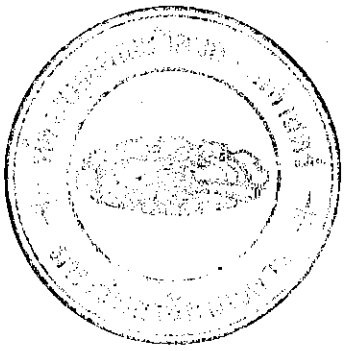


การออกแบบระบบหัวฉีดเพื่อใช้กับระบบลำน้ำแบบสมมาตรและราบเรียบ

(Design of axi-symmetric laminar jets)

นายทศพร ทำงาม

นายธรรมรัตน์ สารยศ

นายพจน์ กูลนะ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร
- 1 ก.ย. 2552
เลขทะเบียน 5200098
เลขเรียกหนังสือ

T5094148 e.2
ว.ร.
ท๒๖๘ก
๒๕๕๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : การออกแบบระบบหัวฉีดเพื่อใช้กับระบบลำน้ำแบบสมมาตรและราบเรียบ
(Design of axi-symmetric laminar jets)

ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายทศพร	ทำงาม	รหัสนิสิต	48380095
	: นายธรรมรัตน์	สารยศ	รหัสนิสิต	48380219
	: นายพจน์	กูลนะ	รหัสนิสิต	48380221
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2551			

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ประธานกรรมการ
(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อ.สุรัตน์ ปัญญาแก้ว)

.....กรรมการ
(อ.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงงาน	: การออกแบบระบบหัวฉีดเพื่อใช้กับระบบลำน้ำแบบสมมาตรและราบเรียบ			
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายทศพร	ทำงาม	รหัสนิสิต	48380095
	: นายธรรมรัตน์	สารยศ	รหัสนิสิต	48380219
	: นายพจน์	กูลนะ	รหัสนิสิต	48380221
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2551			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาออกแบบและสร้างระบบหัวฉีดเพื่อใช้กับลำน้ำที่มีลักษณะสมมาตรและราบเรียบ โดยการออกแบบจะเน้นให้ระบบหัวฉีดมีราคาถูกกว่าในท้องตลาด ลักษณะการออกแบบหัวฉีดโดยการใช้ท่อพีวีซีขนาด 12 เซนติเมตรอัตราการขยายระหว่างสายยางกับหัวฉีดเท่ากับ 6 เท่า ภายในท่อหัวฉีดประกอบด้วย หลอดกาแฟเพื่อใช้ในการจัดระเบียบของการไหล การทดลองจะวัดระยะของโปรเจกไตล์ ตามค่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นโดยใช้ตลับเมตรเป็นอุปกรณ์ในการวัด การวัดอัตราการไหลทำได้โดยการวัดแบบการชั่งตวงน้ำหนักแปรผันกับเวลาที่เปลี่ยนไป โดยการทดลองนี้จะมีการบันทึกภาพและบันทึกวีดีโอ เพื่อใช้ประกอบกับการศึกษา จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลสามารถทำการออกแบบระบบ โดยการลดจากช่วงการไหลที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วนไปสู่ช่วงการไหลแบบราบเรียบโดยการออกแบบหัวฉีดดังที่กล่าวมาข้างต้น

Project title	: Design of axi-symmetric laminar jets			
Name	: Mr. Tossaporn	Tumngam	Student ID	48380095
	: Mr. Thammarat	Sarnyote	Student ID	48380219
	: Mr. Phot	Koolna	Student ID	48380221
Project Advisor	: Dr. Anunchai Youkaew			
Department	: Mechanical Engineering			
Academic Year	: 2008			

Abstract

This project aims to study the design and fabricate the nozzle system for the axi-symmetric laminar jets. The study also focuses on the economic aspect of the nozzle design. The expansion nozzle is made of plastic PVC pipe with 12 cm in diameter. The expansion ratio between the hose and the nozzle is 6 times. Inside the nozzle is filled with the straws to make a flow straighten. Projectile distances are measured by measuring tape for each flow case. The flow rate are measured by means of weight catching method. Laminar jet are monitored by photo taken and video recording technigues. From the experimental data, Reynold Number(Re) calculated are found to be reduced from turbulent flow range to laminar flow one by means of the nozzle design as decribed.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ทางกลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่อำนวยความสะดวกในการทำอุปกรณ์การทดลอง (ฐานวางหัวฉีด , เจาะรูหัวฉีด)

ขอขอบคุณ ร้าน ช.วัสดุ ที่จำหน่ายอุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทำชิ้นงาน

ขอขอบคุณ ร้าน ป. ปลางาม ที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับราคาปั๊มหอยโข่งขนาดต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านการทำโครงงานและเอกสารให้เสร็จสิ้นโดยเรียบร้อย

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญกราฟ	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 งบประมาณที่จะใช้ รายการวัสดุอุปกรณ์	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ลักษณะทั่วไปของเจ็ท	3
2.2 การจำแนกประเภทปัญหาการตกกระทบของเจ็ท	4
2.3 รูปแบบของการไหล	4
2.4 การไหลภายใน	5
2.5 นิยามของการไหล	5
2.6 ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์	10
2.7 สมการเบอร์นูลลี่	10
2.8 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์(Motion of a Projectile)	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 ทฤษฎีปั๊ม 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

3.1 วิธีการดำเนินงาน 19

3.2 ส่วนประกอบในการสร้างชุดระบบหัวฉีด 20

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ตารางข้อกำหนด 25

4.2 วิธีการสร้างกราฟ 25

4.3 การหาอัตราการไหลเชิงมวล 25

4.4 กราฟแสดงผลการทดลอง 26

4.5 ตัวอย่างการคำนวณ 30

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน 34

5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต 34

เอกสารอ้างอิง 35

ภาคผนวก 36

ประวัติผู้ทำโครงงาน 40

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดการทดลอง	25
ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากเส้นกราฟทดลอง	30
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลอง	33

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของการไหลของเจ็ทอิสระ (Free Jet)	3
รูปที่ 2.2 ชั้นของเขตของการไหลเหนือแผ่นราบ	6
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวแกนเทียบกับเวลาสำหรับการไหลแบบ (ก) ราบเรียบและ (ข) ปั่นป่วน	6
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลชนิดต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลง velocity profile	9
รูปที่ 2.6-2.7 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์	12
รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์	14
รูปที่ 3.1 ระบบหัวฉีด	19
รูปที่ 3.2 ปั๊ม	20
รูปที่ 3.3 วาล์ว	21
รูปที่ 3.4 ฐานสำหรับวางหัวฉีด	22
รูปที่ 3.5 หัวฉีดที่พร้อมสำหรับการทดลอง	22
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ทั้งหมด	23
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวดิ่ง	24
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบ	24

สารบัญกราฟการทดลอง

หน้า

รูปที่ 4.1 หัวฉีดทำมุมเอียง 30 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm 26
รูปที่ 4.2 หัวฉีดทำมุมเอียง 45 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm 26
รูปที่ 4.3 หัวฉีดทำมุมเอียง 60 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm 27
รูปที่ 4.4 หัวฉีดทำมุมเอียง 30 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm 28
รูปที่ 4.5 หัวฉีดทำมุมเอียง 45 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm 28
รูปที่ 4.6 หัวฉีดทำมุมเอียง 60 องศา ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm 29

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Re	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์	
ρ	ความหนาแน่น	$\frac{kg}{m^3}$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	m
V	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล	$\frac{m}{s}$
μ	ความหนืดของการไหล	$\frac{\text{N.s}}{m^2}$
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	$\frac{m^3}{s}$
A	พื้นที่หน้าตัด	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	$\frac{kg}{s}$
Z	ความสูง	m
P	ความดัน	Pa
H_p	หัวความดันปั๊ม	m
H_L	พลังงานสุญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน	m
f	แฟกเตอร์ของความเสียดทาน	N
L	ความยาวท่อ	m
g	อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง	$\frac{m}{s^2}$
hp	แรงม้าทางทฤษฎี	hp
R	น้ำหนักจำเพาะของของเหลว	$\frac{kg}{m^3}$
H	หัวความดันรวมของปั๊ม	m
r	รัศมีของท่อ	m

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันประเทศไทยมีน้ำพุตามสถานที่ต่างๆ เช่น สวนสาธารณะ โรงแรม รวมถึงที่พัก แล้วการออกแบบนี้เป็นการออกแบบหัวฉีดที่ทำให้น้ำที่พุ่งออกมาจากหัวฉีดนั้นพุ่งออกมาเป็นลำไม่มีการแตกของลำน้ำ ซึ่งในประเทศไทยถ้ามีการติดตั้งต้องนำเข้าระบบปั๊มและหัวฉีดจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงมาก ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทางกลุ่มมีความคิดที่จะนำเอาระบบนั้นๆ นำมาออกแบบใหม่โดยเน้นการประหยัดค่าใช้จ่าย

รูปที่1.1 รูปหัวฉีดที่นำมาศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และการออกแบบระบบหัวฉีดที่ทำให้ลำน้ำที่ออกมามีลักษณะสมมาตรและราบเรียบ

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะต่างๆของลำน้ำ เช่น ระยะโปรเจกไตล์ที่ขึ้นอยู่กับองศาและอัตราการไหล

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ศึกษาและปรับปรุงการออกแบบระบบหัวฉีดที่ให้การไหลเป็นแบบสมมาตรและราบเรียบ ทำการทดลองวัดผลโดยมีการไหลแบบราบเรียบตามทฤษฎีการไหลภายในท่อและการไหลนอกท่อเมื่อไหลออกจากท่อในลักษณะเจ็ท แล้วทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน พร้อมทั้งตารางกิจกรรม

ตารางที่1.1ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	2551								2552		
	พ.ค.	มิ.ย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาปัญหาและเก็บข้อมูล	←→										
ศึกษาลักษณะระบบcontrolและหัวฉีด			←→								
เปรียบเทียบระบบcontrolระหว่างแบบใช้pumpกับของจริง				←→							
ออกแบบระบบcontrolและหัวฉีด					←→						
ทำการทดลอง						←→					
ปรับปรุงและแก้ไข								←→			
จัดทำรายงานและเตรียมเสนอโครงงาน											←→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ศึกษาลักษณะต่างๆของลำน้ำแบบสมมาตรและราบเรียบ

1.5.2 สามารถออกแบบระบบหัวฉีดที่ให้การไหลแบบสมมาตรและราบเรียบได้

1.6 งบประมาณที่จะใช้ รายการวัสดุอุปกรณ์

1.6.1 ปั๊มหอยโข่งแบบจุ่ม 1500 บาท

1.6.2 ท่อขนาดต่างๆ 500 บาท

1.6.3 วาล์ว 500 บาท

1.6.4 หัวฉีด(หลอดกาแฟ ฟองน้ำ ตะแกรง ฝาปิดท่อ จุกทางเข้าของน้ำ) 300 บาท

1.6.5 อื่น ๆ 800 บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

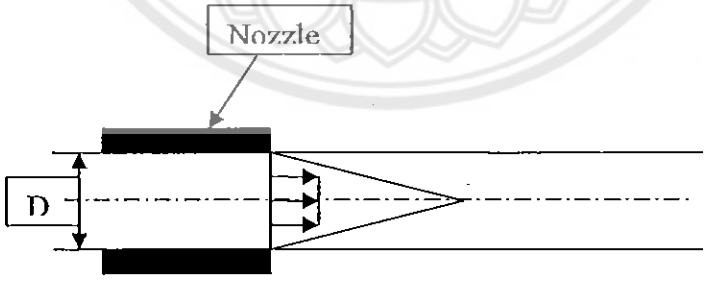
2.1 ลักษณะทั่วไปของเจ็ท

2.1.1 เจ็ท

ที่นักวิจัยให้ความสนใจแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่ เจ็ทอิสระ (Free Jet) และเจ็ทตกกระทบลงบนแผ่นเป้าหมาย (Impinging Jet) เจ็ททั้งสองแบบนี้พบเห็นอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เจ็ทอิสระมีความสำคัญอย่างมากเกี่ยวกับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ส่วนเจ็ทตกกระทบลงบนแผ่นเป้าหมายมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนความร้อน

เจ็ทอิสระ (Free Jet)

การศึกษาลักษณะของเจ็ทอิสระ ลักษณะทั่วไปของการไหลของเจ็ทอิสระแสดงดังภาพที่ 2 ที่ตำแหน่งทางออกของหัวฉีดเกิดแกนกลางการไหลแบบศักย์ (Potential Core) ซึ่งบริเวณนี้มีความเร็วสม่ำเสมอ (Uniform Velocity) เนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากอากาศแวดล้อม (Ambient Air) ซึ่งจากภาพกราฟด้านข้าง ความเร็วที่ตำแหน่งแกนสมมาตร (U_o) มีค่าคงที่ตลอดความยาวของแกนกลางการไหลแบบศักย์ ส่วนบริเวณนอกแกนกลางการไหลแบบศักย์ เรียกว่า เจ็ทอิสระ (Free Jet) ซึ่งมีการถ่ายเทโมเมนตัมให้กับอากาศแวดล้อม ส่งผลให้ความเร็วมีค่าไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Velocity) และความเร็วที่ตำแหน่งแกนสมมาตรจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มมากขึ้น



รูป 2.1ลักษณะทั่วไปของการไหลของเจ็ทอิสระ (Free Jet)

