	50	0.62	0.15	1.1	0.70	0.136	4.6	0.286	0.553	3.5	16.38
43	50	0.86	0.15	1.1	0.60	0.136	4	0.286	0.486	3.5	19.97
58	50	1.16	0.20	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	16.18
73	50	1.46	0.25	1.1	0.30	0.227	1.2	0.286	0.053	3.5	6.21

ตารางที่ ข.18 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.5, L/D=8, l/d=8.6$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
25	50	0.5	0.1	1.1	0.9	0.090	9	0.286	0.874	3.5	13.91
31	50	0.62	0.15	1.1	0.7	0.136	4.66	0.286	0.553	3.5	16.38
37	50	0.74	0.17	1.1	0.65	0.154	3.82	0.286	0.467	3.5	18.71
56	50	1.12	0.20	1.1	0.40	0.181	2	0.286	0.219	3.5	15.62
74	50	1.48	0.25	1.1	0.30	0.227	1.2	0.286	0.053	3.5	6.30

ตารางที่ ข.19 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=7.7$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
21	60	0.35	0.10	1.0	1.0	0.100	10	0.286	0.931	3.5	11.41
28	60	0.46	0.10	1.0	0.85	0.100	8.5	0.286	0.844	3.5	13.78
34	60	0.56	0.15	1.0	0.80	0.150	5.33	0.286	0.614	3.5	18.26
51	60	0.85	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	13.04
62	60	1.033	0.25	1.0	0.30	0.250	1.2	0.286	0.053	3.5	4.89

ตารางที่ ข.20 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=7.1$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
23	60	0.38	0.10	1.0	1.0	0.100	10	0.286	0.931	3.5	12.50
30	60	0.50	0.15	1.0	0.80	0.150	5.33	0.286	0.614	3.5	16.11
41	60	0.68	0.15	1.0	0.70	0.150	4.66	0.286	0.553	3.5	19.85
56	60	0.93	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	14.32
71	60	1.18	0.25	1.0	0.30	0.250	1.2	0.286	0.053	3.5	5.54

ตารางที่ ข.21 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=5, l/d=6.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$	$k/k-1$	η (%)
23	60	0.38	0.10	1.0	0.9	0.100	9	0.286	0.874	3.5	11.73
29	60	0.48	0.15	1.0	0.85	0.150	5.66	0.286	0.6542	3.5	16.29
35	60	0.58	0.17	1.0	0.80	0.170	4.70	0.286	0.557	3.5	19.34
54	60	0.90	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	13.81
72	60	1.20	0.25	1.0	0.30	0.250	1.2	0.286	0.053	3.5	5.62

ตารางที่ ข.22 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=7.7$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
22	60	0.36	0.10	1.0	1.00	0.100	10	0.286	0.931	3.5	11.96
29	60	0.48	0.15	1.0	0.90	0.150	6	0.286	0.669	3.5	16.98
35	60	0.58	0.15	1.0	0.80	0.150	5.33	0.286	0.614	3.5	18.80
52	60	0.86	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	13.30
63	60	1.05	0.25	1.0	0.30	0.250	1.2	0.286	0.053	3.5	4.91

ตารางที่ ข.23 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=7.1$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
24	60	0.40	0.05	1.0	1.00	0.050	20	0.286	1.355	3.5	9.48
30	60	0.50	0.10	1.0	0.95	0.100	9.5	0.286	0.903	3.5	15.81
42	60	0.70	0.10	1.0	0.90	0.100	9	0.286	0.874	3.5	21.42
57	60	0.95	0.15	1.0	0.40	0.150	2.66	0.286	0.323	3.5	16.15
72	60	1.20	0.25	1.0	0.30	0.250	1.2	0.286	0.053	3.5	5.62

ตารางที่ ข.24 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=7, l/d=6.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
24	60	0.40	0.10	1.0	1.00	0.100	10	0.286	0.931	3.5	13.047
30	60	0.50	0.15	1.0	0.90	0.150	6	0.286	0.669	3.5	17.57
36	60	0.60	0.15	1.0	0.85	0.150	5.66	0.286	0.642	3.5	20.23
55	60	0.91	0.20	1.0	0.45	0.200	2.25	0.286	0.261	3.5	16.74
73	60	1.21	0.25	1.0	0.30	0.250	1.20	0.286	0.053	3.5	5.69

ตารางที่ ข.25 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=7.7$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
24	60	0.40	0.10	1.0	0.90	0.100	9	0.286	0.874	3.5	12.24
31	60	0.51	0.15	1.0	0.70	0.150	4.66	0.286	0.553	3.5	15.01
37	60	0.61	0.15	1.0	0.65	0.150	4.33	0.286	0.521	3.5	16.86
54	60	0.90	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	13.81
65	60	1.08	0.25	1.0	0.30	0.250	1.20	0.286	0.053	3.5	5.07

ตารางที่ ข.26 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=7.1$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
26	60	0.43	0.10	1.0	0.90	0.100	9	0.286	0.874	3.5	13.26
32	60	0.53	0.15	1.0	0.70	0.150	4.66	0.286	0.553	3.5	15.50
44	60	0.73	0.15	1.0	0.60	0.150	4	0.286	0.486	3.5	18.73
59	60	0.98	0.20	1.0	0.40	0.200	2	0.286	0.219	3.5	15.09
74	60	1.23	0.25	1.0	0.30	0.250	1.20	0.286	0.053	3.5	5.77

ตารางที่ ข.27 ตารางแสดงประสิทธิภาพเจ็ตปั๊มเหนี่ยวนำอากาศเมื่อ ($d/D=0.6, L/D=8, l/d=6.5$)

Q_s (l/min)	Q_w (l/min)	Q_s/Q_w	P_s (bar)	P_w (bar)	P_d (bar)	P_s/P_w	P_d/P_s	$k-1/k$	$\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	$k/k-1$	η (%)
26	60	0.43	0.10	1.0	0.90	0.100	9	0.286	0.874	3.5	13.26
32	60	0.53	0.15	1.0	0.70	0.150	4.66	0.286	0.553	3.5	15.50
38	60	0.63	0.17	1.0	0.65	0.170	3.82	0.286	0.467	3.5	17.61
57	60	0.95	0.20	1.0	0.45	0.200	2	0.286	0.219	3.5	14.58
75	60	1.25	0.25	1.0	0.30	0.250	1.20	0.286	0.053	3.5	5.85

ตารางที่ ข.28 แสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 40 l/min

เวลา (นาที)	จุดที่ A-1 DO (mg/l)	จุดที่ A-2 DO (mg/l)	จุดที่ B-1 DO (mg/l)	จุดที่ B-2 DO (mg/l)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.40	0.60	0.00	0.00
20	0.70	1.10	0.10	0.10
30	1.30	1.80	0.30	0.30
40	1.90	2.50	0.50	0.40
50	2.60	3.10	0.70	0.60
60	3.20	3.60	0.80	0.90
70	3.70	4.10	1.10	1.30
80	4.20	4.40	1.60	1.50
90	4.60	4.80	1.80	1.70
100	4.90	5.10	2.00	2.00
110	5.20	5.40	2.40	2.40
120	5.40	5.60	2.70	2.60
130	5.50	5.70	2.90	2.90
140	5.70	5.80	3.10	3.10
150	5.80	6.00	3.40	3.30
160	5.90	6.00	3.70	3.50
170	6.00	6.10	3.70	3.70
180	6.10	6.20	3.80	3.80
190	6.10	6.20	3.90	4.10
200	6.20	6.30	4.10	4.20
210	6.20	6.30	4.20	4.30
220	6.30	6.30	4.20	4.40
230	6.40	6.40	4.30	4.40
240	6.40	6.40	4.30	4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.29 แสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 50 l/min

