รายงานโครงการวิจัย

เครื่องสูบน้ำด้วยกำลังน้ำแบบลูกสูบ

The Hydro Pump by Water Power Type Piston

ปรัชญา มุขดา และคณะ

กันยายน 2560

ชื่อเรื่อง เครื่องสูบน้ำด้วยกำลังน้ำแบบลูกสูบ
หัวหน้าโครงการวิจัย ดร. ปรัชญา มุขดา
ผู้ร่วมโครงการวิจัย ผศ.ดร. พิเชฐ นิลดวงดี
ดร.อนุชา สายสร้อย
ที่ปรึกษาโครงการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. อุทัย ผ่องรัศมี
หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
งบประมาณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำประเภทปั๊มแบบแบบลูกสูบ เพื่อใช้ในคลองส่งน้ำในเขต จ.เพชรบุรี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ ของโครงงานที่ผ่านมา

ขั้นตอนแรกคือการออกแบบกังหันด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD) โดยใช้โปรแกรม Gambit และ Fluent เป็นเครื่องมือในการออกแบบ เริ่มจากจำลองรูปทรงใบพัด 4 แบบ เพื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ซึ่งรูปทรงถ้วยคือรูปทรงที่มีสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุด ($C_D \approx 1.35$) ต่อมาได้มีการตรวจสอบจำนวนเมทช์เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมคือประมาณ 500,000 เซลล์ ต่อมาแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลถูกเปรียบเทียบเพื่อยืนยันกับการทดลองจริง โดยแบบจำลอง k-epsilon ให้ค่าที่แม่นยำมากที่สุด และการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้านของกังหัน ซึ่งคือจำนวนใบพัด 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 ใบพัด (ใบพัดคู่) ความเร็วของกระแสน้ำคือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตรต่อวินาที และความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำคือ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ 0.76 เมตร

ขั้นตอนที่สองคือการสร้างเครื่องสูบน้ำและทดสอบจริง โดยใช้ในคลองส่งน้ำที่มีการไหลที่แตกต่างกัน 2 จุด เพื่อการทดสอบหาพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งคือ แรงที่กระทำกับกังหัน ความเร็วรอบของกังหัน และอัตราการไหลของน้ำที่สูบ หลังจากนั้น คำนวณหาทอร์กของกังหัน ความเร็วรอบ กำลังของกังหัน และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ จากผลการทดสอบพบว่า สามารถทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยกำลังกังหันและอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของกระแสน้ำและความลึกของใบพัดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าที่ได้คือ จุดทดลองที่ 1 มีความเร็วกระแสน้ำ 1.18 m/s ที่ความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ 0.27 m และ 0.45 m กำลังของกันหันที่ได้คือ 78.57 W และ 149.33 W ตามลำดับ จุดทดลองที่ 2 มีความเร็วกระแสน้ำ 1.23 m/s ที่ความลึกของใบพัด 0.27 m และ 0.45 m กำลังของกันหันคือ 98.88 และ 185.40 W ตามลำดับ ดังนั้น จากประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องสูบน้ำโดยรวมให้ค่าสูงที่สุดคือ 4.00 % ซึ่งสูงกว่าเครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ ซึ่งมีค่า 2.01 %

คำสำคัญ: เครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ กำลังของกังหัน วิธีจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์

Title:	Accessories Development for Drag Reduction of Pickup
Head of Project	Dr. Prachya Mukda
Co-Researchers	Asst Prof Dr. Pichet Ninduangdee
	Dr. Anucha Saysoy
Consulting Projects	Assoc.Prof Dr. Uthai Phougrassamee
Institution	Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology Phetchaburi Rajabhat University
In Finance Year	National Research Council of Thailand 2017

Abstract

This research is design and construction of the water pump by water power type piston pump. To uses for the canal of Phetchaburi zone. To compares efficiency on the compresses pump type 6 pistons of previous project.

The first process is the design of water turbine by using computational fluid dynamics (CFD). The Gambit and Fluent software are apparatus for design. Starting from, the four turbine shapes are simulated to compare the drag coefficient (CD) which the cup shape is maximum drag coefficient (CD $\approx$ 1.35). Next, the mesh numbers are investigated to fine the appropriate mesh as about 500,000 cells. Next, the flow turbulent models are validated with the real testing which the k-epsilon model is most accurately model. And investigation of the parameters has effect on turbine drag force. Which are the blades as 8, 10, 12, 14, 16 and 18 blades (pair turbine), the flow velocities as 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 m/s and the turbine depth in water as 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 and 0.76 m.

The second process is construction the hydro turbine and test real by using two locations of the canal for the testing the parameters which are turbine force, turbine speed and the flow rate of pump. After that, compute the turbine torque, round speed, turbine power and pump efficiency. The result found that, the water pump can available as objective. By the turbine powers and the flow rates increase when flow rate and depth of turbine in water. The first location have the water flow speed of 1.18 m/s, the turbine depth 0.27 m and 0.45 m provide the turbine power of 78.57 W and 149.33 W respectively. The second location have the water flow speed of 1.23 m/s, the turbine depth 0.27 m and 0.45 m provide the turbine power of 98.88 W and 185.40 W respectively. Therefore, from the calculation of mechanical efficiency of pump have maximum value of 4.00 % which higher the compresses pump type 6 pistons have 2.01 %

Keywords: Hydro Pump by Water Power, Turbine Power, Computational Fluid Dynamics

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. อุทัย ผ่องรัศมี ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มศึกษาจนกระทั่งเสร็จสิ้นโครงการวิจัย จนกระทั่งรายงานฉบับสมบูรณ์ ขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ผลักดัน อำนวยความร่วมมือในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย ตลอดจนบุคราภร นักศึกษาทุกคน ขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่คลองส่งน้ำ สำหรับการทดสอบเครื่องสูบน้ำ จนทำให้การทดสอบสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และโครงการนี้จะเกิดขึ้นมาได้ต้องขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อุดหนุนงบประมาณกับโครงการวิจัย ตามมติคณะรัฐมนตรี ปีงบประมาณ 2560

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของผู้วิจัยที่ได้ให้กำเนิด อบรมและเลี้ยงดูรวมถึงพระคุณคุณครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ตั้งแต่ระดับชั้นประถมศึกษา มัธยมศึกษา จนถึงระดับมหาวิทยาลัยทุกๆ ท่านมา ณ ที่นี้

ปรัชญา มุขดา และคณะ

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)		ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		
สารบัญภาพ		
คำอธิบายและสัญลักษณ์ย่อ		
บทที่ 1	**บทนำ**	
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3	ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4	ระเบียบวิธีการศึกษา	5
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6	ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของการศึกษา	6
บทที่ 2	**งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	
2.1	ลักษณะแรงต้านอากาศที่กระทำกับรถยนต์	8
2.2	การปรับปรุงอากาศพลศาสตร์ด้วยอุโมงค์ลม	15
2.3	หลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic)	18
2.4	การปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ด้วย CFD	19
2.5	การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน	28
2.6	แรงที่ของไหลกระทำต่อวัตถุ	30
2.7	สมการมูลฐานของการไหล	42
2.8	Computational Fluid Dynamics (CFD)	46
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินงาน**	
3.1	การทดสอบแรงต้านระหว่างการทดลองในอุโมงค์ลมและการจำลองด้วย CFD เพื่อยืนยันผล	56
3.2	การทดสอบแรงต้านของรถกระบะขนาดจริงของกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้วย CFD	63

สารบัญ (ต่อ)

3.3	การทดสอบสมรรถนะของรถกระบะ (Dynamometer test)	70
3.4	การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	76
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	
4.1	ผลการทดสอบแรงต้านแบบจำลองรถกระบะระหว่างการทดลองในอุโมงค์ลมกับ CFD	79
4.2	ผลการทดสอบแรงต้านของรถกระบะขนาดจริงกับกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้วย CFD	80
4.3	ผลอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน	92
4.4	วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	100
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	
5.1	สรุปผลการทดลอง	103
5.2	ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารอ้างอิง		106
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก บทความเผยแพร่ของโครงการวิจัย	111
	ภาคผนวก ข ประวัติหัวหน้าของโครงการวิจัย	119

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ยอดขายการผลิตรถยนต์ประประเภทต่างๆ 1

1.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (เปรียบเทียบกับกรณีปกติ) 4

2.1 เงื่อนไขการคำนวณ CFD 25

3.1 จำนวนกริดของแต่ละกรณี 68

3.2 การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข 69

3.3 คุณสมบัติของอากาศในการคำนวณ 69

3.4 เงื่อนไขขอบเขตโปรแกรม Fluent 70

3.5 ข้อมูลทางเทคนิคของ LPS 3000 72

3.6 ข้อมูลเฉพาะทางเทคนิค 73

4.1 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 10 m/s 81

4.2 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 15 m/s 81

4.3 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 20 m/s 82

4.4 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 25 m/s 82

4.5 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 30 m/s 82

4.6 ผลการทดสอบที่ความเร็ว 35 m/s 83

4.7 ค่าผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้าน (ΔC_D: + เพิ่ม, - ลด) 93

4.8 ค่าตัวแปรต่างๆ จากการทดสอบด้วย Dynamometer tests 97

4.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจาก CFD 97

4.10 ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันด้วยสมการที่ 4.3 คำนวณ 98

4.11 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (μ) การคำนวณ (CFD) และทดสอบจริง (Experiment) 99

4.12 การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (จริง) และระยะคุ้มทุนของแต่ละกรณี 102

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 ตัวอย่างอุปกรณ์ตกแต่งรถกระบะที่มีขายในท้องตลาด(แคริ่บอย,/2557) 2
1.2 แบบจำลองรถกระบะที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้วย CFD (โครงการวิจัย ปี 2554) 3
1.3 สภาวะการไหลของอากาศที่แตกต่างกันจากการติดตั้งอุปกรณ์เสริม 4 แบบ
(โครงการวิจัย ปี 2554) 7
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงต้านที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ 8
2.2 สัดส่วนของลักษณะแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ 9
2.3 ลักษณะรูปทรงท้ายต่าง ๆของรถยนต์นั่ง 10
2.4 การเกิดเวคที่มีลักษณะ และขนาดที่แตกต่างกัน 10
2.5 การปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ของรถยนต์แบบนั่งที่มีชื่อว่า Boat-tailing 11
2.6 อุปกรณ์ปิดช่องลมด้านหน้ารถ (Grille block) 12
2.7 ส่วนต่าง ๆ ของรถที่ทำให้เกิดเวค 13
2.8 อัตราการเพิ่มของสัมประสิทธิ์แรงต้านจากระบบระบายความร้อน 13
2.9 ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้าน 14
2.10 สัมประสิทธิ์แรงต้านของทรงกลมเจาะรู และไม่เจาะรู 15
2.11 การทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลมขนาดใหญ่ 16
2.12 การออกแบบช่องระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน 18
2.13 การไหลของอากาศผ่านวัตถุรูปแบบต่างๆ 19
2.14 การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขในการจำลองของรถติดสปอยเลอร์ 21
2.15 การกระจายความดันระนาบตามขวางที่บริเวณผิวของรถที่ไม่มีการติดตั้งสปอยเลอร์ 21
2.16 ลักษณะการไหลของอากาศที่ไหลผ่านรถที่มีการติดตั้งสปอยเลอร์บนระนาบสมมาตร 22
2.17 มุม α , β , γ 23
2.18 การเกิดเวคส่วนท้ายกระบะของรถบรรทุกเล็ก โดย CFD Cooper 24
2.19 การเปลี่ยนแปลงของความดัน และความเร็วที่เกิดขึ้นกับรถคันหน้า (Lead car) และคันหลัง
(Trail car) ตรงกลางของรถ ตามแนวแกน x 26
2.20 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคันหลัง X10 27
2.21 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคันหลัง X12.5 29
2.22 ค่าที่ได้จากการวัดโดย APTH 29
2.23 การทดสอบรถบรรทุกเล็กจริงในอุโมงค์ลมของ NRC 30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.24 แรงเนื่องจากของไหลกระทำกับวัตถุ 2 มิติ (a) แรงเนื่องจากความดัน
(b) แรงเนื่องจากความหนืด (c) แรงต้านและแรงยก 31
2.25 แรงเนื่องจากความดันและแรงเฉือน ที่กระทำต่อพื้นที่เล็กๆ บนผิวของวัตถุ 32
2.26 ชั้นขอบเขตที่เกิดบนแผ่นระนาบเรียบ 34
2.27 ลักษณะการไหลแบบคงตัวผ่านวัตถุทรงกระบอกที่วางตัวขวางทิศทางการไหล
โดยมีค่า Reynolds number แตกต่างกัน 35
2.28 การกระจายความดันทางด้านบนและด้านล่างจะเท่ากัน สำหรับของไหลสมมุติ 36
2.29 ชั้นขอบเขตและการแยกตัวที่เกิดจากการไหลผ่านทรงกระบอก 37
2.30 ตำแหน่งของจุดแยกตัวที่เกิดจากการไหลผ่านทรงกลม (a) ทรงกลมผิวเรียบ
(b) ทรงกลมผิวขรุขระ 37
2.31 คลื่นวนที่เกิดด้านท้ายของแผ่นระนาบที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหล 38
2.32 ลักษณะของปีกเครื่องบินและแผนภาพกระจายความดัน 39
2.33 การพัฒนารูปทรงของรถยนต์เพื่อลดแรงต้านที่กระทำต่อตัวรถ ช่วยให้ขับเคลื่อน
ได้เร็วขึ้น และใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลง 39
2.34 ความคล้ายคลึงกันเชิงเรขาคณิต 40
2.35 ความคล้ายคลึงกันเชิงจลน์ 41
2.36 ความคล้ายคลึงกันเชิงพลวัต 41
2.37 ฟลักซ์ของมวลผ่านกรอบขนาดเล็กที่ตรึงอยู่ในโดเมนของการไหลเพื่อใช้ใน
การสร้างสมการเชิงอนุรักษ์มวล 42
2.38 รูปแบบแสดงแรงที่กระทำกับมวลของไหลขนาดเล็ก 43
2.39 พิจารณางานและพลังงานที่เกิดขึ้นกับก้อนมวลขนาด dx และ dy 45
2.40 ลำดับการคำนวณของระเบียบขั้นแบบ Segregated solver 48
2.41 ลำดับการคำนวณของระเบียบขั้นแบบ Coupled solver 49
2.42 การเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบของการไหลแบบปั่นป่วน 51
3.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลต่างๆ 57
3.2 การกำหนดจำนวณกริด 58
3.3 สัมประสิทธิ์แรงต้าน และจำนวนกริด 59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.4 ลักษณะกริด (Grid) แบบ Tri/Tet ของแบบจำลองเมื่อกำหนดเงื่องไขขอบเขต 59

3.5 ส่วนประกอบของอุโมงค์ลม 61

3.6 แบบจำลองรถกระบะที่ใช้ทดสอบในอุโมงค์ลม 62

3.7 อุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ที่ใช้ในการทดสอบ 63

3.8 รูปร่างและเงื่อนไขในการทดสอบทั้ง 7 กรณี 65

3.9 เงื่อนไขขอบเขตการจำลอง 67

3.10 เงื่อนไขขอบเขตการจำลอง 68

3.11 ระบบการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ 71

3.12 การทดสอบสมรรถนะของรถกระบะ 72

3.13 การแสดงผลการทดสอบของไดนาโมมิเตอร์ 75

3.14 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถกระบะเพื่อการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของกรณีต่างๆ 76

4.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านแบบจำลองระหว่าง CFD และอุโมงค์ลม (R^2 = 5 %) 80

4.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ความเร็วต่างๆ ทั้ง 7 กรณี 84

4.3 เส้นแสดงการกระจายตัวของความดัน และความเร็ว 87

4.4 ระดับความดัน (ซ้าย) และระดับความเร็ว (ขวา) 89

4.5 อัตราการกินน้ำมันกับความเร็วกำหนด 94

4.6 อัตราการกินน้ำมันแต่ละระดับความเร็ว 95

4.7 ผลการทดสอบกำลังตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น (Dynamometer Test) 96

4.8 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ยที่เกิดจากการขับขี่จริง (μ) 98

4.9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการคำนวณ CFD และการทดสอบจริง ทั้ง 7 กรณี 100

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_D	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	-
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยก	-
C_M	สัมประสิทธิ์โมเมนต์ปักเงย	-
C_Y	สัมประสิทธิ์แรงด้านข้าง	-
C_R	สัมประสิทธิ์โมเมนต์จากการโคลง	-
C_N	สัมประสิทธิ์ โมเมนต์จากการส่าย	-
F_D	แรงต้านรวม	N (นิวตัน)
Re	Reynolds number	-
m/s	ความเร็ว	เมตรต่อวินาที
km/hr	ความเร็ว	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
m	ความยาว	เมตร
cm	ความยาว	เซนติเมตร
mm	ความยาว	มิลลิเมตร
m^2	พื้นที่	ตารางเมตร
hp	แรงม้า	kW (กิโลวัตต์)
V	แรงดัน	Volt (โวลต์)
ν	ความหนืดจลน์	m^2/s (ตารางเมตรต่อวินาที)
n	ความเร็วรอบต่อเวลา	rpm (รอบต่อนาที)
α	ค่ามุมเอียง	องศา
θ	ค่ามุม	องศา
%	เปอร์เซ็นต์	-
dF	แรงรวมที่กระทำในแนวแกน	N (นิวตัน)
P	ความดัน	pascal (ปาสคาล)
C_P	สัมประสิทธิ์ความดัน	-
D_P	แรงต้านจากความดัน	N (นิวตัน)
D_f	แรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทาน	N (นิวตัน)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

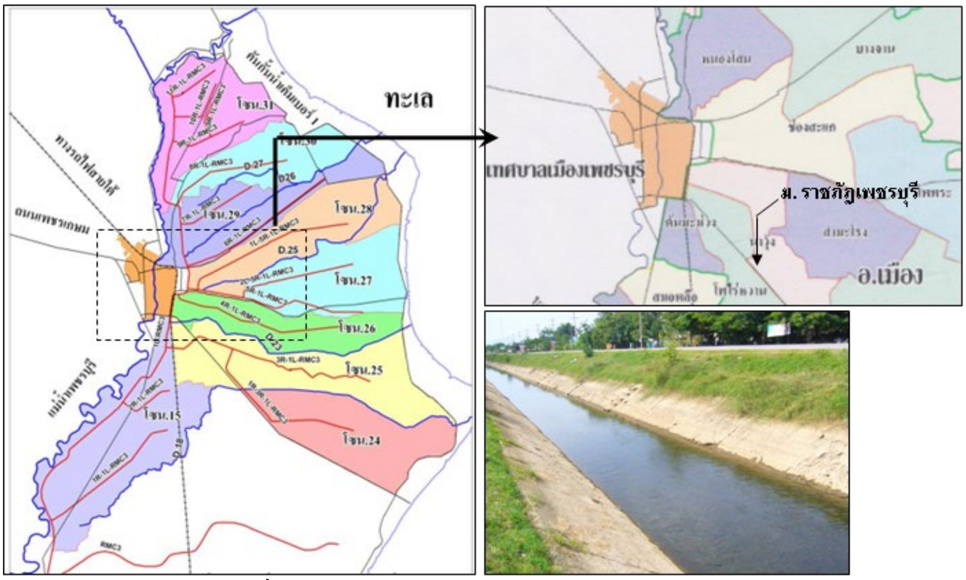
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
μ	ความหนืดสัมบูรณ์	$N.s/m^3$ (นิวตันวินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
τ	หน่วยแรงเฉือน	N/m^2 (นิวตันต่อตารางเมตร)
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m^3 (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)
Z	ระดับความสูง	m (เมตร)
u, v, w	ความเร็ว	m/s (เมตรต่อวินาที)
t	เวลา	s (วินาที)
U'	การไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	-
a	ความเร่ง	m/s^2 (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
m	มวล	kg (กิโลกรัม)
D	มิติ	-
Δ	เฉลี่ย	-
K	ค่าคงที่การนำความร้อนของของไหล	N/s K
k - ε	แบบจำลองความปั่นป่วน k - epsilon	-
Re_1	เลขเรย์โนลด์นัมเบอร์	-

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ประเทศไทยโดยเฉพาะพื้นทีในแถบลุ่มน้ำภาคกลาง ถือเป็นอู่ข้าวอู่น้ำที่สำคัญของประเทศ สามารถผลิตสินค้าการเกษตรรองรับการบริโภคของประชาชนในประเทศ อีกทั้งยังส่งออกสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างมาก สำหรับในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี เป็นพื้นที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรน้ำทั้งน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำชลประทาน กรมชลประทาน โดยสำนักชลประทานที่ 13 ได้สร้างระบบ ชลประทานในเขตจังหวัดเพชรบุรีครอบคลุมพื้นที่ทั้งสิ้น 86,500 ไร่ เพื่อใช้ในการเกษตรเป็นสำคัญ และแก้ไข ปัญหาน้ำท่วมในกรณีที่เกิดปัญหาน้ำหลากด้วย (สำนักชลประทานที่ 13, 2553) ซึ่งพื้นที่รอบมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี (แสดงในภาพที่ 1-1) ชุมชนที่อาศัยอยู่บริเวณคลองส่งน้ำนำน้ำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม โดยมากอาศัยเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานจากน้ำมันหรือไฟฟ้า เป็นต้น

จากการศึกษาข้อมูลของคลองชลประทาน ของสำนักชลประทานที่ 13 และจากการสำรวจคลองใน เขต อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ทำให้ทราบถึงแนวทางการออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำที่มีประสิทธิ์ภาพ สูง และเหมาะสมกับสภาวะการไหลของน้ำเพื่อเป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการ ประยุกต์และพัฒนาตามแนวพระราชดำริ อาทิ โครงการกังหันน้ำชัยพัฒนา ผนวกกับองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงบูรนาการ



ภาพที่ 1-1 ภาพแสดงภูมิศาสตร์ของจังหวัดเพชรบุรี

ดังนั้นจึงการพยายามคิดค้น ประดิษฐ์ เครื่องสูบน้ำกำลังน้ำมาใช้ โดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานจากธรรมชาติจากการไหลของกระแสน้ำเป็นพลังงานกล โดยส่งถ่ายกำลังของน้ำไปกังหันแล้วส่งต่อไปยังกลไกของเครื่องสูบน้ำ มาใช้ประโยชน์ โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน หรือแรงงาน เพื่อสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 1-2 ซึ่งคือเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำต้นแบบ ที่ได้มีการประดิษฐ์ขึ้นก่อนหน้านี้ แต่ประสบปัญหาคือประสิทธิภาพเชิงกลต่ำ (ไม่เกิน 7 %) และบางสภาวะการไหลของน้ำ กลไกไม่สามารถทำงานได้

ภาพที่ 1-2 เครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ [12]

ที่ผ่านมาการออกแบบจะเน้นการคำนวณทฤษฎี สร้างและทดสอบจริง ซึ่งพบปัญหาคือ ไม่สามารถปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้ เนื่องจากการสร้าง การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยต้นทุน เวลา และความสิ้นเปลืองของวัสดุ อีกทั้งยังไม่สามารถมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ลักษณะการไหลของน้ำที่ผ่านกังหัน เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเป็นการออกแบบกังหันของเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำ ให้มีความเหมาะสมกับกำลังของกระแสน้ำในคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อให้ได้กำลังและประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้วิธีจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นเครื่องมือในการออกแบบ เพื่อประหยัดงบประมาณ เวลา และทรัพยากรในการออกแบบและการทดลอง จากนั้นสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำขึ้น โดยเครื่องสูบน้ำเป็นปั๊มแบบลูกสูบ เพื่อแก้ปัญหาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำให้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบกังหันของเครื่องสูบน้ำด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD) ให้มีความเหมาะสมกับสภาวะการไหลของน้ำ

2. เพื่อสร้างเครื่องสูบน้ำประเภทปั๊มแบบลูกสูบ ที่ได้ประสิทธิภาพที่สูงมากกว่าเครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ

1.3 ขอบเขตและการดำเนินงาน

1. เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน 1.52 เมตร

2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดน้ำมีขนาด 0.29 เมตร

2.1 ความลึกของกังหันที่จุ่มลงในน้ำ (D) เท่ากับ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ0.76 เมตร

2.2 ความเร็วของกระแสน้ำ (A) เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตรต่อวินาที

2.3 จำนวนของใบพัด (N) เท่ากับ 8, 1, 12, 14, 16 และ 18 ใบ

3. ตรวจสอบสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) เพื่อเลือกรูปทรงใบพัดทั้งหมด 4 รูปทรง

3.1 รูปทรงถ้วย

3.2 รูปทรงกลม

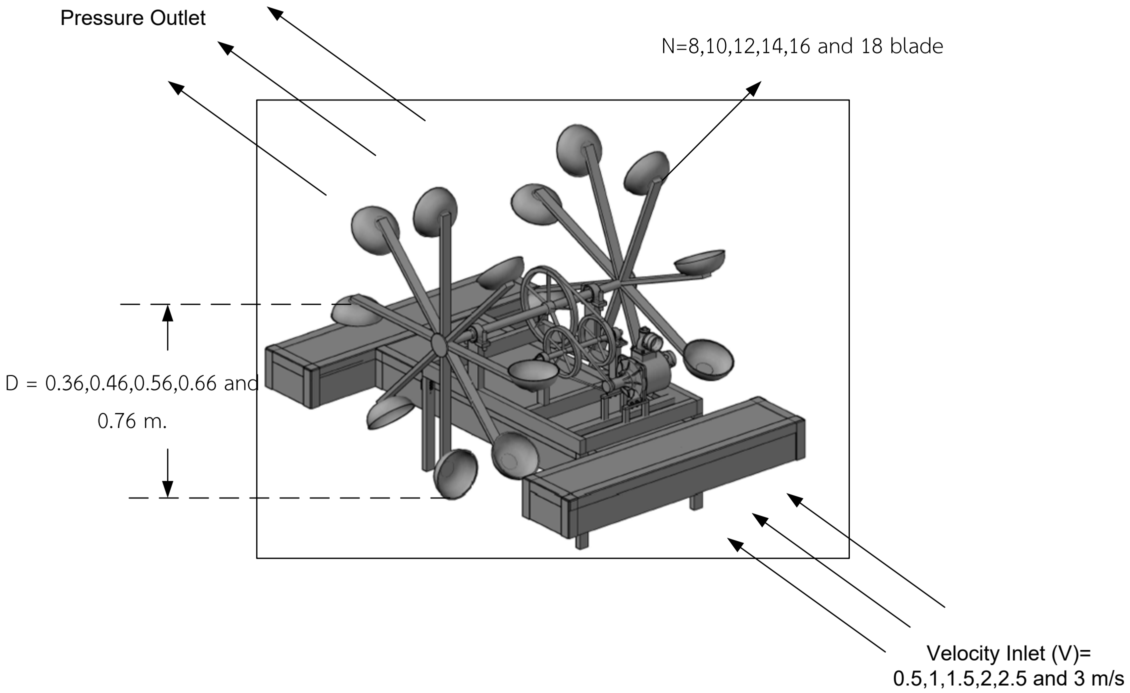
3.3 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.4 รูปทรงสี่จัตุรัส

4. ตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

5. ตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (Validation)

6. ออกแบบ และทดลอง คุณลักษณะของกังหันด้วยการจำลองเชิงตัวเลข (CFD) ด้วยโปรแกรม Gambit และ Fluent



ภาพที่ 1-3 ภาพแสดงของเขตของโครงงาน

7. ออกแบบและสร้างเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำแบบกังหัน 8 ใบคู่ ที่ใช้กับระดับน้ำไม่ต่างกัน หรือต่ำกว่าไม่เกิน 1 m (Low Head)

8. ตรวจสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความเร็วของกระแสน้ำ ความลึกของน้ำ ความเร็วรอบของกังหัน อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ แรงที่กระทำกับกังหัน กำลังของกังหัน เป็นต้น

9. ออกแบบและสร้างทดสอบเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปั๊มแบบลูกสูบ กับ เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้มีองค์ความรู้ที่จะนำไปต่อยอดและพัฒนากังหันน้ำพลังงานน้ำในรูปแบบอื่นๆ
2. ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำกับจำนวนใบพัด
3. ทำให้เข้าใจวิธีการออกแบบชิ้นงานต่างๆได้มากขึ้น
4. ช่วยลดต้นทุนในการซื้อพลังงานมาใช้ในการสูบน้ำ ลดการใช้พลังงาน ลดมลภาวะ
5. ได้เครื่องมือที่เป็นประโยชน์ในการทำการเกษตร
6. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำ เพื่อใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพ และการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

1.5 วิธีการดาเนินการวิจัยและสถานที่ทาการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษาข้อมูลของคลองส่งน้ำในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเพชรบุรีอาทิพื้นที่การส่งน้ำขนาดความกว้างความลึกระยะทางและสภาวะของการไหล (อัตราการไหลความเร็ว) โดยเก็บข้อมูลจากการใช้เครื่องมือวัดและสอบถามจากหน่วยงานชลประทานในพื้นที่

2. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำรวมทั้งวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD)

3. ตรวจสอบสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน $\left(C_D\right)$ เพื่อเลือกรูปทรงใบพัดทั้งหมด 4 รูปทรง

3.1 รูปทรงถ้วย

3.2 รูปทรงกลมแบน

3.3 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.4 รูปทรงสี่จัตุรัส

4. ตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

5. ตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (Validation)

6. เปรียบเทียบแรงต้านระหว่างการจำลองเชิงตัวเลข (CFD) กับการทดสอบจริงเพื่อยืนยันความถูกต้อง

7. ตรวจสอบพารามิเตอร์ของกังหันกับสภาวะการไหลของน้ำ ด้วยการจำลองด้วยการจำลองเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics: CFD) ดังต่อไปนี้

6.1 ความลึกของกังหันที่จุ่มลงไปในน้ำ $\left(D\right)$ ที่ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ 0.76 เมตร

6.2 ความเร็วของกระแสน้ำ $\left(V\right)$ ที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตรต่อวินาที

6.3 จำนวนของใบพัด $\left(N\right)$ ตั้งแต่ 8, 10, 12, 14, 16 และ 18 ใบ

8. วิเคราะห์ผลการจำลองเชิงตัวเลขและกราฟิก

9. สร้างและทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำปั๊มแบบลูกสูบ

10. ตรวจสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความเร็วของกระแสน้ำ ความลึกของน้ำ ความเร็วรอบของกังหัน อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ แรงที่กระทำกับกังหัน กำลังของกังหัน

11. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของปั๊มแบบลูกสูบ กับ เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบและสรุปผล

12. สรุปผล เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 ระยะเวลาดำเนินงาน และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาพ.ศ. 2560											
	ต.ค. 59	พ.ย. 59	ธ.ค. 59	ม.ค. 60	ก.พ. 60	มี.ค. 60	เม.ย. 60	พ.ค. 60	มิ.ย. 60	ก.ค. 60	ส.ค. 60	ก.ย. 60
1. ศึกษาข้อมูลของคลองส่งน้ำ	↔											
2. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยและทฤษฎี		↔										
3. ตรวจสอบสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) เพื่อเลือกรูปทรงใบพัด			↔									
4. ตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง				↔								
5. ตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล					↔							
6. เปรียบเทียบแรงต้านระหว่างการจำลองเชิงตัวเลข (CFD)กับการทดสอบจริง						↔						
7. ตรวจสอบพารามิเตอร์ของกังหันกับสภาวะการไหลของน้ำ							↔					
8.วิเคราะห์ผลการจำลองเชิงตัวเลขและกราฟิก								↔				
9. สร้างและทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำปั๊มแบบลูกสูบ									↔			
10. ตรวจสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ										↔		
11.เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำแบบเก่าและแบบใหม่											↔	
9. สรุปผล เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์												↔

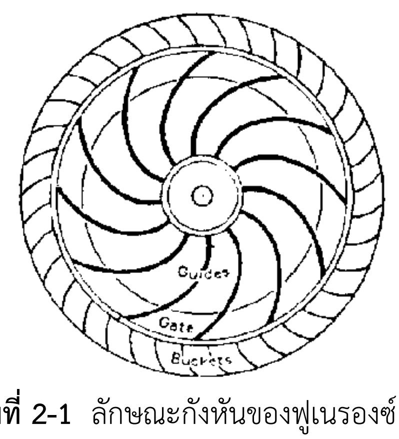
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำมาใช้ เป็นอุปกรณ์ที่นำมาออกแบบการทำงานโดยการอาศัยกำลังจากการไหลของน้ำไปปั่นกังหันแล้วส่งต่อกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำมาใช้ โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแรงงานอีกด้วย จึงประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังน้ำนี้เข้าใจง่ายไม่สลับซับซ้อนมากนัก สามารถใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ได้ รวมทั้งยังง่ายต่อการบำรุงรักษา เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนในพื้นที่ อีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานของประเทศได้อีกด้วย อีกทั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปใช้ในกิจกรรมอื่นที่ต้องการสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆ ได้เช่นกัน จากความสัมพันธ์ด้านล่างนั้น กังหันน้ำจึงเป็นอุปกรณ์หลังของเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษา ประเภท หลักการออกแบบ ทฤษฎีในการคำนวณหา แรง งาน กำลัง เพื่อความเหมาะสม และประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

สูบน้ำมาใช้ ← ปั๊ม ← กังหัน ← พลังงานน้ำ

2.1 ประเภทและคุณลักษณะของกังหัน

กังหันเป็นส่วนประกอบหลักที่มีผลกับกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำประเภทนี้ ซึ่งเดิมเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาจากวงล้อน้ำ ใช้สำหรับการทดน้ำและโม่แป้ง ในปี ค.ศ. 1832 วิศวกรชาวฝรั่งเศส ชื่อ เบนอย์ ฟูเนรองซ์ ประสบความสำเร็จในการพัฒนากังหันน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ในการเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยเรียกชื่อว่า กังหันน้ำของฟูเนรองซ์ (Fourneyron’s Turbine) [1] โดยกังหันมีลักษณะ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ลักษณะกังหันของฟูเนรองซ์ [1]

หลังจากที่วงล้อไม่เคยมีการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมากกว่า 2,000 ปีก่อนหน้านี้ จุดนี้จึงนับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนากังหันน้ำ โดยในปัจจุบันกังหันน้ำได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันมากมายและมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเพราะจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยทำให้ใบพัดกังหันน้ำเกิดการหมุน สงผลให้แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่หมุนตาม และสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้

2.1.1 เครื่องกังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbines)

เครื่องกังหันน้ำแบบเพลตันจะใช้ในกรณีที่มีปริมาณน้ำที่ไหลไม่มาก แต่มีหัวน้ำ (Head) สูงตั้งแต่ 153 ถึง 1700 เมตรสำหรับการทำงานนั้นจะมีหัวฉีดที่เข็มอยู่อันหนึ่งเพื่อฉีดน้ำไปยังใบพัดของกังหัน ซึ่งหัวฉีดนี้ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเครื่องสูบน้ำได้โดยการเลื่อนเข็มไปข้างหน้าหรือถอยหลังระหว่างการฉีดและใบพัดจะมีเครื่องเบี่ยงเบนทิศทางน้ำอยู่ด้วย เครื่องฉีดน้ำนี้จะทำหน้าที่เบนน้ำที่พุ่งออกมาชั่วคราวเพื่อที่จะให้เข็มปิดหัวฉีด ในกรณีที่ต้องจำกัดความเร็วของกังหันน้ำ ลักษณะของกังหันน้ำแบบเพลตัน แสดงในภาพที่ 2-2 [1]

ภาพที่ 2-2 ลักษณะของกังหันน้ำแบบเพลตัน [1]

2.1.2 เครื่องกังหันน้ำแบบฟรานซิส (Francis Turbines)

โดยส่วนมากแล้วกังหันแบบนี้จะถูกใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ เครื่องกังหันแบบนี้จะใช้ทั้งกับปริมาณน้ำที่ไหลและหัวน้ำมีค่าระดับปานกลาง ในทางปฏิบัติค่าหัวน้ำอยู่ระหว่าง 25 ถึง 500 เมตร โครงสร้างพื้นฐานของกังหันแบบนี้ เมื่อปล่อยน้ำให้ไหลเข้ามาจากอาคารรับน้ำ (Intake) น้ำจะไหลผ่านท่อ (Penstock) เข้ามาสู่ท่อนำน้ำเข้ากังหัน (Spiral Casing) น้ำจะเข้าไปขับใบพัดของกังหัน (Turbines Runner) โดยผ่านช่องนำน้ำเข้า (Guide Vane) ที่ติดตั้งอยู่วงนอกของใบพัด และช่องน้ำเข้านี้ สามารถปรับความกว้างเพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าสู่ใบพัด ลักษณะของกังหันน้ำแบบฟรานซิส แสดงในภาพ 2-3 [1]

ภาพที่ 2-3 ลักษณะของกังหันน้ำแบบฟรานซิส [1]

2.1.3 เครื่องกังหันน้ำแบบคาปลาน (Kaplan Turbines)

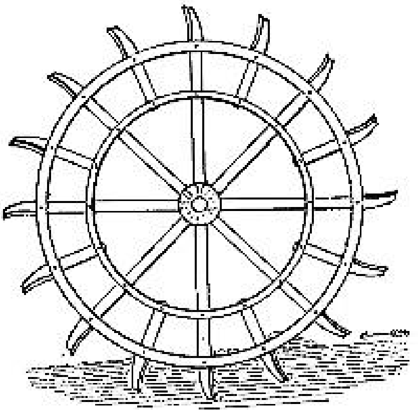
เครื่องกังหันน้ำแบบนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับกังหันน้ำแบบฟรานซิสแต่แตกต่างกันที่โครงสร้างที่เครื่องกังหันน้ำแบบคาปลานออกแบบไว้ใช้กับปริมาณน้ำที่ไหลมากและหัวน้ำต่ำ โดยทั่วไปจะใช้กับน้ำปริมาณการไหลที่มากกว่า 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และหัวน้ำสูงไม่เกิน 60 เมตร สำหรับใบพัดของเครื่องกังหันน้ำแบบคาปลานเป็นแบบขยับตัว และสามารถเปลี่ยนมุมของซี่ใบพัด (Runner Blade) ได้จึงช่วยรักษาความสัมพันธ์ของช่องน้ำและมุมของซี่ใบพัดเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลักษณะของกังหันน้ำแบบคาปลาน แสดงในภาพ 2-4 [1]

ภาพที่ 2-4 ลักษณะของกังหันน้ำแบบคาปลาน [1]

2.1.4 กังหันน้ำเพื่อการทดน้ำมาใช้ (Water Current Wheel And Norris)

การผันน้ำจากกระแสน้ำไหลขึ้นมาใช้นั้นสามารถนำเทคโนโลยีทั้งสมัยเก่าและสมัยใหม่มาประยุกต์ให้กับความต้องการได้ โดยวิธีมีต้นทุนถูกที่สุดก็คือการใช้ล้อกังหันน้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อการทดน้ำขึ้นใช้ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงกว่าระดับกระแสน้ำ โดยล้อกังหันน้ำนี้ได้มาอันเป็นเวลายาวนานในยุโรป เอเชียและอียิปต์ โดยกังหันที่ใช้เรียกว่า ล้อกังหันทดน้ำหรือนอเรีย (Noria) ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 ถึง 90 ฟุต ตัวอย่างประเทศที่มีการใช้ล้อกังหันทดน้ำเป็นอย่างมากก็คือประเทศจีน โดยเป็นล้อกังหันที่ทำมาจากไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ฟุต สามารถผัน

น้ำได้วันละ 300 ตัน ไปสู่ระดับความสูงประมาณ 3/4 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหัน ขณะที่การไหลของน้ำไม่สม่ำเสมอ (Layman’s Guidebook, 1998, ออนไลน์) สำหรับการใช้ล้อกังหันเพื่อการทดน้ำในกรณีที่ปริมาณของการไหลน้อยหรือผันน้ำไปยังระดับที่สูงระบบของกังหันอาจจะมีการใช้ปั๊มช่วยโดยปั๊มจะถูกต่อกับเพลาของกังหันจากนั้นพลังงานกลจากการหมุนของกังหันจะส่งกำลังให้กับระบบปั๊มทำให้สามารถนำน้ำไปใช้ในปริมาณที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถสูบน้ำ ไปยังระดับความสูงได้ ในกรณีของการใช้กังหันน้ำเพื่อผลิตกำลังนั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-5 [1]



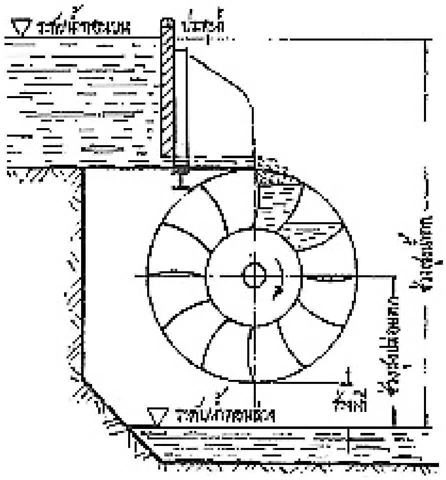
ภาพที่ 2-5 ล้อกังหันเพื่อการทดน้ำมาใช้ [1]

การทำงานของระบบจะขึ้นอยู่กับสองตัวแปร คือ อัตราการไหลของน้ำและพื้นที่หน้าตัดของใบพัด หรือใบกังหัน โดยการทำงานของระบบกังหันจะค่อนข้างต่ำ โดยจะอยู่ที่ประมาณ 15 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ (Water Lifting Devices, 1986, ออนไลน์) สาเหตุที่ทำให้การทำงานของระบบกังหันนี้ต่ำเนื่องจากระบบ โครงสร้างของตัวใบพัดที่ค่อนข้างเบา ดังนั้นกังหันที่ทำมากจากวัสดุที่เป็นโลหะ จึงสามารถเพิ่มการทำงานของ ระบบได้ บางทีมีการนำเหล็กมาติดเข้าที่ปลายของใบพัดของกังหันแบบดั้งเดิมเพื่อเป็นการเพิ่มการทำงานของ ตัวกังหันสำหรับการออกแบบล้อกังหันที่ดีที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเส้นรอบวงของกังหันกับ ความเร็วของกระแสน้ำควรมีค่าประมาณ 0.5 โดยขนาดของล้อกังหันเพื่อการผลิตกำลังควรมีขนาด 10 ถึง 20 ฟุต และความกว้างของใบกังหันควรมีขนาด 2 ถึง 20 ฟุต อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีขนาดของกังหันอาจมี ขนาดถึง 100 ฟุต ตามจุดประสงค์ของการใช้งานเฉพาะ (Layman's Guidebook, 1998, ออนไลน์) ในการ ออกแบบล้อกังหันนั้น ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษในการเพิ่มความเร็วของการไหลของกระแสน้ำโดยการเร่ง การไหลของกระแสน้ำ เช่น ทำให้จุดติดตั้งมีขนาดแคบลงเพื่อให้กระแสน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้นประโยชน์ของการ เพิ่มความเร็วของกระแสน้ำนั้น ถ้ามองในเชิงของเศรษฐศาสตร์ถือว่าน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะการเพิ่ม ความเร็วของกระแสน้ำจะทำให้กังหันสามารถผลิตกำลังได้เพิ่มมากขึ้นโดยขนาดของกังหันเท่าเดิม ดังนั้นจึงไม่