การศึกษาลักษณะการไหล (Flow Visualization) ของเจ็ทอิสระ โดยศึกษาผลกระทบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่มีผลต่อลักษณะการไหลของเจ็ท โดยพิจารณาตัวเลขเรย์โนลด์ไม่เกิน3000 คือช่วงที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ พบว่า ความยาวของแกนกลางการไหลแบบศักย์มีค่าลดลงเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น

2.2 การจำแนกประเภทปัญหาการตกกระทบของเจ็ท

2.2.1 เรขาคณิตของหัวฉีด (Nozzle) หรือเจ็ท (Jet)

รูปทรงเรขาคณิตของหัวฉีดที่นิยมใช้สามารถแบ่งพิกัด (Coordinate) ออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ (1) เจ็ทในระนาบ (Plane Jet) ซึ่งใช้พิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) ได้แก่ เจ็ทร่องยาว (Slot Jet) เมื่อ b คือ ความกว้างของเจ็ทร่องยาว และ H คือ ระยะห่างจากเจ็ทถึงแผ่นเป้าหมาย (2) เจ็ทสมมาตรตามแกน (Axi-symmetric Jet) ซึ่งใช้พิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate) ได้แก่ เจ็ทลม (Circular Jet) เมื่อ D_j คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเจ็ท เจ็ทวงแหวน (Annular Jet) เจ็ทวงรี (Elliptic Jet) เป็นต้น

2.2.2 รูปแบบการไหลของเจ็ท

การไหลของเจ็ทสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกัน ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งเจ็ททั้งสองประเภทมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ แตกต่างกันออกไป โดยการกำหนดรูปแบบการไหลของเจ็ทนั้นสามารถแบ่งตามค่าความเร็วที่ทางออกของเจ็ทหรือแบ่งตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์ พิจารณารูปแบบการไหลของเจ็ทโดยแบ่งตามค่าความเร็วที่ตำแหน่งทางออกของเจ็ท โดยความเร็วที่ค่า 1000 ถึง 36000 ฟุตต่อนาที ถือว่าเจ็ทมีรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน จะพิจารณารูปแบบการไหลโดยแบ่งตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์ โดยการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูงกว่า 3000

2.3 รูปแบบของการไหล

การไหลของของไหลแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1) การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) คือ การไหลที่ไม่ว่าจะอนุภาคเล็กหรือใหญ่จะเคลื่อนที่ตามกันไปเป็นแผ่น เป็นระเบียบมีตำแหน่งที่แน่นอนไม่มีการกีดขว้างทางกัน การไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลด้วยความเร็วต่ำ และเป็นของไหลที่มีความหนืดสูง

2) การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) คือ การไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ มีตำแหน่งไม่แน่นอน ของไหลไหลด้วยความเร็วสูงกว่าแบบราบเรียบมาก และเป็นของไหลที่มีความหนืดต่ำ เช่น การไหลของน้ำในลำคลอง เป็นต้น

2.4 การไหลภายใน

การไหลภายในภาชนะปิด ในที่นี้หมายถึงในท่อ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนส่งของไหลภายใต้ความดัน การไหลภายในท่อจะเป็นการไหลเต็มท่อและเป็นการไหลแบบคงตัว(Steady flow) ของไหลที่กล่าวจะอัดตัวไม่ได้ คือของเหลวทุกชนิด มีการไหลแบบทรงตัว และเป็นของไหลจริงที่มีความหนืด การไหลภายในท่อจะมีแรงเสียดทานจากแรงเฉือนระหว่างโมเลกุลของไหลที่ผนังท่อและระหว่างโมเลกุลมันเองที่เนื่องมาจากความหนืด สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน การสูญเสียจะขึ้นอยู่กับชนิดของของไหล ซึ่งมีทั้งราบเรียบ (Laminar)และปั่นป่วน(Turbulent) และการพิจารณาจะพิจารณาที่ข้อต่อ ข้องอ ข้อโค้งต่างๆ

2.5 นิยามของการไหล

โดยทั่วไปคนเราสามารถบอกความแตกต่างได้ว่าอะไรเป็นของแข็ง อะไรเป็นของไหล แต่ถ้าให้บอกถึงนิยามมักจะตอบไม่ได้ ในทางวิศวกรรมตัวแปรที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างของไหลและของแข็งคือ ความเค้นเฉือน (Shear stress) เมื่อมีความเค้นเฉือนเล็กน้อยกระทำต่อวัตถุของแข็ง จะทำให้วัตถุเกิดการเสียรูปร่างที่คงที่ แต่ไม่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น (Static deformation) แต่สำหรับของไหลแล้ว ความเค้นเฉือนทำให้ของไหลเสียรูปร่างอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ ของไหลที่อยู่นิ่งจะไม่มีความเค้นเฉือนมากระทำอย่างเด็ดขาดในบทนี้เราจะศึกษาพื้นฐานของการไหล ซึ่งรวมถึงลักษณะการไหลชนิดต่าง ๆ รูปแบบของการไหล และจลนคณิตศาสตร์ (Kinematics) ของการไหล

ของไหล (Fluid) คือสสารที่จะเปลี่ยนรูปร่างอย่างต่อเนื่องเมื่อตัวมันได้รับความเค้นเฉือน (shearing stress) ไม่ว่าขนาดของความเค้นเฉือนจะน้อยเพียงใดก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าสสารต่างๆ นั้น สามารถแยกออกได้เป็น 3 สถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ของแข็ง (Solid) และก๊าซ (Gas)

ซึ่งถ้าเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าของไหลนั้นจะสามารถอยู่ได้ใน 2 สถานะเท่านั้น คือ ของเหลวและก๊าซ เท่านั้น สรุปได้ว่ามีเพียงแต่ของแข็งและของไหลเท่านั้น โดยที่ของแข็งก็คือสสารที่จะเปลี่ยนรูปร่างเมื่อได้รับความเค้นเฉือนแต่ไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างต่อเนื่องกัน

กลศาสตร์ของไหลอาจแบ่งออกได้เป็น 3 สาขาคือ

ของไหลหนืด (Fluid Statics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับของไหลที่อยู่นิ่ง

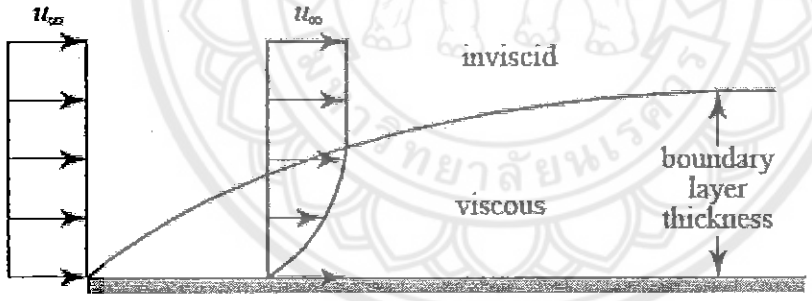
ไดเนมาติก (Kinematics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วและกระแสของของไหล โดยไม่พิจารณาถึงแรงหรือพลังงานที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่

ไฮโดรไดนามิกส์ (Hydrodynamics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความเร่ง พร้อมทั้งแรงที่กระทำ หรือแรงที่เกิดขึ้นจากการที่ของไหลเคลื่อนที่

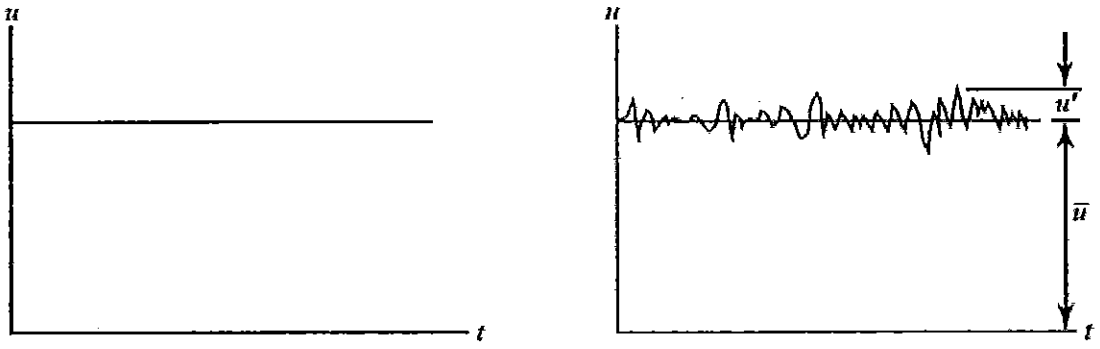
2.5.1 ลักษณะการไหล

2.5.1.1 แบ่งตามความหนืด

เราสามารถแบ่งการไหลตามความหนืดเป็นการไหลแบบมีความหนืด (Viscous flow) และแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) การไหลแบบมีความหนืด คือการไหลเมื่อความหนืดของของไหลมีผลต่อความเร็ว ตัวอย่างเช่น การไหลในชั้นของเขต (Boundary Layer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนในการไหลแบบไม่มีความหนืดนั้น จะสมมติว่าความหนืดมีค่าเป็นศูนย์ ($\mu = 0$) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเป็นไปไม่ได้ การไหลชนิดนี้จึงเป็นการไหลในอุดมคติ แต่มีการไหลในบางกรณีที่สามารถประมาณได้ว่าเป็นการไหลแบบไม่มีความหนืด เช่น การไหลนอกเหนือชั้นของเขตในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ชั้นของเขตของการไหลเหนือแผ่นราบ



(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวแกนเทียบกับเวลาสำหรับการไหลแบบ (ก) ราบเรียบและ (ข) ปั่นป่วน

2.5.1.2 แบ่งตามความราบเรียบของการไหล

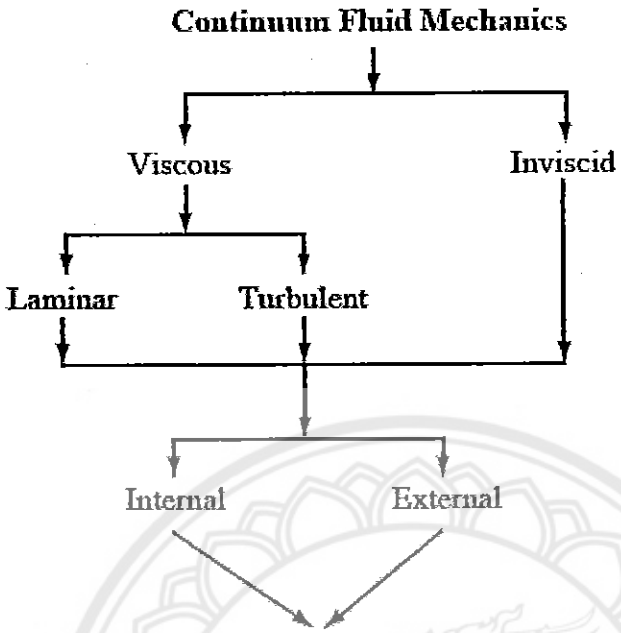
เราสามารถแบ่งการไหลตามความราบเรียบของการไหล โดยแบ่งเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) การไหลแบบราบเรียบนั้น โครงสร้างของการไหลจะมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่ของแต่ละชั้นของของไหลอย่างราบเรียบ รูปที่ 2.2(ก) แสดงให้เห็นถึงความเร็วในการไหลแบบคงที่และราบเรียบซึ่งมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา ส่วนการไหลแบบปั่นป่วนนั้น จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบ (Random) และเป็น 3 มิติ บวกกับการไหลโดยเฉลี่ย ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.2 (ข) สำหรับไหลแบบคงที่และปั่นป่วน

2.5.1.3 แบ่งตามความสามารถในการอัดตัว

เราสามารถแบ่งการไหลตามความสามารถในการอัดตัว โดยแบ่งเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) และการไหลแบบอัดตัวได้ (Compressible flow) ในการไหลแบบอัดตัวไม่ได้นั้น การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจะมีผลน้อยมากจนสามารถประมาณได้ว่า ความหนาแน่นมีค่าคงที่ตลอดการไหล สำหรับของเหลวถือได้ว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ยกเว้นปรากฏการณ์ค้อนน้ำ (Water Hammer) และคาวิเตชั่น (Cavitation) ส่วนในการไหลของแก๊สจะถือได้ว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ต่อเมื่อ $M=V/a<0.3$ โดยที่ M คือค่ามัค (Mach Number) มีค่าเท่ากับความเร็วของของไหลหารด้วยความเร็วเสียงในของไหลนั้น ส่วนการไหลแบบอัดตัวได้นั้น การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจะมีผลต่อการไหล ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ $M > 0.3$

2.5.1.4 แบ่งตามขอบเขตของการไหล

เราสามารถแบ่งการไหลตามขอบเขตของการไหล โดยแบ่งเป็น การไหลภายนอก (External flow) และการไหลภายใน (Internal flow) ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าของไหลถูกปิดล้อมหรือไม่ ถ้าหากถูกปิดล้อมมีขอบเขตก็ถือว่าเป็นการไหลภายใน มิเช่นนั้นก็เป็นการไหลภายนอก