เวลา (นาที)	ชุดที่ A-1 DO (mg/l)	ชุดที่ A-2 DO (mg/l)	ชุดที่ B-1 DO (mg/l)	ชุดที่ B-2 DO (mg/l)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1.30	2.60	0.70	0.80
20	2.20	4.10	1.60	1.90
30	3.20	5.00	2.60	2.80
40	4.10	5.70	3.50	3.80
50	4.60	6.00	4.10	4.40
60	5.20	6.20	4.50	4.70
70	5.40	6.30	4.70	4.90
80	5.80	6.40	4.90	5.10
90	5.90	6.50	5.10	5.30
100	6.00	6.40	5.30	5.40
110	6.10	6.50	5.50	5.60
120	6.10	6.50	5.60	5.70
130	6.20	6.50	5.70	5.80
140	6.20	6.60	5.80	6.00
150	6.30	6.60	5.90	6.10
160	6.30	6.60	6.00	6.20
170	6.30	6.70	6.00	6.20
180	6.40	6.70	6.10	6.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.30 แสดงปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 60 l/min

เวลา (นาที)	จุดที่ A-1 DO (mg/l)	จุดที่ A-2 DO (mg/l)	จุดที่ B-1 DO (mg/l)	จุดที่ B-2 DO (mg/l)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
10	2.70	3.20	1.80	2.30
20	4.20	4.90	3.30	3.70
30	5.10	5.50	4.20	4.70
40	5.70	5.90	4.60	5.20
50	6.00	6.20	4.90	5.60
60	6.20	6.40	5.10	5.70
70	6.40	6.50	5.30	5.80
80	6.50	6.60	5.40	5.90
90	6.60	6.70	5.40	6.00
100	6.60	6.70	5.50	6.10
110	6.60	6.70	5.60	6.20
120	6.60	6.80	5.70	6.30
130	6.70	6.80	5.80	6.40
140	6.70	6.80	5.90	6.50
150	6.70	6.80	6.00	6.50
160	6.70	6.80	6.20	6.60
170	6.70	6.80	6.40	6.60
180	6.70	6.80	6.40	6.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3)

แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ที่ใช้ในการกำจัดออกซิเจนในน้ำ ที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 5.4 mg/l สำหรับปริมาณน้ำ 536 ลิตร



กำจัด O_2 32 mg ต้องใช้ $\text{Na}_2\text{SO}_3 = 252$ mg

ถ้ากำจัด O_2 x mg ต้องใช้ $\text{Na}_2\text{SO}_3 = \frac{(252)(x)}{32}$ mg

ดังนั้น O_2 x mg/l ต้องใช้ $\text{Na}_2\text{SO}_3 = (7.875)(x)$ mg/l

น้ำปริมาตร v l ต้องใช้ $\text{Na}_2\text{SO}_3 = (7.875)(x)(v)$ mg

ในทางปฏิบัติต้องใส่ Na_2SO_3 ให้เกินพอ (เพื่อไว้ 20%)

ดังนั้นต้องใช้ $\text{Na}_2\text{SO}_3 = (1.2)(7.875)(x)(v)$

$= (9.45)(x)(v)$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)

v คือ ปริมาตรน้ำ(l)

ในการทดลองใช้น้ำปริมาตร 536 l

ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำเท่ากับ 5.4 mg/l

ดังนั้นต้องใช้ Na_2SO_3 ในการกำจัดออกซิเจนในน้ำ

$$= (9.45)(5.4)(536) \text{ mg}$$

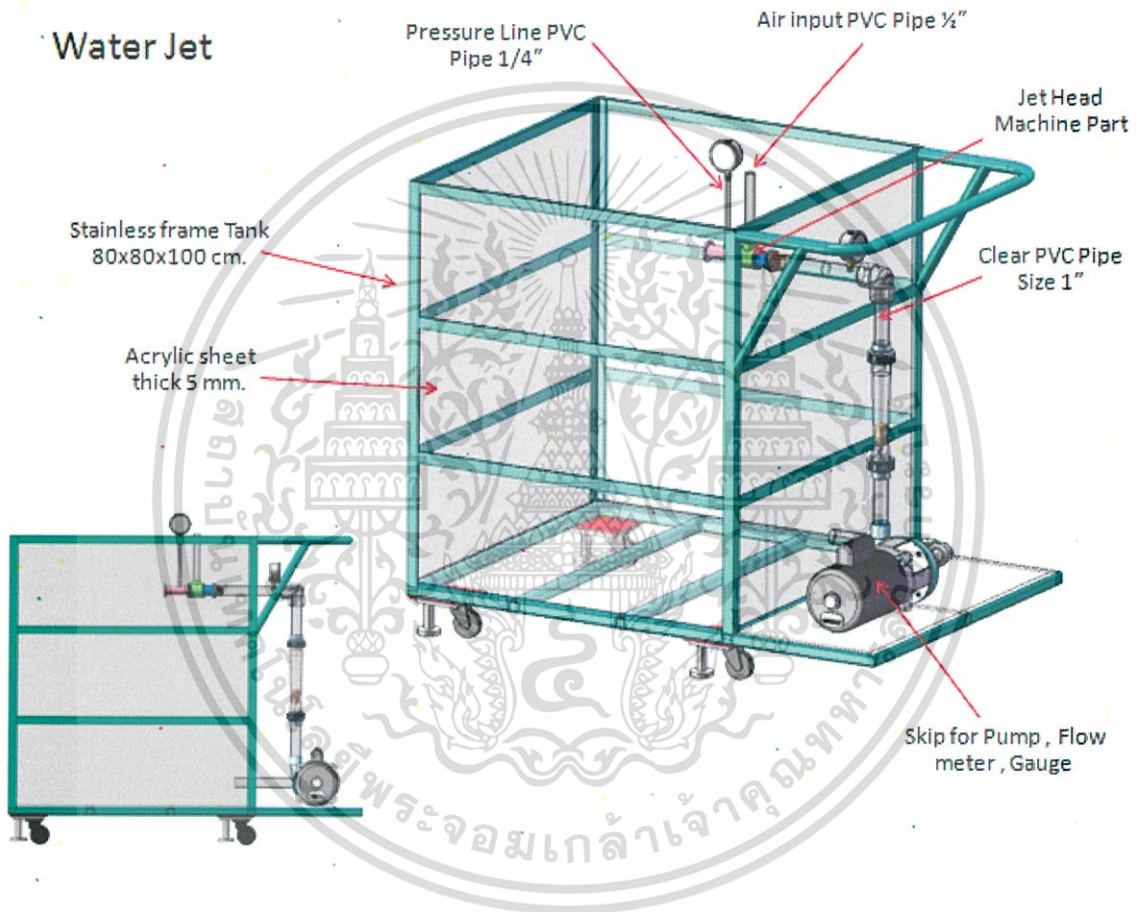
$$= 27,352 \text{ mg}$$

$$= 27.352 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงชุดทดลองเจ็ทบีมน้ำเหนืออากาศ (Version 1.0)

