

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด
DESIGN OF JET PUMP FOR MIXING DIFFERENT
KIND OF LIQUIDS



T119159



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119159
วัน,เดือน,ปี - 6 S.A. 2554

b. 12/06/74
i.....

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก่ารนำไปใช้

การออกแบบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด
DESIGN OF JET PUMP FOR MIXING DIFFERENT
KIND OF LIQUIDS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2553

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด

DESIGN OF JETPUMP FOR MIXING DIFFERENT KIND OF LIQUIDS

ผู้จัดทำ

1. นายเกริกไกร โนนสว่าง รหัสประจำตัว 49015520
2. นายชนนันท กิตติภัทรางกูร รหัสประจำตัว 50010602
3. นายอุเทน อุไรชื่น รหัสประจำตัว 50011961



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จำลอง ปรามแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด

นายเกริกไกร โนนสว่าง

นายชนนันท กิตติภัทรางกูร

นายอุเทน อุไรชื่น

รศ.ดร.จำลอง ปรามแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

การผสมของเหลวในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนิยมใช้ใบกวนในการผสมซึ่งจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้เจ็ทปั๊มในการผสมของเหลวต่างชนิดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากเจ็ทปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุน จึงไม่ต้องการบำรุงรักษา และอาจใช้พลังงานศักย์ที่เกิดจากความต่างระดับของถังบรรจุของเหลวเป็นพลังงานที่ใช้ในการผสม ซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบเจ็ทปั๊มที่ใช้สำหรับผสมของเหลวต่างชนิด โดยหาขนาดความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.4 , 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และยังได้หาค่าสัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่ 2.0 , 3.0 และ 4.0 โดยวิธีการทดลอง จากผลการทดลองในการผสมน้ำกับน้ำจะพบว่าที่ค่า $d/D = 0.5$ และ $L/D = 3.0$ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 21.9 เปอร์เซ็นต์โดยที่ค่าอัตราส่วนการผสม (Q_2/Q_1) = 0.97 และ ในการทดลองผสมน้ำกับน้ำเกลือที่มีค่าความหนาแน่น 1183 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะพบว่าที่ค่า $d/D = 0.5$ และ $L/D = 3.0$ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 19.55 เปอร์เซ็นต์โดยที่ค่าอัตราส่วนการผสม (Q_2/Q_1) = 0.875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Of Jet Pump For Mixing Different Kind Of Liquids

Krirkrai Nonsawang

Thananan Kittipattarakul

Authen Uraichuen

Assc.Prof.Chamlong Prabkeao , Advisor

Abstract

In general, mixing of liquids in industry can be done by an agitator, which needs electrical energy. However, Jet Pump is another choice for mixing the liquids because of its simple structure without moving or rotating parts, so less maintenance is required. The potential energy occurred from different levels of liquid tanks maybe an advantage of saving the mixing energy.

This research presents the design of Jet Pump for mixing different kind of liquids by finding the relations between the diameters of nozzle and mixing chamber (d/D) at the of 0.4 , 0.5 , 0.6 , respectively , and the relations between the lengths and diameter of mixing chamber (L/D) at the ratios of 2.0 , 3.0 , 4.0 , respectively. The experimental results from the mixing of water and water yielded the best efficiency of 21.9 percent at $d/D = 0.5$ and $L/D = 3.0$ with the mixing ratio (Q_s/Q_j) of 0.97. In the test of mixing water and saline with density of 1183 kg. per cubic metre inferred that at $d/D = 0.5$ and $L/D = 3.0$ offered the highest efficiency of 19.55 percent with the mixing ratio (Q_s/Q_j) of 0.875

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

1. ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จำลอง ปรามแก้ว ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้
2. ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยสอนความรู้ ประสบการณ์ต่างๆ รวมถึงสละเวลามาคอยช่วยเหลือ จนทำให้สามารถทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ
3. ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล เจ้าหน้าที่ทุกท่าน และเพื่อนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนกระทั่งทำให้ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



นายเกริกไกร โนนสว่าง

นายธนันท์ กิตติภัทรางกูร

นายอุเทน อุไรชื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและการคำนวณหาประสิทธิภาพเจ็ทปั้ม	4
2.1 หลักการทำงานของเจ็ทปั้ม	4
2.2 ประเภทของเจ็ทปั้ม	5
2.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเจ็ทปั้ม	6
สัญลักษณ์ และ ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ	9
บทที่ 3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	19
3.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	19
3.2 วิธีการทดลอง	23
3.3 ผลการทดลอง	23
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	30
4.1 สรุปผลการทดลอง	30
4.2 ข้อเสนอแนะ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก	33
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	59
บรรณานุกรม	66



สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 4.8 มิลลิเมตร ($d/D = 0.4$, $L/D = 2.0$)	48
ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 4.8 มิลลิเมตร ($d/D = 0.4$, $L/D = 3.0$)	49
ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 4.8 มิลลิเมตร ($d/D = 0.4$, $L/D = 4.0$)	50
ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 6.0 มิลลิเมตร ($d/D = 0.5$, $L/D = 2.0$)	51
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 6.0 มิลลิเมตร ($d/D = 0.5$, $L/D = 3.0$)	52
ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 6.0 มิลลิเมตร ($d/D = 0.5$, $L/D = 4.0$)	53
ตารางที่ 7 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 7.2 มิลลิเมตร ($d/D = 0.6$, $L/D = 2.0$)	54
ตารางที่ 8 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 7.2 มิลลิเมตร ($d/D = 0.6$, $L/D = 3.0$)	55
ตารางที่ 9 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 7.2 มิลลิเมตร ($d/D = 0.6$, $L/D = 4.0$)	56
ตารางที่ 10 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มของหัวฉีด 6.0 มิลลิเมตร ($d/D = 0.5$, $L/D = 3.0$ (การผสมระหว่าง น้ำ-น้ำเกลือ))	57

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของเจ็ทปั๊ม	4
2.2 แสดงลักษณะของอินเจ็คเตอร์	5
2.3 แสดงลักษณะของอีเจ็คเตอร์	5
2.4 แสดงลักษณะของอีค็คเตอร์	6
2.5 แสดงแผนภาพกระบวนการวิเคราะห์หาสมการประสิทธิภาพ	8
2.6 แสดงหน้าตัดต่างๆที่ตำแหน่งของหัวฉีด	10
2.7 แสดงเขตที่ตำแหน่งต่างๆ	13
2.8 ภาพตัดขวางที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในเจ็ทปั๊ม	14
2.9 แสดงการหา Head Pump ระหว่างหน้าตัด a-a ถึงหน้าตัด c-c	14
2.10 แสดงการหา Suction Head ระหว่างหน้าตัด b-b ถึงหน้าตัด c-c	15
2.11 แสดงการหา Delivery Head ระหว่างหน้าตัด d-d ถึงหน้าตัด e-e	15
3.1 แสดงชุดทดลอง	19
3.2 แสดงส่วนประกอบของเจ็ทปั๊ม	20
3.3 ภาพตัดขวางของเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด	20
3.4 แสดงสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) = 0.4 , 0.5 และ 0.6	21
3.5 แสดงสัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) = 2.0 , 3.0 และ 4.0	21
3.6 แสดงเกจวัดความดัน	21
3.7 แสดงภาพโกลั้ววาล์วปรับอัตราการไหลพร้อมทั้งอุปกรณ์วัดมุมของโกลั้ววาล์ว	22
3.8 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนการไหลที่สัดส่วน (d/D) = 0.4 , 0.5 , 0.6 และ สัดส่วน (L/D) = 2.0 , 3.0 , 4.0	24
3.9 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนเขตที่สัดส่วน (d/D) = 0.4 , 0.5 , 0.6 และ สัดส่วน (L/D) = 2.0 , 3.0 , 4.0	25
3.10 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหล กับ อัตราส่วนเขตที่สัดส่วน (d/D) = 0.4 , 0.5 , 0.6 และ สัดส่วน (L/D) = 2.0 , 3.0 , 4.0	26
3.11 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนการไหลที่สัดส่วน (d/D) 0.50 และ (L/D) 3.0	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.12 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนเส้นที่ตัดส่วน (d/D) 0.50 และ (L/D) 3.0	28
3.13 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนเส้นที่ตัดส่วน (d/D) 0.50 และ (L/D) 3.0	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันนี้ได้มีการนำปั๊มแบบหัวฉีดหรือที่เรียกว่า “เจ็ทปั๊ม” ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายทั้งนี้เป็นเพราะเจ็ทปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุนในขณะที่ใช้งาน จึงไม่ต้องบำรุงรักษามาก ทำให้ประหยัดต้นทุนในการทำงาน ส่วนประกอบที่สำคัญของเจ็ทปั๊มมีสี่ส่วน คือ หัวฉีด (Nozzle) , ท่อดูด (Suction) , ห้องผสม (Mixing Chamber) และ ท่อลดความเร็ว (Diffuser) การทำงานของเจ็ทปั๊มอาศัยหลักการจลนศาสตร์ของไหลโดยให้ของไหลที่มีความดันสูงไหลผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ผลของความเร็วยุ่งจะทำให้ความดันต่ำในช่องทางเข้าของห้องผสมจึงทำให้ของไหลที่ช่องทางดูด (Suction) ถูกดูดเข้ามาในห้องผสมจะเกิดโมเมนตัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยระหว่างความเร็วของของไหลจากหัวฉีดและความเร็วของของไหลจากท่อดูด โดยความเร็วจะลดลงในส่วนของท่อขยาย (Diffuser) และเปลี่ยนเป็นความดันผลักดันให้ของผสมไหลออกจากท่อส่ง โดยคุณลักษณะเฉพาะของเจ็ทปั๊มจะขึ้นอยู่กับตัวแปรและปัจจัยต่างๆมากมายที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเจ็ทปั๊ม ได้แก่ สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) , สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) , อัตราส่วนเฮด (head ratio) , อัตราส่วนการไหล (flow rate ratio) เป็นต้น

ในการออกแบบเจ็ทปั๊มต้องมีความเข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปรข้างต้นเป็นอย่างดี เจ็ทปั๊มอาจแบ่งตามองค์ประกอบของของไหล ที่หัวฉีดอาจใช้ของไหลเป็นของเหลวหรือก๊าซได้เช่นกัน และที่ช่องทางดูดอาจใช้ของเหลว , ก๊าซ หรืออาจเป็นของผสมที่ผสมมาในอากาศเช่นซีเมนต์เป็นต้น

โดยบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบเจ็ทปั๊มที่ใช้สำหรับผสมของเหลวต่างชนิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานผสมของเหลวในอุตสาหกรรม โดยหาขนาดความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.4 , 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และค่าสัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่ 2.0 , 3.0 และ 4.0 เพื่อหาค่า (d/D) และ (L/D) ที่ให้ประสิทธิภาพที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ โดยการทดลองมีของไหลทำงาน (Motive flow) คือ น้ำ เพื่อใช้ในการดูสารที่ความหนาแน่นต่างกันในที่นี้ คือ น้ำเกลือ โดยสนใจที่ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) , สัดส่วน

ความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) , อัตราส่วนเฮด (head ratio) , อัตราส่วนการไหล (flow rate ratio) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเจ็ทปั๊ม และแทนค่าจากการทดลองลงในสมการประสิทธิภาพแล้วทำการวิเคราะห์ผล

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบ-เขียนแบบเจ็ทปั๊มเพื่อใช้ในการผสมของเหลวต่างชนิด
- 1.2.2 สร้างเจ็ทปั๊มที่ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการทดลอง
- 1.2.3 ทดลองหาขนาดของหัวฉีดที่เหมาะสมสำหรับการผสม น้ำ - น้ำเกลือ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาวิเคราะห์หลักการทำงานของเจ็ทปั๊ม
- 1.3.2 ศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆเช่น สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่อัตราส่วน 0.40 , 0.50 , 0.60 , สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่อัตราส่วน 2.0 , 3.0 , 4.0 อัตราส่วนเฮด (head ratio) , อัตราส่วนการไหล (flow rate ratio) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม
- 1.3.3 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของเจ็ทปั๊ม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้สมการประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำของเหลวที่ต่างชนิดกัน
- 1.4.2 ได้สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผสมของเหลวต่างชนิดตามที่เราต้องการ
- 1.4.3 ได้สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผสมของเหลวต่างชนิดตามที่เราต้องการ
- 1.4.4 โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการดำเนินโครงการ

วิธีและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้หลักๆเป็นขั้นตอนดังนี้

1.5.1 วิเคราะห์สมการที่ใช้หาประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มในการผสมของเหลวต่างชนิด

1.5.2 ทดลองหาประสิทธิภาพเจ็ทปั๊มในการผสมของเหลวต่างชนิด โดยแปรเปลี่ยนสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.4 , 0.5 , 0.6 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่ 2.0 , 3.0 , 4.0

1.5.3 วิเคราะห์และสรุปผลหาความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีด กับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) , สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D)

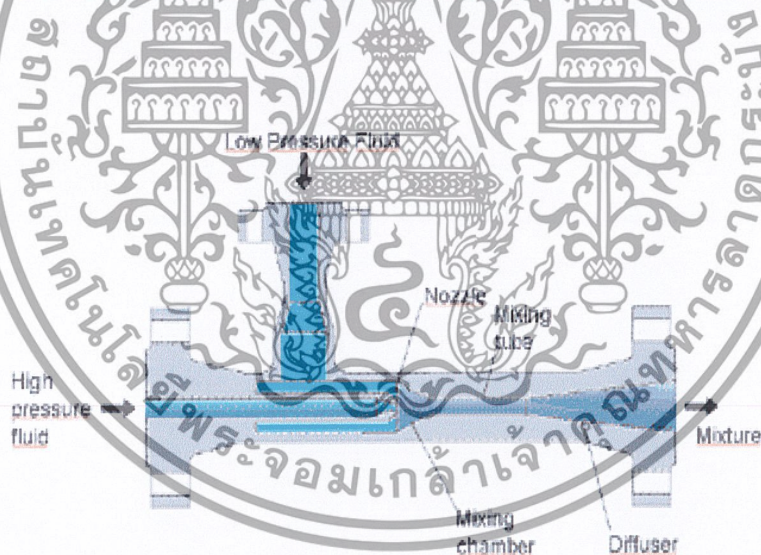


บทที่ 2

หลักการและการคำนวณหาประสิทธิภาพเจ็ทปั๊ม

2.1 หลักการทำงานของเจ็ทปั๊ม

หลักการทำงานของเจ็ทปั๊มจะอาศัยหลักกลศาสตร์ของของไหล คือ การให้ของไหลที่มีความดันสูงไหลผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูง โดยหัวฉีด(Nozzle)ทำหน้าที่ลดความดันและเพิ่มความเร็วให้กับของไหล ทำให้ความดันรอบๆปลายหัวฉีดตรงทางเข้าห้องผสมต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ของไหลที่อยู่ในช่องทางดูด ถูกดูดเข้ามาในห้องผสม โดยห้องผสม (Mixing Chamber) ทำหน้าที่รวมของไหลจากหัวฉีดกับของไหลจากท่อดูด แล้วเกิด โมเมนตัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยระหว่างของไหลจากหัวฉีดกับของไหลจากท่อดูด โดยของไหลทั้งสองจะผสมกันและไหลผ่านท่อส่ง (Diffuser) โดยหน้าที่ของท่อส่งทำให้ของไหลมีความดันเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วลดลง

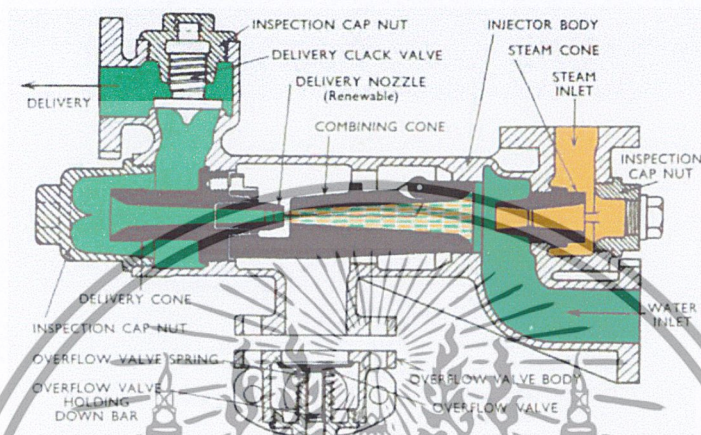


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของเจ็ทปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

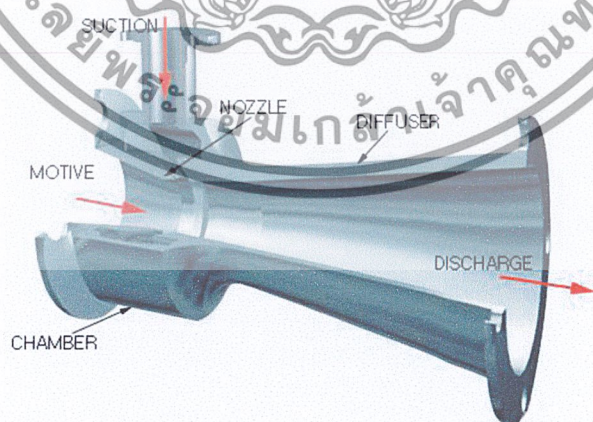
2.2 ประเภทของเจ็ทปั๊ม

2.2.1 อินเจ็คเตอร์ (Injector) คือ ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลที่สามารถอัดตัวได้นิดเข้าห้องผสม และจะขยายตัวออกในห้องผสมและทางออก ซึ่งจะมีพลังงานสูงมาก



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของอินเจ็คเตอร์ (Injector)

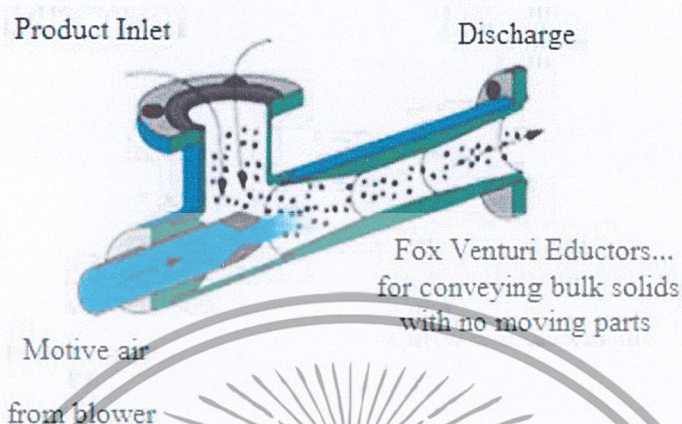
2.2.2 อีเจ็คเตอร์ (Ejector) คือ ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลทุกๆ ชนิดหรืออุปกรณ์เกี่ยวข้องกับการสร้างอัตราการไหลความเร็วสูง



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของอีเจ็คเตอร์ (Ejector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เจ็ทคอมเพรสเซอร์ (Jet compressor) คือ บั๊มที่ใช้ก๊าซในการฉีด เป็นในรูปแบบของของไหลแบบอัดตัวได้แบบหนึ่ง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของอี๊ดคเตอร์ (Eductor)

2.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเจ็ทบั๊ม

ในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเจ็ทบั๊มใช้สมการหลัก 3 สมการ ได้แก่ สมการโมเมนตัม สมการการไหลต่อเนื่อง สมการพลังงาน และมีเงื่อนไขในการใช้ทฤษฎีต่างๆ คือ ของไหลทั้งสองไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วเฉลี่ยแต่ละพื้นที่เท่ากันตลอดทั้งหน้าตัด อุณหภูมิทุกที่เท่ากันตลอด ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกนอกระบบ ความหนาของหัวฉีดเท่ากับศูนย์ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับทางเข้าห้องผสมมีค่าเท่ากับศูนย์ การกระจายความดันคงที่ตลอดภายในห้องผสม ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ของไหลเป็นสารบริสุทธิ์ ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน

การเกิดผลประสิทธิภะนั้นจะขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่างและหลายตัวแปร ซึ่งในบทนี้เราจะทำการศึกษาตัวแปรที่ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพคือ อัตราส่วนการไหล อัตราส่วนของวัดผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับวัดผ่านศูนย์กลางของท่อผสม ประสิทธิภาพอยู่ในรูปของ อัตราส่วนการไหลและอัตราส่วนของเสด นำสมการไปหาประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ โดยใช้หลักทฤษฎีในการวิเคราะห์สมการเพื่อหาประสิทธิภาพคือ ทฤษฎีโมเมนตัม ระหว่างหน้าตัด c-c และ d-d ทฤษฎีสมดุลพลังงาน ระหว่างหน้าตัด a-a และ c-c ทฤษฎีสมดุลพลังงาน ระหว่างหน้าตัด b-b และ c-c ระหว่างหน้าตัด d-d และ e-e ทฤษฎีการไหลต่อเนื่อง ใช้ในการเชื่อมโยงของสมการและตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกัน

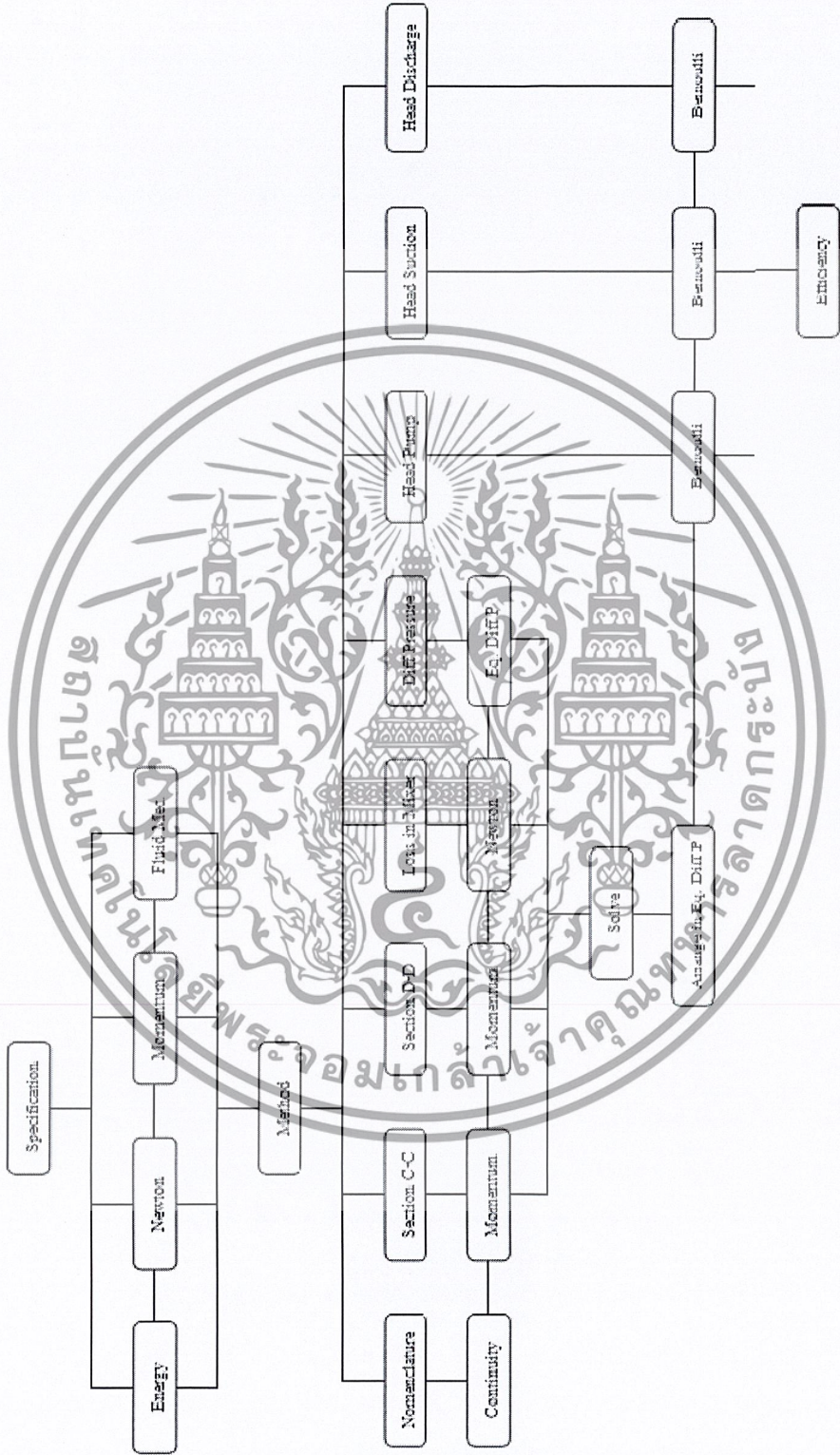
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสุดท้ายของประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม

$$\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_j Q_j H_e} = \Phi \frac{H}{H_e} = \Phi \frac{H_d - H_s}{H_p - H_d} \quad (1)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพกระบวนการวิเคราะห์หาสมการประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

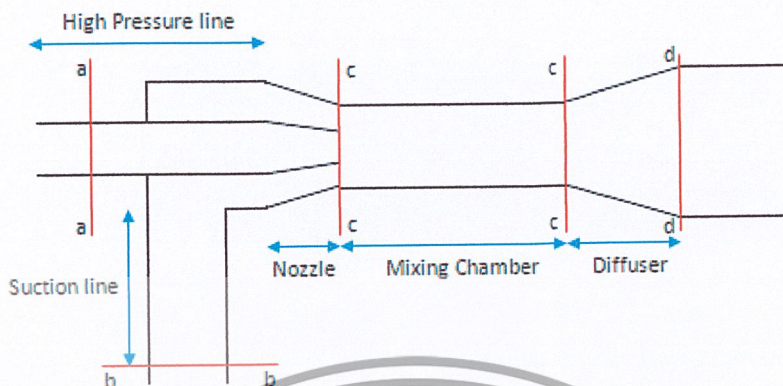
สัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (Nomenclature)

	หน่วย
A : พื้นที่หน้าตัด (Area)	—
B : อัตราส่วนพื้นที่ที่หน้าตัดระหว่างหัวฉีดและห้องผสม (Area ratio)	—
C_d : ความเข้มข้นโดยปริมาตร (Concentration by volume)	—
C_{md} : ความเข้มข้นโดยมวล (Concentration by volume)	—
F : แรง (Force)	N
H : เหนอร์รวม (Total head)	m
H_e : เหนอร์ประสิทธิภาพ (Effective head)	m
H_d : เหนอร์ท่อส่ง (Discharge head)	m
H_p : เหนอร์ปั๊ม (Drive head)	m
H_s : เหนอร์ดูด (Suction head)	m
h : เหนอร์สูญเสีย (Loss of head)	m
K : สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss of factor)	—
\dot{M} : อัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate)	kg/s
P : ความดัน (Pressure)	N/m^2
Q : อัตราการไหลโดยปริมาตร (Volumetric flow rate)	m^3/s
v : ความเร็ว (Velocity)	m/s
\dot{W} : อัตราการไหลโดยน้ำหนัก (Weight flow rate)	mg/s
α : สัมประสิทธิ์ของความเร็ว (Coefficient of velocity)	—
γ : น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)	kg/m^2s^2
ε : ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	—
μ : ค่าสัมประสิทธิ์การลื่นไถล (Slip factor)	—
Φ : อัตราส่วนการไหล (Flow rate ratio)	—
η : ประสิทธิภาพ (Efficiency)	—

สัญลักษณ์ตัวห้อย (Subscript)

d : ด้านจ่าย (Diffuser)
j : หัวฉีด (Nozzle)
mc : ห้องผสม (Mixing chamber)
s : ด้านดูด (Suction side)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงหน้าตัดต่างๆที่ตำแหน่งของหัวฉีด

วิธีการหาสมการเริ่มต้นด้วยสมการต่อเนื่อง

$$Q_d = Q_j + Q_s \quad (2)$$

$$A_d = A_j + A_s \quad (3)$$

$$Q_s = \mu_s v_s A_s \quad (4)$$

$$W_d = W_j + W_s \quad (5)$$

$$\gamma_d Q_d = \gamma_j Q_j + \gamma_s Q_s \quad (6)$$

$$W_s = \gamma_s \mu_s v_s A_s \quad (7)$$

$$\Phi = \frac{W_s}{W_j} = \frac{Q_s \gamma_s}{Q_j \gamma_j} \quad (8)$$

$$\gamma_d = \frac{W_d}{Q_d} = \frac{W_s + W_j}{Q_s + Q_j} = \frac{Q_s \gamma_s + Q_j \gamma_j}{Q_s + Q_j} = \frac{(\Phi + 1) \gamma_j \gamma_s}{\Phi \gamma_j + \gamma_s} \quad (9)$$

$$C_d = \frac{Q_s}{Q_s + Q_j} = \frac{\Phi \gamma_j}{\Phi \gamma_j + \gamma_s} \quad (10)$$

$$V_s = \frac{Q_s}{\mu_s A_s} = \frac{\Phi Q_j \gamma_j}{\mu_s A_s \gamma_s} = \frac{\Phi v_j A_j \gamma_j}{\mu_s A_s \gamma_s} \quad (11)$$

$$Q_d = v_d A_d (1 - C_d) + \mu_d v_d A_d C_d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= v_d A_d [\mu_d C_d + (1 - C_d)] \quad (12)$$

$$v_d = \frac{Q_d}{A_d [\mu_d C_d + (1 - C_d)]} = \frac{B v_j (1 + \Phi \frac{\gamma_j}{\gamma_s})}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]} \quad (13)$$

$$B = \frac{A_j}{A_d} \quad (14)$$

$$(1 - B) = \frac{A_s}{A_d} \quad (15)$$

$$\left(\frac{B}{1-B} \right) = \frac{A_j}{A_s} \quad (16)$$

พิจารณาสมการโมเมนต์ระหว่างพื้นที่หน้าตัด c-c และ d-d

$$\begin{aligned} \sum F &= \sum F_{bx} + \sum F_{sx} \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho v_x dV + \int_{cs} \rho v_x \bar{v} d\bar{A} \end{aligned}$$

สมการโมเมนต์ที่หน้าตัด c-c

$$\begin{aligned} F_{mc} &= \dot{M}_j v_j + \dot{M}_s v_s = \rho_j Q_j v_j + \rho_s Q_s v_s \\ &= \frac{\gamma_j}{g} v_j^2 A_j + \frac{\gamma_s}{g} \mu_s v_s^2 A_s \\ &= \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j A_j}{\mu_s \gamma_s A_s} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

สมการโมเมนต์ที่หน้าตัด d-d

$$\begin{aligned} F_{A=\pi r^2 md} &= \dot{M}_d v_d = v_d (\dot{M}_j) + v_{ds} (\dot{M}_s), \quad v_{ds} = v_d \mu_d \\ &= v_d \rho_j Q_j + v_d \mu_d \rho_s Q_s \\ &= v_d \frac{\gamma_j}{g} v_j A_j + v_d \mu_d \frac{\gamma_s}{g} v_s A_s \mu_s \\ &= \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \frac{B(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1-C_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) \end{aligned} \quad (18)$$

สมการโมเมนต์การสูญเสียแรงเสียดทานภายในผิวของห้องผสม ระหว่างหน้าตัด c-c ถึง d-d

$$F_t = \int_0^l \tau_0 2\pi r dl$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \lambda 2\pi r l \gamma_d \frac{v_d^2}{2g}, \quad K_{mc} = \frac{2\lambda l}{r} \\
&= K_{mc} A_d \gamma_d \frac{v_d^2}{2g} \\
&= \frac{v_j^2}{2g} \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)^2}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]^2} K_{mc} A_d \gamma_d
\end{aligned} \tag{19}$$

สมการโมเมนต์การหาแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันที่เปลี่ยนแปลง

$$\begin{aligned}
F_p &= \int_0^r (P_d - P_c) 2\pi r dr \\
&= \int_0^r P_d 2\pi r dr - \int_0^r P_c 2\pi r dr
\end{aligned}$$

จากกฎอนุรักษ์โมเมนต์

$$\sum F_c = \sum F_d$$

เราสมการที่นี้เราต้องการที่จะทำให้คิดตัวแปรอยู่ในรูปของเทอม แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องผสมเพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาสมการ เซดที่บีบ เซดที่ท่อดูด เซดที่ท่อส่ง

$$F_{mc} + F_{pc} = F_{md} + F_{pd} + F_t$$

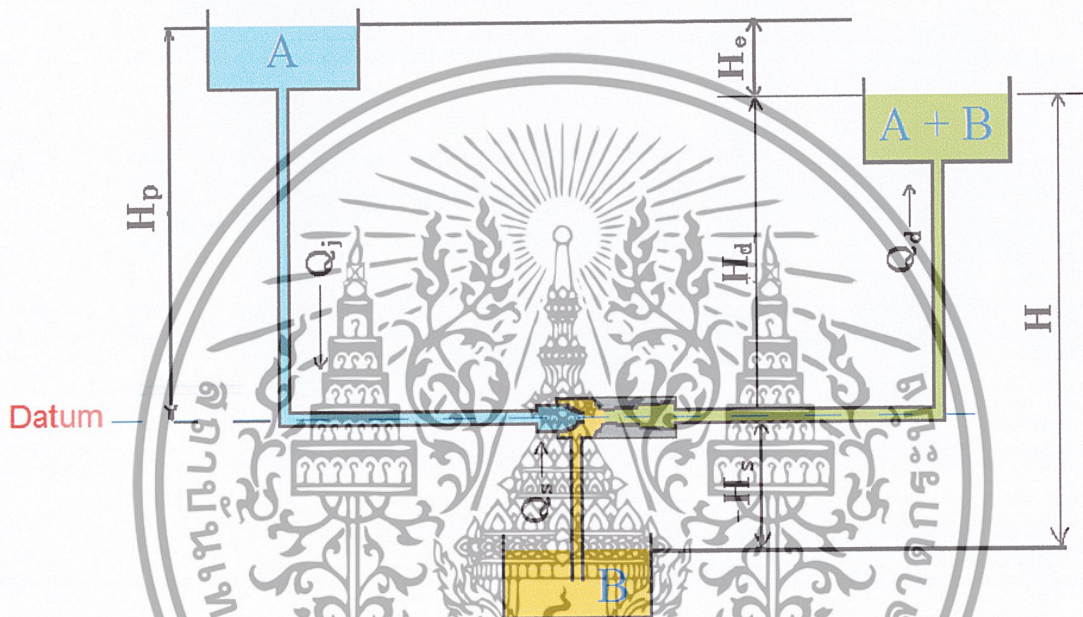
$$\begin{aligned}
\frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j A_j}{\mu_s \gamma_s A_s} \right) + \int_0^r P_c 2\pi r dr &= \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \frac{B(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]} \\
\times (2 + 2\mu_d \Phi) + \int_0^r P_d 2\pi r dr &+ \frac{v_j^2}{2g} \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)^2}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]^2} K_{mc} A_d \gamma_d
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_0^r P_d 2\pi r dr - \int_0^r P_c 2\pi r dr &= \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j A_j}{\mu_s \gamma_s A_s} \right) \\
- \frac{v_j^2}{2g} \gamma_j A_j \frac{B(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) &- \frac{v_j^2}{2g} \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)^2}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]^2} K_{mc} A_d \gamma_d
\end{aligned}$$

$$\int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{\gamma_j A_d} dr - \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{\gamma_j A_d} dr = \frac{v_j^2}{2g} \left[B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1-B)} \right) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)}{[\mu_d C_d+(1-C_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) - \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)^2}{[\mu_d C_d+(1-C_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \quad (20)$$

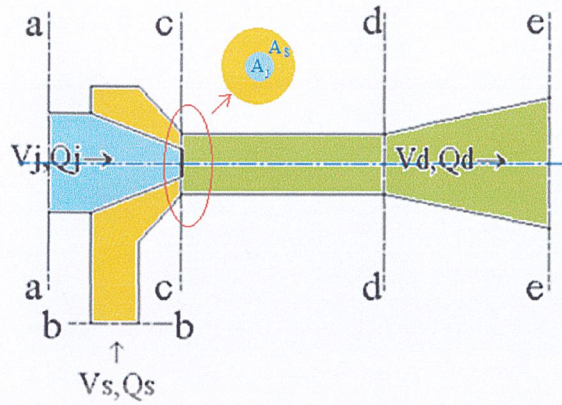


รูปที่ 2.7 แสดงเฮดที่ตำแหน่งต่างๆ

สมการเบอร์นูลลี

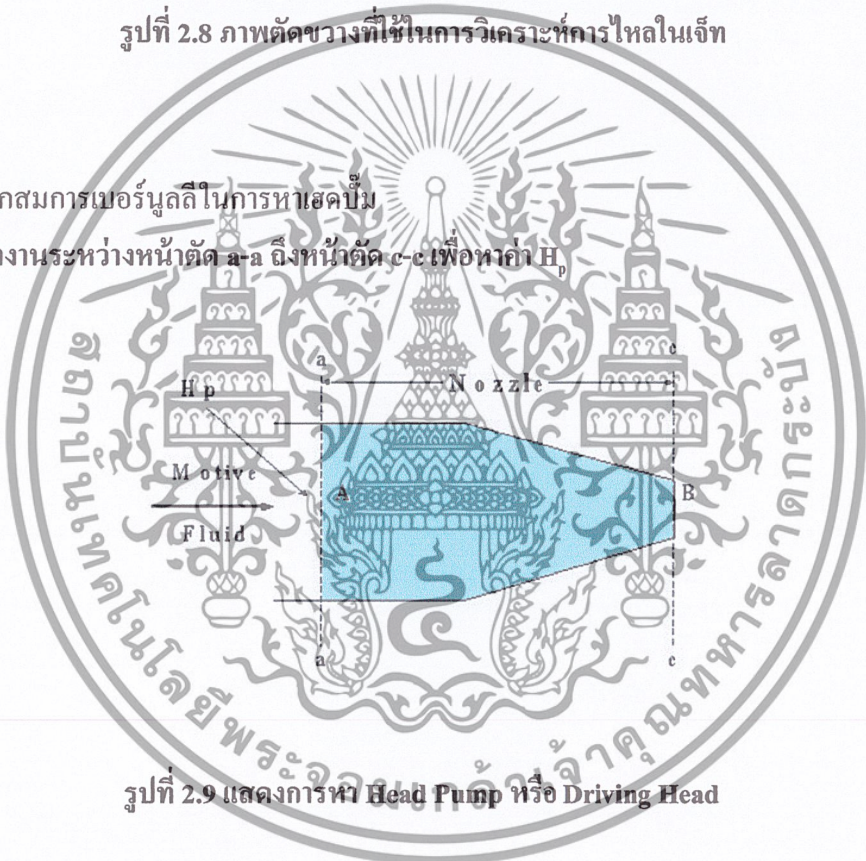
$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + 2gZ = \text{ค่าคงที่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในเจ็ท

พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลีในการหาเสดบี้ม
สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด a-a ถึงหน้าตัด c-c เพื่อหาค่า H_p



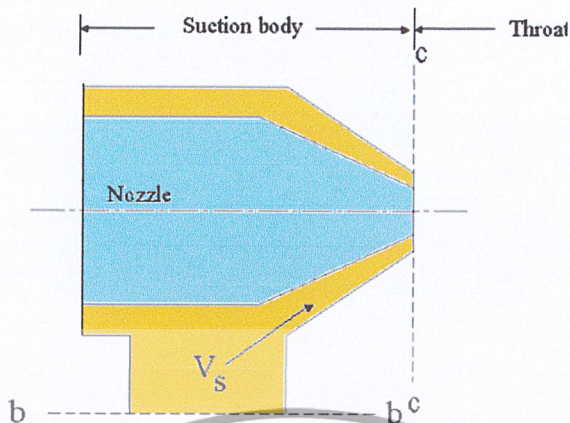
รูปที่ 2.9 แสดงการหา Head Pump หรือ Driving Head

$$\begin{aligned}
 H_p &= \int_0^r \frac{P_a 2\pi r}{A_a \gamma_j} dr + \frac{\alpha_d v_d^2}{2g} \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{\alpha_j v_j^2}{2g} + h_j, \quad h_j = K_j \frac{v_j^2}{2g} \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{v_j^2}{2g} (\alpha_j + k_j)
 \end{aligned} \tag{21}$$

พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลีในการหาเสดท่อคูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด b-b ถึงหน้าตัด c-c เพื่อหาค่า H_s

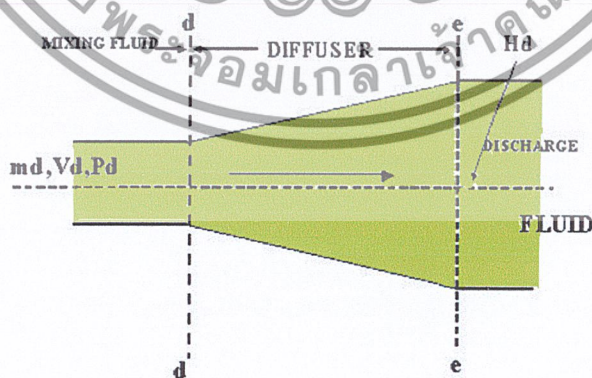


รูปที่ 2.10 แสดงการทำ Suction Head

$$\begin{aligned}
 H_s &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_s} dr + \frac{\alpha_s \mu_s^2 v_s^2}{2g} + h_s, & h_s &= K_s \frac{v_s^2}{2g} \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_s} dr + \frac{v_s^2}{2g} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \\
 &= \epsilon_s \left[\int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_s} dr + \frac{v_s^2}{2g} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \right], & \epsilon_s &= \frac{\gamma_s}{\gamma_j} \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{v_j^2}{2g} \frac{\Phi^2 B^2}{(1-B)^2} \left(\frac{\gamma_j}{\gamma_s} \right)^2 \frac{\epsilon_s}{\mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s)
 \end{aligned} \tag{22}$$

พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลีในการหาเขตท่อส่ง

สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด d-d ถึงหน้าตัด e-e เพื่อหาค่า H_d



รูปที่ 2.11 แสดงการทำ Delivery Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
H_d &= \varepsilon_d \left[\int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j \varepsilon_d} dr + \alpha_d (1 - C_{dm}) \frac{v_d^2}{2g} + \alpha_d C_{dm} \mu_d^2 \frac{v_d^2}{2g} - h_{dif} \right] \\
h_{dif} &= K_{dif} \frac{v_d^2}{2g}, \quad \varepsilon_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \\
&= \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr - \varepsilon_d \frac{v_d^2}{2g} [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \\
&= \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr \\
&\quad - \frac{v_j^2 \varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{2g [\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \quad (23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{dm} &= \frac{C_d \gamma_s}{\gamma_d} \\
&= \frac{\Phi \gamma_j \gamma_s}{\Phi \gamma_j \gamma_d + \gamma_s \gamma_d} \quad (24)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H &= H_d - H_s \\
&= \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr - \frac{v_j^2 \varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{2g [\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \\
&\quad - \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr - \frac{v_j^2 \Phi^2 B^2 (\gamma_j)^2 \varepsilon_s}{2g (1 - B)^2 (\gamma_s)^2 \mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \\
&= \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr - \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr - \frac{v_j^2}{2g} \left[\frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \right. \\
&\quad \left. + \frac{v_j^2 \Phi^2 B^2 (\gamma_j)^2 \varepsilon_s}{2g (1 - B)^2 (\gamma_s)^2 \mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \right] \\
&= \frac{v_j^2}{2g} \left[B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1 - B)} \right) - \frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) \right. \\
&\quad \left. - \frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \right] - \frac{v_j^2}{2g} \left[\frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} [K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2)] \right. \\
&\quad \left. + \frac{v_j^2 \Phi^2 B^2 (\gamma_j)^2 \varepsilon_s}{2g (1 - B)^2 (\gamma_s)^2 \mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + K_s) \right]
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \frac{v_j^2}{2g} \left[B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1-B)} \right) - \frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) - \right. \\
 &\frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} - \frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} \\
 &\times \left. \left[K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2) \right] - \frac{\Phi^2 B^2}{(1-B)^2} \left(\frac{\gamma_j}{\gamma_s} \right)^2 \frac{\varepsilon_s}{\mu_s^2} (\alpha_s \mu_s^2 + \right. \\
 &\left. K_s \right) \Big] \tag{25}
 \end{aligned}$$

$$H_e = H_p - H_d$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr + \frac{v_j^2}{2g} (\alpha_j + k_j) - \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr \\
 &+ \frac{v_j^2}{2g} \frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} \left[K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + C_{md} \mu_d^2) \right] \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi r}{A_c \gamma_j} dr - \int_0^r \frac{P_d 2\pi r}{A_d \gamma_j} dr \\
 &+ \frac{v_j^2}{2g} \left[(\alpha_j + k_j) + \frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} \left[K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + \right. \right. \\
 &\left. \left. C_{md} \mu_d^2) \right] \right] \\
 &= \frac{v_j^2}{2g} \left[(\alpha_j + k_j) + \frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} \left[K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + \right. \right. \\
 &\left. \left. C_{md} \mu_d^2) \right] - \left\{ \frac{v_j^2}{2g} \left[B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1-B)} \right) - \frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]} (2 + \right. \right. \\
 &\left. \left. 2\mu_d \Phi) - \frac{B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \right] \right\} \right] \\
 &= \frac{v_j^2}{2g} \left[(\alpha_j + k_j) + \frac{\varepsilon_d B^2 (1 + \Phi \gamma_j / \gamma_s)^2}{[\mu_d C_d + (1 - C_d)]^2} \left[K_{dif} - \alpha_d (1 - C_{md} + \right. \right. \\
 &\left. \left. C_{md} \mu_d^2) \right] - B \left(2 + \frac{2\Phi^2 \gamma_j B}{\mu_s \gamma_s (1-B)} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$+ \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]} (2 + 2\mu_d \Phi) + - \frac{B^2(1+\Phi\gamma_j/\gamma_s)^2}{[\mu_d c_d + (1-c_d)]^2} K_{mc} \frac{\gamma_d}{\gamma_j} \quad (26)$$

จากการรวมสมการทั้งหมดแล้วจัดรูปจะได้สมการประสิทธิภาพที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_j Q_j H_e} \times 100 \\ &= \Phi \frac{H}{H_e} \times 100 \\ &= \Phi \frac{H_d - H_s}{H_p - H_d} \times 100 \end{aligned} \quad (27)$$