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลชนิดต่าง ๆ

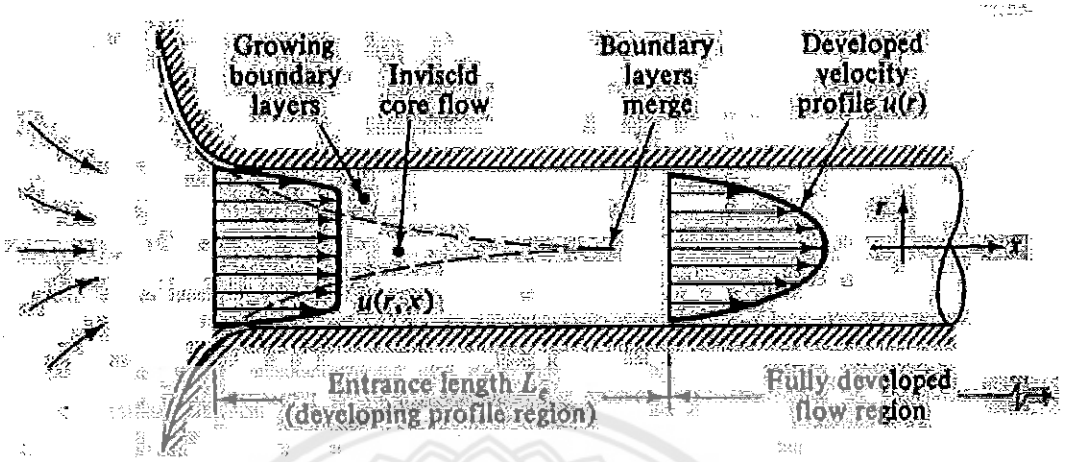
2.5.1.5 แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

เราสามารถแบ่งการไหลตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยแบ่งเป็น การไหลแบบคงที่ (Steady flow) และการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) ในการไหลแบบคงที่นั้นคุณลักษณะของการไหลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลา ส่วนในการไหลแบบไม่คงที่นั้นคุณสมบัติของการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาภาพรวมของการแบ่งลักษณะของการไหลแบบชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4

2.5.2การไหลภายในท่อ

จากการทดลองของ Reynold พบว่า การไหลในท่อ จะมีลักษณะการไหลขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ที่เรียกว่า Reynold Number, Re โดยการไหลที่ Re ต่ำๆ ลักษณะของDการไหลจะเรียกตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเรียกการไหลแบบนี้ว่า Laminar Flow เมื่อ Re มีค่าสูงมากขึ้น (ในการไหลปกติ ผนังมีความเรียบน้อยเมื่อ Re > 3000 ลักษณะการไหลจะเปลี่ยน) ลักษณะการไหลจะเปลี่ยนไปกล่าวคือลักษณะของแนวการไหล มีลักษณะยุ่งเหยิง ซึ่งเรียกการไหลในช่วงนี้ว่าการไหลแบบปั่นป่วน การไหลแบบราบเรียบในท่อ ช่วงต้นของทางเข้าจะมี Velocity Profile ไม่คงที่

จนกระทั่งถึงความยาวค่าหนึ่ง Velocity Profile จะมีลักษณะคงที่ตลอดดังแสดงในรูปที่2.4



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลง velocity profile

บริเวณปากทางเข้าความเร็วของของไหลจะมีลักษณะ Uniform มีความเร็ว (U_0) เนื่องจากของไหลมีความหนืดทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ผนังท่อ ดังนั้นของเหลวที่ติดกับผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์และผลของแรงเสียดทานทำให้การกระจายของความเร็วตามแนวหน้าตัดของท่อเปลี่ยนรูปไปจากที่เป็นอยู่ ที่ปากทางเข้าแนวเส้นที่แสดงรอยต่อระหว่าง velocity profile ที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งเรียกว่า Boundary Layer จากรูปจะเห็นว่าความหนาของ Boundary Layer จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระยะหนึ่ง ความหนาของ boundary layer มีค่า $=\frac{D}{2}$ จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นการเกิด fully developed velocity profile (การกระจายความเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงเต็มรูปแบบ) เลยจากจุดนี้ไปแล้ว การกระจายของความเร็ว(velocity profile) จะเหมือนกันตลอด

ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ ของท่อ มีค่าคงที่ และ คำนวณได้จาก

$$\bar{V} = \frac{1}{A}\int udA = U_0 \qquad \text{[Eq.1]}$$

ความยาวของ Entrance length ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลในกรณี Laminar flow ความยาวEntrance Length หาได้จาก

$$\frac{L}{D} = 0.06\frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \qquad \text{[Eq.2]}$$

ในกรณี Turbulent Flow ความยาว Entrance Length จะอยู่ในช่วงประมาณ 25 – 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

2.6 ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์(Re)

การพิจารณาวิเคราะห์การไหลภายในท่อ จะต้องทราบว่าเป็นการไหลแบบใดจะพิจารณาจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ลักษณะการไหลภายในจะพิจารณาตามตัวแปร 4 ตัว คือความหนาแน่น ความหนืด ความเร็วเฉลี่ยและเส้นผ่านศูนย์กลาง จากตัวแปรเหล่านี้จะสามารถทำนายค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้จากสมการ

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \qquad \text{[Eq.3]}$$

Re = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

ρ = ความหนาแน่น

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

μ = ความหนืดของการไหล

ค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ คือ อัตราส่วนของแรงเฉื่อยที่กระทำบนก้อนของไหลกลายเป็นแรงหนืด แรงเฉื่อยพัฒนามาจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (F=ma) แรงหนืดเป็นผลมาจากผลคูณของความเค้นเฉือนกับพื้นที่หน้าตัด การไหลที่มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงเพราะไหลด้วยความเร็วสูงหรือมีค่าความหนืดต่ำ มีแนวโน้มว่าจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ส่วนการไหลด้วยความเร็วต่ำของไหลจะมีความหนืดสูง ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะต่ำ มีแนวโน้มจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะเป็นตัวบ่งชี้

Re น้อยกว่า 3000 ถือเป็นการไหลแบบราบเรียบ

2.7 สมการเบอร์นูลลี่

การไหลของของไหลเป็นการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างซับซ้อน เพื่อให้ไม่ยุ่งยากต่อความเข้าใจเราจะถือว่าของไหลเป็นของไหลอุดมคติ (Ideal Fluid) ซึ่งมีลักษณะดังนี้

- ของไหลมีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady Flow) คือทุก ๆ อนุภาคที่ผ่านจุด ๆหนึ่งจะมีความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง
- การไหลเป็นแบบไม่หมุน (Irrotational Flow) ตำแหน่งหนึ่ง ๆ จะไม่มีความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้น
- การไหลจะเป็นแบบอัดไม่ได้ (Incompresible) คือความหนาแน่น ณ จุดใด ๆ มีค่าคงตัว
- การไหลจะไม่มีความหนืด (Nonviscous Flow) อาจจะถือว่าไม่มีแรงหนืดในของไหลด้านการไหล

เส้นทางเดินของอนุภาคหนึ่ง ๆ จะแสดงด้วยเส้นที่เรียกว่า สายกระแส (Stream Line) ซึ่งสายกระแสแต่ละเส้นจะไม่ตัดกันและทิศของความเร็วของอนุภาคที่ตำแหน่งใด ๆ จะสัมผัสกับเส้น

นี้ และถ้าพิจารณาสายกระแสจำนวนหนึ่งที่ประกอบกันเป็นมัดจะเรียกว่า หลอดการไหล (Flow Tube) ที่หน้าตัดใด ๆ ของหลอดการไหลเราจะหาอัตราการไหล (Rate Of Flow) เชิงปริมาตรของการไหลได้จากสมการ

$$Q = AV$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลหน่วย m^3/s เนื่องจากของไหลอุดมคติมีการไหลอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นอัตราการไหลที่หน้าตัดใด ๆ จะต้องมีค่าเท่ากันคือ

$$Q_1 = Q_2 \text{ หรือจะได้ว่า } A_1 V_1 = A_2 V_2$$

เบอร์นูลลี่ (Daniel Bernoulli) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวิส ตั้งสมการความสัมพันธ์ของการไหลว่า"ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ ต่อปริมาตรและพลังงานศักย์ต่อปริมาตรทุก ๆ จุดภายในท่อที่ของไหลเคลื่อนที่จะมีค่าคงที่ โดยใช้ทฤษฎีบทของงานและพลังงานหรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \qquad \text{[Eq.4]}$$

เมื่อ Z = หัวความสูง (elevation head)

$\frac{P_1}{\gamma}$ = หัวความดัน (pressure head)

$\frac{v^2}{2g}$ = หัวความเร็ว (velocity head)

ในกรณีที่คำนึงถึงพลังงานในส่วนอื่นๆ ได้แก่ การสูญเสียจากแรงเสียดทาน (H_L) ปั๊ม H_p และมอเตอร์ไฮโดรลิก H_m

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_p - H_m - H_L = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \qquad \text{[Eq.5]}$$

โดยที่ หัวความดันของปั๊ม (Pump Head), H_p คำนวณได้จาก

$$H_p = \frac{3950(HP)}{QS_g} \qquad \text{[Eq.6]}$$

$$H_L = \frac{fLv^2}{2gD} \qquad \text{[Eq.7]}$$

H_L = พลังงานสุญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน

f = แฟกเตอร์ของความเสียดทาน ไม่มีหน่วย

L = ความยาวท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง

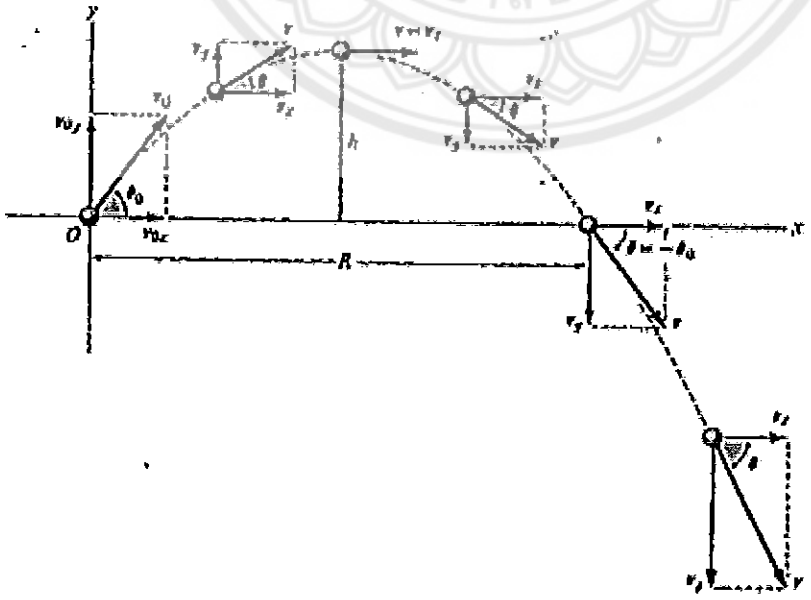
$\frac{V^2}{2}$ = เฮดความเร็ว

ในการไหลแบบราบเรียบค่า f หาได้จากสมการ $f=\frac{64}{Re}$

จากนั้นใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ $\frac{\varepsilon}{D}$ หาค่า f โดยใช้ Moody Diagram

2.8 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์(Motion Of A Projectile)

การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์ คือการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นแนวโค้ง ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่อย่างเสรีด้วยแรงโน้มถ่วงคงที่ เช่นวัตถุเคลื่อนที่ไปในอากาศภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ทางเดินของวัตถุจะเป็นรูปพาราโบลา



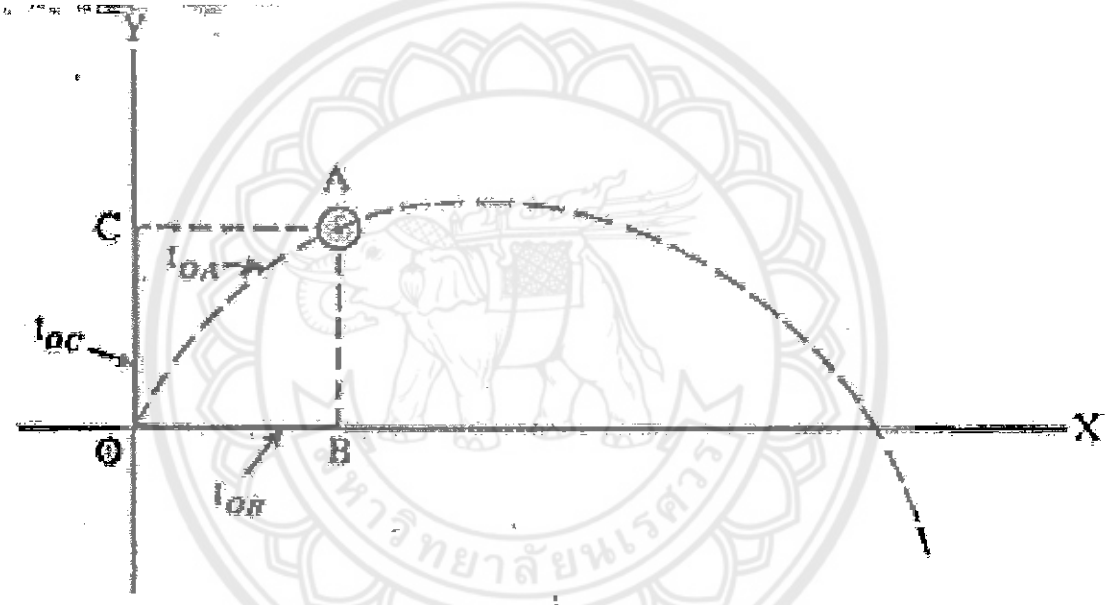
รูปที่ 2.6

ข้อควรจำสำหรับการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์

1) ความเร่งในแนวระดับ (แกน x) = ศูนย์ นั่นคือ v_x=คงที่=u_xไม่ว่าวัตถุจะอยู่ที่ตรงไหน ก็ตาม พิสูจน์ ไม่มีแรงในแนวแกน X กระทำที่วัตถุ จาก Fx = max O = max ax = 0 จาก $v_x = u_x + a_x t$; ได้ $v_x = u_x$

