

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว

STUDY ON SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE



เลขหมู่..... 72909
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี...๒...๕...๒๕๕๐

b. 1177251A
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว

STUDY ON SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว

STUDY ON SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE

ผู้จัดทำ

1. นายจรัส บุณณะกิติ รหัสประจำ 46010094
2. นายจร หมอทรัพย์ รหัสประจำ 46010098
3. นายอุทัย องค์กรชัยกุล รหัสประจำ 46010982



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว

นายจรัส นูระกะกิติ 46010094
 นายจรุ หมดทรัพย์ 46010098
 นายอุทัย องค์ชัยคุปต์ 46010982
 ผศ.มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและสร้างชุดทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว ซึ่งในการศึกษาจะมีการปรับเปลี่ยน จำนวนปีกกังหันน้ำที่จำนวน 3 ใบพัด, 4 ใบพัด, 5 ใบพัด ขนาดมุมปีกกังหันน้ำระหว่างมุม 20 องศา ถึง 80 องศา และอัตราการไหลในช่วง 900 ลิตรต่อนาที ถึง 1200 ลิตรต่อนาที เพื่อให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการออกแบบใบพัดจะใช้มาตรฐานของ NACA 6510 จากการศึกษาทดลองพบว่ากังหันน้ำชนิดที่มีจำนวนใบพัดน้อยเหมาะสมที่จะใช้งานกับอัตราการไหลของน้ำที่สูง ส่วนกังหันน้ำที่มีจำนวนใบพัดมากเหมาะสมที่จะใช้งานกับอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำ และขนาดมุมปีกกังหันน้ำที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพที่สูงอยู่ในช่วงมุม 70 องศา ถึง 80 องศา

Study on Single Stage Axial Flow Turbine

Mr.Jarat Buranakiti 46010094

Mr.Jaray Moesub 46010098

Mr.Uthai Ongchaikupt 46010982

Asst.Prof.Monton Jhaikuson Advisor

Abstract

This project is prepared to study and set up the efficiency test of axial flow turbine according to single stage axial flow turbine by varied the number of turbine blades from three turbine blades to five turbine blades, angle of attack between 20 degrees to 85 degrees and flow rate between 900 L/min to 1200 L/min in order to have the most efficiency. Moreover, the design of the testing blades base on NACA 6510. The results of the experiment have shown that less number of turbine blades is suitable for expected high amount of flow rate. On the other hand, the greater number of turbine blades is proper for expected low amount of flow rate. The optimum value of attacked angle is from 70 degrees to 80 degrees

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคลากรหลายท่านด้วยกัน ซึ่งคนแรกที่ขอขอบคุณคือ อาจารย์มงคล ใจกุลศล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ที่คอยให้คำแนะนำในด้านต่างๆ และให้ความช่วยเหลือพวกเรามาตลอดจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์จำลอง ปรามแก้ว ที่ช่วยให้ความรู้และให้การสนับสนุนด้านการเงินที่ทำให้งานดำเนินไปได้ด้วยความราบรื่น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณพี่นิก ที่ให้ความสะดวกด้านธุรการเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณลุงมณฑา เทียมเมือง ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านการทำงานแก่พวกเราเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่โต้ง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ช่วยให้ความรู้เรื่องการหล่อใบพัดกับพวกเรา

ขอขอบคุณนางสาวพัชรินทร์ นิรันราย ที่ช่วยแนะนำและช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ เสมอมา

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยมอบความรู้และประสบการณ์ที่มีค่าซึ่งตลอด 4 ปีที่ผ่านมา ตลอดจนเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

นี้ขอขอบคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดา ที่เลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเรื่อยมาจนสำเร็จการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

จรัส บุณณะกิติ

จเร หมอทรัพย์

อุทัย องค์กรชัยกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการไหล	
2.1 ชนิดการไหลของของไหล	3
2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	4
2.3 สมการความต่อเนื่อง	5
2.4 สมการพลังงาน	5
2.5 เลขเรย์โนลด์	6
2.6 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม	7
2.7 ชั้นความหนืดในการไหลแบบปั่นป่วน	8
2.9 แผนภูมิสำหรับหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน	9
2.10 การสูญเสียหลักและการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ	11
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบใบพัด	
3.1 สมการกึ่งหันของออยเลอร์	13
3.2 แรงที่กระทำบนใบพัด	15
3.3 ทฤษฎีการเกิดโพรง	18
3.4 การคำนวณระยะห่างระหว่างใบพัดและจำนวนใบพัดที่เหมาะสม	19
3.5 มุมปะทะของใบพัด	20
3.6 การคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด	20
3.7 ความเร็วจำเพาะ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ทฤษฎีคำนวณประสิทธิภาพ	23
บทที่ 4 หลักการทำงานและขั้นตอนการทดลอง	
4.1 ชั้นส่วนต่างๆของชุดทดลอง	25
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	26
4.3 วิธีการทดลอง	26
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาขนาดและวิธีการสร้างไบพัต	42
ภาคผนวก ข. การวัดของไหล	55
ภาคผนวก ค. ข้อมูลผลการทดลอง	64



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงมวลของไหลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด	5
รูปที่ 2-2 แสดงการเกิด Fully developed turbulence	8
รูปที่ 2-3 Friction Factor (Moody diagram)	9
รูปที่ 3-1 แสดงเวกเตอร์ที่กระทำต่อใบพัด	13
รูปที่ 3-2 แสดง Velocity Triangle for an axial flow hydraulic turbine	14
รูปที่ 3-3 แสดงแรงกระทำต่อเพนอากาศ	16
รูปที่ 3-4 แสดงการเกิดแรงยก	16
รูปที่ 3-5 แสดงการเกิดแรงต้าน	17
รูปที่ 3-6 แสดงกราฟคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกังหัน	21
รูปที่ 3-7 แสดงแผนภาพของเวกเตอร์ความเร็วตรงจุดทางออกจากใบพัด	21
รูปที่ 4-1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของชุดทดลอง	25
รูปที่ 4-2 แสดงชุดทดลองที่เสร็จสมบูรณ์	26
รูปที่ 4-3 แสดงบริเวณที่ติดตั้งกังหันน้ำ	27
รูปที่ 4-4 แสดงหน้างานที่ใช้วัดค่าแรงบิดและความเร็วเชิงมุม	27
รูปที่ 4-5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงบิด	28
รูปที่ 4-6 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดมุม	28
รูปที่ 4-7 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วเชิงมุม	28
รูปที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว ชนิด 3 ใบพัด	29
รูปที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว ชนิด 4 ใบพัด	30
รูปที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียว ชนิด 5 ใบพัด	31
รูปที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล $0.0153 \text{ m}^3/\text{s}$	32
รูปที่ 5-5 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล $0.0175 \text{ m}^3/\text{s}$	33

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0180 m ³ /s	33
รูปที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0191 m ³ /s	34
รูปที่ 5-8 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัดที่อัตราการไหลค่าต่างๆ	35
รูปที่ 5-9 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัดที่อัตราการไหลค่าต่างๆ	35
รูปที่ 5-10 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ	36
รูปที่ 5-11 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0191 m ³ /s	36
รูปที่ 5-12 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0180 m ³ /s	37
รูปที่ 5-13 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0175 m ³ /s	37
รูปที่ 5-14 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 0.0175 m ³ /s	38
รูปที่ ก-1 แสดงส่วนประกอบลักษณะเฉพาะของแพนอากาศ	43
รูปที่ ก-2 แสดงรูปค่าส่วนประกอบที่สำคัญในการเขียนรูปแพนอากาศจาก- ตารางการแนะนำของแพนอากาศ NACA 6510 section C4	45
รูปที่ ก-3 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 3 ใบพัด	49
รูปที่ ก-4 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 4 ใบพัด	49
รูปที่ ก-5 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 5 ใบพัด	49
รูปที่ ก-6 แสดงลักษณะใบพัดต้นแบบที่ได้จากการปั้นดินญี่ปุ่น	50
รูปที่ ก-7 แสดงการสร้างโมลซิลิโคน	50
รูปที่ ก-8 แสดงโมลซิลิโคนที่ถูกสร้างขึ้นสมบูรณ์	51
รูปที่ ก-9 แสดงโมลปูนปลาสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นสมบูรณ์	51
รูปที่ ก-10 แสดงการใส่แผ่นไฟเบอร์กลาสในขบวนการหล่อเรซิน	52
รูปที่ ก-11 แสดงครีบที่เกิดจากการหล่อใบพัด	52
รูปที่ ก-12 แสดงใบพัดที่ตกแต่งเรียบร้อยสมบูรณ์	52
รูปที่ ก-13 แสดงใบพัดที่ยึดกับกลไกปรับมุม	53
รูปที่ ก-14 แสดงตำแหน่งกลไกการปรับมุม	53
รูปที่ ก-15 แสดงกังหันชนิด 3 ใบพัด	53
รูปที่ ก-16 แสดงกังหันชนิด 4 ใบพัด	54
รูปที่ ก-17 แสดงกังหันชนิด 5 ใบพัด	54
รูปที่ ข-1 แสดงमानอมิเตอร์รูปตัวยู (U-tube)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข-2 แสดงOrifice โดยวิธีวัดผลต่างของระดับของไหล	58
รูปที่ ข-3 แสดงตำแหน่งของรูเจาะเพื่อวัดความดัน	59
รูปที่ ข-4 แสดงหลอดปีโคท (Pitot tube)	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความขรุขระสัมบูรณ์	12
ตารางที่ 2-2 Roughness Factor	14
ตารางที่ 3-1 แสดงค่าดัชนีการเกิดโพรงวิฤติสำหรับกังหัน (Daugherty, 1989)	19
ตารางที่ 3-2 แสดงการแนะนำการออกแบบ Kaplan Turbine (Hydraulic Turbines)	19
ตารางที่ ก-1 แสดงการกระจายความหนาของแพนอากาศ NACA 6510 section C4	44
อัตราส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคอर्ड	
ตารางที่ ก-2 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 5 ใบพัด	46
ตารางที่ ก-3 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 4 ใบพัด	47
ตารางที่ ก-3 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 3 ใบพัด	48
ตารางที่ ค-1 แสดงผลการสอบเทียบอัตราการไหล	65
ตารางที่ ค-2 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบ ที่อัตราการไหล $0.0153 m^3/s$	65
ตารางที่ ค-3 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0175 m^3/s$	66
ตารางที่ ค-4 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0180 m^3/s$	66
ตารางที่ ค-5 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0191 m^3/s$	67
ตารางที่ ค-6 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0153 m^3/s$	67
ตารางที่ ค-7 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0175 m^3/s$	68
ตารางที่ ค-8 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0180 m^3/s$	68
ตารางที่ ค-9 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0191 m^3/s$	69
ตารางที่ ค-10 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0153 m^3/s$	69
ตารางที่ ค-11 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0175 m^3/s$	70
ตารางที่ ค-12 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0180 m^3/s$	70
ตารางที่ ค-13 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล $0.0191 m^3/s$	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ด้วยสถานการณ์สังคมเราปัจจุบันนี้มีความต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ถือว่ามามีอิทธิพลต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยความต้องการพลังงานไฟฟ้าในยุคสมัยนี้มีมากกว่ายุคสมัยก่อนอันสืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา และประเทศที่มีการพัฒนาแล้ว ดังนั้นเพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่กำลังทวีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงได้มีการพยายามพัฒนาเครื่องมือต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้มีแนวคิดในการศึกษา และทดลองเพื่อหาลักษณะของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. การนำเอาความรู้ในรายวิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanic) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบกังหันน้ำ และสร้างชุดทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันน้ำ
2. เพื่อศึกษาออกแบบ และสร้างกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยว
3. การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรของกังหัน
4. สร้างชุดทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันน้ำที่เหมาะสมโดยสามารถใช้ในการเรียนในรายวิชา Mechanical engineering laboratory

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการนี้จะทำการศึกษาผลกระทบบต่อประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยว (Single stage axial flow turbine) โดยจะมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ

- 3.1 จำนวนปีกกังหัน (Number of blades)
- 3.2 มุมปะทะกังหันน้ำ (Angle of attack)
- 3.3 อัตราการไหล (Flow Rate)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำเอาความรู้ที่ได้เรียนในวิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) มาประยุกต์ใช้ได้จริงและเกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น มีความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเตี้ยตลอดจนเข้าใจถึงอิทธิพลที่ก่อให้เกิดผลต่างๆกับกังหัน และสามารถนำเอาชุดทดลองไปใช้ได้จริง โดยเกิดประโยชน์มากที่สุดในการเรียนการสอน

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการทำการศึกษาดทดลองจะเริ่มจากป้อนน้ำส่งน้ำผ่านไปยังท่อส่งเพื่อไปถ่ายเทพลังงานขับเคลื่อนกังหัน เมื่อกังหันได้รับพลังงานจากน้ำก็จะมีการเปลี่ยนพลังงานของไหลจากน้ำเกิดเป็นงานขึ้น (กังหันหมุน) เราจะทำการวัดความเร็วรอบ (Angular velocity) อัตราการไหล (Flow rate) และแรงบิด (Torque) ของกังหัน เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หางานที่กังหันให้ออกมา เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของกังหัน ซึ่งเราจะทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆเพื่อดูผลกระทบต่อกังหันต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีการไหลของของไหล

2.1 ชนิดการไหลของของไหล

ชนิดการไหลของของไหลมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้
การไหลแบบคงตัวและการไหลแบบไม่คงตัว

- 1) การไหลแบบเอกภาพและอเนกภาพ
- 2) การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง
- 3) การไหลแบบหมุนวนและการไหลแบบไม่หมุนวน
- 4) การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบคงตัว (Steady flow) การไหลจะคงตัวก็ต่อเมื่อคุณลักษณะต่างๆของของไหล เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น และอื่นๆ ที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านทางท่อในอัตราที่คงที่

การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady flow) การไหลจะไม่คงตัวก็ต่อเมื่อคุณลักษณะของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดขณะที่เกิดการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่จุดต่างๆในของไหลการไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านทางท่อในอัตราที่ไม่คงที่

การไหลแบบเอกภาพ (Uniform flow) เป็นการไหลขณะที่ความเร็วในการของของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ในของไหล เช่นการไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่

การไหลแบบอเนกภาพ (Non-uniform flow) ความเร็วของการไหลของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่คงที่

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) การไหลของของไหลที่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นแผ่นบางๆหรือเป็นชั้นเรียบบาง อนุภาคของของไหลจะไม่แตกกระจายและจะเคลื่อนที่ในแนวขนานเป็นชั้นไม่ปะปนกัน โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่อย่างมีระเบียบราบเรียบ การไหลแบบราบเรียบจะเกิดจากความหนืดของของไหลที่ไหลไปเป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน ($\tau = \mu dy/dx$) ความเร็วในการไหลจะมีค่า

การไหลแบบราบเรียบ (Turbulent flow) การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Turbulent แทบทั้งสิ้น การไหลของของไหลซึ่งในขณะไหลนั้น อนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็น

ระเบียบ และมีการหมุนวนปั่นป่วนขณะไหลในระหว่างชั้นของของไหลอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ความเร็วในการไหลจะมีค่าสูง

2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Flow rate and mean velocity)

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเฉลี่ย (Mean velocity) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลจึงมีความเสียดทานและความเค้นเฉือนเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดมีค่าไม่เท่ากัน เช่น ของไหลที่ผ่านท่อกลม ที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อมีความเร็ว น้อยมากซึ่งอาจมีค่าเป็นศูนย์ก็ได้ ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยาก และสับสนมาก จึงได้มีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้นเพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆได้ ความเร็วเฉลี่ย อาจหาได้จากสมการ

$$V = \frac{1}{A} \int v dA$$

โดย V คือ ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง

Q คือ อัตราการไหลของของไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

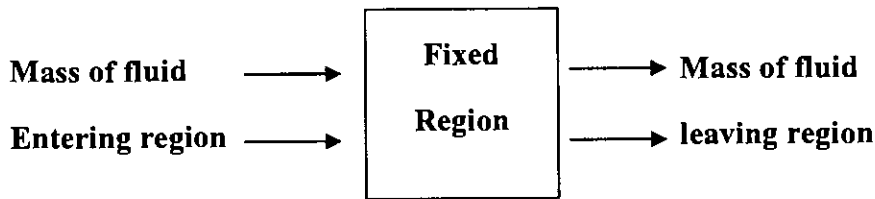
อัตราการไหลมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$Q = \int_A v dA = AV \quad (2.1)$$

ถ้ารู้ค่าอัตราการไหลแล้วขอมหาค่าความเร็วเฉลี่ยโดยจะวัดขึ้นไปจากแกนท่อเป็นระยะ $\frac{h}{4}$ และ วัด

ลงมาจากแกนท่อเป็นระยะ $\frac{h}{4}$ และนำทั้งสองค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ย

2.3 สมการความต่อเนื่อง (Equation of continuity)



รูปที่ 2-1 แสดงมวลของไหลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด

สสารใน Fix Region ไม่สามารถสร้างขึ้นเองหรือถูกทำลายได้ ดังนั้นอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนดรวมกับอัตรา Accumulation ของมวลในขอบเขตนั้น ถ้าการไหลเป็นแบบ Steady (ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) แล้วอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนด

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A$$
(2.2)

โดย V_1, V_2 คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อทางไหลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m^2)

2.4 สมการพลังงาน (Energy's Equation)

สมการพลังงานจะถูกนำไปใช้กับการไหลของของไหลเมื่อของไหลเคลื่อนที่ที่จะมีพลังงานต่างๆเกิดขึ้นด้วย เช่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ปัญหาของของไหลที่เคลื่อนที่อาจทำได้โดยใช้หลักต่างๆดังนี้

- 1) Principle of conservation of mass
- 2) Principle of conservation of energy
- 3) Principle of conservation of momentum

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + (u_2 - u_1 - Q_H) - h$$

สมการนี้สามารถใช้ได้ทั้งของเหลว ก๊าซ และไอ แต่ต้องเป็นการไหลแบบคงตัว ในการไหลแบบปั่นป่วนค่า α จะมีค่าเข้าใกล้ 1 มากเพื่อความสะดวกจึงสมมติให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีเครื่องจักรระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 เทอมของ h_m สามารถตัดทิ้งได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2.3)$$

$$h_L = (U_2 - U_1) - Q_H$$

โดย h_L คือ พลังงานสูญเสียความเสียดทานของของไหลต่อหน่วยน้ำหนัก (m)