จำเป็นต้องสร้างกังหันที่มีขนาดใหญ่มากเพื่อผลิตกำลังเท่ากัน ล้อกังหันขนาดเล็กควรมีขนาดของใบพัดเท่ากับ 1/4 ของรัศมีวงล้อสำหรับล้อกังหันที่มีขนาดตั้ง 20 ฟุต ขึ้นไป ขนาดของใบพัดควรมีขนาดประมาณ 1/5 ถึง 1/6 และวางห่างกันประมาณ 1/4 ถึง 1/3 ของขนาดรัศมีวงล้อ [1]

2.1.5 กังหันน้ำแบบตักขับล้อที่ขอบบน

กังหันน้ำชนิดนี้ เหมาะกับหัวน้ำหรือช่วงสูงนำตกที่สูงกว่า 2.5 เมตร การปล่อยน้ำลงสู่ล้อ จะต้องทำเป็นประตุน้ำง่ายๆ (Water Stop Log) ซึ่งเป็นแผ่นไม้เปิดช่องไหลของน้ำได้มากหรือน้อยตามต้องการ จาก ประตูให้มีทางไหลของน้ำลงสู่ล้อ บนตัวล้อจะสร้างเป็นกระเป๋าน้ำหลายๆ ช่อง แรงตกของน้ำลงสู่กระเป๋าเป็น แรงกระแทกให้กังหันน้ำหมุนได้และเมื่อน้ำไหลลงเต็มกระเป๋าแต่ละช่อง น้ำหนักของน้ำก็จะทำให้ล้อหมุนลง เมื่อหมุนลงถึง “ช่วงสูงปล่อยตก” น้ำก็จะเริ่มไหลออกจากกระเป๋าตกสู่ระดับน้ำตอนล่างกระทั่งถึง “ช่วงฟรี” ซึ่งเป็นระดับล่างสุดของขนาดกังหันน้ำ น้ำก็จะไหลออกจากกระเป๋าน้ำจนหมด ช่วงที่กังหันน้ำอยู่สูงกว่าระดับ น้าตอนล่างนี้เอง เรียกว่า ช่วงว่างหรือช่วงฟรีดังแสดงในภาพที่ 2-6 การที่น้ำจะต้องเริ่มไหลออกจากกระเป๋าน้ำตั้งแต่เริ่มช่วงสูงปล่อยตก ทำให้แรงเสียดทานหมุนของกังหันน้ำรวมกันเข้าทำให้งานเชิงกลของกังหันน้ำมีค่าประมาณร้อยละ 70 ล้อน้ำชนิดนี้ให้น้ำไหลตกขับล้อที่ขอบบนของล้อได้ เพราะมีหัวน้ำสูงกว่าขนาดวัดผ่านศูนย์กลางของกังหันน้ำทำให้สะดวกต่อการไหลตกขับล้อกังหัน [1]

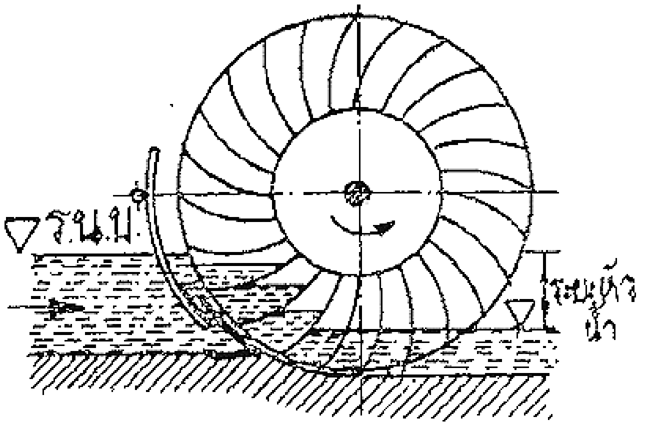


ภาพที่ 2-6 กังหันน้ำแบบตกขับล้อที่ขอบบน [1]

2.1.6 กังหันน้ำแบบตกขับล้อที่ขอบล่าง

กังหันน้ำชนิดนี้ ใช้ความเร็วของกระแสน้ำเป็นตัวขับล้อให้หมุนแต่อย่างเดียว และจำนวนหัวน้ำต่ำ วิธีขับจึงให้ขับที่ล้อตอนล่างวิธีกระทำจะต้องทำเป็นประตูน้ำเช่นกัน ให้สามารถเปิดประตูปล่อยน้ำออกสู่ล้อสูง และต่ำได้ตามระดับน้ำตอนบนที่ไหลมาลักษณะสร้างของล้อต้องกั้นเป็นห้องๆ

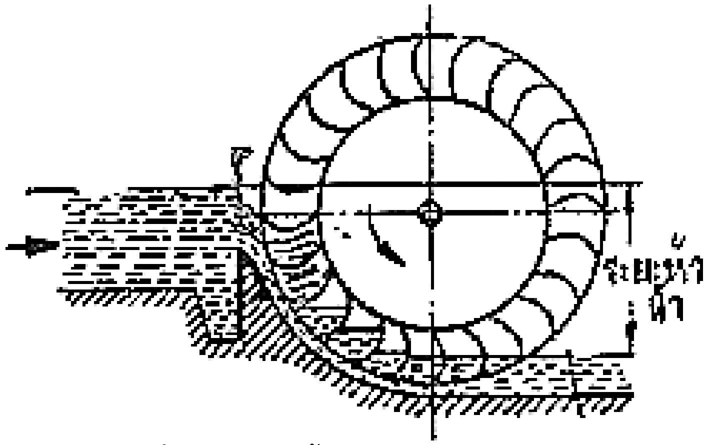
ลักษณะเมื่อล้อหมุนได้น้ำ จะสามารถไหลตกลงล่างได้ในแนวดิ่ง แผ่นกั้นจึงต้องเป็นแผ่นโค้งๆ จึงจะให้ประสิทธิภาพเชิงกลดีกว่าถึงประมาณ ร้อยละ 70 หากใช้แผ่นกั้นเป็นแผ่นตรงๆ ไม่โค้งตามความเร็วรอบ ประสิทธิภาพเชิงกลจะลดลงเหลือเพียงประมาณร้อยละ 40 ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 กังหันน้ำแบบตกขับล้อที่ขอบล่าง [1]

2.1.7 กังหันน้ำแบบตกขับล้อทีกลางล้อ

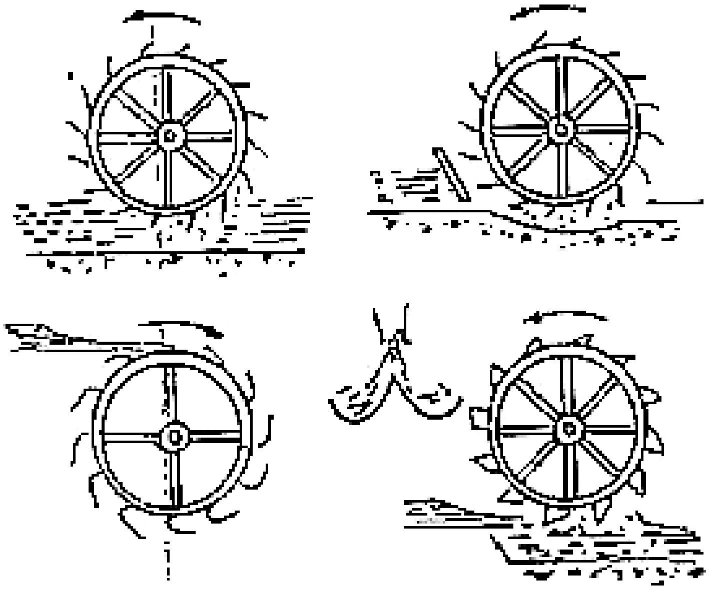
กังหันชนิดนี้เหมากับหัวน้ำ 1.5-2.5 เมตร จะต้องออกแบบสร้างทางปล่อยน้ำให้ไหลเข้ากระเป๋าของล้อให้มากทีสุด ไม่ให้รัวตกลงข้างล้างได้ ปกติมักจะสร้างเป็นโครงสร้างคอนกรีตที่มีช่วงปล่อยน้ำ ให้ตรงกับ ลักษณะสร้างของแผ่นกันน้ำบนกังหันน้ำ ประสิทธิภาพเชิงกลร้อยละ 70 ดังแสดงในภาพที 2-8



ภาพที่ 2.8 กังหันน้ำแบบตกขับทีกลางล้อ [1]

2.1.8 กังหันน้ำแบบไหลชน

ล้อกังหันชนิดนี้ทำงานได้โดยไม่ต้องการความต่างระดับของน้ำ ซึ่งหลักการทำงานจะอาศัยอัตราการไหลของน้ำเข้าชนกับใบพัดของล้อกังหัน กังหันชนิดนี้สามารถใช้ได้กับแม่น้ำ ลำธาร หรือคลองส่งน้ำที่มีอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 2-9

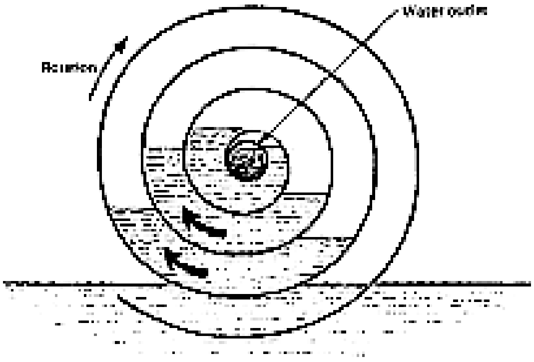


ภาพที่ 2-9 กังหันน้ำแบบไหลชน [1]

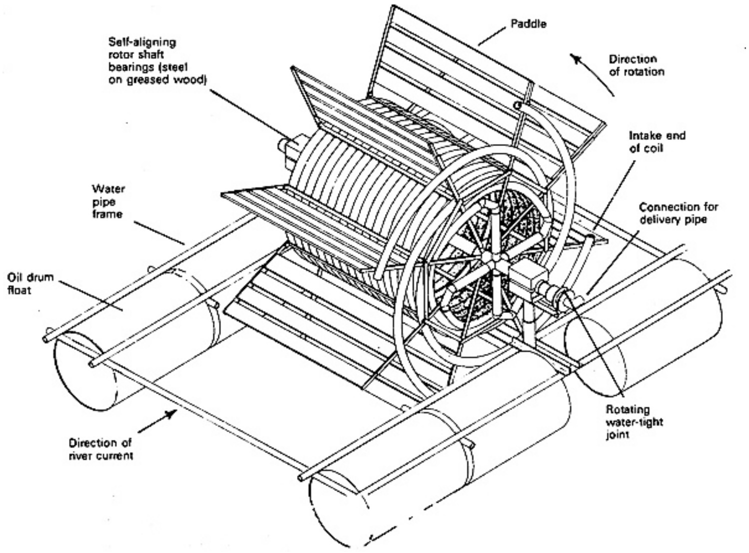
2.2 ประเภทและคุณลักษณะของปั๊ม

2.2.1 ปั๊มน้ำแบบคอยล์ (Water Wheel Driven Coil Pump)

ลักษณะล้อกังหันปั๊มน้ำแบบคอยล์ได้แสดงในภาพที่ 2-10 มีหลักการทำงานคือ น้ำจะไหลเข้าไปในท่อ ขดที่ปลายของท่อจะเปิดอยู่ โดยน้ำจะเข้าเมื่อปลายของท่อเปิดหมุนและถูกจ่มลงในน้ำ จากนั้นน้ำจะไหลวนไป ตามท่อขดของกังหันทำให้เกิดแรงดันภายใน แล้วไหลออกที่ปลายที่เปิดอีกด้านหนึ่งที่อยู่ด้านบนของวงล้อ กังหัน ดังแสดงในภาพที่ 2-9 โดยความสามารถในการผันน้ำของปั๊มชนิดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 15 เมตร โดยการใช้กังหันที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 3 เมตร กังหันน้ำประเภทนี้ถูกนำเสนอ และใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1806 จากงานวิจัยของ the Universities Of California (USA), Sal Ford (UK), Los Andes (Colombia) And Dar Est. Salaam (Tanzania) ในปัจจุบันการใช้งานพบได้แพร่หลายในหลายประเทศ เช่น กรมชลประทานของประเทศไทย ได้มีการใช้กังหันน้ำประเทศนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการชลประทาน เช่นเดียวกันกับในประเทศมาลี [2] ภาพที่ 2-11 แสดงรูปสมบูรณ์ของกังหันน้ำแบบปั้มคอยล์ทีใช้ อยู่ในปัจจุบัน



ภาพที่ 2-10 ลักษณะของล้อกังหันปั๊มน้ำแบบคอยล์ [2]



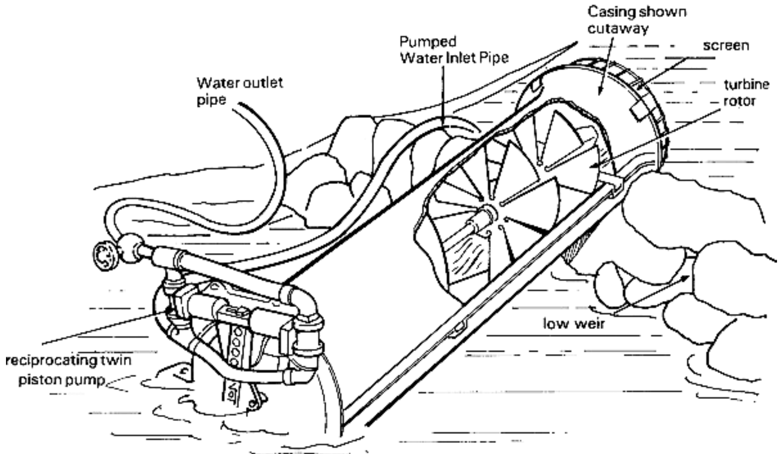
ภาพที่ 2-11 ล้อกังหันแบบปั๊มคอยล์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน [2]

2.2.2 พลาตาปั๊ม (The Plata Pump)

ในกรณีทีกระแสน้ำไหลอยู่ในคลองที่แคบ และมีข้อจำกัดของการติดตั้งของปั๊มชนิดอื่น เนื่องจากต้องการพื้นที่ในการติดตั้งค่อนข้างมาก การใช้ปั๊มแบบพลาตา เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการผันน้ำขึ้นมาจากกระแสน้ำ ปั๊มชนิดนี้ได้ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในประเทศนิวซีแลนด์โดยมีจุดมุ่งหมายในเชิงพาณิชย์แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากเท่าที่ควร เนื่องจากมีราคาที่สูง โดยในปี ค.ศ. 1980 มีราคาอยู่ที่ 2,000 ดอลาร์สหรัฐ (USS) (Water Lifting Devices, 1986, ออนไลน์) ภายในพลาตาปั๊มจะมีชุดของใบพัดขนาดเล็กอยู่ หลายชุดอยู่บนเพลาเดียวกัน โดยเพลามีแนวตามแกนของท่อทรงกระบอกที่มีความยาวประมาณ 2.5 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 เมตร

ตามภาพที่ 2-12 เมื่อมีกระแสน้ำไหลผ่านเข้ามาในท่อทรงกระบอก จะทำให้ชุดใบพัดและเพลาเกิดการหมุนเนื่องจากแรงกระทำของน้ำ จากนั้นเพลาจะส่งกำลังไปยังปั๊มลูกสูบเพื่อ ปั๊มน้ำไปใช้ปั๊มประเภทนี้จะใช้ได้ดีที่สุดเมื่อ มีน้ำไหลเข้าท่อประมาณ 1/4 ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ถ้านำไปใช้งาน

ในสภาวะที่มีน้ำไหลเข้ามากการทำงานจะต่ำลง การทำงานในภาพรวมของพลาตาปั๊มอยู่ที่ ประมาณ 6 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ โดยเฮดที่ทำได้อยู่ที่ประมาณ 6 ถึง 9 เมตร จากการทดลอง พบว่าต้องใช้ความเร็วของน้ำเท่ากับ 153 ลิตรต่อวินาที สำหรับเฮดความสูง 9 เมตร



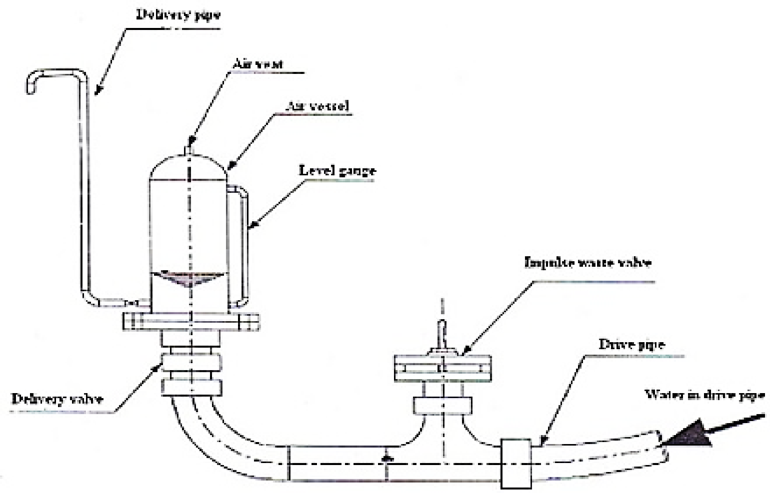
ภาพที่ 2-12 พลาตาปั๊ม

2.2.3 ไฮดรอลิกแรมปั๊ม (The Hydraulic Ram Pump)

ไฮดรอลิกแรมปั๊ม (Hydraulic Ram Pump) ทำหน้าที่ส่งน้ำที่สามารถทำงานได้ด้วยพลังงานของตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากแห่งอื่น เช่นเครื่องยนต์ หรือมอเตอร์ เข้ามาเป็นตัวช่วยให้กำลัง ประเทศไทยมีการสร้างขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2516 โดยกองบริการอุตสาหกรรมภาคเหนือและได้ทดลอง ติดตั้งใช้งานที่ไร่ สามเขา ในเขตอำเภอเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ได้ ทำการปรับปรุงและสร้างขึ้นอีก 1 เครื่อง และได้ทำการทดลองโดยผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ พบว่าเครื่อง ที่สร้างขึ้นมาใหม่มีการทำงานดีกว่าเครื่องเดิมที่มีอยู่ ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบที่สำคัญของไฮดรอลิกแรมปั๊มแสดงในภาพที่ 2-13

โดยหลักการทำงานของของไฮดรอลิกแรมปั๊มเริ่มต้นโดยการที่น้ำไหลจากแหล่งน้ำ ผ่านเข้ามายังตัวปั๊ม (Hydram Body) ในขณะที่วาล์วน้ำทิ้ง (Waste Valve) ยังเปิดอยู่ เมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้วาล์ว ควบคุมความเร็ว (Impulse Valve) ที่วาล์วน้ำทิ้งเลื่อนขึ้นปิด การที่วาล์วควบคุมความเร็วปิดอย่างรวดเร็วทำให้น้ำซึ่งไหลมาตามท่อกระแทกกับผนังของตัวปั๊มทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Water Hammer) และความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้แรงดันในตัวปั้มชนะแรงดันในถึงอากาศทำให้วาล์วจ่ายน้ำ (Delivery Valve) เปิดแล้วน้ำก็จะไหลเข้าไปในถังลม (Air Chamber) ปริมาณของน้ำทีไหลเข้าไปในถังลมจะผลักดันให้อากาศไปรวมตัวกันอยู่บริเวณส่วนบนของถังลม พร้อมกันนั้นน้ำจะถูกส่งผ่านท่อส่งน้ำ (Delivery Pipe) หลังจากนั้นความดันก็จะย้อนกลับมาทางวาล์วจ่ายน้ำ ความดันในของไฮดรอลิกแรมปั๊มจะลดลงทำให้วาล์วน้ำทิ้งเปิด และอากาศที่ถูกอัดตัวใน

ถังอากาศเกิดการขยายตัวดันให้วาล์วจ่ายน้ำปิด ในช่วงการขยายตัวนี้ อากาศจะดันน้ำส่งผ่านท่อจ่ายน้ำ จนความดันเท่ากับน้ำที่ไหลเข้าปั้มอีกครั้ง และทำงานอย่างนี้เป็นวัฏจักรต่อไป



1. ท่อส่งน้ำเข้าสู่ปั๊มน้ำ (Drive pipe)
2. ตังปั๊มไฮแดรม
3. (Hydram body)
4. วาล์วน้ำทิ้ง
5. (Waste valve)
6. ถังลม(Air Chamber)
7. ท่อส่งน้ำไปยังถังเก็บ (Delivery pipe)

ภาพที่ 2-13 ส่วนประกอบของไฮดรอลิกแรมปั๊ม [2]

2.3 ใบพัดตรงเคลื่อนทีรอบแกนหมุน

เมื่อลำน้ำของไหลพุ่งกระทบใบพัด จะเกิดแรงกระทำต่อใบพัดซึ่งการพิจารณาการพุ่งกระทบนี้จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของใบพัดรูปแบบการเคลื่อนที่ และมุมกระทบใบพัด ในบทนี้ได้อธิบายทฤษฎี ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พิจารณาจากภาพที่ 2-14 ซึ่งแสดงลักษณะการพุ่งกระทบของของไหลกับใบพัดตรงซึ่งยึดติดอยู่กับแกนหมุน โดยจะสามารถหา อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลที่พุ่งกระทบใบพัดได้จากสมการที 2-1

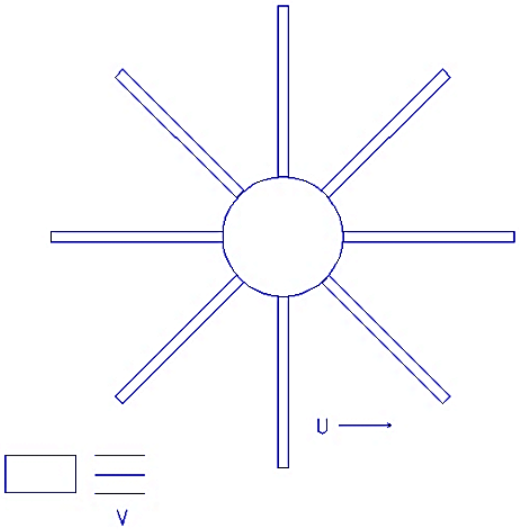
$$\dot{m} = \rho A V \tag{2-1}$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล [kg/s]

ρ = ความหนาแน่นของของไหล [kg/m^2]

A = พื้นที่หน้าตัดของลำของไหล [m^2]

V = ความเร็วของของไหล [m/s]



ภาพที่ 2-14 ลำของไหลพุ่งกระทบใบพัดตรง ซึ่งยึดติดกับแกนหมุน [3]

แรงกระทำต่อใบพัดที่เกิดจากการกระทบของลำของไหล หาได้จากสมการ 2-2

$$F = \dot{m}V_{W/B} \tag{2-2}$$

เมื่อ $V_{W/B}$ = ความเร็วของน้ำเทียบกับใบพัดที่กำลังเคลื่อนที่ [m/s]

$\dot{u}$ = ความเร็วของใบพัด ณ ตำแหน่งที่ลำของไหลมากระทบใบพัด [m/s]

เขียนสมการใหม่ แทนค่า $\dot{m}$ และ $V_{W/B}$ เท่ากับ $V - u$

$$F = \rho AV(V-u) \tag{2-3}$$

และกำลังที่เกิดจากการพุ่งกระทบของลำของไหลบนใบพัด หาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$Power = Fu \tag{2-4}$$

แทนค่า F จะได้

$$Power = \rho AV(V-u)u \tag{2-5}$$

ลำของของไหลพุ่งมากระทบกับใบพัดจะเกิดแรงทำให้ใบพัดเคลื่อนที่รอบแกนหมุนด้วยความเร็ว u ซึ่งเป็นความเร็วของกังหันทีเกิดจากของไหลทีมีความเร็ว V มากระทบกับใบพัด ความเร็วของกังหันหลังลำของไหลกระทบหาได้จากสมการที่ 2-6 [4]

$$u=\frac{2\pi N}{60} \tag{2-6}$$

หากต้องการหาประสิทธิภาพการทำงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังจากการไหลของของไหลเป็นกำลังที่ใบพัดได้รับ จะสามารถหาได้จากสมการที่ 2-7

$$\eta=\frac{Power}{E_k} \tag{2-7}$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบ

η = ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงกำลังจากการไหลเป็นกำลังที่ใบพัดได้รับ

E_k = พลังงานจลน์ [J]

เมื่อ

$$E_k=\frac{1}{2}(\rho AV)V^2$$

$$E_k=\frac{\rho AV^3}{2}$$

แทนสมการที่ (2-5) ในสมการที่ (2-7) จะได้

$$\eta=\frac{\rho AV(V-u)u}{\frac{\rho AV^3}{2}}$$

$$\eta=\frac{2(V-u)u}{V^2} \tag{2-8}$$

จากค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของใบพัดที่คำนวณได้พบว่า กำลังจากการเคลื่อนที่ของลำของ ไหลสามารถเปลี่ยนเป็นกำลังทีใบพัดได้รับเพียง 50 % เท่านั้น เมือมีของไหลมากระทบใบพัดจะ

ทำให้เกิดแรง ทำให้ใบพัดเคลื่อนที่รอบแกนหมุน จะทำให้เกิดแรงบิดกระทำต่อกังหันสามารถหาแรงบิดที่กระทำต่อกังหันได้ จากสมการที่ 2-9 [4]

$$T = F.r \tag{2-9}$$

เมื่อ T = แรงบิด [N.m]

ω = ความเร็วเชิงรอบของกังหัน [rad/s]

α = สัมประสิทธิ์จากความเร็วไหลเปลี่ยนเป็นความเร็วหมุนรอบวงกลม มีค่า 0.499

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ [m]

r = รัศมีของท่อ [m]

ใบพัดหมุนรอบแกนหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม α = ซึ่งหามาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้น ของกังหันส่วนด้วยรัศมีของกังหัน ดังสมการที่ 2-10 [4]

$$\omega = 2N\pi = \frac{u}{r} \tag{2-10}$$

กำลังที่กังหันผลิตได้นั้นจะเป็นผลคูณระหว่างความเร็วเชิงมุมกับแรงบิดที่กังหัน กำลังที่กังหันผลิตได้ จะส่งไปขับโหลดได้ ซึ่งกำลังของกังหันจะหาได้จากสมการที่ 2-11 [4]

$$Power = T.\omega \tag{2-11}$$

สำหรับความเร็วรอบการหมุนของกังหันนั้น หาได้จากการทดสอบความเร็วรอบการหมุนของใบพัด กังหันน้ำที่ความเร็วของของไหล 1 เมตรต่อวินาที ปรากฏว่าใบกังหันน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร จะได้สัมประสิทธิ์ความเร็วแล่นเปลี่ยนเป็นความเร็วหมุนรอบวงกลมเป็น 0.499 ดังสมการที่ 2-12 [4]

$$N = \frac{\alpha 60v}{\pi D} \tag{2-12}$$

2.4 เฮดสุทธิ

คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของเครื่องสูบน้ำก็คือ ค่าเฮดสุทธิ (Net Positive Suction Head) เครื่องสูบน้ำจะทำหน้าที่เพิ่มความดันให้แก่น้ำที่ท่อด้านส่งและดูดน้ำผ่านเข้าเครื่องสูบน้ำทางท่อด้านดูด ปัญหา ประการหนึ่งของเครื่องสูบน้ำก็คือ ความดันที่ท่อด้านดูดอาจต่ำกว่าความดันบรรยากาศซึ่งจะทำให้บางส่วน กลายเป็นไอ (Vapor) และก็ให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเตชัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาดังนี้

- เกิดเสียงดังเหมือนโลหะกระทบกันเกิดเสียงผิปกติ และมีการสั่นสะเทือน
- ในจุดที่ฟองอากาศแตกตัวจะเกิดการผุกร่อน
- ทำให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำลดลง
- เมื่อเกิดการผุกร่อนของใบพัดจะทำให้ใบพัดเสียการสมดุล ทำให้เกิดการแกว่งหรือสั่นสะเทือนทำให้รองเพลาเสียหายได้ ค่า NPSH หรือ เฮดสุทธิสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ
- เฮดสุทธิที่มีอยู่ (Av.NPSH)
- เฮดสุทธิที่ต้องการ (Re. NPSH) เป็นค่าที่ต้านการดูดของเครื่องสูบน้ำ ได้จากบริษัทผู้ผลิตของ เครื่องสูบน้ำโดยค่า Re.NPSH คือผลรวมของเฮดแรงต้านทานทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ

ข้อแนะนำในการใช้งานคือ เมื่อคำนวณค่า Av.NPSH จากระบบใช้งานจริงได้ Av.NPSH แล้วควรเลือกเครื่องสูบน้าทีมีค่า Re.NPSH จากผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำดังนี้

$$AV.NPSH > 1.3 Re.NPSH$$

เมื่อ Av.NPSH = Available Net Positive Suction Head

Re.NPSH = Required Net Positive Suction Head

Z1 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด 1 [m]

Z2 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด 2 [m]l

g = ค่าแรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.8 m/s^2

h = ความสูง [m]

h_f = เฮดความสูญเสียของการไหลในท่อ [m]

หากมีระบบเครื่องสูบน้ำซึ่งกำหนดให้ตำแหน่ง 1 คือผิวหน้าของด้านล่างและตำแหน่ง 2 คือ ท่อด้านผิดของเครื่องสูบน้ำ จะสามารถเขียนสมการพลังงานทั่วไประหว่างผิวหน้าอิสระของน้ำ ณ จุด 1 และท่อด้านดูด ณ จุด 2 ได้ดังสมการที่ 2-13

$$\frac{P_1}{\gamma}+Z_1+\frac{V_1^2}{2g}-h=\frac{P_2}{\gamma}+Z_2+\frac{V_2^2}{2g} \quad (2\text{-}13)$$

กำหนดให้ V_1 มีค่าเป็น 0 (เนื่องจากจะพิจารณาให้ถังหรือบ่อน้ำมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาด ท่อ) และให้ค่า h_p มีค่าเท่ากับ 0 เพราะไม่มีเครื่องสูบน้ำอยู่ระหว่างจุด 1 และ 2 จัดรูปสมการที่ 2-13 จะได้สมการที่ 2-14

$$\frac{P_1}{\gamma}=\frac{P_1}{\gamma}+(Z_1-Z_2)-\frac{V_2^2}{2g}-h_f \quad (2\text{-}14)$$

เพื่อป้องกันการเกิดคาวิเตชัน ค่า P2 จะต้องมีค่าสูงกว่าค่าความดันไอ ณ อุณหภูมิใช้งานของของไหลนั้น ๆ ซึ่งค่าความแตกต่างกันดังกล่าวนี้เรียกว่า เฮดด้านดูดสุทธิที่มีอยู่ (Av.NPSH) โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2-15

$$\text{Av.NSPH}=\frac{P_2}{\gamma}-\frac{P_v}{\gamma}$$

$$\text{Av.NSPH}=\frac{P_1}{\gamma}+(Z_1-Z_2)-\frac{V_2^2}{2g}-hl-\frac{P_v}{\gamma} \quad (2\text{-}15)$$

การใช้งานในสมการที่ 2-15 นั้นค่า P_1 และค่า P_v จะต้องเป็นค่าความดันสัมบูรณ์ โดยค่าความดันไอของน้ำที่แปรตามอุณหภูมิได้จากตารางที่ 2.1 และ ค่านำหนักจำเพาะ (γ) ของน้ำหาได้จากตารางที่ 2-2

สำหรับค่าความเร็วของน้ำในท่อทางด้านดูดก่อนเข้าสู่เครื่องสูบน้ำมีความเหมาะสมสำหรับท่อขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-1 ค่าความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [5]

อุณหภูมิ (^{o}C)	**ความดันไอ** $\left[\frac{N}{m^2}(abs)\right]$
0	615

10	1230
20	2340
40	7400
60	20000
80	47400
100	101500

ตารางที่ 2-2 ค่าน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของน้ำ ณ ความดัน 1 บรรยากาศ [5]

อุณหภูมิ (^{o}C)	**น้ำหนักจำเพาะ (kN/m^{3})**
20	9.792
25	9.791
30	9.769
35	9.752
40	9.733
45	9.714
50	9.693

ตารางที่ 2-3 ค่าความเร็วของน้ำในท่อด้านดูดก่อนเข้าเครื่องสูบที่เหมาะสม [5]

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อด้านดูด (mm)	**ความเร็วของน้ำในท่อด้านดูด (m/s)**	
	ค่าสูงสุด	**ค่าปกติ**
20	1.60	1.33
25	2.04	1.7
35	1.74	1.39
40	1.99	1.73

50	2.21	1.70
70	1.95	1.30 - 1.74
80	2.16	1.66-2.10
100	2.55	1.81-2.34
130	2.39	1.76-2.14
160	2.24	1.74-2.16
180	2.49	2.16
200	2.65	2.12-2.45
260	2.52	1.89-2.36
300	2.84	2.12-2.60
360	2.62	2.29
400	2.79	2.29-2.65
450	2.83	2.62
500	2.85	2.55
550	2.87	2.60
600	2.89	2.65
700	2.87	2.39-2.83
800	2.91	2.81
900	2.89	2.50
1000	2.98	2.45-2.93

ส่วนค่า Re.NPSH เป็นค่าที่แสดงถึงเฮดความต้านทานในท่อด้านดูดของเครื่องสูบน้ำชนิดแรงเหวี่ยง โดยหาก เปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องสูบน้ำขนาดเดียวกันและทำงานที่ความเร็วรอบเท่ากัน

เครื่องสูบน้ำที่มี Re.NPSH ต่ำกว่าจะเป็นเครื่องสูบน้ำที่มีความต้านทานในการดูดน้อยกว่า ถือเป็นเครื่องสูบน้ำที่มีสมรรถนะในการดูดที่ น้อยกว่าเครื่องสูบน้ำที่มี Re.NPSH สูงกว่า ในการคำนวณค่า Re.NPSH จะใช้สมการที่ 2-16

$$\text{Re.NPSH}=\sqrt[3]{\left(\frac{N\sqrt{Q}}{s}\right)^4} \qquad (2\text{-}16)$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบ (rpm)

Q = อัตราการไหล (l/mm)

S = ค่าความเร็วจำเพาะด้านดูด $\left(\frac{rpm\times m^2}{mm}\right)$

2.5 พลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ

สำหรับเฮดความเสียดทานเนื่องจากการสูญเสียในท่อหาได้จากสมการของ ดาร์ซี – ไวด์บาค (Darcy - Weisbach Equation) คือสมการที่ 2-17 [6]

$$h_l = f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}17)$$

เมื่อ h_l = เฮดความสูญเสียของการไหลในท่อด้านดูด [m]

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหล

การหาค่าความเร็วของการไหลของน้ำในท่อด้านดูดดังสมการที่ 2-18

Q ในท่อด้านดูด = Q ในห้องสูบ

$$(\frac{\pi}{4}d_s^2)\times V_s=(\frac{\pi}{4}D^2)\times V \qquad (2\text{-}18)$$

จัดรูปสมการใหม่เพื่อหา V_s จะได้สมการที่ 2.19 [9]

$$V_s = (\omega R \frac{D^2}{d_s^2} \sin\theta)^2 \qquad (2\text{-}19)$$

เขียนสมการที่ 2-17 ใหม่จะได้สมการที่ 2.20

$$h_{Ls} = f \frac{L_s}{2gd_s} (\omega R \frac{D^2}{d_s^2} \sin\theta)^2 \qquad (2\text{-}20)$$

เฮดความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อด้านดูดสูงที่สุด หาได้จากสมการที่ 2-21

$$(h_{Ls})_{max} = f \frac{L_s}{2gd_s} (\omega R \frac{D^2}{d_s^2})^2 \qquad (2\text{-}21)$$

เฮดความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อด้านดูดเฉลี่ยหาได้จากสมการที่ 2.22

$$(h_{Ls}) = \frac{2}{3} (f \frac{L_s}{2gd_s} (\omega R \frac{D^2}{d_s^2})^2) \qquad (2\text{-}22)$$

ค่าเฉลี่ยจะเป็นสองในสามของค่าสูงที่สุดเนื่องจากเป็นการเฉลี่ยของกราฟรูป sin

หากต้องการหาเฮดสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานของการไหลในท่อด้านส่งก็สามารถเขียนสมการ แสดงความสัมพันธ์ได้ในลักษณะเดียวกัน โดยเขียนได้ในสมการที่ 2-23

$$h_{Ld} = f \frac{L_d}{2gd_d} (\omega R \frac{D^2}{d_d^2} \sin\theta)^2 \qquad (2\text{-}23)$$

เฮดความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อด้านส่งสูงที่สุดได้จากสมการ 2-24

$$(h_{Ld})_{max} = f \frac{L_d}{2gd_d} (\omega R \frac{D^2}{d_d^2})^2 \qquad (2\text{-}24)$$

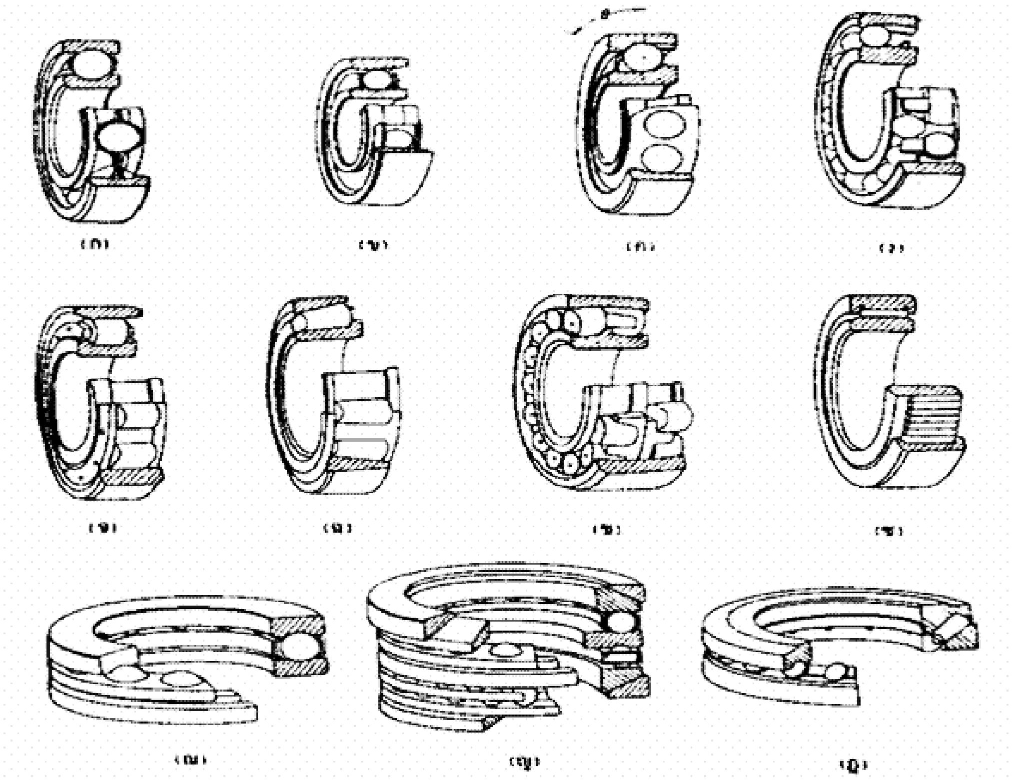
เฮดความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อด้านส่งเฉลี่ยหาได้จากสมการที่ 2-25

$$(h_{Ld})_{ave} = \frac{2}{3}(f\frac{L_d}{2gd_d}(\omega R\frac{D^2}{d_d^2})^2) \quad (2\text{-}25)$$

ค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าสองในสามของค่าสูงที่สุดเนื่องจากเป็นการเฉลี่ยของค่าของกราฟรูป sin

2.6 ประเภทของรองลื่น

โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling Bearing) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แอนไทฟิกชั่นแบริ่ง (Antifriction Bearing) ทำหน้าที่รองรับแรง โดยการสัมผัสกันระหว่างตัวลูกกลิ้ง กับผิวของร่องรางแหวนแบริ่ง จากภาพที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าตัวลูกกลิ้งอาจจะเป็นทรงกลม หรือที่เรียกว่าบอล หรือทรงกระบอก หรือทรงกรวย หรือ ทรงกระบอกกลม หรือแบบเข็ม ตัวลูกกลิ้งเหล่านั้น จะถูกสร้างมาอย่างถูกต้อง ทั้งรูปร่างขนาด และผิว สอดไว้ระหว่างร่องรางแหวนนอก และแหวนใน การใช้งานแหวนนอก หรือในจะหมุนก็ได้ ตัวลูกกลิ้งอยู่ ระหว่างร่องรางทั้งสอง ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสต่ำ เพราะพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยมาก ทำให้โหลดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (ความเค้น) มีค่าสูงด้วยเหตุนี้วัสดุที่ใช้ทำจึงควรจะต้องมีความต้านแรง และความแข็งสูงด้วยโรลลิ่ง แบริ่งถ้าจะแบ่งตามลักษณะ รูปร่างของตัวลูกกลิ้งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือบอลแบริ่ง (Ball Bearing) และโรลเลอร์แบริ่ง (Roller Bearing) แต่ถ้าแบ่งตามลักษณะการรับโหลดก็แบ่งออกได้เป็นสอง ประเภทเช่นกัน คือเรเดียนแบริ่ง (Radian Bearing) และทรัสแบริ่ง (Thrust Bearing) ละยังมีแบริ่งอีกชนิดหนึ่งที่สามารถแยกส่วนได้ แบริ่งชนิดนี้ตัวลูกกลิ้งมีทั้งแบบเป็นบอลและโรลเลอร์ สามารถแยกแหวนใน แหวน นอก และตัวลูกกลิ้งออกเป็นสองชิ้นได้ แบริ่งแบบนี้มีราคาแพงมาก แต่มีประโยชน์มากที่จะนำไปใช้กับงานที่ยากต่อการประกอบหรือถอด [7]



ภาพที่ 2-15 โรลเลอร์แบริงชนิดต่างๆ (ก) บอลแบริงร่องลึกแถวเดียว, (ข) บอลแบริงแมกนีโต, (ค) บอลแบริง แถวเดียวสัมผัสมุม, (ง) บอลแบริ่งปรับแนวแถวคู่, (จ) โรลเลอร์แบริ่งทรงกระบอกแถวเดียว, (ช) โรลเลอร์แบริ่ง ทรงกระบอกกลม, (ซ) โรลเลอร์แบริงแบเข็ม, (ฌ) ทรัสบอลแบริงแถวเดียว, (ญ) ทรัสบอลแบริงแถวคู่สัมผัสมุม, (ฎ) ทรัสโรลเลอร์แบริงทรงกระบอกกลมแถว [7]