2) ความเร่งในแนวดิ่ง (แกน Y) = g พิสูจน์มีแรงกระทำที่วัตถุคือ W = mgในทิศดิ่งลง ตามแกน Y จาก $F_y = ma_y$ $mg = ma_y$ $a_y = g$ ทิศดิ่งลง

3) เวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่ตามแนวโค้ง = เวลาที่เงาของวัตถุใช้เคลื่อนที่ตามแนวแกน X = เวลาที่เงาของวัตถุใช้เคลื่อนที่ตามแนวแกน Y



รูปที่ 2.7

ตามรูปข้างบน สมมุติวัตถุวิ่งจาก O ไปตามทางโค้ง (เส้นประ) ถึง A (ทางโค้ง OA)

เงาทางแกน X จะวิ่งจาก O ไปถึง B

เงาทางแกน Y จะวิ่งจาก O ไปถึง C

ดังนั้น $t_{OA} = t_{OB} = t_{OC}$

4) ความเร็ว v ณ จุดใด ๆ จะมีทิศสัมผัสกับเส้นทางเดิน (เส้นประ) ณ จุดนั้น และ

(1) หาขนาดของ v โดยใช้สูตร

เมื่อ $v_x = u_x$ = ความเร็วในแนวแกน X

v_y = ความเร็วในแกน Y

(2) ทิศทางของ v หาได้โดยสูตร

เมื่อ x = มุมที่ v ทำกับแกน X

5) ณ จุดสูงสุด

$v_x = u_x$

$v_y = 0$

หมายเหตุ บางทีเราเรียกวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโปรเจกไตล์ว่า "โปรเจกไตล์" และเราเรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า การเคลื่อนที่ของโปรเจกไตล์ วิธีคำนวณ

5.1) ตั้งแกน X ให้อยู่ในแนวระดับ และแกน Y อยู่ในแนวดิ่ง โดยจุดกำเนิด (origin) ต้องอยู่ที่จุดเริ่มต้น

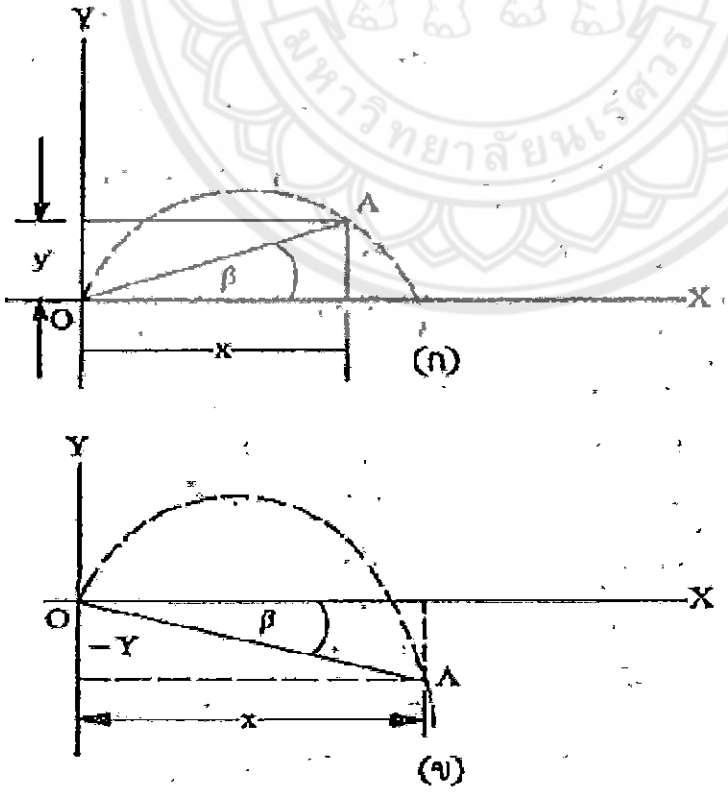
5.2) แตกเวกเตอร์ทุกค่าคือ ความเร็ว ระยะทาง ให้อยู่ในแนวแกน X และ Y

5.3) คิดทางแกน X มีสูตรเดียว เพราะ ax = 0 คือ

5.4) คิดทางแกน Y ใช้สูตรทุกสูตรต่อไปนี้

5.5) กำหนดว่าทิศทางใดเป็นบวก (+) ทิศตรงข้ามจะเป็นลบ (-) แล้วแทนเครื่องหมาย + และ - ในเวกเตอร์ต่อไปนี้ Sx, Sy, Ux, Uy, Vy, ay สำหรับเวลาเป็นปริมาณสเกลาร์เป็น + เท่านั้นปกติ นิยมให้ทิศทางเดียวกับความเร็วต้น (u_x และ u_y) เป็นบวก (+)

5.6) เมื่อคิดทางแกน X และแกน Y ตามข้อ 3),4)และ 5) แล้ว จะได้ 2 สมการ จากนี้ก็แก้สมการทั้งสอง ถ้ายังไม่สามารถแก้สมการได้ให้ใช้ความสัมพันธ์จากรูป ดังนี้



รูปที่ 2.8

ทั้งรูป (ก) และรูป (ข) ใช้ความสัมพันธ์

เมื่อ y = ระยะทาง (การขจัด) ตามแนวแกน Y

x = ระยะทาง (การขจัด) ตามแนวแกน X =มุมที่ OA ทำกับแกน X

โปรดสังเกตว่า y ในรูป (ก) เป็น + เพราะอยู่เหนือแกน X และ Y ในรูป (ข) เป็น - เพราะอยู่ใต้แกน X แต่เราใช้ค่า y และ x ที่เป็น + เท่านั้น กับ tan เพราะ น้อยกว่า 90 องศา (<90 องศา)

ทฤษฎีการหาค่าโปรเจกไตล์ที่แสดงในกราฟ

$$V_{x0} = V_y \times \cos\alpha$$

$$V_{y0} = V_y \times \sin\alpha$$

1. หาเวลา

$$V_y = V_{y0} - at$$

2. หาระยะสูงสุดในแนวดิ่ง

$$V_y^2 = V_{y0}^2 + 2a(y - y_o)$$

3. หาระยะไกลสุดในแนวราบเนื่องจากเวลาเป็น2เท่าของระยะทางดังนั้น

$$R = 2V_{x0}t$$

2.9 ทฤษฎีปั๊ม

ปั๊มหรือเครื่องสูบ เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้นอาจได้มาจาก เครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานจากแหล่งอื่นๆ ซึ่งแยกประเภทปั๊มสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

2.9.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม

2.9.1.1 ประเภทเซนตริฟูกอล(Centrifugal) เป็นการเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัด (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดมีการหมุนก็จะเกิดแรงผลักดันของครีบใบพัดต่อของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง เมื่อมีการไหลลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและเป็นผลทำให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial Flow)

แบบต่างๆของปั๊มประเภทเซนตริฟูกอล

1.แบบหอยโข่ง (Volute Type) เป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศากับทิศทางไหลเข้า

2.แบบมีครีบผันน้ำ (Diffuser Type) มีลักษณะของใบพัดและรูปร่างภายนอกของเรือนปั๊ม (Casing) เหมือนกับแบบหอยโข่ง จะผิดกันเพียงภายในมีครีบผันน้ำ (Guide Vane) เพิ่มขึ้นมา ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง ประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าแบบแรก

3.แบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type) ลักษณะใบพัดมีลักษณะเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนาครีบของใบพัดเกิดจากการเซาะร่องบนขอบของใบพัด ทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบแคบๆ และสั้น ในแนวรัศมี

4.แบบVertical Turbine ปั๊มชนิดนี้ผลิตขึ้นเพื่อใช้สูบน้ำบาดาล บางครั้งเรียกว่า "ปั๊มน้ำบาดาล"

5.แบบMixed Flow ปั๊มหรือใบพัดแบบนี้จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยทั้งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแรงผลักดันของแผ่นใบพัดในแนวขนานกับแกนเพลา ของเหลวที่ไหลออกจะทำมุม 45 ถึง 80 องศา

6.แบบAxial Flow ของเหลวที่ไหลเข้าและออกจากใบพัดจะมีทิศทางขนานกับแกนของเพลา แรงที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวเป็นแรงผลักดันในทิศทางการไหลเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง

2.9.1.2 ประเภทโรตารี่(Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง

ปั๊มโรตารี่เป็นแบบที่ทำงานโดยของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของตัวเครื่องซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุน(โรเตอร์)จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลวให้ทางด้านจ่าย(Positive Displacement)

แบบต่างๆของปั๊มโรตารี่

1.ปั๊มโรตารี่แบบเฟือง(Gear Pump) เป็นแบบที่แพร่หลายมากที่สุด ปั๊มแบบนี้ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวจากทางดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปทางจ่าย ซี่ของฟันเฟืองซึ่งอยู่ชิดกับผนังของห้องสูบจะป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลย้อนมาทางดูดได้

2.ปั๊มโรตารี่แบบครีบ(Vane Pump) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางจ่าย ปั๊มแบบนี้ได้เปรียบ Gear Pump ตรงที่ว่า การสึกหรอของผนังห้องสูบ

หรือปลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมากเหมือนกับการสึกหรอของฟันเฟือง เพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้อย่างเดิม

3.ปั๊มโรตารี่แบบลอน(Lobe Pump) ปั๊มแบบนี้คล้ายกับ Gear Pump แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพู สองถึงสี่ลอน ช่องว่าระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง ดังนั้นอัตราการสูบจึงสูง แต่จำเป็นจะต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์เข้ากันได้ดี

4.ปั๊มโรตารี่แบบสว่าน(Screw Pump) ปั๊มแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

2.9.1.3 ประเภทลูกสูบชัก(Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดในกระบอกสูบ

1.ปั๊มแบบลูกสูบชัก(Reciprocating Pump) เป็นแบบที่เพิ่มพลังให้กับของเหลวโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบเข้าไปอัดของเหลวให้ไหลไปสู่ทางจ่าย ปริมาตรของของเหลวที่สูบได้ในแต่ละครั้งจะเท่ากับผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับช่วงชักของกระบอกสูบนั้นๆ

2.ปั๊มแบบไดอาแฟรม(Diaphragm Pump) เป็นแบบที่กระบอกสูบซึ่งทำหน้าที่ดูดและอัดของเหลวได้รับการดัดแปลงเป็นแผ่นอโลหะซึ่งยืดหยุ่นได้ แผ่นอโลหะถูกยึดติดอยู่กับที่ โดยจะมีชิ้นส่วนของปั๊มมาดันและดึงทำให้เกิดจังหวะดูดและอัดสั้นๆ ปั๊มแบบนี้ใช้สำหรับอัตราการสูบน้อยๆเท่านั้น

2.9.1.4 นอกแบบ(Special) เป็นลักษณะพิเศษไม่จัดอยู่ในสามประเภท

1.Jet Pump ประกอบขึ้นด้วยปั๊มแบบเซนตริฟูกอลทำงานร่วมกับหัวฉีด น้ำจากหัวฉีดซึ่งมีแรงดันสูงจะพุ่งผ่านช่องแคบของท่อซึ่งมีรูปทรงเป็นท่อคอดอด ด้วยความเร็วของลำน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีด ทำให้น้ำส่วนที่อยู่รอบๆ ไหลตามสายน้ำผ่านท่อคอดเข้าไปด้วย

2.Air-Lift Pump เป็นปั๊มส่วนใหญ่ที่ใช้งานสูบน้ำในบ่อบาดาล ทำงานโดยการปล่อยลมจากจากเครื่องอัดลมความดันสูงผ่านท่อลงไปสู่ก้นบ่อบาดาล ฟองอากาศผสมกับน้ำในบ่อจะทำให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำลดลงและจะถูกฟองอากาศดันขึ้นมาสู่ปากบ่อ มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ

3.Hydraulic Ram หรือ ตะบันน้ำ เป็นปั๊มที่ทำงานโดยอาศัยแรงกระแทกของน้ำในท่อที่ถูกให้หยุดไหลอย่างกะทันหัน (Water Hammer) การทำงานของ Hydraulic Ram เริ่มต้นโดยให้น้ำไหลจากแหล่งน้ำผ่านท่อส่งและไหลออกทางวาล์วควบคุมความเร็งของน้ำ (Impulse Valve) ถ้าความเร็วของการไหลผ่านวาล์วสูงพอ ความเร็งและแรงดันน้ำจะทำให้วาล์วปิดทันทีทันใด การปิดนี้จะทำให้น้ำที่กำลังไหลตามท่อกระแทกกับผนังท่อ ในบริเวณนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นทำให้วาล์วจ่ายน้ำ (Delivery Valve) ที่ถังลม (Air-Chamber) เปิดให้น้ำไหลเข้าไปและไหลผ่านท่อส่งไปสู่ถังเก็บน้ำ

เมื่อไหลเข้าไปในถังแล้วความดันก็จะลดลงพร้อมกันนั้นแรงกระแทกของน้ำก็จะสะท้อนกลับ วาล์วจ่ายน้ำปิดและวาล์วควบคุมความเร็วตกลงตามเดิม แล้วก็เป็นวงจรต่อไป