2.5 เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

ค่า Reynolds Number เป็นค่าที่สำคัญที่สุดในการที่จะระบุว่าการไหลของของไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งค่านี้จะขึ้นกับความเร็วในการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ และค่าความหนาแน่นของของไหล การแบ่งย่านการไหลว่าเป็น Laminar Flow หรือ Turbulent Flow จะพิจารณาที่ค่านี้ โดยถ้าค่า Reynolds Number อยู่ในช่วง 0 ถึง 2300 จะเป็นย่าน Laminar Flow ถ้าอยู่ในช่วง 2300 ถึง 4000 จะเป็นย่านวิกฤต (Critical Zone) ซึ่งจะมีการไหลทั้งสองแบบผสมกัน และถ้าค่า Reynolds Number อยู่ในช่วงที่มากกว่า 4000 จะอยู่ในย่าน Turbulent Flow

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.4)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

V คือ ความเร็วในการไหล (m/s)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลม (m)

μ คือ ความหนืดของของไหล ($kg/m.s$)

ในกรณีที่ท่อไม่ใช่หน้าตัดวงกลม ($D = D_h$)

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.5)$$

D_h คือ Hydraulic Diameter (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

P คือ The wetted perimeter of pipe (m)

สำหรับ Rectangular Duct ที่มีความยาวแต่ละด้านเป็น b และ h

$$D_h = \frac{2bh}{b+h} \quad (2.6)$$

สำหรับท่อกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง D

$$D_h = D \quad (2.7)$$

2.6 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม

ในการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วจะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นของไหล เป็นผลให้เกิดการไหลวนเล็กๆจำนวนมาก ความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยส่วนของความหนืดและส่วนของความปั่นป่วน ความเค้นเฉือนของความปั่นป่วนสามารถกำหนดได้เป็น 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 กำหนดให้อยู่ในรูปคล้ายกับการไหลแบบราบเรียบ

$$\tau_{turb} = \eta \frac{du}{dy}$$

โดย η คือ ความหนืดของการไหลวน (Eddy viscosity) ดังนั้นความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \frac{du}{dy} + \eta \frac{du}{dy} \\ \tau &= \rho(\nu + \varepsilon) \frac{du}{dy} \end{aligned} \quad (2.8)$$

โดย ε คือ Kinematics eddy viscosity

ในบริเวณชิดกับผนังท่อ ความเค้นเฉือนในส่วนของความหนืดจะมีอิทธิพลสูง ในส่วนของความปั่นป่วนจะมีค่าเป็นศูนย์ และที่ศูนย์กลางท่อ ค่า du/dy จะเท่ากับศูนย์ จึงทำให้ไม่เกิดความเค้นเฉือนใดๆเลย และทั้งการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน ความเค้นเฉือนจะมีค่าสูงสุดที่ผนังท่อและจะลดลงแบบ Linear จนถึงศูนย์ที่ศูนย์กลางท่อ

แบบที่ 2 กำหนดให้อยู่ในรูปของความเร็วมวลที่เปลี่ยนแปลง คือ

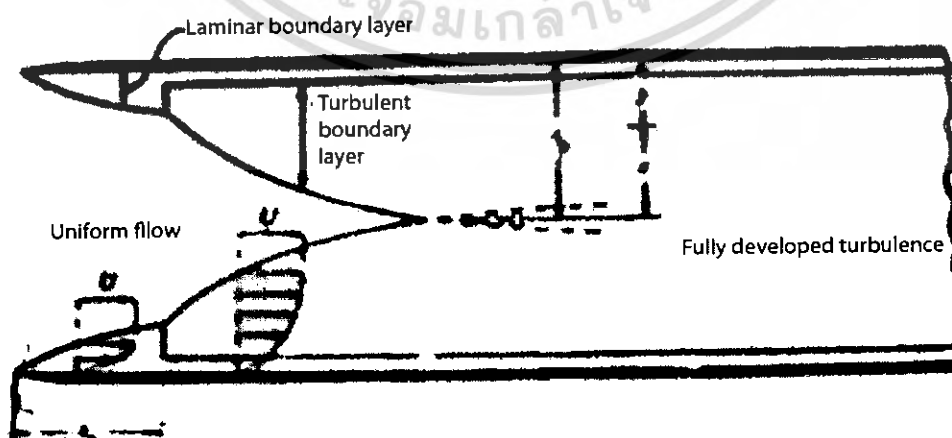
$$\tau_{turb} = -\rho u' v'$$

โดย u', v' คือ ความเร็วในส่วนที่เปลี่ยนแปลงในแกน X และ Y ดังนั้นความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} - \rho u' v'$$

2.7 ชั้นความหนืดในการไหลแบบปั่นป่วน

ในการไหลแบบราบเรียบ ถ้าของไหลไหลเข้าโดยปราศจากสิ่งรบกวน ความเร็วของของไหลจะมีค่าเท่ากันตลอดความยาวท่อ ยกเว้นที่ผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์ และเมื่อของไหลไหลไปตามท่อ Velocity profile จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ Boundary layer จนกระทั่ง Boundary layer จากผนังท่อทั้งสองมาติดกันที่แกนท่อ จึงทำให้เกิด fully developed laminar flow



รูปที่ 2-2 แสดงการเกิด Fully developed turbulence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อความหนาของ Laminar boundary layer เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิด transition จะทำให้ boundary layer กลายเป็น turbulent ซึ่งความหนาของ turbulent boundary layer นี้โดยทั่วไปแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเกิด fully developed turbulent flow เมื่อ boundary layer จากผนังห้องทั้งสองมาติดกันที่แกนท่อ หรือจะอยู่ที่ระยะจากทางเข้าประมาณ 50 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

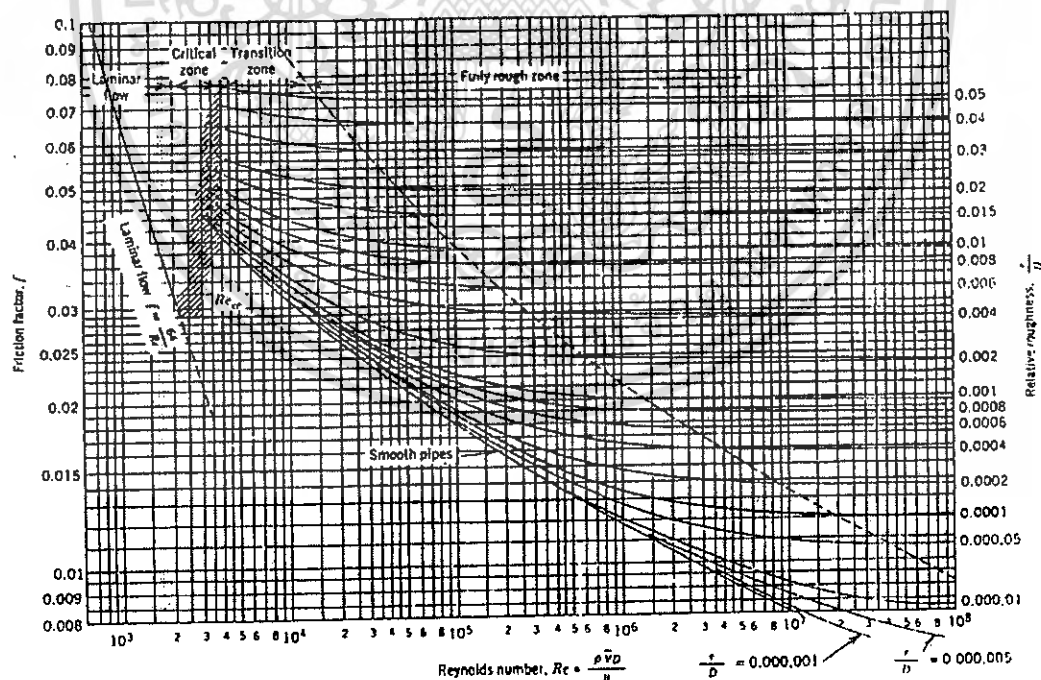
2.8 แผนภูมิสำหรับหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (Chart for friction factor)

การหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานนั้นสามารถหาได้จาก แผนภูมิของ Moody (Moody diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3-3

แผนภูมิของ Moody เป็นแผนภูมิที่แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยแกนตั้งด้านซ้ายมือจะแสดงค่าแสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) และแกนนอนแสดงค่า Reynolds number ส่วนแกนตั้งทางด้านขวาจะเป็นค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อ (Relative roughness) โดยมีสมการเป็นดังนี้

$$\text{ความขรุขระสัมพัทธ์} = \frac{e}{D} \quad (2.9)$$

โดย e คือ ความขรุขระสัมบูรณ์



รูปที่ 2-3 Friction Factor (Moody diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

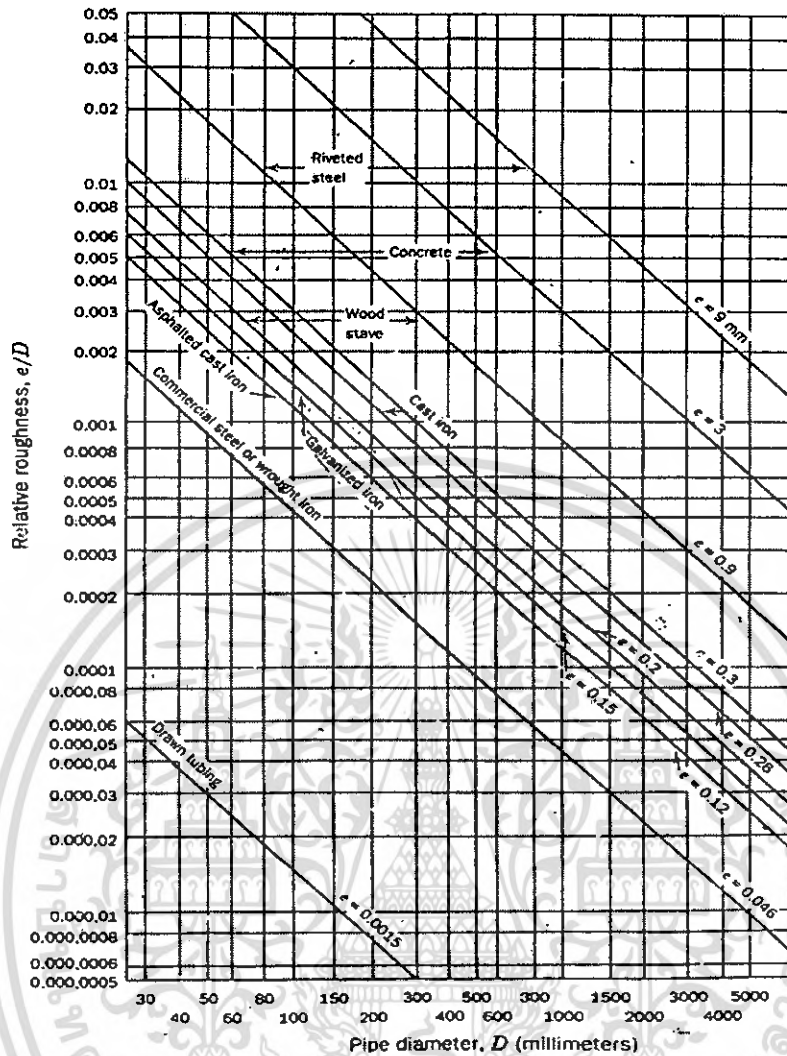
ความขรุขระสัมบูรณ์ คือ ค่าความสูงเฉลี่ยของความขรุขระที่ผิวท่อ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำท่อและกรรมวิธีการผลิต ค่าต่างๆไปของความขรุขระดูได้จากตารางที่ 2-1 หรือจะใช้แผนภูมิหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์เลยก็ได้ดังรูปที่ 3-4 สำหรับท่อผลิตโดยวิธีการขึ้นรูป (Extruded) ของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก และท่อที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นจะมีผิวเรียบมาก จึงถือว่าเป็นท่อผิวเรียบ (Smooth pipe)

Pipe	Equivalent Roughness, f	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความขรุขระสัมบูรณ์

รายละเอียดเกี่ยวกับการไหลของของไหลที่แสดงไว้ในแผนภูมิของ Moody นี้จะแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ

1. ช่วงที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่า Reynolds number จะน้อยกว่า 2300 ค่า f จะไม่ขึ้นกับความหยาบหรือความขรุขระของผิวท่อ แต่จะขึ้นกับค่า Reynolds number เพียงอย่างเดียว
2. ช่วงที่การไหลเป็นแบบวิกฤต ในช่วงนี้ค่า Reynolds number จะอยู่ระหว่าง 2300 ถึง 4000 จึงไม่สามารถกำหนดลักษณะการไหลที่แน่นอนได้ เพราะอาจเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วนก็ได้ จึงใช้แผนภูมินี้ไม่ได้
3. ช่วงการไหลเปลี่ยนแปลง ในช่วงนี้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน จะเป็นฟังก์ชันของค่า Reynolds number และค่าความขรุขระสัมพัทธ์
4. ช่วงที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน ค่า f จะไม่ขึ้นกับ Reynolds number แต่จะขึ้นกับค่าความขรุขระสัมพัทธ์



ตารางที่ 2-2 Roughness Factor

2.9 ค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองสำหรับการไหลภายในท่อ

เมื่อของไหลไหลภายในท่อจะเกิดความต้านทานในการไหลขึ้นเสมอ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียพลังงานของของไหลขึ้น ซึ่งการสูญเสียนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การสูญเสียหลัก (Major loss) และการสูญเสียรอง (Minor loss)

3.7.1 การสูญเสียหลัก (Major loss) ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อเป็นผลมาจากความเสียดทาน ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (3.11) ของ Darcy-Weisbach สาเหตุที่จัดให้การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อเป็นการสูญเสียหลักนั้น เพราะในกรณีที่ท่อมีความยาวมาก ๆ การสูญเสียแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียด้วยเหตุอื่นๆ

3.7.2 การสูญเสียรอง (Minor loss) คือการสูญเสียเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทางความเร็ว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลมาจากพลังงานจลน์ หรือเสถียรภาพเร็วเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไหลผ่านข้อต่อท่อ ข้องอ ข้อเพิ่มหรือลดขนาด การไหลผ่านวาล์วต่างๆ เป็นต้น ในกรณีที่ท่อขยวมมากๆ การสูญเสียรองนี้จะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียดทาน ซึ่งอาจจะไม่ต้องนำมาคิดการสูญเสียก็ได้ ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าการสูญเสียรองจึงอยู่ในรูปของเสถียรภาพเร็ว $V^2/2g$ คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย เขียนเป็นสมการได้คือ

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.10)$$

โดย k คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะช่องทางที่ของไหลไหลผ่านซึ่งจะมีค่าต่างๆ

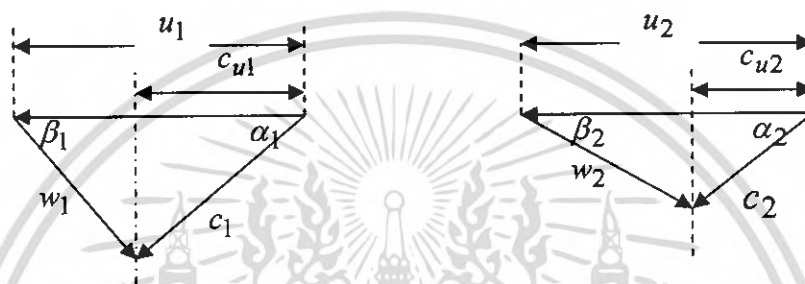


บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบใบพัด

3.1 สมการกักกันของออยเลอร์ (Euler's Equation)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้สมการ Euler's Equation นั้นจะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อทราบความเร็วของใบพัดและมุมปะทะของใบพัดเสียก่อน โดยค่าความเร็วและค่ามุมใบพัดเราจะทราบได้จากการวิเคราะห์เวกเตอร์สามเหลี่ยม Velocity triangle ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-1 แสดงเวกเตอร์ที่กระทำต่อใบพัด

จากกฎของโมเมนต์ดัมเชิงมุม (Law of angular momentum) โดยคิดทอร์กที่กระทำต่อใบพัดของกักกัน ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์เชิงมุมสามารถเขียนได้ดังนี้

$$T = m (r_1 c_{u1} \cos \alpha_1 - r_2 c_{u2} \cos \alpha_2) \quad (3.1)$$

โดยที่ T คือ แรงบิด Torque (N-m)

m คือ อัตราการไหลของมวล Mass flowing per unit time (kg/s)

เปลี่ยนสมการให้อยู่ในเทอมของกำลังงาน โดยการคูณสมการด้วยความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) จะได้

$$T\omega = m (u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2}) \quad (3.2)$$

โดยที่ c_{u1} และ c_{u2} คือ เป็นความเร็วส่วนประกอบของความเร็วสมบูรณ์

ในกรณีที่ไม่มี การสูญเสียพลังงานจากการไหลของของไหลจะสามารถเขียนสมการของกำลังงานของกังหันได้ดังสมการที่ (3.2) และจากสมการพลังงานที่เขียนในเทอมของความสูงของของไหลที่เรียกว่า “เสด” หรือพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล สามารถเขียนได้ว่า

$$L = mgh$$

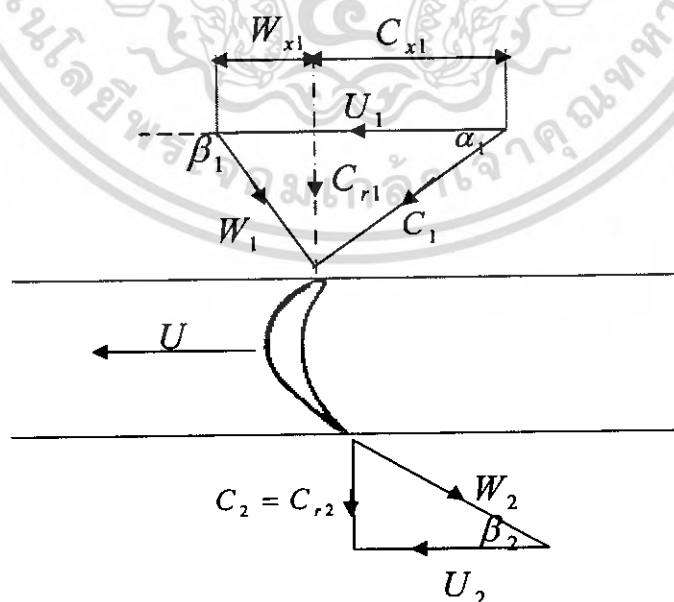
อ้างอิงสมการพลังงานมาเขียนในสมการ (3.2) จะได้ว่า

$$mgH_i = m(u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2})$$

โดยให้ H_i อินพุตเสดของของไหลจะได้สมการ Euler's Equation ดังนี้

$$H_i = \frac{(u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2})}{g} \quad (3.3)$$

