

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 7/2553

เรื่อง

การศึกษากังหันน้ำแบบทุ่นลอย

(Study on Floating Water Turbine)

โดย

นายวัชระ หลักชัย

นายสุภวุฒิ ก่อคุณ

นายเอกราช ทองบาง

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา - ชลประทาน)

พุทธศักราช 2553

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

เรื่อง : การศึกษากังหันน้ำแบบทุ่นลอย

(Study on Floating Water Turbine)

นามผู้ทำโครงการ : นายวัชร	หลักชัย
นายสุภาวุฒิ	ก่อคุณ
นายเอกราช	ทองบาง

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ
(อ.ธัญดร ออกกะลา)
...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา
(รศ. สันติ ทองพำนัก)
...../...../.....

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษากังหันน้ำแบบทุ่นลอย

โดย : นายวัชร หลักชัย

นายสุภาวุฒิ ก่อคุณ

นายเอกราช ทองบาง

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ :

(อ. ธัญคร ออกระลา)

...../...../.....

โครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพลังงานจากกังหันน้ำที่ได้รับ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้า และประยุกต์การใช้พลังงานน้ำให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพ

หลักการ คือ เปลี่ยนรูปพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ เพื่อนำมาเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งทำการทดสอบทำได้โดยนำกังหันไปลอยในคลองแปลงทดลองของภาควิชาชลประทาน แล้วทำการวัดความเร็วของกระแส น้ำ ความเร็วรอบ และแรงที่กระทำต่อกังหัน

จากผลการทดลองปรากฏว่า กำลังสูงสุด 0.2069 นิวตัน-เมตรต่อวินาที แรงบิดที่กำลังสูงสุด เมื่อ 0.2009 นิวตัน-เมตร ความเร็วกระแสน้ำ 0.352 เมตรต่อวินาที และที่ระยะจมของกังหันเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันน้ำ ผลที่ได้รับกังหันน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

Abstract

Title : Study of Floating Water Turbine

By : Mr. Watchara Lakchai

Mr. Suppawut Kohkhun

Mr. Eakarad Thongbang

Project advisor :

(Mr.Thundorn Okwala)

The purpose of this irrigation engineering project is for studying the energy from the turbine which is received and also for guidance in this study and apply the using of Hydro energy to make it efficiency benefits.

The idea is to change the existing nature of energy to be used as energy. The testing done by the turbine to float in the canal. Then measures the speed of the current speed and force acting on the turbine

From the experimental results. Can see that the maximum power and torque to be. When the turbine stage was sinking. The diameter of the turbine of the turbine can be used to advantage.

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมศาสตร์ (Irrigation Engineering Project : 207499) เรื่อง กังหันน้ำแบบทุ่นลอย (Study of Floating water Turbine) เป็นงานการศึกษาของนิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ก็ด้วยการสนับสนุน ชี้นำ และให้คำปรึกษา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานจาก อาจารย์ชัยคุตร ออกกะลา และขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชา วิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนนิสิตที่อำนวยความสะดวก ในการจัดทำโครงการให้เป็นผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และสามารถจัดรูปเล่มที่สมบูรณ์ได้

ในนามของผู้ดำเนินโครงการจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เมษายน 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
คำนิยาม	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญตัวแปร	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตในการศึกษา	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 กังหันน้ำ	2
2.2 กังหันน้ำแรงกระแทก	2
2.3 การวิเคราะห์กังหันน้ำแรงกระแทก	4
2.4 การกระจายความเร็วและสัมประสิทธิ์ของการกระจาย	8
2.5 การวิเคราะห์มิติโดยวิธี บักกิงแฮม (Buckingham Pi Theorem)	9

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์หิมิต	11
3.2 อุปกรณ์	12
3.3 วิธีการทดลอง	15

บทที่ 4 ผลการทดลอง

19

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36

เอกสารอ้างอิง

37

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก	2
รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก	3
รูปที่ 2.3 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก	4
รูปที่ 2.4 รูปตัดอิสระของกังหันแรงกระแทก	5
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง P และความเร็วของกังหันน้ำ u เมื่อ $k = 1$ และ $\theta = 180^\circ$	7
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการกระจายความเร็วในทางน้ำเปิด	8
รูปที่ 2.7 การกระจายของความเร็วตามความลึก	9
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์วัดแรงบิด	12
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กังหันน้ำ	13
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าโดยแม่เหล็กไฟฟ้า	13
รูปที่ 3.4 ตาชั่งสปริงขนาด 5 kg และ 1 kg	14
รูปที่ 3.5 นาฬิกาจับเวลา HEUER	14
รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งกังหันน้ำ	15
รูปที่ 3.7 การปรับระดับการจมของกังหันน้ำ	15
รูปที่ 3.8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้านเหนือน้ำ	16
รูปที่ 3.9 การอ่านค่าผลต่างน้ำหนักรจากตาชั่งสปริง	16
รูปที่ 3.10 การจับเวลาที่กังหันหมุนครบ 10 รอบ	17

รูปที่ 3.11 การปรับบานประตูส่งน้ำปากคลอง	18
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s	23
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s	24
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s	25
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s	26
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s	27
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s	28
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่กำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ	30
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ	31
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\varphi}{D\mu^2}$ กับ $\frac{v\mu D}{\mu}$	34
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_{\max}\rho^2 D}{\mu^3}$ กับ $\frac{v\mu D}{\mu}$	34

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)	19
ตารางที่ 4.2 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)	19
ตารางที่ 4.3 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)	20
ตารางที่ 4.4 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)	20
ตารางที่ 4.5 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)	20
ตารางที่ 4.6 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)	21
ตารางที่ 4.7 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)	21
ตารางที่ 4.8 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)	21
ตารางที่ 4.9 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)	22
ตารางที่ 4.10 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.05 m	29
ตารางที่ 4.11 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.10 m	29
ตารางที่ 4.12 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.15 m	29
ตารางที่ 4.13 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$	32
ตารางที่ 4.14 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$	32
ตารางที่ 4.15 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$	32

ตารางที่ 4.16 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของแรงบิดที่กำลังสูงสุดที่	$\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$	33
ตารางที่ 4.17 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของแรงบิดที่กำลังสูงสุดที่	$\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$	33
ตารางที่ 4.18 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของแรงบิดที่กำลังสูงสุดที่	$\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$	33

ตารางหน่วยตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย (SI)	มิติ (MLT)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน	m	L^1
F	แรงดึง	N	MLT^{-2}
ΔF	ผลต่างแรงดึงของตาชั่ง	N	MLT^{-2}
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	m/s^2	LT^{-2}
h	ความลึกของใบพัดส่วนที่จมน้ำ	m	L^1
N	ความเร็วรอบ	1/s	T^{-1}
P	กำลังงาน	N-m/s	$M^1L^2T^{-3}$
v	ความเร็วของกระแส	m/s	L^1T^{-1}
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	KN/m^3	M^1L^{-3}
τ	แรงบิด	N-m	$M^1L^2T^{-2}$
μ	ความหนืดของของไหล	N/m^2	$M^1L^{-1}T^{-1}$
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s	T^{-1}

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันพลังงานแต่ละชนิดมีความขาดแคลนเป็นอย่างมาก เนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ รวมไปถึงการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง จึงได้มีศึกษาเพื่อค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีจะจำนวนลดน้อย และเกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ จำเป็นต้องประยุกต์ใช้พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือเปลี่ยนรูปของพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กักเก็บน้ำจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากกักเก็บน้ำจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปแบบพลังงานน้ำให้เป็นพลังงานกล เพื่อที่จะนำพลังงานที่ได้จากกักเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจะสามารถทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี และไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.ศึกษาการทำงานของกังหันพลังงานน้ำแบบทุ่นลอย
- 2.วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกังหันพลังงานน้ำแบบทุ่นลอย

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

ทำการสร้างกังหันน้ำขึ้น เพื่อนำพลังงานจากน้ำที่ไหลในคลองส่งน้ำชลประทานมาเปลี่ยนเป็นพลังงานกล พร้อมทั้งพิจารณาถึงผลของความเร็วของน้ำที่มีผลต่อกำลังของกังหัน และนำกำลังของกังหันที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

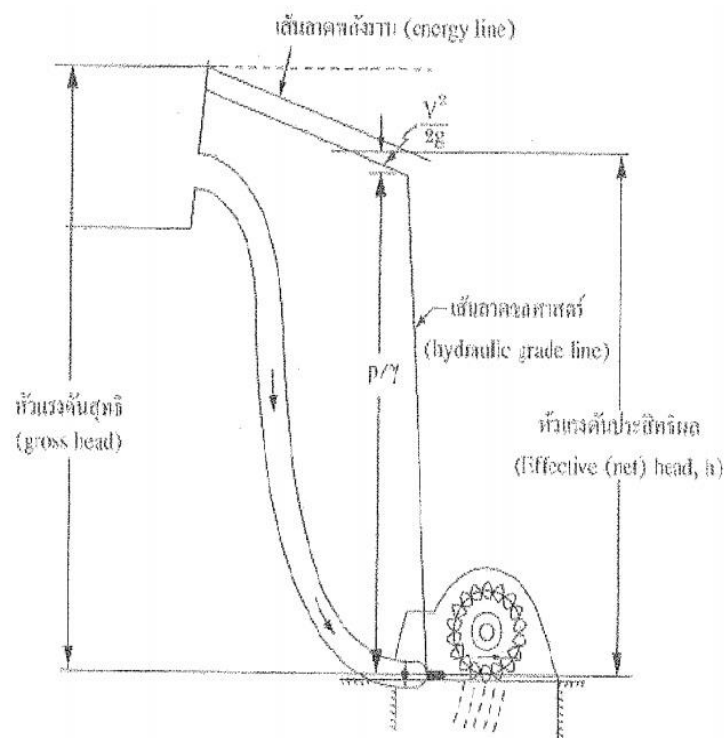
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 กังหันน้ำ (กิริติ , 2538)