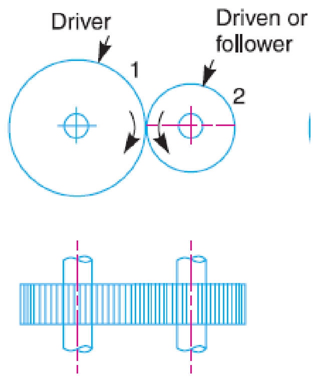
ร่องรางและลูกกลิ้งส่วนมากแล้วทำด้วยเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูงผสมกับโครเมียมจากนั้นใช้ กระบวนการทางความร้อนช่วยเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและทนต่อการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการค้นคว้าปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำโรเลอร์แบริ่งที่ได้จากการหลอมเหล็กในสุญญากาศ แต่วิธีนี้ยังไม่ เป็นที่นิยมผลิตเพราะมีราคาแพงส่วนมากแล้วการหลอมเหลวแบบนี้ มักจะใช้เพื่อการผลิตเหล็กบริสุทธิ์เสีย มากกว่า ยังมีการผลิตแบริ่งด้วยเหล็กที่ได้รับการหลอมเป็นพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ การหลอมเหล็กให้ละลายใน อากาศธรรมดาแล้วนำไปไวในที่ๆมีความดันต่ำๆ (เกือบสุญญากาศ) ทำให้ก๊าซที่ผสมอยู่ในเหล็กลอยหนือออก มา เหล็กที่ใช้จากกรมวิธีนี้จะมีความต้านแรงสูงกว่าแบบที่ได้จากการหลอมธรรมดา สำหรับโรเลอร์แบริ่งที่ออก แบบไว้รับโหลดกระแทกโดยตรงมักจะทำด้วยเหล็กผสมที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ และได้ผ่านกระบวนการ ทางความร้อนจนมีโครงสร้างเป็นซีเมนต์ไตท์ สำหรับโรลลิ่งแบริ่งที่ต้องการออกแบบให้ทนทานต่อการกระแทก และต้านทานต่อการกัดกร่อนด้วย จะทำด้วยเหล็กความเร็วสูง (High Speed Steel) หรือพวกที่เป็นเหล็กมาเตนไซท์ (Martensite) ที่อยู่ในตระกูลเหล็กสเตนเลส สำหรับตัวคั่น (Separator) แยกระยะระหว่างลูกกลิ้งซึ่งจะถูกับลูกกลิ้งตลอดเวลาจะต้องทนทานต่อการสึกหรอและไม่เสียง่ายถ้าเป็นแบริ่งขนาด

เล็กๆ มักทำจากเหล็กแผ่นเล็กๆ ที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำหรือพวกเหล็กแผ่นผิวเรียบ อัดขึ้นรูปแต่สำหรับการใช้งานพิเศษมักจะทำจากพวกแผ่นทองเหลืองที่มีความตานแรงสูงๆ นอกจากนี้ยังมีแบริ่งที่ทำขึ้นเพื่อใช้กับงานที่มีความเร็ว ซึ่งทำด้วยพลาสติกอีกด้วยสำหรับหมุดย้ำที่ใช้ย้ำตัวคันให้ติดกันส่วนมากมักทำด้วยเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำคุณภาพดี [7]

2.7 หลักการคำนวณอัตราทด

ขบวนเฟือง เป็นการนำเอาเฟืองหลายๆ ตัวมาประกอบกัน เพื่อใช้ในการออกแบบของ ระบบให้มีทิศทางและความเร็วใช้งานตามต้องการ ดังนั้นตัวแปรที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ เกี่ยวกับขบวนเฟือง ได้แก่ อัตราส่วนของความเร็วเชิงมุม กับทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งชนิดของ เฟืองสามารถแบ่งได้คือ ขบวนเฟืองปกติ (Simple gear trains) ขบวนเฟืองผสม (Compound gear trains) ขบวนเฟืองย้อนกลับ (Reverted gear trains) และ ขบวนเฟืองแบบ Planetary [8]

2.7.1 ขบวนเฟืองปกติ เป็นขบวนเฟืองที่แกนของเฟืองทุกตัวหมุนด้วยความเร็วคงที่ และสามารถคำนวณหาอัตราส่วนเชิงมุมได้ดังนี้



รูปที่ 2-16 อัตราส่วนเชิงมุม [8]

จากรูปที่ 2-16 จะเห็นว่า เฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับ (driver) และเฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวตาม (driven or follower) อัตราส่วนความเร็วเชิงมุม คือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{d_1}{d_2} \qquad (2\text{-}26)$$

เมื่อ ω_1 คือความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวขับ

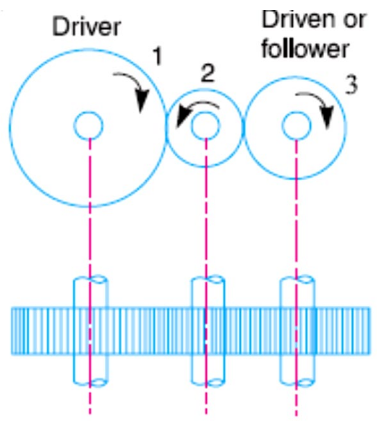
ω_2 คือความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวตาม

N_1 คือจำนวนฟันเฟืองของตัวขับ

N_2 คือจำนวนฟันเฟืองของตัวตาม

d_1 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวขับ

d_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวตาม



รูปที่ 2-17 อัตราส่วนเชิงมุมประกอบด้วยเฟือง 3 ตัว [8]

ต่อมาให้พิจารณาขบวนเฟืองในรูปที่ 2-17 จะเห็นว่าประกอบด้วยเฟือง 3 ตัว ที่มีทั้งเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับ เฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวตามของเฟืองตัวที่ 1 และเฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวขับของเฟืองตัวที่ 3 ส่วนเฟืองตัวที่ 3 จะเป็นตัวตาม ดังนั้นสามารถพิจารณาการคำนวณของอัตราส่วนความเร็ว ดังนี้ พิจารณาอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับ และเฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวตาม คือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} \tag{2-27}$$

พิจารณาอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวขับ และเฟืองตัวที่ 3 เป็นตัวตาม คือ

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{N_3}{N_2} = \frac{d_2}{d_3} \tag{2-28}$$

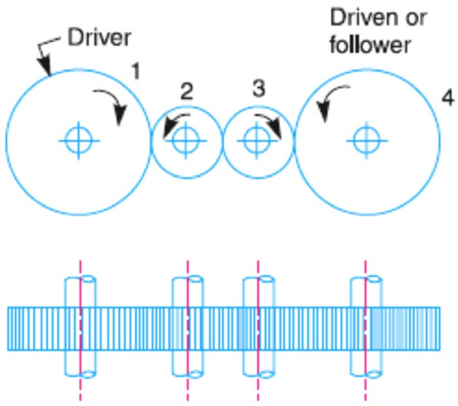
ให้สมการที่ (2-27) คูณ สมการที่ (2-28) จะได้

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} \times \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{N_2}{N_1} \times \frac{N_3}{N_2} = \frac{d_1}{d_2} \times \frac{d_2}{d_3}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{N_3}{N_1} = \frac{d_1}{d_3} \tag{2-29}$$

จากสมการที่ (2-28) จะเห็นว่าอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับกับเฟืองตัวที่ 3 เป็นตัวตาม สามารถสรุปได้ว่า

$$\frac{\text{ความเร็วเชิงมุมของตัวขับ}}{\text{ความเร็วเชิงมุมของตัวตาม}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนเฟืองตัวตาม}}{\text{ผลคูณของจำนวนเฟืองตัวขับ}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนเส้นผ่านศูนย์กลางตัวขับ}}{\text{ผลคูณของจำนวนเส้นผ่านศูนย์กลางตัวตาม}} \quad (2\text{-}30)$$



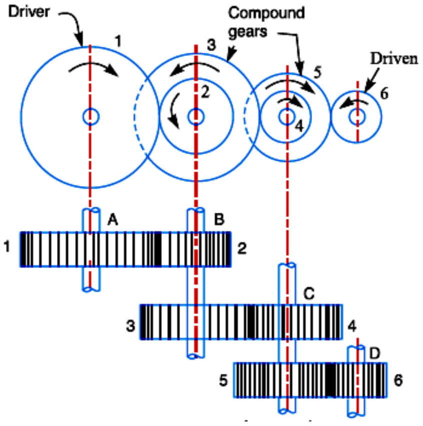
รูปที่ 2-18 อัตราส่วนเชิงมุมประกอบด้วยเฟือง 4 ตัว [8]

จากสมการที่ (2-30) ให้มาพิจารณาหาอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของขบวนเฟืองในรูปที่ 2-18 ซึ่งเป็นอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับ และเฟืองตัวที่ 4 เป็นตัวตาม คือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_4} = \frac{N_2 \times N_3 \times N_4}{N_1 \times N_2 \times N_3} = \frac{N_4}{N_1} = \frac{d_1 \times d_2 \times d_3}{d_2 \times d_3 \times d_4} = \frac{d_1}{d_4} \quad (2\text{-}31)$$

2.7.2 ขบวนเฟืองผสม

นอกจากจะมีลักษณะการจัดวางของขบวนเฟืองที่ขบกัน เรียงตัวกันอย่างต่อเนื่องดังที่ผ่านมาแล้วนั้น ยังมีลักษณะการจัดวางของขบวนเฟืองโดยที่เฟืองสองตัวอยู่บนแกนเดียวกัน ซึ่งเฟืองลักษณะนี้จะมีความเร็วเชิงมุมเท่ากัน เราเรียกว่า “เฟืองผสม” โดยจะมีเฟืองตัวหนึ่งเป็นตัวขับ ส่วนอีกตัวหนึ่งเป็นตัวตาม หรือเป็นทั้งตัวขับและตัวตามพร้อมกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวิศวกรผู้ออกแบบ ว่าจะออกแบบอย่างไร ดังรูปที่ 2-19



รูป 2-19 ขบวนเฟืองผสม

จากรูปที่ 2-19 จะเห็นว่าเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับ ส่วนเฟืองตัวที่ 2 และเฟืองตัวที่ 3 เป็นเฟืองที่อยู่บนแกนเดียวกัน (Compound gears) โดยที่เฟืองตัวที่ 2 เป็นตัวตาม ส่วนเฟืองตัวที่ 3 เป็นเฟืองตัวขับ ที่ไปขับเฟืองตัวที่ 4 ที่เป็นตัวตาม และอยู่บนแกนเดียวกันกับเฟืองตัวที่ 5 ที่เป็นเฟืองตัวขับ ไปขับเฟืองตัวที่ 6 ที่เป็นตัวตาม ดังนั้นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวที่ 1 เป็นตัวขับต่อเฟืองตัวที่ 6 ที่เป็นตัวตาม หาได้จากนิยามของสมการที่ (2-30) คือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_6} = \frac{N_2 \times N_4 \times N_6}{N_1 \times N_3 \times N_5} = \frac{d_1 \times d_3 \times d_5}{d_2 \times d_4 \times d_6} \quad (2\text{-}32)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำต่างๆ

บรรจง วรรธนพงษ์ (2542) กังหันน้ำสูบน้ำทุ่นลอยออกแบบขึ้นเพื่อติดตั้งในแม่น้ำลำธารเป็นกังหันชนิดสะเทินน้ำสะเทินบก สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายกล่าวคือเมื่อติดตั้งในแม่น้ำลำธารจะสามารถลอยอยู่บริเวณผิวน้ำและสามารถปรับตัวเองตามระดับน้ำขึ้นลง กังหันแบบทุ่นลอยนี้ประกอบด้วยทุ่นลอยคล้ายตอปิโด จำนวน 2 ทุ่น วงล้อใบพัดทำด้วยเหล็กขนาด 2 m กว้าง 1.20 m มีใบพัดขนาด 0.60 m X 120 m จำนวน 12 ใบ ใบพัดนี้จะขับส่งกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบชักด้วยเฟืองจานโซ่และสายพาน อุปกรณ์ทั้งหมดประกอบอยู่บนทุ่นเหล็ก 2 ทุ่น โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็กมีน้ำหนักเบา เหมาะที่จะนำไปสูบน้ำในแม่น้ำลำคลอง หรือลำธารส่งน้ำที่มีความเร็วของน้ำตั้งแต่ 1 m/s โดยที่แม่น้ำนั้นจะต้องมีความลึกไม่น้อยกว่า 1 m และมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3 m กังหันสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลเข้าไปขับดันใบพัดให้หมุนแล้วส่งกำลังไปยังเครื่องสูบน้ำด้วยเฟืองจานโซ่และสายพานสามารถสูบน้ำได้ตั้งแต่ 16.67-166.67 Lit/min ยกน้ำได้สูงถึง 45 m ปริมาณจะสูบน้ำได้มากน้อยเพียงใดขึนอยู่กับความสูงในการยกน้ำในขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำไหลคงที่ [9]

ภาพที่ 2-20 ลักษณะของกังหันน้ำสูบน้ำแบบทุ่นลอย
ที่มา:บรรจง วรรธนพงษ์ (2542) [9]

สุขเกษม เจริญจันทร์ (2525) การสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำเพื่อการชลประทาน เพื่อนำพลังงานจากการปล่อยน้ำจากเขื่อน อ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำล้นฝายทดน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำในแม่น้ำมาใช้ ประโยชน์ในการขับให้เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำในรูปแบบต่างๆทำงานส่งน้ำไปใช้ในที่ต่างๆ โดยทำการติดตั้งที่อ่างเก็บน้ำแม่ปีมซึ่งสามารถทำงานได้จริงโดยเน้นส่งน้ำบนที่สูง และสามารถส่งน้ำไปยังคลองส่งน้ำที่อยู่เหนือสันฝายประมาณ 8 m โดยอาศัยน้ำล้นฝาย 5 cm ด้วยท่อส่งน้ำขนาด 12 in จำนวน 2 ท่อ น้ำออกเต็มตลอด 24 ชั่วโมง ระบบสูบน้ำพลังงานน้ำสามารถยกน้ำได้สูงถึง 100 m เก็บน้ำไว้ในที่สูงตลอดช่วงหน้าฝนและปล่อยช่วยพื้นที่เพาะปลูกในช่วงหน้าแล้ง โดยขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดของปั้มน้ำตามพื้นที่ใช้สอยซึ่งสามารถทำงานได้จริงที่ความเร็วของกระแสน้ำที่ 0.65 m/sec และยกน้ำได้สูง 8 m [10]

ภาพที่ 2-21 ลักษณะของกังหันน้ำสูบน้ำพลังงานน้ำเพื่อการชลประทาน
ที่มา:สุขเกษม เจริญจันทร์ (2525)

ปริวัสส์ เอื่อนสะอาด, อิสรา โพพิลา, วราวุธ วฒิวณิชย์, จิรกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี (2554) การวิจัยและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำมุ่งเน้นให้เครื่องตะบันน้ำสามารถทำงานได้ดีและมีราคาประหยัดโดย จากผลการทดลองเครื่องตะบันน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ใช้วัสดุเป็นท่อ PVC ขนาด 2 in เครื่องตะบันน้ำจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อถ่วงที่วาล์วน้ำทิ้งด้วยน้ำหนักที่เหมาะสม การพัฒนาเครื่องตะบันน้ำจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า หรือน้ำมัน [11]

ภาพ ก ภาพ ข

ภาพที่ 2-22 ภาพ ก ลักษณะของเครื่องตะบันน้ำ, ภาพ ข ภาพขยายชุดเช็ควาล์วน้ำทิ้ง [11]

ปรัชญา มุขดา และคณะ ได้สร้างเครื่องสูบน้ำด้วยกำลังน้ำแบบลูกสูบ เพื่อใช้ในคลองชลประทานในเขต อ.เมือง จ.เพชรบุรี ซึ่งเครื่องสูบน้ำสามารถทำงานได้ แต่ประสิทธิภาพเชิงกลต่ำ เนื่องจาก กำลังของใบพัดไม่เพียงพอต่อการส่งถ่ายกำลังไปยังกลไกในการสูบน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบใบพัดกังหัน อัตราทด และกลไกการดูดน้ำที่เหมาะสม [12]

ภาพที่ 1-23 เครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ [12]

2.9 วิธีการจำลองเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics: CFD)

ขั้นตอนแรก การตรวจสอบความถูกต้องเพื่อหาความน่าเชื่อถือของเงื่อนไขของแบบจำลองและการทดสอบจากเครื่องจริง เกิดจากเหตุผลที่ว่าการทดสอบจากเครื่องจริงนั้น มีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ ความเร็วของกระแสน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติที่อาจจะไม่เท่ากันในแต่ละวัน ขนาดของแหล่งน้ำที่ไม่เท่ากันทั้งแหล่งน้ำ สิ่งกีดขวางต่างๆที่อาจทำให้มีผลกับความเร็วของน้ำ ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด [16]

ดังนั้น ขั้นตอนในการทดสอบหาแรงที่เกิดขึ้นบริเวณใบพัดของเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำ ซึ่งการทดสอบจะใช้วิธี การทดลองแบบจำลองโดยใช้วิธีคำนวณของพลศาสตร์ (CFD) เริ่มต้นจากการทดสอบแบบจำลองที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) เท่ากับ 0.5-3 m/s และความลึกของกังหันที่จมน้ำ (D) เท่ากับ 0.36-0.76 m.

การคำนวณเชิงตัวเลขของพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) หรือที่เรียกว่า วิธีจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการออกแบบ โดยวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume) โดยส่วนใหญ่เป็นการใช้กับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ โดยมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาและวิจัยในรูปแบบวิธีการคำนวณต่างๆ เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลผ่านวัตถุ

2.9.1. Computation Fluid Dynamics (CFD) หรือ Computation Fluid Dynamics หรือการคำนวณของไหลพลศาสตร์ คือ การวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาผลเฉลยเชิงตัวเลขและจำลองลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในปัญหาที่สนใจ ซึ่ง CFD มีระเบียบขั้นตอนการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ [17] คือ

1) ขั้นตอนการประมวลผล (Pre-processor) เป็นขั้นตอนของการกำหนดรูปร่างลักษณะและเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา รวมทั้งการแบ่งปัญหาออกเป็นเซลล์เล็กๆ

2) ขั้นตอนการคำนวณ ทำการแก้ปัญหาจากขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลเฉลยของปัญหา ทั้งนี้ระเบียบวิธีนิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธีได้แก่

-วิธีผลสืบเนื่อง (Finite difference method)

-วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์- (Finite element method)

-วิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method)

3) ขั้นตอนการแสดงผล(Post-processor) เป็นขั้นตอนแสดงผลเฉลยหรือแสดงการจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของปัญหา อาจอยู่ในรูปของ ระดับแถบสี (Contour) กราฟ ตัวเลข หรือแสดงในลักษณะของเวคเตอร์

การวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลนั้น จะเกี่ยวข้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายถึงของการไหลที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากสมการ อนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ซึ่งได้กล่าวของรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมา การคำนวณหรือแก้ปัญหาระบบสมการเชิงอนุพันธ์เหล่านี้มีหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume) กับโปรแกรม (Fluent) 6.3 แก้ปัญหาและการวิเคราะห์กับอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุกเล็ก

ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method) เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ (CFD) ในปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่แล้วมักใช้ระเบียบวิธีสืบเนื่อง สร้างโปรแกรมคำนวณแก้ปัญหาเนื่องจากเป็นระเบียบวิธีที่ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้สำหรับการคำนวณพฤติกรรมการไหลในของไหลโดยเฉพาะ ซึ่งระเบียบวิธีนี้จะทำอินติเกตสมการของปัญหาตลอดปริมาตรควบคุมที่กำหนด

2.9.2. ระเบียบขั้นการแก้ปัญหา การคำนวณของไหลพลศาสตร์ ประกอบด้วยการคำนวณหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุรักษ์ทั้งสามสมการและสมการอื่น เช่น แบบจำลองความปั่นป่วน สมการชนิดของของไหล (กรณีของไหลมีหลายชนิด) และสมการสเกลาร์อื่นๆ ซึ่งลำดับการหาคำตอบของสมการแต่ละอย่างมีผลต่อการลู่เข้าของคำตอบและค่าผลเฉลย โดยทั่วไประเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะมีระเบียบของลำดับขั้นการแก้ปัญหาอยู่ 2 อย่างตามแต่ลักษณะของปัญหา (Fluent Useer'Guide ,2001) ดังนี้

ระเบียบขั้น Segregated solver เป็นระเบียบขั้นที่จะแก้สมการเชิงอนุรักษ์โมเมนตัมก่อนสมการอื่น ทั้งนี้การแก้ปัญหาชุดสมการจะกระทำเป็นรอบและแก้ซ้ำ เนื่องจากสมการอนุรักษ์จะอยู่ในรูปไม่เชิงเส้น ขั้นตอนการแก้ปัญหาตามระเบียบขั้น Segregated solver

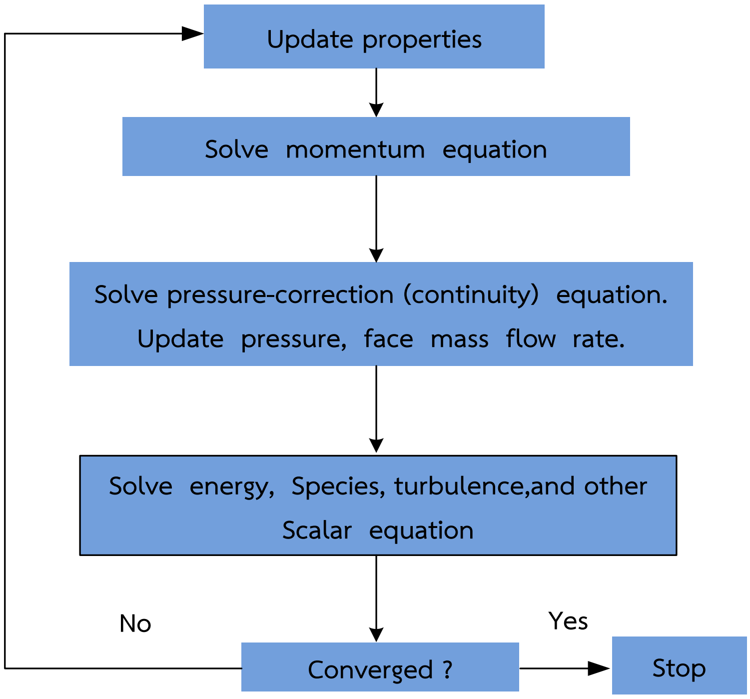
1) สมบัติของสารจะถูกป้อนเข้าสู่ขั้นตอนการแก้สมการ หากเป็นการเริ่มคำนวณค่าคุณสมบัติที่ใช้ คือ ค่ากำหนดเริ่มต้นของปัญหา และจะมีการปรับปรุงค่าทุกๆรอบของการคำนวณ

2) คำนวณสมการอนุรักษ์โมเมนตัมทั้งสามสมการ เพื่อคำนวณค่าความดันและอัตราการไหล ซึ่งจะได้ความเร็วของการไหล

3) เนื่องจากค่าความเร็วที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 อาจเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับสมการอนุรักษ์มวล ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าที่ได้ ด้วยสมการปรับแก้ความดัน(Pressure-correction equation) ประดิษฐ์จากสมการอนุรักษ์มวลกับโดมเมนตัม โดยค่าความดัน อัตราการไหลและความเร็วที่ได้จะมีค่าเหมาะสมมากขึ้น

4) ขั้นตอนนี้เป็นการสมการอื่นที่เพิ่มเติมเข้ามา สำหรับแต่ละปัญหา เช่น สมการหลังงาน แบบจำลองความปั่นป่วน และสมการสเกลาร์อื่น โดยใช้ค่าจากขั้นตอนที่ 3

5) การยอมรับค่าที่ได้จากการคำนวณ จะถูกกำหนดขึ้น จากผลต่างของเศษเหลือในแต่ละรอบของการคำนวณ หากมีค่าสูงกว่าที่ยอมรับได้ต้องการคำนวณซ้ำ (กลับไปที่ขั้นตอนที่ 1) จนกว่าจะได้ค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าที่ยอมรับได้



ภาพที่ 2-24 ลำดับการคำนวณของระเบียบขั้นแบบ Segregated solve

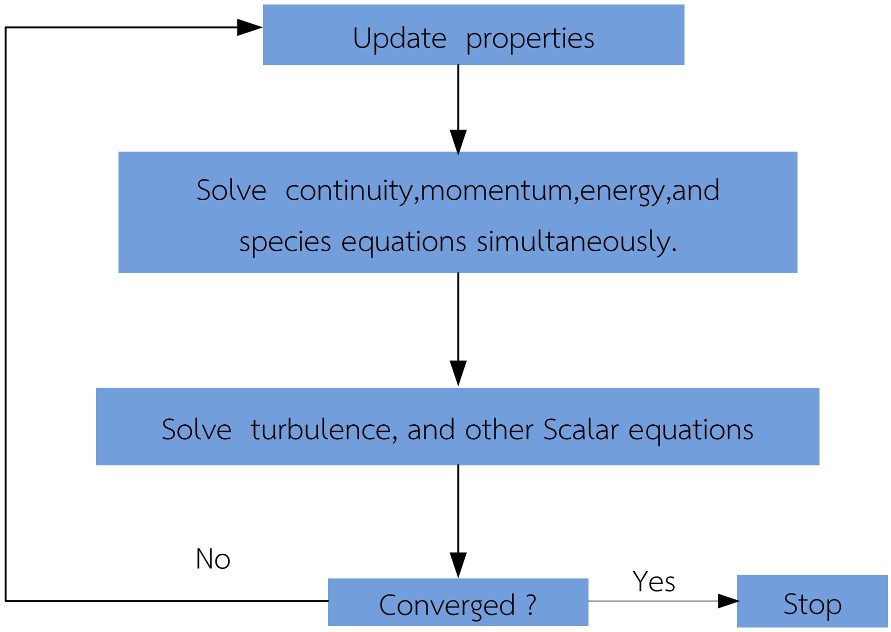
ระเบียบขั้น Coupled solve เป็นระเบียบขั้นที่ค่อนข้างใหม่สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข เป็นวิธีที่เอาสมการอนุรักษ์ทั้งสามสมการ และสมการชนิดของของไหล (เมื่อกรณีของไหลมีหลายชนิด) แก้สมการพร้อมกันก่อนจะแก้สมการสเกลาร์อื่นๆ การคำนวณสมการเหล่านี้ยังต้องทำเป็นรอบเช่นเดียวกับระเบียบขั้นตอนแรก

1) ระเบียบขั้นตอนแรก สมบัติของสารถูกป้อนเข้าสู่ขั้นตอนการแก้สมการ หากเป็นการเริ่มการคำนวณค่าคุณสมบัติที่ใช้ คือ ค่ากำหนดเริ่มต้นของปัญหา และจะมีการปรับปรุงค่าทุกๆรอบของการคำนวณ

2) ขั้นตอนต่อมา คำนวณสมการอนุรักษ์ทั้งสามสมการ และสมการชนิดของของไหล (กรณีของไหลมีหลายชนิด)

3) คำนวณสมการแบบจำลองความปั่นป่วน และ สมการสเกลาร์อื่นๆโดยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา

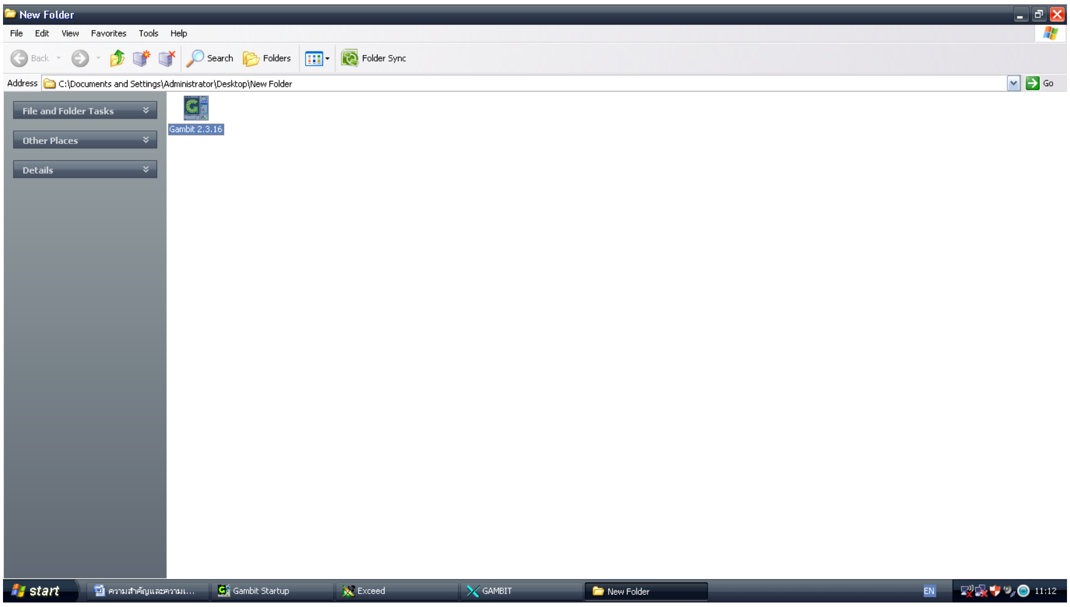
4) ประเมินผลต่างเศษเหลือของรอบว่ายอมรับได้หรือไม่ หากมีค่าสูงกว่าที่ยอมรับได้จะต้องทำการคำนวณกลับไปที่ขั้นตอนแรก และวนซ้ำจนกว่าจะได้ค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าที่ยอมรับได้



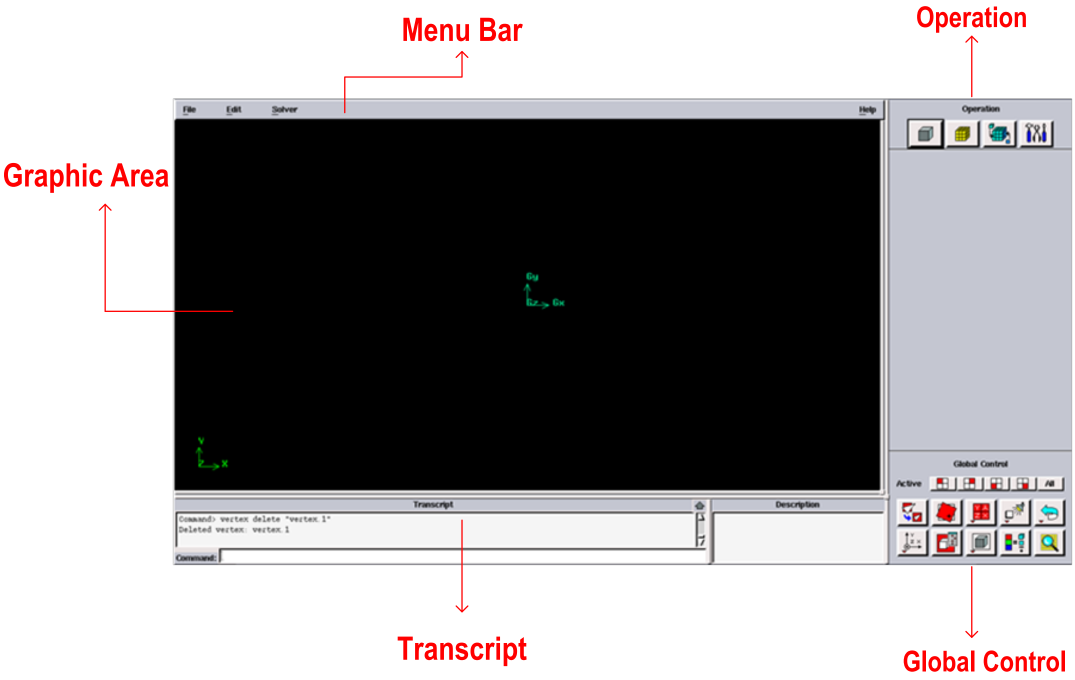
ภาพที่ 2-25 ลำดับการคำนวณระเบียบขั้นแบบ Coupled solve

2.10 การใช้โปรแกรม Gambit

เมื่อทำการติดตั้ง Gambit เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม Gambit ที่ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Window XP ก็จะปรากฏ Shortcut Icon ขึ้นที่หน้าจอภาพ ตามรูป



ส่วนประกอบบน Graphic Window



Graphic Area ผลการเขียนชิ้นงานออกแบบ เปรียบได้กับกระดาษที่ใช้ในการเขียนแบบ เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่บนหน้าจอภาพ

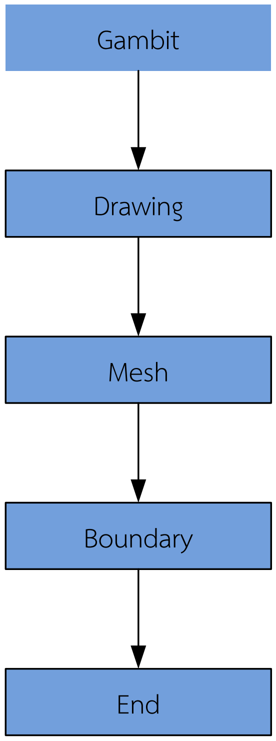
Transcript ไว้สำหรับแสดงคำสั่ง หรือ สิ่งที่ทำไปและจะแจ้งเตือนเมื่อวาดหรือตีเมทซ์ไม่เหมาะสม

Menu Bar เป็นส่วนที่อยู่บนของจอภาพใต้ Title Bar มีด้วยกัน 4เมนู การเรียกใช้งานมีลักษณะเช่นเดียวกับ เมนู โปรแกรมบน Window ทั่วไป

Operation เป็นคำสั่งต่างๆที่ต้องการจะใช้ในการเขียนแบบ สร้างเมทช์ กำหนดด้านต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วย Geometry Mesh Zone Tool ซึ่งในแต่ละคำสั่งนี้ก็จะมีคำสั่งย่อยๆลงไปอีก

Global Control เป็นชุดคำสั่งทั่วไปที่ใช้ในการจัดการกับการเขียนแบบ เช่น การหมุนแกน XYZ การย้อนกลับ การดูเมช์ท เป็นต้น

การสร้างแบบ เมทช์ และกำหนดด้าน ด้วยโปรแกรม Gambit



ภาพที่ 2-26 แผนภาพแสดงขั้นตอนในโปรแกรม Gambit

Drawing เป็นขั้นตอนของ การวาดภาพให้ได้ขนาด รูปร่าง รูปทรงที่ต้องการ

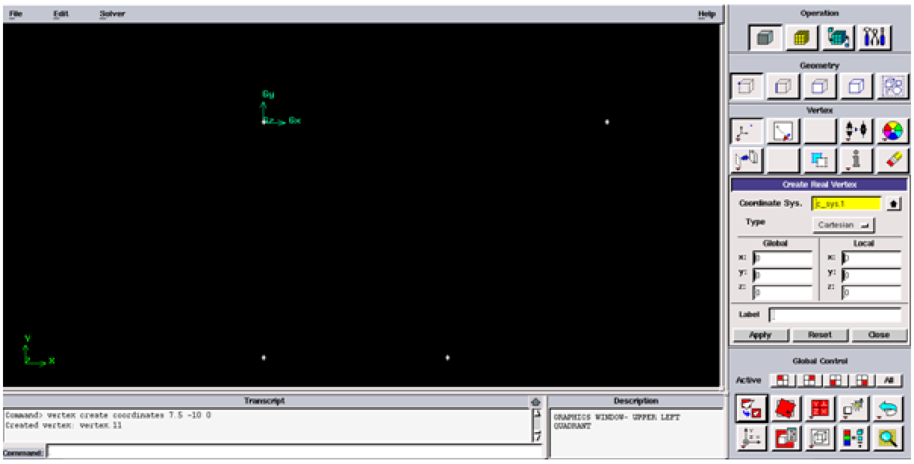
Mesh เป็นขั้นตอนของ การสร้างเมทช์ (เมทช์คือลักษณะโครงสร้างของวัสดุ) และกำหนดความหยาบละเอียดของค่าที่ต้องการอีกด้วย เช่น ต้องการหาค่าแรงที่ขอบของใบกังหันจึงกำหนดเมทช์บริเวณของใบกังหันให้มากๆ

Boundary เป็นขั้นตอนของ การกำหนดด้านเข้า-ออกของของไหล กำหนดลักษณะของของไหลที่เข้า-ออก กำหนดด้านที่เป็นผนังต่างๆ เช่น สมมติให้แม่น้ำเป็นทรงลูกบาศก์โดยจะมีด้านเข้าออกของน้ำรวม2ด้าน ส่วนด้านที่เหลืออีก4ด้านจะเป็นผนังซึ่งน้ำจะไม่สามารถไหลเข้าหรือออกได้

2.10.1. ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Gambit

1. การสร้างรูป (Drawing) โดยในขั้นตอนนี้ก็จะมีหลากหลายวิธีการซึ่งจะเริ่มจาก

1.1. การสร้างจุด (จุดที่ถูกสร้างขึ้นจะเป็นสีขาว)



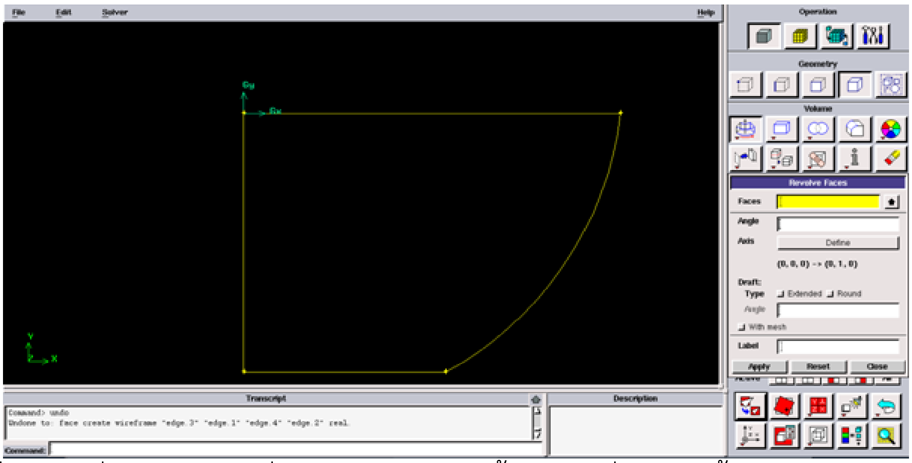
ขั้นตอนที่ 1 คลิกซ้ายที่ Operation เมื่อคลิกแล้วจะมีคำสั่งย่อย Geometry ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 2 คลิกซ้ายที่ การสร้างจุด จากนั้น จะมีคำสั่งย่อย Vertex ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 3 คลิกซ้ายคำสั่งแรก ในแถวแรก บน Vertex จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ให้ใส่ตัวเลขลงในแกน XYZ ที่จะสร้าง

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อป้อนตัวเลขที่ต้องการแล้ว คลิกซ้ายที่คำว่า Apply

1.2. การสร้างเส้น (เส้นที่ถูกสร้างจะเป็นสีเหลือง)



ขั้นตอนที่ 1 คลิกที่เมนูเส้นบนคำสั่ง Geometry จากนั้นจะมีคำสั่ง Edge ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 2 คลิกซ้ายคำสั่งแรก ในแถวแรก (โปรแกรมจะเซตให้เป็นการสร้างเส้นตรงเสมอ)จะปรากฏหน้าต่าง Create Straight Edge ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 3 คลิกซ้ายที่จุดที่ต้องการจะลากเส้น โดยต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้ด้วย

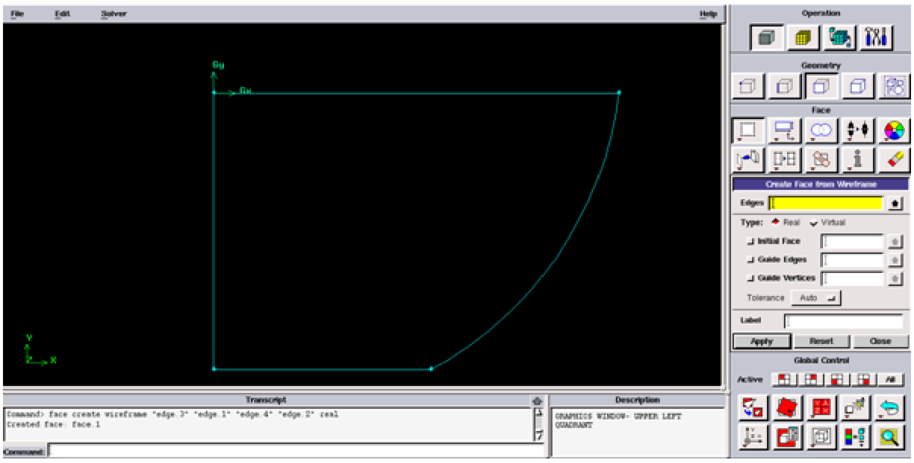
ขั้นตอนที่ 4 เลือกจุดที่ต้องการครบแล้ว คลิกซ้ายที่คำว่า Apply

ขั้นตอนที่ 5 การสร้างเส้นโค้ง ให้คลิกขวาที่คำสั่งคำสั่งแรก ในแถวแรก จากนั้นเลือกคำสั่งArc เมื่อคลิกแล้ว จะปรากฏหน้าต่าง Create Circular Edge ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 6 ในช่อง Center ให้คลิกซ้ายจุดที่ ต้องการให้เป็นจุดหมุน ส่วนช่อง End-Points เลือกจุดที่ต้องการจะให้เป็นรัศมีโค้ง (ในขณะที่คลิกที่จุดจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ)

ขั้นตอนที่ 7 เลือกจุดที่ต้องการครบแล้ว คลิกซ้ายที่คำว่า Apply

1.3. เป็นการสร้างด้าน (Face) (เมื่อสร้างด้าน เสร็จ จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า)

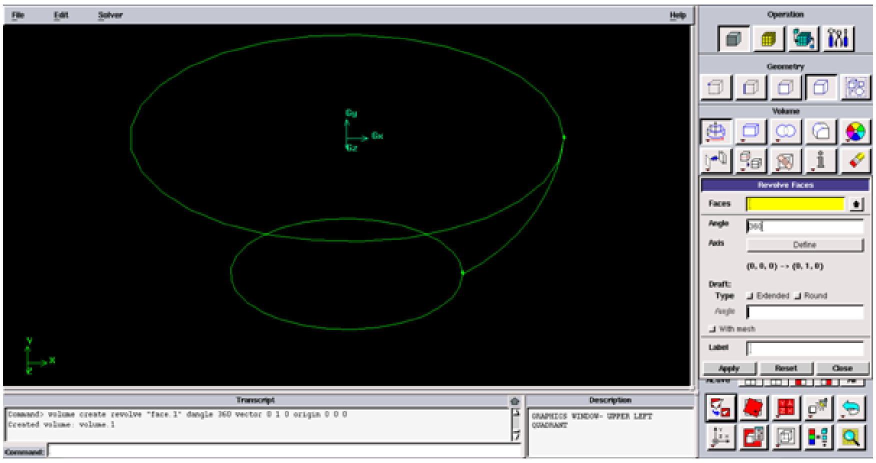


ขั้นตอนที่ 1 คลิกซ้ายที่เมนูด้านบนคำสั่ง Geometry จากนั้นจะมีคำสั่ง Face ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 2 คลิกซ้ายที่คำสั่งแรก ในแถวแรก จากนั้น เลือกเส้นทั้งหมดที่ต้องการจะทำเป็นด้าน โดยเส้นทั้งหมดจะต้องประกบติดกัน (ในขณะที่คลิกที่เส้นจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ)

ขั้นตอนที่ 3 เลือกเส้นที่ต้องการครบแล้ว คลิกซ้ายที่คำว่า Apply

1.4. การสร้างปริมาตร (Volume) (เมื่อเปลี่ยนด้านเป็นปริมาตรจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียว)



ขั้นตอนที่ 1 คลิกซ้ายที่เมนูปริมาตรบนคำสั่ง Geometry จากนั้นจะมีคำสั่ง Volume ขึ้นมา