ต่อไปเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหัน โดยใช้ Euler's Equation จากการพิจารณาเวกเตอร์ไดอะแกรมของความเร็วของไหลของกังหัน ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อ c_{u2} มีค่าเท่ากับศูนย์จึงทำให้ความเร็วตามแนวแกนที่ทางออกมีค่าเท่ากับความเร็วสมบูรณ์ ($c_2 = c_{r2}$) และในการวิเคราะห์นี้ให้อัตราการไหลของของไหลที่ทางเข้ากับทางออกมีค่าเท่ากันจึงทำให้ความเร็วตามแนวแกนของของไหลที่ทางเข้ากับทางออกมีค่าเท่ากัน ($c_{r1} = c_{r2} = c_a$)



รูปที่ 3-2 แสดง Velocity Triangle for an axial flow hydraulic turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Euler's turbine equation จะได้

$$E = (u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2}) / g (J/N)$$

และ $c_{u2} = 0$ จะได้

$$E = U c_{u1} / g \quad (3.4)$$

จากเวกเตอร์ไดอะแกรมสามารถหาค่าความเร็ว c_{u1} ได้ดังนี้

$$c_{u1} = U - c_a \cot(180 - \beta_1) = U + c_a \cot \beta_1$$

แทนค่าความเร็ว c_{u1} ลงในสมการ (3.4) จะได้

$$E = (U^2 + U c_a \cot \beta_1) / g \quad (3.5)$$

จากสมการ (3.5) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่าจากสมการถ้าให้ E คงที่ตลอดความยาวรัศมีของใบพัดและให้ c_a เป็นความเร็วที่คงที่เท่ากันทุกจุดบนพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อทางเดินของไหลและเนื่องจาก U^2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากแกนกลางใบพัด (Hub) ไปสู่ปลายใบพัด (Tip) ดังนั้นค่าของ $U \cot \beta_1$ จะต้องมียาลดลงเมื่อพิจารณาจากสมการ (3.5) จึงทำให้ β_1 จะต้องเพิ่มขึ้นจากแกนกลางใบพัดไปสู่ปลายใบพัด เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกแบบจะต้องออกแบบมุมบิดของใบพัดให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากแกนกลางใบพัดไปสู่ปลายใบพัด โดยมุมที่บิดไปจะเป็นค่ามุมเท่าใดนั้นจะพิจารณาได้จากสมการที่ (3.5)

3.2 แรงกระทำบนใบพัด

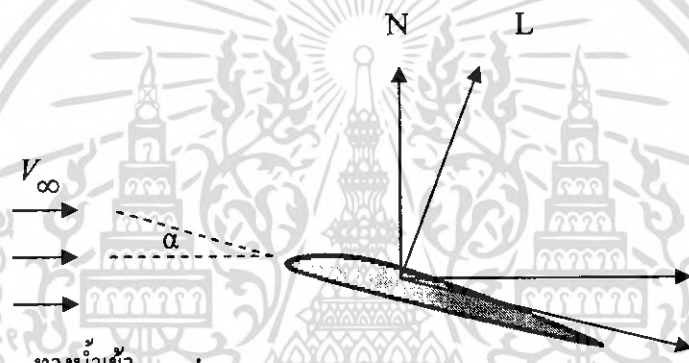
การเกิดขึ้นของแรงที่กระทำบนใบพัดในขณะที่กังหันกำลังหมุนอยู่ในของไหลนั้น

การวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้เราจะต้องคำนึงถึงว่าเราจะต้องพิจารณาการไหลของกระแสของไหลผ่านใบพัดโดยจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้ได้แก่ ความดัน ความเร็ว ความหนาแน่น และความหนืดของของไหล ซึ่งจากความรู้ทางด้าน Hydro dynamics เราจะพบว่าแรงกระทำที่ผิววัตถุเนื่องจากกระแสของไหลในขณะที่ไหลผ่านวัตถุ แรงที่กระทำจะสามารถแยกได้เป็นสองส่วนคือ แรงกดลงบนผิววัตถุเนื่องจากความดันของของไหลเหนือบริเวณนั้น กับความเค้นเฉือน (Shear stress) เนื่องจากแรงเสียดทานของของไหลที่ไหลเสียดสีผิววัตถุ ซึ่งการเกิดขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันและความเค้นเฉือนจะเกิดขึ้นรอบวัตถุในกรณีนี้ความดันและความเค้นเฉือนก็จะเกิดขึ้นรอบเพนอากาศนั่นเอง ซึ่งจากการกระจายตัวของความดันและความเค้นเฉือนรอบเพนอากาศนี้เองจึงทำให้เกิดแรงกระทำขึ้นบนใบพัดซึ่งประกอบด้วยแรงต่างๆดังนี้

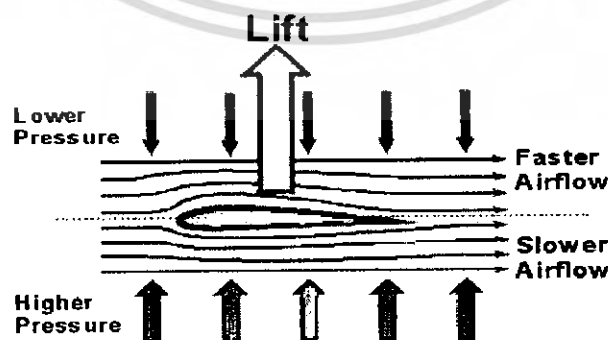
1. แรงยก (Lift force, L) คือ แรงส่วนประกอบของแรงลัพธ์ตั้งฉากกับทิศความเร็วกระแสอิสระ
2. แรงต้าน (Drag force, D) คือ แรงส่วนประกอบของแรงลัพธ์ขนานกับทิศความเร็วของกระแสอิสระ
3. แรงตั้งฉาก (Normal force, N) คือ แรงส่วนประกอบของแรงลัพธ์ขนานกับคอร์ด
4. แรงตามแนวแกน (Axial force, A) คือ แรงส่วนประกอบของแรงลัพธ์ขนานกับคอร์ด



รูปที่ 3-3 แสดงแรงกระทำต่อเพนอากาศ

ความเร็วกระแสอิสระ (Free stream velocity) คือความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลที่ด้านหน้าวัตถุก่อนจะไหลผ่านไปบนวัตถุ ถ้าให้ α เป็นมุมระหว่างแนวคอร์ดกับความเร็วกระแสอิสระเรียกว่า “มุมปะทะ” ความสัมพันธ์ระหว่าง L, D, N, A จะเป็น

$$L = N \cos \alpha - A \sin \alpha \quad (3.6)$$

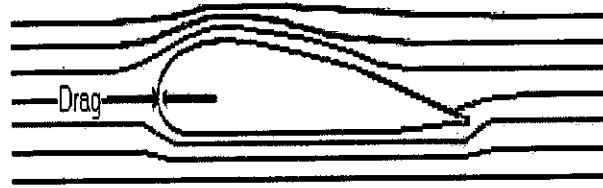


รูปที่ 3-4 แสดงการเกิดแรงยก (Lift force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$D = N \sin \alpha + A \cos \alpha \quad (3.7)$$



รูปที่ 3-5 แสดงการเกิดแรงต้าน (Drag force)

การพิจารณาแรงตามสมการบางครั้ง ไม่สะดวกจากการศึกษาตัวแปรไร้มิติเราพบว่าในทางปฏิบัติพิจารณาแรงในรูปตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ซึ่งเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของแรงจะเป็นเทอมที่เหมาะสมกว่า ซึ่งสัมประสิทธิ์จะสามารถกำหนดได้ดังนี้ให้ ρ_{∞} เป็นความหนาแน่น และ V_{∞} เป็นความเร็วของกระแสอิสระที่ไหลเข้ามาจนถึงวัตถุ ดังนั้น ความดันพลศาสตร์ (Dynamics pressure) ของกระแสอิสระ จะได้

$$q = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad (3.8)$$

ซึ่งมีหน่วยของความดัน ให้ S เป็นพื้นที่อ้างอิงและ l เป็นระยะอ้างอิงที่เลือกจากพื้นที่ระยะที่มีความสำคัญต่อการไหลผ่านวัตถุ โดยสัมประสิทธิ์ของแรงที่กระทำต่อใบพัดสามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์แรงยก (Lift coefficient)

$$C_L = \frac{L}{q_{\infty} S} \quad (3.9)$$

สัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag coefficient)

$$C_D = \frac{D}{q_{\infty} S} \quad (3.10)$$

สัมประสิทธิ์แรงตั้งฉาก (Normal force coefficient)

$$C_N = \frac{N}{q_{\infty} S} \quad (3.11)$$

สัมประสิทธิ์แรงตามแนวแกน (Axial force coefficient)

$$C_A = \frac{A}{q_\infty S} \quad (3.12)$$

จากการพิจารณารูปทรงของใบพัดที่อยู่ในมุมปะทะอันหนึ่งซึ่งมีกระแสของไหลไหลผ่านนั้นจะมีแรงกระทำเกิดขึ้น โดยขนาดของแรงที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆเหล่านี้

1. ความเร็วของกระแสอิสระของของไหล
2. ความหนาของกระแสอิสระของของไหล
3. ความหนืดของของไหล
4. ขนาดของแพนอากาศ ซึ่งแทนด้วยระยะอ้างอิงซึ่งเลือกขึ้นมาเพื่อความสะดวกเรามักจะเลือกใช้ความยาวคอร์ด C
5. การอัดตัวของของไหล ซึ่งเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในบริเวณของการไหล และแต่สำหรับการออกแบบ โครงงานนี้สมมติให้การไหลของของไหลเป็นแบบไม่อัดตัว (Incompressible flow) โดยในการออกแบบของ โครงงานนี้จึงได้ยึดทฤษฎีต่างๆ ตามแบบการไหลแบบไม่อัดตัว

3.3 การเกิดโพรง (Cavitations)

สิ่งสำคัญประการหนึ่งในการทำงานของเครื่องจักรกลของไหล คือจะต้องป้องกันการเกิดโพรงเพื่อให้เกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับใบพัด เพราะเมื่อเกิดโพรงจะทำให้ใบพัดสึกกร่อน ดังแสดงในรูป สำหรับกังหันแบบปฏิบัติการส่วนมากจะเกิดโพรงทางด้านหลังของใบพัดซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงได้โดย การออกแบบให้เหมาะสม การติดตั้งที่ดี และจะต้องทำงานในลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดความดันต่ำเท่ากับหรือต่ำกว่าความดันไอ (Vapor pressure) ของน้ำ

โดยสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงในการติดตั้งเครื่อง คือ ระยะในแนวตั้งจากใบพัดถึงระดับทางด้านท้ายน้ำดังนั้นจึงกำหนดดัชนีการเกิดโพรง (Cavitations parameter) ของกังหันแบบปฏิบัติการไว้ได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{P_{atm}/\gamma - P_v/\gamma - Z_B}{h} \quad (3.13)$$

โดยที่ Z_B คือ ระดับจากใบพัดถึงระดับท้ายน้ำ
 h คือ เสดที่ขับใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(P_{atm}/\gamma - P_v/\gamma)$ คือ ค่าความสูงของน้ำในบารอมิเตอร์

ค่าต่ำสุดของดัชนีการเกิดโพรงคือดัชนีการเกิดโพรงวิกฤติ (Critical cavitation parameter, σ_c) ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลองสำหรับกังหัน โดยเป็นค่าเริ่มต้นที่จะเกิดโพรง และจะทำให้กังหันเกิดเสียงดัง เกิดการสั่น และประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจากสมการที่ (3.13) จะพบว่าระดับสูงสุดที่ยอมรับสำหรับการติดตั้งกังหันเพื่อไม่ให้เกิดโพรงคือ

$$Z_B = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \sigma_c h \quad (3.14)$$

ค่าของ σ_c สำหรับเทอร์ไบน์แบบฟรานซิสและแบบใบจักร ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

		เทอร์ไบน์แบบฟรานซิส				เทอร์ไบน์แบบใบพัด		
N_s	80	160	240	320	400	400	600	800
σ_c	0.025	0.10	0.23	0.40	0.64	0.43	0.73	1.5

(คำนวณมาจากค่าต่างๆในหน่วย rpm, kW, m)

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าดัชนีการเกิดโพรงวิกฤติสำหรับกังหัน (Daugherty, 1989)

3.4 การคำนวณระยะห่างระหว่างใบพัดและจำนวนใบพัดที่เหมาะสม

การออกแบบเลือกใช้จำนวนใบพัดของกังหันนั้น ได้ทำการออกแบบโดยอ้างอิงข้อมูลจากตารางการแนะนำการออกแบบจำนวนใบพัดซึ่งการจะเลือกใช้จำนวนใบพัดที่เหมาะสมเราจะเลือกดูจากค่าความเร็วจำเพาะ (Specific speed) ของกังหัน และค่าเฮดที่เหมาะสมกัน ซึ่งค่าของจำนวนใบพัดจะแปรเปลี่ยนไปตามความเร็วจำเพาะ และเฮดต่างๆ ดังตารางแนะนำดังนี้

Head	5	20	40	50	60
Number of blades	3	4	5	6	8
d/D	0.3	0.4	0.5	0.55	0.6
Specific speed about	1000	800	600	400	350

ตารางที่ 3-2 แสดงการแนะนำการออกแบบ Kaplan Turbine (Hydraulic Turbines)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 มุมปะทะ (Angle of attack)

การปรับเปลี่ยนมุมใบพัดของกังหันจะมีผลกับแรงยกที่กระทำต่อเพนอากาศโดยความสัมพัทธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยกที่เพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมปะทะจะแสดงได้ดังสมการนี้

$$C_L = 2\pi\alpha \quad (3.15)$$

3.6 การคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด

การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันจะต้องคำนึงถึงค่าความเร็วจำเพาะและอัตราการไหลของของไหล โดยตัวแปรต่างๆจะมีความสัมพันธ์กันดังแสดงด้วยสูตรและกราฟ ดังนี้

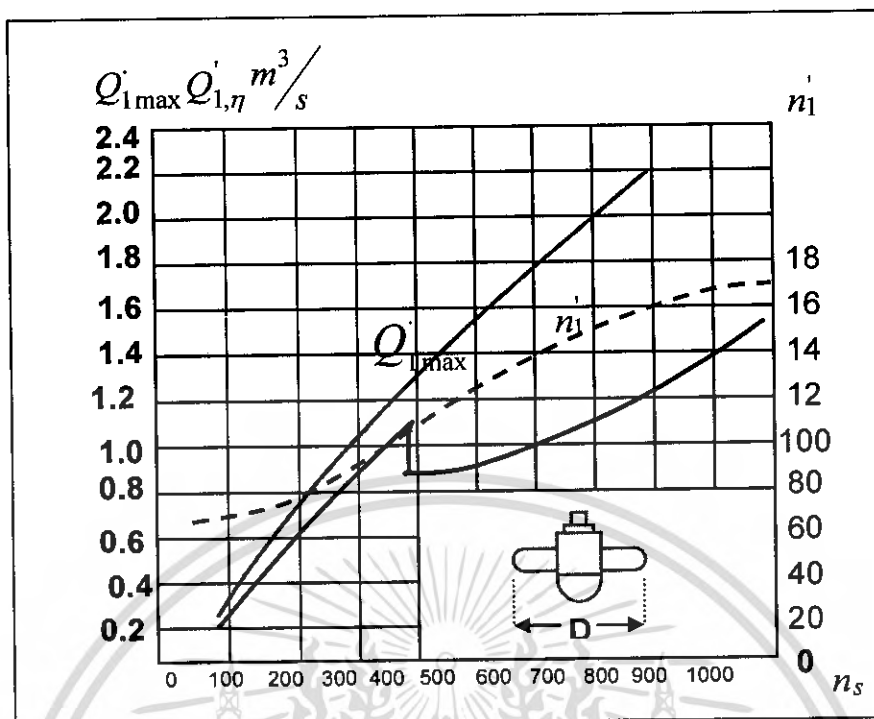
สูตรคำนวณหาความเร็วจำเพาะ (Specific Speed)

$$n_s = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{\sqrt{H}}} \quad (3.16)$$

สูตรคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter of turbine)

$$D^2 = \frac{Q}{Q' \sqrt{H}} \quad (3.17)$$

โดยที่	n_s	คือ	ความเร็วจำเพาะ
	n	คือ	ความเร็วรอบของกังหัน
	H	คือ	ค่าเสดของอัตราการไหล
	N	คือ	ค่ากำลังงานที่ได้ออกมา (Output power)
	D	คือ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหัน
	Q	คือ	อัตราการไหล
	Q'	คือ	อัตราการไหลหนึ่งหน่วย (Unit flow rate)

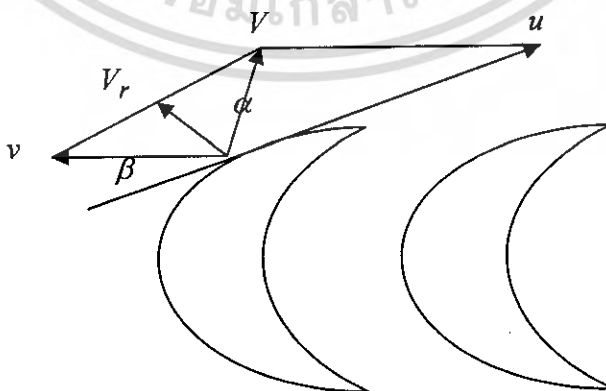


รูปที่ 3-6 แสดงกราฟคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกังหัน

3.7 ความเร็วจำเพาะ (Specific Speed)

ในการออกแบบกังหันน้ำตามแกนแบบขั้นเตียนั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกค่าตัวแปรเพื่อขนาดของกังหัน จากค่าแนะนำจากหนังสือแนะนำการออกแบบจึงจะทำให้การเลือกค่าตัวแปรต่าง ๆ นั้นต้องอ้างอิงจากขนาดของความเร็วจำเพาะ เพื่อให้กังหันน้ำที่ออกแบบมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทำงาน

โดยการออกแบบเริ่มต้นจากการวิเคราะห์เวกเตอร์ความเร็วที่ออกจากกังหัน เมื่อพิจารณาแผนภาพของเวกเตอร์ความเร็วตรงจุดที่ออกจากใบพัด ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3-7 แสดงแผนภาพของเวกเตอร์ความเร็วตรงจุดทางออกจากใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ β คือ มุมของใบพัด
 u คือ ความเร็วของใบพัดตรงปลายใบพัด
 v คือ ความเร็วสัมผัสของของไหลกับใบพัด
 V คือ ความเร็วจริงของของไหลที่ไหลออกจาก
 V_r คือ ความเร็วประกอบในแนวรัศมีของ V ซึ่งเป็นสัดส่วนกับอัตราการไหล
 α คือ มุมระหว่างความเร็วจริง V ทำกับ u ซึ่งอยู่ในแนวสัมผัสกับวงล้อใบพัด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบในการหมุน N เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด D และอัตราการไหล Q จะพบว่าถ้า α มีค่าคงที่ แสดงว่า V_r เป็นสัดส่วนกับ V (เนื่องจาก $V_r = V \sin \alpha$) และ u จะเป็นสัดส่วนกับ V_r ดังนั้นจึงสามารถเขียนได้ว่า

$$\frac{V_r}{u} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.18)$$

และเนื่องจากอัตราการไหล Q เป็นสัดส่วนกับ $V_r D^2$ (ทั้งนี้เพราะพื้นที่หน้าตัดของการไหลเป็นสัดส่วนกับ D^2) และความเร็วรอบ N เป็นสัดส่วนกับ u/D ดังนั้นเมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการข้างต้นจะได้

$$\frac{Q}{ND^3} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.19)$$

อัตราการไหล Q ที่ไหลผ่านกังหันสามารถระบุให้อยู่ในรูปของความสัมพัทธ์กับเฮด H และพื้นที่หน้าตัด A โดยใช้สมการของช่องเปิดขอบคม นั่นคือ