กังหันน้ำ คือ เครื่องจักรที่เปลี่ยนพลังงานชลศาสตร์ (Hydraulic energy) ไปเป็นพลังงานกล (Mechanical energy) โดยเพลของกังหันน้ำนี้จะไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้เกิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ (Hydroelectric) ซึ่งตรงข้ามกับหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

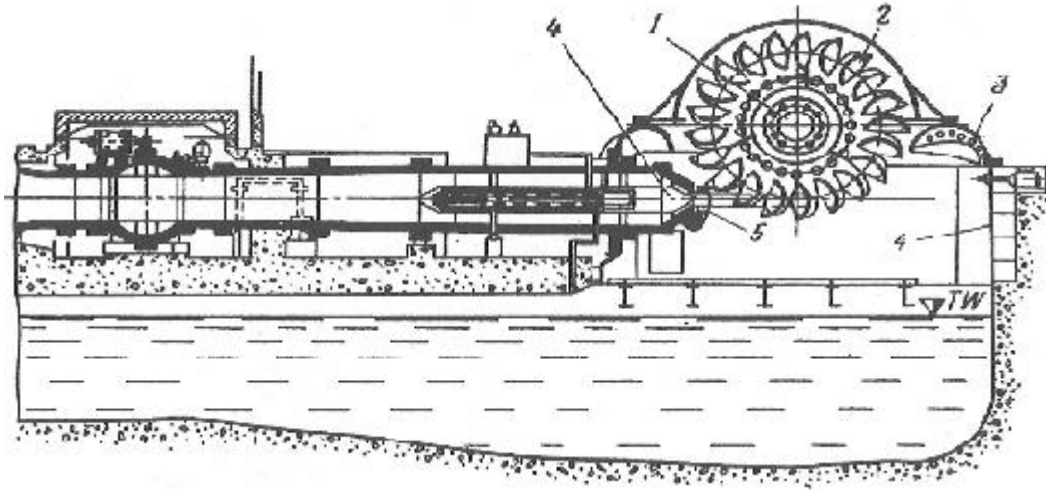
2.2 กังหันแรงกระแทก (กิริติ , 2538)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก

กังหันแรงกระแทก (impulse turbine) คือกังหันที่รับแรงจันค้ำของกระแสน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่ไหลผ่านท่อส่ง (penstock) แล้วพุ่งผ่านหัวฉีด (nozzle) เข้ากระแทกถ้วย (buckets) ที่วางเป็นวงกลมรอบๆตัวหมุน (runner) ดังรูปที่ 2.1 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานชลศาสตร์ไปเป็นพลังงานกล และมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของน้ำที่ทำให้มีแรงพลวัต (dynamic force) กระทำไปกังหันหมุน ซึ่งกังหันแรงกระแทก บางครั้งจะเรียกว่ากังหันแบบสัมผัส (tangential waterwheel) หรือกังหันเพลตัน (Pelton wheel) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Lester A Pelton

(1829 – 1908) ผู้คิดค้นกังหันแรงกระแทกที่มีการพัฒนามาใช้งานได้ในปัจจุบัน โดยกังหันแรงกระแทกนี้ ในยุคต้น ๆ เป็นกังหันแรงกระแทกแบบแผ่นเรียบ



หมายเลข	ชื่อเรียก
1	จานล้อกังหัน (disk)
2	ถ้วย (buckets)
3	โครงครอบ (housing)
4	หัวฉีด (nozzle)
5	ตัวสะท้อนลำน้ำ (jet deflector)

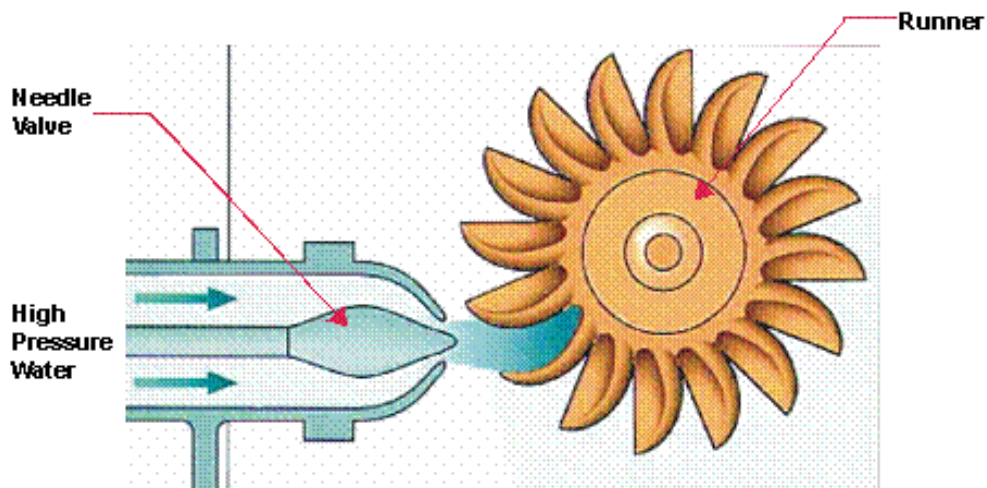
รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก

กังหันแรงกระแทกมีลักษณะทั่วไปดังรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วยจานล้อกังหัน (disk) หมายเลข 1 และถ้วย (buckets) หมายเลข 2 และ วางตามแนวเส้นรอบวงของวงล้อ โดยถ้วยแต่ละใบจะหล่อติดหรือเชื่อมติดหรือใช้น็อตยึดติดกับวงล้อ ซึ่งมีรูปร่างทั่วไปเป็นรูปทรงถ้วย (bowl-shaped) และมีผนังหรือสันแบ่งน้ำ (spiller) อยู่ตรงกลาง เพื่อแบ่งน้ำออกเป็น 2 ส่วน โดยวงล้อของกังหันจะมีโครงครอบ (housing) หมายเลข 3 ซึ่งจะยึดกังหันที่สามารถออกแบบให้แกนเพลลาของกังหันวางในแนวตั้งหรือวางในแนวนอนก็ได้ แต่ที่นิยมใช้ก็คือการจัดให้แกนเพลลาของกังหันวางอยู่ในแนวนอนมากกว่าแนวตั้ง ส่วนหมายเลข 4 คือ

หัวฉีด (nozzle) และหมายเลข 5 คือตัวสะท้อนลำน้ำ (jet deflector) เพื่อรองรับกระแสน้ำที่จะสะท้อนมาจากลำน้ำที่ผ่านด้วยกังหันกลับมา

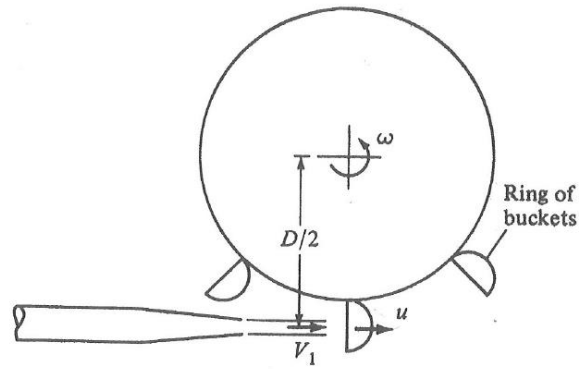
2.3 การวิเคราะห์กังหันแรงกระแทก (กิริติ , 2538)

ลักษณะการทำงานของกังหันแรงกระแทกจะรับน้ำที่พุ่งมาจากหัวฉีดเข้ากระทกด้วยของกังหัน ดังรูปที่ 2.3

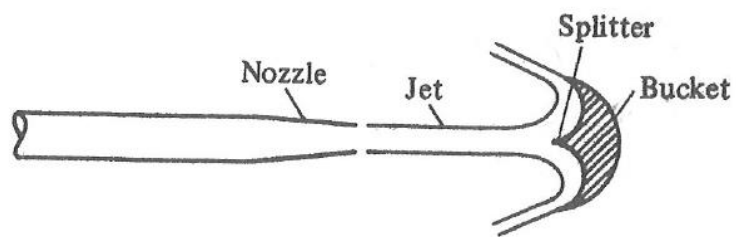


รูปที่ 2.3 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำแบบแรงกระแทก

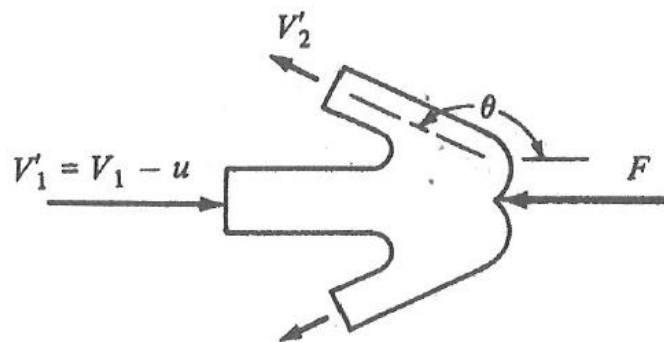
พิจารณารูปตัดคือสระของกังหันเพลตันรูปที่ 2.4 ก เมื่อลำน้ำจากหัวฉีดความเร็ว V_1 พุ่งเข้ากระทกด้วยของกังหันน้ำ จะทำให้ถ้วยของกังหันเคลื่อนด้วยความเร็วตามเส้นรอบวงของวงล้อ (peripheral velocity) เป็น u กระแสลำน้ำจะกระจายออกดังรูปที่ 2.4 ข และเกิดความเร็วสัมผัสที่จุดเข้ากระทกด้วยของกังหันน้ำเป็น $V_1' = V_1 - u$ และมีความเร็วกระแสน้ำที่ไหลจากถ้วยเป็น V_2' ดังรูปที่ 2.4 ค และเมื่อให้ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงล้อ (wheel diameter) เมื่อถ้วยถูกกระทกแรงจากลำน้ำ จะทำให้วงล้อหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ω คงที่ ดังนั้นความเร็วตามเส้นรอบวงของวงล้อจึงมีค่า u เท่ากับ $D\omega/2$



