

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อลดแรงเสียดทานของระบบฉีดน้ำ

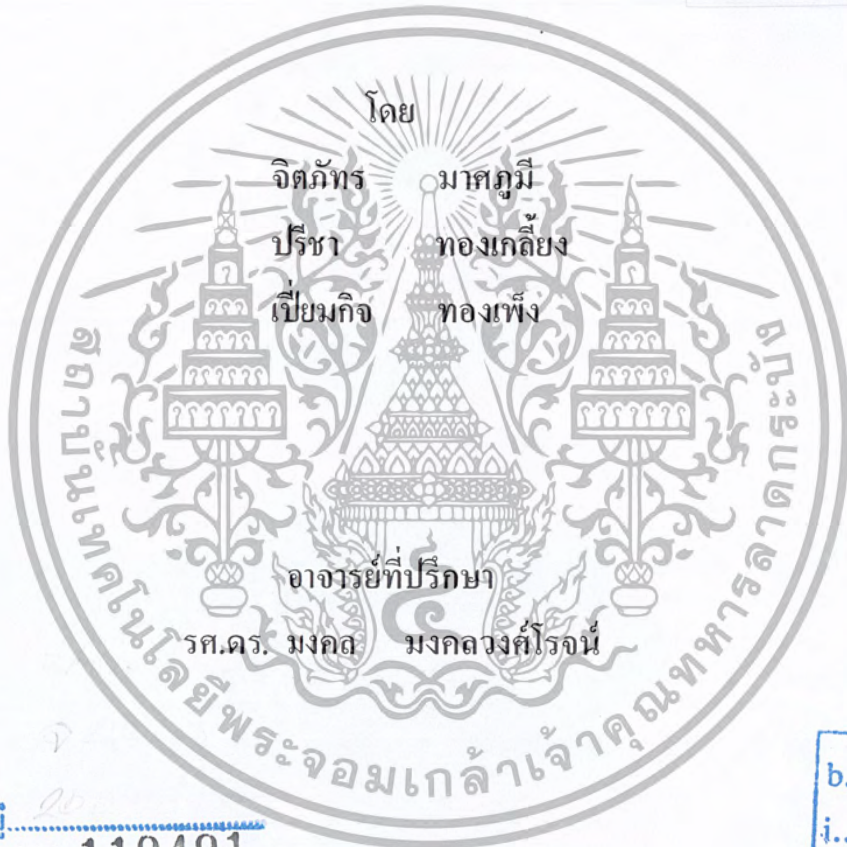
โดยใช้ฟิล์มอากาศ

Experimental Study on Friction Reduction in Water Jet System

Using Air Film



T119491



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 119491
วัน,เดือน,ปี... - 8 S.ค. 2554

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Experimental Study on Friction Reduction in Water Jet System
Using Air Film**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BECHALOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KINGS MONGKUT' INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองเพื่อลดแรงเสียดทานของระบบฉีดน้ำโดยใช้ฟิล์มอากาศ

Experimental Study on Friction Reduction in Water Jet System Using Air Film

ผู้จัดทำ

1. นายจิตภัทร มาศภูมิ 47010407
2. นายปรีชา ทองเกลี้ยง 47010440
3. นายเปี่ยมกิจ ทองเพ็ง 47010464



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

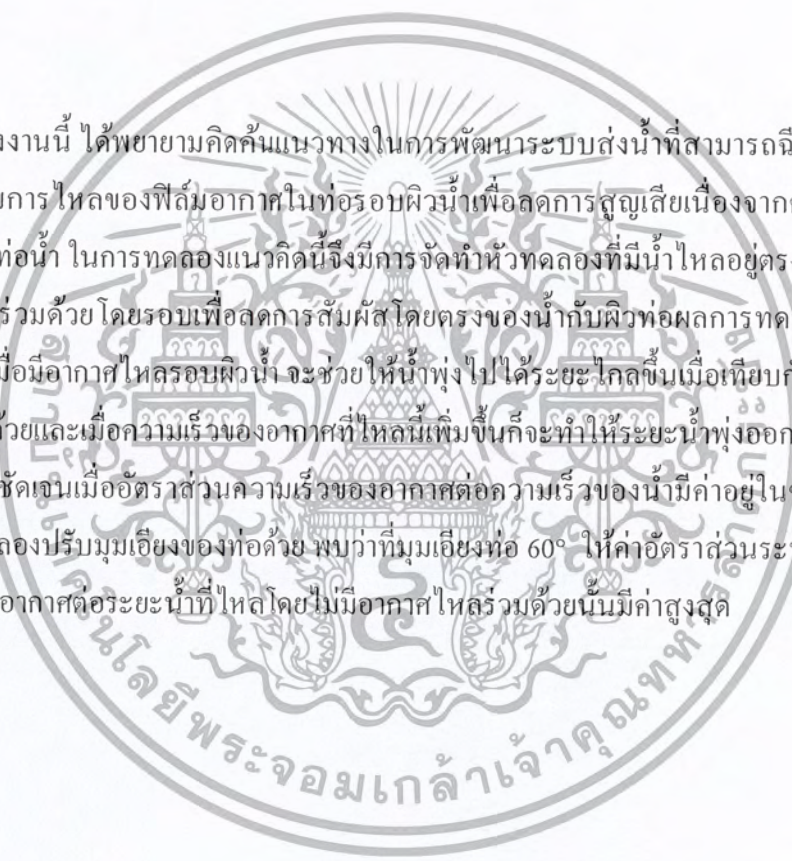
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อลดแรงเสียดทานของระบบฉีดน้ำโดยใช้ฟิล์มอากาศ

นายจิภัทร	มาศภูมิ	47010407
นายปรีชา	ทองเกลี้ยง	47010440
นายเปี่ยมกิจ	ทองเพ็ง	47010464
รศ.ดร. มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ได้พยายามคิดค้นแนวทางในการพัฒนาระบบส่งน้ำที่สามารถฉีดน้ำไปได้ไกลขึ้น โดยเพิ่มการไหลของฟิล์มอากาศในท่อรอบพิวมาเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผิวภายในท่อน้ำ ในการทดลองแนวคิดนี้จึงมีการจัดทำหัวทดลองที่มีน้ำไหลอยู่ตรงกลางและให้มีอากาศไหลร่วมด้วยโดยรอบเพื่อลดการสัมผัสโดยตรงของน้ำกับผิวท่อผลการทดลองที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีอากาศไหลรอบพิวน้ำ จะช่วยให้น้ำพุ่งไปได้ระยะไกลขึ้นเมื่อเทียบกับเมื่อไม่มีอากาศไหลร่วมด้วยและเมื่อความเร็วของอากาศที่ไหลนี้เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ระยะน้ำพุ่งออกไปได้ไกลขึ้นซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่ออัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 2.05 - 3.20 และเมื่อทดลองปรับมุมเอียงของท่อด้วย พบว่าที่มุมเอียงท่อ 60° ให้ค่าอัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหลโดยไม่มีอากาศไหลร่วมด้วยนั้นมีค่าสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Study on Friction Reduction in Water Jet System Using Air Film

Jittapat Martphoomee 47010407

Preecha Thongkleang 47010440

Piamkit thongpeng 47010464

Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongrojn Adviser

Abstract

This project is to develop the water injection system in order to obtain the longest water injection distance. The air film was implement between the water and the pipe to increase the water injection distance due to reduce friction loss. The nozzle with the air film generate was developed with varying air inlet. The air velocity has been measured using mini vane anemometer. Experimental result show that the water injection distance increase significantly with air film around the nozzle between the nozzle and the water. The maximum water distance was obtained under nozzle angle at 60 degree and the ratio of air velocity to water velocity at 2.05 to 3.20



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงการและคอยชี้แนะแนวทางตลอดเวลาที่ได้มีการทำโครงการและยังคอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบหัวข้อและ โครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ครูอาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ได้ สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้ กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีตลอดมา



นายจิตภัทร

นายปรีชา

นายเปี่ยมกิจ

มาศภูมิ

ทองเกลียง

ทองเพ็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญกราฟ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 คุณสมบัติของของไหล	3
2.1.1 นิยามของของไหล	3
2.1.2 กฎความหนืดของนิวตัน	4
2.1.3 ความหนืดสัมบูรณ์และความหนืดจลน์	6
2.1.4 ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะ น้ำหนักจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ	8
2.2 การวัดความเร็วของของไหล (Velocity measurement)	9
2.2.1 หลอดปีโตต์ (Pitot tube)	9
2.2.2 การวัดความเร็วของของไหลยวบตัวไม่ได้	11
2.2.3 แอนิเมเตอร์ชนิดลวดร้อน (Hot wire anemometer)	11
2.2.4 มาตรฐานกระแสและแอนิเมเตอร์ชนิดหมุน	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	14
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	14
3.2 การดำเนินงาน	23
3.3 วิธีการทดลอง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV ใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	25
4.1 ผลของความเร็วของอากาศ	25
4.2 ผลของการวางท่อฉีดในแนวเอียงต่างๆ	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
ภาคผนวก ก. กราฟความหนืดของของเหลวและแก๊ส	34
ภาคผนวก ข. ตารางคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและอากาศ	37
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาความเร็วน้ำไหล	40
ภาคผนวก ง. ตารางข้อมูลผลการทดลอง	42
เอกสารอ้างอิง	49



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้ความเค้นเฉือน	4
2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล	4
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับ $\frac{du}{dy}$ สำหรับของไหลนิวทอนเนียน ($\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$)	6
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับ $\frac{du}{dy}$ สำหรับของไหลนิวทอนเนียน	7
2.5 หลอดปิโคต์	9
2.6 หลอดปิโคต์สถิตย์	11
2.7 แอนิเมเตอร์ชนิดคลวคร็อน	12
2.8 มาตรวัดกระแสชนิดต่างๆ	12
3.1 ชุดการทดลอง	14
3.2 แสดงแบบจำลองหัวทดลอง	15
3.3 หัวทดลอง	15
3.4 หัวทดลองและไม้บรรทัดวัดระยะน้ำ	16
3.5 การเจาะรูเพื่อต่อสายท่อลม	16
3.6 การต่อสายท่อลม	17
3.7 สายท่อลม และหัวแยกลม	17
3.8 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดขนาดเล็ก	18
3.9 ปี่ลม	19
3.10 ปี่น้ำ	20
3.11 เกจวัดความดันน้ำ	21
3.12 เกจวัดความดันลม	21
3.13 ถังพักน้ำ	22
3.14 โครงรองรับ และถังรองน้ำ	22
3.13 แสดงระบบของชุดทดลองและตำแหน่งในการเก็บค่า	23



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำในหน่วย SI [101 kPa (abs)]	38
ตารางที่ 2. คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศที่ความดันบรรยากาศในหน่วย SI	39
ตารางที่ 3. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวระดับ 0°	43
ตารางที่ 4. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 15°	44
ตารางที่ 5. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 30°	45
ตารางที่ 6. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 45°	46
ตารางที่ 7. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 60°	47
ตารางที่ 8. ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 75°	48



สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวระดับ	25
4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 15°	26
4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 30°	27
4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 45°	28
4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 60°	29
4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 75°	30
4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียงทำมุมต่างๆ	31
4.8 ความหนืดสมบูรณ์ (μ) ของของเหลวและแก๊สทั่วไปเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ	35
4.9 ความหนืดจลน์ (ν) ของของเหลวและแก๊สทั่วไปเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ	36



บทที่ 1

บทนำ

น้ำมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เราเป็นอย่างมากแต่แหล่งน้ำที่มีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคนั้นกลับมีอยู่อย่างจำกัด ระบบส่งน้ำจึงมีความสำคัญในการจัดส่งน้ำที่มีคุณภาพออกไปให้ทั่วถึงซึ่งต้องใช้พลังงานเพื่อให้ระบบทำงานสูงตามไปด้วยโครงการนี้ จึงได้คิดค้นแนวทางในการพัฒนาระบบส่งน้ำที่สามารถส่งน้ำไปได้ไกลขึ้น โดยเพิ่มการไหลของฟิล์มอากาศในท่อรอบผิวน้ำเพื่อลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานที่ผิวภายในท่อน้ำ โดยออกแบบการทดลองให้มีการไหลร่วมกันของน้ำและอากาศ ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆที่ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของน้ำที่พุ่งออกมา โดยมีอากาศไหลร่วมแกน โดยรอบผิวน้ำ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการถูกรบกวนที่ผิวน้ำโดยการไหลของอากาศ และโครงสร้างของสายน้ำว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยกำหนดปัจจัยต่างๆที่ส่งผลดังกล่าว เช่น ความเร็วของอากาศ ความเร็วของน้ำที่พุ่งออกมา[1-6] ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายน้ำที่พุ่งออกมา[1,6] โดยใช้ คำเร โนลด์นัมเบอร์ เวเบอร์นัมเบอร์ อัตราส่วนมวลของอากาศต่อน้ำ[1] เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลและนำเสนอออกมาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์และแบบจำลองเสมือนจริง[4]ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของน้ำที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น มีค่าสูงมาก จะทำให้สายน้ำกระจายออกเป็นฝอยละเอียดมากขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว ทำให้เห็นว่าเมื่อมีอากาศไหลร่วมกับน้ำแล้วจะทำให้สายน้ำกระจายออกเป็นฝอย ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปในเรื่องของการทำงานให้น้ำ หรือของเหลวที่ศึกษานั้น กระจายเป็นฝอยเล็กที่สุดเพื่อประโยชน์ในการใช้งานทั้งการใช้งานในส่วนของ การตัดโลหะ การเคลือบผิวโลหะ รวมถึงในด้านเกษตรกรรมก็มีการศึกษาด้านนี้เพื่อประโยชน์ในการเคลือบเมล็ดยา โครงการนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการทดลองว่า ก่อนที่สายน้ำจะกระจายเป็นฝอยนั้นต้องใช้ความเร็วของอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้นเท่าไรจึงจะเหมาะสมทำให้น้ำนั้นพุ่งออกไปได้ไกลขึ้น โดยมองในแง่ว่าอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น เป็นตัวช่วยในการลดแรงเสียดทานระหว่างผิวที่ต่อกับสายน้ำ โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีแรงเสียดทานภายในของไหลนั้นมากกว่าของไหลที่มีความหนืดต่ำกว่า ซึ่งหากนำของไหลที่มีความหนืดต่ำกว่ามาขึ้นระหว่างผิวที่ต่อกับของไหลที่มีความหนืดสูง ย่อมส่งผลให้ของไหลที่มีความหนืดสูงนั้นไหลไปได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ

ในโครงการนี้ ได้พยายามคิดค้นแนวทางในการพัฒนาระบบส่งน้ำที่สามารถส่งน้ำไปได้ไกลขึ้น โดยเพิ่มการไหลของฟิล์มอากาศในท่อรอบผิวน้ำเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผิวภายในท่อน้ำ ในการทดลองแนวคิดนี้จึงมีการจัดทำหัวทดลองที่มีน้ำไหลอยู่ตรงกลางและให้มีอากาศไหลร่วมด้วย โดยรอบเพื่อลดการสัมผัสโดยตรงของน้ำกับผิวท่อผลการทดลองที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีอากาศไหลรอบผิวน้ำ จะช่วยให้น้ำพุ่งไปได้ระยะไกลขึ้นเมื่อเทียบกับเมื่อไม่มีอากาศไหลร่วมด้วยและเมื่อความเร็วของอากาศที่ไหลนั้นเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ระยะน้ำพุ่งออกไปได้ไกลขึ้นซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเมื่ออัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 2.05 - 3.20 และเมื่อทดลองปรับมุมเอียงของท่อด้วย พบว่าที่มุมเอียงท่อ 60° ให้ค่าอัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหลโดยไม่มีอากาศไหลร่วมด้วยนั้นมีค่าสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและทดลองการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อโดยใช้ฟิล์มอากาศ
2. หาค่าความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำภายในท่อเมื่อมีการไหลของอากาศภายในท่อรอบผิวน้ำในทิศทางเดียวกัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อ
2. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าความหนืดและความเค้นเฉือนของน้ำและของอากาศ
3. ศึกษาและทดลองการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อโดยใช้ฟิล์มอากาศ ที่ความเร็ว 0 - 30 เมตรต่อวินาที เมื่อเอียงแนวท่อเป็นมุม 0° , 15° , 30° , 45° , 60° และ 75° โดยใช้ความเร็วน้ำ 3.30 - 6.90 เมตรต่อวินาที

1.4 ประโยชน์และผลที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำที่มีฟิล์มอากาศไหลในทิศทางเดียวกัน
2. เป็นแนวทางพื้นฐานที่สามารถนำไปพัฒนาระบบ water jet ให้สามารถส่งน้ำไปได้ไกลมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