2.9.2 แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของของเหลวในเครื่องสูบ

2.9.2.1ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของของเหลว (Non-Positive Displacement)

2.9.2.2ทำงานโดยอาศัยการแทนที่ของของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส เครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักเข้าในกลุ่มเดียวกัน

พลังงานและประสิทธิภาพของปั๊ม

แรงม้า 1 แรงม้า มีค่าเท่ากับ 745.7 วัตต์ (745.7 นิวตัน.เมตร/วินาที) หรือ 550 ฟุต.ปอนด์ต่อวินาที 1 แรงม้าทางทฤษฎี หรือบางครั้งเรียกว่า Water Horsepower เป็นจำนวนแรงที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด คำนวณได้จาก

$$hp = (R \times Q \times H)/550$$

hp = แรงม้าทางทฤษฎี

R = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (ปอนด์ ต่อ ลบ.ฟุต)

Q = อัตราการไหล (ลบ.ฟุต ต่อ วินาที)

H = เฮดรวมของปั๊ม(ฟุต)

$$hp = (Q \times H) / 273$$

Q (ลบ.เมตร ต่อ ชั่วโมง)

H (เมตร)

แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horsepower , Bhp)

เป็นกำลังงานที่มอเตอร์หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อนปั๊มเพื่อให้พลังงานแก่ของเหลว

Bhp = Whp / ประสิทธิภาพของปั๊ม

พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (kw)หาได้จาก

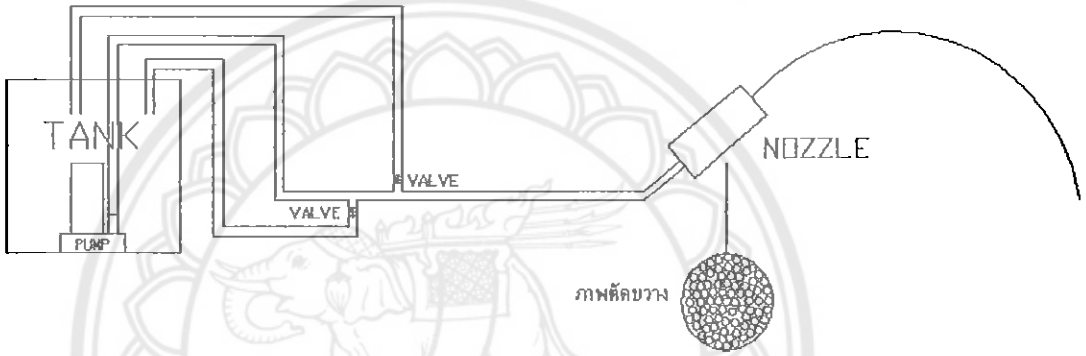
kw = 0.746 Bhp / ประสิทธิภาพปั๊ม

ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพของปั๊ม ×ประสิทธิภาพของมอเตอร์

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

การดำเนินโครงงานจะเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบน้ำพุที่มีในปัจจุบัน เมื่อได้ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบน้ำพุแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่จะดำเนินการสร้าง



ตัวอย่างระบบหัวฉีดลำน้ำ
แบบสมมาตรและราบเรียบ

รูปที่ 3.1 ระบบหัวฉีด

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาปัญหาและเก็บข้อมูลของโครงงานที่จะศึกษา

1. การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปั๊ม การทำงานของปั๊ม ความเร็วของปั๊มที่จะทำให้ระบบหัวฉีดทำงานได้อย่างเหมาะสมรวมทั้งผลกระทบด้านอื่นที่ทำให้นำเกิดการแตกตัว

2. การศึกษาระบบหัวฉีด องค์ประกอบของระบบ ตัวอย่างการทำงาน ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบที่สามารถออกแบบได้อย่างเหมาะสมศึกษาผลกระทบทางด้านอื่นที่ทำให้น้ำเกิดการแตกตัว ทั้งทางด้านอากาศภายนอกความราบเรียบของทั้งระบบ องศาการทำงาน ความเร็วของน้ำ และองค์ประกอบ อื่น ๆ

3.1.2 ศึกษาลักษณะการทำงานระบบหัวฉีด ออกแบบระบบหัวฉีด

1. ศึกษารูปแบบการทำงานของระบบหัวฉีด
2. ศึกษาองค์ประกอบ ส่วนประกอบของระบบหัวฉีดรวมทั้งท่อทางเดินน้ำจากปั๊ม
3. ออกแบบระบบหัวฉีดที่จะเป็นไปได้

3.1.3 ทำการทดลอง

1. หาซื้ออุปกรณ์การทดลองที่เกี่ยวข้อง
   - ท่อ PVC , ฝาปิดท่อ PVC
   - ตะแกรง , ฟองน้ำ
   - หลอดกาแฟ , สายยาง
   - ปั๊ม
2. เจาะรูฝาปิดท่อPVC ทำการประกอบอุปกรณ์ระบบหัวฉีด
3. ต่อชุดหัวฉีดเข้ากับปั๊ม
4. ทำการทดลอง โดยจะมีหัวฉีดหลายชุดหลายขนาด ตามการออกแบบ
5. ทำการออกแบบและทำขารองหัวฉีดที่ปรับองศาได้เพื่อที่จะสามารถทดลององศาได้อย่างแม่นยำเพื่อให้สามารถรู้ได้ว่าองศาที่ดีที่สุดที่จะทำให้น้ำเกิดการแตกตัวน้อยที่สุดและไม่แตกตัวเลยในภายหลัง
6. ทำการทดลองและบันทึกค่าอัตราการไหลของน้ำ องศาต่างๆ ระยะที่ไกลที่สุดสำหรับองศาต่างๆ ขนาดท่อ ขนาดรูเจาะ และข้อมูลอื่นๆ

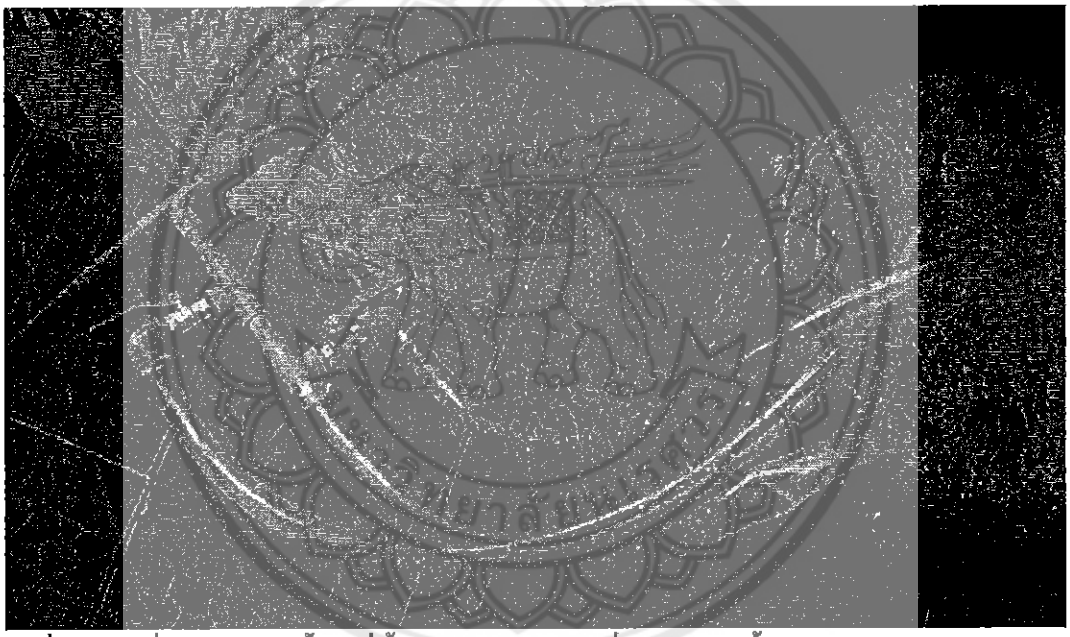
3.2 ส่วนประกอบในการสร้างชุดระบบหัวฉีด

รูปที่ 3.2 รูปปั๊มหอยโข่งแบบจุ่ม

3.2.1 ปั๊ม (Pump)

จากรูปที่ 3.2 ปั๊มจะทำหน้าที่ดูดน้ำจากถังน้ำเข้าสู่หัวฉีด รายละเอียดเกี่ยวกับตัวปั๊มมีดังนี้

- กำลัง 1/3 แรงม้า
- ขนาดท่อออก 1 นิ้ว
- อัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที
- ความเร็วรอบของมอเตอร์ 3000 รอบต่อนาที
- ไฟ 220 โวลล์ /50 เฮิร์ท



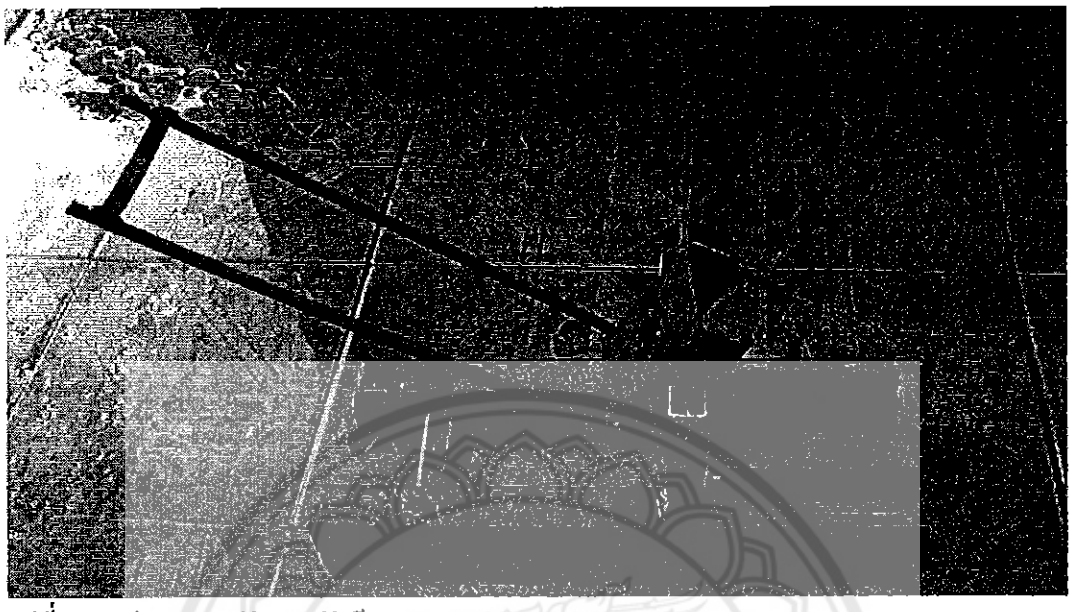
รูปที่ 3.3 รูปเกี่ยวกับท่อส่งน้ำในที่นี้ใช้สายยางแทนท่อซึ่งต่อมาจากปั๊ม โดยใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่หัวฉีด

3.2.2 วาล์ว (Valve)

จากรูปที่ 3.3 วาล์วจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่จะเข้าสู่หัวฉีดและใช้ในการให้น้ำกลับสู่ถังน้ำเพื่อรักษาระดับของลำน้ำที่ออกจากหัวฉีด (ในการทดลองนี้ใช้วาล์วจำนวน 3 ตัว ตัวแรกใช้กับการปล่อยน้ำเข้าสู่หัวฉีด อีก 2 ตัวใช้กับการปล่อยน้ำเข้าสู่ถังน้ำ)

3.2.3 สายยาง

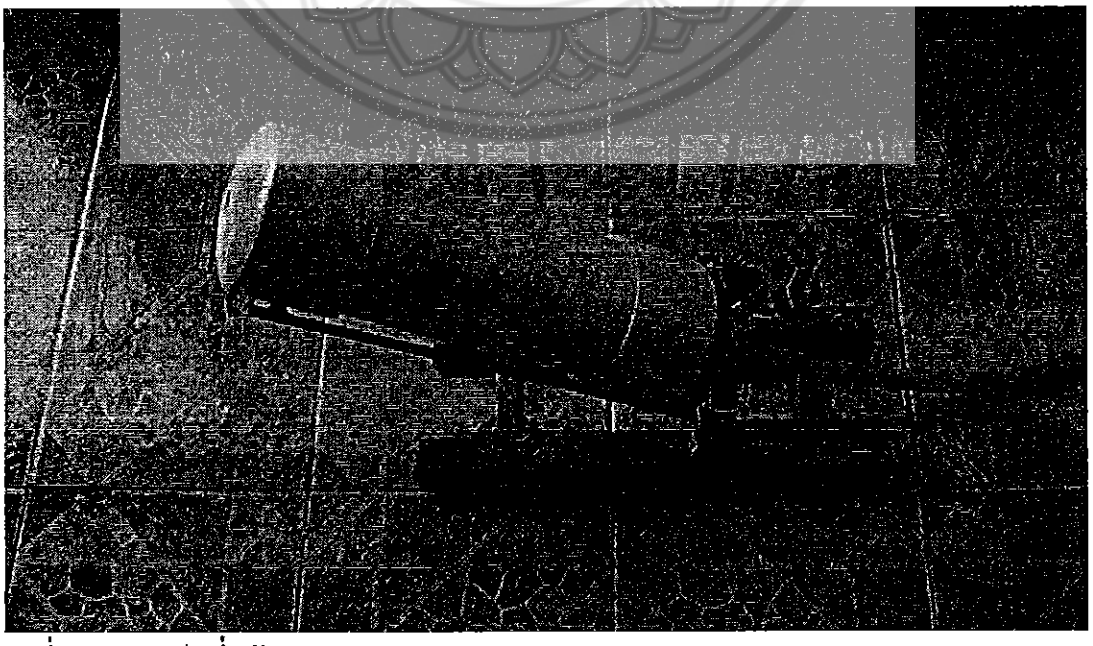
สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร ทำหน้าที่ทำให้น้ำผ่านเข้าสู่หัวฉีดและไหลกลับสู่ถังน้ำ (ในการทดลองนี้ใช้สายยางจำนวน 3 เส้น เพื่อใช้ต่อกับวาล์วและปั๊ม)