(ก) หัวฉีดและวงล้อของกังหันน้ำ



(ข) ลำน้ำและถ้วยของกังหัน



(ค) การไหลคงที่ (steady flow) ในปริมาตรควบคุม (control volume)

รูปที่ 2.4 รูปตัดอิสระของกังหันแรงกระแทก (ที่มา Alan L. Prasuhn, [28])

การไหลคงที่ในปริมาตรควบคุมของรูปที่ 2.4 ค สามารถเขียนสมการโมเมนต์ตามทิศทางกรไหลได้

$$\begin{aligned}\sum F_x &= \rho Q(U_2 - U_1) \\ -F &= \rho Q(V_2' \cos \theta - V_1')\end{aligned}\quad (2.1)$$

เนื่องจากในขณะที่น้ำผ่านถ้วยของกั้นน้ำ จะเกิดแรงเสียดทานทำให้ความเร็วลดลงหรือ

$$V_2' = kV_1' \quad (2.2)$$

โดยที่ k คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ถ้วย (bucket friction coefficient) ปกติ $k \leq 1$

แทนค่า V_2' จากสมการที่ 2.2 ในสมการที่ 2.1 จะได้

$$\begin{aligned}-F &= \rho Q(kV_1' \cos \theta - V_1') \\ \text{หรือ } F &= \rho QV_1'(1 - k \cos \theta)\end{aligned}\quad (2.3)$$

เนื่องจาก $V_1' = V_1 - u$ ดังนั้นเมื่อแทนค่า $V_1' = V_1 - u$ ในสมการที่ 2.3 จะได้

$$F = \rho Q(V_1 - u)(1 - k \cos \theta) \quad (2.4)$$

เนื่องจากกำลัง (power) ที่เกิดขึ้นได้จากการถ่ายทอดพลังงานจากลำน้ำไปสู่ล้อหมุนของกั้นน้ำ คือ กำลัง(power) $P = Fu$

แทนค่า F จากสมการที่ 2.4 ในสมการที่ 2.5 จะได้

$$\text{กำลัง } P = \rho Q(V_1 - u)(1 - k \cos \theta)u \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า ในทางทฤษฎีนั้น ในทางทฤษฎีนั้น เมื่อกั้นน้ำไม่หมุน ($u = 0$) ทำให้กำลัง $P = 0$ และเมื่อกั้นน้ำหมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของลำน้ำ ($u = V_1$) ทำให้กำลัง $P = 0$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.6 จึงมีจุด ๆ หนึ่งที่กั้นน้ำหมุนแล้วได้กำลังสูงสุด (maximum power) ซึ่งสามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ 2.6 เทียบกับความเร็วของกั้นน้ำ แล้วให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dP}{du} = \rho Q(1 - k \cos \theta)(V_1 - 2u) = 0 \quad (2.7)$$

จากสมการ 2.7 จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อมีเทอมใดเทอมหนึ่งเป็น 0 ซึ่งจะได้เห็นว่าทั้ง ρ , Q และ $(1 - k \cos \theta)$ มีค่าไม่เป็น 0 แน่แน่นอน ดังนั้นสมการจะเป็นจริงก็ต้องให้

$$V_1 - 2u = 0$$

$$\text{หรือ } u = \frac{V_1}{2} \quad (2.8)$$

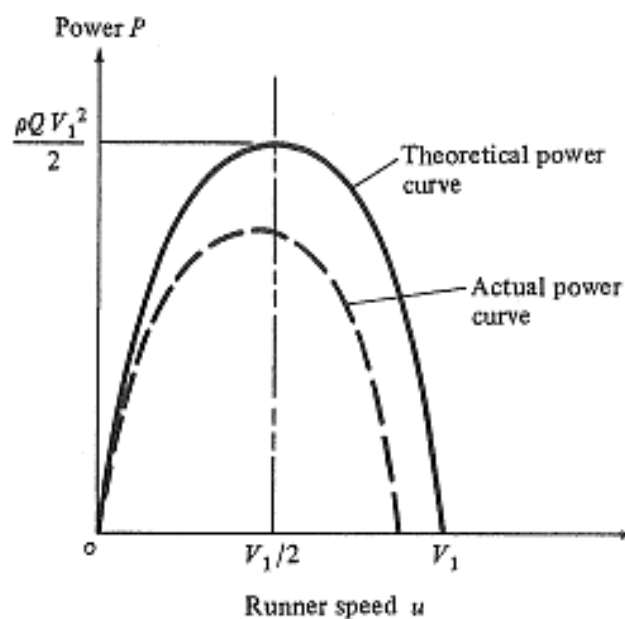
แสดงว่า ในทฤษฎี เมื่อกั้นน้ำหมุนด้วยความเร็ว u เท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำ จะเกิดกำลังสูงสุด (maximum power) ซึ่งเมื่อแทนค่า $u = \frac{V_1}{2}$ ในสมการที่ 2.6 จะได้

$$\text{กำลังสูงสุด } P_{\max} = \frac{\rho Q V_1^2 (1 - k \cos \theta)}{4} \quad (2.9)$$

สมการ 2.9 เมื่อ $k = 1$ และ $\theta = 180^\circ$ สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง P และความเร็วของกั้นน้ำ u ได้ดังรูป 2.5

จากสมการ ที่ 2.6 และรูป 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อ $k = 1$ และ $\theta = 180^\circ$ จะมีกำลังสูงสุด คือ

$$P_{\max} = \frac{\rho Q V_1^2}{2} \quad (2.10)$$

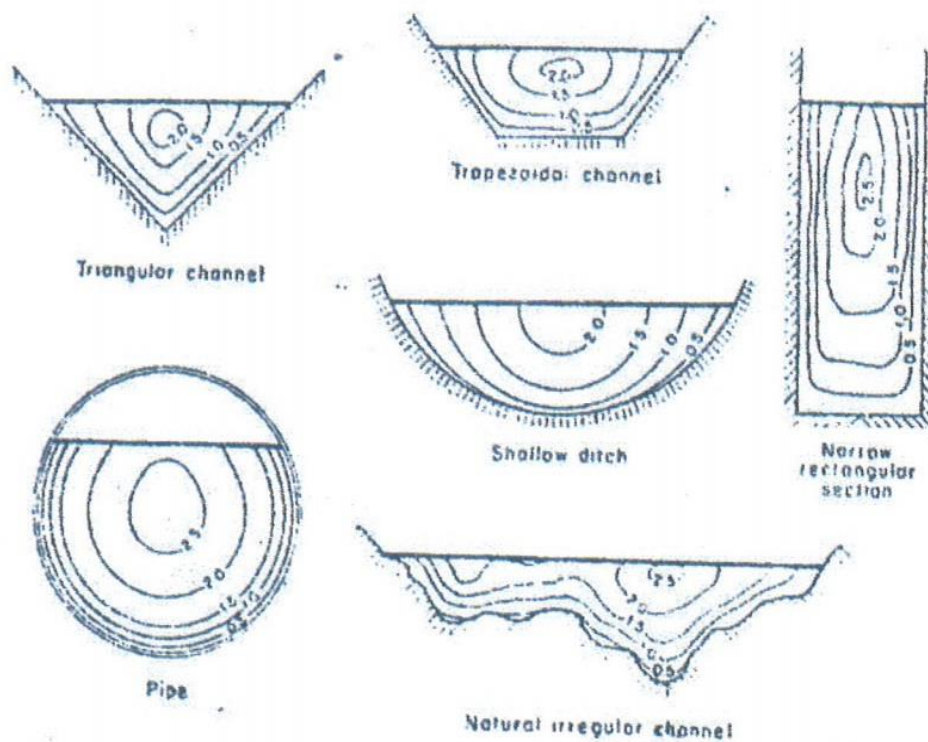


รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง P และความเร็วของกั้นน้ำ u เมื่อ $k = 1$ และ $\theta = 180^\circ$