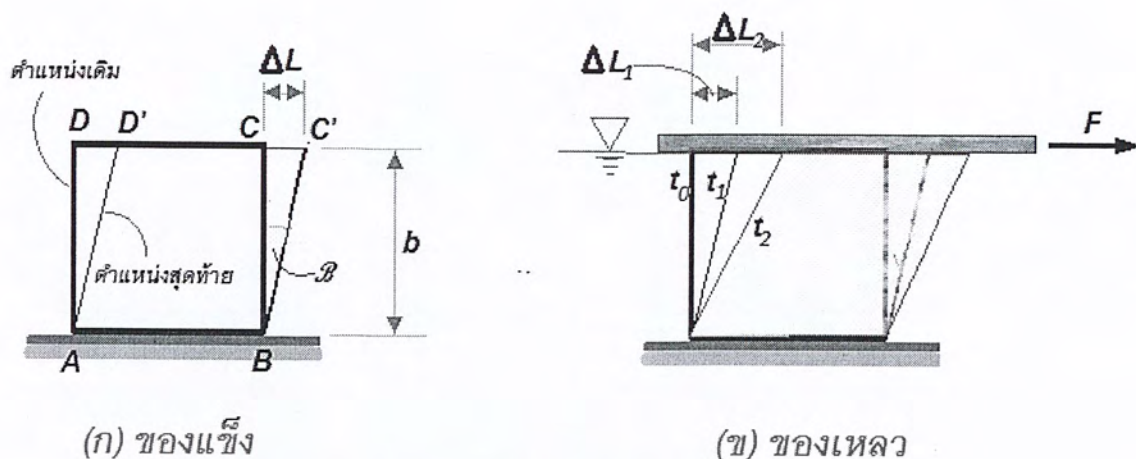
2.1 คุณสมบัติของของไหล

วิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics) นี้กล่าวถึงแขนงวิชาทางกลศาสตร์ของของเหลว หรือแก๊สซึ่งอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ การศึกษาสถิตยศาสตร์ของไหล (Fluid statics) และพลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamics) นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นต่อพื้นฐานของกลศาสตร์ของไหล ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบคำนวณถังเก็บน้ำมัน แรงกระทำต่อประตูน้ำ การวิเคราะห์หลักการการทำงานของเครื่องจักรกลของไหล (Fluid machinery) เช่น เครื่องสูบลม พัดลม หรือกังหัน รวมถึงการออกแบบระบบส่งน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม นิยามเบื้องต้นและสมบัติของของไหลนับว่าเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจเมื่อเริ่มศึกษาในเรื่องนี้

2.1.1 นิยามของคำว่าของไหล

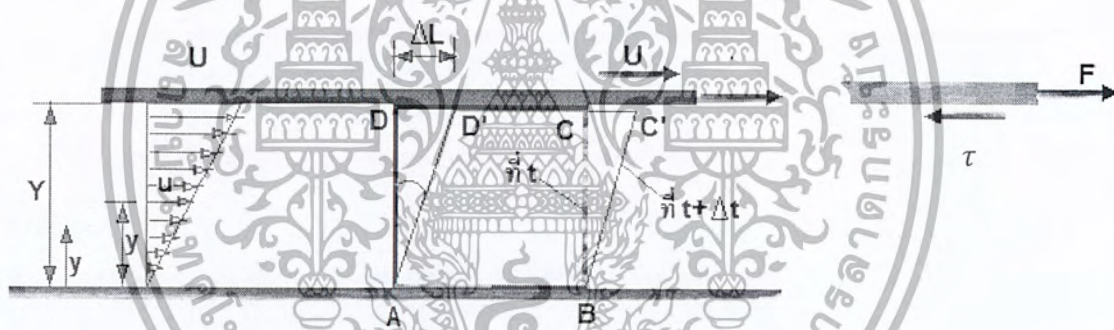
ของไหล (Fluid) คือสารที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องภายใต้การกระทำของความเค้นเฉือน (Shearing stress) ความเค้นเฉือนนี้ก็คือแรงในแนวสัมผัสที่กระทำต่อพื้นผิวในชั้นของไหลที่กระทำต่อกันไป สำหรับของแข็ง (Solid) นั้นจะมีพฤติกรรมแตกต่างออกไป เมื่อของแข็งถูกกระทำด้วยความเค้นเฉือนค่าหนึ่ง ของแข็งจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างและหยุดเปลี่ยนเมื่อเข้าสู่สมดุลสุดท้าย ตำแหน่งสมดุลสุดท้ายนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นเฉือนดังกล่าว ดังภาพ 2.1 (ก) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของแข็งภายใต้ความเค้นเฉือน (τ) กระทำที่ขอบผิวด้านบนและส่วนขอบด้านล่างถูกยึดอยู่กับที่ตำแหน่งเดิมอยู่บนรูปทรงสี่เหลี่ยม ABCD หลังจากถูกกระทำด้วย τ ของแข็งจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปสู่ตำแหน่งสุดท้ายเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ABC'D'

ส่วนภาพ 2.1 (ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของเหลว(ของไหล)ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นระนาบคู่ขนาน แผ่นด้านล่างอยู่กับที่ ส่วนด้านบนถูกดึงด้วยแรง F (แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ก็คือ τ) ทำให้ของเหลวนั้นเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างต่อเนื่อง (ที่เวลา t_0, t_1, t_2, \dots) และจะไม่หยุดเปลี่ยนแปลงตราบใดที่ยังคงมีความเค้นเฉือนกระทำอยู่



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้ความเค้นเฉือน

2.1.2 กฎความหนืดของนิวตัน



รูปที่ 2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล

พิจารณารูปที่ 2.2 ของไหลภายใต้ความเค้นเฉือนอยู่ระหว่างแผ่นระนาบ 2 แผ่น ให้แผ่นระนาบด้านล่างอยู่กับที่และแผ่นระนาบบนเคลื่อนที่โดยมีแรง F ดึงแผ่นระนาบบนให้เคลื่อนที่ขนานไปกับแผ่นระนาบด้านล่างด้วยความเร็ว U ของไหลส่วนที่อยู่ติดแผ่นระนาบจะพยายามยึดตัวติดกับแผ่นระนาบถ้าหากระยะ Y ไม่มากเกินไป ความเร็วของของไหลในแต่ละชั้นจะค่อยๆ ลดลงเชิงเส้นตามที่ของไหลแต่ละชั้นเคลื่อนตัวไปบนชั้นของของไหลที่อยู่ถัดไป ของไหลจึงมีการเคลื่อนที่ในรูปของความเร็วจึงเส้น $u = \frac{Uy}{Y}$ โดยที่ y เป็นระยะที่วัดตั้งฉากจากแผ่นระนาบด้านล่างขึ้นมา ดังนั้นในรูปที่ 2.2 ของไหลที่อยู่ติดแผ่นระนาบบนจะมีความเร็ว U และของไหลส่วนที่อยู่ติดผิวแผ่นระนาบด้านล่างจะมีความเร็วเป็นศูนย์

(ของไหลไม่ลื่นไหลบนแผ่นระนาบซึ่งอยู่กับที่) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลาที่ต่างกันอยู่ δt ที่เวลา t ของไหลอยู่ที่ตำแหน่งระนาบ ABCD ที่เวลา $t + \delta t$ ของไหลอยู่ที่ตำแหน่งระนาบ ABC'D' การผิดรูปเชิงมุมของเส้นตรง AD คำนวณจาก

$$\tan(\delta\beta) \approx \delta\beta = \frac{\delta L}{Y} = \frac{U\delta t}{Y}$$

$\delta\beta$ นี้ก็คือความเครียดเฉือน (Shearing strain) และอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน (Rate of shearing strain, $\dot{\beta}$) นิยามจาก

$$\dot{\beta} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\delta\beta}{\delta t} \right) = \frac{U}{Y}$$

สำหรับการกระจายความเร็วของสมการเชิงเส้นในรูปที่ 2.2 จะพบว่า

$$slope = \frac{du}{dy} = \frac{U}{Y} = \dot{\beta} = \{ \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน} \}$$

ผลของแรงกระทำ F ทำให้เกิดความเค้นเฉือน $\tau = \frac{F}{A}$ และทำให้ของไหลมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุม และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน $\dot{\beta}$ จึงกล่าวได้ว่า

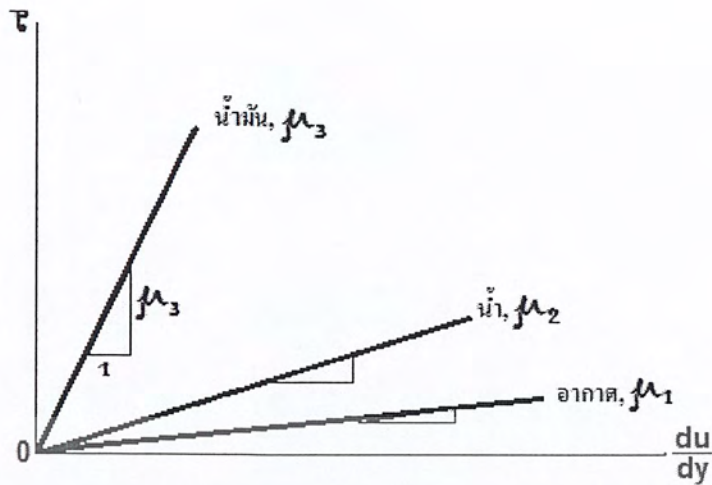
$$\tau \propto \dot{\beta}, \tau \propto \frac{du}{dy}$$

ดังนั้น

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ μ คือค่าคงตัวของความเป็นสัดส่วน โดยทั่วไปแล้วเรียกว่าความหนืดสมบูรณ์ (Absolute viscosity) หรือความหนืดพลวัต (Dynamic viscosity) มีหน่วยเป็น $\frac{N \cdot s}{m^2}$ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

สมการ (2.1) นี้เมื่อพลนำมาพล็อตกราฟ τ กับ $\frac{du}{dy}$ จะได้ดังรูปที่ 2.3 ของไหลที่มีความเค้นเฉือน (τ) และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน ($\frac{du}{dy}$) จะเรียกของไหลนี้ว่า ของไหลนิวตันเนียน (Newtonian fluid) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นได้ทั้งของเหลวและแก๊ส เช่น อากาศ น้ำ และน้ำมัน เป็นต้น ความชันของกราฟแต่ละเส้นก็คือความหนืดสมบูรณ์ของของไหลดังกล่าว ในรูปที่ 2.3 พบว่าความหนืดของอากาศน้อยกว่าของน้ำ และความหนืดของน้ำน้อยกว่าของน้ำมัน



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง τ กับ $\frac{du}{dy}$ สำหรับของไหลนิวทอนเนียน ($\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$)

สมการ (2.1) นี้ก็คือ กฎความหนืดของนิวตัน (Newton's law of viscosity) นั่นเอง

2.1.3 ความหนืดสมบูรณ์และความหนืดจลน์

ความหนืด (Viscosity) คือ สมบัติของของไหลที่ใช้ต้านทานต่อความเค้นเฉือนและเป็นต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ที่จะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล จากกฎความหนืดของนิวตัน พบว่าความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน ความเค้นเฉือนในของไหลหนึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหลนั้นด้วย

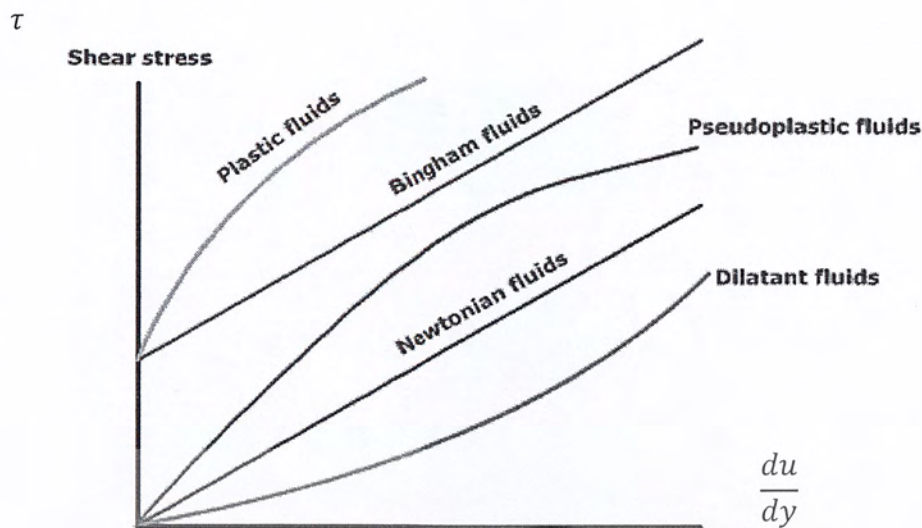
จากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเค้นเฉือน (τ) กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน ($\frac{du}{dy}$) จากรูปที่ 2.4 ความชันของกราฟแต่ละเส้นก็คือค่าความหนืดของของไหลนิวทอนเนียนนั่นเองดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการ ในรูปของ

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad \dots(2.2)$$

ในที่นี้ τ คือ ความเค้นเฉือนที่กระทำในของไหล (มีหน่วยเป็น N/m^2)

$\frac{du}{dy}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดเฉือน (มีหน่วยเป็น rad/s)

μ คือ ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล (มีหน่วยเป็น $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ในระบบ SI)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับ $\frac{du}{dy}$ สำหรับของไหลนิวตัน

ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity, ν) ในสมการการคำนวณในวิชากลศาสตร์ของไหล มักจะพบอัตราส่วนระหว่างความหนืดสมบูรณ์ (μ) กับความหนาแน่น (ρ) อยู่เสมอ เพื่อความสะดวกจะกำหนดอัตราส่วนนี้เป็นความหนืดจลน์ ตามสมการ

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \dots (2.3)$$

ความหนืดจลน์ (ν) มีหน่วยเป็น $\frac{m^2}{s}$ ในระบบ SI

ในการใช้งานทางด้านวิศวกรรมนั้น ความหนืดสมบูรณ์ของของไหลจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความดัน ส่วนความหนืดจลน์ของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงตามความดัน เพราะความหนาแน่นของแก๊สเปลี่ยนแปลงไป

ประการที่สำคัญก็คือทั้งความหนืดสมบูรณ์และความหนืดจลน์ของของไหลต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของอากาศหรือแก๊สจะเพิ่มขึ้น ส่วนความหนืดของของเหลวจะลดลง

ค่า μ และ ν สำหรับของไหลต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง ที่ 1 ในภาคผนวก

2.1.4 ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะ น้ำหนักจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่น (ρ) คือปริมาณของมวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น $\frac{kg}{m^3}$ สำหรับน้ำที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน (760 mm-Hg) ที่อุณหภูมิ 4 °C นั้นพบว่า $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นของแก๊สจะขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ สำหรับของเหลวที่ความดันและอุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่นน้อยมาก

ปริมาตรจำเพาะ (v) คือปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหล และเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น มีหน่วยเป็น $\frac{m^3}{kg}$

$$v = \frac{1}{\rho} \quad \dots(2.4)$$

สำหรับน้ำที่อุณหภูมิ 4°C นั้นมี $v = \frac{1}{1000} = 0.001 \frac{m^3}{kg}$

น้ำหนักจำเพาะ (γ) คือ น้ำหนักของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร γ เป็นสมบัติใช้บอกน้ำหนักของของไหล คำนวณได้จาก

$$\gamma = \rho g \quad \dots(2.5)$$

โดยที่ g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.807 \frac{m}{s^2}$ ในที่นี้ γ มีหน่วยเป็น $\frac{N}{m^3}$

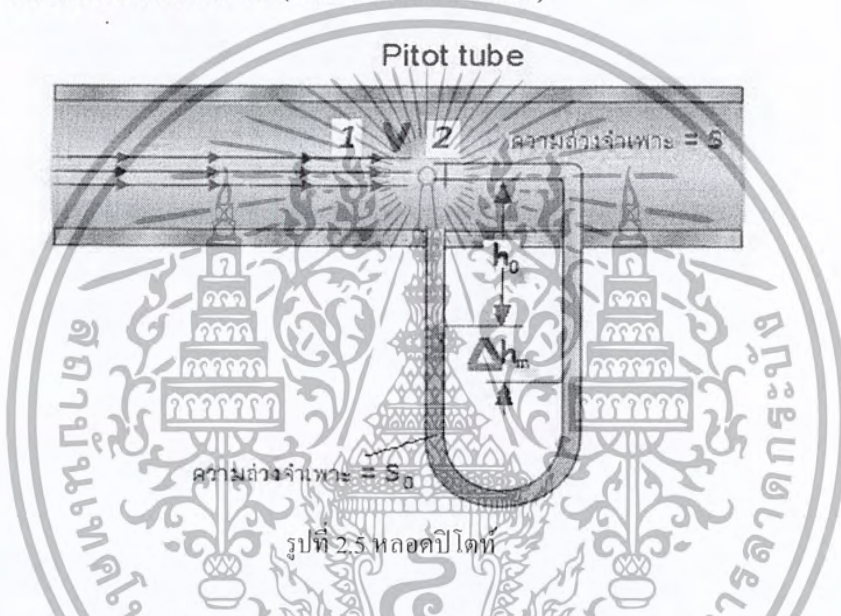
ความถ่วงจำเพาะ (SG) คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของของไหลต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน และเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าเป็นความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิใด ปกติจะพิจารณาที่อุณหภูมิ 4 °C (ซึ่งน้ำมี $\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$) ดังนั้น

$$SG = \frac{\rho}{\rho_w @ 4^\circ C} \quad \dots(2.6)$$

2.2 การวัดความเร็วของของไหล (Velocity measurement)

ความเร็วที่จุดใดจุดหนึ่งในสนามการไหลหนึ่งๆจะถูกวัดและนำไปหาการกระจายความเร็ว ถ้าทราบการกระจายความเร็วแล้วนำไปคำนวณหาอัตราการไหล หรือคำนวณแรงกดที่กระทำต่อของไหลต่อไปการวัดความเร็วของของไหลจะให้ผลแม่นยำถูกต้องได้นั้นหัววัดจะต้องมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับการไหลทั้งหมด เช่น การวัดความเร็วในท่อ หัววัดควรมีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสำหรับการวัดความเร็วในชั้นขีดผิวที่มีค่าเกรเดียนต์ความเร็วสูง หัววัดจะมีขนาดเล็กกว่าระยะห่างจากผนังในปัจจุบันมีการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลที่แตกต่างกันไปโดยมีพื้นฐานการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

2.2.1 หลอดปีโตทซ์ชนิดวัดร่วม (Combined Pitot tube)



หลอดปีโตทซ์ชนิดวัดร่วมนี้เป็นหลอดวัดความดันสถิตร่วมกับความดันสแตกเนชัน โดยติดตั้งเข้ากับแมนอมิเตอร์ดังรูปที่ (2.5) หลอดวัดมีลักษณะเป็นหลอดปลายเปิดและหันปลายเปิดรับของไหลในทิศการไหล และอีกด้านหนึ่งอยู่ที่ผิวที่ท่ตรงตำแหน่งเดียวกันกับปลายเปิดนั้น (เพื่อวัดความดันสถิต) และต่อหลอดทั้งสองข้างเข้ากับแมนอมิเตอร์เพื่อวัดผลต่างของความดันระหว่างความดันสแตกเนชัน (P_0) กับความดันสถิต (P) ของของไหลที่จุดเดียวกันถ้าหากผิวที่ท่ของรูกระการติดตั้งหลอดปลายเปิดในรูปที่ (2.5) จะไม่สะดวกควรใช้หลอดปีโตทซ์แบบวัดผลต่างของความดันดังรูป (2.6) แทน ลักษณะของหลอดปีโตทซ์แบบวัดผลต่างความดันเป็นหลอด 2 ชั้นหลอดด้านในใช้วัดความดันสแตกเนชันซึ่งจะรับความดันเข้าทางรูเปิดด้านหน้า และหลอดหน้าตัดวงแหวนด้านนอกใช้วัดความดันสถิตซึ่งรับความดันเข้าทางรูเปิดด้านข้างหลอด และต่อเข้ากับแมนอมิเตอร์เพื่ออ่านค่าของความดันแตกต่างออกมา การวิเคราะห์ความเร็วของของไหลเมื่อใช้หลอดปีโตทซ์วัดความเร็วนี้จะอาศัยสมการแบร์นูลลีวิเคราะห์การไหลระหว่างจุด 2 จุดที่พิจารณาถ้ากำหนดให้ของไหลที่มีความหนาแน่น ρ ไหลภายในท่อด้วยความเร็วสม่ำเสมอ V และใช้หลอดปีโตทซ์วัดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะอ่านผลต่างของความสูงในหลอดแมนอมิเตอร์ได้เท่ากับ Δh_m ในแมนอมิเตอร์นั้นจะมีของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ_m ดังแสดงในรูปภาพที่ (2.5)

พิจารณาในรูปภาพที่ (2.5) การไหลระหว่างรูเปิดด้านหน้า (ความดัน) p_1 , ความเร็ว $V_1 = 0$ กับรูเปิดด้านข้าง (ความดัน p , ความเร็ว V) จากสมการแบร์นูลลีจะพบว่า

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad \dots(2.7)$$

ถ้าทราบผลต่างระหว่างความดันสถิต (P_1) กับความดันสถิต (P_2) จะสามารถคำนวณหาความเร็วของของไหลตรงจุดวัดได้ เนื่องจากหลอดปิโตที่นี้ต่อเข้ากับหลอดแมนอมิเตอร์ซึ่งอ่านผลต่างความสูงได้ Δh_m จากแมนอมิเตอร์ที่ระดับ AB พบว่า

$$P_A = P_B$$

$$P_1 - P_2 = \rho_m \cdot \rho_1 = \rho \left(\frac{\rho_m}{\rho_1} - 1 \right) g \Delta h_m$$

แทนค่าในสมการ

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

จะได้ความเร็วของของไหลตรงจุดวัดดังนี้

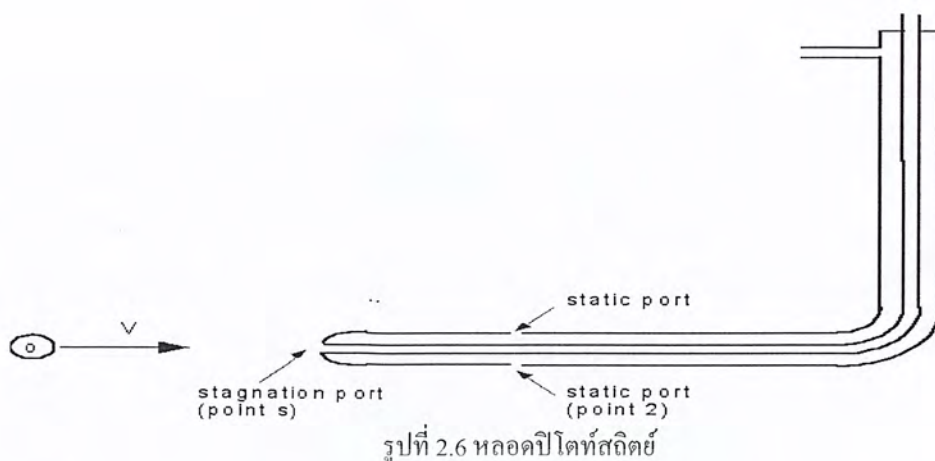
$$V_1 = \sqrt{\frac{2(Pm-1)}{\rho}} g \Delta h_m \quad \dots(2.8)$$

โดยที่ Δh_m วัดในหน่วยเมตรของเหลวในแมนอมิเตอร์ซึ่งสมการนี้ใช้กับของเหลวอุณหภูมิต่ำไม่ได้ ซึ่งหมายถึงของเหลวทั่วไปและแก๊สที่มีเลขมัคต่ำๆ ($M_u < 0.3$) และนอกจากนี้ถ้าการไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะทำให้ความเร็วของแต่ละอนุภาคของของไหลเปลี่ยนแปลง และทำให้แนวทิศความเร็วกระทำต่อแนวช่องทางกรไหลเปลี่ยนแปลงจึงเป็นผลทำให้เครื่องมือวัดความเร็วออกมามีค่าสูงกว่าความเร็วเฉลี่ยของของไหล ดังนั้นจึงมีการปรับแก้สมการโดยการคูณด้วยสัมประสิทธิ์แก้ค่า (C) ได้เป็นสมการ

$$V_1 = C \sqrt{\frac{2(Pm-1)}{\rho}} g \Delta h_m \quad \dots(2.9)$$

ซึ่งสำหรับหลอดปิโตที่จะกำหนดค่า C ในช่วง $0.97 \leq C \leq 1.0$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับชั้นของความปั่นป่วนของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

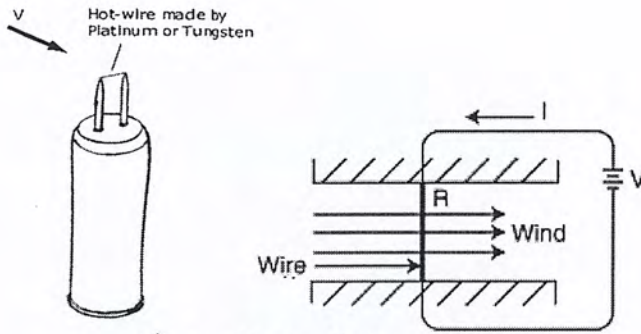


การใช้หลอดปิโตที่วัดความเร็วของของไหลที่พุ่งออกจากหัวฉีดหรือวัดความเร็วของกระแสไหลในแม่น้ำลำคลอง เราจะใช้หลอดปิโตเพียงอันเดียวก็เพียงพอแล้ว เพราะเสถียรภาพของบรรยากาศเป็นศูนย์ และสามารถนำค่าความสูงของของเหลวที่ตัวหลอดปิโตที่ไปคำนวณได้เลย แต่ในกรณีของการวัดความเร็วภายในท่อหรือในที่ปิด จำเป็นต้องรู้เสถียรภาพด้วย ในบางครั้งเราไม่สามารถเจาะรูผนังท่อเพื่อใส่ไพโซมิเตอร์ได้ ดังนั้นจึงมีผู้สร้างหลอดปิโตที่สามารถอ่านค่าเสถียรภาพออกมาได้ เรียกว่าหลอดปิโตที่สถิตย์ (Pitot-static tube) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือวัดความเร็วแบบอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันอีกหลายแบบ เช่น Kiel probe, Stanton tube, Preston tube และ Pitot meter เป็นต้น

2.2 การวัดความเร็วของของไหลแบบตัวไม่ได้ สำหรับการไหลของของไหลแบบตัวไม่ได้นั้น การหาความเร็วของของไหลจะอาศัยสมการแบร์นูลลีโดยตรงและใช้หลอดปิโตที่ชนิดวัดผลต่างระหว่างความดันสถิตย์และความดันสถิตย์ที่จุดวัดแต่สมการแบร์นูลลีไม่สามารถนำมาใช้กับของไหลแบบตัวได้ ส่วนการวัดความเร็วของของไหลนั้นยังคงสามารถใช้หลอดปิโตที่ได้อยู่แต่ต้องพิจารณาว่าเป็นการไหลที่ความเร็วได้เสียหรือการไหลที่ความเร็วเหนือเสียงและจะใช้สมการพลังงานวิเคราะห์สภาวะสแตกเนชันและสภาวะสถิตย์ของการไหลแบบตัวได้

2.3 แอนิเมเตอร์ชนิดขดลวดร้อน (Hot wire anemometer) เป็นเครื่องมือวัดความเร็วของของไหล ที่ประกอบขึ้นด้วยเส้นลวดแพลทินัมหรือทังสเตน ซึ่งใช้วางขวางทิศทางการไหลของของไหล แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า หลักการทำงานของเครื่องมือนี้อาศัยการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง นั่นคืออุณหภูมิของเส้นลวดความต้านทานจะขึ้นอยู่กับค่าการถ่ายเทความร้อนของของไหล แต่ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) จะเพิ่มขึ้นถ้าความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น กล่าวคือถ้าความเร็วของของไหลมากขึ้น ขดลวดร้อนจะเย็นตัวลงทำให้ค่าของความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าน้อยลง และกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

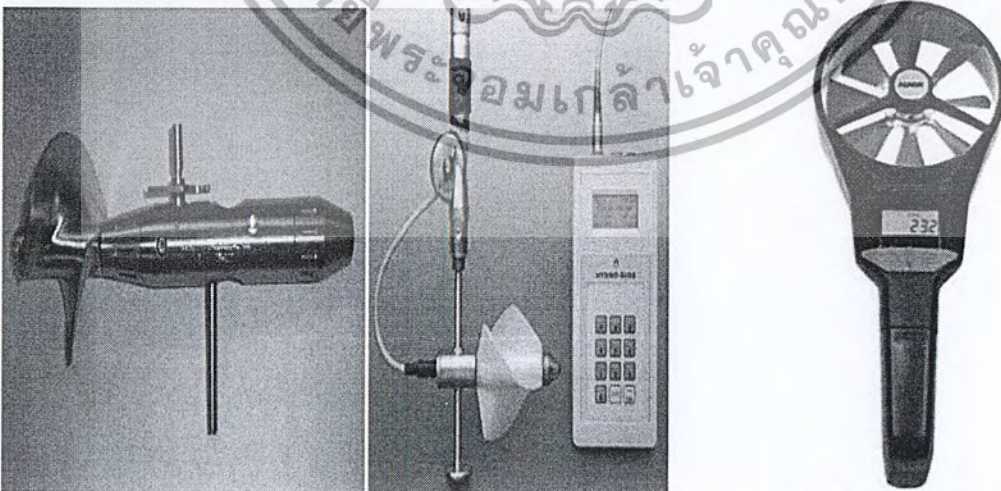


รูปที่ 2.7 แอนิเมเตอร์ชนิดขดลวดร้อน

ในการทำงานจริงๆ จะทำการต่อลวดร้อนเข้ากับวงจรไฟฟ้า โดยอาจให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคงที่ และค่าแรงเคลื่อนที่อ่านได้จะแสดงถึงความเร็วของของไหล หรืออาจให้แรงเคลื่อนคงที่ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรจะแสดงถึงความเร็วของของไหล เครื่องมือชนิดนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วมาก ดังนั้นอาจใช้วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่งก็ได้

2.4 มาตรวัดกระแสและแอนิเมเตอร์ชนิดหมุน (Current meter and rotating anemometer)

มาตรวัดกระแส (Current meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความเร็วของกระแสของของไหลในช่องทางเปิด เช่น ท่อเปิด แม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น มาตรวัดนี้มีลักษณะคล้ายกังหัน แต่มีใบกังหันเป็นทรงถ้วย ซึ่งใช้สำหรับหันเข้ารับกระแสการไหล และทำให้เกิดแรงผลักดันขึ้นในลูกถ้วยแต่ละลูก ทำให้แกนหมุน อากาศหมุนที่เกิดขึ้นบนแกนถูกส่งเข้าไปในวงจรไฟฟ้า จำนวนสัญญาณที่เกิดขึ้นกับวงจรเทียบกับหน่วยเวลาจะเป็นฟังก์ชันกับความเร็ว ดังนั้นเราก็สามารถหาความเร็วได้ตามต้องการ มาตรวัดนี้สามารถเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงได้ โดยการลากเครื่องมือผ่านของเหลวที่รู้ค่าความเร็ว ดังรูป 2.8(ก)



(ก) มาตรวัดกระแส

(ข) แอนิเมเตอร์ชนิดหมุน

รูปที่ 2.8 มาตรวัดกระแสชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนนิโมมิเตอร์ชนิดหมุน (Rotating anemometer) จะใช้หลักการเดียวกันกับมาตรวัดกระแส แต่ใช้สำหรับวัดความเร็วของกระแสลม ซึ่งมีทั้งแบบปีก (Vane type) และแบบลูกถ้วย (Cup type) แสดงดังรูป 2.8 (จ) ปีกของแอนนิโมมิเตอร์นี้จะถูกออกแบบเป็นพิเศษ คือมีค่าความเฉื่อยต่ำมากๆ แบริ่งที่ใช้ต้องเป็นแบบพิเศษเช่นกัน พร้อมกับมีเทอร์โมมิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงติดตั้งอยู่ที่ส่วนกลาง มาตรวัดแบบนี้สามารถใช้วัดความเร็วลมที่ต่ำมากๆ หรือแม้กระทั่งกระแสลมหมุนวนรอบร่างกาย คนที่เกิดจากการถ່อนความร้อนออกสู่บรรยากาศได้



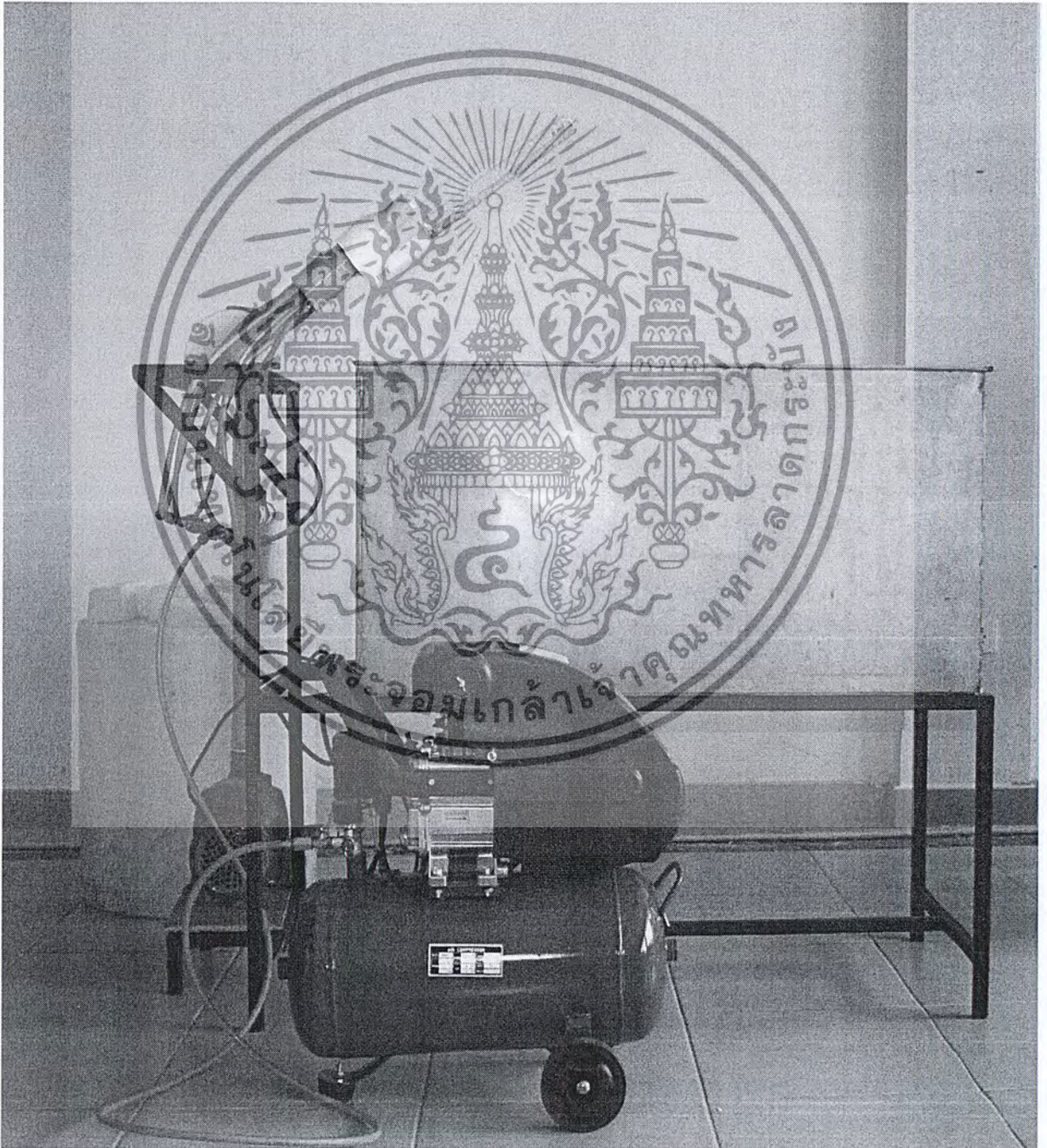
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