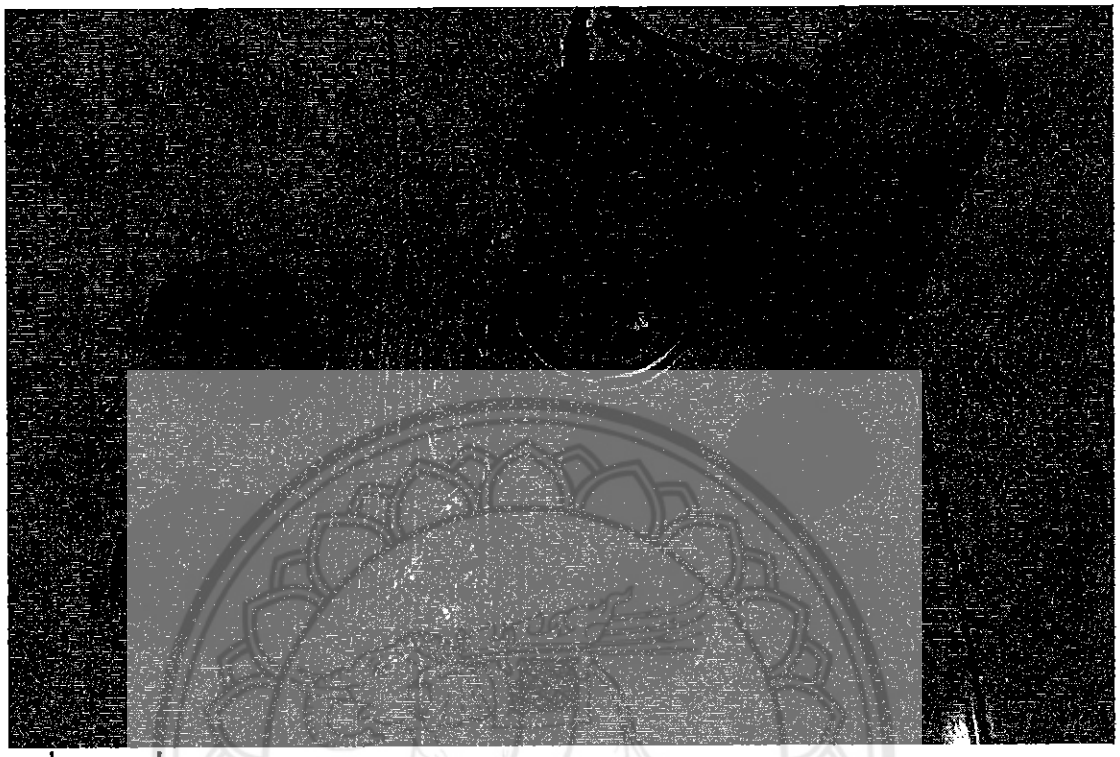
รูปที่ 3.4 รูปฐานสำหรับวางหัวฉีด

3.2.4 ฐานสำหรับวางหัวฉีด

จากรูปที่ 3.4 ฐานที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้นทำหน้าที่โดยการใช้ปรับองศาหัวฉีดให้ตรงตามความต้องการและความเหมาะสม ซึ่งการทดลองจะใช้มุมเอียง 30,45และ60 องศาในการศึกษา



รูปที่ 3.5 รูปหัวฉีดที่พร้อมสำหรับการทดลอง

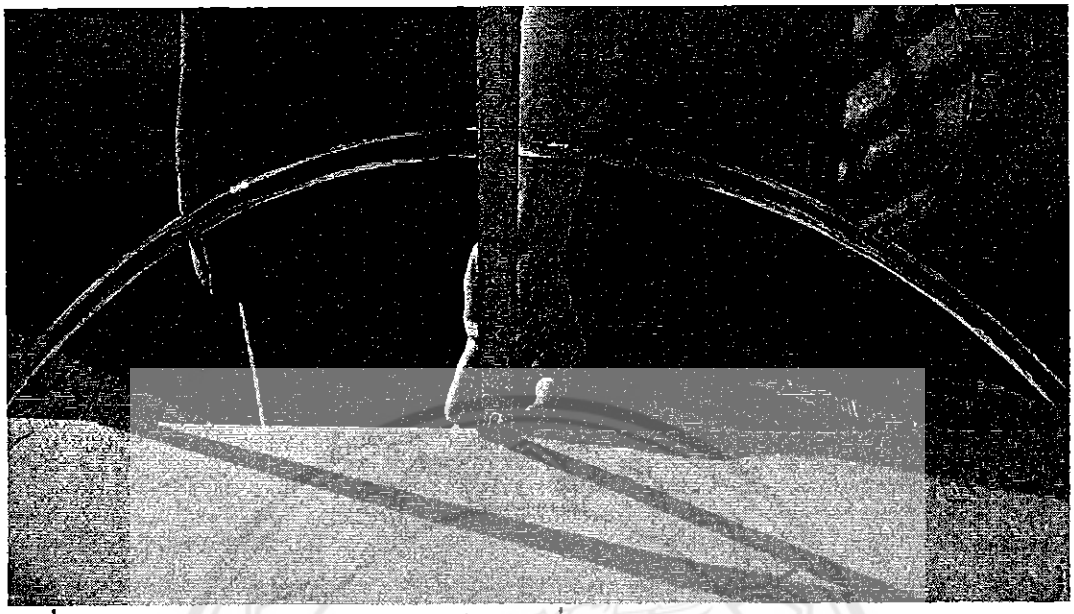


รูปที่ 3.6 รูปเกี่ยวกับอุปกรณ์การทำหัวฉีด

3.2.5 หัวฉีด

จากรูปที่ 3.6 อุปกรณ์ในการสร้างหัวฉีดมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 นิ้ว มีความยาว 1 ฟุต
- ฝาปิดท่อ PVC จำนวน 2 อัน อันหนึ่งเจาะรู 1.0 ซม.เพื่อเป็นทางออก **อีกอันเจาะรูแล้วใส่ตัวที่ให้น้ำเข้า** ในการทดลองนี้ใช้สายยางในการต่อกับจุดนี้
- **หลอดที่ใส่ภายในท่อ PVC มีเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละหลอด 0.5 ซม. ยาว 30 ซม.**
- **ตะแกรงลวดตัดเป็นวงกลมจำนวน 4 อัน**
- **ฟองน้ำตัดเป็นวงกลมจำนวน 2 อัน**



รูปที่3.7 ตัวอย่างการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวดิ่ง

จากรูปที่3.7 เป็นตัวอย่างการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวดิ่งที่จุดสูงสุดของโปรเจกไตล์ ซึ่งจากการทดลองจะวัดถึง5จุด โดยรูปนี้จะเป็นหัวฉีดขนาด 1.8 cm ทำมุม 45 องศา

รูปที่3.8 ตัวอย่างการวัดโปรเจกไตล์ในแนวราบ

จากรูปที่3.8 เป็นตัวอย่างการวัดโปรเจกไตล์ในแนวราบ โดยรูปนี้เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ของหัวฉีดขนาด 1.8 cm ทำมุม 45 องศา

ว ธ094148. e.5200098
ม.
ว238ก.
2561.

บทที่ 4
ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์

จากการทดลองได้นำค่าที่ได้ต่างๆนำมาแสดงในรูปแบบตารางและแบบกราฟ โดยเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแนวราบ(cm)กับระยะแนวดิ่ง(cm) ซึ่งจะทำให้การพิจารณาแนวโน้มต่างๆสะดวกและง่ายขึ้น

4.1 ตารางข้อกำหนด

ตาราง4.1 ข้อกำหนดการทดลอง

	สิ่งที่ทำ
1.ขนาดรูหัวฉีด	1.3 cm , 1.8 cm
2.องศา	30 , 45 , 60
3.จำนวนครั้งการทดลอง	ทดลอง 3 ครั้งต่อ 1 ตัวแปร
4.ตัวแปร	ระยะโปรเจกไตล์ , อัตราการไหลเชิงปริมาตร

4.2 วิธีการสร้างกราฟ

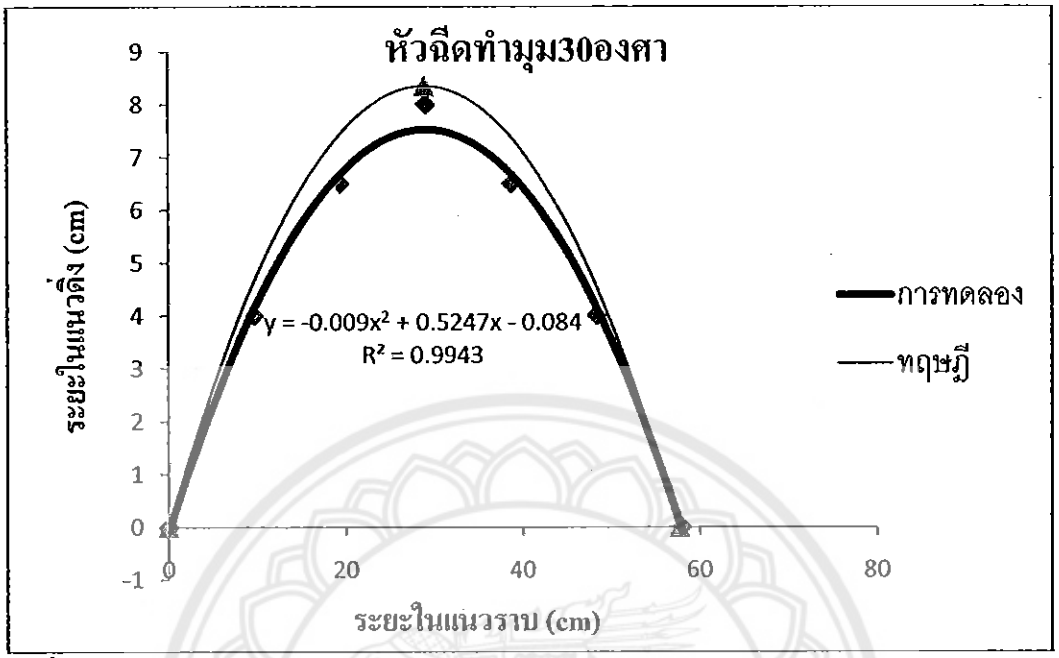
ใช้โปรแกรมExcel โดยใช้วิธีการหาเส้นแนวโน้ม (curve fitting) แบบโพลิโนเมียลในการสร้างกราฟ จากการสร้างกราฟจะแสดงค่าต่างๆคือ

- ค่า x = ระยะในแนวราบ (เซนติเมตร)
- ค่า y = ระยะในแนวดิ่ง (เซนติเมตร)
- ค่า R^2 = เป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ากราฟที่ได้มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด โดยถ้าค่า R^2 ยิ่งเข้าใกล้ 1 ทำให้สามารถใช้แทนค่าของข้อมูลได้

4.3 การหาอัตราการไหลเชิงมวล (ṁ)

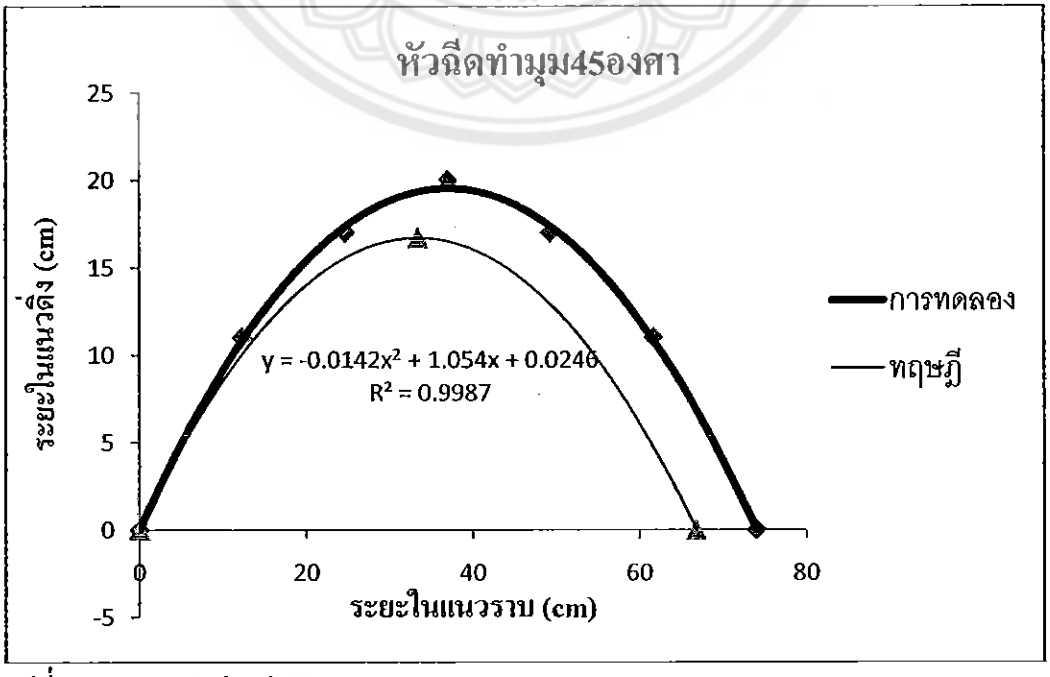
เราสามารถหาค่าของอัตราการไหลเชิงมวลโดยวิธีง่าย ๆ โดยเราสามารถวัดได้จากการชั่งตวงเทียบกับเวลา เช่นเราจะนำหลอดตวงขนาด1ลิตรหรือ1กิโลกรัมมาตวงน้ำที่ไหลออกมาจากท่อที่เราต้องการวัด โดยจะจับเวลาจนกว่าน้ำจะเต็มแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (ṁ) เพื่อจะนำไปหาค่าต่าง ๆต่อไป

4.4 กราฟแสดงผลการทดลอง



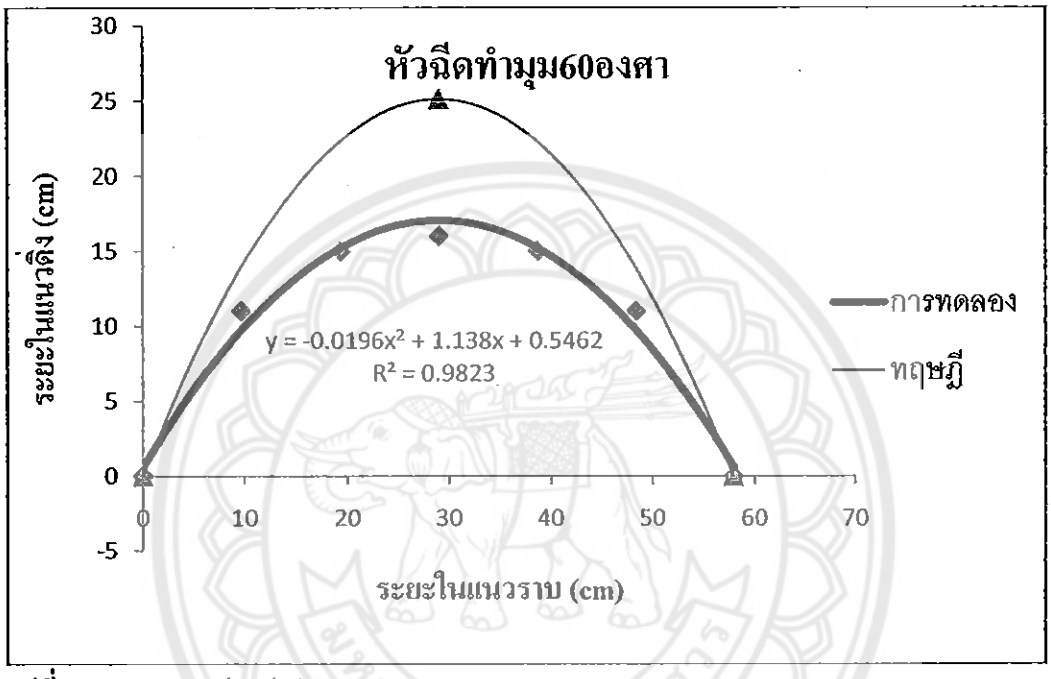
รูปที่4.1 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm

จากรูปที่4.1 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm ทำมุม 30 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.1 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จากการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี



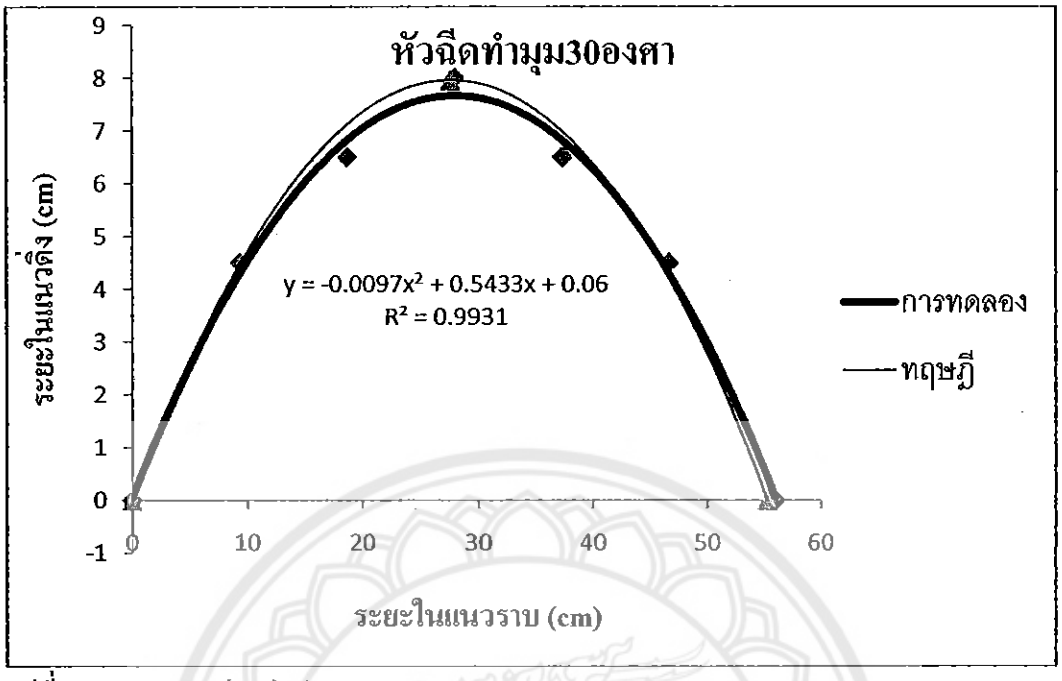
รูปที่4.2 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm

จากรูปที่4.2 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm ทำมุม 45 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.2 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จาการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี



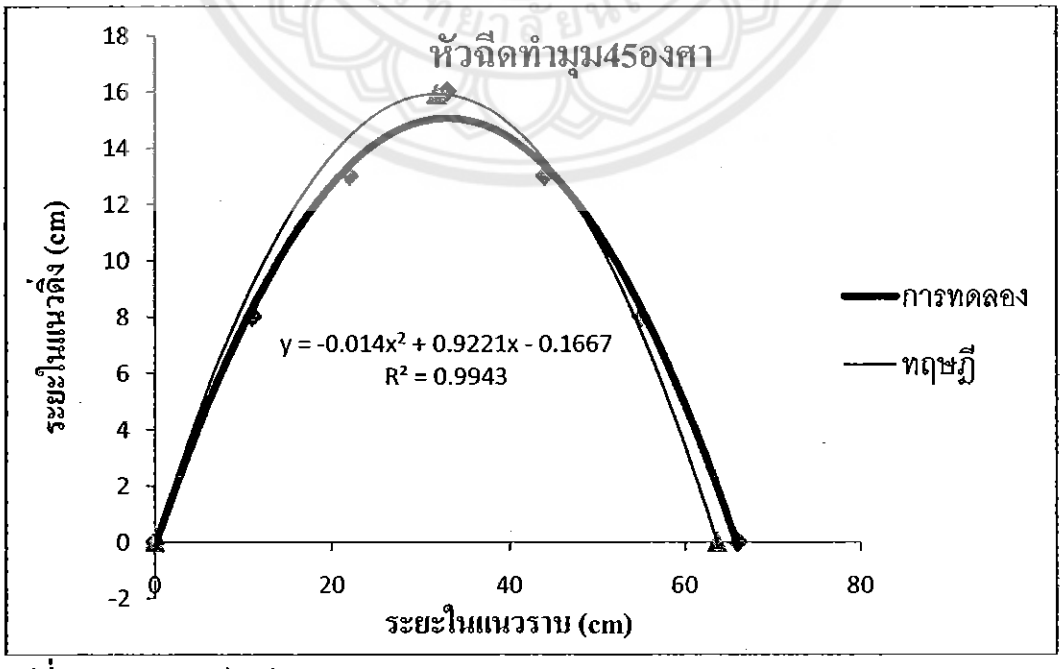
รูปที่4.3 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm

จากรูปที่4.3 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.3 cm ทำมุม 60 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.3 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จาการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี



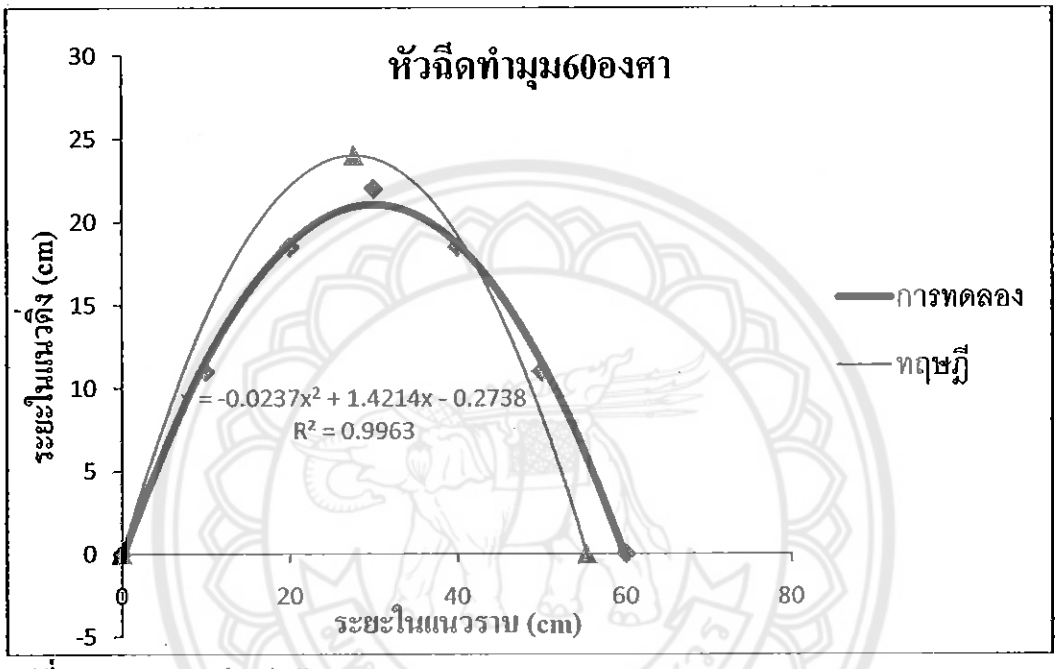
รูปที่4.4 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm

จากรูปที่4.4 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm ทำมุม 30 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.4 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จากการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี



รูปที่4.5 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm

จากรูปที่4.5 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm ทำมุม 45 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.5 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จาการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี



รูปที่4.6 ขนาดรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm

จากรูปที่4.6 เป็นการวัดระยะโปรเจกไตล์ในแนวราบและแนวดิ่งของหัวฉีด โดยรูหัวฉีดเท่ากับ 1.8 cm ทำมุม 60 องศา โดยจากการทดลองเราจะวัดในแนวราบจากหัวฉีดจนถึงจุดตกในแนวระดับ โดยในแนวดิ่งจะวัด5จุด ข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟดังรูปที่4.6 โดยจุดที่ได้จะได้จากการทดลอง ส่วนเส้นกราฟที่ได้ ได้จาการการทำcurve fitting และเส้นทึบจะเป็นการทดลองจริงส่วนเส้นสีจางจะเป็นเส้นจากทฤษฎี

ตาราง4.2 ค่าที่ได้จากเส้นกราฟทดลอง

ขนาดรูหัวฉีด (cm)	ทำมุมเอียง (องศา)	ค่า R^2	สมการ
1.3	30	0.994	$y = -0.009x^2 + 0.524x - 0.084$
	45	0.998	$y = -0.014x^2 + 1.054x + 0.024$
	60	0.982	$y = -0.019x^2 + 1.138x + 0.546$
1.8	30	0.993	$y = -0.009x^2 + 0.543x + 0.06$
	45	0.994	$y = -0.014x^2 + 0.922x - 0.166$
	60	0.996	$y = -0.023x^2 + 1.421x - 0.273$

จากตาราง4.2จะเห็นได้ว่าค่า R^2ที่ได้จากกราฟที่หัวฉีดทำมุมเอียง45องศา ขนาดรูหัวฉีด 1.3 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือ ค่าที่วัดได้จากการทดลองกับเส้นกราฟจากทฤษฎีมีแนวโน้มที่ถูกต้อง

4.5 ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง การหาเส้นโปรเจกไตล์ที่ได้จากทฤษฎี

เช่น หัวฉีดขนาด 1.3 cm มีความเร็วต้นที่ปลายหัวฉีด 2.56 $\frac{m}{s}$

หาความเร็วในแนวราบและแนวดิ่ง

$V_{x0} = V_y \times \cos\alpha = 2.56\cos 30 = 2.22$

$V_{y0} = V_y \times \sin\alpha = 2.56\sin 30 = 1.28$

4. หาเวลา

$V_y = V_{y0} - at$

$0 = 1.28 - 9.81\ t$

$t = 1.28/9.81$

$= 0.13\ s$

5. หาระยะสูงสุดในแนวดิ่ง

$V_y^2 = V_{y0}^2 + 2a(y - y_o)$

$0^2 = 1.28^2 + 2(-9.81)(y - 0)$

$y = 8.35\ cm$

6. หาระยะไกลสุดในแนวราบ

เนื่องจากเวลาเป็น2เท่าของระยะทางดังนั้น

$$R = 2V_{x0}t$$
$$= 2\times2.22\times0.13$$
$$= 0.577 \text{ cm}$$

ตัวอย่าง การหาอัตราการไหลเชิงมวล (ṁ)