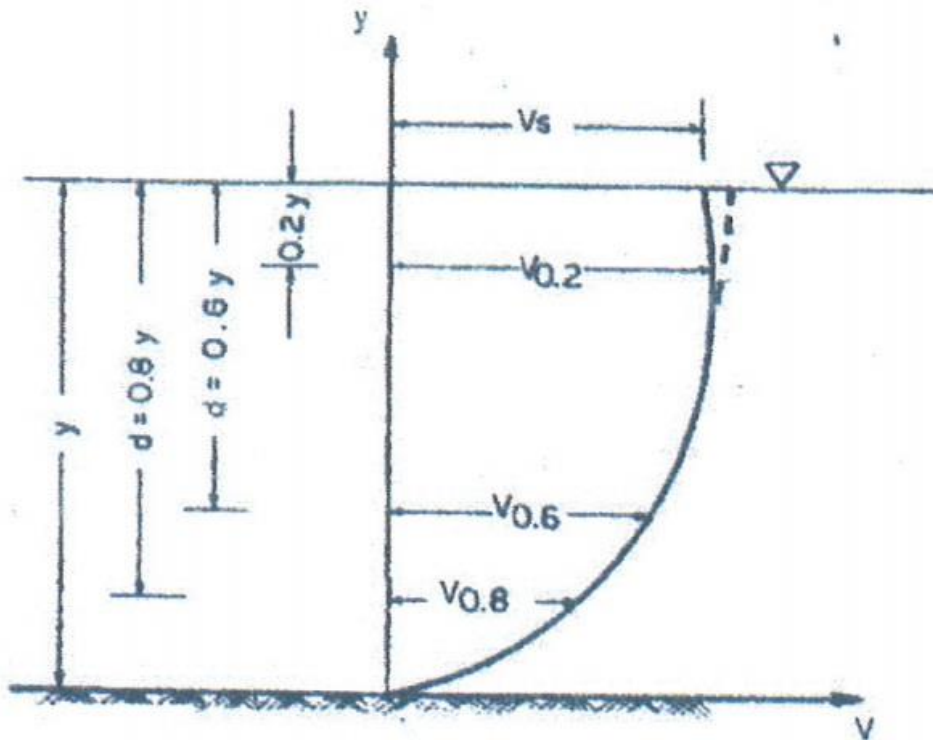
2.4 การกระจายความเร็วและสัมประสิทธิ์ของการกระจาย (สันติ , 2534)

ในทางปฏิบัติพบว่า การกระจายความเร็วตลอดหน้าตัดเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ สาเหตุส่วนใหญ่มาจากแรงเสียดทาน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของพื้นที่หน้าตัด ดังรูป 2.6 แสดงการกระจายของความเร็วของหน้าตัดทางน้ำรูปต่างๆ ซึ่งความเร็วของกระแสน้ำจะมีค่ามากที่สุดบริเวณกึ่งกลางของทางน้ำ และค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงริมตลิ่ง เป็นผลเนื่องจากแรงเสียดทานผิวสัมผัสของทางน้ำ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของทางน้ำ

หน้าตัดด้านข้างมาตรฐานของความเร็วที่กระจายตามความลึก ได้แสดงไว้ให้เห็นใน ดังรูป 2.7 โดยทั่วไปความเร็วเฉลี่ยของการไหลในทางน้ำจะมีค่าเท่ากับ ความเร็วที่ระยะความลึก $0.2y$ จากผิวน้ำอิสระ เนื่องจากที่ผิวน้ำเกิดแรงเสียดทานระหว่างน้ำกับลม และที่ความลึกเท่ากับ y จะเกิดแรงเสียดทานของท้องคลองจึงทำให้ความลึกที่ $0.2y$ จากผิวน้ำอิสระมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการกระจายความเร็วในทางน้ำเปิด



รูปที่ 2.7 การกระจายของความเร็วตามความลึก

2.5 การวิเคราะห์มิติโดยวิธี Buckingham Pi Theorem (รัชฎร ออกเวลา, 2553)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ Edgar Buckingham ได้เป็นผู้พัฒนาขึ้น โดยใช้สัญลักษณ์ π (Pi) แทนเทอมไร้มิติที่วิเคราะห์ขึ้นมาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องขั้นตอนการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

1) กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (มีจำนวน k ตัว) โดยการพิจารณาสามารถแยกเป็นกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้

- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปร่าง เช่น ϕ , A , L , h
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของของไหล เช่น ρ , γ , μ
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลภายนอก เช่น ΔP , V
- ตัวแปรที่กำหนดจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน เช่น

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \text{ จะต้องเลือกตัวใดตัวหนึ่งระหว่าง } A \text{ กับ } D$$

$\gamma = \rho g$ จะต้องเลือกว่าจะใช้ ρ กับ g หรือ μ กับ g

2) แสดงมิติของตัวแปรจากมิติพื้นฐานที่จะใช้ในการวิเคราะห์ระหว่าง M-L-T- θ หรือ F-L-T- θ

3) หาจำนวนมิติอ้างอิง (Reference Dimension) ซึ่งโดยทั่วไปจะเท่ากับจำนวนมิติพื้นฐาน (มีจำนวน r)

4) หาจำนวนของ π -terms โดย $n = k - r$

5) เลือกตัวแปรซ้ำ (Repeating Variable) จากตัวแปรอิสระทั้งหมดซึ่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนมิติอ้างอิง คือ r ตัว และเป็นตัวแปรที่จะถูกนำมาใช้ซ้ำใน π -terms

6) สร้าง π -terms โดยตัวแปรซ้ำทั้งหมด (r ตัว) มาผสมกับตัวแปรอิสระที่เหลือทีละตัว ดังนั้นจะได้ π -terms ทั้งหมด n เทอม

7) วิเคราะห์มิติของ π -terms โดยแต่ละเทอมจะต้องไม่มีมิติ (ไร้มิติ)

$$\pi_i = M^0 L^0 T^0 \quad \text{หรือ} \quad \pi_i = F^0 L^0 T^0$$

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์มิติ

- พิจารณามิติของตัวแปรแต่ละตัวที่เกี่ยวข้อง

$$P = M^1 L^2 T^{-3} \quad \rho = M^1 L^{-3} \quad \mu = M^1 L^{-1} T^{-1} \quad v = L^1 T^{-1}$$

$$h = L^1 \quad D = L^1 \quad g = L^1 T^{-2} \quad \tau = M^1 L^2 T^{-2}$$

เลือกตัวแปรซ้ำ $\rho \ D \ \mu$

$$\pi_1 = P \rho^a D^b \mu^c = [M^1 L^2 T^{-3}] [M^1 L^{-3}]^a [L^1]^b [M^1 L^{-1} T^{-1}]^c$$

$$M = 1 + a + c = 0 ; \quad a = 2$$

$$L = 2 - 3a - b + c = 0 ; \quad b = 1$$

$$T = -3 - c = 0 ; \quad c = -3$$

$$\therefore \pi_1 = P \rho^2 D^1 \mu^{-3} = \frac{P \rho^2 D}{\mu^3}$$

$$\pi_2 = h \rho^d D^e \mu^f = [L^1] [M^1 L^{-3}]^d [L^1]^e [M^1 L^{-1} T^{-1}]^f$$

$$M = d + f = 0 ; \quad d = 0$$

$$L = 1 - 3d + e - f = 0 ; \quad e = -1$$

$$T = -f = 0 ; \quad f = 0$$

$$\therefore \pi_2 = h \rho^0 D^{-1} \mu^0 = \frac{h}{D}$$

$$\pi_3 = v \rho^G D^H g^I = [L^1 T^{-1}] [M^1 L^{-3}]^G [L^1]^H [M^1 L^{-1} T^{-1}]^I$$

$$M = G + I = 0 ; \quad G = -1$$

$$L = 2 - 3G + H - I = 0 ; \quad H = 1$$

$$T = -1 - I = 0 ; \quad I = -1$$

$$\therefore \pi_3 = v \rho^{-1} D^1 g^{-1} = \frac{v \rho D}{\mu}$$

$$\pi_4 = g \rho^J D^K \mu^l = [L^1 T^{-2}] [M^1 L^{-3}]^J [L^1]^K [M^1 L^{-1} T^{-1}]^l$$

$$M = J + l = 0 ; \quad J = 2$$

$$L = 1 - 3J + K - l = 0 ; \quad K = 3$$

$$T = -2 - l = 0 ; \quad l = -2$$

$$\therefore \pi_4 = g \rho^2 D^3 \mu^{-2} = \frac{g \rho^2 D^3}{\mu^2}$$

$$\pi_5 = \tau \rho^m D^n \mu^q = [M^1 L^{-2} T^{-2}] [M^1 L^{-3}]^m [L^1]^n [M^1 L^{-1} T^{-1}]^q$$

$$M = 1 + m + q = 0 ; m = 1$$

$$L = 2 - 3m + n - q = 0 ; n = -1$$

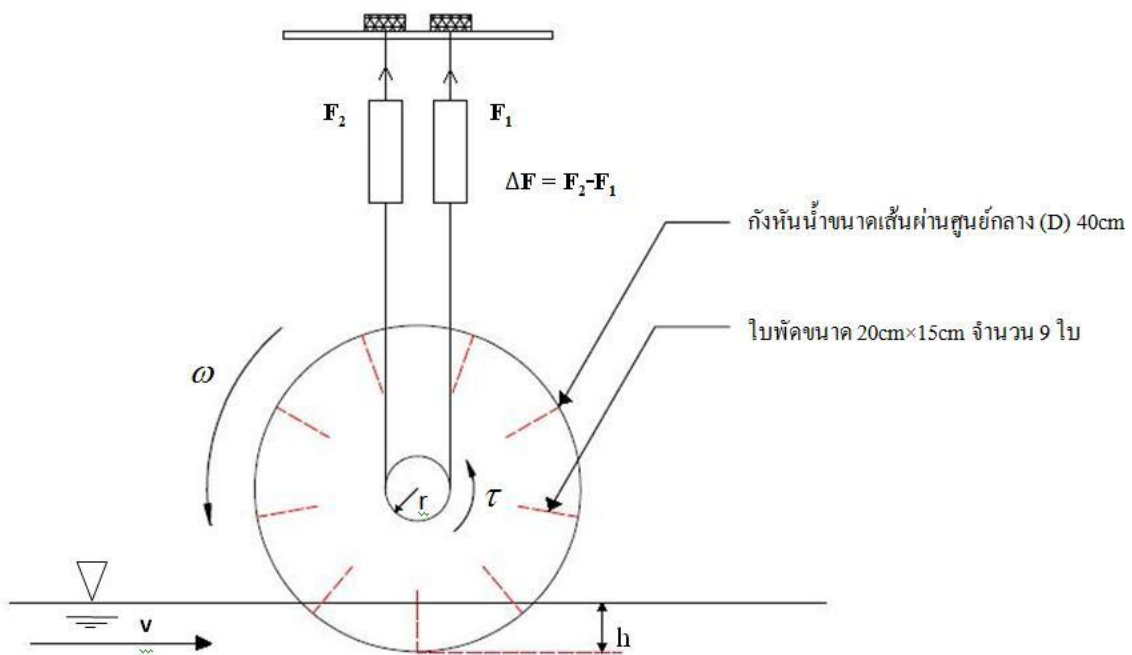
$$T = -2 - q = 0 ; q = -2$$

$$\therefore \pi_5 = \tau \rho^1 D^{-1} \mu^{-2} = \frac{\tau \rho}{D \mu^2}$$

$$\phi\{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5\} = 0 ; \phi\left\{\frac{P \rho^2 D}{\mu^3}, \frac{h}{D}, \frac{v \rho D}{\mu}, \frac{g \rho^2 D^3}{\mu^2}, \frac{\tau \rho}{D \mu^2}\right\} = 0$$