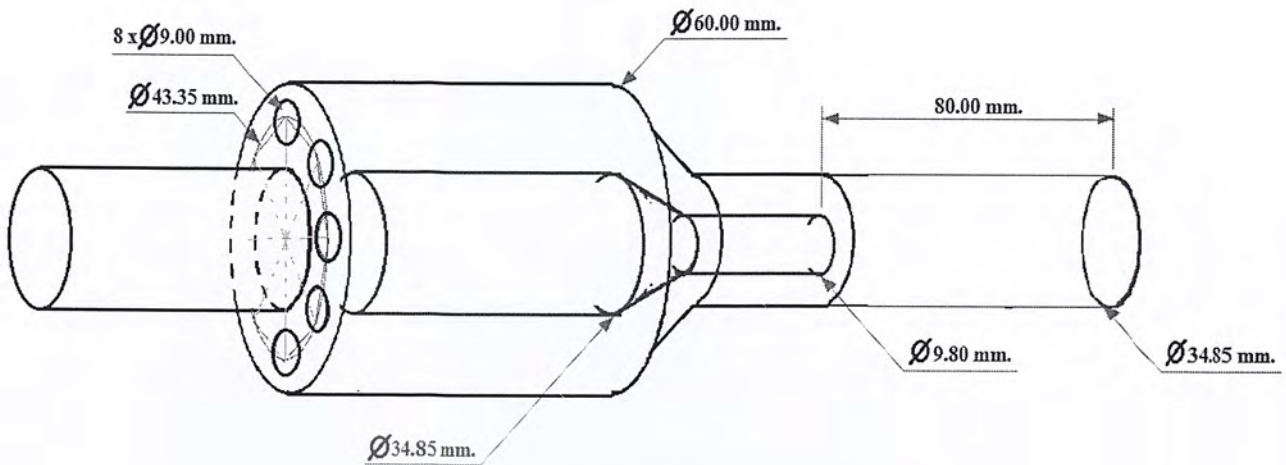
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

ชุดการทดลองที่ใช้ในการทดลองโดยชุดการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ คือ บัมพ์น้ำ , บัมพ์ลม , ท่อน้ำ , เกจวัดวัดดัน , หัวทดลอง , ถังพักน้ำ , ถังรองน้ำ ซึ่งแสดงในรูปภาพต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

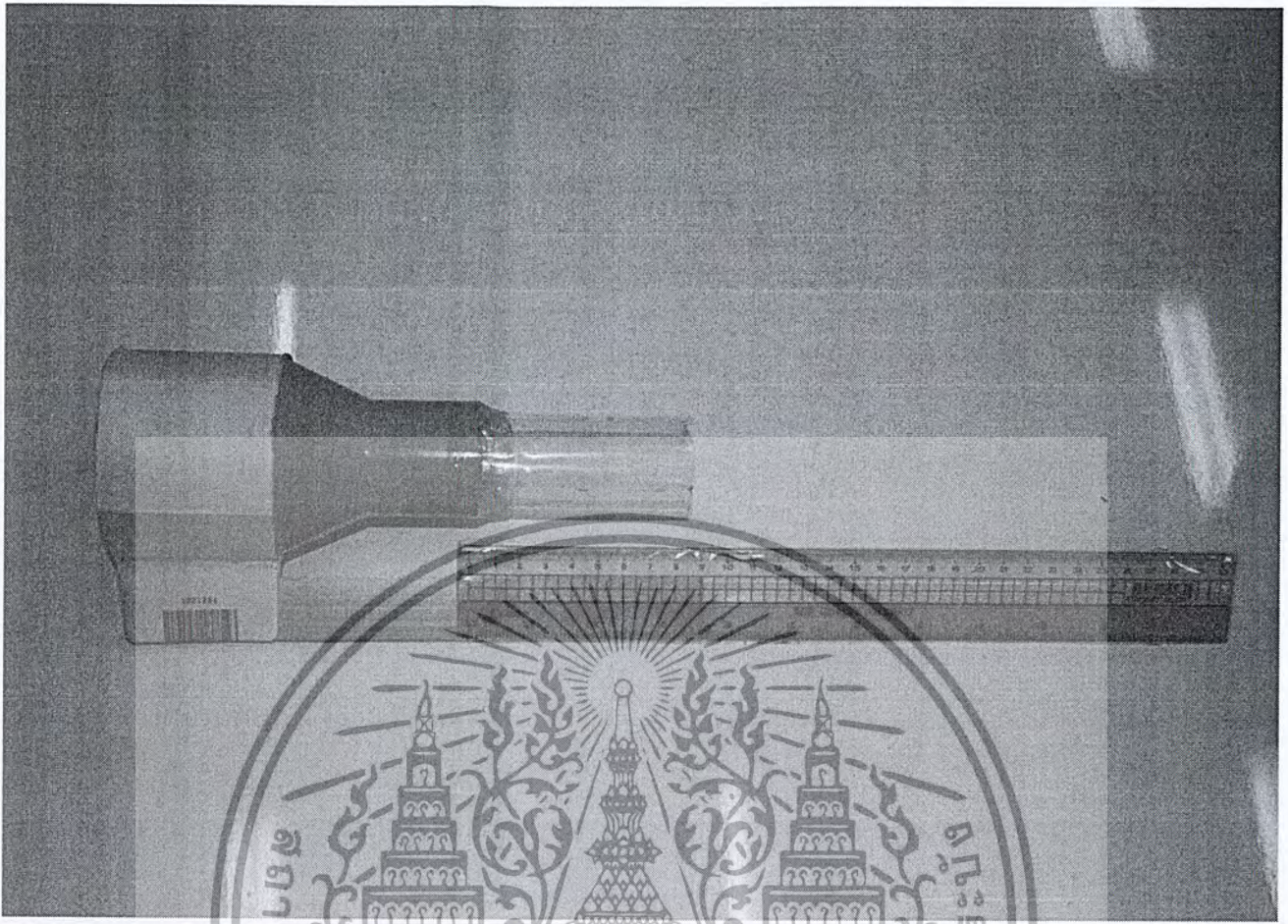


รูปที่ 3. 2 แสดงแบบจำลองหัวทอลอง



รูปที่ 3.3 หัวทอลอง ท่อลมติดท่อพลาสติกใส(ด้านซ้าย) และท่อน้ำ(ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

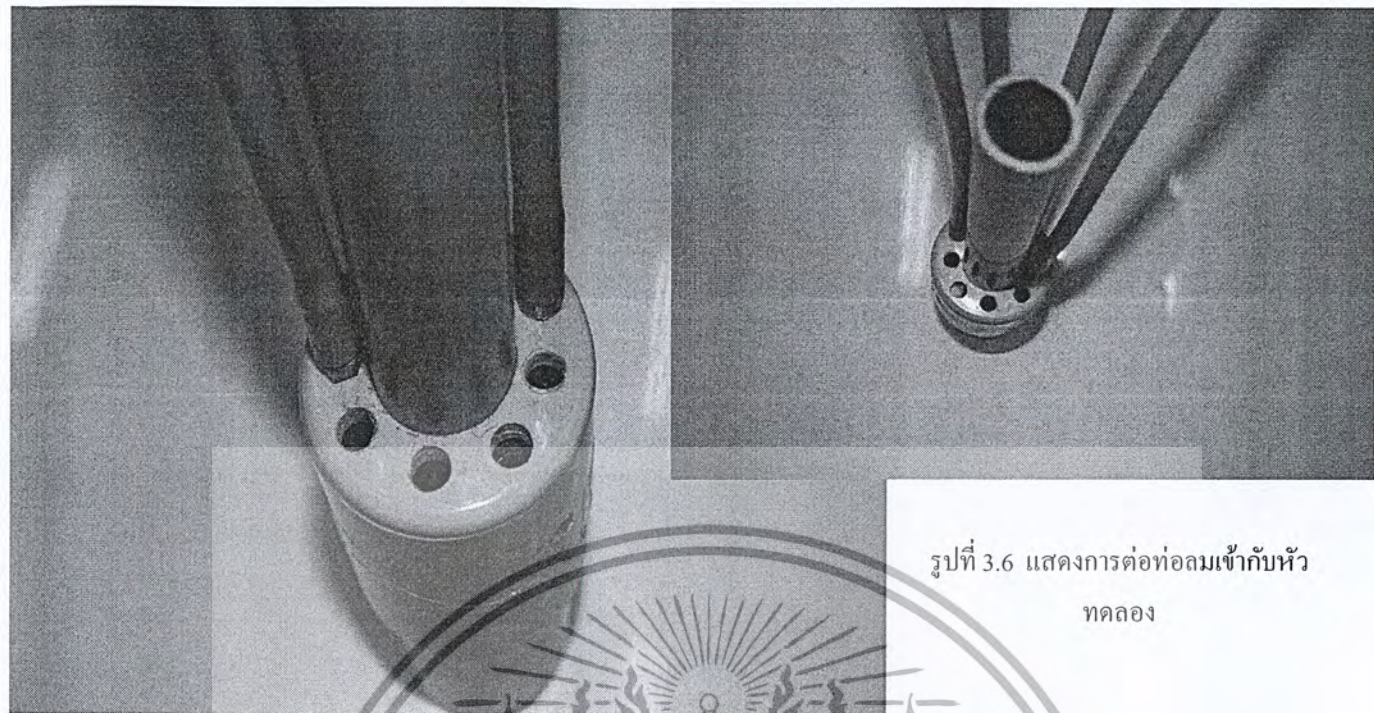


รูปที่ 3.4 หัวทดลองและไม้บรรทัดวัดระยะน้ำ

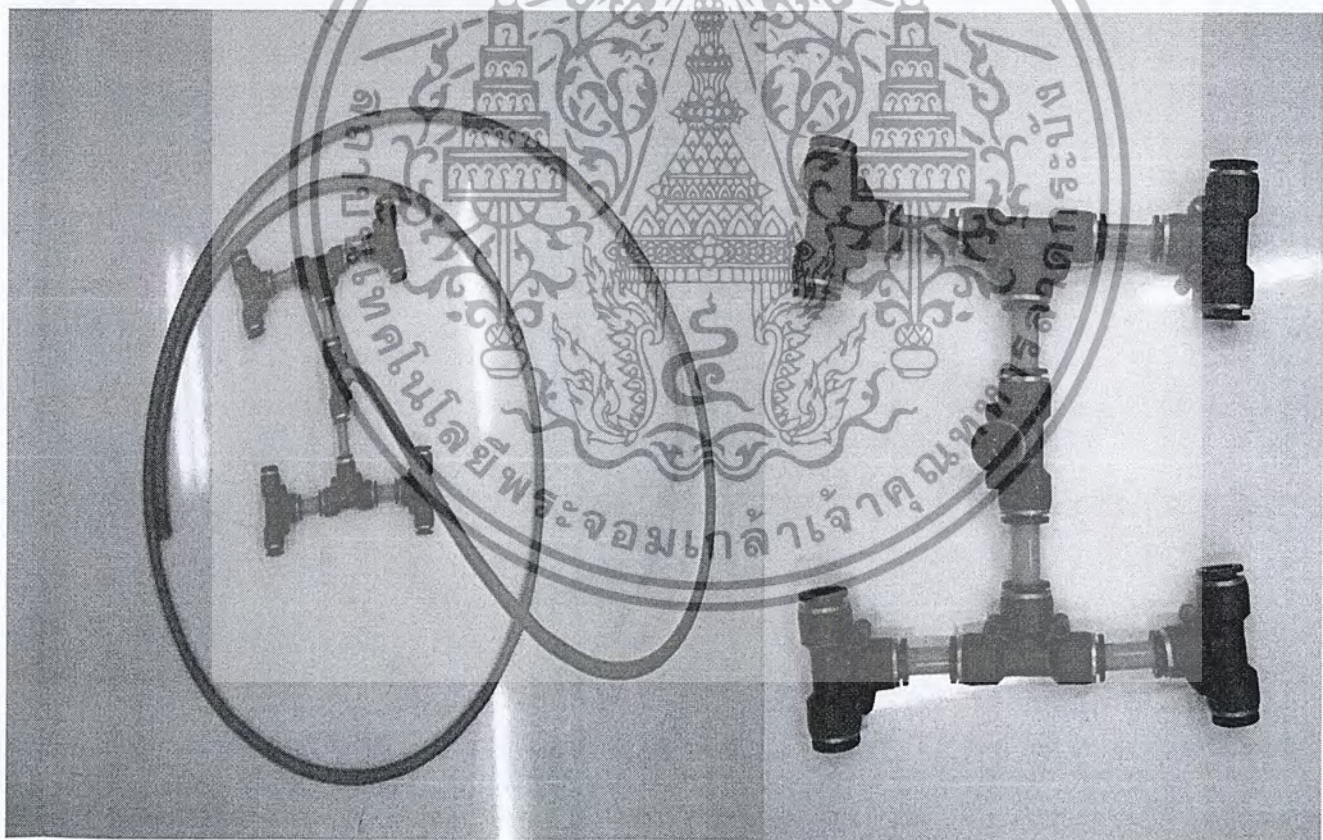


รูปที่ 3.5 แสดงการเจาะรูเพื่อต่อสายท่อลม 8 รู โดยรอบ และท่อน้ำตรงกลาง 1 รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



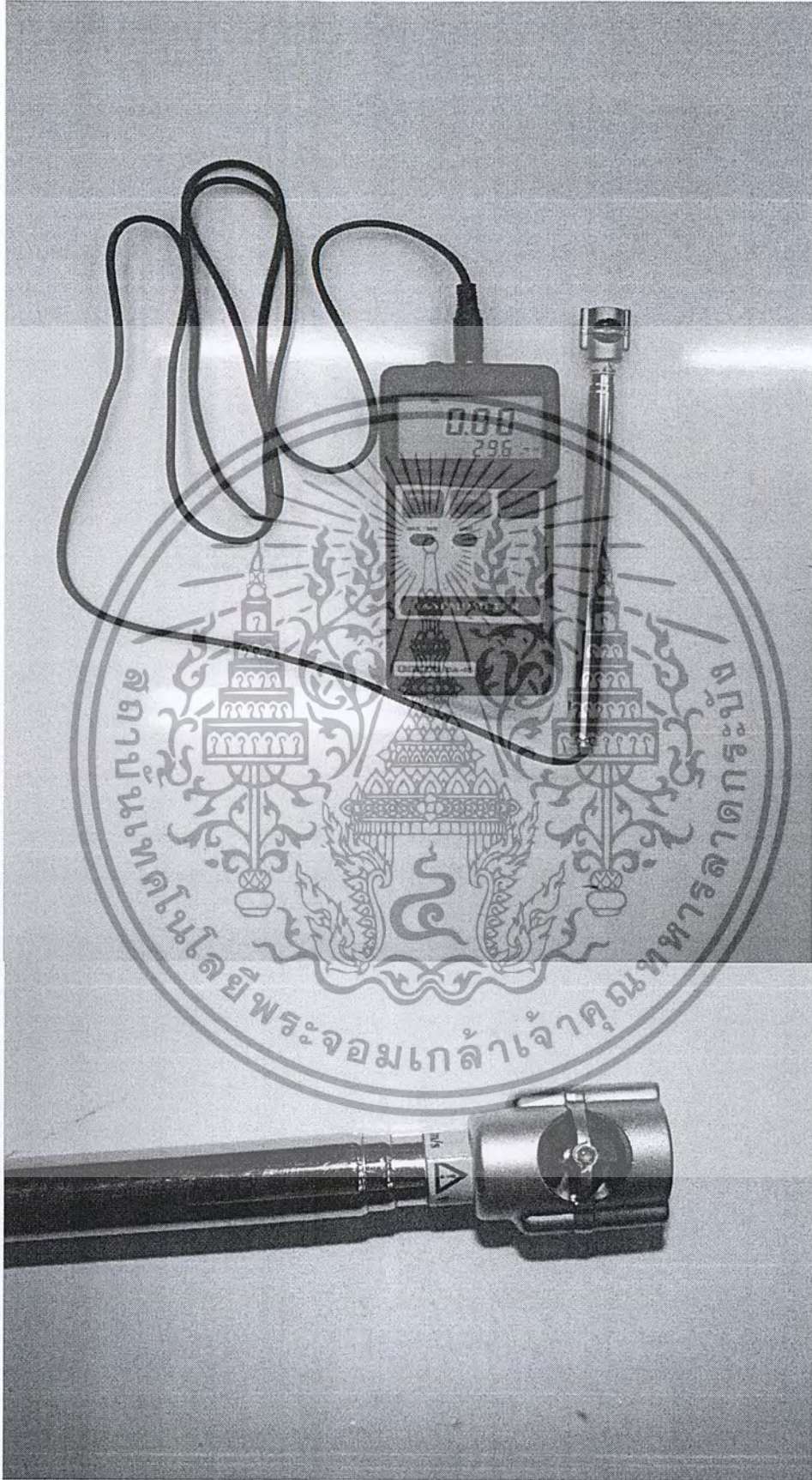
รูปที่ 3.6 แสดงการต่อท่อลมเข้ากับหัว
ทดลอง



รูปที่ 3.7 แสดงสายท่อลม และหัวแยกลม

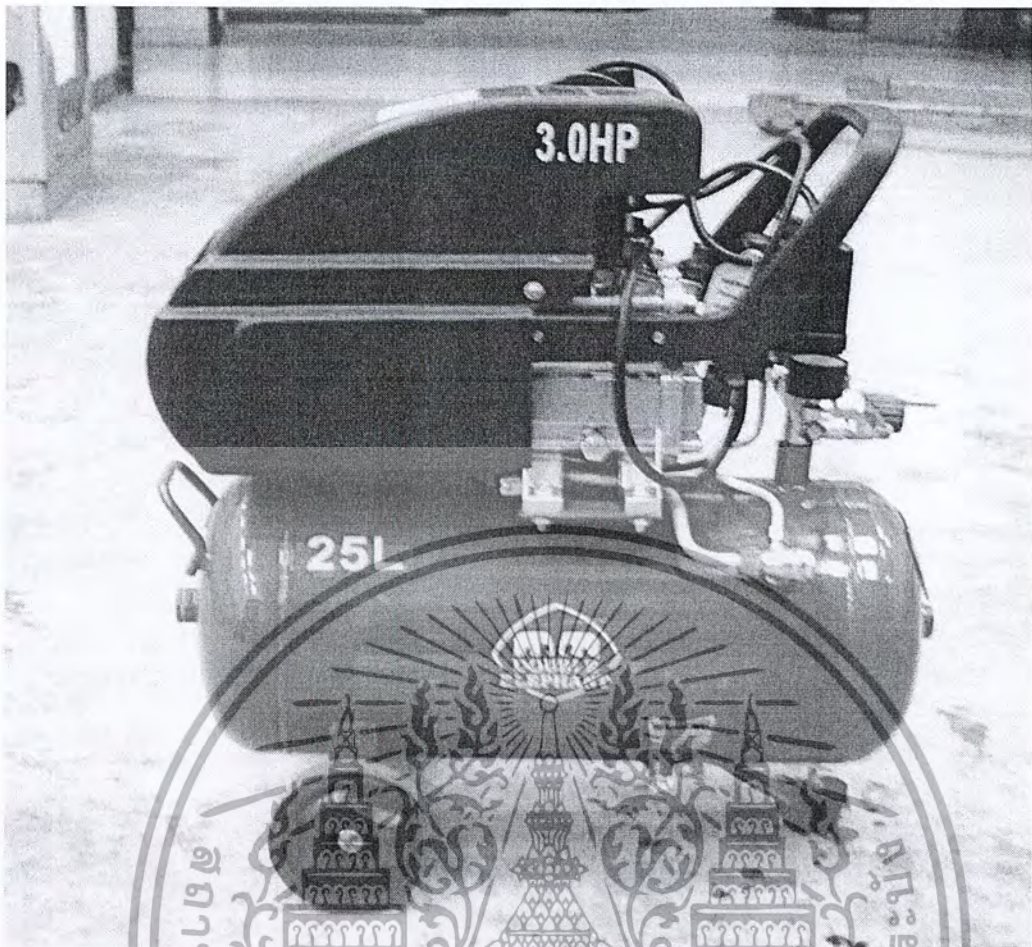
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119491



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

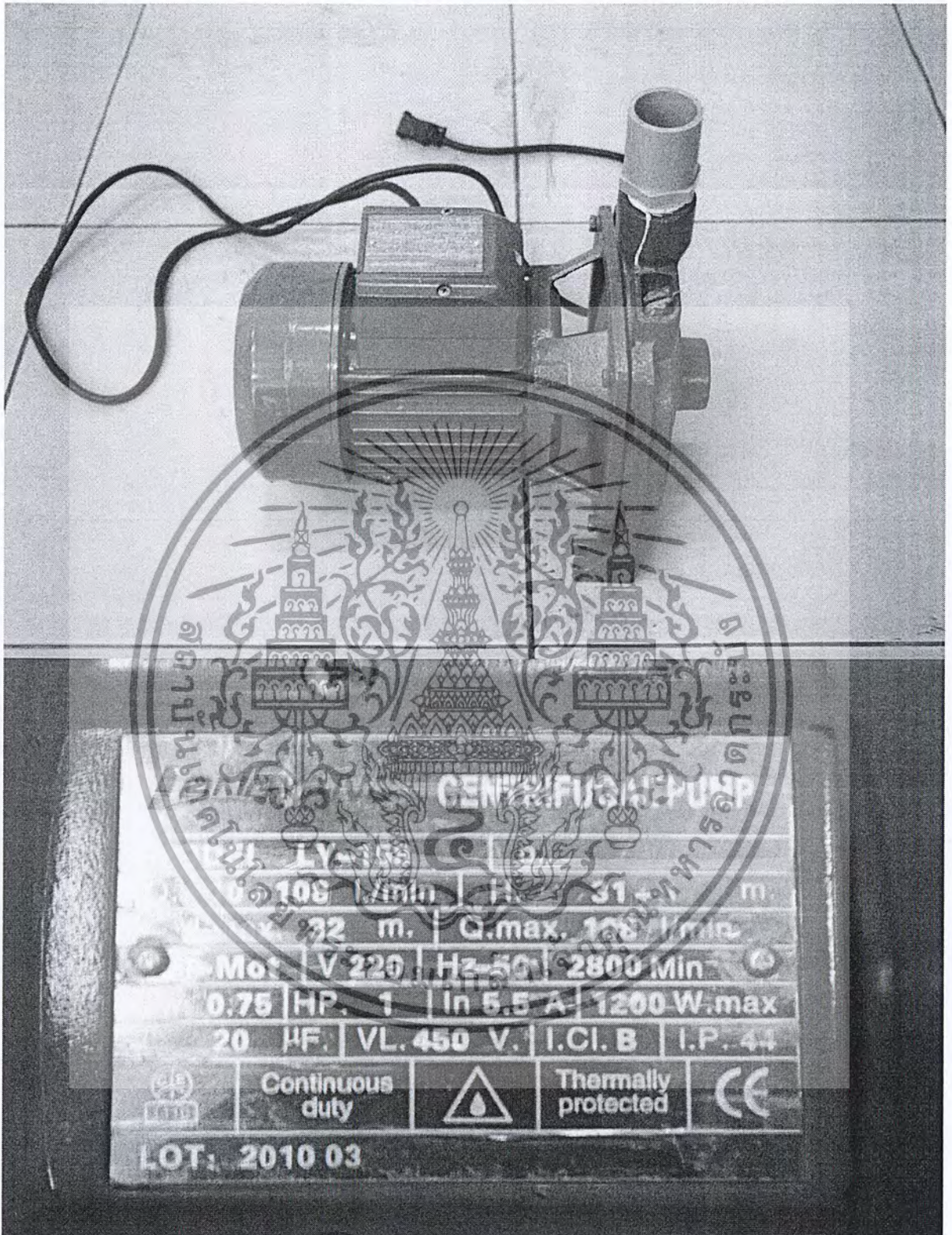


AIR COMPRESSOR

MODEL	ZBM25	POWER	3 HP	TANK CAP	25 l
			2.2 KW		6.6 gal
PRESS	8 Kg/cm ²			DATE	2010
	115 PSI	CAP	192 l/min		
	kpa		6.7 CFM	MFG NO	

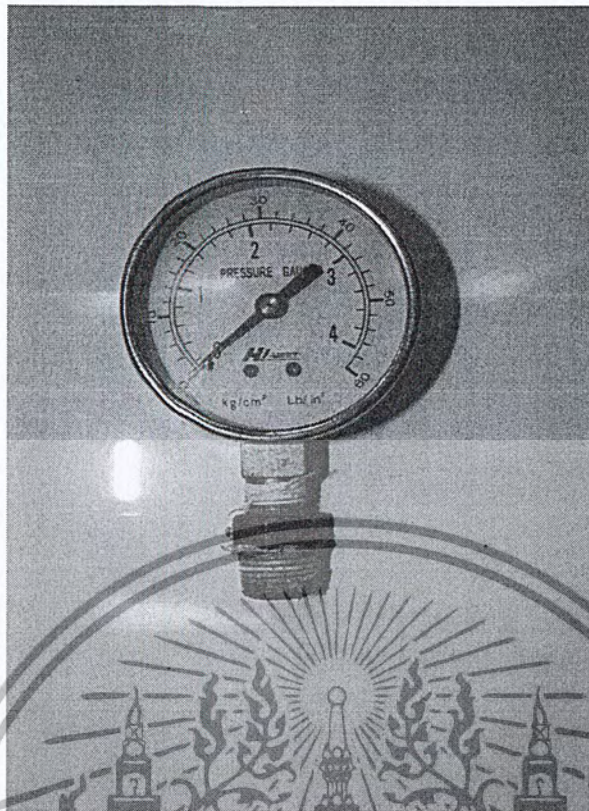
รูปที่ 3.9 ปัมลม (Air Pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำ(Water Pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เกจวัดความดันน้ำ



รูปที่ 3.12 เกจวัดความดันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร พร้อมขี้นครึ้นน้ำ

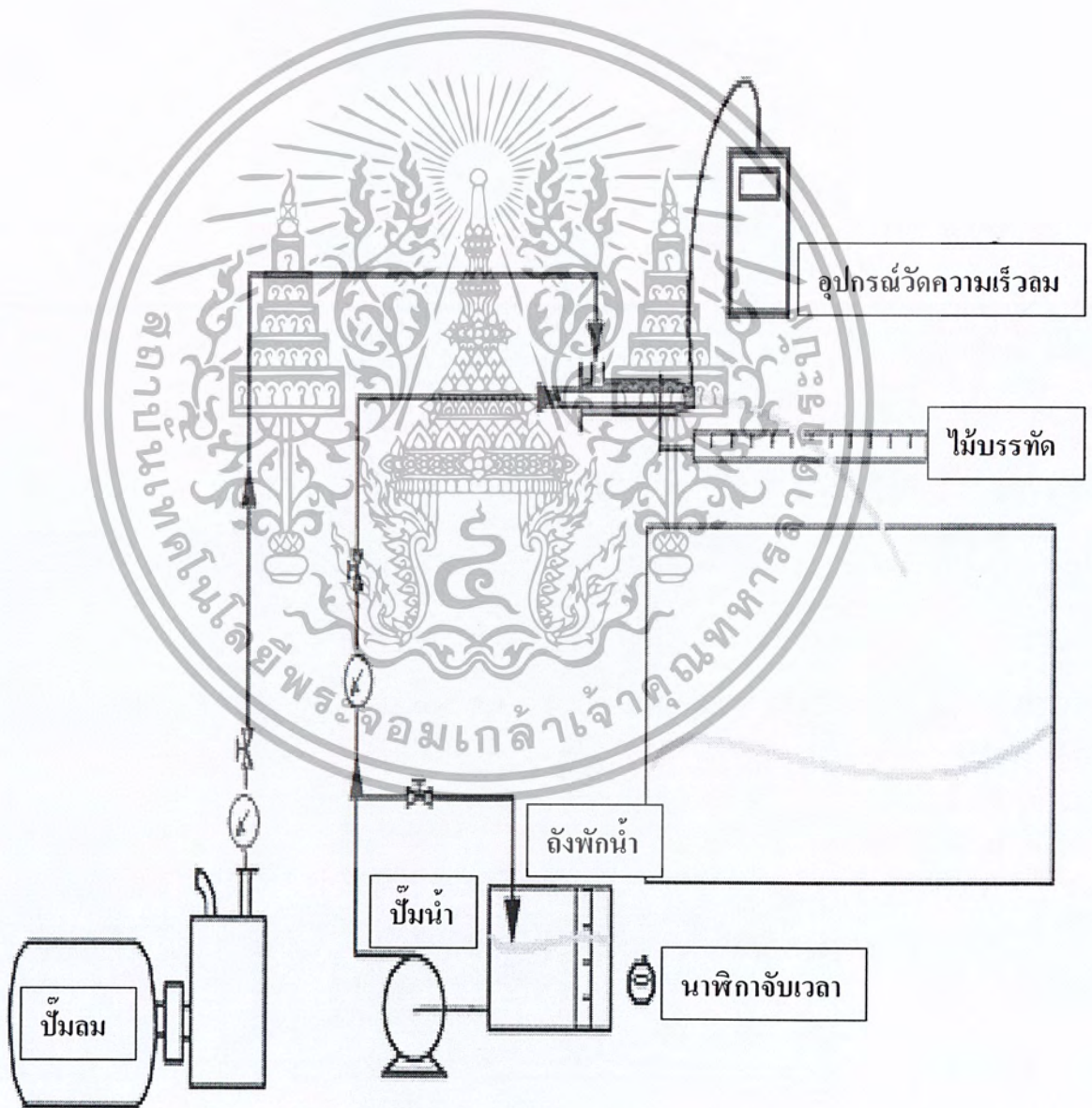


รูปที่ 3.14 โครงรองรับท่อน้ำและชุดการทดลอง และถังรองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงาน

1. ทำการศึกษาการหาค่าความเค้นเฉือนที่เกิดจากความหนืดของน้ำ และอากาศ
2. ออกแบบชุดทดลองเพื่อศึกษาการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อโดยใช้ฟิล์มอากาศ
3. ศึกษาและทดลองการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อโดยใช้ฟิล์มอากาศโดยให้อากาศไหลร่วมแกนโดยรอบสายน้ำมีความเร็ว 0 - 30 เมตรต่อวินาที และเอียงท่อลึกลงเป็นมุม 0° , 15° , 30° , 45° , 60° และ 75° โดยใช้ความเร็วน้ำ 3.30 - 6.90 เมตรต่อวินาที
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.13 แสดงระบบของชุดทดลองและตำแหน่งในการเก็บค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

1. ปรับมุมท่อฉีดน้ำโดยที่ปลายท่อฉีดไม้บรรทัดเพื่อวัดระยะของน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำ
2. เปิดปั้มน้ำ แล้วปรับวาล์วควบคุม ให้น้ำไหลออกมามีความเร็วตามที่กำหนด โดยใช้การจับเวลาที่น้ำไหลออกมาทุกๆ 10 ลิตร แล้วนำไปคำนวณร่วมกับขนาดท่อฉีดน้ำ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วของน้ำที่ต้องการ
3. ทำการวัดระยะที่น้ำพุ่งออกมา แล้วบันทึกค่าเป็นค่า L_w
4. เปิดปั้ลม จนถึงความดันสูงสุดของถังเก็บลม
5. เปิดวาล์วปั้ลม ให้อากาศไหลไปยังหัวทดลองโดย ให้อากาศไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำ และวัดความเร็วลม โดยใช้เครื่องความเร็วลมแบบใบพัดขนาดจิ๋ว
6. ทำการวัดระยะที่น้ำพุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำ แล้วบันทึกเป็นค่า L_{wa} พร้อมทั้งบันทึกค่าความเร็วลม
7. อากาศที่ไหลออกมาจากปั้ลมจะมีความเร็วลดลงเรื่อยๆ จนมีความเร็วเป็น 0 เมตรต่อวินาที

โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้มุมเอียงท่อฉีดตั้งแต่ 0 ถึง 75 องศา โดยปรับมุมเพิ่มขึ้นทีละ 15 องศา และในการปรับท่อฉีดเป็นมุมแต่ละค่านั้น ก็จะทดลองโดยใช้ความเร็วของน้ำตั้งแต่ 3.30 ถึง 6.90 เมตรต่อวินาที ร่วมกับความเร็วของอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น ตั้งแต่ 0 ถึง 30 เมตรต่อวินาที



บทที่ 4

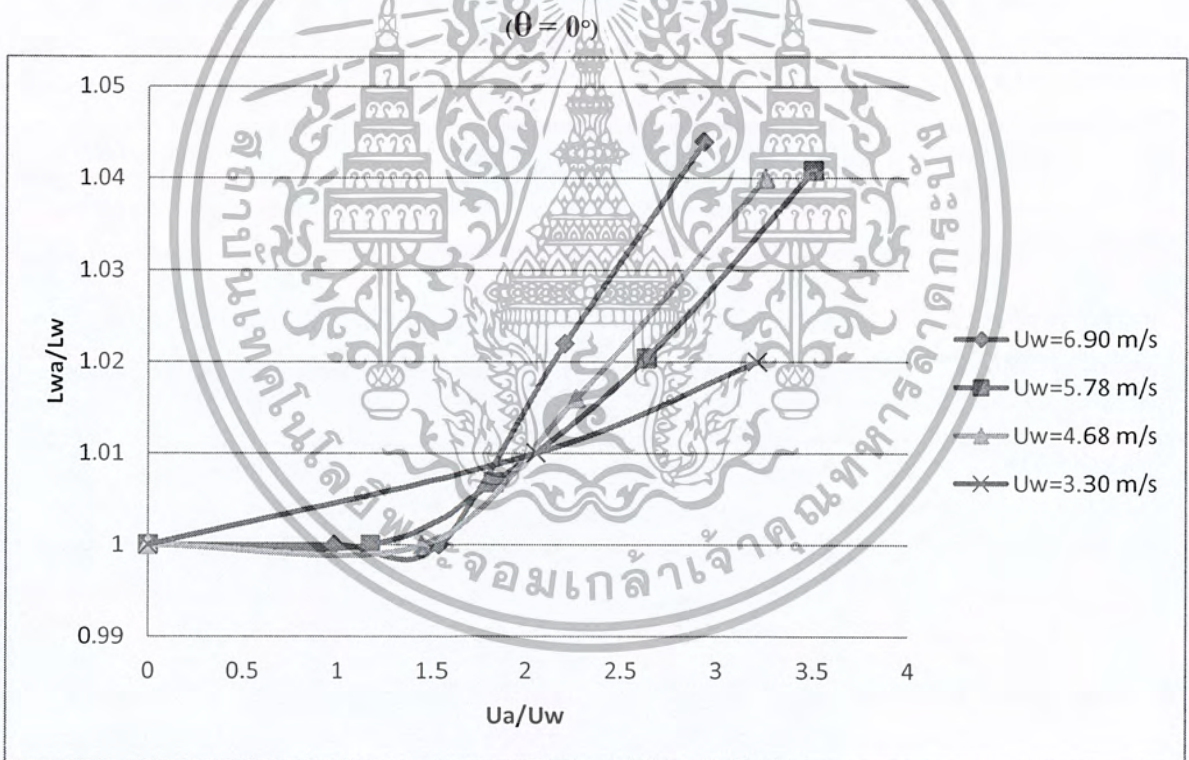
ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองให้การไหลของน้ำมีอากาศไหลร่วมแกน โดยรอบด้วย เพื่อดูว่าการไหลของอากาศโดยรอบนั้นส่งผลต่อระยะที่น้ำพุ่งออกมาจากท่ออย่างไรบ้าง โดยแสดงผลของอัตราส่วนระยะน้ำ กับ อัตราส่วนความเร็ว เมื่อวางท่อในแนวเอียงต่างๆ

4.1 ผลของความเร็วน้ำของอากาศ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลร่วมแกนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำเมื่อวางท่อตั้งน้ำในแนวระดับ



กราฟที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวระดับ

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{Ua}{Uw} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

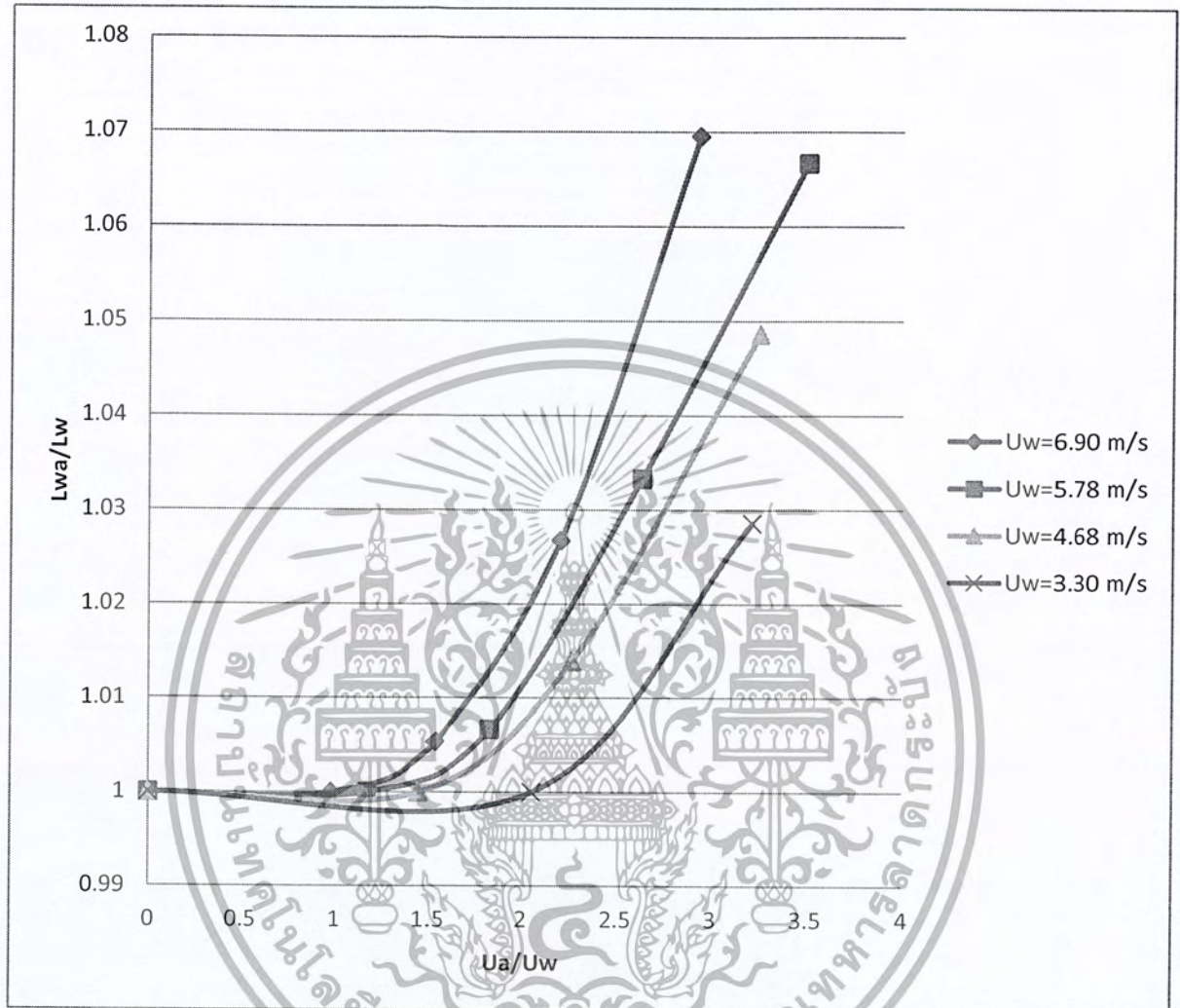
$2.0 < \frac{Ua}{Uw} < 3.5$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้น

อย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{Ua}{Uw} > 3.5$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจัดเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่

ชัดเจนได้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลร่วมแกนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำเมื่อวางท่อฉีดน้ำเอียง 15 องศา
($\theta = 15^\circ$)



กราฟที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 15°

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{U_a}{U_w} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

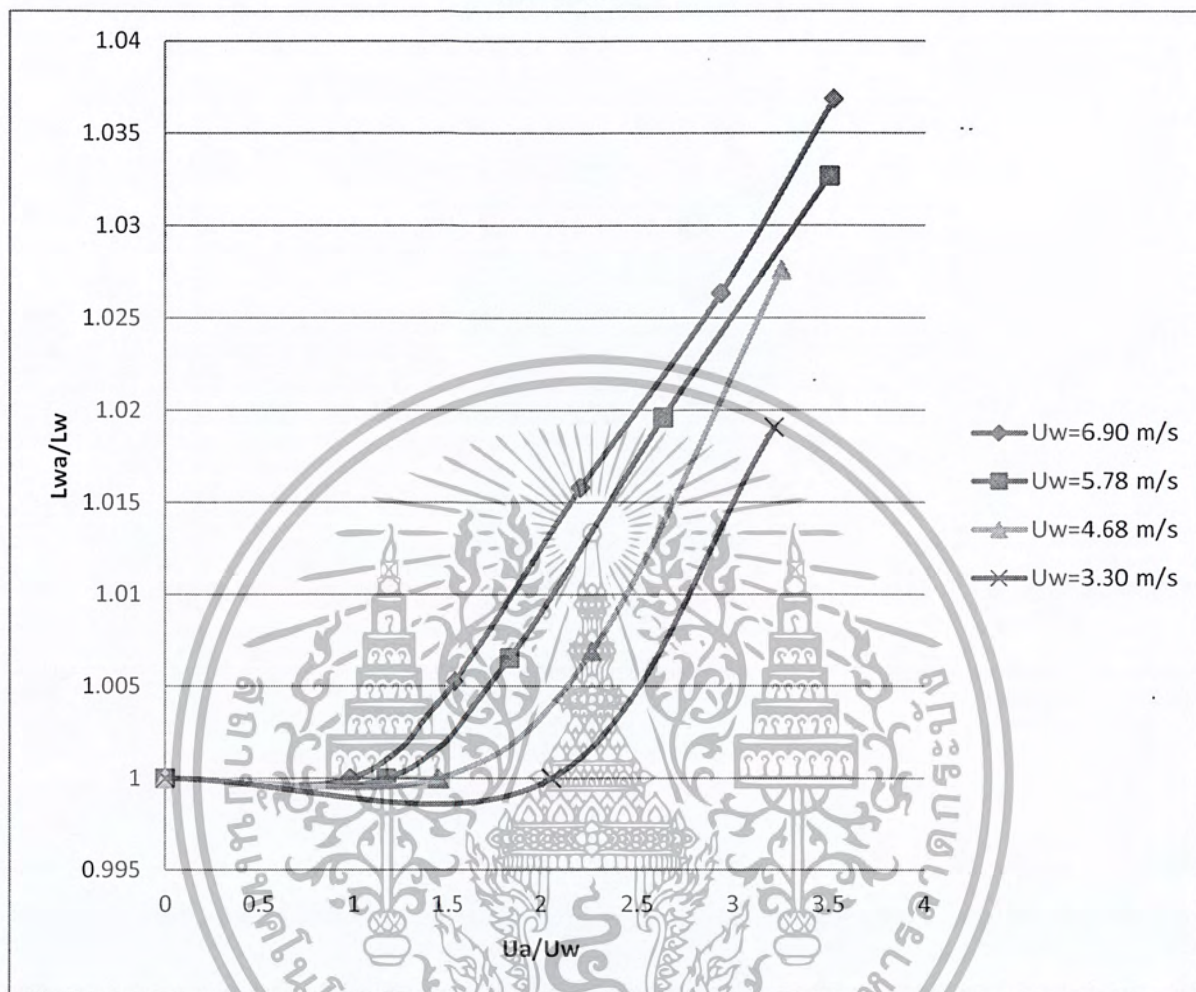
$2.0 < \frac{U_a}{U_w} < 3.5$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{U_a}{U_w} > 3.5$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจายเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่ชัดเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลรบกวนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำเมื่อวางท่อฉีดน้ำในแนวเอียง 30 องศา

($\theta = 30^\circ$)



กราฟที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 30°

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{U_a}{U_w} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

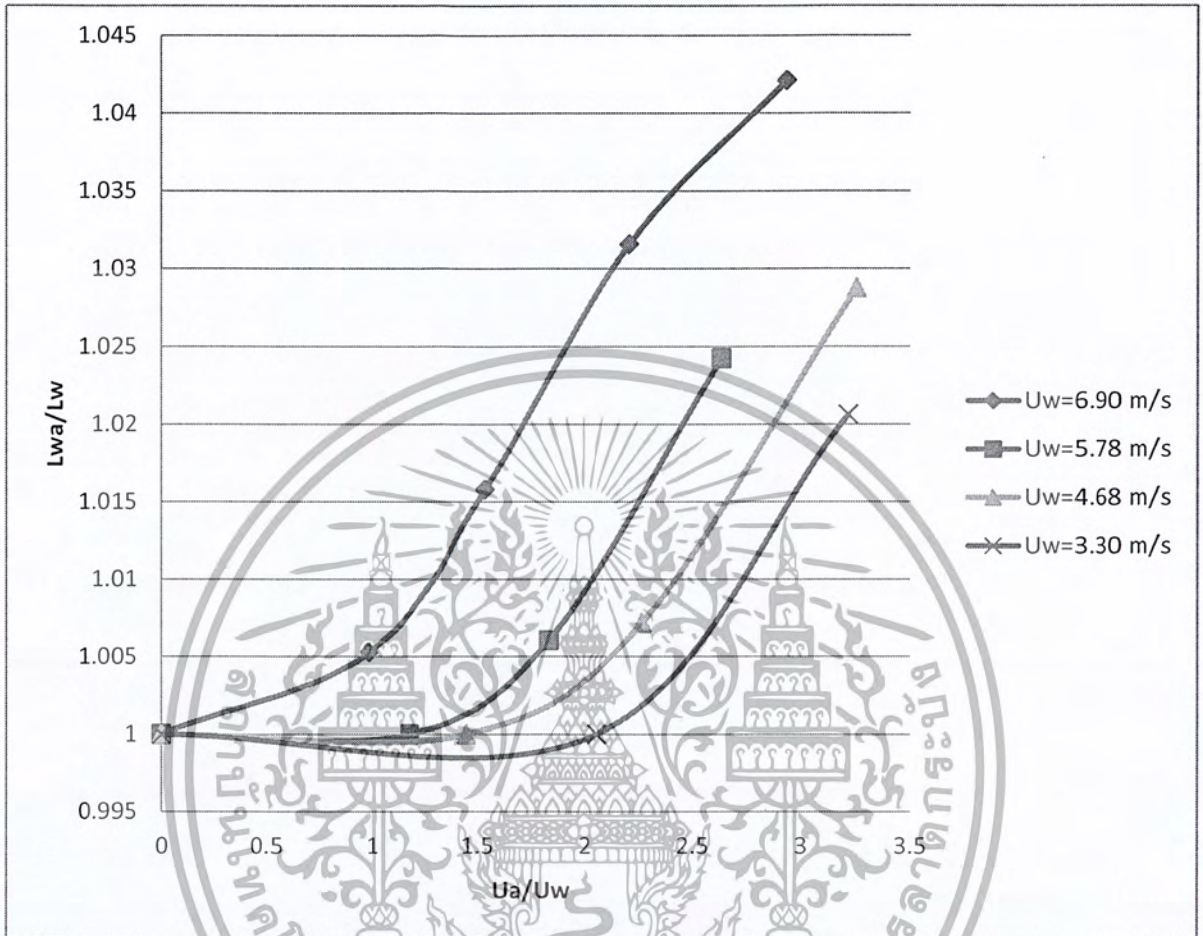
$2.0 < \frac{U_a}{U_w} < 3.5$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{U_a}{U_w} > 3.5$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจายเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่ชัดเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลร่วมแกนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำเมื่อวางท่อฉีดน้ำในแนวเอียง 45 องศา

($\theta = 45^\circ$)



กราฟที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 45°

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{Ua}{Uw} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

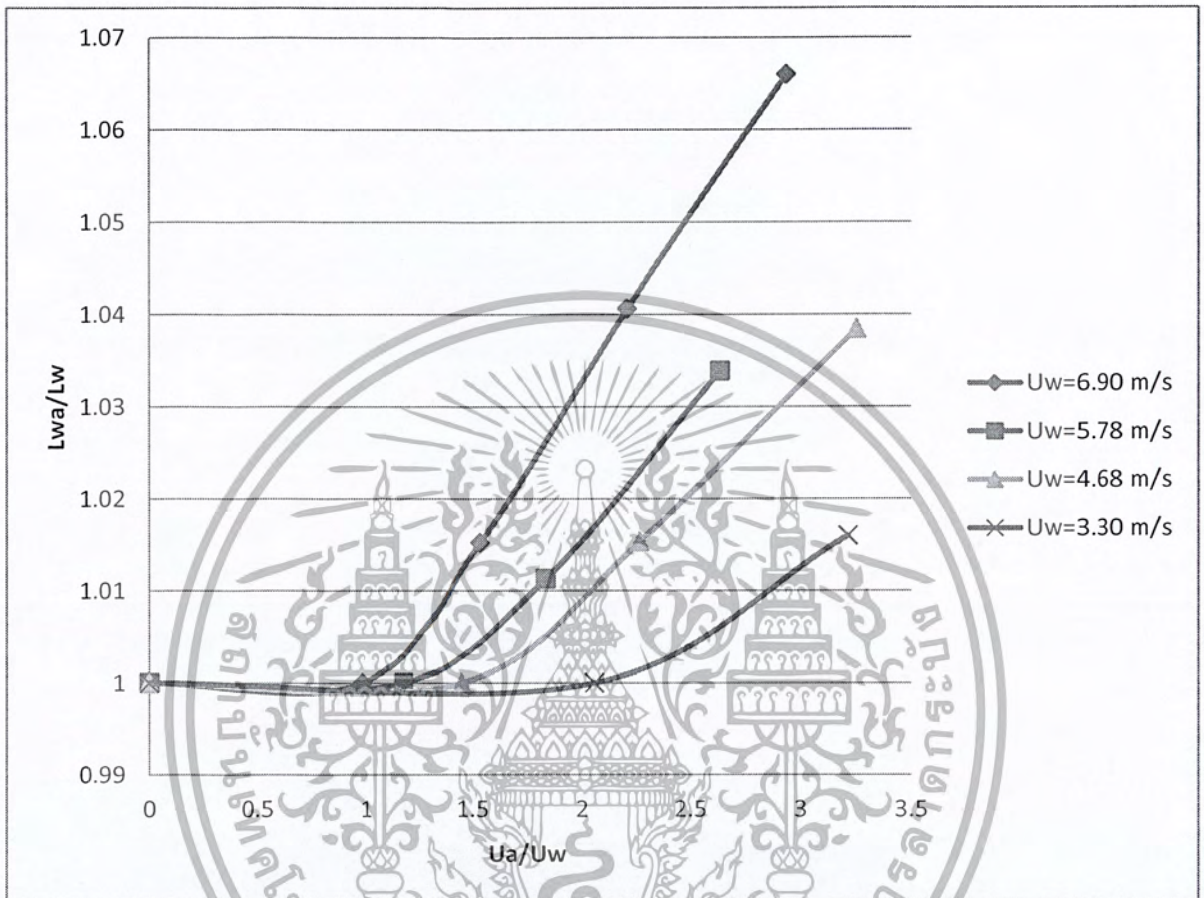
$2.0 < \frac{Ua}{Uw} < 3.3$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{Ua}{Uw} > 3.3$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจายเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่ชัดเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลรบกวนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำ เมื่อวางท่อฉีดน้ำในแนวเอียง 60 องศา

$$(\theta = 60^\circ)$$



กราฟที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 60°

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{U_a}{U_w} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