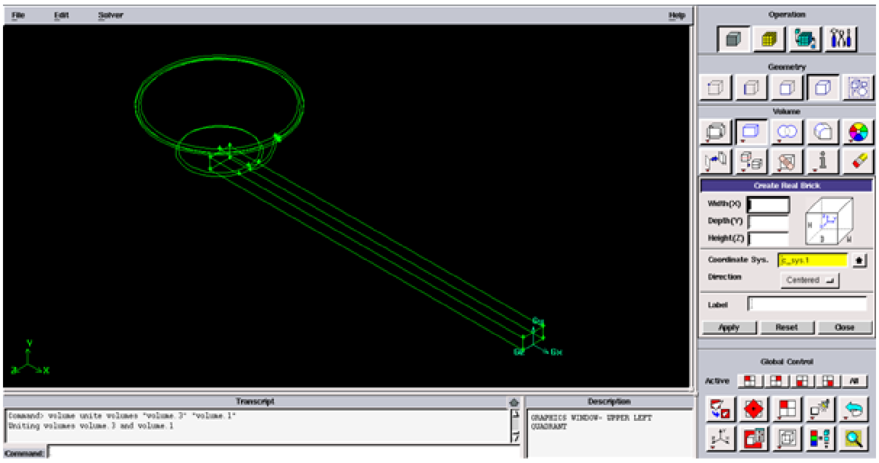
ขั้นตอนที่ 2 คลิกขวาที่คำสั่งแรก ในแถวแรก จากนั้นเลือกคำสั่ง Revolve Face

ขั้นตอนที่ 3 คลิกซ้ายที่ด้าน ที่ต้องการจะเปลี่ยนให้เป็นปริมาตร (ในขณะที่คลิกที่ด้านจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ)

ขั้นตอนที่ 4 ในช่อง Angle ใส่ค่ามุมที่ต้องการจะให้ด้านนี้หมุนไป(ในที่นี้ให้ Angle=360)

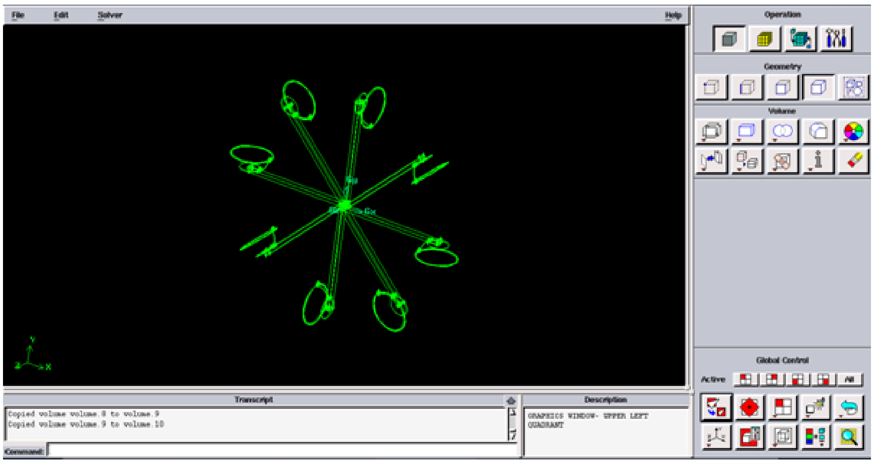
ขั้นตอนที่ 5 คลิกซ้ายที่ Define จะปรากฏหน้าต่าง Vector Definition ขึ้น ซึ่งคำสั่งนี้เป็นคำสั่งให้เลือกว่าต้องการจะหมุนด้านตามแนวแกนใด (ในที่นี้ให้หมุนรอบแกน Y โดยคลิกซ้ายที่หน้าช่อง Positive บนแกน Y) แล้วคลิกซ้ายที่คำว่า Apply

ขั้นตอนที่ 6 เลือกทุกอย่างที่ต้องการครบแล้ว คลิกซ้ายที่คำว่า Apply



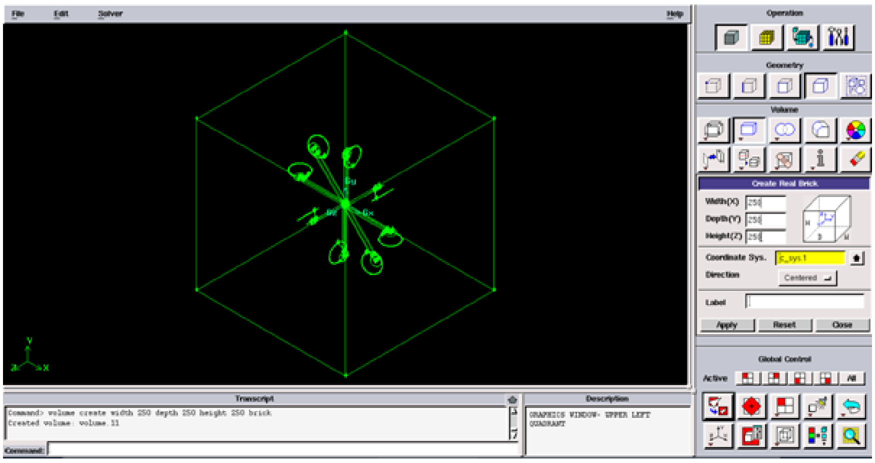
ขั้นตอนที่ 7 สร้างกล่องสี่เหลี่ยมขึ้นมาเพื่อแขนของใบพัด ซึ่งการสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยม สร้างแบบง่าย โดยการคลิกซ้ายที่ คำสั่งที่สอง ในแถวแรก จากนั้นก็ใส่ขนาดของปริมาตรสี่เหลี่ยมที่เราต้องการ

ขั้นตอนที่ 8 หากต้องการทำให้ชิ้นส่วน 2 ส่วนนี้ เป็นชิ้นเดียวกันทำได้โดยการ คลิกซ้ายที่คำสั่งที่สามในแถวแรก จากนั้นเลือกปริมาตรทั้ง 2 ส่วน(ในขณะที่คลิกที่ปริมาตรจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ) แล้วคลิกซ้ายที่คำว่า Apply



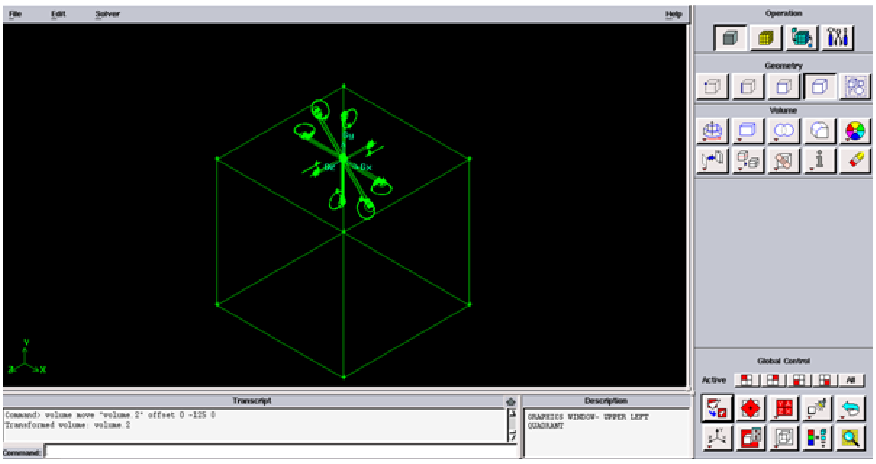
ขั้นตอนที่ 9 หากต้องการทำให้ใบพัดนี้มีหลายอัน ทำได้โดยการเลือกคำสั่งแรก ในแถวที่สอง คลิกรูปที่ต้องการจะทำ เลือกคำสั่ง Copy แล้วใส่จำนวนที่จะCopy (ในที่นี้ให้เท่ากับ 7) จากนั้นเลือกคำสั่ง Rotate และใส่ Angle=45 (นำ360หาด้วยจำนวนใบพัดที่ต้องการ เช่น 360/8=45) และ Define ให้เลือกที่ Positive ที่แกน Z จากนั้น คลิกซ้ายที่คำว่า Apply

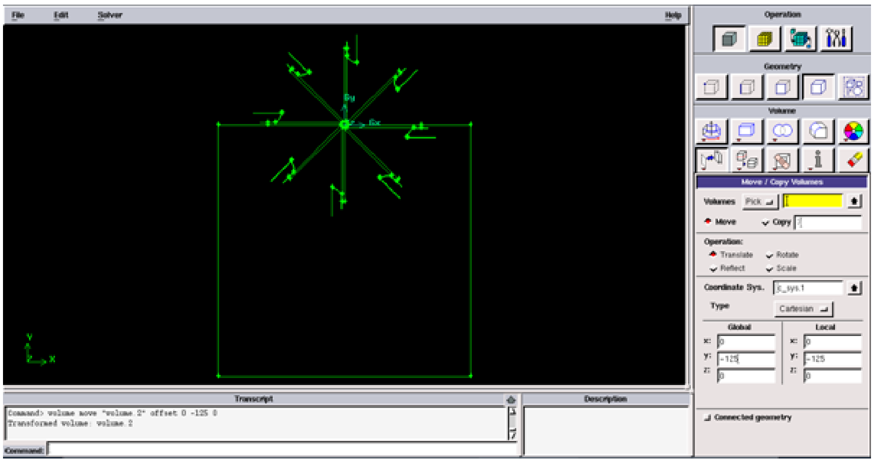
ขั้นตอนที่ 10 สร้างกล่องสี่เหลี่ยมให้คลุมกังหัน (กล่องสี่เหลี่ยมเปรียบเสมือนแม่น้ำ) ในที่นี้จะเรียกว่ากล่องแม่น้ำ ซึ่งมีขนาด(X=250,Y=250,Z=250)



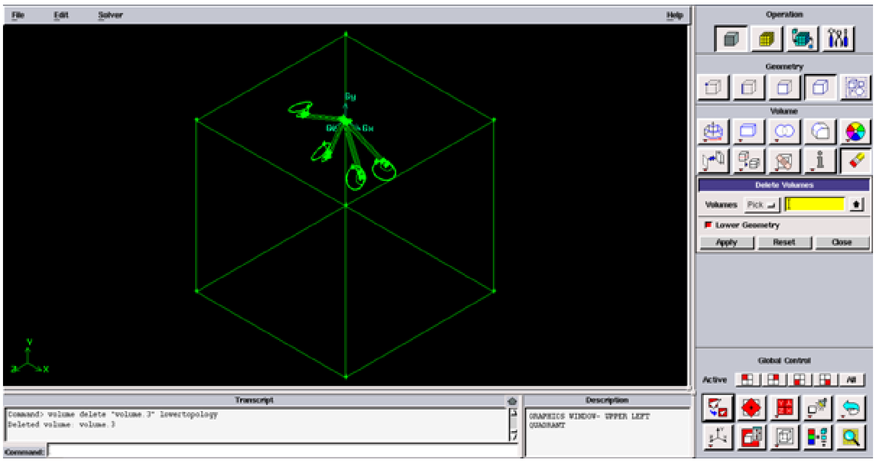
ขั้นตอนที่ 11 ทำการย้ายกล่องแม่น้ำให้ลงมาอยู่ที่ครึ่งของกังหัน โดยคลิกซ้ายคำสั่งที่แรก ของแถวที่สอง จากนั้นจะมีหน้าต่าง Move/Copy Volumes ขึ้นมา จากนั้นคลิกซ้ายที่กล่องแม่น้ำ(ในขณะที่

คลิกที่จุดจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ) คลิก Move คลิก Translate และ ใส่เลขในช่องแกน XYZ (X=0,Y=-125,Z=0)





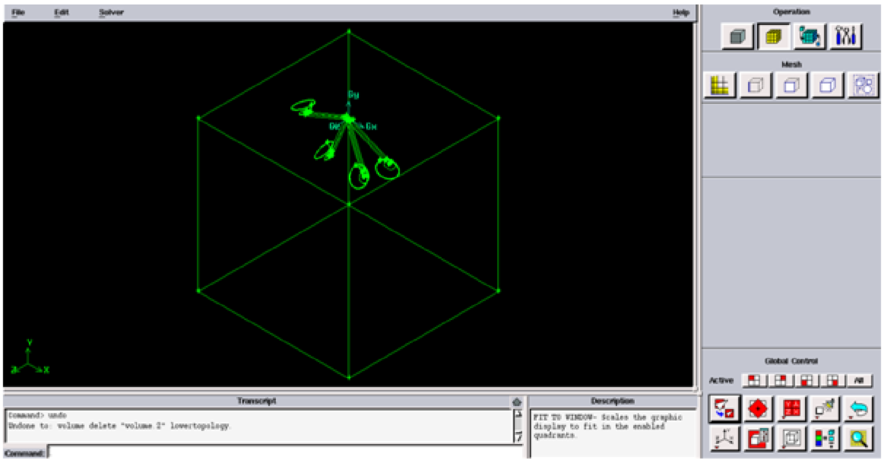
ขั้นตอนที่ 12 ทำการคว้าน ได้โดยการคลิกซ้ายที่คำสั่งที่สอง ในแถวที่สอง โดยในช่องแรกนั้นให้เลือกที่กล่องสี่เหลี่ยม ส่วนช่องที่สองนั้น ให้เลือกที่กังหัน จากนั้นคลิกที่คำว่า Apply



ข้อแนะนำ

1) หากต้องการลบจะต้องกลับไปที่คำสั่งของสิ่งที่ต้องการลบ เช่น ต้องการลบจุด ต้องกลับไปที่คำสั่งจุด จากนั้นคลิกที่คำที่ 5 ในแถวที่สอง จากนั้นเลือกจุดที่ต้องการจะลบ จากนั้นคลิกคำว่า Apply
2) เมื่อทำครบทุกขั้นตอนแล้ว ให้ลบออกเพื่อเป็นการเช็คว่า มีจุด เส้น เกิดมาหรือไม่ จะได้ไม่มีปัญหาในภายหลัง
3) ทำการเซฟทุกครั้งหลังจากทำแต่ละขั้นตอนเสร็จ เพื่อหลังจากที่ทำผิดพลาดตรงไหนจะสามารถกลับมาแก้ไขได้

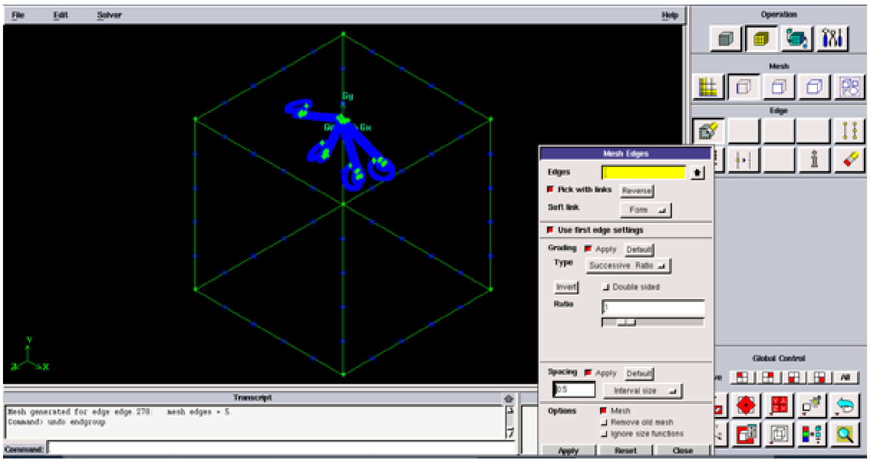
2.10.2. การสร้างเมทช์ (Mesh)



ขั้นตอนที่ 1 คลิกซ้ายคำสั่งที่สองที่ Operation เมื่อคลิกแล้วจะมีคำสั่งย่อย Mesh ขึ้นมา

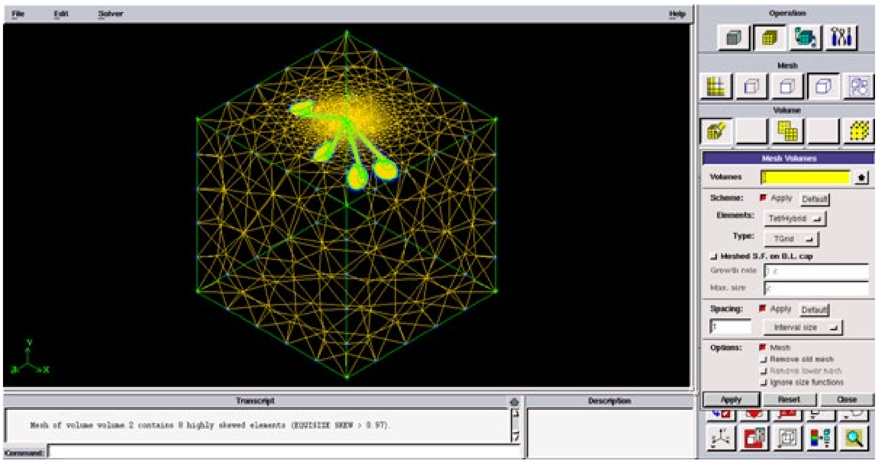
ขั้นตอนที่ 2 คลิกซ้ายคำสั่งที่สอง ในคำสั่ง Mesh จะมีหน้าต่าง Mesh edges ขึ้น จากนั้นคลิกซ้ายที่เส้นที่ต้องการจะสร้างเมทช์ (ในที่นี้เราจะแบ่งการเลือกเส้นใหญ่ๆเป็น 3 ส่วน คือ เส้นบริเวณ ใบพัด แขนของใบพัด และกล่องแม่น้ำ) ในขณะที่คลิกที่เส้นจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ

ขั้นตอนที่ 3 ในช่องของ Spacing ให้เปลี่ยนเลข โดยที่ ใบพัด ให้เท่ากับ 0.5 แขนของใบพัด ให้เท่ากับ 3 และที่กล่องแม่น้ำ ให้เท่ากับ 20 จากนั้น คลิก Apply



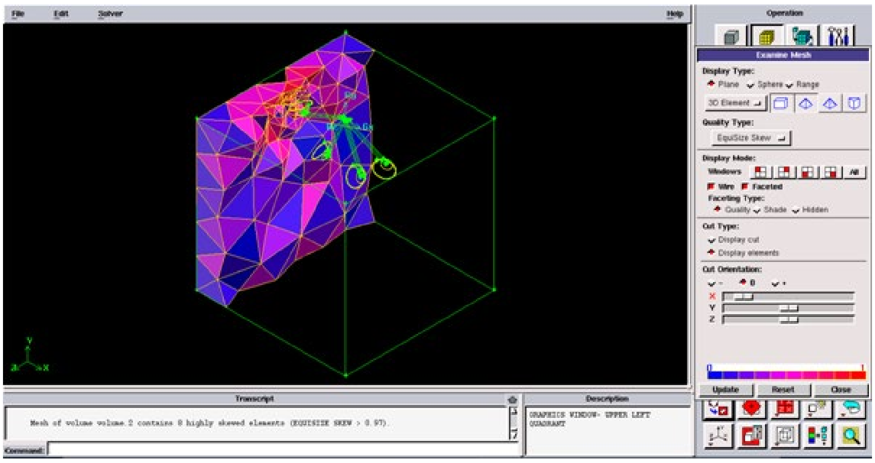
ขั้นตอนที่ 4 เลือกคำสั่งที่สี่ บนคำสั่ง Mesh ซึ่งเป็นการสร้างเมทช์แบบปริมาตร จากนั้นจะมีหน้าต่าง Mesh Volume ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 5 เลือกคำสั่งแรก บนแรกบน Mesh Volume จากนั้นคลิกซ้ายที่รูป คลิก Apply (ในขณะที่คลิกที่ปริมาตรจะต้องกดปุ่ม Shift ค้างไว้เสมอ)

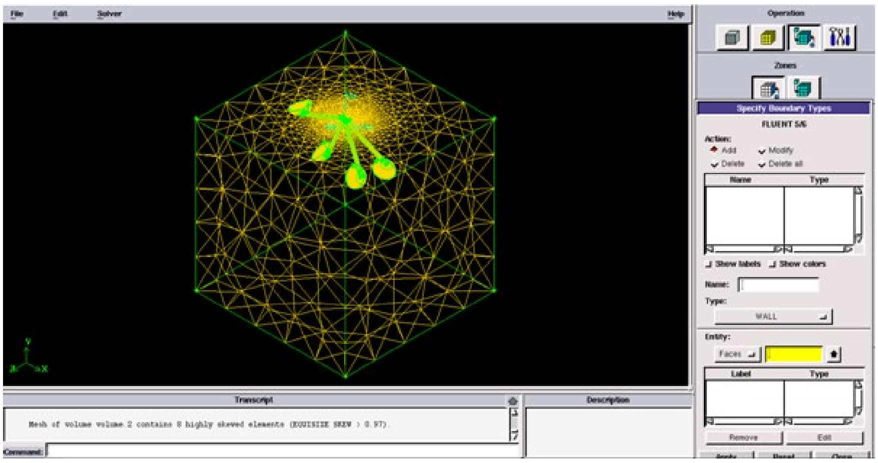


ข้อแนะนำ

1) การสร้างเมทช์ที่เส้นจะต้องทำที่ละเส้น เช่น สร้างที่แขนของใบพัด ก็จะต้องคลิกที่เส้นของใบพัดนั้น แล้วเปลี่ยนเลข ที่ Spacing ให้เท่ากับ 3 เป็นต้น
2) การสร้างเมทช์แบบปริมาตร สามารถเลือกรูปแบบของเมทช์ได้โดยคลิกซ้ายที่คำสั่ง Element บน Mesh Volumes (ในที่นี้เลือกเป็นแบบ Tet/Hybrid)
3) หากต้องการลบเมทช์จะต้องกลับไปที่คำสั่งของสิ่งที่ต้องการลบ เช่น ต้องการลบเมทช์ที่เส้น ต้องกลับไปที่คำสั่ง Mesh Edge จากนั้นคลิกที่คำที่ห้า ในแถวที่สอง จากนั้นเลือกเส้นที่ต้องการจะลบเมทช์ จากนั้นคลิกคำว่า Apply
4) การตรวจสอบ ว่าเมทช์ที่สร้างขึ้นมานั้นครบถ้วนหรือไม่ทำได้โดยการ คลิกซ้ายที่คำสั่งที่ห้า ในแถวที่สั่งของชุดคำสั่ง Global Control จะมีหน้าต่าง Examine Mesh ขึ้นมา จากนั้นคลิกซ้ายที่ช่องรูปทรงสามเหลี่ยม บริเวณ 3D Element จากนั้นคลิกซ้ายบริเวณลูกเลื่อนในแกน XYZ แล้วลองเลื่อนไปมา จะเห็นเมทช์นั้นวิ่งไปตามทิศทางที่เราลากลูกเลื่อนนั้น (จะเห็นว่าไม่มีเมทช์ในบริเวณกังหันเลย) และสามารถดูจำนวนเมทช์ทั้งหมดได้จาก Transcript



2.10.3. การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข



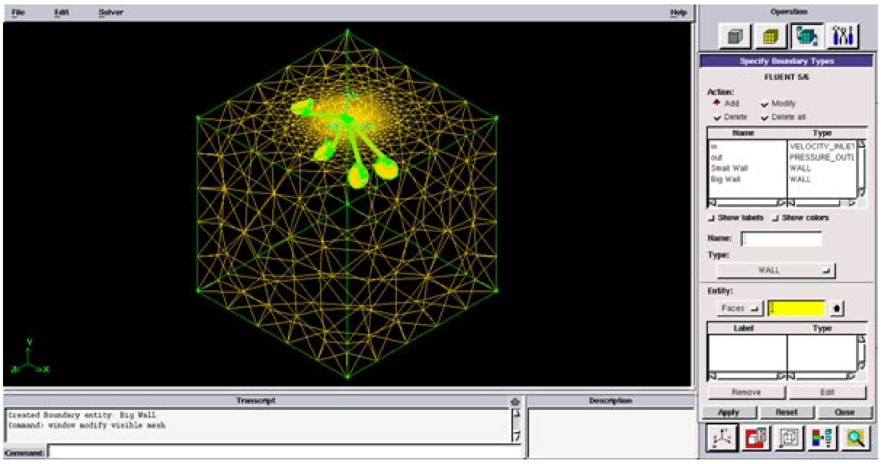
ขั้นตอนที่ 1 คลิกซ้ายคำสั่งที่สามที่ Operation เมื่อคลิกแล้วจะมีคำสั่งย่อย Zone ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 2 คลิกซ้ายที่คำสั่งแรก บนคำสั่ง Zone จะมีหน้าต่างคำสั่ง Specify Boundary Types ขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 3 คลิกซ้ายและลากคลุมตัวกังหันทั้งหมด ในช่องของ Name ให้พิมพ์ Small Wall (ชื่อสามารถตั้งอย่างไรก็ได้) ในช่องของ Type คลิกซ้ายและเลือก Wall หลังจากนั้นคลิก Apply(สังเกตว่าหลังคลิก Apply ชื่อที่เราตั้งนั้นจะ ขึ้นมาตรงบริเวณตาราง Show)

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกำหนดด้านเข้าออกของของไหล ซึ่งทำได้โดยคลิกซ้ายและเลือกด้านที่ให้ของเข้าในช่องของ Name ให้พิมพ์ Inlet (ชื่อสามารถตั้งอย่างไรก็ได้) ในช่องของ Type คลิกซ้ายและเลือก Velocity Inlet หลังจากนั้นคลิก Apply(ในด้านออกจะทำคล้ายกับด้านเข้าแต่ต้องเลือกด้านที่ตรงข้ามกับได้เข้าเท่านั้นและเปลี่ยนคำสั่ง Type เลือก Pressure Outlet)

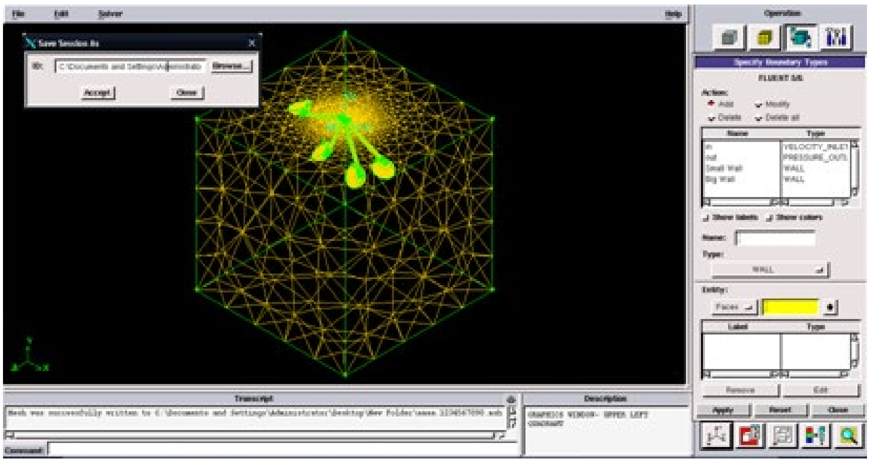
ขั้นตอนที่ 5 สังเกตว่าจะเหลือด้านของกล่องแม่น้ำอีก 4 ด้าน ให้คลิกซ้ายและเลือกด้านที่เหลือของกล่องแม่น้ำ ในช่องของ Name ให้พิมพ์ Big Wall (ชื่อสามารถตั้งอย่างไรก็ได้) ในช่องของ Type คลิกซ้ายและเลือก Wall หลังจากนั้นคลิก Apply (ด้านที่เหลือนั้นเปรียบเสมือนขอบของแม่น้ำ)



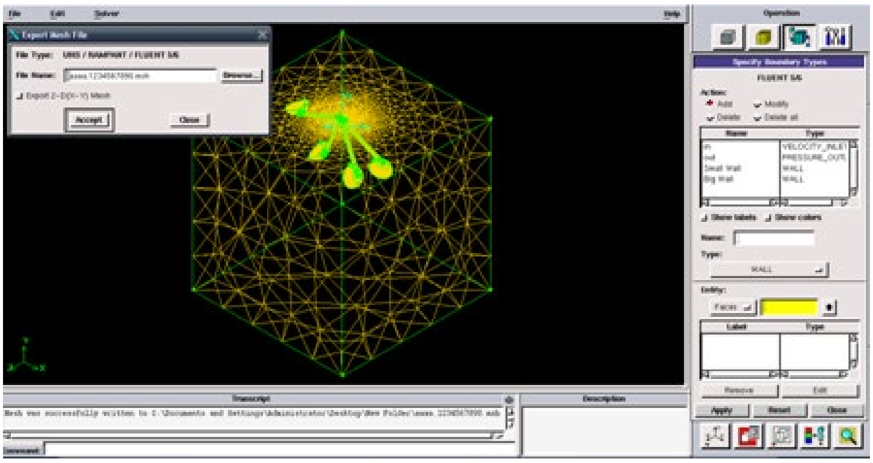
ข้อเสนอแนะ ต้องกำหนดด้านให้ครบทุกด้าน เพราะอาจจะทำให้มีปัญหาในภายหลังได้(หากเกิดปัญหาขึ้น โปรแกรมจะแจ้งเตือน บริเวณ Transcript

2.10.4. การเซฟ (Save) การเซฟในโปรแกรม Gambit นี้จะแบ่งเป็นสองอย่าคือ

1. การเซฟภาพ ซึ่งทำได้โดยการ คลิกซ้ายที่คำสั่ง File เลือกคำสั่ง Save as จากนั้นตั้งชื่อไฟล์ แล้วคลิก Accept (จะมีนามสกุลไฟล์เป็น .trn .jou .dbs)



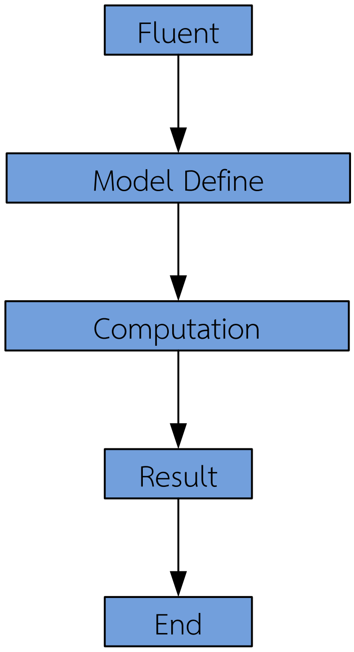
2. การเซฟข้อมูล ซึ่งทำได้โดยการ คลิกซ้ายที่คำสั่ง File เลือกคำสั่ง Export เลือกคำสั่ง Mesh จากนั้นตั้งชื่อไฟล์ แล้วคลิก Accept (จะมีนามสกุลไฟล์เป็น .msh)



2.11 การใช้โปรแกรม Fluent

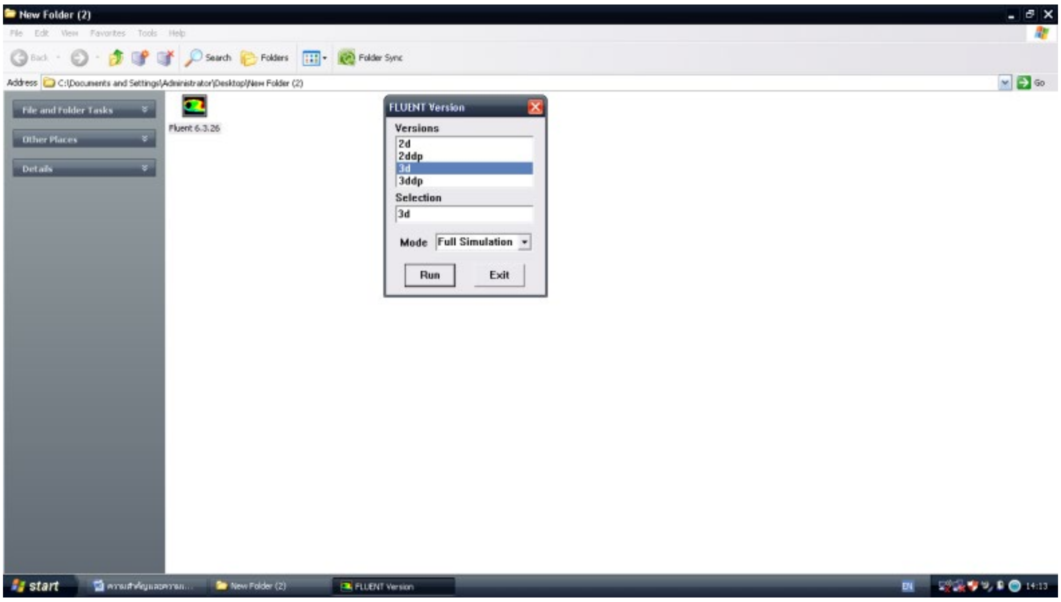
ขั้นตอนในการทดสอบหาแรงที่เกิดขึ้นบริเวณใบพัดของเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำ ซึ่งการทดสอบจะใช้วิธี การทดลองแบบจำลองโดยใช้วิธีคำนวณของพลศาสตร์ (CFD) เริ่มต้นจากการทดสอบ

แบบจำลองที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) เท่ากับ 0.5-3 m/s และ ความลึกของกังหันที่จมน้ำ (D) เท่ากับ 0.36-0.76 m.

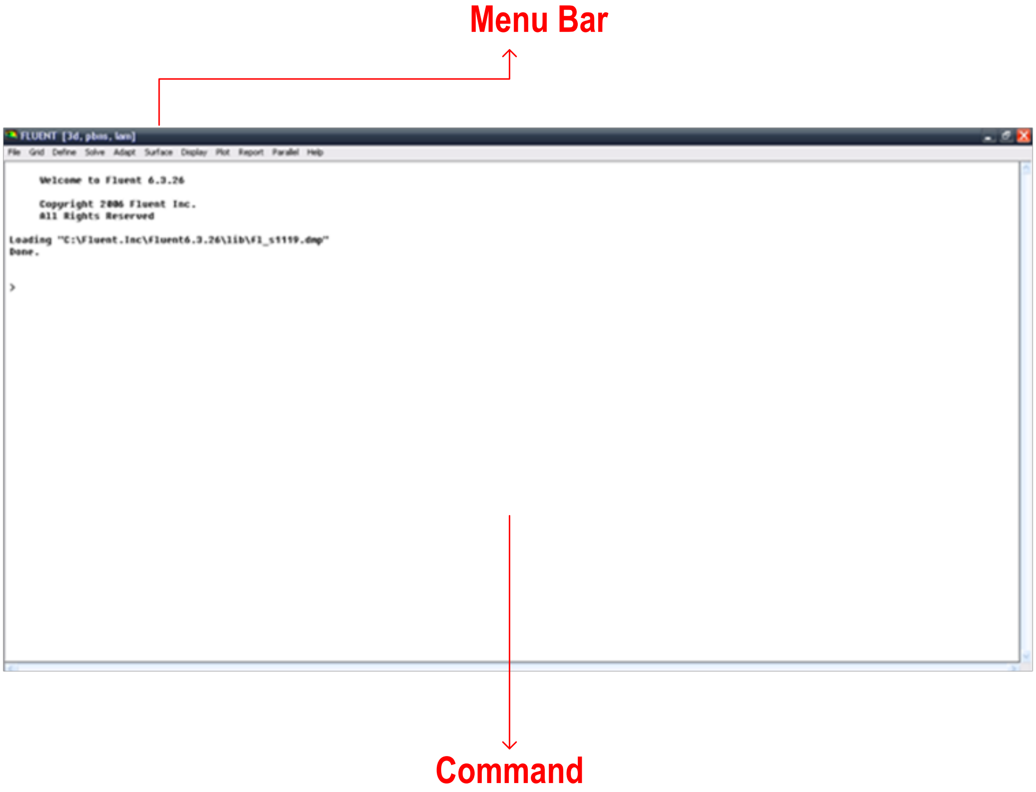


ภาพที่ 2-27 แผนภาพแสดงขั้นตอนในโปรแกรม Fluent

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม Fluent เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม Fluent ที่ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Window XP จากนั้นเลือก 3D และคลิก Run ก็จะปรากฏ Shortcut Icon ขึ้นที่หน้าจอภาพ ตามรูป



ส่วนประกอบของโปรแกรม Fluent

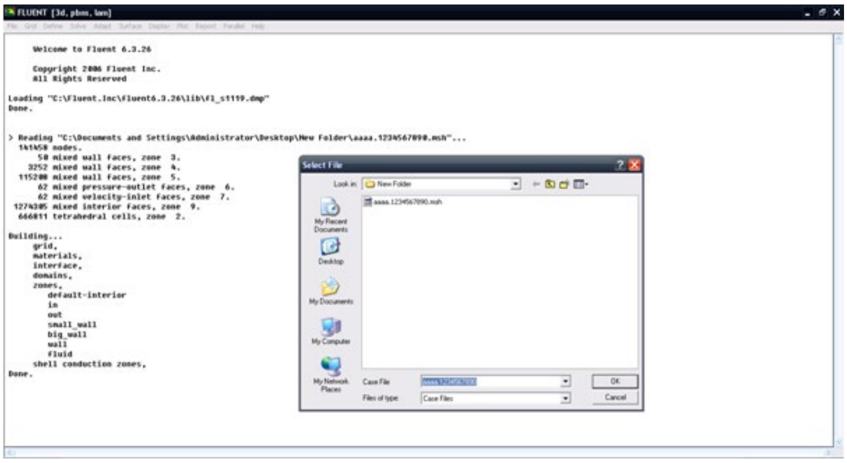


Menu Bar เป็นส่วนที่อยู่บนของจอภาพใต้ Title Bar มีด้วยกัน 4เมนู การเรียกใช้งานมีลักษณะเช่นเดียวกับ เมนู โปรแกรมบน Window ทั่วไป

Command สำหรับแสดงคำสั่ง หรือ สิ่งที่ทำไป

2.11.1. การนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม Fluent

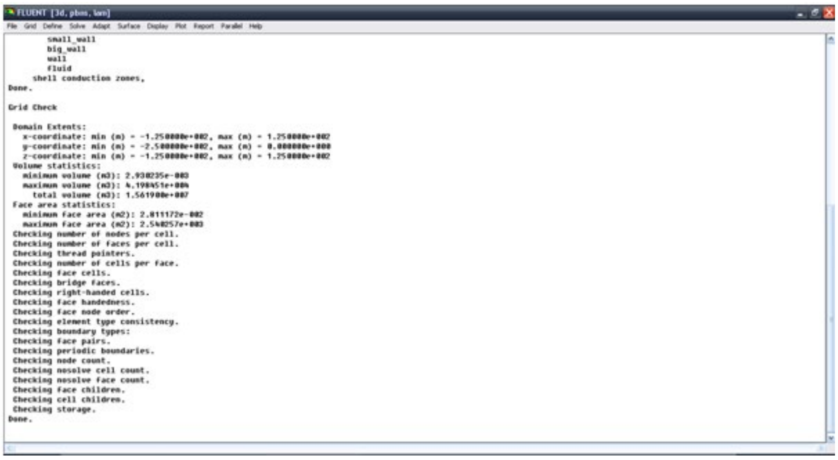
1. การนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Fluent เป็นการนำข้อมูลที่ผู้ใช้ได้จากโปรแกรม Gambit มาใช้โดยนามสกุลของไฟล์นั้นจะเป็น .msh ซึ่งจะทำได้โดย



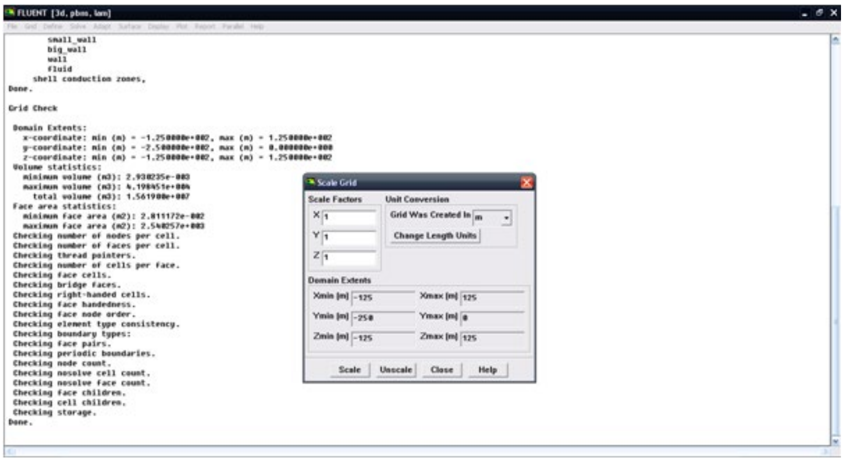
ขั้นตอนที่ 1 คลิกที่ File บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Read เลือก Case จากนั้นเลือก ไฟล์ข้อมูลที่ต้องการนำมาใส่ แล้วคลิก OK

2 การเช็คข้อมูล กำหนดสเกล การเช็คข้อมูล เป็นการตรวจสอบอย่างหนึ่งว่าไฟล์ข้อมูลที่จะมาทำการคำนวณนั้น มีส่วนประกอบที่ต้องใช้ครบถ้วนหรือไม่ หากไม่ครบถ้วนโปรแกรมจะแจ้งขึ้นมา ในส่วนของ Command และจะต้องไปแก้ในโปรแกรม Gambit ซึ่งการเช็คข้อมูลทำได้โดย

การกำหนดสเกล เนื่องจากในโปรแกรม Gambit นั้นไม่สามารถเลือกสเกลหรือหน่วยได้ จึงจำเป็นต้องกำหนด

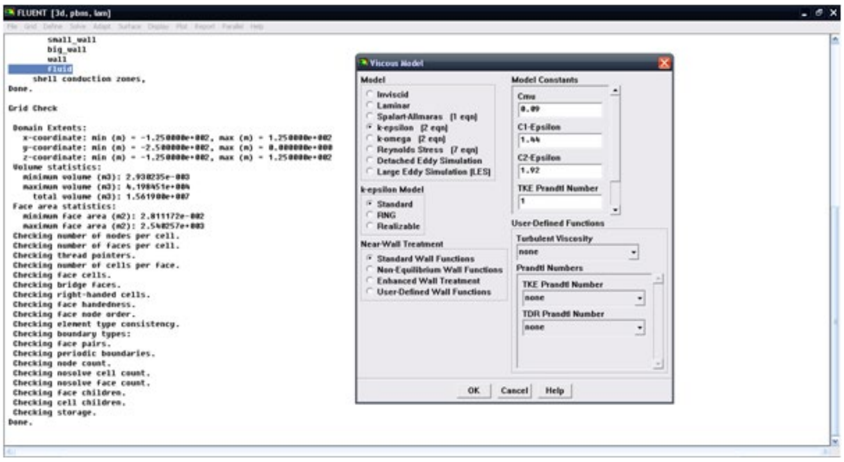


ขั้นตอนที่ 1 คลิก Grid บน Menu Bar จากนั้นเลือกคำสั่ง Check
ขั้นตอนที่ 2 คลิก Grid บน Menu Bar จากนั้นเลือกคำสั่ง Scale จากนั้นจะมีหน้าต่าง Scale Grid
ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกหน่วยที่ต้องการในช่องของ Gird Was Created จากนั้นคลิก Scale