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ชุดอุปกรณ์กั้นน้ำ ประกอบด้วย กั้นน้ำอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm กว้าง 20 cm ขนาดของใบพัด 20 cm × 15 cm จำนวน 9 ใบพร้อมขาตั้ง และชุดอุปกรณ์วัดแรงบิดดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์วัดแรงบิด



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กั้นน้ำ

3.2.2 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าโดยแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น KENEK VP1200 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าโดยแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2.3 ตาชั่งสปริงขนาด 5 kg และ 1 kg ใช้วัดแรงที่กระทำต่อกัน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตาชั่งสปริงขนาด 5 kg และ 1 kg

3.2.4 นาฬิกาจับเวลา HEUER ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 นาฬิกาจับเวลา HEUER

3.2.5 คลองดาดคอนกรีตขนาดความกว้างปากคลอง 150 cm ความกว้างก้นคลอง 50 cm ณ แปลงทดลอง การเพาะปลูกของภาควิชาชลประทาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 นำชุดอุปกรณ์กักน้ำไปติดตั้งมาวางพาดกับไม้ บริเวณกึ่งกลางคลอง ไบพัตของกักน้ำอยู่ระดับผิวน้ำ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งกักน้ำ

3.3.2 ปรับระดับการจมของกักน้ำ (h) โดยเริ่มต้นที่ 5 cm ในลักษณะดังรูปที่ 3.7



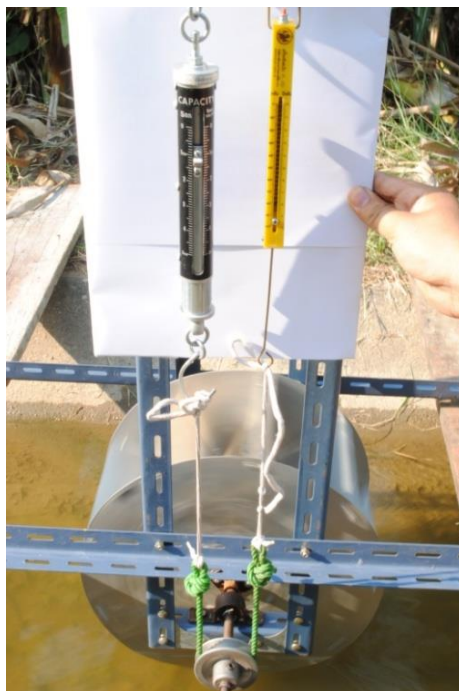
รูปที่ 3.7 การปรับระดับการจมของกักน้ำ

3.3.3 ศึกษาความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้ทดลองกั้นกันจากจุดทดลองเป็นระยะ 1 m ทางด้านเหนือน้ำโดยใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ ทำการวัดที่ความลึก $\frac{h}{2}$ โดยวัดที่ตำแหน่ง 0.25 0.5 และ 0.75 เท่าของความกว้างผิวน้ำ ดังรูป 3.8 นำความเร็วที่ได้มาคำนวณค่าความเร็วเฉลี่ย (v)



รูปที่ 3.8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้านเหนือน้ำ

3.3.4 ติดตั้งตาชั่งสปริง



รูปที่ 3.9 การอ่านค่าผลต่างน้ำหนักจากตาชั่งสปริง

3.3.5 ปรับความตึงของตาชั่งสปริง และคำนวณค่าผลต่างของแรงจากตาชั่งทั้งสอง (ΔF) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าแรงบิด (τ)



รูปที่ 3.10 การจับเวลาที่กังหันหมุนครบ 10 รอบ

3.3.6 ทำการวัดความเร็วรอบของกังหัน (ω) ด้วยการนับจำนวนรอบและจับเวลาดังรูปที่ 3.10 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3.3.4 ถึง 3.3.5 โดยเพิ่มความตึงของตาชั่งสปริง (อย่างน้อย 3 ครั้ง) จนกระทั่งใบพัดหยุดหมุน

3.3.7 ปรับระดับของกังหันให้ใบพัดจมน้ำที่ 10 cm และ 15 cm ตามลำดับแล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3.3.4 ถึง 3.3.6

3.3.8 ปรับบานประตูปากคลองเพื่อปรับความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้ทำการทดลอง จากนั้นทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 3.3.3 ถึง 3.3.7



รูปที่ 3.11 การปรับบานประตูส่งน้ำปากคลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองภาคสนามได้ทำการวัดความเร็วของกระแสน้ำ (V), ความเร็วรอบของกังหันน้ำ (N) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาความเร็วเชิงมุม (ω) ของกังหัน, ผลต่างระหว่างตาชั่งที่ได้จากกังหัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาแรงบิด (τ), นำความเร็วเชิงมุม (ω) และแรงบิด (τ) ที่ได้เพื่อไปหากำลังของกังหัน (P) จากการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.9

ตารางที่ 4.1 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	260	200	60	10	52	0.1923	1.2083	0.0165	0.0199
2	380	280	100	10	56	0.1786	1.1220	0.0275	0.0309
3	590	430	160	10	68	0.1471	0.9240	0.0440	0.0407
4	790	530	260	10	77	0.1299	0.8160	0.0715	0.0584
5	1140	820	320	10	150	0.0667	0.4189	0.0881	0.0369

ตารางที่ 4.2 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	400	290	110	10	49	0.2041	1.2823	0.0303	0.0388
2	600	420	180	10	52	0.1923	1.2083	0.0495	0.0598
3	1100	820	280	10	63	0.1587	0.9973	0.0770	0.0768
4	1500	1150	500	10	91	0.1099	0.6905	0.1376	0.0950
5	2000	1600	550	10	197	0.0508	0.3189	0.1513	0.0483

ตารางที่ 4.3 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.333 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	700	500	200	10	73	0.1370	0.8607	0.0550	0.0474
2	1500	1130	370	10	101	0.0990	0.6221	0.1018	0.0633
3	2200	1720	480	10	128	0.0781	0.4909	0.1321	0.0648
4	2800	2230	570	10	155	0.0645	0.4054	0.1568	0.0636
5	3500	2750	750	10	276	0.0362	0.2277	0.2064	0.0470

ตารางที่ 4.4 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	250	180	70	10	49	0.2041	1.2823	0.0193	0.0247
2	400	310	90	10	55	0.1818	1.1424	0.0248	0.0283
3	600	330	270	10	65	0.1538	0.9666	0.0743	0.0718
4	800	520	280	10	76	0.1316	0.8267	0.0770	0.0637
5	1000	690	310	10	101	0.0990	0.6221	0.0853	0.0531

ตารางที่ 4.5 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	450	340	110	10	42	0.2381	1.4960	0.0303	0.0453
2	750	520	230	10	46	0.2174	1.3659	0.0633	0.0864
3	900	620	280	10	48	0.2083	1.3090	0.0770	0.1009
4	1200	800	400	10	55	0.1818	1.1424	0.1101	0.1257
5	2000	1420	580	10	77	0.1299	0.8160	0.1596	0.1302

ตารางที่ 4.6 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.345 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	600	450	150	10	65	0.1538	0.9666	0.0413	0.0399
2	1200	880	320	10	69	0.1449	0.9106	0.0881	0.0802
3	1800	1280	520	10	89	0.1124	0.7060	0.1431	0.1010
4	2200	1560	640	10	112	0.0893	0.5610	0.1761	0.0988
5	2800	1980	820	10	154	0.0649	0.4080	0.2256	0.0921

ตารางที่ 4.7 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.05 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	570	400	170	10	46	0.2174	1.3659	0.0468	0.0639
2	795	485	310	10	51	0.1961	1.2320	0.0853	0.1051
3	895	635	260	10	63	0.1587	0.9973	0.0715	0.0714
4	1020	710	310	10	69	0.1449	0.9106	0.0853	0.0777
5	1400	980	420	10	95	0.1053	0.6614	0.1156	0.0764