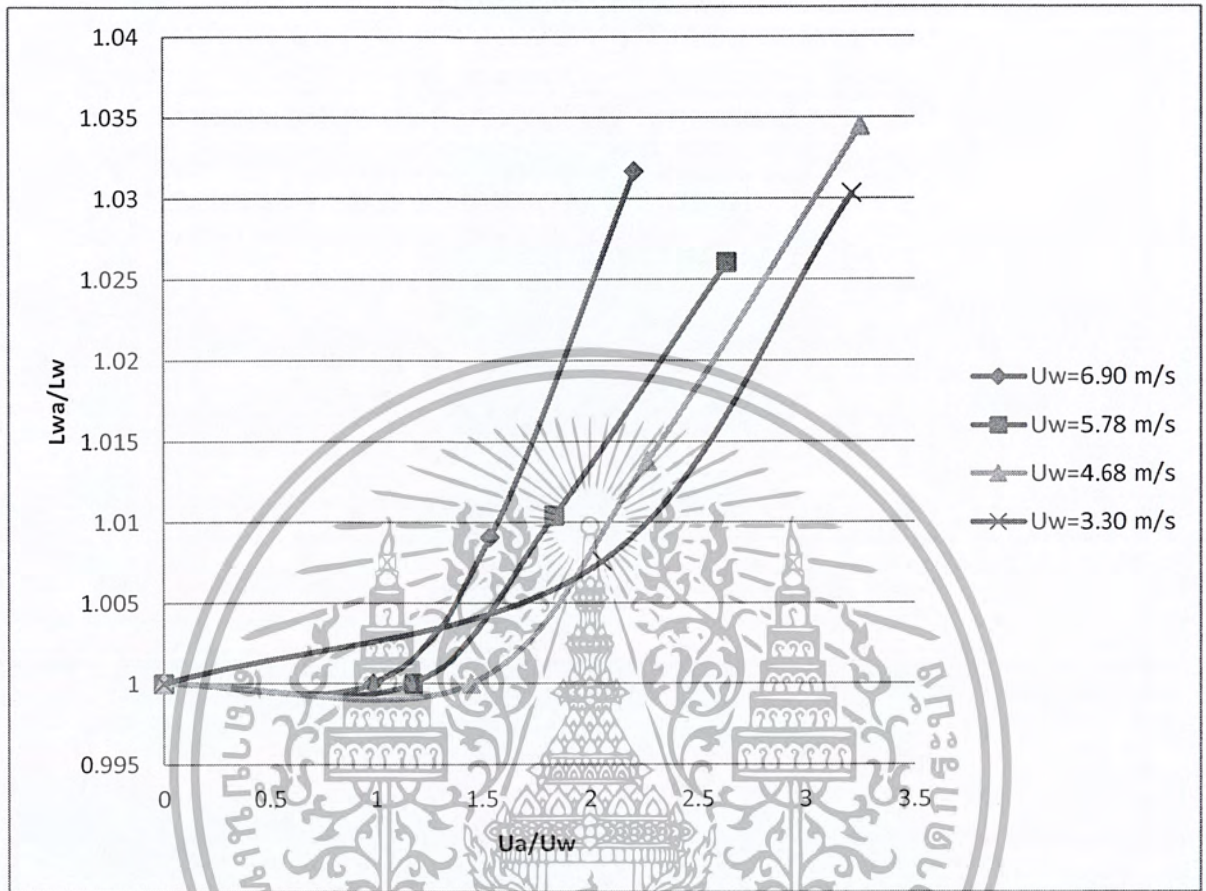
$2.0 < \frac{U_a}{U_w} < 3.2$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{U_a}{U_w} > 3.2$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจายเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่ชัดเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลรบกวนโดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำเมื่อวางท่อฉีดน้ำในแนวเอียง 75 องศา

($\theta = 75^\circ$)



กราฟที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 75°

จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อ

$\frac{U_a}{U_w} < 2.0$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศส่งผลค่อนข้างต่ำ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

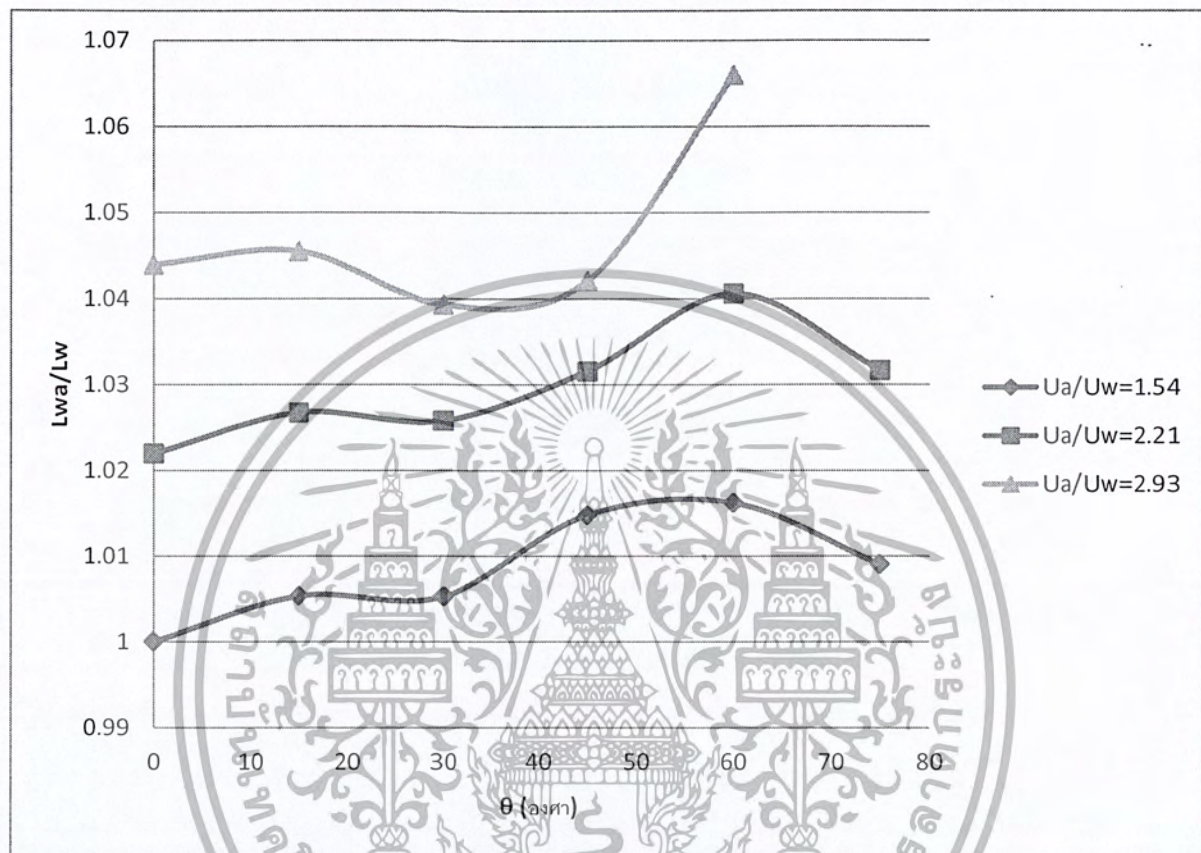
$2.0 < \frac{U_a}{U_w} < 3.5$ เป็นช่วงที่การไหลของอากาศทำให้ระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดพุ่งได้ไกลขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ ระยะน้ำที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย

$\frac{U_a}{U_w} > 3.5$ เป็นช่วงที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้ำกระจายเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดระยะน้ำที่ชัดเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการวางท่อฉีดในแนวเอียงทำมุมต่างๆ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลร่วมแกนโดยรอบต่อระยะน้ำ
เมื่อไม่มีการไหลของอากาศร่วมแกนด้วย กับ การวางท่อฉีดในแนวเอียงทำมุมต่างๆ



กราฟที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียงทำมุมต่างๆ

จากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับมุมเอียงในการวางแนวท่อฉีด โดยเพิ่มมุมทีละ 15 องศา จนถึงมุม 75 องศา จะเห็นได้ว่าที่มุมเอียงในการวางแนวท่อฉีด 60 องศา นั้น มีค่า อัตราส่วนระยะน้ำ สูงสุด สำหรับทุกค่า อัตราส่วนความเร็ว

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาและทดลองการลดแรงเสียดทานของน้ำภายในท่อโดยใช้ฟิล์มอากาศนี้ ได้ทำการศึกษาผลของระยะน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีด โดยพิจารณาใน 2 ส่วนคือ ผลของระยะน้ำเนื่องจากความเร็วของอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำ และผลของระยะน้ำเนื่องจากการวางท่อฉีดในแนวเอียงทำมุมต่างๆ เมื่อมีอากาศไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำ

สำหรับผลของระยะน้ำเนื่องจากความเร็วของอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้นจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การไหลของอากาศร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น ส่งผลให้ระยะของน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดได้ไกลขึ้น โดยต้องใช้ความเร็วที่เหมาะสม คือความเร็วของอากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้นต้องมีค่าประมาณ 2-3 เท่าของความเร็วของน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีด หากความเร็วของอากาศมีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของความเร็วน้ำ จะส่งผลต่อระยะที่น้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดน้อยมากคือ มีระยะไกลขึ้นน้อยกว่า 1% และถ้าหากความเร็วของอากาศมากกว่า 3.20 เท่าของความเร็วน้ำแล้วจะทำให้สายน้ำกระจายออกเป็นฝอย

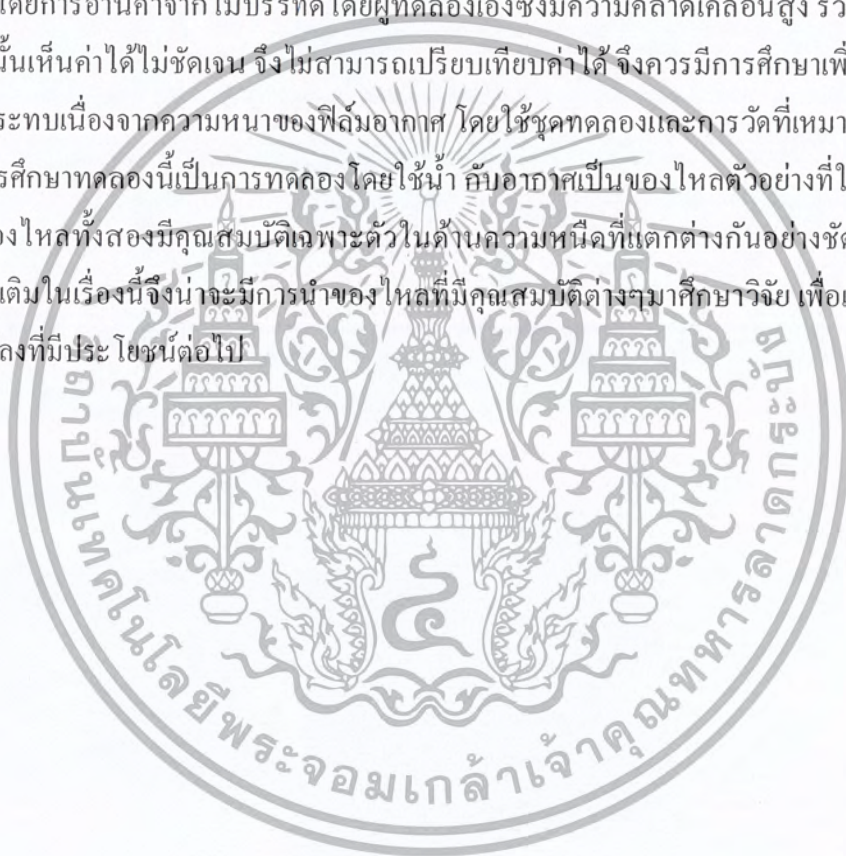
ในส่วนของผลกระทบนี้อาจเนื่องจากการวางท่อฉีดในแนวเอียงทำมุมต่างๆ เมื่อมีอากาศไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อวางท่อฉีดในแนวเอียงทำมุม 60 องศา กับแนวระดับ ค่าอัตราส่วนของระยะน้ำเมื่อมีอากาศไหลร่วมแกน โดยรอบต่อระยะน้ำเมื่อไม่มีอากาศไหลร่วมด้วยนั้น มีค่าสูงสุด นั่นคือ ที่มุมเอียงแนวท่อฉีด 60 องศา อากาศที่ไหลร่วมแกน โดยรอบสายน้ำนั้น ส่งผลต่อระยะของน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อฉีดมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำการทดลองนี้การวัดค่าต่างๆ เป็นการอ่านค่าด้วยสายตาของผู้ทดลองเอง ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดลอง ในการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องนี้จะมีความชัดเจนมากขึ้นหากมีอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงเป็นเครื่องมือช่วยในการวัด

2. ผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการไหลร่วมแกนโดยรอบสายน้ำนั้น นอกจากในเรื่องความเร็วของอากาศ และการวางท่อลึคน้ำในแนวเอียงต่างๆแล้ว ความหนาของฟิล์มอากาศก็ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน แต่เนื่องด้วยการวัดที่ผู้ทดลองใช้เป็นการวัดระยะที่น้ำเปลี่ยนแนวการไหล โดยการอ่านค่าจากไม้บรรทัดโดยผู้ทดลองเองซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงนั้นเห็นค่าได้ไม่ชัดเจน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่าได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบเนื่องจากความหนาของฟิล์มอากาศ โดยใช้ชุดทดลองและการวัดที่เหมาะสม

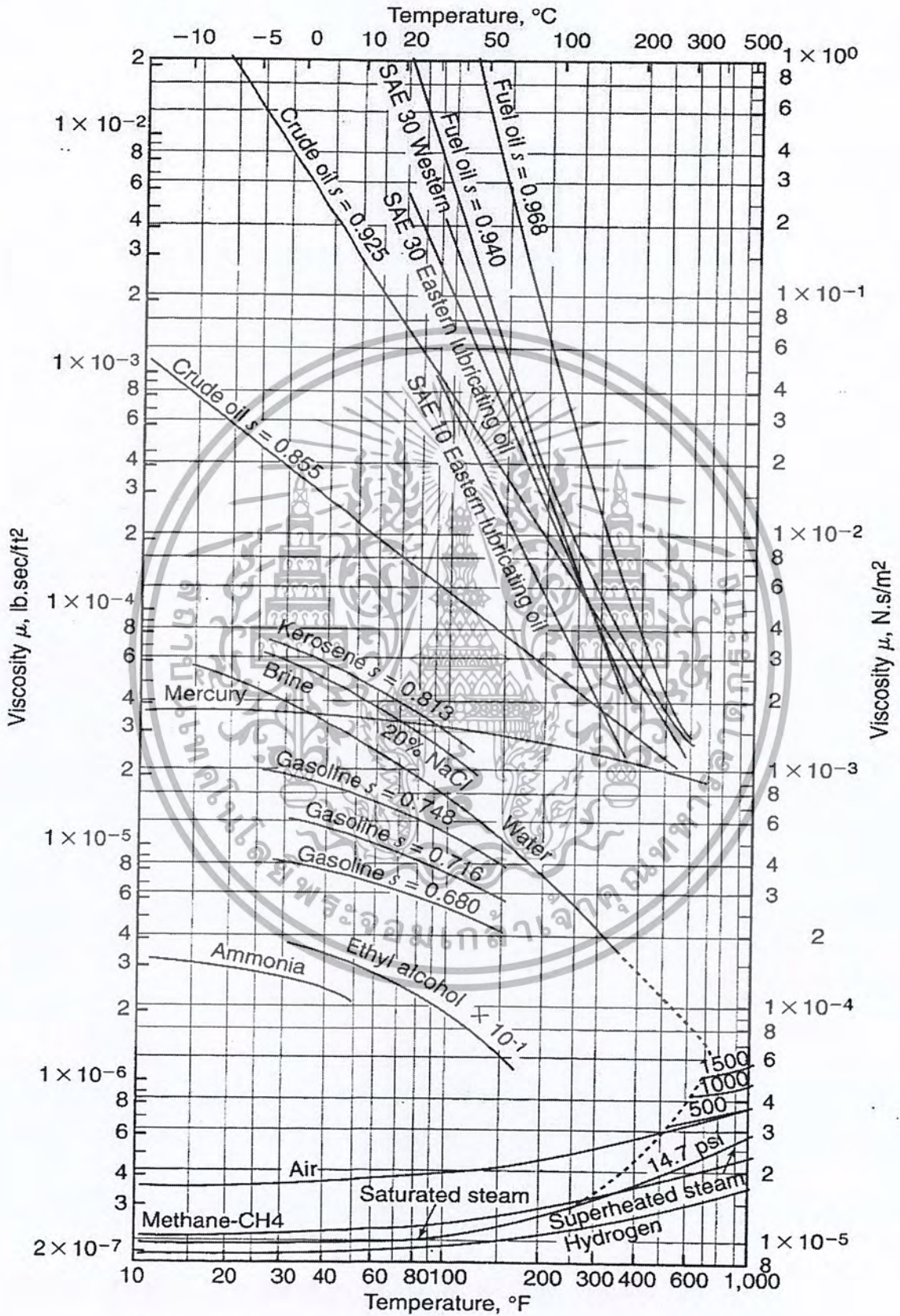
3. การศึกษาทดลองนี้เป็นการทดลองโดยใช้น้ำ อากาศเป็นของไหลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งของไหลทั้งสองมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในด้านความหนืดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องนี้จึงน่าจะมีการนำของไหลที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ มาศึกษาวิจัย เพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงที่มีประโยชน์ต่อไป