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad (3.20)$$

โดยที่ C_d คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลซึ่งแปรเปลี่ยนตาม Reynolds number และจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเล็กน้อยตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน

จากสมการก่อนหน้าทั้งสองสมการและจากการที่พื้นที่หน้าตัด A เป็นสัดส่วนกับ D^2 ดังนั้น

$$\frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.21)$$

โดยการจัด Q ออกไปจากสมการที่ (5.7.1) และ (5.7.3) จะได้

$$\frac{H}{N^2 D^2} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.22)$$

ความเร็วจำเพาะ N_s ของกังหันน้ำคือค่าความเร็วรอบที่ได้รับพลังงาน 1 หน่วยจากของ อินพุตเสด 1 หน่วยและเนื่องจากกำลังงานของ P เป็นสัดส่วนกับ QH ดังนั้น ได้ว่า

$$\frac{P}{QH} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.23)$$

เมื่อจัด D และ Q ออกจากสมการที่ (5.19), (5.20) และ (5.21) จะได้

$$\frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} = \text{ค่าคงที่} \quad (3.24)$$

สำหรับกำลังงาน 1 หน่วยที่เสด 1 หน่วยจะได้ความเร็วจำเพาะของกังหันคือ

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (3.25)$$

ดังนั้นค่าความเร็วจำเพาะของกังหันสามารถคำนวณได้เมื่อกำหนดค่าเสดมาให้ โดยใช้สมการ ที่ (3.25) ในกรณีของกังหันที่ทำงานภายใต้เสดสูงๆแต่ให้กำลังงานต่ำ (อัตราการใช้เสดต่ำ) ก็จะมีค่าความเร็วจำเพาะต่ำด้วย จากสมการ (3.25) จะพบว่ามิติของสมการไม่ถูกต้องเพราะ γ และ g ได้ถูกรวมไว้ในค่าคงที่แล้ว ดังนั้นค่าความเร็วจำเพาะจึงขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้ เช่นที่สหรัฐอเมริกาจะใช้ Q ในหน่วยแกลลอนต่ออนาที หรือ ลบ.ฟุต/วินาที (cfs) ในการอ้างอิงค่าของความเร็วจำเพาะ

3.8 ทฤษฎีคำนวณประสิทธิภาพ

ในการทำการศึกษารเราสามารถหาประสิทธิภาพของกังหันได้โดยการทราบข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานทางเข้า ที่ทางเข้าใบพัด (Input power)

$$P_{input} = Q \left(P + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad (3.27)$$

พลังงานที่ทางออกของกังหัน (Output power)

$$P_{output} = \tau \omega \quad (3.28)$$

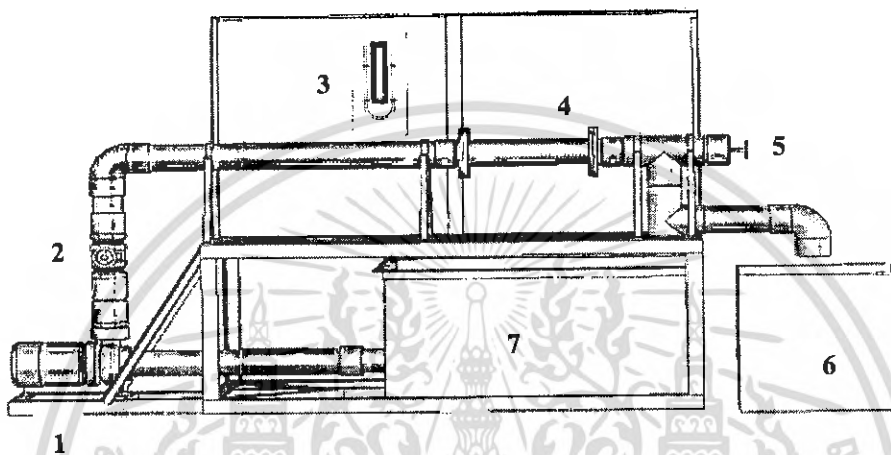


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการทํางานและขั้นตอนการทดลอง

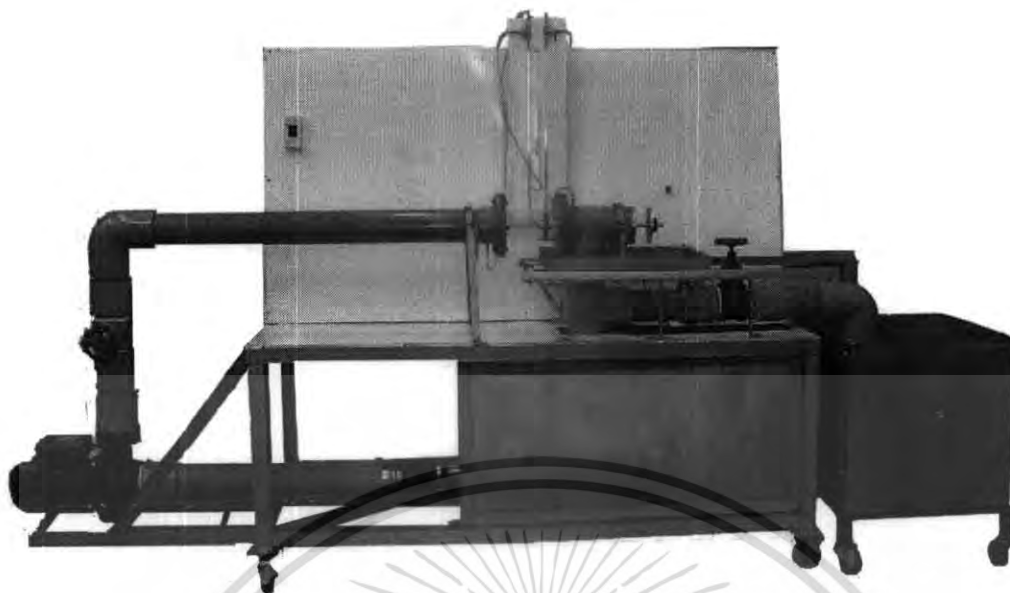
4.1 ชั้นส่วนต่างๆของชุดทดลอง



รูปที่ 4-1 แสดงชั้นส่วนต่างๆของชุดทดลอง

ส่วนประกอบต่างๆของชุดทดลอง

- หมายเลข 1 แสดง ปั้มนํ้า
- หมายเลข 2 แสดง วาล์วนํ้า
- หมายเลข 3 แสดง U-tube Manometer
- หมายเลข 4 แสดง บริเวณที่ติดตั้งกั้นนํ้าตามแนวแกนแบบชั้นเดียว
- หมายเลข 5 แสดง หน้าจนวนัดค่าแรงบิด และความเร็วเชิงมุม
- หมายเลข 6 แสดง ถังวัดอัตราการไหล
- หมายเลข 7 แสดง ถังนํ้าหลัก



รูปที่ 4-2 แสดงชุดทดลองที่เสร็จสมบูรณ์

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์และส่วนประกอบมีดังต่อไปนี้

1. ปั๊มน้ำขนาด 3 แรงม้า เฮค 18 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 4 นิ้ว อัตราการไหล 750 ลิตรต่อนาที
2. วาล์วน้ำแบบ Gate Valve ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว
3. U-tube manometer ขนาดความสูง 75 เซนติเมตร
4. หน้างานสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว
5. ถังวัดอัตราการไหล ทำจากสแตนเลส หนา 0.8 มิลลิเมตร ขนาด 60x60x60 เซนติเมตร
6. ถังน้ำหลัก ทำจากสแตนเลส หนา 0.8 มิลลิเมตร ขนาด 80x120x60 เซนติเมตร
7. อุปกรณ์เชื่อมต่อ fitting เช่น ข้องอ (Standard elbow 90) และท่อผ่าขนาด
8. เครื่องมือวัดความเร็วเชิงมุม (Tacho meter)

4.3 วิธีการทดลอง

1. ในการทำการทดลองจะมีกังหัน 3 แบบ คือ 1) ใบพัด 3 ใบ 2) ใบพัด 4 ใบ 3) ใบพัด 5 ใบ
2. ติดตั้งชุดกังหันที่ต้องการทดลองให้เรียบร้อย
3. ทำการปรับมุมใบพัดที่ต้องการทดลอง
4. ทำการปรับวาล์วโดยให้มีอัตราการไหลที่ต้องการทำการทดลอง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) อัตราการไหล 1200 L/min
- 2) อัตราการไหล 1080 L/min
- 3) อัตราการไหล 1020 L/min
- 4) อัตราการไหล 900 L/min
4. วัดความแตกต่างความสูงปรอทใน U-tube manometer บันทึกค่า
5. วัดความเร็วเชิงมุม และแรงบิด บันทึกค่า
6. ทำการปรับมุมใบพัดขนาดต่างๆ แล้วทำการทดลองจนครบที่กำหนด ($20^{\circ} - 85^{\circ}$)
โดยทำการปรับมุมทีละ 10 องศา
7. เปลี่ยนกังหันน้ำแล้วทำการทดลองจนครบ แล้วทำการคำนวณหาประสิทธิภาพต่อไป



รูปที่ 4-3 แสดงบริเวณที่ติดตั้งกังหันน้ำ



รูปที่ 4-4 แสดงหน้างานที่ใช้วัดค่าแรงบิดและความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงบิด



รูปที่ 4-6 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดมุม



รูปที่ 4-7 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วเชิงมุม

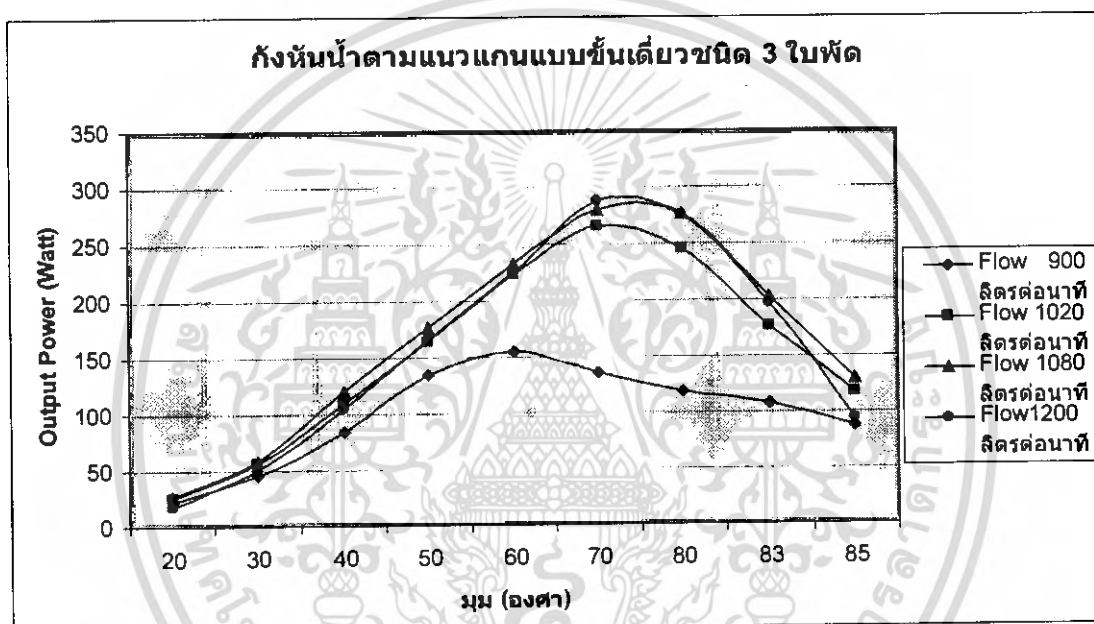
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองเราสามารถแสดงผลการทดลองออกมาเป็นกราฟของความสัมพันธ์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ และเข้าใจได้ดังต่อไปนี้

รูปที่ 5-1 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยว ชนิด 3 ใบพัด

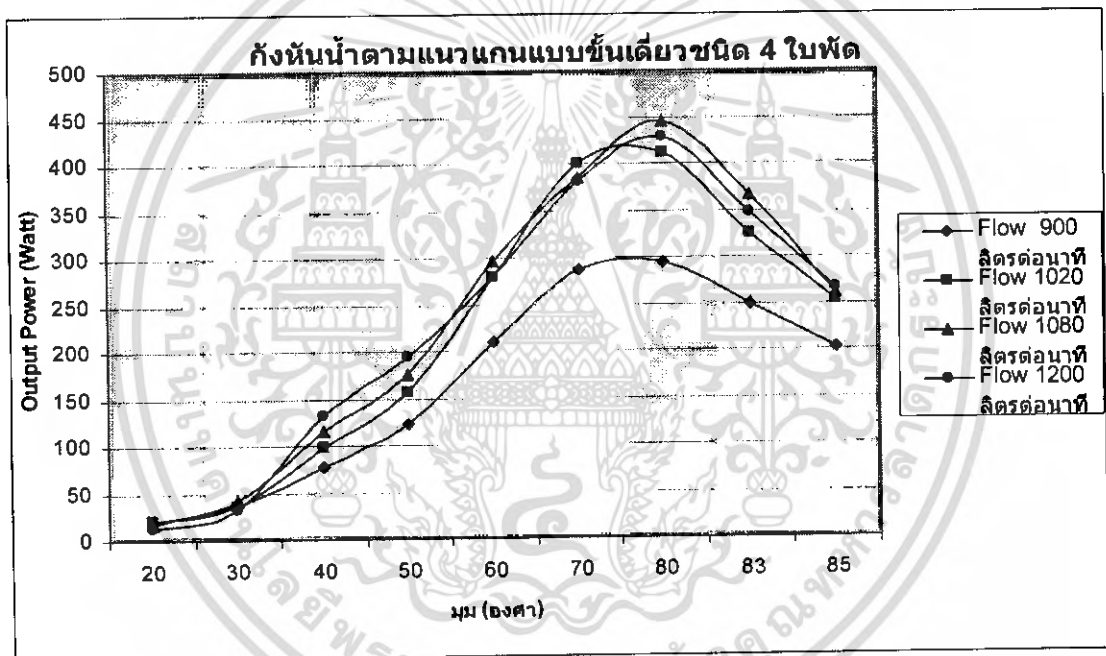
การวิเคราะห์

- เมื่อเราทำการปรับมุมปะทะของใบพัดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 20° – 70° ที่ทุกอัตราการไหล ความเร็วสัมพัทธ์ของกระแสจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความเร็วสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลทำให้แรงยก (Lift force) และแรงต้าน (Drag force) ของใบพัดเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงมุมปะทะ 20° – 70° แรงยก (Lift force) ซึ่งเป็นแรงกระทำที่มีทิศทางเดียวกับทิศการหมุนของใบพัดจะเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงต้าน (Drag force) จึงเป็นผลให้ Output Power เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการปรับมุมปะทะของใบพัดในช่วง 80° – 85° การเพิ่มขึ้นของแรงต้านจะส่งผลกระทบต่อใบพัดเพิ่มมากกว่าผลกระทบจากแรงยก และเกิดการไหลวนด้านหลังกังหัน (Vortex) เป็นอย่างมากทำให้ Output Power ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่อัตราการไหลที่น้อยที่สุดคือ 900 L/min จะได้ Output Power น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำ Input Power ที่มากกับกระแสน้ำก็จะน้อยไปด้วย จึงเป็นผลให้กังหันรับพลังงานจากกระแสน้ำได้น้อย และเมื่อเราทำการเพิ่มอัตราการไหลจะได้ Input Power เพิ่มมากขึ้นตามอัตราการไหลค่าต่างๆ โดยที่อัตราการไหล 1080 L/min และ 1200 L/min จะได้ค่า Output Power ที่มากที่สุดใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นจาก 1080 L/min ถึง 1200 L/min ยังน้อยเกินไปจึงไม่สามารถทำให้ Output Power เพิ่มขึ้นได้

รูปที่ 5-2 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 4 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 4 ใบพัด

การวิเคราะห์

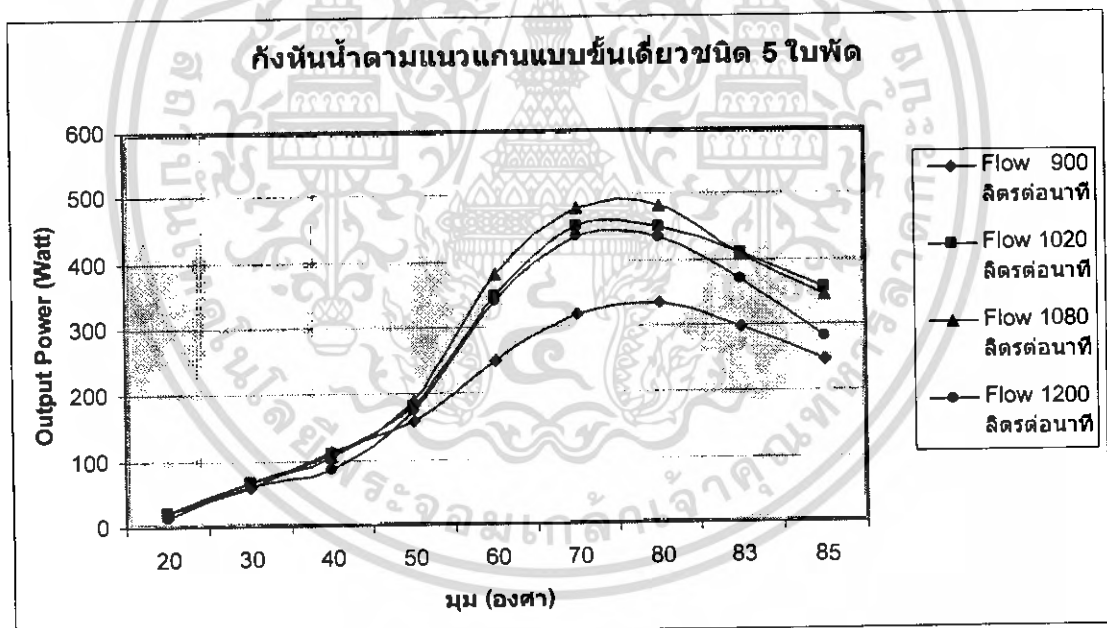
- เมื่อเราทำการปรับมุมปะทะของใบพัดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ $20^\circ - 80^\circ$ ที่ทุกอัตราการไหล ความเร็วสัมพัทธ์ของกระแสน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความเร็วสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลทำให้แรงยก (Lift force) และแรงต้าน (Drag force) ของใบพัดเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงมุมปะทะ $20^\circ - 80^\circ$ แรงยก (Lift force) ซึ่งเป็นแรงกระทำที่มีทิศทางเดียวกับทิศการหมุนของใบพัดจะเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงต้าน (Drag force) จึงเป็นผลให้ Output Power เพิ่มมากขึ้น แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการปรับมุมปะทะของใบพัดในช่วง $83^{\circ}-85^{\circ}$ การเพิ่มขึ้นของแรงต้านจะส่งผลกระทบท่อใบพัดเพิ่มมากกว่าผลกระทบจากแรงยก และเกิดการไหลวนด้านหลังกังหัน (Vortex) เป็นอย่างมากทำให้ Output Power ลดลง