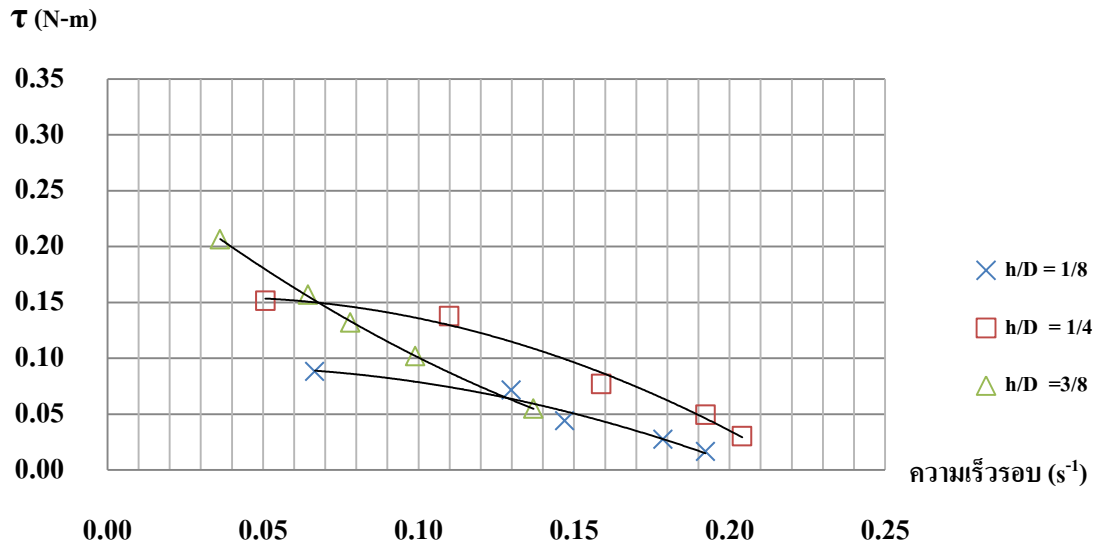
ตารางที่ 4.8 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.10 m ($\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$)

ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	700	490	210	10	42	0.2381	1.4960	0.0578	0.0864
2	1100	750	350	10	46	0.2174	1.3659	0.0963	0.1316
3	1500	1020	480	10	53	0.1887	1.1855	0.1321	0.1566
4	2100	1370	730	10	61	0.1639	1.0300	0.2009	0.2069
5	2500	1710	790	10	111	0.0901	0.5661	0.2174	0.1231

ตารางที่ 4.9 ที่ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ย 0.352 m/s ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.15 m ($\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$)

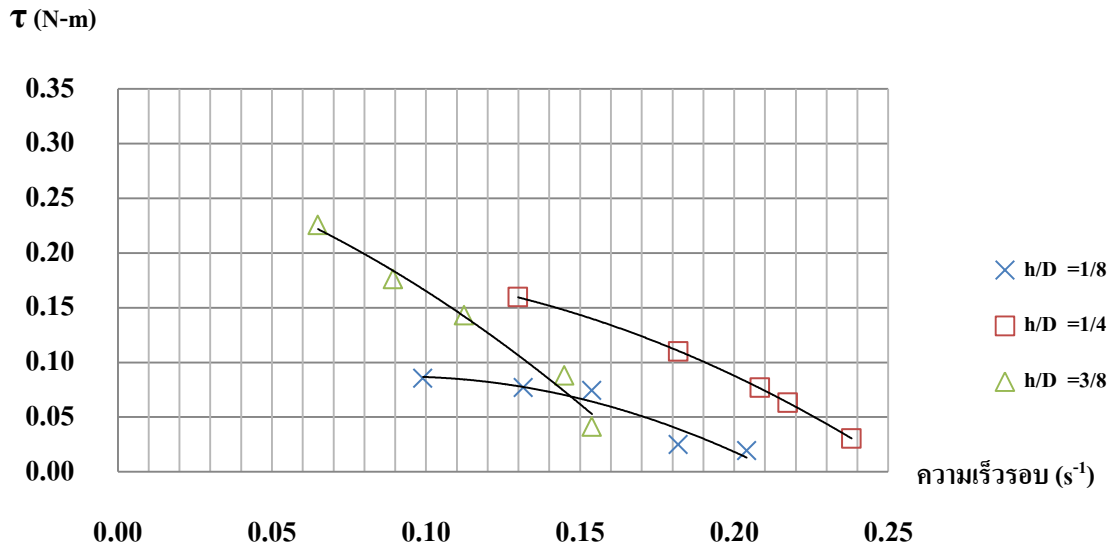
ครั้งที่	ตาชั่ง 1 (g)	ตาชั่ง 2 (g)	ผลต่าง (g)	จำนวน รอบ	เวลา (s)	ความเร็ว รอบ(N) (1/s)	ความเร็ว เชิงมุม (ω) (rad/s)	แรงบิด (τ) (N-m)	กำลัง(P) (N-m/s)
1	600	420	180	10	57	0.1754	1.1023	0.0495	0.0546
2	1000	680	320	10	60	0.1667	1.0472	0.0881	0.0922
3	1700	1010	690	10	64	0.1563	0.9817	0.1899	0.1864
4	2300	1500	800	10	80	0.1250	0.7854	0.2201	0.1729
5	3200	1990	1210	10	125	0.0800	0.5027	0.3330	0.1674

-จากข้อมูลตารางที่ 4.1 ถึง 4.9 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ ดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.6



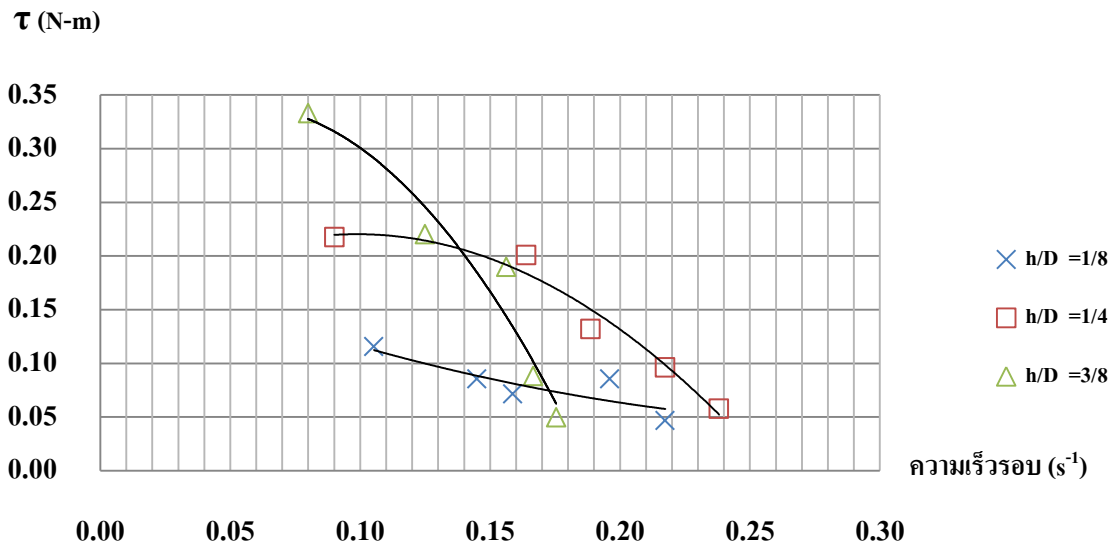
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s จากกราฟพบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$ ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้จะมีค่ามากที่สุด



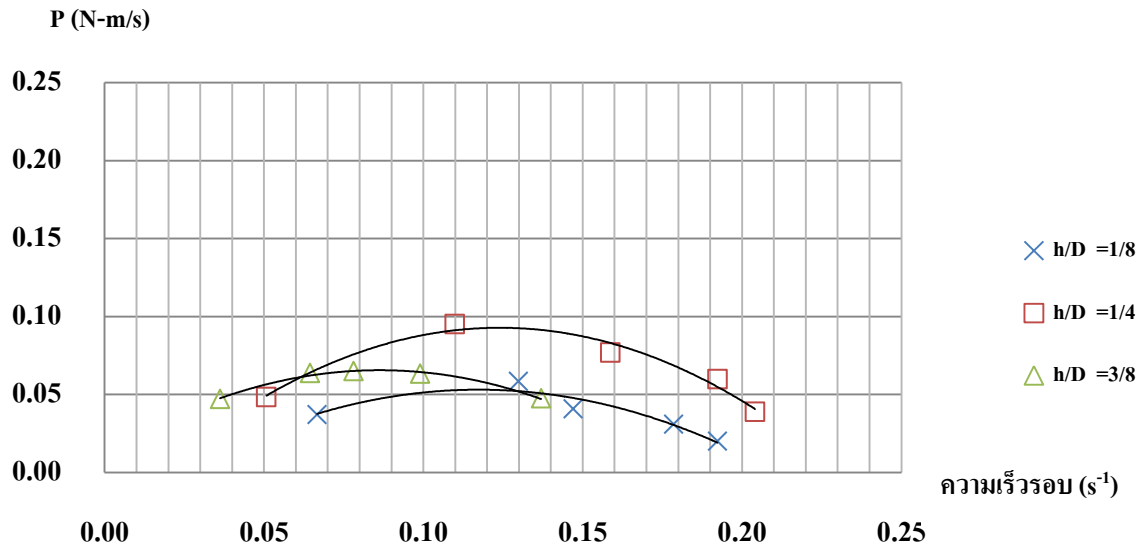
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s จากกราฟพบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$ ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้จะมีค่ามากที่สุด