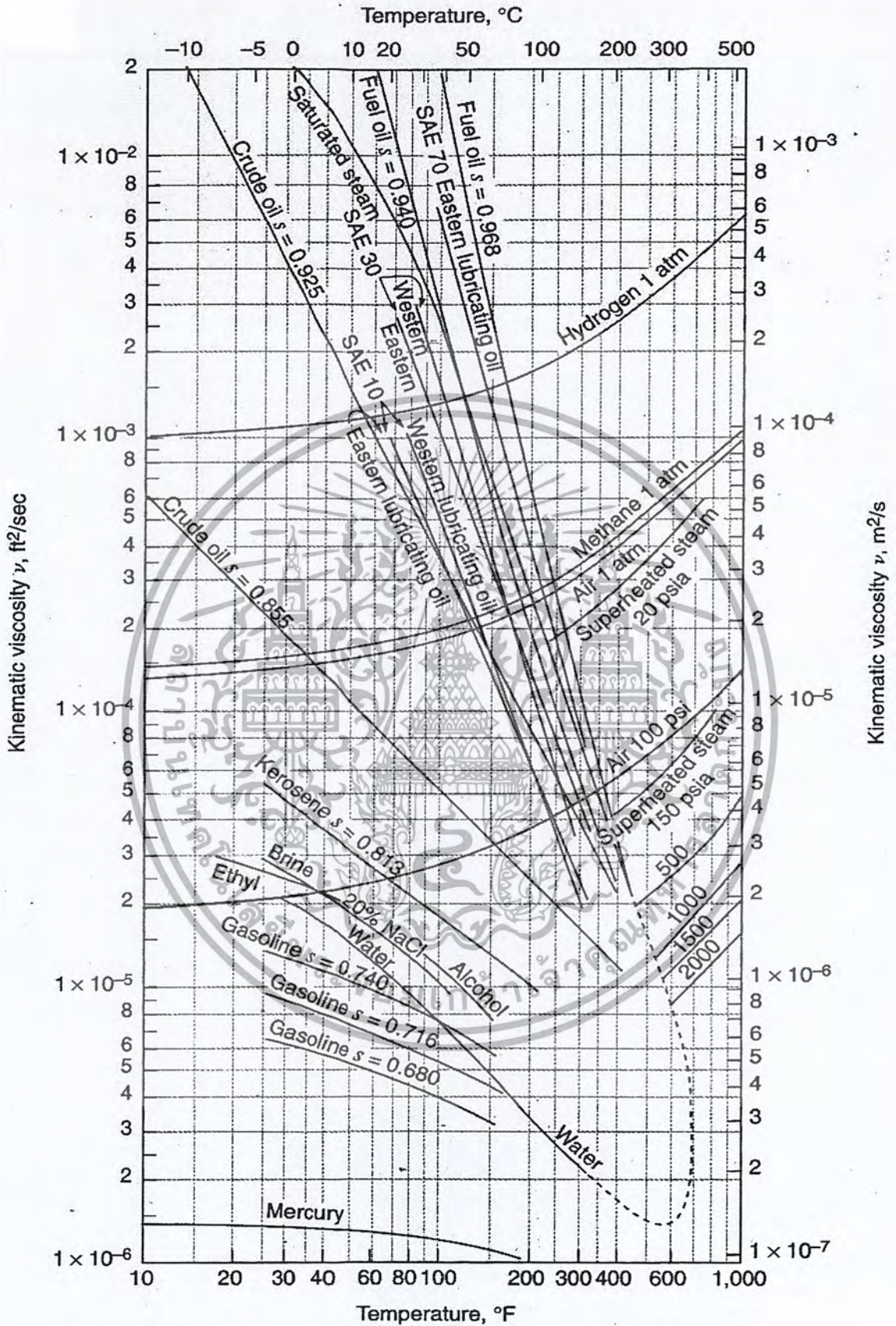
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความหนืดของของเหลวและแก๊สทั่วไป



กราฟที่ 4.8 ความหนืดสมบูรณ (μ) ของของเหลวและแก๊สทั่วไปเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.9 ความหนืดจลน์ (ν) ของของเหลวและแก๊สทั่วไปเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำและอากาศ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำในหน่วย SI [101 kPa (abs)]

อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักจำเพาะ (γ ; $\frac{kN}{m^3}$)	ความหนาแน่น (ρ ; $\frac{kg}{m^3}$)	ความหนืดสมบูรณ์ ($\mu \times 10^{-3}$, $\frac{N \times s}{m^2}$)	ความหนืดจลน์ ($\nu \times 10^{-6}$; $\frac{m^2}{s}$)
0	9.81	1000	1.75	1.75
5	9.81	1000	1.52	1.52
10	9.81	1000	1.30	1.30
15	9.81	1000	1.15	1.15
20	9.79	998	1.02	1.02
25	9.78	997	0.89	0.89
30	9.77	996	0.80	0.80
35	9.75	994	0.72	0.72
40	9.73	992	0.65	0.66
45	9.71	990	0.59	0.60
50	9.69	988	0.54	0.55
55	9.67	986	0.50	0.51
60	9.65	984	0.46	0.47
65	9.62	981	0.43	0.44
70	9.59	978	0.40	0.41
75	9.56	975	0.37	0.38
80	9.53	971	0.35	0.36
85	9.50	968	0.33	0.34
90	9.47	965	0.31	0.32
95	9.44	962	0.29	0.30
100	9.40	958	0.28	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศที่ความดันบรรยากาศมาตรฐานในหน่วย SI

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (ρ ; $\frac{kg}{m^3}$)	น้ำหนักจำเพาะ (γ ; $\frac{N}{m^3}$)	ความหนืดสมบูรณ์ ($\mu \times 10^{-5}$, $\frac{N \cdot s}{m^2}$)	ความหนืดจลน์ ($\nu \times 10^{-5}$; $\frac{m^2}{s}$)
-40	1.514	14.85	1.51	0.998
-30	1.452	14.24	1.56	1.08
-20	1.394	13.67	1.62	1.16
-10	1.341	13.15	1.67	1.24
0	1.292	12.67	1.72	1.33
10	1.247	12.23	1.77	1.42
20	1.204	11.81	1.81	1.51
30	1.164	11.42	1.86	1.60
40	1.127	11.05	1.91	1.69
50	1.092	10.71	1.95	1.79
60	1.060	10.39	1.99	1.89
70	1.029	10.09	2.04	1.99
80	0.9995	9.802	2.09	2.09
90	0.9720	9.532	2.13	2.19
100	0.9459	9.277	2.17	2.30
110	0.9213	9.034	2.22	2.40
120	0.8978	8.805	2.26	2.51

หมายเหตุ : คุณสมบัติของอากาศสำหรับค่ามาตรฐานที่ระดับน้ำทะเลแสดงไว้ดังนี้

อุณหภูมิ	15°C
ความดัน	101.325 kPa
ความหนาแน่น	1.225 kg/m ³
น้ำหนักจำเพาะ	12.01 N/m ³
ความหนืดสมบูรณ์	1.789 × 10 ⁻⁵ N·s/m ²
ความหนืดจลน์	1.46 × 10 ⁻⁵ m ² /s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเร็วน้ำไหล

การคำนวณหาความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อฉีดจากอัตรการไหล

จาก

$$Q = \frac{V}{t} = vA$$

จะได้ว่า

$$v = \frac{V}{At}$$

โดยในการทดลอง จะทำการจับเวลาจากน้ำที่ไหลออกจากถังน้ำทุกๆ 10 ลิตร แล้วนำเวลาที่
ได้มาเฉลี่ยแล้วจึงคำนวณหาความเร็วของน้ำ เช่น ในการทดลองครั้งหนึ่ง จับเวลาน้ำทุกๆ 10 ลิตร
ที่น้ำไหลออกมาจากถังน้ำ ได้เวลาดังนี้ 53.54 วินาที, 53.89 วินาที, 55.03 วินาที, 55.20 วินาทีและ
55.45 วินาที

ซึ่งเวลาโดยเฉลี่ยคือ $\frac{53.54+53.89+55.03+55.20+55.45}{5} = 54.62$ วินาที

จาก

$$v = \frac{V}{At}$$

โดยที่ v

คือ ความเร็วของน้ำที่พุ่งออกมาจากปลายท่อฉีด

V

คือ ปริมาตรของน้ำ ในการทดลองจะจับเวลาทุกๆ 10 ลิตร หรือ 0.01 ลูกบาศก์เมตร

A

คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อฉีดน้ำ ในการทดลองใช้ท่อขนาด 9.8 มิลลิเมตร จะได้ว่า

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (9.8 \times 10^{-3})^2}{4} = 7.54 \times 10^{-5} \text{ ตารางเมตร}$$

t

คือ เวลาที่เฉลี่ยที่น้ำไหลทุกๆ 10 ลิตร เท่ากับ 54.62 วินาที

ดังนั้น

$$v = \frac{0.01}{(7.54 \times 10^{-5}) \times 54.62} = 2.43 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

∴ ความเร็วของน้ำที่พุ่งออกมาจากปลายท่อฉีดมีความเร็วเท่ากับ 2.43 เมตรต่อวินาที



ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ 3 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวระดับ 0°

ความเร็วของน้ำไหล (m/s)	ความเร็วของอากาศ	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำ (Ua/Uw)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหล (Lwa/Lw)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	*	3.524638	-
	20.25	19	2.934783	1.043956
	15.23	18.6	2.207246	1.021978
	10.61	18.2	1.537681	1
	6.79	18.2	0.984058	1
	0	18.2	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	15.3	3.50346	1.040816
	15.23	15	2.634948	1.020408
	10.61	14.8	1.83564	1.006803
	6.79	14.7	1.17474	1
	0	14.7	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	13	3.254274	1.04
	10.61	12.7	2.267094	1.016
	6.79	12.5	1.450855	1
	0	12.5	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	10.2	3.215152	1.02
	6.79	10.1	2.057576	1.01
	0	10	0	1

หมายเหตุ * คือ น้ำมีการกระจายตัวเป็นฝอยจนไม่สามารถวัดค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 15°

ความเร็วของน้ำไหล (m/s)	ความเร็วของอากาศ	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำ (U_a/U_w)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหล (L_{wa}/L_w)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	*	3.524638	-
	20.25	20	2.934783	1.069519
	15.23	19.2	2.207246	1.026738
	10.61	18.8	1.537681	1.005348
	6.79	18.7	0.984058	1
	0	18.7	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	16	3.50346	1.066667
	15.23	15.5	2.634948	1.033333
	10.61	15.1	1.83564	1.006667
	6.79	15	1.17474	1
	0	15	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	15.1	3.254274	1.048611
	10.61	14.6	2.267094	1.013889
	6.79	14.4	1.450855	1
	0	14.4	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	10.8	3.215152	1.028571
	6.79	10.5	2.057576	1
	0	10.5	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 30°

ความเร็วของน้ำ (m/s)	ความเร็วของอากาศไหล	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็วของอากาศต่อความเร็วของน้ำ (U_a/U_w)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหล (L_{wa}/L_w)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	19.7	3.524638	1.036842
	20.25	19.5	2.934783	1.026316
	15.23	19.3	2.207246	1.015789
	10.61	19.1	1.537681	1.005263
	6.79	19	0.984058	1
	0	19	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	15.8	3.50346	1.03268
	15.23	15.6	2.634948	1.019608
	10.61	15.4	1.83564	1.006536
	6.79	15.3	1.17474	1
	0	15.3	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	14.9	3.254274	1.027586
	10.61	14.6	2.267094	1.006897
	6.79	14.5	1.450855	1
	0	14.5	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	10.7	3.215152	1.019048
	6.79	10.5	2.057576	1
	0	10.5	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 45°

ความเร็วของ น้ำไหล (m/s)	ความเร็วของ อากาศไหล	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็วของ อากาศต่อความเร็วของน้ำ (U_a/U_w)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะ น้ำที่ไหล (L_{wa}/L_w)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	*	3.524638	-
	20.25	19.8	2.934783	1.042105
	15.23	19.6	2.207246	1.031579
	10.61	19.3	1.537681	1.015789
	6.79	19.1	0.984058	1.005263
	0	19	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	*	3.50346	-
	15.23	16.9	2.634948	1.024242
	10.61	16.6	1.83564	1.006061
	6.79	16.5	1.17474	1
	0	16.5	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	14.3	3.254274	1.028777
	10.61	14	2.267094	1.007194
	6.79	13.9	1.450855	1
	0	13.9	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	9.9	3.215152	1.020619
	6.79	9.7	2.057576	1
	0	9.7	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 60°

ความเร็วของ น้ำไหล (m/s)	ความเร็วของ อากาศไหล	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็ว ของอากาศต่อ ความเร็วของน้ำ (U_a/U_w)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ไหล ร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำที่ไหล (L_{wa}/L_w)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	*	3.524638	-
	20.25	21	2.934783	1.06599
	15.23	20.5	2.207246	1.040609
	10.61	20	1.537681	1.015228
	6.79	19.7	0.984058	1
	0	19.7	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	*	3.50346	-
	15.23	18.3	2.634948	1.033898
	10.61	17.9	1.83564	1.011299
	6.79	17.7	1.17474	1
	0	17.7	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	13.5	3.254274	1.038462
	10.61	13.2	2.267094	1.015385
	6.79	13	1.450855	1
	0	13	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	12.7	3.215152	1.016
	6.79	12.5	2.057576	1
	0	12.5	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงผลข้อมูลการทดลองเมื่อวางท่อในแนวเอียง 75°

ความเร็วของ น้ำไหล (m/s)	ความเร็วของ อากาศไหล	ระยะที่น้ำพุ่ง (cm)	อัตราส่วนความเร็วของ อากาศต่อความเร็วของน้ำ (U_a/U_w)	อัตราส่วนระหว่างระยะน้ำที่ ไหลร่วมกับอากาศต่อระยะน้ำ ที่ไหล (L_{wa}/L_w)
6.90	28.76	*	4.168116	-
	24.32	*	3.524638	-
	20.25	*	2.934783	-
	15.23	22.8	2.207246	1.031674
	10.61	22.3	1.537681	1.00905
	6.79	22.1	0.984058	1
	0	22.1	0	1
5.78	28.76	*	4.975779	-
	24.32	*	4.207612	-
	20.25	*	3.50346	-
	15.23	19.7	2.634948	1.026042
	10.61	19.4	1.83564	1.010417
	6.79	19.2	1.17474	1
	0	19.2	0	1
4.68	28.76	*	6.145299	-
	24.32	*	5.196581	-
	20.25	*	4.326923	-
	15.23	15	3.254274	1.034483
	10.61	14.7	2.267094	1.013793
	6.79	14.5	1.450855	1
	0	14.5	0	1
3.30	28.76	*	8.715152	-
	24.32	*	7.369697	-
	20.25	*	6.136364	-
	15.23	*	4.615152	-
	10.61	13.6	3.215152	1.030303
	6.79	13.3	2.057576	1.007576
	0	13.2	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H.-F. Liu et al., **Effect of liquid jet diameter on performance of coaxial two-fluid airblast atomizers**, Chemical Engineering and Processing 45 (2006) 240–245.
- [2] Y. Morozumi, J. Fukai , **Growth and structures of surface disturbances of a round liquid jet in a coaxial airflow**, Fluid Dynamics Research 34 (2004) 217–231.
- [3] A. Aliseda et al., **Atomization of viscous and non-newtonian liquids by a coaxial, high-speed gas jet. Experiments and droplet size modeling**, International Journal of Multiphase Flow 34 (2008) 161–175.
- [4] G.A. Siamas et al., **A numerical study of an annular liquid jet in a compressible gas medium**. International Journal of Multiphase Flow 34 (2008) 393–407.
- [5] G. Charalampous, Y. Hardalupas, A. Taylor, **Characterisation of instabilities on the interface of coaxial jets of immiscible liquids with Laser Induced Fluorescence**, 14th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics Lisbon, Portugal, 07-10 July, 2008.
- [6] LIU Kun, SUN De-jun, YIN Xie-yuan, **INSTABILITY OF GAS/LIQUID COAXIAL JET**, Department of Modern Mechanics, University of Science and Technology of China.
- [7] Robert L. Mott, **Applied Fluid Mechanis**. 6th ed. In SI Unit. Pearson-Prentice Hall, 2006.
- [8] มนตรี พิรุณเกษตร. รศ., **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพฯ: จิทยพัฒน์, 2550.