- ที่อัตราการไหลที่น้อยที่สุดคือ 900 L/min จะได้ Output Power น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำ Input Power ที่มากับกระแสน้ำก็จะน้อยไปด้วย จึงเป็นผลให้กังหันรับพลังงานจากกระแสน้ำได้น้อย แต่ในกรณีนี้จะมี Output Power มากกว่ากังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด เนื่องจาก การมีพื้นหน้าตัดรับน้ำเพิ่มมากขึ้น และการที่ Output Power ของอัตราการไหล 1080 L/min มีค่ามากกว่าอัตราการไหล 1200 L/min ที่มุม $55^{\circ}-85^{\circ}$ เนื่องจากการเกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex)

รูปที่ 5-3 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 5 ใบพัดซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-3 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 5 ใบพัด

การวิเคราะห์

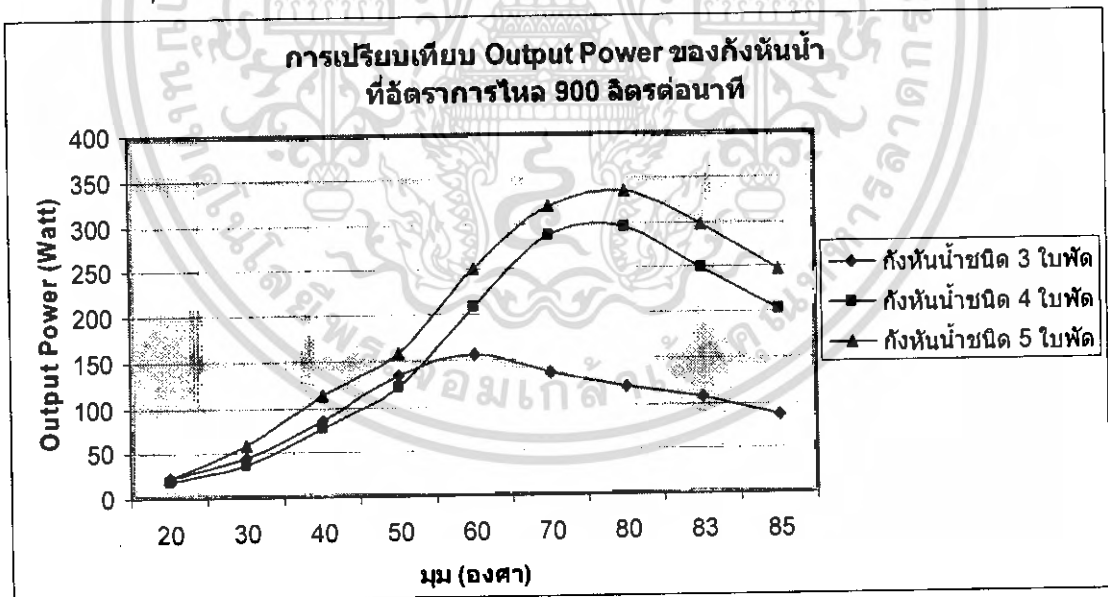
- เมื่อเราทำการปรับมุมปะทะของใบพัดเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ $20^{\circ}-80^{\circ}$ ที่ทุกอัตราการไหล ความเร็วสัมพัทธ์ของกระแสน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความเร็วสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลทำให้แรงยก (Lift force) และแรงต้าน (Drag force) ของใบพัดเพิ่มมากขึ้น โดยในช่วงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปะทะ $20^{\circ} - 80^{\circ}$ แรงยก (Lift force) ซึ่งเป็นแรงกระทำที่มีทิศทางเดียวกับทิศการหมุนของใบพัดจะเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงต้าน (Drag force) จึงเป็นผลให้ Output Power เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการปรับมุมปะทะของใบพัดในช่วง $83^{\circ} - 85^{\circ}$ การเพิ่มขึ้นของแรงต้านจะส่งผลกระทบท่อใบพัดเพิ่มมากกว่าผลกระทบจากแรงยก และเกิดการไหลวนด้านหลังกังหัน (Vortex) เป็นอย่างมากทำให้ Output Power ลดลง

- ที่อัตราการไหลที่น้อยที่สุดคือ 900 L/min จะได้ Output Power น้อยที่สุดเนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำ Input Power ที่มากับกระแสน้ำก็จะน้อยไปด้วย จึงเป็นผลให้กังหันรับพลังงานจากกระแสน้ำได้น้อย แต่ในกรณีนี้จะมี Output Power มากกว่ากังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด เนื่องจาก การมีพื้นที่หน้าตัดรับน้ำเพิ่มมากขึ้น และกรณีที่ Output Power ของอัตราการไหล 1080 L/min มีค่ามากกว่าอัตราการไหล 1200 L/min ที่มุม $55^{\circ} - 85^{\circ}$ เนื่องจากการเกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex)

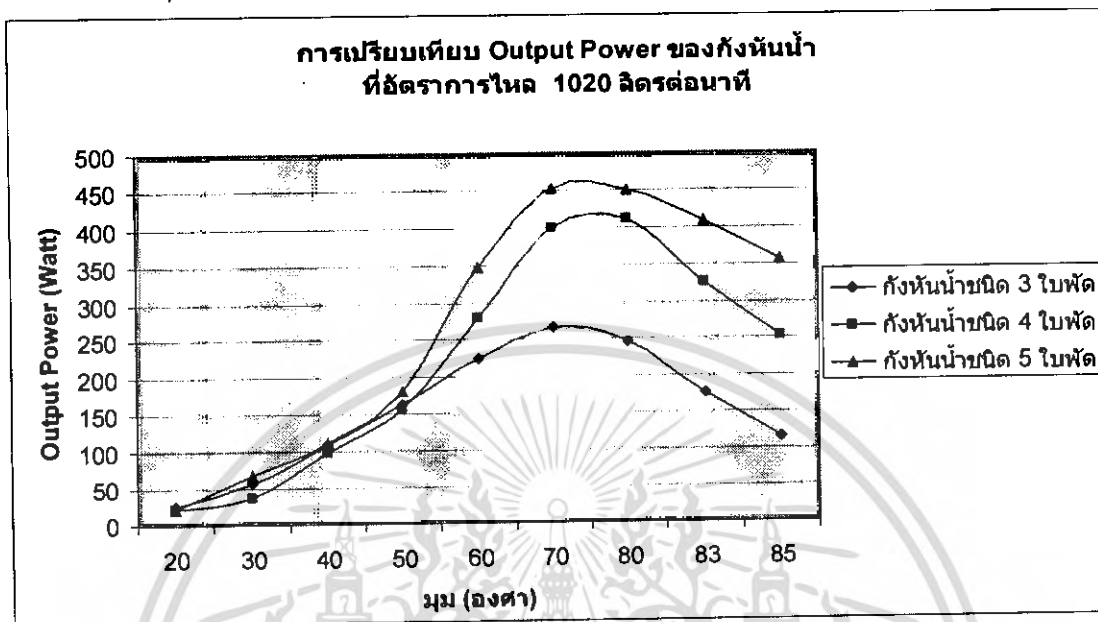
รูปที่ 5-4 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 900 L/min



รูปที่ 5-4 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 900 L/min

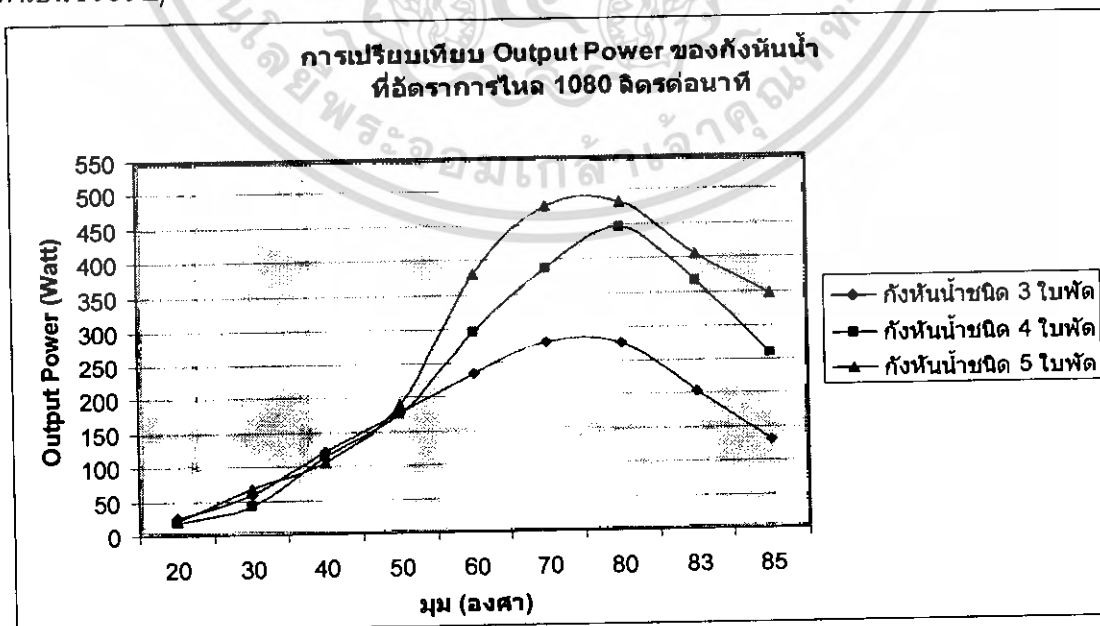
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-5 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1020 L/min



รูปที่ 5-5 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่
อัตราการไหล 1020 L/min

รูปที่ 5-6 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1080 L/min

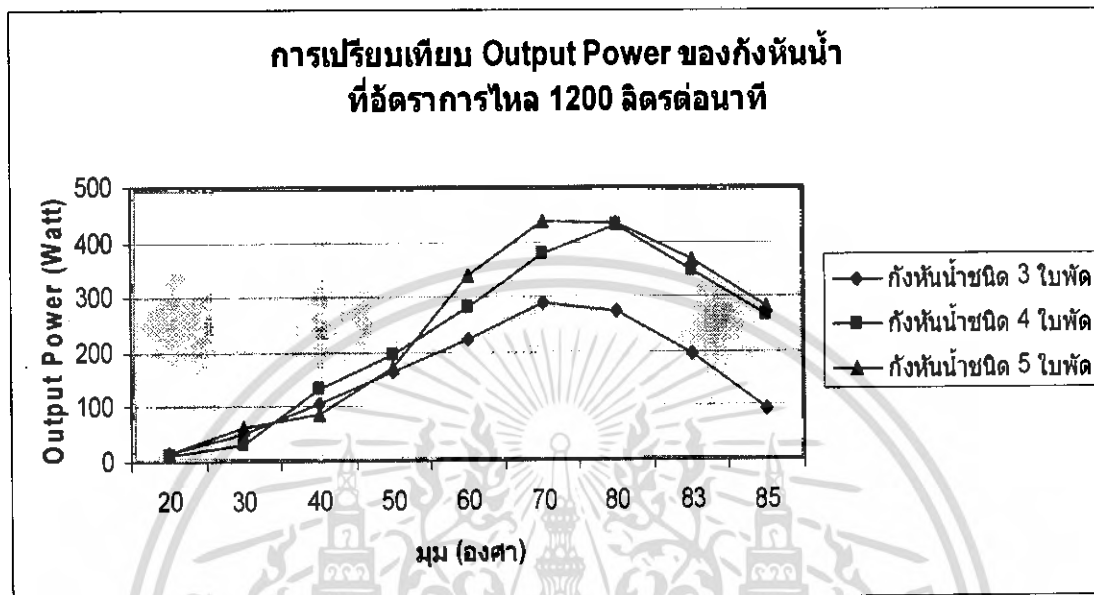


รูปที่ 5-6 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหล 1080 L/min

รูปที่ 5-7 ต่อไปนี้แสดงการศึกษา Output Power ของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1200 L/min



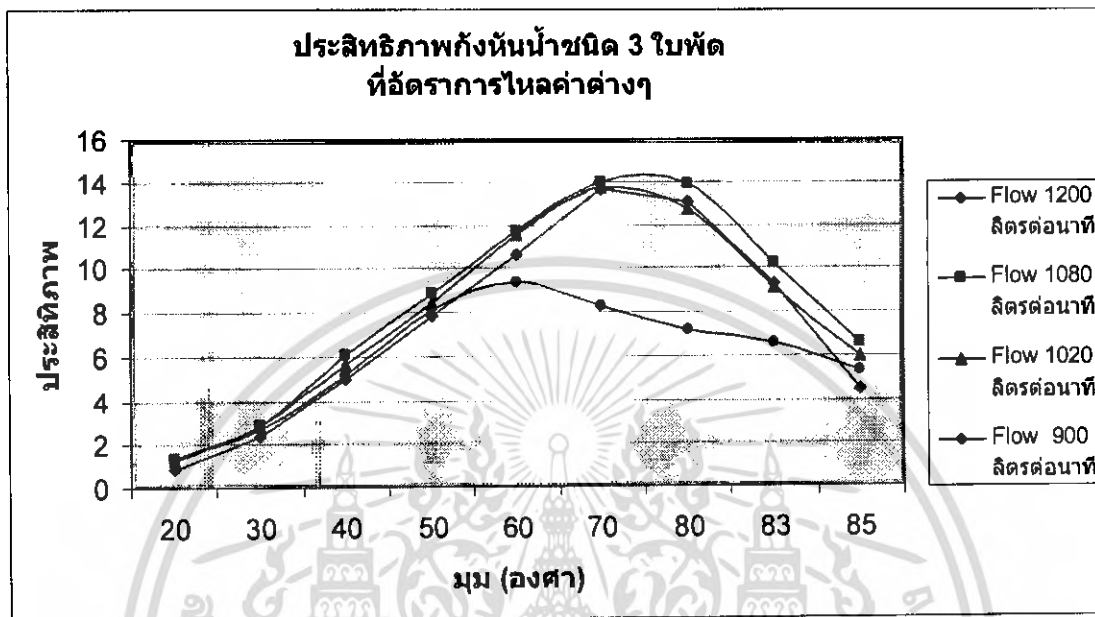
รูปที่ 5-7 แสดงการเปรียบเทียบ Output Power ของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่
อัตราการไหล 1200 L/min

จากรูปที่ 5-4 ถึง รูปที่ 5-7 สามารถวิเคราะห์ได้

- อัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ Output Power ของกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเนื่องจาก Input Power เพิ่มมากขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น
- ที่ทุกๆอัตราการไหลที่ได้ทำการทดลอง Output Power ของกังหันน้ำแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันมากในช่วงมุมปะทะ $20^{\circ} - 50^{\circ}$ เนื่องจากอันเนื่องมาจากมุมที่ปรับยังมีค่าน้อยอยู่ ความเร็วสัมพัทธ์ของกระแส น้ำจึงมีค่าน้อย ทำให้แรงยกที่กระทำกับกังหันน้ำแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน
- เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจาก 900 L/min เป็นอัตราการไหลที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มุมปะทะที่ก่อให้เกิด Output Power สูงสุดเปลี่ยนจาก 60° เป็น 70°
- กังหันน้ำชนิด 5 ใบพัดและชนิด 4 ใบพัด จะให้ Output Power มากกว่ากังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่ช่วงมุมปะทะ $60^{\circ} - 85^{\circ}$ เนื่องจากพื้นที่รับน้ำของกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัดและชนิด 4 ใบพัด มีมากกว่ากังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด

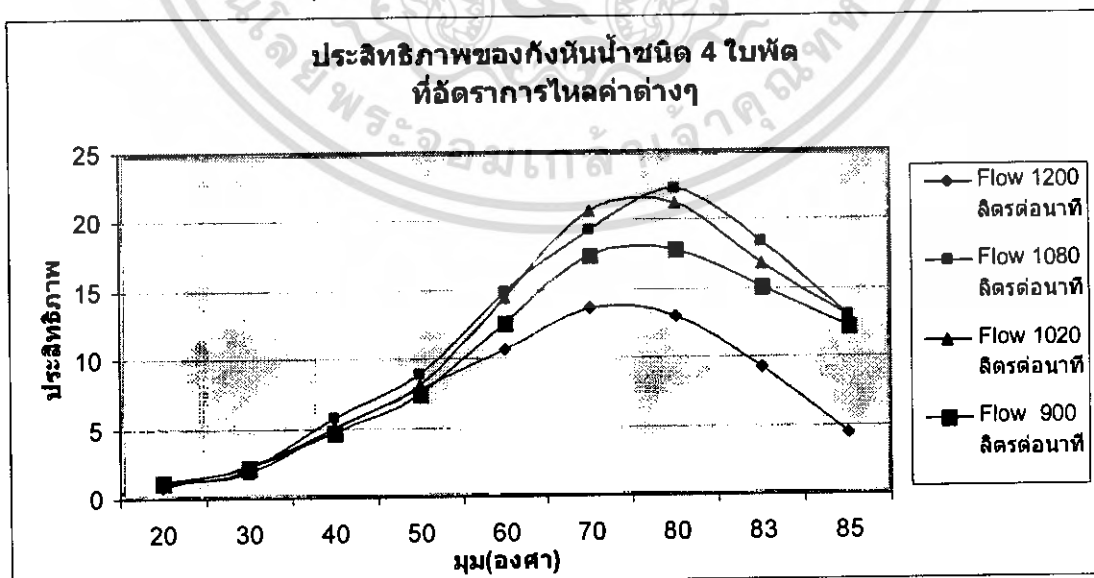
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-8 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-8 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัดที่อัตราการไหลค่าต่างๆ

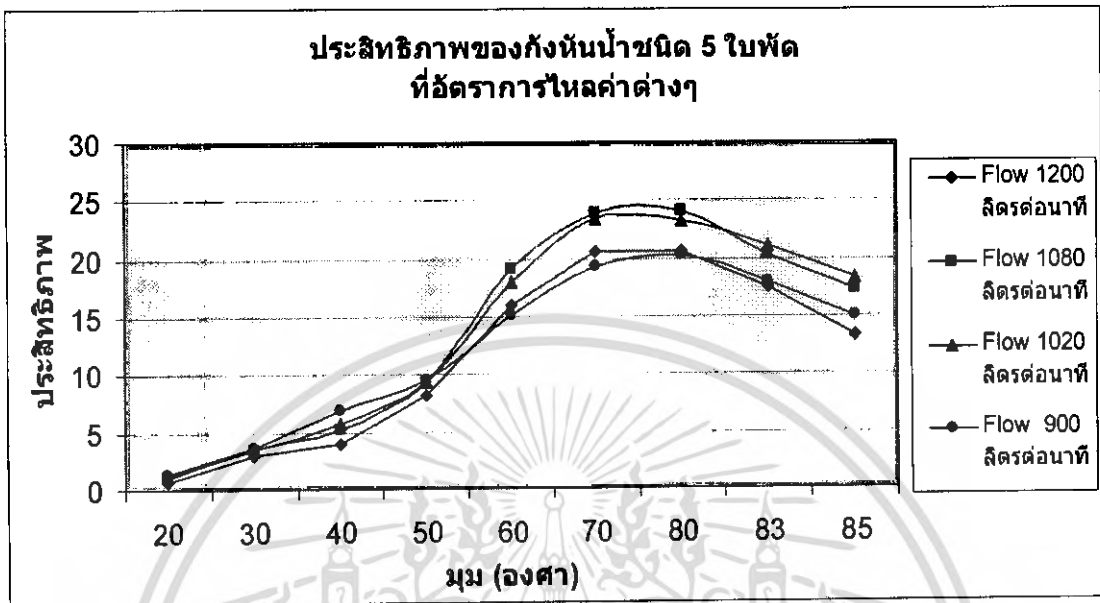
รูปที่ 5-9 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 4 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-9 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัดที่อัตราการไหลค่าต่างๆ

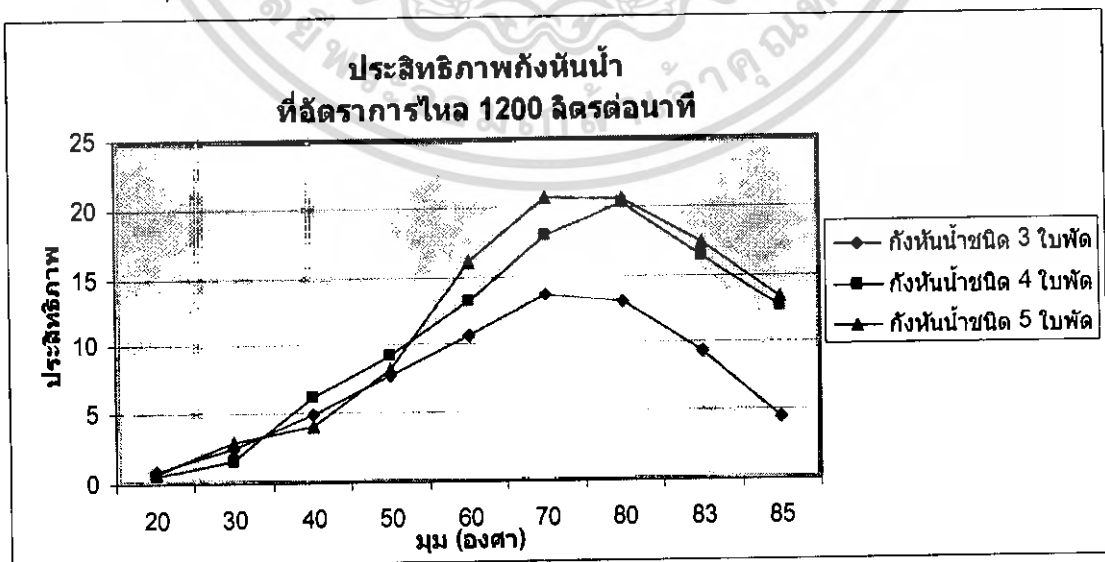
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-10 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะ และอัตราการไหลค่าต่างๆ เพื่อดูผลกระทบต่อกังหันน้ำ



รูปที่ 5-10 แสดงประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ

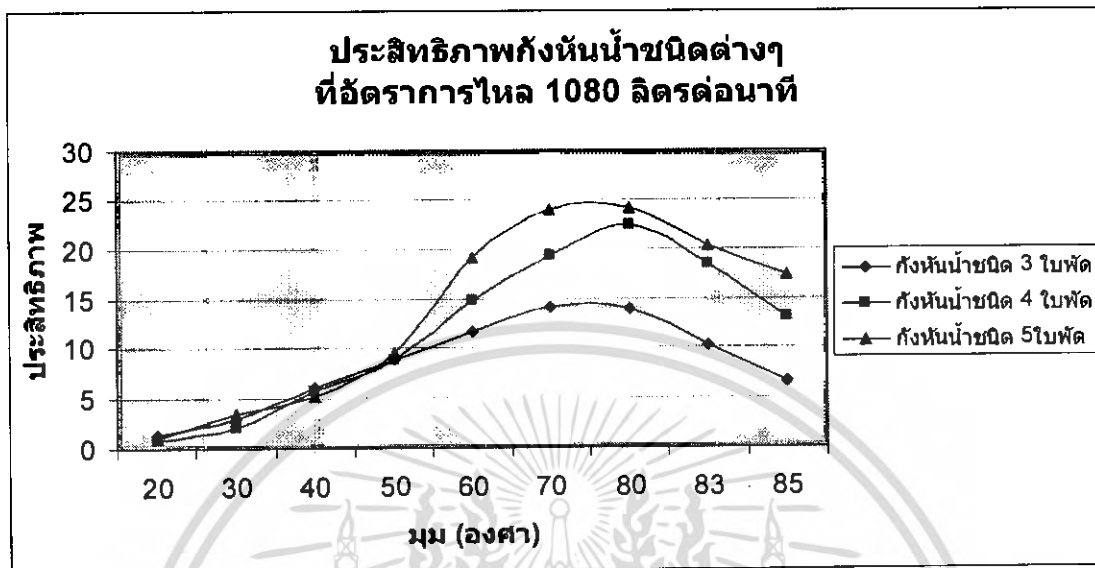
รูปที่ 5-11 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1200 L/min



รูปที่ 5-11 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 1200 L/min

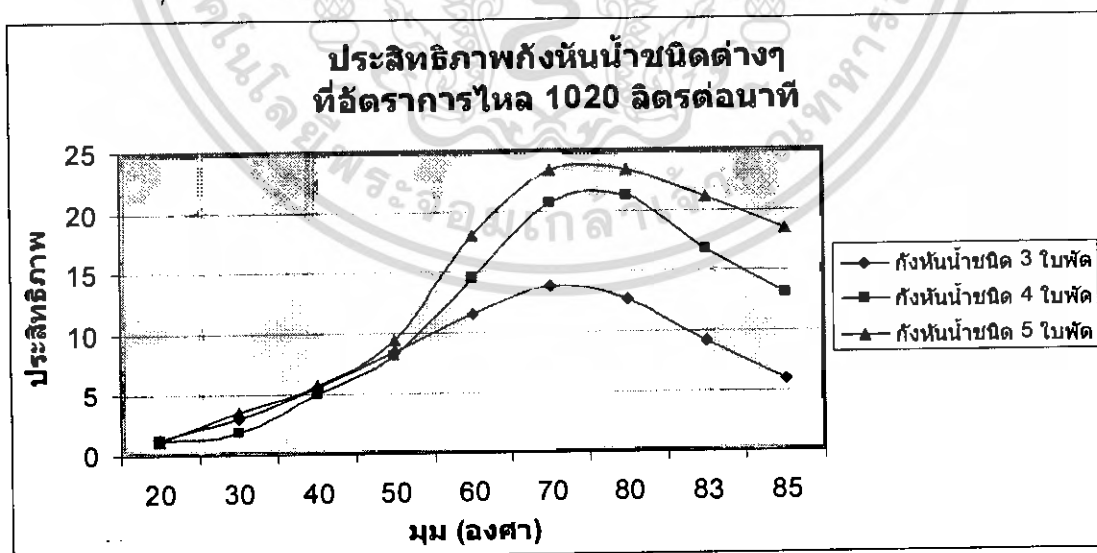
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-12 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1080 L/min



รูปที่ 5-12 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 1080 L/min

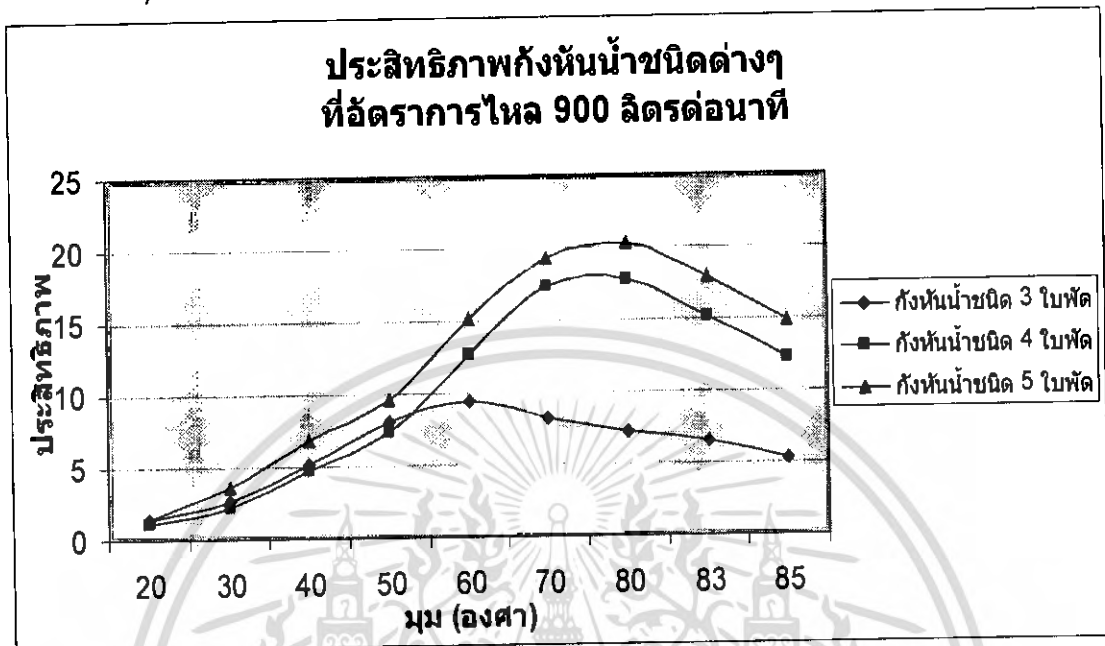
รูปที่ 5-13 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 1020 L/min



รูปที่ 5-13 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-14 ต่อไปนี้แสดงการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดี่ยวชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของกังหัน โดยกำหนดอัตราการไหลมีค่าเป็น 900 L/min



รูปที่ 5-14 แสดงประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหล 900 L/min

จากรูปที่ 5-8 ถึง รูปที่ 5-14 สามารถสรุปได้ดังนี้

- กังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด เมื่อนำมาใช้กับอัตราการไหลน้อยๆจะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี แต่ถ้านำมาใช้ที่อัตราการไหลสูงๆจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า
- กังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด เมื่อนำมาใช้กับอัตราการไหลช่วง $1020 \text{ L/min} - 1080 \text{ L/min}$ จะให้ประสิทธิภาพที่สูงในช่วงมุม $60^\circ - 80^\circ$ แต่จะให้ประสิทธิภาพที่ลดลงในช่วงอัตราการไหลที่มากกว่า 1080 L/min และมุมปะทะตั้งแต่ $83^\circ - 85^\circ$
- กังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด เมื่อนำมาใช้กับอัตราการไหลช่วง $1020 \text{ L/min} - 1080 \text{ L/min}$ จะให้ประสิทธิภาพที่สูงในช่วงมุม $60^\circ - 80^\circ$ แต่จะให้ประสิทธิภาพที่ลดลงในช่วงอัตราการไหลที่มากกว่า 1080 L/min และมุมปะทะตั้งแต่ $83^\circ - 85^\circ$
- กังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหลค่าต่างๆจะให้ประสิทธิภาพที่มีค่าเพิ่มขึ้นที่มุมปะทะ $60^\circ - 80^\circ$ ซึ่งจะให้ค่าที่ดีที่สุดที่มุมปะทะเท่ากับ 80°
- ประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดต่างๆที่อัตราการไหลค่าต่างๆจะมีประสิทธิภาพลดลงที่มุมปะทะเกิน 80°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. กังหันน้ำชนิดมีใบพัดน้อยเหมาะสำหรับนำมาใช้กับอัตราการไหลของน้ำที่สูง เนื่องจากถ้าอัตราการไหลที่น้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันน้อย
2. กรณีอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำควรจะใช้กังหันน้ำชนิดใบพัดมากๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของกังหันจะดี
3. ที่มุมปะทะ $20^\circ - 80^\circ$ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด, 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ที่มุมปะทะเกิน 80° ประสิทธิภาพของกังหันจะลดลงเนื่องจากเกิดการไหลวนหลังใบพัด

6.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

การสร้างกังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียวเพื่อใช้ในการศึกษานี้เป็นการสร้างเพื่อศึกษาขั้นต้น ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบต่อกังหันซึ่งประกอบด้วย มุมปะทะ อัตราการไหล และ จำนวนปีกกังหัน โดยในการศึกษาในรายละเอียดต่อไปควรมีการดัดแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้กังหันน้ำตามแนวแกนแบบขั้นเดียวมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Bames W. McCormick, Aerodynamics
- [2] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Fluid mechanics
- [3] Jack Park, “Simplified Wind Power System For Experiment”
- [4] Miroslav Nechleba, Dr. Techn., M.E., Hydraulic Turbines Their Design and Equipment
- [5] วินัย ศรีอำพร, กลศาสตร์ของไหล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [6] ฉัตรชัย ปารีชัยยนต์ “การสร้างชุดทดสอบการวัดอัตราการไหล โดยออริฟิส” ปริญญานิพนธ์
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
การกำหนดขนาดและวิธีการสร้างใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดใบพัด

ในการออกแบบขนาดและรูปร่างพื้นที่หน้าตัดใบพัดของกังหันชนิด Axial Flow Turbine หรือ Kaplan Turbine ให้ได้ใบพัดที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น ในการออกแบบจะอ้างอิงข้อมูลจากรูปร่างแพนอากาศ (Air foil) ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งการพัฒนาารูปร่างแพนอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกระทำโดยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎี Hydro dynamic ในการทำนายแรงกระทำบนแพนอากาศ ในปีค.ศ. 1929 คณะที่ปรึกษาทางด้านการบินแห่งชาติ (National Advisory Committee for Aeronautics) ได้เริ่มหารทดสอบแพนอากาศที่มีการกำหนดรูปร่างอย่างเป็นระบบที่แน่นอนและรวบรวมข้อมูลของแพนอากาศแบบต่างๆ ไว้อย่างเป็นระเบียบสามารถค้นคว้าได้โดยง่ายแพนอากาศของ NACA จำนวนมากยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน หรือเป็นต้นแบบของแพนอากาศที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นเราจะข้อมูลการกำหนดขนาดและถือการกำหนดเครื่องหมายโดยใช้ ระบบของ NACA เป็นมาตรฐานในการออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดของใบพัด



รูปที่ ก-1 แสดงส่วนประกอบลักษณะเฉพาะของแพนอากาศ

จากรูปที่ ก-1 รูปร่างของแพนอากาศมีลักษณะเฉพาะตัวที่กำหนดจาก

1. Mean camber line หรือ Mean line ซึ่งเป็นเส้นแบ่งครึ่งระยะทางระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของแพนอากาศโดยวัดในแนวตั้งฉากกับ Mean line จากชายหน้าถึงชายหลังของแพนอากาศ ซึ่งปลายสุดด้านหน้าของเส้น mean line คือ ชายหน้า (Leading edge) และปลายสุดด้านหลังของเส้น mean line คือ ชายหลัง (Trailing edge) ของแพนอากาศ
2. ความยาวคอร์ด (Chord) คือ เส้นตรงที่ลากต่อระหว่างชายหน้าและชายหลังของแพนอากาศ โดยระยะห่างระหว่างชายหน้ากับชายหลังแรกเรียกว่า “ความยาวคอร์ดของแพนอากาศ”
3. Camber คือ ระยะห่างสูงสุดระหว่าง mean line กับ Chord

4. Thickness คือ ความหนาที่วัดจากระยะห่างของผิวด้านบนและผิวด้านล่างของแพนอากาศ ในแนวตั้งฉากกับคอร์ด โดยความหนาของแพนอากาศจะมีการแจกแจงจากชายหน้าถึงชายหลังของแพนอากาศ ซึ่งค่าความหนาสูงสุดเรียกว่า Max thickness นิยมวัดเป็นสัดส่วนของคอร์ด

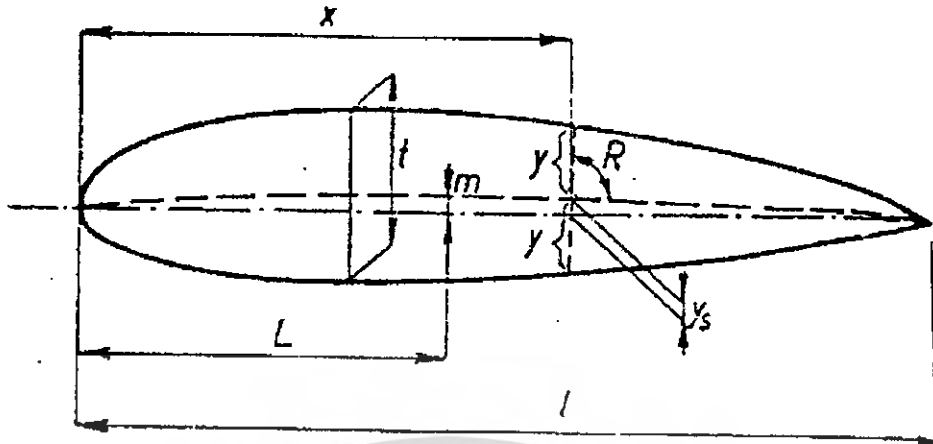
5. L.E radius คือ รูปร่างของแพนอากาศซึ่งจะมีลักษณะโค้งมนที่ปลายหน้าหรือจมูก (Nose) เป็นรูปวงกลม โดยมีรัศมีมีความโค้งที่ชายหน้าประมาณ $0.02C$

% Chord	$\frac{t}{2}$ NACA 65 Series	$\frac{t}{2}$ C4
0	0	0
0.5	0.722	
0.75	0.932	
1.25	1.169	1.65
2.5	1.574	2.27
5.0	2.177	3.08
7.5	2.674	3.62
10	3.040	4.02
15	3.660	4.55
20	4.143	4.83
25	4.503	
30	4.760	5.00
35	4.924	4.89
40	4.966	
45	4.963	4.57
50	4.812	
55	4.530	4.05
60	4.146	3.37
65	3.682	
70	3.156	2.54
75	2.584	
80	1.987	1.60
85	1.385	
90	0.810	1.06
95	0.306	
100	0	0
LE radius	0.687% of chord	
TE radius	sharp	

ตารางที่ ก-1 แสดงการกระจายความหนาของแพนอากาศ NACA 6510 section C4

อัตราส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แสดงรูปค่าส่วนประกอบที่สำคัญในการเขียนรูปแผนอากาศจาก ตารางการแนะนำของแผนอากาศ NACA 6510 section C4

ในการออกแบบใบพัดเพื่อทำการศึกษานี้ เราจะใช้ NACA 6510 เนื่องจากการที่ รูปร่างใบพัดที่ได้ข้างนี้ให้ค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับช่วงอัตราไหลที่ได้ทำการทดลอง โดยให้ประสิทธิภาพที่ดี และข้อมูลที่ใช้ข้างนี้มีมากเพียงพอในการออกแบบ โดยรายละเอียดค่า ของ NACA มีดังต่อไปนี้

NACA ของแผนอากาศตระกูลเลข 4 ตัว

1. เลขตัวแรกจะบอกค่า camber สูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์คอร์ด
2. เลขตัวที่สองจะบอกค่าตำแหน่งเป็นเปอร์เซ็นต์คอร์ด
3. เลขสองตัวหลังสุดจะบอกค่าความหนาสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์คอร์ด

การออกแบบกังหันที่มีจำนวนใบพัด 5 ใบ

จำนวนใบพัด $z = 5$ รัศมีกังหัน $r = 50$ mm.ความหนาของแอร์ฟอยล์ $t = \frac{2\pi(50)}{5} = 62.83$ mm.อัตราส่วนความยาวของคอร์ดต่อความหนาแอร์ฟอยล์ $\frac{l}{t} = 1$ ความยาวคอร์ด $l = 62.83$ mm.