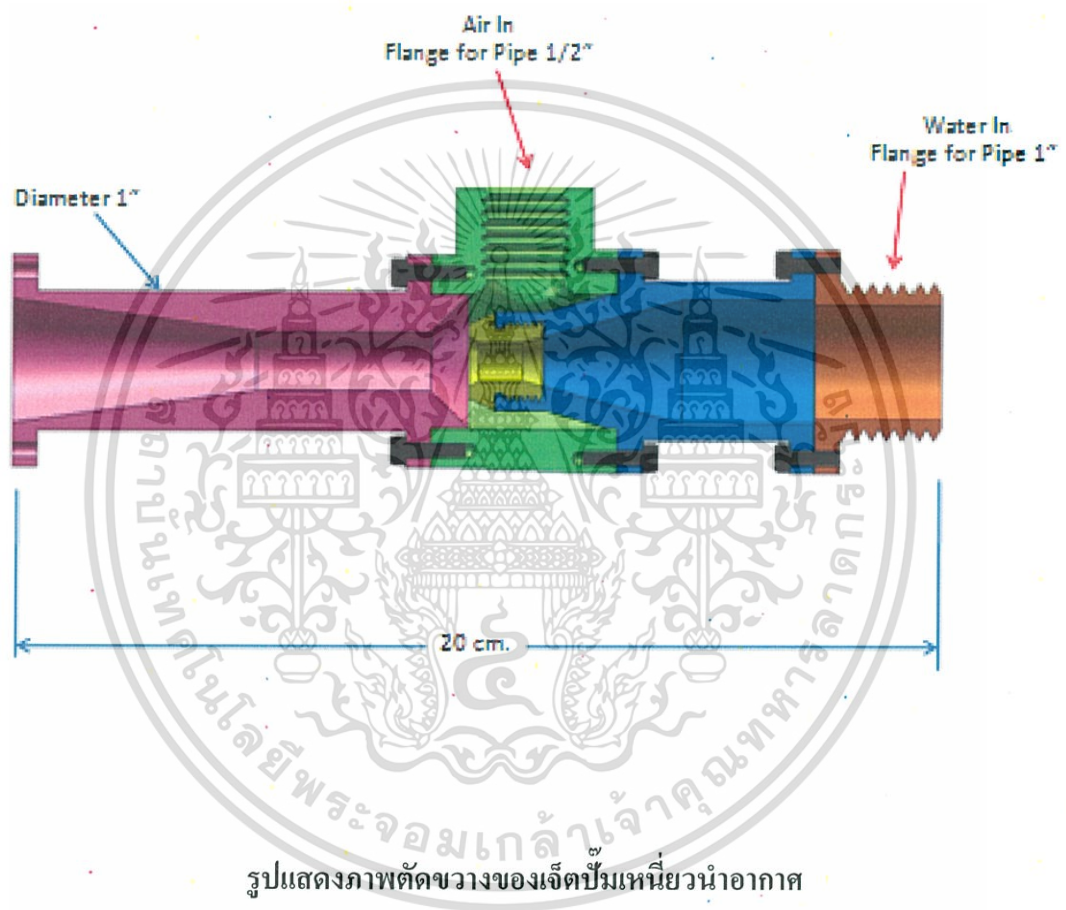
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



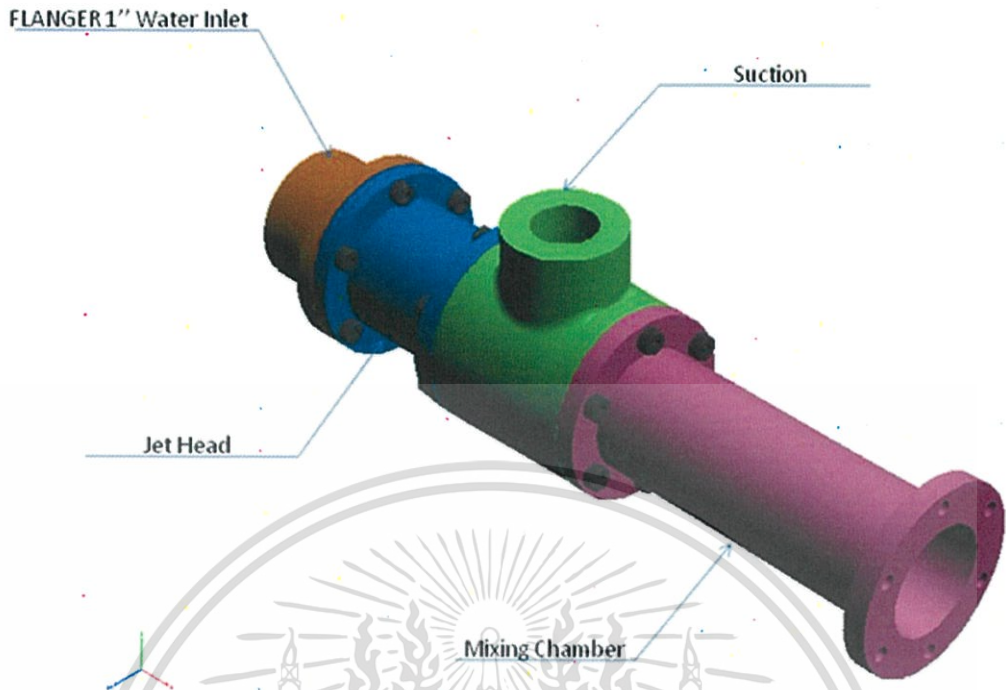
รูปแสดงชุดทดลองเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ (Version 1.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Machine Part / Plastic clear Rigid



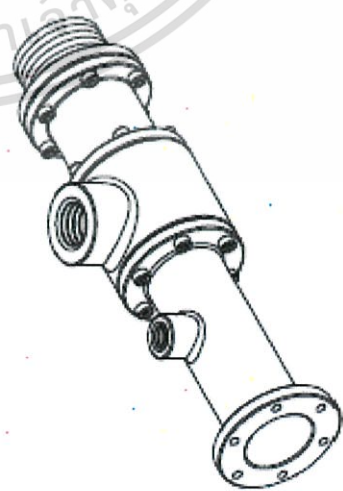
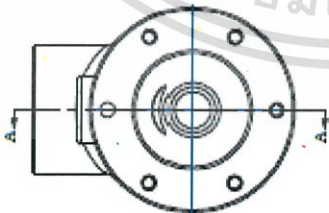
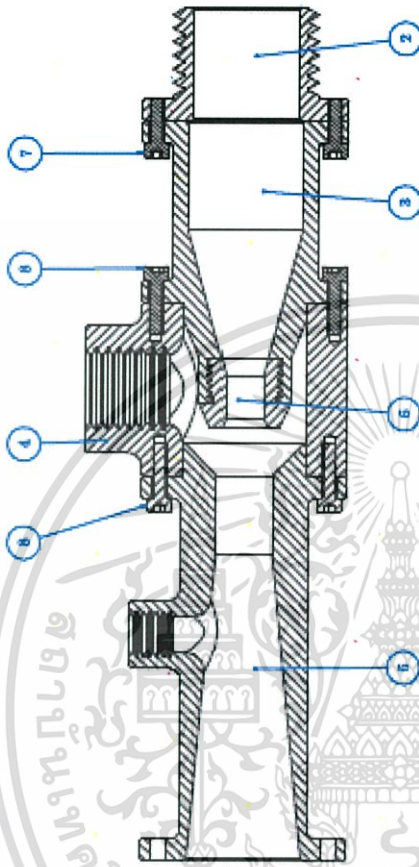
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงภาพประกอบเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV	ECN No	DESCRIPTION	DATE
01	ECN	Prototps released	04/Dec/09