เมื่อเราชั่งตวงน้ำที่ไหลออกมาจากสายยางปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้เวลา 1.85 วินาที

$$\dot{m} = \frac{kg}{s} = 1/1.85 = 0.535 \ \frac{kg}{s}$$

เมื่อเราชั่งตวงน้ำที่ไหลออกมาจากหัวฉีดปริมาณ 1 กิโลกรัม ใช้เวลา 4.4 วินาที

$$\dot{m} = \frac{kg}{s} = 1/4.4 = 0.266 \ \frac{kg}{s}$$

ตัวอย่าง การคำนวณค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number)

สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 2 cm หัวฉีดมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 12 cm ขนาดรูหัวฉีด = 1.3 cm ทำมุมเอียง 45องศา อัตราการไหลเชิงมวลของสายยาง(ṁ) = 0.535 $\frac{kg}{s}$ อัตราการไหลเชิงมวลของท่อหัวฉีด(ṁ) = 0.226 $\frac{kg}{s}$

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่สายยาง

หาความเร็วจากอัตราการไหลเชิงมวล (ṁ) = 0.535 $\frac{kg}{s}$

$$\dot{m} = \rho AV$$
$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$
$$= \frac{\dot{m}}{\rho\pi r^2}$$
$$= \frac{0.535}{1000\pi0.012}$$
$$= 0.314 \ \frac{m}{s}$$

จากสมการ $\mathrm{Re} = \frac{\rho VD}{\mu}$

ρ = ความหนาแน่น = 1000 $\frac{kg}{m^3}$

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.02 m

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล = 0.314 $\frac{m}{s}$

μ = ความหนืดของการไหล = 1.12×10^{-3} $\frac{\mathrm{N.s}}{m^2}$

$$\mathrm{Re}_1 = \frac{1000\times0.02\times0.314}{1.12\times10^{-3}}$$

$$= 5607.143$$

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่หัวฉีด

$$\dot{m} = \rho AV$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$= \frac{\dot{m}}{\rho\pi r^2}$$

$$= \frac{0.226}{1000\pi0.062}$$

$$= 0.02 \quad \mathrm{m/s}$$

จากสมการ $\mathrm{Re} = \frac{\rho VD}{\mu}$

ρ = ความหนาแน่น = 1000 $\frac{kg}{m^3}$

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง = 0.12 m

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล = 0.02 $\frac{m}{s}$

μ = ความหนืดของการไหล = 1.12×10^{-3} $\frac{\mathrm{N.s}}{m^2}$

$$\mathrm{Re}_2 = \frac{1000\times0.12\times0.02}{1.12\times10^{-3}} = 2142.857$$

ตาราง4.3 ผลการทดลอง

ขนาดรูหัวฉีด (cm)	ทำมุมเอียง (องศา)	ค่าเฉลี่ยระยะโปรเจกไตล์สูงสุดในแนวดิ่ง (cm)	ค่าเฉลี่ยระยะโปรเจกไตล์ไกลสุดในแนวราบ (cm)	Re_1 (สายยาง)	Re_2 (หัวฉีด)
1.3	30	8	58	5607.143	2142.857
	45	20	74		
	60	16	58		
1.8	30	8	58	5607.143	1928.571
	45	14	66		
	60	24	60		
2.2	เนื่องจากค่าที่ออกมาน้อยเกินไปจึงไม่สามารถบันทึกได้				

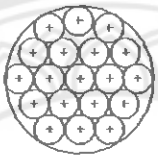
สายยางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร จากผลการทดลอง พบว่าการไหลภายในสายยางให้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ใกล้เคียงกันประมาณ 5607 (เป็นการไหลแบบปั่นป่วน) โดยค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ได้ในสายยางจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดรูหัวฉีดกับการทำมุมเอียงของหัวฉีด ส่วนการไหลภายในหัวฉีดได้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สองค่าคือที่ขนาดรูหัวฉีด 1.3 เซนติเมตร ได้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ประมาณ 2142 ส่วนขนาดรูหัวฉีด1.8 เซนติเมตร ได้ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ประมาณ 1928 โดยขนาดรูหัวฉีดมีผลต่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ แต่การทำมุมเอียงของหัวฉีดไม่มีผลกระทบต่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทำการทดลองพบว่าเมื่อทำการทดลอง การทำงานของปั๊มทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่รุนแรง คือ มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มากกว่า 3000 ขึ้นไป ดังนั้นจึงทำการลดค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์โดยการออกแบบหัวฉีดขึ้นมาโดยภายในหัวฉีดใช้หลอดรวมกันเป็นแผงที่เรียกว่า รังผึ้ง เพื่อใช้ในการจัดระเบียบการไหล



รูปที่ 5.1 ภาพหน้าตัดขวางของหัวฉีด โดยแสดงแผงรังผึ้งที่ทำจากหลอด

จากการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองเมื่อนำมาสร้างกราฟในโปรแกรมExcel โดยใช้วิธีโพลิโนเมียล ผลที่ได้พบว่ากราฟที่ได้วัดจากการทดลองกับกราฟที่ได้จากทฤษฎีมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมากโดยสังเกตจากค่า R^2 ซึ่งทางกลุ่มได้ทำการทำนายระยะโปรเจกไตล์ของรูหัวฉีดแต่ละขนาดและแต่ละมุมเริ่มต้นของโปรเจกไตล์ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในภายภาคหน้าได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากลำน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดยังเป็นลำน้ำมีแต่ความต่อเนื่อง จึงทำให้ยังไม่มีความสวยงามและน่าชมเท่าที่ควรทางกลุ่มจึงได้เสนอแนวทางการทำวิจัยในอนาคตไว้ดังต่อไปนี้

5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต

โครงงานนี้เป็นโครงงานเกี่ยวกับน้ำพุที่ทำให้ลำน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดนั้นมีความสมมาตรแบบราบเรียบและเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งสิ่งที่ทำการวิจัยต่อไปคือ

1. การออกแบบเครื่องตัดลำน้ำเพื่อสร้างลำน้ำแบบกระโดด

2. การเพิ่มแสงในลำน้ำโดยใช้หลอดไฟ แอลอีดี (LED) เราสามารถติดหลอดไปไว้ที่ปลายรูของหัวฉีดและการวิเคราะห์ผลกระทบของหลอดไฟที่มีผลต่อการไหลของลำน้ำ

3. ต้องการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ(D_1)กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ(D_2) ว่ามีผลต่อระยะโปรเจกไตล์กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์(Re)

4. คำนวณขนาดของปั๊มเพื่อที่จะทราบว่าหัวฉีดแต่ละขนาดต้องใช้ขนาดที่ปั๊มต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

BRUCH R. MUNSON , DONALD F. YOUNG , THEODORE H ;
Fundamentals of Fluid Mechanics 5th Edition.

จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล. (2550) การศึกษาเชิงตัวเลขของการตกกระทบของเจ็ทอากาศลงบนพื้นผิวรอยบุ๋ม มหาวิทยาลัยนเรศวร (ปริญญานิพนธ์).

www.atlanticfountains.net/spray_patterns.htm ; **Phone: (860) 669 1188 FAX: (860) 669 4488** Mon-Wed 10-5, Thu-Fri 10-6 Eastern Time Sat 10-4 by appointment.

ภาคผนวก

ขนาดหัวฉีด 1.8 cm ทำมุมเอียง 30 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	9.33	18.67	28	37.33	46.67	56
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	4.5	6.5	8	6.5	4.5	0

ขนาดหัวฉีด 1.8 cm ทำมุมเอียง 45 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	11	22	33	44	55	66
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	8	13	16	13	8	0

ขนาดหัวฉีด 1.8 cm ทำมุมเอียง 60 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	10	20	30	40	50	60
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	11	17	24	17	11	0

ขนาดหัวฉีด 1.3 cm ทำมุมเอียง 30 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	9.67	19.33	29	38.67	48.34	58
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	4	6.5	8	6.5	4	0

ขนาดหัวฉีด 1.3 cm ทำมุมเอียง 45 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	12.33	24.67	37	49.33	61.67	74
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	11	17	20	17	11	0

ขนาดหัวฉีด 1.3 cm ทำมุมเอียง 60 องศา

ระยะแนวราบ (cm)	0	9.67	19.33	29	38.67	48.34	58
ระยะแนวดิ่ง (cm)	0	12	15	16	15	12	0

■ TABLE 1.5

Approximate Physical Properties of Some Common Liquids (BG Units)

Liquid	Temperature (°F)	Density, ρ (slugs/ft³)	Specific Weight, γ (lb/ft³)	Dynamic Viscosity, μ (lb · s/ft²)	Kinematic Viscosity, ν (ft²/s)	Surface Tension,[a] σ (lb/ft)	Vapor Pressure, p_v [lb/in.² (abs)]	Bulk Modulus,[b] E_v (lb/in.²)
Carbon tetrachloride	68	3.09	99.5	2.00 E − 5	6.47 E − 6	1.84 E − 3	1.9 E + 0	1.91 E + 5
Ethyl alcohol	68	1.53	49.3	2.49 E − 5	1.63 E − 5	1.56 E − 3	8.5 E − 1	1.54 E + 5
Gasoline[c]	60	1.32	42.5	6.5 E − 6	4.9 E − 6	1.5 E − 3	8.0 E + 0	1.9 E + 5
Glycerin	68	2.44	78.6	3.13 E − 2	1.28 E − 2	4.34 E − 3	2.0 E − 6	6.56 E + 5
Mercury	68	26.3	847	3.28 E − 5	1.25 E − 6	3.19 E − 2	2.3 E − 5	4.14 E + 6
SAE 30 oil[c]	60	1.77	57.0	8.0 E − 3	4.5 E − 3	2.5 E − 3	—	2.2 E + 5
Seawater	60	1.99	64.0	2.51 E − 5	1.26 E − 5	5.03 E − 3	2.26 E − 1	3.39 E + 5
Water	60	1.94	62.4	2.34 E − 5	1.21 E − 5	5.03 E − 3	2.26 E − 1	3.12 E + 5

[a] In contact with air.

[b] Isentropic bulk modulus calculated from speed of sound.

[c] Typical values. Properties of petroleum products vary.

■ TABLE 1.6

Approximate Physical Properties of Some Common Liquids (SI Units)

Liquid	Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m³)	Specific Weight, γ (kN/m³)	Dynamic Viscosity, μ (N · s/m²)	Kinematic Viscosity, ν (m²/s)	Surface Tension,[a] σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v [N/m² (abs)]	Bulk Modulus,[b] E_v (N/m²)
Carbon tetrachloride	20	1,590	15.6	9.58 E − 4	6.03 E − 7	2.69 E − 2	1.3 E + 4	1.31 E + 9
Ethyl alcohol	20	789	7.74	1.19 E − 3	1.51 E − 6	2.28 E − 2	5.9 E + 3	1.06 E + 9
Gasoline[c]	15.6	680	6.67	3.1 E − 4	4.6 E − 7	2.2 E − 2	5.5 E + 4	1.3 E + 9
Glycerin	20	1,260	12.4	1.50 E + 0	1.19 E − 3	6.33 E − 2	1.4 E − 2	4.52 E + 9
Mercury	20	13,600	133	1.57 E − 3	1.15 E − 7	4.66 E − 1	1.6 E − 1	2.85 E + 10
SAE 30 oil[c]	15.6	912	8.95	3.8 E − 1	4.2 E − 4	3.6 E − 2	—	1.5 E + 9
Seawater	15.6	1,030	10.1	1.20 E − 3	1.17 E − 6	7.34 E − 2	1.77 E + 3	2.34 E + 9
Water	15.6	999	9.80	1.12 E − 3	1.12 E − 6	7.34 E − 2	1.77 E + 3	2.15 E + 9

[a] In contact with air.

[b] Isentropic bulk modulus calculated from speed of sound.

[c] Typical values. Properties of petroleum products vary.

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ : นายทศพร ทำงาม

วัน เดือน ปีเกิด : 2 เมษายน 2529

ภูมิลำเนา : 75 หมู่ที่ 1 ตำบลพญาแก้ว อำเภอเชียงกลาง จังหวัดน่าน

ประวัติการศึกษา : - ประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านน้ำคา
- มัธยมต้นที่โรงเรียนปัว
- มัธยมปลายที่โรงเรียนปัว
- ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ : นายธรรมรัตน์ สารยศ

วัน เดือน ปีเกิด : 1 สิงหาคม 2529

ภูมิลำเนา : 156 หมู่ที่ 1 ตำบลทุ่งเสลี่ยม อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย

ประวัติการศึกษา : - ประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลทุ่งเสลี่ยม
- มัธยมต้นที่โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์
- มัธยมปลายที่โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ : นายพจน์ กูลนะ

วัน เดือน ปีเกิด : 26 กุมภาพันธ์ 2529

ภูมิลำเนา : 77/2 หมู่ที่ 9 ตำบลกลางดง อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย

ประวัติการศึกษา : - ประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านแม่ทุเลาใน
- มัธยมต้นที่โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์
- มัธยมปลายที่โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร