

การออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้า
ขนาด 1 กิโลวัตต์

Design fixed blade propeller hydro turbine
for generating electric power 1 kW

นายวรเชษฐ์ มงคลเสถียร
นายสมยศ บุญอาจ
นายสุวิชา ปิ่นทอง

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2549

๒๕๔๙

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2/ ๓.๕. 2551
เลขทะเบียน..... 05000163
เลขเรียกหนังสือ..... ๕๖๖
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๖๑๑๐๔

๒๕๕๑



ใบรับรองโครงการงาน

หัวข้อโครงการงาน : การออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์
(Design fixed blade propeller hydro turbine for generating electric power 1 kW)

ผู้ดำเนินโครงการงาน : นายวรเชษฐ์ มงคลเสถียร รหัส 46360939
นายสมยศ บุญอาจ รหัส 46361002
นายสุวิชา ปั่นทอง รหัส 46361036


อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ไกรทอง
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

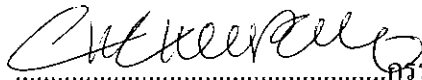
ปีการศึกษา : 2549

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการงาน


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ไกรทอง)


.....กรรมการ
(ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

หัวข้อโครงการ : การออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์

(Design fixed blade propeller hydro turbine for generating electric power 1 kW)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายวรเชษฐ์ มงคลเสถียร รหัส 46360939

นายสมยศ บุญอาจ รหัส 46361002

นายสุวิชา ปั่นทอง รหัส 46361036

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ไกรทอง

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่ เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมความเร็วของกังหันน้ำช่วยในการออกแบบหาอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกังหันน้ำ และรูปร่างใบพัดของกังหันน้ำ โดยเงื่อนไขในการออกแบบกังหันน้ำที่อัตราการไหล 63 ลิตรต่อวินาที หัวน้ำ 3 เมตร และที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

จากการออกแบบได้แบบกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่ โดยมีรูปร่างใบพัดกังหันน้ำเป็นแบบ MH 120 มีจำนวนใบพัดของกังหันน้ำเท่ากับ 4 ใบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกังหันน้ำต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 0.35 และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกังหันน้ำเท่ากับ 5 เซนติเมตร ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพเท่ากับ 97.92 เปอร์เซ็นต์ ขนาดกำลังเพลลาที่ผลิตได้ของกังหันน้ำเท่ากับ 1810.24 วัตต์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 1267.7 วัตต์ เมื่อต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประสิทธิภาพเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์

Project Title : Design fixed blade propeller hydro turbine for generating electric power 1 kW

Name : Mr. Worachet Mongkolsatien code 46360939
Mr. Somyos Boonarj code 46361002
Mr. Suwicha Panthong code 46361036

Project Advisor : Assist Prof. Kwanchai Kraitong

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2006

Abstract

This project is aim to design fixed blade propeller hydro turbine for generating electric power 1 kW by using velocity triangle of hydro turbine to find diameter ratio, inside diameter and shape of blade for hydro turbine. The design condition was turbine operating at flow rate 63 liters/sec, head 3 meters and speed 1000 rpm.

From result of this design we got fixed blade propeller hydro turbine with section aerofoil MH 120 of blade shape, 4 blades, 0.35 of diameter ratio, 5 centimeters of inside diameter of runner. At design condition, the hydro turbine will operate at 97.92% of hydraulic efficiency and produce 1810.24 watts of shaft power and generate 1267.7 watts of electric power when contact with 70% efficiency generator.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิศวกรรมครั้งนี้สามารถจัดทำขึ้นได้เนื่องจากความร่วมมือ และความกรุณาจากหลายๆ ท่าน ในนามของผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ขวัญชัย ไกรทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และคอยดูแลติดตามความก้าวหน้าในการทำโครงการตลอดเวลา จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคุณเอกชัย คงชนโคไทย ที่สละเวลามาช่วยเขียนแบบ Drawing ไขพัดกั๊กหัน งานสำเร็จ

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้จัดทำตลอดระยะเวลาที่ผู้จัดทำโครงการทำการศึกษาอยู่

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ เป็นเพื่อนที่ดี และเป็นกำลังใจให้ ตลอดเวลาจนโครงการนี้เสร็จ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอมอบความดีของโครงการนี้ให้แก่ บิดา - มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลา

ขอกราบขอบพระคุณ
คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 งบประมาณที่ใช้	3
1.7 แผนการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 กังหันน้ำ	4
2.2 หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบใบพัด	13
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัด	13
บทที่ 3 การออกแบบ	30
3.1 ข้อกำหนดและข้อเสนอแนะในการออกแบบกังหันน้ำ	30
3.2 ลักษณะทางกายภาพของ Profile Acrofoil แบบ MH 120	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การคำนวณอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก ที่ทำให้กังหันมีประสิทธิภาพสูงสุด	34
3.4 การคำนวณการจัดเรียงใบพัดของกังหันน้ำ	39
บทที่ 4 ผลการออกแบบ	44
4.1 ผลการคำนวณ โปรแกรมการออกแบบ	44
4.2 แบบของกังหันน้ำ	46
บทที่ 5 สรุปผลการออกแบบ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก โปรแกรมการออกแบบ และการประมวลผล ของโปรแกรมการออกแบบ	50
ภาคผนวก ข แบบของกังหันน้ำ	64
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	69

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิง	1
2.1 การเลือกเครื่องกังหันน้ำจากระดับความสูงหัวน้ำ	11
3.1 มาตรฐานหนึ่งหน่วยของ Profile Aerofoil แบบ MH 120	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และประสิทธิภาพกังหันน้ำ	44
4.2 ระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ	45



สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
2.1 กังหันฟรานซิส	5
2.2 กังหันน้ำเคเรียว	6
2.3 กังหันน้ำคาปลาน	6
2.4 กังหันน้ำเพลตัน	8
2.5 การติดตั้งกังหันน้ำคาปลาน	9
2.6 กังหันน้ำฟรานซิส	10
2.7 ความแตกต่างทางไฮดรอลิกส์ในการติดตั้งกังหัน	12
2.8 ระยะเวลาของความดันต่างๆ	14
2.9 บริเวณการเกิดโพรงอากาศ	15
2.10 ภาพของแอร์โรฟอยล์	18
2.11 ภาคตัดขวางของแอร์โรฟอยล์	19
2.12 การเปลี่ยนแปลงของความดันบริเวณรอบๆ แอร์โรฟอยล์	20
2.13 สัมประสิทธิ์ของแรงยก	21
2.14 ทิศทางของแรงยกที่มีค่าเป็นศูนย์	21
2.15 การเกิดขึ้นของการหมุนวนของแรง	22
2.16 การสมดุลของความดันบริเวณรอบๆ แอร์โรฟอยล์	23
2.17 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแอร์โรฟอยล์	23
2.18 สามเหลี่ยมความเร็ว	24
2.19 การจัดเรียงของใบพัด	26
2.20 สัมประสิทธิ์ของการจัดเรียงของใบพัด	27
2.21 ทิศทางของความเร็วสัมพัทธ์และความดันที่เกิดขึ้นในการจัดเรียงของใบพัด	27
2.22 สามเหลี่ยมความเร็วของกังหันน้ำชนิดไหลตามแนวแกน	28
3.1 ลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil	32
3.2 ลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil การหามุม A_1 และ A_2	33
3.3 ลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil การหามุม α_0	33
3.4 ลักษณะทางกายภาพในการจัดเรียงใบพัดจริง	34
3.5 สามเหลี่ยมความเร็วของกังหันตามการแนะนำในการออกแบบ	35

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.6 แผนผังการคำนวณหาค่า D_{ratio} และ D_i ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด	37
3.7 การแบ่งชิ้นส่วนใบพัดกังหันน้ำ	39
3.8 แรงที่กระทำต่อใบพัดกังหันน้ำ	40
3.9 แผนผังการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ	41
4.1 แบบของกังหันน้ำแบบใบพัด	46

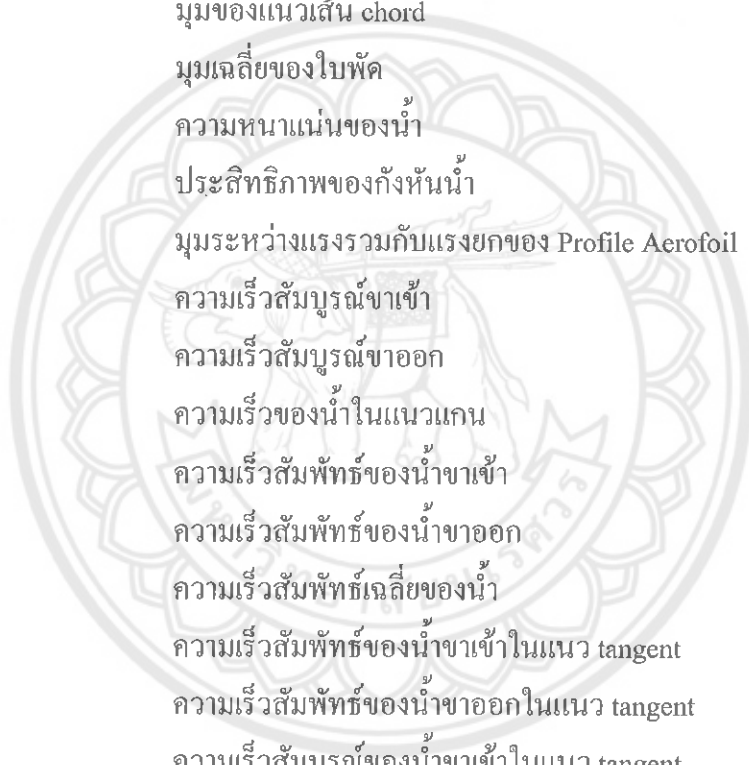


ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_1	มุมด้านหัวของ Profile Aerofoil MH แบบ 120	(degree)
A_2	มุมด้านหางของ Profile Aerofoil MH แบบ 120	(degree)
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยกของ Profile Aerofoil	
D	แรงที่ดึงจากกับ Profile Aerofoil	(N)
D_i	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกังหันน้ำ	(m)
D_o	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกังหันน้ำ	(m)
D_{ratio}	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอกของกังหันน้ำ	(m)
D_x	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละชั้นส่วนของกังหันน้ำ	(m)
F	แรงรวม	(N)
F_a	แรงในแนว axial	(N)
F_u	แรงในแนว tangent	(N)
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก	(m/s ²)
H	หัวน้ำ	(m)
K_m	อัตราส่วนการไหล	
K_u	อัตราส่วนความเร็ว	
L	แรงยกของ Profile Aerofoil	(N)
l	ระยะความยาวแนวเส้น chord	(m)
N	ความเร็วรอบ	(rpm)
P	กำลังเพลลาของกังหันน้ำ	(W)
Q	อัตราการไหล	(m ³ /s)
r	ช่องว่างระหว่างใบพัด	(m)
U	ความเร็วของกังหันน้ำ	(m/s)
X	ลำดับชั้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำ	
z	จำนวนใบพัด	
α_1	มุมขาเข้าของน้ำจริง	(degree)
α_2	มุมขาออกของน้ำจริง	(degree)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
α_0	มุมของแนวเส้นที่ลากจากหางของ Profile Aerofoil แบบ MH 120 มายังจุดสูงสุดบนแนวเส้น camber	(degree)
β_1	มุมของใบพัดขาเข้า	(degree)
β_2	มุมของใบพัดขาออก	(degree)
β_{chord}	มุมของแนวเส้น chord	(degree)
β_m	มุมเฉลี่ยของใบพัด	(degree)
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ	(kg/m ³)
η	ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ	
ε	มุมระหว่างแรงรวมกับแรงยกของ Profile Aerofoil	(degree)
V_1	ความเร็วสัมบูรณ์ขาเข้า	(m/s)
V_2	ความเร็วสัมบูรณ์ขาออก	(m/s)
V_f	ความเร็วของน้ำในแนวแกน	(m/s)
V_{r1}	ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำขาเข้า	(m/s)
V_{r2}	ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำขาออก	(m/s)
V_{rm}	ความเร็วสัมพัทธ์เฉลี่ยของน้ำ	(m/s)
V_{r1t}	ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำขาเข้าในแนว tangent	(m/s)
V_{r2t}	ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำขาออกในแนว tangent	(m/s)
V_{u1}	ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำขาเข้าในแนว tangent	(m/s)
V_{u2}	ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำขาออกในแนว tangent	(m/s)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น จากตารางที่ 1 พบว่า การใช้ไฟฟ้าสูงจนถึง 125,318.79 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงในปี 2547 เนื่องจากมีการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม อุตสาหกรรมและการขนส่ง ทำให้ต้องทำการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งพลังงานที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากก๊าซธรรมชาติ แต่ปัจจุบัน ก๊าซธรรมชาติมีราคาสูงขึ้นทำให้รัฐต้องเสียบประมาณในการซื้อก๊าซธรรมชาติสูงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงเกิดกระแสความตื่นตัวในการค้นหาพลังงานอื่นมาทดแทนก๊าซธรรมชาติ พลังงานทางเลือกที่หลายประเทศเริ่มหันมาให้ความสนใจและพัฒนาเทคโนโลยีอย่างจริงจังคือ พลังงานหมุนเวียน ซึ่งหมายถึงพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากคลื่นน้ำทะเล พลังงานชีวมวล และพลังงานจากความร้อนใต้พิภพ

ตารางที่ 1.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิง

ปี	พลังน้ำ	น้ำมันเตา	ลิกไนต์	ดีเซล	ก๊าซธรรมชาติ	ซัง	อื่นๆ	รวมทั้งสิ้น
2542	3,433.46	15,945.38	15,587.78	726.66	32,749.17	21,969.80	1.74	90,412.25
2543	5,296.03	11,467.00	15,450.42	157.16	35,790.01	28,618.28	1.82	96,778.90
2544	6,310.55	3,113.80	17,306.58	141.68	34,881.54	41,409.31	1.74	103,163.46
2545	6,480.87	2,024.49	16,890.30	261.33	35,605.91	47,126.34	*	108,389.24
2546	7,741.42	2,112.69	17,133.53	48.04	31,969.63	57,738.14	*	116,743.45
2547	5,915.47	5,273.13	17,505.82	264.72	30,241.54	66,118.11	*	125,318.79

* ยอดรวมดีเซลและพลังงานทดแทน

(หน่วย: ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)

(ที่มา: http://pr.egat.co.th/prweb/webnews/callcenter/data/energy_fuel.pdf)

ปัจจุบันมีการใช้ทรัพยากรน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ยังมีไม่มากเท่าที่ควรเมื่อเทียบกับศักยภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ ซึ่งข้อเสียอยู่ที่การลงทุนต้องใช้เงินลงทุนสูง ใช้เวลานานในการสำรวจหาบริเวณที่ตั้ง และระยะเวลาในการก่อสร้าง เนื่องจากต้องเลือกภูมิประเทศที่เหมาะสม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในป่า หรือช่องเขาแคบ ๆ ห่างไกลจากชุมชน ทำให้มีปัญหาในการจัดหาบุคลากรไปปฏิบัติงาน รวมทั้งการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ค่อยสะดวกนัก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังได้รับการคัดค้านจากกลุ่มอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและประชาชนในพื้นที่ด้วย

จากปัญหาในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กน่าจะเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับประชาชนที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ในชนบท เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าแต่ละครัวเรือนในชนบทมีการใช้ในปริมาณไม่มาก ใช้เพียงเพื่อให้แสงสว่างในเวลากลางคืนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะสำหรับการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตไม่สูงนัก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมีราคาถูก เป็นระบบที่ง่ายต่อการติดตั้ง การบำรุงรักษา และไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพราะเมื่อนำพลังงานน้ำไปใช้ น้ำก็ยังคงสภาพและคุณภาพเหมือนเดิม ซึ่งประชาชนสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ตัวเอง เพียงมีแหล่งน้ำที่เหมาะสมกับการติดตั้งอุปกรณ์

ดังนั้น โครงการนี้จึงทำการออกแบบใบพัดกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์ ซึ่งเหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำมากแต่มีหัวน้ำต่ำ เพื่อที่จะได้ใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบใบพัดกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ออกแบบใบพัดกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่เพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แบบใบพัดกังหันน้ำแบบใบพัดยึดติดคงที่ ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 กังหันน้ำ

กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาจากกังล้อน้ำซึ่งเดิมใช้สำหรับการท่อน้ำและไม้แปรง ในปี ค.ศ. 1832 วิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อเบเนออยต์ ฟูเนรองซ์ (Benoit Fourneyron) ประสบความสำเร็จในการพัฒนากังหันน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยเรียกชื่อว่า กังหันน้ำของฟูเนรองซ์ (Fourneyron's turbine) หลังจากที่ยังกังล้อน้ำไม่เคยมีการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงมากกว่า 2,000 ปีก่อนหน้านี้ (Boyle, 1996 : 194) จุดนี้นับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนากังหันน้ำ ในปัจจุบันกังหันน้ำได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันมากมาย และมีประสิทธิภาพสูง กังหันน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเพราะจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำไปเป็นพลังงานกล โดยการทำให้ใบพัดของกังหันน้ำเกิดการหมุนส่งผลให้แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่หมุนตาม และสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ โดยทั่วไปกังหันน้ำแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทคือ

2.1.1 กังหันแบบแรงกระแทก (Impulse Turbine)

กังหันแบบแรงกระแทกเป็นกังหันที่หมุน โดยอาศัยแรงฉุดของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำจากที่สูง หรือหัวน้ำสูง ไหลลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดกระแทกถึงหันไม่หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าออกไป กังหันแบบแรงกระแทกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

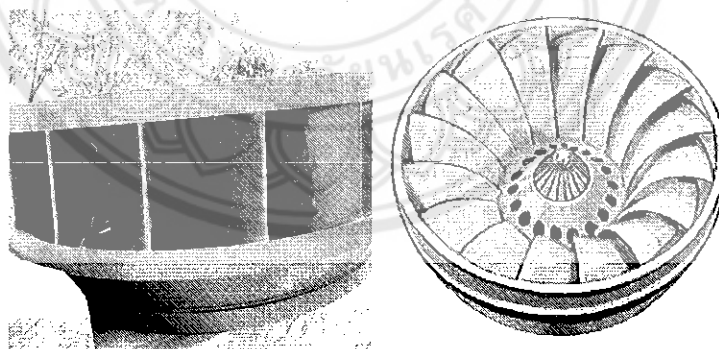
1. แบบใช้กับหัวน้ำต่ำกำลังผลิตน้อยใช้แบบแบงกี (Banki Type)
2. แบบใช้กับหัวน้ำปานกลางใช้แบบเทอร์โก (Turgo Type)
3. แบบใช้กับหัวน้ำสูงกำลังผลิตมาก ใช้แบบเพลตัน (Pelton Type)

กังหันเพลดัน ใช้กันมากในกรณีที่หัวน้ำมีแรงดันสูง ด้วยเหตุนี้ส่วนมากจึงใช้แกนนอนแต่ยังมีบางส่วนที่ใช้ในแกนตั้ง ที่ใบพัดจะมีถ้วย (Bucket) หลาย ๆ ใบติดอยู่กับตัวแกนแผ่นจาน (Disk) ถ้วยเหล่านี้จะรับน้ำจากหัวฉีด โดยแบ่งน้ำไปทางซ้ายและขวาด้วยสันแนวที่อยู่ตรงกลางของถ้วย ถ้วยที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ แบบหนึ่งใช้ติดกับแผ่นจาน โดยการยึดไว้ด้วยสลักเกลียว อีกแบบหนึ่งใช้วิธีหล่อติดกับแผ่นจาน ที่ท่อส่งน้ำตรงหัวฉีดจะมีเข็ม (Needle) สำหรับปรับปริมาตรของน้ำ ให้มีความดันมากขึ้นหรือลดลง ทำให้สามารถปรับความเร็วการหมุนของกังหันได้

2.1.2 กังหันแบบแรงสะท้อน (Reaction Turbine)

กังหันแบบแรงสะท้อนเป็นกังหันที่หมุนโดยใช้แรงดันของน้ำที่เกิดจากความต่างระดับของน้ำด้านหน้าและด้านหลังของกังหันกระทำต่อใบพัด ระดับด้านท้ายน้ำจะอยู่สูงกว่าระดับบนของปลายท่อปล่อยน้ำออกเสมอ กังหันชนิดนี้เหมาะกับอ่างเก็บน้ำที่มีความสูงปานกลางและต่ำ กังหันแรงสะท้อน แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

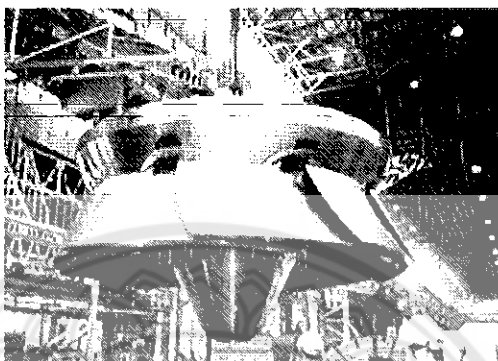
1. กังหันฟรานซิส (Francis Turbine) เป็นกังหันแบบที่ใช้การไหลเข้าของปริมาณน้ำในใบพัดเป็นแบบแฉกและไหลออกขนานกับแกน ซึ่งแสดงว่ามีการเปลี่ยนทิศทางการไหลในขณะผ่านใบพัด กังหันฟรานซิสมีทั้งแบบแกนนอนและแกนตั้ง



รูปที่ 2-1 แสดงกังหันฟรานซิส

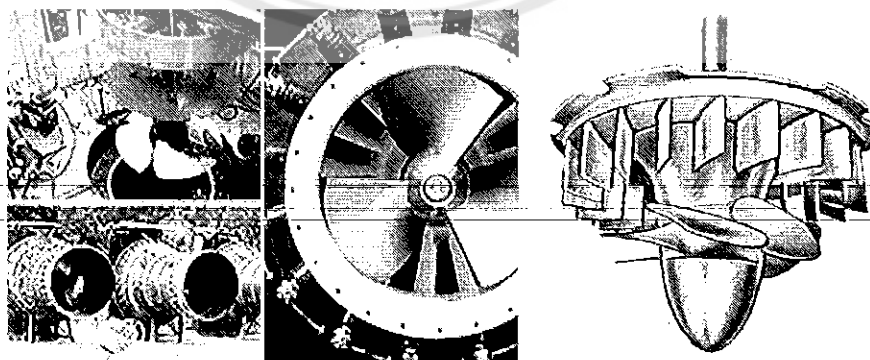
(ที่มา Hydro Energy. 2003. On-line)

2. กังหันเดเรียซ (Deriaz Turbine) หรือกังหันแบบที่มีการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกน กังหันแบบนี้ใช้กับกรณีที่มีหัวน้ำสูง ส่วนของใบพัดจะเคลื่อนที่ได้เมื่อมีน้ำไหลผ่าน และมีลักษณะคล้าย ๆ กับกังหันฟรานซิส



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำเดเรียซ
(ที่มา Mitsubishi Heavy Industries Ltd. 2003. On-line)

3. กังหันคาปลาน (Kaplan Turbine) หรือกังหันแบบใบพัด น้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหัน ใช้กับงานที่มีหัวน้ำต่ำ ใบพัดของกังหันคาปลานเป็นใบพัดที่สามารถปรับได้ตามมุมของซี่ใบพัด โดยอัตโนมัติตามแรงอัดหรือแรงฉุดแรงน้ำ โดยจะสัมพันธ์กับความแรงที่หัวฉีดน้ำซึ่งประกอบด้วยลูกเบี้ยว (Cam) ชุดควบคุมความเร็ว (Speed Governor) ช่องนำน้ำ (Guide Vane) และมุมของซี่ใบพัด (Runner Blade)



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกังหันน้ำคาปลาน
(ที่มา Hydro Energy. 2003. On-line)

เช่นเดียวกันกับกังหันชนิดอื่น ๆ ถ้าต้องการให้อัตราการไหลของน้ำคงที่ ก็ทำท่อป้อนน้ำเป็นรูปหอยโข่ง โดยทำท่อด้านรับน้ำเข้าให้ใหญ่และเรียวเล็กลงตามลำดับ

กังหันแบบแรงสะท้อนสมัยใหม่มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ครีบนำน้ำ (guide vane) ซึ่งอยู่กับที่ และ ครีบวิ่ง (runner) ซึ่งเป็นตัวเคลื่อนที่ ครีบนำน้ำจะทำหน้าที่ปิดเปิดและเบี่ยงเบนทิศทางของน้ำที่เข้าไปหมุนครีบวิ่ง ซึ่งก็เท่ากับควบคุมความเร็วและกำลังของกังหันนั่นเอง

ใบพัดของกังหันแบบแรงสะท้อนมี 2 แบบ คือ

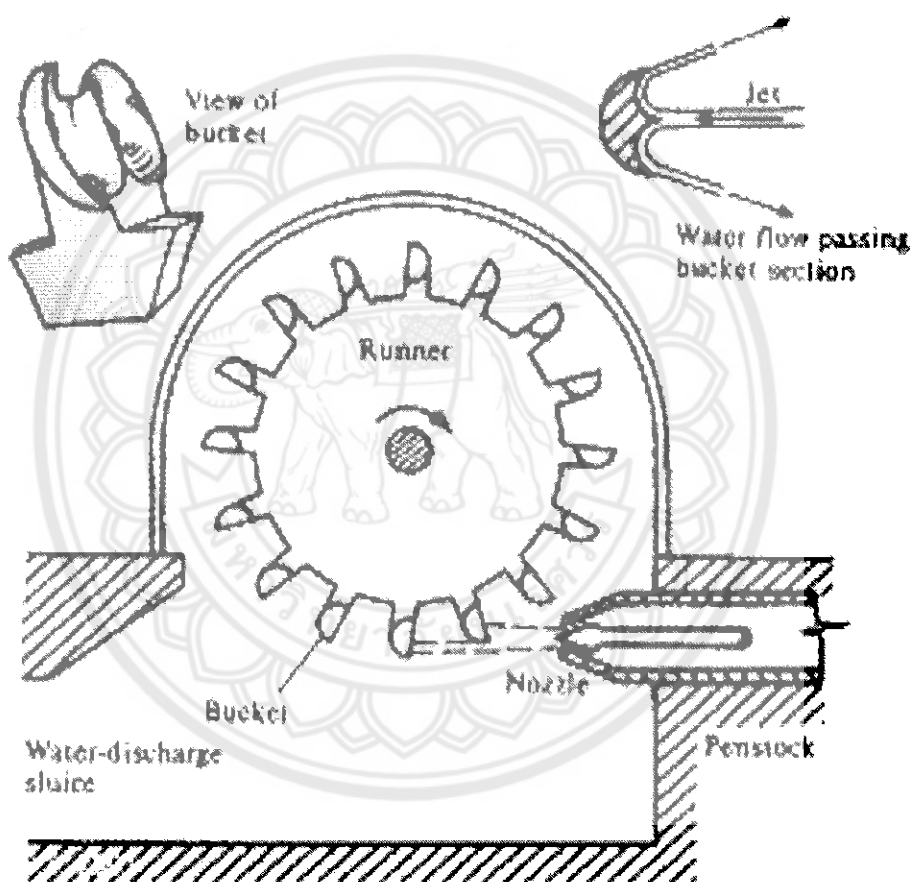
ก. แบบฟรานซิส (francis runner) ซึ่ง บี ฟรานซิส (B. Francis) วิศวกรชลศาสตร์ สร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2592 ลักษณะคล้ายวงล้อเกวียนอย่างวงล้อเฟลตั้น น้ำจะไหลเข้าไปตามรัศมีของวงล้อนี้ (radial flow) ก่อนที่จะไหลผ่านไป

ข. แบบคาปแลน (kaplan runner) มีลักษณะคล้ายใบเรือจักรเรือยนต์ น้ำที่ไหลเข้าไปหมุนใบพัดจะไหลเข้าไปตามแกนของเพลากังหัน (axial flow)

กังหันน้ำที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เป็นกังหันแบบแรงสะท้อน ซึ่งมีใบพัดแบบฟรานซิสได้กำลังงานสูงสุดถึง 115,000 กิโลวัตต์ ระบายน้ำสูง 123.2 เมตร น้ำที่ไหลผ่านมีปริมาณ 75.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เหนือตัวกังหันขึ้นไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 75 เมกะวัตต์ สามารถจ่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่ให้แก่ภาคกลางของประเทศได้ทั้งหมด

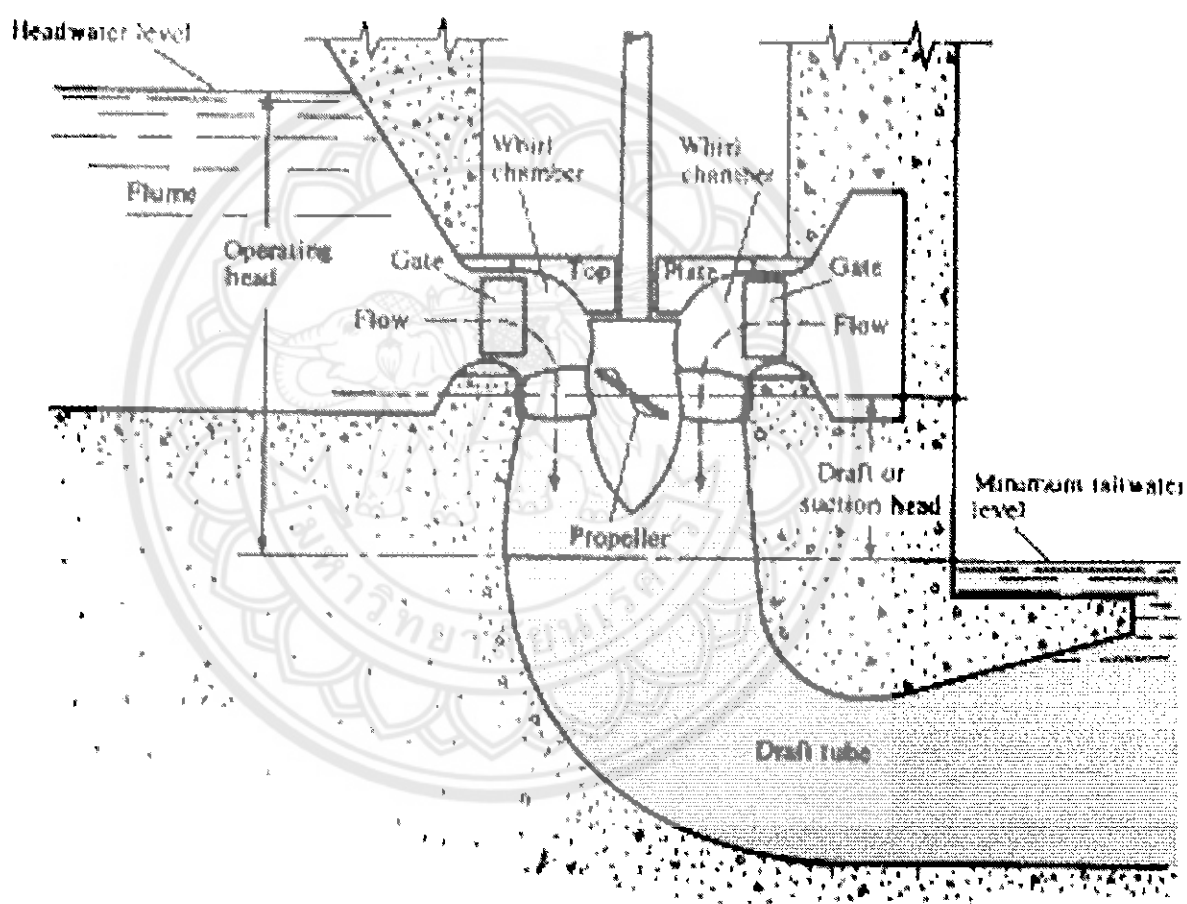
หรืออาจแบ่งชนิดกังหันตามลักษณะแกนอ้างอิงเป็น

1. แนวรัศมี (radial) คือ กังหันเพลตัน (Pelton wheel) เป็น กังหันน้ำแบบอิมพัลส์ ที่ปกติใช้กับหัวน้ำสูงกว่า 150 ft. เป็นชนิดที่ใช้อัตราไหลของน้ำค่อนข้างต่ำ ปรับความเร็วน้ำโดยใช้หัวฉีด (nozzle) ถ้วย (bucket) บนกงล้อจะมีกะบัง (splatter) ทำหน้าที่เบี่ยงเบนน้ำออกเป็นสองข้างเพื่อลดแรงดันในแนวแกน (axial thrust) ของกงล้อ กังหันเพลตันมีประสิทธิภาพในการแปลงรูปพลังงานได้สูง ในช่วงอัตราไหลของน้ำที่กว้าง



รูปที่ 2.4 แสดงกังหันน้ำเพลตัน
(ที่มา Hydro Energy. 2003. On-line)

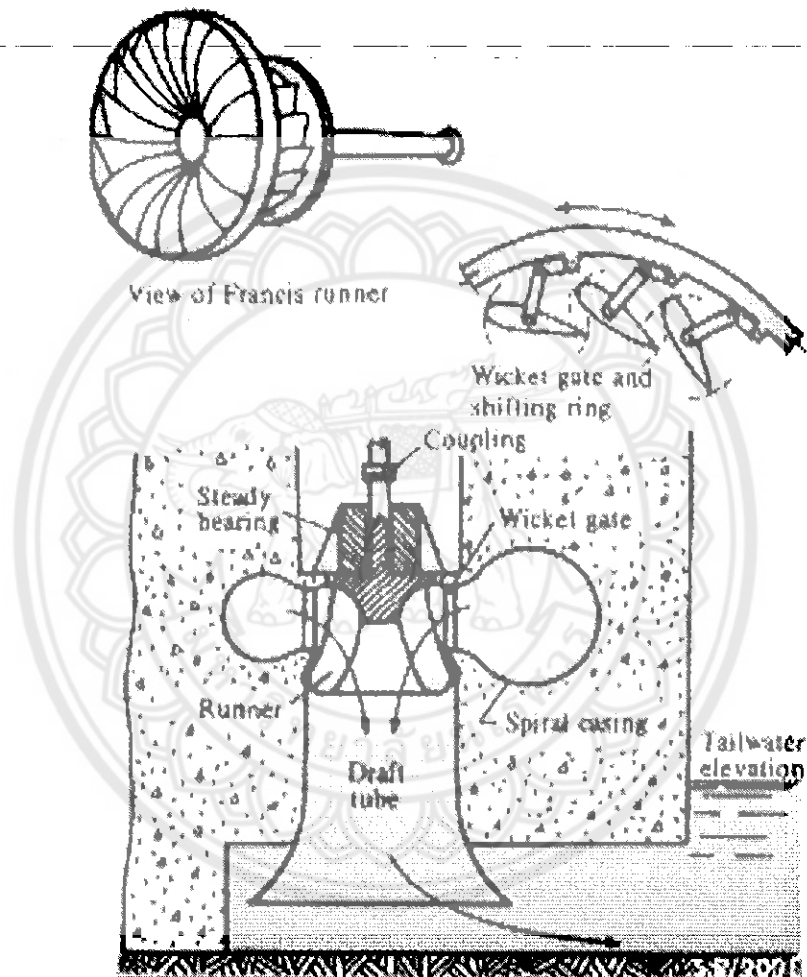
2. แนวแกน (axial) คือ กังหันแบบใบพัดหรือแบบแนวแกน (Propeller or axial turbines) ใช้สำหรับหัวความดันต่ำ (10 ถึง 100 ft) กังหันแบบใบพัดตายตัว (Fixed bladed propeller turbines) ราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงที่ภาวะตามท่อกแบบ แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำมากถ้าใช้งานที่อัตราไหลต่ำกว่านั้น กังหันคาปลาน (Kaplan turbine) เป็นกังหันแบบใบพัดที่ใบพัดปรับมุมได้ ทำให้สามารถปรับมุมใบพัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงแม้ว่าทำงานที่สภาพภาระต่ำ การปรับมุมใบพัดนั้นทำด้วยมือขณะหยุดเครื่องไม่ใช่ระบบปรับอัตโนมัติ



รูปที่ 2.5 แสดงการติดตั้งกังหันน้ำคาปลาน

(ที่มา Hydro Energy, 2003. On-line)

3. แบบผสม (combined-flow) คือ กังหันฟรานซิส (Francis turbine) เป็นกังหันน้ำแบบที่ใช้แพร่หลาย เป็นชนิดไหลผสมในแนวรัศมี (radial, mixed-flow turbine) ใช้สำหรับความสูงหัวน้ำปานกลาง (15 ถึง 1500 ft). มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้งานเต็มภาระ แต่จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อใช้งานที่ภาระต่ำ



รูปที่ 2.6 แสดงกังหันน้ำฟรานซิส

(ที่มา Hydro Energy. 2003. On-line)

2.1.3 การเลือกแบบของเครื่องกังหันน้ำ

การเลือกแบบของเครื่องกังหันน้ำในขั้นต้น พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของหัวน้ำและกำลังผลิตของกังหันแบบต่าง ๆ แต่ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยทั่วไปเครื่องกังหันน้ำแบบฟรานซิส ก่อสร้างได้ง่าย มีความเชื่อถือสูง จึงนิยมใช้กันมาก ในกรณี ที่หัวน้ำสูงมากโดยทั่ว ๆ ไปใช้แบบเพลตัน และถ้าหัวน้ำต่ำ ก็ใช้เครื่องกังหันแบบคาปลาน

ตาราง 2.1 แสดงการเลือกเครื่องกังหันน้ำจากระดับความสูงหัวน้ำ

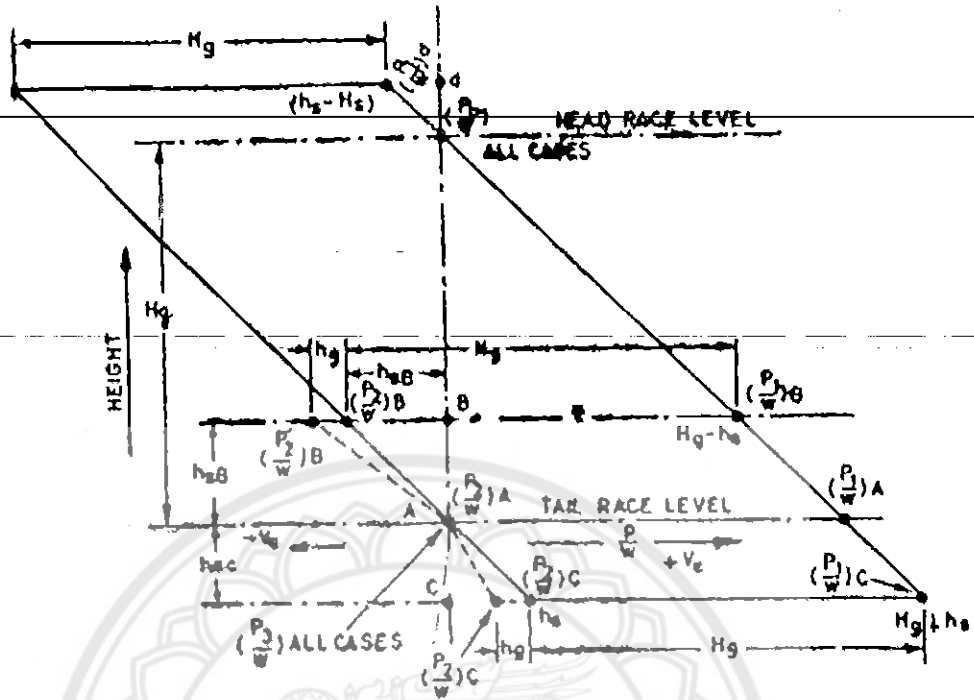
เครื่องกังหันน้ำ	ความสูงหัวน้ำ (เมตร)
กังหันคาปลาน	1 – 70
กังหันฟรานซิส	15 – 450
กังหันเพลตัน	150

(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

2.1.4 หัวน้ำ (Head)

การใช้เครื่องกังหันน้ำจะต้องคำนึงถึงกำลังผลิตและหัวน้ำ รวมทั้งความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาเลือกเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสม

1. หัวน้ำรวม (Gross Head) คือความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำท้ายโรงไฟฟ้า
2. หัวน้ำสุทธิ (Net Head) คือหัวน้ำรวมที่หักค่าความสูญเสียทางด้านชลศาสตร์ทั้งหมดแล้ว
3. หัวน้ำออกแบบ (Design Head) คือหัวน้ำสุทธิที่เครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องด้วยประสิทธิภาพสูงสุดในความเร็วที่ออกแบบ โดยปกติ หัวน้ำออกแบบจะมีค่าใกล้เคียงกับหัวน้ำเฉลี่ย
4. หัวน้ำควบคุม (Rated Head) คือหัวน้ำที่เครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องให้กำลังไฟฟ้าเท่าที่ออกแบบในขณะที่บานประตูเครื่องกังหันน้ำเปิดให้น้ำไหลผ่านเต็มที่
5. หัวน้ำต่ำสุด (Minimum Head) คือความสูงแตกต่างของระดับน้ำต่ำในอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำท้ายโรงไฟฟ้าเมื่อเปิดเครื่องกังหันน้ำทุกเครื่องเต็มที่
6. หัวน้ำเฉลี่ย (Weight Average Head) คือความสูงแตกต่างของระดับน้ำเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำ และระดับน้ำท้ายโรงไฟฟ้า ซึ่งค่าระดับน้ำดังกล่าวเป็นผลจากการเดินเครื่องกังหันน้ำในระยะยาว



รูปที่ 2.7 แสดงความแตกต่างทางไฮดรอลิกส์ในการติดตั้งกังหัน
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จากรูปที่ 2.7

- A. เป็นจุดที่อยู่ท้ายน้ำ ที่ทางเข้าเป็นความดันบรรยากาศทางออกเป็นความดันบรรยากาศ
∴ ค่าของ H_g เกิดจากค่าของ หัวน้ำและท้ายน้ำ
- B. ติดตั้งกังหันเหนือท้ายน้ำความที่ทางเข้าจะเป็น $H_g - h_s$ ในการทำงานสมมติให้เพิ่มมากขึ้นในทางลบ minimum suction pressure head

$$h_s - h_{fg} - \frac{V_i^2}{2g} + \frac{V_i^2}{2g} \dots\dots\dots 2.1$$

เมื่อ h_{fg} = head losses in draft tube

อย่างไรก็ตามค่าลบที่เป็นไปได้มาก แต่ถ้ามากเกินไปจะเกิดโพรงอากาศ

- C. เป็นการติดตั้งเพื่อลดโพรงอากาศ
- D. ไม่สามารถทำได้

2.2 หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบใบพัด

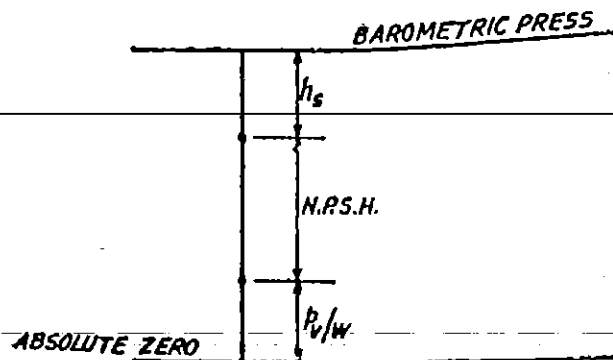
กังหันใบพัด (Propeller Turbine) เป็นแบบที่มีการไหลของน้ำผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนกังหัน แบบนี้ใช้กับหัวน้ำที่ต่ำ กังหันใบพัดแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างของซี่ใบพัด โดยปกติแล้วแบบที่มีซี่ใบพัด (Blade) ติดอยู่กับที่มักเรียกว่ากังหันแบบใบพัด และอีกแบบหนึ่งซึ่งมีซี่ใบพัดเคลื่อนได้ อาจโดยอัตโนมัติและโดยระบบชลศาสตร์เรียกว่ากังหันแบบคาปลาน (Kaplan) ใบพัดของกังหันคาปลานเป็นแบบที่ยับตัวได้ และสามารถเปลี่ยนมุมของซี่ใบพัดได้โดยอัตโนมัติ หรือโดยใช้มือเพื่อให้เป็นไปตามช่องเปิดของช่องนำน้ำ ซึ่งใบพัดนี้เปิดและปิดโดยน้ำมันอัดแรง โดยการผ่านลิ้นบังคับและโดยลูกเบี้ยว (Cam) ซึ่งมืออยู่ในเครื่องควบคุมความเร็ว (Speed governor) จะช่วยรักษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดของช่องนำน้ำ (Guide vane) และมุมของซี่ใบพัด (Runner - blade) เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีเครื่องกังหันใบพัดอีกชนิดหนึ่งเรียกกันว่าแบบท่อ (Tubular) ซึ่งใช้ในกรณีที่หัวน้ำมีค่าอยู่ในช่วงต่ำมาก แบบนี้มีท่อนำน้ำเข้า (Casing) แบบทรงกลม น้ำจะผ่านเข้าไปตามแนวแกน (Axial) ของท่อนำน้ำเข้า แบบนี้ส่วนมากจะเป็นแบบแนวอนและชิ้นส่วนต่างๆ มักจะประกอบกันเข้าไปในรูปของเส้นตรง เริ่มตั้งแต่จากทางเข้าจนกระทั่งถึงทางปล่อยน้ำออก เช่น ลิ้นบังคับน้ำเข้า (Inlet valve) ใบพัด (Runner) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะติดโดยตรงกับเครื่องกังหันน้ำ และท่อปล่อยน้ำออก (Draft tube) เครื่องกังหันน้ำบางชนิดจะมีเฟืองทด (Gear) ระหว่างข้อประกับ (Coupling) ของเครื่องกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความเร็วหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มากกว่าเครื่องกังหันน้ำ เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดกะทัดรัด

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัด

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบใบพัดกังหันน้ำประกอบด้วย โพรงอากาศ ทฤษฎีโมเมนตัม ทฤษฎีเบอร์นูลลี ทฤษฎีแอร์โรฟอยล์ การจัดเรียงของใบพัด และระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดส่วนที่หมุน สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.3.1 โพรงอากาศ (Cavitations)

ปรากฏการณ์โพรงอากาศ (Cavitations) คือการเกิดโพรงอากาศขึ้นในเครื่องจักรต่างๆ ซึ่งเป็นผลเสียต่อการทำงานของเครื่องจักร โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวคือ Thomas's cavitations factor (σ) และ suction specific speed (s) ความดัน barometric คือ $(H_b - h_s - \frac{P_v}{\omega})$ สามารถดูได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงระยะของความดันต่าง ๆ
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

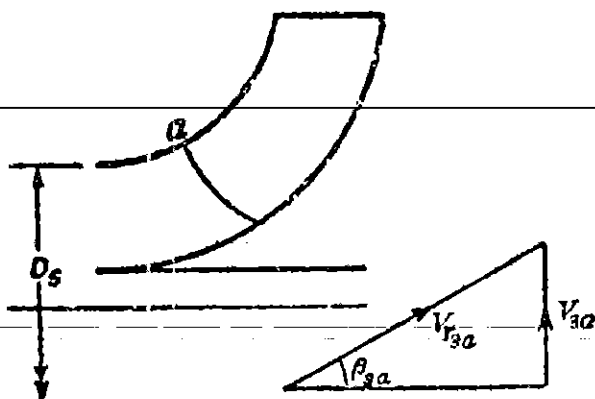
อย่างไรก็ตามเมื่อของไหลไหลเข้าสู่ปั๊มหรือก่อนออกจากใบพัดของกังหันความดันของข้างใดข้างหนึ่งของใบพัดจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณภายนอก ความแตกต่างของความดันระหว่าง ด้านขาเข้าและความดันต่ำสุดภายในใบพัดเรียกว่า required positive suction head (RPSH) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเข้าใจผิดจะสามารถเรียกใหม่ว่า dynamic depression ซึ่งใน axial runner จะเรียกค่านี้นี้ว่า vane pressure drop เมื่อความดันบริเวณด้านขาเข้ามีค่ามากกว่าความดันไอ จะเกิด ขึ้นภายในเครื่องจักรหรือถ้า dynamic depression มีค่ามากกว่า NPSH ก็จะทำให้เกิดโพรงอากาศขึ้นได้เหมือนกัน ซึ่งเขียนเป็นสมการง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$\text{Dynamic depression} \geq \text{Available NPSH}$$

ค่าของ Thomas's cavitations factor (σ) และ suction specific speed (s) สำหรับเครื่องจักรต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับ dynamic depression (H'_{sv}) ซึ่งค่า dynamic depression นั้นสามารถหาได้จาก

$$H'_{sv} = \lambda_1 \frac{V_3^2}{2g} + \lambda_2 \frac{V_3^2}{2g} \dots\dots\dots 2.2$$

เมื่อ λ_1 และ λ_2 คือสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทดลอง ดังนั้นค่า (H'_{sv}) จะขึ้นอยู่กับความเร็ว V_3 ที่ขาออกหรือ V_3 ที่ความเร็วของใบพัด ($V_3^2 = V_3^2 + U_2^2$) และชนิดของใบพัดที่ขึ้นอยู่กับ λ_1 และ λ_2



รูปที่ 2.9 แสดงบริเวณการเกิดโพรงอากาศ
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

เมื่อมองในแนวตั้งการเกิดโพรงอากาศมักจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุด a หรือที่บริเวณใกล้เคียง ค่าของความเร็วสัมผัส V_3 ที่จุดนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับที่บริเวณอื่นทางด้านขาเข้า ในที่นี้จะกำหนดให้ตัวห้อย a แทนค่าที่ได้จากจุด a ดังนั้น

$$V_{r_{3a}} = \frac{U_{2a}}{\cos \beta_{3a}} = \frac{\pi D_3 n}{60 \cos \beta_{3a}} \dots\dots\dots 2.3$$

$$V_{3a} = U_{2a} \tan \beta_{3a} = \frac{\pi D_3 n}{60} \tan \beta_{3a} \dots\dots\dots 2.4$$

อัตราการไหลที่ผ่าน impeller หาก

$$Q = \frac{\pi}{4} D_3^2 K V_a \dots\dots\dots 2.5$$

เมื่อ K คือตัวประกอบในท่อ

$$K = 1 - \frac{d_b^2}{D_3^2} \dots\dots\dots 2.6$$

เมื่อ d_b คือ boss-diameter ในเทอมของ D สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$D_3^2 = \left(\frac{4Q}{\pi K V_3} \right) \dots\dots\dots 2.7$$

$$= \frac{4Q \times 60}{\pi K \times \pi D_3 n \tan \beta_{3a}}$$

หรือ $D_3 = \sqrt[3]{\frac{240Q}{\pi^2 K n \times \tan \beta_{3a}}} \dots\dots\dots 2.8$

แทนค่า D_3 ที่ได้ในสมการข้างบนจะได้

$$2g \times \text{dynamic depression} = \left(\frac{\pi n^2 Q}{30^2 K}\right)^{3/2} \left[\frac{\lambda_1}{(\cos^2 \beta_{3a} \sin \beta_{3a})^{2/3}} + \lambda_2 \tan^{4/3} \beta_{3a} \right] \dots\dots\dots 2.9$$

ถ้ารู้ค่าของ n , Q และ K แล้วค่าของ Dynamic depression จะขึ้นอยู่กับค่าของ β_{3a} เพียงค่าเดียวเท่านั้น การหาค่าของ β_{3a} ที่เหมาะสมนั้นสามารถหาได้จาก

$$\tan \beta_{3a(opt)} = \sqrt{\frac{1}{2}} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \dots\dots\dots 2.10$$

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบอื่น ๆ ได้เป็น

$$\frac{n^2 Q}{K(H'_{sv})^{3/2}} = \frac{30^2}{\pi} \left[\frac{2g}{\frac{\lambda_1}{(\cos^2 \beta_{3a} \sin \beta_{3a})^{3/2}} + \lambda_2 \tan^{4/3} \beta_{3a}} \right] \dots\dots\dots 2.11$$

ด้านขวามือของสมการจะมีตัวแปร λ_1 , λ_2 และ β_{3a} ซึ่งจะเป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยใบพัด ด้านซ้ายมือของสมการจะเป็นสมการของพลังงานจลน์เพื่อที่จะลดค่าของตัวแปร n ในด้านซ้ายมือของสมการทำได้โดยการนำเอา 100 ไปหาร n จะได้

$$S' = \left(\frac{n}{100}\right)^2 \frac{Q}{K(H'_{sv})^{3/2}} \dots\dots\dots 2.12$$

เมื่อ S' คือตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาใหม่อาจเรียกได้ว่า suction number ซึ่งคล้ายกับความเร็วจำเพาะจะขึ้นอยู่กับตัวแปร n , Q , H'_{sv} และ K ดังนั้นสามารถเขียน dynamic depression ได้ใหม่เป็น

$$H'_{sv} = \left[\left(\frac{n}{100}\right)^2 \frac{Q}{HS'} \right]^{2/3} \dots\dots\dots 2.13$$

เมื่อจัดตัวแปรต่าง ๆ ให้มีความสัมพันธ์กันแล้วจะเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\text{Thomas's cavitations factor } \sigma = \frac{H'_{sv}}{H} = \left[\frac{\left(\frac{n}{100}\right)^{4/3} Q^{2/3}}{H(KS')^{2/3}} \right] = \frac{(n_{sq})^{4/3}}{(KS')^{2/3}} \dots\dots\dots 2.14$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วจำเพาะทางด้านขาเข้า } S &= \frac{n\sqrt{Q}}{(H'_{sv})^{3/4}} = \frac{n\sqrt{Q\sqrt{KS'}}}{100\sqrt{Q}} \dots\dots\dots 2.15 \\ &= 100\sqrt{KS'} \end{aligned}$$

สำหรับค่า S' ที่ได้นั้นไม่ใช่ค่า S' ที่เหมาะสมดังนั้นจึงต้องหาค่า S' ที่เหมาะสมจากสมการ

$$S'_{opt} = \frac{0.96}{\lambda_1 \sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}} \dots\dots\dots 2.16$$

เมื่อ $\lambda_1 = 0.3$ และ $\lambda_2 = 1.2$ จะทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมคือ $S'_{opt} = 2.61$

ในทางปฏิบัติค่า S' ที่เหมาะสมสำหรับปั๊มที่มีใบพัดแบบแนวรัศมีจะมีค่าประมาณ 2.4

และสำหรับการไหลแบบผสมและใบพัดแบบขนานกับแนวแกนจะมีค่าประมาณ 3

2.3.2 ทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Equation)

สูตร อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม (Momentum) ในทิศทางของแรงที่กระทำต่อวัตถุ

$$F = K \frac{d(mv)}{dt} \dots\dots\dots 2.17$$

เมื่อ F = แรงที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โมเมนตัม

K = ค่าคงที่ส่วนมากจะเท่ากับ 1

m = มวล

v = ความเร็ว

t = เวลา

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 2.4.1

ดังนั้น
$$F = K \left(v \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt} \right) \dots\dots\dots 2.18$$

สำหรับวัตถุแข็ง (solid body) จะมีมวล (mass) คงที่

ดังนั้น
$$F = Km \frac{dv}{dt} = Km * Acceleration \dots\dots\dots 2.19$$

สำหรับของไหล (fluid mechanics) จะมีความเร็ว (velocity) คงที่

ดังนั้น
$$F = Kv \frac{dm}{dt} \dots\dots\dots 2.20$$

เนื่องจาก มวล (mass) = ความหนาแน่น (ρ) \times ปริมาตร (vol) เมื่อความหนาแน่น (ρ) คงที่

ทำการจัดรูปสมการที่ 2.2.4 ใหม่
$$F = Kv\rho \frac{d(vol)}{dt} \dots\dots\dots 2.21$$

และ
$$\frac{d(vol)}{dt} = \text{อัตราการไหล (Q), ความหนาแน่น } (\rho) = \frac{\text{Specific weight (w)}}{\text{Acceleration due to gravity (g)}}$$

ดังนั้นจัดรูปสมการใหม่
$$F = Kv \frac{w}{g} Q = \frac{wQ}{g} v$$
, เมื่อ K ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 1

2.3.3 ทฤษฎีเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation)

สูตร
$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \dots\dots\dots 2.22$$

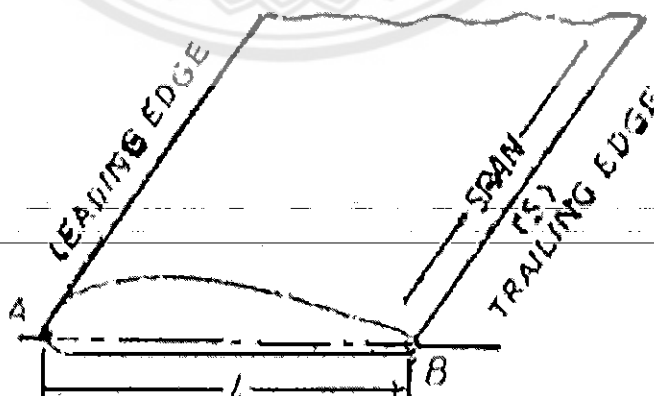
โดยที่ P = ความดัน
 v = ความเร็ว
 Z = ความสูง
 g = ความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 ρ = ความหนาแน่น

ตัวห้อย 1: สภาวะขาเข้า
 ตัวห้อย 2: สภาวะขาออก

2.3.4 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางแอโรไดนามิกส์ของแอร์โรฟอยล์

จากการศึกษาเราได้เห็นแล้วว่าการเกิดแรงจากการเคลื่อนที่ของของไหลในแนว tangential และแนวรัศมีของเครื่องจักรต่าง ๆ ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร สำหรับตัวอย่างที่จะสามารถอธิบายหลักการของแอร์โรไดนามิกส์ได้ดีที่สุดก็คือ การทำงานของเครื่องจักรแบบไหลตามแนวแกนนั่นเอง

2.3.4.1 ทฤษฎีแอร์โรฟอยล์ (Aerofoil Theory)



รูปที่ 2.10 แสดงภาพของแอร์โรฟอยล์
 (ที่มา: hydraulic machines theory and design)

Nose (A)	หมายความถึง บริเวณความหนาปลายสุดของ Aerofoil wing
Chord (l)	หมายความถึง เส้นระนาบที่ลากผ่าน nose point (A) ถึง trailing end (B)
Span (S)	หมายความถึง ช่วงความยาว
Leading edge	หมายความถึง ช่วงความยาว (span) ริมขอบด้าน nose point (A)
Trailing edge	หมายความถึง ช่วงความยาว (span) ริมขอบด้านตรงข้ามกับ nose point (A)
Point B.	หมายความถึง trailing end

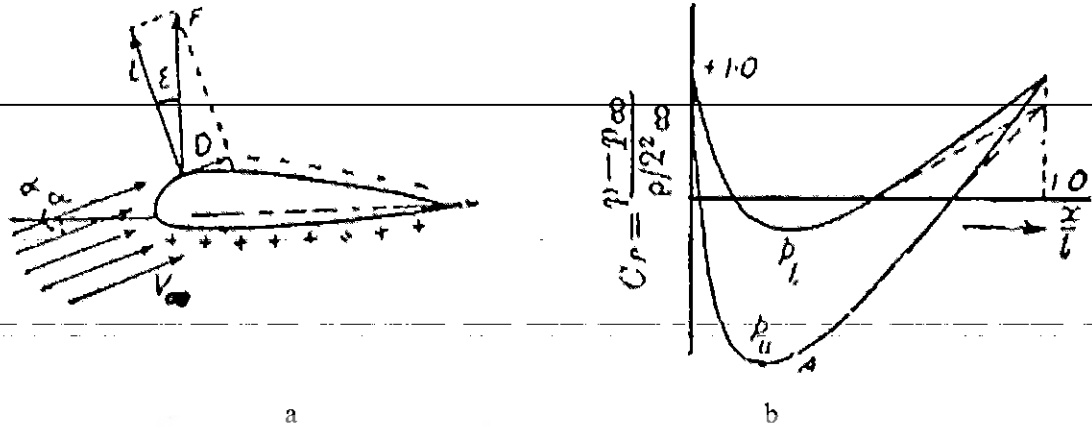
ของไหลที่มีความเร็วเท่ากับ V_∞ ไหลผ่านแอร์โรฟอยล์และทำมุมกับ Chord (l) เท่ากับ α_∞ ตามรูปที่ 2.12(a) ทำให้เกิดแรงสองแรงกระทำต่อแอร์โรฟอยล์คือ

- 1) แรงที่มีทิศทางตามการเคลื่อนที่ของของไหล เรียกว่า Drag(D)
- 2) แรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของของไหล เรียกว่า Lift(L)

Chord ของแอร์โรฟอยล์ คือ เส้นที่เชื่อมระหว่างจุด nose point จนถึง ending point สำหรับ aerofoil ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับการรับรองจาก NACA (National Advisory Committee of Aerodynamics) และ Goettingen series รูปที่ 2.10 แสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาซึ่งอยู่บนแกน Y คู่กับเปอร์เซ็นต์ความยาวบนแกน X กำหนดให้ขอบเขตของที่ว่างรอบ ๆ ภาควัดตัดขวางของแอร์โรฟอยล์ ถูกจำกัดโดยของไหลที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_∞ ในทิศทางเดียวกันกับมุม angle of attack (α_∞) ดังรูปที่ 2.12(a) ซึ่งตัวห้อย infinity หมายถึง ระยะทางที่อนันต์



รูปที่ 2.11 แสดงภาคตัดขวางของแอร์โรฟอยล์
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)



รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันบริเวณรอบ ๆ แอร์โรพอยล์
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

$$C_L = \frac{L}{\rho/2 V_\infty^2 l \times 1} \dots\dots\dots 2.23$$

$$C_D = \frac{D}{\rho/2 V_\infty^2 l \times 1} \dots\dots\dots 2.24$$

เมื่อ L และ D คือแรงยก (lift) และแรงลาก (drag) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของแอร์โรพอยล์

จากภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์ แรงยกและแรงลากจะเห็นได้ชัดว่าความหนาแน่นของความดันทั้ง 2 ข้างของแอร์โรพอยล์มีค่าไม่เท่ากันซึ่งเราจะพบว่าความหนาแน่นของความดันด้านล่างของแอร์โรพอยล์มีค่ามากกว่าด้านบนซึ่งจะแทนความหนาแน่นของความดันที่มีค่ามากกว่าด้วยเครื่องหมายบวกและความหนาแน่นของความดันที่มีค่าน้อยกว่าด้วยเครื่องหมายลบแสดงในรูปที่ 2.12 (a)

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\rho/2 V_\infty^2} \dots\dots\dots 2.25$$

เมื่อ p คือความหนาแน่นของความดันที่จุดใด ๆ

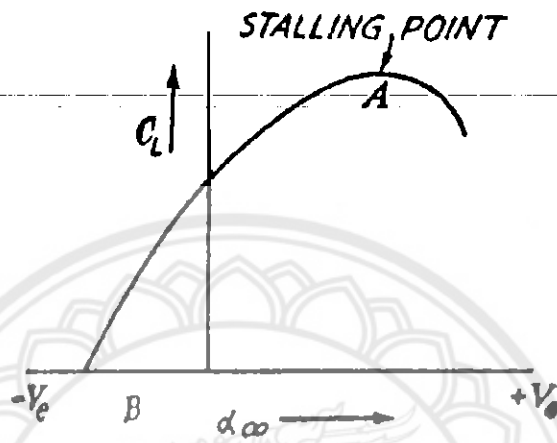
เรียก C_p ว่า สัมประสิทธิ์ของความดัน

$$\tan \epsilon = \frac{D}{L} = \frac{C_D}{C_L} \dots\dots\dots 2.26$$

เมื่อ ϵ คือ glide angle aerodynamic และเครื่องจักรไฮดรอลิกที่เราพิจารณานั้นมีค่า Reynolds number สูงมากและมักจะมีค่าแรงลาก(drag force) น้อยกว่าแรงยก(lift force) และจากค่า glide angle มีค่าน้อยมากจะได้ว่า

$$\tan \epsilon = \epsilon = \sin \epsilon \dots\dots\dots 2.27$$

จากรูปจะเห็นได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง P_u และ P_l มีความแตกต่างกันของ C_p จากภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์และความยาวเราสามารถหาค่า C_L จากการวนหาค่ามุมเข้าปะทะ (α_∞) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.13 แสดงสัมประสิทธิ์ของแรงยก (lift force)
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จะเห็นได้ว่า C_L มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อค่ามุมเข้าปะทะ (angle of attack) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งแล้ว (จุด a) ค่า C_L ก็จะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อเลยจุดนั้นออกไป จุดที่ค่า C_L มีค่าสูงสุดและเป็นจุดเริ่มต้นของการลดลงของค่า C_L เรียกว่าจุดตก (stalling point) และในทางปฏิบัติ นั้นจุดทำงานจริงจะมีค่าต่ำกว่าจุดที่แสดงในกราฟนี้



รูปที่ 2.14 แสดงทิศทางของแรงยกที่มีค่าเป็นศูนย์
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

ที่จุด B จะมีค่าของ $C_L = 0$ และจะมีทิศทางของ V_∞ เป็นลบซึ่งเรียกว่า zero lift direction ค่าของมุมเข้าปะทะ (angle of attack) จะสามารถวัดได้จาก chord ของแอร์โรพอยล์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ถ้ากำหนดให้มุมที่ใช้ในการออกแบบมีค่าเป็น α_0 จะได้ว่าค่าของ C_L ในทางทฤษฎีคือ

$$C_L = 2\pi \sin \alpha_0 \dots\dots\dots 2.28$$

ในทางปฏิบัติ 2π จะแทนด้วย $m = 4.8$ ถึง 5.5

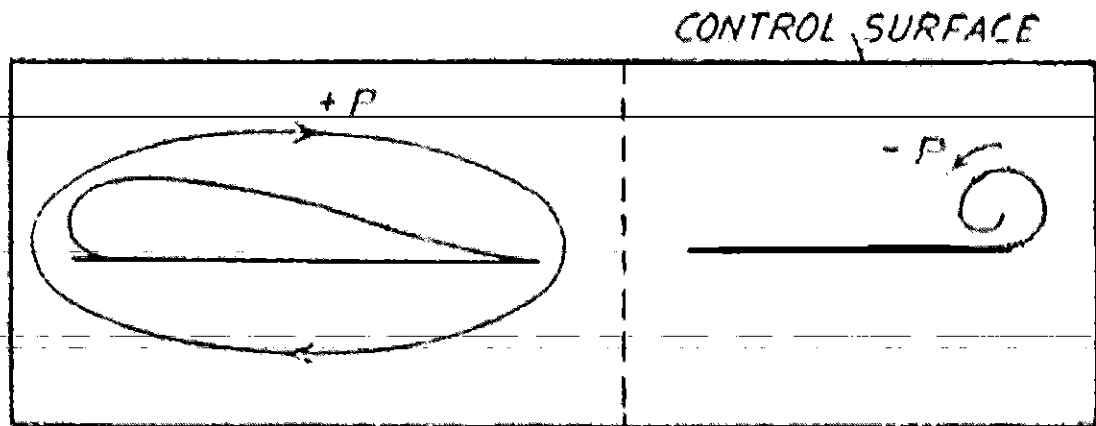
ความแตกต่างของความดันที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์ ทำให้ได้ข้อสังเกตเกิดขึ้น 2 ข้อ

1. อาจจะมีการโน้มเอียงในการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นที่บริเวณปลายสุดของแอร์โรพอยล์ ซึ่งจะมีการม้วนขึ้นจากบริเวณด้านล่างของแอร์โรพอยล์ที่มีความดันสูงไปยังบริเวณด้านบนของแอร์โรพอยล์ที่มีความดันต่ำ
2. จากสมการของ Bernoulli ทำให้สังเกตได้ว่าความเร็วของของไหลน่าจะมีค่ามากกว่าความเร็วที่บนด้านที่มีความดันต่ำแต่จะมีค่าน้อยกว่าความเร็วที่อยู่บนด้านที่มีความดันสูงของภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์



รูปที่ 2.15 แสดงการเกิดขึ้นของการหมุนวนของแรง (ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จากรูปที่ 2.15 จะแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของของไหลที่บริเวณรอบ ๆ ภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์ เพื่อที่จะได้ข้อมูลเพิ่มเติมในการศึกษาการหมุนวนที่เกิดขึ้นบริเวณ ส่วนท้าย (trailing edge) ของแอร์โรพอยล์

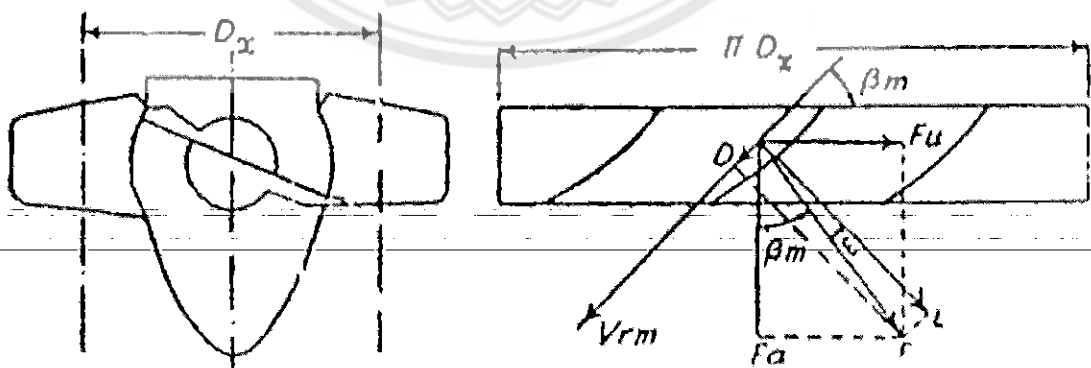


รูปที่ 2.16 แสดงการสมดุลของความดันบริเวณรอบ ๆ แอร์โรพอยล์

(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

ถ้ารับการเกิดการหมุนวนนั้นจะมีผลกระทบกับการเปลี่ยนรูปของการเคลื่อนที่ของของไหล จากรูป 2.16 จะเห็นได้ว่าถ้าของไหลเคลื่อนที่โดยไม่มีการหมุนวนเกิดขึ้นจะทำให้การหมุนวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่าเป็นศูนย์เพราะแรงที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแรงที่มีขนาดเดียวกันแต่มีทิศตรงข้ามกันจึงทำให้เกิดการหักล้างกันของแรงจนหมดไป

2.3.4.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแอร์โรพอยล์



รูปที่ 2.17 แสดงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของแอร์โรพอยล์

(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

เราสามารถให้ทฤษฎีของแอร์โรพอยล์มาช่วยในการหาค่าของความหนาของใบพัดจากสมการระยะของใบพัด (Blades) มีรูปสมการดังนี้

$$t = \frac{\pi D x}{z} \quad \text{เมื่อ } z = \text{จำนวนของใบพัด (Blade)} \dots\dots\dots 2.29$$

โดยใช้สามเหลี่ยมความเร็วใน รูปที่ 2.17 ซึ่งจะมีตัวแปรเพิ่มเข้ามาอีก 2 ตัวคือ F_u และ F_a โดย F_u คือแรงที่กระทำในทิศทางที่เกิดจากการหมุนและ F_a คือแรงที่กระทำในทิศทางตามแนวแกนของเพลลา

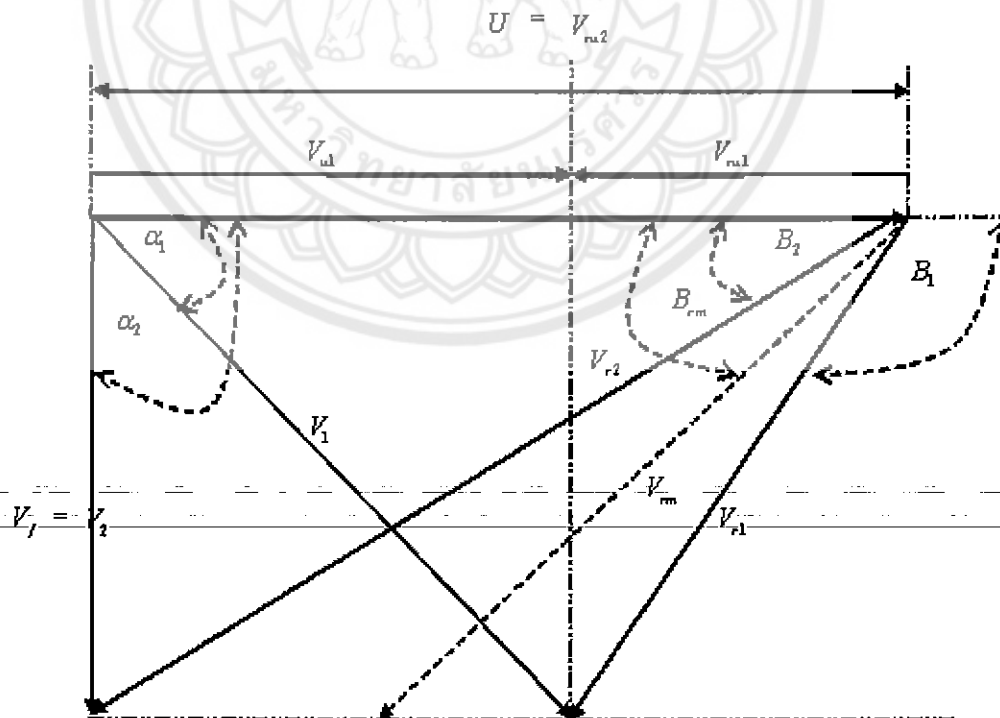
$$F_u = L \sin \beta_m - D \cos \beta_m \dots\dots\dots 2.30$$

∴ งานที่ทำได้

$$F_u U = U(L \sin \beta_m - D \cos \beta_m) \dots\dots\dots 2.31$$

ดังนั้นประสิทธิภาพ(Efficiency) มีรูปสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{F_u \times U}{(F_u \times U) + DV_{rm}} \\ &= \frac{U(L \sin \beta_m - D \cos \beta_m)}{U(L \sin \beta_m - D \cos \beta_m) + DV_{rm}} \dots\dots\dots 2.32 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.18 แสดงสามเหลี่ยมความเร็ว

05000163

จากรูปที่ 2.18 มุม β_m ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย ดังนั้นค่าความเร็วของ U และความเร็วของ V_m มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสมมติให้มีค่าเท่ากัน

ดังนั้น

$$\eta \approx \frac{\sin \beta_m - \frac{D}{L} \cos \beta_m}{\sin \beta_m - \frac{D}{L} \cos \beta_m + \frac{D}{L}} \dots\dots\dots 2.33$$

จัดรูปสมการใหม่

$$\eta \approx 1 - \frac{\frac{D}{L}}{\sin \beta_m - \frac{D}{L} \cos \beta_m + \frac{D}{L}} \dots\dots\dots 2.34$$

จากสมการที่ 2.26; $\tan \varepsilon = \frac{D}{L} = \frac{C_D}{C_L} \dots\dots\dots 2.35$

จัดรูปสมการที่ 2.34 ใหม่

$$\eta \approx 1 - \frac{\tan \varepsilon}{\sin \beta_m - \frac{D}{L} \cos \beta_m + \tan \varepsilon} \dots\dots\dots 2.36$$

เมื่อมุม ε มีขนาดที่น้อยกว่ามุม β_m มาก ๆ

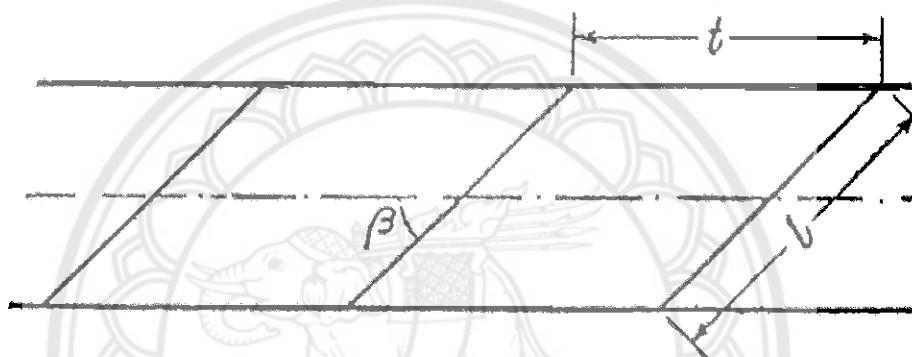
ดังนั้น

$$\begin{aligned} \eta &\approx 1 - \frac{\tan \varepsilon}{\sin \beta_m \cos \varepsilon - \sin \varepsilon \cos \beta_m} \\ &\approx 1 - \frac{\varepsilon}{\sin(\beta_m - \varepsilon)} \\ &\approx 1 - \frac{\varepsilon}{\sin \beta_m} \dots\dots\dots 2.37 \end{aligned}$$

จากสมการจะเห็นว่าประสิทธิภาพของกังหันแบบตามแนวแกนจะมีค่ามากที่สุดได้ก็ต่อเมื่อค่า glide angle มีค่าน้อยที่สุด

2.3.5 การจัดเรียงของใบพัด

เมื่อเรานำใบพัดมาต่อกันเป็นแนวยาวจะเป็นดังรูป รูปที่ 2.19 การจัดเรียงตัวของใบพัด ดังรูปนี้เรียกว่าการจัดเรียงของใบพัด (cascade of blades) การเปลี่ยนรูปของการเคลื่อนที่ของของไหลบริเวณรอบ ๆ การจัดเรียงของใบพัดจะมีความแตกต่างจากการเคลื่อนที่ของของไหลบริเวณรอบๆ ภาคตัดขวางของแอร์โรฟอยล์เพียงอันเดียว เพราะแรงหมุนวนรอบ ๆ การจัดเรียงของใบพัด ในแต่ละภาคตัดขวางจะมีการเหนี่ยวนำความเร็วของภาคตัดขวางที่อยู่รอบ ๆ ตัวมันเองด้วย ผลที่เกิดขึ้นคือตัวแปรทางแอร์โรไดนามิกส์ต่าง ๆ เช่น C_D และ C_L จะมีค่าเปลี่ยนไป

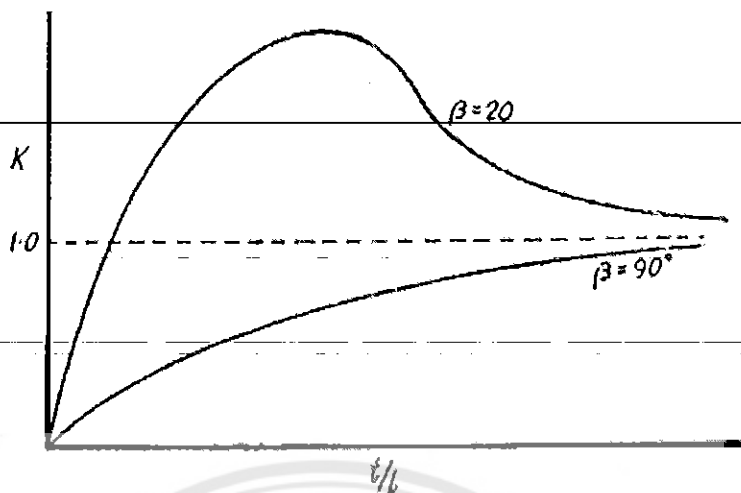


รูปที่ 2.19 แสดงการจัดเรียงของใบพัด (blades)
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

นอกจากนั้นยังมีตัวแปรเพิ่มขึ้นอีก 2 ตัวคือระยะพิทของใบพัด (pitch of blade) และ angle of stagger(β) ซึ่งเราจะสามารถเขียนสมการของ C_L ใหม่ได้เป็น

$$C_{LC} = KC_L \dots\dots\dots 2.38$$

เมื่อค่า K เป็นค่าคงที่ซึ่งถูกกำหนดโดย Weing โดยได้จากความสัมพันธ์ของระยะพิทและ angle of stagger จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าของ t/l มีค่ามาก (ในทางปฏิบัติ $t/l > 2$) จะทำให้เส้นโค้งเข้าสู่ค่า $K = 1$ ซึ่งหมายความว่าค่า K ไม่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของของไหลบน การจัดเรียงของใบพัดซึ่งก็คือรูปแบบของการเคลื่อนที่ของการไหลจะเหมือนกับภาคตัดขวางหนึ่งอัน

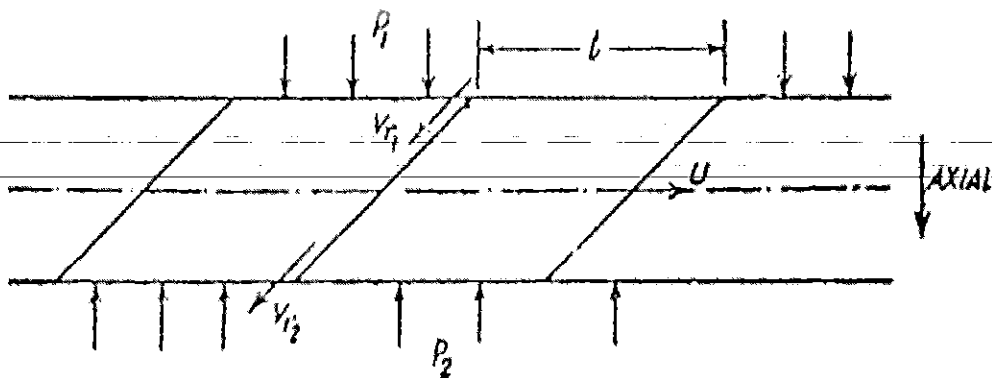


รูปที่ 2.20 แสดงสัมประสิทธิ์ของการจัดเรียงของใบพัด (cascade)
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

สำหรับกราฟในรูป รูปที่ 2.20 นั้น วิศวกรหลายท่านได้ระบุไว้ว่าสามารถใช้ได้กับภาคตัดขวางของแอร์โรพอยล์ ที่มีขนาดบางได้ด้วย อย่างไรก็ตามค่า K ในสมการนั้นก็ยังสามารถหาได้จาก

$$K = \frac{\left(\frac{dC_L}{d\alpha_0}\right)_c}{\left(\frac{dC_L}{d\alpha_0}\right)} \dots\dots\dots 2.39$$

เมื่อ α_0 คือมุมเข้าปะทะ (angle of attack) ที่วัดจาก zero lift direction



รูปที่ 2.21 แสดงทิศทางของความเร็วสัมพัทธ์และความดันที่เกิดขึ้นในการจัดเรียงของใบพัด
(ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างใบพัดส่วนที่อยู่กับที่กับใบพัดส่วนที่หมุน มีเพียงแต่สิ่งเดียวที่แตกต่างกันก็คือความเร็วสัมผัสและความเร็วสัมผัสตั้งรูปที่ 2.21

ของไหลจะไหลเข้าสู่การจัดเรียงของใบพัด (cascade) ด้วยความเร็วสัมผัส V_{r1} และไหลออกด้วยความเร็วสัมผัส V_{r2} เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อความเร็วจะทำให้ได้ว่า $V_{f1} = V_{f2} = V_f$ ดังนั้นจะได้แรงต่อระยะพิท (pitch) ที่ถูกปล่อยออกมาในทิศทาง tangential ระหว่างการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเป็นแรงที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม (momentum) มีรูปสมการดังนี้

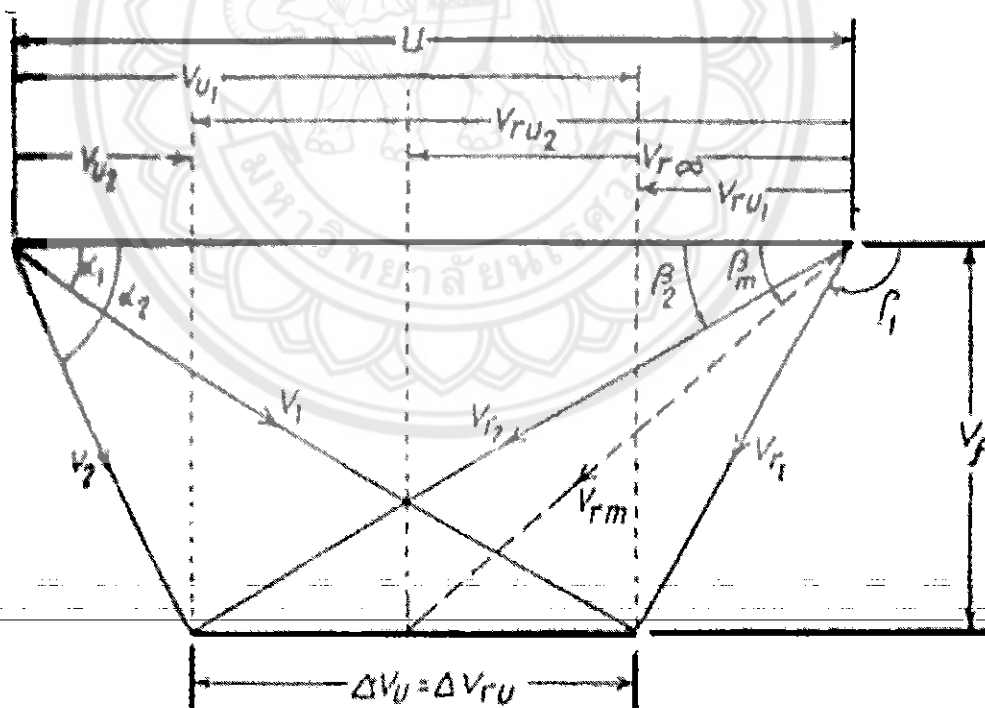
$$F_u = \rho V_f t \Delta V_{ru} \dots\dots\dots 2.40$$

แรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดัน มีรูปสมการดังนี้

$$F_a = t(p_2 - p_1) \dots\dots\dots 2.41$$

จาก Bernoulli Equation

$$(p_2 - p_1) = \frac{\rho}{2}(V_{r1}^2 - V_{r2}^2) \dots\dots\dots 2.42$$



รูปที่ 2.22 แสดงสามเหลี่ยมความเร็วของกังหันน้ำชนิดไหลตามแนวแกน (ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จากแผนภาพสามเหลี่ยมความเร็วของกังหันน้ำชนิดไหลตามแนวแกน (รูปที่ 2.22)

$$\begin{aligned} V_{r1}^2 - V_{r2}^2 &= (V_f^2 + V_{r1}^2) - (V_f^2 + V_{r2}^2) \\ &= (V_{r1} + V_{r2})(V_{r1} - V_{r2}) \dots\dots\dots 2.43 \end{aligned}$$

$$= \Delta V_{ru} (V_{r1} - V_{r2}) \dots\dots\dots 2.44$$

จัดรูปสมการที่ 2.41 ดังนั้น

$$F_a = t\rho\Delta V_{ru} \frac{V_{r1} + V_{r2}}{2} \dots\dots\dots 2.45$$

เมื่อนำสมการที่ 2.40 ทารด้วยสมการที่ 2.45 ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{F_u}{F_a} = \frac{V_f}{\frac{1}{2}(V_{r1} + V_{r2})} = \tan \beta_m$$

และผลรวมของแรงคือ $F = \sqrt{F_u^2 + F_a^2}$

2.3.6 ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดส่วนที่หมุน

อัตราการไหลของน้ำในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีที่สามารถหาได้จาก

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) V_f \dots\dots\dots 2.46$$

เมื่อ D_o = ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกังหันน้ำ

D_i = ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกังหันน้ำ

หรือ
$$Q = \frac{\pi}{4} D_o^2 \left[1 - \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^2 \right] V_f \dots\dots\dots 2.47$$

และอัตราส่วนของ $\frac{D_i}{D_o}$ ควรมีค่าประมาณ 0.35 ถึง 0.6

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 ข้อกำหนดและข้อเสนอแนะในการออกแบบกังหันน้ำ

กังหันน้ำแบบใบพัด (Propeller) เป็นกังหันน้ำที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานที่อัตราการไหลจำนวนมากแต่ค่าหัวน้ำที่ไม่สูง การออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดต้องมีข้อมูลหรือกำหนดข้อกำหนดในการออกแบบและต้องอาศัยคำแนะนำจากผู้รู้ก่อนแล้ว และลักษณะทางกายภาพของกังหันน้ำแบบใบพัดนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของกังหันน้ำแบบใบพัด ดังนั้นนอกจากขนาดของกังหันน้ำแบบใบพัดแล้วต้องคำนึงถึงรูปร่างและตำแหน่งการจัดเรียงของใบพัดในการออกแบบด้วย

สำหรับการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดในโครงการนี้ได้กำหนดข้อกำหนดและข้อเสนอแนะในการออกแบบดังต่อไปนี้

3.1.1 กำหนดค่าในการออกแบบกังหันน้ำ

1. หัวน้ำเท่ากับ 3 เมตร
2. อัตราการไหลเท่ากับ 63 ลิตรเมตรต่อวินาที
3. ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 997 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ที่อุณหภูมิ 25^o C)
4. ความเร็วโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาที²
5. จำนวนใบพัดเท่ากับ 4 ใบ
6. ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

3.1.2 ข้อเสนอแนะในการออกแบบกังหันน้ำ

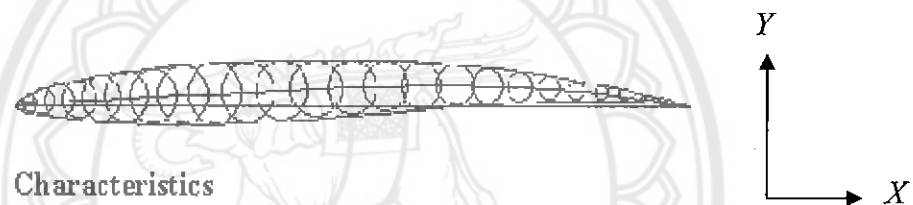
สำหรับข้อเสนอแนะในการออกแบบกังหันน้ำในโครงการนี้เป็นข้อเสนอแนะในการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดจาก HYDRAULIC MACHINES (THEORY AND DESIGN) ของ V.P. VASANDANI

1. เลือก Profile Aerofoil แบบ MH 120 เนื่องจากรูปแบบของ Aerofoil ชนิดนี้เหมาะสมสำหรับใบพัดของกังหันน้ำแบบใบพัดหรือกังหันลม
2. อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก ควรมีค่าระหว่าง 0.35 ถึง 0.6

3. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 เซนติเมตร
4. อัตราส่วนการไหล ควรมีค่าระหว่าง 0.35 ถึง 0.6
5. อัตราส่วนความเร็ว ควรมีค่าระหว่าง 0.9 ถึง 2.1
6. มุมน้ำออกของกังหันน้ำ ควรมีค่าเท่ากับ 90 องศา

3.2 ลักษณะทางกายภาพของ Profile Aerofoil แบบ MH-120

สำหรับ Profile Aerofoil แบบ MH 120 ออกแบบเพื่อใช้ในการสร้างใบพัดของกังหันน้ำแบบใบพัดหรือกังหันลม ที่สภาวะการทำงานที่มีการเคลื่อนที่ของน้ำหรือลมเร็ว ๆ ซึ่งได้แสดงมาตราส่วนหนึ่งหน่วยของ Profile Aerofoil แบบ MH 120 ในแนวแกน X และ Y ตามตารางที่ 3.1



Characteristics

- *Thickness: 8.0%*
- *Max. camber: 2.7%*
- *Can be used at Reynolds numbers of 100'000 and above.*
- *The Mach number should lower than 0.8.*

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil
(ที่มา <http://www.mh-aerotools.de/airfoils/javaprop.htm>)

ตารางที่ 3.1 แสดงมาตราส่วนหนึ่งหน่วยของ Profile Aerofoil แบบ MH 120

(ที่มา <http://www.mh-acrotools.de/airfoils/javaprop.htm>)

x	y
1.00000000	0.00000000
0.99679998	0.00083000
0.98778998	0.00341000
0.97395998	0.00741000
0.95563998	0.01197000
0.93257998	0.01671000
0.90486998	0.02178000
0.83734998	0.03298000
0.79856998	0.03884000
0.75722998	0.04454000
0.71374998	0.04970000
0.66845999	0.05403000
0.62160999	0.05737000
0.57344999	0.05965000
0.47490999	0.06149000
0.42555999	0.06115000
0.37682999	0.06001000
0.32924999	0.05810000
0.28329999	0.05546000
0.23944999	0.05216000
0.19817000	0.04825000
0.15986000	0.04381000
0.12494000	0.03892000
0.09377000	0.03367000
0.06666000	0.02815000
0.04389000	0.02248000
0.02572000	0.01677000
0.01233000	0.01113000
0.00381000	0.00563000
0.00000000	0.00075000
0.00184000	-0.00319000
0.38473999	-0.01995000
0.48837999	-0.01285000
0.54186999	-0.00868000
0.59561999	-0.00459000
0.64892999	-0.00082000
0.70103998	0.00239000
0.75119998	0.00490000
0.79860998	0.00660000
0.88224998	0.00746000
0.91707998	0.00674000
0.94644998	0.00540000
0.96976998	0.00366000
0.98656998	0.00187000
0.99664998	0.00052000
1.00000000	0.00000000

จาก Profile Aerofoil แบบ MH 120 สามารถคำนวณการทวมุม A_1 และ A_2 ที่แสดงรายละเอียดตามรูปที่ 3.2 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil การทวมุม A_1 และ A_2

A_1 และ A_2 คือมุมที่เกิดจากการลากเส้นตรงจากหัวและหาง Profile Aerofoil ไปยังจุดที่อยู่บนแนวเส้น camber ที่ระยะอ้างอิง 1 หน่วยในแนวแกน X เทียบกับเส้น chord ของ Profile Aerofoil ตามดังรูป 3.2

จากคุณลักษณะของ Profile Aerofoil แบบ MH 120

$$A_1 = \tan^{-1}\left(\frac{0.0280021}{0.1}\right)$$

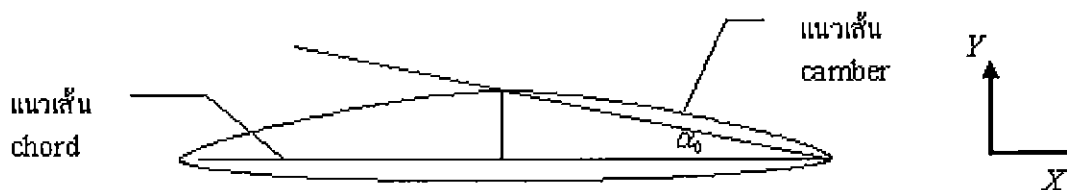
$$= 15.6434 \text{ องศา}$$

และ

$$A_2 = \tan^{-1}\left(\frac{0.007772}{0.1}\right)$$

$$= 4.444 \text{ องศา}$$

จาก Profile Aerofoil แบบ MH 120 สามารถคำนวณการทวมุม α_0 ที่แสดงรายละเอียดตามรูปที่ 3.3 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะทางกายภาพ Profile Aerofoil การทวมุม α_0

α_0 คือมุมที่เกิดจากการลากเส้นตรงจากหางของ Profile Aerofoil ไปยังจุดที่สูงที่สุดบน
แนวเส้น camber เทียบกับเส้น chord ของ Profile Aerofoil ตามดังรูป 3.3

$$\alpha_0 = \tan^{-1}\left(\frac{0.031615}{0.16265}\right)$$

$$= 11 \text{ องศา}$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ C_L จากสมการที่ 2.28 คือ $C_L = 2\pi \sin \alpha_0$

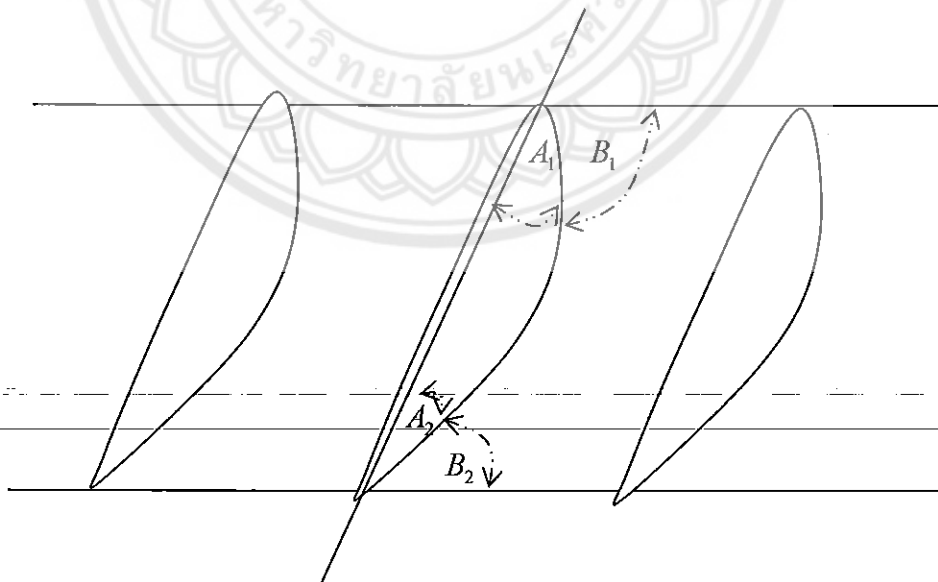
ดังนั้น เมื่อทราบ $\alpha_0 = 11$ องศา

$$C_L = 2\pi \sin 11$$

$$= 1.198888276$$

3.3 การคำนวณอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก (D_{ratio}) ที่ทำให้กังหันมี ประสิทธิภาพสูงสุด

จากลักษณะทางกายภาพในการจัดเรียงใบพัดจริงตามรูปที่ 3.4 สามารถคำนวณหา
มุม B_{chord} และ B_1 ได้ดังนี้



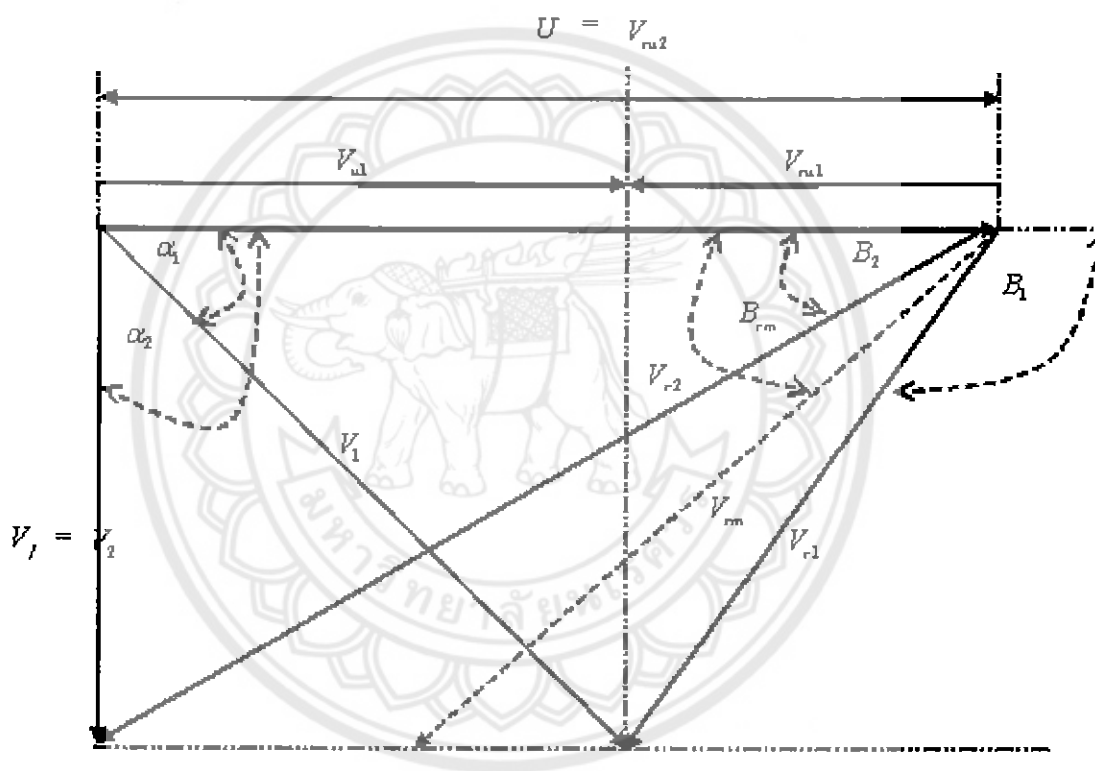
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะทางกายภาพในการจัดเรียงใบพัดจริง

จากรูปที่ 3.4 เมื่อทราบมุม B_2 ดังนี้

$$B_{chord} = B_2 + A_2 \dots\dots\dots 3.1$$

$$B_1 = 180^\circ - (B_{chord} + A_1) \dots\dots\dots 3.2$$

จากสามเหลี่ยมความเร็วของกังหันตามการแนะนำในการออกแบบ ตามรูปที่ 3.5 สามารถ
คำนวณหาความเร็วต่างๆของกังหันน้ำได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงสามเหลี่ยมความเร็วของกังหันตามการแนะนำในการออกแบบ

จากรูปภาพ 3.5 เมื่อทราบความเร็ว U และ V_f ดังนี้

$$B_2 = \tan^{-1}(V_f / U) \dots\dots\dots 3.3$$

$$V_{r2} = \sqrt{V_f^2 + U^2} \dots\dots\dots 3.4$$

เมื่อวางใบพัดของกังหันตามมุม B_2 จะเป็นไปตามลักษณะทางกายภาพในการจัดเรียงใบพัดจริงจึงทำให้ได้ค่ามุม B_1 ตามสมการที่ 3.2 ดังนั้น

$$V_{r1} = \frac{V_f}{\cos(B_1 - 90^\circ)} \dots\dots\dots 3.5$$

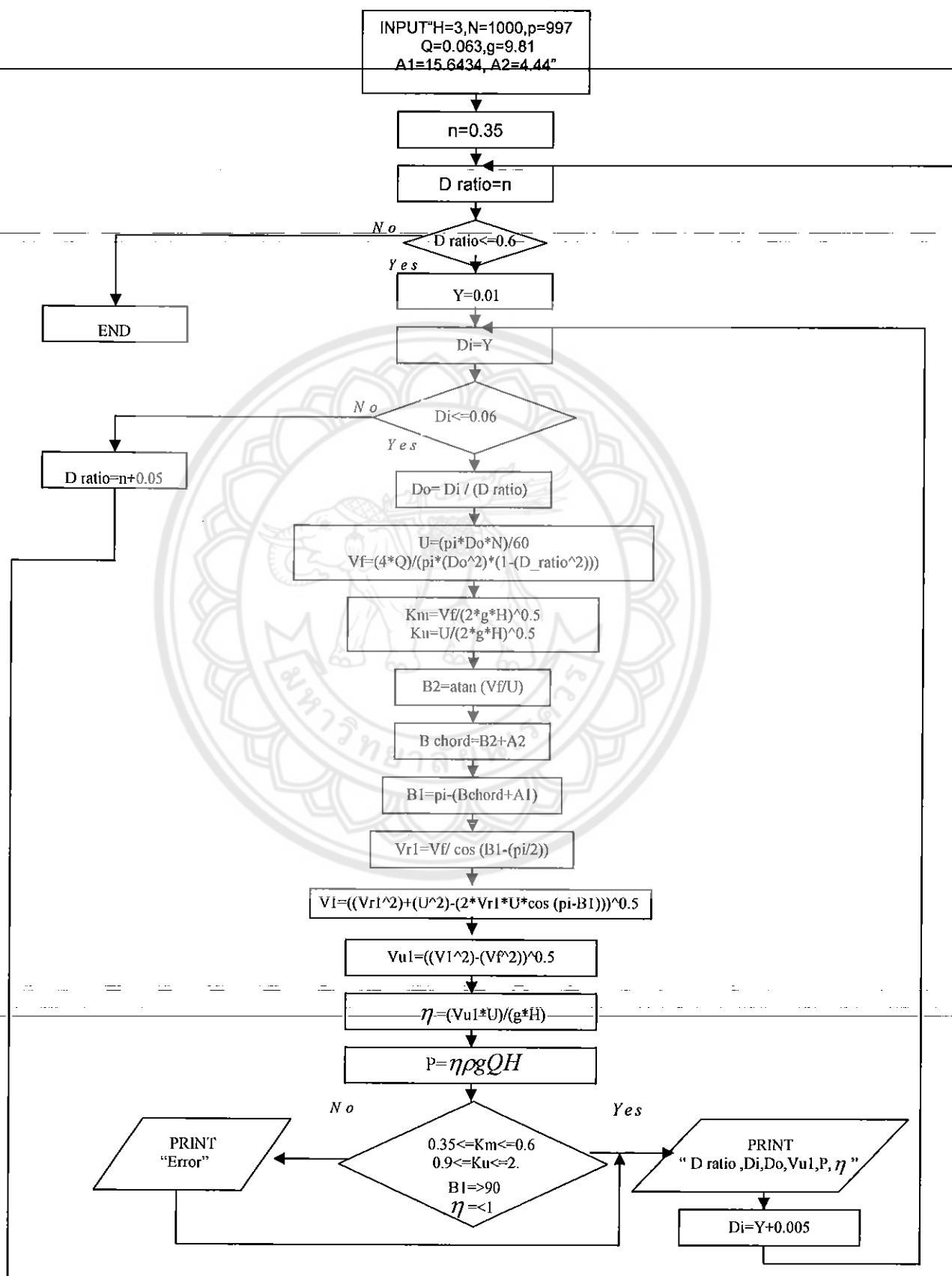
$$V_1 = \sqrt{V_{r1}^2 + U^2 - 2V_{r1}U \cos(180^\circ - B_1)} \dots\dots\dots 3.6$$

$$V_{u1} = \sqrt{V_1^2 - V_f^2} \dots\dots\dots 3.7$$

และ $V_{u2} = 0$

จากนั้นสามารถนำสมการที่หามาข้างต้น มาคำนวณหาอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก (D_{ratio}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) ที่ทำให้กังหันมีประสิทธิภาพสูงสุดตามแผนผังดังรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังการคำนวณหา D_{ratio} และ D_i ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากแผนผังการคำนวณหาค่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D_{ratio}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ

การคำนวณทำการวนซ้ำค่า สองค่าคือ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

เริ่มต้นจากการป้อนค่า

- หัวน้ำ (H)
- อัตราการไหล (Q)
- ความเร็วรอบ (N)
- ความหนาแน่นของน้ำ (ρ)
- ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g)
- มุมของ Profile Aerofoil แบบ MH 120 คือ มุม A_1 และ A_2

กำหนดเงื่อนไขว่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D_{ratio}) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 ถ้าเป็นเท็จจะทำการจบโปรแกรม ถ้าเป็นจริงก็ทำการคำนวณขั้นต่อไปคือเข้าเงื่อนไขของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) โดยกำหนดค่า D_{ratio} เริ่มต้นเท่ากับ 0.35

กำหนดเงื่อนไขของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) ว่า D_i น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.06 เมตรถ้าเป็นจริงก็คำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้ ตามลำดับโดยกำหนดค่า D_i เริ่มต้นเท่ากับ 0.01 เมตร

$$1. D_o = \frac{D_i}{D_{ratio}}$$

$$2. U = \frac{\pi D_o N}{60} \text{ และ } V_f = \frac{4Q}{\pi D_o^2 (1 - D_{ratio}^2)}$$

$$3. K_m = \frac{V_f}{\sqrt{2gH}} \text{ และ } K_u = \frac{U}{\sqrt{2gH}}$$

$$4. B_2 = \tan^{-1}\left(\frac{V_f}{U}\right)$$

$$5. B_{chord} = B_2 + A_2$$

$$6. B_1 = \pi - (B_{chord} + A_1)$$

$$7. V_{r1} = \frac{V_f}{\cos(B_1 - (\pi/2))}$$

$$8. V_1 = \sqrt{V_{r1}^2 + U^2 + 2V_{r1}U \cos(\pi - B_1)}$$

$$9. V_{u1} = \sqrt{V_1^2 + V_f^2}$$

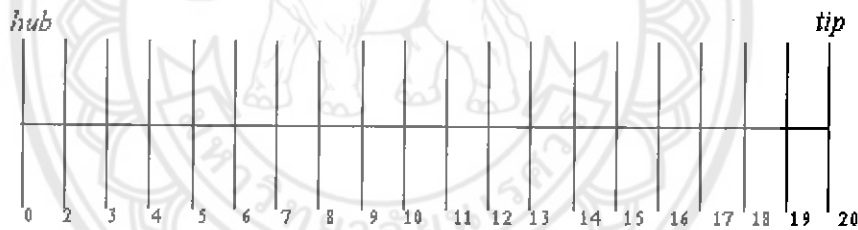
$$10. \eta = \frac{V_{u1} U}{gH}$$

$$11. P = \eta \rho g Q H$$

ตรวจสอบค่า K_m, K_u, B_1, η ว่าอยู่ในเงื่อนไขในการออกแบบหรือไม่ ถ้าไม่อยู่จะแสดงผลว่า "error" ถ้าอยู่ที่ทำการแสดงผลค่า " $D_{ratio}, D_i, D_o, P, \eta$ " แล้วทำการเพิ่มค่า D_i อีก 0.005 จนเงื่อนไขของ D_i เป็นเท็จ ถ้าเป็นเท็จก็วนกลับไปหาค่า D_{ratio} โดยเพิ่มอีก 0.05 จนเงื่อนไขของ D_{ratio} เป็นเท็จ

3.4 การคำนวณการจัดเรียงใบพัดของกังหันน้ำ

เมื่อทราบค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D_o) ก็สามารถหาระยะความยาวที่แตกต่างกันระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจาก $D_o - D_i$ และทำการแบ่งชิ้นส่วนของใบกังหันน้ำออกเป็น 20 ส่วน ตามดังรูป 3.7

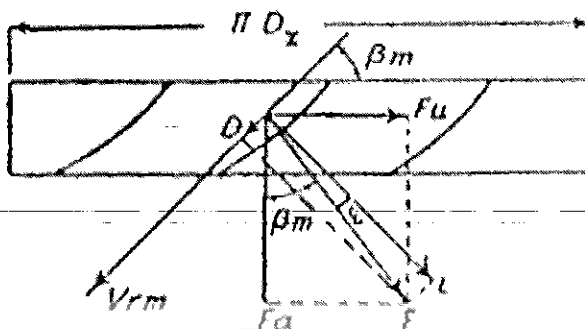


รูปภาพที่ 3.7 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำ

$$\text{ดังนั้น } D_x = D_i + \frac{X(D_o - D_i)}{20} \dots\dots\dots 3.8$$

เมื่อ D_x = เส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละชิ้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำ
 X = ลำดับชิ้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำ จาก 0,1,2,...,20

จากรูปที่ 3.8 สามารถแสดงสมการ การคำนวณหาระยะ chord (l) ของกังหันน้ำแบบใบพัด ได้ดังต่อไปนี้



รูปภาพที่ 3.8 แสดงแรงที่กระทำต่อใบพัดกังหันน้ำ (ที่มา: hydraulic machines theory and design)

จากรูปภาพ 3.7 $F_u = L \sin(B_m + \epsilon) - D \cos(B_m + \epsilon)$ 3.9

จากสมการ 2.40 คือ $F_u = \rho V_f t \Delta V_{ru} = \rho V_f t (V_{r2} - V_{r1})$

จากสมการ 2.23 คือ $l = \frac{\rho V_m^2 C_L}{2}$

จากสมการ 2.37 คือ $\epsilon = (1 - \eta) \sin B_m$

จากสมการ 2.35 คือ $\tan \epsilon = \frac{D}{L}$

เมื่อนำค่า L หารสมการ 3.9 เมื่อจัดรูปใหม่

$$\frac{F_u}{L} = \sin(B_m + \epsilon) - \frac{D}{L} \cos(B_m + \epsilon)$$
3.10

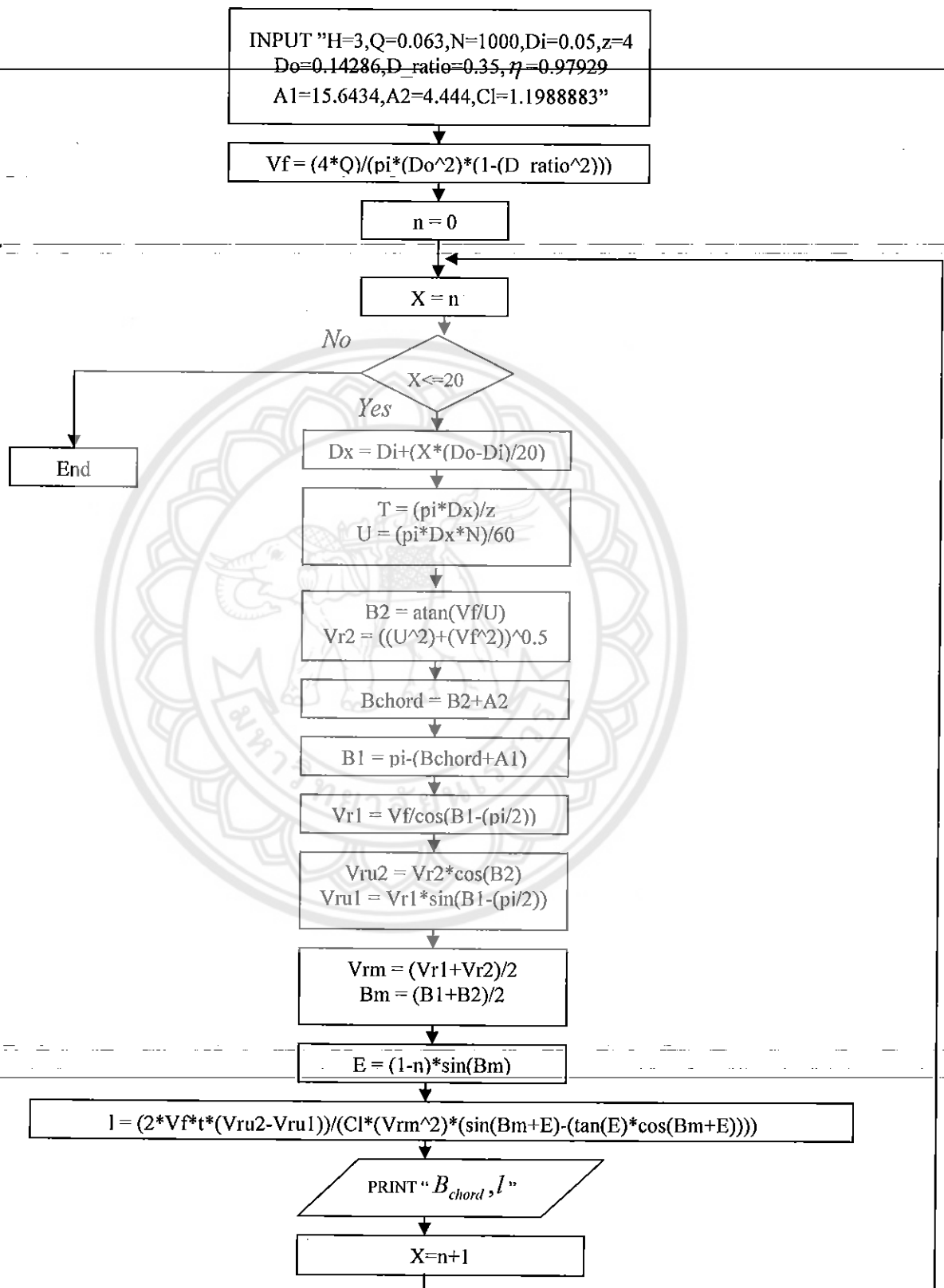
เมื่อนำค่า L, ϵ, F_u และ $\frac{D}{L}$ แทนในสมการ 3.10 ดังนั้น

$$\frac{\rho V_f t (V_{r2} - V_{r1})}{\frac{1}{2} \rho V_m^2 C_L} = \sin(B_m + \epsilon) - \tan \epsilon (\cos B_m + \epsilon)$$
3.11

จัดรูปสมการ 3.11 ใหม่ ดังนี้

$$l = \frac{2 V_f t (V_{r2} - V_{r1})}{V_m^2 C_L (\sin(B_m + \epsilon) - \tan \epsilon \cos(B_m + \epsilon))}$$
3.12

จากนั้นสามารถนำสมการที่หามาข้างต้น มาคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ ตามแผนผังดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ

จากการแสดงแผนผังรูปที่ 3.9 การคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ
ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ

ซึ่งในการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำได้แบ่งชิ้นส่วนของใบพัด
กังหันน้ำออก 20 ส่วน ตามรูปที่ 3.6

เริ่มต้นป้อนค่า

- หัวน้ำ (H)
- อัตราการไหล (Q)
- ความเร็วรอบ (N)
- ประสิทธิภาพกังหันน้ำ (η)
- จำนวนใบพัดของกังหันน้ำ (Z)
- มุมของ Profile Aerofoil แบบ MH 120 คือ มุม A_1 และ A_2
- ขนาดอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก (D_{ratio})
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D_o)
- สัมประสิทธิ์ C_L

ทำการหาค่าความเร็ว V_f จากสมการ
$$V_f = \frac{4Q}{\pi D_o^2 (1 - D_{ratio}^2)}$$

กำหนดเงื่อนไขในการแบ่งชิ้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำว่า ชิ้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำน้อย
กว่าหรือเท่ากับ 20 ถ้าเป็นจริงก็คำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้ ตามลำดับ โดยกำหนดลำดับชิ้นส่วนของ
ใบพัดกังหันน้ำเท่ากับ 0

$$1. D_x = D_i + \left(\frac{D_o - D_i}{20} \right) x$$

$$2. t = \frac{\pi D_x}{Z} \quad \text{และ} \quad U = \frac{\pi D_x N}{60}$$

$$3. B_2 = \tan^{-1} \left(\frac{V_f}{U} \right) \quad \text{และ} \quad V_{r2} = \sqrt{U^2 + V_f^2}$$

$$4. B_2 = \tan^{-1} \left(\frac{V_f}{U} \right)$$

$$5. B_1 = \pi - (B_{chord} + A_1)$$

$$6. V_{r1} = \frac{V_f}{\cos(B_1 - (\pi/2))}$$

$$7. V_{m1} = V_{r2} \cos B_2 \quad \text{และ} \quad V_{m1} = V_{r1} \sin(B_1 - (\pi/2))$$

$$8. V_m = \frac{V_{r1} + V_{r2}}{2} \quad \text{และ} \quad B_m = \frac{B_1 + B_2}{2}$$

$$9. \varepsilon = (1 - \eta) \sin B_m$$

$$10. l = \frac{2V_f'(V_{m2} - V_{m1})}{V_m^2 C_L (\sin(B_m + \varepsilon) - \tan \varepsilon \cos(B_m + \varepsilon))}$$

จากนั้นแสดงผลระยะความยาว chord และมุม B_{chord} แล้วทำการเพิ่มค่าลำดับชั้นส่วนของใบพัดกังหันน้ำอีกทีละ 1 จนกว่าเส้นไขเป็นเท็จ ถ้าเส้นไขเป็นเท็จก็จบโปรแกรม



บทที่ 4

ผลการออกแบบ

สำหรับการออกแบบกังหันน้ำนั้นได้แบ่งการออกแบบเป็นสองส่วนคือการคำนวณหาค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอกและ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด และการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ

เนื่องจากการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำต้องอาศัยผลจากการคำนวณหาอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอกและ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุดก่อน

4.1 ผลการคำนวณโปรแกรมการออกแบบ

4.1.1 ผลการคำนวณหาอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอกและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

เมื่อทำการประมวลผลจาก โปรแกรมสามารถแสดงผลการคำนวณ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก (D_{ratio}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) และประสิทธิภาพกังหันน้ำ (η)

อัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก (D_{ratio})

	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
0.010	error	error	error	error	error	error
0.015	error	error	error	error	error	error
0.020	error	error	error	error	error	error
0.025	0.8073	0.96467	error	error	error	error
0.030	0.6928	0.80466	0.95131	error	error	error
0.035	0.6531	0.71043	0.81855	0.96298	error	error
0.040	0.6863	0.67312	0.73619	0.84685	0.96655	error
0.045	0.7945	0.69146	0.69873	0.77103	0.89020	error
0.050	0.9792	0.76679	0.70516	0.73165	0.81715	0.95161
0.055	error	0.90051	0.75625	0.72777	0.77440	0.87834
0.060	error	error	0.85314	0.75982	0.76102	0.83081

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i)

ประสิทธิภาพของกังหัน (η)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D_{ratio}) มีค่าเท่ากับ 0.35 และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) เท่ากับ 0.05 เมตรที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.9792 และมีกำลังเพลาทเท่ากับ 1810.24 วัตต์ ซึ่งใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 0.7 จะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 1267.17 วัตต์

4.1.2 ผลการคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ

จากการประมวลผลของโปรแกรม การคำนวณหาระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำแต่ละชิ้นส่วนได้ผลดังนี้

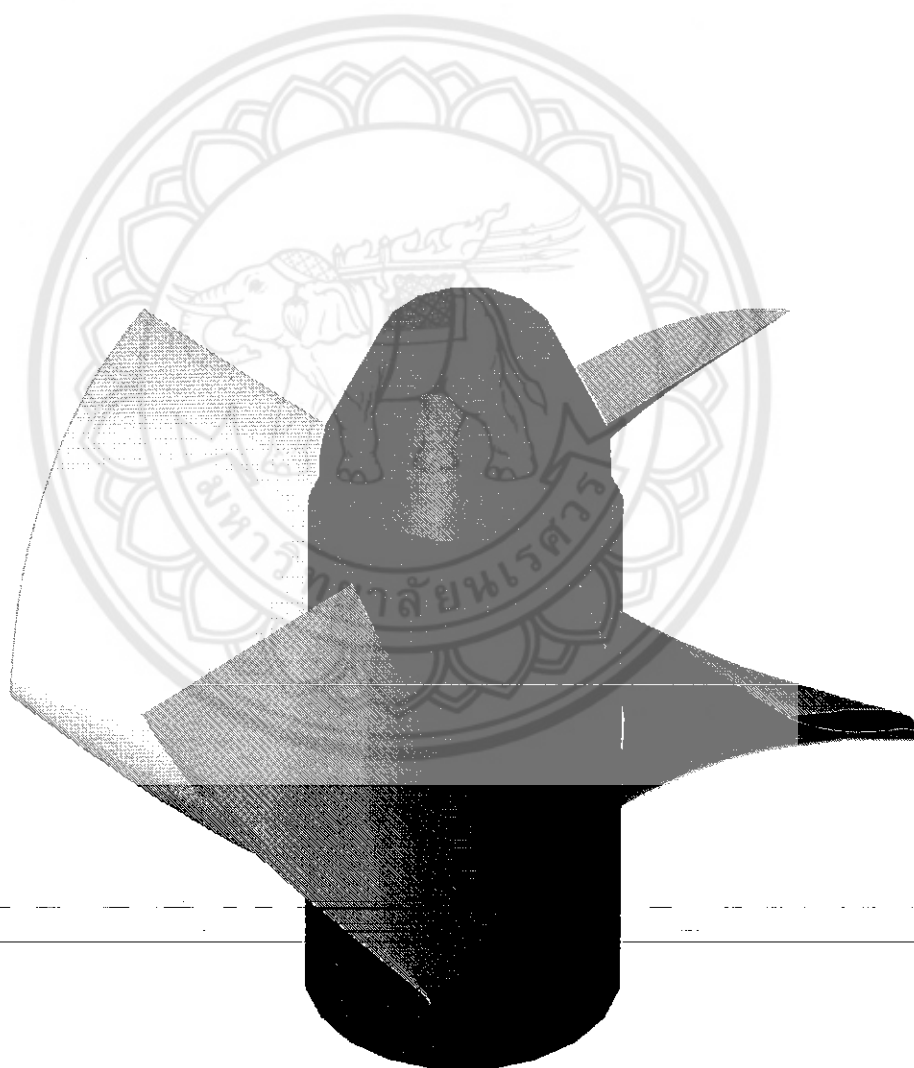
ตารางที่ 4.2 แสดงระยะ chord และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ

ลำดับชิ้นส่วน	ระยะ chord (l),(เมตร)	มุม B_{chord} ,(องศา)
0	0.06499	64.13861
1	0.06492	61.87544
2	0.06484	59.72093
3	0.06475	57.67312
4	0.06466	55.7291
5	0.06456	53.88534
6	0.06446	52.13781
7	0.06435	50.48217
8	0.06423	48.91391
9	0.06411	47.42847
10	0.06399	46.02172
11	0.06386	44.68794
12	0.06373	43.42407
13	0.06359	42.22553
14	0.06345	41.08836
15	0.06331	40.00879
16	0.06316	38.98327
17	0.06302	38.00844
18	0.06286	37.08116
19	0.06271	36.19849
20	0.06255	35.35818

4.2 แบบของกึ่งहनน้ำ

สำหรับการเขียนแบบกึ่งहनน้ำในโครงการนี้ใช้โปรแกรม Auto CAD เวอร์ชัน 2006 โดยใช้หลักการเขียนแบบ ไซลินดริคอลลคอร์ออร์ดิเนท (Cylindrical Coordinate)

สำหรับไซลินดริคอลลคอร์ออร์ดิเนท เป็นระบบคอรออร์ดิเนทที่มีรากฐานมาจากโพลาร์คอร์ดิเนท แต่เป็นระบบคอรออร์ดิเนท 3 มิติที่สามารถกำหนดระยะทาง มุมและความสูงใน 3 มิติ เราสามารถป้อนระยะทางจากจุดกำเนิด $0,0,0$ ตามเครื่องหมาย \leftarrow และค่ามุมในระนาบ XY ตามด้วยเครื่องหมาย \leftarrow แล้วกำหนดความสูงจากระนาบ XY ดังนั้นจึงได้ผลการเขียนแบบกึ่งहनน้ำตามดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแบบของกึ่งहनน้ำแบบใบพัด

บทที่ 5

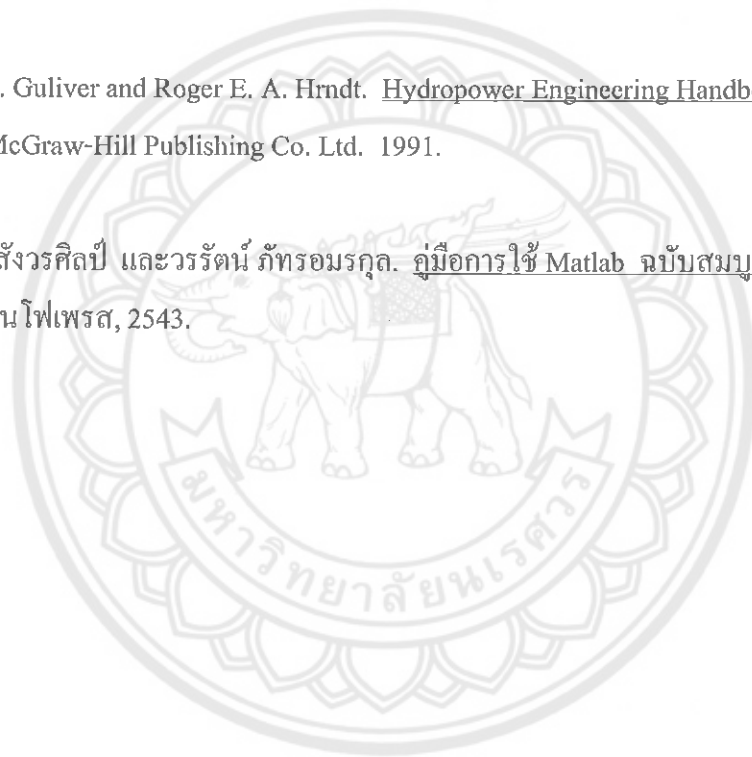
สรุปผลการออกแบบ

สำหรับการออกแบบกังหันน้ำแบบใบพัดที่อัตราการไหลขนาด 63 ลิตรต่อวินาที และความสูงของหัวน้ำเท่ากับ 3 เมตร ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1000 รอบต่อวินาที จากการใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบ ได้ผลการออกแบบดังนี้

1. รูปร่างใบพัดของกังหันน้ำใช้ Profile Aerofoil แบบ MH 120
2. จำนวนใบพัดของกังหันน้ำเท่ากับ 4 ใบ
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D_{ratio}) ของกังหันน้ำเท่ากับ 0.35
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) ของกังหันน้ำเท่ากับ 5 เซนติเมตร
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกใน (D_o) ของกังหันน้ำเท่ากับ 14.286 เซนติเมตร
6. ขนาดกำลังเพลลา (P) ของกังหันน้ำเท่ากับ 1810.24 วัตต์ คิดเป็นกำลังทางไฟฟ้าได้เท่ากับ 1267.17 วัตต์ เมื่อคิดประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 0.7 และประสิทธิภาพของกังหันน้ำเท่ากับ 0.9792

เอกสารอ้างอิง

1. V.P. Vansandani. Hydraulic Machines Theory and Design . Nai Sarak, Delhi-10006:
Khanna Publishers, 1984.
2. S. L. Dixon. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery.
Madras:Butterworth-Heiremann , 1998.
3. John S. Guliver and Roger E. A. Hrndt. Hydropower Engineering Handbook. New Delhi:
McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. 1991.
4. มนัส สัจวารศิลป์ และวรรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี:
อินโฟเพรส, 2543.







แสดงโปรแกรมการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

```

H=3;
N=1000;
Q=0.063;
p=997;
g=9.81;
A1=(15.6434*pi)/180;
A2=(4.444*pi)/180;
for D_ratio=0.35:0.05:0.6
    for Di=0.01:0.005:0.06
        fprintf('  D_ratio=%5.5f,D_ratio);
        fprintf('  Di=%5.5f\n',Di);
        Do=Di/(D_ratio);
        U=(pi*Do*N)/60;
        Vf=(4*Q)/(pi*(Do^2)*(1-(D_ratio^2)));
        Km=Vf/(2*g*H)^0.5;
        if Km<=0.35
            disp('the value of Km is error.')
        end
        if Km>=0.6
            disp('the value of Km is error.')
        end
        Ku=U/(2*g*H)^0.5;
        if Ku<=0.9
            disp('the value of Ku is error.')
        end
        if Ku>=2.1
            disp('the value of Ku is error.')
        end
        B2=atan(Vf/U);
        Bchord=B2+A2;
        B1=pi-(Bchord+A1);
        if B1<=(pi/2)
            disp('the value of B1 is error.')
        end
        Vr1=Vf/cos(B1-(pi/2));
        V1=((Vr1^2)+(U^2)-(2*Vr1*U*cos(pi-B1)))^0.5;
        Vu1=((V1^2)-(Vf^2))^0.5;
        Vru1=U-Vu1;
        n=(Vu1*U)/(g*H);
        P=n*p*g*H*Q;
        if n>1
            disp('the value of n is error.')
        end
        fprintf('  D_ratio=%5.5f,D_ratio);
        fprintf('  Di=%5.5f,Di);
        fprintf('  Do=%5.5f,Do);
        fprintf('  Vu1=%5.5f,Vu1);
        fprintf('  n=%5.5f,n);
        fprintf('  P=%5.5f,P);
        fprintf('\n');
    end
end
end

```

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.35000 Di=0.01000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.01 Do=0.02857 Vu1=40.75904 n=2.07188 P=3829.92459

D_ratio=0.35000 Di=0.01500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.015 Do=0.04286 Vu1=17.94155 n=1.36802 P=2528.81751

D_ratio=0.35000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.02 Do=0.05714 Vu1=9.96517 n=1.01311 P=1872.75553

D_ratio=0.35000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.025 Do=0.07143 Vu1=6.35269 n=0.80731 P=1492.32741

D_ratio=0.35000 Di=0.03000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.35 Di=0.03 Do=0.08571 Vu1=4.54286 n=0.69277 P=1280.60944

D_ratio=0.35000 Di=0.03500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.35 Di=0.035 Do=0.1000 Vu1=3.67079 n=0.65308 P=1207.23986

D_ratio=0.35000 Di=0.04000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.35 Di=0.040 Do=0.11429 Vu1=3.37515 n=0.68627 P=1268.58403

แสดงผลการคำนวณค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.35000 Di=0.04500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.35 Di=0.045 Do=0.12857 Vu1=3.47311 n=0.79446 P=1468.57752

D_ratio=0.35000 Di=0.05000

D_ratio=0.35 Di=0.05 Do=0.14286 Vu1=3.85301 n=0.97929 P=1810.24066

D_ratio=0.35000 Di=0.05500

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.055 Do=0.15714 Vu1=4.43600 n=1.24021 P=2292.55962

D_ratio=0.35000 Di=0.06000

the value of n is error.

D_ratio=0.35 Di=0.06 Do=0.17143 Vu1=5.16217 n=1.57443 P=2910.37929

D_ratio=0.40000 Di=0.01000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.40 Di=0.01 Do=0.02500 Vu1=55.70422 n=2.47763 P=4579.96792

D_ratio=0.40000 Di=0.01500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.4 Di=0.015 Do=0.03750 Vu1=24.59388 n=1.64084 P=3033.14118

D_ratio=0.40000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.4 Di=0.02 Do=0.05000 Vu1=13.69112 n=1.21792 P=2251.35115

D_ratio=0.40000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.40 Di=0.025 Do=0.06250 Vu1=8.67545 n=0.96467 P=1783.22493

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.40000 Di=0.03000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.03 Do=0.07500 Vu1=6.03036 n=0.80466 P=1487.43866

D_ratio=0.40000 Di=0.03500
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.0350 Do=0.08750 Vu1=4.56360 n=0.71043 P=1313.25732

D_ratio=0.40000 Di=0.04000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.04 Do=0.10000 Vu1=3.78343 n=0.67312 P=1244.28477

D_ratio=0.40000 Di=0.04500
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.045 Do=0.11250 Vu1=3.45467 n=0.69146 P=1278.18430

D_ratio=0.40000 Di=0.05000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.05 Do=0.12500 Vu1=3.44791 n=0.76679 P=1417.42450

D_ratio=0.40000 Di=0.05500
 the value of Km is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.055 Do=0.13750 Vu1=3.68110 n=0.90051 P=1664.62013

D_ratio=0.40000 Di=0.06000
 the value of n is error.
 D_ratio=0.4 Di=0.06 Do=0.15000 Vu1=4.09556 n=1.09298 P=2020.40791

D_ratio=0.45000 Di=0.01000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 the value of n is error.
 D_ratio=0.45 Di=0.01 Do=0.02222 Vu1=74.33207 n=2.93881 P=5432.47893

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.45000 Di=0.01500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.45 Di=0.015 Do=0.03333 Vu1=32.88485 n=1.95022 P=3605.03098

D_ratio=0.45000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.45 Di=0.02 Do=0.04444 Vu1=18.35339 n=1.45125 P=2682.67455

D_ratio=0.45000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.45 Di=0.025 Do=0.05556 Vu1=11.63282 n=1.14980 P=2125.42957

D_ratio=0.45000 Di=0.03000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.45 Di=0.03 Do=0.06667 Vu1=8.02059 n=0.95131 P=1758.52762

D_ratio=0.45000 Di=0.03500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.45 Di=0.035 Do=0.07778 Vu1=5.91533 n=0.81855 P=1513.10467

D_ratio=0.45000 Di=0.04000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.45 Di=0.04 Do=0.08889 Vu1=4.65518 n=0.73619 P=1360.87479

D_ratio=0.45000 Di=0.04500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.45 Di=0.045 Do=0.10000 Vu1=3.92739 n=0.69873 P=1291.63012

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.45000 Di=0.05000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.45 Di=0.05 Do=0.11111 Vu1=3.56713 n=0.70516 P=1303.49897

D_ratio=0.45000 Di=0.05500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.45 Di=0.055 Do=0.12222 Vu1=3.47783 n=0.75625 P=1397.95533

D_ratio=0.45000 Di=0.06000

the value of Km is error.

D_ratio=0.45 Di=0.06 Do=0.13333 Vu1=3.59645 n=0.85314 P=1577.05615

D_ratio=0.50000 Di=0.01000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.5 Di=0.01 Do=0.02000 Vu1=97.64228 n=3.47437 P=6422.47214

D_ratio=0.50000 Di=0.01500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.5 Di=0.015 Do=0.03 Vu1=43.25655 n=2.30877 P=4267.83370

D_ratio=0.50000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.5 Di=0.02 Do=0.040 Vu1=24.19196 n=1.72163 P=3182.47786

D_ratio=0.50000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.5 Di=0.025 Do=0.05 Vu1=15.35975 n=1.36635 P=2525.73928

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.50000 Di=0.03000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.50 Di=0.03 Do=0.060 Vu1=10.57698 n=1.12907 P=2087.11918

D_ratio=0.50000 Di=0.03500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.5 Di=0.035 Do=0.07 Vu1=7.73234 n=0.96298 P=1780.09458

D_ratio=0.50000 Di=0.04000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.50 Di=0.040 Do=0.080 Vu1=5.94986 n=0.84685 P=1565.42094

D_ratio=0.50000 Di=0.04500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.50 Di=0.045 Do=0.09 Vu1=4.81525 n=0.77103 P=1425.26469

D_ratio=0.50000 Di=0.05000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.50 Di=0.05 Do=0.100 Vu1=4.11239 n=0.73165 P=1352.47194

D_ratio=0.50000 Di=0.05500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.5 Di=0.055 Do=0.11000 Vu1=3.71874 n=0.72777 P=1345.31032

D_ratio=0.50000 Di=0.06000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.50 Di=0.060 Do=0.12 Vu1=3.55893 n=0.75982 P=1404.54229

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.55000 Di=0.01000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.01 Do=0.01818 Vu1=127.09372 n=4.11121 P=7599.68742

D_ratio=0.55000 Di=0.01500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.015 Do=0.02727 Vu1=56.35668 n=2.73453 P=5054.85020

D_ratio=0.55000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.02 Do=0.03636 Vu1=31.56750 n=2.04228 P=3775.21641

D_ratio=0.55000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.025 Do=0.04545 Vu1=20.07845 n=1.62374 P=3001.52350

D_ratio=0.55000 Di=0.03000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.03 Do=0.05455 Vu1=13.83879 n=1.34297 P=2482.51030

D_ratio=0.55000 Di=0.03500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.55 Di=0.035 Do=0.06364 Vu1=10.09511 n=1.14294 P=2112.76382

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.55000 Di=0.04000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.55 Di=0.04 Do=0.07273 Vu1=7.70185 n=0.96655 P=1842.15772

D_ratio=0.55000 Di=0.04500
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.55 Di=0.045 Do=0.08182 Vu1=6.11545 n=0.89020 P=1645.55547

D_ratio=0.55000 Di=0.05000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.55 Di=0.05 Do=0.09091 Vu1=5.05224 n=0.81715 P=1510.51682

D_ratio=0.55000 Di=0.05500
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.55 Di=0.055 Do=0.100 Vu1=4.35269 n=0.77440 P=1431.50177

D_ratio=0.55000 Di=0.06000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 D_ratio=0.55 Di=0.06 Do=0.10909 Vu1=3.92103 n=0.76102 P=1406.76873

D_ratio=0.60000 Di=0.01000
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 the value of n is error.
 D_ratio=0.60 Di=0.01 Do=0.01667 Vu1=164.88880 n=4.88932 P=9038.03965

D_ratio=0.60000 Di=0.01500
 the value of Km is error.
 the value of Ku is error.
 the value of B1 is error.
 the value of n is error.
 D_ratio=0.6 Di=0.015 Do=0.025 Vu1=73.16395 n=3.25421 P=6015.49618

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.60000 Di=0.02000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.60 Di=0.02 Do=0.03333 Vu1=41.02892 n=2.43320 P=4497.83162

D_ratio=0.60000 Di=0.02500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.60 Di=0.025 Do=0.04167 Vu1=26.13604 n=1.93748 P=3581.48281

D_ratio=0.60000 Di=0.03000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.6 Di=0.030 Do=0.05000 Vu1=18.03937 n=1.60472 P=2966.37231

D_ratio=0.60000 Di=0.03500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.6 Di=0.035 Do=0.05833 Vu1=13.16323 n=1.36612 P=2525.30305

D_ratio=0.60000 Di=0.04000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.60 Di=0.04 Do=0.06667 Vu1=10.01736 n=1.18815 P=2196.32355

D_ratio=0.60000 Di=0.04500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

the value of n is error.

D_ratio=0.60 Di=0.045 Do=0.075 Vu1=7.89278 n=1.05317 P=1946.81984

แสดงผลการคำนวณหาค่า D ratio และ Di ที่ทำให้กังหันน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (ต่อ)

D_ratio=0.60000 Di=0.05000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

D_ratio=0.60 Di=0.05 Do=0.08333 Vu1=6.41849 n=0.95161 P=1759.08209

D_ratio=0.60000 Di=0.05500

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

the value of B1 is error.

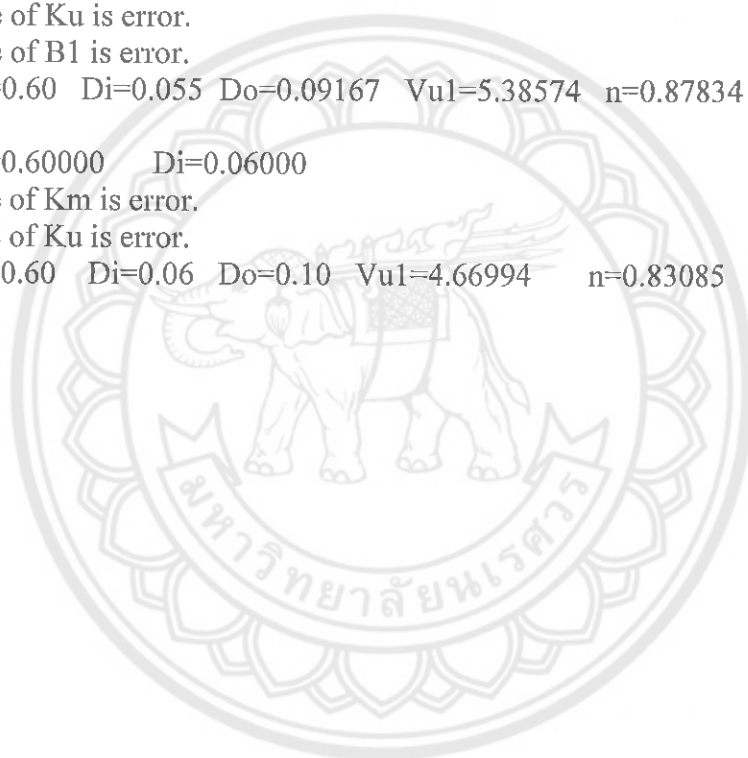
D_ratio=0.60 Di=0.055 Do=0.09167 Vu1=5.38574 n=0.87834 P=1623.64438

D_ratio=0.60000 Di=0.06000

the value of Km is error.

the value of Ku is error.

D_ratio=0.60 Di=0.06 Do=0.10 Vu1=4.66994 n=0.83085 P=1535.84012



แสดงโปรแกรมการคำนวณหาระยะ chord (l) และมุม B_{chord} ของใบกังหันน้ำ

```

H=3;
N=1000;
z=4;
Di=0.05;
Do=0.14286;
D_ratio=0.35;
A1=(15.6434*pi)/180;
A2=(4.444*pi)/180;
Q=0.063;
η=0.97929;
Cl=1.1988883

For n:1:20

    fprintf('    n=%5f',n);

    Dx=Di+(n*((Di/D_ratio)-Di)/20);
    t=(pi*Dx)/z;
    U=(pi*Dx*N)/60;
    Vf=(4*Q)/(pi*(Do^2)*(1-(D_ratio^2)));
    B2=atan(Vf/U);
    Bchord=B2+A2;
    B1=pi-(Bchord+A1);
    Vr1=Vf/cos(B1-(pi/2));
    Vru2=Vr1*cos(B2)
    Vru1=Vr1*sin(B1-(pi/2))
    Vrm=(Vr1+Vr2)/2
    Bm=(B1+B2)/2
    E=(1-n)*sin(Bm)
    l=(2*Vf*t*(Vru2-Vru1))/(Cl*(Vrm^2)*(sin(Bm+E)-(tan(E)*cos(Bm+E))));

    fprintf('    l=%5f',l);
    fprintf('    B1=%5f',B1);
    fprintf('    B2=%5f',B2);
    fprintf('    Bchord =%5f', Bchord);
    fprintf('    n=%5f',n);

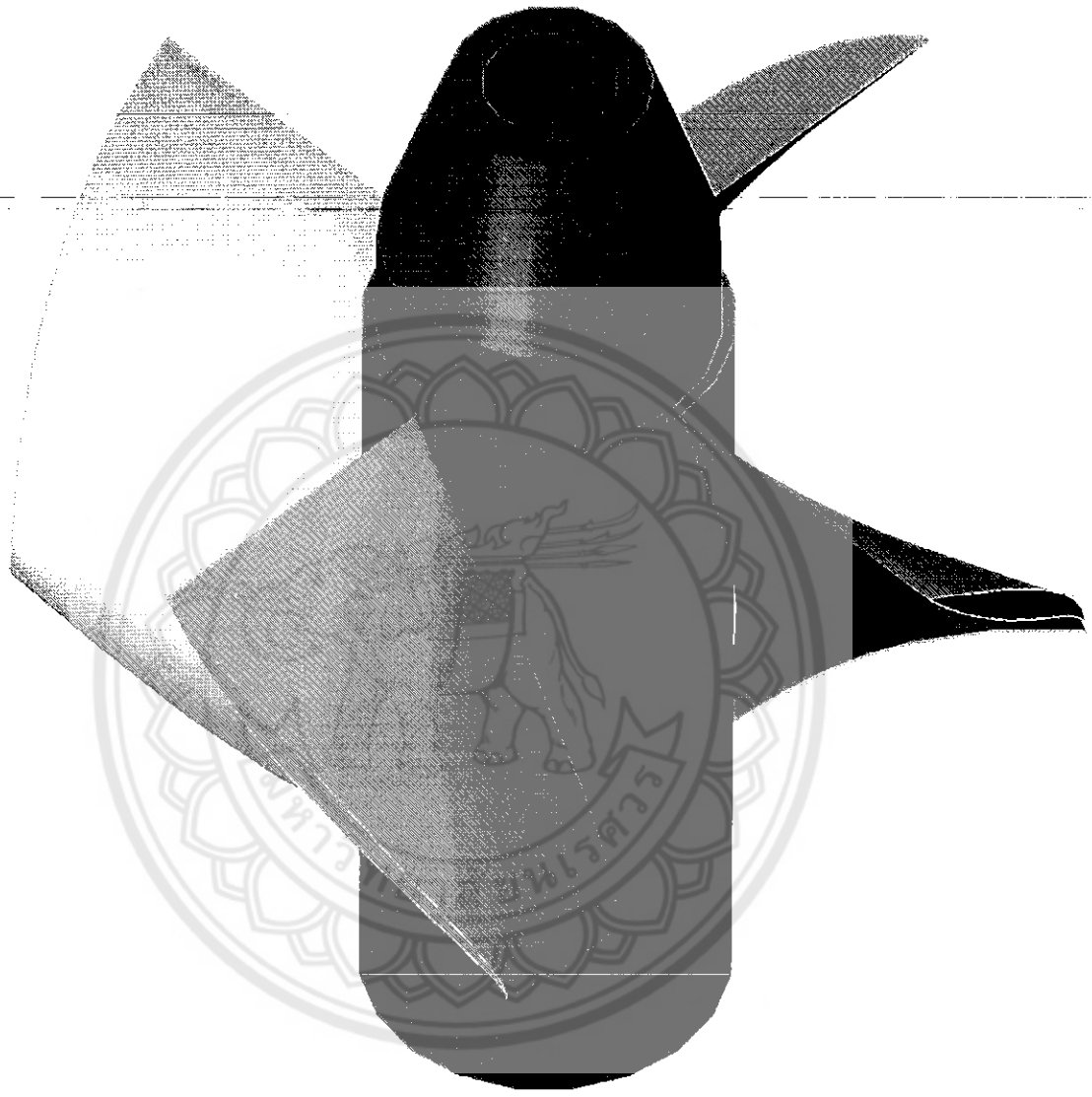
end

```

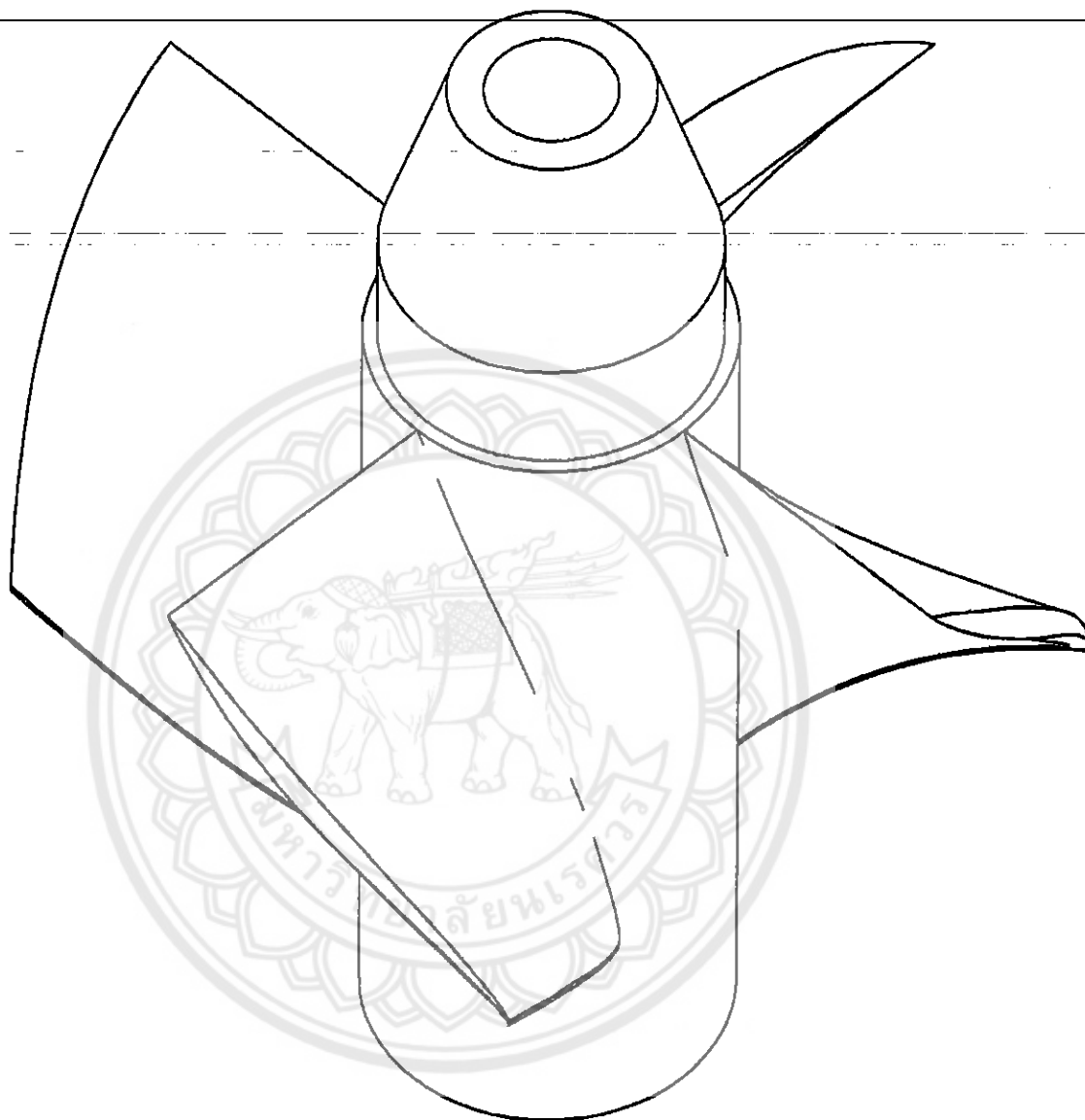
แสดงผลการคำนวณหาระยะ chord (l) และมุม B_{chord} ของใบกึ่งหันน้ำ

n=20	l ₂₀ =0.06255	B1 ₂₀ =128.99842	B2 ₂₀ =30.91418	Bchord ₂₀ =35.35818
n=19	l ₁₉ =0.06271	B1 ₁₉ =128.15811	B2 ₁₉ =31.75449	Bchord ₁₉ =36.19849
n=18	l ₁₈ =0.06286	B1 ₁₈ =127.27544	B2 ₁₈ =32.63716	Bchord ₁₈ =37.08116
n=17	l ₁₇ =0.06302	B1 ₁₇ =126.34816	B2 ₁₇ =33.56444	Bchord ₁₇ =38.00844
n=16	l ₁₆ =0.06316	B1 ₁₆ =125.37333	B2 ₁₆ =34.53927	Bchord ₁₆ =38.98327
n=15	l ₁₅ =0.06331	B1 ₁₅ =124.34781	B2 ₁₅ =35.56479	Bchord ₁₅ =40.00879
n=14	l ₁₄ =0.06345	B1 ₁₄ =123.26824	B2 ₁₄ =36.64436	Bchord ₁₄ =41.08836
n=13	l ₁₃ =0.06359	B1 ₁₃ =122.13107	B2 ₁₃ =37.78153	Bchord ₁₃ =42.22553
n=12	l ₁₂ =0.06373	B1 ₁₂ =120.93253	B2 ₁₂ =38.98007	Bchord ₁₂ =43.42407
n=11	l ₁₁ =0.06386	B1 ₁₁ =119.66866	B2 ₁₁ =40.24394	Bchord ₁₁ =44.68794
n=10	l ₁₀ =0.06399	B1 ₁₀ =118.33488	B2 ₁₀ =41.57772	Bchord ₁₀ =46.02172
n=9	l ₉ =0.06411	B1 ₉ =116.92813	B2 ₉ =42.98447	Bchord ₉ =47.42847
n=8	l ₈ =0.06423	B1 ₈ =115.44269	B2 ₈ =44.46991	Bchord ₈ =48.91391
n=7	l ₇ =0.06435	B1 ₇ =113.87443	B2 ₇ =46.03817	Bchord ₇ =50.48217
n=6	l ₆ =0.06446	B1 ₆ =112.21879	B2 ₆ =47.69381	Bchord ₆ =52.13781
n=5	l ₅ =0.06456	B1 ₅ =110.47126	B2 ₅ =49.44134	Bchord ₅ =53.88534
n=4	l ₄ =0.06466	B1 ₄ =108.62750	B2 ₄ =51.28510	Bchord ₄ =55.72910
n=3	l ₃ =0.06475	B1 ₃ =106.68348	B2 ₃ =53.22912	Bchord ₃ =57.67312
n=2	l ₂ =0.06484	B1 ₂ =104.63567	B2 ₂ =55.27693	Bchord ₂ =59.72093
n=1	l ₁ =0.06492	B1 ₁ =102.48116	B2 ₁ =57.43144	Bchord ₁ =61.87544
n=0	l ₀ =0.06499	B1 ₀ =100.21799	B2 ₀ =59.69461	Bchord ₀ =64.13861





FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY	SOLID ISOMATIC VIEW	SCALE 1:1 DATE : 13/10/06	PROJECT DRAWING PLATE : 1
---	------------------------	------------------------------	------------------------------



FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

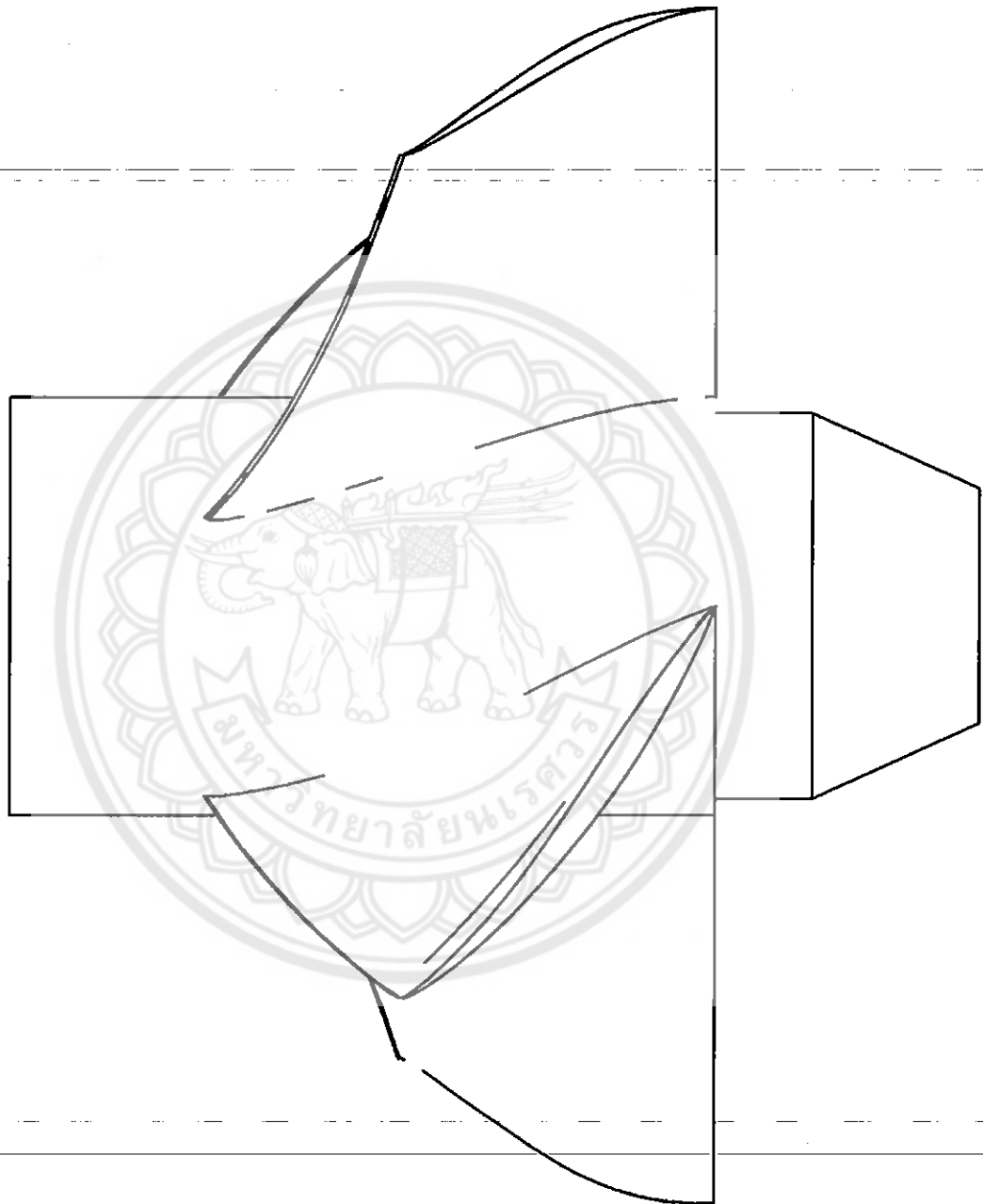
ISOMATIC VIEW

SCALE 1:1

DATE : 13/10/06

PROJECT DRAWING

PLATE : 2



FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

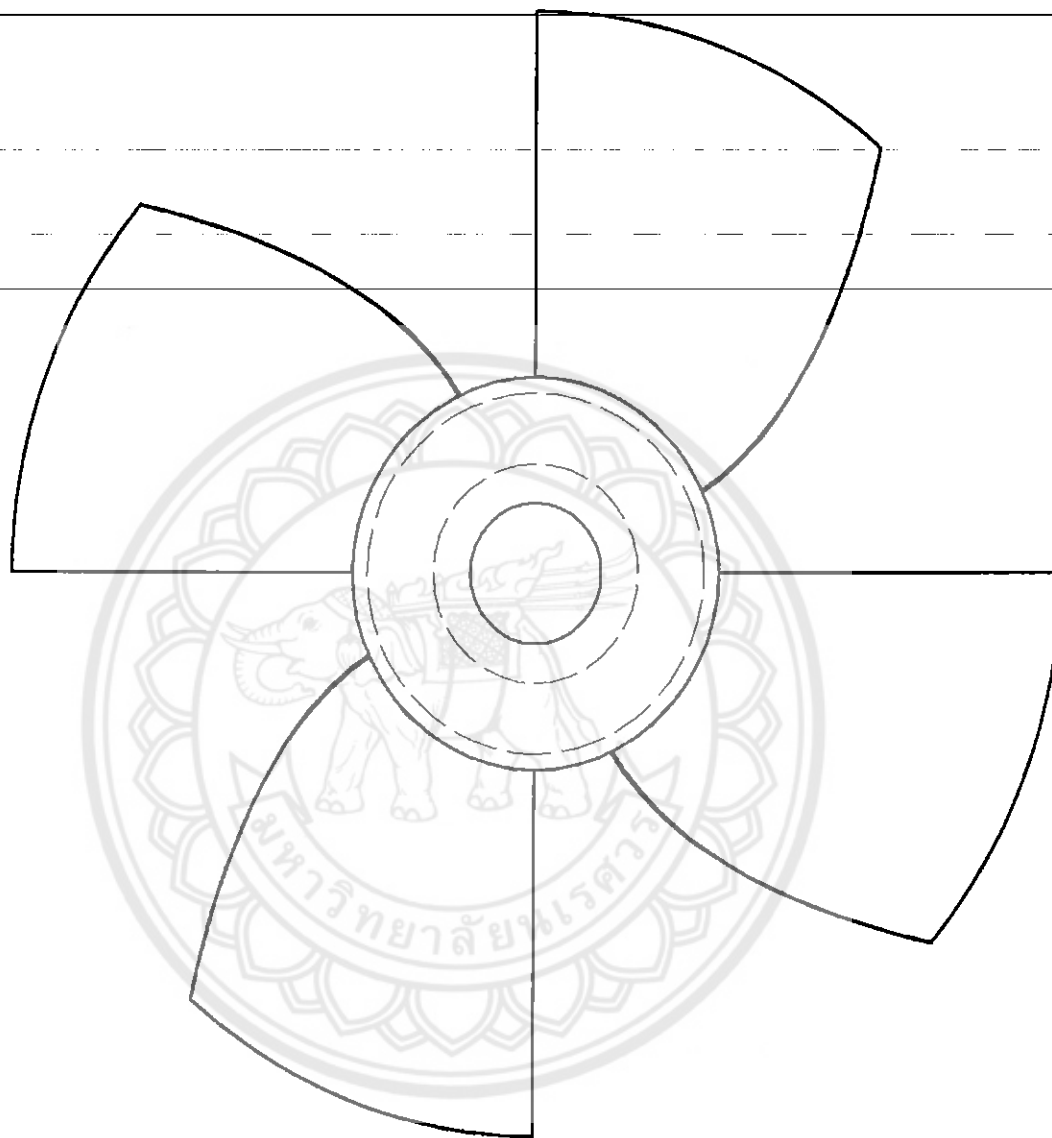
RIGHT SIDE VIEW

SCALE 1:1

PROJECT DRAWING

DATE : 13/10/06

PLATE : 3



FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

TOP VIEW

SCALE 1:1

PROJECT DRAWING

DATE : 13/10/06

PLATE : 4

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ นายวรเชษฐ์ มงคลเสถียร
 ภูมิลำเนา จังหวัดอุตรดิตถ์
 วันเดือนปีเกิด วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2527
 ประวัติการศึกษา
 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านซำบ่อ จังหวัดอุตรดิตถ์
 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอุตรดิตถ์วิทยา จังหวัดอุตรดิตถ์
 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ที่อยู่ 59 หมู่ 11 ต.ผาเลือด อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ 53190

ชื่อ นายสมยศ บุญอาจ
 ภูมิลำเนา จังหวัดกำแพงเพชร
 วันเดือนปีเกิด วันที่ 25 พฤษภาคม 2528
 ประวัติการศึกษา
 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร
 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม จังหวัดกำแพงเพชร
 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ที่อยู่ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร 62160

ชื่อ นายสุวิชา ปั่นทอง
 ภูมิลำเนา จังหวัดพิษณุโลก
 วันเดือนปีเกิด วันที่ 23 มกราคม 2528
 ประวัติการศึกษา
 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ่อวิหยบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก
 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก
 ปัจจุบันศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 ที่อยู่ 111/43 หมู่ 7 ต.บางระกำ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก 65140