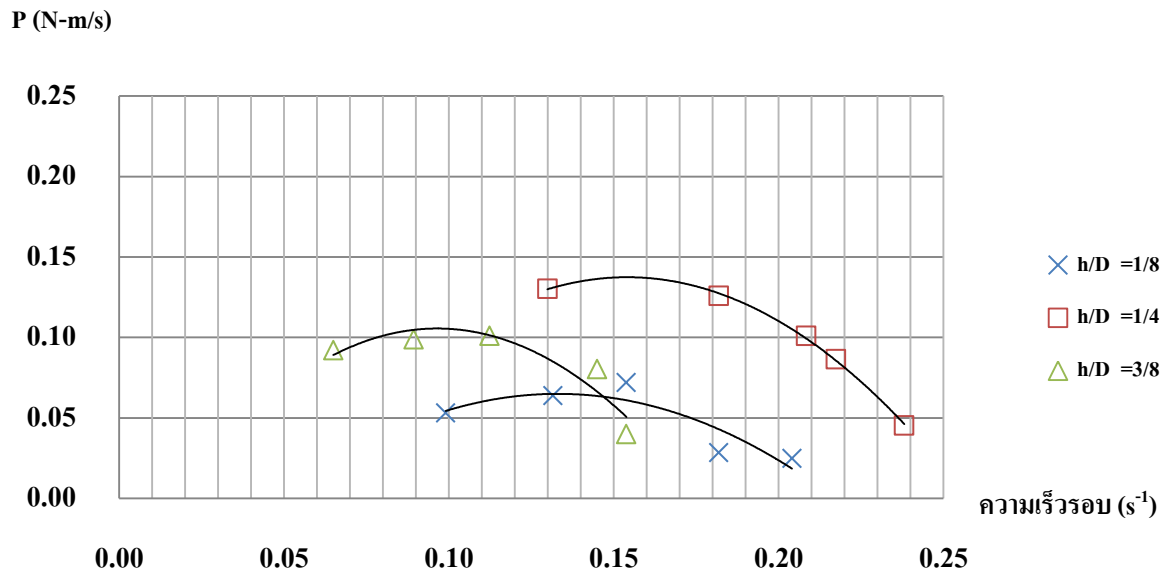
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็รรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็รรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s จากกราฟพบว่า เมื่อความเร็รรอบเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$ ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้จะมีค่ามากที่สุด



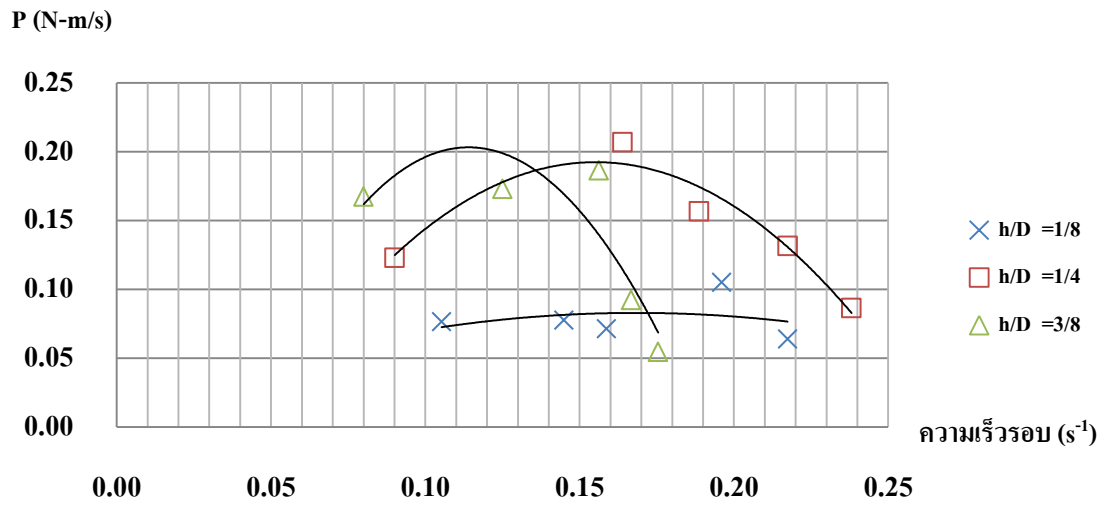
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.333 m/s จากกราฟพบว่า กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งได้ค่ากำลังสูงสุดและกำลังนั้นจะมีค่าลดลงโดยที่ความเร็วรอบนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ กำลังที่ได้จะมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.345 m/s จากกราฟพบว่า กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งได้ค่ากำลังสูงสุดและกำลังนั้นจะมีค่าลดลงโดยที่ความเร็วรอบนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ กำลังที่ได้จะมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยรอบ ที่ความเร็วน้ำ 0.352 m/s จากกราฟพบว่า กำลังที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งได้ค่ากำลังสูงสุดและกำลังนั้นจะมีค่าลดลงโดยที่ความเร็วรอบนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ กำลังที่ได้จะมีค่ามากที่สุด

- จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.9 ได้กำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดของความเร็วของกระแสน้ำต่างๆ ดังตารางที่ 4.10 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.10 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.05 m

ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ย (m/s)	แรงบิดที่กำลังสูงสุด(T') (N-m)	กำลังสูงสุด (P_{max}) (N-m/s)
0.333	0.0715	0.0584
0.345	0.0743	0.0718
0.352	0.0853	0.1051

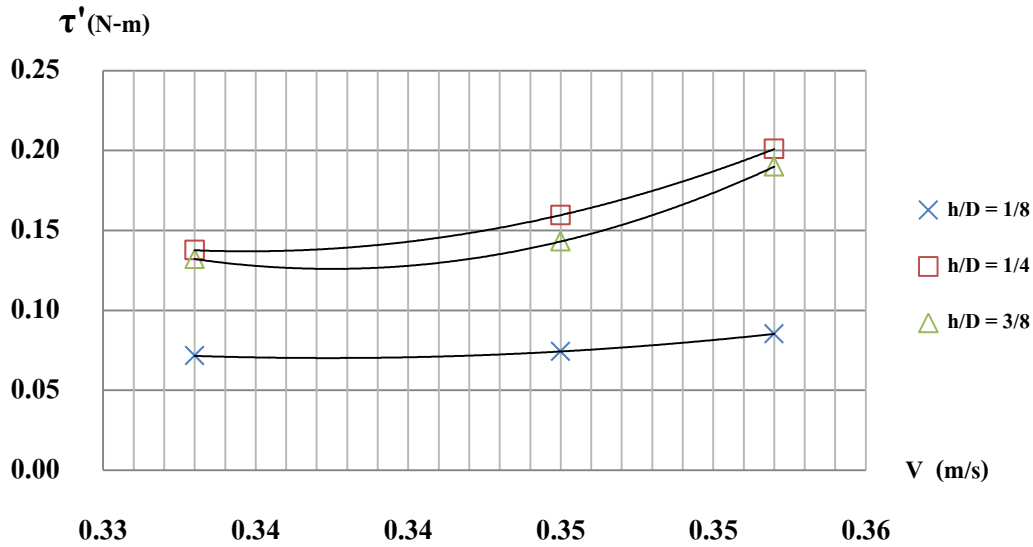
ตารางที่ 4.11 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.10 m

ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ย (m/s)	แรงบิดที่กำลังสูงสุด(T') (N-m)	กำลังสูงสุด (P_{max}) (N-m/s)
0.333	0.1376	0.0950
0.345	0.1596	0.1302
0.352	0.2009	0.2069

ตารางที่ 4.12 แสดงค่ากำลังสูงสุดและแรงบิดที่กำลังสูงสุดเมื่อความลึกของบัตที่จมน้ำ 0.15 m

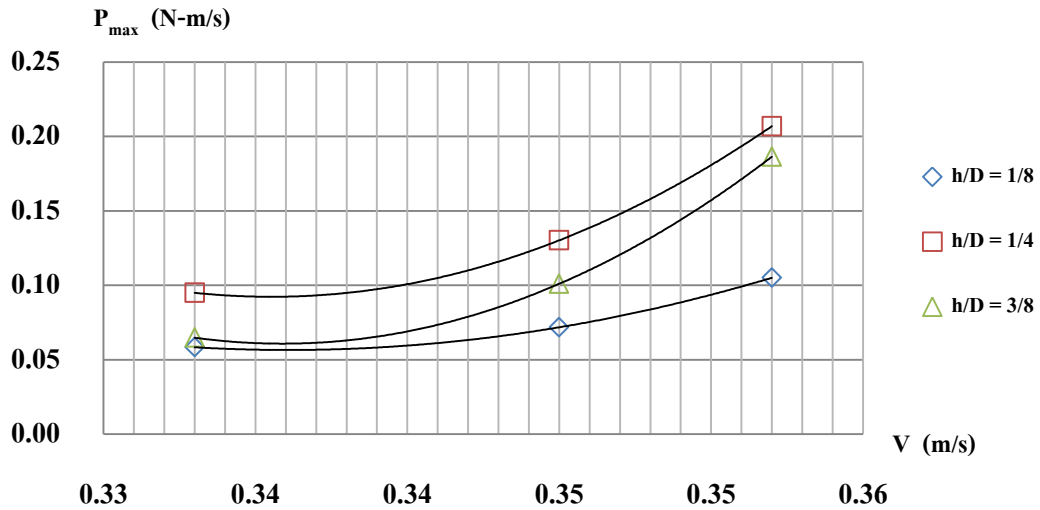
ความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ย (m/s)	แรงบิดที่กำลังสูงสุด(T') (N-m)	กำลังสูงสุด (P_{max}) (N-m/s)
0.333	0.1321	0.0648
0.345	0.1431	0.1010
0.352	0.1899	0.1864

- จากตารางที่ 4.10 ถึง 4.12 นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่กำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ ดังรูปที่ 4.7 และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่กำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่กำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ จากกราฟพบว่า เมื่อความเร็วของกระแสน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงบิดที่กำลังสูงสุดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ มีค่าแรงบิดที่กำลังสูงสุดมากที่สุด



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูงสุดกับความเร็วของกระแสน้ำ จากกราฟพบว่า เมื่อความเร็วของกระแสน้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้กำลังสูงสุดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ มีค่ากำลังสูงสุดมากที่สุด

- จากตารางที่ 4.10 ถึง 4.12 นำมาสร้างกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (π - term) ตามที่วิเคราะห์ในข้อที่ 3.1 ได้แสดงดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.18

ตารางที่ 4.13 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$

$\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$	P (N-m/s)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$
	0.0584	1000	0.4	0.00101	0.333	1.32E+05	2.27E+13
	0.0718	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	2.79E+13
	0.1051	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	4.08E+13