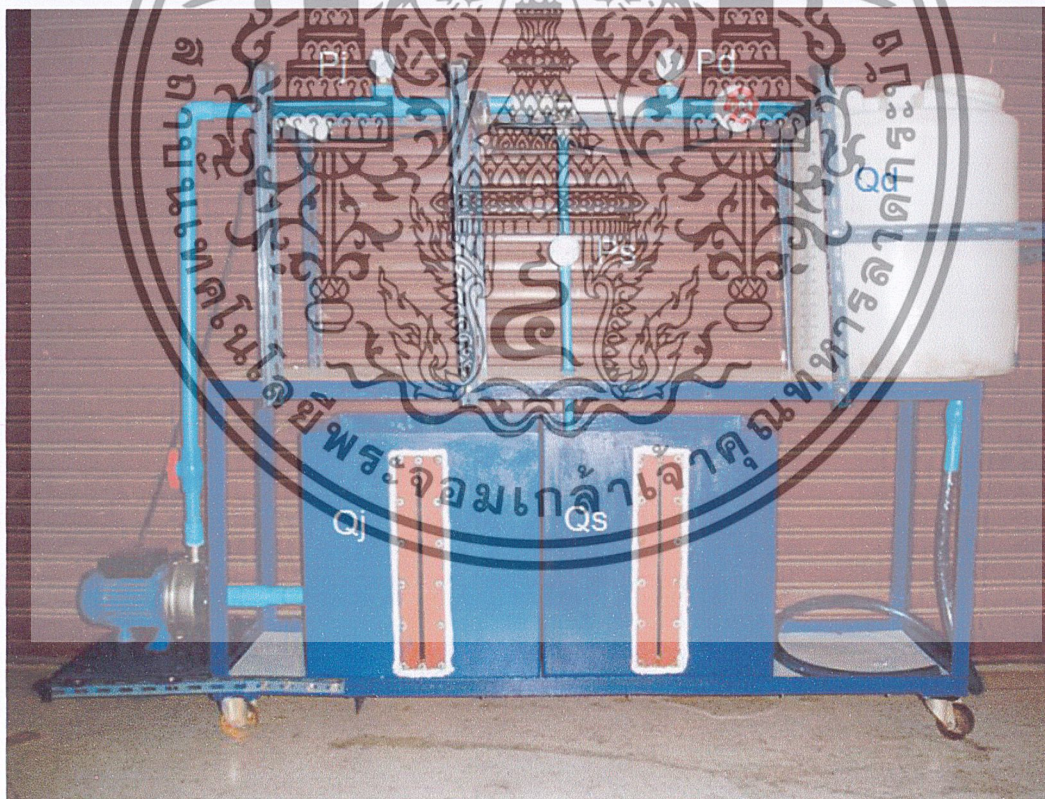
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

3.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นใช้ปั๊มขนาด 1 แรงม้า เพื่อสร้างความดันให้น้ำที่ดูดจากถังใบที่หนึ่ง แทนการใช้พลังงานศักย์จากความต่างระดับเพื่อให้น้ำออกจากหัวฉีดมีแรงดันและความเร็วสูงเข้าสู่ห้องผสม โดยสามารถวัดแรงดันที่น้ำออกจากหัวฉีดด้วยเกจวัดความดัน เมื่อน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีดเข้าสู่ห้องผสมมีความเร็วทำให้ความดันบริเวณท่อลดต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จึงสามารถเห็นยวน้ำของเหลวจากถังใบที่สองเข้าไปผสมกันในห้องผสม การวัดอัตราการไหลสามารถอ่านได้จากมาตรวัดระดับที่ติดอยู่ข้างถัง โดยปรับอัตราการไหลของของไหลผสมที่ท่อทางออกด้วยโกล์บวาล์วดังรูป จากนั้นวัดค่าความดันทางออกด้วยเกจวัดความดันดังรูปที่ 3-1

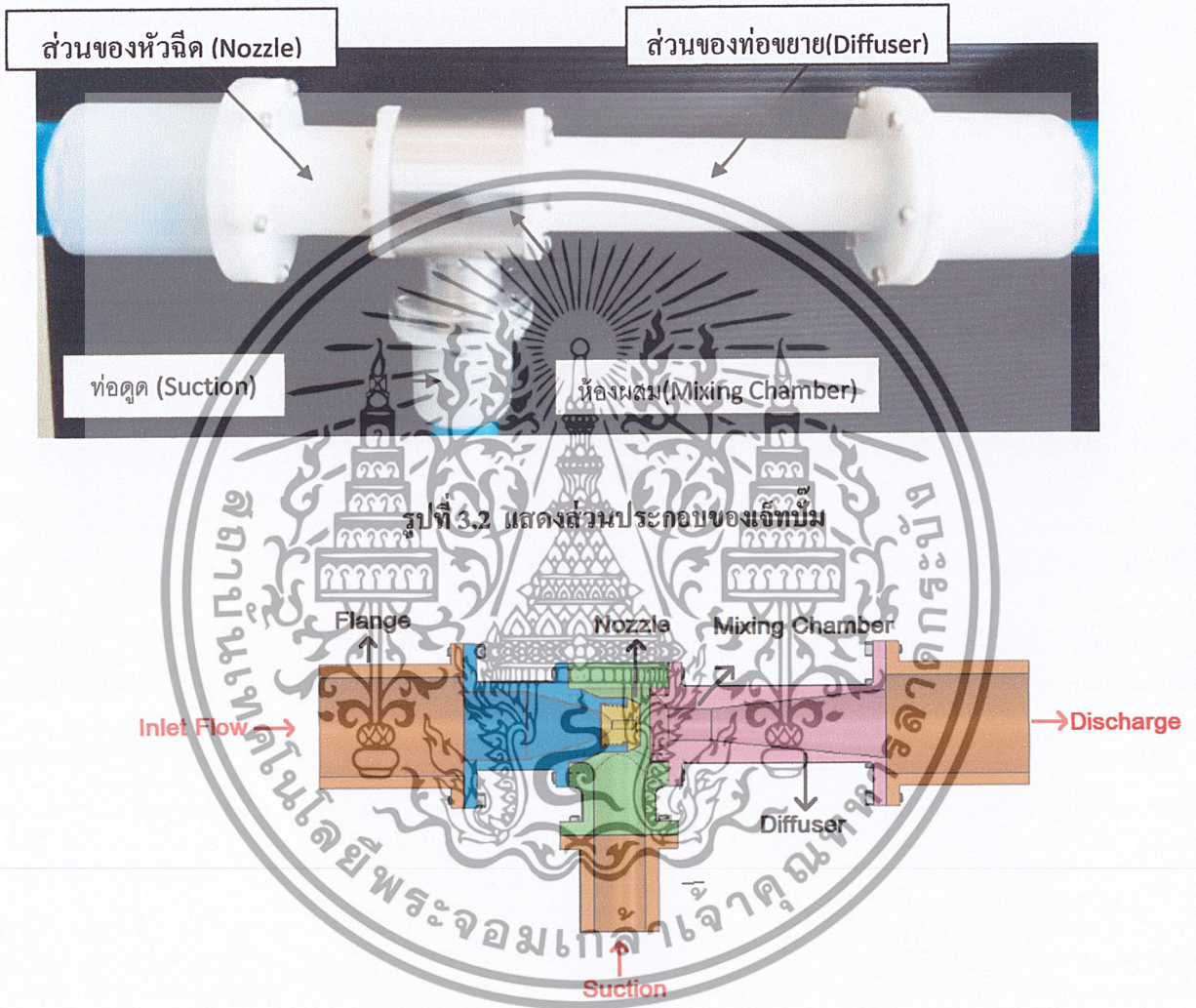


รูปที่ 3.1 แสดงชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 เจ็ทปั๊ม ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนของห้องผสม หัวฉีด ท่อดูดด้านดูด ท่อขยาย คังรูปที่ 3-2 และรูปที่ 3-3

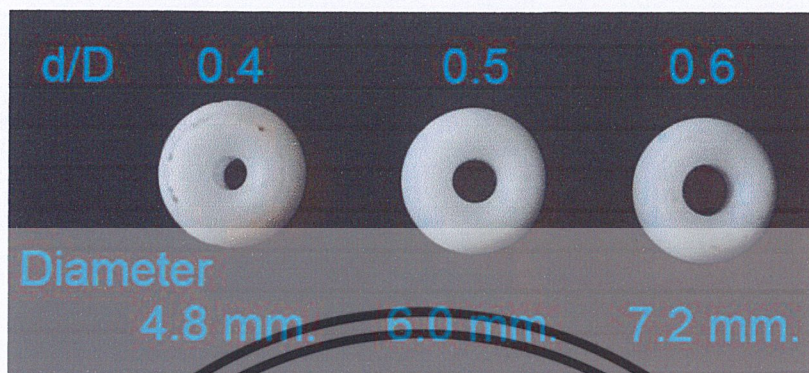


รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเจ็ทปั๊ม

รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางของเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด ด้วยโปรแกรมSolid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หัวฉีด (Nozzle) มีทั้งหมด 3 หัว คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.8 , 6.0 , 7.2 mm.
 ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3.4 แสดงสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) = 0.4 , 0.5 และ 0.6

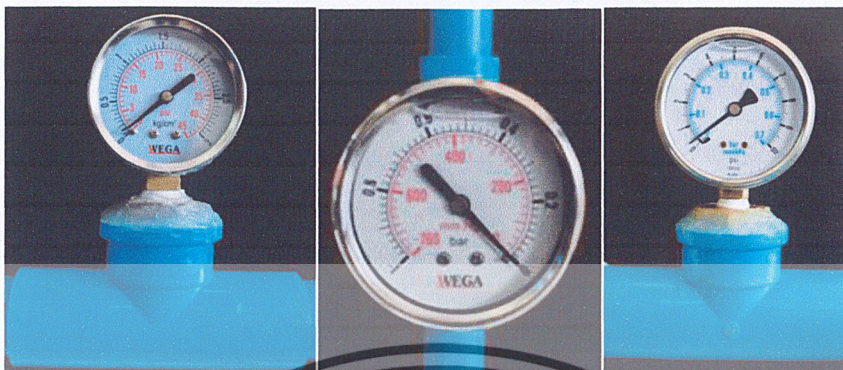
3.1.3 ท่อขยาย (Diffuser) มีทั้งหมด 3 ท่อ คือ ขนาดความยาวห้องผสมเท่ากับ 24 , 36 , 48 mm.
 ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3.5 แสดงสัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) = 2.0 , 3.0 และ 4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เกจวัดความดัน (pressure gauge) หน่วยที่ใช้ในการทดลองคือ bar



รูปที่ 3.6 แสดงเกจวัดความดัน (pressure gauge)

3.1.5 โถ้ปรับอัตราการไหลของส่วนผสมโดยติดตั้งอุปกรณ์วัดมุมเพื่อใช้ปรับอัตราการไหลของของผสม



รูปที่ 3.7 แสดงภาพโถ้ปรับอัตราการไหลพร้อมทั้งอุปกรณ์วัดมุมของโถ้ปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

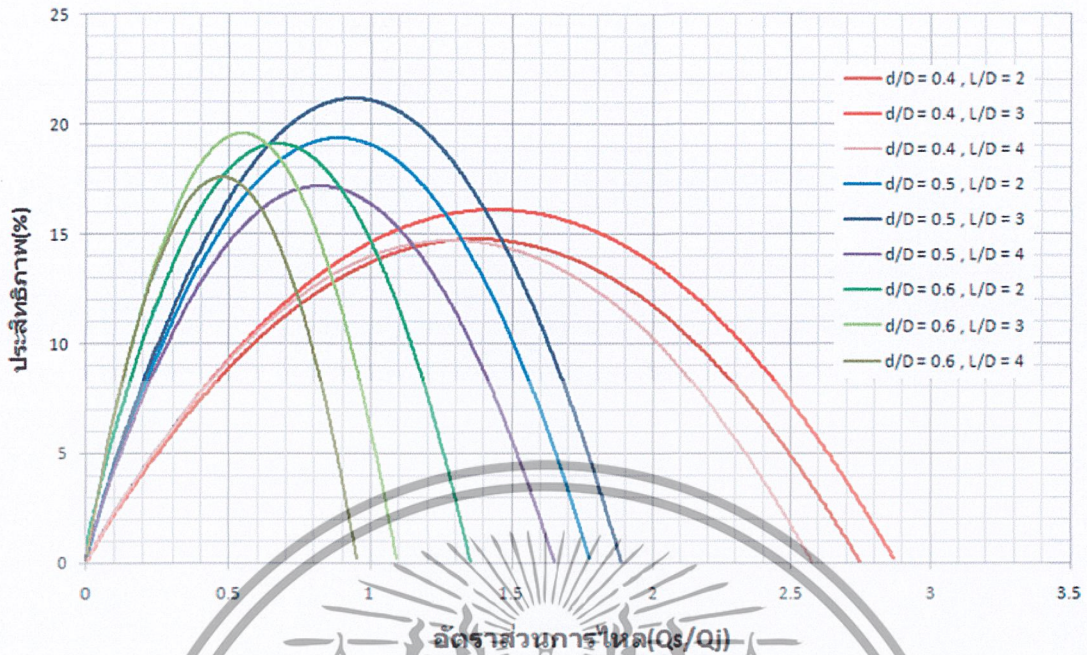
เริ่มต้นจากการประกอบเจ็ทปั๊มเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะเจ็ทปั๊มซึ่งจะมีชุดเจ็ทปั๊มทั้งหมด 9 ชุด คือ [$(d/D = 0.4, L/D = 2.0)$, $(d/D = 0.4, L/D = 3.0)$, $(d/D = 0.4, L/D = 4.0)$, $(d/D = 0.4, L/D = 2.0)$, $(d/D = 0.5, L/D = 2.0)$, $(d/D = 0.5, L/D = 3.0)$, $(d/D = 0.5, L/D = 4.0)$, $(d/D = 0.6, L/D = 2.0)$, $(d/D = 0.6, L/D = 3.0)$, $(d/D = 0.6, L/D = 4.0)$] ในที่นี้เลือกชุดเจ็ทปั๊ม $(d/D = 0.4, L/D = 2.0)$ มาประกอบเข้ากับชุดทดสอบก่อน จากนั้นปรับมุมของโกล์บวาล์วเพื่อเปิดโกล์บวาล์วไปที่ 990 องศา (มุมของโกล์บวาล์วสามารถดูได้จากอุปกรณ์วัดมุมที่ติดตั้งไว้) จากนั้นเปิดเครื่องให้ปั๊มน้ำเริ่มทำงานพร้อมกับจับเวลา (30 วินาที) และ อ่านค่าความดันหัวฉีด , ความดันที่ทางเข้าท่อดูด , ความดันที่ทางออกชุดหัวฉีด และ อัตราการไหลหัวฉีด , อัตราการไหลท่อดูด แล้วบันทึกผลการทดลอง

ทำการปรับอัตราการไหลของ โกล์บวาล์วให้เป็นค่าต่างๆ โดย ปรับมุมของโกล์บวาล์วลดลง เพื่อลดอัตราการไหล ทีละ 45 องศา แล้วทำการทดลองซ้ำเพื่อเก็บค่า (ความดันหัวฉีด , ความดันที่ทางเข้าท่อดูด , ความดันที่ทางออกชุดหัวฉีด และ อัตราการไหลหัวฉีด , อัตราการไหลท่อดูด) แล้วบันทึกผลการทดลอง และ ทำการทดลองซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งอัตราการไหลด้านดูดเป็นศูนย์

จากนั้นเปลี่ยนชุดเจ็ทปั๊ม เป็นชุดอื่นๆ ใน 9 ชุด ที่กล่าวมาข้างต้น แล้วทำการทดลองซ้ำจนครบทุกกรณี แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพ และ พล็อตกราฟความสัมพันธ์ ซึ่งเงื่อนไขในการทำการทดลองนั้นมีอยู่ว่า ในการเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดแต่ละครั้งต้องให้ส่วนปลายของหัวฉีดอยู่ห่างจากส่วนของทางเข้าห้องผสมเป็นระยะที่คงที่ (สมมติเท่ากับศูนย์) และ ต้องสำรวจรอยรั่วของอุปกรณ์ทางด้านดูดของปั๊มบ่อย ینگทุกครั้งเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศไหลเข้ามาในส่วนของหัวฉีด และ ในการทดลองให้ถือว่าอุณหภูมิของอากาศและน้ำในขณะนั้นคงที่

3.3 ผลการทดลอง

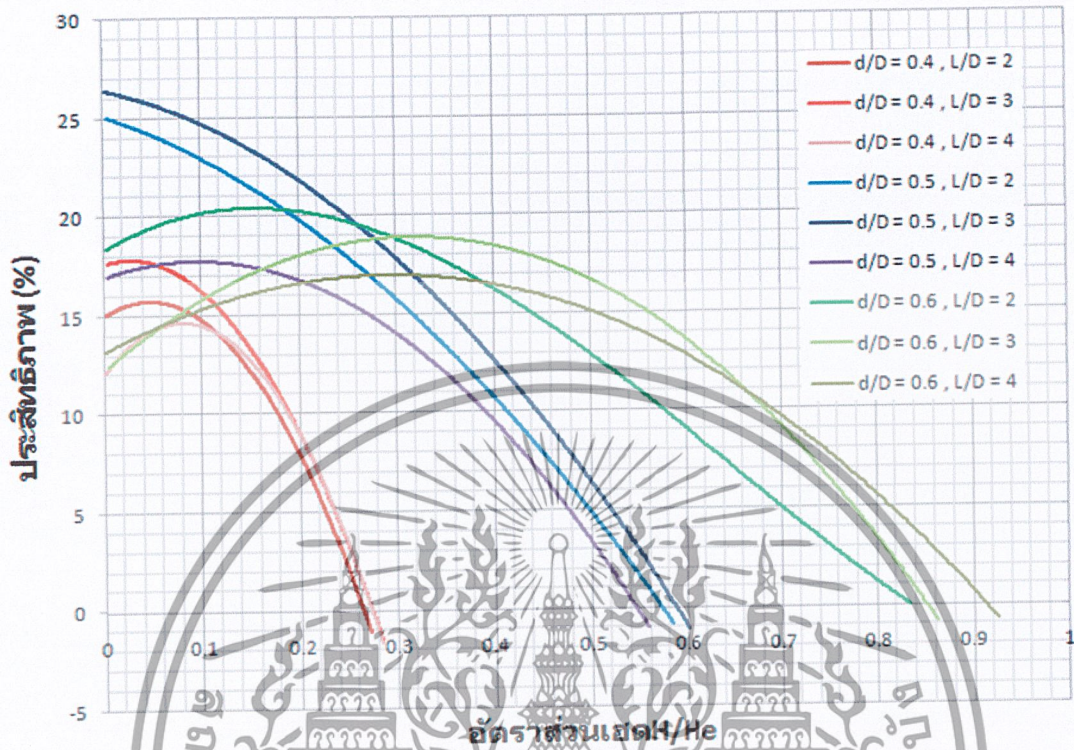
นำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ประสิทธิภาพ (η) เทียบกับ อัตราการไหล (Q_s/Q_j) , ประสิทธิภาพ (η) เทียบกับ อัตราส่วนเฮด (H/H_e) , อัตราการไหล (Q_s/Q_j) เทียบกับ อัตราส่วนเฮด (H/H_e) โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีด กับ ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.4 , 0.5 , 0.6 และ สัดส่วนความยาวห้องผสม กับ ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (L/D) ที่ 2.0 , 3.0 , 4.0 ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.7 , 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนการไหลโดยที่สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D)

รูปที่ 3.7 เป็นกรเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลของของเหลวที่ท่อดูดกับของเหลวที่หัวฉีด แสดงให้เห็นได้ว่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.97 ในสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.5 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) เท่ากับ 0.3 และเมื่อลดขนาดของสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.40 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนการไหลที่เพิ่มขึ้น โดย จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 16.68 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนการไหลอยู่ที่ 1.35 และเมื่อเพิ่มขนาดของสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) เท่ากับ 0.60 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนการไหลที่ลดลงด้วยเช่นกัน โดย จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 19.84 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนการไหลอยู่ที่ 0.54 และ ลักษณะกราฟ เป็น เส้น โค้ง สอดคล้อง กับ ทฤษฎี

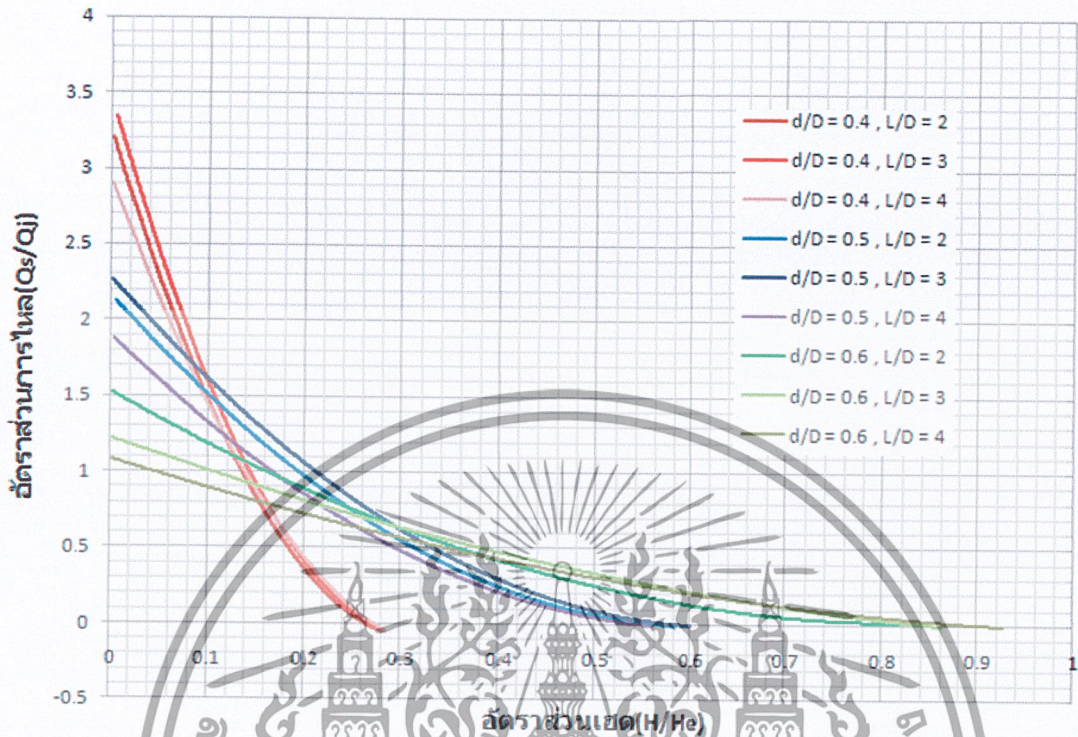
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ และ อัตราส่วนของเยดโดยเปรียบเทียบสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D)

รูปที่ 3.8 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนของเยด แสดงให้เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพมากที่สุดจากการทดลองเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของเยดเท่ากับ 0.22 ในอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 0.50 และความยาวกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 3.0 และเมื่อลดขนาดของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเป็น 0.40 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนการเยดที่ลดลงโดย จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 16.68 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนเยดอยู่ที่ 0.12 และเมื่อเพิ่มขนาดของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเป็น 0.60 จะได้ประสิทธิภาพลดลงในอัตราส่วนการเยดที่เพิ่มขึ้นโดย จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 19.84 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนการไหลอยู่ที่ 0.37 และ ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสอดคล้องกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

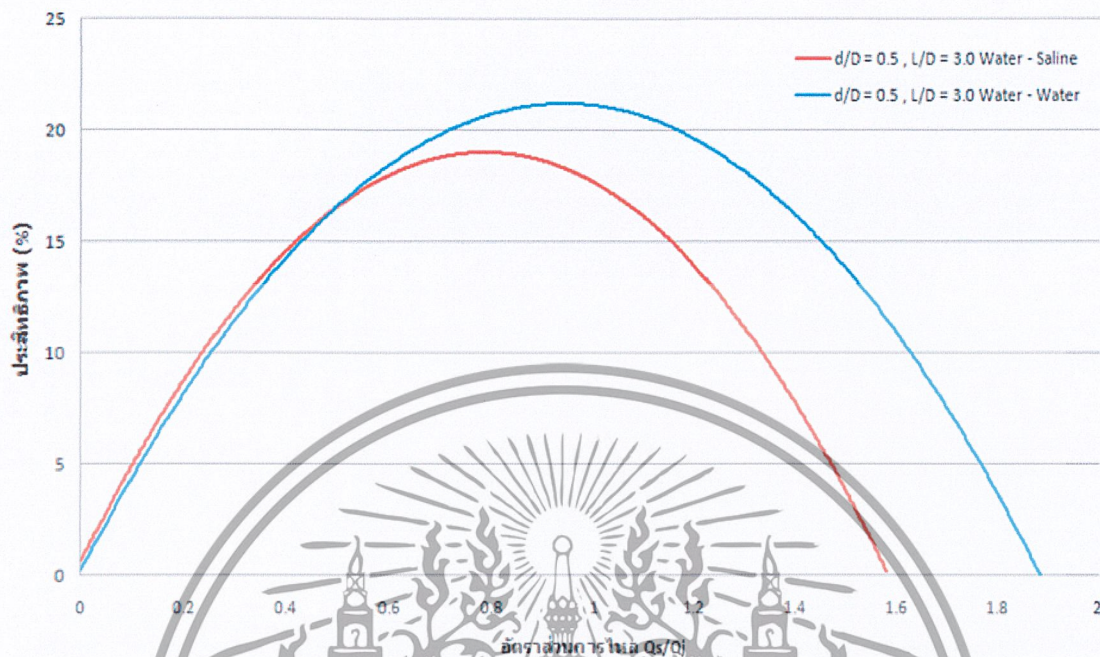


รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหลกับอัตราส่วนของเฮดโดยเปรียบเทียบสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม (d/D) และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม (L/D)

รูปที่ 3.9 เป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนการไหลของของไหลที่ท่อคู่ค้ำกับอัตราส่วนการไหลของของไหลที่หัวฉีด ด้วยอัตราส่วนของเฮดแสดงลักษณะของเส้นกราฟว่าความสัมพันธ์ทั้งสองตัวแปรจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ในแต่ละสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.40 , 0.50 และ 0.60 จะมีค่าอัตราส่วนการไหลเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนของเฮดลดลง ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสอดคล้องกับทฤษฎี

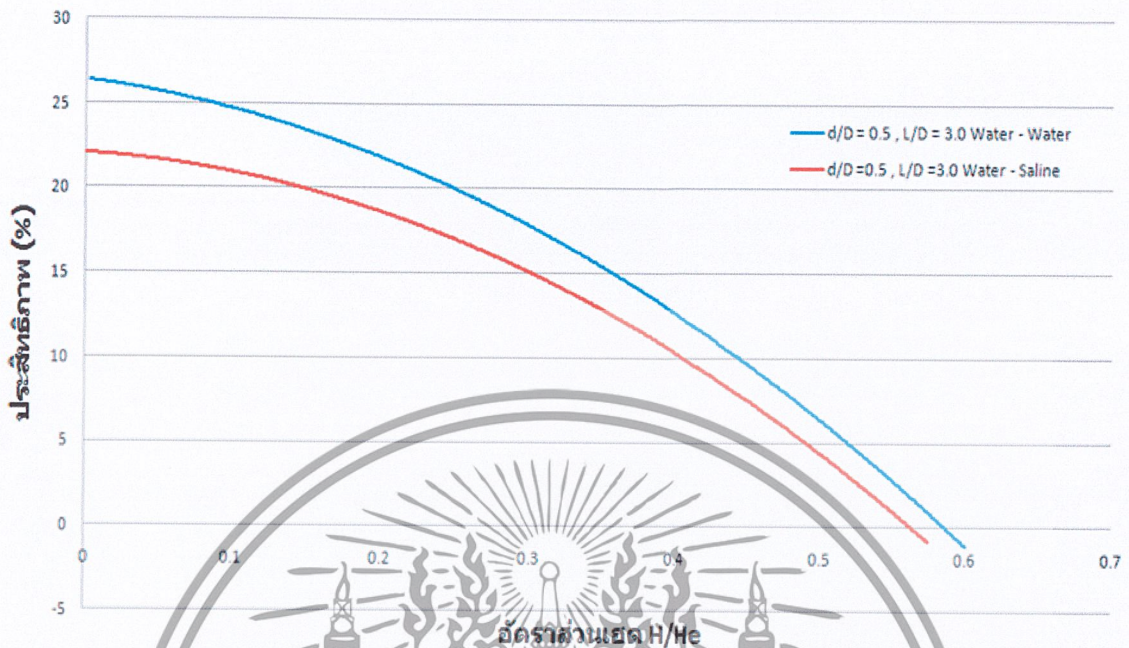
เมื่อทำการทดลอง ผสมน้ำ กับ น้ำเกลือ ที่มีค่าความหนาแน่น(ρ) = 1183 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้น้ำอยู่ในถัง A น้ำเกลืออยู่ในถัง B เมื่อเดินปั๊มสูบน้ำ ผสมกับ น้ำเกลือ ด้วยเจ็ทปั๊มจะ ได้ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบความล้มพันธ์ของประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลโดยสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ อัตราส่วนความยาวกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 3.0

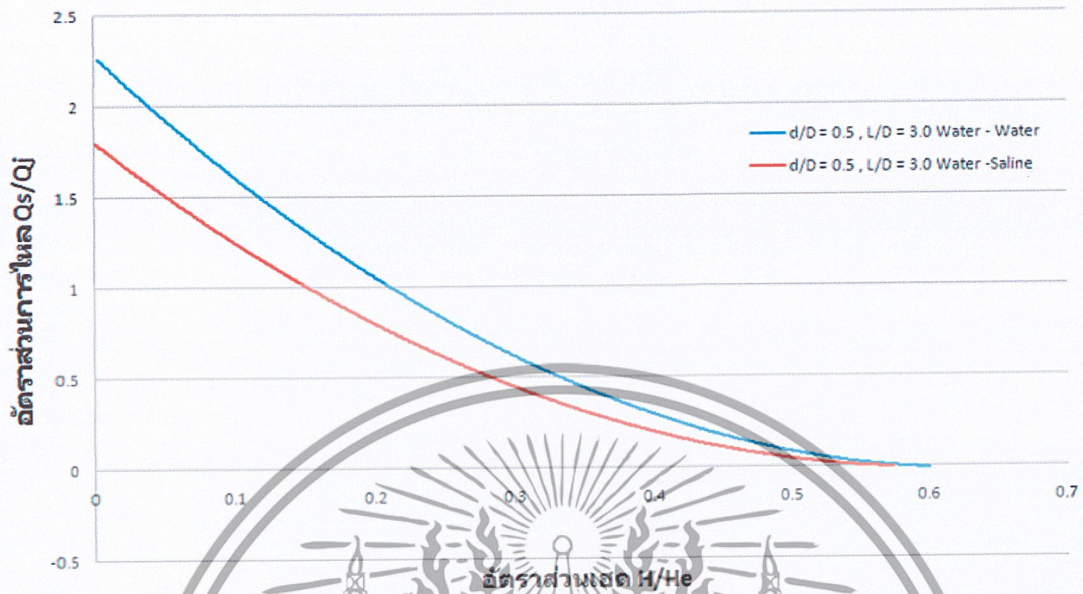
รูปที่ 3.10 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลของของเหลวที่ทอดูดกับของของเหลวที่หัวฉีด โดยเปรียบเทียบการผสมระหว่าง น้ำ – น้ำ ซึ่งให้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหลเท่ากับ 0.97 ในอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 0.50 และความยาวกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 3.0 และ น้ำ – น้ำเกลือ ซึ่งให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าเท่ากับ 19.54 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนการไหลต่ำกว่าเท่ากับ 0.875 ในอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 0.50 และความยาวกับพื้นที่หน้าตัดของห้องผสมเท่ากับ 3.0 และลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสอดคล้องกับทฤษฎี



รูปที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและอัตราส่วนของเขตที่ตัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสมเท่ากับ 3.0

รูปที่ 3.11 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนของของเหลวที่ท่อคู่กับของเหลวที่หัวฉีด โดยเปรียบเทียบการผสมระหว่าง น้ำ - น้ำ ซึ่งให้ประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของเขตเท่ากับ 0.22 ในสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสมเท่ากับ 3.0 และ น้ำ - น้ำเกลือ ซึ่งให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าเท่ากับ 19.54 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนเขตต่ำกว่าเท่ากับ 0.189 ในสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสมเท่ากับ 3.0 และ ลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสอดคล้องกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการไหลกับอัตราส่วนของเฮดที่สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม เท่ากับ 3.0

รูปที่ 3.12 เป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนการไหลของของไหลที่สอดคล้องกับอัตราส่วนการไหลของของไหลที่หัวฉีด ด้วยอัตราส่วนของเฮดแสดงลักษณะของเส้นกราฟว่าความสัมพันธ์ทั้งสองตัวแปรจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ในแต่ละสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.40 , 0.50 และ 0.60 จะมีค่าอัตราส่วนการไหลเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนของเฮดลดลง โดยที่การผสมระหว่าง น้ำ – น้ำ จะให้ค่าที่มากกว่าการผสมระหว่าง น้ำ – น้ำเกลือ และมีลักษณะกราฟเป็นเส้นโค้งสอดคล้องกับทฤษฎี

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

4.1.1 จากผลการทดลองผสมระหว่าง น้ำ – น้ำ ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของอัตราการใช้ไพล 0.97 และอัตราส่วนของเฮดเท่ากับ 0.22 ที่สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสม เท่ากับ 3.0 โดยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของอัตราการใช้ไพล เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนของเฮดลดลง ความสัมพันธ์แปรผกผันกัน

4.1.2 จากผลการทดลองผสมระหว่างน้ำ – น้ำ ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 19.54 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนของอัตราการใช้ไพล 0.875 และอัตราส่วนของเฮดเท่ากับ 0.189 ที่สัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 0.50 และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสมเท่ากับ 3.0 โดยมีความสัมพันธ์คือ เมื่ออัตราส่วนของอัตราการใช้ไพลเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนของเฮดลดลง ความสัมพันธ์แปรผกผันกัน

4.1.3 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี ปรากฏว่ามีแนวโน้ม และ พฤติกรรมที่สอดคล้องกัน

4.1.4 สามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานในอุตสาหกรรมผสมของเหลวได้ โดยเปลี่ยนสารที่ใช้ในการทดลองแล้วเก็บค่าจากการทดลองเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้ชุดเจ็ทปั๊มที่เหมาะสมสำหรับการผสมในแต่ละอัตราส่วนที่ต้องการ

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ผลกระทบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊มนั้นมีได้มีเพียงขนาดสัดส่วนของขนาดวัดผ่าศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางห้องผสม และ สัดส่วนความยาวห้องผสมกับขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของห้องผสมเท่านั้น ยังจะมีปัจจัยอื่นๆอีกเช่น ขนาดความหนาของหัวฉีดที่แตกต่างกันไป , มุมการฉีด และระยะการฉีด เป็นต้น ซึ่งควรที่จะศึกษาในโครงการอื่นต่อไป

4.2.2 โครงการนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการผสมของเหลวต่างชนิดกัน ซึ่งควรที่จะศึกษาต่อในโครงการอื่นที่มีลักษณะของเหลวต่างชนิด ต่างความหนืด และมีของแข็งผสมอยู่ด้วย และทำการวิเคราะห์หาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเจ็ทปั๊ม



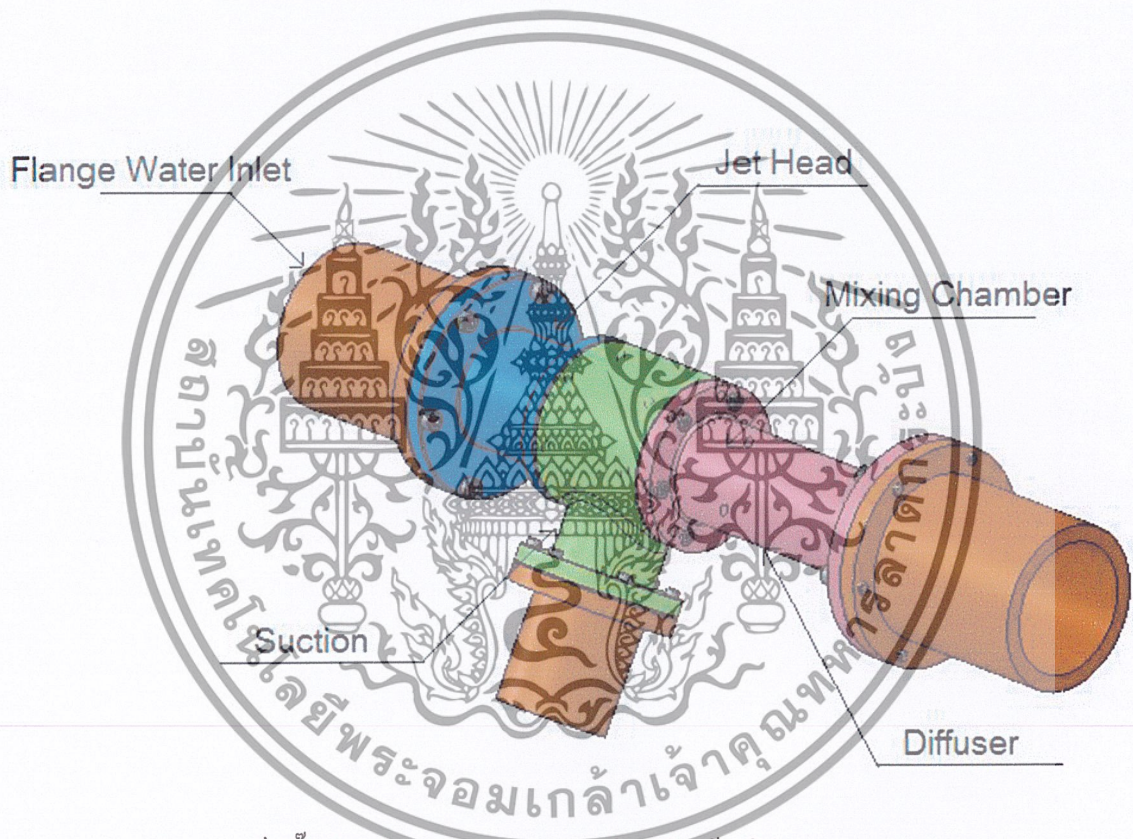
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

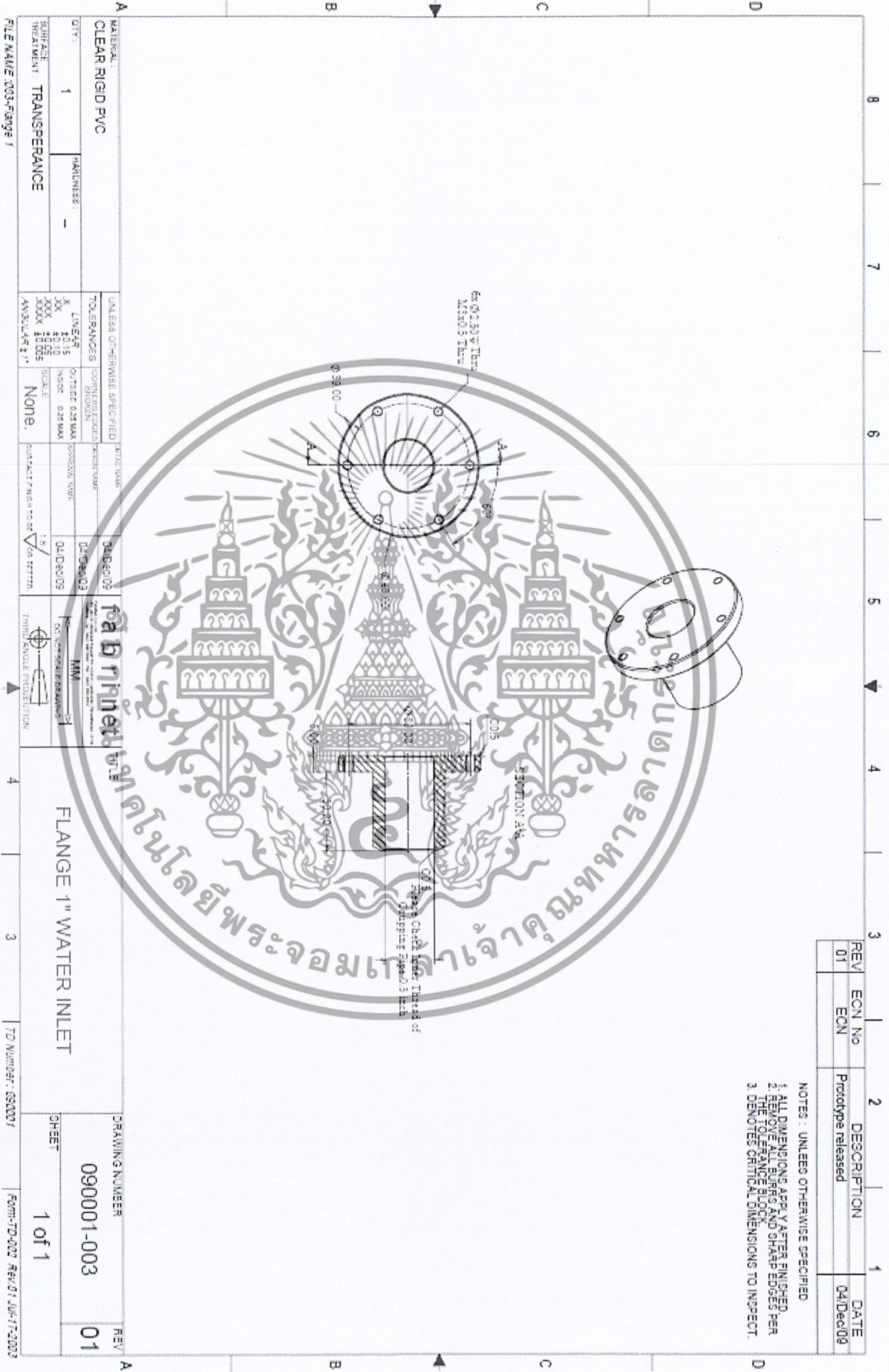


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพประกอบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด ด้วยโปรแกรมSolid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

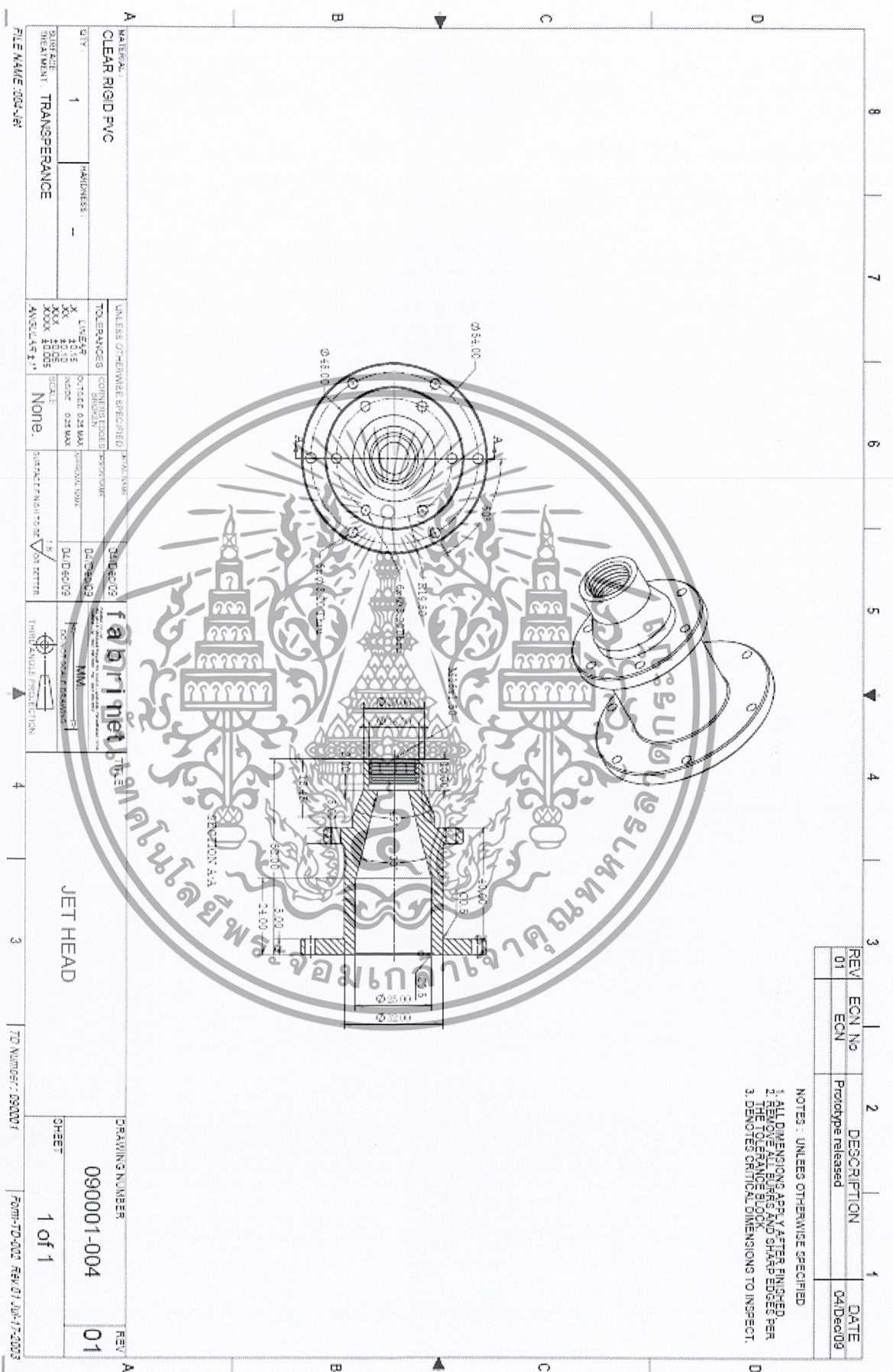


REV	ECON No	DESCRIPTION	DATE
01	ECON	Prototype released	04/Dec/09

- 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

MATERIAL: CLEAR RIGID PVC		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		TOLERANCES		FINISHES		DRAIVING NUMBER	
QTY: 1	HARDNESS: -	TOLERANCES	SPRINGING TOLERANCE	OUTSIDE DIMS	SPRINGING SURF	OUTSIDE DIMS	SPRINGING SURF	QUANTITY	REV
		LINEAR	±0.15	SCALE	None	FINISH	None	090001-003	01
SURFACE FINISH: TRANSPERANCE		SCALE	None	FINISH	None	FINISH	None	SHEET 1 of 1	
FILE NAME: 003-Flange 1		DRAWING NUMBER		TOLERANCES		FINISHES		DRAIVING NUMBER	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MATERIAL CLEAR RIGID PVC QTY : 1 THREAT TREATMENT TRANSPERANCE	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED TOLERANCES X LINES XX 10.15 XXX 10.05 XXXX 10.05 AVERAGE 1.1	CONFINING EDGES CHAMFER 0.2X MAX RADIUS 0.2X MAX HOLE 0.2X MAX TOTAL 1.5	FINISHES NONE.	PROPERTIES DENSITY 1.38 D.L.D 50.02 VOR BETTER	THICKNESS 1.5
--	--	---	--------------------------	--	-------------------------

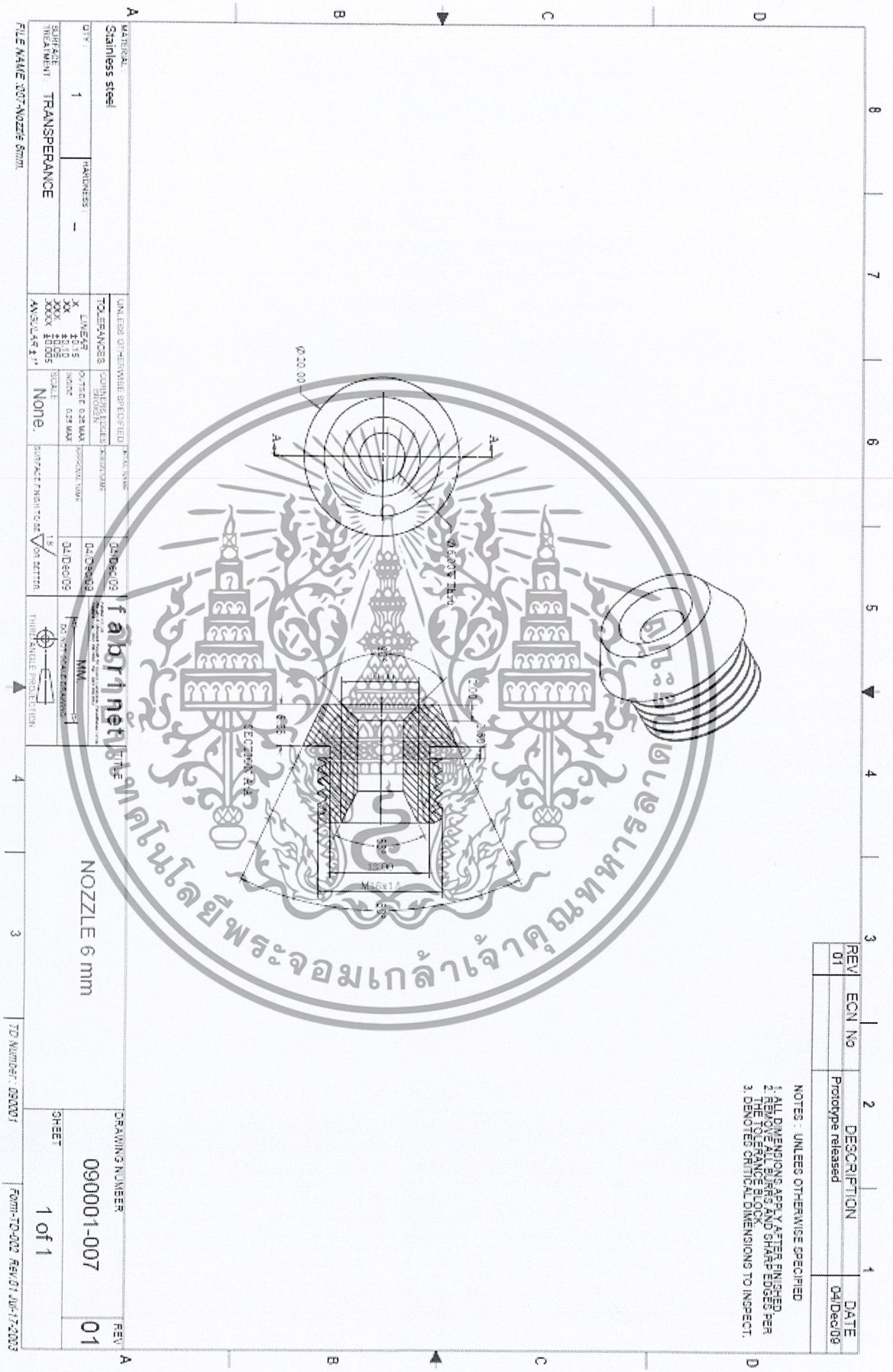
REV	ECON No	DESCRIPTION	DATE
01	ECON	Prototype released	04/Dec/08

NOTES : UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISHED
 2. ALLOW DIMENSIONS PER AND SHARP EDGED PER
 THE DRAWING BOOK
 3. DENOTE CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

DRAWING NUMBER 090001-004 REV 01	SHEET 1 of 1
---	------------------------

TD NUMBER: 090007
 Form: TD-002 Rev: 01 Date: 17-08-08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

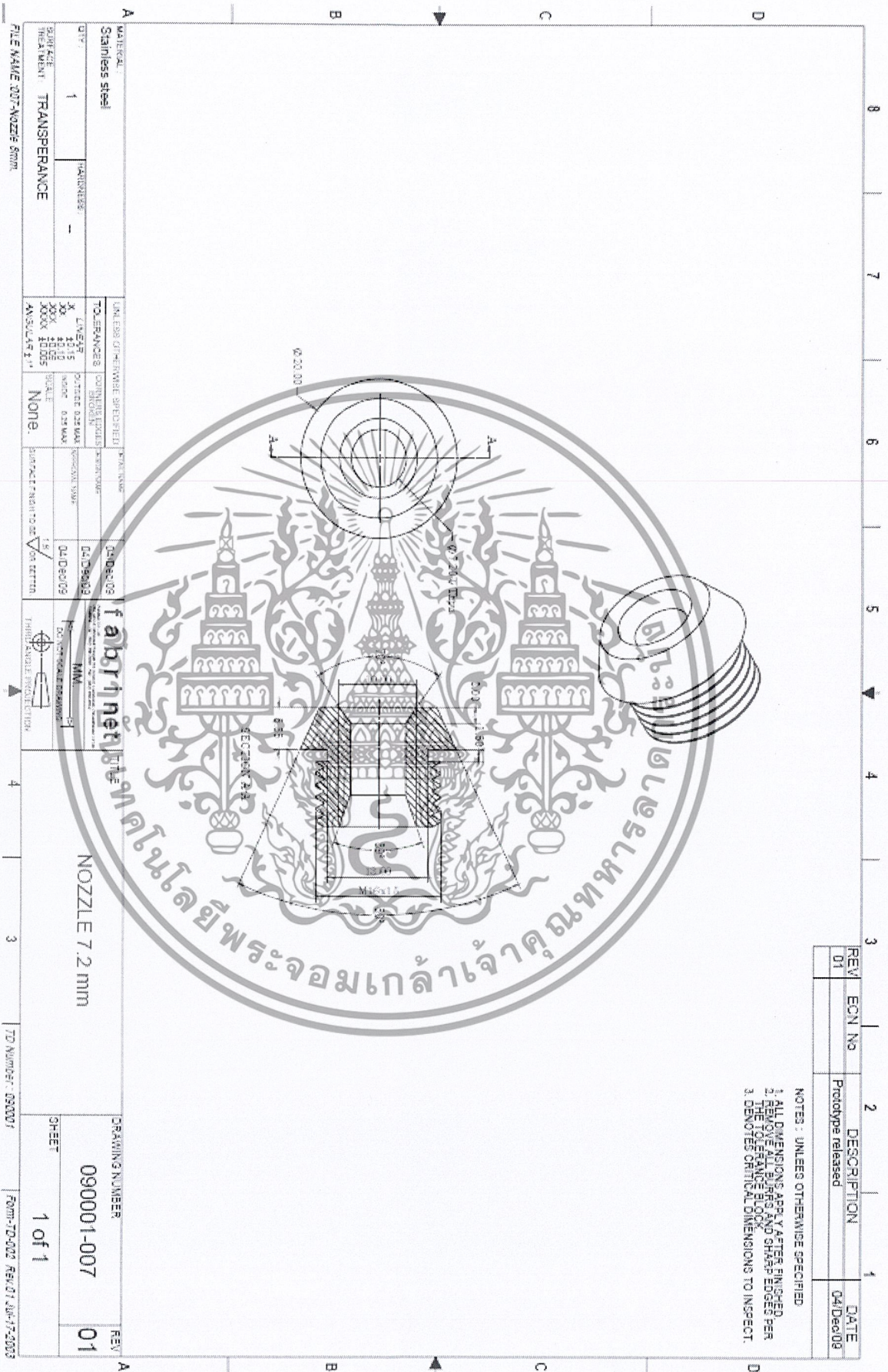


MATERIAL Stainless steel		UNIT/NO. OF SHEET(S) SPECIFIED		DATE	
QTY: 1		THICKNESS: -		04/Dec/09	
SURFACE TREATMENT: TRANSPERANCE		TOLERANCES		DRAWING NUMBER	
		X LINEAR		090001-007	
		XX ANGLES		REV: 01	
		XXX RADIUS			
		ANVUS 1.1			
		SCALES			
		None.			
		PROJECT FINISH TO BE V. BETTER			
		THIRD ANGLE PROJECTION			
FILE NAME: 007-NOZZLE 6mm		NOZZLE 6 mm		SHEET 1 of 1	
		TD NUMBER: 090001		FORM: TD-002 REV: 01 JUN-17-2003	

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

NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. ALL DIMENSIONS APPLY AFTER FINISH
 2. THE SURFACES AND SHARP EDGES PER
 3. DENOTES CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MATERIAL Stainless steel		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		TOLERANCES		DIMENSIONS		DRAWING NUMBER	
QTY	1	FINISHES	-	INTERNAL	X	EXTERNAL	0.1	0.1	090001-007
START DATE	TRANSPERANCE	TOLEANCES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	01
TREATMENT		FINISHES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		TOLEANCES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		FINISHES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		TOLEANCES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		FINISHES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		TOLEANCES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	
		FINISHES		INTERNAL	0.1	EXTERNAL	0.1	0.1	

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

NOTES : UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. ALL DIMENSIONS ARE IN mm UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 2. THE TOLERANCES SHOWN ARE PER ISO 2768-MS PER
 3. DEVOTES CRITICAL DIMENSIONS TO INSPECT.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump)

Diameter of nozzle = 4.8 mm

$d_1/D = 0.4$

$L_1/D = 2.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_s/Q_j	Pressure Head						H (m)	H _e (m)	Head Ratio H/H _e	Efficiency $\eta = \frac{H}{H_e} \cdot \frac{Q_s}{Q_j} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_j}$ (%)	
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_i $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s/γ_i	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$		Q_j $\frac{L}{min}$	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H _d (m)	H _s (m)					H _p (m)
990	9810	9810	9810	1	52	32	20	1.6	0.185	-0.07	2.95	1.8888	-0.7136	30.07136	2.599	28.186	0.09222	14.75588
945	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.19	-0.065	2.95	1.9368	-0.6626	30.07136	2.599	28.135	0.09239	14.32065
900	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.195	-0.062	2.95	1.9878	-0.6320	30.07136	2.60	28.084	0.09329	14.45917
855	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.2	-0.06	2.95	2.0387	-0.6116	30.07136	2.650	28.033	0.09455	14.65455
810	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.205	-0.06	2.95	2.0897	-0.6116	30.07136	2.701	27.982	0.09654	14.48087
765	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.21	-0.06	2.95	2.1407	-0.6116	30.07136	2.752	27.931	0.09854	14.78102
720	9810	9810	9810	1	49	29	20	1.45	0.22	-0.06	2.95	2.2426	-0.6116	30.07136	2.854	27.829	0.10256	14.87179
675	9810	9810	9810	1	48	28	20	1.4	0.23	-0.058	2.95	2.3445	-0.5912	30.07136	2.936	27.727	0.10588	14.82353
630	9810	9810	9810	1	46	26	20	1.3	0.24	-0.055	2.95	2.4465	-0.5607	30.07136	3.007	27.625	0.10886	14.5129
585	9810	9810	9810	1	46	26	20	1.3	0.25	-0.05	2.95	2.5484	-0.5097	30.07136	3.058	27.523	0.11111	14.44444
540	9810	9810	9810	1	46	26	20	1.3	0.265	-0.045	2.95	2.7013	-0.4587	30.07136	3.160	27.370	0.11546	15.00931
495	9810	9810	9810	1	44	24	20	1.2	0.285	-0.042	2.95	2.9052	-0.4281	30.07136	3.333	27.166	0.12270	14.7242
450	9810	9810	9810	1	42	22	20	1.1	0.3	-0.04	2.95	3.0581	-0.4078	30.07136	3.466	27.013	0.12830	14.1321
405	9810	9810	9810	1	41	21	20	1.05	0.33	-0.03	2.95	3.3639	-0.3058	30.07136	3.67	26.707	0.13741	14.42748
360	9810	9810	9810	1	37	17	20	0.85	0.36	-0.02	2.95	3.6697	-0.2039	30.07136	3.874	26.402	0.14672	12.47104
315	9810	9810	9810	1	34	14	20	0.7	0.4	-0.01	2.95	4.0775	-0.1019	30.07136	4.179	25.994	0.16078	11.2549
270	9810	9810	9810	1	29	9	20	0.45	0.46	-0.005	2.95	4.6891	-0.051	30.07136	4.740	25.382	0.18675	8.403614
225	9810	9810	9810	1	23	3	20	0.15	0.54	0	2.95	5.5046	0	30.07136	5.505	24.567	0.22407	3.360996
180	9810	9810	9810	1	20	0	20	0	0.63	0	2.95	6.4220	0	30.07136	6.422	23.649	0.27155	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 4.8 mm $d/D = 0.4$

$L/D = 3.0$

Degree θ (mm)	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_d/Q_j	Pressure Head						H (m)	H _e (m)	Head Ratio H/H _e	Efficiency $\eta = \frac{Y_s \cdot Q_s \cdot H}{Y_d \cdot Q_d \cdot H_e}$ (%)	
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_j $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s/γ_j	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$		Q_j $\frac{L}{min}$	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H _d (m)	H _s (m)					H _p (m)
900	9810	9810	9810	1	53	33	20	1.65	0.19	-0.075	2.9	4.9368	-0.76453	29.56167	2.701	27.625	0.09779	16.13469
855	9810	9810	9810	1	52	32	20	1.6	0.195	-0.075	2.9	1.9878	-0.76453	29.56167	2.752	27.574	0.09982	15.97043
810	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.2	-0.07	2.9	2.0387	-0.71356	29.56167	2.752	27.523	0.1	15.5
765	9810	9810	9810	1	52	32	20	1.6	0.2	-0.072	2.9	2.0387	-0.73394	29.56167	2.773	27.523	0.10074	16.11852
720	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.205	-0.068	2.9	2.0897	-0.69317	29.56167	2.782	27.472	0.1013	15.7013
675	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.21	-0.065	2.9	2.1407	-0.66239	29.56167	2.803	27.421	0.1022	15.33457
630	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.22	-0.062	2.9	2.2426	-0.63201	29.56167	2.875	27.319	0.1052	15.78358
585	9810	9810	9810	1	49	29	20	1.45	0.23	-0.06	2.9	2.3445	-0.61162	29.56167	2.956	27.217	0.10861	15.74906
540	9810	9810	9810	1	48	28	20	1.4	0.24	-0.06	2.9	2.4465	-0.61162	29.56167	3.058	27.115	0.11278	15.78947
495	9810	9810	9810	1	47	27	20	1.35	0.25	-0.058	2.9	2.54842	-0.59123	29.56167	3.14	27.013	0.11623	15.69057
450	9810	9810	9810	1	47	27	20	1.35	0.27	-0.055	2.9	2.7525	-0.56065	29.56167	3.313	26.809	0.12357	16.68251
405	9810	9810	9810	1	45	25	20	1.25	0.295	-0.05	2.9	3.0071	-0.50968	29.56167	3.517	26.555	0.13244	16.5547
360	9810	9810	9810	1	42	22	20	1.1	0.315	-0.045	2.9	3.2110	-0.45872	29.56167	3.67	26.351	0.13927	15.31915
315	9810	9810	9810	1	40	20	20	1	0.335	-0.04	2.9	3.41489	-0.40775	29.56167	3.823	26.147	0.1462	14.61988
270	9810	9810	9810	1	38	18	20	0.9	0.365	-0.03	2.9	3.7207	-0.30581	29.56167	4.027	25.841	0.155812	14.02367
225	9810	9810	9810	1	34	14	20	0.7	0.405	-0.015	2.9	4.128	-0.15291	29.56167	4.281	25.433	0.16834	11.78357
180	9810	9810	9810	1	29	9	20	0.45	0.455	-0.005	2.9	4.6381	-0.05097	29.56167	4.689	24.924	0.18814	8.466258
135	9810	9810	9810	1	23	3	20	0.15	0.53	0	2.9	5.4027	0	29.56167	5.403	24.159	0.22263	3.35443
90	9810	9810	9810	1	20	0	20	0	0.64	0	2.9	6.524	0	29.56167	6.524	23.038	0.28319	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 4.8 mm $d_1/D = 0.4$

$L_2/D = 4.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_3/Q_1	Pressure Head						H (m)	H_e (m)	Head Ratio H/H_e	Efficiency $\eta = \frac{\gamma_s Q_s H_s}{\gamma_d Q_d H_d}$ (%)	
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_f $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s/γ_f	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$		Q_j $\frac{L}{min}$	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H_d (m)	H_s (m)					H_p (m)
900	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.18	-0.07	2.85	1.8349	-0.71356	29.05199	2.548	27.217	0.09363	14.51311
855	9810	9810	9810	1	51	31	20	1.55	0.185	-0.065	2.85	1.8858	-0.66259	29.05199	2.548	27.166	0.09381	14.54034
810	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.19	-0.065	2.85	1.9368	-0.66259	29.05199	2.5994	27.115	0.09587	14.3797
765	9810	9810	9810	1	50	30	20	1.5	0.19	-0.062	2.85	1.9368	-0.63201	29.05199	2.5688	27.115	0.09474	14.21053
720	9810	9810	9810	1	48	28	20	1.4	0.195	-0.06	2.85	1.9878	-0.61162	29.05199	2.5994	27.064	0.09605	13.44633
675	9810	9810	9810	1	48	28	20	1.4	0.205	-0.06	2.85	2.0897	-0.61162	29.05199	2.7013	26.962	0.10019	14.02647
630	9810	9810	9810	1	47	27	20	1.35	0.21	-0.058	2.85	2.1407	-0.59123	29.05199	2.7319	26.911	0.10152	13.70455
585	9810	9810	9810	1	47	27	20	1.35	0.22	-0.055	2.85	2.2426	-0.56065	29.05199	2.8033	26.809	0.10456	14.11597
540	9810	9810	9810	1	47	27	20	1.35	0.23	-0.052	2.85	2.3446	-0.53007	29.05199	2.8746	26.707	0.10763	14.53053
495	9810	9810	9810	1	46	26	20	1.3	0.245	-0.05	2.85	2.4975	-0.50968	29.05199	3.0071	26.555	0.11324	14.72169
450	9810	9810	9810	1	46	26	20	1.3	0.265	-0.048	2.85	2.7013	-0.4893	29.05199	3.1906	26.351	0.12108	15.74081
405	9810	9810	9810	1	44	24	20	1.2	0.28	-0.045	2.85	2.854	-0.45872	29.05199	3.313	26.198	0.12646	15.1751
360	9810	9810	9810	1	42	22	20	1.1	0.305	-0.04	2.85	3.1091	-0.40775	29.05199	3.5168	25.941	0.1356	14.91159
315	9810	9810	9810	1	40	20	20	1	0.33	-0.02	2.85	3.3639	-0.20387	29.05199	3.5678	25.688	0.13889	13.88889
270	9810	9810	9810	1	38	18	20	0.9	0.36	-0.01	2.85	3.6697	-0.10194	29.05199	3.7717	25.382	0.14859	13.37349
225	9810	9810	9810	1	34	14	20	0.7	0.4	-0.005	2.85	4.0775	-0.05097	29.05199	4.1284	24.975	0.16531	11.57143
180	9810	9810	9810	1	30	10	20	0.5	0.45	0	2.85	4.5872	0	29.05199	4.5872	24.465	0.1875	9.375
135	9810	9810	9810	1	22	2	20	0.1	0.54	0	2.85	5.5046	0	29.05199	5.5046	23.547	0.23377	2.337662
90	9810	9810	9810	1	20	0	20	0	0.63	0	2.85	6.42202	0	29.05199	6.4220	22.63	0.28378	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 6.0 mm $d_j/D = 0.5$

$L_j/D = 2.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_d/Q_j	Pressure Head						H (m)	H _e (m)	Head Ratio H/H _e	Efficiency $\eta = \frac{y_s}{y_f} \frac{Q_s}{Q_j} \frac{H}{H_e}$ (%)	
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_f $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s/γ_f	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$		Q_j $\frac{L}{min}$	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H _d (m)	H _s (m)					H _p (m)
900	9810	9810	9810	1	80	40	40	1	0.38	-0.1	2.85	3.8736	-1.01937	29.052	4.893	25.178	0.19433	19.4332
855	9810	9810	9810	1	78	38	40	0.95	0.385	-0.098	2.85	3.9246	-0.99898	29.052	4.924	25.127	0.19594	18.6146
810	9810	9810	9810	1	78	38	40	0.95	0.395	-0.095	2.85	4.0265	-0.9684	29.052	4.995	25.026	0.19959	18.9613
765	9810	9810	9810	1	78	38	40	0.95	0.405	-0.092	2.85	4.1384	-0.93782	29.052	5.063	24.924	0.20327	19.31084
720	9810	9810	9810	1	78	38	40	0.95	0.415	-0.09	2.85	4.2304	-0.91743	29.052	5.1478	24.822	0.20739	19.70226
675	9810	9810	9810	1	77	37	40	0.925	0.43	-0.085	2.85	4.3333	-0.86646	29.052	5.2498	24.669	0.2128	19.68492
630	9810	9810	9810	1	76	36	40	0.9	0.44	-0.08	2.85	4.4332	-0.81549	29.052	5.3007	24.567	0.21577	19.41909
585	9810	9810	9810	1	74	34	40	0.85	0.46	-0.078	2.85	4.6891	-0.79511	29.052	5.484	24.363	0.22511	19.13389
540	9810	9810	9810	1	72	32	40	0.8	0.48	-0.075	2.85	4.893	-0.76453	29.052	5.6575	24.159	0.23418	18.73418
495	9810	9810	9810	1	71	31	40	0.775	0.505	-0.065	2.85	5.14781	-0.66259	29.052	5.8104	23.904	0.2431	18.83795
450	9810	9810	9810	1	70	30	40	0.75	0.53	-0.06	2.85	5.4027	-0.61162	29.052	6.0143	23.649	0.2543	19.07328
405	9810	9810	9810	1	68	28	40	0.7	0.555	-0.05	2.85	5.75943	-0.50968	29.052	6.2691	23.293	0.26915	18.84026
360	9810	9810	9810	1	64	24	40	0.6	0.61	-0.04	2.85	6.21815	-0.40775	29.052	6.6259	22.834	0.29018	17.41071
315	9810	9810	9810	1	61	21	40	0.525	0.65	-0.03	2.85	6.6259	-0.30581	29.052	6.9317	22.426	0.30909	16.22727
270	9810	9810	9810	1	52	16	40	0.4	0.71	-0.01	2.85	7.2375	-0.10194	29.052	7.3395	21.815	0.33645	13.45794
225	9810	9810	9810	1	51	11	40	0.275	0.78	0	2.85	7.9511	0	29.052	7.9511	21.101	0.37681	10.36222
180	9810	9810	9810	1	46	6	40	0.15	0.88	0	2.85	8.97044	0	29.052	8.9704	20.082	0.44670	6.700508
135	9810	9810	9810	1	40	0	40	0	1.05	0	2.85	10.7034	0	29.052	10.703	18.349	0.58333	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump)

Diameter of nozzle = 6.0 mm

$d_2/D = 0.5$

$L_2/D = 3.0$

Degree of η	Specific Weight			γ^d/γ_s	Flow Rate			Flow Rate Ratio Q/Q_s	Pressure Head						H (m)	H_e (m)	Head Ratio H/H_e	Efficiency $\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_d Q_d H_d}$ (%)
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_i $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$		Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$	Q_j $\frac{L}{min}$		P_d $\frac{kg/m^2}{kg/m^2}$	P_s $\frac{kg/m^2}{kg/m^2}$	P_j $\frac{kg/m^2}{kg/m^2}$	H_d (m)	H_s (m)	H_p (m)				
900	9810	9810	9810	1	77	39	38	1.026316	0.338	-0.098	2.8	3.8736	-0.999	28.542	4.873	24.67	0.19752	20.27186
855	9810	9810	9810	1	77	39	38	1.026316	0.39	-0.095	2.8	3.9755	-0.9684	28.542	4.944	24.57	0.20125	20.65407
810	9810	9810	9810	1	77	39	38	1.026316	0.4	-0.09	2.8	4.0775	-0.9174	28.542	4.995	24.46	0.20417	20.95395
765	9810	9810	9810	1	77	39	38	1.026316	0.41	-0.085	2.8	4.1794	-0.8665	28.542	5.046	24.36	0.20711	21.25633
720	9810	9810	9810	1	77	39	38	1.026316	0.42	-0.082	2.8	4.2813	-0.8359	28.542	5.117	24.26	0.21092	21.6475
675	9810	9810	9810	1	75	37	38	0.973684	0.435	-0.08	2.8	4.4343	-0.8155	28.542	5.250	24.11	0.21776	21.20285
630	9810	9810	9810	1	75	37	38	0.973684	0.45	-0.078	2.8	4.5872	-0.7951	28.542	5.382	23.96	0.22468	21.87682
585	9810	9810	9810	1	72	34	38	0.894737	0.47	-0.075	2.8	4.791	-0.7645	28.542	5.556	23.75	0.23391	20.92839
540	9810	9810	9810	1	70	32	38	0.842105	0.5	-0.07	2.8	5.0968	-0.7136	28.542	5.810	23.45	0.24783	20.86957
495	9810	9810	9810	1	69	31	38	0.815789	0.52	-0.062	2.8	5.3007	-0.6320	28.542	5.933	23.24	0.25526	20.8241
450	9810	9810	9810	1	67	29	38	0.763158	0.54	-0.058	2.8	5.5046	-0.5912	28.542	6.096	23.04	0.26460	20.19329
405	9810	9810	9810	1	65	27	38	0.710526	0.575	-0.05	2.8	5.8614	-0.5097	28.542	6.371	22.68	0.2809	19.9566
360	9810	9810	9810	1	62	24	38	0.631579	0.62	-0.042	2.8	6.3201	-0.4281	28.542	6.748	22.22	0.30367	19.17914
315	9810	9810	9810	1	59	21	38	0.552632	0.66	-0.03	2.8	6.7278	-0.3058	28.542	7.034	21.81	0.32243	17.81849
270	9810	9810	9810	1	55	17	38	0.447368	0.72	-0.02	2.8	7.3395	-0.2039	28.542	7.543	21.20	0.35577	15.91599
225	9810	9810	9810	1	50	12	38	0.315789	0.78	-0.01	2.8	7.9511	-0.1019	28.542	8.053	20.59	0.39109	12.35018
180	9810	9810	9810	1	43	5	38	0.131579	0.9	0	2.8	9.1743	0	28.542	9.174	19.37	0.47368	6.232687
135	9810	9810	9810	1	38	0	38	0	1.05	0	2.8	10.7034	0	28.542	10.70	17.84	0.6	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 6.0 mm $d_j/D = 0.5$