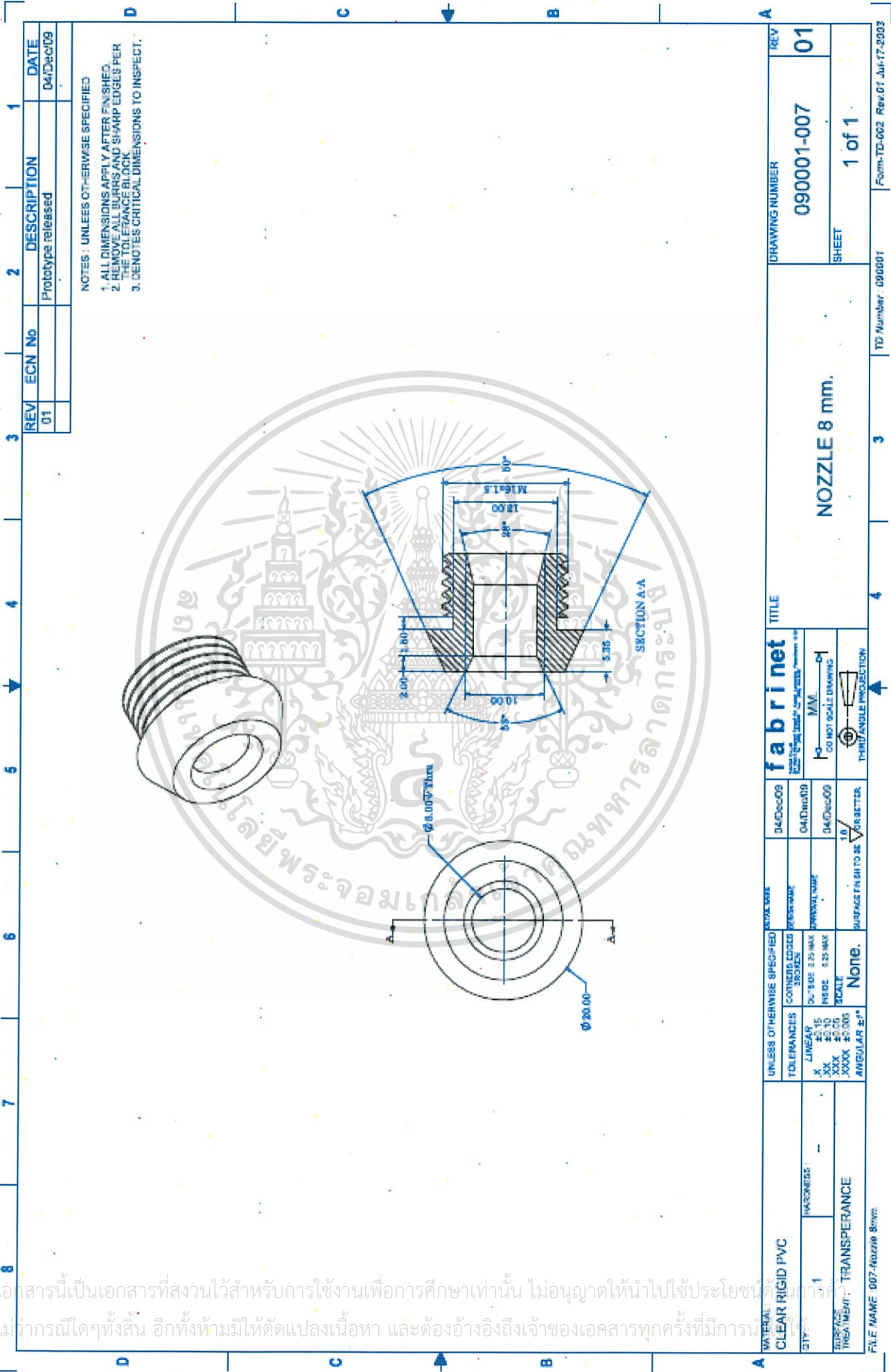


ITEM	QTY	DESCRIPTION	PART NUMBER	VENDOR	MATERIAL	Notes
1	1	FLANGE 1" WATER INLET	090001-003		CLEAR RIGID PVC	
2	1	JET HEAD	090001-004		CLEAR RIGID PVC	
3	1	SUCTION	090001-005		CLEAR RIGID PVC	
4	1	MIXING CHAMBER	090001-006		CLEAR RIGID PVC	
5	1	NOZZLE 8 mm.	090001-007		CLEAR RIGID PVC	
6	1	Socket Head Cap Screw	M3x0.5x10		Stainless Steel	
7	6	Socket Head Cap Screw	M3x0.5x12		Stainless Steel	
8	12	Socket Head Cap Screw	M3x0.5x12		Stainless Steel	

DRAWING NUMBER		REV
090001-002		01
TITLE		
ASSY WATER JET HEAD		
SHEET		
1 of 1		

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		REV. NO.	04/Dec/09
TOLERANCES	CORNER EDGES	REFERENCE	04/Dec/09
X ±0.15	30°-90° 0.25 MAX	APPROVAL	04/Dec/09
XX ±0.10	INSIDE 0.25 MAX	SCALE	1:1
XXX ±0.05	SCALE	SURFACE FINISH TO BE	FOR BETTER
XXXX ±0.005	None.		
ANGULAR ±1°			

- NOTES : UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHED
 2. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTER UNLESS SHOWN OTHERWISE AND SHARP EDGES PER FILE TOLERANCE BLOCK
 3. DIMENSIONS CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

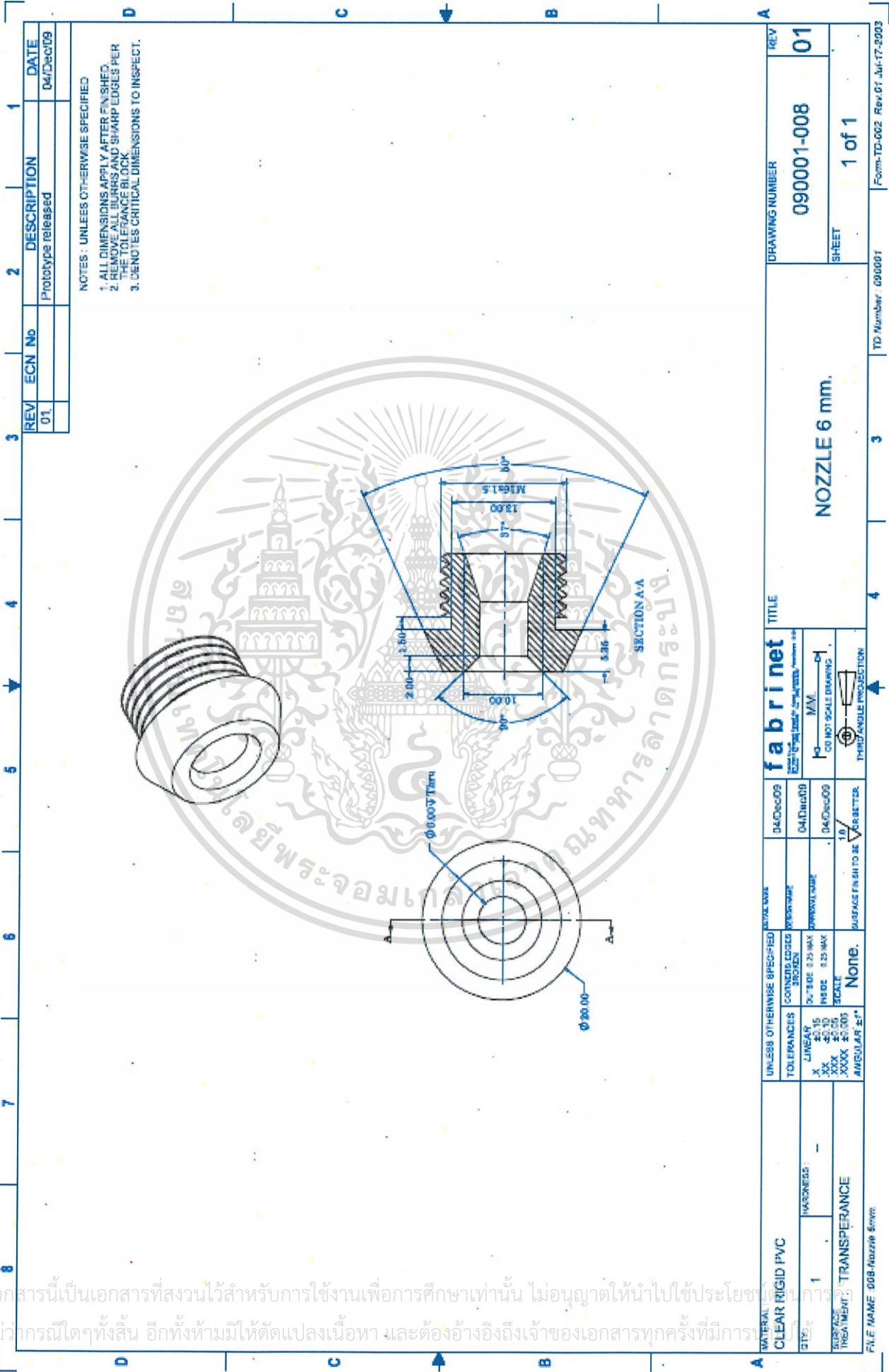


NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHING.
 2. REMOVE ALL BURRS AND SHARP EDGES PER THE TOLERANCE BLOCK.
 3. DENOTES CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

REV	ECN No	DESCRIPTION	DATE
01		Prototype released	04/Dec/09

DRAWING NUMBER 090001-007		REV 01
SHEET 1 of 1		
TITLE NOZZLE 8 mm.		
MATERIAL CLEAR RIGID PVC	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	DATE
CITY: MAHARAJIT	TOLERANCES	04/Dec/09
SURFACE TREATMENT: TRANSPERANCE	CONVEX EDGES BROKEN	04/Dec/09
	LINEAR	04/Dec/09
	2D SIDE 0.25 MAX	
	INSIDE 0.25 MAX	
	SCALE	
	ANGULAR ±1°	
	None.	
	1/8	
	SURFACE FINISH TO BE	
	FOR BETTER	
	THRU ANGLE PRODUCTION	
	DO NOT SCALE DRAWING	
	M.M.	
	fabrinet	
	TD Number: 090001	
	Form: TD-002 Rev: 01 Jul-17-2003	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ทำการตีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

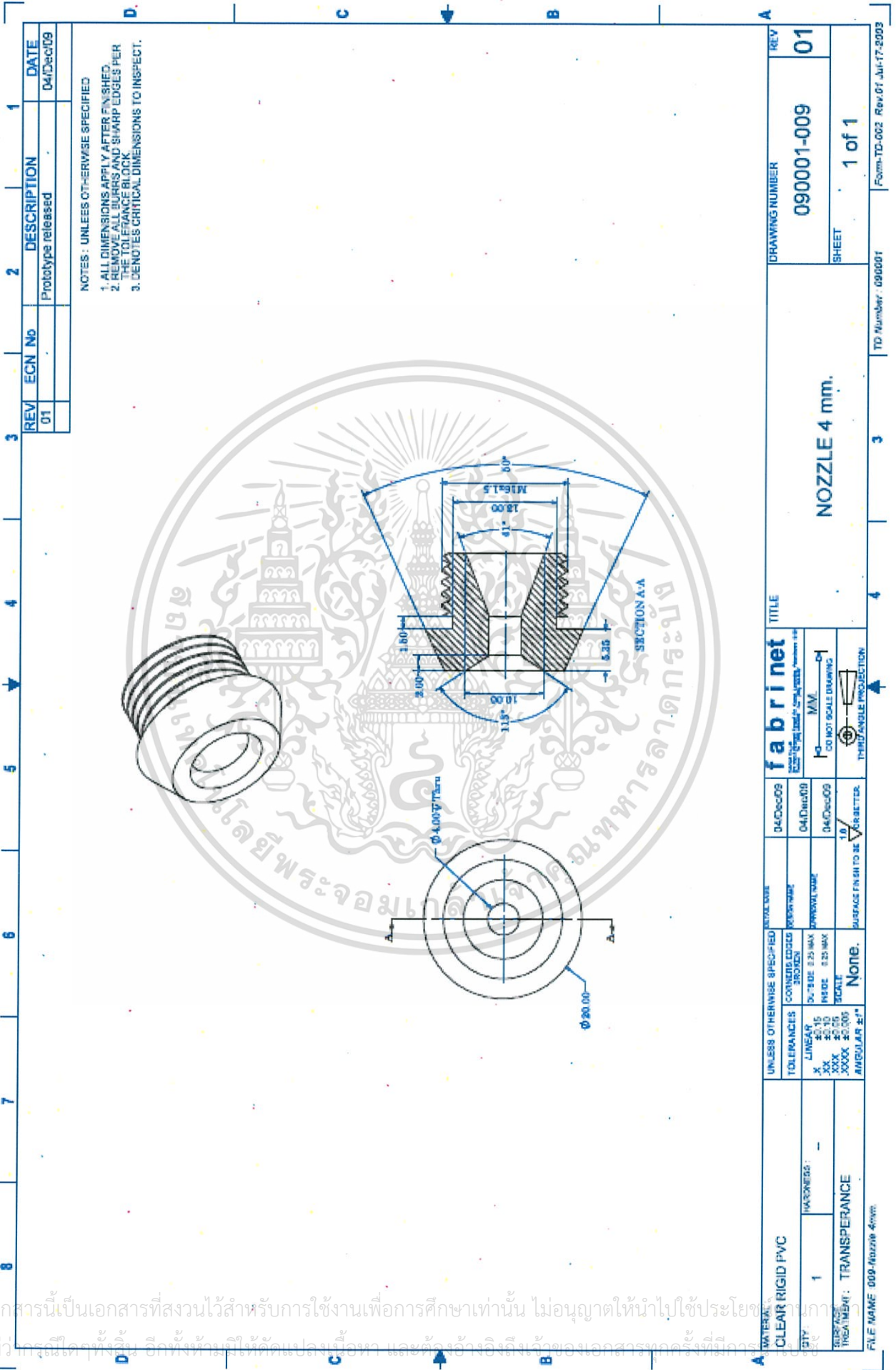


NOTES : UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHED.
 2. REMOVE ALL BURRS AND SHARP EDGES PER THE TOLERANCE BLOCK.
 3. DENOTES CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

REV	ECN No	DESCRIPTION	DATE
01		Prototype released	04/Dec/09

MATERIAL		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	ACTUAL USE	TITLE	
CLEAR RIGID PVC	TOLERANCES	COINTEGRATED SECTION	APPROXIMATE	fabrinet	
1	±0.15	24-3.00 0.25 MAX	APPROXIMATE	NOZZLE 6 mm.	
TRANSPAREANCE	±0.20	IN B.C. 0.25 MAX	APPROXIMATE	DO NOT SCALE DRAWING	
	±0.005	EDGE	APPROXIMATE	THIRD ANGLE PROJECTION	
	±0.005	None.	APPROXIMATE	SURFACE FINISH TO BE BETTER	
	ANGULAR ±0.1				
DRAWING NUMBER		090001-008		REV 01	
SHEET		1 of 1			
TD Number: 090001		Form:TD-002 Rev:01 Jul-17-2003			

PRINTED ON: 5/12/2552, TIME: 16:41, FILE NAME: 000-Nozzle 4mm_3L.DDORW



- NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHES
 2. REMOVAL OF BURRS AND SHARP EDGES PER THE TOLERANCE BLOCK
 3. DENOTES CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

REV	ECN No	DESCRIPTION	DATE
01		Prototype released	04/Dec/09

MATERIAL: CLEAR RIGID PVC		REV: 01	
QTY: 1		DRAWING NUMBER: 090001-009	
HARDNESS: -		SHEET: 1 of 1	
TREATMENT: TRANSPARENCE		NOZZLE 4 mm.	
TOLERANCES:		TITLE: fabrinet	
LINEAR: ±0.10	ANGULAR: ±1°	04/Dec/09	
XXX ±0.05	TRADE	04/Dec/09	
XXXX ±0.03	TRADE	04/Dec/09	
ANGULAR: ±1°	None.	SURFACE FINISH TO BE $\sqrt{\text{V}}$ OR BETTER.	
FINISH: 1.0		THIRD ANGLE PROJECTION	
FILE NAME: 000-Nozzle 4mm		Form-TD-002 Rev.01 Jul-17-2003	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ME-NETT23

The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand



NOVEMBER 4 - 7, 2009

Chiang Mai, Thailand

THE IMPERIAL MAE PING HOTEL, CHIANG MAI

Welcome

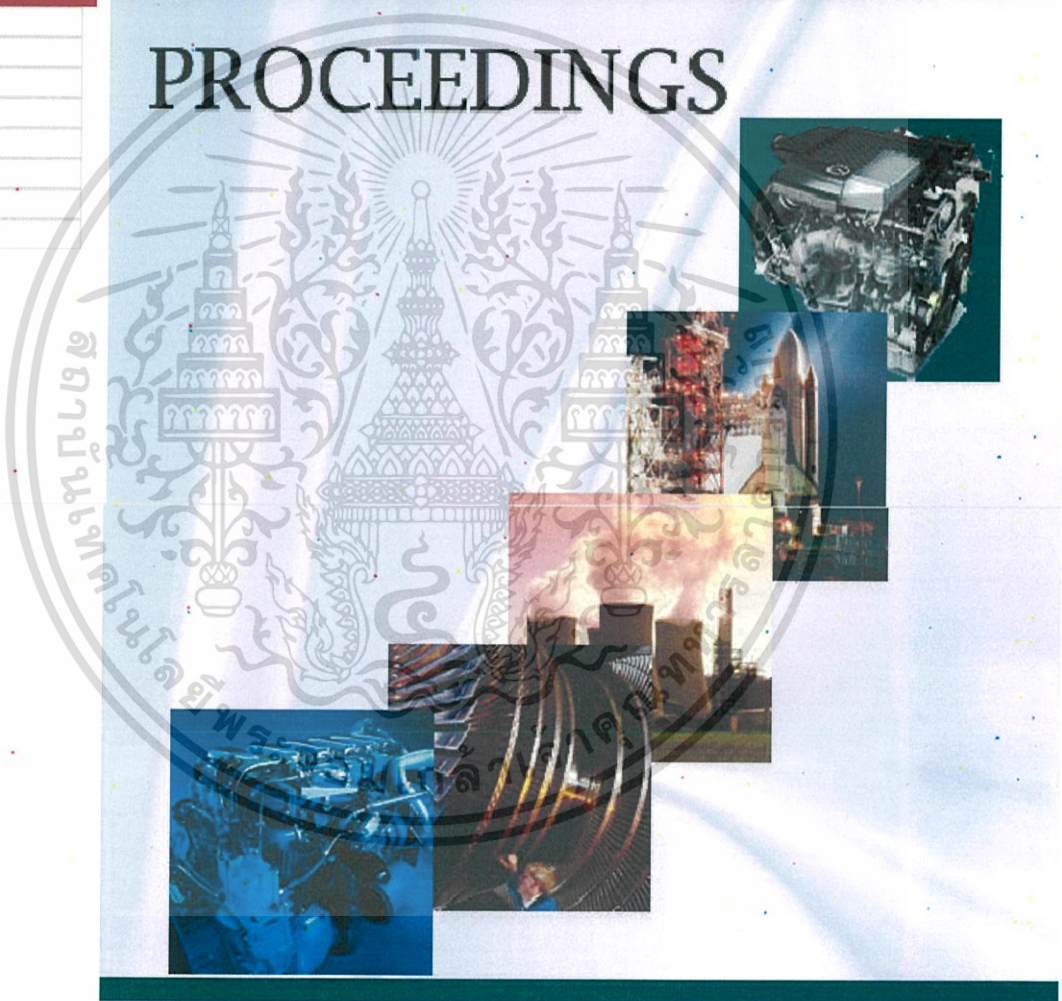
"We are pleased to announce the 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand which will be held November 4 - 7, 2009, in Chiang Mai."



ME-NETT 23 MENU

- >>> Home
- >>> About ME-NETT 23
- >>> Organizers
- >>> List of Committees
- >>> Programme
- >>> Full Papers
- >>> Search Paper
- >>> Contact Us

PROCEEDINGS



Secretariat of ME-NETT 23 - THAILAND
 Faculty of Engineering, Chiang Mai University
 239 Huay Kaw Rd., Sutep, Muang, Chiang Mai 50200 Thailand
 Tel: (6653) 944144 Ext. 414 Fax: (6653) 944143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TFS

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 - 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเหี่ยวน้ำอากาศโดยวิธีการทดลอง

Experimental Study on Water-air jet pump Performance

ขวัญชัย เกตุทอง¹, มณฑล ใจกุลศล², จำลอง ปราบแก้ว³

¹ วิทยาลัยปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: kwanchai.kothong@kmitl.ac.th

^{2,3} ภาควิชาประจักษ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: kpohamio@kmitl.ac.th

โทรศัพท์: โทรทัศน์ (862) 326-4187, โทรสาร: (862) 326-4188.

E-mail: kwanchai.kothong@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การเติมออกซิเจนในน้ำสำหรับงานบำบัดน้ำเสีย หรือ งานเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เครื่องตีน้ำ กังหันน้ำ การทำน้ำฟูในสระน้ำ เป็นต้น การใช้เจ็ทปั๊มที่มีน้ำเป็นของไหลขับเคลื่อนเหี่ยวน้ำอากาศ พลังในน้ำจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ได้ เนื่องจากเจ็ทปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุนโดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ หัวฉีด, ห้องผสม และ ท่อลดความเร็ว ในการออกแบบเจ็ทปั๊มจะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม เช่น อัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D), รูปแบบของหัวฉีด และ ค่าความเสียดทานต่างๆ บทความนี้ได้ศึกษาถึงสมรรถนะของเจ็ทปั๊มที่ใช้เหี่ยวน้ำอากาศจากท่อลดความเร็วเติมออกซิเจนในน้ำโดยการทดลอง เพื่อหาว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) ที่ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) = 0.54 จะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 28.5 %

คำหลัก: เจ็ทปั๊ม, ประสิทธิภาพ, หัวฉีด, ห้องผสม

Abstract

Jet pump has a simple structure. There are no parts which move or rotate with the core components is critical nozzle, mixing chamber and diffuser. There are many applications in engineering to use. The jet pump design must consider variables that affect. For example, efficiency of jet pump-like nozzle area ratio of nozzle to mix room (d/D), size and format of the nozzle. As well as the value of friction. This paper will study the performance of water-pump nozzle inductance used to suck the air in the pipes that apply with vacuum cleaner. The size of the nozzle find the most suitable for water-pump nozzle. Inductance will cause the air to high performance. The analytical equations for calculating performance and then perform experiments to find the effect of cutting face area ratio of nozzle to mix room (d/D) results show that the intersection of the face area ratio nozzle with mixed room (d/D) = 0.54 to maximum 28.5% performance fee.

Keywords: Jet pump, Characteristics, Efficiency, Nozzle diameter ratio, Drive nozzle

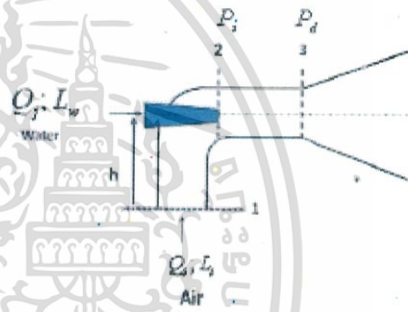
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปั๊มแบบฉีด หรือที่เรียกว่าเจ็ทปั๊ม มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันได้หลากหลาย เนื่องจากมีโครงสร้างอุปกรณ์ที่ง่าย ไม่มีชิ้นส่วนโคโรเลชันที่ ในการออกแบบเจ็ทปั๊มจะต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ เช่น อัตราส่วนพื้นที่ของหัวฉีดกับห้องผสม, ขนาดและรูปแบบของหัวฉีด ตลอดจนค่าความเสียดทานตามจุดต่างๆ บทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศสำหรับงานเติมออกซิเจนในน้ำโดยวิธีการทดลอง ที่ผ่านมามีผู้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้หลายท่านเช่น Geo Jifei, Gu Cuowei, Zhao Zilong, Zhang Yalei [1] ได้ศึกษาการเติมออกซิเจนในน้ำโดยใช้เจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการไหลทางด้านดูด 900-1100 ลิตรต่อวินาที ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของฟองอากาศบนผิวน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร Adi Surjosatyo, Farid Nasir Ani [2] ได้ศึกษาถึงลักษณะการไหลในท่อซึ่งมีการแปรผันตามเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและการเปลี่ยนแปลงความยาวที่ท่อทางเข้า (ΔL) ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ท่อทางเข้าจะแปรผันตามความยาวที่ท่อทางเข้าซึ่งเป็นลักษณะการไหลเฉพาะในการศึกษาครั้งนี้และการพยากรณ์ลักษณะการไหลโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางโปรแกรม Fluent version 4.4 ซึ่งสรุปว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าจนถึง 600 องศาเซลเซียสส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลง A. Baylar, F. Ozkan, M. Ozturk [3] ได้ทำการศึกษาลักษณะของท่อเวนจูรีที่ติดตั้งกับเจ็ทปั๊มซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงมุมของท่อเวนจูรีนั้นมีผลต่อค่าความดันที่บริเวณหัวฉีด ผลการศึกษาพบว่ามุมของท่อเวนจูรีที่ใช้ในระบบเจ็ทปั๊มนี้ค่าของมุมที่เหมาะสมส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง

2. ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม

ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มหาได้จากการพิจารณาสมการพลังงานของของไหล เมื่อของไหลเคลื่อนที่ก็จะ มีพลังงานต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง จากพลังงานต่าง ๆ นำมาเขียนในรูปของความดัน ความเร็ว และตำแหน่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจมีพลังงานจากเครื่องจักรหรือความร้อน และความเสียดทานอีกด้วย



รูปที่ 1 หลักการของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{L_s}{L_w} \quad (1)$$

η = ประสิทธิภาพของคอคอล, (Throat efficiency)

L_s = พลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ, (Induced work Load)

L_w = พลังงานในส่วนเริ่มต้น, (Primary work Load)

สมมติให้อากาศ (Air) ที่ถูกดูดเข้าเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์

$$Pv^k = c(\text{Constant}) \quad (2)$$

2.1 การหาพลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ (L_s)

โดยสมมติให้เป็นกรณี reversible steady-flow work จากความสัมพันธ์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ และกรณีที่เป็นระบบเปิดซึ่งจะได้ความสัมพันธ์[4,5,6]

$$W_{rev} = \int v dp + \Delta ke + \Delta pe \quad (3)$$



TFS

กำหนดให้ $L_s = W_{rev}$ และ การเปลี่ยนแปลง KE และ PE น้อยมากดังนั้น

$$L_s = \int v dp \quad (4)$$

จากสมการที่ (2)

$$Pv^k = P_s V_s^k = P_a V_a^k$$

$$v = \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} v_s$$

แทนค่า v ในสมการที่ (3)

$$L_s = \int_{P_s}^{P_a} \left(\frac{P_s}{P}\right)^{\frac{1}{k}} v_s dp$$

$$L_s = \frac{k}{k-1} v_s P_s \left[\left(\frac{P_a}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (5)$$

เปลี่ยนหน่วยของ L_s ให้เป็น J/s จะได้ $L_s \times m_s$ จึงทำให้ได้ว่า

$$L_s = \frac{k}{k-1} Q_s P_s \left[\left(\frac{P_a}{P_s}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (6)$$

เมื่อ

L_s = พลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำ (J/s)

P_s = ความดันด้านดูด (bar)

P_a = ความดันด้านขยาย (bar)

k = Boltzmann's constant (1.3806×10^{-23} J/K)

2.2 การหาพลังงานในส่วนเริ่มต้น (L_w)

ซึ่งกรณีนี้พลังงานในส่วนเริ่มต้นนั้นปรากฏในรูปของพลังงานจลน์ เนื่องจากความสัมพันธ์ของ Bernoulli's Equation; สมมติให้ไม่มี friction losses เมื่อพิจารณาตัวหนังสือที่ 2

$$\frac{P_{tot}}{\rho g} = \frac{v_s^2}{2g} \quad (7)$$

จะได้ว่า

$$P_w = P_{tot} = \rho \frac{v_s^2}{2g} \quad (8)$$

จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของ P_w จะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ (KE) ซึ่งแปรผันตรงกับความเร็ว (v)

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์

$$KE = L_w = \frac{1}{2} m_w v_w^2 \quad (9)$$

$$KE = L_w = \frac{v_w^2}{2g} \cdot \gamma_w \cdot Q_w \quad (10)$$

จากพลังงานจลน์ในสมการที่ (7) จะได้ว่า

$$\frac{P_w}{\gamma_w} = \frac{v_w^2}{2g} \quad \text{เมื่อ } \gamma_w = \rho g$$

$$L_w = \frac{P_w}{\gamma_w} \gamma_w Q_w = P_w Q_w \quad (11)$$



รูปที่ 2 Schematic drawing of the Jet pump

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทำให้พบว่า

$$\eta = \frac{Q_s P_s}{Q_f P_w} \left[\frac{k}{k-1} \left(\frac{P_a}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (12)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม (%)

Q_s = อัตราการไหลโดยปริมาตรของด้านดูด (m^3/s)

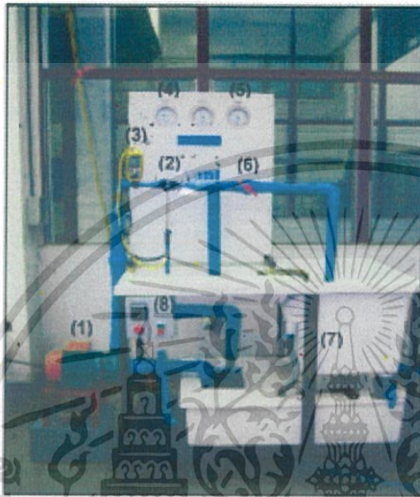
Q_f = อัตราการไหลโดยปริมาตรของด้านเข้า (m^3/s)

3. อุปกรณ์ทดลอง

- ชุดทดลองประกอบด้วยปั๊มขนาด 2.2 แรงม้า (1) , ท่อด้านดูด (2) วัดความเร็วอากาศที่ไหลเข้าด้วย Pilot Tube รุ่น FLUKE 922 (3) วัดความดันหัวฉีดด้วยเกจวัดความดัน (4) วัดความดันด้านดูดด้วยแวกคัมเกจ (5) และปรับอัตราการไหลด้วยวาล์ว(6) วัดอัตราการไหลด้วยถัง(7)



TFS



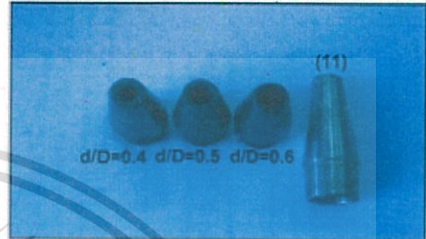
รูปที่ 3 ชุดการทดลอง

เป็นส่วนหลักของชุดปั๊มฉีดน้ำแบบหัวฉีดแสดงตามรูปที่ 4 ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนของห้องผสม (9) ส่วนของหัวฉีด (10) ส่วนของท่อด้านดูดอากาศ (11) ส่วนของท่อขยาย (12)



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของปั๊มฉีดน้ำแบบหัวฉีด 9.ห้องผสม(Mixing Chamber) 10.ท่อดูด(Suction pipe) 12.ท่อขยาย(Diffuser pipe)

ในการทดลองนี้ได้กำหนดค่า P_1 ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.15, 0.25, 0.35, 0.45 0.50MPa ตามลำดับ