ตำแหน่งตามความยาวเส้นคอร์ด		ความโค้งของใบพัด		ความหนาของใบพัด	
Length % Chord	Length (mm)	t/2 % Chord	t/2 (mm)	C4 % Chord	C4 (mm)
0	0	0	0	0	0
0.5	0.314	0.722	0.453		
0.75	0.471	0.932	0.585		
1.25	0.785	1.169	0.734	1.65	1.036
2.5	1.570	1.574	0.988	2.27	1.425
5.0	3.140	2.177	1.367	3.08	1.934
7.5	4.710	2.674	1.679	3.62	2.273
10	6.280	3.040	1.909	4.02	2.524
15	9.420	3.660	2.298	4.55	2.857
20	12.56	4.143	2.602	4.83	3.033
25	15.70	4.503	2.828		
30	18.84	4.760	2.989	5.00	3.140
35	21.98	4.924	3.092	4.89	3.071
40	25.12	4.966	3.119		
45	28.26	4.963	3.117	4.57	2.870
50	31.40	4.812	3.022		
55	34.54	4.530	2.845	4.05	2.543
60	37.68	4.146	2.604	3.37	2.116
65	40.82	3.682	2.312		
70	43.96	3.156	1.982	2.54	1.595
75	47.10	2.584	1.623		
80	50.24	1.987	1.248	1.60	1.005
85	53.38	1.385	0.870		
90	56.52	0.810	0.509	1.06	0.666
95	59.66	0.306	0.192		
100	62.80	0	0	0	0
LE radius		0.687% of chord		R= 0.431 mm	
TE radius		sharp			

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 5 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกังหันที่มีจำนวนใบพัด 4 ใบ

จำนวนใบพัด $z = 4$ รัศมีกังหัน $r = 50$ mm.ความหนาของแอร์ฟอยล์ $t = \frac{2\pi(50)}{4} = 78.54$ mm.อัตราส่วนความยาวของคอร์ดต่อความหนาแอร์ฟอยล์ $\frac{l}{t} = 1$ ความยาวคอร์ด $l = 78.54$ mm.

ตำแหน่งตามความยาวเส้นคอร์ด		ความโค้งของใบพัด		ความหนาของใบพัด	
Length % Chord	Length (mm)	t/2 % Chord	t/2 (mm)	C4 % Chord	C4 (mm)
0	0	0	0	0	0
0.5	0.314	0.722	0.567		
0.75	0.471	0.932	0.732		
1.25	0.785	1.169	0.918	1.65	1.296
2.5	1.570	1.574	1.236	2.27	1.783
5.0	3.140	2.177	1.663	3.08	2.419
7.5	4.710	2.674	2.100	3.62	2.843
10	6.280	3.040	2.388	4.02	3.157
15	9.420	3.660	2.874	4.55	3.573
20	12.56	4.143	3.254	4.83	3.793
25	15.70	4.503	3.537		
30	18.84	4.760	3.738	5.00	3.927
35	21.98	4.924	3.867	4.89	3.841
40	25.12	4.966	3.900		
45	28.26	4.963	3.898	4.57	3.589
50	31.40	4.812	3.779		
55	34.54	4.530	3.558	4.05	3.181
60	37.68	4.146	3.256	3.37	2.647
65	40.82	3.682	2.892		
70	43.96	3.156	2.479	2.54	1.995
75	47.10	2.584	2.029		
80	50.24	1.987	1.560	1.60	1.257
85	53.38	1.385	1.088		
90	56.52	0.810	0.636	1.06	0.832
95	59.66	0.306	0.240		
100	62.80	0	0	0	0
LE radius		0.687% of chord		R= 0.539 mm	
TE radius		sharp			

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 4 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกังหันที่มีจำนวนใบพัด 3 ใบ

จำนวนใบพัด $z = 3$ รัศมีกังหัน $r = 50$ mm.ความหนาของแอร์ฟอยล์ $t = \frac{2\pi(50)}{3} = 10.472$ mm.อัตราส่วนความยาวของคอร์ดต่อความหนาแอร์ฟอยล์ $\frac{l}{t} = 1$ ความยาวคอร์ด $l = 10.472$ mm.

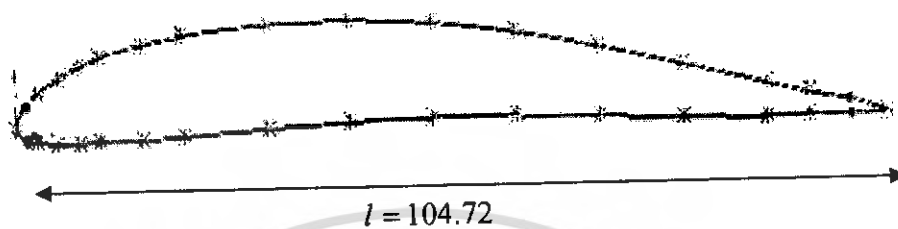
ตำแหน่งตามความยาวเส้นคอร์ด		ความโค้งของใบพัด		ความหนาของใบพัด	
Length % Chord	Length (mm)	t/2 % Chord	t/2 (mm)	C4 % Chord	C4 (mm)
0	0	0	0	0	0
0.5	0.314	0.722	0.756		
0.75	0.471	0.932	0.976		
1.25	0.785	1.169	1.224	1.65	1.728
2.5	1.570	1.574	1.648	2.27	2.377
5.0	3.140	2.177	2.280	3.08	3.225
7.5	4.710	2.674	2.800	3.62	3.791
10	6.280	3.040	3.183	4.02	4.210
15	9.420	3.660	3.833	4.55	4.765
20	12.56	4.143	4.338	4.83	5.058
25	15.70	4.503	4.715		
30	18.84	4.760	4.985	5.00	5.236
35	21.98	4.924	5.156	4.89	5.121
40	25.12	4.966	5.200		
45	28.26	4.963	5.197	4.57	4.786
50	31.40	4.812	5.039		
55	34.54	4.530	4.744	4.05	4.241
60	37.68	4.146	4.342	3.37	3.530
65	40.82	3.682	3.856		
70	43.96	3.156	3.305	2.54	2.660
75	47.10	2.584	2.706		
80	50.24	1.987	2.081	1.60	1.675
85	53.38	1.385	1.450		
90	56.52	0.810	0.848	1.06	1.110
95	59.66	0.306	0.320		
100	62.80	0	0	0	0
LE radius		0.687% of chord		R= 0.719 mm	
TE radius		sharp			

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการออกแบบกังหันชนิด 3 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

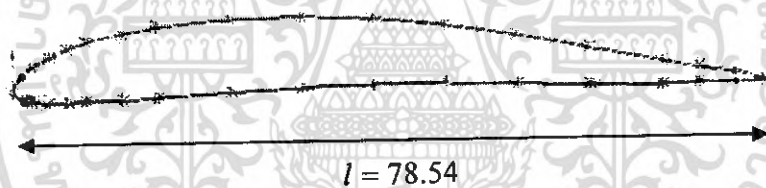
รูปแบบแอร์ฟอยล์ที่ได้ทำการออกแบบ

กังหันที่มีจำนวนใบพัด 3 ใบ



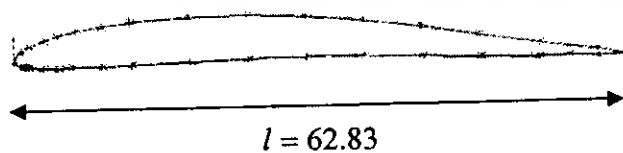
รูปที่ ก-3 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 3 ใบพัด

กังหันที่มีจำนวนใบพัด 4 ใบ



รูปที่ ก-4 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 4 ใบพัด

กังหันที่มีจำนวนใบพัด 5 ใบ



รูปที่ ก-5 แสดงรูปแบบแอร์ฟอยล์ของกังหันชนิด 5 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 วิธีการสร้างใบพัด

ใบพัดที่ใช้ในการทดลองจะสร้างขึ้นมาจากน้ำยาเรซินผสมไฟเบอร์กลาส เนื่องจากให้ความแข็งแรงได้มาก สามารถทำให้มีรูปร่างเหมือนตามที่ได้ออกแบบไว้มากที่สุด และไม่เกิดสนิม โดยวิธีการสร้างใบพัดนั้นจะสามารถจำแนกขั้นตอนได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. การสร้างต้นแบบใบพัด(Blade)จากดินฉีปูน เนื่องจากดินฉีปูนมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี และไม่แข็งตัวเร็วจนเกินไปขณะปั้นแบบใบพัด



รูปที่ ก-6 แสดงลักษณะใบพัดต้นแบบที่ได้จากการปั้นดินฉีปูน

2. การสร้างโมลจากชิลิโคน เนื่องจากยางชิลิโคนมีคุณสมบัติในการถอดแบบออกจากใบพัดต้นแบบได้ดี และป้องกันต้นแบบใบพัดเสียหายจากการถอดโมลออกโดยทั่วไป ยางชิลิโคนจะแข็งตัวเต็มที่ซึ่งใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง โดยมีส่วนผสมคือ ยางชิลิโคน 1 ช้อนชา ต่อ ตัวเร่ง 20 หยด



รูปที่ ก-7 แสดงการสร้างโมลชิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-8 แสดงโมลซิลิโคนที่ถูกสร้างขึ้นสมบูรณ์

3. การสร้างโมลจากปูนปลาสเตอร์ โดยเราจะหล่อปูนปลาสเตอร์ทับโมลซิลิโคนเพื่อให้โมลมีความแข็งแรงมากขึ้น และไม่บิดตัวเวลาหล่อใบพัด โดยทั่วไปปูนปลาสเตอร์จะแข็งตัวเต็มที่ในเวลา 2-3 ชั่วโมง โดยมีส่วนผสมคือ ปูนปลาสเตอร์ 1 ส่วน ต่อ น้ำ 1 ส่วน



รูปที่ 8-9 แสดงโมลปูนปลาสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นสมบูรณ์

4. การหล่อใบพัดจากเรซินและแผ่นไฟเบอร์กลาส โดยเราจะมีกรใส่แผ่นไฟเบอร์กลาสลงไปโมลเวลาหล่อเรซิน เพื่อให้ใบพัดที่ได้มีความแข็งแรงและเหนียวมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปเรซินจะแข็งตัวภายในเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง โดยมีส่วนผสมคือ เรซิน 1 ช้อนชา ต่อ ตัวเร่ง 20 หยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-10 แสดงการใส่แผ่นไฟเบอร์กลาสในขบวนการหล่อเรซิน



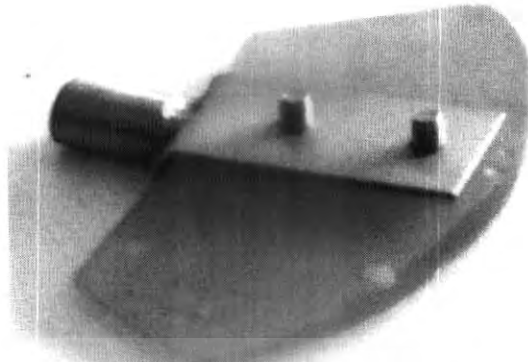
รูปที่ ก-11 แสดงครีปที่เกิดจากการหล่อใบพัด

5. ตัดแต่งใบพัดให้ได้ตามที่ต้องการ โดยเราจะทำการตัดครีปที่ติดใบพัดมาจากการหล่อให้เรียบร้อย



รูปที่ ก-12 แสดงใบพัดที่ตกแต่งเรียบร้อยสมบูรณ์

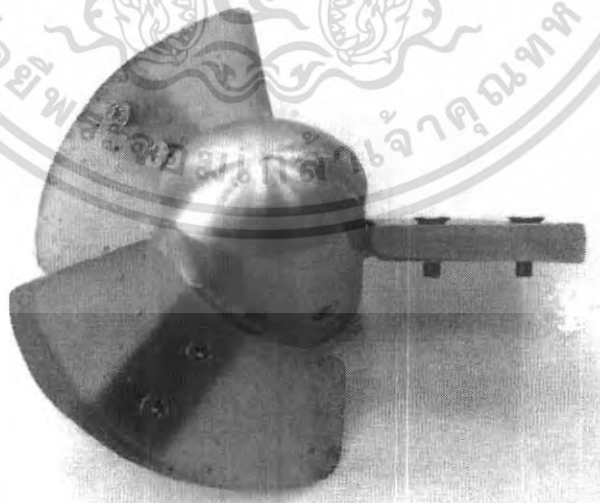
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-13 แสดงใบพัดที่ยึดกับกลไกปรับมุม

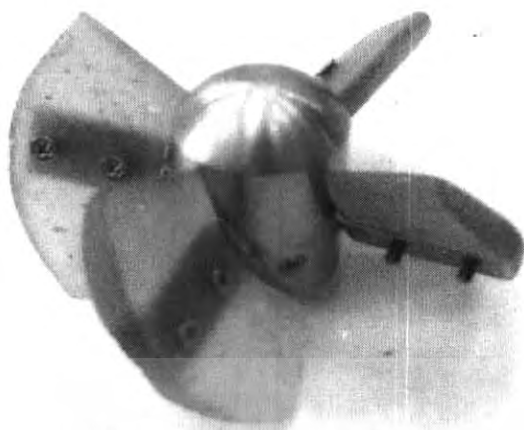


รูปที่ ก-14 แสดงตำแหน่งกลไกการปรับมุม



รูปที่ ก-15 แสดงกังหันชนิด 3 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-16 แสดงกังหันชนิด 4 ใบพัด



รูปที่ ก-17 แสดงกังหันชนิด 5 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การวัดความดัน (Pressure measurement)

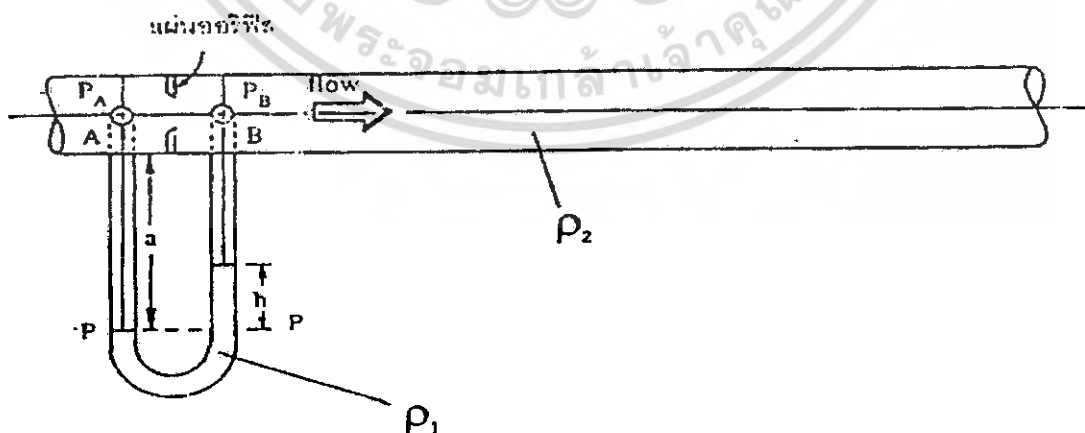
การวัดความดันของของไหลเพื่อนำไปใช้หาความเร็วของของไหล หรืออัตราการไหล เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความดันถูกกำหนดให้อยู่ในสมการพลังงาน ความดันของของไหลแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1) ความดันสถิตย์ (Static pressure) คือความดันที่เกิดจากแรงของไหลที่กระทำตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

2) ความดันเชิงพลวัต (Dynamic pressure) คือ ความดันที่เขียนอยู่ในรูปของความเร็วยของของไหล โดยทำการวัดเทียบระหว่างจุด 2 จุด

3) ความดันรวม (Total pressure) เป็นผลรวมระหว่างความดันสถิตย์กับความดันเชิงพลวัต อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันของของไหลนั้นมีมากมายหลายอย่าง แต่ในที่นี้จะยกกล่าวถึงเฉพาะமானอมิเตอร์แบบหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube manometer)