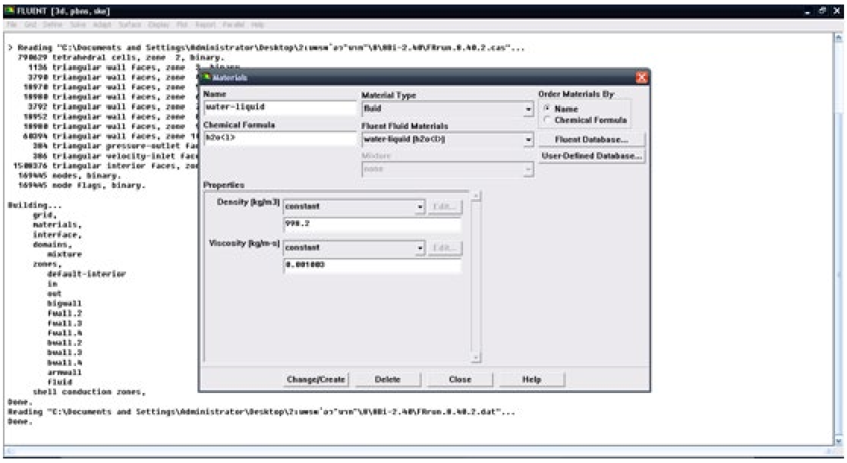


2.11.2 การเลือกสมการความปั่นป่วน ชนิดของของไหล ความเร็วของของไหล

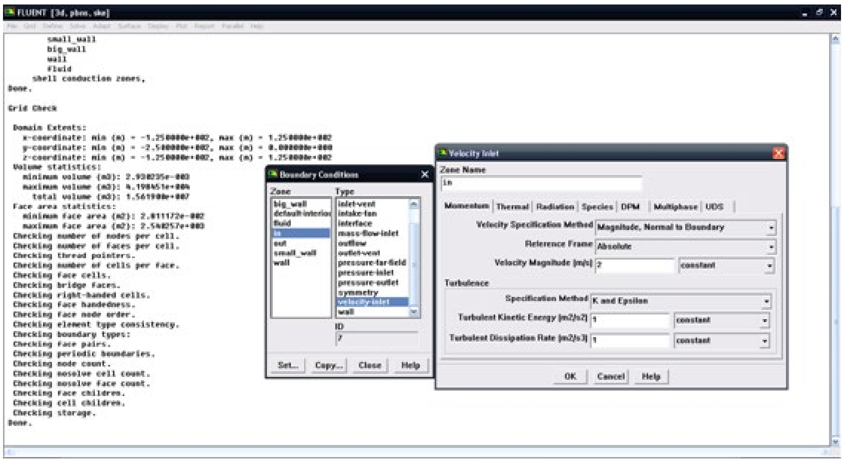
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Define บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Model เลือกคำสั่ง Viscous จะมีหน้าต่าง Viscous Model ขึ้นมา โดยจะมีหลายๆสมการความปั่นป่วนให้เลือกใช้ (ในที่นี้ใช้สมการความปั่นป่วนของ k-epsilon (2eqn)) จากนั้นคลิก OK



ขั้นตอนที่ 2 คลิก Define บน Menu Bar จากนั้นเลือกคำสั่ง Materials จากนั้นจะมีหน้าต่าง Materials ขึ้นมา (สังเกตว่า โปรแกรมจะบอกชื่อ ประเภท ความหนืด และความเร็วมาตรฐาน ของอากาศมา) จากนั้นเปลี่ยนของไหลเป็นน้ำโดยคลิก Fluent Database เลือก Water-liquid[H2O(l)] ในช่อง Fluent Fluid Materials จากนั้นคลิก Copy และคลิก Change/Create



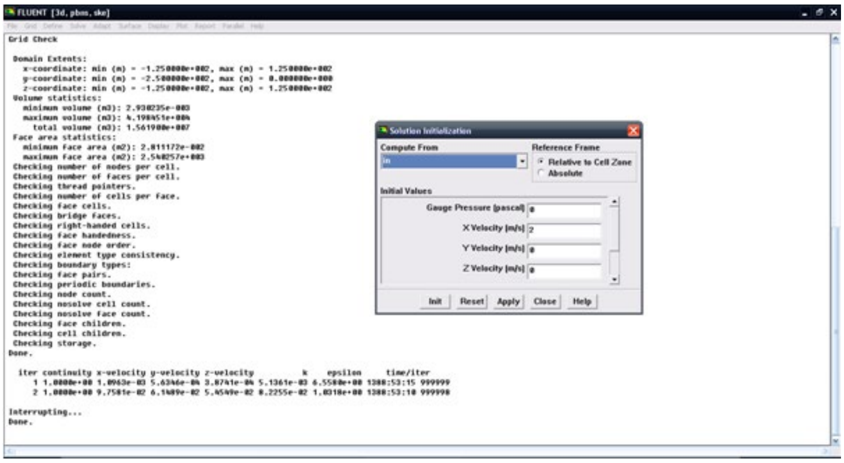
ขั้นตอนที่ 3 คลิก Define บน Menu Bar จากนั้นเลือกคำสั่ง Boundary Conditions จะมีหน้าต่าง Boundary Conditions ขึ้นมา คลิกที่ In (ด้านทางเข้าของของไหลที่กำหนดไว้ในโปรแกรม Gambit) คลิก Set จะมีหน้าต่าง Velocity Inlet ขึ้นมา เปลี่ยนตัวเลขเป็นความเร็วที่ต้องการในช่องของ Velocity Magnitude (m/s) (ในที่นี้ให้เท่ากับ 2) คลิก OK



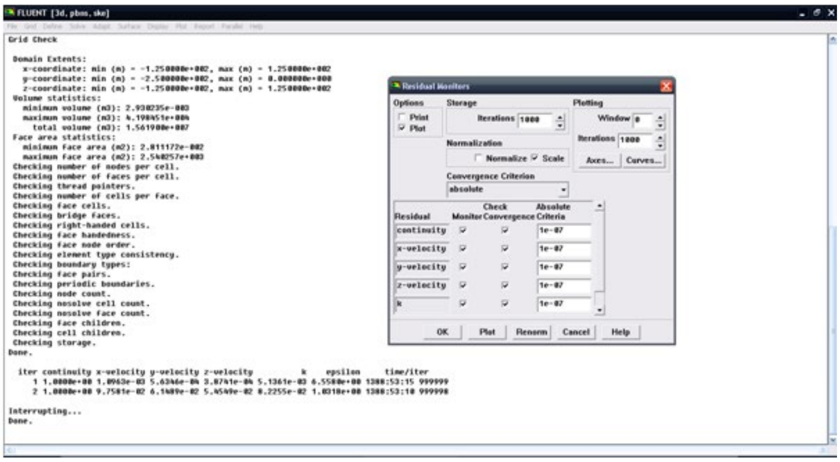
ข้อเสนอแนะ ทุกครั้งที่อ่านข้อมูลใหม่ขึ้นมาจะต้องทำเหมือนเดิมทุกขั้นตอนทุกครั้ง

2.11.3. การคำนวณ

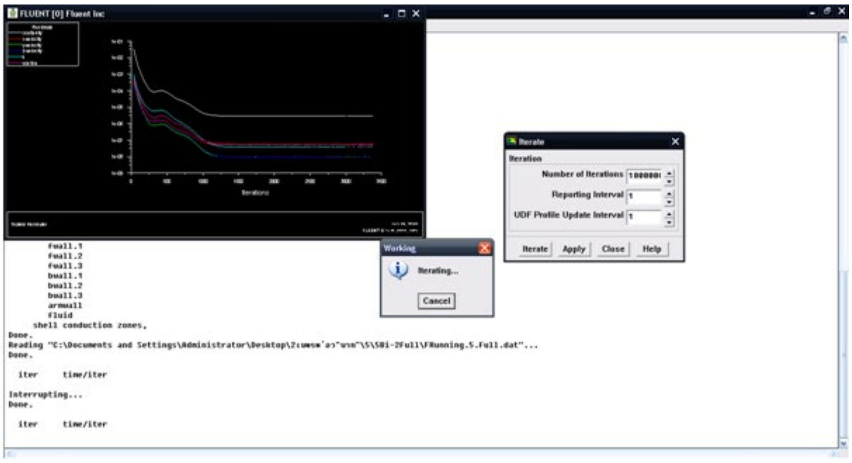
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Solve บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Model เลือกคำสั่ง Initialize คลิก Initialize จะมีหน้าต่าง Solution Initialization ขึ้นมา เลือกที่ In (ด้านทางเข้าของของไหลที่กำหนดไว้ในโปรแกรม Gambit) เรียบร้อยแล้วคลิก Init



ขั้นตอนที่ 2 คลิก Solve บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Monitors เลือกคำสั่ง Residual จะมีหน้าต่าง Residual Monitors ขึ้นมา เลือก Plot ในช่องของ Options จากนั้นเปลี่ยนเลขในช่องของ Absolute Criteria ให้เป็น 10^{-6} ทั้งหมด (ตัวเลขนี้เป็นการบอกค่าลู่เข้า เช่น โปรแกรมจะคำนวณไปเรื่อยๆจนมีค่าเข้าใกล้ 10^{-6}) เรียบร้อย คลิก OK



ขั้นตอนที่ 3 คลิก Solve บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Iterate จะมีหน้าต่าง Iterate ขึ้นมา กรอกเลขลงในช่องของ Number of Iteration ให้เท่ากับ 10^6 (ค่านี้จะเป็นการบอกถึงจำนวนครั้งที่จะให้โปรแกรมคำนวณ ควรใส่ให้มากไว้ เพราะหากค่ายังไม่นิ่ง ผลที่ได้ออกมาอาจจะไม่ใช่ผลจริงๆ) จากนั้นคลิก Iterate โปรแกรมจะเริ่มคำนวณและแสดงออกมาอยู่ในรูปของกราฟ (แสดงจำนวนครั้งที่คำนวณกับค่าที่ลู่เข้าสู่ศูนย์)

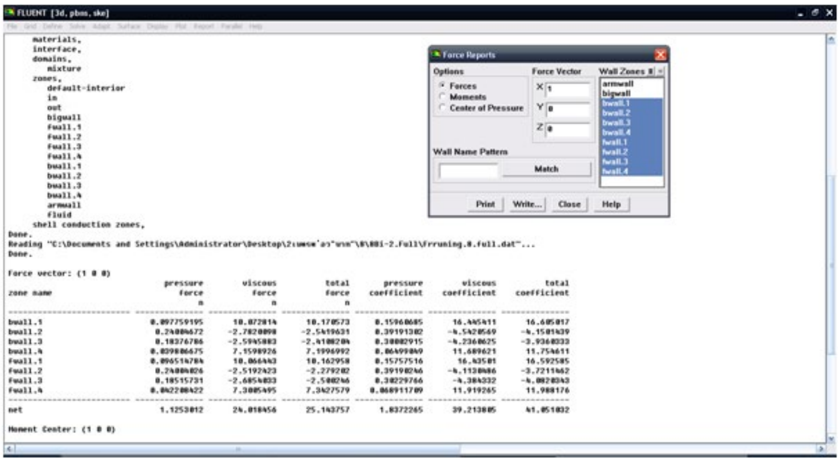


ข้อเสนอแนะ เมื่อกราฟเริ่มขนาน(คงที่)แล้ว ควรปล่อยให้โปรแกรมคำนวณต่อไปอีกประมาณ 500-1000ครั้ง เพื่อเป็นการเช็คว่ากราฟจะไม่เปลี่ยนอีก

2.11.4. การนำเสนอ (ภาพและตัวเลข) ในโปรแกรม Fluent นี้จะสามารถนำเสนอออกมาได้ทั้งในรูปแบบของภาพและตัวเลข

1. การนำเสนอในรูปแบบตารางตัวเลข ในโปรแกรม Fluent นี้สามารถนำเสนอค่าต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขได้มากมาย เช่น ค่าความเร็ว ความดัน แรง โมเมน เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดย

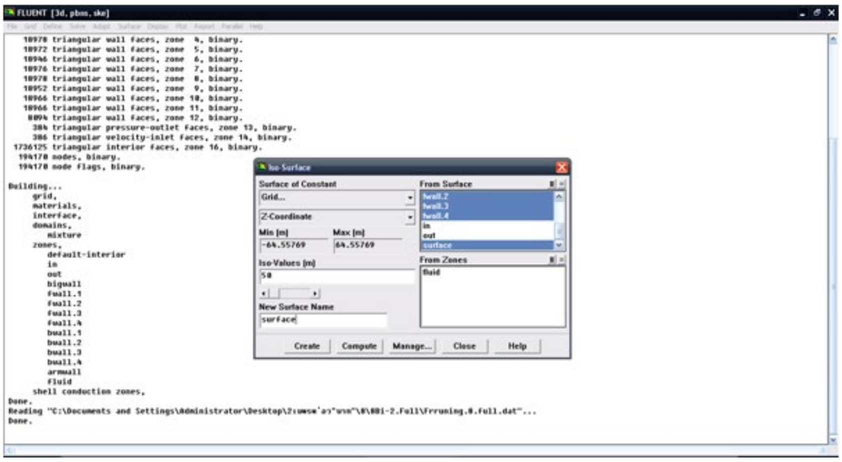
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Report บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Forces จะมีหน้าต่าง Reports Force ขึ้นมา เลือกบริเวณที่ต้องการจะทราบค่าต่างๆ คลิก Print (โปรแกรมจะแสดงค่าต่างๆออกมาในรูปแบบของตารางตัวเลข บน Command)



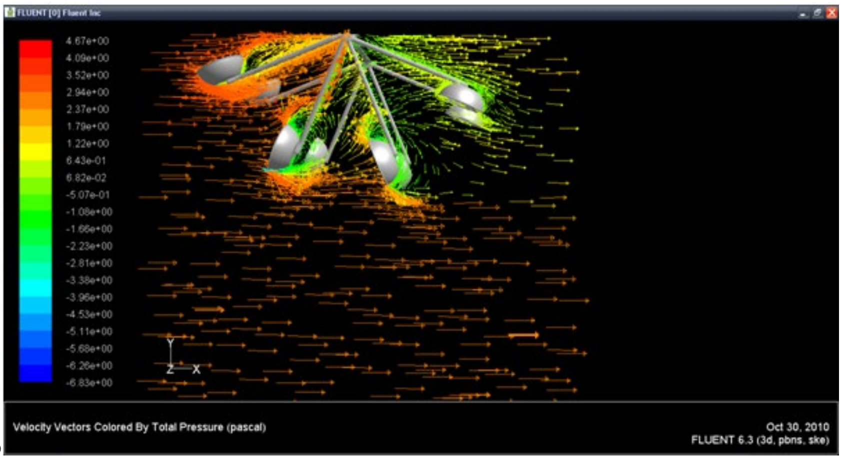
2. นำเสนอในรูปแบบของภาพในโปรแกรม Fluent นี้สามารถนำเสนอค่าต่างๆออกมาเป็นภาพได้มากมาย เช่น ค่าความเร็ว ความดัน แรง เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดย
เริ่มจากการสร้างด้าน ตามแกนที่เราจะการจะแสดงแรงขึ้นซึ่งทำได้โดยการ

2.1) การสร้าง Surface เพื่อสร้างบริเวณหรือจุด ที่ต้องการทราบข้อมูลต่างๆ เช่น ความดัน แรงต้าน สัมประสิทธิ์แรงต้าน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 1 คลิก Surface เลือกคำสั่ง I-so Surface จะมีหน้าต่าง I-so Surface ขึ้นมา เลือกที่ Surface of Constant จากนั้น เลือก Grid และเลือกแกนไปที่แกน Z-Coordinate เลือก Iso-Values ใส่ค่าที่กึ่งกลางของใบพัดกังหัน(ในที่นี้เท่ากับ 50) ในช่อง From Surface เลือกใบกังหันที่เราต้องการตัดผ่าน และในส่วนของ New Surface Names ให้ใส่ชื่อที่เราต้องการจะตั้งชื่อ (ในที่นี้ให้ชื่อ Surface)จากนั้นคลิกซ้ายที่ Create

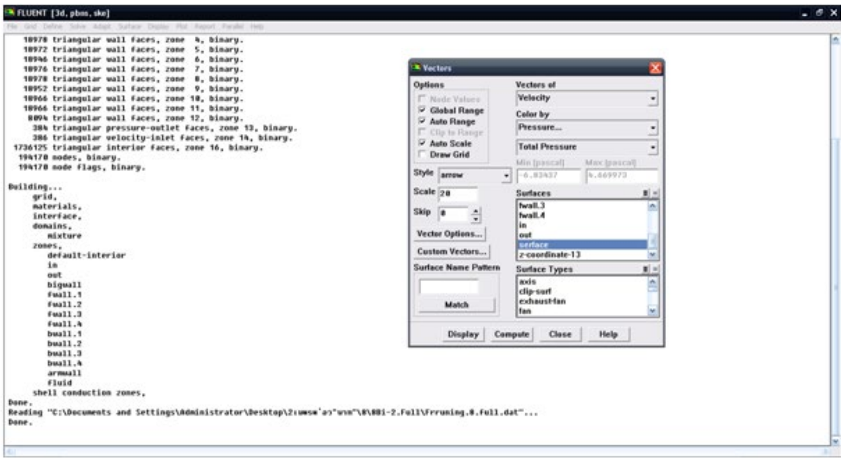


2.2) เสนอภาพในรูปแบบของ (Vector) เมื่อสร้าง Iso-Surface เรียบร้อย จากนั้นจะสามารถนำเสนอภาพแรงต่างๆได้ โดยสามารถทำได้โดย

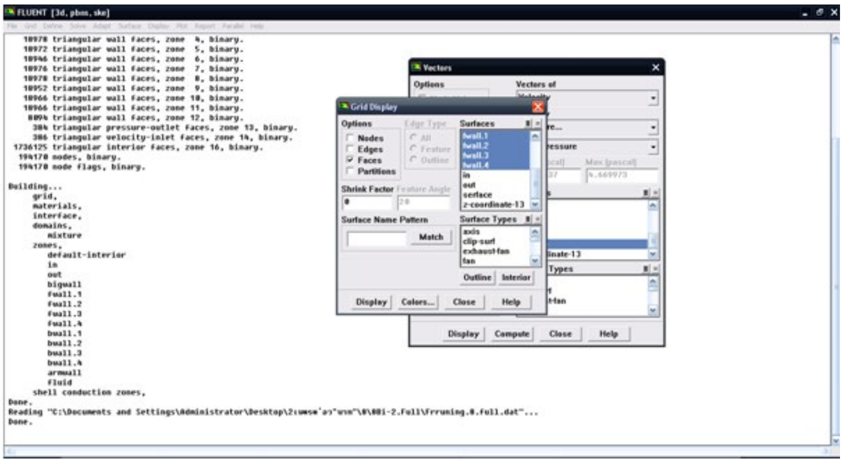


6

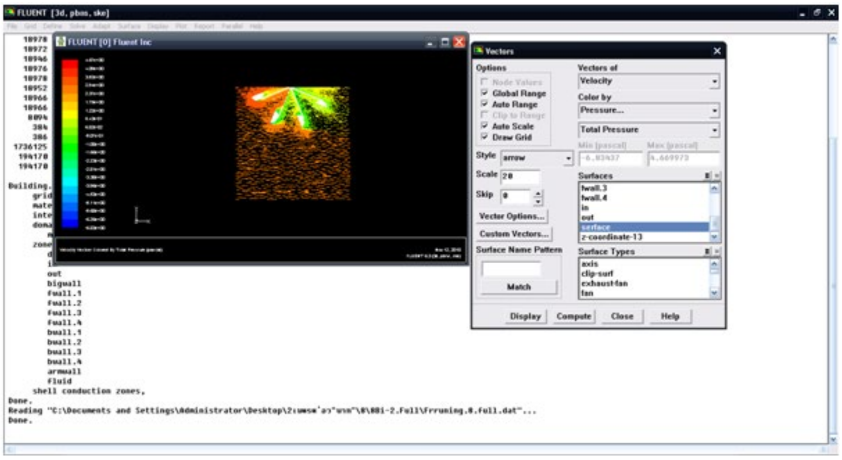
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Display บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Vectors จะมีหน้าต่าง Vectors ขึ้นมา ในส่วนของ Color by เลือกเป็น Pressure และ Total Pressure



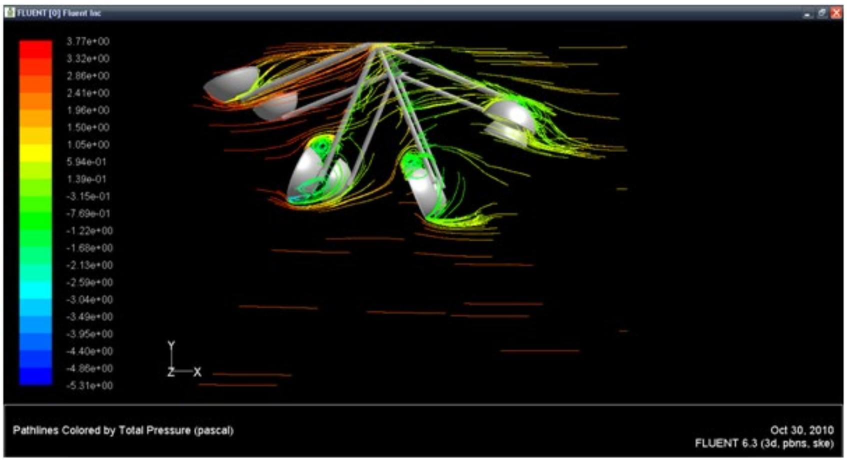
ขั้นตอนที่ 2 ในช่องของ Options เลือก Draw Grid จะมีหน้าต่าง Grid Displayer ขึ้นมา ในส่วนของ Option เลือก Face และในส่วนของ Surface ให้เลือกชิ้นส่วนของกังหันน้ำ (ยกเว้นด้านเข้า-ออกของน้ำ) จากนั้น คลิกซ้ายที่ Display



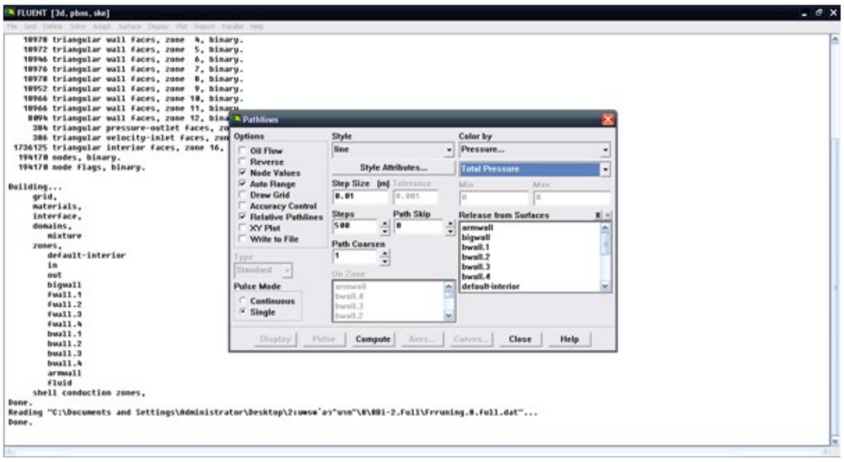
ขั้นตอนที่ 3 ในช่องของ Scale สามารถใส่ได้ตามความต้องการ (ในที่นี้ใช้เท่ากับ 20) และในส่วนของ Surface ให้เลือกด้านที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมา (ในที่นี้คือ Surface) คลิกซ้ายที่ Display



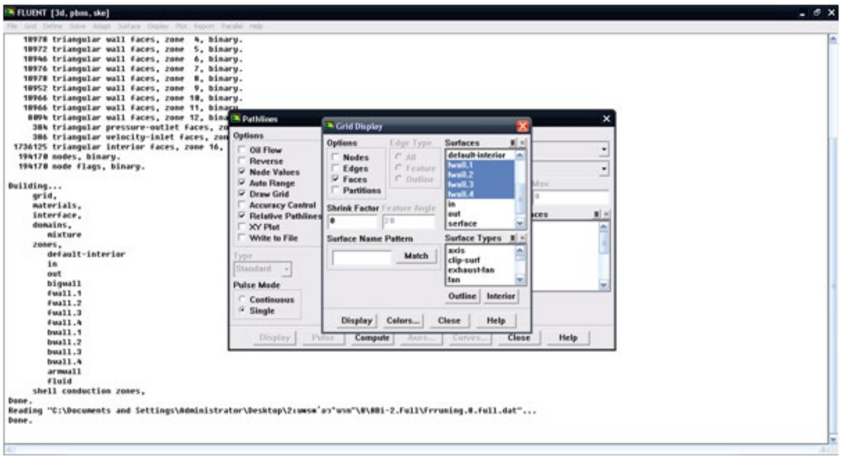
2.3) เสนอภาพในรูปแบบของ (Path lines)



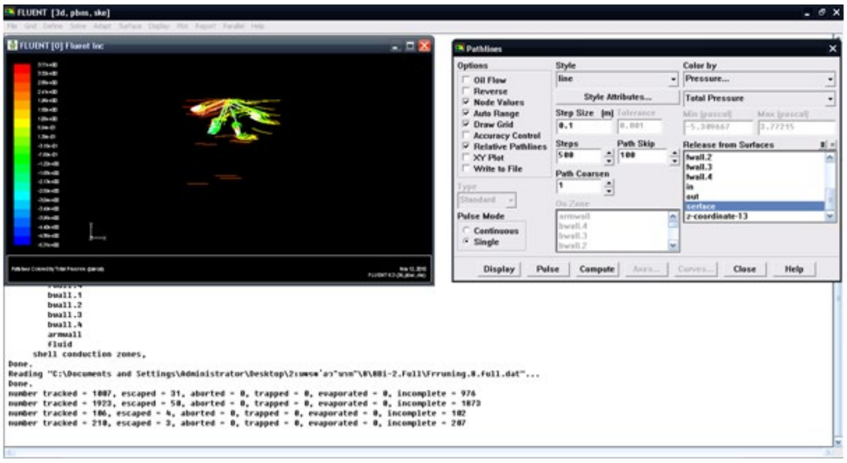
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Display บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Path lines จะมีหน้าต่าง Path lines ขึ้นมา ในส่วนของ Color by เลือกเป็น Pressure และ Total Pressure



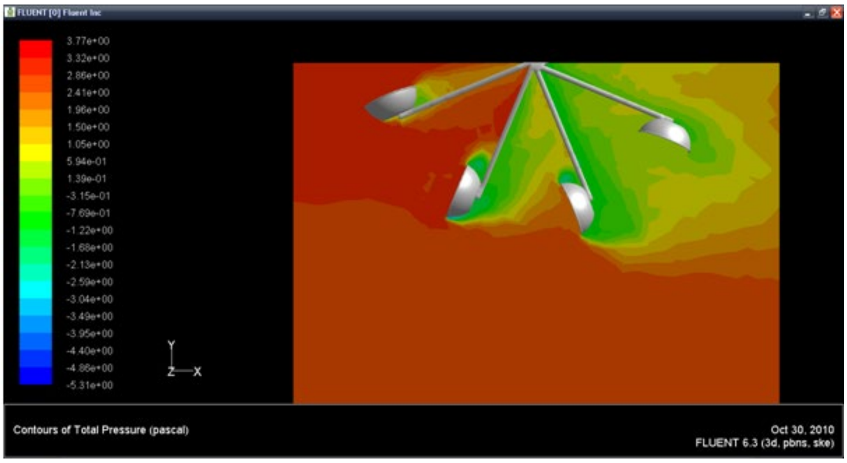
ขั้นตอนที่ 2 ในช่องของ Options เลือก Draw Grid จะมีหน้าต่าง Grid Displayer ขึ้นมา ในส่วนของ Option เลือก Face และในส่วนของ Surface ให้เลือกชิ้นส่วนของกังหันน้ำ (ยกเว้นด้านเข้า-ออกของน้ำ) จากนั้น คลิกซ้ายที่ Display



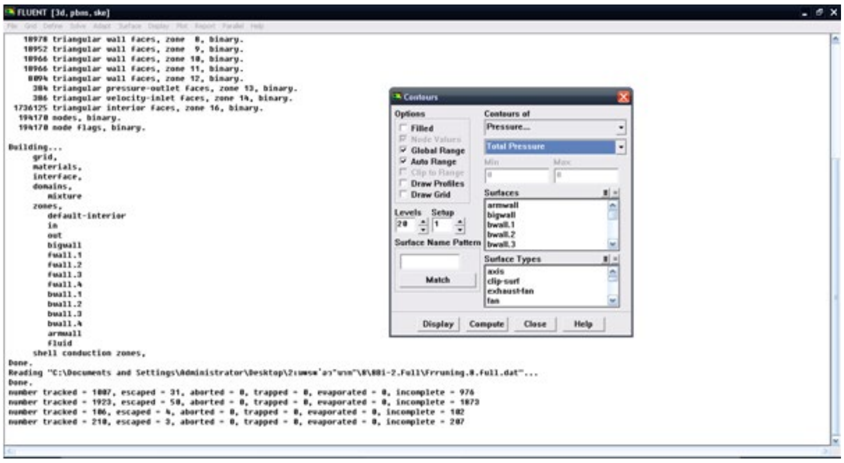
ขั้นตอนที่ 3 ในช่องของ Step Size ใช้เท่ากับ 0.01 ในช่องของ Path Skip ใช้เท่ากับ 100 และในส่วนของ Release From Surface ให้เลือกด้านที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมา (ในที่นี้คือ Surface) คลิกซ้ายที่ Display



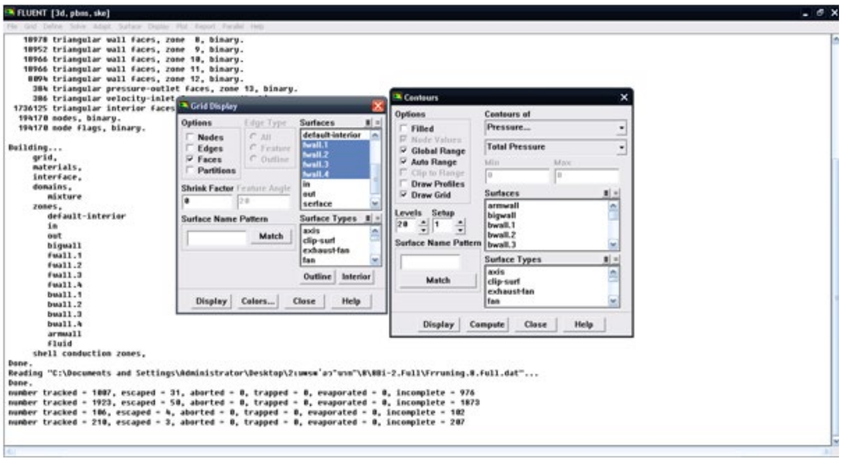
2.4) เสนอภาพในรูปแบบของ (Contours)



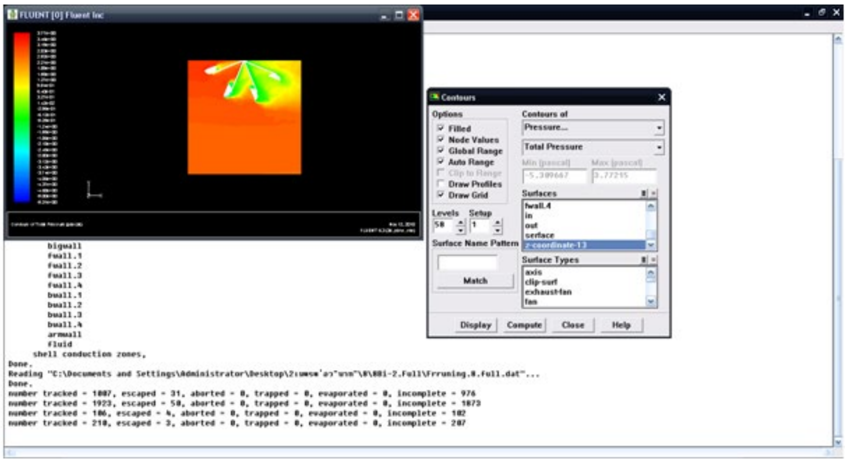
ขั้นตอนที่ 1 คลิก Display บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Contours จะมีหน้าต่าง Contours ขึ้นมา ในส่วนของ Contours of เลือกเป็น Pressure และ Total Pressure



ขั้นตอนที่ 2 ในช่องของ Options เลือก Filled จากนั้นเลือก Draw Grid จะมีหน้าต่าง Grid Displayer ขึ้นมา ในส่วนของ Option เลือก Face และในส่วนของ Surface ให้เลือกชิ้นส่วนของกังหันน้ำ (ยกเว้นด้านเข้า-ออกของน้ำ) จากนั้น คลิกซ้ายที่ Display



ขั้นตอนที่ 3 ในส่วนของ Release From Surface ให้เลือกด้านที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมา (ในที่นี้คือ Surface) คลิกซ้ายที่ Displays



2.11.5. การเซฟ (Save) การเซฟในโปรแกรม Fluent สามารถทำได้โดย คลิก File บน Menu Bar เลือกคำสั่ง Write จากนั้นเลือกคำสั่ง Case & Data จากนั้นก็ใส่ชื่อ และที่อยู่ที่เราต้องการจะเซฟ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การตรวจสอบรูปทรงของใบพัด

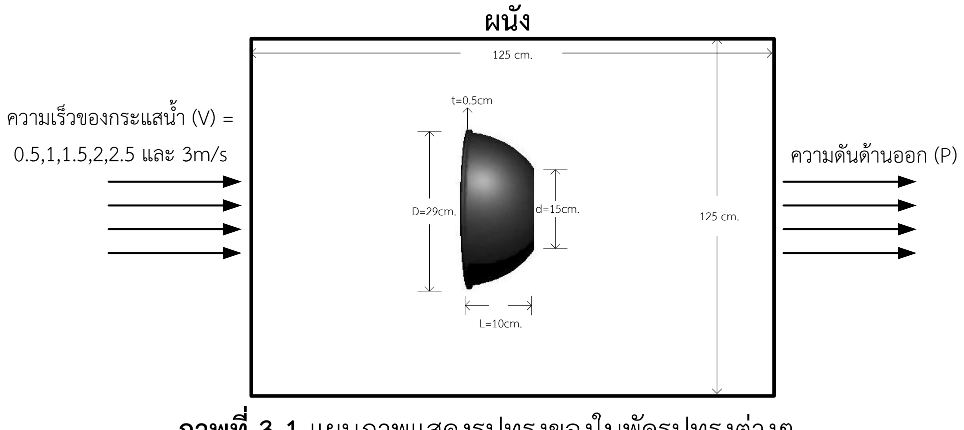
การเลือกรูปทรงของใบพัดนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะแต่ละรูปทรงนั้น จะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านว่าจะมีค่ามากหรือน้อยต่างกัน โดยจะทำการจำลองทั้งหมด 4 รูปทรง ซึ่งจะประกอบด้วย

1) รูปทรงถ้วย โดยมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางด้านหน้า (D) = 29 cm. ความยาว (L) = 10 cm เส้นผ่านศูนย์กลางด้านหลัง (d) = 15 cm. และความหนา (t) = 0.5 cm.

2) รูปทรงกลมแบน โดยมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 29 cm. และ ความหนา (t) = 0.5 cm.

3) รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาด ความกว้าง (w) = 29 cm ความยาว (L) = 42 cm. และความหนา (t) = 0.5 cm.

4) รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขนาด ความกว้าง (w) = 29 cm ความยาว (L) = 29 cm. และความหนา (t) = 0.5 cm.

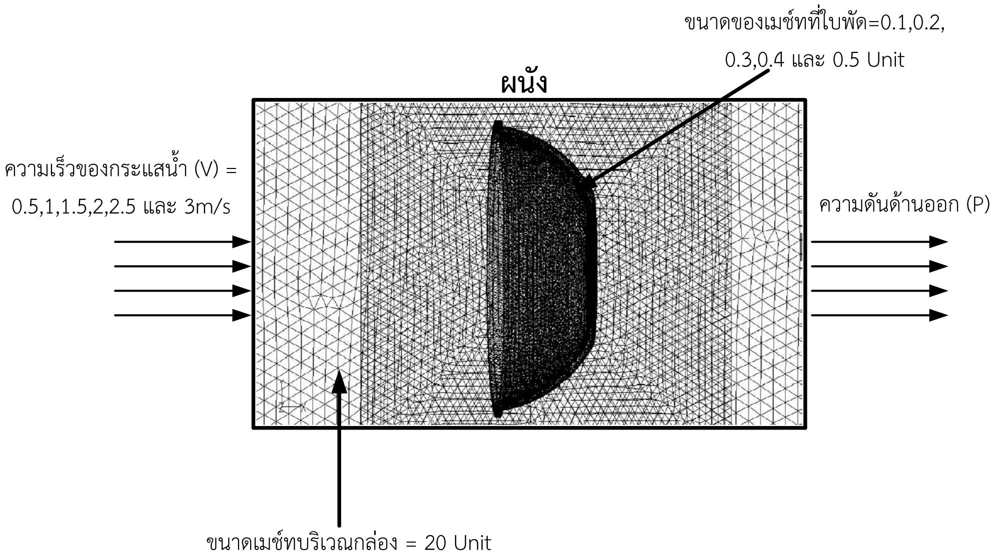


ภาพที่ 3-1 แผนภาพแสดงรูปทรงของใบพัดรูปทรงต่างๆ

3.2 การตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

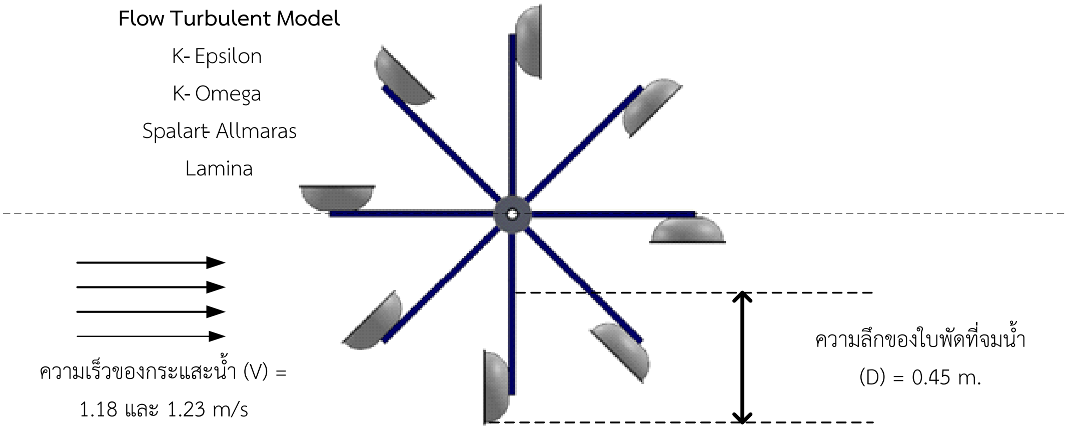
การตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลองนี้ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ได้จาก (CFD) นั้น มีผลที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่องทดลองหรือมีแนวโน้มไปทางเดียวกับการทดลองจริงให้มากที่สุด เนื่องจากจำนวนเมช์ทมีผลต่อการคำนวณความละเอียดของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน แต่ทั้งนี้หากเมทช์ที่ใช้สามรถให้ผลค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ได้จากCFDใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่องทดลองแล้ว ก็

ไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มจำนวนเมทซ์ให้มากขึ้น เพราะจะทำให้คอมพิวเตอร์ใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้น และเสียเวลาโดยไม่จำเป็น



ภาพที่ 3-2 ภาพแสดงขนาดของเมทช์บริเวณต่างๆ

3.3 การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (Validation)



(ก)

(ข)

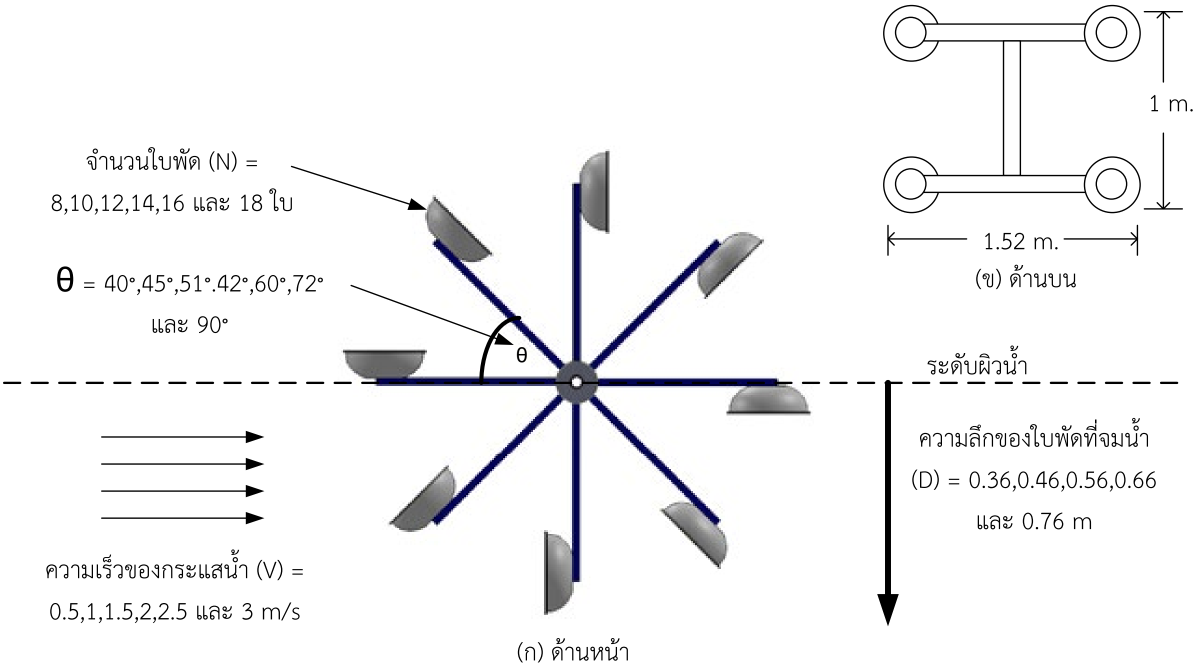
ภาพที่ 3-3 การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล

(ก) ภาพที่ใช้ในการทำCFD (ข) ภาพจากเครื่องทดลองจริง

เนื่องจากรูปแบบสมการความปั่นป่วนของหารไหลของวิธีจำลองเชิงตัวเลข (flow turbulent model) มีความเหมาะสมสำหรับการจำลองที่สภาวะเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสมการความปั่นป่วนของการไหล เพื่อเลือกไปใช้ในการออกแบบต่อไป ซึ่งมีอยู่ 4 รูปแบบคือ k-epsilon , k-omega , spalart-allmaras และ lamina โดยนำผลลัพธ์ของแรงต้านที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบจริง ที่กำหนดสภาวะเงื่อนไขเดียวกัน เพื่อให้ได้รูปแบบสมการความปั่นป่วนของการไหลที่ให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3.3 การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (ก) ภาพที่ใช้ในการทำCFD (ข) ภาพจากเครื่องทดลองจริง ของกันหัน 8 ใบคู่ ที่ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.45 m. โดยเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสน้ำที่ 1.18 และ 1.23 m/s โดยใช่ตราชั่งสปริง (spring load) ยึดกังหันที่อยู่ด้านบนผิวน้ำวัดค่าเป็นแรงต้านรวม ที่กระทำกับใบพัด

3.4 การตรวจสอบแรงต้านของใบพัด

จำนวนของใบพัดจะมีผลต่อค่าที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข(CFD) ซึ่งจะทำการจำลองเชิงตัวเลข (CFD) กังหันน้ำที่มีใบพัดทั้งหมด 6 ชุด ประกอบไปด้วย 8,10,12,14,16 และ 18 ใบ (ใบพัดคู่) ซึ่งมีความซึ่งมีระยะระหว่างกันหัน 1 m. โดยมีมุมของแต่ละใบพัดตั้งแต่ 40,45,51.4,60,72 และ 90 ° ซึ่งมีความเร็วของกระแสน้ำทั้งหมด 6 ความเร็ว ประกอบด้วย 0.5,1,1.5,2,2.5 และ 3m/s และความลึกของใบพัดที่จมน้ำทั้งหมด 5 ระดับ ประกอบด้วย 0.36,0.46,0.56,0.66 และ 0.76 m. โดยจะเป็นไปตามภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 การตรวจสอบแรงต้านของใบพัด (ก) ภาพด้านหน้า และ (ข) ภาพด้านบน

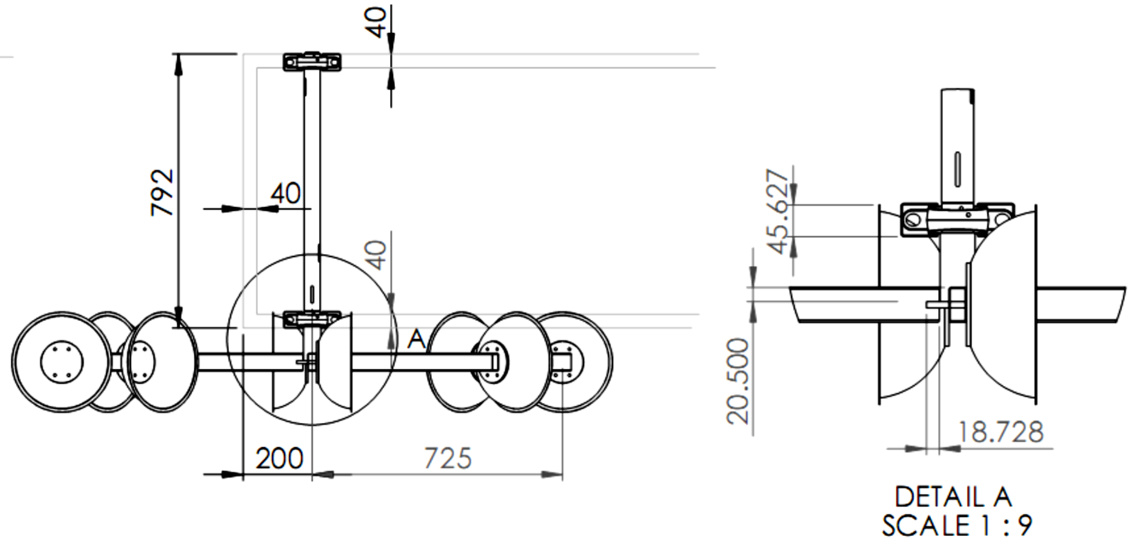
3.5 การออกแบบและการสร้างเครื่องสูบน้ำ

ในการดำเนินการสร้างเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ ได้กำหนดขั้นตอนและการวางแผนเพื่อจัดสร้าง สร้างเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ เพื่อให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ตามที่ได้วางแผนและมีปัญหาน้อยที่สุด โดยมีหัวข้อดังนี้

3.5.1 กังหัน

จากการจำลอง CFD จำนวนใบพัดที่มีค่าแรงต้าน (FD) สูงที่สุดคือ จำนวนใบพัด 8 ใบ ดังนั้นจึงเลือกใช้ใบพัดจำนวน 8 ใบ มาสร้างกังหันน้ำ เพราะมีความเหมาะสมที่สุด รายละเอียดของกังหันและรูปร่างของกังหัน แสดงในภาพที่ 3-5 และภาพที่ 3-6 ตามลำดับ

ภาพที่ 3-5 รูปร่างลักษณะของกังหันน้ำ



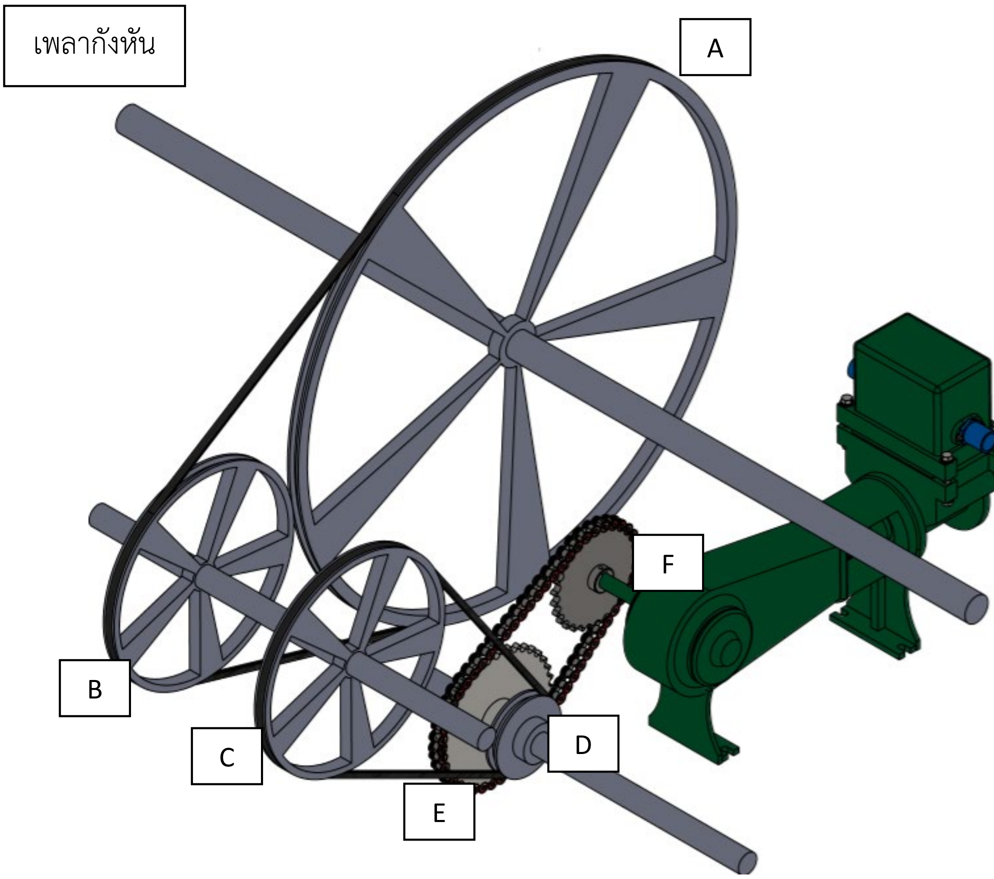
ภาพที่ 3-6 แบบรายละเอียดของกังหันจำนวน 8 ใบพัด

3.5.2 ชุดทดรอบความเร็ว

อัตราทดคือการทดรอบให้ความเร็วรอบของกังหันและความเร็วรอบของปั๊มน้ำมีความเร็วที่แตกต่างกัน เพื่อประสิทธิภาพการดูดน้ำของปั๊มน้ำ ยิ่งปั๊มน้ำมีความเร็วรอบมาก ก็จะมีอัตราการไหลของน้ำ (Q) ที่ดูดไปใช้งานที่มากแต่ต้องคำนึงถึงกำลังของใบกังหันน้ำด้วย

3.5.2.1 การออกแบบอัตราทด

ในการออกแบบอัตราทดเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ ได้ใช้ พูเลย์ขนาด 3 in จำนวน 1 ตัว พูเลย์ขนาด 10 in จำนวน 2 ตัว พูเลย์ขนาด 24 in จำนวน 1 ตัว เฟืองขนาด 16 in จำนวน 1 ตัว และเฟืองขนาด 12 in จำนวน 1 ตัว ใช้สายพานร่อง A และโซ่ในการขับเคลื่อน โดยในการออกแบบอัตราทดได้กำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 3-7 การออกแบบอัตราทดเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ

พูเลย์ A มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 in
พูเลย์ B มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 in
พูเลย์ C มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 in
พูเลย์ D มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 in
เฟือง E มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.30 in
เฟือง F มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.72 in

3.5.2.2 การคำนวณอัตราทด

จากสมการ อัตราทด = $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2}$

โดย

ω_1 = ความเร็วเชิงมุมตัวขับ

ω_2 = ความเร็วเชิงมุมตัวตาม

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพูเลย์ตัวขับ

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพูเลย์ตัวตาม

N_1 = จำนวนเฟืองตัวขับ

N_2 = จำนวนเฟืองตัวตาม

อัตราทดเครื่องสูบน้ำ = $\frac{\omega_F}{\omega_A} = \frac{d_A \times d_C \times d_E}{d_B \times d_D \times d_F}$

$= \frac{24 \times 10 \times 6.30}{10 \times 3 \times 4.72}$

$\therefore$ อัตราทดเครื่องสูบน้ำ $= \frac{\omega_F}{\omega_A} = 10.67$

ภาพที่ 3-8 ชุดทดรอบความเร็วของเครื่องสูบน้ำ

3.5.3 ทุ่นลอยน้ำ

ทุ่นลอยน้ำทำหน้าที่ ทำให้เครื่องสูบน้ำสามารถลอยอยู่ในน้ำได้ ผู้สร้างได้เลือก โฟม เป็น วัสดุมาทำเป็นทุ่นลอยน้ำ ซึ่งได้ออกแบบและสร้างโครงเหล็กสำหรับยึดโฟมดังแสดงในภาพ 3-11

(ก) สร้างโครงสร้างเหล็กสำหรับยึดโฟม

(ข) ยึดโฟมกับโครงสร้างเหล็ก

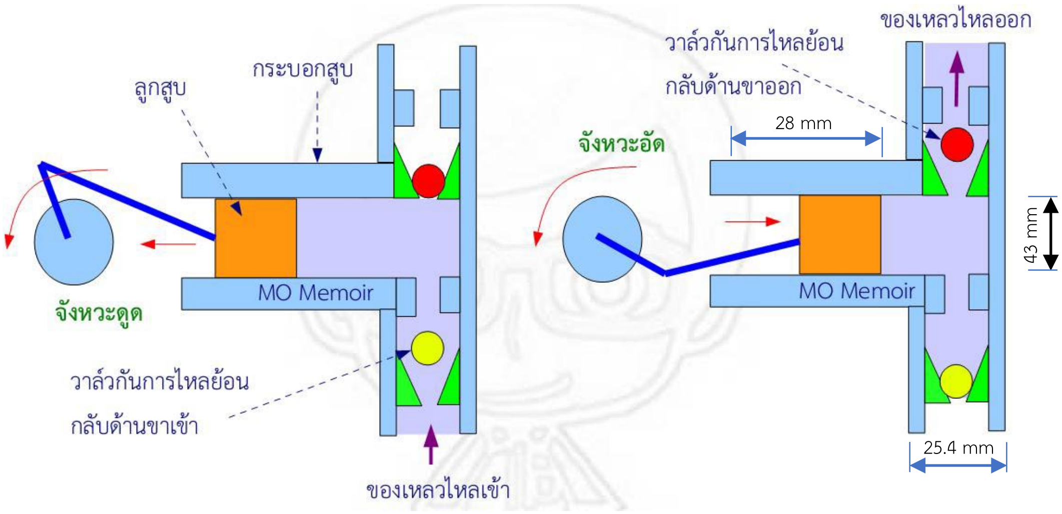
ภาพที่ 3-9 ทุ่นลอยน้ำที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

3.5.4 ปั๊มน้ำ

ในการสร้างเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำใช้ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ(Reciprocating Pump) เนื่องจากเหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง และใช้รอบใน การหมุนไม่มาก ปั๊มแบบลูกสูบจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัด ของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา การอัดตัวของของ ไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้ การ ไหลของของไหลมีลักษณะเป็นวัฏจักร

ภาพที่ 3-10 ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating Pumps)

การทำงานของปั๊มน้ำแบบลูกสูบ(Reciprocating Pumps) รูปซ้ายเป็นจังหวะดูด ลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้าย วาล์วกันการไหลย้อนกลับด้านขาเข้าจะเปิดให้ของเหลวไหลเข้ากระบอกสูบ วาล์วกันการไหลย้อนกลับด้านขาออกจะปิด รูปขวาเป็นจังหวะอัด วาล์วกันการไหลย้อนกลับด้านขาเข้าจะปิด ส่วนวาล์วกันการไหลย้อนกลับด้านขาออกจะเปิดให้ของเหลวไหลออกไปจากกระบอกสูบ ดังแสดงในภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 หลักการทำงานของปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

3.6 การศึกษาคุณลักษณะการไหลของน้ำ

3.6.1 การตรวจคุณลักษณะทั่วไปของคลองส่งน้ำ

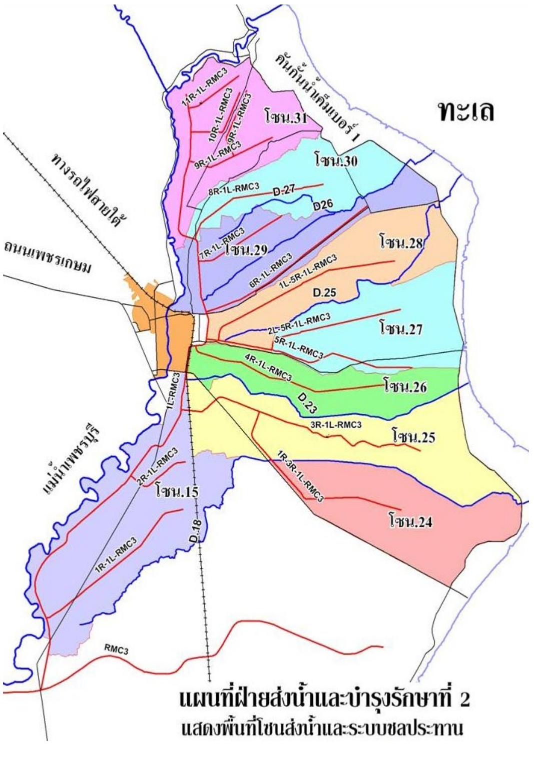
จากการศึกษาข้อมูลของคลองชลประทาน ของสำนักชลประทานที่ 13 และจากการสำรวจคลองในเขตจังหวัดเพชรบุรี พื้นที่การส่งน้ำ ขนาดความกว้าง ความลึก ระยะทาง และสภาวะของการไหล (อัตราการไหล ความเร็ว) ซึ่งได้เก็บข้อมูลจากการใช้เครื่องมือวัดและสอบถามจากหน่วยงานชลประทานโดยมีคลองส่งน้ำอยู่ทั่วพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ซึ่งคลองส่งน้ำแต่ละสายจะมีหมายเลขรหัสกำกับ เช่นคลองส่งน้ำหมายเลข 1R-1L-RMC3 หมายถึง

RMC3 = คลองสายหลักที่ส่งมาในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

1L = คลองสายที่ 1 ที่แยกออกทางด้านซ้ายจาก RMC3

1R = คลองสายที่ 1 ที่แยกออกทางด้านขวาจาก 1L-RMC

โดยแต่ละหมายเลขจะมีความแตกต่างกันทั้งด้าน ขนาด ความลึก อัตราการไหล ทำให้สามารถทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำได้หลากหลายสภาวะการไหล ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการหาความเหมาะสมของการทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด



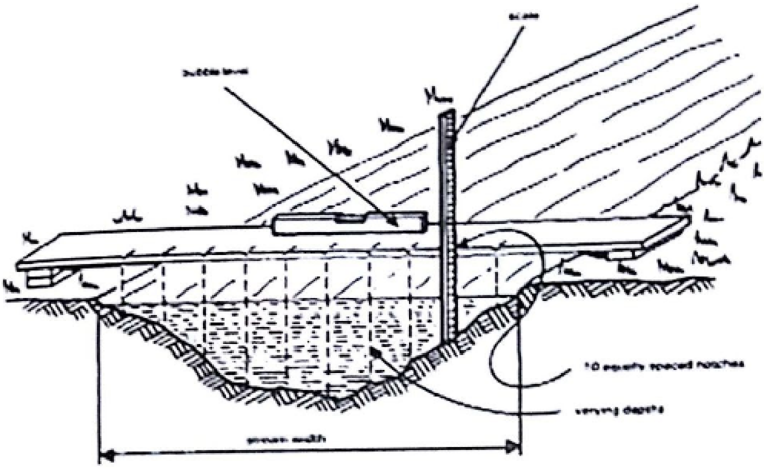
ภาพที่ 3-12 แผนที่คลองส่งน้ำในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

3.6.2 การตรวจสอบความเร็วน้ำ

การตรวจสอบความเร็วน้ำทำได้โดยการวัดอัตราการไหลของน้ำแต่เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้นการวัดอัตราการไหลของน้ำจึงเป็น สิงที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ต้องการนำเพื่อการเกษตร สำหรับสายน้ำหรือแม่น้ำขนาดใหญ่ ข้อมูล อัตราการไหล

จะถูกบันทึกและจัดเก็บไว้โดยหน่วยงานทีเกี่ยวข้อง แต่ในส่วนของแม่น้ำขนาดเล็ก หรือคลองชลประทาน โดยส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีการตรวจวัดข้อมูลของการของน้ำเนื่องจากถูกพิจารณาว่าเป็นระบบทีเล็กไม่คุ้มค่ากับการตรวจวัดและเก็บข้อมูล ดังนั้น จึงต้องมีวิธีสำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลของการไหลของน้ำ

สำหรับกระแสน้ำที่ไม่สามารถวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยวิธีสร้างเขื่อนจำลองได้ สามารถทำได้โดย การแบ่งพื้นที่ตามความกว้างให้มีขนาดเท่ากัน จากนั้นทำการวัดระดับความลึก โดยการวัดจะวัดตรงจุดที่มีการ ไหลของกระแสน้ำที่มีการไหลคงที่ จากนั้นทำการจับเวลาลูกลอยจากจุดเริ่มต้นจนมาถึงจุดระยะที่กำหนด จะ ได้ความเร็วของกระแสน้ำที่ตรงกลางของการไหลของสายธาร จากการจับเวลาและคำนวณ โดยความเร็วเฉลี่ยที่ ได้จะมีค่าประมาณ 0.6 ถึง 0.85 เท่าของความเร็วที่วัดได้ ดังนั้นอัตราการไหลในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีสามารถคำนวณได้จากผลคูณของความเร็วเฉลี่ย กับพื้นที่หน้าตัดของการไหลของกระแสน้ำ วิธีการวัดความเร็วด้วยวิธีนี้ได้แสดงในภาพที่ 3-13 และ 3-14



ภาพที่ 3-13 ภาพจำลองการหาความเร็วของน้ำ [4]

ทดสอบหาอัตราไหลโดยกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดสอบการไหลของน้ำ โดยนำขวดพลาสติกบรรจุทรายลงน้ำแล้วยึดให้ขวดอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นดังภาพที่ 3-17 ทำการจับเวลา ณ จุดเริ่มต้นแล้วปล่อยขวดไหลตามน้ำไปที่ตำแหน่งสินสุด แล้วจับเวลา

(ก) (ข)

ภาพที่ 3-14 (ก) ลักษณะคลองเพื่อทดสอบความเร็ว (ข) การกำหนดจุดวัดและอุปกรณ์การวัด

ภาพที่ 3-15 การวัดความเร็วน้ำด้วยการจับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุลอยน้ำ

3.7 การทดสอบหาพารามิเตอร์

ก่อนการทดสอบหาพารามิเตอร์ ได้มีการติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆของระบบการทำงาน ได้สรุปขั้นตอนในการติดตั้งได้ดังนี้คือ

1) ประกอบชุดทุ่นลอยน้ำเข้ากับตัวเครื่องสูบน้ำ

2) ประกอบกังหันน้ำ เข้ากับเครื่องสูบน้ำ

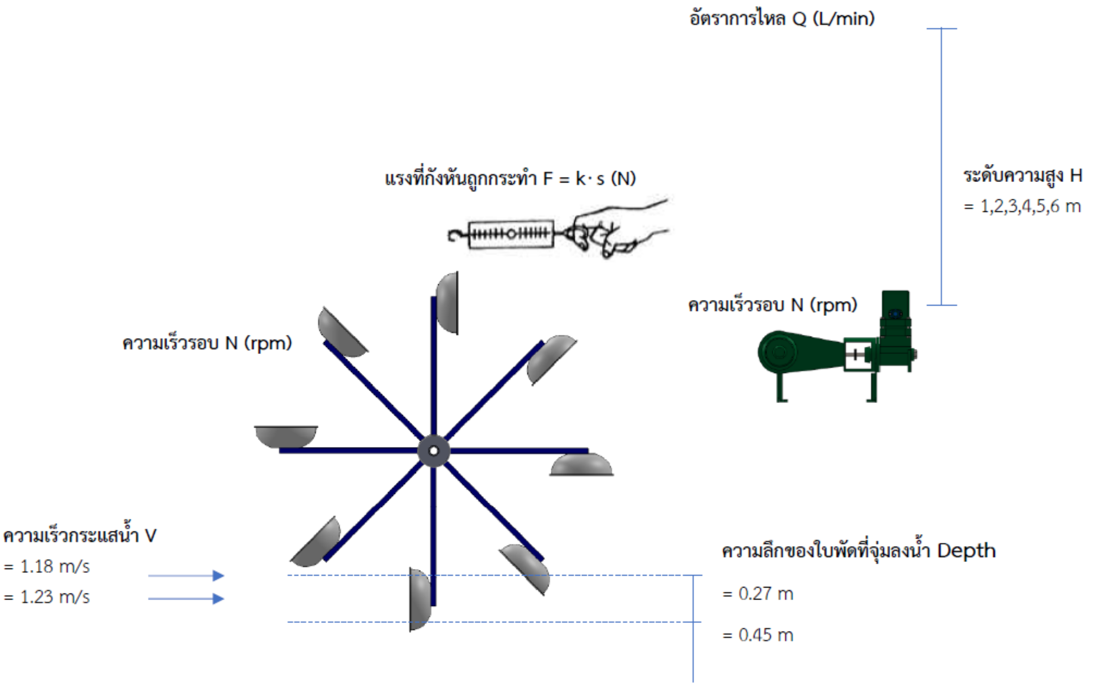
3) นำเครื่องสูบน้ำลงน้ำ

4) ต่อสายน้ำจากตัวปั๊มขึ้นมาบนฝั่งเพื่อวัดอัตราการไหล

5) จดบันทึกข้อบกพร่อง และเก็บผลเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงระบบให้ใช้งานได้จริง

ภาพที่ 3-16 การทดสอบประสิทธิภาพหาพารามิเตอร์

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบหาพารามิเตอร์ต่างๆ มีรายละเอียดดังแสดงดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-17 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องสูบน้ำกำลังน้ำได้ออกแบบให้สามารถปรับระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ Depth ได้ 2 ระดับ คือที่ความลึก 0.27 m และ 0.45 m เพื่อใช้ทดสอบหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ภาพที่ 3-18 ความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ 0.45 m

ภาพที่ 3-19 ความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ 0.27 m

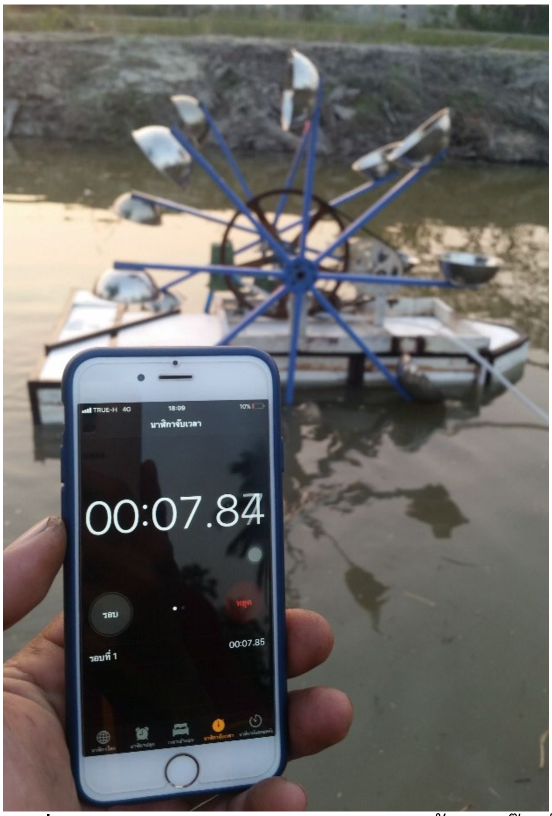
3.7.1 แรงที่น้ำกระทำกับกังหันที่ความลึกต่างกัน

แรงที่น้ำกระทำต่อกังหัน (N) ได้ทำการทดสอบโดยใช้ตะขอเครื่องชั่งกิโลสปริงเกี่ยวกับกังหันน้ำในแนวระดับตั้งฉากกับแรงที่กระทำต่อกังหันและวัดค่าแรงที่ได้ ที่ระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำแตกต่างกัน

ภาพที่ 3-20 วัดแรงที่กระทำต่อกังหันน้ำ

3.7.2 ความเร็วรอบของกังหันและปั๊มน้ำที่ระดับความลึกต่างกัน

การทดสอบความเร็วรอบของกังหันน้ำ และความเร็วรอบของปั๊มน้ำ (rpm) ได้มีวิธีการทดสอบโดยการจับเวลา 1 นาที แล้วนับรอบกังหันและปั๊มน้ำ



ภาพที่ 3-21 วัดความเร็วรอบของกังหันน้ำและปั๊มน้ำ

3.7.3 วัดอัตราการไหล Q ของน้ำ

ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำ Q (L/min) โดยทำการวัดปริมาณน้ำที่ได้เฉลี่ย ในเวลา 1 นาที ที่ระดับความสูง Head ของน้ำที่ความสูง 1-6 เมตร

ภาพที่ 3-22 วัดอัตราการไหลของน้ำ Q ที่ระดับความสูง Head ต่างกัน

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปลายผล

4.1 ผลการตรวจสอบรูปทรงของใบพัด

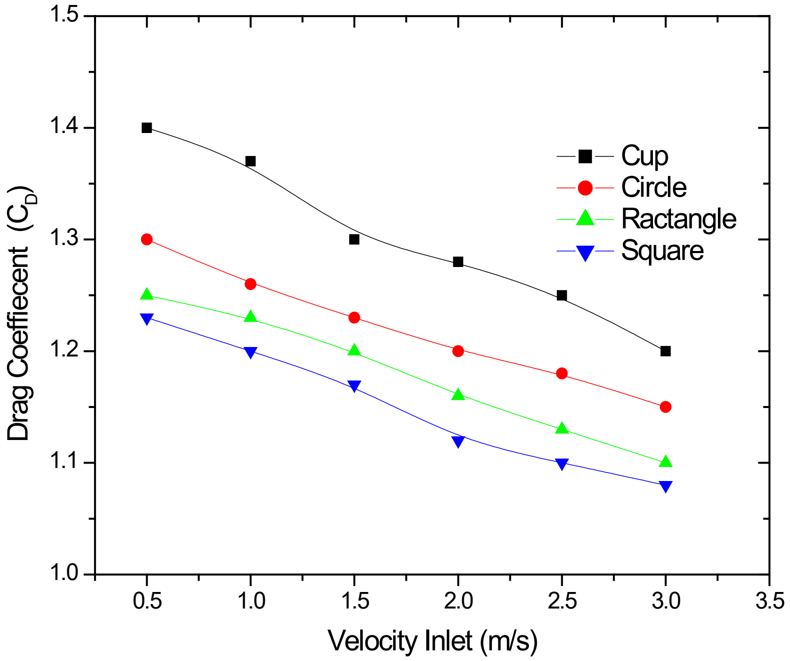
ผลการทดสอบด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข สามมารถตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมโดยใช้โปรแกรม Fluent ในการคำนวณ ซึ่งสามารถกำหนดค่าที่ต้องการแสดงผลทั้งแนวแกน x,y,z หรือรวมทั้งหมดทุกแนวแกน ซึ่งจาก จากภาพที่ 4-1 เป็นการตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปทรงใบพัด 4 รูปทรง และเพิ่มความเร็วของน้ำไหลกระทบกับใบพัด (F_D) แล้วนำมาคำนวณเป็นสัมประสิทธิ์แรงต้าน (CD) ตามสมการที่ (1) ซึ่งรูปทรงถ้วย (Cup) ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดประมาณ 1.3 เนื่องจากรูปทรงนี้ให้ค่าแรงต้านที่เกิดจากความดันสูงแต่พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (A) นั้นมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (4-1) และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับค่าเรโนลด์ โดยมีค่าสูงขึ้น อิทธิพลของความหนืดของน้ำกับใบพัดจึงลดลง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งแปรผกผันกันตามสมการ (4-2) ส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) และวงกลม (Circle) มีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากเป็นรูปทรงแบนราบ แรงต้านที่เกิดจากแรงดันจึงมีค่าต่ำกว่ารูปทรงถ้วย

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho V^2 A} \qquad (4\text{-}1)$$

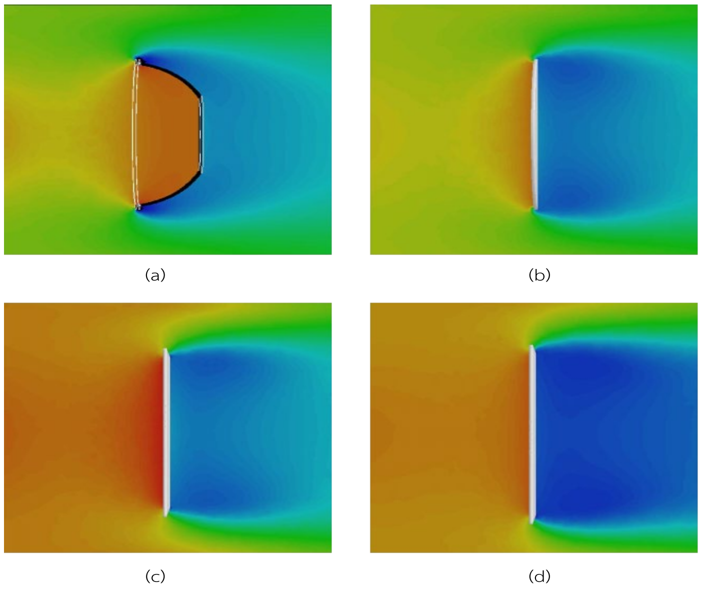
เมื่อ C_D =สัมประสิทธิ์แรงต้านรวม , F_D = แรงต้านรวมที่กระทำต่อใบพัด (N) , ρ = ความหนาแน่นของน้ำ $\left(1{,}000\frac{kg}{m^3}\right)$, V = ความเร็วของน้ำ $\left(\frac{m}{s}\right)$, A = พื้นที่หน้าตัดของใบพัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล $\left(m^2\right)$

เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) เป็นตัวแปรไร้มิติ เพื่อใช้ใช้ในการอธิบายลักษณะการไหลของของไหลที่แตกต่างกัน เช่น ราบเรียบ (Laminar Flow) หรือปั่นป่วน (Turbulent Flow) หรือเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า อัตราส่วนระหว่างความหน่วงส่วนความหนืดของของไหล ซึ่ง μ = ความหนืดของน้ำคือ $\left(0.001003\frac{kg}{m\cdot s}\right)$

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \tag{4-2}$$



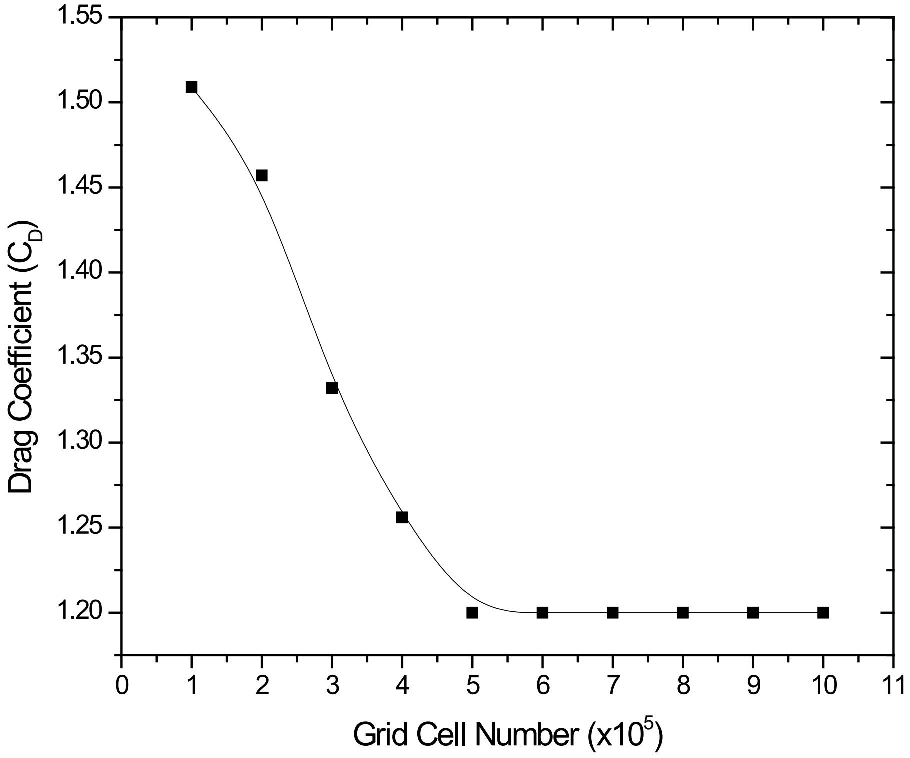
ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านของใบพัดรูปทรงต่างๆ



ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบความดันของใบพัดรูปทรงต่างๆ (a) รูปทรงถ้วย (b) รูปทรงกลมแบน (c) รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและ(d) รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.2 ผลการตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

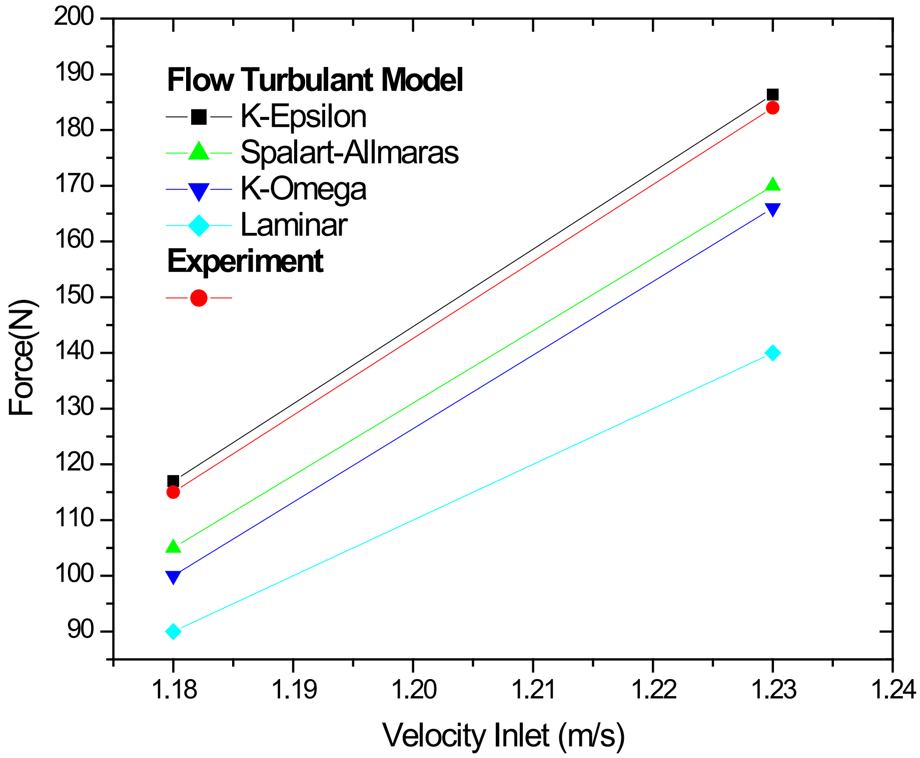
จากภาพที่ 4-3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปทรงถ้วยนั้นมีค่าลดลงเมื่อจำนวนเมทช์เพิ่มขึ้นจนกระทั่งจำนวนเมทช์ประมาณ 500,000 cell ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะมีค่าต่ำสุดและจะยังคงที่เมื่อจำนวนเมทช์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความละเอียดหรือจำนวนเมทช์ที่มากว่า 500,000 cell จะไม่มีผลกระทบกับผลลัพธ์หรือมีผลน้อยมาก ดังนั้น จึงเลือกจำนวนเมทช์นี้ เพื่อความประหยัดเวลาในการคำนวณ การแสดงผล และเหมาะสมกับเงื่อนไขสำหรับการจำลองนี้



ภาพที่ 4-3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านกับจำนวนเมทช์ที่เพิ่มขึ้น

4.3 ผลการตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล

การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหลของการทดลองนี้ เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงต้านของกังหันรวม ระหว่างวิธีจำลองเชิงตัวเลข CFD ของรูปแบบสมการความปั่นป่วนการไหลทั้ง 4 รูปแบบกับการทดสอบจริง ดังแสดงในภาพที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นค่าแรงต้านที่เกิดขึ้นกับกังหันมีค่าเพิ่มขึ้นตามกันทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกันกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (4-1) โดยรูปแบบสมการ k-Epsilon เป็นรูปแบบสมการที่ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับการทดสอบจริงมากที่สุด แต่มีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย ไม่เกิน 5 % ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบสมการนี้สามารถนำเป็นใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบกังหันในเงื่อนไขอื่นต่อไปได้



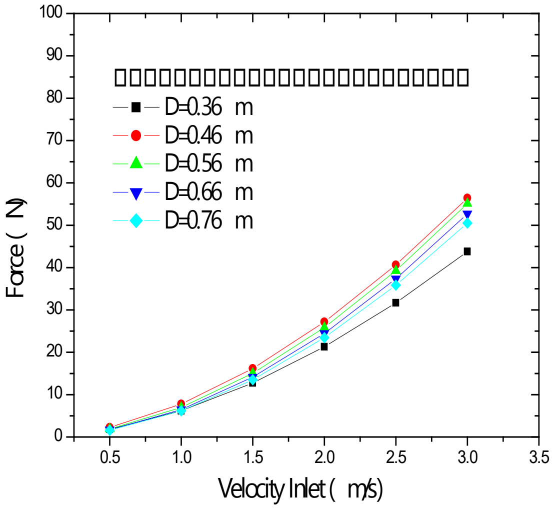
ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปแบบสมการความปั่นป่วนของการไหลกับการทดสอบจริง

4.4 ผลการตรวจสอบแรงต้านของใบพัด

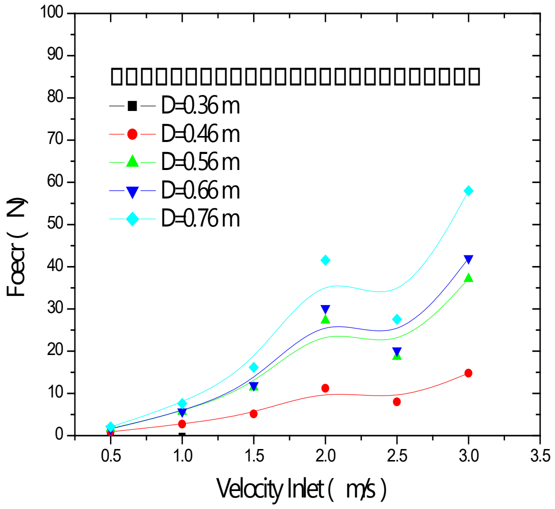
หลังจากได้เงื่อนไขและรูปแบบสำหรับการจำลองแล้วจากหัวข้อที่ผ่านมา นำมาจำลองเพื่อตรวจสอบแรงต้านของใบพัด (F_D) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลกับแรงต้านตามสมการ (4-3) ดังนี้คือ จำนวนใบพัด (N) คือ 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 (ใบพัดคู่) การเพิ่มความเร็วของกระแสน้ำ (V) ที่ระดับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 m/s และระดับความลึกของใบพัดจุ่มลงน้ำ (D) ที่ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ 0.76 m

$$F_D = \frac{\rho V^2 A C_D}{2} \quad (4\text{-}3)$$

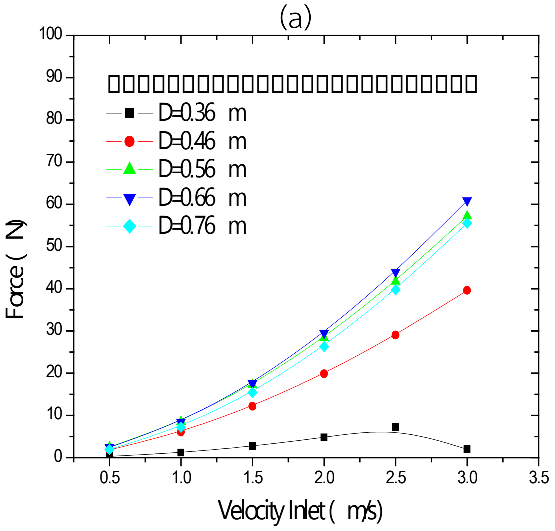
จากภาพที่ 4-5 นั้น โดยภาพรวมค่าแรงต้าน (F_D) จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของกระแสน้ำ (V) โดยแปรผันตรงกันตามสมการ (4-3) เช่นเดียวกันกับเพิ่มค่าความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ (D) และเพิ่มจำนวนของใบพัด N ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการไหลของน้ำที่กระทำกับใบพัด (A) ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น ทั้งความเร็ว ความลึก และจำนวนใบพัด จึงทำให้ค่าแรงต้านรวมมีค่าเพิ่มขึ้น


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Force (N)
Velocity Inlet (m/s)

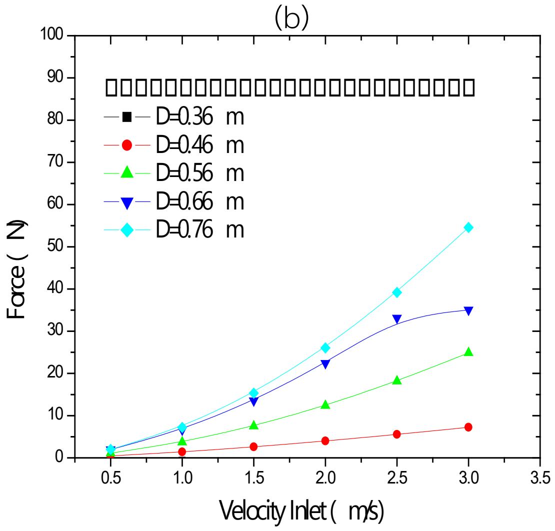
(a)


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Foecr (N)
Velocity Inlet (m/s)

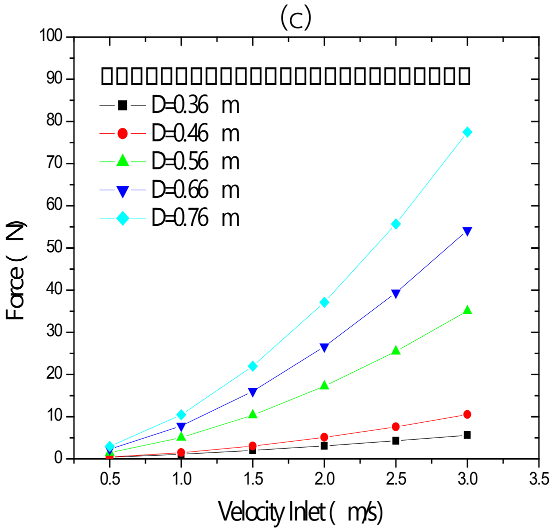
(b)


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Force (N)
Velocity Inlet (m/s)

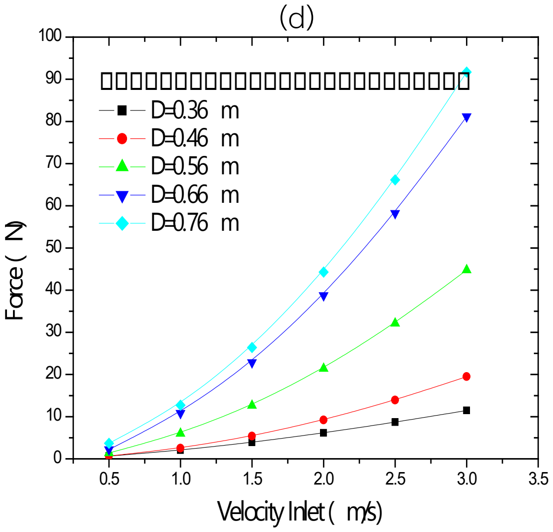
(c)


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Force (N)
Velocity Inlet (m/s)

(d)


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Force (N)
Velocity Inlet (m/s)

(e)


D=0.36 m
D=0.46 m
D=0.56 m
D=0.66 m
D=0.76 m
Force (N)
Velocity Inlet (m/s)

(f)

ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบแรงต้านที่ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ (D) = 0.36-0.76 m. ที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 0.5-3 m/s

จากภาพที่ 4-5 (a) ที่จำนวนของใบพัด N =8 สังเกตได้ว่าที่ความลึกของใบกังหันที่จมน้ำ (D) = 0.46 m นั้นให้ค่าแรงต้าน (F_D) สูงสุด ซึ่งเป็นค่าที่เบี่ยงเบนจากสมการที่ (4-3) หรือเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากที่ความลึก 0.76 m นั้นจะเกิดแรงต้านเหนี่ยวนำ (Reduce Drag Force) อันเกิดจากแรงดันที่ปะทะใบพัดส่วนที่อยู่ด้านหน้า ทำให้ใบพัดที่อยู่ส่วนท้าย ได้รับแรงดันน้อยกว่ามากดังภาพที่ 4-6 (a) และ ภาพที่ 4-7 (a) และสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนการการหมุนวนของน้ำ ที่เกิดจากผลต่างของแรงดันจากการปะทะใบพัดด้านหน้า ตามภาพที่ 4-8 (a) และ ภาพที่ 4-9 (a) จึงทำให้แรงต้านที่เกิดขึ้นกับความลึก 0.46 มากกว่า 0.76 m ตามลำดับ

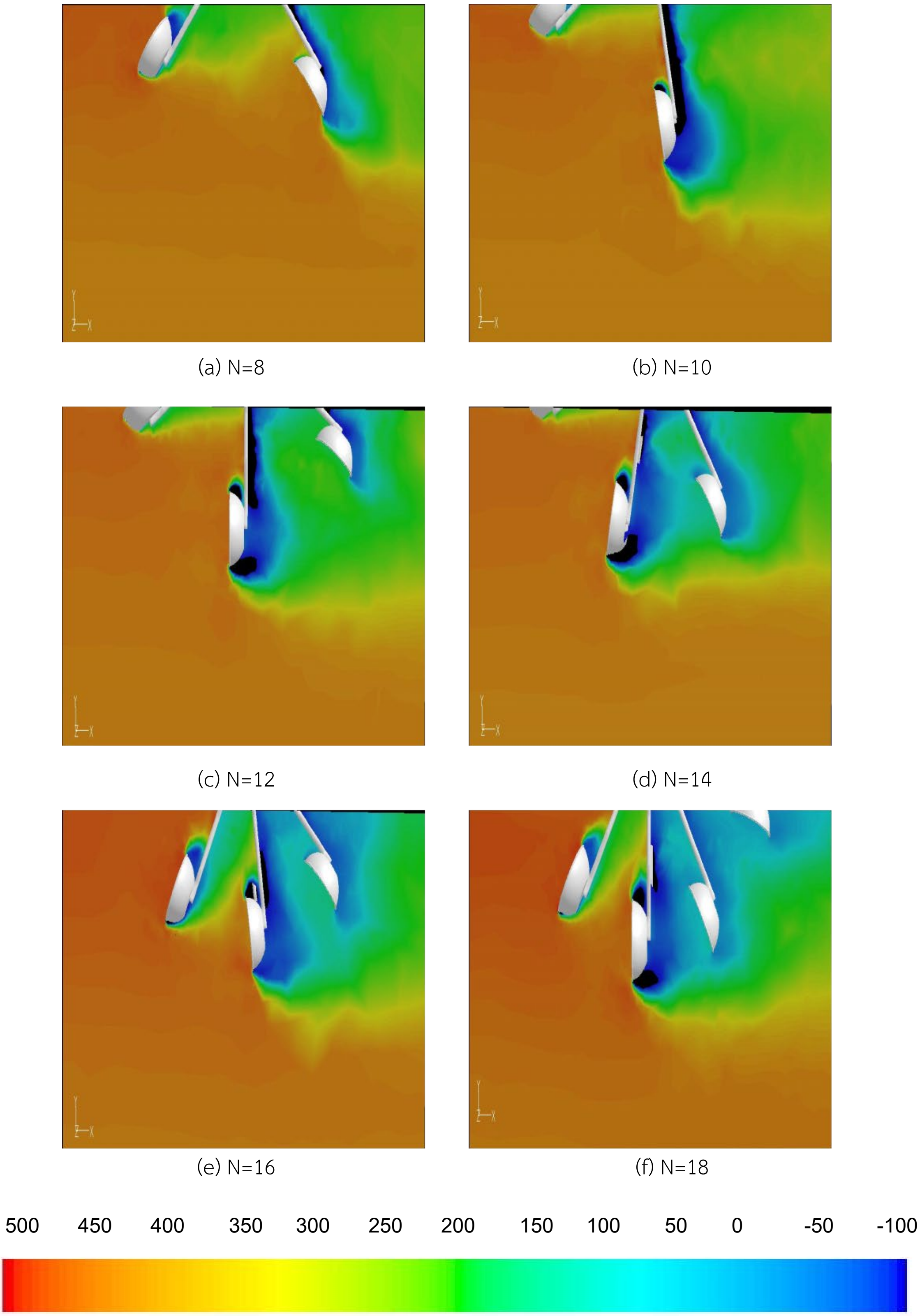
จากภาพที่ 4-5 (b) ที่จำนวนของใบพัด N =8 สังเกตได้ว่าแรงต้าน จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของกระแสน้ำ V และพื้นที่ A เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (4-3) เนื่องจากแรงที่สวนทางกับแรงต้านมีค่าน้อยกว่าแรงต้าน ดังภาพที่ 4-6 (b) และ ภาพที่ 4-7 (b) ซึ่งแสดงระดับความดันของแต่ละใบพัดที่ความลึกของใบพัดที่จมน้ำ 0.46 และ 0.76 m ตามลำดับ และเห็นได้ชัดมากยิ่งขึ้นหากมองอยู่ในรูปการปั่นป่วนของของไหลดังภาพที่ 4-8 (b) และ ภาพที่ 4-9 (b) ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-5 (c) ที่จำนวนของใบพัด N =12 สังเกตได้ว่าที่ความลึกของใบกังหันที่จมน้ำที่ 0.66 m นั้นจะให้ค่าแรงต้านสูงสุด ซึ่งเป็นค่าความลึกและจำนวนใบพัดที่ทำให้รับแรงดันของน้ำได้มากที่สุด ดังภาพที่ 4-6 (c) และ ภาพที่ 4-7 (c) ซึ่งแสดงระดับความดันของแต่ละใบพัด และเห็นได้ชัดมากยิ่งขึ้นหากมองยู่ในรูปการปั่นป่วนของของไหลดังภาพที่ 4-8 (c) และ ภาพที่ 4-9 (c) ตามลำดับ

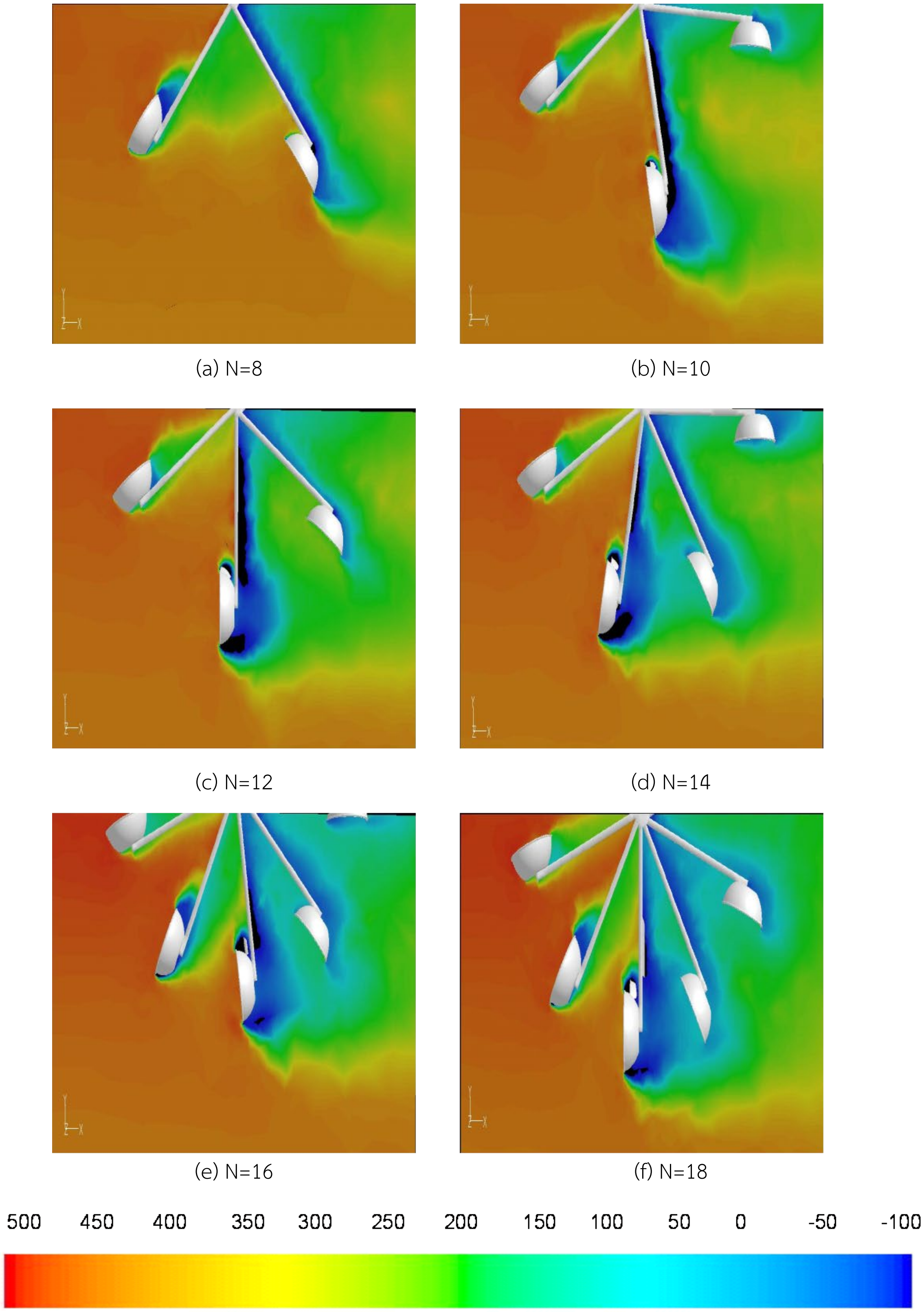
หลังจากนั้น ภาพที่ 4-5 (d), (e) และ (f) ที่จำนวนของใบพัด N =14, 15, 16, 17 และ 18 ใบ ตามลำดับ สังเกตได้ว่าแรงต้านจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของกระแสน้ำและความลึกที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องตามสมการที่ (4-3) และสามารถพิจารณาจากระดับความดัน และกระแสการไหลของน้ำที่ปั่นป่วนผ่านใบพัดได้จากภาพที่ 4-6, 4-7, 4-8 และ 4-9 ได้

จากผลการตรวจสอบแรงต้านในภาพที่ 4-5 มีจุดที่เป็นข้อสังเกตบางประการ คือบางเงื่อนไขที่จำนวนใบพัดของกังหันมีน้อย แต่กลับมีค่าแรงต้านสูงกว่ากังหันที่มีจำนวนพัดใบพัดมากกว่า และบางเงื่อนไขที่ระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มน้ำที่ต่ำ กลับทำให้มีค่าแรงต้านสูงกว่า ระดับความลึกที่มากกว่า เนื่องจากแรงต้านที่ทดสอบนั้น เป็นแรงต้านรวมที่พิจารณาจากใบพัดที่อยู่ในตำแหน่งด้านหน้าปะทะแรงดัน และใบพัดด้านหลังปะทะแรงดันของน้ำ ซึ่งบางเงื่อนไข ใบพัดด้านหลังที่อยู่ใกล้ชิดกันมาก (กรณีจำนวนใบพัดมาก) จะรับแรงต้านเหนี่ยวนำ อันเกิดจากการประทะของกระแสน้ำของใบพัดด้านหน้าและหมุนวน (Vortex) มาปะทะใบพัดส่วนหลังซึ่งมีค่าติดลบ ซึ่งทำให้เกิดแรงต้านเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงต้านรวมจึงอาจจะน้อยกว่า

ดังนั้นการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยการจำลองจะมีประโยชน์ ในการนำไปใช้ประเมินสภาวะ เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้จริง คือจากคลองส่งน้ำในจังหวัดเพชรบุรีเป็นคลองขนาดเล็ก ซึ่งมีความลึกและความเร็วของกระแสน้ำค่อนข้างต่ำดังนั้นกังหันที่มีความเหมาะสมกับสภาวะการไหลของคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรีคือ กังหัน N = 8 และที่ความลึก 0.46 m และความเร็วประมาณ 1.5 m/s ซึ่งจะได้ดำเงื่อนไขนี้ไปทดสอบจริงในหัวข้อต่อไป

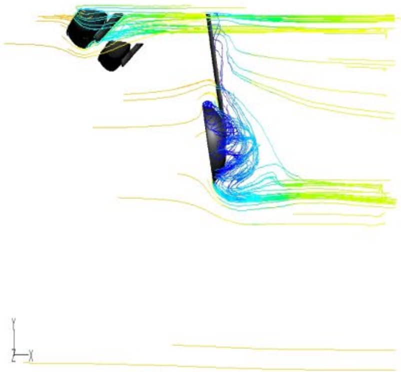


ภาพที่ 4-6 แสดงระดับความดันของแต่ละจำนวนใบพัดที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 1.5 m/s และความลึกของใบพัดที่จมน้ำ (D) = 0.46 m

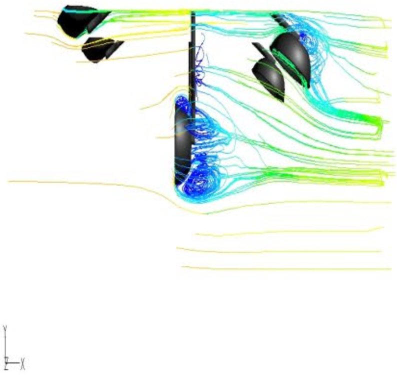


ภาพที่ 4-7 แสดงระดับความดันของแต่ละจำนวนใบพัดที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 1.5 m/s และความลึกของใบพัดที่จมน้ำ (D) = 0.76 m

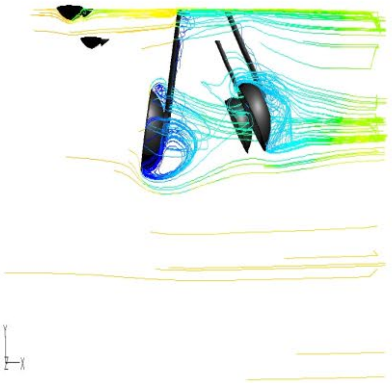
(a) N=8



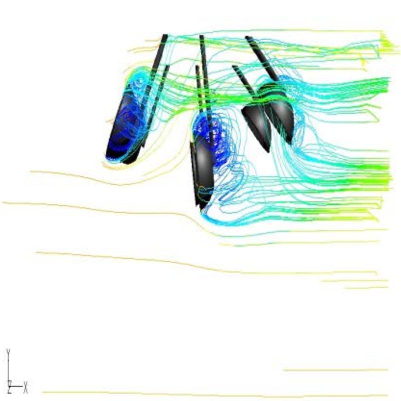
(b) N=10



(c) N=12

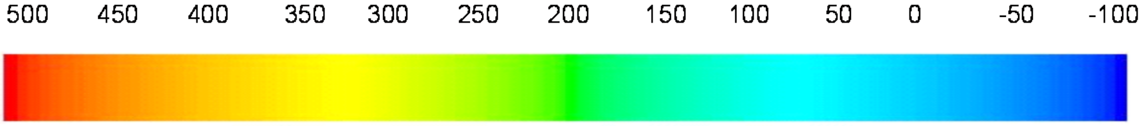


(d) N=14



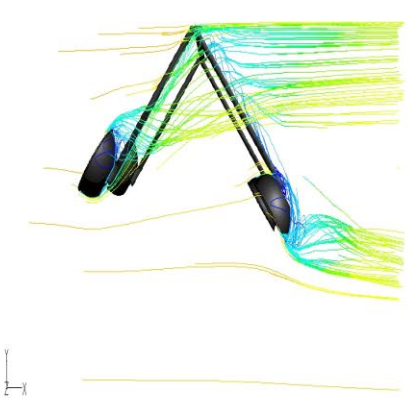
(e) N=16

(f) N=18

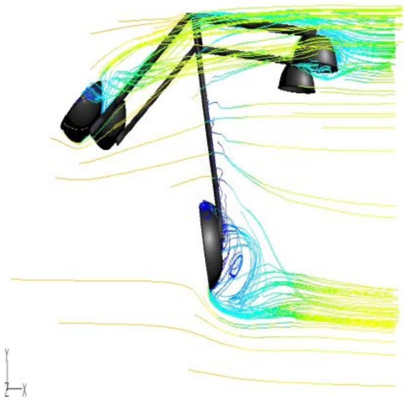


ภาพที่ 4-8 แสดงระดับความดันของแต่ละจำนวนใบพัดที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 1.5 m/s

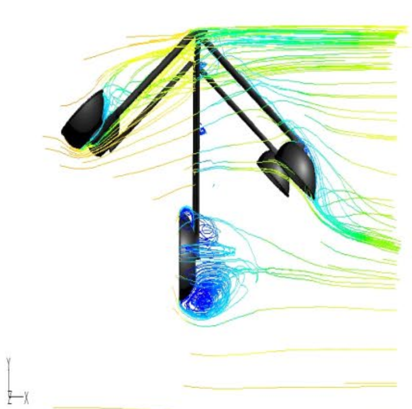
และความลึกของใบพัดที่จมน้ำ (D) = 0.76 m



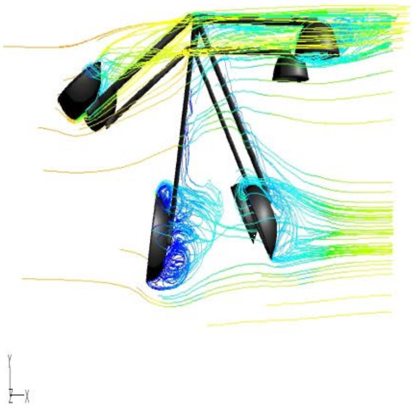
(a) N=8



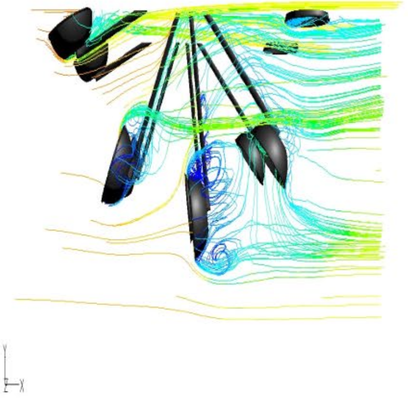
(b) N=10



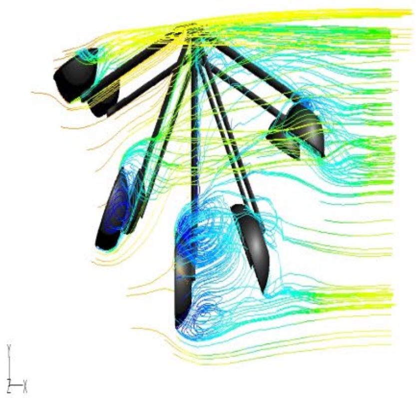
(c) N=12



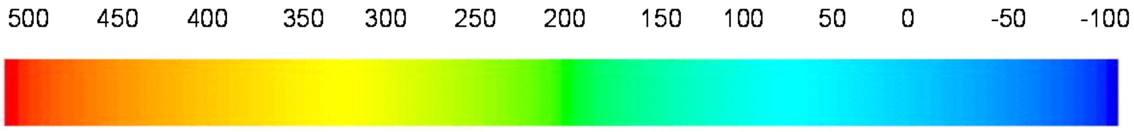
(d) N=14



(e) N=16



(f) N=18



ภาพที่ 4-9 แสดงระดับความดันของแต่ละจำนวนใบพัดที่ความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 1.5 m/s และความลึกของใบพัดที่จมน้ำ (D) = 0.76 m

4.5 ผลการทดสอบแรงต้านของกังหัน

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ ทำการทดสอบที่ห้วยน้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและคลองชลประทาน ได้ทำการทดสอบหากำลังของเครื่องสูบน้ำ ในสภาวะต่าง ๆ (อัตราการไหล ความเร็ว ความลึก ที่ต่างกัน) ได้ผลการทดสอบจริงและค่าที่ได้จากการคำนวณแทนค่าลงในสมการต่าง ๆ ตามทฤษฎี โดยมีการกำหนดจุดทดสอบไว้ 2 จุดคือ

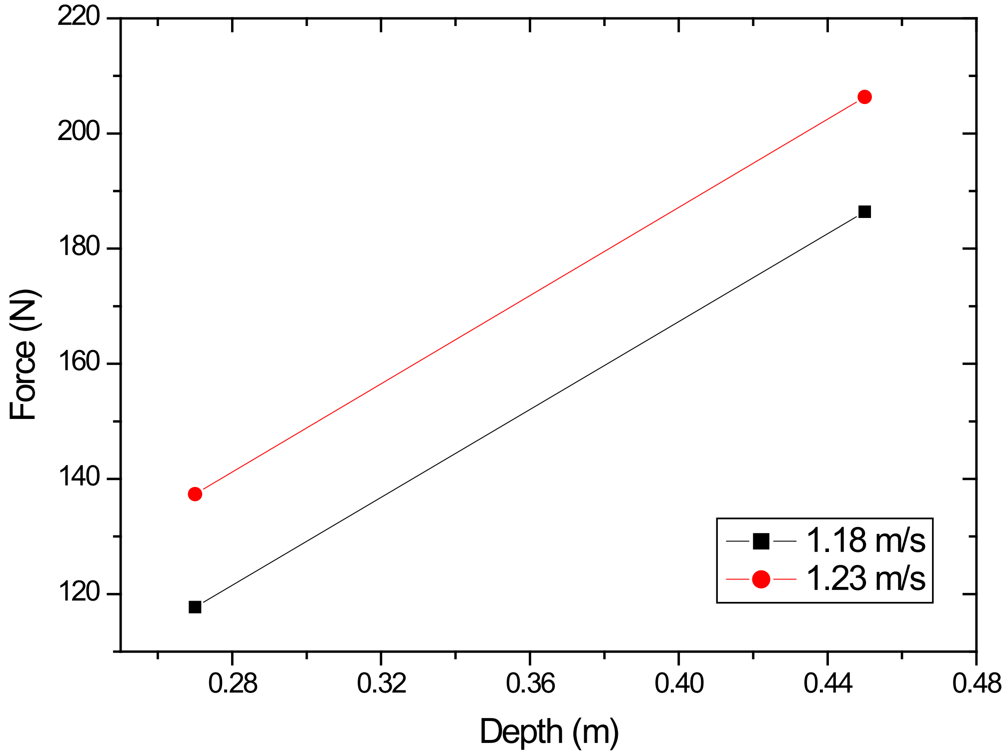
จุดทดสอบที่ 1 สถานที่ทดสอบ ห้วยแม่ประจันทร์ ต.วังไคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี
มีความเร็วกระแสน้ำ 1.18 m/s

จุดทดสอบที่ 2 สถานที่ทดสอบ คลองชลประทานสายสาม ต.มาบปลาเค้า อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี
มีความเร็วกระแสน้ำ 1.23 m/s

ทดสอบแรงที่กระทำกับกังหัน โดยใช้ตะขอเครื่องชั่งกิโลสปริงเกี่ยวกับกังหันน้ำในแนวระดับตั้งฉากกับแรงที่กระทำต่อกังหันน้ำแล้วนำค่าเฉลี่ยมาบันทึกผลและได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4-1 แรงที่น้ำกระทำกับกังหันที่ระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำแตกต่างกัน

Depth (m)	**จุดทดสอบที่ 1** V = 1.18 m/s	**จุดทดสอบที่ 2** V = 1.23 m/s
	F (N)	F (N)
0.27	117.72	137.34
0.45	186.39	206.34



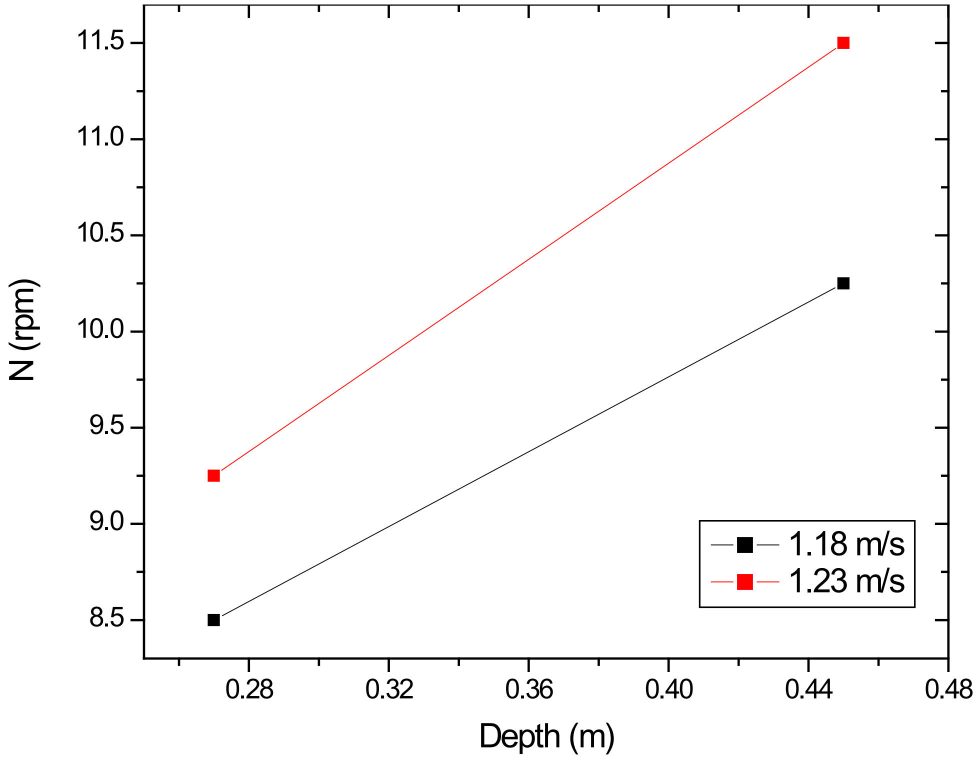
ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่น้ำกระทำกับกังหันกับระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำ

4.6 ผลการทดสอบความเร็วรอบของกังหัน

การทดสอบความเร็วรอบของกังหันน้ำ และความเร็วรอบของปั๊มน้ำ มีวิธีการทดสอบโดยการจับเวลา 1 นาที แล้วนับรอบกังหันและปั๊มน้ำแล้วนำรอบเฉลี่ยที่ได้น้ำมาบันทึกผลในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4-2 ความเร็วรอบของกังหันและปั๊มน้ำที่ระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำแตกต่างกัน

Depth (m)	จุดทดสอบที่ 1 V = 1.18 m/s		จุดทดสอบที่ 2 V = 1.23 m/s	
	กังหันน้ำ N (rpm)	ปั๊มน้ำ N (rpm)	กังหันน้ำ N (rpm)	ปั๊มน้ำ N (rpm)
0.27	8.5	90	9.25	98
0.45	10.25	108	11.5	121



ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันกับระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำแตกต่างกัน

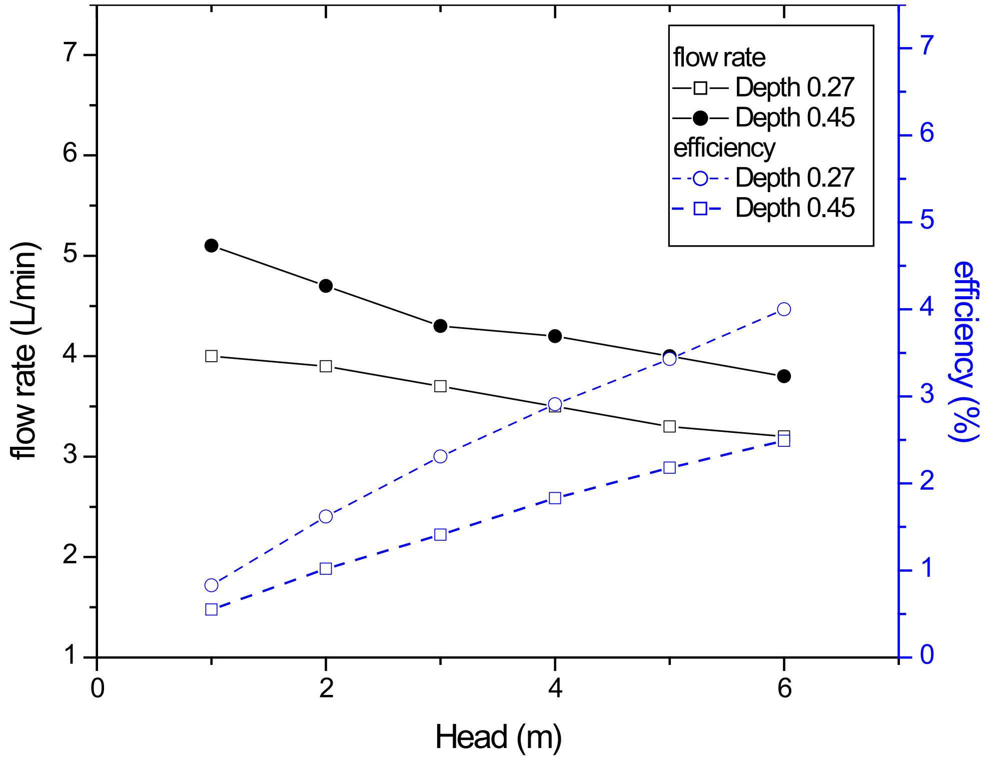
4.7 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำ

วัดอัตราการไหลของน้ำ (Q) โดยวัดปริมาณน้ำที่ได้เฉลี่ย ในเวลา 1 นาที ที่ระดับความสูง Head ของน้ำที่ความสูง 1-6 เมตร แล้วนำผลที่ได้นำมาบันทึกผลในตารางที่ 4.3

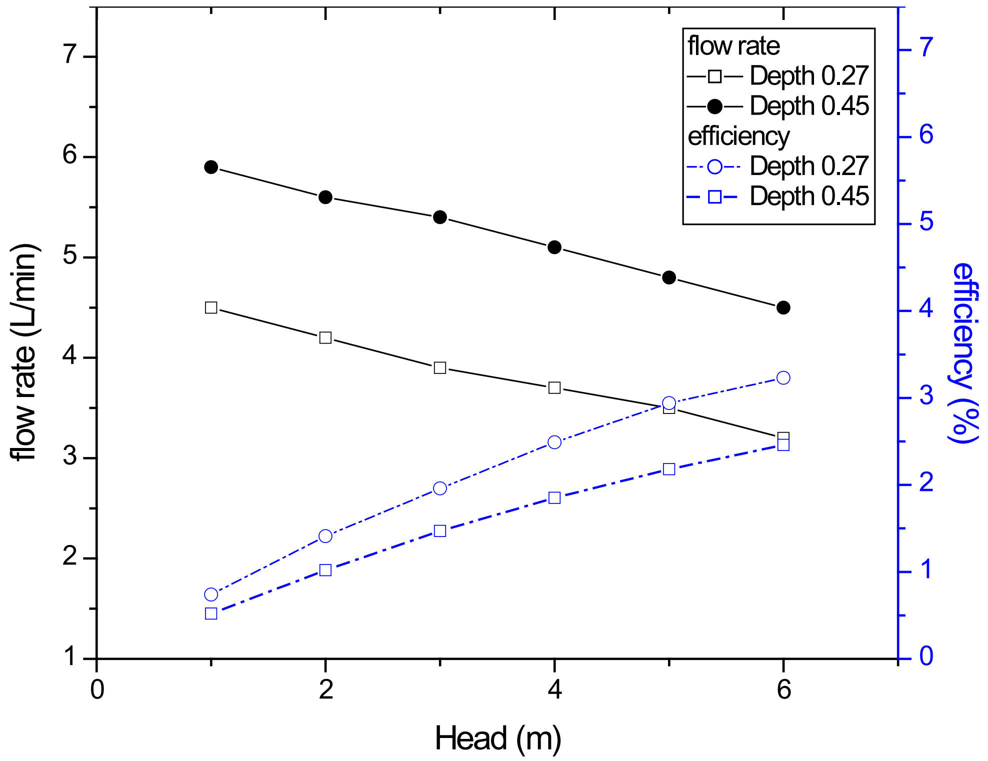
ตารางที่ 4.3 อัตราการไหล Q ของน้ำที่ระดับความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำแตกต่างกัน

Depth (m)	จุดทดสอบที่ 1 V = 1.18 m/s				จุดทดสอบที่ 2 V = 1.23 m/s			
	Head (m)	Q (L/min)	Q (m^3/s)	η (%)	Head (m)	Q (L/min)	Q (m^3/s)	η (%)
	1	4.0	6.66×10^{-5}	0.83	1	4.5	7.50×10^{-5}	0.74
	2	3.9	6.50×10^{-5}	1.62	2	4.2	7.00×10^{-5}	1.41
	3	3.7	6.16×10^{-5}	2.31	3	3.9	6.50×10^{-5}	1.96

0.27	4	3.5	5.83×10^{-5}	2.91	4	3.7	6.16×10^{-5}	2.49
	5	3.3	5.50×10^{-5}	3.43	5	3.5	5.83×10^{-5}	2.94
	6	3.2	5.33×10^{-5}	4.00	6	3.2	5.33×10^{-5}	3.23
0.45	1	5.1	8.50×10^{-5}	0.55	1	5.9	9.83×10^{-5}	0.52
	2	4.7	7.83×10^{-5}	1.02	2	5.6	9.33×10^{-5}	1.02
	3	4.3	7.16×10^{-5}	1.41	3	5.4	9.00×10^{-5}	1.47
	4	4.2	7.00×10^{-5}	1.83	4	5.1	8.50×10^{-5}	1.85
	5	4.0	6.66×10^{-5}	2.18	5	4.8	8.00×10^{-5}	2.18
	6	3.8	6.33×10^{-5}	2.49	6	4.5	7.50×10^{-5}	2.46



ภาพที่ 4-12 อัตราการไหลและประสิทธิภาพ ที่ระดับความสูง (Head) ต่างกัน ของความเร็วกระแสน้ำ (V) เท่ากับ 1.18 m/s



ภาพที่ 4-13 อัตราการไหลและประสิทธิภาพ ที่ระดับความสู (Head) ต่างกัน ของความเร็วกระแสน้ำ (V) เท่ากับ 1.23 m/s

4.7 การคำนวณหาค่าทอร์กกำลังที่ได้จากกระแสน้ำและประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำ

4.4.1 จุดทดสอบที่ 1 สถานที่ทดสอบ ห้วยแม่ประจันทร์ ต.วังใคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี

4.4.1.1 ที่ความลึก 0.27 m

1. ทอร์กที่ได้จากการคำนวณ

$$T = F \times r$$

$$= 117.72\,\mathrm{N} \times 0.75$$

$$\therefore \quad T = 88.29\,\mathrm{N.m}$$

2. ความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการคำนวณ

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi 8.5}{60}$$

$$= \frac{53.40}{60}$$

$$\therefore \quad \omega = 0.89\,\text{rad/s}$$

3. กำลังที่ได้จากกระแสน้ำ (Power input)

$$\text{Power} = T\times\omega$$
$$= 88.29\times 0.89$$
$$\therefore \text{Power} = 78.57\ \text{W}$$

4. กำลังที่ได้จากอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ (Power output)

ความสูงในการส่งน้ำ (head) 1 m ,อัตราการไหล 4 l/min

$$\text{Power output} = \rho\times g\times Q\times H$$
$$= (1000\ \frac{kg}{m^3})\times(9.81\ \frac{m}{s^2})\times(6.66\times10^{-5}\frac{m^3}{s})\times(1\,m)$$
$$= 0.65\,\text{W}$$

5. ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำ η

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}}\times 100\% = \frac{0.65}{78.57}\times 100\%$$
$$= 0.83\%$$

4.4.1.2 ที่ความลึก 0.45 m

1. ทอร์กที่ได้จากการคำนวณ

$$T = F\times r$$
$$= 186.39\times 0.75$$
$$\therefore T = 139.79\,\text{N.m}$$

2. ความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการคำนวณ

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi 10.25}{60}$$

$$= \frac{64.37}{60}$$

$$\therefore \quad \omega = 1.07\,\text{rad/s}$$

3. กำลังที่ได้จากกระแสน้ำ (Power input)

$$\text{Power} = T\times\omega$$

$$= 139.79\times1.07$$

$$\therefore \quad \text{Power} = 149.33\,\text{W}$$

4. กำลังที่ได้จากอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ (Power output)

ความสูงในการส่งน้ำ (head) 1 m ,อัตราการไหล 5.1 l/min

$$\text{Power output} = \rho\times g\times Q\times H$$

$$= (1000\ \frac{kg}{m^3})\times(9.81\ \frac{m}{s^2})\times(8.50\times10^{-5}\frac{m^3}{s})\times(1m)$$

$$= 0.833\,\text{W}$$

5. ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำ η

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}}\times100\% = \frac{0.833}{149.33}\times100\%$$

$$= 0.55\%$$

4.4.2 จุดทดสอบที่ 2 สถานที่ทดสอบ คลองชลประทานสายสาม ต.มาบปลาเค้า อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี

4.4.2.1 ที่ความลึก 0.27 m

1. ทอร์กที่ได้จากการคำนวณ

$$T = F \times r$$
$$= 137.34 \times 0.75$$
$$\therefore \quad T = 103\ \text{N.m}$$

2. ความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการคำนวณ

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi 9.25}{60}$$
$$= \frac{58.11}{60}$$
$$\therefore \quad \omega = 0.96\ \text{rad/s}$$

3. กำลังที่ได้จากกระแสน้ำ (Power input)

$$\text{Power} = T \times \omega$$
$$= 103 \times 0.96$$
$$\therefore \quad \text{Power} = 98.88\ \text{W}$$

4. กำลังที่ได้จากอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ (Power output)

ความสูงในการส่งน้ำ (head) 1 m ,อัตราการไหล 4.5 l/min

$$\text{Power output} = \rho \times g \times Q \times H$$
$$= (1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (9.81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times (7.50 \times 10^{-5}\ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) \times (1\text{m})$$
$$= 0.73\ \text{W}$$

5. ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำ η

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}} \times 100\% = \frac{0.73}{98.88} \times 100\%$$
$$= 0.74\%$$

4.4.2.2 ที่ความลึก 0.45 m

1. ทอร์กที่ได้จากการคำนวณ

$$T = F \times r$$
$$= 206.01 \times 0.75$$
$$\therefore \quad T = 154.50\,\text{N.m}$$

2. ความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการคำนวณ

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi 11.50}{60}$$
$$= \frac{72.25}{60}$$
$$\therefore \quad \omega = 1.20\,\text{rad/s}$$

3. กำลังที่ได้จากกระแสน้ำ (Power input)

$$\text{Power} = T \times \omega$$
$$= 154.50 \times 1.20$$
$$\therefore \ \text{Power} = 185.4\,\text{W}$$

4. กำลังที่ได้จากอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ (Power output)

ความสูงในการส่งน้ำ (head) 1 m ,อัตราการไหล 5.9 l/min

$$\text{Power output} = \rho \times g \times Q \times H$$
$$= (1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (9.81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times (9.83 \times 10^{-5}\ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) \times (1\,\text{m})$$
$$= 0.96\,\text{W}$$

5. ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำ η

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}} \times 100\% = \frac{0.96}{185.4} \times 100\%$$

$$= 0.52\%$$

สรุป ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบและค่าที่ได้จากการคำนวณมาแสดงในตารางที่ 4-4 และ 4-5

ตารางที่ 4-4 จุดทดสอบที่ 1 สถานที่ทดสอบ...ห้วยแม่ประจันทร์ ต.วังใคร้ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี ที่ความเร็วกระแสน้ำ 1.18 m/s

Depth (m)	F (N)	**กังหัน** N (rpm)	**ปั๊ม** N (rpm)	T (N.m) **คำนวณ**	Power (W) **คำนวณ**	Head (m)	Q (L/min)
0.27	117.72	8.5	90	88.29	78.57	1	4.0
						2	3.9
						3	3.7
						4	3.5

						5	3.3
						6	3.2
0.45	186.39	10.25	108	139.79	149.33	1	5.1
						2	4.7
						3	4.3
						4	4.2
						5	4.0
						6	3.8

ตารางที่ 4-5 จุดทดสอบที่ 2 สถานที่ทดสอบ คลองชลประทานสายสาม ต.มาบปลาเค้า อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี ที่ความเร็วกระแสน้ำ 1.23 m/s

Depth (m)	F (N)	กังหัน N (rpm)	ปั๊ม N (rpm)	T (N.m) คำนวณ	Power (W) คำนวณ	Head (m)	Q (L/min)
0.27	137.34	9.25	98	103.00	98.88	1	4.5
						2	4.2
						3	3.9

						4	3.7
						5	3.5
						6	3.2
0.45	206.01	11.5	121	154.50	185.4	1	5.9
						2	5.6
						3	5.4
						4	5.1
						5	4.8
						6	4.5

บทที่5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบกังหันด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม Gambit และ Fluent เป็นเครื่องมือในการออกแบบ เริ่มจากเปรียบเทียบรูปทรงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ของใบพัด ด้วยการสร้างรูปทรงของใบพัด 4 แบบมาเปรียบเทียบ ซึ่งได้รูปทรงถ้วยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุด ($C_D \approx 1.35$) ต่อมา ได้มีการตรวจสอบจำนวนเมทช์เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสม ($\approx$ 500,000 cell) และการเปรียบเทียบเพื่อยืนยันแบบจำลองความปั่นป่วนการไหล ซึ่งแบบจำลอง k-epsilon ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด หลังจากนั้นได้นำเงื่อนไขที่ได้ มาจำลองเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้าน

การสร้างและทดสอบจริง พบว่าเครื่องสูบน้ำสามารถทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยกำลังและอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้น ตามความเร็วของกระแสน้ำและความลึกของใบพัด ซึ่งค่าที่ได้คือ จุดทดลองที่ 1 มีความเร็วกระแสน้ำ 1.18 m/s ที่ความลึกของใบพัด 0.27 m ความเร็วรอบของกังหัน 8.5 rpm กำลังของกังหันคือ 78.57 W อัตราการไหลสูงสุดคือที่ head 1 m ได้ 4 l/min, ที่ความลึกของใบพัด 0.45 m ความเร็วรอบของกังหัน 10.25 rpm กำลังของกันหันคือ 149.33 W อัตราการไหลสูงสุดคือที่ head 1 m ได้ 5.1 l/min และจุดทดลองที่ 2 มีความเร็วกระแสน้ำ 1.23 m/s ที่ความลึกของใบพัด 0.27 m ความเร็วรอบของกังหัน 9.25 rpm กำลังของกันหันคือ 98.88 W อัตราการไหลสูงสุดคือที่ head 1 m ได้ 4.5 l/min, ที่ความลึกของใบพัด 0.45 m ความเร็วรอบของกังหัน 11.5 rpm กำลังของกันหันคือ 185.4 W อัตราการไหลสูงสุดคือที่ head 1 m ได้ 5.9 l/min จากการคำนวณประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องสูบน้ำโดยรวมให้ค่าสูงที่สุดคือ 4.00 % ซึ่งถือว่าดีกว่าเครื่องสูบน้ำประเภทอัดแบบ 6 สูบ (ตัวเดิม) ที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงกล 2.01 %

5.2 เสนอแนะ

1) ผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข (CFD) ในโครงการวิจัยนี้ อาจให้ผลการทดสอบที่แตกต่างจากผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบจริงมาก เนื่องจากการจำลองเชิงตัวเลข (CFD) ในครั้งนี้ไม่สามารถกำหนดสภาวะให้เหมือนจริงได้มากนัก (Static Mesh) ซึ่งหากต้องการให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำ ใกล้เคียง กับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบจริงมากที่สุด ควรใช้แบบจำลองที่สามารถกำหนดสภาวะที่สมจริงและสามารถแก้ไขปัญหาเกิดขึ้นจริงได้ (Moving Mesh)

2) ตรวจสอบรูปทรงของใบพัดที่หลายหลายมากยิ่งขึ้น เช่น ลักษณะการวางของใบพัดที่ต่างกัน และรูปทรงของใบพัดในรูปแบบอื่นๆ เป็นต้น

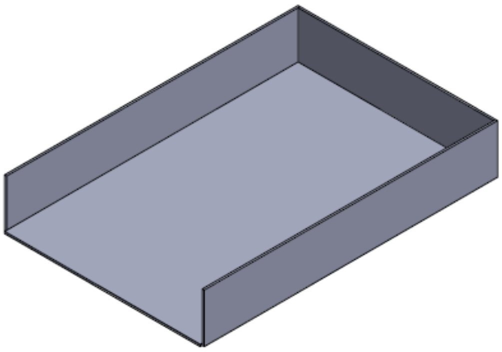
3) ควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำในพื้นที่ ที่เหมาะสำหรับการใช้งานเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการไหลของน้ำที่สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

4) รูปทรงใบพัดกังหันควรมีค่าแรงต้านผิวน้ำที่ลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วรอบของกังหัน

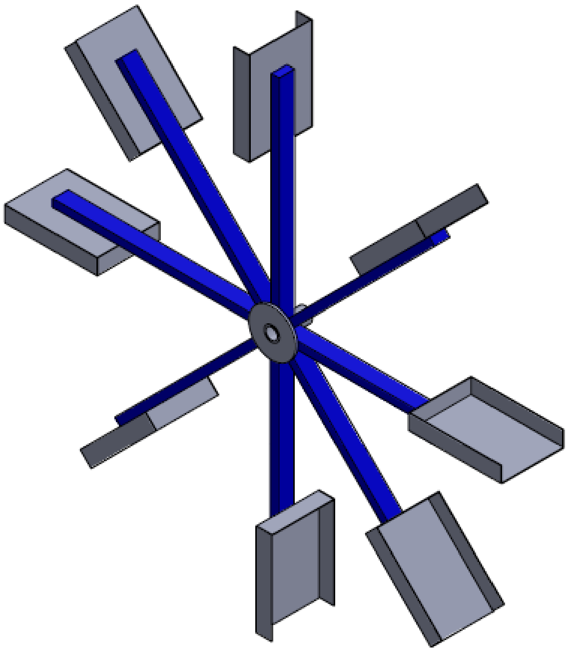
5) ควรเพิ่มช่องทางบังคับน้ำเข้าสู่กังหันเพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

6) ควรเพิ่มจำนวนปั๊มน้ำเป็น 2 ตัว

รูปทรงใบพัดกังหันที่แนะนำเพิ่มเติม



ภาพที่ 5-1 ลักษณะรูปทรงใบพัดกังหันที่แนะนำ



ภาพที่ 5-2 ลักษณะกังหันที่ติดตั้งใบพัดแบบใหม่ที่มีค่าแรงต้านผิวน้ำที่ลดลง

เอกสารอ้างอิง

[1] อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, เครื่องจักรกลของไหล, อุบลราชธานี

[2] จิระภัทร รูปสะอาด และคณะ. “ไฮดรอลิกแรมปั๊ม.” รายงานโครงการหมายเลข MT 48-05. สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. 2548.

[3] ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, ภาควิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยอุบลราชธานี การออกแบบเครื่องกล, อุบลราชธานี

[4] วินัย ศรีอำพร, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, กลศาสตร์ของไหล, ขอนแก่น, 2529

[5] จำลอง ลิ้มตระกูล, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กลศาสตร์วิศวกรรม 2, ขอนแก่น, 2536

[6] รศ.สุนันท์ ศรัณยนิตย์ “แรงต้านของวัตถุ 3 มิติ จากของไหลที่อัดตัวไม่ได้” กลศาสตร์ของไหล (FLUID MECHANICS) สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), พ.ศ.2546, หน้าที่ 487

[7] Daugherty, R.L. and Franzini, J.B. (1989), Fluid Mechanics with Engineering Application, SI Metric edition, McGraw-Hill Book Company.

[8] Hibbeler, R.C., “Engineering Mechanic : Dynamics” 2^{nd}.ed., Collier Macmillan Publishers, London, 1978

[9] บรรจง วรรธนพงษ์ , ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านวิจัยแลพัฒนาเครื่องจักรกลน้ำมูลนิธิชัยพัฒนา , สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานอันเนื่องมาจากพระราชดำริและมูลนิธิชัยพัฒนา , เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ , 2542

[10] สุขเกษม เจริญจันทร์ (2525), สร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำเพื่อการชลประทาน, กรมชลประทาน, 2525

[11] ปริวัสส์ เอื่อนสะอาด, อิสรา โพพิลา, วราวุธ วฒิวณิชย์, จิรกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี (2554), การวิจัยและพัฒนาเครื่องตะบันน้ำแบบประหยัด, ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์, ภาควิชาชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

[12] ปรัชญา มุขดา “เครื่องสูบน้ำด้วยกำลังน้ำ” มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ Thailand Research Expo 2015. 20 สิงหาคม 2558

[13] Munson, B.R., et. Al. (1994), Fundamentals of Fluid Mechanics, 2^{nd} edition, John Wiley and Sond, Inc.

[14] Simon, A.L. (1981), Practical Hydraulics, 2nd edition, John Wiley and Sond, Inc.

[15] FIELDVIEW ReferenceManual, SoftwareReleaseVersion10. Intelligent Light, 2004.

[16] Kinetics for Fluent, Version1.0. Reaction Design, Inc., San Diego, CA, 2004.

ภาคผนวก

ที่ ศธ ๐๕๒๙.๑.๔/๒๖๑๑

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๘๕ ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค
อำเภอวารินชำราบ
จังหวัดอุบลราชธานี ๓๔๑๙๐

๑๓ มิถุนายน ๒๕๖๑

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอและตีพิมพ์ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัย ครั้งที่ ๑๒

เรียน ดร.ปรัชญา มุขดา

ตามที่ท่านส่งผลงานวิจัยเรื่อง **การออกแบบกังหันน้ำด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข** เพื่อร่วมนำเสนอผลงานวิจัย ประเภท Poster Presentation ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๒ วันที่ ๑๒-๑๓ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๑ ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และประสงค์ตีพิมพ์ผลงานดังกล่าวในหนังสือประมวลบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัย ครั้งที่ ๑๒ (Proceedings) นั้น

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีขอแจ้งให้ทราบว่า ผลงานวิจัยของท่านผ่านการพิจารณาให้นำเสนอผลงานวิจัยและบทความจะได้รับการตีพิมพ์ในหนังสือประมวลบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัย ครั้งที่ ๑๒ (Proceedings) มีกำหนดเผยแพร่ในวันที่ ๓๑ กรกฎาคม พ.ศ.๒๕๖๑ เป็นต้นไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและพันธกิจสังคม
หัวหน้ากองบรรณาธิการการประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๑๒

การออกแบบกังหันน้ำด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข

ปรัชญา มุขดา*
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000
*E-mail: mukdaen@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบกังหันด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD) ให้มีความเหมาะสมกับสภาวะการไหลของคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรี โดยใช้โปรแกรม Gambit และ Fluent เป็นเครื่องมือในการออกแบบ ขั้นตอนที่หนึ่งคือการทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขในการจำลอง เริ่มจากจำลองรูปทรงใบพัด 4 แบบ เพื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ซึ่งรูปทรงถ้วยคือรูปทรงที่มีสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุด ($C_D \approx 1.35$) ต่อมา ได้มีการตรวจสอบจำนวนเมทช์เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมคือประมาณ 500,000 เซลล์ สุดท้าย แบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลถูกเปรียบเทียบเพื่อยืนยันกับการทดลองจริง โดยแบบจำลอง k-epsilon ให้ค่าที่แม่นยำมากที่สุด ขั้นตอนที่สอง คือการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้านของกังหัน ซึ่งคือ จำนวนใบพัดที่ 8 และ 18 ใบพัด (ข้างละ 4 และ 9 ใบพัด) ความเร็วของกระแสน้ำคือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เมตรต่อวินาที และความลึกของใบพัดที่จุ่มลงน้ำคือ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ 0.76 เมตร จากผลแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดกับสภาวะการไหลของคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรีคือ กังหันที่จำนวนใบพัด 8 ใบพัด ความเร็วประมาณ 1.5 เมตรต่อวินาที และที่ความลึก 0.46 เมตร

คำสำคัญ : กังหันน้ำ วิธีจำลองเชิงตัวเลข สัมประสิทธิ์แรงต้าน เครื่องสูบน้ำกำลังน้ำ

Water Turbine Design by Computational Fluid Dynamics

Prachya Mukda*
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University 76000
*E-mail: mukdaen@hotmail.com

Abstract

This research is the design of water turbine by computational fluid dynamics (CFD) for appropriate on the canal in Phetchaburi province zone. The Gambit and Fluent software are apparatus for design. The first process is the testing to fine condition for simulation. Starting from, the four turbine shapes are simulated to compare the drag coefficient (C_D) which the cup shape have maximum drag coefficient ($C_D \approx 1.35$). Next, the mesh numbers are investigated to fine the appropriate mesh as about 500,000 cells. Finally, the flow turbulent models are validated with the real testing, which the k-epsilon model is most accurately model. The second process, investigation of the parameters has effect on turbine drag force. Which are the blade amount 8 and 18 blade (each side as 4 and 9 blade), the flow velocities as 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 m/s and the turbine depth in water as 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 and 0.76 m. The results show that, the most appropriate parameters with condition of canal in Phetchaburi province are the blade amount of 8 blades, the flow velocities of 1.5 m/s and the turbine depth in water of 0.46 m.

Keywords : Water tubine, Computational Fluid Dynamics, Drag Force, Hydro power pump

1. บทนำ

จังหวัดเพชรบุรีถือเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยที่สามารถผลิตสินค้าการเกษตรรองรับการบริโภคของประชาชนในประเทศอีกทั้งยังส่งออกผลผลิตทางการเกษตรสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจาก เป็นพื้นที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรน้ำ ทั้งน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำชลประทาน ดังแสดงใน Fig 1 ซึ่งการผันน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร อุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม จำเป็นอาศัยพลังงานกลจากเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานจากน้ำมัน ไฟฟ้า หรือแรงงานคน เป็นต้น

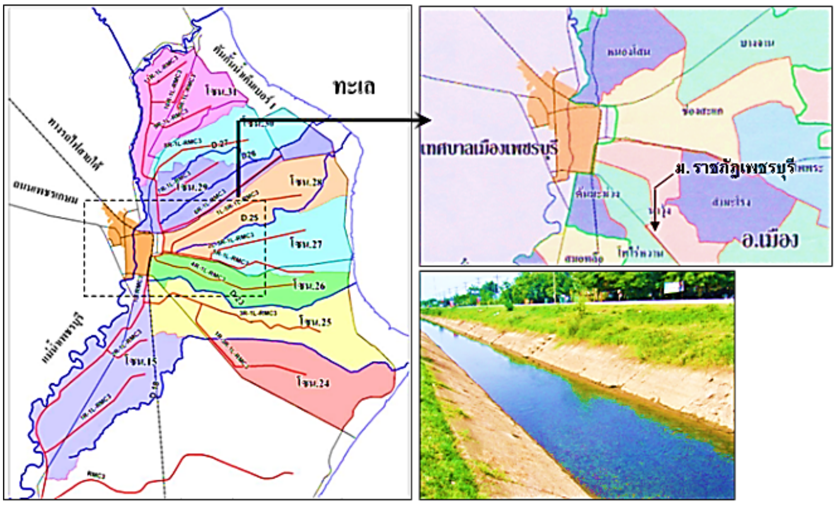


Fig 1 The canal map of Phetchaburi province

ดังนั้นจึงการพยายามคิดค้น ประดิษฐ์ เครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำมาใช้ โดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานจากธรรมชาติจากการไหลของกระแสน้ำเป็นพลังงานกล โดยส่งถ่ายกำลังของน้ำไปกังหันแล้วส่งต่อไปยังกลไกของเครื่องสูบน้ำ มาใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน หรือแรงงาน เพื่อสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังแสดงใน Fig 2 ซึ่งคือเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำต้นแบบ ที่ได้มีการประดิษฐ์ขึ้นก่อนหน้านี้ แต่ประสบปัญหาคือ ประสิทธิภาพเชิงกลต่ำ (ไม่เกิน 7 %) และบางสภาวะการไหลของน้ำ กลไกไม่สามารถทำงานได้ [1]

Fig 2 The prototype of hydro power pump

สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงกลต่ำ เนื่องจาก กำลังของกังหัน (P) ที่ได้รับจากการไหลของน้ำนั้น รับได้ไม่เต็มที่ ทำให้ทอร์ก (T) และความเร็วรอบ (ω) ของกังหันมีค่าต่ำ ตามความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ (1) และ (2) [2] ดังนี้

$$P = T\ x\omega \tag{1}$$

$$T = F_D\ x\ R \tag{2}$$

เมื่อ F_D คือแรงที่กระทำกับใบพัด และ R คือรัศมีของกังหัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของค่าแรงต้านและกำลังของใบพัด โดยขึ้นอยู่กับรูปทรงของใบพัด ความเร็วของน้ำ (V) และพื้นที่หน้าตัดของใบพัด (A) ดังนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปทรงของเลือกใบพัดที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่สูง เพื่อที่จะได้ค่าแรงต้านของใบพัด ทอร์ก ความเร็วรอบของกังหันนั้นมีค่าสูงขึ้น รวมทั้งระดับความลึกของน้ำที่กระทำกับใบพัด ให้มีความเหมาะสม ตามสมการที่ (3) [3, 4]

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho V^2 A} \tag{3}$$

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเป็นการออกแบบกังหันของเครื่องสูบน้ำพลังงานน้ำ ให้มีความเหมาะสมกับกำลังของกระแสน้ำในคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อให้ได้กำลังและประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้วิธีจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นเครื่องมือในการออกแบบ เพื่อประหยัดงบประมาณ เวลา และทรัพยากรในการออกแบบ และการทดลอง

2. **วิธีการวิจัย**

งานวิจัยนี้ ใช้วิธีจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (computational fluid dynamics: CFD) เป็นเครื่องมือในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วย 2 โปรแกรม คือ Gambit ใช้ในการสร้างแบบจำลอง และกำหนดเงื่อนไข และ Fluent เพื่อการคำนวณและแสดงผล ดังนั้นก่อนจะตัดสินใจใช้รูปแบบและเงื่อนไข (modeling) เพื่อใช้ในการจำลอง จึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบความแม่นยำ และการเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผล (validation) ก่อนที่จะตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีกระบวนการขั้นตอนดังนี้คือ

2.1 การตรวจสอบรูปทรงของใบพัด

เป็นการใช้วิธีจำลองจำลองเชิงตัวเลขเพื่อเลือกรูปทรงของใบพัด โดยการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน จากการจำลองการไหลผ่านวัตถุที่นิยมนำมาเป็นใบพัดของกังหัน ทั้งหมด 4 รูปทรงคือ (a) รูปทรงถ้วยครึ่งวงกลม (b) วงกลม (c) สี่เหลี่ยมจัตุรัส และ (d) สี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยสร้างรูปทรงทั้ง 4 มาจำลองด้วยการไหลผ่านของของน้ำที่มีความเร็ว 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 m/s ดังแสดงเงื่อนไขใน Fig 3

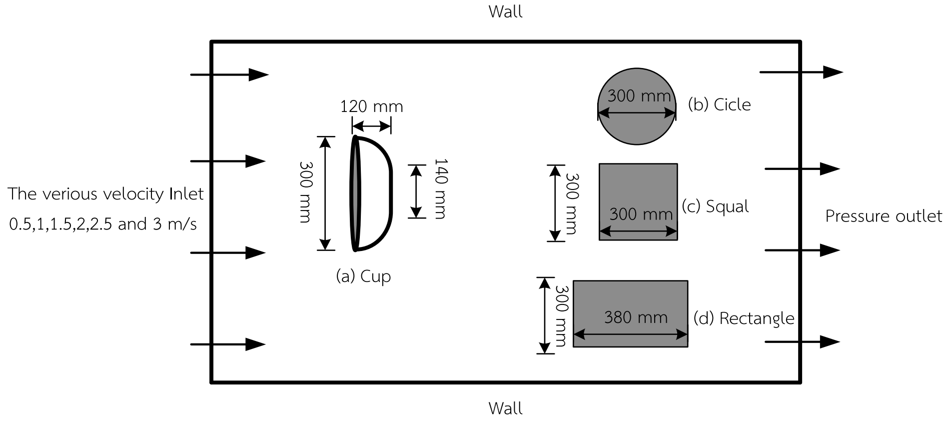


Fig 3 Drag coefficient testing of various shapes

2.2 การตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

หลังจากได้รูปทรงที่เหมาะสมแล้ว ต่อมาเป็นการตรวจสอบจำนวนเมทช์ที่ใช้ในการจำลอง เนื่องจากจำนวนเมทช์จะมีผลกับผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข ดังนั้นการหาจำนวนเมทช์ที่เหมาะสม (mesh independent) จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการจำลอง CFD ดังแสดงใน Fig 4 โดยใช้แบบจำลองของรูปทรงถ้วยที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ มากำหนดระยะห่างระหว่างเมทช์ (mesh interval) ระหว่าง 0.1 – 0.5 unit ซึ่งจำนวนเมทช์จะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างของเมทช์ที่ลดลง และกำหนดระยะเมทช์ที่ผนังห้องทดสอบคงที่ (Test section) 20 unit

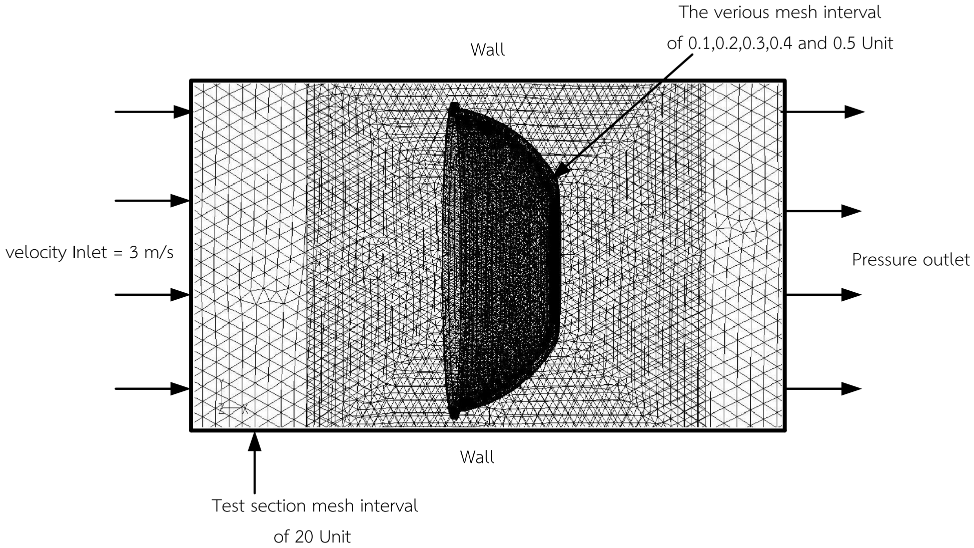
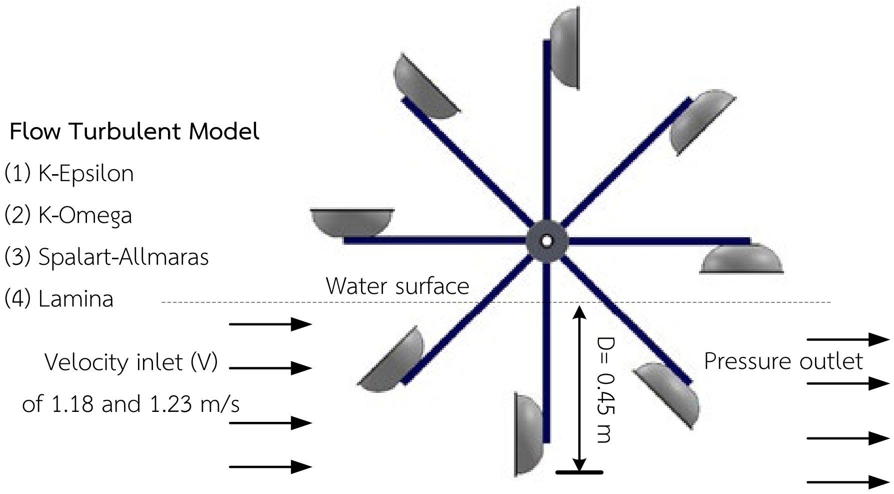


Fig 4 Mesh independent testing

2.3 การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (Validation)



(a)

(b)

Fig 5 The condition of validation between (a) CFD flow turbulent models and (b) testing

เนื่องจากรูปแบบสมการความปั่นป่วนของการไหลของวิธีจำลงเชิงตัวเลข (flow turbulent model) ที่กำหนดไว้เพื่อใช้ในการคำนวณของโปรแกรม Fluent มีความเหมาะสมสำหรับการจำลองที่สภาวะเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบสมการความปั่นป่วนของการไหล เพื่อเลือกไปใช้ในการออกแบบต่อไป ซึ่งมีอยู่ 4 รูปแบบคือ (1) K-Epsilon, (2) K-Omega, (3) Sparart-Allmaras และ (4) Lamina โดยนำผลลัพธ์ของแรงต้านที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบจริง ที่กำหนดสภาวะเงือนไขเดียวกัน เพื่อให้ได้รูปแบบสมการความปั่นป่วนของการไหลที่ให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด ดังแสดงใน Fig 5 (a) เป็นเงื่อนไขและขอบเขตในการจำลอง CFD เพื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบแรงต้านจริง ที่แสดงใน Fig 5 (b) ของกังหัน 8 ใบคู่ ที่จุ่มใบพัดลงน้ำลึก (D) 0.45 m โดยเปรียบเทียบกับความเร็วของกระแสน้ำ (V) สองค่าคือ 1.18 และ 1.23 m/s โดยใช้ตาชั่งสปริงยึดกังหันที่อยู่ด้านบนผิวน้ำวัดค่าเป็นแรงต้านรวม (F_D) ที่น้ำกระทำกับใบพัด

2.4 การตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้านของใบพัด

หลังจากได้รูปแบบสำหรับการจำลองแล้วจากหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการตรวจสอบแรงต้านที่เหมาะสมของใบพัด (F_D) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้านตาม Fig 6 ซึ่งเป็นการตรวจสอบแรงต้านจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนใบพัด (N) คือ 8 และ 18 (ใบพัดคู่) การเพิ่มความเร็วของกระแสน้ำ (V) ที่ระดับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 m/s และระดับความลึกของใบพัดจุ่มลงน้ำ (D) ที่ 0.36, 0.46, 0.56, 0.66 และ 0.76 m

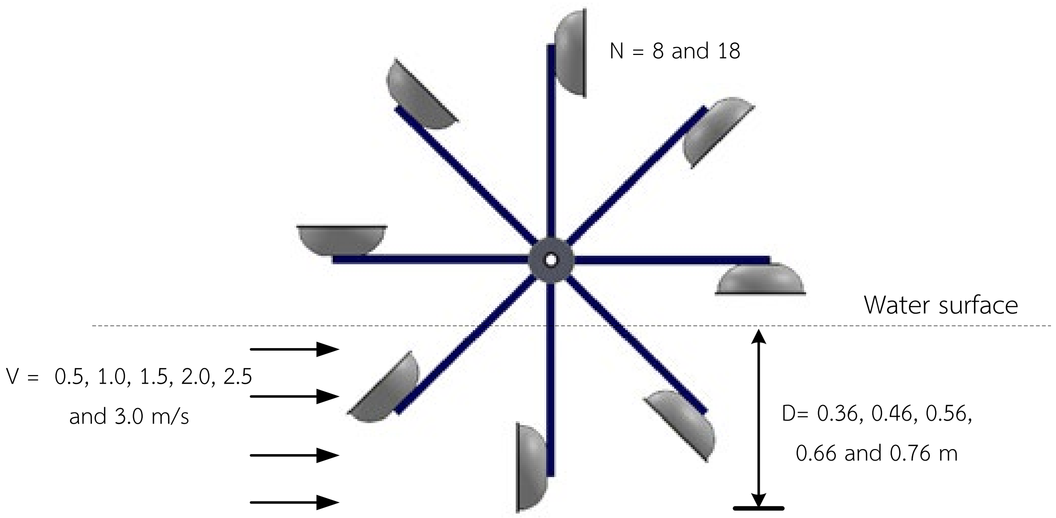


Fig 6 Drag force from various parameters

3. ผลและการอภิปรายผลวิจัย

3.1 ผลการตรวจสอบรูปทรงของใบพัด

จาก Fig 7 เป็นการตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปทรงใบพัด 4 รูปทรง และเพิ่มความเร็วของน้ำไหลกระทบกับใบพัด (F_D) แล้วนำมาคำนวณเป็นสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ตามสมการที่ (1) ซึ่งรูปทรงถ้วย (Cup) ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดประมาณ 1.3 เนื่องจากรูปทรงนี้ให้ค่าแรงต้านที่เกิดจากความดันสูงแต่พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (A) นั้นมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (3) และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตรงกับค่าเรโนลด์โดยมีค่าสูงขึ้น อิทธิพลของความหนืดของน้ำกับใบพัดจึงลดลง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) และวงกลม (Circle) มีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากเป็นรูปทรงแบนราบ แรงต้านที่เกิดจากแรงดันจึงมีค่าต่ำกว่ารูปทรงถ้วย

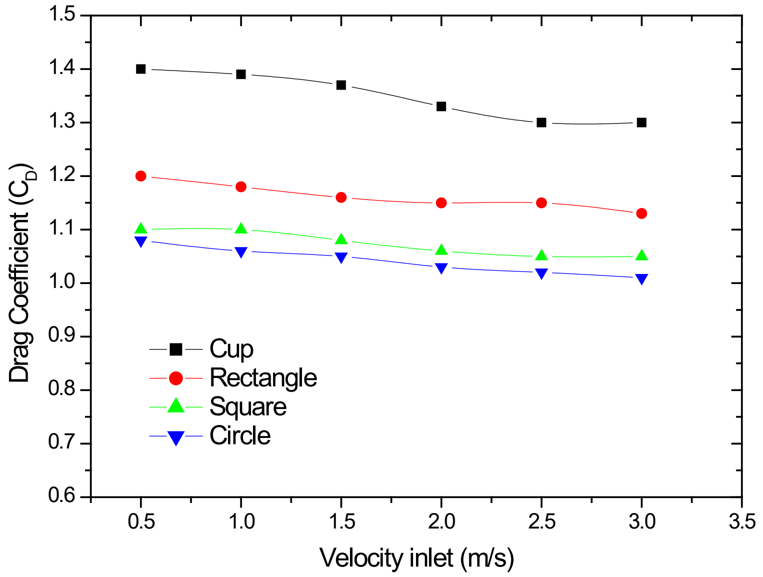


Fig 7 Drag coefficient results of various shapes

3.2 ผลการตรวจสอบจำนวนเมทช์สำหรับแบบจำลอง

จาก Fig 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปทรงถ้วยนั้นมีค่าลดลงเมื่อจำนวนเมทช์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งจำนวนเมทช์ประมาณ 500,000 cell ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะมีค่าต่ำสุดและจะยังคงที่เมื่อจำนวนเมทช์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความละเอียดหรือจำนวนเมทช์ที่มากว่า 500,000 cell จะไม่มีผลกระทบกับผลลัพธ์หรือมีผลน้อยมาก ดังนั้น จึงเลือกจำนวนเมทช์นี้ เพื่อความประหยัดเวลาในการคำนวณ การแสดงผล และเหมาะสมกับเงื่อนไขสำหรับการจำลองนี้

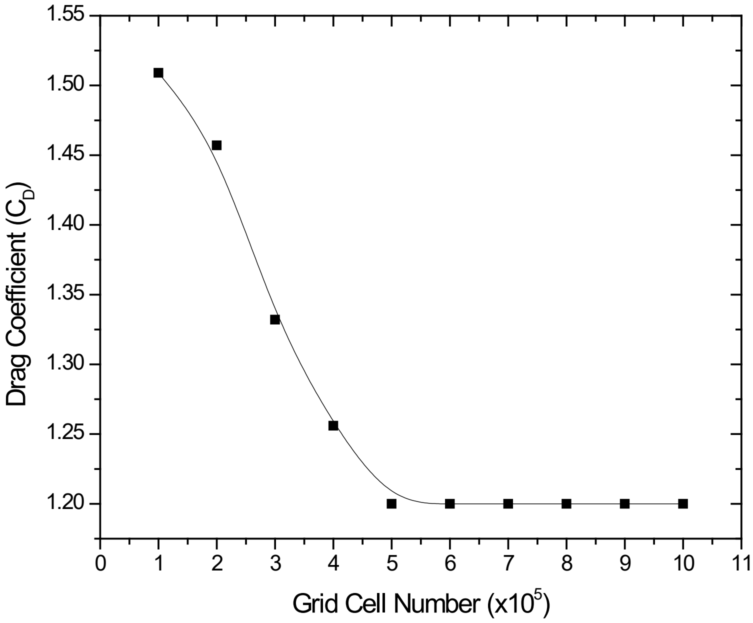


Fig 8 Mesh independent testing results

3.3 ผลการตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหล (Validation)

การตรวจสอบรูปแบบสมการความปั่นป่วนสำหรับการจำลองการไหลของการทดลองนี้ เป็นการเปรียบเทียบค่าแรงต้านของกังหันรวม ระหว่างวิธีจำลองเชิงตัวเลข CFD ของรูปแบบสมการความปั่นป่วนการไหลทั้ง 4 รูปแบบกับการทดสอบจริง ดังแสดงใน Fig 9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นค่าแรงต้านที่เกิดขึ้นกับกังหันมีค่าเพิ่มขึ้นตามกันทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกันกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (3) โดยรูปแบบสมการ k-Epsilon เป็นรูปแบบสมการที่ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับการทดสอบจริงมากที่สุด แต่มีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย ไม่เกิน 5 **%** ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า รูปแบบสมการนี้สามารถนำเป็นใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบกังหันในเงื่อนไขอื่นต่อไปได้

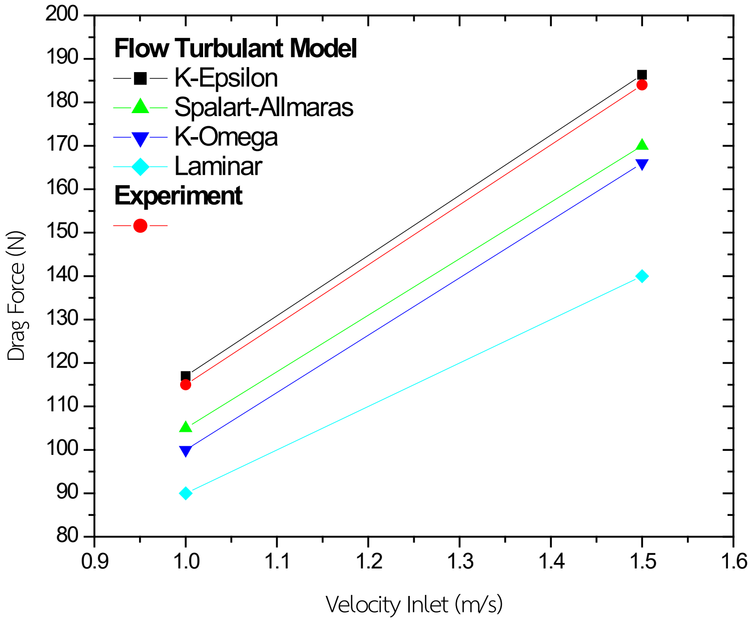


Fig 9 Validation between results between experiment and the various flow turbulent models

3.4 ผลการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้านของใบพัด

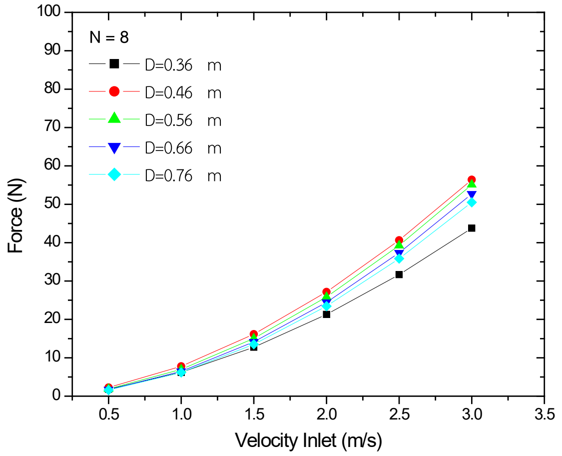
ผลการตรวจสอบแรงต้านรวมของกังหันที่มีจำนวนใบพัด N = 8 และ 18 ใบ ซึ่งได้แสดงใน Fig 10 (a) และ (b) แสดงให้เห็นว่า เมื่อกังหันที่มีการเพิ่มจำนวนใบพัด (N) และเพิ่มค่าความเร็วของกระแสน้ำ (Velocity inlet) จะทำให้ค่าแรงต้านรวมที่เกิดขึ้นกับกังหันมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นค่าที่แปรผันตรงกันและสอดคล้องกับความสัมพันธ์ในสมการที่ (4) ดังนี้คือ

$$F_D = \frac{C_D \rho V^2 A}{2} \tag{4}$$

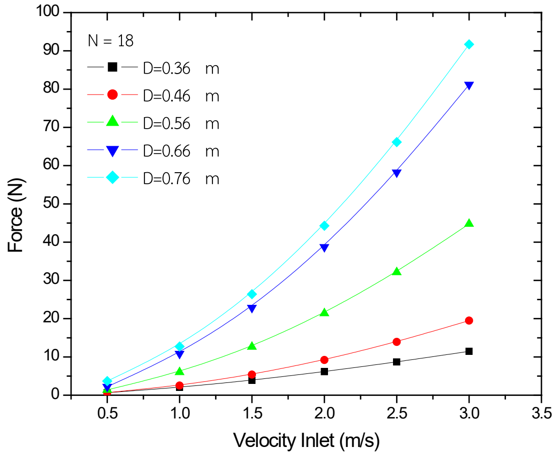
นอกจากนี้ ผลจากการเพิ่มค่าความลึกของกังหันพัดที่จุ่มลงน้ำ (D) ก็จะทำให้ค่าแรงต้านนั้นสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ดังแสดงใน Fig 10 (b) โดยมีจำนวนใบพัด N = 18 (ข้างละ 9 ใบพัด) ที่ความลึกของกังหันที่จุ่มลงน้ำ D = 0.76 m ที่ความเร็ว 3 m/s จะให้ค่าแรงต้านสูงสุดคือ 95 N เนื่องจาก เมื่อเพิ่มค่าความลึกของกังหันที่จุ่มลงน้ำเท่ากับทำให้พื้นที่หน้าตัดของใบพัดที่รับแรงดัน (A) มีค่าที่สูงขึ้น แต่เมื่อความลึกของกังหันที่จุ่มลงน้ำที่มีค่าต่ำคือ 0.36 และ 0.46 m จะเกิดแรงที่กระทำกับใบกังหันค่อนข้างต่ำ เนื่องจากพื้นที่ของใบพัดส่วนด้านหน้าถูกกระทำจากแรงดันของน้ำมีค่าน้อย แต่เมื่อเพิ่มความลึกของกังหันที่จุ่มลงน้ำเพิ่มขึ้น พื้นที่ของใบพัดส่วนหน้าหน้าของกังหันมีค่ามากกว่าใบพัดส่วนหลัง จึงทำให้แรงต้านมีค่าสูงขึ้นมาก สังเกตจากการกระจายแรงดันกับพื้นที่ของใบพัด ที่แสดงใน Fig 11 (c) และ (d)

อย่างไรก็ตามแรงต้านที่เกิดขึ้นใน Fig 10 (a) ที่มีใบพัดจำนวน 8 ใบ (ข้างละ 4 ใบพัด) ที่ความลึกของกังหันจุ่มลงน้ำที่ D = 0.46 m จะให้ค่าแรงต้านของกังหันรวมมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากเป็นความลึกที่ทำให้พื้นที่หน้าตัดของใบพัดรับแรงดันของน้ำได้เต็มใบทั้งสองใบพร้อมกัน และเป็นองศาที่แรงกระทำกับพื้นที่ที่ตั้งฉากของใบพัดมากที่สุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการกระจายตัวของความดันใน Fig 11 (a) และ (b)

เนื่องจากคลองส่งน้ำในจังหวัดเพชรบุรีเป็นคลองขนาดเล็ก ซึ่งมีความลึกและความเร็วของกระแสน้ำค่อนข้างต่ำ ดังนั้นกังหันที่มีความเหมาะสมกับสภาวะการไหลของคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรีคือ กังหัน N = 8 และที่ความลึก 0.46 m และความเร็วประมาณ 1.5 m/s

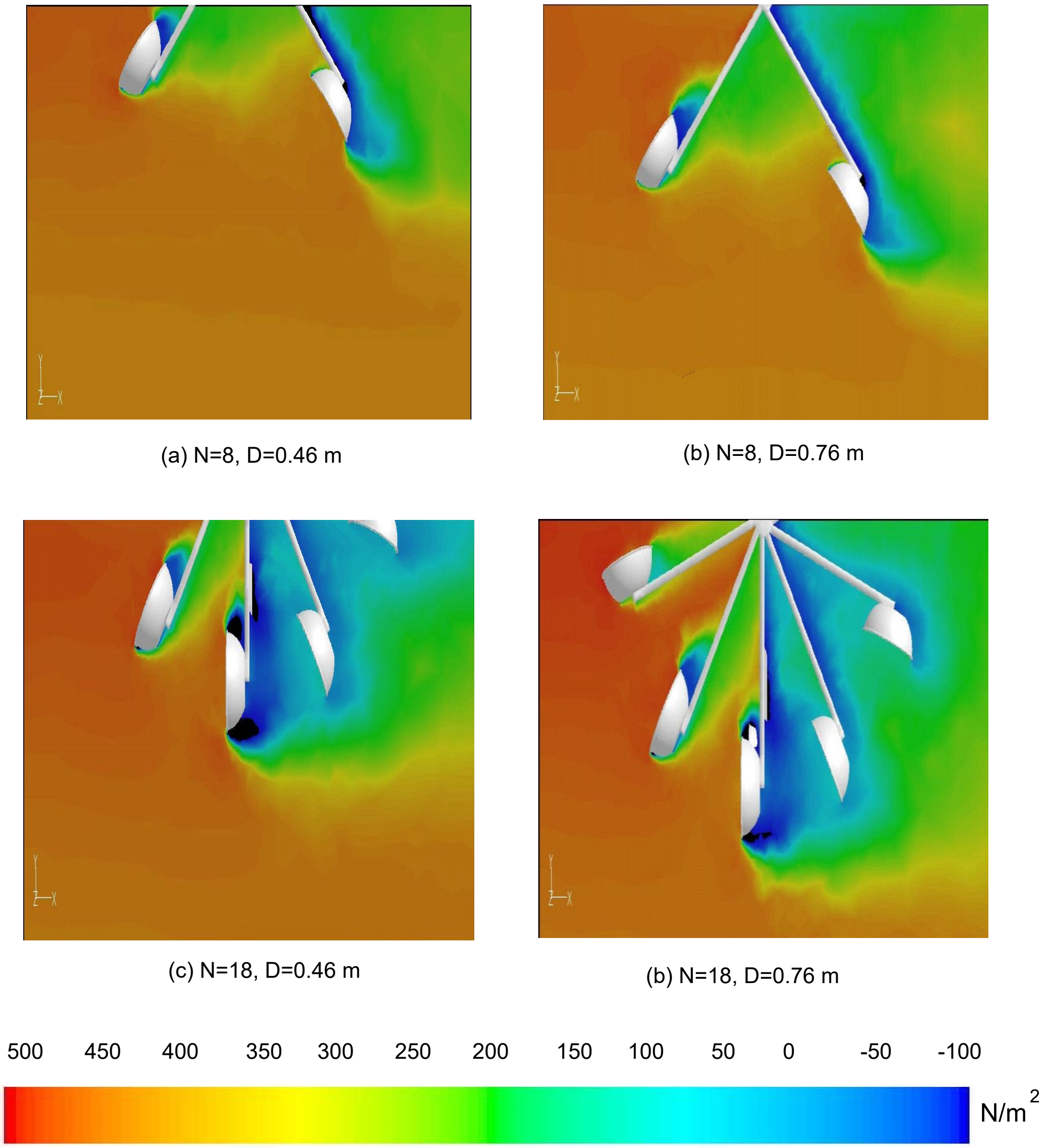


(a)



(b)

Fig 10 Drag forces of turbine from various depth and water flow velocities



(a) N=8, D=0.46 m

(b) N=8, D=0.76 m

(c) N=18, D=0.46 m

(b) N=18, D=0.76 m

Fig 11 Pressure contours of turbine

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบกังหันด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม Gambit และ Fluent เป็นเครื่องมือในการออกแบบ เริ่มจากเปรียบเทียบรูปทรงด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) ของใบพัด ด้วยการสร้างรูปทรงของใบพัด 4 แบบมาเปรียบเทียบ ซึ่งได้รูปทรงถ้วยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุด ($C_D \approx 1.35$) ต่อมา ได้มีการตรวจสอบจำนวนเมทช์เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสม (≈ 500,000 cell) และการเปรียบเทียบเพื่อยืนยันแบบจำลองความปั่นป่วนการไหล ซึ่งแบบจำลอง k-epsilon ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด หลังจากนั้นได้นำเงื่อนไขที่ได้ มาจำลองเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกับแรงต้าน คือกังหันที่จำนวนใบพัด N = 8 และที่ความลึก 0.46 m และความเร็วประมาณ 1.5 m/s จะมีความเหมาะสมกับสภาวะการไหลของคลองส่งน้ำของจังหวัดเพชรบุรีมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนกับโครงการวิจัยนี้ จาก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ตามมติคณะรัฐมนตรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ปรัชญา มุขดา “**เครื่องสูบน้ำด้วยกำลังน้ำ**” มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ Thailand Research Expo 2015. 20 สิงหาคม 2558

[2] รศ.สุนันท์ ศรัณยนิตย์ “**แรงต้านของวัตถุ 3 มิติ จากของไหลที่อัดตัวไม่ได้**” กลศาสตร์ของไหล (FLUID MECHANICS) สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), พ.ศ.2546, หน้าที่ 487

[3] Daugherty, R.L. and Franzini, J.B. (1989), **Fluid Mechanics with Engineering Application,** SI Metric edition, McGraw-Hill Book Company.

[4] Hibbeler, R.C., “**Engineering Mechanic : Dynamics**” 2nd.ed., Collier Macmillan Publishers, London, 1978