$L_j/D = 4.0$

Degree of θ	Specific Weight				Flow Rate			Flow Rate Ratio		Pressure Head						Head Ratio H/H_e	Efficiency $\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_d Q_d H_e}$	
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_i $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_d/γ_s	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$	Q_j $\frac{L}{min}$	Q_s/Q_j	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H_d (m)	H_s (m)	H_p (m)	H (m)			H_e (m)
900	9810	9810	9810	1	75	37	38	0.973684	-0.35	-0.082	2.85	3.5678	-0.8359	29.052	4.4037	25.484	0.1728	16.82526
855	9810	9810	9810	1	74	36	38	0.947368	0.355	-0.08	2.85	3.6188	-0.8155	29.052	4.4343	25.433	0.17435	16.51725
810	9810	9810	9810	1	73	35	38	0.921053	0.365	-0.08	2.85	3.7207	-0.8155	29.052	4.5362	25.331	0.17907	16.49337
765	9810	9810	9810	1	73	35	38	0.921053	0.37	-0.078	2.85	3.7717	-0.795	29.052	4.5668	25.280	0.18065	16.65837
720	9810	9810	9810	1	72	34	38	0.894737	0.38	-0.075	2.85	3.8736	-0.7645	29.052	4.6381	25.178	0.1842	16.48199
675	9810	9810	9810	1	72	34	38	0.894737	0.4	-0.07	2.85	4.0775	-0.7136	29.052	4.791	24.975	0.19184	17.16434
630	9810	9810	9810	1	71	33	38	0.868421	0.41	-0.068	2.85	4.17941	-0.6932	29.052	4.8726	24.873	0.1959	17.01251
585	9810	9810	9810	1	70	32	38	0.842105	0.43	-0.065	2.85	4.3833	-0.6626	29.052	5.0459	24.669	0.20455	17.22488
540	9810	9810	9810	1	69	31	38	0.815789	0.45	-0.06	2.85	4.58716	-0.6116	29.052	5.1988	24.465	0.213	17.33553
495	9810	9810	9810	1	67	29	38	0.763158	0.465	-0.058	2.85	4.7401	-0.5912	29.052	5.3313	24.312	0.21929	16.73508
450	9810	9810	9810	1	63	27	38	0.710526	0.49	-0.052	2.85	4.9949	-0.5301	29.052	5.525	24.057	0.22966	16.31802
405	9810	9810	9810	1	63	25	38	0.657895	0.535	-0.048	2.85	5.45362	-0.489	29.052	5.9429	23.598	0.25184	16.56815
360	9810	9810	9810	1	60	22	38	0.578947	0.58	-0.04	2.85	5.9123	-0.4078	29.052	6.3201	23.14	0.27313	15.81266
315	9810	9810	9810	1	58	20	38	0.526316	0.62	-0.03	2.85	6.3201	-0.3058	29.052	6.6259	22.732	0.2915	15.34104
270	9810	9810	9810	1	54	16	38	0.421053	0.675	-0.01	2.85	6.8807	-0.1019	29.052	6.9827	22.171	0.3149	13.26074
225	9810	9810	9810	1	50	12	38	0.315789	0.75	0	2.85	7.6453	0	29.052	7.6453	21.407	0.3571	11.2782
180	9810	9810	9810	1	43	5	38	0.131579	0.85	0	2.85	8.66463	0	29.052	8.6646	20.387	0.425	5.592105
135	9810	9810	9810	1	38	0	38	0	1.02	0	2.85	10.398	0	29.052	10.398	18.654	0.55738	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 7.2 mm $d_j/D = 0.6$

$L_j/D = 2.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio			Pressure Head						H (m)	H _e (m)	Head Ratio H/H _e	Efficiency $\eta = \frac{\gamma_s Q_s H}{\gamma_d Q_d H_e}$
	$\frac{\gamma_d}{kg \cdot s^2}$	$\frac{\gamma_s}{kg \cdot s^2}$	$\frac{\gamma_j}{kg \cdot s^2}$	$\frac{Q_d}{L \cdot min}$	$\frac{Q_s}{L \cdot min}$	$\frac{Q_j}{L \cdot min}$	$\frac{Q_s}{Q_d}$	$\frac{P_d}{kg/m^2}$	$\frac{P_s}{kg/m^2}$	$\frac{P_j}{kg/m^2}$	H _d (m)	H _s (m)	H _p (m)						
900	9810	9810	9810	1	97	41	56	0.732143	0.5	-0.09	2.75	5.097	-0.9174	28.0326	6.0143	22.936	0.26222	19.19841	
855	9810	9810	9810	1	96	40	56	0.714286	0.52	-0.085	2.75	5.3007	-0.8665	28.0326	6.1672	22.732	0.2713	19.3786	
810	9810	9810	9810	1	94	38	56	0.678571	0.52	-0.082	2.75	5.3007	-0.8359	28.0326	6.1366	22.732	0.26996	18.31839	
765	9810	9810	9810	1	93	37	56	0.660714	0.55	-0.08	2.75	5.6065	-0.8155	28.0326	6.4220	22.426	0.28636	18.92045	
720	9810	9810	9810	1	93	37	56	0.660714	0.58	-0.08	2.75	5.9123	-0.8155	28.0326	6.7278	22.120	0.30415	20.09546	
675	9810	9810	9810	1	91	35	56	0.625	0.6	-0.078	2.75	6.1162	-0.7951	28.0326	6.9113	21.916	0.31535	19.7093	
630	9810	9810	9810	1	89	33	56	0.58286	0.6	-0.075	2.75	6.1162	-0.7645	28.0326	6.8807	21.916	0.31395	18.50083	
585	9810	9810	9810	1	87	31	56	0.53571	0.63	-0.07	2.75	6.4220	-0.7196	28.0326	7.1356	21.611	0.33019	18.2783	
540	9810	9810	9810	1	86	30	56	0.535714	0.65	-0.062	2.75	6.6259	-0.6320	28.0326	7.2579	21.407	0.33905	18.16327	
495	9810	9810	9810	1	84	28	56	0.5	0.68	-0.058	2.75	6.9317	-0.5912	28.0326	7.5229	21.101	0.35652	17.82609	
450	9810	9810	9810	1	81	25	56	0.44429	0.7	-0.05	2.75	7.1356	-0.5097	28.0326	7.6453	20.897	0.36585	16.33275	
405	9810	9810	9810	1	78	22	56	0.392857	0.75	-0.042	2.75	7.6453	-0.4281	28.0326	8.0734	20.387	0.396	15.55714	
360	9810	9810	9810	1	74	18	56	0.321429	0.82	-0.03	2.75	8.35882	-0.3058	28.0326	8.6646	19.674	0.44042	14.15618	
315	9810	9810	9810	1	72	16	56	0.285714	0.88	-0.02	2.75	8.97044	-0.2039	28.0326	9.1743	19.062	0.48128	13.75095	
270	9810	9810	9810	1	68	12	56	0.214286	0.97	-0.01	2.75	9.8879	-0.1019	28.0326	9.9898	18.145	0.55056	11.79775	
225	9810	9810	9810	1	62	6	56	0.107143	1.08	0	2.75	11.0092	0	28.0326	11.009	17.024	0.64671	6.928999	
180	9810	9810	9810	1	56	0	56	0	1.25	0	2.75	12.742	0	28.0326	12.742	15.291	0.83333	0	

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ให้นำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าไปในระบบคอมพิวเตอร์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จะถือว่าผิดกฎหมาย และจะดำเนินการฟ้องร้องดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump)

Diameter of nozzle = 7.2 mm

$d_j/D = 0.6$

$L_j/D = 3.0$

Degree 03911	Specific Weight			γ_s/γ_f	Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_d/Q_j	Pressure Head						Head Ratio H/H_e	Efficiency $\eta = \frac{\gamma_s Q_s \cdot H}{\gamma_f Q_j \cdot H_e}$ (%)		
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_f $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$		Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$	Q_j $\frac{L}{min}$		P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H_d (m)	H_s (m)	H_p (m)			H (m)	H_e (m)
990	9810	9810	9810	1	95	39	56	0.696429	0.45	-0.1	2.7	4.58716	-1.0194	27.5229	5.6065	22.936	0.24444	17.02381
945	9810	9810	9810	1	95	39	56	0.696429	0.48	-0.095	2.7	4.89297	-0.9684	27.5229	5.8614	22.63	0.25901	18.03813
900	9810	9810	9810	1	95	39	56	0.696429	0.5	-0.09	2.7	5.0968	-0.9174	27.5229	6.0143	22.426	0.26818	18.67695
855	9810	9810	9810	1	94	38	56	0.678571	0.5	-0.09	2.7	5.0968	-0.9174	27.5229	6.0143	22.426	0.26818	18.19805
810	9810	9810	9810	1	94	38	56	0.678571	0.52	-0.09	2.7	5.3007	-0.9174	27.5229	6.2182	22.222	0.27982	18.98755
765	9810	9810	9810	1	93	37	56	0.660714	0.53	-0.085	2.7	5.4027	-0.8665	27.5229	6.2691	22.120	0.2834	18.72331
720	9810	9810	9810	1	92	36	56	0.642857	0.55	-0.082	2.7	5.6052	-0.8359	27.5229	6.4424	21.916	0.29395	18.89701
675	9810	9810	9810	1	91	35	56	0.625	0.58	-0.08	2.7	5.91233	-0.8155	27.5229	6.7278	21.611	0.31132	19.45755
630	9810	9810	9810	1	90	34	56	0.607143	0.6	-0.078	2.7	6.11821	-0.7951	27.5229	6.9113	21.407	0.32286	19.60204
585	9810	9810	9810	1	88	32	56	0.571429	0.62	-0.075	2.7	6.32008	-0.7645	27.5229	7.0846	21.203	0.33414	19.09341
540	9810	9810	9810	1	87	31	56	0.553571	0.65	-0.072	2.7	6.62589	-0.7339	27.5229	7.3598	20.897	0.3522	19.49652
495	9810	9810	9810	1	86	30	56	0.535714	0.68	-0.068	2.7	6.93170	-0.6932	27.5229	7.6249	20.591	0.3703	19.83734
450	9810	9810	9810	1	84	28	56	0.5	0.72	-0.06	2.7	7.3395	-0.6116	27.5229	7.9511	20.184	0.39394	19.69697
405	9810	9810	9810	1	80	24	56	0.428571	0.78	-0.05	2.7	7.9511	-0.5097	27.5229	8.4608	19.572	0.43229	18.52679
360	9810	9810	9810	1	77	21	56	0.375	0.82	-0.04	2.7	8.35882	-0.4078	27.5229	8.7666	19.164	0.45745	17.15426
315	9810	9810	9810	1	73	17	56	0.303571	0.9	-0.03	2.7	9.17431	-0.3058	27.5229	9.4801	18.349	0.51667	15.68452
270	9810	9810	9810	1	69	13	56	0.232143	0.98	-0.01	2.7	9.98981	-0.1019	27.5229	10.092	17.533	0.57558	13.36171
225	9810	9810	9810	1	63	7	56	0.125	1.1	0	2.7	11.2131	0	27.5229	11.213	16.31	0.6875	8.59375
180	9810	9810	9810	1	56	0	56	0	1.25	0	2.7	12.742	0	27.5229	12.742	14.781	0.8621	0

Laboratory Result (Water-Water Jet Pump) Diameter of nozzle = 7.2 mm $d_j/D = 0.6$

$L_j/D = 4.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_s/Q_j	Pressure Head						Head Ratio H/H_e	Efficiency $\eta = \frac{y_s Q_s H}{y_j Q_j H_e}$ (%)			
	$\frac{y_d}{kg}$ $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	$\frac{y_s}{kg}$ $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	$\frac{y_j}{kg}$ $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	$\frac{y_s/y_j}{1}$	$\frac{Q_d}{L}$ $\frac{L}{min}$	$\frac{Q_s}{L}$ $\frac{L}{min}$		$\frac{Q_j}{L}$ $\frac{L}{min}$	P_d $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H_d (m)	H_s (m)			H_p (m)	H (m)	H_e (m)
900	9810	9810	9810	1	90	34	56	0.607143	0.5	-0.08	2.6	5.0968	-0.8155	26.5036	5.9123	21.407	0.2762	16.76871
855	9810	9810	9810	1	90	34	56	0.607143	0.5	-0.075	2.6	5.0968	-0.7645	26.5036	5.8614	21.407	0.2738	16.62415
810	9810	9810	9810	1	90	34	56	0.607143	0.5	-0.07	2.6	5.0968	-0.7136	26.5036	5.8104	21.407	0.27143	16.47959
765	9810	9810	9810	1	89	33	56	0.589286	0.5	-0.07	2.6	5.0968	-0.7136	26.5036	5.8104	21.407	0.27143	15.9949
720	9810	9810	9810	1	88	32	56	0.571429	0.52	-0.065	2.6	5.3007	-0.6626	26.5036	5.9633	21.203	0.2813	16.07143
675	9810	9810	9810	1	88	32	56	0.571429	0.55	-0.06	2.6	5.6065	-0.6116	26.5036	6.2182	20.897	0.29756	17.00348
630	9810	9810	9810	1	86	30	56	0.535714	0.58	-0.058	2.6	5.9123	-0.5912	26.5036	6.5036	20.591	0.31584	16.92008
585	9810	9810	9810	1	85	29	56	0.517857	0.6	-0.057	2.6	6.1162	-0.5810	26.5036	6.6973	20.387	0.3285	17.01161
540	9810	9810	9810	1	85	29	56	0.517857	0.62	-0.055	2.6	6.32008	-0.5607	26.5036	6.8807	20.184	0.34091	17.65422
495	9810	9810	9810	1	84	28	56	0.5	0.65	-0.05	2.6	6.62389	-0.5097	26.5036	7.1356	19.878	0.35897	17.94872
450	9810	9810	9810	1	82	26	56	0.464286	0.7	-0.045	2.6	7.13558	-0.4587	26.5036	7.5943	19.368	0.39211	18.20489
405	9810	9810	9810	1	78	22	56	0.392857	0.75	-0.035	2.6	7.6453	-0.3568	26.5036	8.0020	18.858	0.42432	16.66988
360	9810	9810	9810	1	75	19	56	0.339286	0.8	-0.02	2.6	8.15494	-0.2039	26.5036	8.3388	18.349	0.45556	15.45635
315	9810	9810	9810	1	72	16	56	0.285714	0.9	-0.01	2.6	9.17431	-0.1019	26.5036	9.2763	17.329	0.53529	15.29412
270	9810	9810	9810	1	68	12	56	0.214286	0.95	-0.005	2.6	9.684	-0.051	26.5036	9.735	16.82	0.57879	12.4026
225	9810	9810	9810	1	63	7	56	0.125	1.05	0	2.6	10.7034	0	26.5036	10.703	15.800	0.67742	8.467742
180	9810	9810	9810	1	56	0	56	0	1.25	0	2.6	12.742	0	26.5036	12.742	13.762	0.92593	0

Laboratory Result (Water-Saline Jet Pump)

Diameter of nozzle = 6.0 mm

$d_1/D = 0.5$

$L_1/D = 3.0$

Degree องศา	Specific Weight			Flow Rate			Flow Rate Ratio Q_s/Q_j	Pressure Head						H (m)	H _e (m)	Head Ratio H/H _e	Efficiency $\eta = \frac{P_s}{P_j} \cdot \frac{Q_s}{Q_j}$ (%)
	γ_d $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_s $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	γ_i $\frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	Q_d $\frac{L}{min}$	Q_s $\frac{L}{min}$	Q_j $\frac{L}{min}$		$P_{d'}$ $\frac{kg}{m^2}$	P_s $\frac{kg}{m^2}$	P_j $\frac{kg}{m^2}$	H _d (m)	H _s (m)	H _p (m)				
900	10663.5	11605	9810	1.183	77	37	0.925	0.34	-0.145	2.8	3.1885	-1.05618	28.542	4.245	25.35354	0.175038	19.153999
855	10663.5	11605	9810	1.183	76	36	0.9	0.35	-0.14	2.8	3.2822	-1.01976	28.542	4.302	25.25977	0.177695	18.91918
810	10712.5	11605	9810	1.183	74	34	0.83	0.37	-0.135	2.8	3.4539	-0.98934	28.542	4.437	25.0881	0.184036	18.50575
765	10732.1	11605	9810	1.183	74	34	0.85	0.385	-0.125	2.8	3.5874	-0.9105	28.542	4.498	24.95464	0.186915	18.795224
720	10643.9	11605	9810	1.183	75	35	0.879	0.39	-0.12	2.8	3.6641	-0.87408	28.542	4.538	24.87791	0.188844	19.54772
675	10663.5	11605	9810	1.183	73	33	0.825	0.41	-0.105	2.8	3.8449	-0.76482	28.542	4.61	24.6971	0.192314	18.769411
630	10683.1	11605	9810	1.183	72	32	0.8	0.43	-0.09	2.8	4.0251	-0.6556	28.542	4.681	24.51695	0.195804	18.530855
585	10693	11605	9810	1.183	71	31	0.775	0.44	-0.09	2.8	4.1149	-0.6556	28.542	4.770	24.42712	0.200201	18.354922
495	10653.7	11605	9810	1.183	68	28	0.7	0.48	-0.09	2.8	4.50549	-0.6556	28.542	5.161	24.03651	0.219705	18.19377
405	10555.6	11605	9810	1.183	64	24	0.6	0.55	-0.085	2.8	5.2105	-0.61914	28.542	5.83	23.33148	0.254715	18.079675
315	10437.8	11605	9810	1.183	58	18	0.45	0.63	-0.075	2.8	6.0357	-0.5463	28.542	6.582	22.50627	0.296891	15.804988
225	10251.5	11605	9810	1.183	51	11	0.275	0.76	-0.065	2.8	7.41359	-0.47346	28.542	7.887	21.12841	0.377386	12.2773
180	9976.8	11605	9810	1.183	44	4	0.1	0.85	-0.055	2.8	8.51979	-0.40062	28.542	8.920	20.02221	0.44918	5.3138022
135	9810	11605	9810	1.183	40	0	0	1	-0.04	2.8	10.1937	-0.29136	28.542	10.485	18.34832	0.57434	0

หมายเลขตู้

d_1 =diameter of nozzle = 4.8 mm	$\gamma_d = \rho_d g$	$H = H_d - H_s$
d_2 =diameter of nozzle = 6.0 mm	$H_d = P_d / \gamma_d$	
d_3 =diameter of nozzle = 7.2 mm	$H_s = P_s / \gamma_s$	$H_c = H_p - H_d$
D = throat area = 12 mm	$H_p = P_p / \gamma_i$	
L_1 =length of mixing chamber = 24 mm		
L_2 =length of mixing chamber = 36 mm		
L_3 =length of mixing chamber = 48 mm		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก. 1 ค่าคุณสมบัติของน้ำ

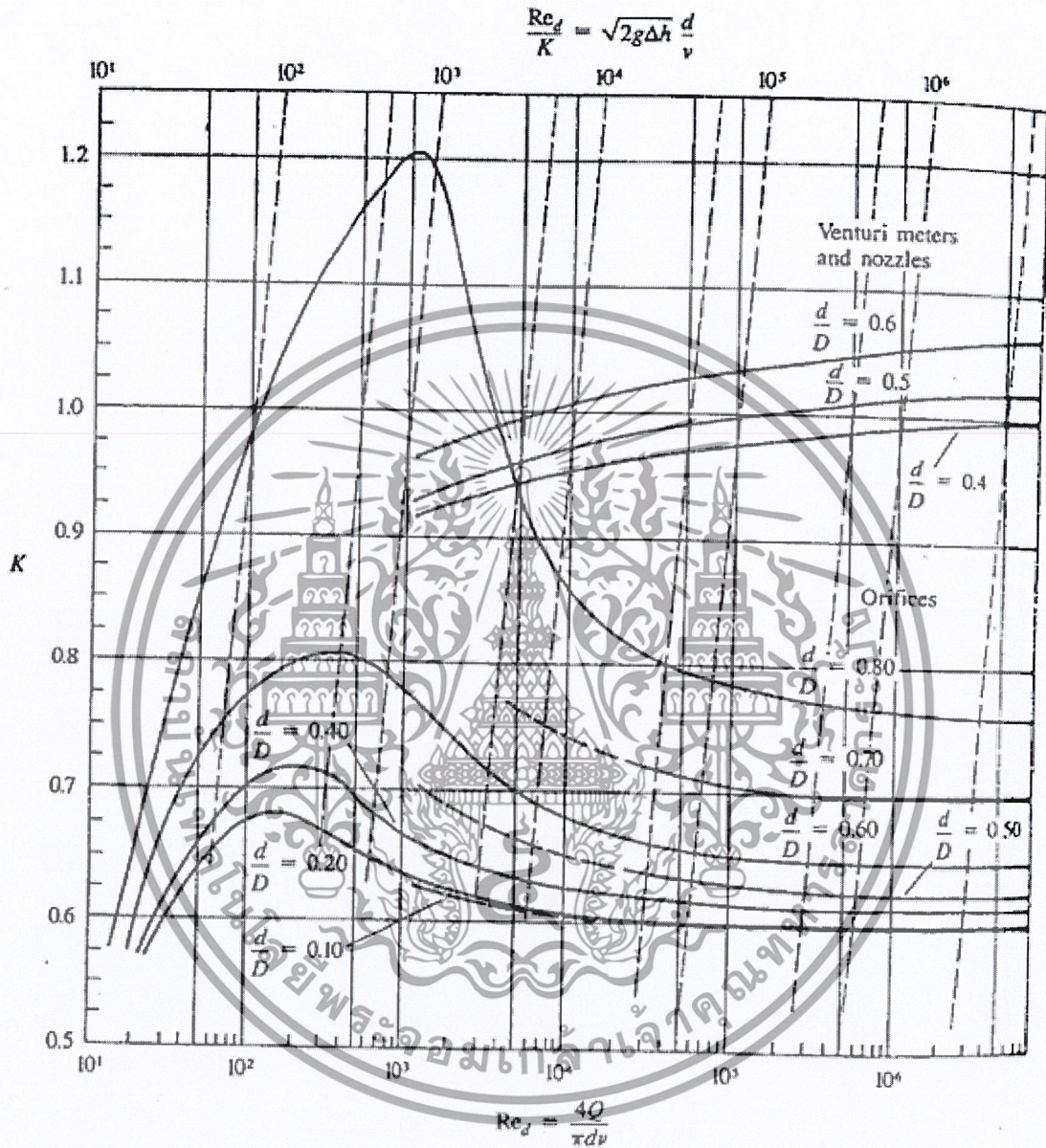
Temp, °C	Specific weight γ , N/m ³	Density ρ , kg/m ³	Viscosity $\mu \times 10^3$, N-s/m ²	Kine- matic viscosity $\nu \times 10^6$, m ² /s	Surface tension $\sigma \times 10^3$, N/m	Vapor- pressure head absolute p_v/γ ,† m	Bulk modulus of elasticity $K \times 10^{-7}$, N/m ²	Thermal conduc- tivity k , W/m·K
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222	0.607
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223	0.615
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224	0.623
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227	0.630
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229	0.637
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230	0.643
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231	0.649
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228	0.654
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226	0.659
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225	0.663
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223	0.667
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221	0.670
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217	0.673
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216	0.675
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211	0.677
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207	0.679

ตาราง ก. 2 เปรียบเทียบขนาดของวาล์ว

	Nominal diameter, in											
	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	1 $\frac{1}{2}$	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Gate valve (open)	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.096
Globe valve (open)	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Standard elbow (screwed) 90°	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Standard elbow (screwed) 45°	0.43	0.40	0.37	0.34	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
Standard tee (flow through)	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
Standard tee (flow branched)	1.62	1.50	1.38	1.26	1.14	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72

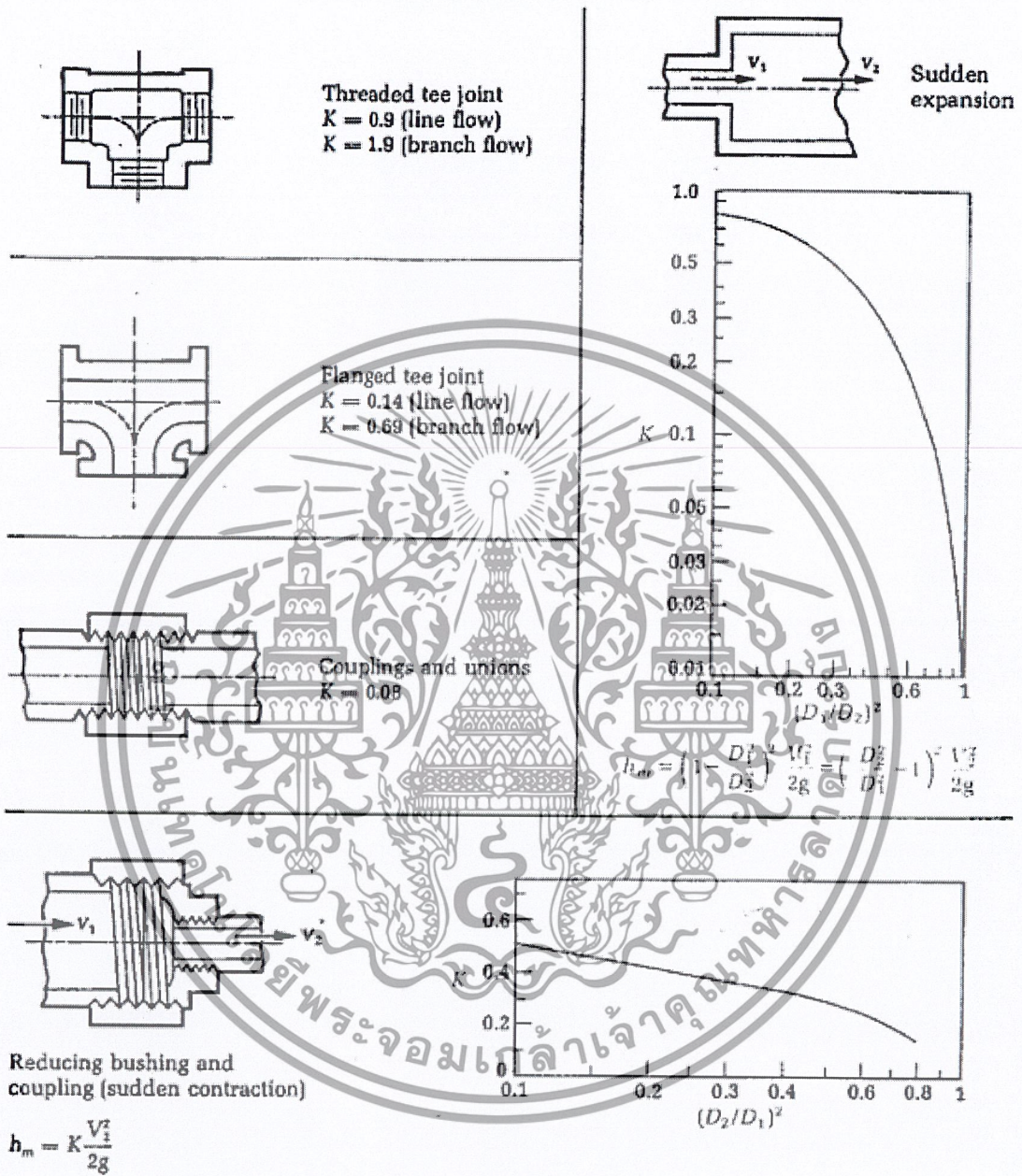
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ ค. 3. แสดงค่า Re_d กับค่า K และสัดส่วน $\frac{d}{D}$



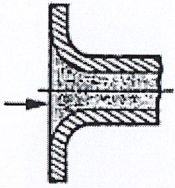
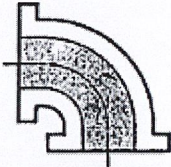
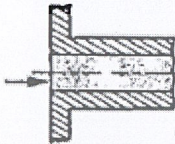

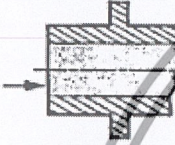



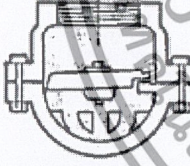

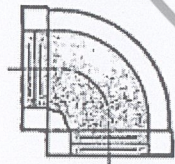
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก. 4 ค่า K ของจุดเชื่อมต่อแต่ละแบบ



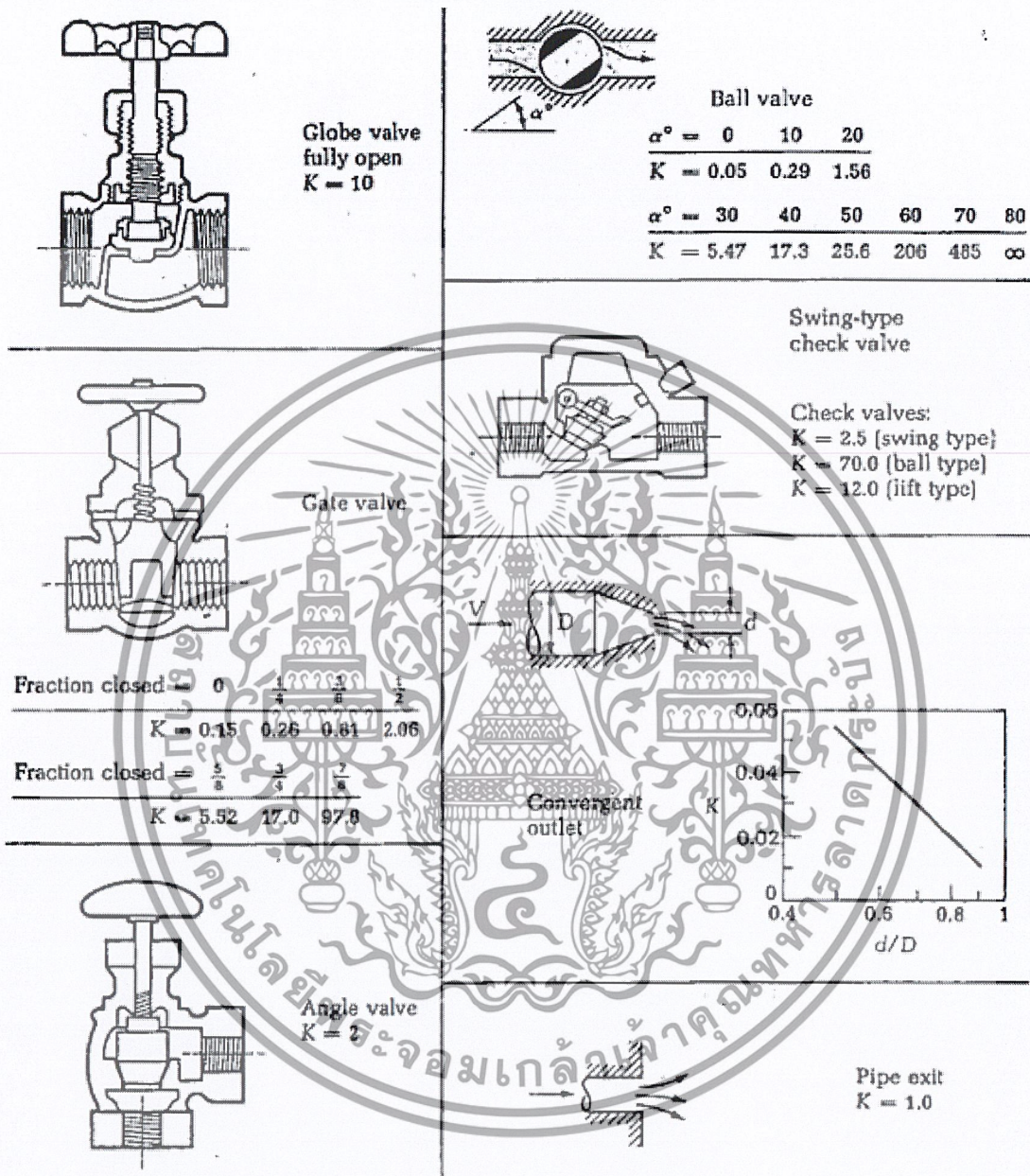
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค. 5 ค่า K ของชุดข้องอและชุดหน้าตัดท่อ

	Well-rounded entrance or bell-mouth inlet $K = 0.05$		Flanged 90° elbow $K = 0.31$ (regular) $K = 0.22$ (long radius)
	Square-edged inlet $K = 0.5$		Threaded 45° elbow $K = 0.35$ (regular)
	Reentrant inlet or inward-projecting pipe $K = 1.0$		Flanged 45° elbow $K = 0.17$ (long radius)
	Basket strainer $K = 1.3$		Threaded return bend $K = 1.5$ (regular)
	Foot valve $K = 0.8$		Flanged return bend $K = 0.30$ (regular) $K = 0.20$ (long radius)
	Threaded 90° elbow $K = 1.4$ (regular) $K = 0.75$ (long radius)		

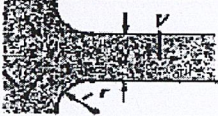




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค. 6 ค่า K ของชุดวาล์วและชุดหัวฉีด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค. 7 ค่า Minor Losses ที่ลักษณะกายภาพต่างๆ

Description	Sketch	Additional Data	K_L	Source
Pipe entrance		r/d	K_L	(2)
$h_L = K_L V^2/2g$		0.0 0.1 >0.2	0.50 0.12 0.03	
Contraction		D_2/D_1	K_C	(2)
$h_L = K_C V_2^2/2g$		0.0 0.20 0.40 0.60 0.80 0.90	$\theta = 60^\circ$ 0.08 0.08 0.07 0.06 0.05 0.04 $\theta = 180^\circ$ 0.50 0.49 0.42 0.32 0.18 0.10	
Expansion		D_1/D_2	K_E	(2)
$h_L = K_E V_1^2/2g$		0.0 0.20 0.40 0.60 0.80	$\theta = 10^\circ$ 1.00 0.92 0.72 0.42 0.16 $\theta = 180^\circ$	
90° miter bend		Without vanes	$K_b = 1.1$	(36)
		With vanes	$K_b = 0.2$	(36)
90° smooth bend		r/d	K_b	(5) and (19)
		1 2 4 6 8 10	0.35 0.19 0.16 0.21 0.28 0.32	
Threaded pipe fittings		Globe valve — wide open Angle valve — wide open Gate valve — wide open Gate valve — half open Return bend Tee straight-through flow side-outlet flow 90° elbow 45° elbow	$K_v = 10.0$ $K_v = 5.0$ $K_v = 0.2$ $K_v = 5.6$ $K_b = 2.2$ $K_t = 0.4$ $K_t = 1.8$ $K_b = 0.9$ $K_b = 0.4$	(36)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การออกแบบเจ็ทปั๊มสำหรับงานผสมของเหลวต่างชนิด (Design of Jet Pump for Mixing Different kind of Liquids)

นาย เกริกไกร โนนสว่าง 49015520 , นาย ธนันท์ กิตติภัทรวงกูร 50010602 , นาย อุเทน อุไรชื่น 50011961

(รศ.ดร.จำลอง ปรายแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

การผสมของเหลวในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนิยมใช้ใบกวนในการผสมซึ่งจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้เจ็ทปั๊มในการผสมของเหลวต่างชนิดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากเจ็ทปั๊มมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุน จึงไม่ต้องการบำรุงรักษามาก และอาจใช้พลังงานค้ำยที่เกิดจากความต่างระดับของถังบรรจุของเหลวเป็นพลังงานที่ใช้ในการผสม ซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบเจ็ทปั๊มที่ใช้สำหรับผสมของเหลวต่างชนิด โดยหาขนาดความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดหัวฉีดศูนย์กลางหัวฉีดกับขนาดหัวฉีดศูนย์กลางห้องผสม (d/D) ที่ 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และยังได้หาค่าสัดส่วนความยาวกับขนาดหัวฉีดศูนย์กลางของห้องผสม (L/D) ที่ 2.0, 3.0 และ 4.0 โดยวิธีการทดลอง จากผลการทดลองในการผสมน้ำกับน้ำจะพบว่าที่ค่า $d/D = 0.5$ และ $L/D = 3.0$ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 21.9 เปอร์เซ็นต์โดยที่ค่าอัตราส่วนการผสม (Q_s/Q_j) = 0.97 และ ในการทดลองผสมน้ำกับน้ำเกลือที่มีค่าความหนาแน่น 1183 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะพบว่าที่ค่า $d/D = 0.5$ และ $L/D = 3.0$ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 19.55 เปอร์เซ็นต์โดยที่ค่าอัตราส่วนการผสม (Q_s/Q_j) = 0.875

คำหลัก ปั๊มน้ำแบบหัวฉีด , การผสม , ของเหลวต่างชนิด , ของผสม

Abstract

In general, mixing of liquids in industry can be done by an agitator, which needs electrical energy. However, Jet Pump is another choice for mixing the liquids because of its simple structure without moving or rotating parts, so less maintenance is required. The potential energy occurred from different levels of liquid tanks maybe an advantage of saving the mixing energy. This research presents the design of Jet Pump for mixing different kind of liquids by finding the relations between the diameters of nozzle and mixing chamber at the of 0.4,0.5,0.6, respectively, and the relations between the lengths and diameter of mixing chamber(L/D) at the ratios of 2.0, 3.0, 4.0, respectively. The experimental data from the water-saline mixing experiments inferred that at $d/D = 0.5$ and $L/D = 3.0$ offered the highest efficiency of 19.55 percent with the mixing ratio (Q_s/Q_j) of 0.875

Keywords นี้เป็น Jet pump ที่ Mixing 2 Different kind of liquids, Mixture เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำปั๊มหน้าแบบหัวฉีดหรือที่เรียกว่า “เจ็ทปั๊ม” ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เพราะข้อดีของปั๊มหน้าแบบหัวฉีด คือ มีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่มีส่วนใดเคลื่อนที่หรือหมุนในขณะที่ใช้งานจึงไม่ต้องบำรุงรักษามาก ทำให้ประหยัดต้นทุน ข้อดีอีกกรณีคือ เป็นการยืดอายุการใช้งานของปั๊มเพราะจะไม่มีส่วนของของแข็งหรือของเหลวที่มีความหนืดมากเคลื่อนที่ผ่านปั๊มซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊ม

จึงนำข้อดีในข้างต้นมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ กรณี เช่น ใช้ในการผสมสารที่ปรารถนาเข้าด้วยกันโดยปราศจากการใช้ใบพัดกวน เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตนมกล่อง จำเป็นต้องมีการผสมกันระหว่างนมสด และ นมข้นหวาน, ใช้ในการคัดแยกสารที่ปรารถนาและไม่ปรารถนาออกจากกันเช่น การดูดสิ่งโสโครกออกจากบ่อบำบัดน้ำเสีย, ใช้ในการขนส่งสารที่อยู่ในระดับลึกไปยังอีกสถานที่หนึ่ง เช่น การขุดเจาะน้ำมันดิบ เป็นต้น

ในบทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะหรือประสิทธิภาพของปั๊มหน้าแบบหัวฉีดโดยมีของไหลทำงาน (Motive flow) คือ น้ำ เพื่อใช้ในการดูดสารที่ต่างความหนาแน่นในที่นี้ คือ น้ำเกลือ โดยสนใจที่ผลของการเปลี่ยนแปลง Nozzle-throat area ratio, length and area of Mixing chamber ratio, head ratio, flow rate ratio ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มหน้าแบบหัวฉีด และแทนค่าจากการทดลองลงในสมการประสิทธิภาพแล้วทำการวิเคราะห์ผล

1.1 งานวิจัยในอดีต

1. การศึกษาสมรรถนะของปั๊มหน้าแบบหัวฉีด นายพีระ นิยมเมธา, นายภูวดล วิละรัตน์, นายวิศิษฐ์ สรรแสงเพชร ที่ nozzle-throat area ratio (d/D)=0.5-0.6 ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 30%
2. การศึกษาสมรรถนะของระบบขนถ่ายวัสดุแข็งด้วยเจ็ทปั๊ม นายโฆษิต วชิรมนาภรณ์, นายอนุชิต เก้าเอี้ยน, นายอิทธิพล มีมุงธรรม ที่ nozzle-throat area ratio (d/D)=0.5 ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 12%
3. การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มเหนี่ยวนำอากาศ นายขวัญชัย เกตุทอง (กำลังศึกษา ป.โท)

4. การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั๊มสำหรับของเหลวต่างชนิด นายเกริกฐากร พันธุ์พัฒนกุล, นายณัฐพล เขียมบุรเศรษฐ์ ที่ nozzle-throat area ratio (d/D) = 0.6 ทำให้เจ็ทปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 11.3 %

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ออกแบบ-เขียนแบบเจ็ทปั๊ม
- 1.2.2 สร้างเจ็ทปั๊มที่ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการทดลอง
- 1.2.3 ทดลองหาขนาดที่เหมาะสมสำหรับการผสม น้ำ-น้ำเกลือที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาวิเคราะห์หลักการทำงานของปั๊มหน้าแบบหัวฉีด
- 1.3.2 ศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เช่น Nozzle-throat area ratio ที่อัตราส่วน 0.40 , 0.50 , 0.60 ratio between length and area of the mixing chamber (L/D) ที่อัตราส่วน 2.0 , 3.0 , 4.0 head ratio, flow rate ratio ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มหน้าแบบหัวฉีด
- 1.3.3 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบสมรรถนะปั๊มหน้าแบบหัวฉีด

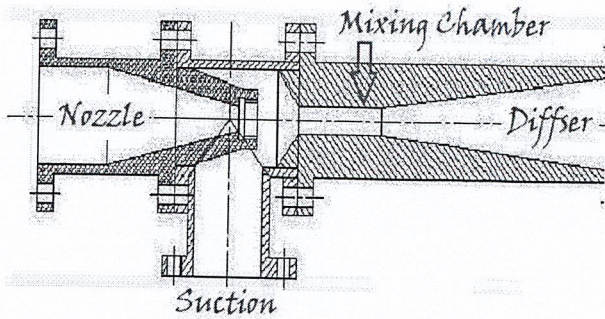
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้สมการประสิทธิภาพของปั๊มหน้าแบบหัวฉีดเหนี่ยวนำของเหลวที่ต่างชนิดกัน
- 1.4.2 ได้อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดระหว่างหัวฉีดกับห้องผสม (d/D) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผสมของเหลวต่างชนิดตามที่เราต้องการ
- 1.4.3 ได้อัตราส่วนระหว่างความยาวกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของห้องผสม (L/D) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการผสมของเหลวต่างชนิดตามที่เราต้องการ
- 1.4.4 โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม และเป็นแนวทางในการศึกษาตลอดจนการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 ทฤษฎีและหลักการ

ส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มหน้าแบบหัวฉีดจะประกอบด้วยสี่ส่วน คือ หัวฉีด (Nozzle) , ท่อดูดดูด (Suction pipe) , ห้องผสม (Mixing-Chamber) และท่อลดความเร็ว (Diffuser)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 1.1 แสดงชั้นส่วนต่างๆในชุดหัวฉีด

สมการ ประสิทธิภาพของปั้มน้ำหัวฉีด
สามารถหาได้จาก

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\gamma_s \cdot Q_s \cdot H}{\gamma_w \cdot Q_j \cdot H_e} \quad (1)$$

โดยที่

$$H = H_d - H_s$$

$$H_o = H_p - H_d$$

เมื่อ

H_p = Driving Head หรือ Head Pump

H_s = Suction Head

H_d = Discharge Head

H = Total Head

H_o = Effective Head

Q_j = อัตราการไหลจากปั้ม

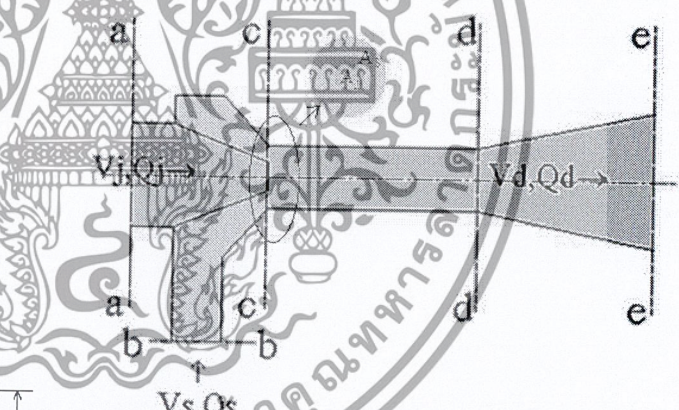
Q_s = อัตราการไหลที่ทางเข้าที่ดูด

γ_s = น้ำหนักจำเพาะของไหลถึงผสม

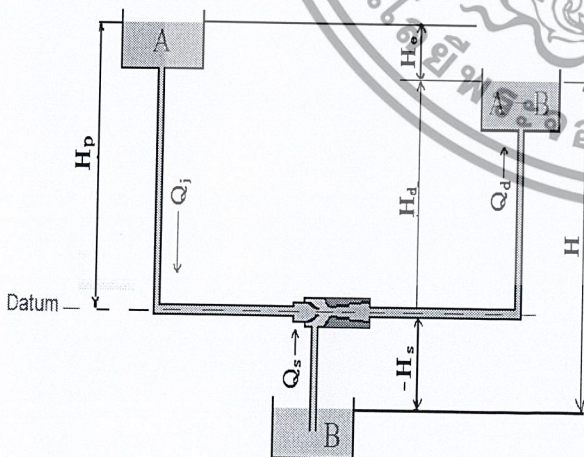
γ_w = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

การทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีดอาศัยหลักการ
จลน์ศาสตร์ของไหลโดยให้ของไหลที่มีความดันสูงไหล
ผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ผลของความเร็วสูงจะทำให้
เกิดความดันต่ำในช่วงทางเข้าของห้องผสมจึงทำให้ของ
ไหลที่ช่องด้านดูด(Suction)ถูกดูดเข้ามา การดูดเข้ามาใน
ห้องผสมจะเกิดโมเมนตัมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย
ระหว่างความเร็วของของไหลจากหัวฉีดและความเร็วของ
ของไหลจากที่ดูด โดยความเร็วจะลดลงในส่วนของท่อ
ขยาย(Diffuser)และความดันกลับคืนสู่สภาพปกติ จากนั้น
ความดันผลักดันให้ของผสมไหลออกทางที่ส่ง

โดยคุณลักษณะเฉพาะของเจ็ทปั้มจะขึ้นอยู่กับ
ตัวแปรและปัจจัยต่างๆมากมายที่ส่งผลกระทบต่อ
ประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบหัวฉีด ได้แก่
nozzle-throat area ratio, head ratio, flow rate ratio,
loss coefficient เป็นต้น



รูปภาพที่ 1.3 แสดงตัวแปรพื้นฐานแต่ละจุดของเจ็ทปั้ม



รูปภาพที่ 1.2 แสดงหลักการพื้นฐานการคำนวณหา
ประสิทธิภาพเจ็ทปั้ม

สมการ ความเร็วของไหลที่ทางเข้าที่ดูด (Suction) และ
ความเร็วของไหลที่ทางออกชุดหัวฉีด

สามารถหาได้จาก

$$V_s = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{\Phi \cdot Q_j}{A_s} = \frac{\Phi \cdot \beta \cdot V_j}{(1-\beta)} \quad (2)$$

$$V_d = \frac{Q_d}{A_s} = \frac{(1+\Phi)Q_j}{A_d} = \beta(1+\Phi)V_j \quad (3)$$

โดยที่

$$Q_d = Q_j + Q_s$$

$$A_d = A_j + A_s$$

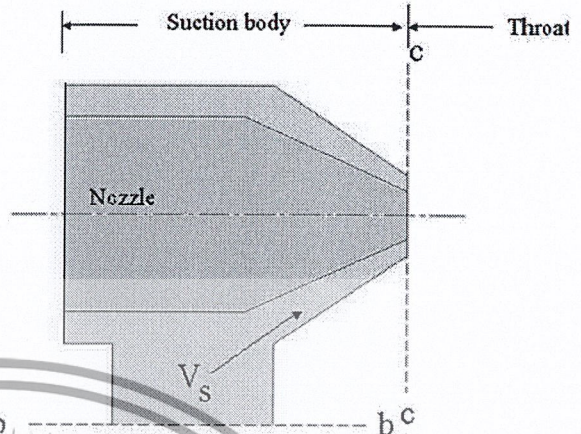
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Phi = \frac{Q_s}{Q_j}$$

$$\beta = \frac{A_j}{A_d} = \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

α_1 = สัมประสิทธิ์การสูญเสียจากพลังงานจลน์ที่หัวฉีด

- เมื่อ
- V_s = ความเร็วของไหลที่ทางเข้าท่อดูด
 - V_j = ความเร็วของไหลที่ออกจากหัวฉีด
 - V_d = ความเร็วของไหลที่ทางออกชุดหัวฉีด
 - Q_j = อัตราการไหลจากปั๊ม
 - Q_s = อัตราการไหลที่ทางเข้าท่อดูด
 - Q_d = อัตราการไหลที่ทางออกชุดหัวฉีด
 - A_j = พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด
 - A_s = พื้นที่หน้าตัดทางเข้าจากท่อดูด
 - A_d = พื้นที่หน้าตัดทางออกชุดหัวฉีด



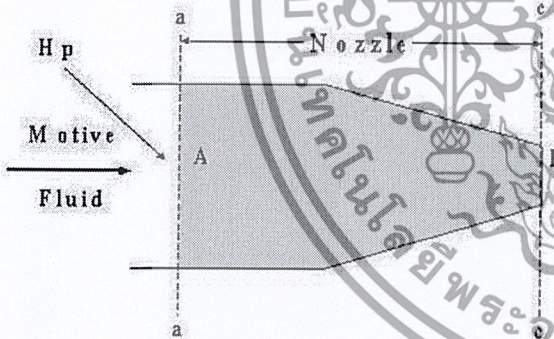
รูปภาพที่ 1.5 แสดงการหา Suction Head

สมการ Suction Head สามารถหาได้จาก

$$H_s = \int_0^r \frac{P_c 2\pi r dr}{\gamma_s A_s} + \frac{V_j^2}{2g} \left[\Phi^2 \frac{\beta^2}{(1-\beta)^2} \alpha_s + K_s \right] \quad (5)$$

- Φ = อัตราส่วนอัตราไหลของทางเข้าท่อดูด ต่ออัตราการไหลของหัวฉีด
- β = อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด ต่อพื้นที่หน้าตัดทางเข้าจากท่อดูด
- d = เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดจากทางเข้าท่อดูด

- เมื่อ
- P_c = ความดันที่ทางเข้าของท่อดูด
 - γ_s = น้ำหนักจำเพาะของไหลจากท่อดูด
 - A_s = พื้นที่หน้าตัดทางเข้าจากท่อดูด
 - V_j = ความเร็วของไหลที่ออกจากหัวฉีด
 - K_s = สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูด
 - α_s = สัมประสิทธิ์การสูญเสียจากพลังงานจลน์ที่ทางเข้าท่อดูด
 - Φ = อัตราส่วนอัตราไหลของทางเข้าท่อดูด ต่ออัตราการไหลของหัวฉีด
 - β = อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด ต่อพื้นที่หน้าตัดทางเข้าจากท่อดูด



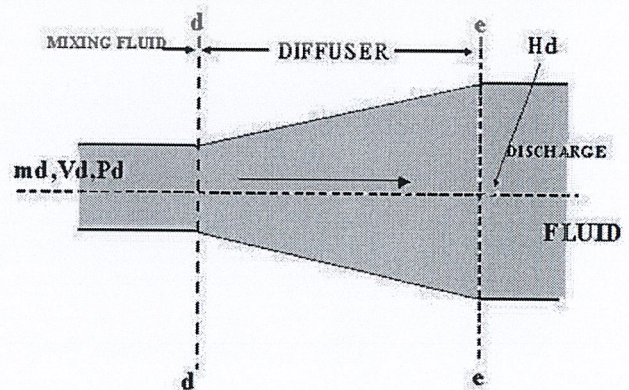
รูปภาพที่ 1.4 แสดงการหา Head Pump หรือ Driving Head

Head

สมการ Head Pump หรือ Driving Head สามารถหาได้จาก

$$H_p = \int_0^r \frac{P_j 2\pi r dr}{\gamma_j A_j} + \alpha_1 \frac{V_j^2}{2g} + h_l \quad (4)$$

- เมื่อ
- P_j = ความดันของหัวฉีด
 - γ_j = น้ำหนักจำเพาะของไหลที่หัวฉีด
 - A_j = พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด
 - V_j = ความเร็วของไหลที่ออกจากหัวฉีด



รูปภาพที่ 1.6 แสดงการหา Discharge Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาแจ้งไปยังเว็บไซต์ที่ดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ห้องผสม (Mixing Chamber)

สมการ Discharge Head สามารถหาได้จาก

$$H_d = \int_0^r \frac{P_d 2\pi r dr}{\gamma_d A_d} + \frac{V_j^2}{2g} \beta^2 (1 + \Phi)^2 [\alpha_{diff} - K_{diff}] \quad (6)$$

เมื่อ P_d = ความดันที่ทางออกชุดหัวฉีด

γ_d = น้ำหนักจำเพาะของไหลทางออกชุดหัวฉีด

A_d = พื้นที่หน้าตัดทางออกชุดหัวฉีด

V_j = ความเร็วของไหลที่ออกจากหัวฉีด

K_{diff} = สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ทางออกชุดหัวฉีด

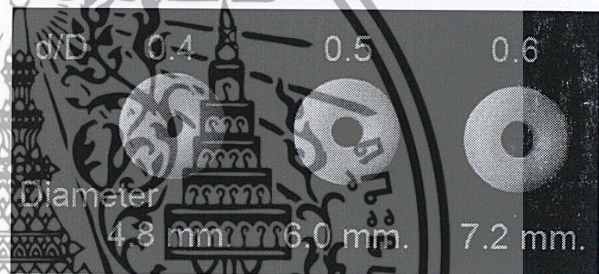
α_{diff} = สัมประสิทธิ์การสูญเสียจากพลังงานจลน์ที่ทางออกชุดหัวฉีด

Φ = อัตราส่วนอัตราไหลของทางเข้าที่อุดตันต่ออัตราการไหลของหัวฉีด

β = อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด ต่อพื้นที่หน้าตัดทางเข้าจากท่ออุดตัน

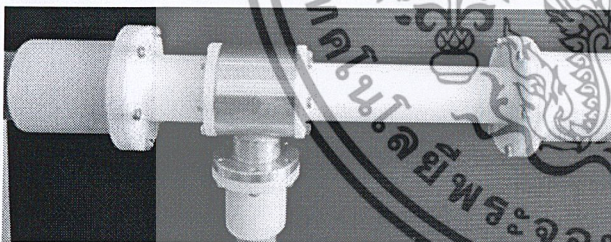


2.4 หัวฉีดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ



2. อุปกรณ์การทดลอง

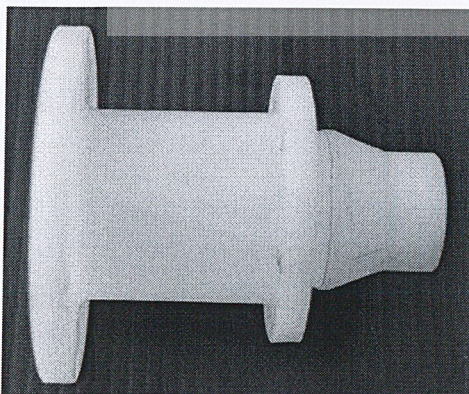
2.1 ชุดหัวฉีด (Jet)



2.5 ท่อขยาย (Diffuser) ที่ขนาดความยาวต่างๆ

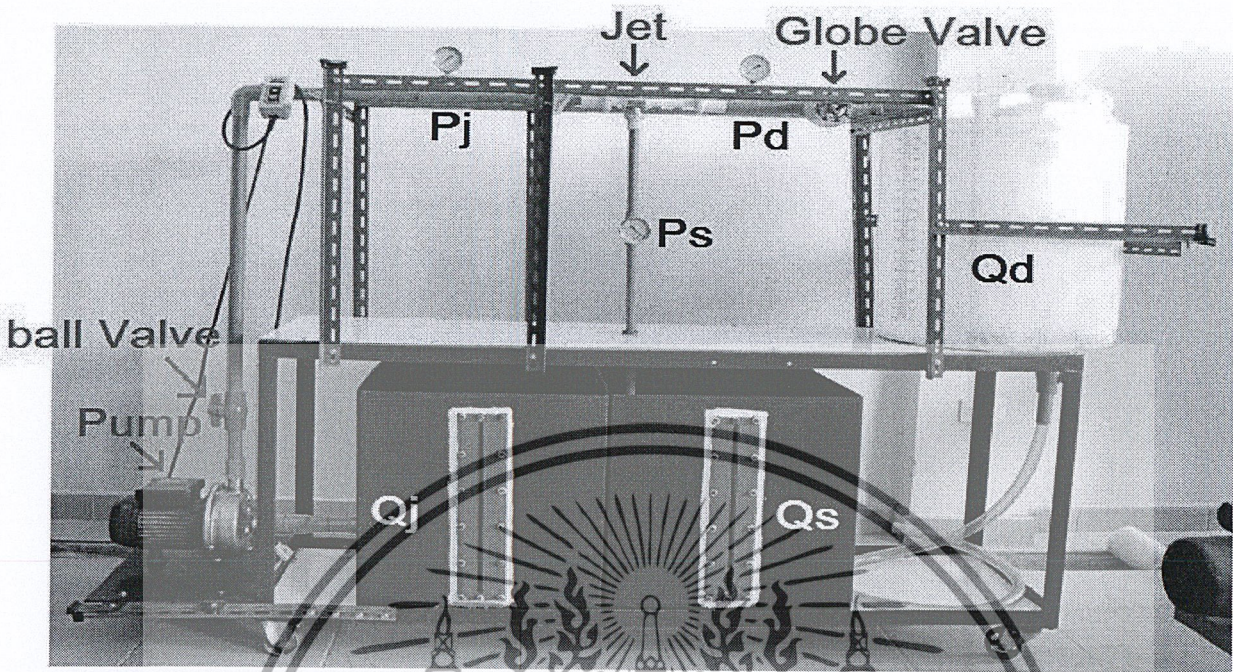


2.2 หัวฉีด (Nozzle)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบชุดทดสอบสมรรถนะปั้มน้ำแบบหัวฉีด



รูปภาพที่ 3.1 แสดงชุดทดสอบสมรรถนะปั้มน้ำแบบหัวฉีดและ แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งชุดหัวฉีดพร้อมกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

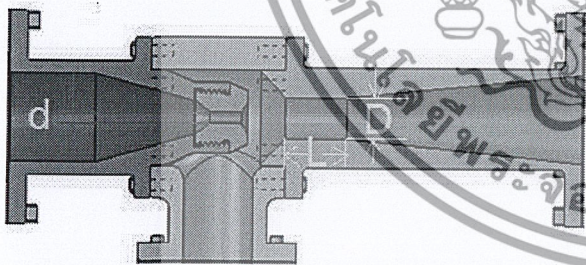
4.3 เปิดเครื่องให้ปั้มน้ำเริ่มทำงาน พร้อมกับจับเวลา (30 วินาที)

4.4 อ่านค่าความดันหัวฉีด, ความดันที่ทางเข้าท่อชุด, ความดันที่ทางออกชุดหัวฉีด และ อัตราการไหลหัวฉีด, อัตราการไหลที่ท่อชุด แล้วบันทึกผลการทดลอง

4.5 ทำการปรับอัตราการไหลของปั้มน้ำให้เป็นค่าต่าง โดยปรับมุมของโกล์บวาล์ว ลดลงทีละ 45 องศา แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 4.3 - 4.4 จนกระทั่งอัตราการไหลด้านชุดเป็นศูนย์

4.6 เปลี่ยนชุดหัวฉีดโดยให้มีค่า d/D , L/D , ตามขอบเขตที่เราศึกษาแล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4.2-4.5

4.7 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 4.1-4.6 โดยเปลี่ยนของเหลวที่ทางเข้าของท่อชุดให้มีความหนาแน่นตามขอบเขตที่เราศึกษา



รูปภาพที่ 3.2 ภาพ cross section ของชุดหัวฉีดแสดงตัวแปรที่ออกแบบ

4. วิธีการทดลอง

4.1 ประกอบชุดหัวฉีดเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะปั้มน้ำแบบหัวฉีดโดยใช้ชุดหัวฉีดที่มีค่า $d/D = 0.40$ และ $L/D = 2.0$

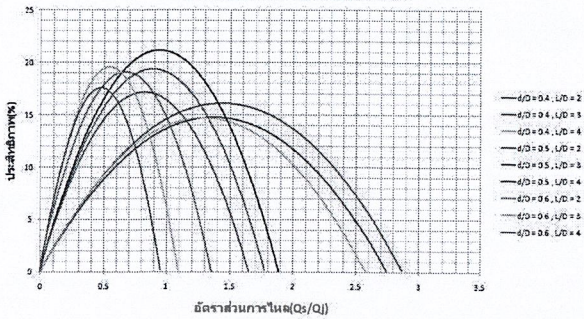
4.2 ปรับมุมของโกล์บวาล์วไปที่ 90 องศา เพื่อใช้ปรับอัตราการไหลด้านท่อชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

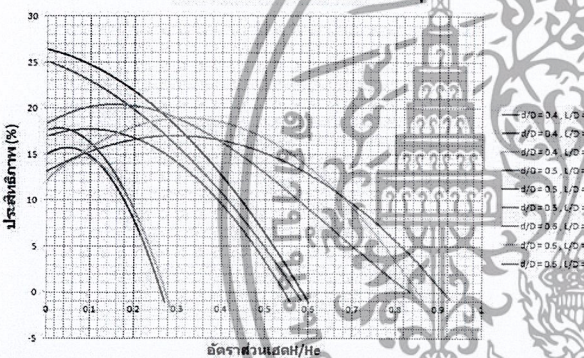
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหล ระหว่าง Water-Water ที่ขนาดของหัวฉีดต่าง ๆ



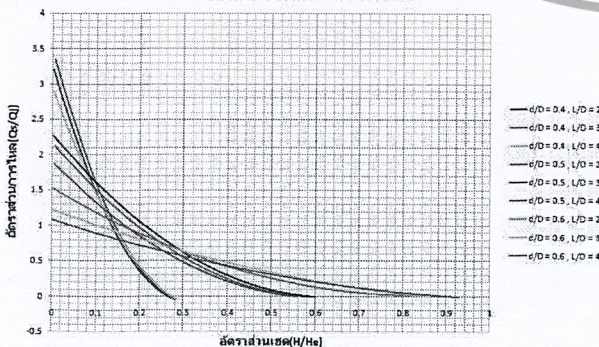
รูปภาพที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนอัตราการไหล โดยการเก็บผลจากการทดลอง

กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัตราส่วนเฮด ระหว่าง Water-Water ที่ขนาดของหัวฉีดต่าง ๆ



รูปภาพที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ประสิทธิภาพ กับ อัตราส่วนเฮด โดยการเก็บผลจากการทดลอง

กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนการไหล กับ อัตราส่วนเฮด ระหว่าง Water-Water ที่ขนาดของหัวฉีดต่าง ๆ



รูปภาพที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง อัตราส่วนอัตราการไหล กับ อัตราส่วนเฮด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ หากมีการนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

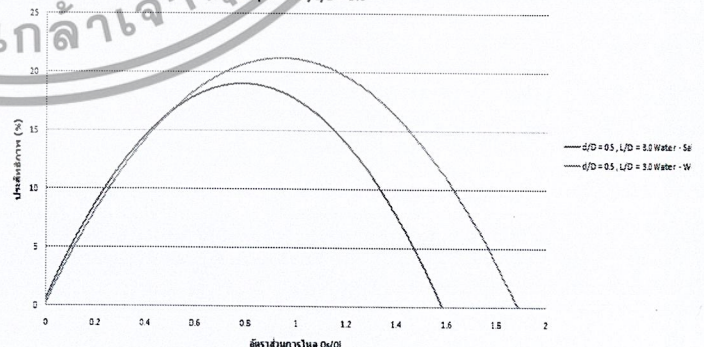
1. ในการคำนวณหาประสิทธิภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของ Water-Water พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับขนาดของห้องผสม (d/D) = 0.4

2. จากผลการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของ Water-Water พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 21.88 เปอร์เซ็นต์ที่ขนาดความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับขนาดของห้องผสม (d/D) = 0.5 และ สัดส่วนความยาวของห้องผสมกับขนาดของห้องผสม (L/D) = 3.0

3. เมื่อทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดระหว่าง Water-Saline พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด = 19.55 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราส่วนการผสม (Q_s / Q_j) = 0.875 โดยใช้ขนาดความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดกับขนาดของห้องผสม (d/D) = 0.5 และ สัดส่วนความยาวของห้องผสมกับขนาดของห้องผสม (L/D) = 3.0 ดังที่แสดงในกราฟข้างล่างนี้

4. โครงการนี้เป็นประโยชน์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกใช้ชุดหัวฉีดที่เหมาะสมในการผสมของเหลวต่างชนิดที่อัตราส่วนต่างๆในอุตสาหกรรม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผสมระหว่าง Water -Water และ Water -Saline ที่ $d/D=0.5, L/D=3.0$



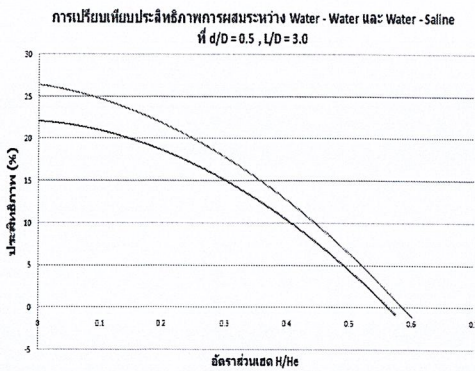
รูปภาพที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการผสมกับอัตราส่วนการไหล ระหว่าง Water-Water และ Water-saline ที่ $d/D=0.5, L/D=3.0$

ต่างชนิดหัวฉีด. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

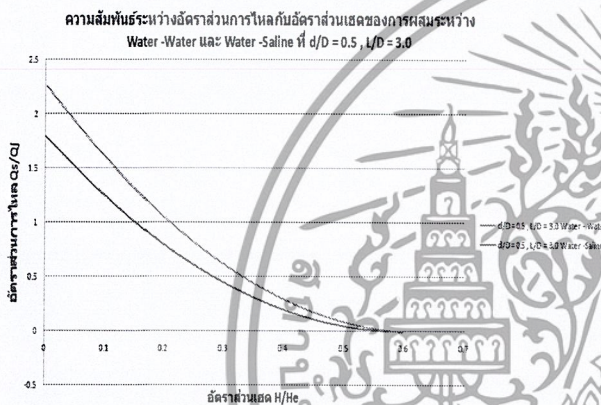
[4] S. Mikhail , Hesham A. M. Abdou.2005. Two-phase Flow in Jet Pumps For Different Liquid. research,Cairo Univ, Egypt.

[5] R. W. BAYLEY and C. A. BIGGS. EVALUATION OF THE JET PUMP SCRUBBER AS A NOVEL APPROACH FOR SOIL Rhe University of Sheffield,UK.

[6] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. Fundamentals of Fluid Mechanics, 5th ed., John Wiley & Sons,Inc.,2006:



รูปภาพที่ 6.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผสมกับอัตราส่วนเฮด ระหว่างWater-Water และ Water-Saline ที่ $d/D = 0.5$, $L/D = 3.0$



รูปภาพที่ 6.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนการไหลกับอัตราส่วนเฮดของการผสมระหว่าง Water-Water และ Water-Saline ที่ $d/D = 0.5, L/D = 3.0$

7.เอกสารอ้างอิง

[1] พีระ นิยมเดชา , ภาวตุล วิละรัตน์ และ วิศิษฐ์สรแสงเพชร. 2545. การศึกษาสมรรถนะของปั้มน้ำแบบหัวฉีด ปรินญาณิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] กชกร นิลเอี่ยม , เกரியงไกร จงประเสริฐวิทยา และ พรเทพ พรमानอก.2551. ประสิทธิภาพการเหิน่นวนาอากาศของปั้มน้ำแบบหัวฉีด. ปรินญาณิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] เกริกฐากร พันธุ์พัฒนกุล , ณัฐพล เจียมบุรเศรษฐ์.

2551. การศึกษาสมรรถนะของเจ็ทปั้มน้ำสำหรับของเหลว สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] พีระ นิยมเดชา , ภูวดล วิละรัตน์ และ วิศิษฎ์สรร แสงเพชร.2545. การศึกษาสมรรถนะของปั้มน้ำแบบหัวฉีดปริยญาณีพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] กชกร นิลเอี่ยม , เกรียงไกร จงประเสริฐวิทยา และ พรเทพ พรमानอก.2551.ประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำอากาศของปั้มน้ำแบบหัวฉีด. ปริยญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] S. Mikhail , Hesham A. M. Abdou.2005. Two-phase Flow in Jet Pumps For Different Liquid. research,Cairo Univ, Egypt.
- [4] R. W. BAYLEY and C. A. BIGGS. EVALUATION OF THE JET PUMP SCRUBBER AS A NOVEL APPROACH FOR SOIL Rhe University of Sheffield,UK.
- [5] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. Fundamentals of Fluid Mechanics, 5th ed., John Wiley & Sons,Inc.,2006
- [6] E. Anthony, “Fluid Power with Applications,” Prentice Hall, Inc, 1988.
- [7] Gosline. J. E. and O’ Brine. M.P. **The Water Jet Pump Publication in Engineering.** University of California, Vol.3, No.3, 1934, Page 167-190
- [8] 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
- [9] Sange. N. L. **An Experimental Investigation of Several Low Area Ratio Water Jet Pump.** ASME Journal of Basic Engineer. March, 1970. Page 11-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้