மானอมิเตอร์เป็นการวัดความดันด้วยวิธีตรง เป็นเครื่องมือวัดความดันที่เกิดขึ้นชนิดแรก โดยหลักการของமானอมิเตอร์จะอาศัยหลักการสมดุลของแรงโน้มถ่วง โดยให้ความดันแตกต่างกันค่าเท่ากับความสูงของของเหลวในท่อแก้ว ซึ่งமானอมิเตอร์แบบหลอดแก้วรูปตัวยูที่เลือกมาใช้ประกอบด้วยหลอดแก้วโค้งงอรูปตัวยู ซึ่งภายในจะใส่ของเหลวที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าของไหลที่ต้องการวัดความดัน สำหรับของเหลวที่ใส่นั้นจะต้องไม่ผสมกับของเหลวที่ต้องการวัดความดันในการเลือกใช้ของเหลวเพื่อบ่งบอกความดันจะขึ้นอยู่กับขนาดความดัน และชนิดของไหลที่ต้องการวัดความดันด้วย เช่นถ้าความดันต่ำก็จะใช้ของเหลวบ่งบอกความดันที่มีความถ่วงจำเพาะน้อย เช่น น้ำ



รูปที่ ข-1 แสดงமானอมิเตอร์รูปตัวยู (U-tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ข-1 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีความดันต่างกัน ความดันด้านสูงจะดันให้ของเหลวจากทางด้านหนึ่งของหลอดแก้วไหลไปอีกข้างหนึ่ง โดยของเหลวจะหยุดเมื่อแรงที่เกิดจากความแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากความดันแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวในหลอดแก้วด้าน

ความดันที่จุด P ด้านซ้าย

$$P_p = P_A + \rho_2 ag$$

ความดันที่จุด P ด้านขวา

$$P_p = P_B + \rho_2(a-h)g + \rho_1 hg$$

เนื่องจากจุด 1=2 ความดันที่ระบบ P ทั้งสองข้างกัน จะได้ว่า

$$P_A + \rho_2 ag = P_B + \rho_2(a-h)g + \rho_1 hg$$

$$P_A - P_B = \rho_1 hg - \rho_2 hg = hg(\rho_1 - \rho_2)$$

$$\Delta P = \Delta h(\rho_1 - \rho_2)g$$

(ข.1)

กำหนดให้

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

ρ_1 คือ ความหนาแน่นของของเหลวชนิดที่ 1

ρ_2 คือ ความหนาแน่นของของเหลวชนิดที่ 2

Δh คือ ผลต่างความสูงของของเหลวชนิดที่ 1

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าผลต่างของความดันขึ้นอยู่กับความสูงที่แตกต่างของของเหลวและความหนาแน่นของของเหลว ดังนั้น การเลือกชนิดของของเหลวและการกำหนดความสูงของท่อแก้วจึงเป็นการกำหนดย่านขนาดความดันที่จะวัด

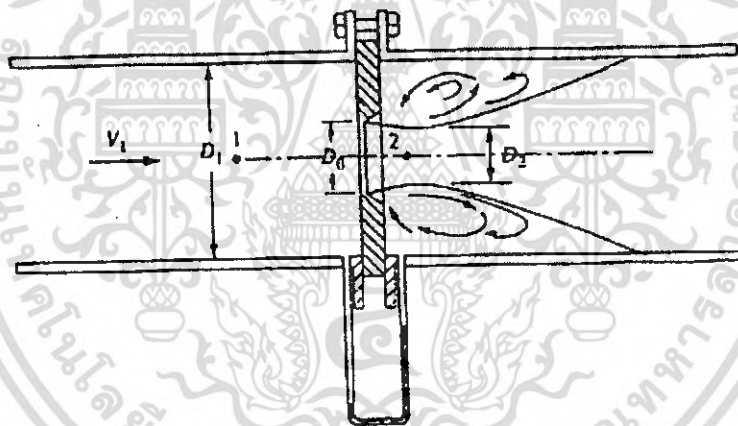
ข.2 การวัดอัตราการไหล (Discharge measurement)

ในการวัดอัตราการไหลภายในท่อ นั้นสามารถหาได้โดยการหาความเร็วเฉลี่ยของของไหล โดยใช้ Pitot Tube จากนั้นพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังนั้นอัตราการไหลจะได้

$$Q = AV \quad (\text{ข.2})$$

หรือจะหาได้จากเครื่องมือวัด เช่น Orifice

Orifice มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะมีรูกลม ช่อง Orifice ทางด้านของไหลไหลเข้าจะเป็นมุมฉากคมอยู่ตรงกลางกั้นขวางทิศทางการไหลของของไหลในท่อ โดยแนวที่ผ่านจุดศูนย์กลางท่อจะผ่านจุดศูนย์กลางที่รูเจาะพอดี ทางด้านออกจะทำมุมผายประมาณ 45 องศา เพื่อเป็นการลดความเสียดทาน และผิวทางด้านในของของไหลไหลเข้าจะต้องเรียบและตั้งฉากกับแนวท่อ ซึ่งการวัดอัตราการไหลด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากในทางวิศวกรรม



รูปที่ ข-2 แสดง Orifice โดยวิธีวัดผลต่างของระดับของไหล

ความหนาของแผ่น Orifice จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดท่อหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของช่อง Orifice ความหนาที่สำคัญ คือ ขอบใน Orifice (Orifice edge) ระยะ T ตามรูปที่ 4-2 จะต้องมีค่าไม่เกินนี้

$$T < \frac{d}{8} \quad (\text{ข.3})$$

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (\text{ข.4})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

T คือ ค่าความหนาของแผ่น Orifice

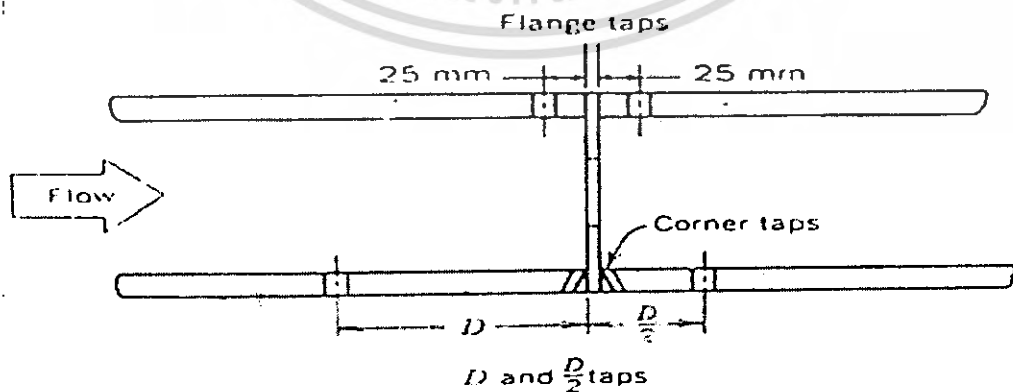
d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของช่อง Orifice

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เพราะระยะ D จะมีผลโดยตรงต่อค่า Coefficient of discharge แต่ค่าความหนาแน่นของแผ่น Orifice จะมีความหนามากกว่าระยะ T ได้ทั้งนี้ เพื่อให้ความแข็งแรงของแผ่น Orifice มากขึ้น โดยลักษณะของแผ่น Orifice แบบนี้จะใช้วัดทิศทางไหลได้ทางเดียวเท่านั้น

ขนาดช่อง Orifice จะบอกเป็นอัตราส่วนกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนเบต้า (β ratio) ค่าของ β นี้มีขีดจำกัดเพื่อให้ผลของการวัดมีความเที่ยงตรง และค่า β นี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการต่อจุดวัดความดัน (Pressure tap) ตำแหน่งที่ทำการต่อจุดวัดความดันโดยทั่วไปมีด้วยกัน 3 แบบ ดังนี้

- 1) Vena Contracta taps โดยต่อจุดวัดความดันทางฝั่ง Upstream จะอยู่ที่ระยะเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจากแผ่น Orifice ส่วน Downstream จะอยู่ที่ตำแหน่งที่เกิด Vena Contracta
- 2) D and $D/2$ โดยจุดต่อวัดความดันทางฝั่ง Upstream จะอยู่ที่ระยะเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ส่วน Downstream จะอยู่ระยะครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจากแผ่น Orifice
- 3) Corner taps โดยจุดต่อวัดความดันทางฝั่ง Upstream และ Downstream จะติดตั้งไว้ใกล้แผ่น Orifice ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- 4) Flange taps โดยจุดต่อวัดความดันทางฝั่ง Upstream และ Downstream จะมีระยะอยู่ที่ 1 นิ้วจากแผ่น Orifice



รูปที่ ข-3 แสดงตำแหน่งของรูเจาะเพื่อวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ Bernoulli ระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 คือ

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (\text{ข.5})$$

จากสมการการไหลต่อเนื่องระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 คือ

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (\text{ข.6})$$

แต่ $A_2 < A_1$ หรือ

$$A_2 = C_c A_0 \quad (\text{ข.7})$$

โดย C_c คือ สัมประสิทธิ์การหดตัว
แทนค่าสมการ (ข.6) ใน (ข.7) ได้

$$V_1 = \frac{C_c A_0 V_2}{A_1} \quad (\text{ข.8})$$

แทนสมการ (ข.8) ใน สมการ (ข.5) ได้

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right] \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (\text{ข.9})$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (\text{ข.10})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (ข.10) คือ ความเร็วที่ได้ทางทฤษฎี แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้ว จะมีการสูญเสียพลังงานในขณะที่มีการไหลผ่านช่อง Orifice ดังนั้นความเร็วจริงจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วทางทฤษฎี

$$V_{2r} = C_v V_2 \quad (\text{ข.11})$$

โดย V_{2r} คือ ความเร็วจริง

C_v คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว

ที่หน้าตัด 2 มีอัตราการไหล

$$Q = A_2 V_{2r}$$

$$Q = (C_c A)(C_v V_2)$$

(ข.12)

แทนสมการ (ข.10) ใน สมการ (ข.12) ได้

$$Q = C_c C_v A_0 \sqrt{\frac{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

(ข.13)

หรือ

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2 \left[\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{1 - \beta^4}}$$

(ข.14)

โดย C_d คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (Discharge coefficient)

$\sqrt{1 - \beta^4}$ คือ The velocity of approach factor หรือแทนด้วย E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลทางทฤษฎีนั้น เมื่อทราบค่า Reynolds number, β ก็สามารหาค่า C_d ได้จากสมการ

$$C_d = \frac{0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5} \left[\frac{10^6}{Re} \right]^{0.75}}{1 - \beta^4} - 0.0337L'_2\beta^3 \quad (\text{ข.15})$$

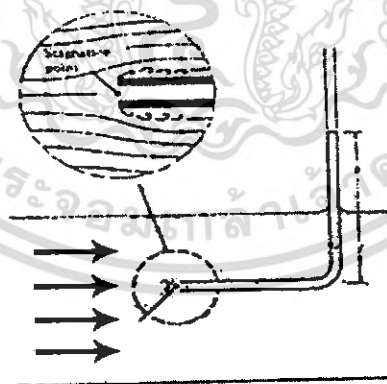
$$L'_2 = \frac{l_2}{D} \quad (\text{ข.16})$$

โดย l_2 คือ ตำแหน่งจุดวัดความดันทางฝั่ง Downstream

ข.3 การวัดความเร็ว (Velocity measurement)

การหาความเร็วนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหลอดปีโคท (Pitot tube)

หลอดแก้วปีโคท (Pitot tube) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วปลายงอ โดยในการวัดจะวาง Pitot tube ลงในตำแหน่งที่ต้องการวัดความเร็ว โดยหันปลายงอเข้าหาทิศทางการไหล



รูปที่ ข-4 แสดงหลอดปีโคท (Pitot tube)

ข.4 การสอบเทียบอัตราการไหล

เราจะมี การสอบเทียบอัตราการไหล โดยการใช้ถังวัดอัตราการไหล ซึ่งจะทำได้โดยการปิดวาล์วที่น้ำจ่ายลงถังให้สนิท แล้วเปิดวาล์วที่น้ำจ่ายไปทางถังวัดอัตราการไหลให้สุด หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มน้ำ โดยจะเริ่มวัดเวลาหลังจากที่น้ำกระทบถังวัดอัตราการไหล ซึ่งจะจับเวลาทั้งสิ้น 10 วินาที เราจะมี การทำการสอบเทียบทั้งสิ้น 3 ครั้งต่ออัตราการไหล 1 ค่า ให้ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนได้อัตราการไหลครบที่ ต้องการในการทำการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 แสดงผลการสอบเทียบอัตราการไหล

อัตราการไหล <i>L/min</i>	Input Power <i>Watt</i>
1200	2112.93
1080	1996.92
1020	1936.78
900	1650.43

ตารางที่ ค-2 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบ ที่อัตราการไหล 900 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (<i>g</i>)	แรง (<i>N</i>)	แรงบิด (<i>N-m</i>)	ความเร็วเชิงมุม (<i>rpm</i>)	Output power (<i>Watt</i>)
20	1100	10.78	0.5476	381	21.8492
30	1500	14.7	0.7467	571	44.6526
40	1900	18.62	0.9458	858	84.9885
50	2100	20.58	1.0454	1223	133.8953
60	2000	19.6	0.9956	1486	154.9417
70	1600	15.68	0.7965	1630	135.9650
80	1300	12.74	0.6471	1752	118.7400
83	1100	10.78	0.5476	1882	107.9274
85	1000	9.8	0.4978	1681	87.6369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1020 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1200	11.76	0.5974	403	25.2119
30	1700	16.66	0.8463	630	55.8353
40	2200	21.56	1.0952	950	108.9597
50	2400	23.52	1.1948	1310	163.9087
60	2600	25.48	1.2943	1652	223.9251
70	2500	24.5	1.2446	2040	265.8824
80	2100	20.58	1.0454	2245	245.7848
83	1600	15.68	0.7965	2120	176.8379
85	1200	11.76	0.5974	1862	116.4878

ตารางที่ ค-4 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1080 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1250	12.25	0.6223	410	26.7185
30	1800	17.64	0.8961	615	57.7121
40	2400	23.52	1.1948	962	120.3665
50	2600	25.48	1.2943	1303	176.6189
60	2700	26.46	1.3441	1655	232.9599
70	2600	25.48	1.2943	2060	279.2287
80	2300	22.54	1.1450	2310	276.9869
83	1800	17.64	0.8961	2162	202.8839
85	1350	13.23	0.6720	1853	130.4153

ตารางที่ ค-5 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 3 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1200 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด ($N-m$)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1000	9.8	0.4978	330	17.2041
30	1700	16.66	0.8463	570	50.5176
40	2250	22.05	1.1201	890	104.3979
50	2500	24.5	1.2446	1268	165.2642
60	2650	25.97	1.3192	1625	224.5012
70	2650	25.97	1.3192	2086	288.1905
80	2350	23.03	1.1699	2245	275.0449
83	1800	17.64	0.8961	2093	196.4089
85	1000	9.8	0.4978	1802	93.9451

ตารางที่ ค-6 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล 900 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด ($N-m$)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1000	9.8	0.4978	355	18.5075
30	1400	13.72	0.6969	493	35.9827
40	1600	15.68	0.7965	923	76.9912
50	2400	23.52	1.1948	975	121.9931
60	2900	28.42	1.4437	1380	208.6395
70	3300	32.34	1.6428	1670	287.3094
80	2895	28.371	1.4412	1950	294.3084
83	2500	24.5	1.2446	1913	249.3299
85	2400	23.52	1.1948	1620	202.6962

ตารางที่ ก-7 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1020 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1200	11.76	0.5974	344	21.5208
30	1400	13.72	0.6969	494	36.0557
40	1900	18.62	0.9458	984	97.4693
50	2900	28.42	1.4437	1035	156.4796
60	3500	34.3	1.7424	1530	279.1765
70	4000	39.2	1.9913	1920	400.3876
80	3500	34.3	1.7424	2253	411.1011
83	2900	28.42	1.4437	2150	325.0542
85	2600	25.48	1.2943	1865	252.7968

ตารางที่ ก-8 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1080 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1100	10.78	0.5476	306	17.5482
30	1600	15.68	0.7965	508	42.3743
40	2800	27.44	1.3939	790	115.3199
50	3200	31.36	1.5930	1053	175.6700
60	3700	36.26	1.8420	1532	295.5152
70	3900	38.22	1.9415	1897	385.7015
80	3700	36.26	1.8420	2308	445.2018
83	3200	31.36	1.5930	2192	365.6873
85	2650	25.97	1.3192	1880	259.7306

ตารางที่ ค-9 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 4 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1200 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	900	8.82	0.4480	267	12.5277
30	1500	14.7	0.7467	410	32.0622
40	2750	26.95	1.3690	920	131.8985
50	3100	30.38	1.5433	1200	193.9377
60	3600	35.28	1.7922	1490	279.6457
70	3900	38.22	1.9415	1870	380.2118
80	3600	35.28	1.7922	2280	427.9142
83	3100	30.38	1.5433	2144	346.5021
85	2700	26.46	1.3441	1891	266.1795

ตารางที่ ค-10 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล 900 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1100	10.78	0.5476	391	22.4227
30	2000	19.6	0.9956	562	58.5983
40	2850	27.93	1.4188	763	113.3675
50	3200	31.36	1.5930	950	158.4867
60	3500	34.3	1.7424	1368	249.6166
70	3700	36.26	1.8420	1650	318.2768
80	3400	33.32	1.6926	1890	335.0118
83	2900	28.42	1.4437	1960	296.3285
85	2700	26.46	1.3441	1750	246.3322

ตารางที่ ค-11 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1020 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1100	10.78	0.5476	370	21.2184
30	2200	21.56	1.0952	584	66.9815
40	2800	27.44	1.3939	756	110.3568
50	3500	34.3	1.7424	995	181.5559
60	4400	43.12	2.1904	1513	347.0651
70	4700	46.06	2.3398	1845	452.0782
80	4200	41.16	2.0909	2059	450.8427
83	3700	36.26	1.8420	2120	408.9375
85	3500	34.3	1.7424	1950	355.8132

ตารางที่ ค-12 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1080 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1200	11.76	0.5974	333	20.8326
30	2200	21.56	1.0952	590	67.6696
40	2800	27.44	1.3939	720	105.1017
50	3600	35.28	1.7922	1008	189.1831
60	4800	47.04	2.3896	1520	380.3682
70	4900	48.02	2.4394	1873	478.4684
80	4400	43.12	2.1904	2100	481.7163
83	3650	35.77	1.8171	2135	406.2657
85	3500	34.3	1.7424	1900	346.6898

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-13 แสดงผลการทดลองกังหันน้ำชนิด 5 ใบพัด ที่อัตราการไหล 1200 L/min

มุม ($^{\circ}$)	น้ำหนัก (g)	แรง (N)	แรงบิด (N-m)	ความเร็วเชิงมุม (rpm)	Output power (Watt)
20	1000	9.8	0.4978	282	14.7017
30	2100	20.58	1.0454	560	61.3093
40	2400	23.52	1.1948	679	84.9572
50	3500	34.3	1.7424	950	173.3449
60	4400	43.12	2.1904	1478	339.0365
70	4600	45.08	2.2900	1820	436.4642
80	4000	39.2	1.9913	2087	435.2130
83	3400	33.32	1.6926	2079	368.5130
85	3000	29.4	1.4935	1800	281.5225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้