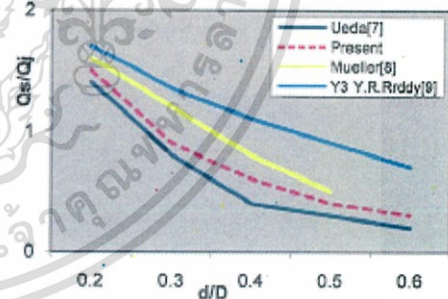


รูปที่ 5 แสดงอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม

ในรูปที่ 5 แสดงค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่า 0.4, 0.54 และ 0.67 ตามลำดับ

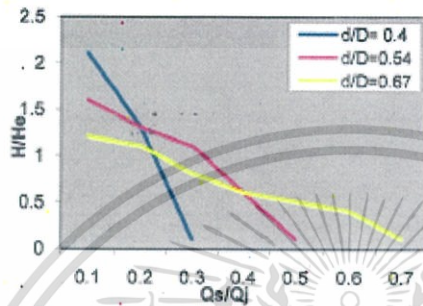
4.ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟได้ดังนี้



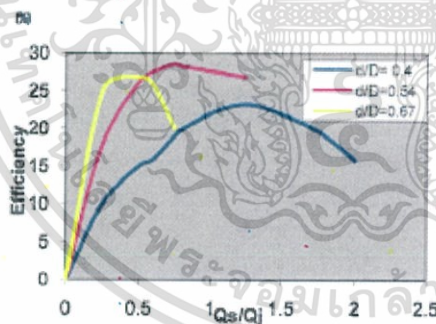
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของพื้นที่หัวฉีดต่ออัตราการไหลเมื่อพิจารณาที่ประสิทธิภาพสูงสุด

จากกราฟรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองในครั้งนี้กับข้อมูลที่เคยทำงานศึกษามาแล้วนั้นพบว่ามีความสอดคล้องในลักษณะเดียวกันคือเมื่อค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราการไหล (Q_a/Q_w) ลดลง



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของ Head ratio และ Flow rate ratio เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d/D

จากกราฟรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Head ratio (H/H_0) และค่า Flow rate ratio (Q_s/Q_t) โดยการเปลี่ยนแปลงค่า d/D พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า Flow rate ratio ส่งผลให้ค่า Head ratio ลดลง



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและค่าอัตราการไหล (Q_s/Q_t) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า d/D

จากกราฟรูปที่ 8 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Flow rate ratio (Q_s/Q_t) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า d/D นั้นส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพด้วยเช่นกันและจากการทดลองพบว่าจุดที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 28.5% ที่ค่า Q_s/Q_t เท่ากับ 0.7 และมีค่า d/D เท่ากับ 0.54

6.สรุป

1. จากผลการศึกษาพบว่าที่ระหว่างอัตราส่วนเฮด (Head ratio, H/H_0) กับอัตราส่วนการไหล (Flow rate ratio, Q_s/Q_t) ที่อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่ามากจะทำให้พบว่าเมื่ออัตราส่วนการไหล (Flow rate ratio) เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนเฮด (H/H_0) ลดลง
2. จากผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนการไหล (Q_s/Q_t) เพิ่มขึ้นจะให้ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) สูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วจึงลดลงและที่อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีดกับห้องผสม (d/D) มีค่ามากพบว่าประสิทธิภาพลดลงและที่อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.54 จะให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 28.5% ที่ค่าอัตราการไหล (Q_s/Q_t) เท่ากับ 0.7

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gao Jifei, Gu Guowei, Zhao Zilong, Zhang Yale, 2005. CFD Numerical Simulation Applied in the Design of the Jet Aerator, International Society for Environmental Information Sciences, Environmental Informatics Archives, Vol 3, pp. 226-231.
- [2] Adi Surjosatyo, Farid Nasir Ani, 2001. A numerical study of air flow in a coaxial pipe, Jurnal Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia, 34(A) June, pp. 1-15.
- [3] A. Baylar, F. Ozkan, M. Ozturk, 2005. Influence of venture cone angle on jet aeration systems, Water Management 158, March, Issue WMI, pp. 9-16.
- [4] Anthony Esposito, Fluid Mechanics with Applications, ISBN: 0-13-042680-6
- [5] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Oklishi Theodore, Fundamentals of Fluid Mechanics, 5th,



TFS

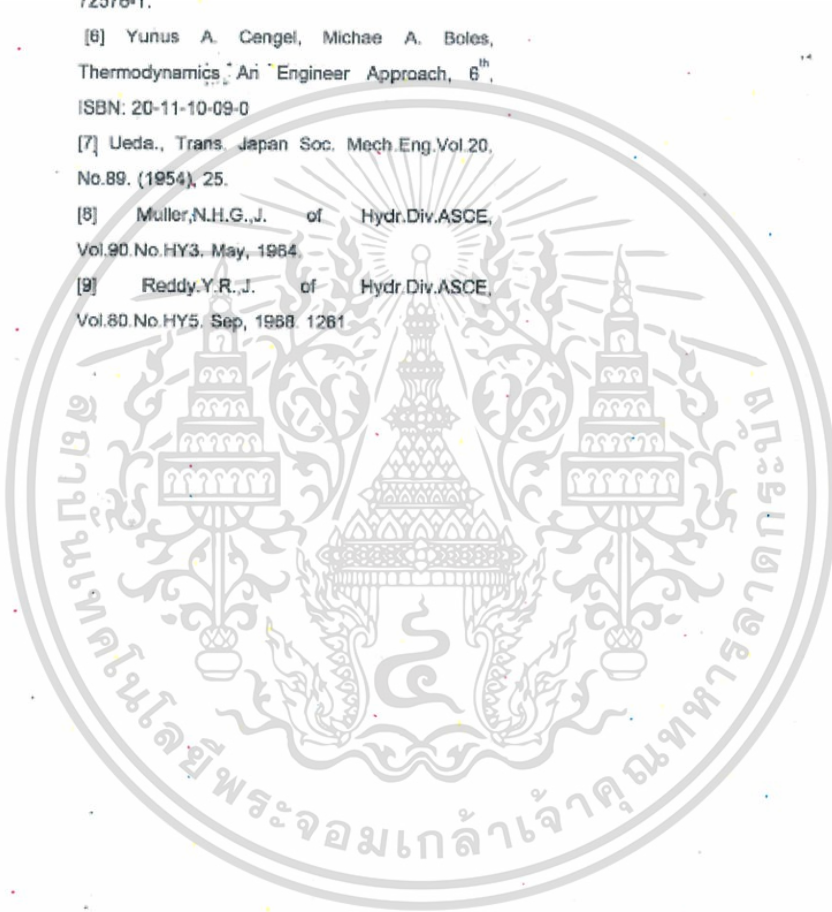
ISBN: 13-978-0-471-72578-7, ISBN: 10:0-471-72578-1.

[6] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics, An Engineer Approach, 6th, ISBN: 20-11-10-09-0

[7] Ueda., Trans. Japan Soc. Mech.Eng. Vol.20, No.89. (1954), 25.

[8] Muller,N.H.G.,J. of Hydr.Div.ASCE, Vol.90.No.HY3. May, 1964.

[9] Reddy.Y.R.,J. of Hydr.Div.ASCE, Vol.80.No.HY5. Sep, 1968. 1261



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายขวัญชัย เกตุทอง เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2543 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร และในปีการศึกษา 2550 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2543-2548

Company: Rohm Integrated Semiconductor (Thailand) Co., Ltd.

Position: Section Chief of Maintenance MCR Division

Department: Engineering Department

พ.ศ. 2548-2549

Company: Mahaphant Fiber-Cement Public Company Limited

Position: Maintenance Supervisor

Department: Maintenance Department

พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน

Company: Nestle (Thai) Ltd

Position: Production Superintendent

Department: Production Department

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้