ตารางที่ 4.14 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$

$\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$	P (N-m/s)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$
	0.0950	1000	0.4	0.00101	0.333	1.32E+05	3.69E+13
	0.1302	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	5.06E+13
	0.2069	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	8.03E+13

ตารางที่ 4.15 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$

$\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$	P (N-m/s)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$
	0.0648	1000	0.4	0.00101	0.333	1.32E+05	2.52E+13
	0.1010	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	3.92E+13
	0.1864	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	7.24E+13

ตารางที่ 4.16 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของทอร์คสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$

$\frac{h}{D} = \frac{1}{8}$	τ (N-m)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$
	0.0715	1000	0.4	0.00101	0.332	1.31E+05	1.75E+08
	0.0743	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	1.82E+08
	0.0853	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	2.09E+08

ตารางที่ 4.17 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของทอร์คสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$

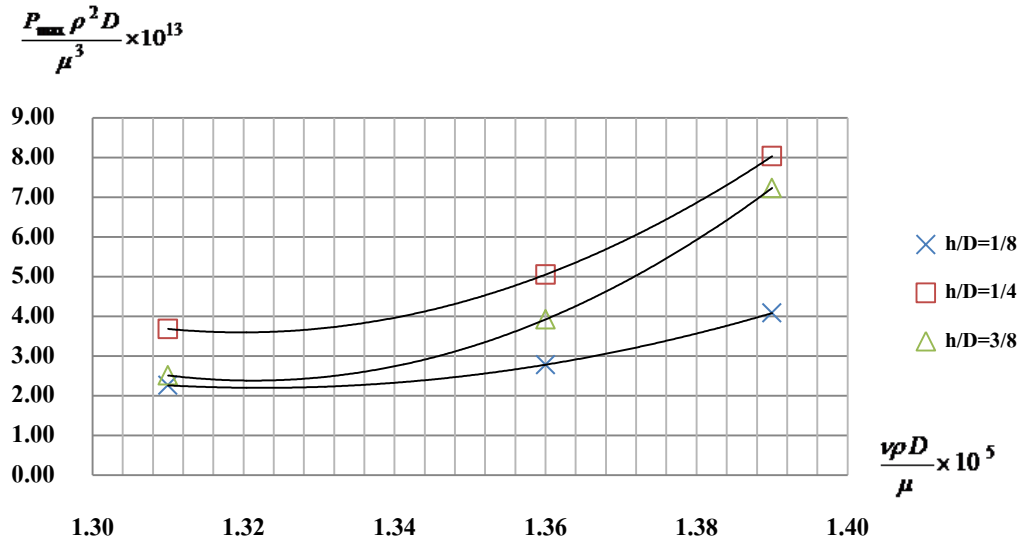
$\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$	τ (N-m)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$
	0.1376	1000	0.4	0.00101	0.332	1.31E+05	3.37E+08
	0.1596	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	3.91E+08
	0.2009	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	4.92E+08

ตารางที่ 4.18 แสดงค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของทอร์คสูงสุดที่ $\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$

$\frac{h}{D} = \frac{3}{8}$	τ (N-m)	ρ (KN/m ³)	D (m)	μ (N/m ²)	V (m/s)	$\frac{v\rho D}{\mu}$	$\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$
	0.1321	1000	0.4	0.00101	0.332	1.31E+05	3.24E+08
	0.1431	1000	0.4	0.00101	0.345	1.37E+05	3.51E+08
	0.1899	1000	0.4	0.00101	0.352	1.39E+05	4.65E+08

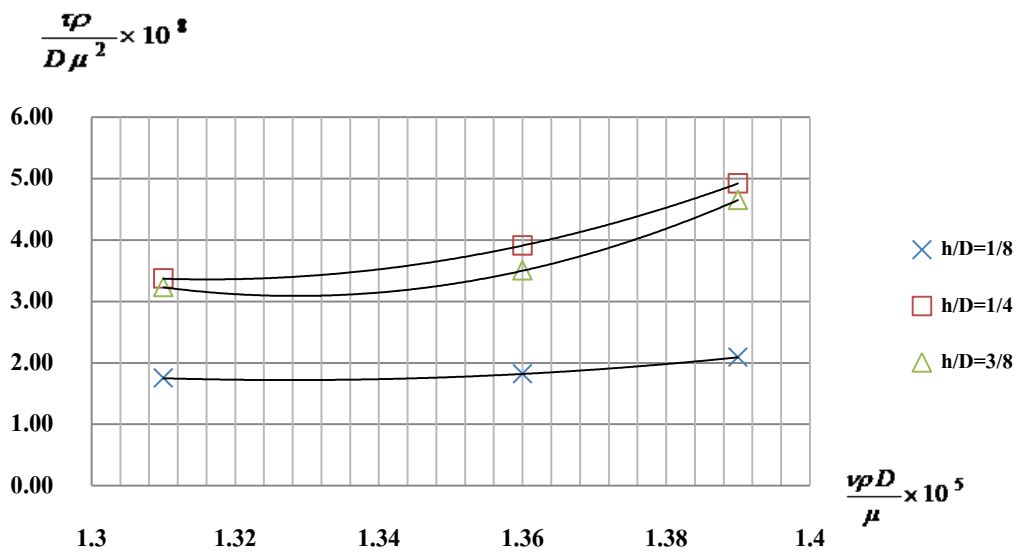
- จากตารางที่ 4.13 ถึง 4.18 นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_{\max}\rho^2 D}{\mu^3}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$ และ

$\frac{\tau\rho^2}{D\mu^2}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$ ดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.10



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$ จากกราฟพบว่า เมื่อ $\frac{v\rho D}{\mu}$ เพิ่มมากขึ้น $\frac{P_{\max} \rho^2 D}{\mu^3}$ มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ มีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$ กับ $\frac{v\rho D}{\mu}$ จากกราฟพบว่า เมื่อ $\frac{v\rho D}{\mu}$ เพิ่มมากขึ้น $\frac{\tau\rho}{D\mu^2}$ มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$ มีค่ามากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดจากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้น แต่แรงบิดที่ได้กลับมีค่าลดน้อยลง นั้นแสดงว่าความเร็วรอบกับแรงบิดจะมีค่าแปรผกผันกัน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับกำลังที่ได้รับจากกังหันจากรูปที่ 4.4-4.6 พบว่า ขณะที่ความเร็วรอบของกังหันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กำลังที่ได้รับจากกังหันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุด (P_{max}) และค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่ากำลังที่ได้รับจากกังหันมากที่สุด จะไม่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบมากที่สุด กำลังที่ได้รับจากกังหันจะมีค่ามากที่สุด และเหมาะสมที่ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$

จากการศึกษา กำลังสูงสุด และแรงบิดที่ กำลังสูงสุด กับความเร็วของกระแส น้ำ จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อความเร็วของกระแส น้ำเพิ่มมากขึ้น กำลังสูงสุดที่ได้รับจากกังหันและแรงบิดที่ กำลังสูงสุดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นั้นแสดงว่าความเร็วของกระแส น้ำจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้กำลังที่ได้รับจากกังหันมีค่าเพิ่มมากขึ้น ยิ่งความเร็วของกระแส น้ำเพิ่มมากขึ้นเท่าไร เราก็จะได้รับกำลังจากกังหันเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน โดยสัดส่วนระหว่างความลึกส่วนที่จมน้ำของกังหันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดที่เหมาะสมคือ $\frac{h}{D} = \frac{1}{4}$

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่าง $\frac{\tau \rho D}{\mu^2}$ กับ $\frac{V \rho D}{\mu}$ และความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่าง $\frac{P \rho^2 D}{\mu}$ กับ $\frac{V \rho D}{\mu}$ จากรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า $\frac{V \rho D}{\mu}$ เป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติของความเร็ว น้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า $\frac{\tau \rho D}{\mu^2}$ และ $\frac{P \rho^2 D}{\mu}$ จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นั้นแสดงว่าเมื่อความเร็วของกระแส น้ำเพิ่มมากขึ้นทำให้ $\frac{\tau \rho D}{\mu^2}$ (กลุ่มตัวแปรไร้มิติของแรงบิด) และ $\frac{P \rho^2 D}{\mu}$ (กลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลัง) มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

จากข้อสรุปที่ได้ หากต้องการสร้างกังหันน้ำแบบทุ่นลอย สามารถอาศัยกราฟความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติได้ โดยใช้กลุ่มตัวแปรไร้มิติของกำลังหรือกลุ่มตัวแปรไร้มิติของแรงบิดที่ต้องการมา ออกแบบขนาดของกังหัน และความเร็วของกระแส น้ำ เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการทดลองเปลี่ยนขนาดของกังหัน และลักษณะใบพัดของกังหัน อาจส่งผลให้กำลังที่ได้รับมีค่าเพิ่มมากขึ้น
2. ทำการทดลองคลองในรูปแบบน้ำตื้นที่ไม่ใช่คลองลาดคอนกรีต เพื่อจะเอามาเปรียบกำลังที่ได้จากกังหัน อาจส่งผลให้กำลังลดลงหรือเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กীরดี ลีวัจนกุล, 2538, วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulics Engineering) ระบบ SI, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ

รศ.มนตรี พิรุณเกษตร, 2545, กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สันติ ทองพำนัก, 2534, การไหลในทางน้ำเปิด (Flow in Open Channel), ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

นิมิต เฉิดฉั่นพิพัฒน์, 2543, กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ชัยندر ออกะเวลา, 2553, เอกสารประกอบการสอนวิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), ภาควิชา

วิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน