

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การศึกษาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก
ของกังหันน้ำตามแนวแกน**

SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE



**พัฒพงษ์ ภูริวุฒิ
วุฒิชัย พูลผล**

สทว.
พ59717
9550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**81780**
วัน,เดือน,ปี.1.4...ค.ศ.2551

b.....
11932218
i.....

**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบทที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก
ของกังหันน้ำตามแนวแกน
SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกของ
กังหันน้ำตามแนวแกน

SINGLE STAGE AXIAL FLOW TURBINE

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------|----------|----------|
| 1. นายพัฒนพงษ์ | ภูริวุฒิ | 48015385 |
| 2. นายวุฒิชัย | พุดผด | 48015437 |



(Signature)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มณฑล ใจกุลต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การศึกษาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก
ของกังหันน้ำตามแนวแกน**

นายพัฒนพงษ์ ภูริวุฒ	48015385
นายวุฒิชัย พูลผล	48015437
ผศ. มณฑล ใจกุศล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบขึ้นเดียวโดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกของกันหันน้ำจำนวน 3 ชุด จำนวนใบพัดของกังหันน้ำและมุมปีกของกังหันน้ำ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก มุมใบพัด มุมใบบังคับทิศทาง จำนวนใบพัด และอัตราการไหลส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของชุดกังหันน้ำตามแกนหากมีการเพิ่มพื้นที่ของใบพัดให้มากขึ้นจะทำประสิทธิภาพจะสูงขึ้น และเมื่อมีการปรับมุมใบบังคับทิศทางให้กระแสน้ำที่เข้ามาถูกเปลี่ยนไปมาก ควรปรับมุมใบพัดให้ทำมุมกับแนวการไหล

Single stage axial flow turbine

Patanapong Phootiwut

Wuttichai Pulpol

Monton Jhaikuson Advisor

Abstract

This research is purpose to study the effect that have to efficiency of the single-stage axle follows Turbine by have ratio change of a diameter within and the outside of turn 3 amount group waters propeller amount of the water turbine and propeller angel of the water turbine from the experiment meets when do ratio change of a diameter within and the outside and flow rate of fluid and fining angel a propeller and fining angel enforce the direction will affect to arrive at work efficiency of water turbine group follow the axle if there is rate flow expansion tally go up the efficiency will tall go up also with and when there is fining angel enforce the direction gives the tide that came in to changed to very should fine propeller angel do the angel and flow line

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษาผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และภายนอกของกังหันน้ำ ไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจาก หลายนุ่ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ. มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และ รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว ที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ด้วยดี ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือมาโดยตลอด ซึ่งต้องขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เมธี ลิมกุล, คุณธวัชชัย ศรีกาหลง คณาจารย์ และบุคลากรของ ภาควิชาเครื่องกล รวมทั้ง ที่คอยให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ดี-ชม ความช่วยเหลือ และกำลังใจให้ผู้จัดทำมาโดยตลอดและท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้ ขอพระคุณมา ณ ที่นี้

นายพัฒนพงษ์ ภูริวุฒิ

นายวุฒิชัย พูลผล

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 เครื่องจักรกลของไหล.....	3
2.1.1 เครื่องสูบ.....	4
2.1.2 เครื่องกังหัน.....	5
2.2 เครื่องกังหันน้ำ.....	9
2.2.1 เครื่องกังหันเพลตัน.....	9
2.2.2 เครื่องกังหันฟรานซิส.....	10
2.2.3 เครื่องกังหันแคปตัน.....	10
2.3 คำจำกัดความที่สำคัญ.....	14
2.4 หลักการทำงานและการคำนวณภาระเบื้องต้นของเครื่องกังหันน้ำ.....	15
2.5 การไหลในท่อ.....	17
2.5.1 เลขเรย์โนลด์ส์.....	18
2.5.2 เลขออยเลอร์.....	19
2.5.3 ความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันน้ำ.....	19
2.5.4 ระยะปากทางเข้า.....	21
2.5.5 สมการแบร์นูลลี.....	21
2.6 Lift and Drag.....	23
2.7 ทฤษฎีแพนอากาศ.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 ชนิดของแพนอากาศ.....	28
2.7.2 แพนอากาศนากา.....	29
2.8 กฎความคล้าย.....	32
2.9 การวิเคราะห์เวกเตอร์ความเร็ว.....	33
2.10 โมเมนตัมและแรงกระทำต่อใบพัดเนื่องจากการคล.....	36
2.11 ทฤษฎีการหาประสิทธิภาพของกังหัน.....	40
2.11.1 สมการกังหันของออยเลอร์.....	40
2.11.2 สมการการหาประสิทธิภาพ.....	41
2.12 ปฏิกิริยาการนำตัวเดชัน.....	42
2.13 บีโตน ทิว.....	44
2.14 Rope Brake.....	45
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดลอง.....	46
3.1 การเลือกคุณสมบัติของปั้มน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.1.1 การหาอัตราการไหลของระบบ.....	46
3.1.2 การหาเสดปั้มน้ำ.....	48
3.2 การออกแบบใบพัด.....	51
3.3 การออกแบบใบบังคับทิศทาง.....	52
บทที่ 4 การทดลอง.....	55
4.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	55
4.2 วิธีการทดลอง.....	58
บทที่ 5 ผลการทดลอง	60
5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (แกนY) กับมุมใบพัด (แกนX) เมื่อ มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่มุมต่างๆ	60
5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับจำนวนใบพัดที่มุมใบพัด ต่างๆ เมื่ออัตราการไหลคงที่.....	82
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในและภายนอก (d/D) ที่มุมใบพัดต่างๆ เมื่ออัตราการไหลคงที่.....	104
บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	125
บรรณานุกรม.....	126
ภาคผนวก ก.....	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 แสดงค่าความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันแต่ละชนิด.....	20
2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติแพนอากาศนากา.....	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 แสดงหลักการทำงานของเครื่องจักรกลของไหล.....	3
2.2 แสดงชนิดของเครื่องสูบ.....	4
2.3 แสดงเครื่องสูบ.....	5
2.4 แสดงประเภทของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส.....	5
2.5 แสดงกระบวนการทำงานของ โรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ.....	6
2.6 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำชนิดเพลตัน (Pelton turbine).....	7
2.7 ภาพตัดขวางของลูกถ้วยรูป.....	7
2.8 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิบัติการ.....	8
2.9 แสดงลักษณะกังหันน้ำแบบเพลตัน.....	9
2.10 แสดงลักษณะเครื่องกังหันน้ำแบบฟรานซิส.....	10
2.11 แสดงลักษณะเครื่องกังหันน้ำแบบแคปตัน.....	10
2.12 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปตัน.....	11
2.13 ลักษณะของมุมใบพัดเมื่อทำงานเต็มที่และทำงานเพียงบางส่วน.....	13
2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทำงานกับประสิทธิภาพของ เครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิบัติการ.....	13
2.15 ลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันน้ำ.....	15
2.16 แสดงบริเวณทางเข้าและบริเวณการไหลเต็มท่อสำหรับการไหลภายในท่อ.....	18
2.17 การวิเคราะห์พลังงานจากปริมาตรควบคุมย่อยชานกับเส้นกระแส.....	22
2.18 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุผิวโค้ง.....	29
2.19 แสดง แรงเฉือนและแรงดันบนพื้นที่ย่อย dA	24
2.20 แสดงถึงส่วนประกอบของแผนอากาศ.....	25
2.21 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงของรูปแผนอากาศ NACA 4415 ที่ แปรตามมุมปะทะ ที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์์ต่างๆกัน.....	27
2.22 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงของแผนอากาศที่แสดงอยู่บนกราฟเดียวกัน.....	27
2.23 แผนภาพความเร็วที่ทางเข้าและทางออก.....	33
2.24 ลักษณะการไหลเข้าและไหลออกจากเครื่องกังหันน้ำ.....	35
2.25 แผนภาพความเร็วของลำของไหลที่พุ่งกระทบใบพัดที่กำลังเคลื่อนที่.....	37
2.26 แสดงถึงปรากฏการณ์ควาเวคันที่เกิดขึ้นบนแผนอากาศที่เห็นเป็นฟองไอ.....	43
2.30 การใช้งานปีโตต ทิว.....	45
3.1 แสดงลักษณะใบพัดสองและสามมิติที่ได้จากการคำนวณ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.2 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบใบพัดบังคับทิศทาง	52
3.3 แสดงใบพัดบังคับทิศทางเมื่อวาดตามความยาวเส้นคอร์ด	54
3.4 แสดงใบพัดบังคับทิศทางที่สร้างตามการคำนวณ	54
4.1 แสดงชุดทดลองหลัก.....	55
4.2 แสดงอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ.....	56
4.3 แสดงชุดบังคับทิศทางและอุปกรณ์ปรับมุม.....	56
4.4 แสดงใบพัด คูม ใบพัด ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm.....	57
4.5 แสดงใบพัด คูม ใบพัด ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm.....	57
4.6 แสดงใบพัด คูม ใบพัด ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm.....	57
4.7 แสดงการประกอบชุดใบพัด.....	58
4.8 แสดงการใช้อุปกรณ์ปรับมุมปรับมุมใบพัด.....	58
4.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุม.....	59
4.10 แสดงการปรับมุมชุดบังคับทิศทาง.....	59
4.11 แสดงการติดตั้งชุดใบพัด	59
4.12 แสดงการติดตั้งชุดบังคับทิศทาง.....	59
4.13 แสดงการชุดกังหันน้ำแบบขั้นเดียวที่ติดตั้งสมบูรณ์.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในสภาพการณ์ปัจจุบันได้มีการใช้พลังงานกันอย่างมหาศาล โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าสามารถสร้างได้จากหลายๆวิธี โดยการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งการแปลงพลังงานของของไหล (Fluid energy) ให้เป็นพลังงานเชิงกล (Mechanical energy) นั้น จำเป็นต้องใช้ระบบกังหัน (Turbine) ในการแปลงพลังงานนี้ แล้วจึงนำพลังงานเชิงกลที่ได้เปลี่ยนมาเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษา และวิจัยถึงประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น เพื่อหารูปแบบกังหันที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

กังหันน้ำแบบหลายชั้นเป็นกังหันน้ำที่มีใบพัดส่วนหมุน (Runner) มากกว่าหนึ่งชุดขึ้นไป ทำให้มีกระบวนการเปลี่ยนพลังงานของของไหลเป็นพลังงานเชิงกลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ควบคู่กับของไหลที่มีอัตราการไหลสูงๆ

ประวัติความเป็นมาของ Kaplan turbine เกิดขึ้นจาก Viktor Kaplan (27 พฤศจิกายน 1876 - 23 สิงหาคม 1934) วิศวกรชาวออสเตรียเป็นผู้ประดิษฐ์กังหันน้ำตามแนวแกน (Kaplan turbine) ในปี 1912 Kaplan turbine เกิดจากการพัฒนา Francis turbine เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เมื่อทำงานที่ต่ำความดัน (head) ต่ำๆซึ่งใน Francis turbine ไม่สามารถทำได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น (Multi Stage Turbine)
2. สร้างใบพัดตัววิ่ง (Runner) และใบพัดชักนำ (Guide Vane)
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพกังหันน้ำที่สภาวะต่างๆ
4. ทดสอบ และเก็บข้อมูลสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดใบพัดตามแนวแกนแบบหลายชั้น (Multi Stage turbine) แบบติดตั้งชุดใบพัดชักนำ (Guide Vane) เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการไหล
2. ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดใบพัดตามแนวแกนแบบหลายชั้น (Multi Stage turbine) แบบติดตั้งชุดใบพัดชักนำ (Guide Vane) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมใบพัดชักนำ (Guide Vane)
3. ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดใบพัดตามแนวแกนแบบหลายชั้น (Multi Stage turbine) แบบติดตั้งชุดใบพัดชักนำ (Guide Vane) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมใบพัดตัววิ่ง (Runner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะการทำงานของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น
2. ออกแบบชุดทดลองให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานของกังหันน้ำ
3. ศึกษา และออกแบบแผนอากาศที่เหมาะสม
4. เลือกวัสดุ และทำการสร้างใบพัดตัววิ่ง (Runner) และใบพัดชักนำ (Guide Vane)
5. ประกอบชุดทดสอบเข้าด้วยกัน
6. ทดสอบ และบันทึกผลการทดลอง
7. วิเคราะห์ และวิจารณ์ผลการทดลอง
8. ประเมิน และสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. นำชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น ไปเป็นส่วนหนึ่งในชุดทดลองในรายวิชา Mechanic Laboratory
2. เป็นการเสริมสร้างความเข้าใจในรายวิชา Fluid Mechanics แก่นักศึกษาที่ได้ทำการทดลอง
3. นำความรู้ความเข้าใจในหลักการการทำงานของใบพัดตัววิ่ง (Runner) และใบพัดชักนำ (Guide Vane) ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์กังหันก๊าซ (Gas Turbine Engine) ได้ต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 เครื่องจักรกลของไหล

เครื่องจักรกลของไหล (Turbo Machinery) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลเป็นพลังงานเชิงกล

เครื่องจักรกลของไหลสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ เครื่องจักรที่ใช้ในการดึงกำลังจากของไหล (เช่น เครื่องกังหันน้ำ, เครื่องกังหันแก๊ส) และเครื่องจักรที่ใช้ในการเพิ่มกำลังให้แก่ของไหล (เช่น เครื่องสูบน้ำ, เครื่องอัดอากาศ) ดังนี้

เครื่องกังหัน (Turbine) เป็นเครื่องจักรที่สามารถผลิตกำลังได้จากการดึงกำลังของการไหลของของไหลทั้งที่เป็นของเหลว เช่น เครื่องกังหันน้ำ (hydraulic turbine) และแก๊ส เช่น เครื่องกังหันแก๊ส (gas turbine)

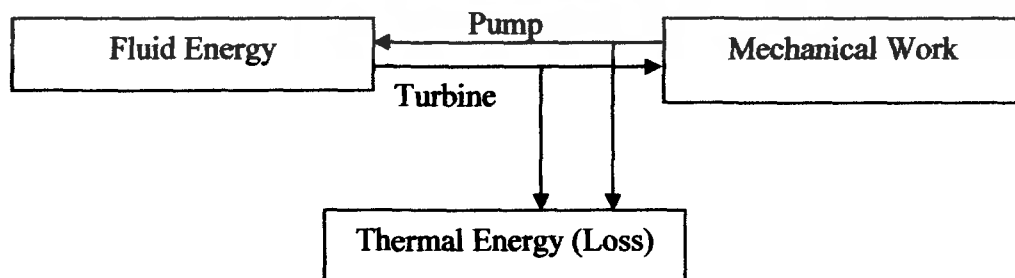
เครื่องสูบน้ำ (Pump) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเพิ่มกำลังให้แก่ของเหลว

เครื่องอัดอากาศ (Compressor) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเพิ่มกำลังให้แก่ของไหล เช่น อากาศ โดยเครื่องอัดอากาศสามารถเพิ่มความดันให้แก่อากาศได้สูงกว่า 35 psi หรือ 241 kPa

เครื่องเป่าอากาศ (Blower) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเพิ่มกำลังให้แก่ของไหล เช่น อากาศ โดยเครื่องเป่าอากาศจะสามารถเพิ่มความดันให้แก่อากาศได้ระหว่าง 2 psi – 35 psi หรือ 13.7 kPa – 241 kPa

พัดลม (Fan) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเพิ่มกำลังให้แก่ของไหล เช่น อากาศ โดยพัดลมจะผลิตความดันได้ต่ำกว่า 2 psi หรือ 13.7 kPa

หรือหากจะแบ่งชนิดของเครื่องจักรกลของไหลตามลักษณะการไหลของของไหลเข้าสู่เครื่องจักรกลจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ของไหลไหลผ่านตามแนวแกนของใบพัด (axial flow) และชนิดที่ของไหลไหลผ่านตามแนวรัศมีของใบพัด (radial flow)

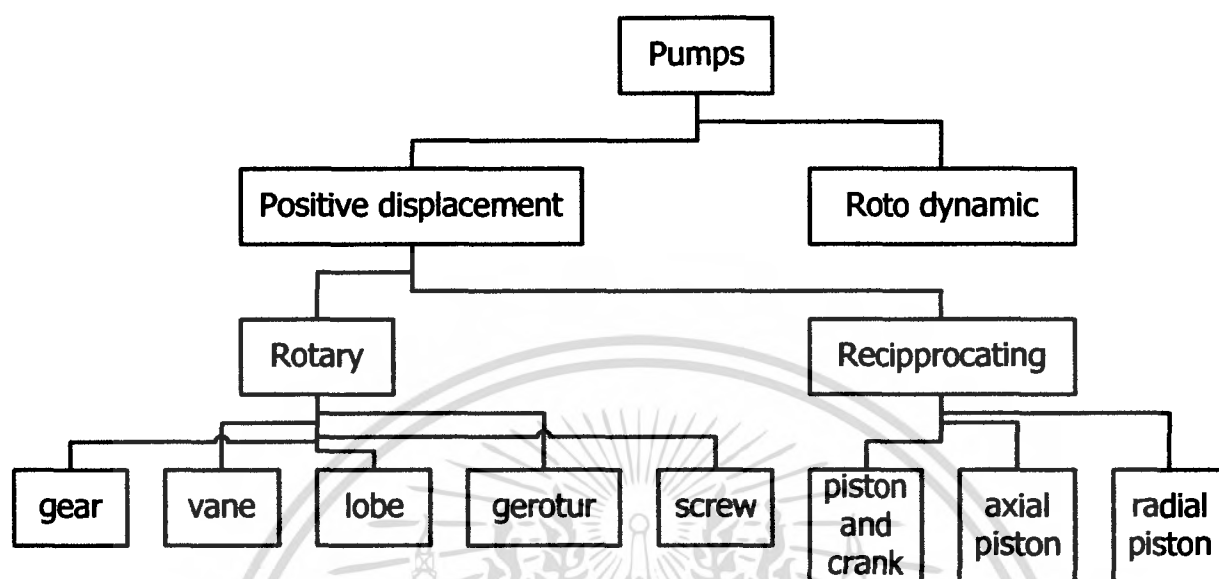


รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของเครื่องจักรกลของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 เครื่องสูบ

เครื่องสูบ (Pump) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของเครื่องสูบ

2.1.1.1 โพลีทีพ ดิสเพลสเมนต์ ปั๊ม

โพลีทีพ ดิสเพลสเมนต์ ปั๊ม (Positive displacement pump) ทำงานโดยอาศัยหลักการสอดปริมาตรของเหลวเข้าไปทางท่อดูดแล้วส่งถ่ายผ่านเครื่องสูบไปยังท่อส่งซึ่งของเหลวจะพุ่งออกไปที่ความดันสูงในปริมาณที่แน่นอน โดยจะพุ่งออกมาที่ท่อส่งทุกๆรอบของการหมุนของเพลลาเครื่องสูบ โดยไม่คำนึงถึงความดันออก ในทางปฏิบัติจะมีการสูญเสีย ที่เกิดจากการไหลย้อนกลับ (รั่ว) ซึ่งจะมีมากเมื่อแรงดันทางท่อส่งเพิ่มขึ้น

2.1.1.2 โรโต ไดนามิก ปั๊ม

โรโตไดนามิก ปั๊ม (Roto dynamic pump) เป็นเครื่องสูบที่ให้การไหลแบบต่อเนื่องได้รับการออกแบบให้เปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานของไหล โดยอาศัยใบจักรซึ่งหมุนด้วยความเร็วคงที่อัดให้ของไหลมีพลังงานมากขึ้น แล้วไหลผ่านช่องของใบจักรออกทางท่อส่ง ไปสู่ที่สูง หรืออัดเข้าถังความดัน



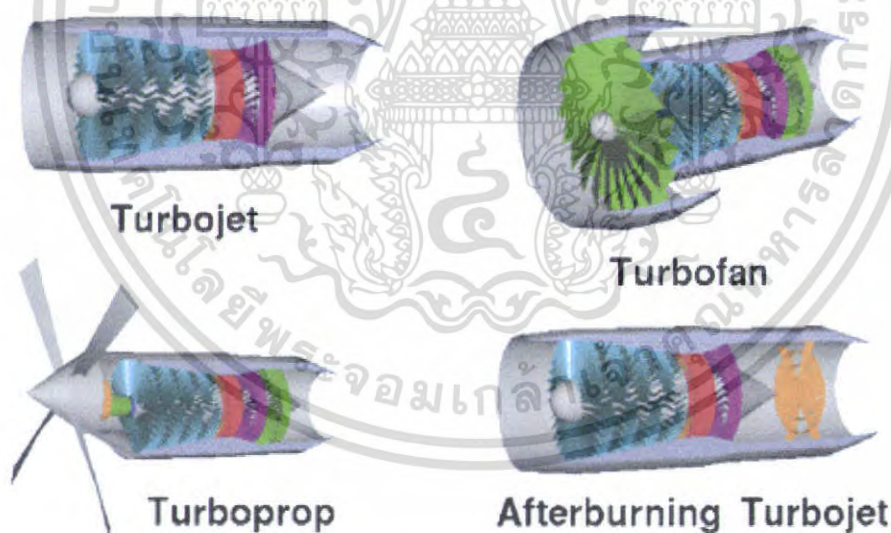
รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องสูบ

2.1.2 เครื่องกังหัน

เครื่องกังหัน(Turbine) แบ่งตามชนิดของต้นกำลังได้ 3 ชนิดดังนี้

2.1.2.1 เครื่องกังหันแก๊ส

เครื่องกังหันแก๊ส(Gas turbine) หรือ เครื่องยนต์แก๊ส (Jet Engine) คือ เป็นการเรียกชื่อโดยรวมทั่วไปของเครื่องยนต์ ซึ่งมีหลักการทำงานพื้นฐานเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ประโยชน์การนำไปใช้ที่เหมาะสมต่างกัน โดยเครื่องยนต์เจ็ท แบ่งประเภทได้ดังนี้คือ เทอร์โบเจ็ท (Turbojet), เทอร์โบแฟน (Turbofan), เทอร์โบพรอพ (Turboprop) และเทอร์โบชาฟท์ (Turbo shaft)



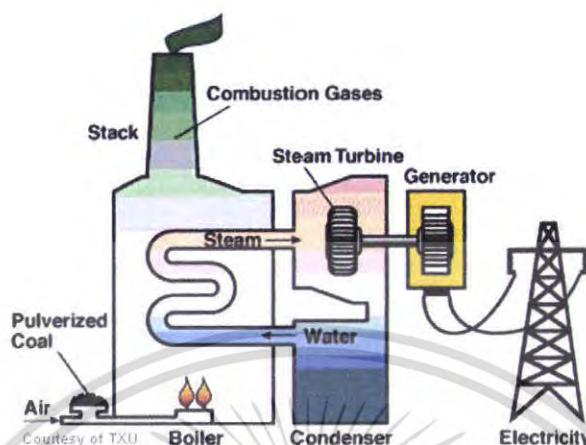
รูปที่ 2.4 แสดงประเภทของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

2.1.2.2 เครื่องกังหันไอน้ำ

เครื่องกังหันไอน้ำ (Steam turbine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีต้นกำลังในการขับเคลื่อนกังหันโดยใช้ไอน้ำที่ได้จากการผ่านBoilerหม้อต้มแล้วจึงส่งเข้าสู่ระบบกังหัน โดยมีเพลาาร่วมต่อกับไดนาโม (Generator) ไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ผ่านชุดกังหันจะวนเข้ามาผ่านเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อกลั่นไอน้ำให้เป็นน้ำในสถานะของเหลวแล้วส่งเข้าสู่ระบบอีกต่อไป



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ

2.1.2.3 เครื่องกังหันน้ำ

เครื่องกังหันน้ำ (Hydro turbine) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของพลังงานซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานอยู่ในรูปการไหลของน้ำไปเป็นพลังงานกล คือแบ่งออกได้เป็น เครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิกิริยา (reaction turbine) และ เครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคด (impulse turbine) โดยทั้ง 2 ชนิดนี้น้ำจะไหลผ่านใบพัดในแนวสัมผัส การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของน้ำในแนวสัมผัสกับใบพัดจะทำให้เกิดแรงกระทำในแนวสัมผัสกับใบพัด ส่งผลให้เกิดแรงบิดกระทำต่อใบพัด เมื่อใบพัดหมุนก็จะได้ออกกำลังจากเครื่องกังหันน้ำ

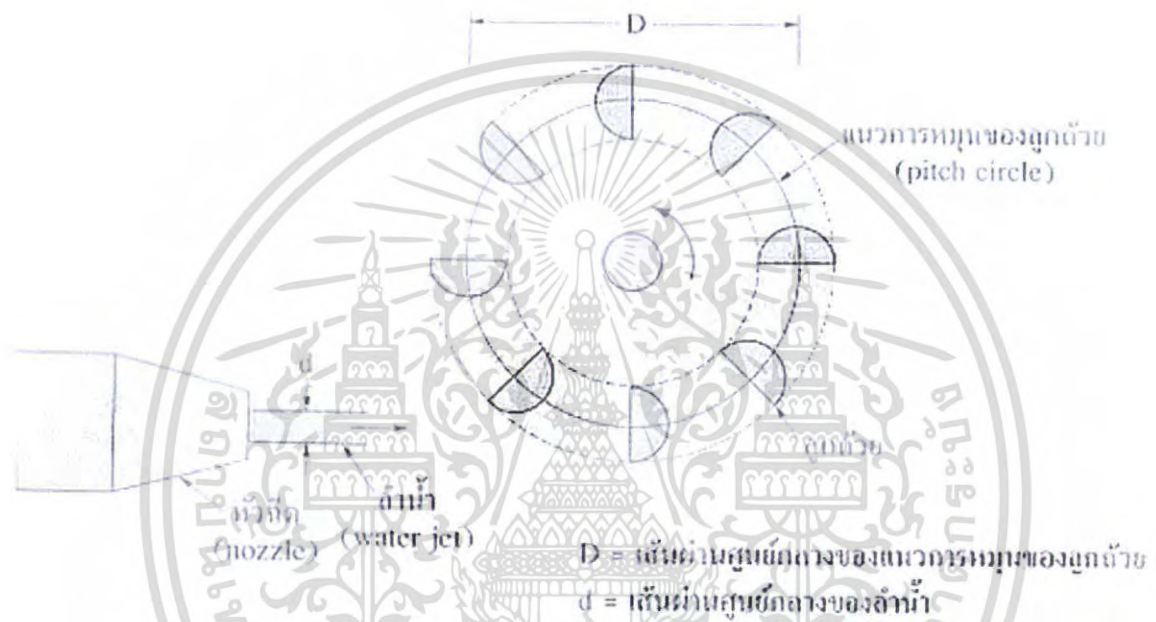
สำหรับเครื่องกังหันชนิดรีแอกชันนั้นความดันสถิต (static pressure) ของน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อไหลผ่านใบพัด แต่ในกรณีของเครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคดจะไม่เปลี่ยนแปลงความดันสถิตในระหว่างที่น้ำไหลเข้าปะทะกับใบพัด

เครื่องกังหันน้ำทำหน้าที่แปลงพลังงานศักย์ของน้ำให้เป็นงานเชิงกลแบ่งตามแรงกระทำได้ 2 ประเภท ดังนี้

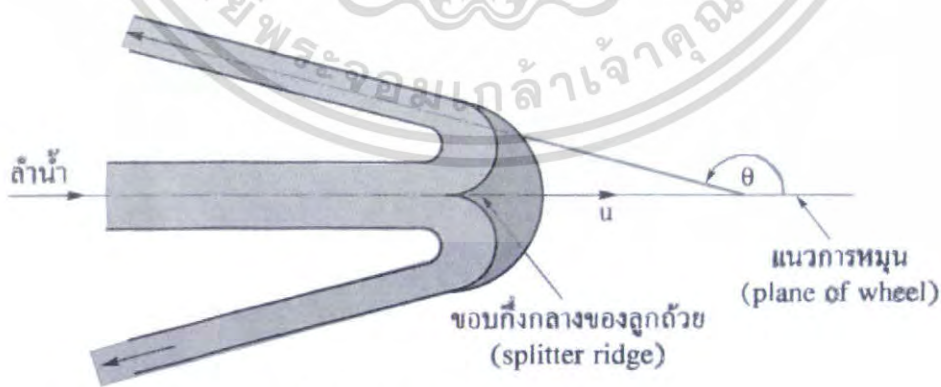
1. เครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคดจะเปลี่ยนรูปพลังงานจากการไหลทั้งหมดเป็นพลังงานจลน์ของลำน้ำ ก่อนที่จะพุ่งเข้าปะทะกับลูกถ้วย (bucket) การเปลี่ยนรูปของพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์เกิดขึ้นได้ด้วยการให้น้ำไหลผ่านหัวฉีด โดยความดันที่กระทำต่อลำน้ำทั้งก่อนและหลังจากกระทบกับลูกถ้วยแล้วมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกเครื่องกังหันชนิดนี้ว่า เครื่องกังหันน้ำชนิดความดันคงตัว ความดันที่กระทำต่อลำน้ำที่ทางเข้าและทางออกของลูกถ้วยจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ นั่นคือ $P_1 = P_2 = P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$ เครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคดจะใช้งานได้ดีภายใต้สภาวะการทำงานที่เสถียรและอัตราการไหลต่ำ โดยเสถียรของแหล่งน้ำควรมีค่าระหว่าง 600-2000 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.6 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน ส่วนรูป 2.7 แสดงภาพตัดขวางของลูกถ้วยที่ยึดติดอยู่กับเพลซึ่งหมุนรอบแกน โดยเครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคณนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน เนื่องจากในปี ค.ศ. 1880 วิศวกรชาวอเมริกันชื่อ เลสเตอร์ เอ. เพลตัน (Lester A. Pelton) ได้พัฒนาเครื่องกังหันน้ำชนิดแรงคณซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายให้สามารถทำงานภายใต้เสดสูง ๆ ได้ ซึ่งลูกถ้วยครึ่งทรงกลม (ดังรูป 2.7) ควรมีจำนวนอยู่ระหว่าง 18-22 ลูกถ้วย แต่ไม่ควรต่ำกว่า 15 ลูกถ้วย



รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของกังหันน้ำชนิดเพลตัน (Pelton turbine)



รูปที่ 2.7 ภาพตัดขวางของลูกถ้วยรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

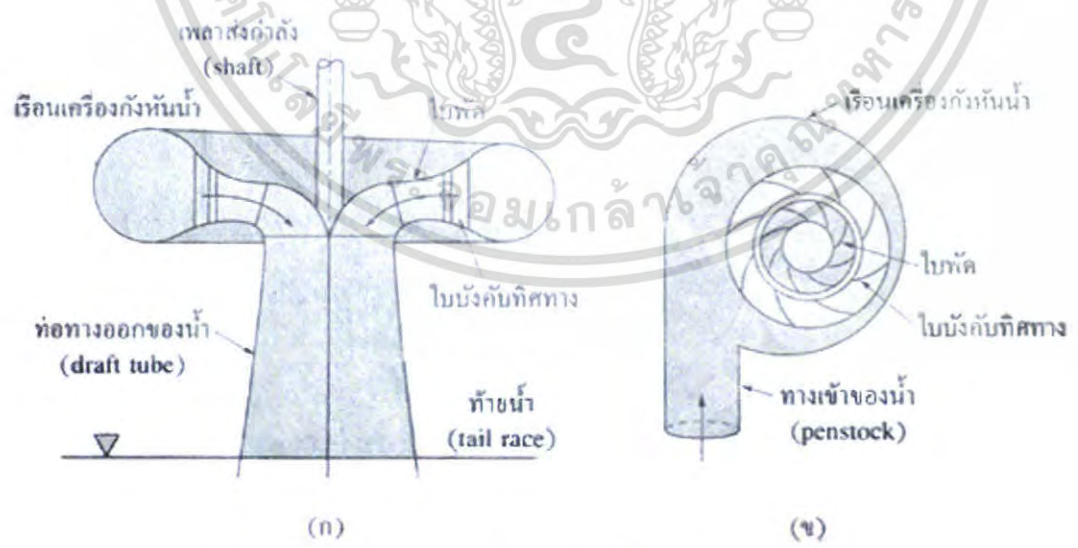
จากรูป 2.6 น้ำจะพุ่งออกจากหัวฉีดเข้าปะทะกับลูกถ้วยในแนวกึ่งกลางของแนวการหมุนของลูกถ้วย โดยหัวฉีดจะเป็นส่วนที่ยึดติดอยู่กับทางเข้าของน้ำซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลให้เหมาะสมกับการผลิตกำลังได้ และจากรูป 2.7 ซึ่งแสดงภาพตัดขวางของลูกถ้วย พบว่าลูกถ้วยจะมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม 2 ชั้นเพื่อลำน้ำหลังจากพุ่งเข้าปะทะแล้วสามารถที่จะไหลย้อนกลับในทิศทางเดิมได้ ทำให้แรงปะทะมีค่าเพิ่มขึ้น

ลูกถ้วยที่ใช้ในเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้จะทำจากเหล็กพิกัดสำหรับการทำงานภายใต้แรงที่ไม่สูงมาก และทำจากเหล็กหรือสัมฤทธิ์สำหรับการทำงานภายใต้แรงสูง ๆ โดยพื้นผิวของลูกถ้วยจะต้องมีความเรียบลื่น

2. เครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิบัติการไหลในเครื่องกังหันน้ำชนิดรีแอกชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การไหลผ่านตามแนวแกน (axial flow) น้ำที่ไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำมีทิศทางการไหลที่ขนานกับแกนหมุนของเครื่องกังหันน้ำ
2. การไหลผ่านตามแนวรัศมี (radial flow) น้ำที่ไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำมีทิศทางการไหลที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของเครื่องกังหันน้ำ
3. การไหลแบบผสม (mixed flow) น้ำที่ไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำมีทิศทางการไหลที่ผสมกันระหว่างการไหลตั้งฉากและไหลขนานกับแกนหมุนของเครื่องกังหันน้ำ

โดยเครื่องกังหันน้ำชนิดรีแอกชันที่มีการใช้งานกันส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่ของไหลผ่านตามแนวแกนและไหลแบบผสม เครื่องกังหันน้ำชนิดรีแอกชันมีส่วนประกอบสำคัญดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เรือนเครื่องกังหันน้ำ เป็นช่องทางที่น้ำไหลผ่าน โดยจะมีพื้นที่หน้าตัดค่อยๆ เรียวเล็กลง ทำหน้าที่ให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ใบพัดมีความเร็วในแนวสัมผัสเท่ากันทุกจุด

2. ชุดใบบังคับทิศทาง (guide wheel) เมื่อน้ำไหลผ่านเรือนเครื่องสูบน้ำ ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ใบพัดจะถูกบังคับทิศทางการไหลด้วยใบบังคับทิศทางซึ่งสามารถปรับมุมได้ตามต้องการ โดยการปรับมุมของใบบังคับทิศทางทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับโมเมนตัมที่ทางเข้า ซึ่งจะส่งผลต่อกำลังที่ได้จากเครื่องกังหันน้ำ ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของชุดใบบังคับทิศทางคือสามารถเป็นแผ่นปิดไม่ให้ของไหลไหลเข้าสู่ชุดใบพัดของเครื่องกังหันน้ำได้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

3. ใบพัด เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องกังหันน้ำ โดยใบพัดจะประกอบด้วยชุดของใบพัดโค้ง เมื่อของไหลไหลผ่านชุดใบพัดจะทำให้เกิด โมเมนตัมเชิงมุมลดลงและจุดให้เกิดแรงบิดที่แกนหมุน

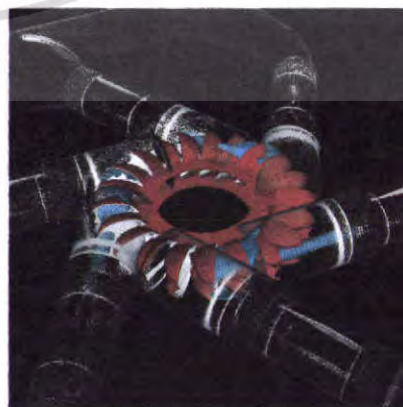
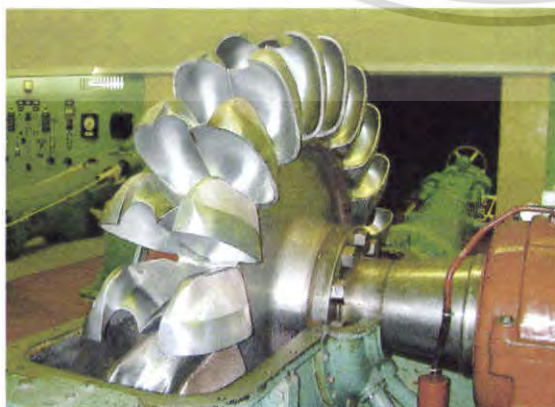
4. ท่อทางออกของน้ำ เป็นช่องทางปิดที่มีพื้นที่หน้าตัดค่อย ๆ ขยายออกเพื่อลดพลังงานจลน์ของน้ำที่ไหลออกจากเครื่องกังหันน้ำ เพราะเมื่อพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้นความเร็วของน้ำก็จะลดลง ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานจลน์มีค่าลดลงนั่นเอง โดยพลังงานจลน์ของของไหลที่ลดลงจะเปลี่ยนเป็นการเพิ่มของพลังงานในรูปความดันก่อนที่น้ำจะไหลออกสู่ท้ายน้ำ

เครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิกริยามักจะใช้งานกับ-headหรือความสูงของแหล่งน้ำที่มีค่าตั้งแต่ 3-600 m โดยในช่วงความสูง 40-80 m จะใช้เครื่องกังหันน้ำชนิดแคปตัน และช่วงความสูง 80-600 m จะใช้เครื่องกังหันน้ำ ฟรานซิส

2.2 เครื่องกังหันน้ำ

2.2.1 เครื่องกังหันเพลตัน

กังหันเพลตัน (Pelton wheel) เป็น กังหันน้ำแบบแรงดล ที่ปรกติใช้กับหัวน้ำสูงกว่า 150 ft. เป็นชนิดที่ใช้อัตราไหลของน้ำค่อนข้างต่ำ ปรับความเร็วน้ำโดยใช้หัวฉีด (nozzle) ด้วย (bucket) บนวงล้อจะมีกะบัง (splatter) ทำหน้าที่เบี่ยงเบนน้ำออกเป็นสองข้างเพื่อลดแรงดลในแนวแกน (axial thrust) ของวงล้อ กังหันเพลตันมีประสิทธิภาพในการแปลงรูปพลังงานได้สูง ในช่วงอัตราไหลของน้ำที่กว้าง



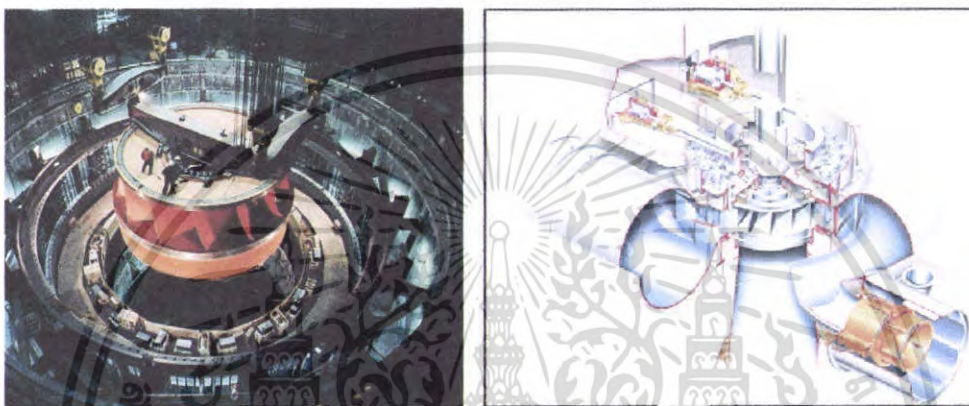
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะกังหันน้ำแบบเพลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

2.2.2 เครื่องกังหันฟรานซิส

เครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิส เป็นเครื่องกังหันน้ำชนิดปฏิกริยาที่คิดค้นขึ้น โดยวิศวกรชาวอเมริกัน ชื่อ เจมส์ บี. ฟรานซิส (James B. Francis, ค.ศ. 1815-1892) ในปี ค.ศ. 1849 โดยเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้ จะมีการไหลแบบผสม คือที่ทางเข้าจะเป็นการไหลในแนวรัศมีและการไหลในแนวแกนที่ทางออกผสมกัน

เครื่องกังหันฟรานซิส (Francis turbine) เป็นเครื่องกังหันน้ำแบบที่ใช้แพร่หลาย เป็นชนิดไหลผสมในแนวรัศมี (radial, mixed-flow turbine) ใช้สำหรับความสูงหัวน้ำปานกลาง (15 ถึง 1500 ft). มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้งานเต็มภาระ แต่จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อใช้งานที่ภาระต่ำ



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเครื่องกังหันน้ำแบบฟรานซิส

2.2.3 เครื่องกังหันแคปแลน

เครื่องกังหันแคปแลน (Kaplan turbine) เป็นเครื่องกังหันแบบใบพัดที่ใบพัดปรับมุมได้ ทำให้สามารถปรับมุมใบพัดให้ได้ ประสิทธิภาพสูง แม้ว่าทำงานที่สภาพภาระต่ำ



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะเครื่องกังหันน้ำแบบแคปแลน

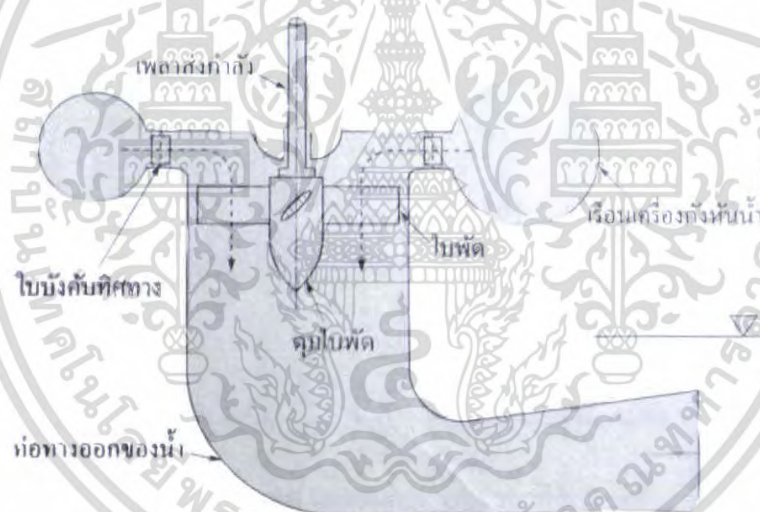
เครื่องกังหันน้ำชนิดโพรเพลเลอร์ (propeller turbine) มีการไหลของน้ำเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำแบบ

ไหลผ่านตามแนวแกน เหมาะสำหรับการทำงานภายใต้เสดของแหล่งจ่ายน้ำที่ไม่สูงมากนัก **คือไม่** เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 30 m แต่สามารถทำงานกับอัตราการไหลของน้ำที่สูงได้ ใบพัดของเครื่องกังหันชนิดนี้จะยึดติดกับแกนหมุน ทำให้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมของใบพัดได้ตามสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเครื่องกังหันน้ำจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้สภาวะการทำงานเต็มที่ (full load) และประสิทธิภาพจะลดลงหากทำงานภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป

ต่อมา วิกเตอร์ แคปแลน (Victor Kaplan) นักประดิษฐ์ชาวออสเตรียได้คิดปรับปรุงให้ใบพัดของเครื่องกังหันน้ำชนิดโพรเพลเลอร์สามารถปรับมุมของใบพัดได้ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างเหมาะสม ทำให้การทำงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ในสภาวะการทำงานที่กว้างขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดชื่อเรียกเครื่องกังหันน้ำชนิดโพรเพลเลอร์ที่ปรับมุมของใบพัดได้เสียใหม่ว่า เครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน

ส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน คือ ใบพัด เรือนกังหันน้ำ ใบบังคับทิศทางและท่อทางออกของน้ำ ซึ่งก็ไม่ได้แตกต่างไปจากส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิส เมื่อ น้ำไหลเข้าสู่ใบบังคับทิศทางน้ำจะไหลตั้งฉากกับแกนหมุน แต่เมื่อน้ำไหลเข้าสู่ใบพัดน้ำจะมีการไหลตามแนวแกนหมุนดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน

จำนวนใบพัดของเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลนจะอยู่ระหว่าง 3-6 ใบ ซึ่งใบพัดจะทำจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมและยึดติดอยู่กับคัมใบพัด (hub) เครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลนนี้สามารถทำงานที่สภาวะสูงกว่าสภาวะทำงานเต็มที่ได้ถึง 15-20% โดยการเปลี่ยนมุมของใบพัดจะทำให้โคเอแรมความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากใบพัดเปลี่ยนแปลงไป รูป 2.13 แสดงลักษณะของมุมใบพัดเมื่อทำงานเต็มที่และทำงานเพียงบางส่วน (part load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการทำงานที่สำคัญ

1. n คืออัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคัมไบพัดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของไบพัด

$$n = \frac{d}{D} \quad (2.1)$$

- เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคัมไบพัด มีหน่วย m
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของไบพัด มีหน่วย m

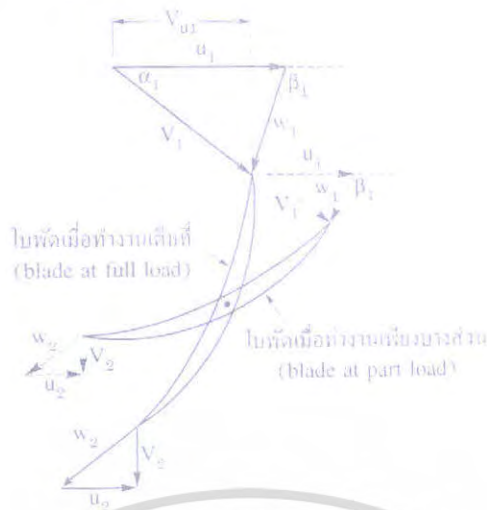
2. อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำคำนวณได้จาก

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \psi \sqrt{2gH} \quad (2.2)$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 (1 - n^2) \psi \sqrt{2gH} \quad (2.3)$$

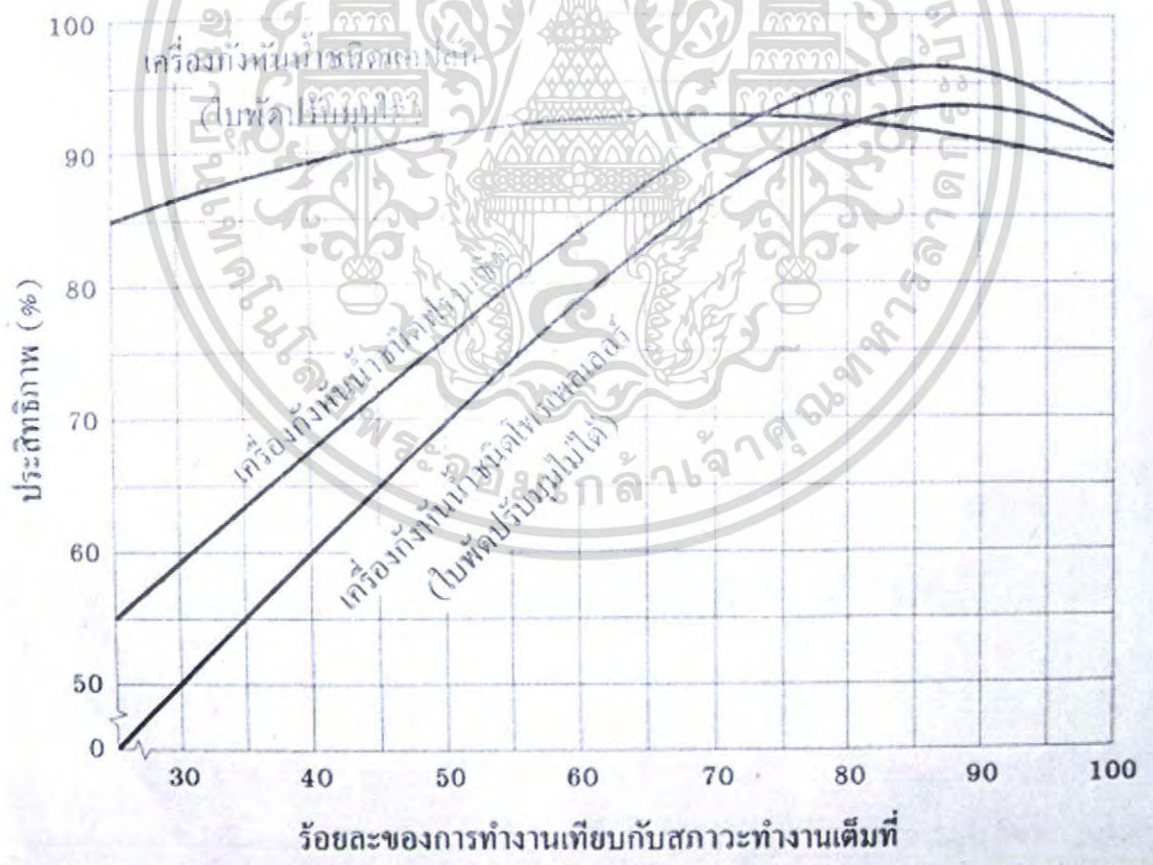
- เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่เครื่องกังหัน มีหน่วย m^3/s
 ψ = อัตราส่วนการไหล มีค่าประมาณ 0.70
 H = ความสูงของแหล่งน้ำที่จ่ายให้แก่เครื่องกังหันน้ำ มีหน่วย m
 n = อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง มีค่าประมาณ 0.35-0.6

ความเร็วของไบพัด u จำแปรเปลี่ยนไปตามรัศมีของตำแหน่งที่ต้องการหาความเร็ว จากจุดศูนย์กลางของไบพัดซึ่งจะมีความเร็วสูงสุด โดย $u = \frac{\pi DN}{60}$ เมื่อ N เป็นความเร็วรอบ มีหน่วย rpm



รูปที่ 2.13 ลักษณะของมุมใบพัดเมื่อทำงานเต็มที่และทำงานเพียงบางส่วน

ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิด โพรเพลเลอร์เมื่อทำงานภายใต้สภาวะทำงานเพียงบางส่วนจะมีค่าต่ำกว่าทั้งเครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิสและแคปสันดังแสดงในรูป 2.14



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทำงานกับประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิด ฟรานซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูป 2.14 จะเห็นว่าเครื่องกังหันน้ำชนิดโพรเพลเลอร์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำกว่าเครื่องกังหันน้ำชนิดอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ที่ทางเข้าของใบพัด (เกิดการไหลแบบ shock) ซึ่งแคปตันก็ได้คิดปรับปรุงให้ใบพัดสามารถหมุนได้รอบจุดของตัวเองเพื่อให้การไหลของน้ำเข้าสู่ทางเข้าของใบพัดไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีค่าสูงสำหรับช่วงการทำงานที่กว้างขึ้นดังรูป 2.14

2.3 คำจำกัดความที่สำคัญ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำความเข้าใจให้ตรงกันถึงคำจำกัดความที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณของเครื่องจักรของไหล

เฮดสถิต (static head, h) คือ ความแตกต่างระหว่างความสูงระหว่างแหล่งน้ำด้านล่างกับแหล่งน้ำด้านบนซึ่งเป็นบริเวณหรือตำแหน่งที่ต้องการใช้น้ำ โดยสามารถแบ่งเฮดสถิตออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. เฮดสถิตด้านดูด (suction head, h_s) คือ ระดับความสูงจากผิวหน้าของแหล่งน้ำด้านล่างมายังกึ่งกลางของท่อทางเข้าสู่เรือนเครื่องสูบน้ำ
2. เฮดสถิตด้านส่ง (delivery head, h_d) คือ ระดับความสูงจากกึ่งกลางของท่อทางออกจากตัวเรือนเครื่องสูบน้ำไปยังผิวหน้าของแหล่งน้ำด้านบน

โดยสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$h = h_s + h_d \quad (2.4)$$

เมื่อ h = เฮดสถิต มีหน่วย m
 h_s = เฮดสถิตด้านดูด มีหน่วย m
 h_d = เฮดสถิตด้านส่ง มีหน่วย m

ในกรณีของเครื่องกังหันน้ำก็เช่นเดียวกัน นั่นคือ เฮดสถิตจะหมายถึงความสูงที่แตกต่างกันของระดับน้ำของแหล่งน้ำด้านบน (เช่น เขื่อน) กับระดับน้ำด้านล่างที่ท้ายน้ำ

เฮดสุทธิ

เฮดสุทธิ (net head, h_{net}) คือ ค่าตั้งในรูปของความสูงของน้ำ โดยในกรณีของเครื่องกังหันน้ำนั้น เฮดสุทธิคือค่าตั้งในรูปความสูงของน้ำที่สามารถนำไปหมุนกังหันน้ำได้ ส่วนในกรณีของเครื่องสูบน้ำ เฮดสุทธิคือค่าตั้งในรูปความสูงของน้ำที่เครื่องสูบน้ำต้องให้แก่ น้ำเพื่อให้สามารถส่งน้ำในอัตราการไหลที่กำหนดขึ้นไปได้สูงตามต้องการ

เฮดแมนอเมทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮดแมนอเมทริก (manometric head, h_m) คือ เฮดจริงที่เครื่องสูบน้ำให้แก่ น้ำ โดยมักจะมีค่าต่ำกว่า เฮดทางทฤษฎีที่เครื่องสูบน้ำควรจะทำได้ การวัดค่า h_m สามารถวัดได้โดยการติดตั้งเกจวัดความดันไว้ที่ ท่อด้านส่ง (วัดค่า P_{OUT}) และท่อทางเข้า (วัดค่า P_{IN}) จากเครื่องสูบน้ำ หลังจากนั้นจึงแปลงค่าที่อ่าน ได้จากความดันให้เป็นเฮดด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$h_m = \frac{P_{OUT} - P_{IN}}{\rho g} \quad (2.5)$$

เมื่อ h_m = เฮดแมนอเมทริก มีหน่วย h_m
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำ มีหน่วย kg/m^3
 P_{OUT}, P_{IN} = ความดันที่อ่านได้จากเกจ มีหน่วย N/m^2 หรือ Pa

2.4 หลักการทำงานและการคำนวณภาระเบื้องต้นของเครื่องกังหันน้ำ



รูปที่ 2.15 ลักษณะการทำงานของเครื่องกังหันน้ำ

จากรูปเป็นการแสดงหลักการทำงานอย่างง่ายของเครื่องกังหันน้ำ คือ มีแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มี ตำแหน่งผิวหน้าของน้ำอยู่สูงกว่าแหล่งน้ำที่อยู่ด้านล่าง ทำการต่อท่อจากแหล่งน้ำด้านบนมายังเครื่อง กังหันน้ำ และที่ทางออกของเครื่องกังหันน้ำต่อท่อไปยังแหล่งน้ำด้านล่าง ในขณะที่น้ำอยู่ในแหล่งน้ำ ด้านบนน้ำจะมีพลังงานศักย์ และเมื่อน้ำไหลลงมาพลังงานศักย์จะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เนื่องจาก น้ำมีการไหลอย่างต่อเนื่องทำให้พลังงานจลน์เปลี่ยนรูปเป็นกำลังที่สามารถนำไปหมุนใบพัดของเครื่อง กังหันน้ำและนำกำลังที่ได้ไปใช้งานต่างๆได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนสมการแสดงพลังงานทั่วไประหว่างหน้าตัด (1) และ (2) ได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_T - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.6)$$

เมื่อ P_1 = ความดันอากาศที่กระทำต่อผิวหน้าของน้ำที่หน้าตัด (1) มีหน่วย Pa (gage)

P_2 = ความดันอากาศที่กระทำต่อผิวหน้าของน้ำที่หน้าตัด (2) มีหน่วย Pa (gage)

Z_1 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด (1) มีหน่วย m

Z_2 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด (2) มีหน่วย m

V_1 = ความเร็วการลดลงของผิวน้ำที่หน้าตัด (1) มีหน่วย m/s

V_2 = ความเร็วการลดลงของผิวน้ำที่หน้าตัด (2) มีหน่วย m/s

(หากแหล่งน้ำที่ด้านบนหรือตำแหน่ง (1) และด้านล่างหรือตำแหน่ง (2) มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่งน้ำเกิน 10 เท่า จะสามารถพิจารณาให้ค่า V_1 และ V_2 เท่ากับ 0 ได้)

h_T = พลังงานที่เครื่องกั้นน้ำได้รับ โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ มีหน่วย m

h_L = พลังงานสูญเสียของการไหล โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ มีหน่วย m

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีหน่วย N/m^3

จากสมการข้างต้น จัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของตัวแปร h_T ได้ดังนี้

$$h_T = \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) + (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) - h_L \quad (2.7)$$

พลังงานที่เครื่องกั้นน้ำได้รับอยู่ในรูปของความสูงตั้งสมการข้างต้น นี้เป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก ($N \cdot m / N = m$) หากต้องการเปลี่ยนเป็นกำลังที่เครื่องกั้นน้ำได้รับ (หรือกำลังที่เครื่องกั้นน้ำผลิตได้) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$OP_T = \gamma Q h_T = T \omega \quad (2.8)$$

เมื่อ OP_T = กำลังที่ผลิตโดยเครื่องกั้นน้ำ มีหน่วย W

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีหน่วย N/m^3

Q = อัตราการไหลของน้ำมีหน่วย m^3/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_T = \text{พลังงานที่เครื่องกังหันน้ำได้รับ โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ มีหน่วย } m$$

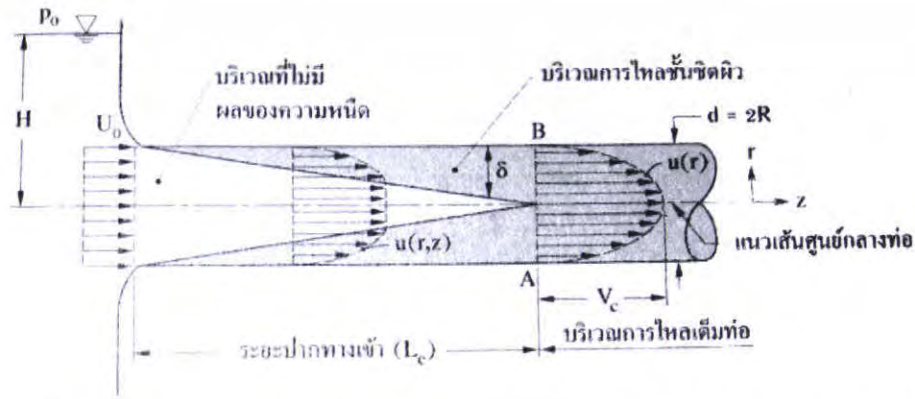
โดยกำลังที่ได้นี้เป็นกำลังกรณีที่เครื่องกังหันน้ำมีประสิทธิภาพ 100% หรือเป็นกำลังทางทฤษฎี ในกรณีที่เครื่องกังหันน้ำมีประสิทธิภาพต่ำกว่า 100% จะสามารถคำนวณหากำลังที่ผลิตได้จริงจากสมการต่อไปนี

$$\eta_T = \frac{OP_{T,act}}{OP_{T,the}} \quad (2.9)$$

- เมื่อ η_T = ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ (ประสิทธิภาพรวม) ไม่มีหน่วย
 $OP_{T,the}$ = กำลังทางทฤษฎีที่เครื่องกังหันน้ำผลิตได้ มีหน่วย W
 $OP_{T,act}$ = กำลังที่เครื่องกังหันน้ำผลิตได้จริง มีหน่วย W

2.5 การไหลในท่อ

การไหลภายในท่อจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้นต้องมีความดันที่แตกต่างระหว่างจุดทั้งสองของไหลจึงจะสามารถไหลผ่านท่อไปได้ รูป 2.16 เป็นการไหลเข้าท่อด้วยความเร็วคงตัว U_0 ผลของความหนืดบริเวณใกล้กับผนังท่อจะเกิดความต้านทานต่อการไหล ทำให้เกิดชั้นซิกผิวในบริเวณใกล้กับผนังท่อนั้นภายใต้ข้อสมมติฐานที่ว่าไม่มีการลื่นไหลที่ผนังท่อ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งตามความยาวท่อในบริเวณใกล้ๆทางเข้าท่อนั้นพบว่าความเร็วเปลี่ยนแปลงกับระยะทางที่วัดในแนวตั้งฉากกับผนังท่อและเกิดความเค้นเฉือนกระทำต่อของไหลในทิศทางข้ามกับการไหล และในบริเวณนี้ยังพบโปรไฟล์ความเร็วเปลี่ยนแปลงในทิศการไหลอีกด้วย บริเวณดังกล่าวนี้เรียกว่า บริเวณปากทางเข้า (entrance region) เมื่อของไหลไหลผ่านท่อในช่วงต่อไป ชั้นซิกผิวจะพัฒนาจนหนาขึ้นซิกผิว (δ) เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงแนวเส้นศูนย์กลางท่อ สำหรับบริเวณที่อยู่ภายนอกบริเวณการไหลชั้นซิกผิวจะเป็นบริเวณที่ไม่มีผลของความหนืด (in viscous core) ในบริเวณปากทางเข้านั้นการกระจายความเร็วเปลี่ยนแปลงกับระยะตามพิภัก r และระยะในทิศทางการไหลตามพิภัก z ($u = u(r, z)$) เมื่อของไหลไหลพ้นบริเวณปากทางเข้าความเร็วจะไม่ขึ้นกับระยะทางในทิศการไหล แต่ความเร็วจะขึ้นกับพิภัก r เท่านั้น การไหลบริเวณนี้เรียกว่า บริเวณการไหลเต็มท่อ (fully developed region) และพบว่าการกระจายความเร็วที่หน้าตัดของท่อที่ตำแหน่งใดๆตามความยาวท่อนั้นจะเป็นฟังก์ชันของระยะตามพิภัก r เท่านั้น $u = u(r)$ ทำให้โปรไฟล์ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหลในบริเวณการไหลเต็มท่อนี้



รูปที่ 2.16 แสดงบริเวณทางเข้าและบริเวณการไหลเต็มท่อสำหรับการไหลภายในท่อ

2.5.1 เลขเรย์โนลด์ส์

วิศวกรชาวอังกฤษชื่อออสบอร์นเรย์โนลด์ส์ (Osborne Reynolds, 1842-1912) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการไหลภายในท่อแบบราบเรียบไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน จากผลการทดลองเขาค้นพบตัวแปรไร้มิติค่าหนึ่งซึ่งก็คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล อัตราส่วนนี้เรียกว่า เลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds number, Re) ซึ่งมีผลต่อลักษณะการไหลของของไหล กล่าวคือ เมื่อของไหลมีความเร็วต่ำจะได้เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำ ถ้าของไหลมีความเร็วสูงขึ้นก็จะได้เลขเรย์โนลด์ส์ที่สูงขึ้นเช่นกัน

สำหรับการไหลที่มีความหนืด μ และความหนาแน่น ρ ไหลผ่านแผ่นระนาบที่มีความยาว l ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ V แรงเนื่องจากความหนืด (F_V) ที่กระทำต่อของไหล และแรงเฉื่อยของของไหล (F_I) คำนวณได้จาก

$$F_V = \{\text{ความเค้นเฉือนเนื่องจากผลของความหนืด}\} \times \{\text{พื้นที่}\} \\ = \left(\frac{\mu V}{l} \right) (l^2) = \mu V l \quad (2.10)$$

$$F_I = \{\text{ความดันพลวัต (dynamic pressure)}\} \times \{\text{พื้นที่}\} \\ = (\rho V^2) (l^2) = \rho V^2 l^2 \quad (2.11)$$

ดังนั้น

$$\text{Re} = \frac{F_I}{F_V} = \frac{\rho V^2 l}{\mu V} \\ \text{Re} = \frac{\rho V l}{\mu} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ l คือความยาวบ่งลักษณะเฉพาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหล ถ้าการไหลเป็นแบบท่อมผ่านระนาบ l คือความยาวของแผ่นระนาบที่วัดในทิศทางการไหล ถ้าเป็นการไหลในท่อ l คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ถ้าเป็นการไหลขวางท่อมแห่งทรงกระบอก l คือเส้นผ่านศูนย์กลางของแห่งทรงกระบอก

2.5.2 เลขออยเลอร์

นักคณิตศาสตร์ชาวสวิสชื่อเลออนฮาร์ด ออยเลอร์ (Leonhard Euler, 1707-1783) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการไหล โดยทำการทดลองผลของความแตกต่างระหว่างความดันของของไหล (Δp) ต่อแรงเฉื่อยของของไหล (F_I) อัตราส่วนระหว่างแรงเนื่องจากความแตกต่างของความดันต่อแรงเฉื่อยของของไหลนี้เรียกว่า เลขออยเลอร์ (Euler number, Eu) ในสนามการไหลหนึ่ง กำหนดความแตกต่างของความดันเป็น Δp ของไหลมีความหนาแน่น ρ มีความเร็ว V และมีความยาวบ่งลักษณะเฉพาะ l โดยแรงเนื่องจากผลต่างของความดัน (F_p) และแรงเฉื่อย (F_I) พิจารณาจาก

$$F_p = \{ \text{ความแตกต่างความดัน} \} \times \{ \text{พื้นที่} \} \\ = (\Delta p) l^2 \quad (2.13)$$

ดังนั้น

$$F_I = \rho V^2 l^2 \\ Eu = \frac{F_p}{F_I} = \frac{(\Delta p) l^2}{\rho V^2 l^2} \\ Eu = \frac{\Delta p}{\rho V^2} \quad (2.14)$$

2.5.3 ความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันน้ำ

ตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งของเครื่องกังหันน้ำคือ ความเร็วจำเพาะ (specific speed, N_s) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องกังหันน้ำในการออกแบบ โดยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$N_s = \frac{N \sqrt{OP}}{H^{5/4}} \quad (2.15)$$

เมื่อ	N_s	=	ความเร็วจำเพาะ
	N	=	ความเร็วรอบ มีหน่วย rpm
	OP	=	กำลัง มีหน่วย kW
	H	=	เสดใช้งาน มีหน่วย m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าของความเร็วจำเพาะสำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดต่าง ๆ แสดงในตาราง 2.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันแต่ละชนิด

ชนิดของเครื่องกังหันน้ำ	ช่วงของความเร็วจำเพาะที่เหมาะสม
เครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน (ลำน้ำเคี้ยว)	8.5-3.0
เครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน (หลายลำน้ำ)	30-50
เครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิส (H < 370 m)	50-340
เครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน (H < 60 m)	250-1025

ครีเกอร์ (Creager) และจัสติน (Justin) ได้แนะนำค่าความเร็วจำเพาะที่เขียนอยู่ในรูปของความสัมพันธ์กับเฮดใช้งานดังนี้

1. สำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิส

$$N_s = \frac{22200}{3.28H + 32} + 83.5 \quad (2.16)$$

2. สำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน

$$N_s = \frac{30800}{3.28H + 32} + 154 \quad (2.17)$$

ค่าความเร็วจำเพาะของเครื่องแปรตามเฮดสามารถหาได้จากการศึกษาการออกแบบเครื่องกังหันน้ำในอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังนี้

1. สำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดฟรานซิส

$$N_s = 1750H^{-0.51} \quad (2.18)$$

2. สำหรับเครื่องกังหันน้ำชนิดแคปแลน

$$N_s = 1377H^{-0.33} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ระยะปากทางเข้า

ระยะปากทางเข้า (Fully developed flow) คือผลจากความหนืดของของไหลทำให้บริเวณปากทางเข้ามีการไหลที่ไม่เต็มท่อ จึงทำให้เกิดบริเวณการไหลชั้นซิกซ์ผิวภายในท่อ ดังรูป 2.16 ขณะของไหลไหลเข้าไปในท่อ ชั้นซิกซ์ผิวจะพัฒนาไปตามความยาวท่อและความหนาชั้นซิกซ์ผิวจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงแนวเส้นศูนย์กลางของท่อ ระยะที่วัดจากปากทางเข้าท่อจนถึงจุดนี้เรียกว่า ระยะปากทางเข้า (Entrance length, L_e) ซึ่งถ้าของไหลเคลื่อนที่เลขบริเวณปากทางเข้านี้ของไหลจะไหลเต็มท่อ ในบริเวณการไหลเต็มท่อพบว่า

$$\frac{dv_c}{dz} = 0 \quad (\text{การไหลแบบราบเรียบเต็มท่อ}) \quad (2.20)$$

$$\frac{d\bar{v}_z}{dz} = 0 \quad (\text{การไหลแบบปั่นป่วนเต็มท่อ}) \quad (2.21)$$

สำหรับระยะปากทางเข้า (L_e) จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด (เลขเรย์โนลด์, Re) โดยพิจารณาจาก

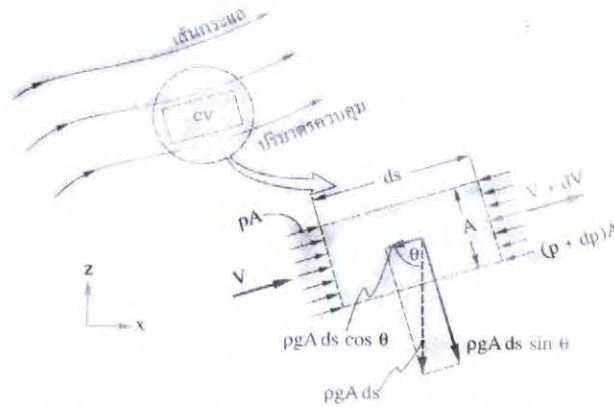
$$\frac{L_e}{D} = 0.06 Re \quad \text{สำหรับการไหลแบบราบเรียบ} \quad (2.22)$$

$$\frac{L_e}{D} = 4.4 Re^{1/6} \quad \text{สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน} \quad (2.23)$$

2.5.5 สมการแบร์นูลลี

สมการแบร์นูลลี (Bernoulli equation) คือสมการพลังงานกลสำหรับการไหลไปตามเส้นกระแสซึ่งบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างเสดความดัน เสดความเร็ว และเสดระดับความสูง ภายในสนามการไหลภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ไม่คำนึงถึงผลของความหนืด จึงไม่คิดผลของความเสียดทาน
2. เป็นการไหลในสภาวะคงตัว
3. เป็นการไหลขุ่นตัวไม่ได้
4. พิจารณาปริมาตรควบคุมตามเส้นกระแส
5. ของไหลมีความเร็วสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดการไหล



รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์พลังงานจากปริมาตรควบคุมย่อยขนานกับเส้นกระแส

พิจารณาปริมาตรควบคุมย่อยขนานกับเส้นกระแสดังรูป 2.17 ความเร็วทุกๆตำแหน่งบนเส้นกระแสจะมีทิศทางอยู่ในแนวเส้นสัมผัส และจะไม่มีการไหลขวางข้ามกระแสในสนามการไหล พิจารณาการเคลื่อนที่ของของไหลที่มีปริมาตร $dQ = Adv$ ในทิศทางการไหล s จากสมการการเคลื่อนที่จะได้

$$F_S + F_B = \frac{\rho V}{\rho} \rho dQ + \frac{\rho V}{\rho} \rho V - \rho dA$$

$$[pA - (p + dp)A] - \rho g A ds \cos \theta = (V + dV)\rho VA - V\rho VA$$

$$-dp - \rho g ds \cos \theta = \rho V dV$$

$$\frac{1}{\rho} dp + V dV + g dz = 0 \quad (2.24)$$

โดยที่ $dz = ds \cos \theta$

อินทิเกรตสมการข้างต้นได้

$$\frac{1}{\rho} dp + \frac{1}{2} V^2 + gz = C \quad (2.25)$$

โดยที่ C เป็นค่าคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ค่า ρ เป็นค่าคงตัวจะได้ว่า

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g z = \text{ค่าคงตัว} \quad (2.26)$$

หรือ
$$\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{ค่าคงตัว} \quad (2.27)$$

หรือ
$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.28)$$

ในที่นี้ $\frac{p}{\rho g}$ เรียกว่าเฮดความดัน (Pressure head) มีหน่วยเป็นเมตรของไหล

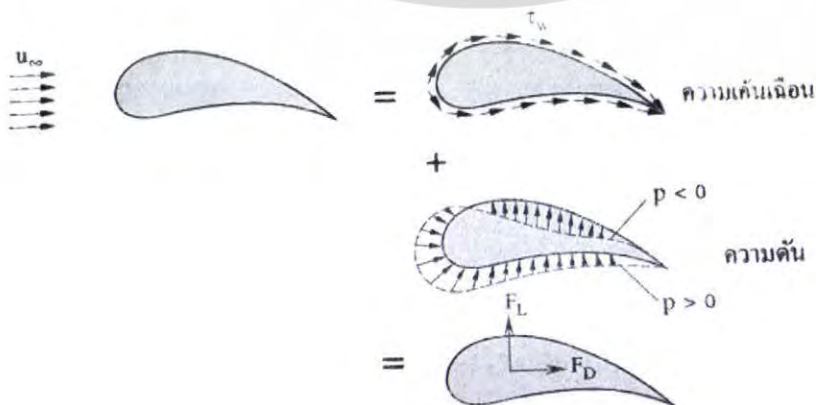
$\frac{V^2}{2g}$ เรียกว่าเฮดความเร็ว (Velocity head) มีหน่วยเป็นเมตรของไหล

z เรียกว่าเฮดระดับความสูง (Elevation head) มีหน่วยเป็นเมตรของไหล

สมการแบร์นูลลี:
$$\frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + h_{Loss} \quad (2.29)$$

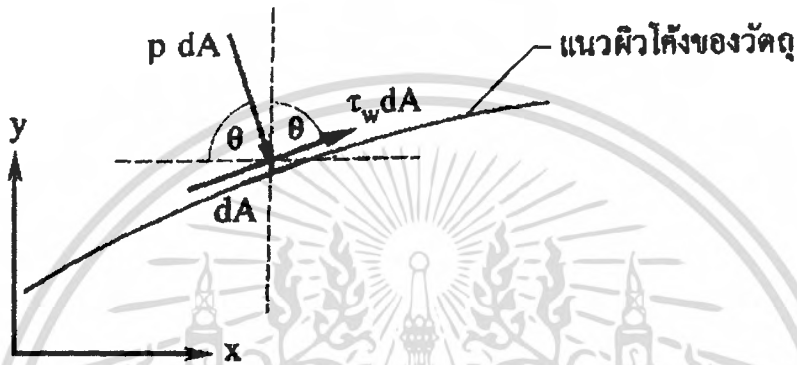
2.6 Lift and Drag

เมื่อของไหลมีการไหลผ่านพื้นที่ผิวโค้ง จะเกิดแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุโดยของไหลดังกล่าวในรูปของความเค้นซึ่งได้แก่ความเค้นเฉือนที่ผิววัตถุ (τ_w) อันเป็นผลมาจากความหนืดของของไหลที่สัมผัส และความเค้นตั้งฉากซึ่งเป็นผลมาจากความดันกระทำที่ผิวโค้งนั้น พิจารณาตัวอย่างการกระจายความเค้นเฉือนและความดันบนผิวโค้ง ดังรูป 2.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.18 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุผิวโค้ง กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการไหลของของไหลผ่านแพนอากาศ (airfoil) จะทำให้เกิดความเค้นเฉือนไปตามผิวแพนอากาศ นอกจากนี้ การติดตั้งแพนอากาศในตำแหน่งของมุมปะทะที่เหมาะสมจะทำให้ของไหลเหนือผิวโค้งเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าของไหลใต้ผิวโค้ง จึงทำให้ความดันที่กระทำต่อผิวโค้งด้านบนต่ำกว่าความดันที่กระทำต่อผิวโค้งด้านล่างของแพนอากาศ ผลต่างระหว่างความดันที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแรงยก (Lifting force) กระทำต่อแพนอากาศ ผลการกระทำจากความเค้นเฉือนและความดันบนผิวของวัตถุดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงฉุด (Drag, F_D) และแรงยก (Lift, F_L) กระทำต่อวัตถุ



รูปที่ 2.19 แสดง แรงเฉือนและแรงดันบนพื้นที่ย่อย dA

แรงย่อยลัพธ์บนแกน x

$$dF_x = p dA \cos \theta + \tau_w dA \sin \theta \quad (2.30)$$

แรงย่อยลัพธ์บนแกน y

$$dF_y = -p dA \sin \theta + \tau_w dA \cos \theta \quad (2.31)$$

ดังนั้นแรงฉุด (F_D) และแรงยก (F_L) หาได้จาก

$$F_D = \int dF_x = \int_A p \cos \theta dA + \int_A \tau_w \sin \theta dA \quad (2.32)$$

$$F_L = \int dF_y = -\int_A p \sin \theta dA + \int_A \tau_w \cos \theta dA \quad (2.33)$$

นอกจากนี้ จะพิจารณาแรงกดและแรงยกในพจน์ของสัมประสิทธิ์การกด, C_D และสัมประสิทธิ์การยก, C_L โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2 A} \quad (2.34)$$

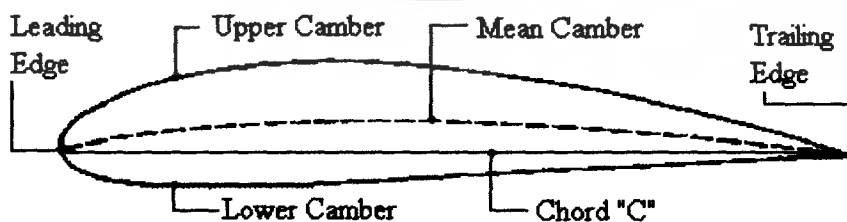
$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2 A} \quad (2.35)$$

ในที่นี้ A คือ พื้นที่บังลักษณะเฉพาะของวัตถุ อาจเลือกตามรูปแบบอย่างใดอย่างหนึ่งในพื้นที่ 3 รูปแบบดังนี้

1. พื้นที่ฉายด้านหน้า (Frontal area) เป็นพื้นที่ฉายซึ่งมองในทิศทางการไหล U_{∞} นิยมใช้กับวัตถุที่มีรูปทรงหนาทึบ
2. พื้นที่ขนานกับทิศทางการไหล (Planform area) เป็นพื้นที่ของวัตถุที่ฉายลงบนระนาบใดระนาบหนึ่งซึ่งขนานกับทิศทางการไหล นิยมใช้กับวัตถุที่มีรูปร่างค่อนข้างแบน
3. พื้นที่ผิวเปียก (Wetted surface area) เป็นพื้นที่ของวัตถุที่ผิวยื่นออกมาสัมผัสของไหล นิยมใช้กับพื้นผิวผสม (Compound surface)

2.7 ทฤษฎีแพนอากาศ

แพนอากาศ (Airfoil) จะถูกนิยามเป็นวัตถุที่มีรูปร่างเพรีชิวตามกระแสการไหลซึ่งออกแบบเพื่อทำให้เกิดแรงยกขึ้น วัตถุรูปร่างอื่นที่ทำให้เกิดแรงยกนอกเหนือจากแพนอากาศจะได้แก่แผ่น hydrofoil หรือแผ่นคัตโค้ง เป็นต้น รูป 2.13 แสดงถึงรูปร่างของแพนอากาศ



รูปที่ 2.20 แสดงถึงส่วนประกอบของแพนอากาศ

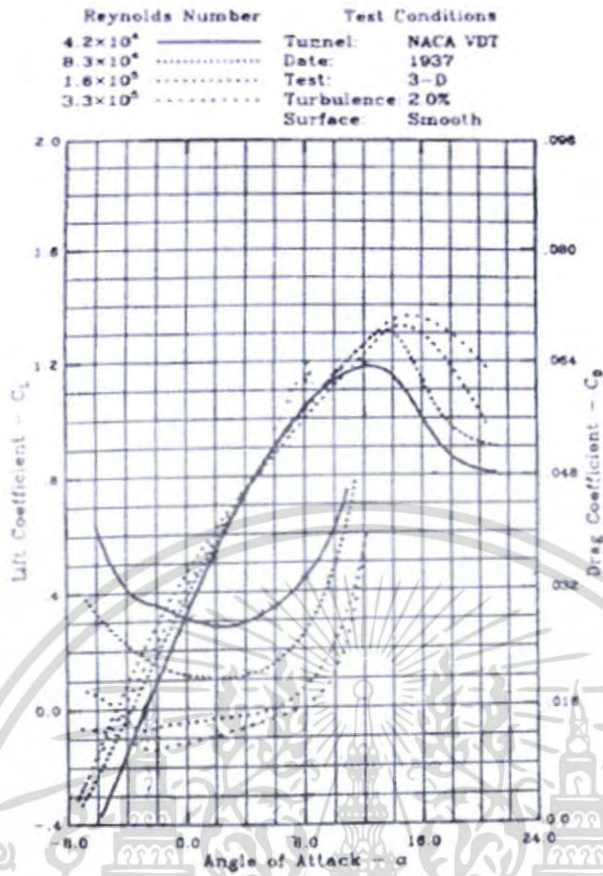
ส่วนประกอบของแพนอากาศมีดังนี้

ขอบด้านหน้า (leading edge)	คือ ส่วนขอบหรือสันด้านหน้าของแพนอากาศที่หันเข้าหาการไหล
ขอบปลายด้านหลัง (trailing edge)	คือ ส่วนปลายด้านหลังของแพนอากาศ
เส้นคอร์ด (chord line)	คือ เส้นที่ลากเชื่อมระหว่างขอบด้านหน้าไปถึงขอบปลายด้านหลังในแนวเส้นตรง โดยมีขนาดความยาวเท่ากับคอร์ด c
เส้นแคมเบอร์ (chamber line)	คือ เส้นแบ่งครึ่งรูปของแพนอากาศโดยลากจากขอบด้านหน้าไปถึงขอบปลายด้านหลัง
ระยะแคมเบอร์ (chamber)	คือ ค่าระยะห่างมากที่สุดระหว่างเส้นแคมเบอร์กับเส้นคอร์ด
เส้นที่ให้ค่าแรงยกเป็นศูนย์	คือ เส้นบนแพนอากาศที่เมื่อ ไหลเคลื่อนที่เข้าหาแพน (zero lift line) อากาศในแนวเส้นดังกล่าวจะ ไม่มีค่าแรงยกเกิดขึ้น
มุมปะทะ (angle of attack)	คือ มุมที่เกิดขึ้นระหว่างทิศของการไหลสัมพัทธ์ของของไหลกับเส้นคอร์ด

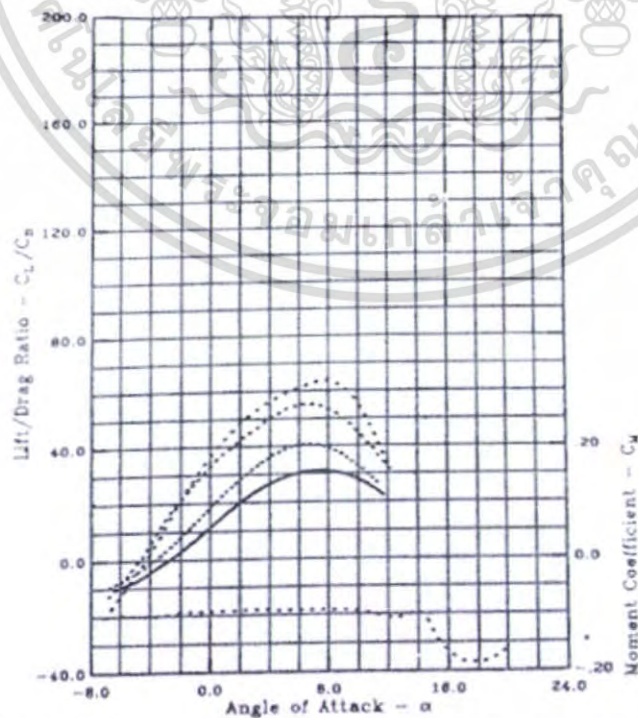
เมื่อแพนอากาศเคลื่อนที่ผ่านของไหล หรือของไหลไหลผ่านแพนอากาศที่มุมปะทะค่าหนึ่ง ของไหลจะแยกเคลื่อนที่ผ่านผิวด้านบนและด้านล่างของแพนอากาศ ก่อให้เกิดชั้นขอบเขตชั้นบนผิวของแพนอากาศ ทั้งทางด้านบนและด้านล่าง หากมุมปะทะมีค่าเป็นบวกและยังมีค่าไม่สูงถึงค่าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์แรงยกขึ้น ของไหลจะเคลื่อนที่ตามผิวด้านบนของแพนอากาศด้วยความเร็วสูงกว่าผิวด้านล่างของแพนอากาศ ทำให้ความดันที่ผิวด้านล่างของแพนอากาศมีค่าสูงกว่าความดันที่ผิวด้านบนของแพนอากาศ ผลลัพธ์ของความดันที่แตกต่างระหว่างผิวทั้งสองด้านของแพนอากาศจะทำให้เกิดเป็นแรงกระทำต่อแพนอากาศ และแรงดังกล่าวที่อยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับการไหลจะถูกเรียกว่า แรงยก L แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิวทั้งสองด้านของแพนอากาศซึ่งเกิดขึ้นจากความเค้นเฉือนที่ผิว และแรงจากค่าความดันแตกต่างที่อยู่ในทิศที่ขนานกับการไหลจะถูกเรียกว่าแรงหน่วง D

ค่าแรงยกและแรงหน่วง จะได้จากการทดสอบแพนอากาศดังกล่าวในอุโมงค์ลม ซึ่งมักจะแสดงค่าแรงยกและแรงหน่วงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงยก C_L และสัมประสิทธิ์แรงหน่วง C_D

ข้อมูลที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงที่ได้จากการทดลองมักจะถูกแสดงอยู่ในรูปกราฟที่แปรตามค่ามุมปะทะ ดังรูป 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงองค์ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงของรูปแทนอากาศ NACA 4415 ที่แปรตามมุมปะทะ ที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ต่างกัน



รูปที่ 2.22 แสดงองค์ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงของแทนอากาศที่แสดงอยู่บนกราฟเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นว่าเป็นประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมปะทะที่เพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าสูงสุดที่ค่ามุมปะทะค่าหนึ่ง และก็จะเริ่มลดลง สาเหตุของการลดลงอย่างฉับพลันของค่าสัมประสิทธิ์แรงยกก็คือ การเกิดปรากฏการณ์การแยกชั้น ซึ่งจะส่งผลเกิดการไหลย้อนกลับบนผิวด้านบนของแพนอากาศ ทำให้ค่าแรงยกลดลงและยังทำให้เกิดแรงหน่วงจากค่าความดันแตกต่างจากปรากฏการณ์การแยกชั้น ส่งผลค่าสัมประสิทธิ์แรงหน่วงเพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว ปรากฏการณ์การลดลงอย่างฉับพลันของแรงยก และมีการเพิ่มของแรงหน่วงอย่างมากนี้จะถูกเรียกว่า การเกิด stall เมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นอีก จุดที่เกิดการแยกจะเคลื่อนตัวไปด้านหลังของแพนอากาศ และก่อให้เกิดการไหลย้อนกลับในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดลำอากาศด้านหลังแพนอากาศมีสภาพเป็น wake ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงยกยังมีค่าลดลง และแรงหน่วงยังมีค่ามากขึ้น จะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงในรูป 2.21 และรูป 2.22 จะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงที่เขียนอยู่บนกราฟเดียวกัน ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่า Polar plot

2.7.1 ชนิดของแพนอากาศ

แพนอากาศเอชคิว

แพนอากาศเอชคิว (HQ airfoil) จุดศูนย์กลางของแพนอากาศเอชคิว สามารถเลื่อนมาด้านหลังได้มาก โดยที่ยังมีความเสถียรที่ดี มักสร้างปีกโดยใช้โมล ชื่อของแพนอากาศเอชคิวตัวเลขชุดแรกบอกค่าเส้นโค้ง (Camber) ตัวเลขชุดต่อมาบอกค่าความหนา

แพนอากาศนาซาจีเอ(ดับเบิลยู)

แพนอากาศนาซาจีเอ(ดับเบิลยู) (NASA GA (W) airfoil) สามารถทำงานที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำได้ดี ให้แรงยกที่สูงในขณะเดียวกันแรงต้านก็สูงมากด้วย

แพนอากาศอาร์จี

แพนอากาศอาร์จี (RG Airfoil) เป็นแพนอากาศที่มีเป้าหมายเดียวกับแพนอากาศเอชคิวอาร์จี เมื่อเปรียบเทียบกับแพนอากาศเอชคิวเมื่อความหนามีขนาดเท่ากันแพนอากาศอาร์จีจะมีประสิทธิภาพ สูงกว่าเล็กน้อย แต่มีสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag coefficient) ใกล้เคียงกัน

แพนอากาศเอ โรสเปเชียล

แพนอากาศเอ โรสเปเชียล (Aerospatiale airfoil) มีลักษณะเหมือน แพนอากาศนาซา จีเอ(ดับเบิลยู) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดถึง 1.8 ในขณะที่แพนอากาศอื่นๆ ไปค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด 1.2

แพนอากาศซีลิจ

แพนอากาศซีลิจ (Selig airfoil) เป็นการนำแพนอากาศเอชคิวมาคำนวณใหม่ ดังนั้นแพนอากาศทั้งสองแบบจึงมีขนาดและประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

แพนอากาศเอ็ม.เอช

แพนอากาศเอ็ม.เอช (M.H. airfoil) แพนอากาศชนิดนี้มีแรงเสียดทานต่ำ มีแรงยกสูงที่มุมปะทะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากโดยไม่ก่อให้เกิดแรงต้านมากเกินไป

แพนอากาศคลาร์ค

แพนอากาศคลาร์ค (Clark airfoil) เป็นแพนอากาศที่โค้งค้งมาก มีลักษณะเด่นคือมีชายล่างตรง
แพนอากาศคลาร์ค วาย (Clark Y) เป็นแพนอากาศที่มีค่าความโค้งที่สูง มีชายล่างที่ตรง ทำให้การ
สร้างปีกทำได้ง่ายมีประสิทธิภาพที่ดี

แพนอากาศคลาร์ค เอ็กซ์ (Clark X) มีค่าความโค้งที่น้อยลงทำให้มันมีรูปร่างที่บางลง

แพนอากาศคลาร์คซีเอชวาย (Clark CHY) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงกว่าแพนอากาศคลาร์ค เอ็กซ์
และแพนอากาศคลาร์ค วาย

แพนอากาศนาคา

แพนอากาศนาคา (National Advisory Committee for Aeronautics, NACA airfoil) เป็นแพนอากาศ
แรกที้ออกแบบโดย ใช้การคำนวณทางวิทยาศาสตร์ เริ่มกำเนิดในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่1และ
ครั้งที่2 ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่ของแพนอากาศนาคาจะไม่ได้ออกแบบมาสำหรับเลขเรย์โนลด์ส์ที่ต่ำ แต่ก็ม
บางตัวที่สามารถนำมาใช้สำหรับเลขเรย์โนลด์ส์ที่ต่ำได้

2.7.2 แพนอากาศนาคา

NACA 1 Series หรือ 16 Series

NACA 1 Series ถูกพัฒนาโดยการอ้างอิงจากทฤษฎีใบพัด (airfoil theory) มากกว่า ความสัมพันธ์
ทางเรขาคณิต มันถูกสร้างขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1930 ด้วยขั้นตอนที่เรียกว่า inverse airfoil design แนวคิด
พื้นฐานในการออกแบบคือ การกระจายตัวของความดันบนใบพัด (การกระจายตัวนี้จะส่งผลต่อ
ลักษณะแรงยกที่มีต่อรูปร่างของใบพัด) หลังจากนั้นจะได้รูปร่างเชิงเรขาคณิต ที่จะทำให้เกิดการกระจาย
ตัวของแรงดัน ใบพัดประเภทนี้มีการใช้ตัวเลขบ่งบอกที่ไม่เหมือนกับ series ที่มีตัวเลข 4-5 ตัวทั่วไป
ยกตัวอย่างเช่น NACA 16-212 เลข 1 ตัวแรกหมายถึง series (series นี้ถูกออกแบบให้ใช้ได้เมื่อเป็น
supersonic น้อยมากๆ) เลข 6 แสดงถึงตำแหน่งที่มีความดันต่ำสุดบน chord ในที่นี้คือ 60% จาก
ด้านหน้า เลข 2 ตัวแรกบอกลักษณะสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้ออกแบบมาในที่นี้คือ 0.2 และตัวเลขสองตัว
สุดท้ายบอกลักษณะความหนาสูงสุดของใบพัดในที่นี้คือ 12% chord เป็นต้น

NACA 6 series

ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบและทดลองตามทฤษฎีแล้วแต่ใน series 2 – series 5 กับได้ผลที่ไม่
เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงได้ทำการออกแบบ series 6 ขึ้น โดยใช้วิธีการสร้างที่คล้ายกับ series 1 คือ
การกำหนดการกระจายแรงดันที่ต้องการและใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อหารูปร่างเชิงเรขาคณิต เป้าหมาย
คือการออกแบบให้ใบพัดใช้ได้กับการไหลที่สูงสุดของอากาศที่เป็นการไหลแบบ laminar และสามารถ
ลด drag ได้เมื่อใบพัดอยู่ในช่วงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกต่ำๆ การให้ชื่อกับใบพัดใน series 6สร้างความ
สับสนมากที่สุดในทุก series ยกตัวอย่างเช่น NACA 64₁-212, a=0.6,6 แสดงถึง series เลข 4 แสดงถึง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่เกิดความดันต่ำสุดบน chord ในที่นี้คือ 40% chord ตัวห้อย 1 แสดงค่า drag ต่ำสุด ในที่นี้คือ 0.1 เลข 2 ตัวแรกหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ทำให้เกิด drag ต่ำสุด คือ 0.2 เลขสองตัวสุดท้ายบอกถึงความหนามากที่สุดของใบพัด คือ 12% chord และ $a=...$ บอกถึงตำแหน่งบนใบพัดที่เริ่มมีการกระจายตัวแบบ uniform ในที่นี้คือ 60% chord

NACA 7 series

ถูกสร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์คือ การออกแบบใบพัดที่เกิดความแตกต่างของตำแหน่งที่มีความดันต่ำที่สุดระหว่างด้านบนและด้านล่างของใบพัด ในการไหลแบบ laminar ตัวอย่างเช่น NACA 747A315 เลข 7 แสดงถึง series เลข 4 แสดงถึงตำแหน่งความดันต่ำสุดด้านบนใบพัด ในที่นี้คือ 40% chord เลข 7 แสดงถึงตำแหน่งที่มีความดันต่ำสุดด้านล่างของใบพัด ในที่นี้คือ 70% chord ตัวอักษรในตำแหน่งที่ 4 แสดงถึงรูปแบบความหนาและเส้น mean line เลขตัวที่ห้าแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ออกแบบไว้ ในที่นี้คือ 0.3 และตัวเลขสองตัวสุดท้ายหมายถึงความหนาสูงสุดของใบพัด ในที่นี้คือ 15% chord

NACA 8 series

ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ใน supercritical speeds ตัวอย่างการให้ชื่อ NACA 835A216 เลข 8 แสดงถึง series เลข 3 หมายถึงตำแหน่งที่เกิดความดันต่ำสุดบนผิวด้านบนของใบพัด ในที่นี้คือ 30% chord, 5 คือ ตำแหน่งที่มีความดันต่ำที่สุดที่ผิวด้านล่างของใบพัด ในที่นี้คือ 50% chord อักษร A แสดงถึงรูปแบบของความหนา เลข 2 หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ออกแบบไว้ คือ 0.2 ตัวเลขสองตัวสุดท้ายหมายถึง ความหนาสูงสุดของใบพัด คือ 16% chord

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติแพนอากาศยาน

หมวดหมู่	ข้อดี	ข้อเสีย
16 Series	1. แรงจลน์น้อยที่ความเร็วสูง 2. มีการหลีกเลี่ยงการเกิดความดันต่ำ ณ จุดสูงสุดของใบ	1. แรงยกต่ำ
6 Series	1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดสูง 2. ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันต่ำในช่วงปฏิบัติการ 3. ใช้งานได้ดีที่ความเร็วสูง	1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันสูง เมื่อทำการนอกช่วงปฏิบัติการ 2. เกิดโมเมนต์สูงที่จุดสูงสุดของแพนอากาศ 3. มีความไวต่อผิวขรุขระ
7 Series	1. ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันต่ำในช่วงการดำเนินการ 2. เกิดโมเมนต์ต่ำที่จุดสูงสุดของแพนอากาศ	1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดต่ำ 2. ค่าสัมประสิทธิ์แรงดัน เมื่อทำการนอกช่วงปฏิบัติการ 3. ไวต่อความขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้เขียนเห็นว่าใบใช้ประโยชน์สำหรับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแล้ว พบว่าแพนอากาศนาคา ซีรีส์ 6 เหมาะสมกับชุดทดลองมากที่สุดอันเนื่องมาจากเป็นแพนอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงแต่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำ การคำนวณหารูปร่างของแพนอากาศ

แพนอากาศนาคาชนิด 4 (NACA four-digit series) ตำแหน่ง ตัวเลขที่ปรากฏบอกถึงลักษณะของแพนอากาศดังนี้

ตัวเลขหลักที่ 1 คือ ขนาดขอบโค้งสูงสุด (Maximum camber) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคอร์ด (Chord) แทนด้วย m

ตัวเลขหลักที่ 2 คือ ตำแหน่งจุดขอบโค้งสูงสุด (Maximum camber) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคอร์ด (Chord) แทนด้วย p

ตัวเลขสองหลักสุดท้าย คือ ขนาดความหนาสูงสุดของแพนอากาศ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวคอร์ด (Chord) แทนด้วย t

การคำนวณหารูปร่างของแพนอากาศสามารถหาได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกค่า x ตั้งแต่ 0 ถึงความยาวสุดของ chord
2. คำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นโค้ง (Camber line) โดยคำนวณในแต่ละพิกัด x

$$y_c = \frac{m}{p^2} (2px - x^2) \quad \text{from } x = 0 \text{ to } x = p \quad (2.36)$$

$$y_c = \frac{m}{(1-p)^2} [(1-2p) + 2px - x^2] \quad \text{from } x = p \text{ to } x = c \quad (2.37)$$

3. คำนวณการกระจายตัวของความหนาด้านบนแพนอากาศ (+) และด้านล่างแพนอากาศ (-) ของเส้นโค้ง (Camber line) โดยคำนวณในแต่ละพิกัด x

$$\pm y_t = \frac{t}{0.2} (0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4) \quad (2.38)$$

4. กำหนดพิกัดสุดท้ายสำหรับหาพิกัดพื้นผิวด้านบน (+) และพิกัดพื้นผิวด้านล่าง (-)

$$x_U = x - y_t \sin \theta \quad (2.39)$$

$$y_U = y_c + y_t \cos \theta \quad (2.40)$$

$$x_L = x + y_t \sin \theta \quad (2.41)$$

$$y_L = y_c - y_t \cos \theta \quad (2.42)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{dy_c}{dx}\right) \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กฎความคล้าย

กฎความคล้าย (similarity law) เป็นกฎที่ใช้สำหรับการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับเครื่องกั้นน้ำ 2 เครื่องที่มีความคล้ายกันแต่มีขนาดต่างกัน เช่น ขนาดเล็กสำหรับทดสอบในห้องทดลองซึ่งเรียกว่าตัวแบบ (model) และขนาดใหญ่หรือขนาดจริงซึ่งเรียกว่า ต้นแบบ (prototype)

พิจารณาให้น้ำที่ไหลเข้าสู่เครื่องกั้นน้ำเป็นของไหลยุบตัวไม่ได้ (incompressible fluid) กำกำลัง P ที่ถ่ายโอนระหว่างน้ำกับเพลาลมจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่น (ρ) ความหนืด (μ) เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด (D) อัตราการไหล (Q) ความเร็วรอบในการหมุน (N) และพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยมวล (gH) โดยเขียนเป็นฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$P = f(\rho, \mu, D, Q, N, gH) \quad (2.44)$$

เมื่อเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ จะจัดกลุ่มได้ 4 กลุ่มดังนี้

$$\pi_1 = \frac{Q}{ND^3} \quad (2.45)$$

$$\pi_2 = \frac{gH}{N^2 D^2} \quad (2.46)$$

$$\pi_3 = \frac{\rho ND^2}{\mu} \quad (2.47)$$

$$\pi_4 = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad (2.48)$$

ซึ่งการทำงานของเครื่องกั้นน้ำตัวแบบและต้นแบบที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่จุดนั้น ค่าตัวแปรไร้มิติต่อไปนี้จะมีค่าเท่ากัน

$$\left(\frac{gH}{N^2 D^2} \right)_p = \left(\frac{gH}{N^2 D^2} \right)_m \quad (2.49)$$

และ
$$\left(\frac{P}{\rho N^3 D^5} \right)_p = \left(\frac{P}{\rho N^3 D^5} \right)_m \quad (2.50)$$

และ
$$\left(\frac{Q}{ND^3} \right)_p = \left(\frac{Q}{ND^3} \right)_m \quad (2.51)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น มีหน่วย kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- μ = ความหนืดสัมบูรณ์ มีหน่วย Ns/m^2
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด มีหน่วย m
 Q = อัตราการไหล มีหน่วย m^3/s
 N = ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัด มีหน่วยเป็น rpm
 gH = พลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยมวล มีหน่วย J/kg

2.9 การวิเคราะห์เวกเตอร์ความเร็ว

พิจารณารูป 2.24 กำหนดให้ตัวแปรที่มีตัวห้อยเป็น 1 ตัวแปรที่ทางเข้าของใบพัดโค้ง และตัวแปรที่มีตัวห้อยเป็น 2 คือตัวแปรที่ทางออกของใบพัดโค้งดังต่อไปนี้



(ก) แผนภาพความเร็วที่ทางเข้า

(ข) แผนภาพความเร็วที่ทางออก

รูปที่ 2.23 แผนภาพความเร็วที่ทางเข้าและทางออก

- เมื่อ
- V = ความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำ
 - u = ความเร็วในแนวสัมผัสของใบพัด โค้งซึ่งตั้งฉากกับรัศมีของใบพัด
 - w = ความเร็วของน้ำเทียบกับใบพัด (ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำกับใบพัด)
 - α = ค่ามุมระหว่างความเร็วสัมบูรณ์ของน้ำ V กับความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของใบพัด u
 - β = ค่ามุมระหว่างความเร็วของน้ำเทียบกับใบพัด w กับความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของใบพัด u
 - V_u = องค์ประกอบของความเร็ว V ในแนวความเร็ว u โดยที่

$$V_{u1} = V_1 \cos \alpha_1 \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{u2} = V_2 \cos \alpha_2 \quad (2.53)$$

กรณีที่ $\alpha_2 < 90^\circ$

$$V_{u2} = V_2 \cos(180^\circ - \alpha_2) \quad (2.54)$$

กรณีที่ $\alpha_2 > 90^\circ$

V_f = ความเร็วในแนวรัศมีของความเร็ว V โดยที่

$$V_{f1} = V_1 \sin \alpha_1 \quad (2.55)$$

$$V_{f2} = V_2 \sin \alpha_2 \quad (2.56)$$

กรณีที่ $\alpha_2 < 90^\circ$

$$V_{f2} = V_2 \sin(180^\circ - \alpha_2) \quad (2.57)$$

กรณีที่ $\alpha_2 > 90^\circ$

พิจารณารูป 2.24 ซึ่งแสดงแผนภาพความเร็วของการไหลเข้าและไหลออกจากเครื่องกังหันน้ำ



รูปที่ 2.24 ลักษณะการไหลเข้าและไหลออกจากเครื่องกังหันน้ำ

จากปริมาตรควบคุมที่เป็นเส้นล้อมรอบชุดใบพัดของเครื่องกังหันน้ำ จะสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรในรูปของความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางเข้า V_1 และทางออก V_2 ได้ดังนี้

$$Q = 2\pi r_1 b_1 V_1 \sin \alpha_1 = 2\pi r_1 b_1 V_{f1} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ
$$Q = 2\pi r_2 b_2 V_2 \sin \alpha_1 = 2\pi r_2 b_2 V_{f2} \quad (2.59)$$

เมื่อ b_1 = ความกว้างของใบพัดที่ทางเข้า มีหน่วย m

b_2 = ความกว้างของใบพัดที่ทางออก มีหน่วย m

และแรงบิด T ที่เกิดขึ้นบนแกนหมุนอันเนื่องมาจากการไหลเข้าและไหลออกจากปริมาตรควบคุมของของไหลจากสมการต่อไปนี้

$$T = \rho Q (V_1 \cos \alpha_1 r_1 - V_2 \cos \alpha_2 r_2) \quad (2.60)$$

$$= \rho Q (V_{u1} r_1 - V_{u2} r_2) \quad (2.61)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของน้ำมีหน่วย kg/m^3

Q = อัตราการไหลของน้ำมีหน่วย m^3/s

V_{u1} = องค์ประกอบความเร็ว V ในแนวความเร็ว u ที่ทางเข้า มีหน่วย m/s

V_{u2} = องค์ประกอบความเร็ว V ในแนวความเร็ว u ที่ทางออก มีหน่วย m/s

r_1 = รัศมีนอกที่ทางเข้า มีหน่วย m

r_2 = รัศมีนอกที่ทางออก มีหน่วย m

สมการข้างต้น มีพื้นฐานอยู่บนความจริงที่ว่าของไหลที่ทางเข้าและทางออกจะต้องเป็นของไหลเอกรูป (uniform) หรืออีกนัยหนึ่งกล่าวได้ว่า น้ำจะต้องมีความหนาแน่นคงตัวตลอดการไหลผ่านเครื่องกั้นน้ำนั่นเอง

แต่แรงบิดจริงที่ได้จากเพลลาของแกนหมุนอาจจะต่ำกว่าค่าที่ได้จากสมการข้างต้น อันเนื่องมาจากความเสียดทานของรองเพลลาและความเสียดทานระหว่างของไหลกับใบพัด กำลังที่ได้จากเพลลาหาได้ดังนี้

$$P = T\omega \quad (2.62)$$

เมื่อ T = แรงบิด มีหน่วย $N \cdot m$

ω = ความเร็วเชิงมุมของการหมุนของใบพัด มีหน่วย rad/s

$$u_1 = r_1 \omega_1 \quad (2.63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_2 = r_2 \omega_2 \quad (2.64)$$

แทนค่าในสมการ จะได้

$$P = \rho Q \omega (V_{u1} r_1 - V_{u2} r_2) \quad (2.65)$$

หรือจัดรูปสมการใหม่ได้

$$P = \rho Q (V_{u1} u_1 - V_{u2} u_2) \quad (2.66)$$

เมื่อ $u = \omega r$

และกำลังที่ได้จากของไหลที่มีค่าเสด (H), อัตราการไหล (Q) และความหนาแน่น (ρ) คือ

$$P = \rho Q g H \quad (2.67)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปของค่าเสด (H) ซึ่งเป็นเสดที่ใช้งานจริง โดยเริ่มเขียนการเท่ากันของสมการทั้งสอง

$$\rho Q (u_1 V_{u1} - u_2 V_{u2}) = \rho Q g H \quad (2.68)$$

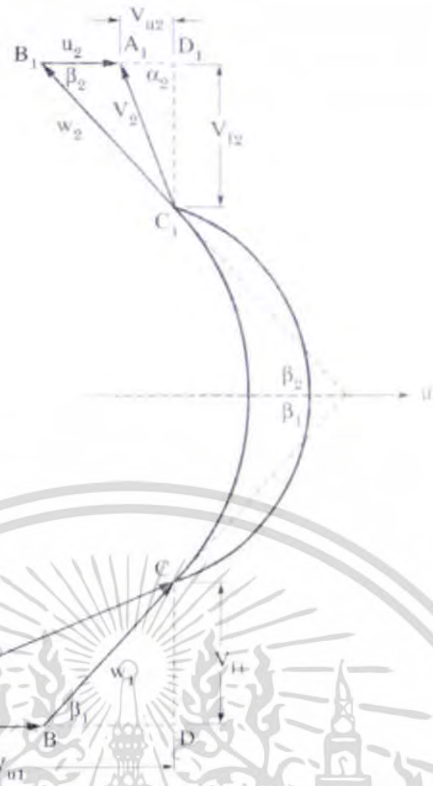
จะได้

$$H = \frac{u_1 V_{u1} - u_2 V_{u2}}{g} \quad (2.69)$$

2.10 โมเมนต์และแรงกระทำต่อใบพัดเนื่องจากการคล

เมื่อลำของไหลพุ่งกระทบใบพัด ทั้งใบพัดตรงและใบพัดโค้ง และทั้งในกรณีที่ใบพัดอยู่กับที่และเครื่องที่จะเกิดแรงกระทำต่อใบพัดซึ่งการพิจารณาการพุ่งกระทบนี้จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของใบพัด รูปแบบการเคลื่อนที่ และมุมกระทบใบพัด ลำของไหลกระทบกับใบพัด โค้งเคลื่อนที่ในแนวสัมผัส

พิจารณารูป 2.26 ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงการพุ่งกระทบของลำน้ำเข้าหาใบพัด โค้งในทิศทางทำมุมกับใบพัด โค้งที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u



รูปที่ 2.25 แผนภาพความเร็วของลำของไหลที่พุ่งกระทบใบพัดที่กำลังเคลื่อนที่

พิจารณาใบพัด โคง์ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u และมีลำน้ำความเร็ว V_1 พุ่งกระทบในทิศทางทำมุม α_1 กับแนวของความเร็ว u ส่วน V_{u1} เป็นองค์ประกอบของความเร็ว V_1 ที่มีทิศทางอยู่ในแนวเดียวกับความเร็ว u และ w_1 คือองค์ประกอบของความเร็ว V_1 ในทิศทางสัมผัสกับใบพัดที่ทางเข้าและทำมุม β_1 กับแนวของความเร็ว u ซึ่งหากพิจารณาให้ใบพัดมีความเรียบ ลื่น และไม่มีความฝืด ความเร็วของลำน้ำที่ไหลในแนวสัมผัสกับใบพัด โคง์ที่ทางออก w_2 จะมีค่าเท่ากับ w_1 แต่เนื่องจากความฝืดและความเสียดทานของใบพัดจึงทำให้ความเร็ว w_2 ที่ทางออกมีค่าต่ำกว่า w_1 ($w_2 < w_1$) ซึ่งผลกระทบของความเสียดทานที่ใบพัดกระทำต่อความเร็วนี้หาได้จากอัตราส่วน

$$K = w_2 / w_1 \quad (2.70)$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์ความเร็วของใบพัด (blade velocity coefficient)

จากหลักการของโมเมนตัม สามารถหาแรงกระทำต่อใบพัด โคง์อันเนื่องมาจากการพุ่งกระทบของลำน้ำได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = -\frac{\Delta M}{t} = -\frac{M_{out} - M_{in}}{t} \quad (2.71)$$

$$= \frac{M_{in} - M_{out}}{t} = \frac{mV_{in} - mV_{out}}{t} = \frac{m}{t}(V_{in} - V_{out}) \quad (2.72)$$

หากพิจารณาจะเห็นว่าพจน์ $\frac{m}{t}$ เป็นค่ามวลของน้ำที่พุ่งเข้ากระทบใบพัดหารด้วยเวลาที่พุ่งเข้ากระทบ ดังนั้นค่า $\frac{m}{t}$ จึงสามารถแทนได้ด้วยตัวแปรอัตราการไหลเชิงมวล \dot{m} เมื่อแทนค่ากลับไปในสมการจะได้

$$F = \dot{m}(V_{in} - V_{out}) \quad (2.73)$$

เมื่อ $\dot{m} = \frac{\dot{W}}{g}, V_{in} = V_{u1}, V_{out} = -V_{u2}$

การที่กำหนดให้ $V_{in} = V_{u1}$ และ $V_{out} = -V_{u2}$ ก็เพราะ V_{u1} และ V_{u2} เป็นองค์ประกอบของความเร็วสัมบูรณ์ของการไหลของน้ำในแนวสัมผัสกับการเคลื่อนที่ของใบพัดซึ่งจะหมุนเป็นวงกลม และองค์ประกอบความเร็วดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของการไหลให้อยู่ในรูปของแรงที่กระทำต่อใบพัดและจะส่งผลต่อไปให้เกิดกำลังที่แกนเพลลาของเครื่องกังหันน้ำซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้นั่นเอง ส่วนความเร็ว V_{f1} และ V_{f2} ซึ่งเป็นองค์ประกอบความเร็วสัมบูรณ์ในแนวรัศมีของชุดใบพัดนั้นจะไม่ส่งผลต่อการพิจารณากำลังของแกนเพลลา

แทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการข้างต้นได้

$$F = \frac{\dot{W}}{g}(V_{u1} - (-V_{u2})) \quad (2.74)$$

$$= \frac{\dot{W}}{g}(V_{u1} + V_{u2}) \quad (2.75)$$

เมื่อ \dot{W} คือน้ำหนักของน้ำหรือของไหลที่พุ่งเข้ากระทบใบพัดโค้งต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้งานได้เมื่อ $\alpha_2 < 90^\circ$ สำหรับกรณีที่ $\alpha_2 > 90^\circ$ จะหาแรง F ได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = \frac{\dot{W}}{g}(V_{u1} \pm V_{u2}) \quad (2.76)$$

โดย ใช้เครื่องหมาย (+) เมื่อ $\alpha_2 < 90^\circ$
 ใช้เครื่องหมาย (-) เมื่อ $\alpha_2 > 90^\circ$

กำลังที่เกิดขึ้นที่ใบพัดโค้งสามารถหาได้จากการคูณแรง F กับความเร็ว u ของใบพัดโค้ง ดังต่อไปนี้

$$P = F \cdot u \quad (2.77)$$

$$P = \frac{\dot{W}}{g} (V_{u1} \pm V_{u2}) \cdot u \quad (2.78)$$

และประสิทธิภาพของใบพัดหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ } (\eta) = \frac{P}{\dot{E}_K} \quad (2.79)$$

เมื่อ $\dot{E}_K =$ กำลังของการไหลของลำของไหล มีหน่วย W
 $= \frac{mV^2}{2} = \frac{\dot{W}V^2}{2g}$
 $P =$ กำลังที่เกิดขึ้นต่อใบพัด มีหน่วย W
 $= \frac{\dot{W}}{g} (V_{u1} \pm V_{u2}) \cdot u$
 $\dot{W} = \dot{m}g =$ น้ำหนักของน้ำที่พุ่งเข้ากระทบใบพัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา

แทนค่าเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ จะได้ความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\frac{\dot{W}}{g} (V_{u1} \pm V_{u2}) \cdot u}{\frac{\dot{W}V_1^2}{2g}} \quad (2.80)$$

$$\eta = \frac{2u(V_{u1} \pm V_{u2})}{V_1^2} \quad (2.81)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ทฤษฎีการหาประสิทธิภาพของกังหัน

2.11.1 สมการกังหันของออยเลอร์

สมการกังหันของออยเลอร์ ใช้การพิจารณาจากเวกเตอร์รูปหลายเหลี่ยมของความเร็วตรงทางเข้า ถ้าทราบ ω , R_1 , $U_1 = \omega R_1$, α_1 และ β_1 ดังนั้นขนาดของความเร็วคือ

$$U_1 = V_{n1} \tan \alpha_1 + V_{m1} \cot \beta_1 \quad (2.82)$$

$$V_1 = \frac{V_{n1}}{\cos \alpha_1} \quad (2.83)$$

$$V_{m1} = V_1 \sin \alpha_1 \quad (2.84)$$

$$V_{rel1} = \frac{V_{n1}}{\sin \beta_1} \quad (2.85)$$

อัตราการไหลโดยปริมาตรคำนวณจาก

$$Q = V_{m1} A_1 = V_{m2} A_2 \quad (2.86)$$

เวกเตอร์รูปหลายเหลี่ยมของความเร็วตรงทางออก ถ้าทราบ R_2 , β_2 , $U_2 = \omega R_2$ และ $A_1 = A_2$ แล้ว ดังนั้น

$$\tan \alpha_2 = \frac{V_{t2}}{V_{n2}} = \frac{U_2 - V_{m2} \cot \beta_2}{V_{n2}} = \frac{U_2 - V_{m1} \cot \beta_2}{V_{n1}} \quad (2.87)$$

$$V_2 = \frac{V_{n2}}{\cos \alpha_2} = \frac{V_{n1}}{\cos \alpha_2} \quad (2.88)$$

$$V_{t2} = V_2 \sin \alpha_2 \quad (2.89)$$

จากสมการข้างต้น สามารถคำนวณทอร์กของกังหันจาก

$$T_{shaft} = (R_2 V_{t2} - R_1 V_{t1}) \rho Q \quad (2.90)$$

เรียกสมการนี้ว่า สมการกังหันออยเลอร์ (Euler turbine equation) และคำนวณหากำลังของส่วนหมุนของกังหันคำนวณจาก

$$Power = \omega T_{shaft} = (U_2 V_{t2} - U_1 V_{t1}) \rho Q \quad (2.91)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 สมการการหาประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (volumetric efficiency, η_{vol}) คือ อัตราส่วนของอัตราการไหลของน้ำในส่วนที่ก่อให้เกิดกำลังที่ใบพัด (runner) ของเครื่องกังหันน้ำต่ออัตราการไหลของน้ำทั้งหมดที่เข้าสู่เครื่องกังหันน้ำ โดยเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\eta_{vol} = \frac{Q - \Delta Q}{Q} \quad (2.92)$$

- เมื่อ η_{vol} = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ไม่มีหน่วย
 Q = อัตราการไหลของน้ำทั้งหมดที่เข้าสู่เครื่องกังหันน้ำ มีหน่วย m^3 / s
 ΔQ = อัตราการไหลของน้ำในส่วนที่ไม่ก่อให้เกิดการทำงานต่อเครื่องกังหันน้ำ มีหน่วย m^3 / s

ประสิทธิภาพพลศาสตร์

ประสิทธิภาพพลศาสตร์ (hydraulic efficiency, η_{hyd}) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ประสิทธิภาพแมนอเมตริก (manometric efficiency, η_{mano}) คือ อัตราส่วนระหว่างเฮดแมนอเมตริกหรือเฮดที่เกิดขึ้นจริงกับเฮดที่เครื่องสูบน้ำควรจะได้หรือเฮดทางทฤษฎี โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta_{mano} = \frac{gh_m}{u_2 V_{u2}} \quad (2.93)$$

- เมื่อ η_{mano} = ประสิทธิภาพแมนอเมตริก ไม่มีหน่วย
 h_m = เฮดแมนอเมตริก มีหน่วย h_m
 u_2 = ความเร็วที่ทางออกในแนวเส้นสัมผัสของใบพัด มีหน่วย m / s
 V_{u2} = ความเร็วสัมผัสของน้ำที่ทางออกในแนวสัมผัสของใบพัดมีหน่วย m / s

ประสิทธิภาพเชิงกล

ประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency, η_{mech}) คือ ค่าของอัตราส่วนระหว่างกำลังที่สามารถใช้งานได้ที่เพลาคู่กำลังที่ผลิตได้จากใบพัด ซึ่งในกรณีเครื่องกังหันน้ำจะสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_{mech} = \frac{OP_{shaft}}{OP_{blade}} \quad (2.94)$$

- เมื่อ η_{mech} = ประสิทธิภาพเชิงกล ไม่มีหน่วย
 P_{shaft} = กำลังที่สามารถใช้งานได้ที่เพลา มีหน่วย W
 P_{blade} = กำลังที่ผลิตได้จากใบพัด มีหน่วย W

โดยกำลังที่เพลาได้รับจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่ผลิตได้จากใบพัด เนื่องจากกำลังส่วนหนึ่งต้องใช้ไปในการเอาชนะความเสียดทานในส่วนต่างๆ เช่น ที่รองเพลา เป็นต้น

ประสิทธิภาพรวม

ประสิทธิภาพรวม (overall efficiency, η_o) คือ อัตราส่วนของกำลังที่ต้องใช้ในการส่งน้ำที่อัตราการไหลที่กำหนดให้ขึ้นไปได้สูงตามที่ต้องการต่อกำลังที่ได้รับจากต้นกำลังขับโดยสามารถจะหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\eta_o = \frac{Output}{Input} = \frac{\gamma Q h_m}{IP} = \frac{T\omega}{IP} \quad (2.95)$$

- เมื่อ h_m = เสดแมนอเมตริก มีหน่วย m
 γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีหน่วย N/m^3
 Q = อัตราการไหลของน้ำ มีหน่วย m^3/s
 IP = กำลังที่ได้รับจากต้นกำลังขับ มีหน่วย W

หรือ

$$\eta_o = \eta_{hyd} \eta_{vol} \eta_{mech} \quad (2.96)$$

นั่นคือ จะสามารถหาประสิทธิภาพรวม ได้จากการคูณกันของประสิทธิภาพพลศาสตร์ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ประสิทธิภาพเชิงกล

2.12 ปรากฏการณ์ควิเคชัน

ปรากฏการณ์ควิเคชัน (Cavitations) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากของเหลวมีค่าความดันสถิตเฉพาะที่ต่ำกว่าความดันไอของมัน ซึ่งก็จะทำให้ของเหลวดังกล่าวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นฟองไอน้ำขึ้นเป็นจำนวนมาก เมื่อฟองไอเหล่านี้เคลื่อนตัวไปอยู่ในตำแหน่งที่ความดันสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟองไอจะแตกออก และของเหลวที่อยู่รอบฟองจะไหลเข้าสู่ช่องว่างที่เกิดจากการแตกตัวของฟองอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดการกระแทกของของเหลว ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดการกัดกร่อนของผิวโลหะที่อยู่ใกล้ นอกจากนี้มักจะมีเสียงดังตามมาด้วย ปรากฏการณ์ควิเดชันมักเกิดในบริเวณที่ของเหลวมีความเร็วสูง ซึ่งจะส่งผลให้ความดันสถิตเฉพาะที่ของของเหลวในบริเวณนั้น าลดต่ำลง และเมื่อความดันลดต่ำกว่าความดันไอ ก็จะเกิดปรากฏการณ์ควิเดชันขึ้น ปรากฏการณ์ควิเดชัน มักเกิดขึ้นที่บริเวณทางเข้าและบริเวณใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ในระบบท่อที่มีการออกแบบไม่ดี และในบริเวณหลังสิ่งกีดขวางการไหล เช่น ท่อด้านเข้าของเครื่องสูบน้ำ และหลังวาล์วที่มีการหรีใกล้ปิด เป็นต้น ในการตรวจสอบว่าระบบการไหลจะมีปรากฏการณ์ควิเดชันเกิดขึ้นหรือไม่ หากไม่มีเครื่องมือเฉพาะก็อาจสามารถสังเกตได้ด้วยการฟังเสียงในส่วนที่เกิดปรากฏการณ์ควิเดชัน ซึ่งจะมีเสียงดังเหมือนก้อนกรวดกระแทกผิวโลหะ หรือสังเกตจากการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.26 แสดงถึงปรากฏการณ์ควิเดชันที่เกิดขึ้นบนแพนอากาศที่เห็นเป็นฟองไอ

ในการออกแบบเครื่องกังหันน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดควิเดชันหรือการเดือดกลายเป็นไอของของเหลวภายในระบบจะสามารถพิจารณาจากสมการต่อไปนี้

$$\sigma_{inst} = \frac{H_{atm} - H_v - H_s}{H} \quad (2.101)$$

- เมื่อ σ_{inst} = สัมประสิทธิ์ควิเดชันของการติดตั้งเครื่องกังหันน้ำ ไม่มีหน่วย
 H_{atm} = เสถความดันบรรยากาศ มีหน่วย m
 H_v = เสถความดันไอของของเหลว ณ อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วย m
 H_s = ความสูงจากใบพัดถึงท้ายน้ำ มีหน่วย m

โดยการออกแบบเครื่องกังหันน้ำให้มีความปลอดภัยต่อการเกิดควิเดชันควรกำหนดให้

$$\sigma_{inst} > \sigma_c \quad (2.102)$$

เมื่อ σ_c = สัมประสิทธิ์วิกฤติสำหรับการเกิดคาวิตีชันของเครื่องกังหันไอน้ำ

สำหรับความสูงมากที่สุดสำหรับเครื่องกังหันน้ำที่ติดตั้งไว้สูงจากท้ายน้ำ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Z_{max} = \frac{P_a - P_v}{\gamma} \sigma_c H \quad (2.103)$$

เมื่อ Z_{max} = ความสูงมากที่สุดสำหรับเครื่องกังหันน้ำที่ติดตั้งไว้สูงจากท้ายน้ำ มีหน่วย m
 σ_c = สัมประสิทธิ์วิกฤติสำหรับการเกิดคาวิตีชันของเครื่องกังหันไอน้ำ
 H = เสดสุทธิที่ใช้งานที่เครื่องกังหันน้ำ มีหน่วย m
 P_a = ความดันบรรยากาศ มีหน่วย Pa
 P_v = ความดันไอของน้ำ ณ อุณหภูมิที่กำหนด มีหน่วย Pa
 γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ มีหน่วย N/m^3

2.13 ปีโตน ทิว

ปีโตน ทิว (Pitot tube) เป็นเครื่องมือวัดความเร็ว ณ จุดใดๆ ของของไหล ความเร็วของของไหลที่จุด A จะวัดโดยการสอด ปีโตน ทิว ที่ตำแหน่ง B ของไหลจะเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B โดยความเร็วจะค่อยลดลง และเป็นศูนย์ที่จุด B โดยที่ความดัน ณ จุด B จะเพิ่มขึ้น ท่อในแนวตั้งที่ตำแหน่งเดียวกับจุด A จะทำหน้าที่วัด สเตติก เพรสเชอร์ (Static pressure) และ ปีโตน ทิว จะวัดความดันรวมที่จุด B ความดันเนื่องจากการไหลของของไหล (Dynamic pressure) หาได้จากผลต่างของความดันรวมและ สเตติก เพรสเชอร์

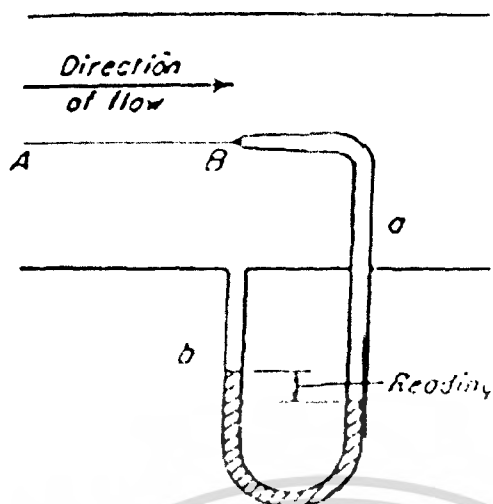
จากสมการ (2.28)

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B$$

ดังนั้นจะได้

$$V_A = \sqrt{\frac{2(P_B - P_B)}{\rho}} \quad (2.115)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การใช้งานปีโตต ทิว

2.14 Rope Brake

การวัดแรงบิด โดยการนำสปริงและน้ำหนักมาถ่วงจะมีสมการดังนี้

$$T = (W - kx) \frac{D}{2}$$

โดยที่

T คือ แรงบิด

W คือ แรงที่ได้จาก น้ำหนักที่ถ่วง

k คือ ค่าคงที่ของสปริง

x คือ ระยะหดตัวของสปริง

D เส้นผ่านศูนย์กลางของจานวัดแรง

บทที่ 3

การออกแบบชุดทดลอง

3.1 การเลือกคุณสมบัติของปั๊มน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ในการพิจารณาเลือกเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจะพิจารณาจากกราฟสมรรถนะหรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเสดกับอัตราการไหล ซึ่งกราฟสมรรถนะนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ กราฟเสดกับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำที่ทางบริษัทผู้ผลิตต้องเป็นผู้ทดสอบ และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นกราฟเสดกับอัตราการไหลของระบบที่ต้องการนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปใช้งาน โครงการนี้จะให้ความสำคัญในการเลือกใช้ปั๊มน้ำจากกราฟเสดกับอัตราการไหลของระบบโดยมีวิธีการคำนวณดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.1.1 การหาอัตราการไหลของระบบ

จะอ้างอิงทฤษฎีการคำนวณจากเรื่อง การคำนวณระยะการไหลเต็มท่อ (Fully developed flow)

$$\frac{L_e}{D} = 0.06Re \quad \text{สำหรับการไหลแบบราบเรียบ} \quad (2.22)$$

$$\frac{L_e}{D} = 4.4Re^{1/6} \quad \text{สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน} \quad (2.23)$$

กำหนดให้ชุดทดลองมีคุณสมบัติดังนี้

1. ระยะปากทางเข้า (L_e) มีระยะเท่ากับ 1 m
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อภายในระบบ เลือกใช้ที่ 100 mm หรือเท่ากับ 0.1 m
3. การทดลองอยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ

จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถหาเลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds number, Re) ได้จากการนำมาแทนค่าในสมการการคำนวณระยะการไหลเต็มท่อสำหรับการไหลแบบราบเรียบจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{L_e}{D} = 0.06Re \quad (2.22)$$

$$Re = \frac{L_e}{0.06D}$$

$$Re = \frac{1}{0.06 \times 0.1} = 166.667$$

นำเลขเรย์โนลด์ส์ที่ได้ข้างต้นมาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในระบบ จากสมการ
ต่อไปนี่

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (2.12)$$

$$V = \frac{\mu Re}{\rho D}$$

เมื่อคุณสมบัติของน้ำ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติดังนี้

$$\mu = 7.975 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

$$\rho = 995.7 \text{ kg} / \text{m}^3$$

แทนค่าได้

$$V = \frac{\mu Re}{\rho D} = \frac{7.975 \times 10^{-4} \times 166.67}{995.7 \times 0.1}$$

$$V = 1.334 \times 10^{-3} \text{ m} / \text{s}$$

นำค่าความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในระบบที่ได้จากการคำนวณมาหาอัตราการไหลของของไหล
ภายในระบบจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q = AV \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหล มีหน่วย m^3/s
 - A = พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำ มีหน่วย m^2
 - V = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล มีหน่วย m/s

$$Q = \left(\frac{\pi \times 0.1^2}{4} \right) 1.334 \times 10^{-3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.04 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \\
 &= 6.24 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{min} \\
 &= 0.624 \text{ liter} / \text{min}
 \end{aligned}$$

3.1.2 การหาเสดปั้มน้ำ

จากสมการการคำนวณเสดปั้มน้ำ

$$h_p = (Z_2 - Z_1) + h_L \quad (3.2)$$

- เมื่อ h_p = เสดของปั้มน้ำที่ต่ำที่สุดโดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ มีหน่วย m
 h_L = เสดสูญเสียของการไหล โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ มีหน่วย m
 Z_1 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด (1) มีหน่วย m
 Z_2 = ความสูงของน้ำที่หน้าตัด (2) มีหน่วย m

เมื่อ Z_1 เป็นระดับอ้างอิง ($Z_1 = 0$) ความสูงของท่อจากระดับอ้างอิง (Z_2) คือ 0.76 m และ h_L คือ เสดสูญเสียซึ่งหาได้จากสมการ

$$h_L = h_{\text{minor}} + h_{\text{major}} \quad (3.3)$$

หรือ

$$h_L = \sum K \frac{V^2}{2g} + f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (3.4)$$

พิจารณาที่ h_{major}

$$h_{\text{major}} = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} = \frac{1.215 \times 10^{10} \times Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times D^{4.87}} \quad (3.5)$$

- เมื่อ L = ความยาวท่รวมของระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.04 m.
 C = ค่าคงตัวของเฮเซน-วิลเลียมส์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 140
 Q = อัตราการไหล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.4 l/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$h_{major} = \frac{1.215 \times 10^{10} \times 10.4^{1.852} \times 4.04}{140^{1.852} \times 100^{4.87}}$$

$$= 0.07242 \text{ m}$$

พิจารณาที่ h_{minor}

$$h_{minor} = \sum K \frac{V^2}{2g} \quad (3.6)$$

เมื่อ $K =$ สัมประสิทธิ์การสูญเสีย และสามารถแจกแจงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย
ได้ดังนี้

ความต้านการไหลก่อนเข้าท่อคอค	$K = 0.5$
ข้องอ 90° รัศมีสั้น 2 ท่อ	$K = 0.9$
ท่อสามทางไหลแยก แบบเกลียว 2 ท่อ	$K = 2.0 \times 2 = 4.0$
เกวาล์วเปิดเต็มที่	$K = 0.15$

ดังนั้น

$$h_{minor} = (0.5 + 0.9 + 2.0 + 2.0 + 0.15 + 0.9) \frac{1.324^2}{2 \times 9.816}$$

$$= 0.57608 \text{ m}$$

ดังนั้นค่าเสดสูญเสียรวมมีค่าเท่ากับ

$$h_L = 0.57608 + 0.07242$$

$$= 0.6485 \text{ m}$$

นำค่าที่คำนวณได้มาแทนในสมการการคำนวณเสดป้มน้ำ

$$h_p = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

$$h_p = 0.76 + 0.6485$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_p = 1.4085 \text{ m}$$

ความดันที่ตกคร่อมระหว่างชุดใบพัดเมื่อกำหนดให้ใบพัดทำความเร็วในย่านความเร็วรอบที่ $\omega = 300 \text{ rad/s}$ รัศมีเฉลี่ยจากจุดกึ่งกลางท่อเท่ากับ 3.25 mm และสมมุติให้การเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างชุดใบพัดเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น จะสามารถหาความดันที่ตกคร่อมได้ดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานจลน์} = \frac{1}{2} \rho V^2 = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 \quad (3.7)$$

$$\text{พลังงานศักย์} = \rho g h \quad (3.8)$$

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไม่มีการสูญเสีย

$$\rho g h = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 \quad (3.9)$$

$$h = \frac{\frac{1}{2} \omega^2 r^2}{g} = \frac{\frac{1}{2} \times 300^2 \times (32.5 \times 10^{-3})^2}{9.816}$$

$$h = 4.842 \text{ m}$$

ทำการรวมเสดทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาเสดขั้นต่ำในการเลือกใช้ปั๊ม

$$h = 1.4085 + 4.842$$

$$h = 6.2505 \text{ m}$$

ดังนั้นคุณสมบัติที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้ปั๊มน้ำ จะเลือกจากคุณสมบัติดังนี้

อัตราการไหลไม่ต่ำกว่า $0.624 \text{ m}^3/\text{min}$

เสดปั๊มน้ำไม่ต่ำกว่า 6.2505 m

3.2 การออกแบบใบพัด

ในการออกแบบใบพัดจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ค่าความยาวเส้นคอร์ด (l)
2. จำนวนของใบพัด (Z)
3. รัศมีความยาวเฉลี่ยของใบพัด (r)

โดยกำหนดให้ใช้จำนวนใบพัด (Z) 4 ใบ และมีรัศมีเฉลี่ย (r) 32.5 mm นำค่าที่กำหนดมาหาค่าความยาวเส้นคอร์ดได้ ดังนี้

$$l = \frac{2\pi r}{Z} = \frac{2\pi(32.5 \times 10^{-3})}{4} = 0.051 \text{ m}$$

จากทฤษฎีแพนอากาศสามารถนำมาคำนวณเพื่อออกแบบลักษณะแพนอากาศของใบพัดได้ดังนี้

1. เลือกค่า x ตั้งแต่ 0 ถึงความยาวสุดของ chord
2. คำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นโค้ง (Camber line) โดยคำนวณในแต่ละพิกัด x

$$y_c = \frac{m}{p^2} (2px - x^2) \quad \text{from } x = 0 \text{ to } x = p \quad (2.36)$$

$$y_c = \frac{m}{(1-p)^2} [(1-2p) + 2px - x^2] \quad \text{from } x = p \text{ to } x = c \quad (2.37)$$

3. คำนวณการกระจายตัวของความหนาด้านบนแพนอากาศ (+) และด้านล่างแพนอากาศ (-) ของเส้นโค้ง (Camber line) โดยคำนวณในแต่ละพิกัด x

$$\pm y_i = \frac{t}{0.2} (0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4) \quad (2.38)$$

4. กำหนดพิกัดสุดท้ายสำหรับหาพิกัดพื้นผิวด้านบน (+) และพิกัดพื้นผิวด้านล่าง (-)

$$x_U = x - y_i \sin \theta \quad (2.39)$$

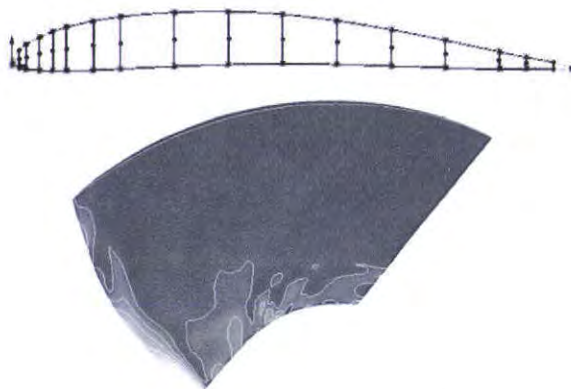
$$y_U = y_c + y_i \cos \theta \quad (2.40)$$

$$x_L = x + y_i \sin \theta \quad (2.41)$$

$$y_L = y_c - y_i \cos \theta \quad (2.42)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{dy_c}{dx}\right) \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

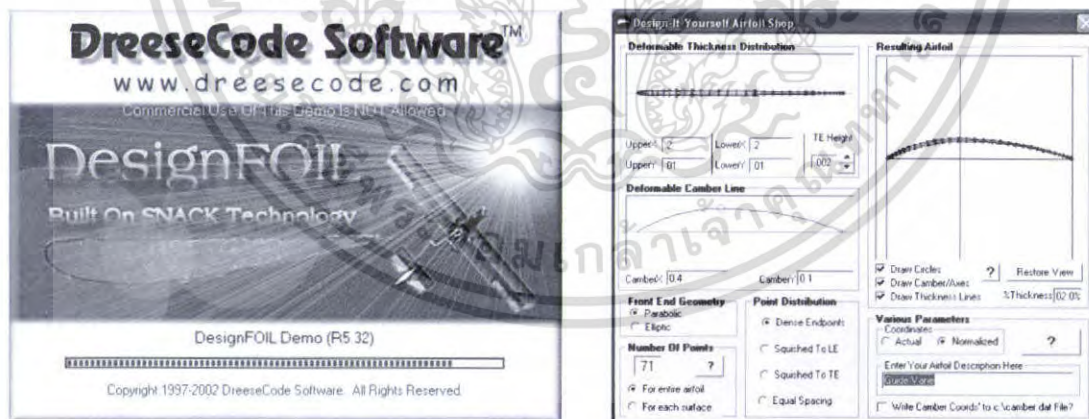


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะใบพัดสองและสามมิติที่ได้จากการคำนวณ

3.3 การออกแบบใบพัดบังคับทิศทาง

ใบพัดบังคับทิศทาง (guide vane) คือ ใบพัดที่ยึดติดอยู่กับที่เพื่อปรับทิศทางกระแสลมที่ไหลภายในระบบให้มีทิศทาง และ ยังช่วยในการเพิ่มความเร็วให้ของไหล โดยการลดความดันของของไหลก่อนเข้าสู่ใบพัด (Runner) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชุดกังหัน (Turbine) ให้ทำงาน ได้เต็มประสิทธิภาพ โดยคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบใบพัดบังคับทิศทางนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการความดันตกคร่อมระหว่างก่อนเข้าและออกจากชุดใบพัดบังคับทิศทางให้น้อยที่สุด

โดยการวิเคราะห์เพื่อออกแบบในที่นี้จะให้ความสนใจในการเกิด แรงยก (lift force) และ แรงต้าน (drag force) ที่เกิดจากของไหลไหลผ่านแพนอากาศให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด



รูปที่ 3.2 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบใบพัดบังคับทิศทาง

ในการออกแบบจะใช้โปรแกรม DesignFOIL ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลักษณะแพนอากาศตามหลักการแพนอากาศแบบนากา และยังสามารถทำการวิเคราะห์หาภาระแรงกระทำที่เกิดจากของไหลไหลผ่านแพนอากาศแบบเบื้องต้นได้ ในที่นี้สามารถศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมอย่างละเอียดได้ในภาคผนวกท้ายเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์เมื่อมีการปรับลักษณะใบพัดบังคับทิศทางให้มีลักษณะต่างกันพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้าน ดังนี้

เมื่อกำหนดให้ ลักษณะแผนอากาศของใบพัดบังคับทิศทางเป็นแบบแผ่นบาง

ค่า Upper X = 20%

ค่า Upper Y = 1%

ค่า Lower X = 20%

ค่า Lower Y = 1%

จากการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ค่าคุณสมบัติ

Chamber X = 10%

Chamber Y = 40%

การคำนวณหาความยาวเส้นกอร์ดของใบพัดบังคับทิศทางใช้หลักการเดียวกับการหาความยาวเส้นกอร์ดของใบพัด คือ

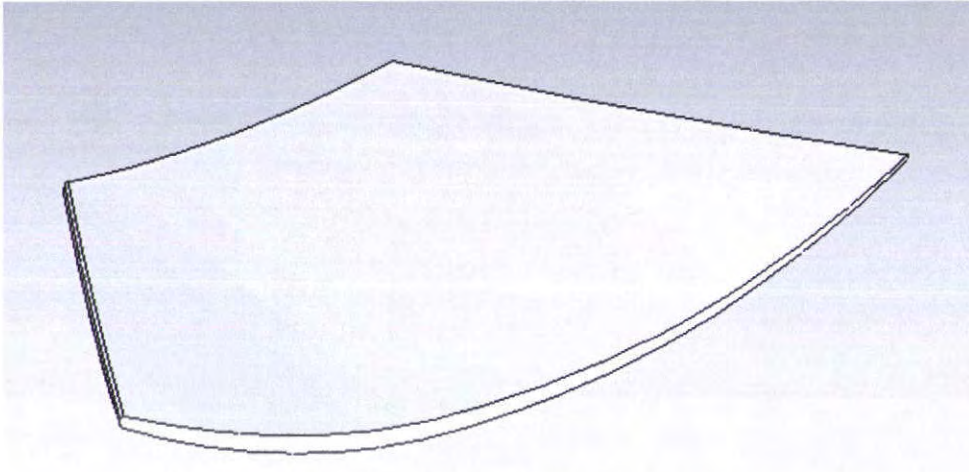
จากการกำหนดค่า รัศมีเฉลี่ยของใบพัด (r) = 42.5 mm

จำนวนใบพัดชักนำ (Z) = 8 ใบ

แทนค่าในสมการได้

$$l = \frac{2\pi r}{Z} = \frac{2\pi(42.5 \times 10^{-3})}{8} = 0.0339286$$

ค่าความยาวเส้นกอร์ดของใบพัดบังคับทิศทาง = 0.0339286 m = 3.39286 cm



รูปที่ 3.3 แสดงใบพัดบังคับทิศทางเมื่อวาดตามความยาวเส้นโค้ง



รูปที่ 3.5 แสดงใบพัดบังคับทิศทางที่สร้างตามการคำนวณ

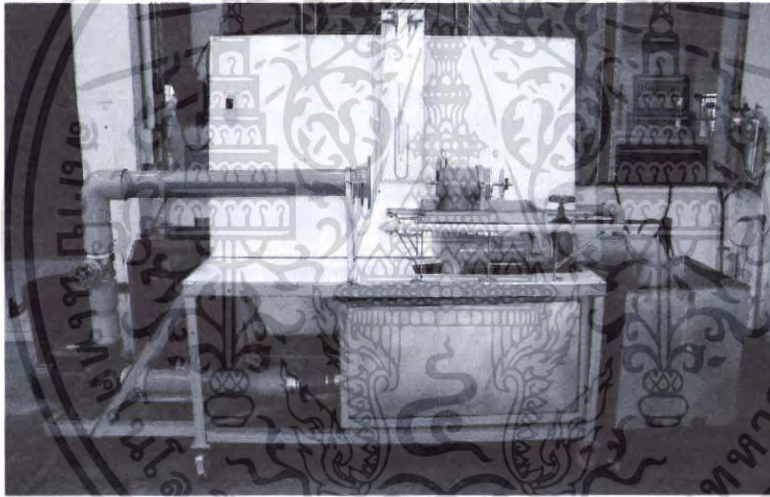
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. ไบพัสจำนวน 48 ไบ
2. คูมไบพัส 9 อัน
3. ชุดบังคับทิศทาง
4. อุปกรณ์ปรับมุมไบพัส
5. อุปกรณ์ปรับมุมไบบังคับทิศทาง
6. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ Tachometer
7. ประแจ 6 เหลี่ยม เบอร์ 5
8. ประแจแหวน เบอร์ 17

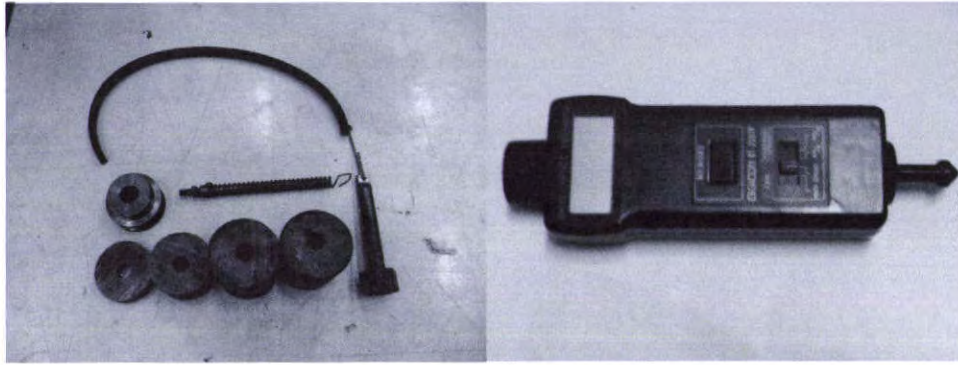


รูปที่ 4.1 แสดงชุดทดลองหลัก

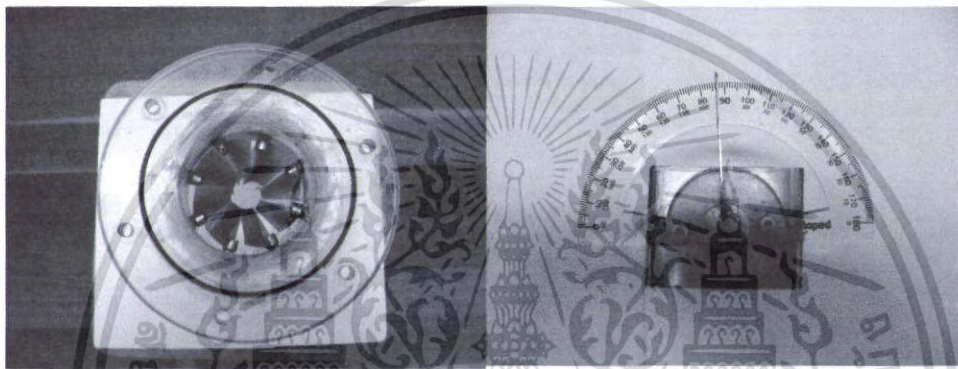
ชุดทดลองหลักมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. ถังเก็บน้ำ
2. ป้อนน้ำ
3. ประคบน้ำ
4. U-tube
5. Rope-Brake
6. ประคบน้ำ สำหรับปรับกระแส น้ำลงถึงวัดอัตราการไหล
7. ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

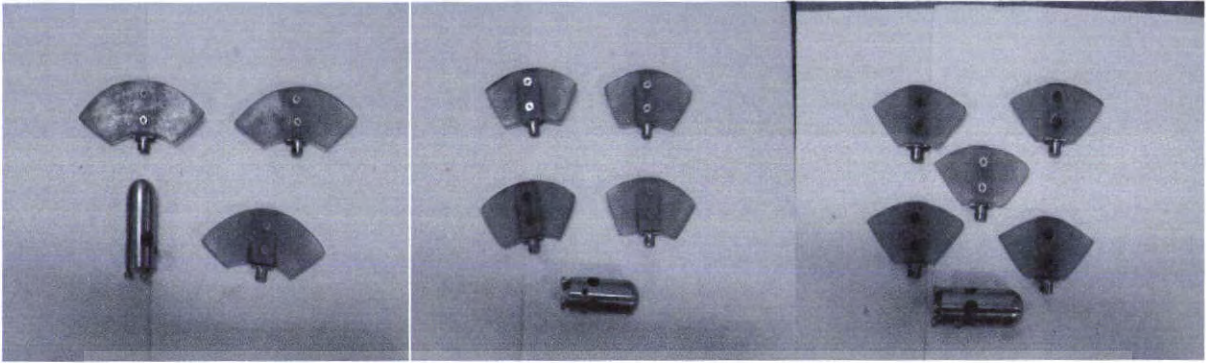


รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ



รูปที่ 4.2 แสดงชุดบังคับทิศทางและอุปกรณ์ปรับมุม

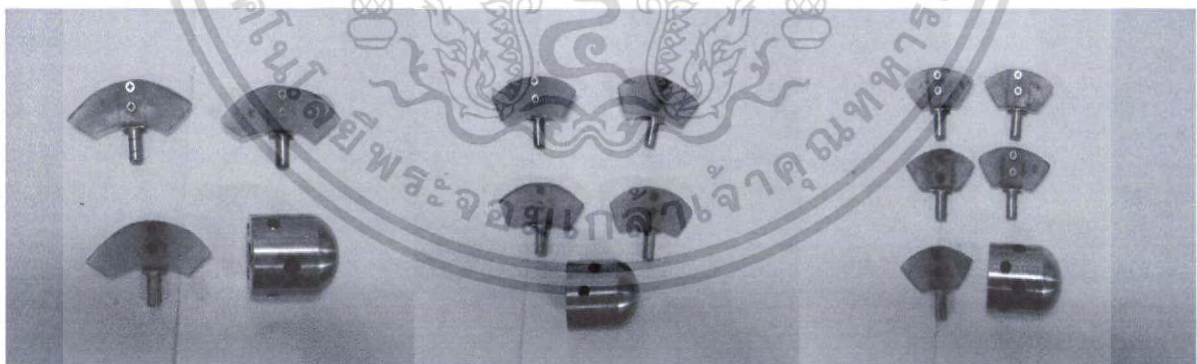
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงใบพัด ดุมใบพัดที่ 20 mm



รูปที่ 4.5 แสดงใบพัด ดุมใบพัดที่ 30 mm

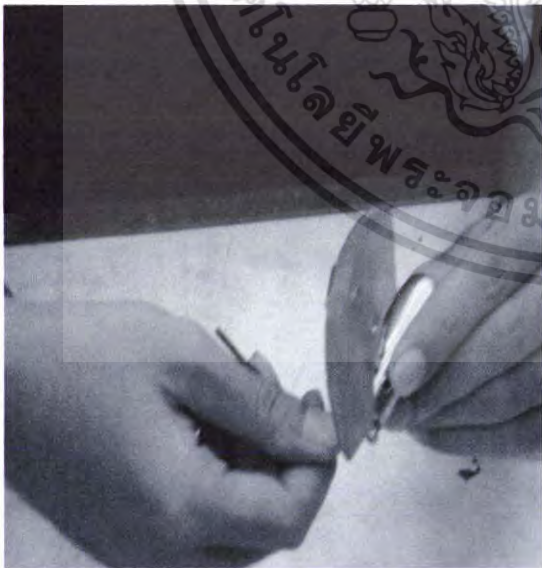


รูปที่ 4.6 แสดงใบพัด ดุมใบพัดที่ 40 mm

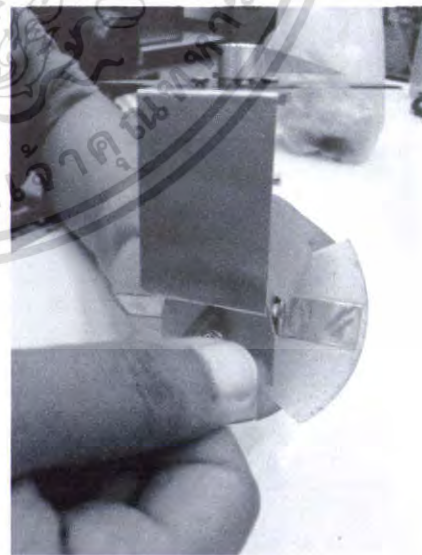
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมอุปกรณ์
2. ทำการประกอบใบพัดเข้ากับคুমใบพัด
3. ปรับมุมใบพัดให้ได้ตามที่ต้องการ
4. นำคুমใบพัดที่ทำการประกอบใบพัด ติดตั้งกับชุดท้ายของชุดทดลองหลัก
5. นำชุดใบพัดบังคับทิศทาง ติดตั้งกับชุดทดลองหลัก
6. นำชุดท้ายที่ประกอบด้วย ชุดใบพัดบังคับทิศทางและ คุมใบพัดติดตั้งเข้ากับชุดทดลองหลัก ด้านหน้า
7. ปรับมุมใบพัดทิศทางให้ได้ตามที่ต้องการ
8. เปิดปั๊มน้ำ
9. บันทึกค่าต่างๆ ต่อไปนี้
 ความดันก่อนเข้าชุดใบบังคับทิศทางชุดที่ 1
 ความเร็วรอบโดยอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ
 น้ำหนักที่ได้จากการหมุนของเพลา
 อัตราการไหลของน้ำ
10. ทำการเปลี่ยนมุม และทำการทดลองซ้ำจนครบตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.7 แสดงการประกอบชุดใบพัด



รูปที่ 4.8 แสดงการใช้อุปกรณ์ปรับมุมปรับมุมใบพัด

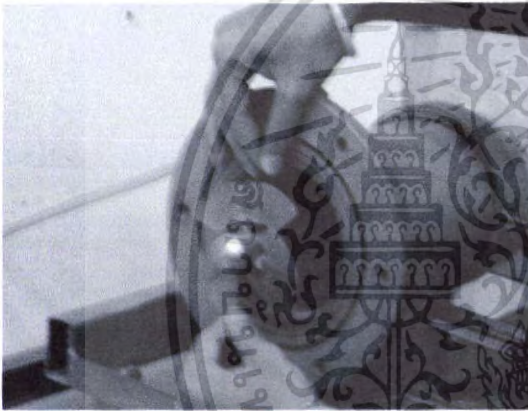
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



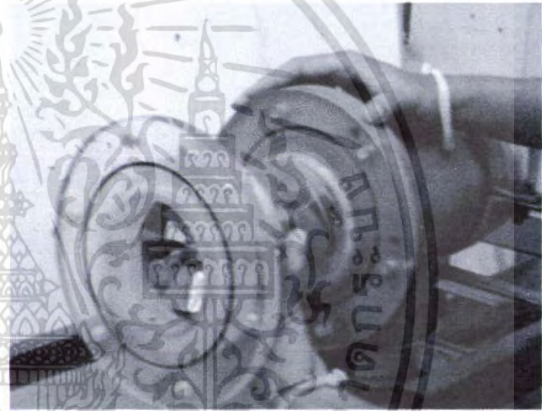
รูปที่ 4.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุม



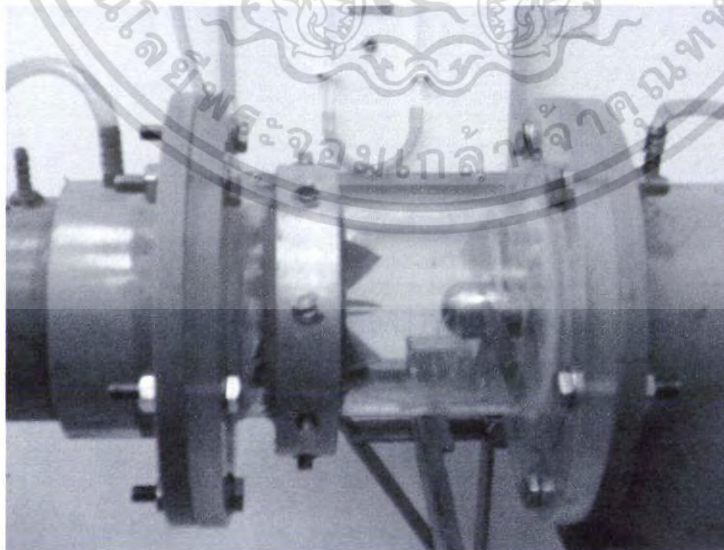
รูปที่ 4.10 แสดงการปรับมุมชุดบังคับทิศทาง



รูปที่ 4.11 แสดงการติดตั้งชุดใบพัด



รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งชุดใบบังคับทิศทาง



รูปที่ 4.13 แสดงชุดกังหันน้ำแบบหลายชั้นที่ติดตั้งสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

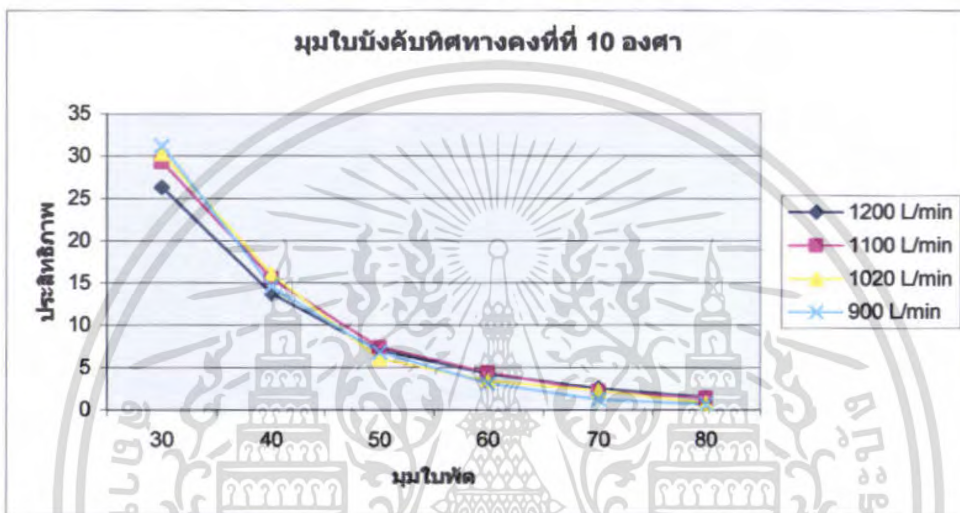
บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (แกนY) กับมุมใบพัด (แกนX) ที่อัตราการไหลต่างๆ เมื่อมุมใบบังคับทิศทาง คงที่ที่มุมต่างๆ

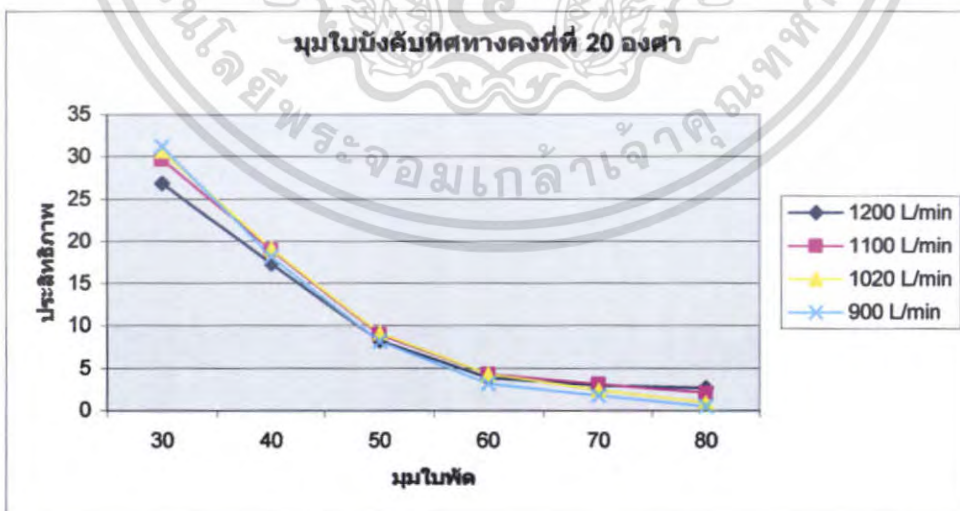
$$\frac{d}{D} = 0.2$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

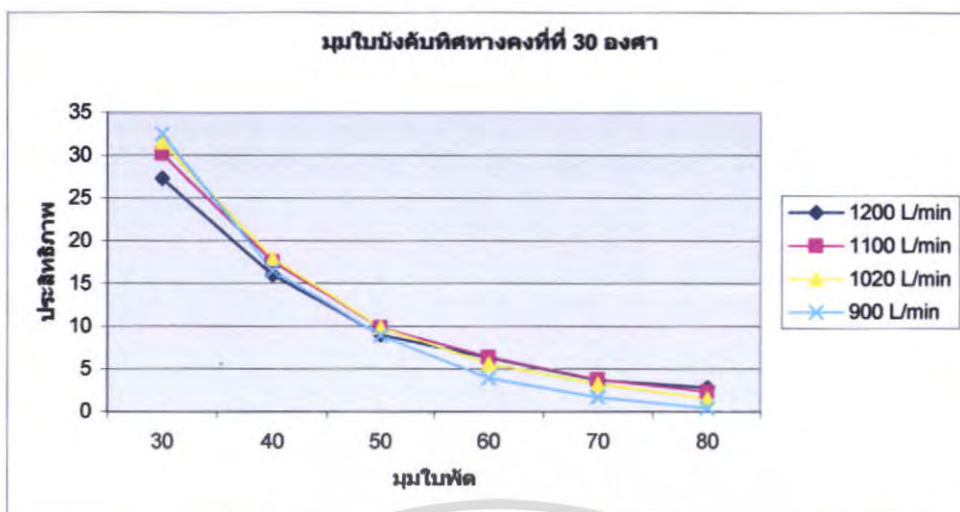
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

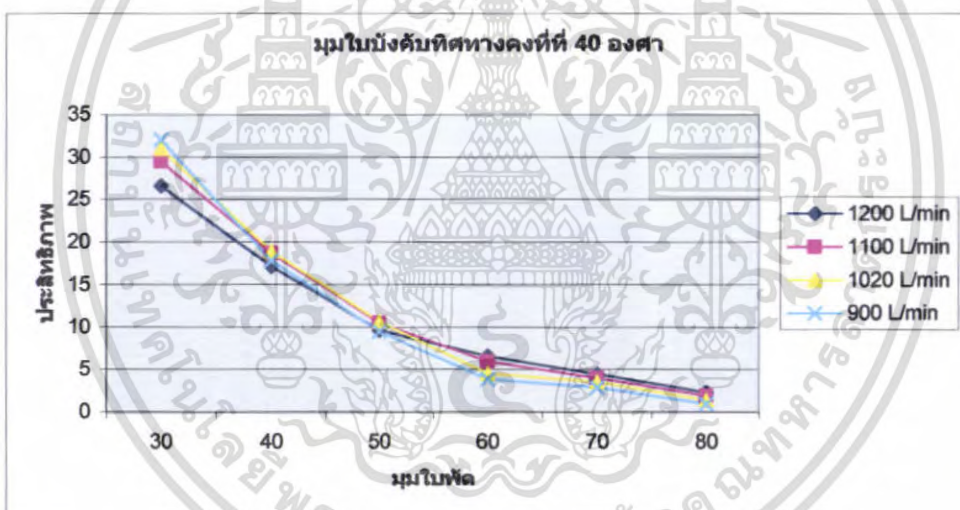
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูไบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมูไบบั้งค้ำทิศทางคองที่ 30 องศา

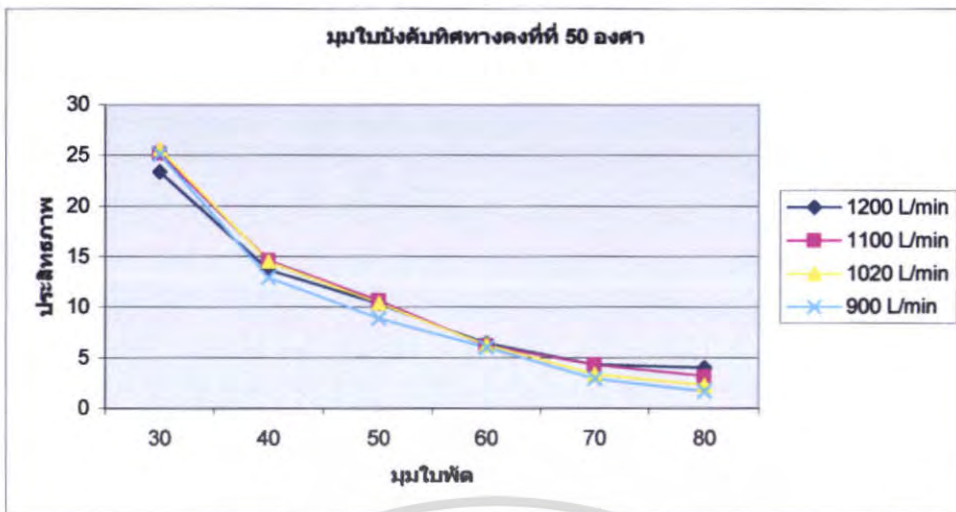
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มูไบพัดปรับที่มูม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูไบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมูไบบั้งค้ำทิศทางคองที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มูไบพัดปรับที่มูม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

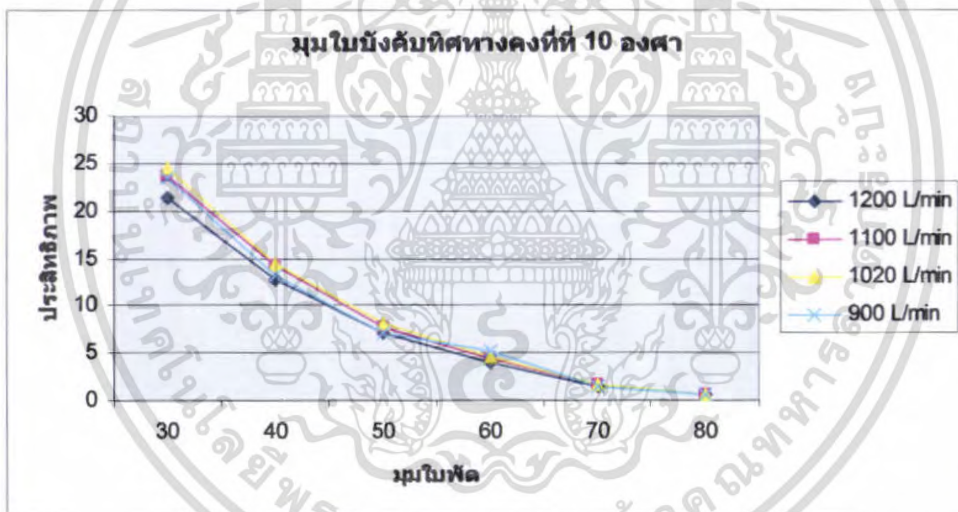
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

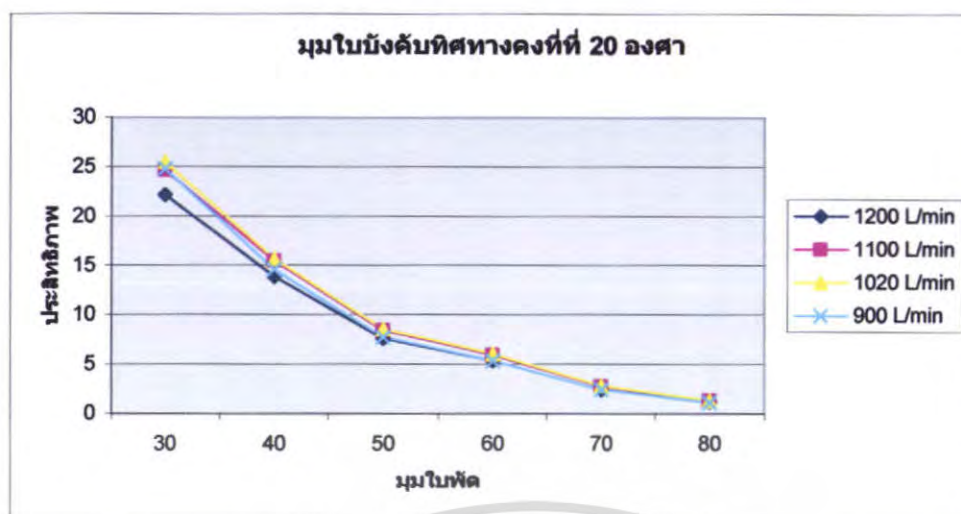
จำนวนใบพัด 4 ใบ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

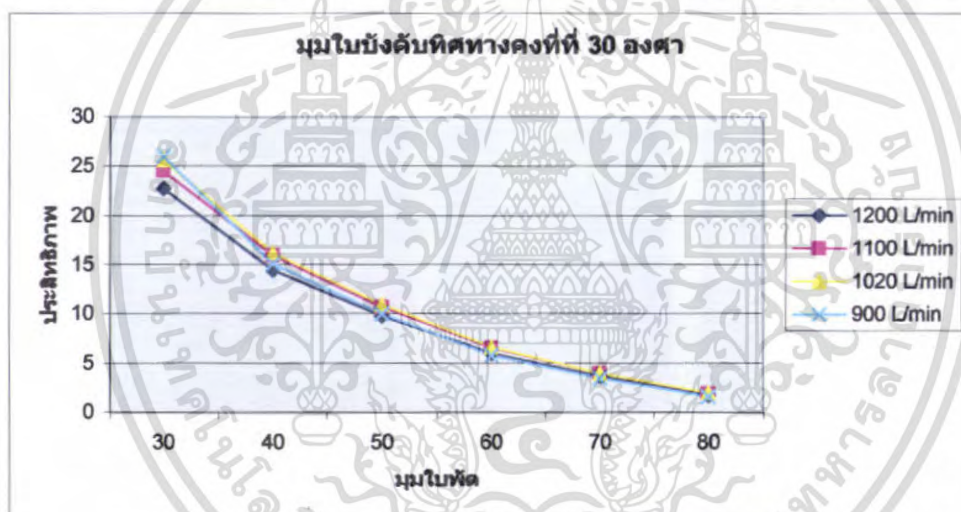
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

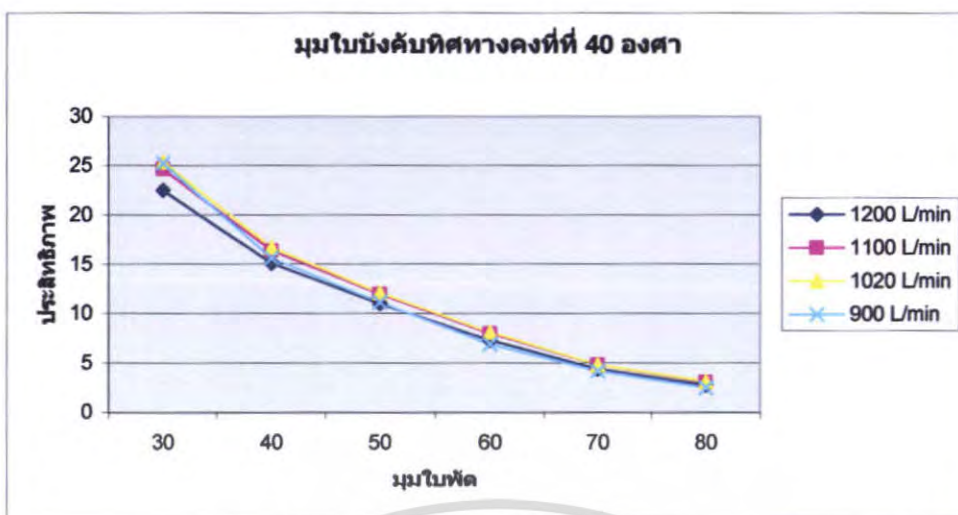
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

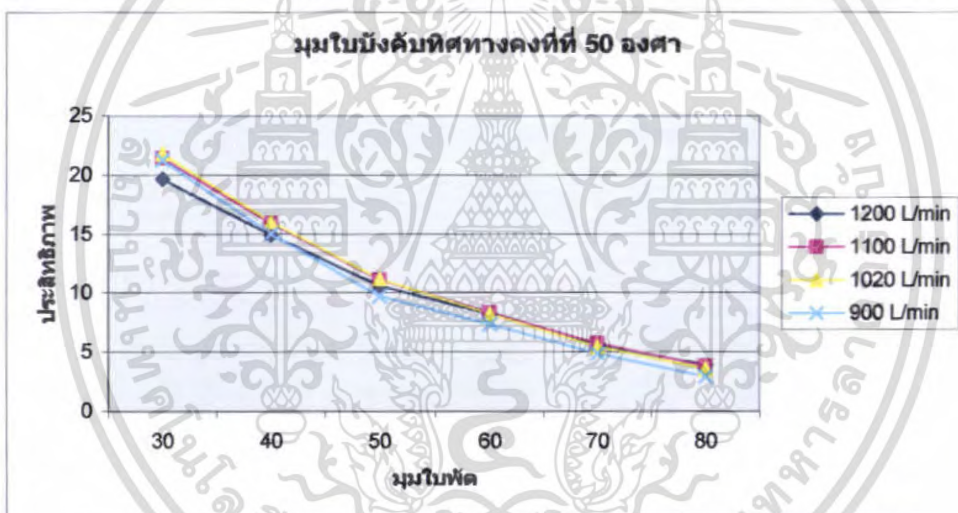
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ ลมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min

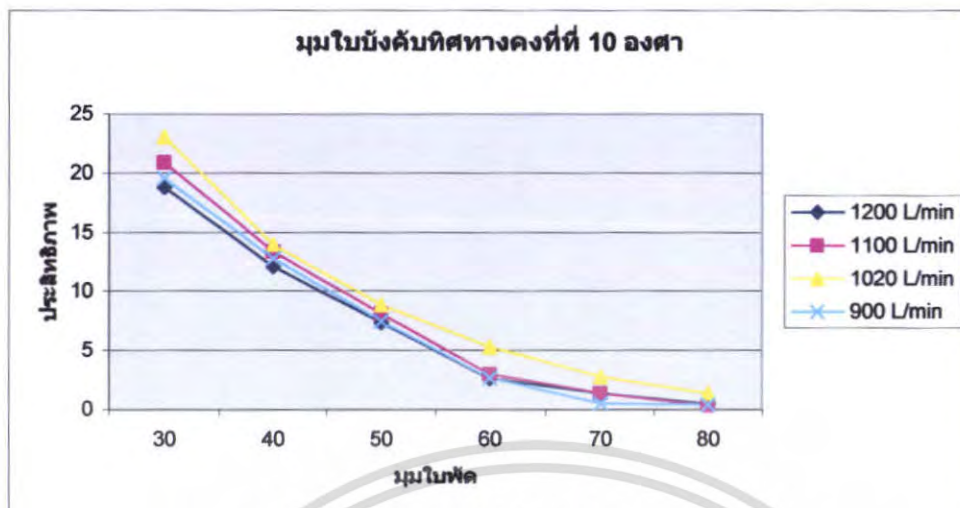


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ ลมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min

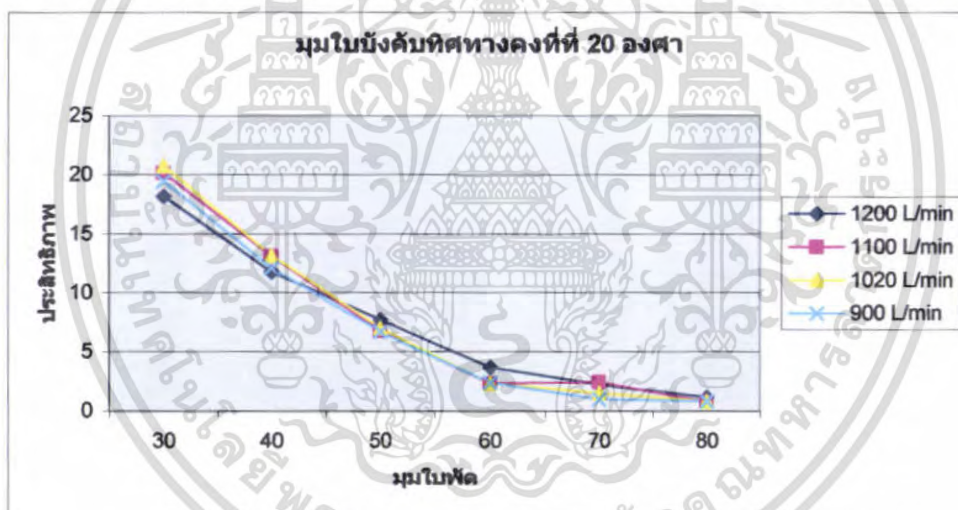
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 5 ใบ



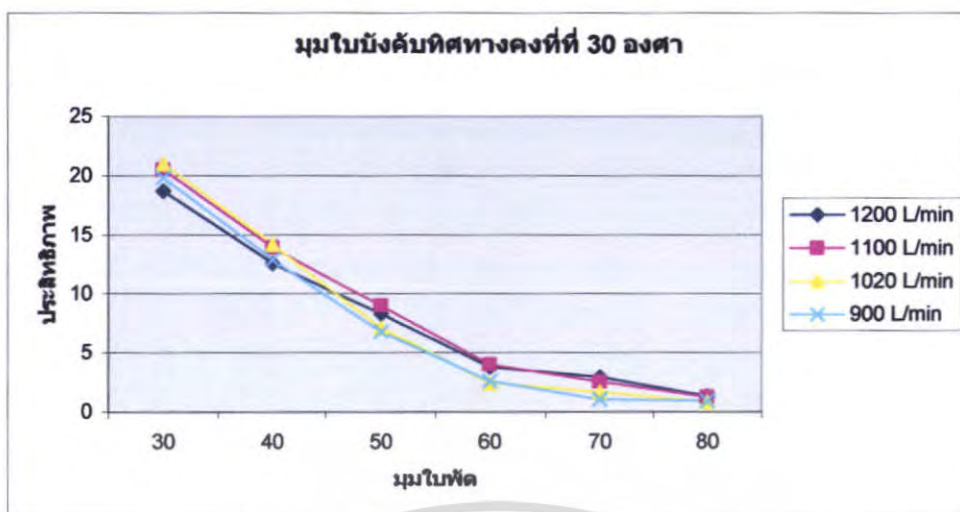
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



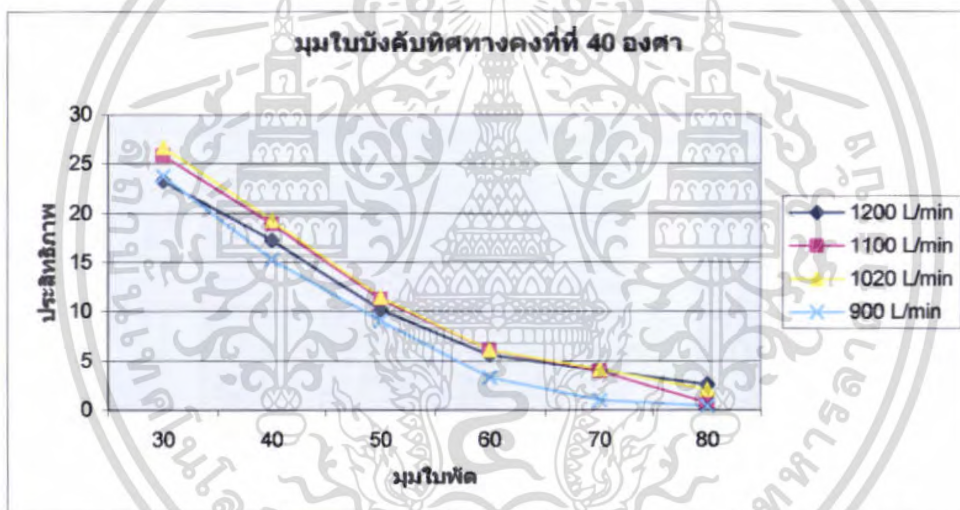
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 30 องศา

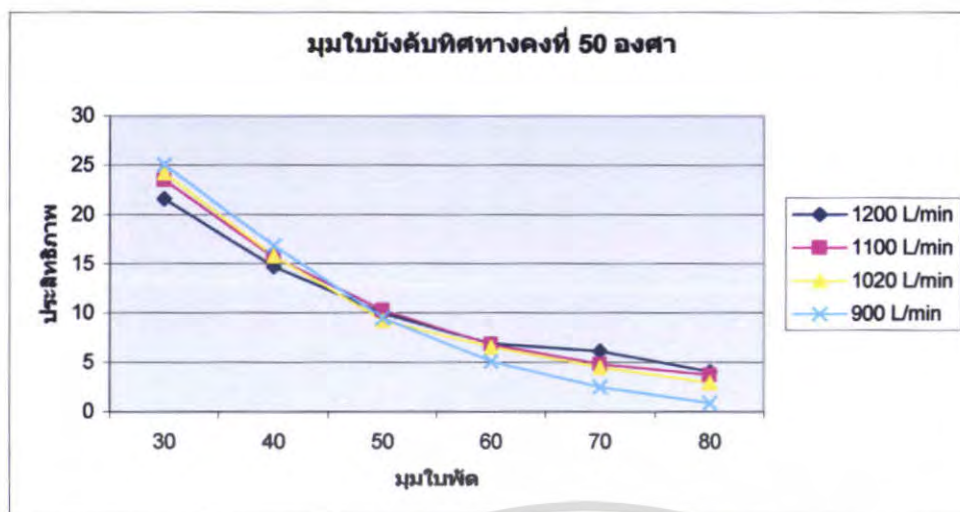
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

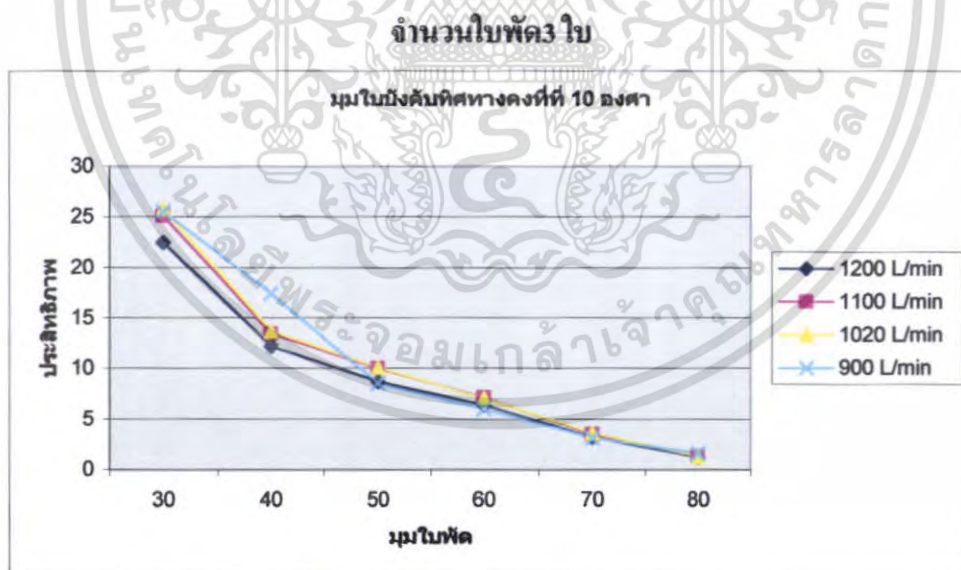
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

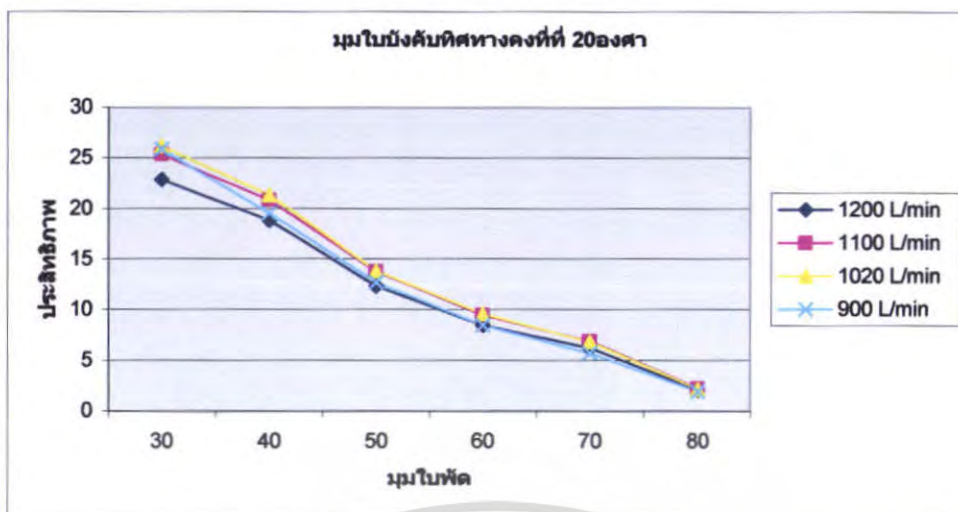
$$\frac{d}{D} = 0.3$$



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

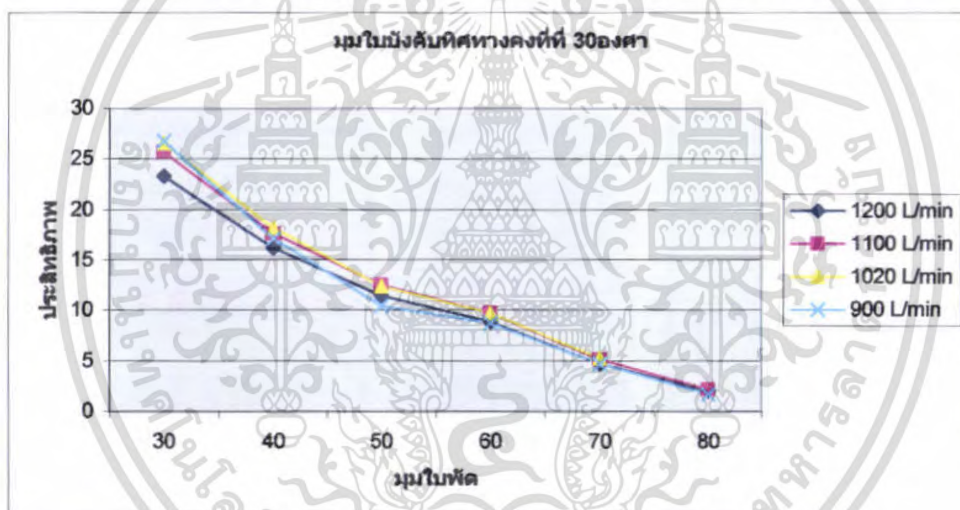
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมโบมบั้ง (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมมโบมบั้งคับคิตทางคองที่ 20 องศา

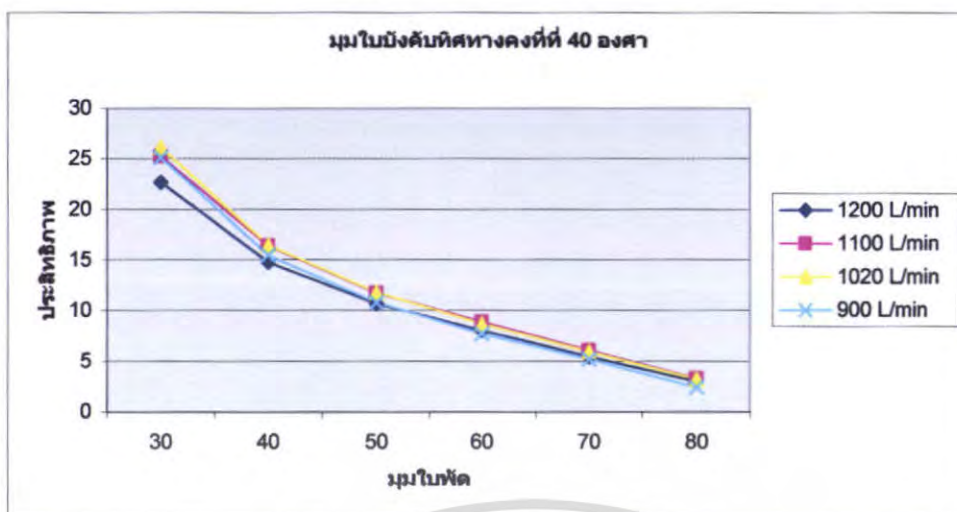
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มมโบมบั้งปรับที่มม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมโบมบั้ง (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมมโบมบั้งคับคิตทางคองที่ 30 องศา

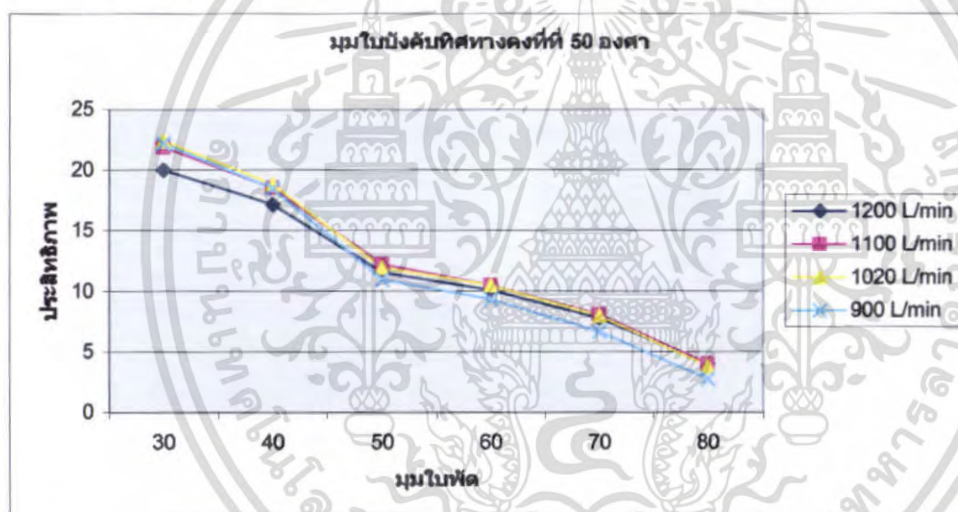
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มมโบมบั้งปรับที่มม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อลมใบบั้งคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ ลมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

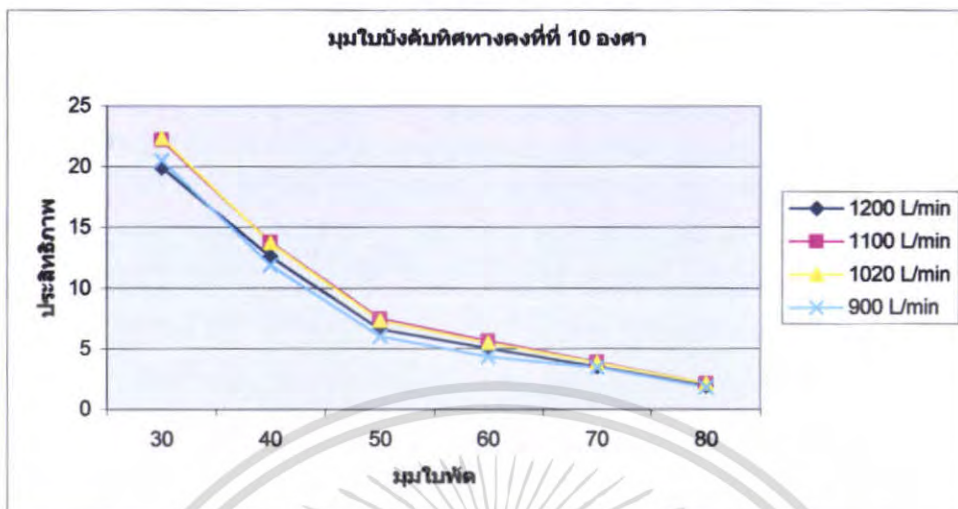


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อลมใบบั้งคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ ลมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

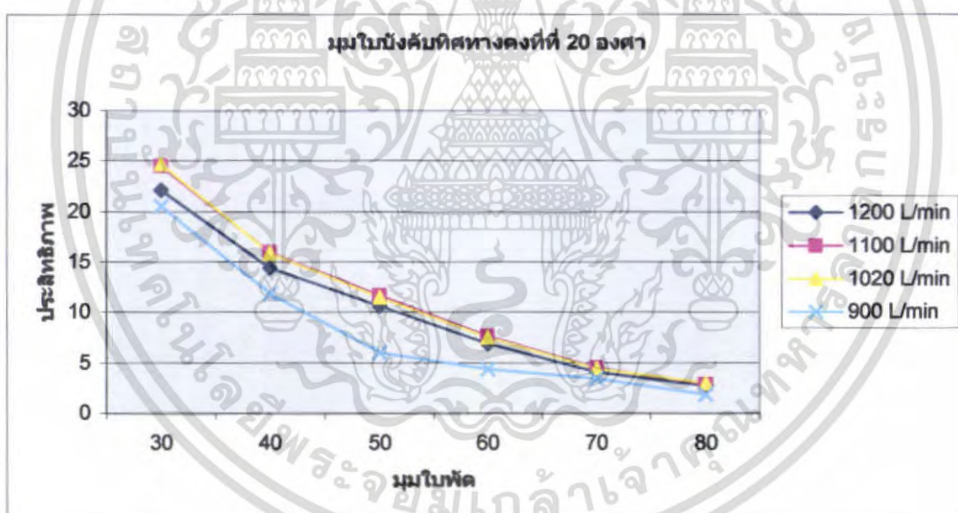
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด4 ใบ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

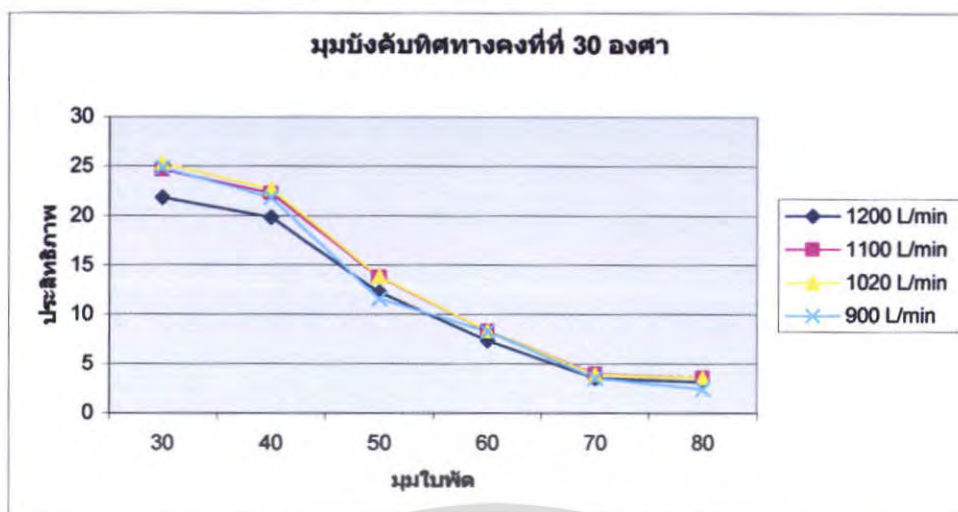
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

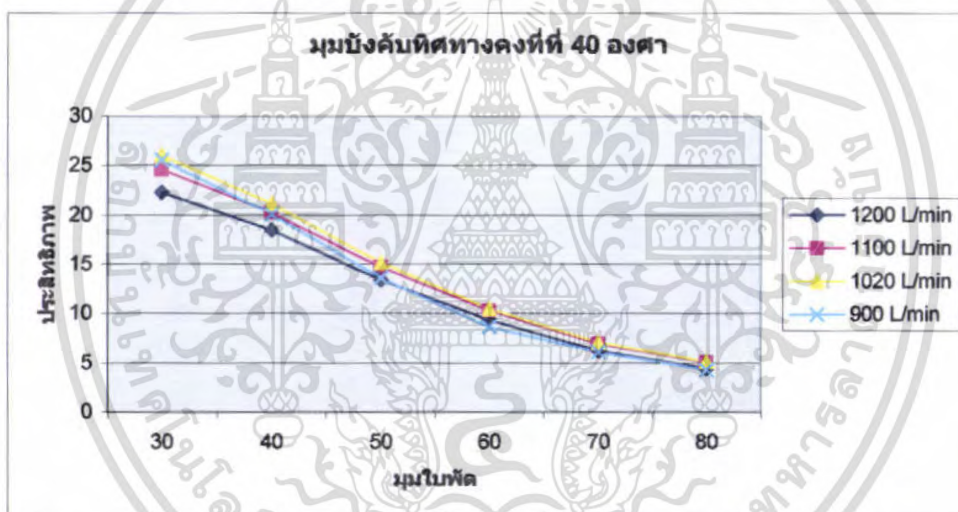
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



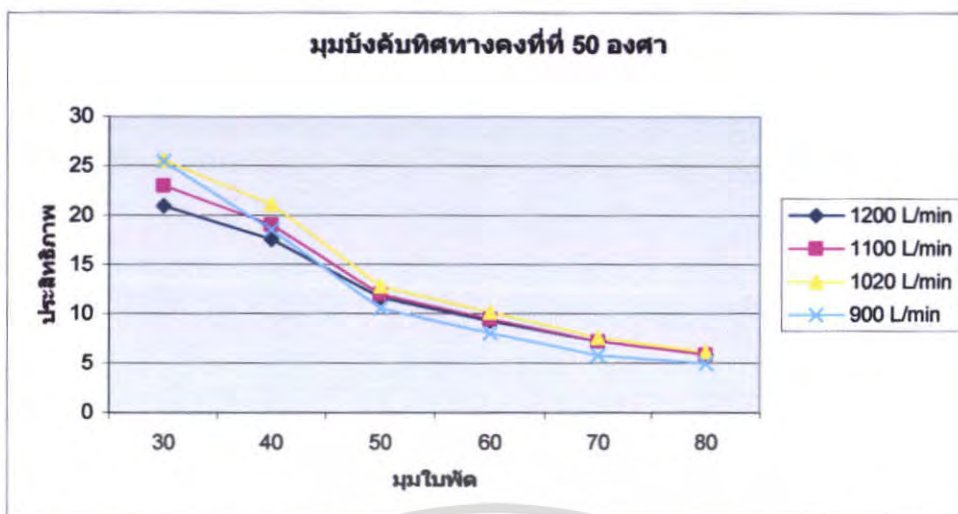
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมมใบบั้งคัฒทิศทงคงที่ 30 องศ

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงคุดเมื่อ มมใบพัดปรับที่มม 30 องศ อัตรการไหล 1020 L/min



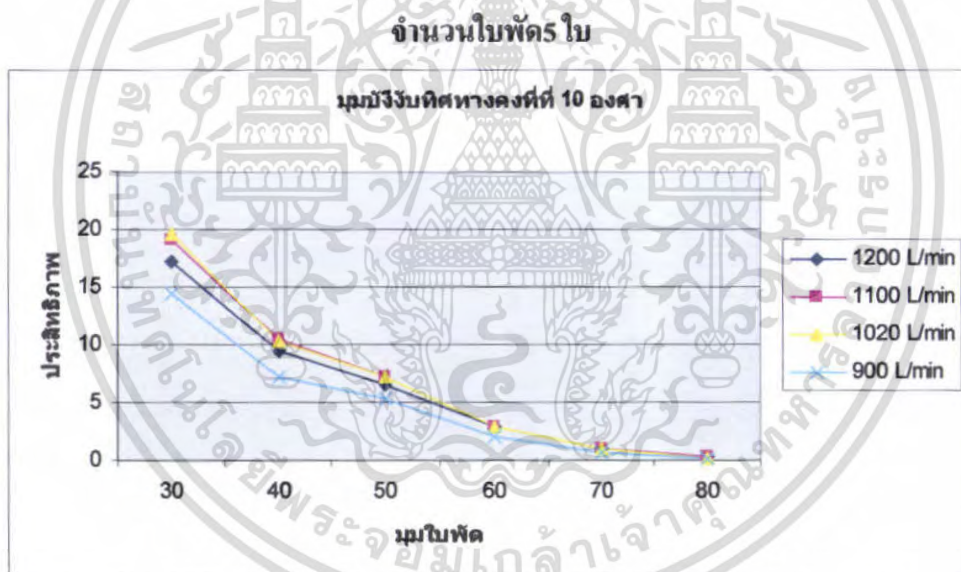
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมมใบบั้งคัฒทิศทงคงที่ 40 องศ

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงคุดเมื่อ มมใบพัดปรับที่มม 30 องศ อัตรการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบั้งคืบทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

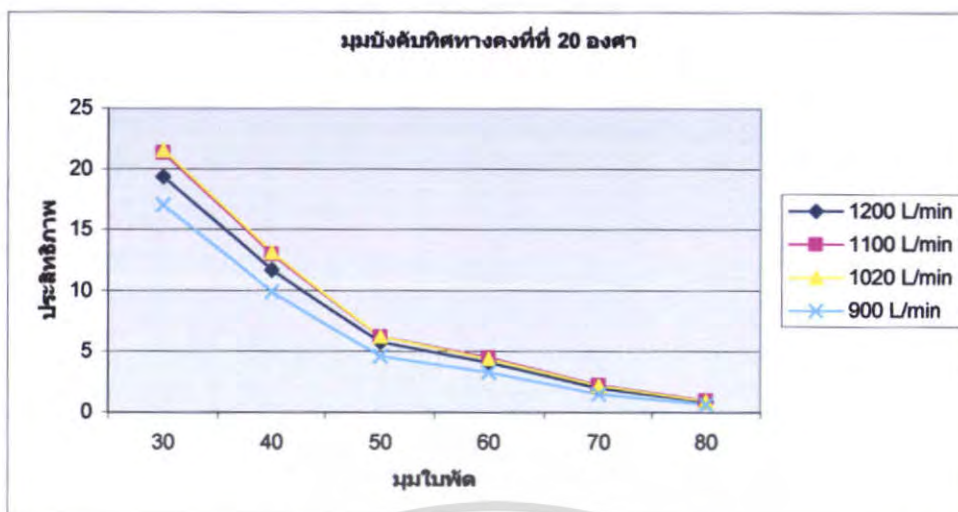
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบั้งคืบทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

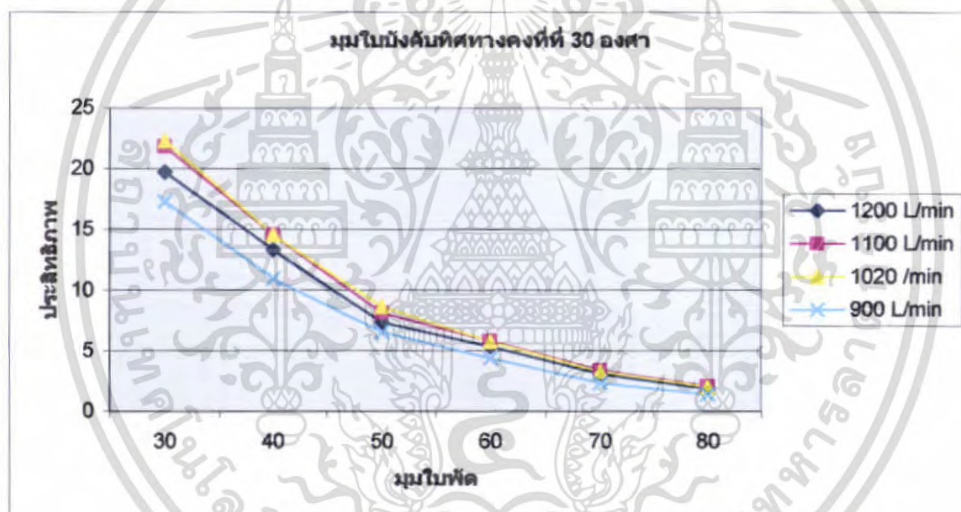
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบั้งคืบทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

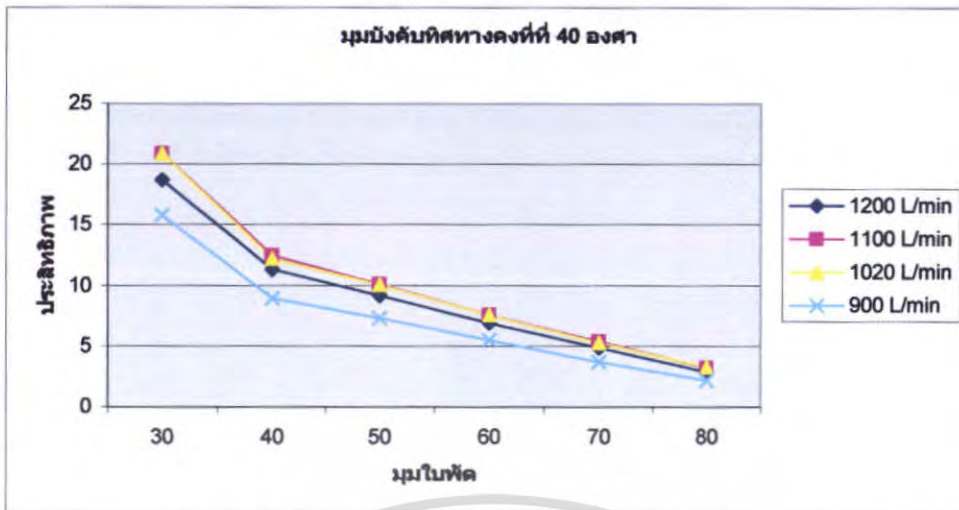
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบั้งคืบทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

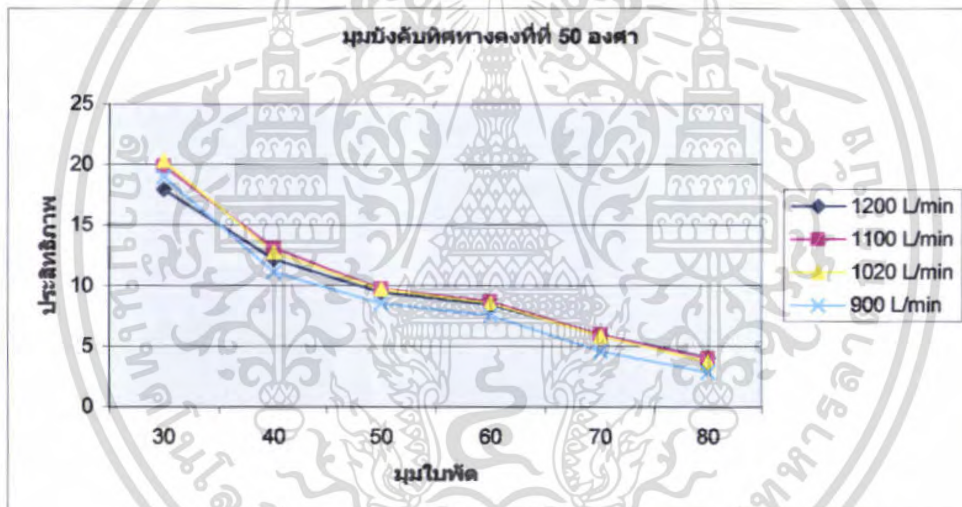
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบึงคับทิศทางคองที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



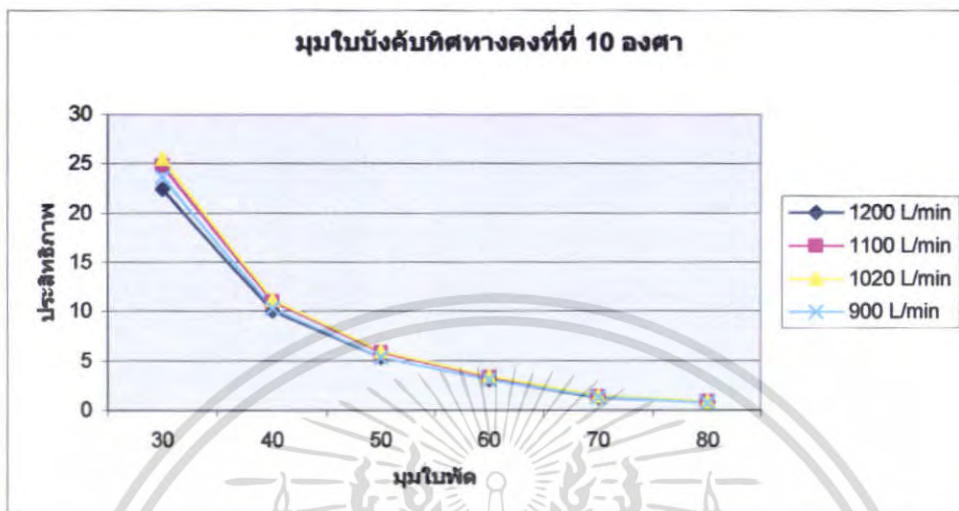
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกนX) กับประสิทธิภาพ (แกนY) เมื่อมุมใบบึงคับทิศทางคองที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

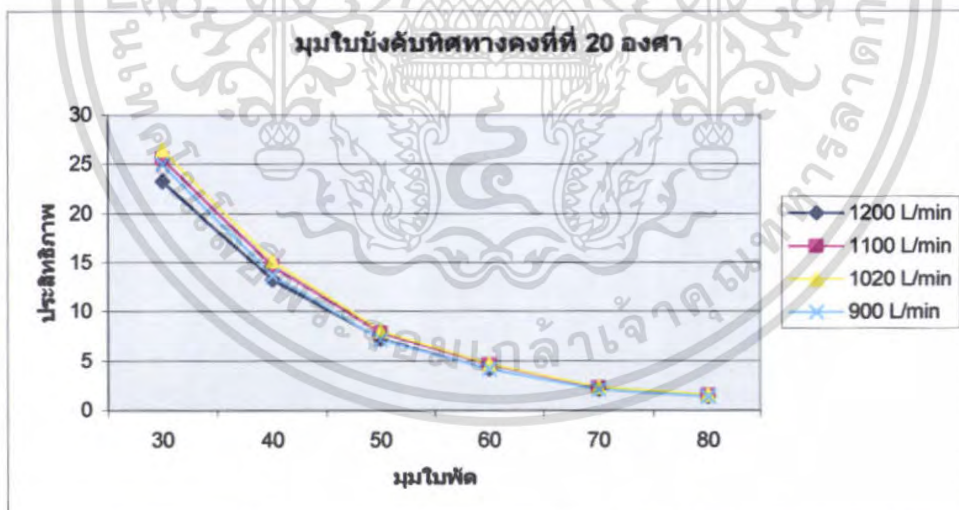
$$\frac{d}{D} = 0.4$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 10 องศา

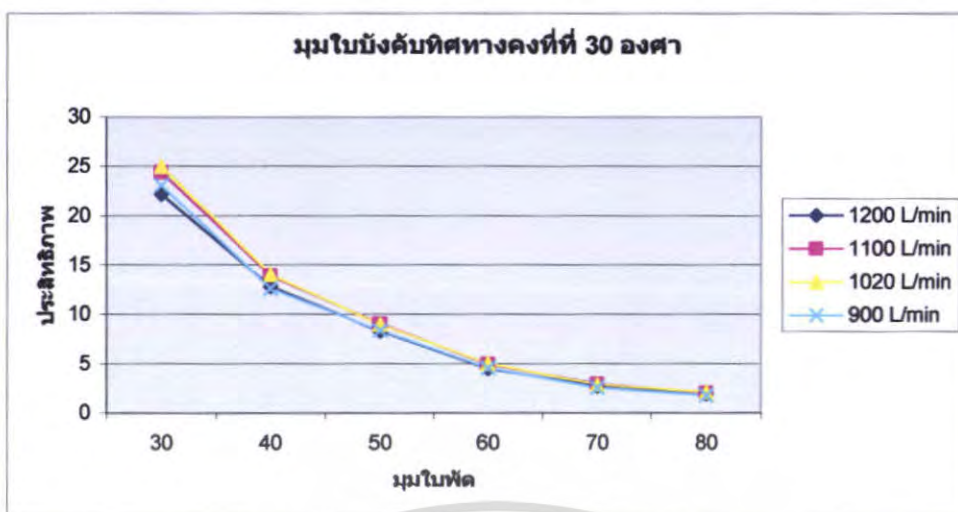
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 20 องศา

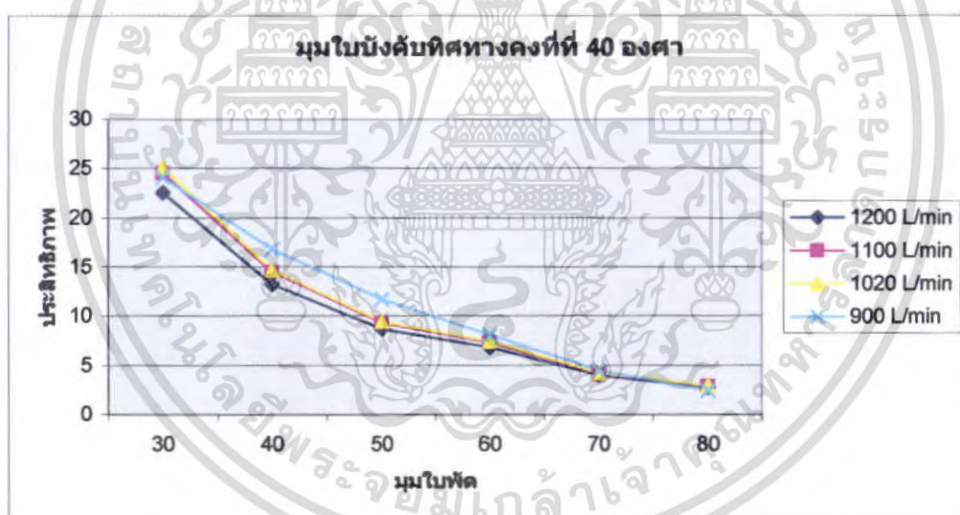
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 30 องศา

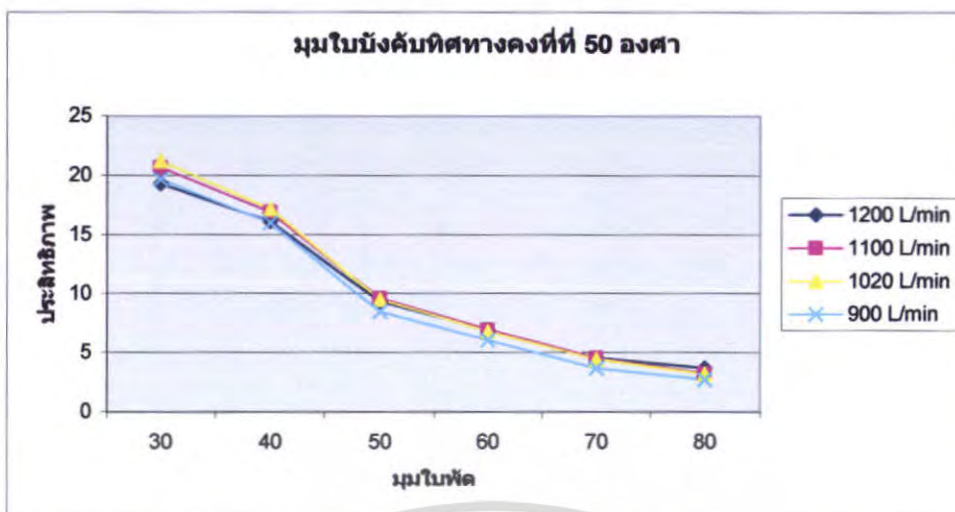
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 40 องศา

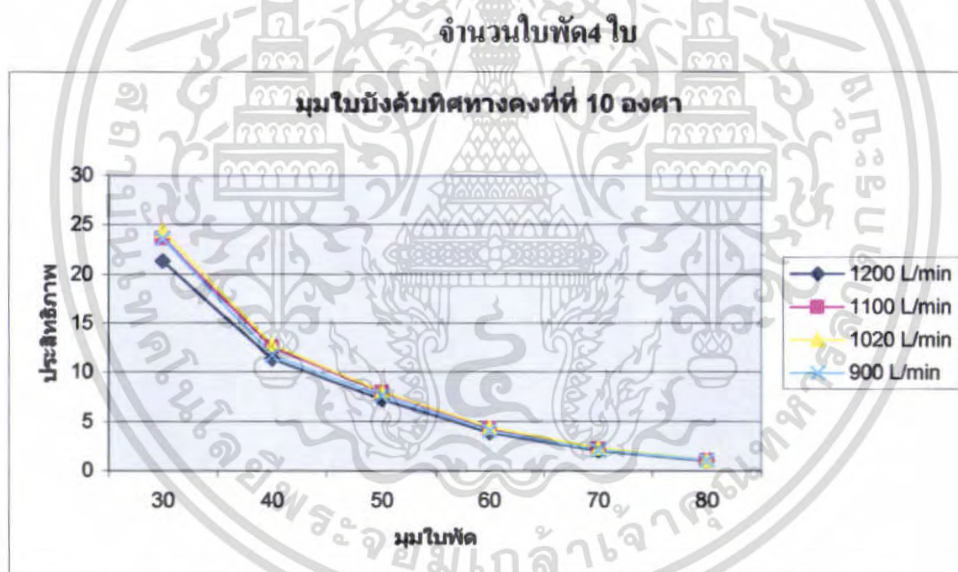
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 50 องศา

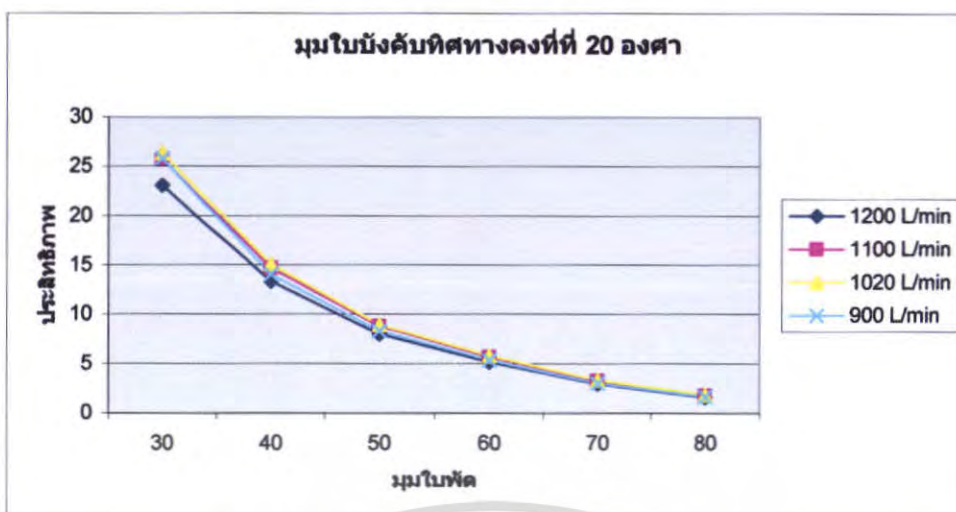
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 10 องศา

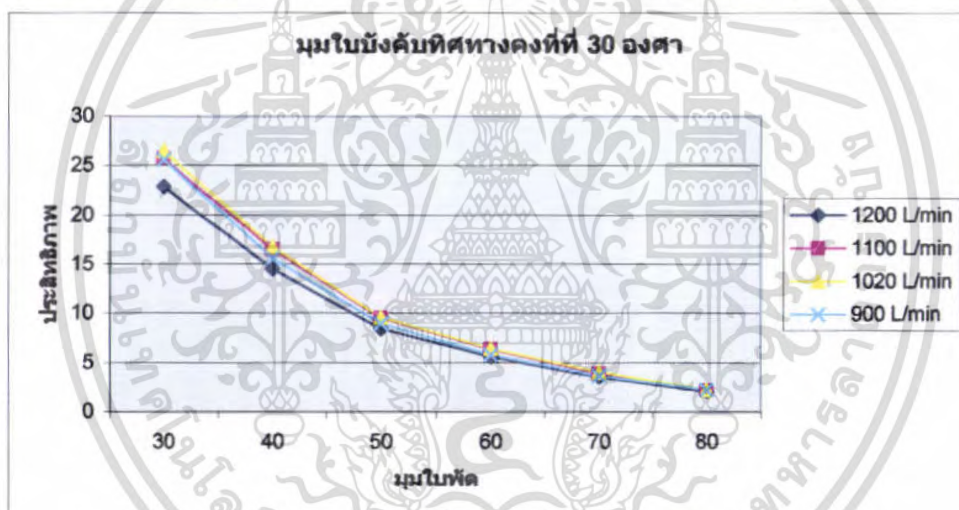
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



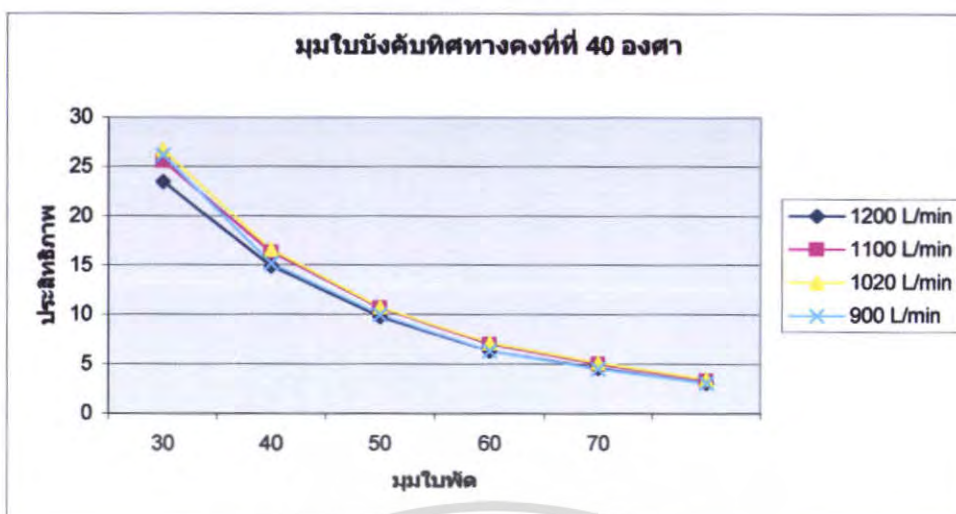
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



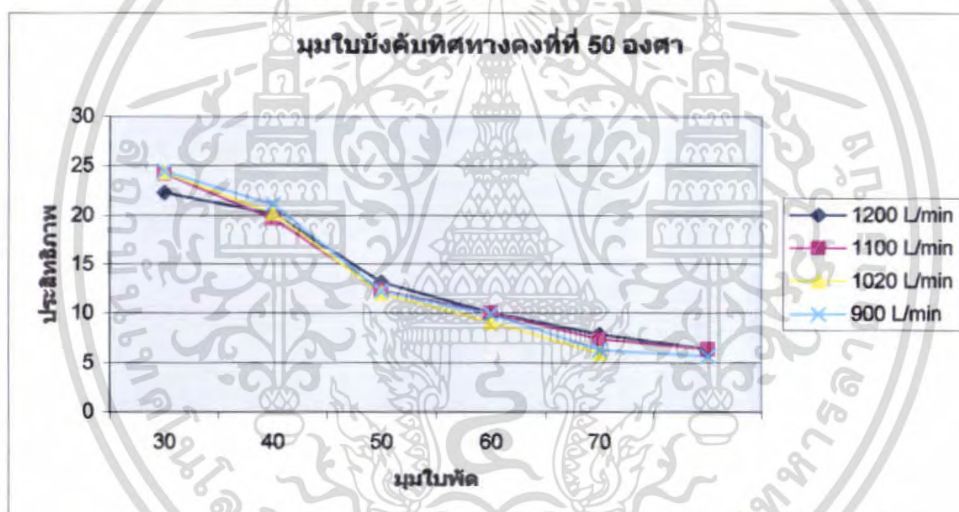
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min

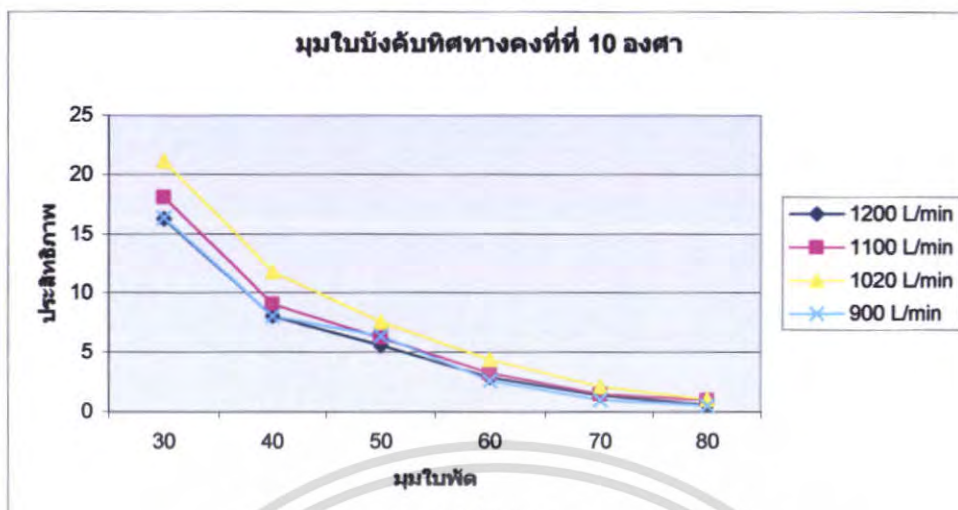


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 900 L/min

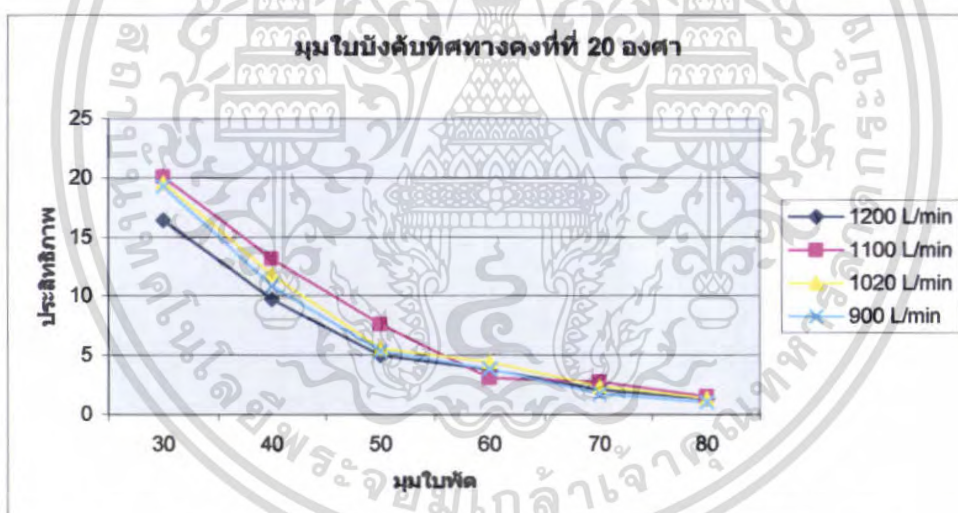
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

จำนวนใบพัดส ใบ



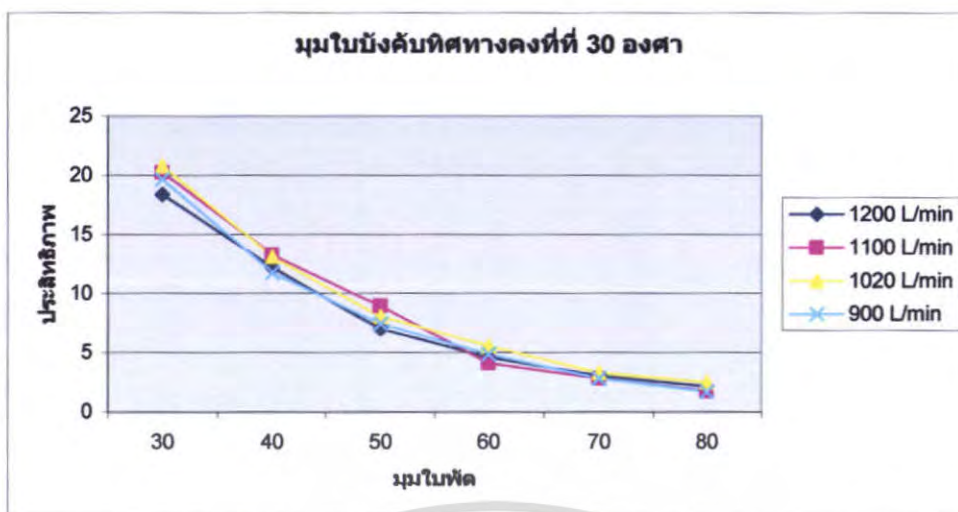
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 10 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



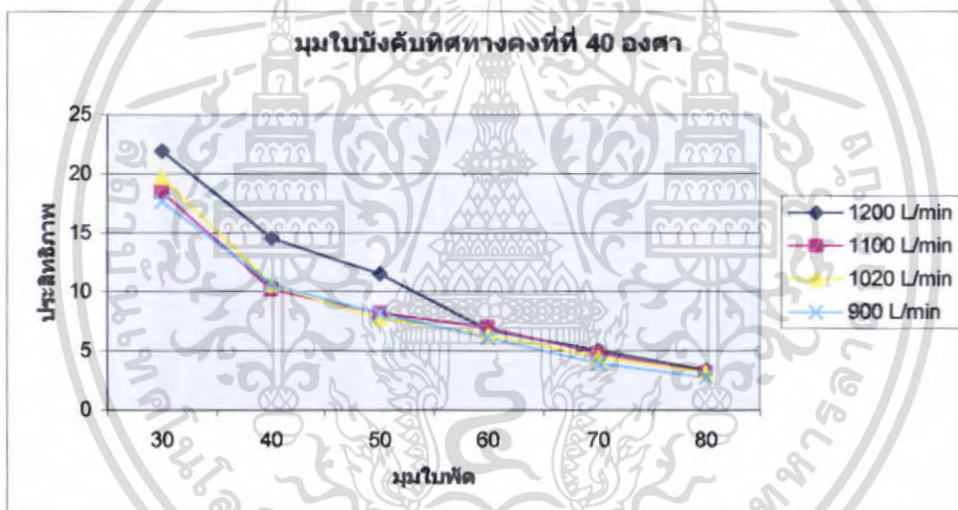
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 20 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1100 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 30 องศา

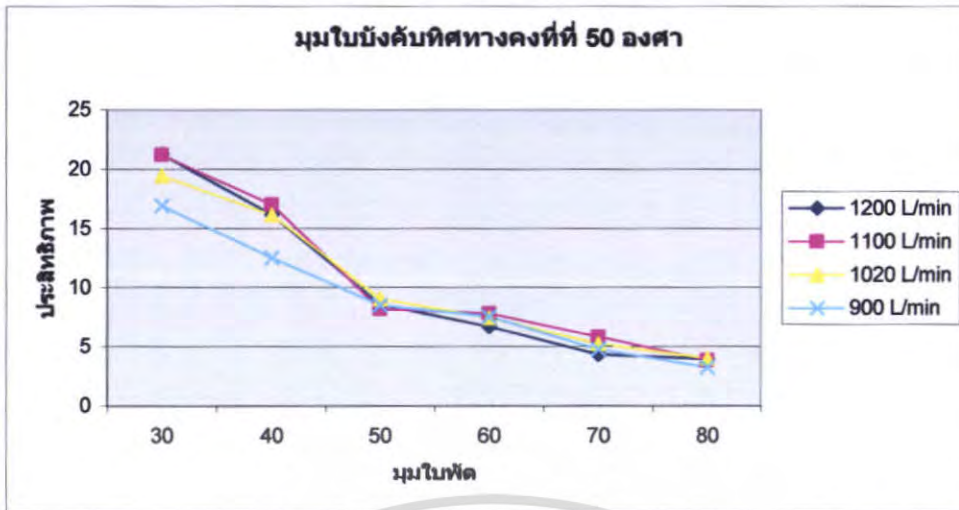
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1020 L/min



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 40 องศา

พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1200 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

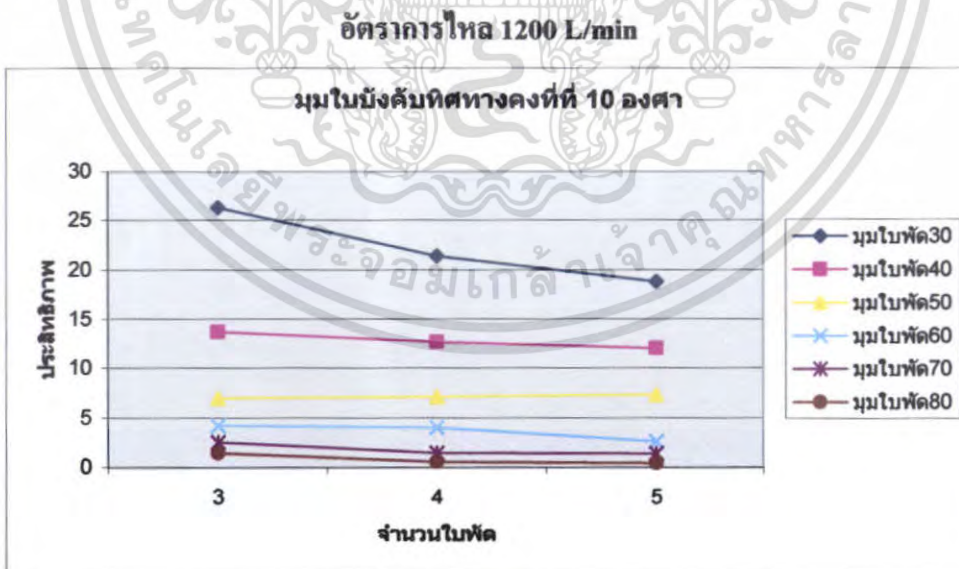


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัด (แกน X) กับประสิทธิภาพ (แกน Y) เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ 50 องศา

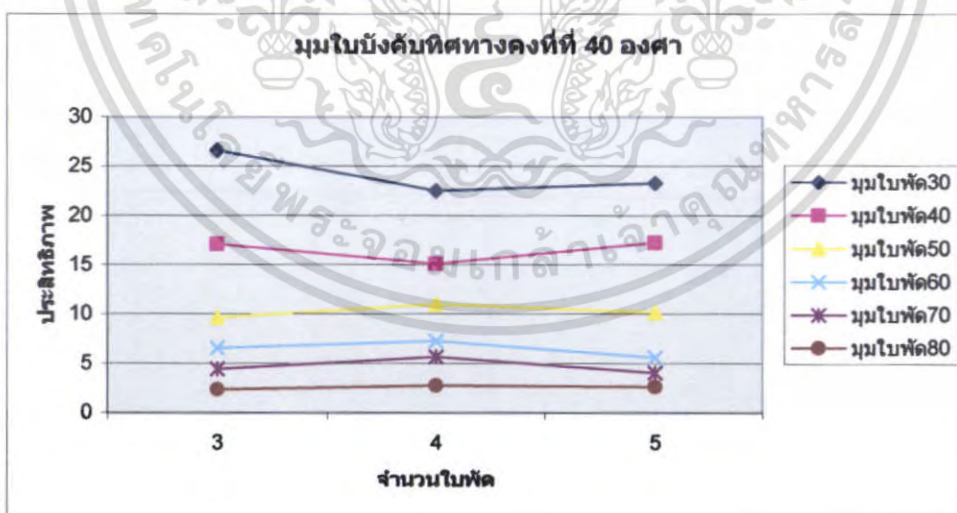
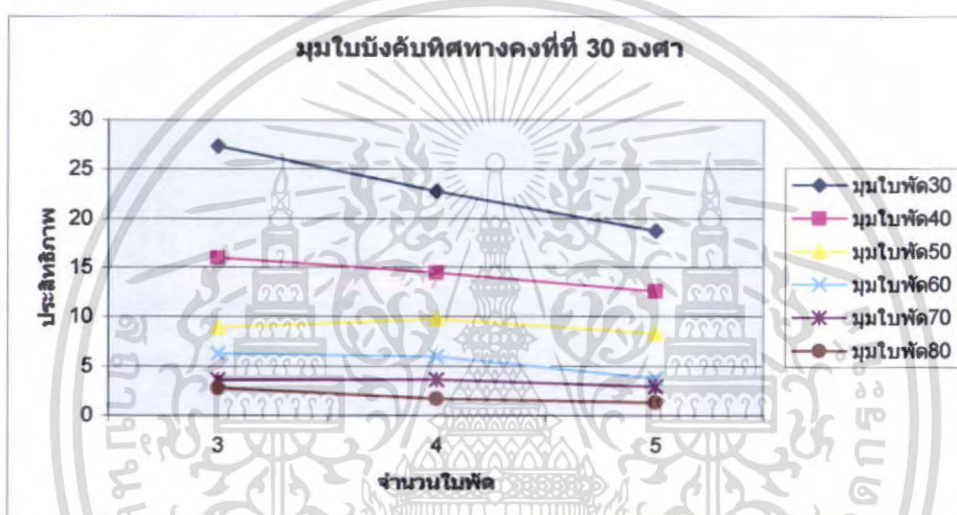
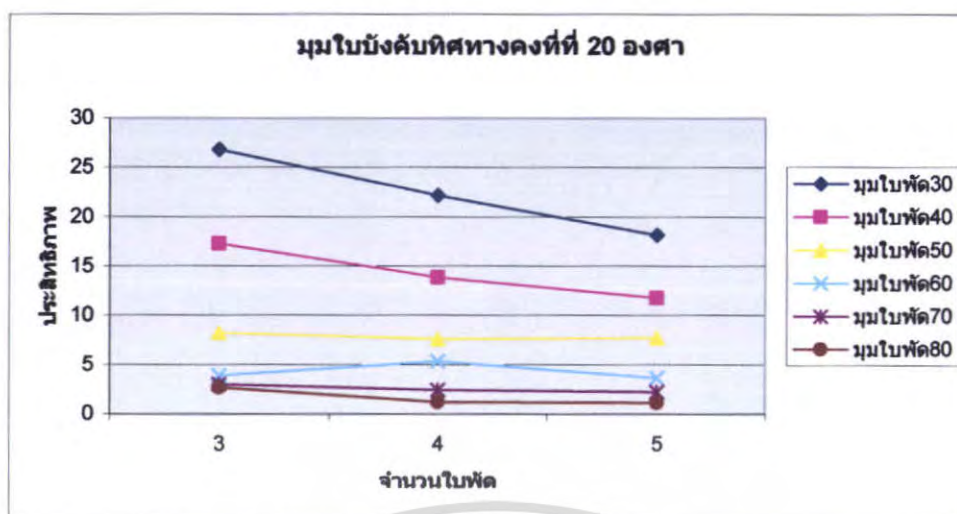
พบว่า ประสิทธิภาพจะสูงสุดเมื่อ มุมใบพัดปรับที่มุม 30 องศา อัตราการไหล 1200 L/min

5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับจำนวนใบพัด ที่มุมใบพัดต่างๆ เมื่ออัตราการไหลคงที่

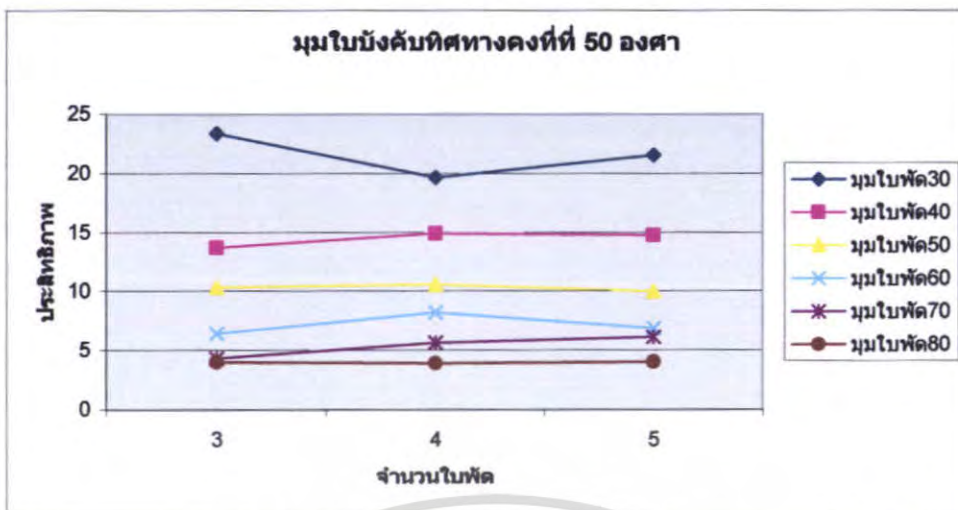
$$\frac{d}{D} = 0.2$$



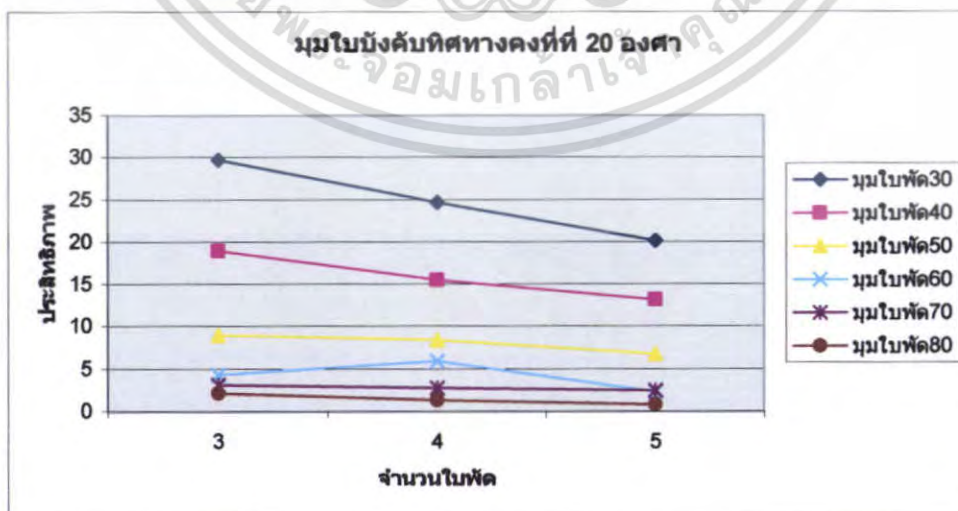
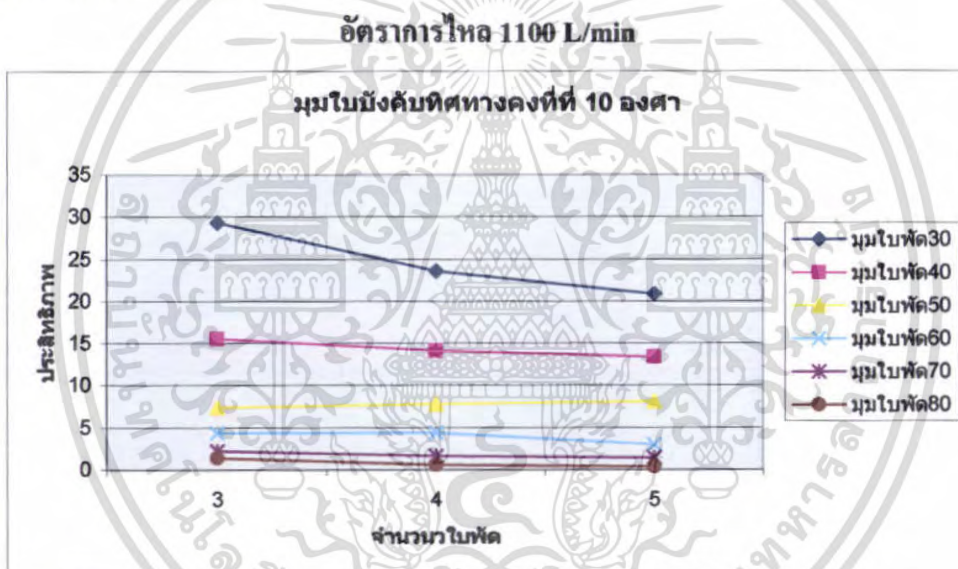
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

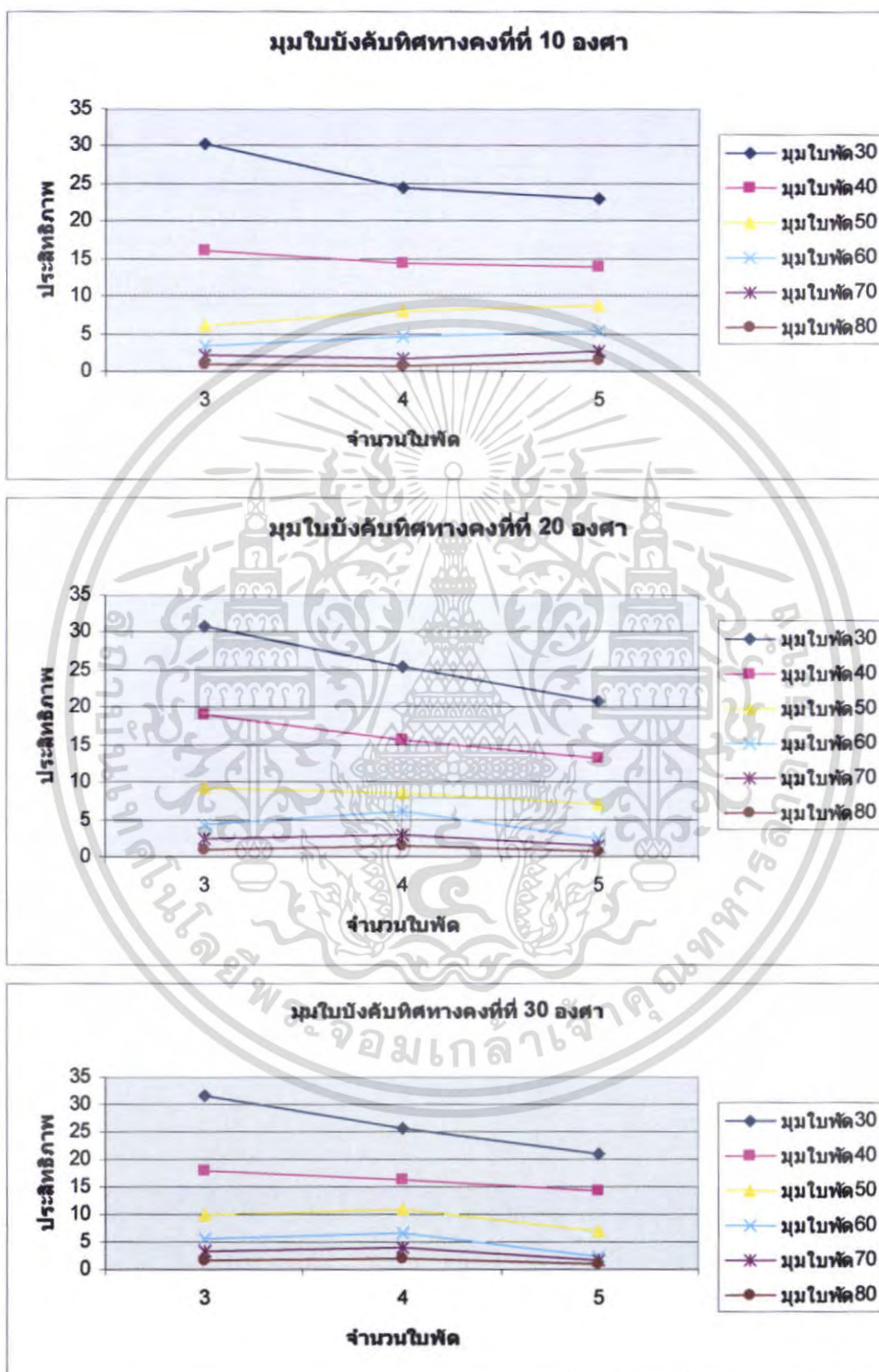


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่มุมใบมังคุดทิศทางต่างๆ

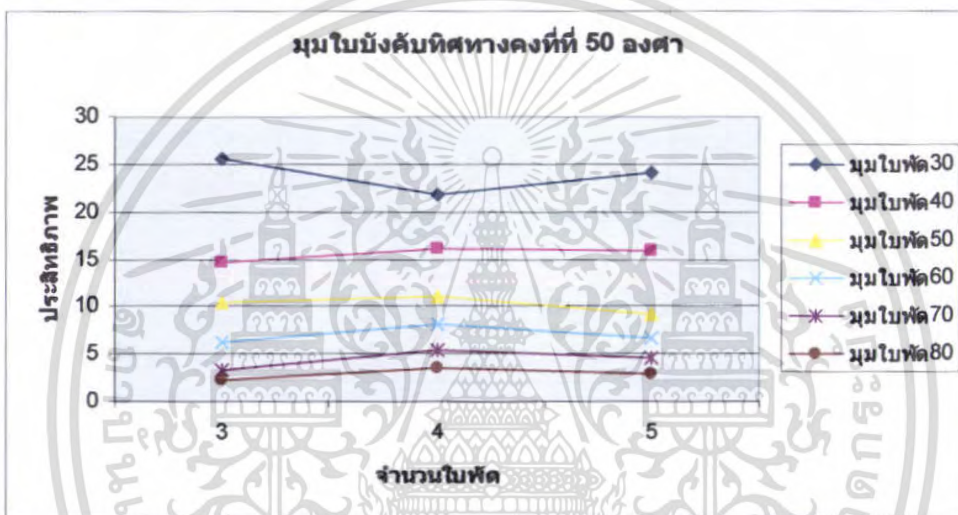
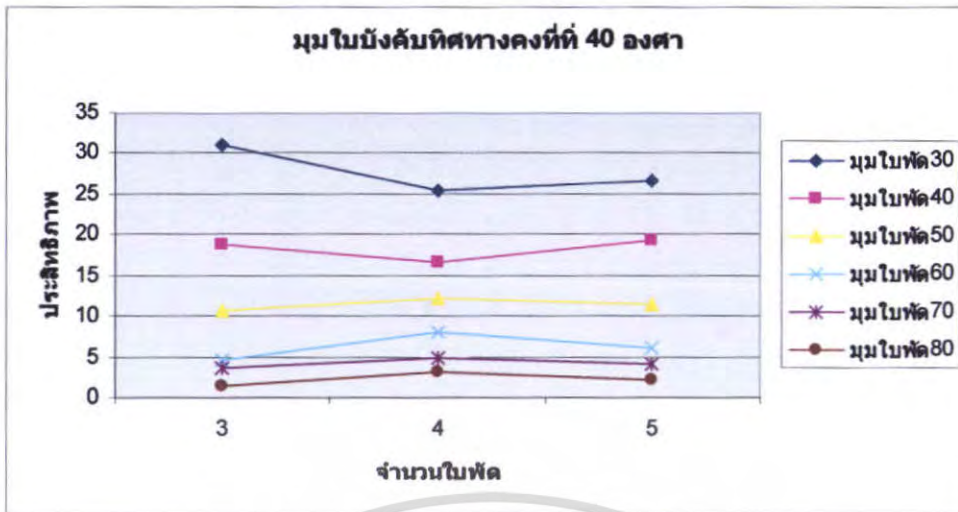


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราการไหล 1020 L/min

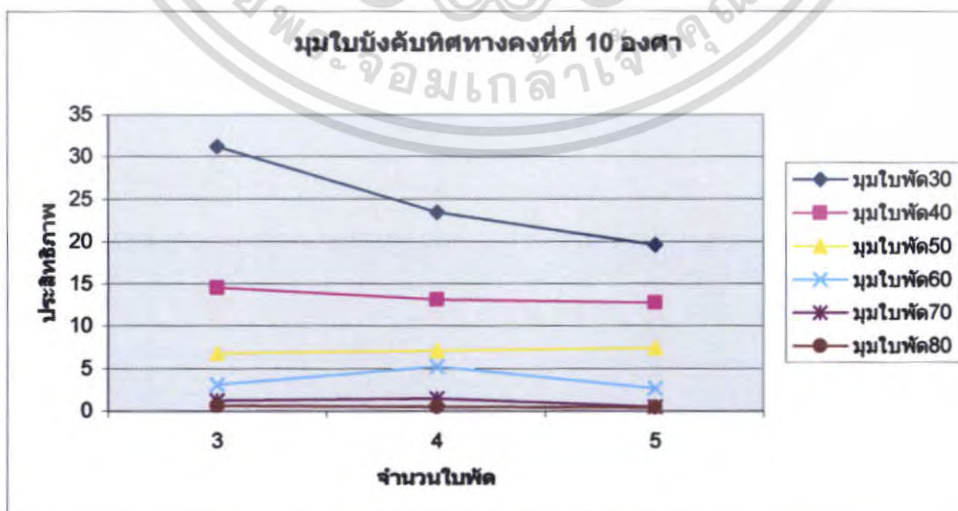


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

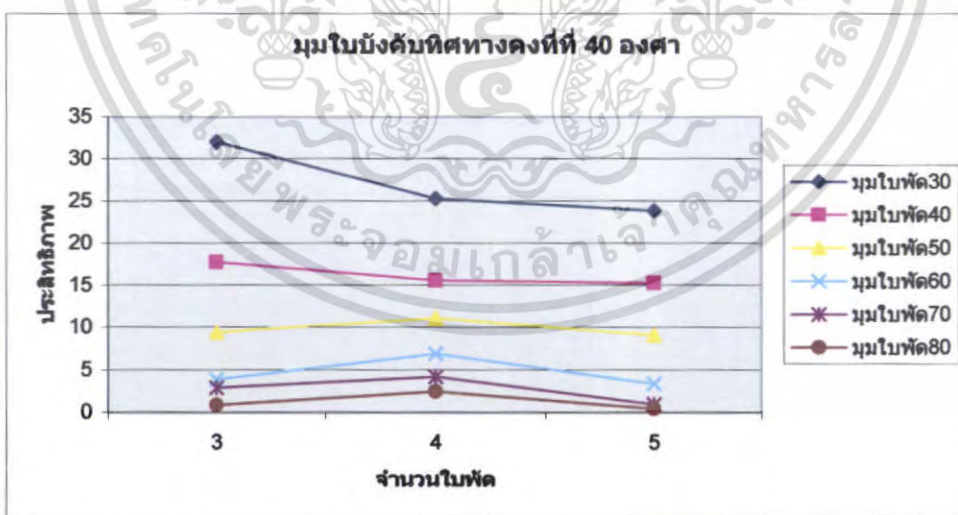
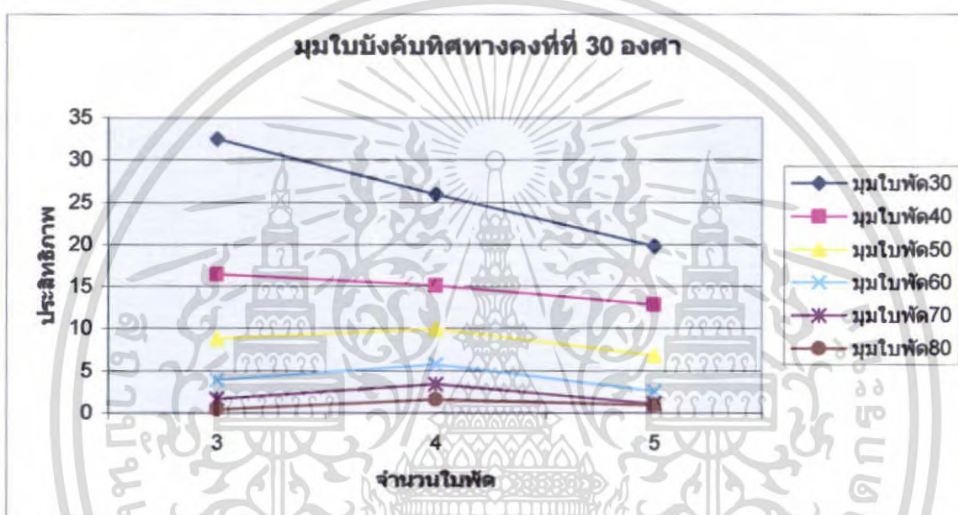
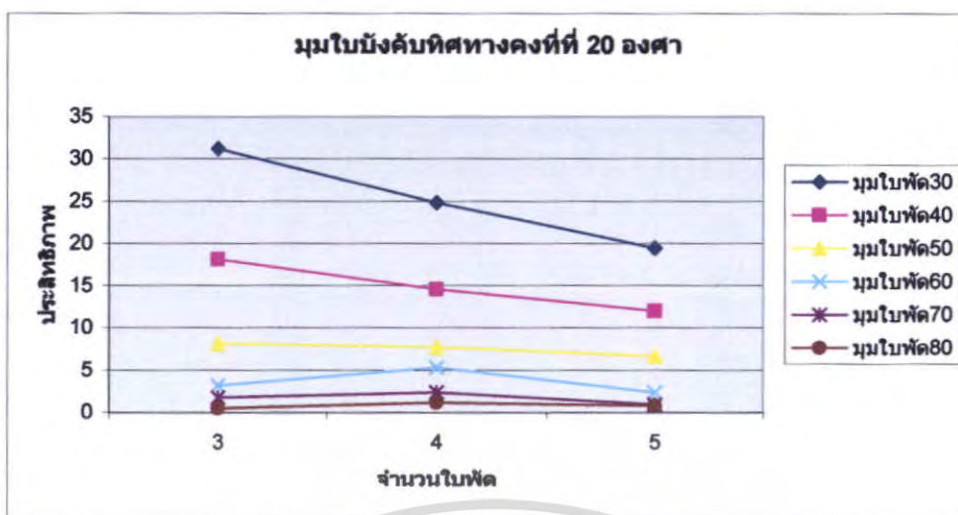


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่นมใบบึงฉลือทางคงที่ต่างๆ

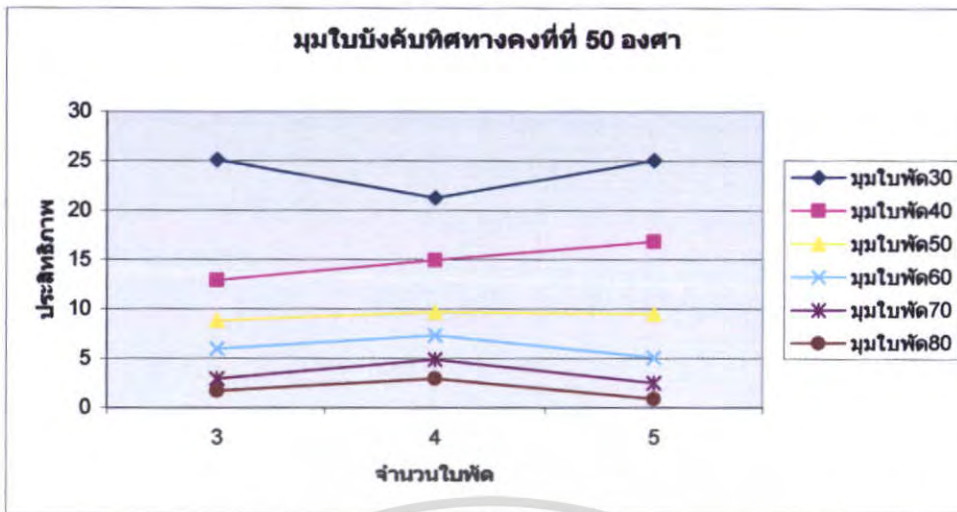
ที่อัตราการไหล 900 L/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

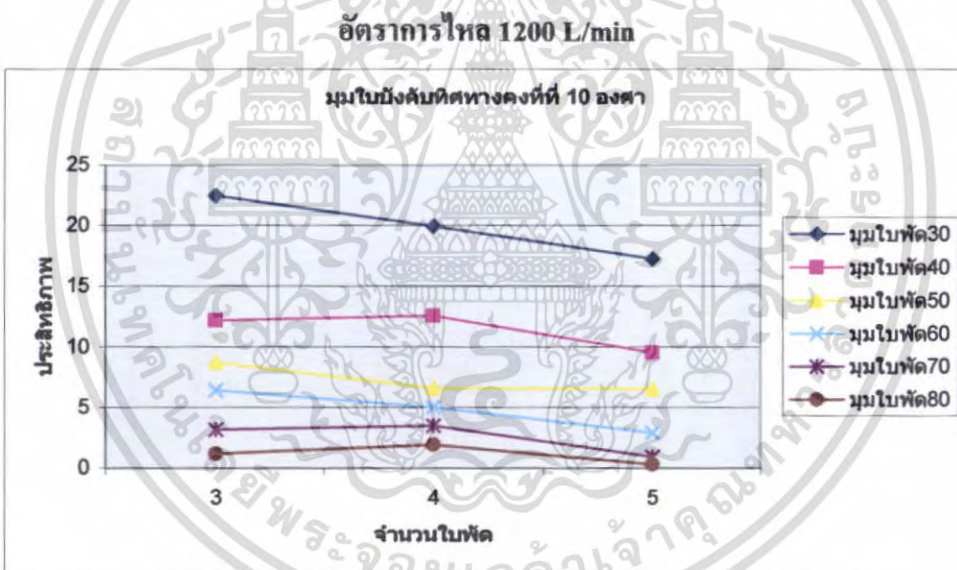


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

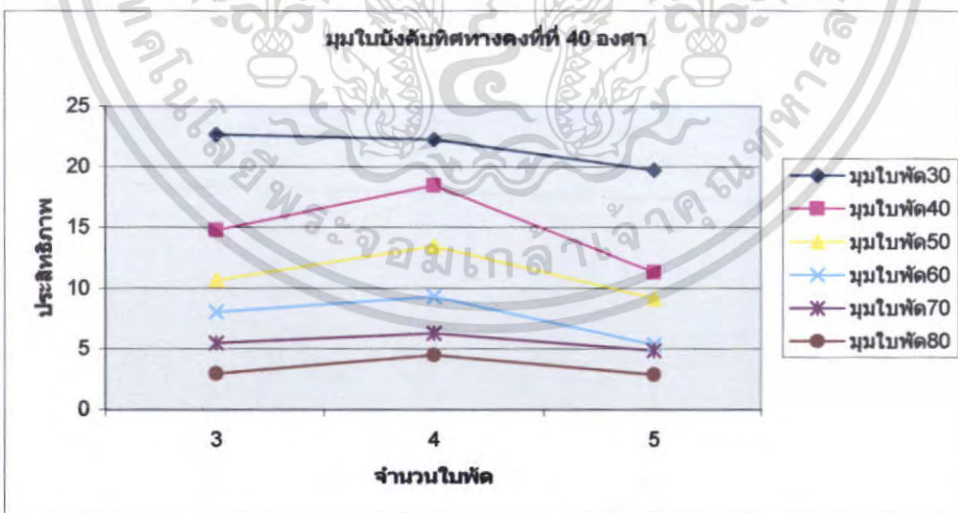
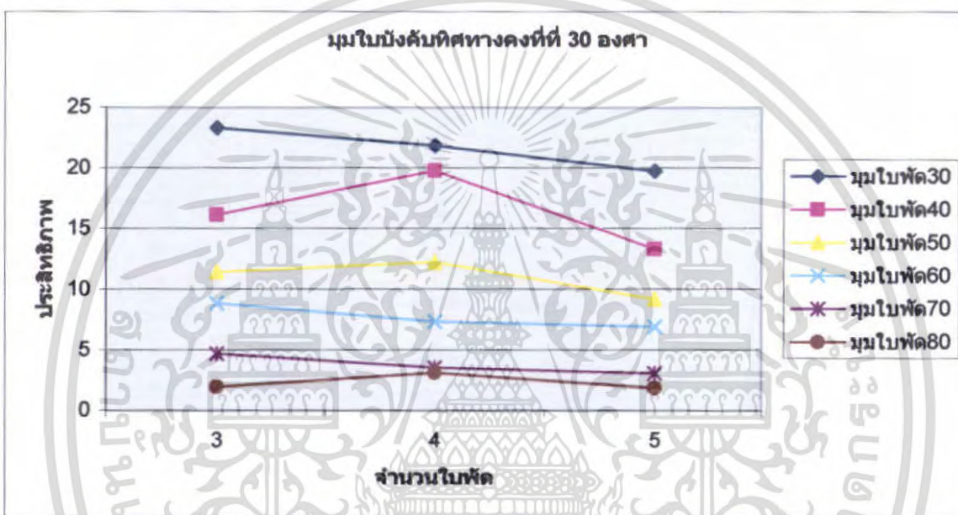
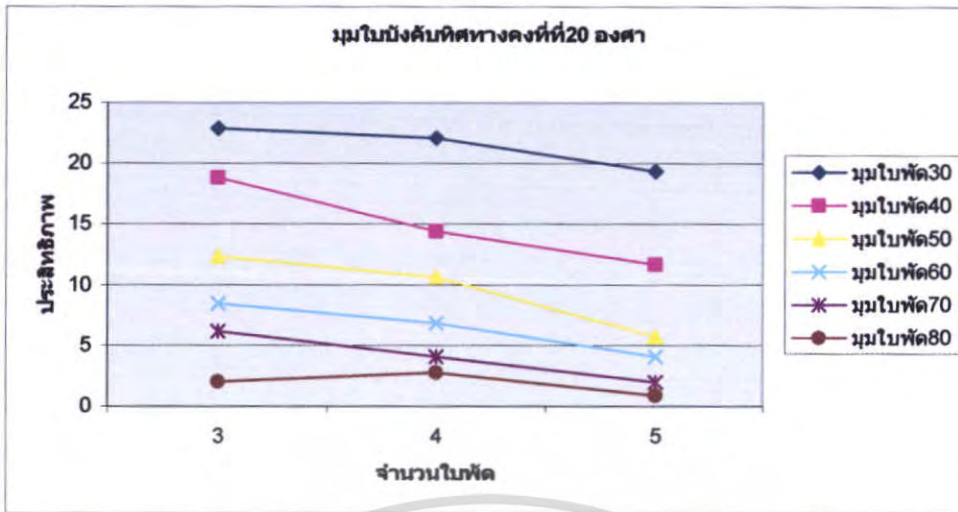


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่มุมใบบั้งค้ำทิศทางต่างๆ

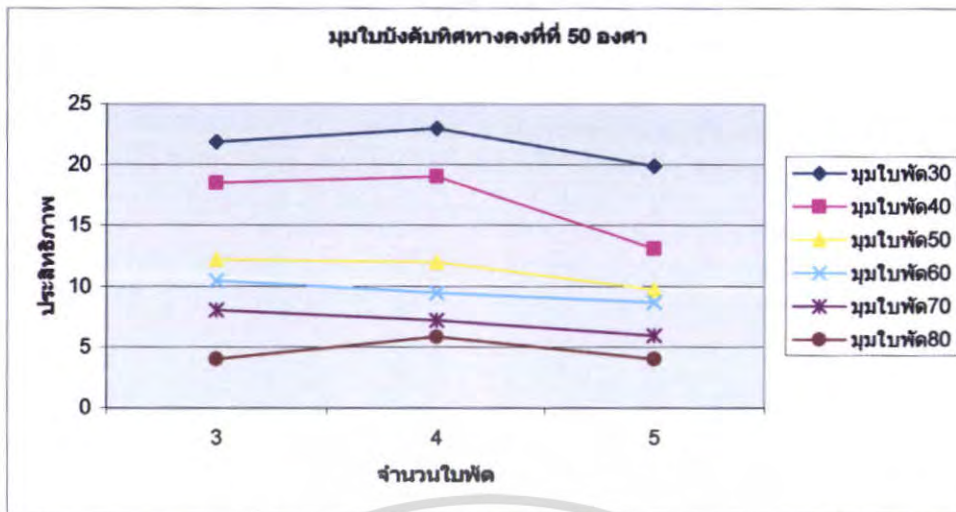
$$\frac{d}{D} = 0.3$$



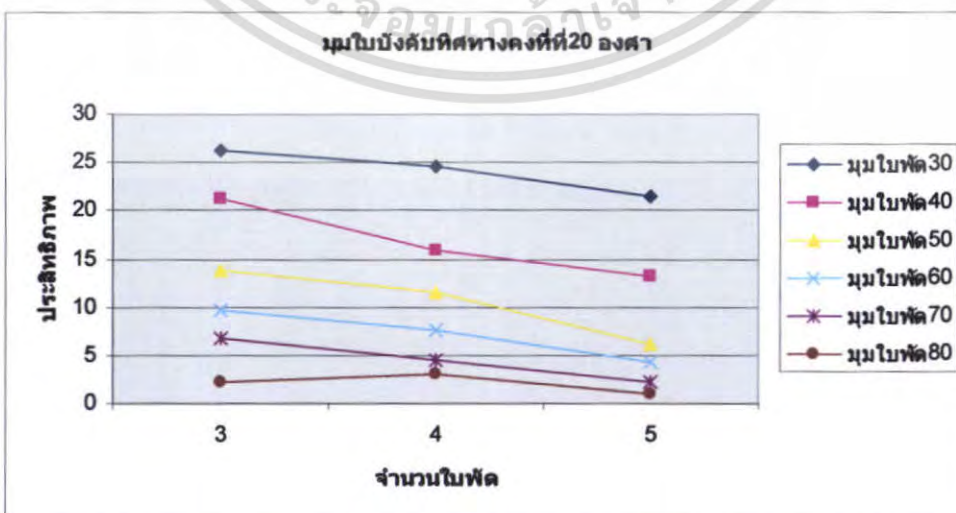
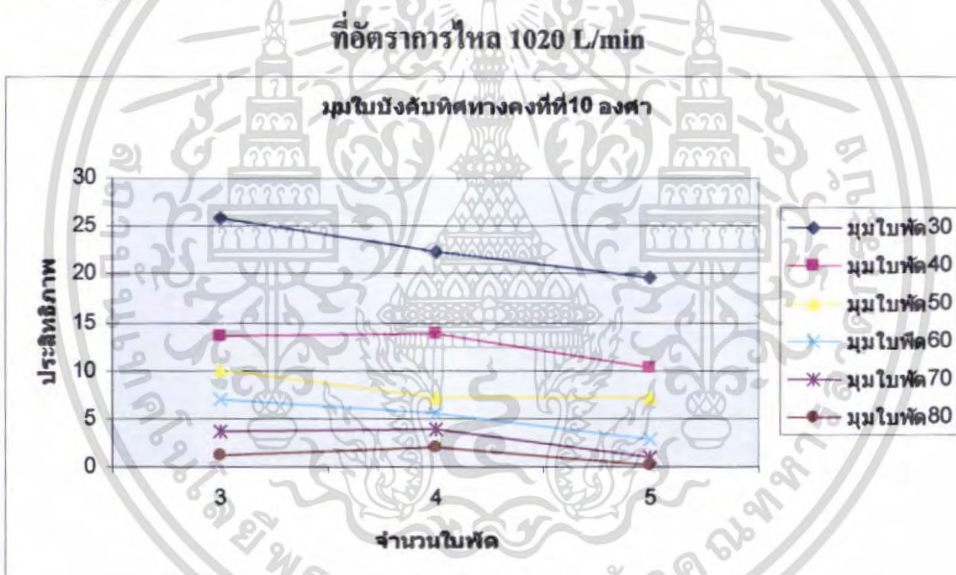
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



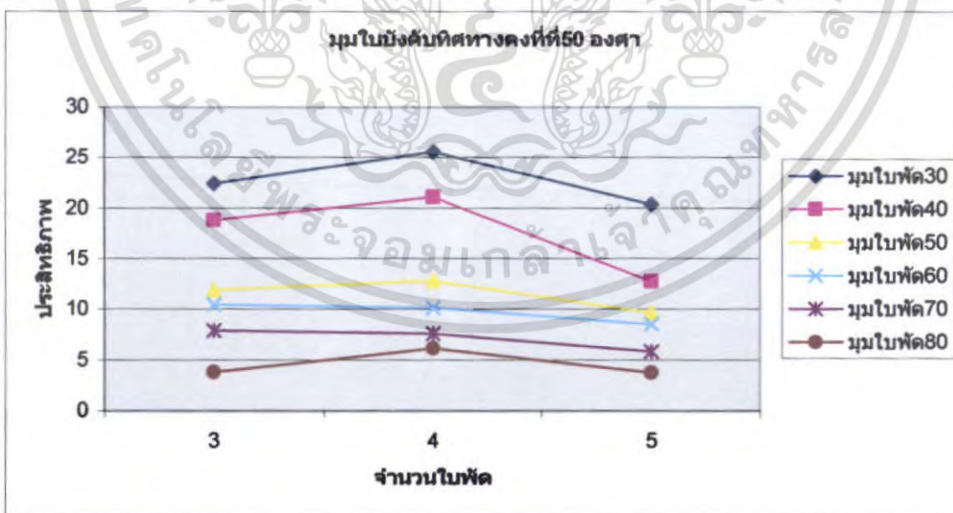
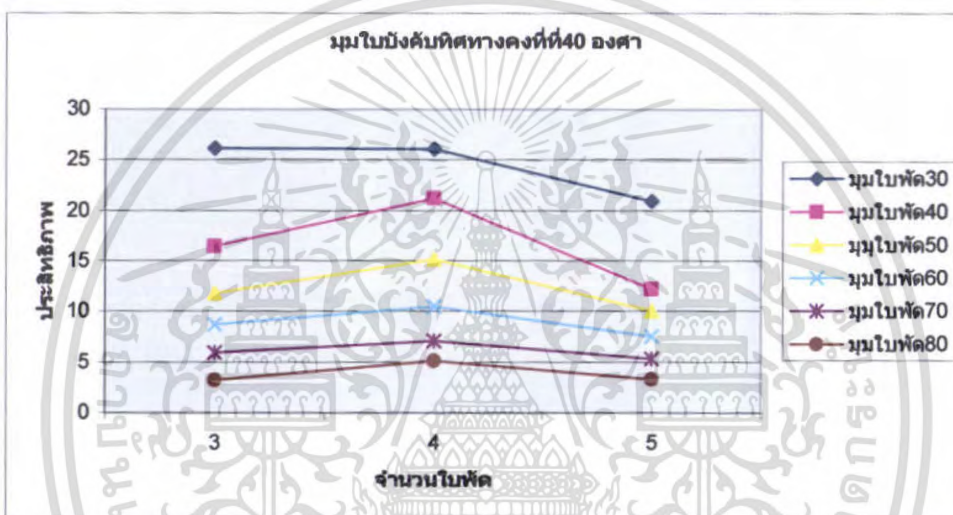
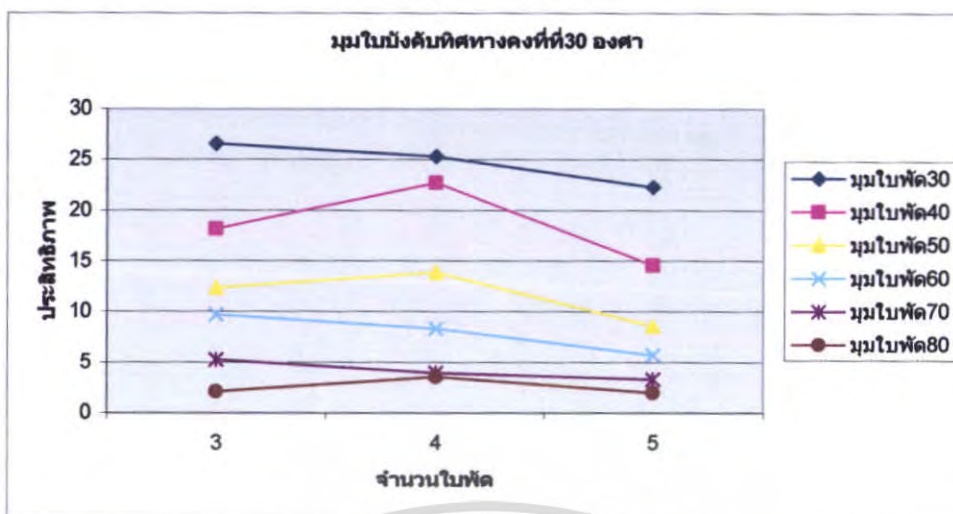
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่มุมใบบึงคับทิศทางคงที่ 10, 20, 30, 40 องศา แต่ที่มุมใบบึงคับทิศทาง 50 องศา จำนวนใบพัด 4 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



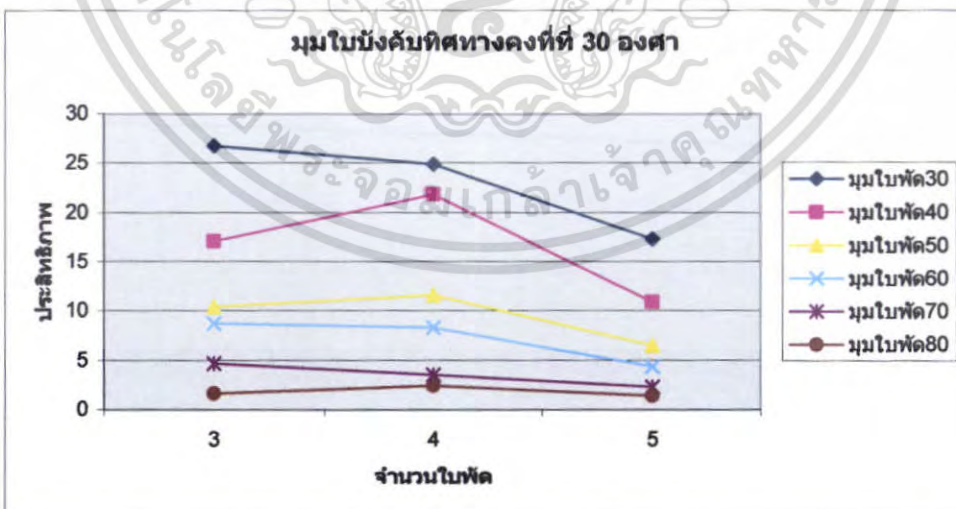
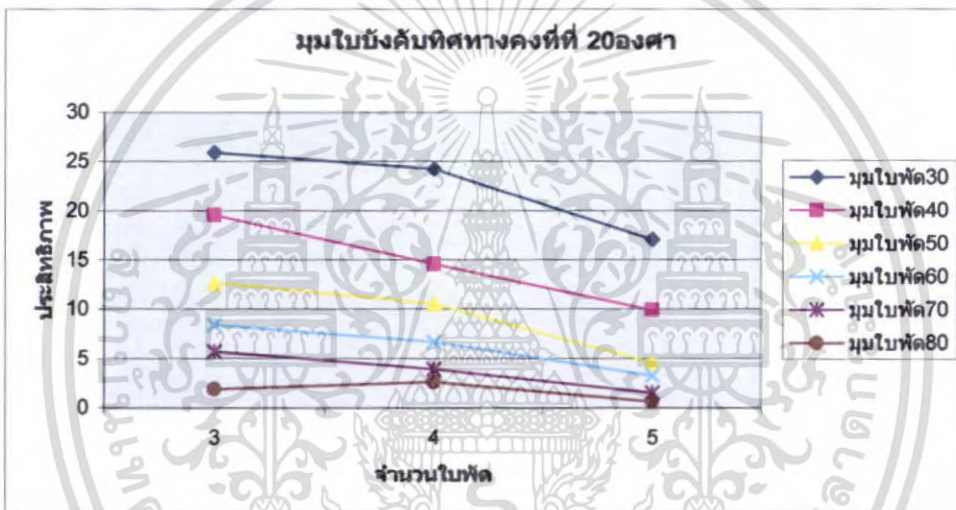
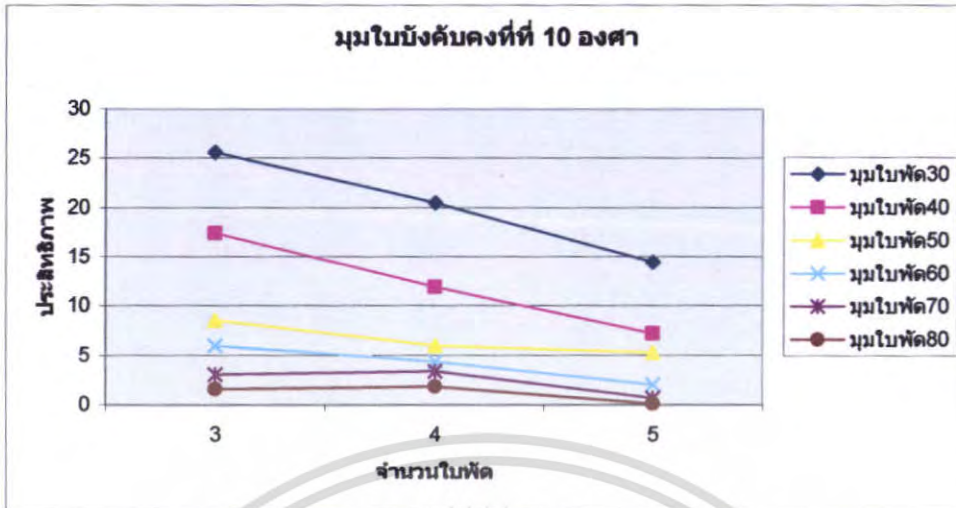
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



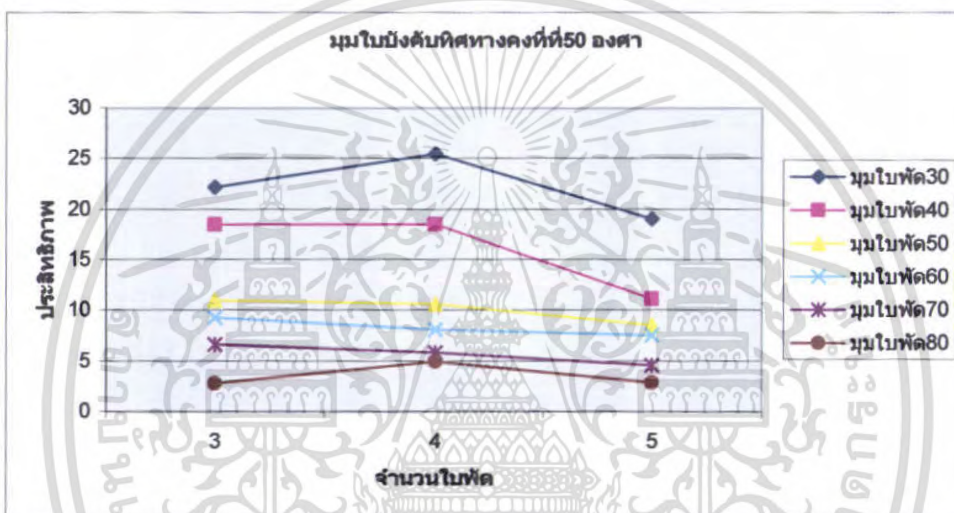
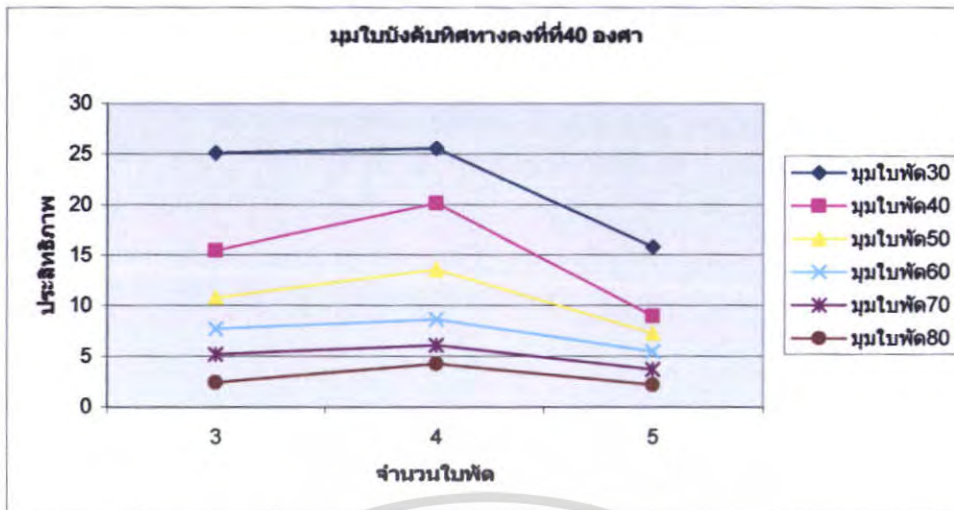
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบและ 5 ใบ ที่มุมไบบึงคับทิศทางคงที่ 10, 20, 30, 40 องศา แต่ที่มุมไบบึงคับทิศทาง 50 องศา จำนวนใบพัด 4 ใบได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราการไหล 900 L/min

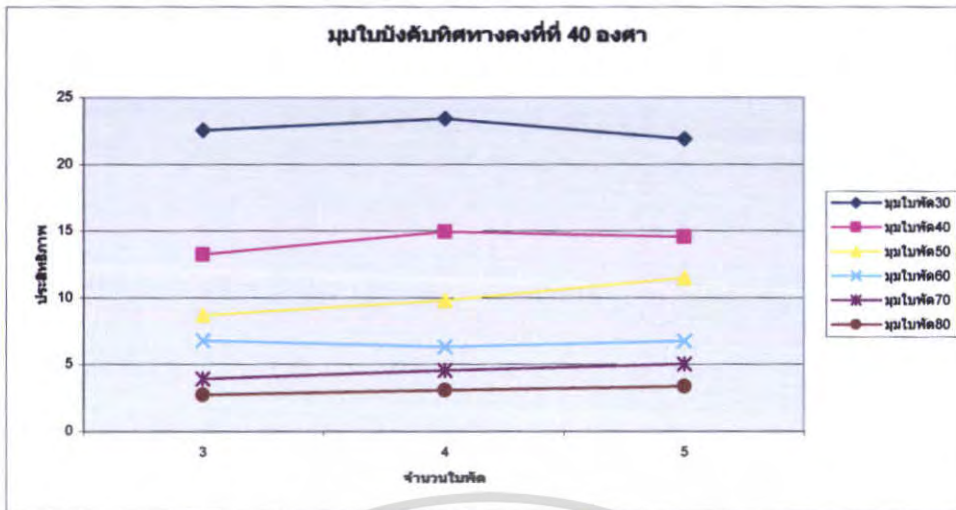


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



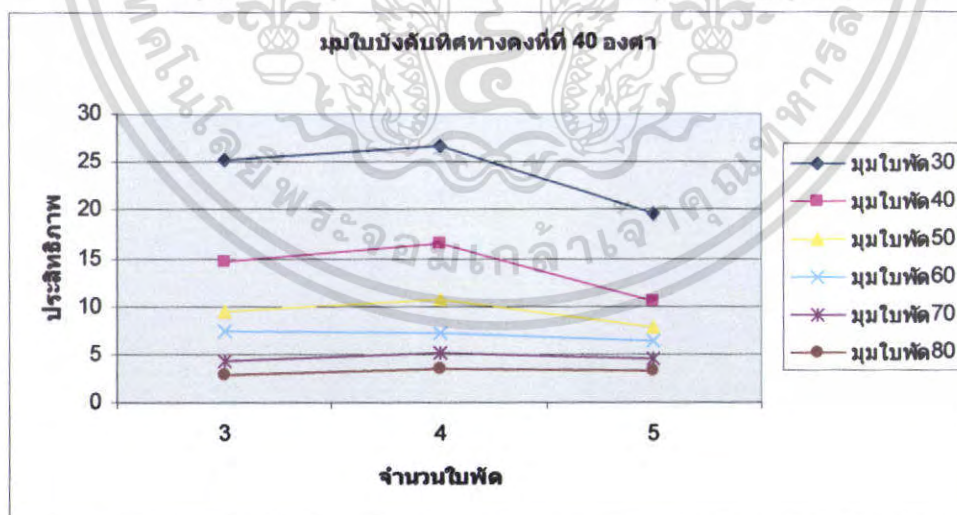
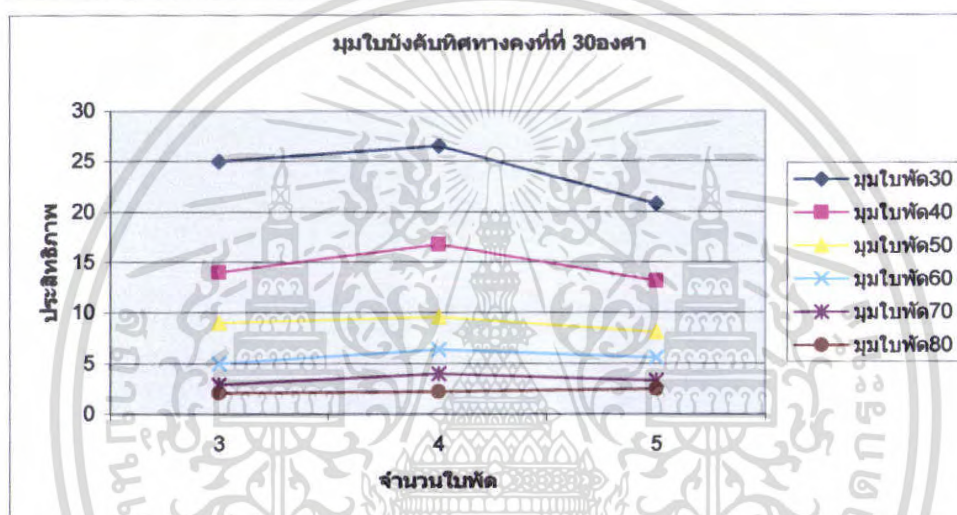
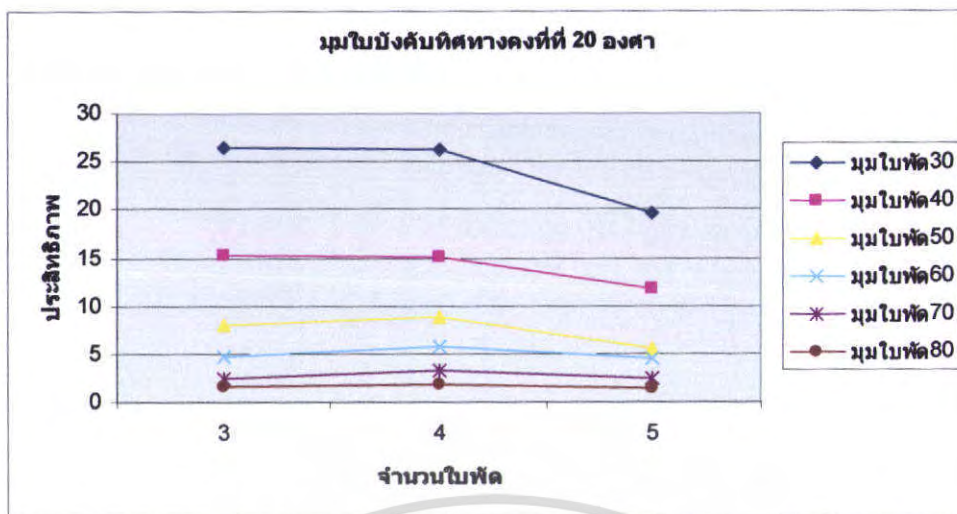
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบและ 5 ใบ ที่มุมใบบั้งคับทศทางคองท่ 10, 20, 30, 40 องศา แต่ที่มุมใบบั้งคับทศทาง 50 องศา จำนวนใบพัด 4 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

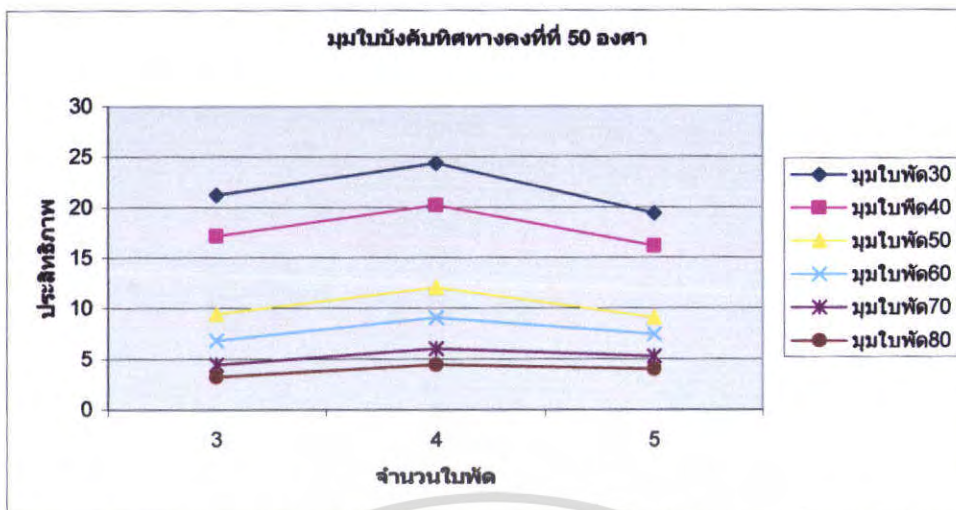


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่มุมโบบังคับทิศทางคงที่ 10, 20 องศา แต่ที่มุมโบบังคับทิศทาง 30, 40 และ 50 องศา จำนวนใบพัด 4 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

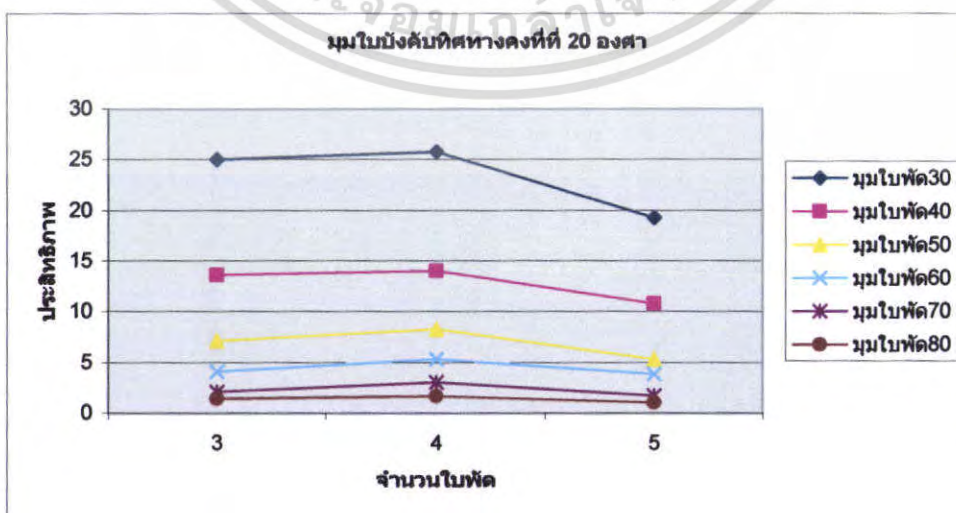
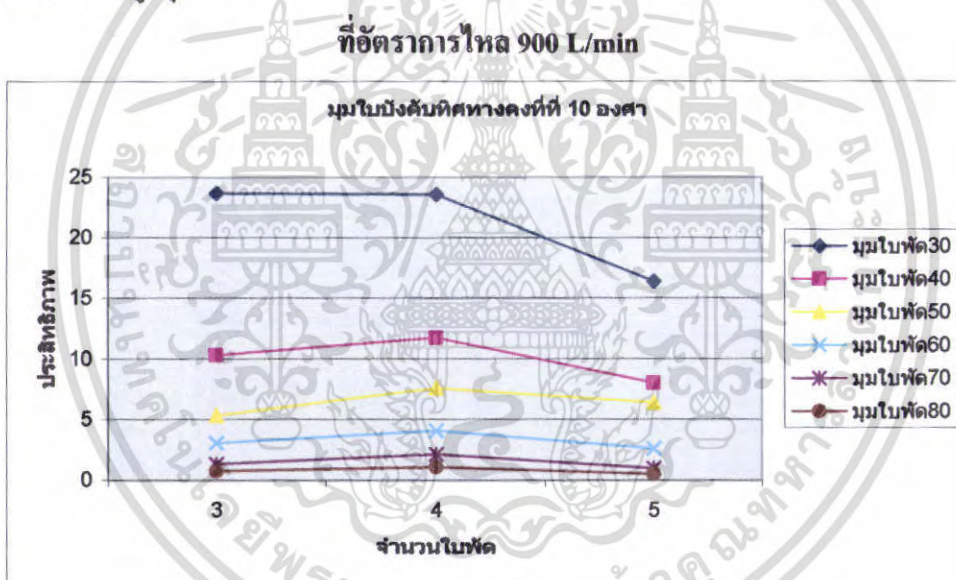
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



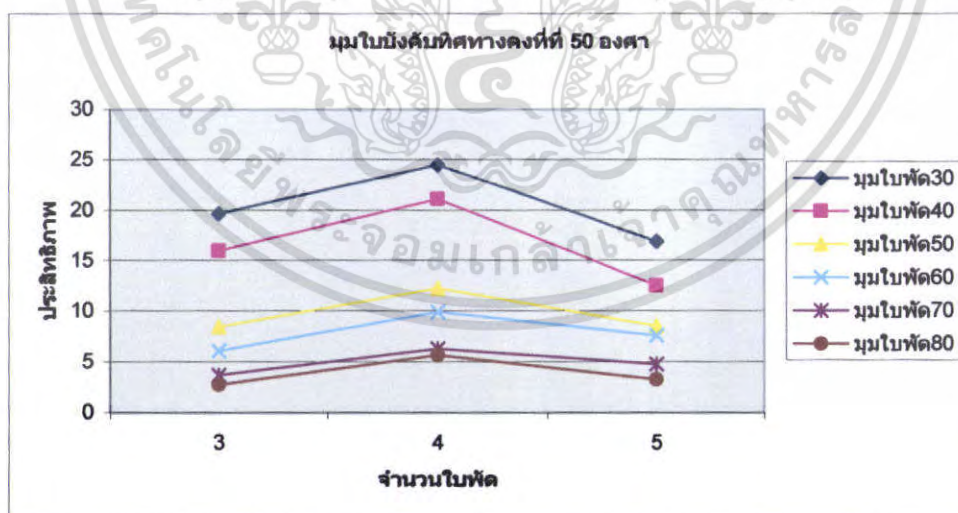
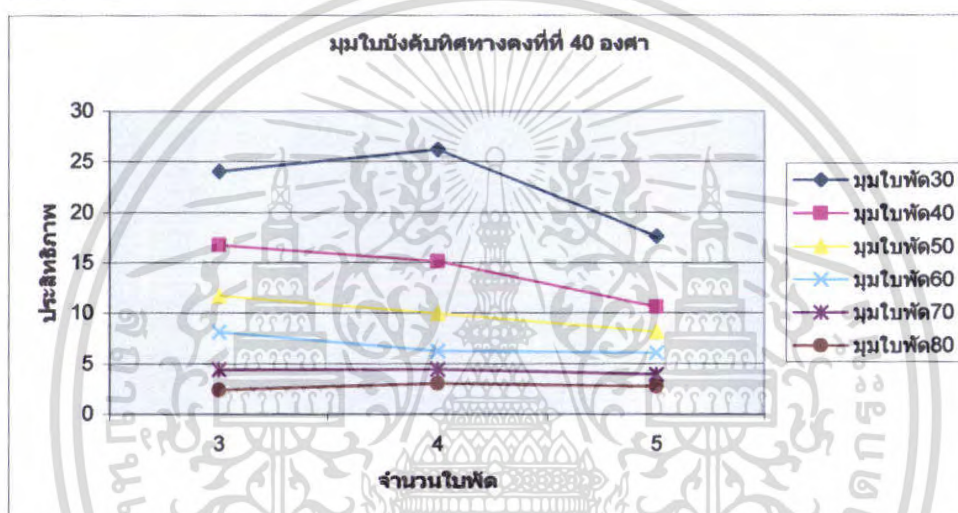
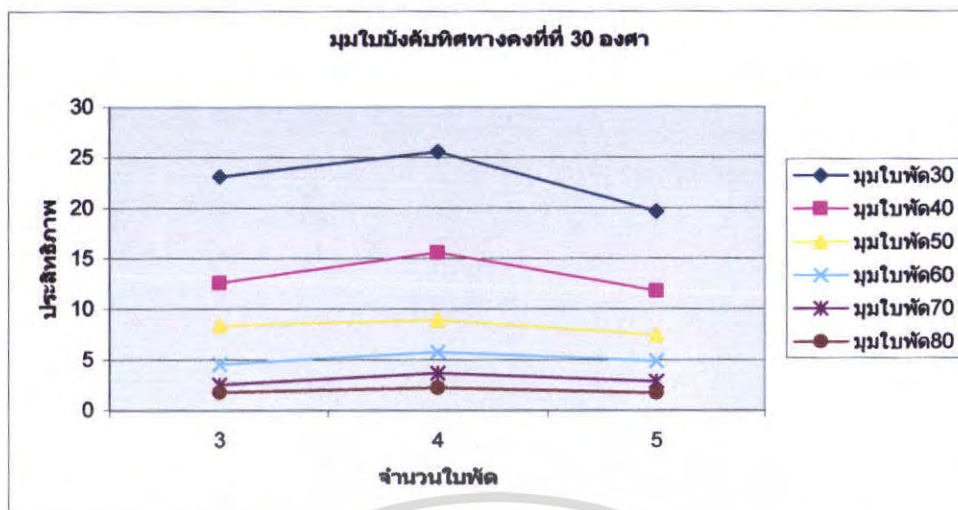
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบ และ 5 ใบ ที่มุมใบบึงคับทิศทางคงที่ 10, 20 องศา แต่ที่มุมใบบึงคับทิศทาง 30, 40 และ 50 องศา จำนวนใบพัด 4 ใบ ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



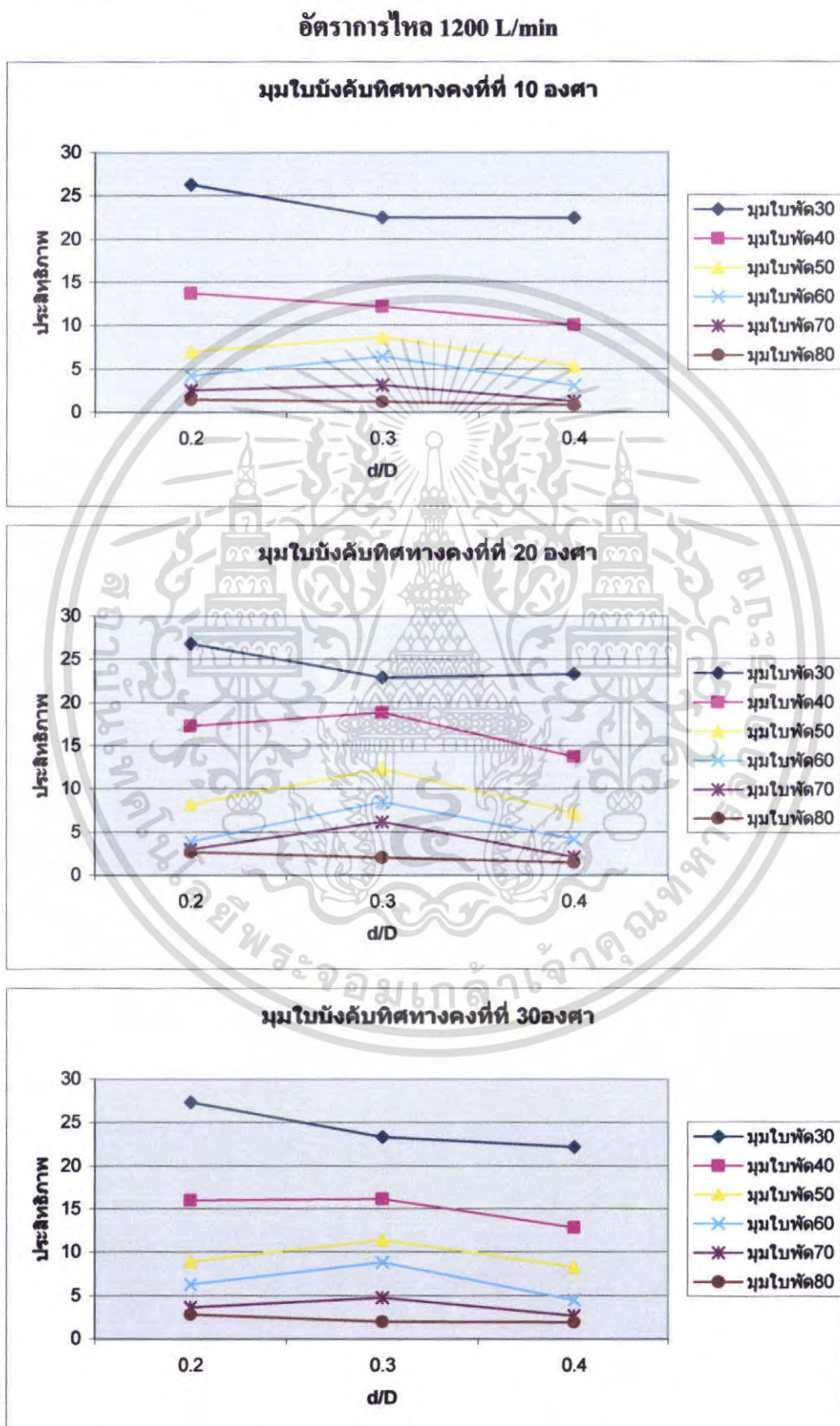
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



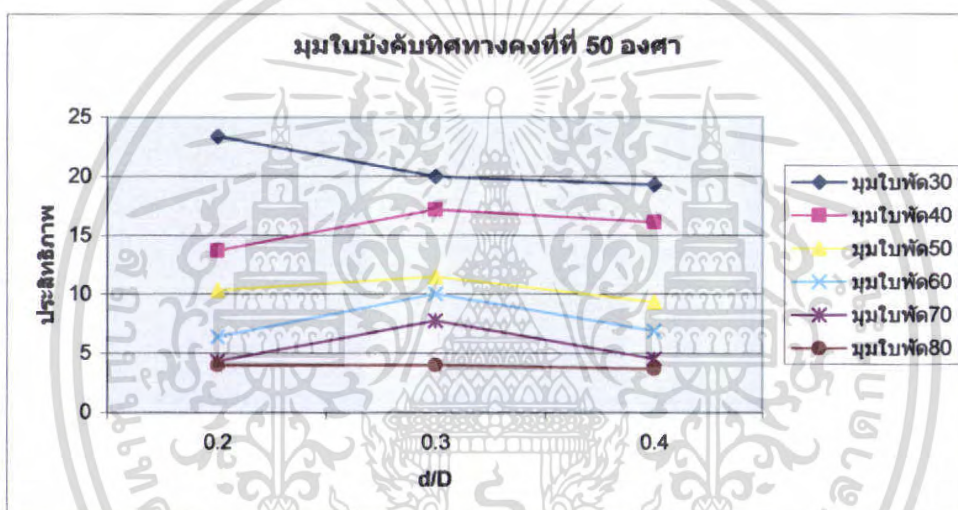
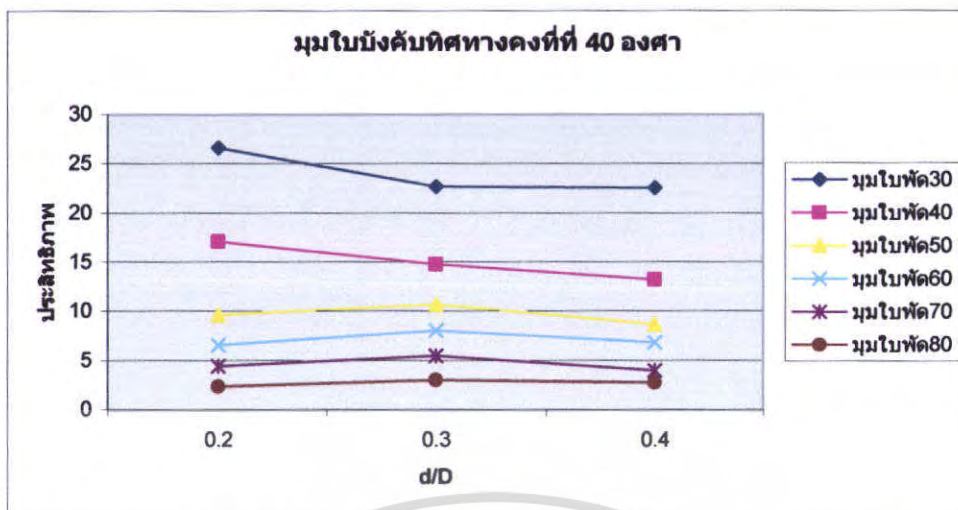
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า จำนวนใบพัด 3 ใบได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับ 4 ใบและ 5 ใบ ที่มุมใบบึงคับคิตทางคองที่ 10 อองคสาแต่ที่มุมใบบึงคับคิตทางคองที่ 20, 30, 40 และ 50 อองคสา จำนวนใบพัด 4 ใบได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก (d/D) ที่มุมใบพัดต่างๆเมื่ออัตราการไหลคงที่จำนวนใบพัด 3 ใบ

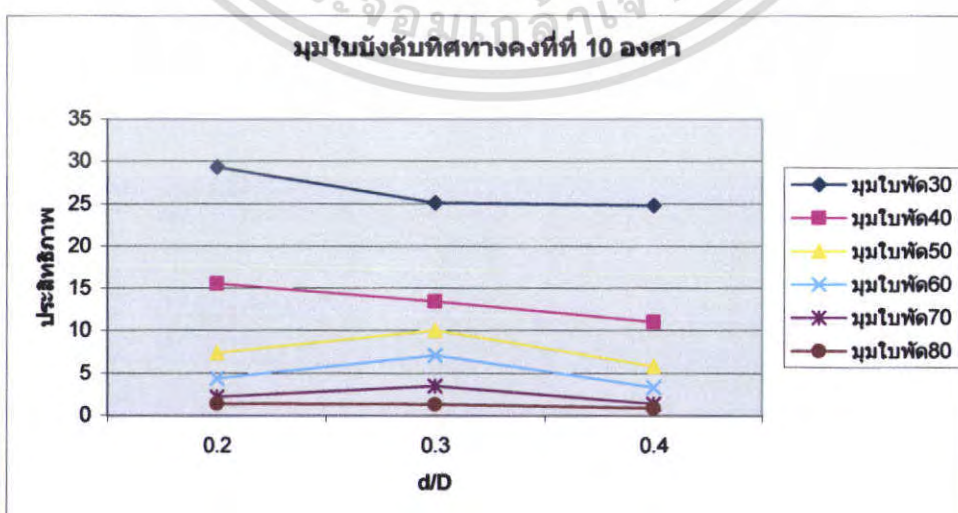


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

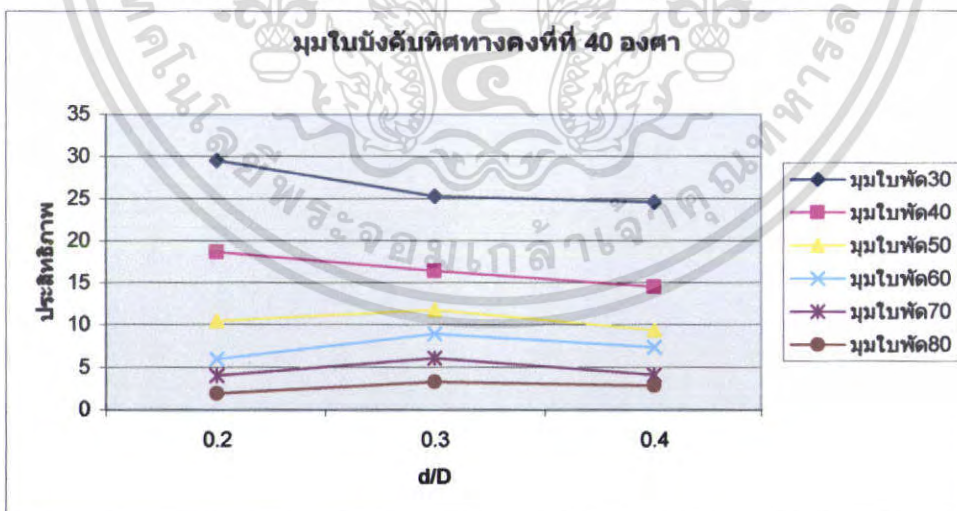
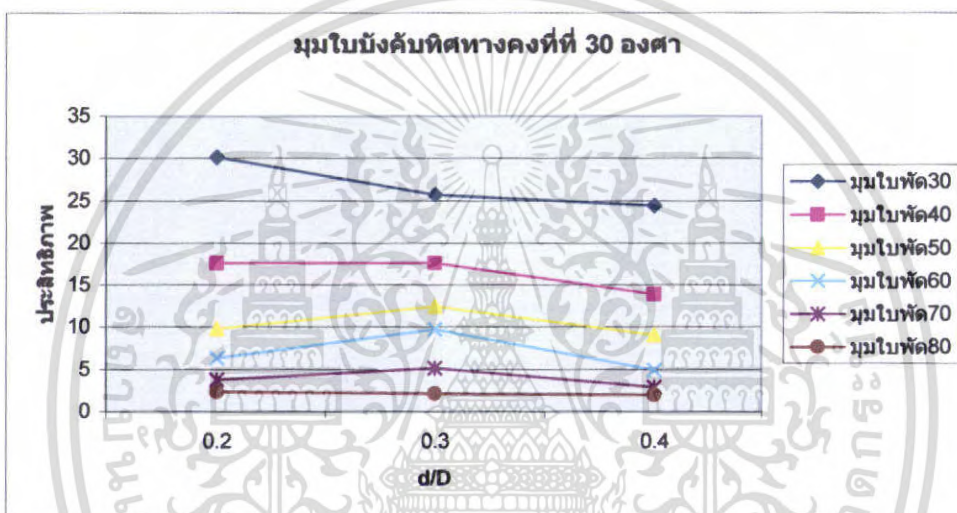
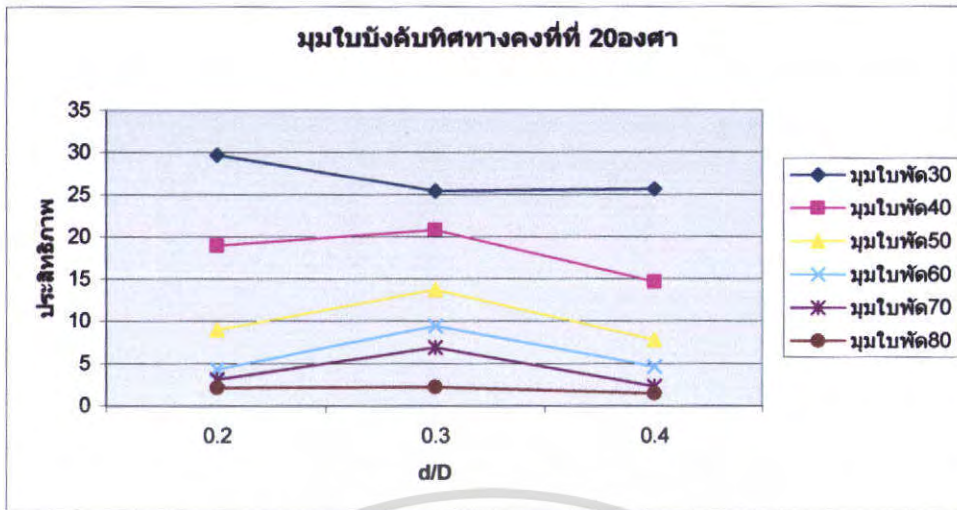


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D=0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

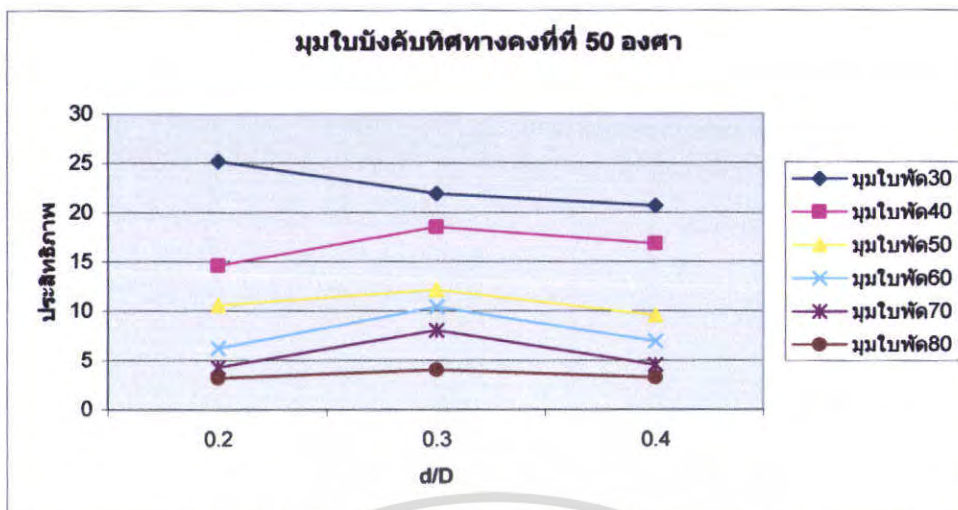
อัตราการไหล 1100 L/min



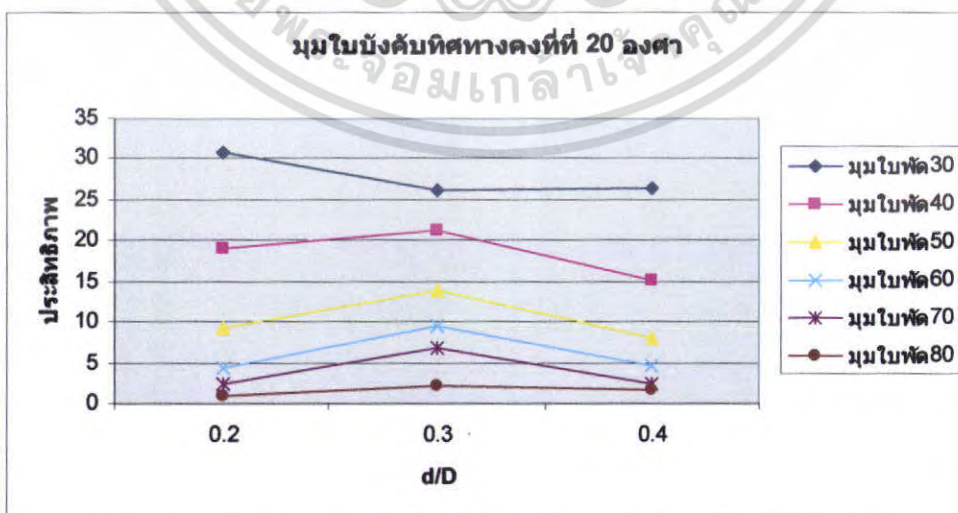
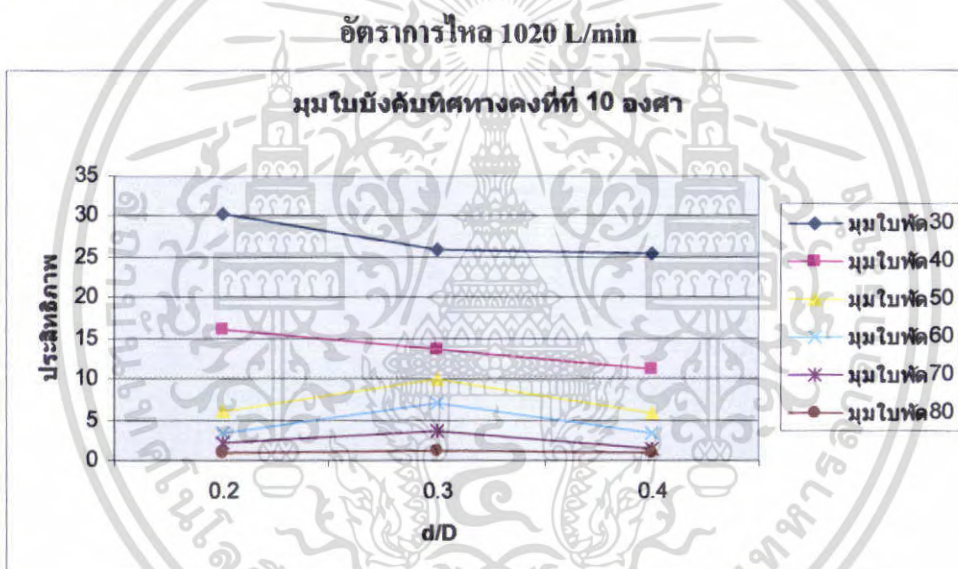
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



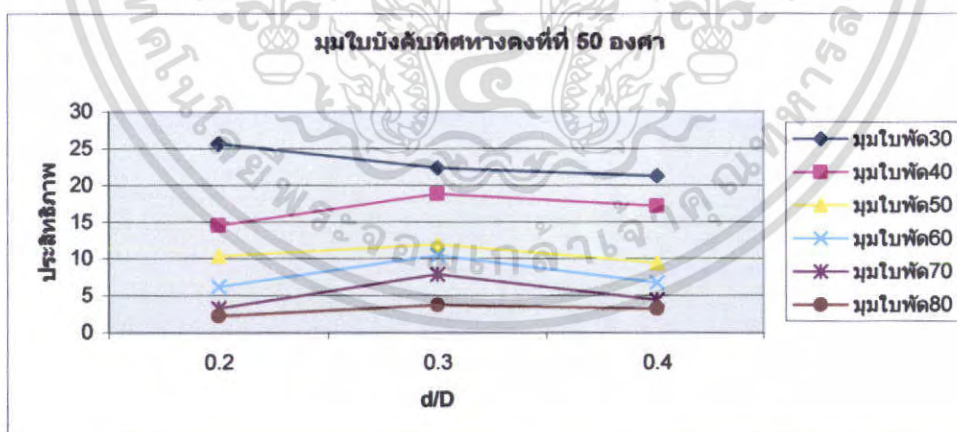
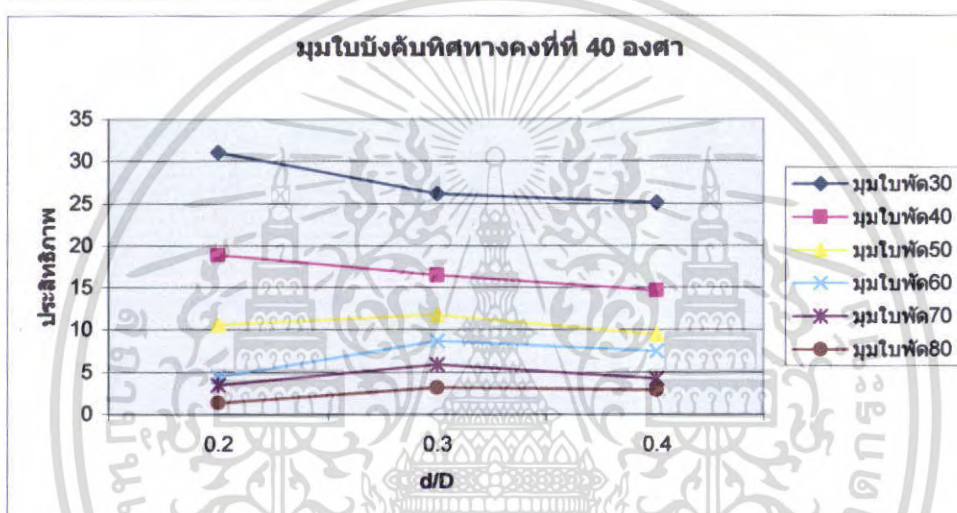
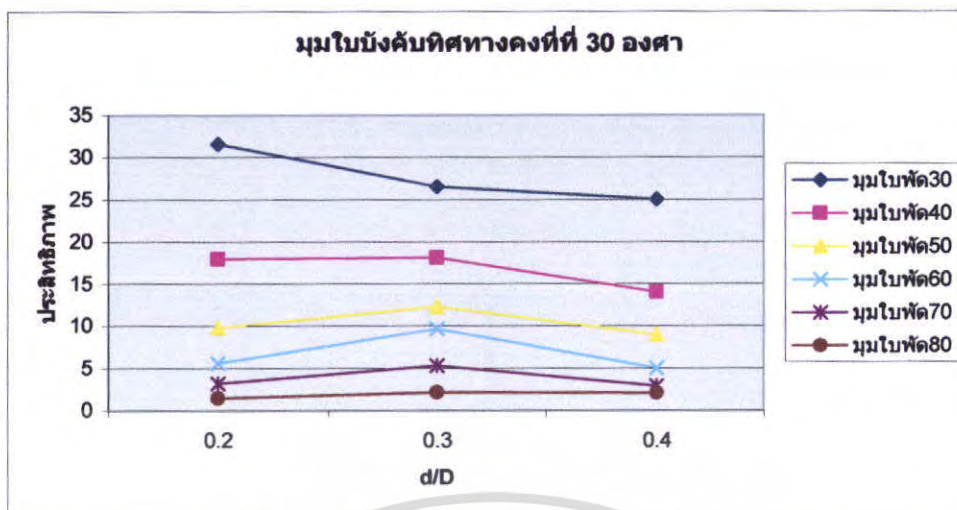
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D=0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



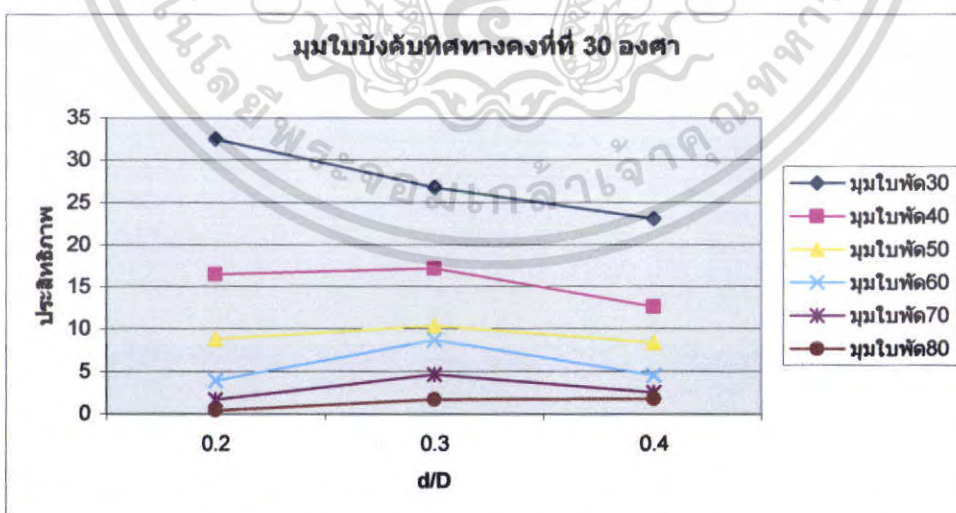
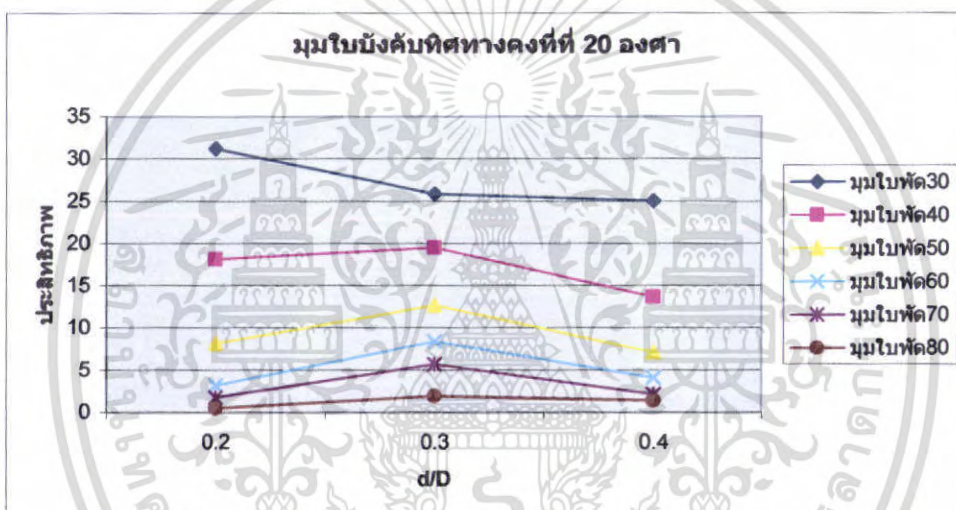
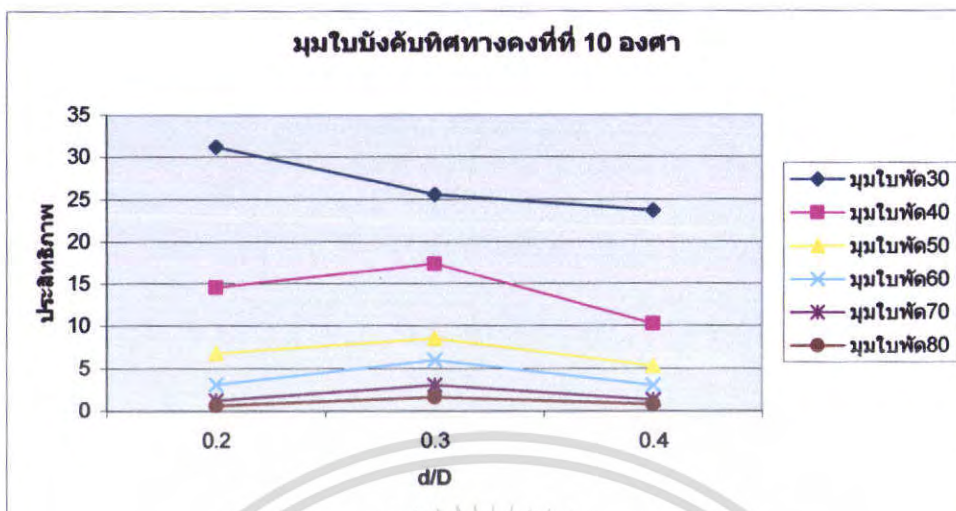
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



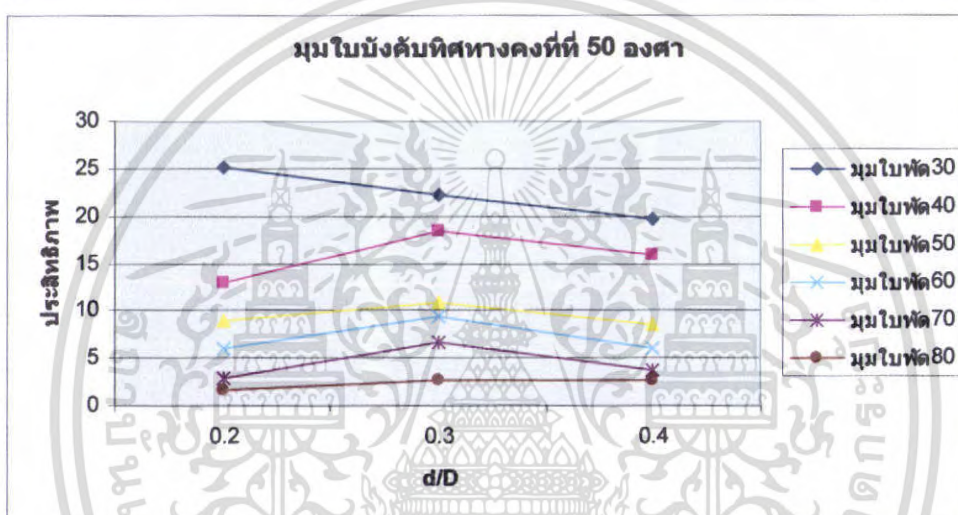
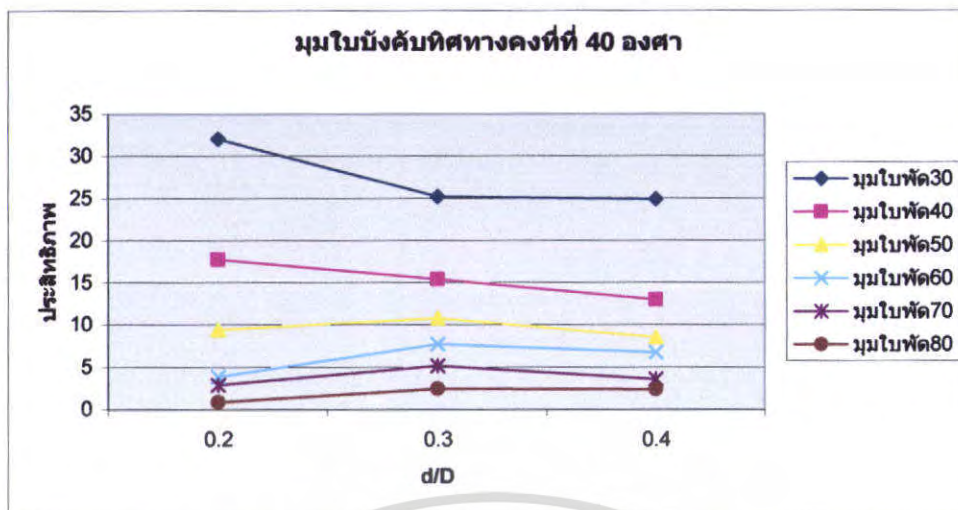
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D=0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราการไหล 900 L/min



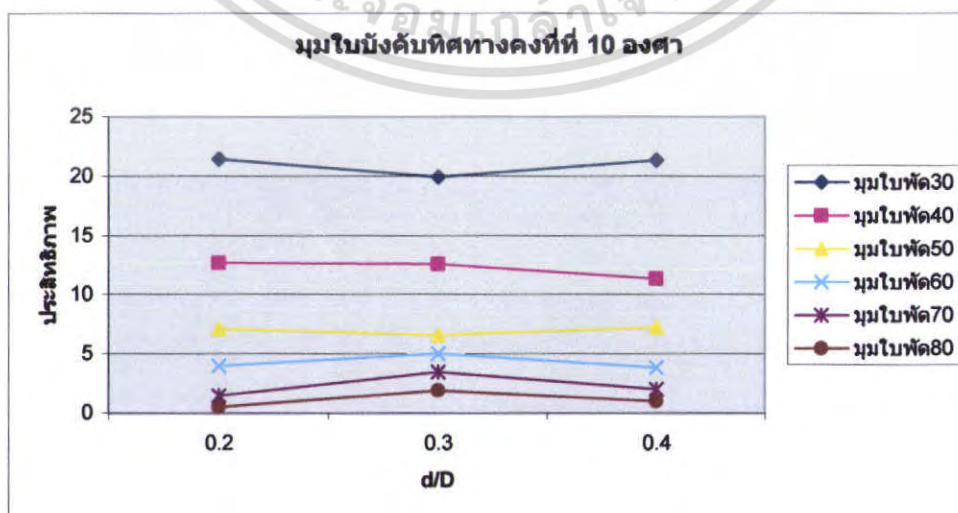
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



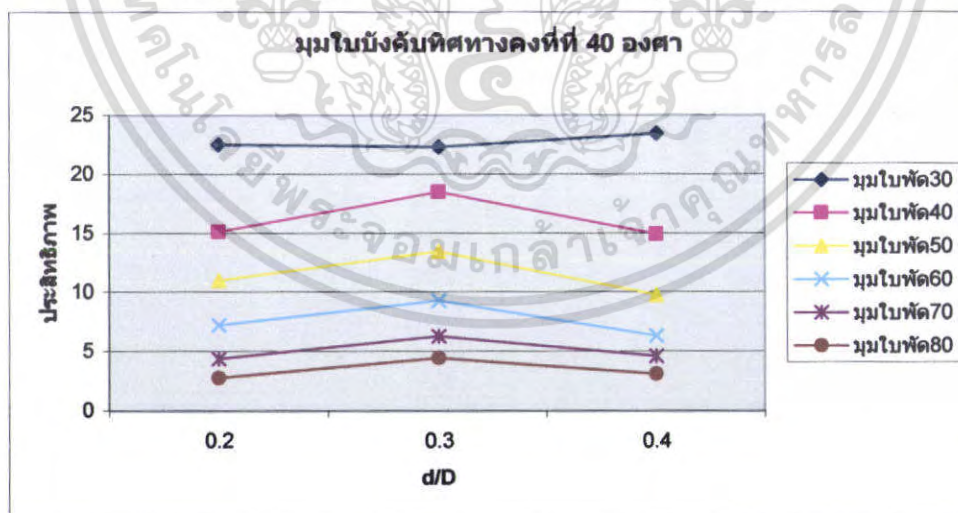
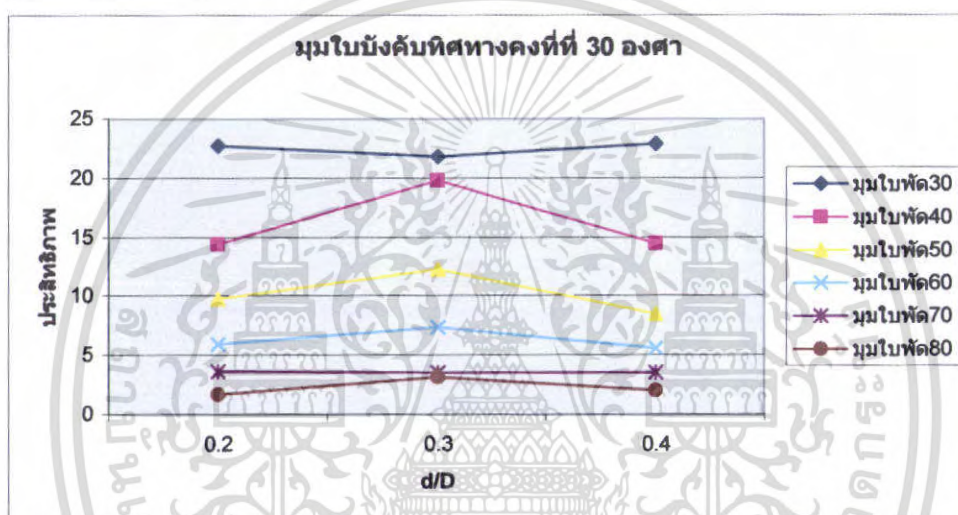
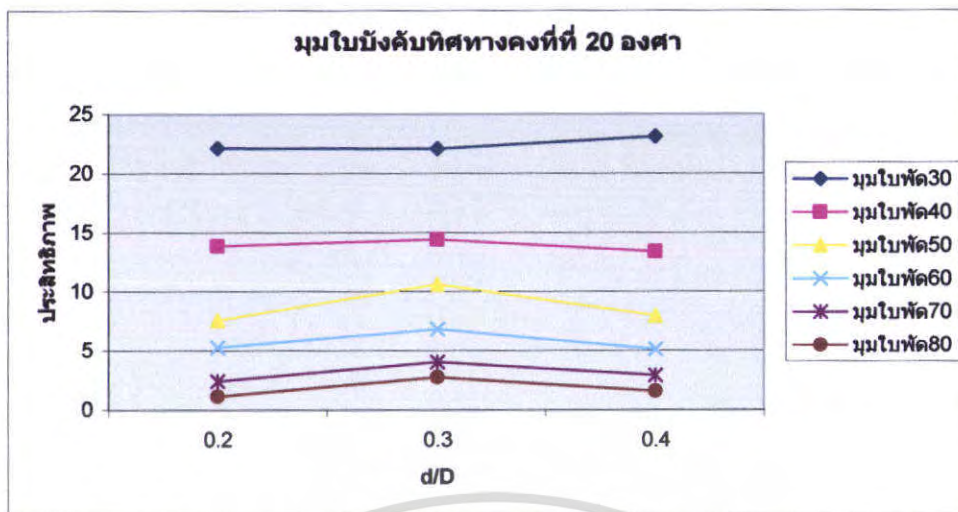
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D=0.2$ ที่นมใบมังคุดทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

จำนวนใบพัด 4 ใบ

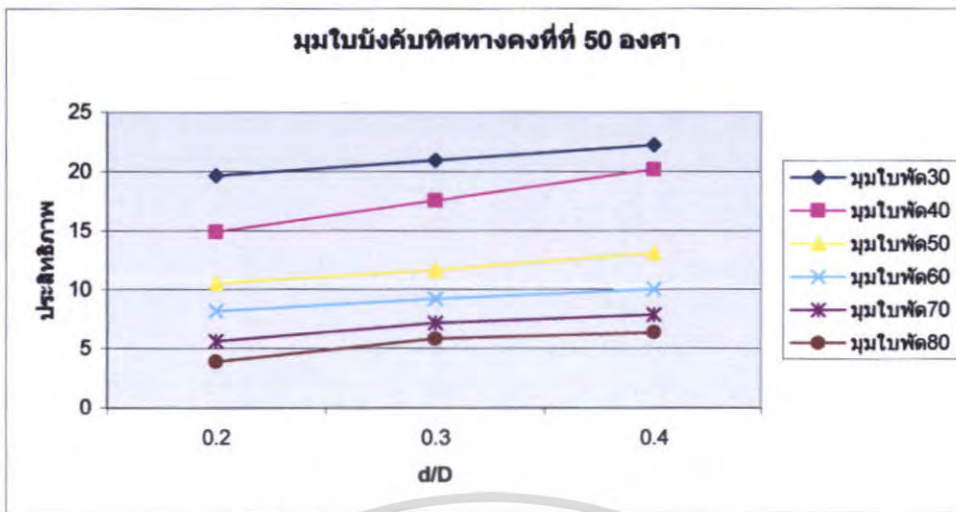
อัตราการไหล 1200 L/min



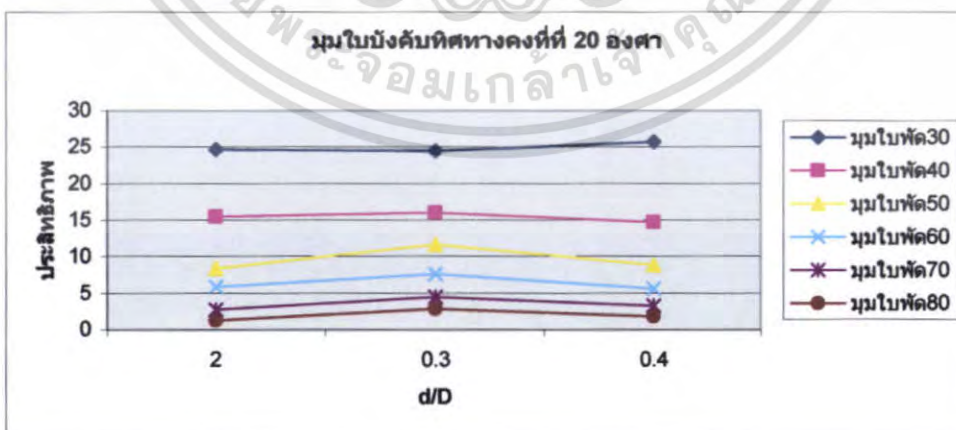
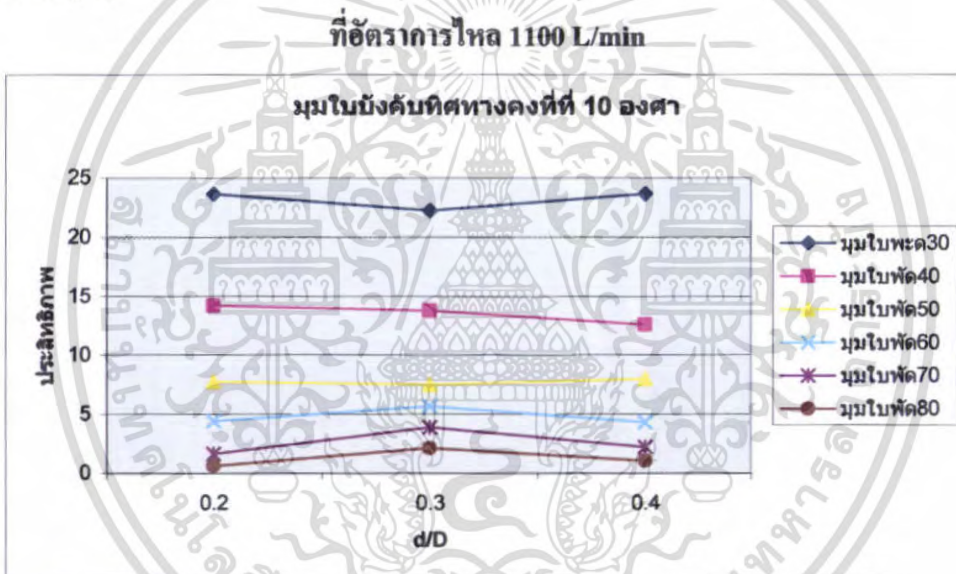
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



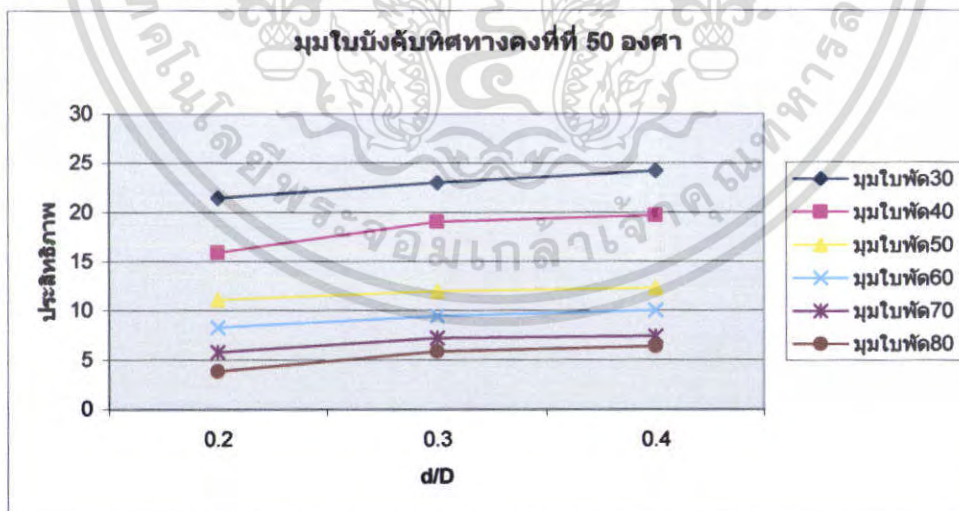
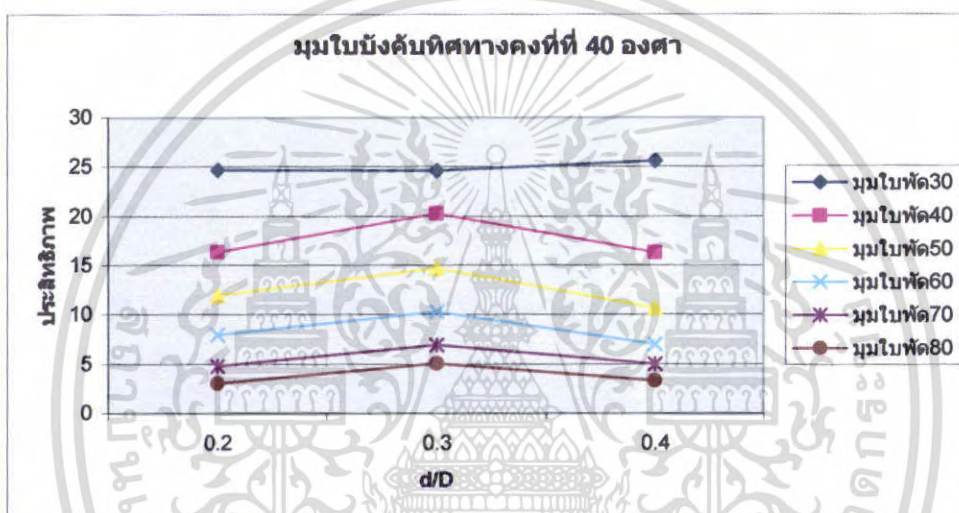
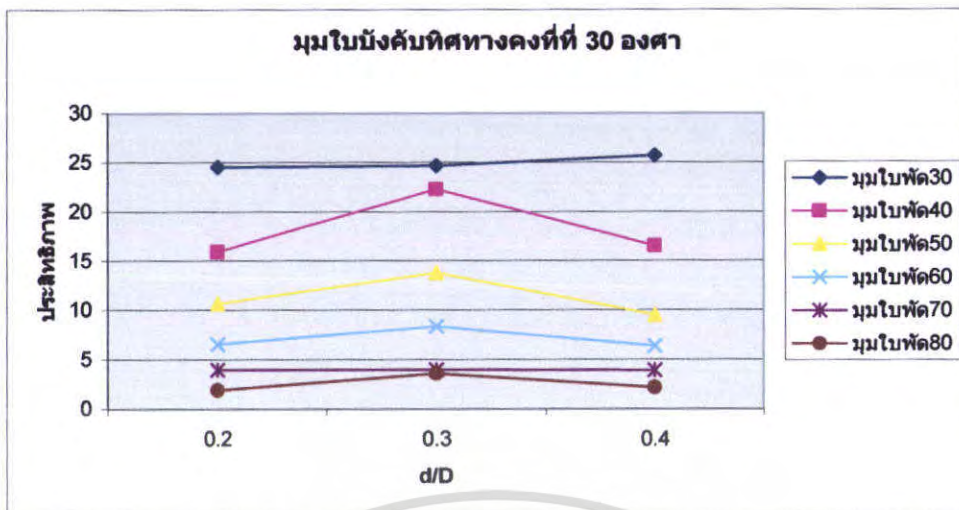
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.4$ ที่มุมใบบั้งคืบคิศทางคกงที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



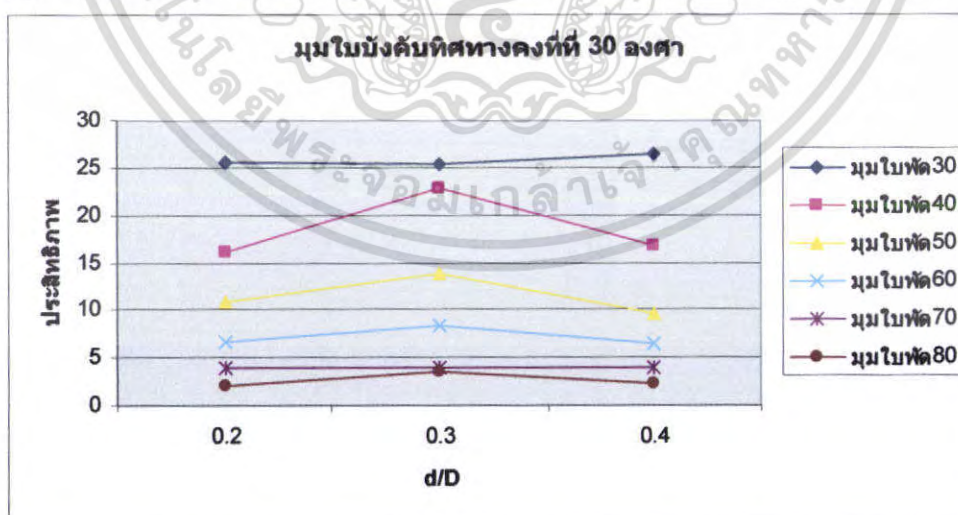
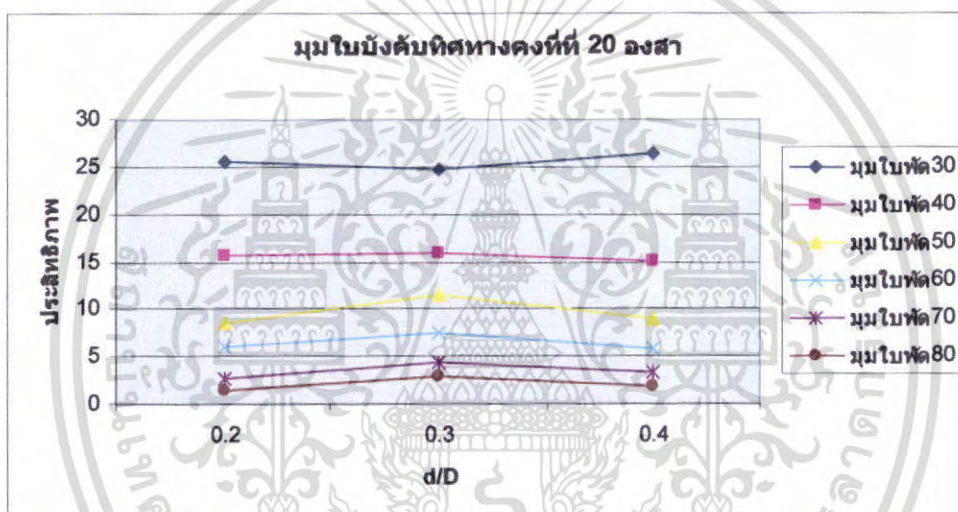
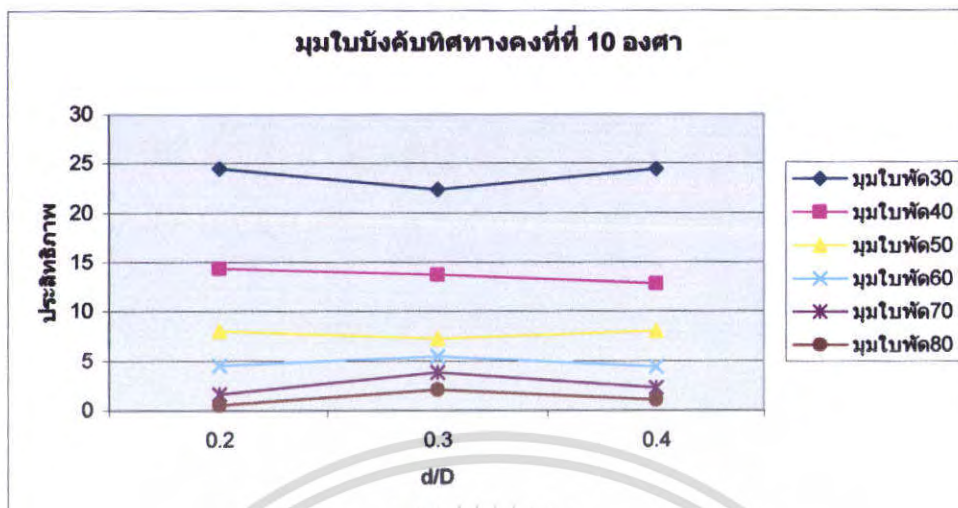
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



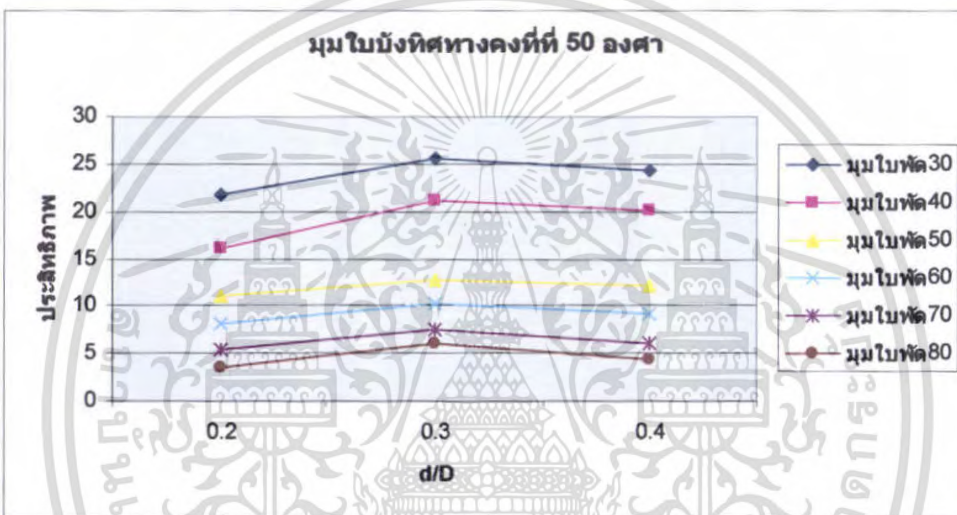
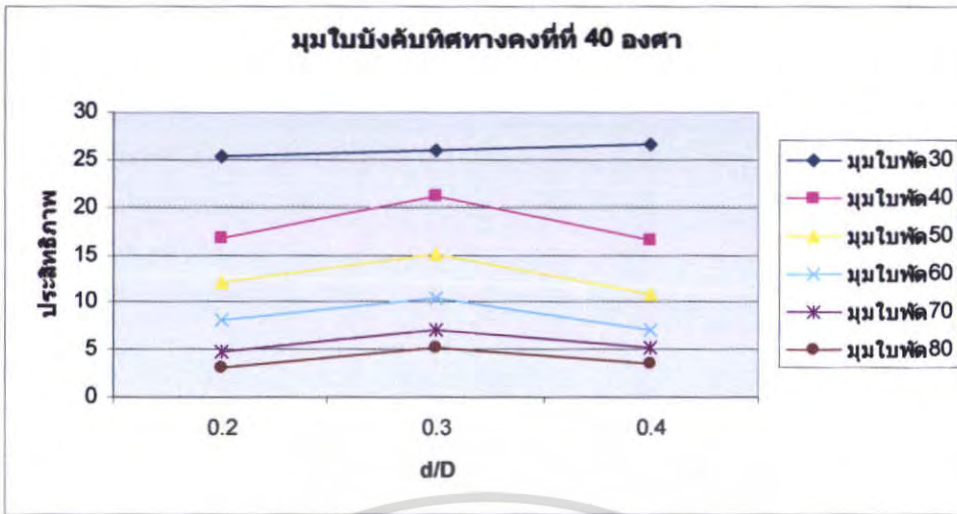
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราการไหล 1020 L/min

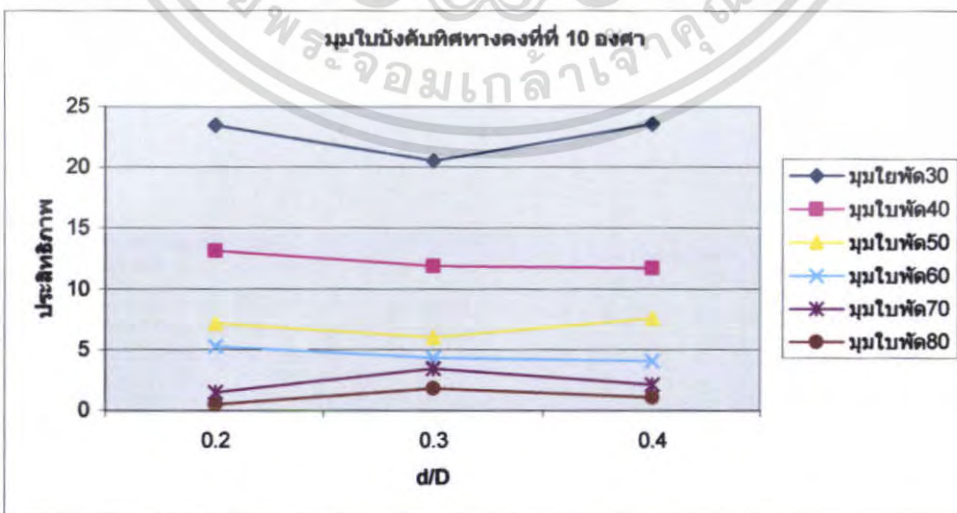


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

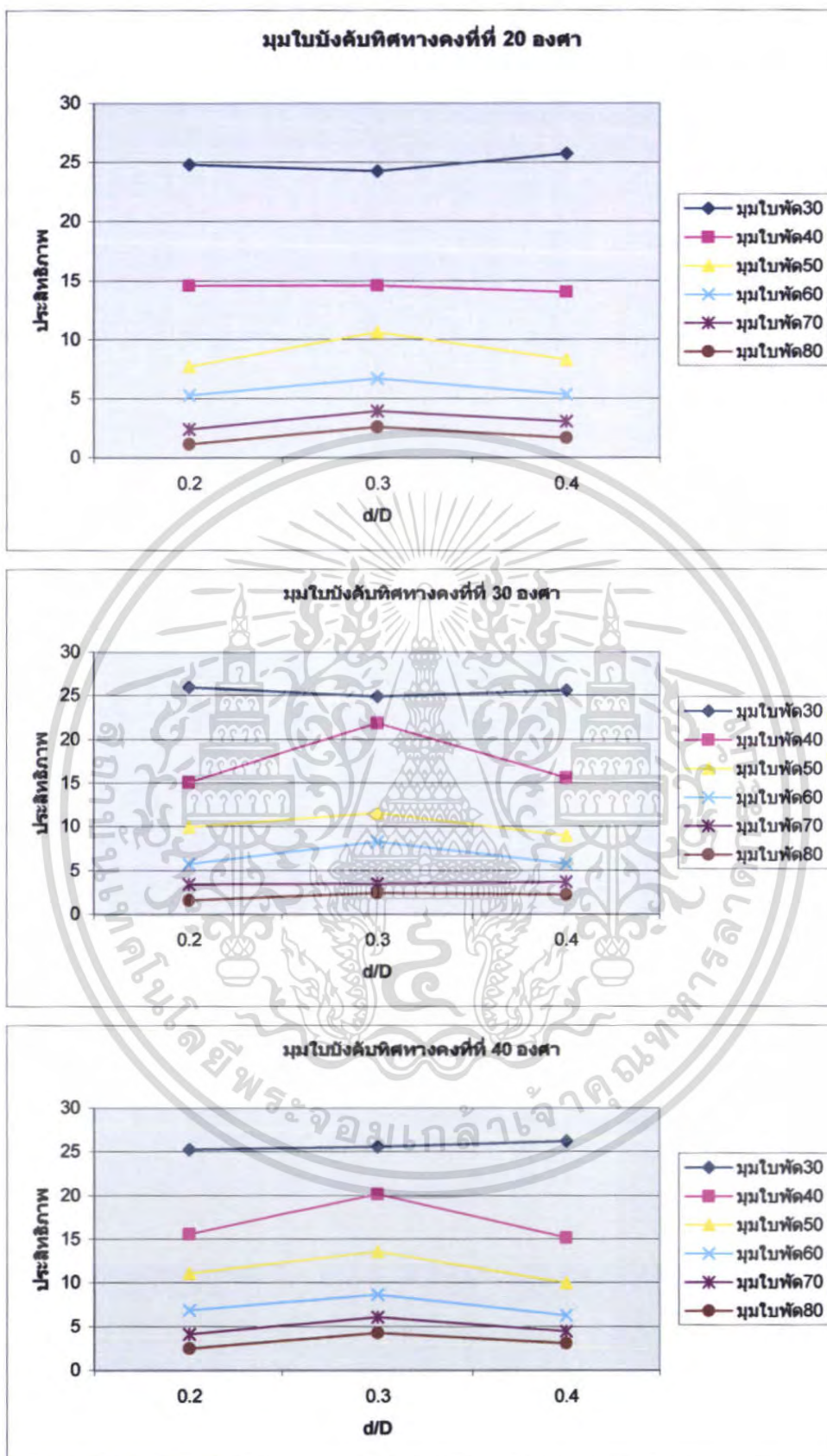


จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

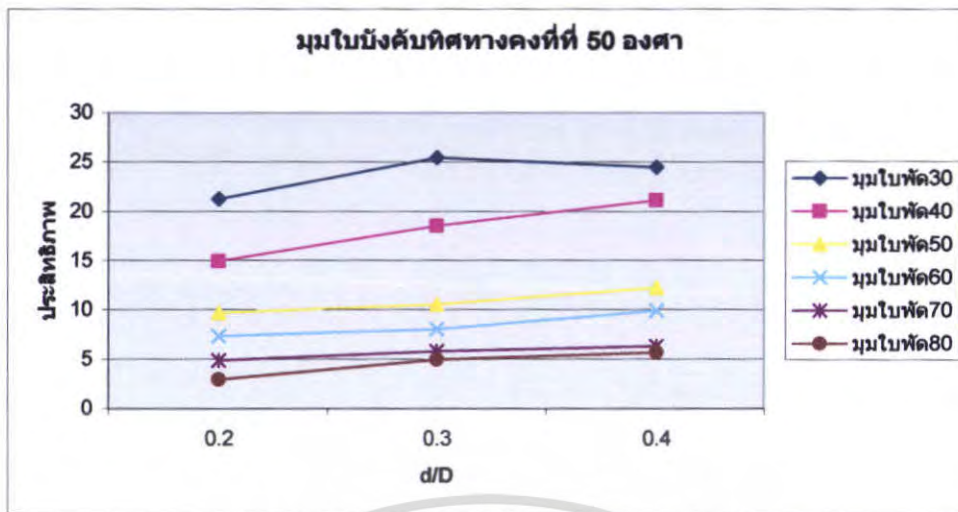
ที่อัตราการไหล 900 L/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



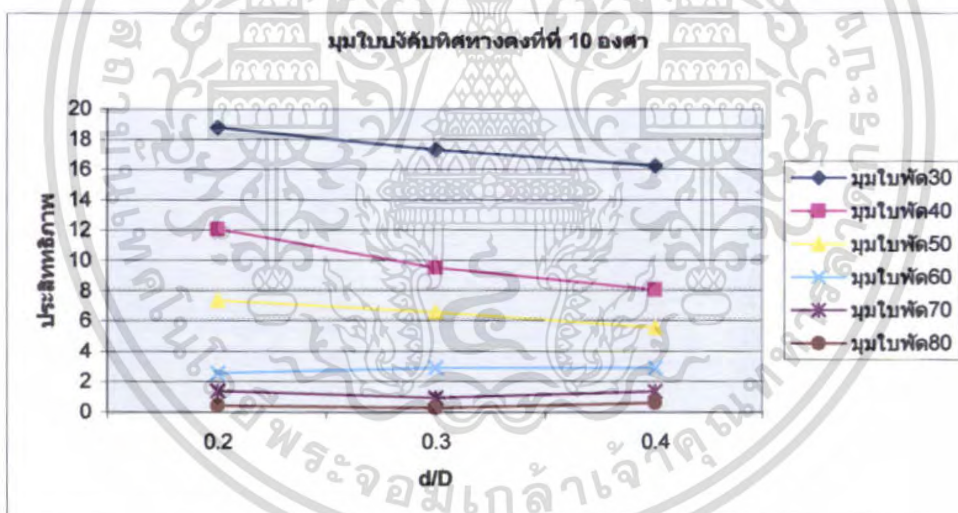
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



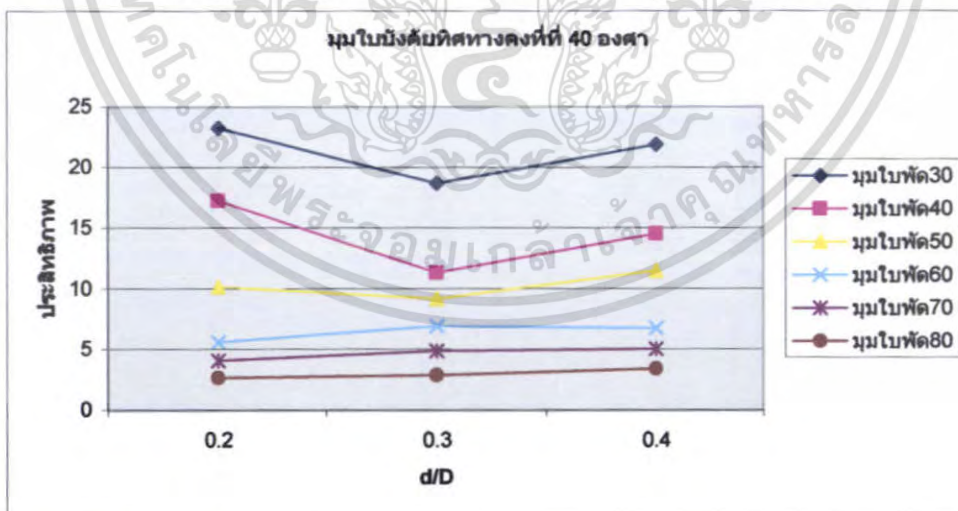
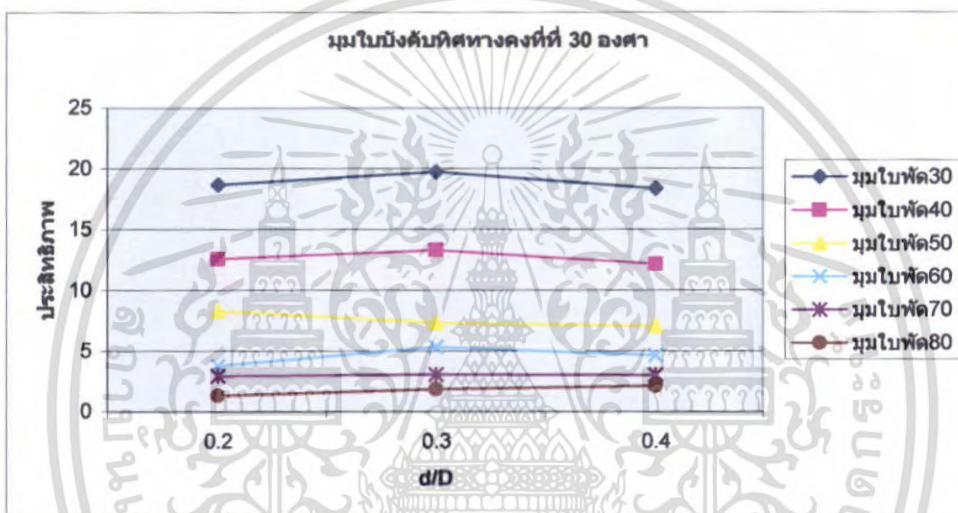
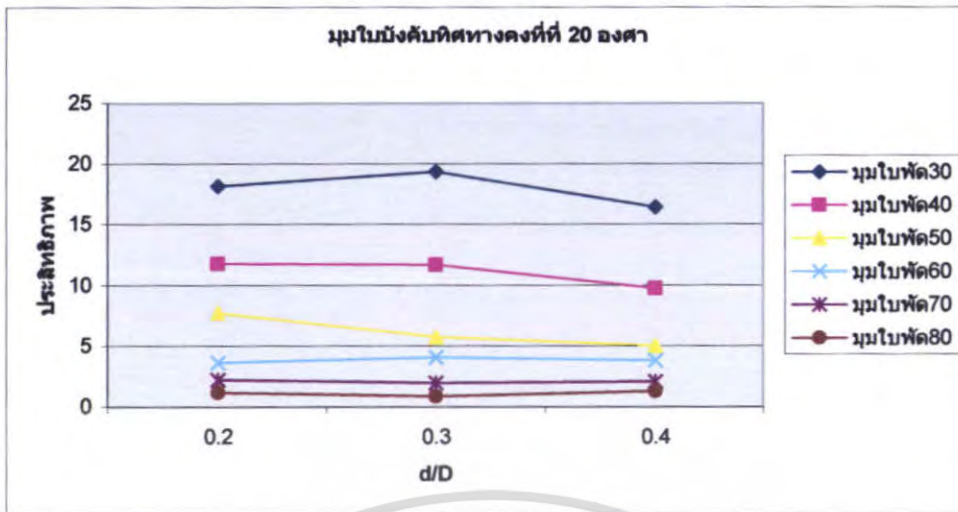
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.4$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 20, 40 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และ $d/D = 0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และ $d/D = 0.3$ ที่มุมใบบังคับทิศทาง 50 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

จำนวนใบพัด 5 ใบ

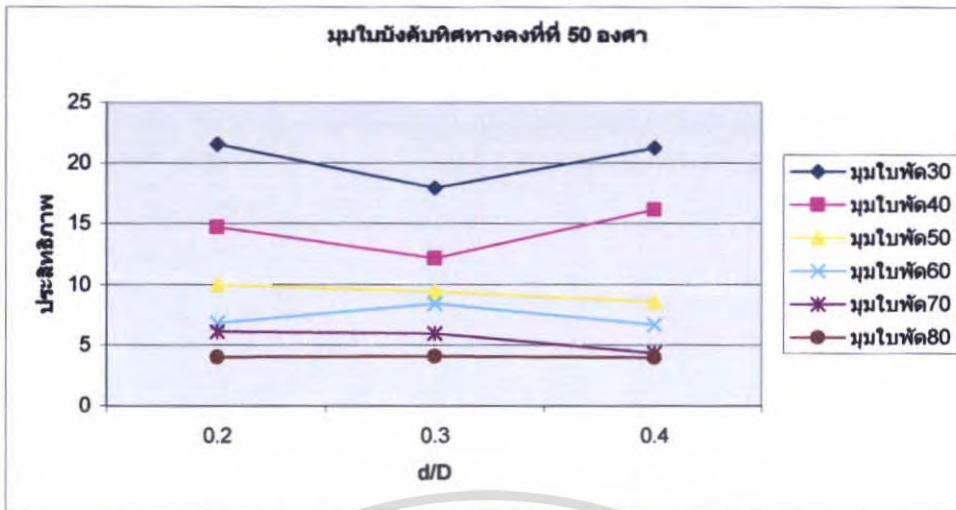
อัตราการไหล 1200 L/min



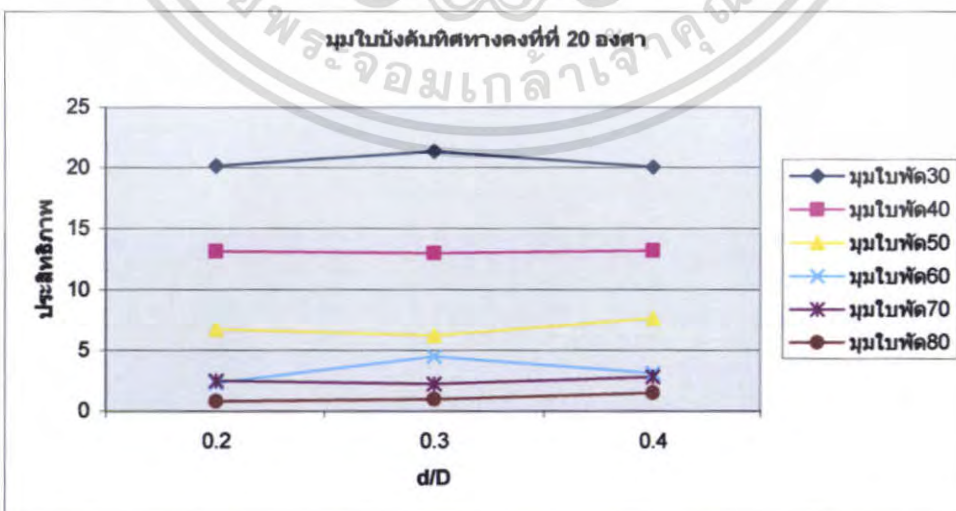
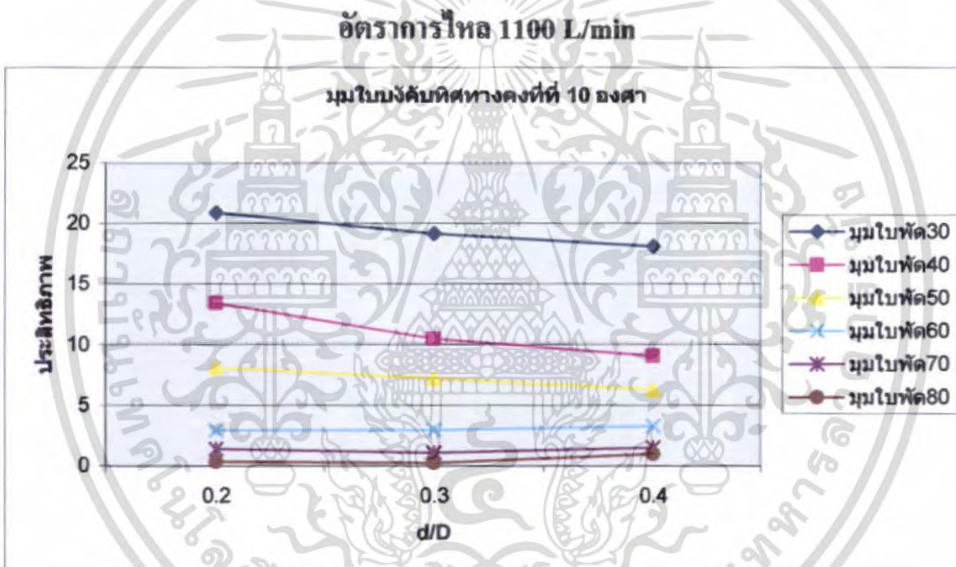
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



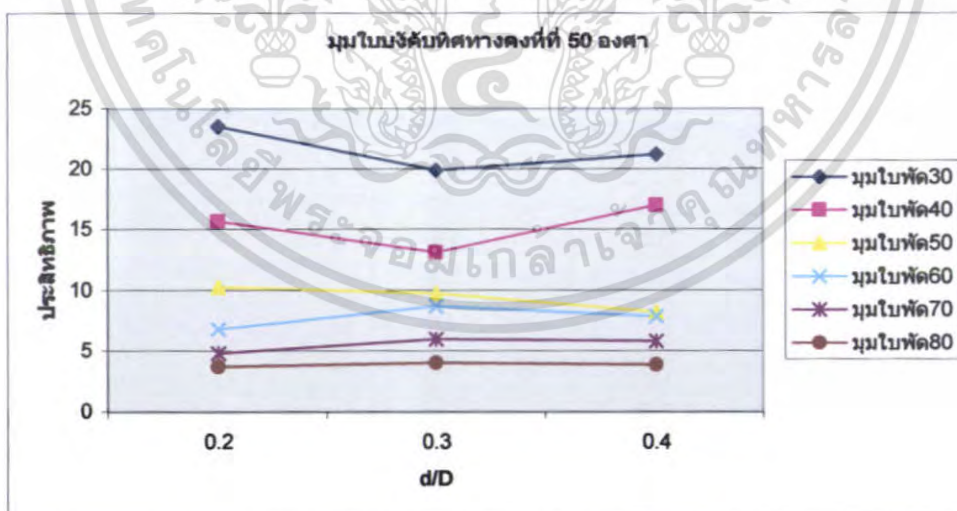
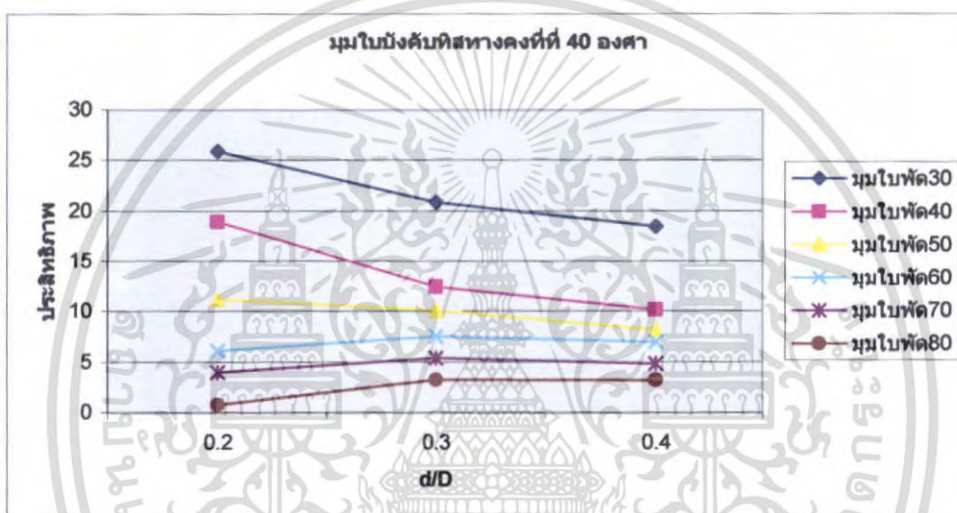
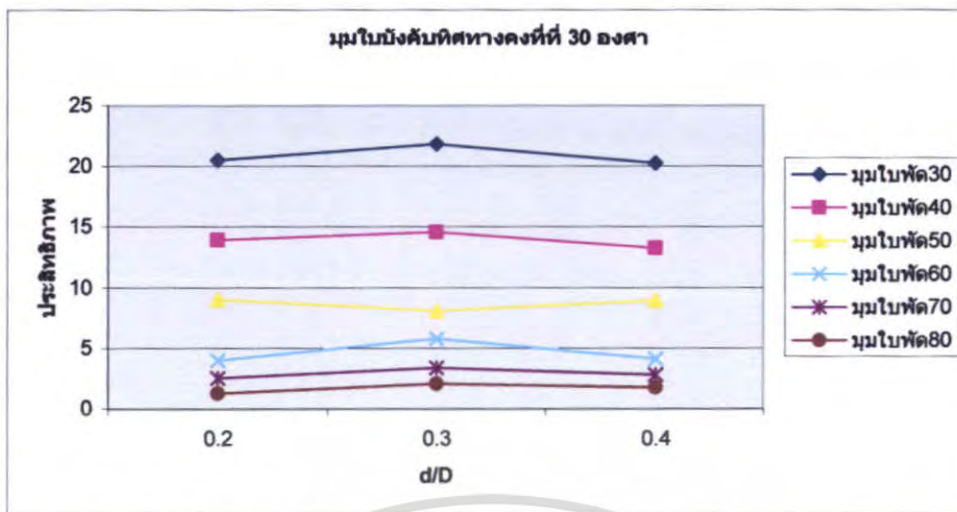
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10, 40 และ 50 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และ $d/D = 0.3$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20, 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



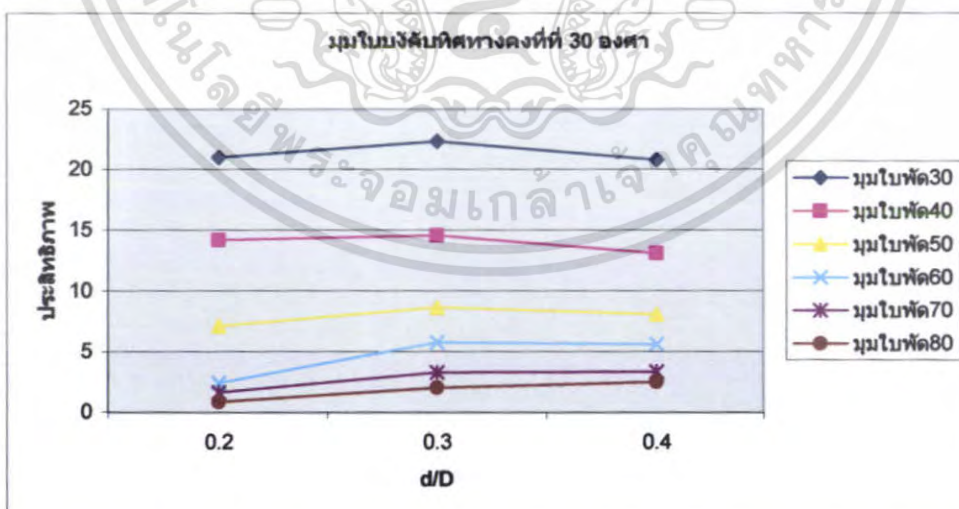
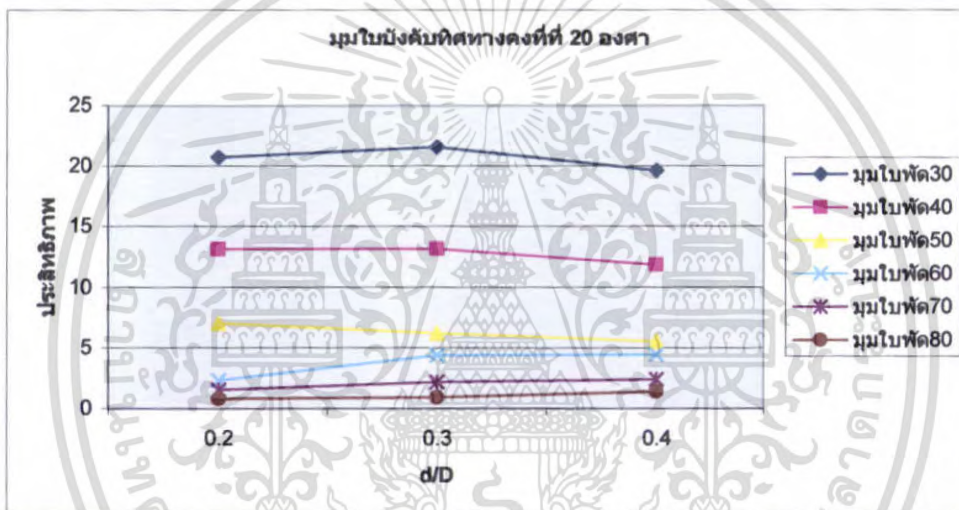
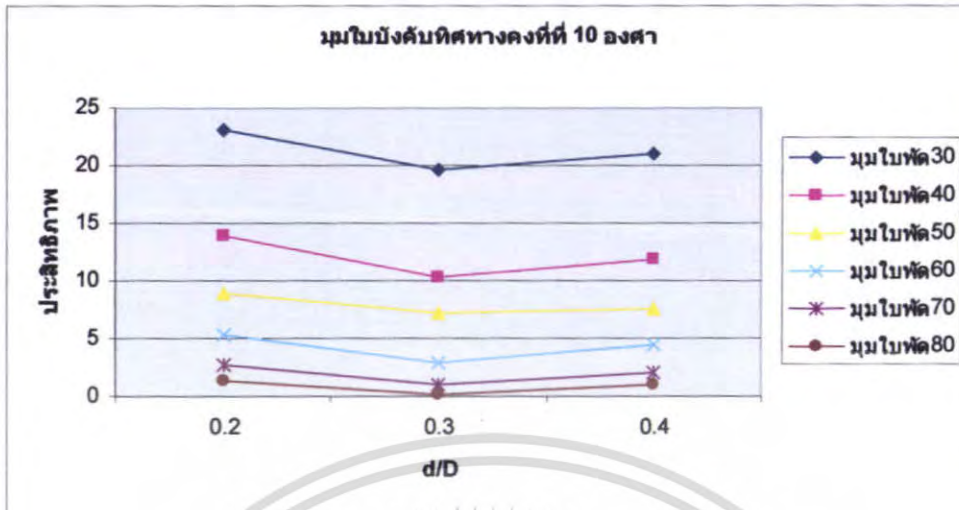
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



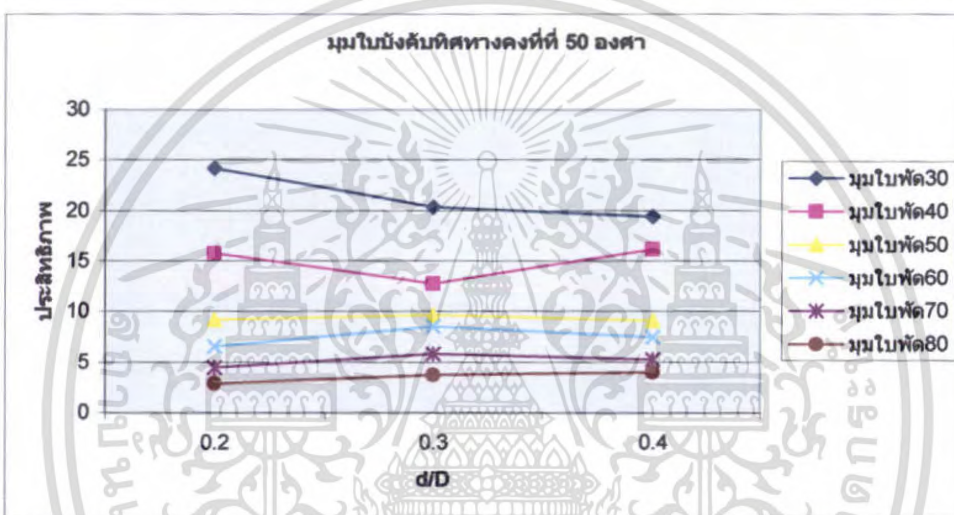
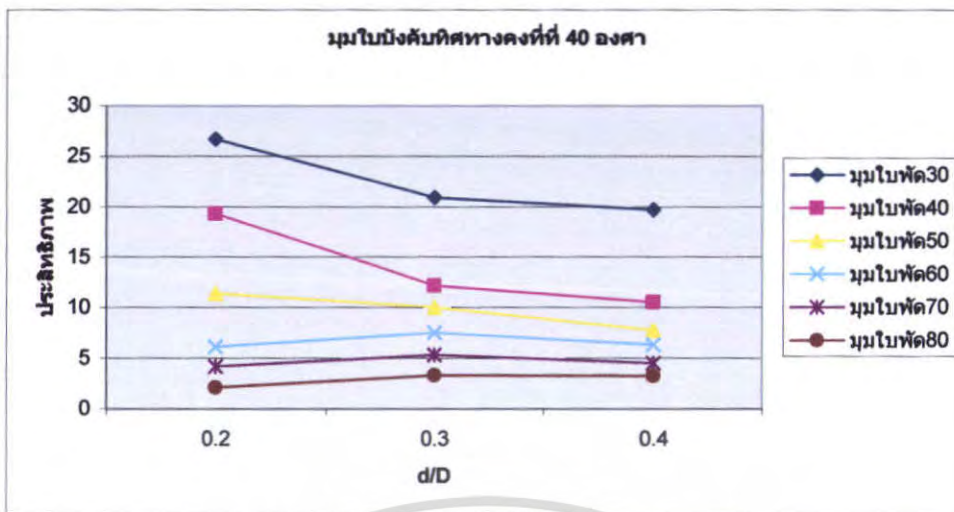
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D=0.2$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10,40 และ 50 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และ $d/D=0.3$ ที่มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20, 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

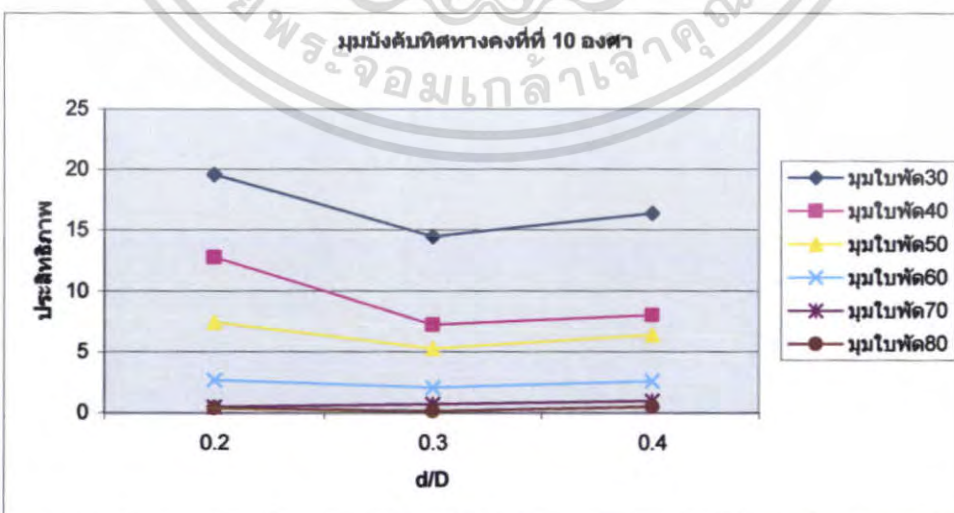
อัตราการไหล 1020 L/min



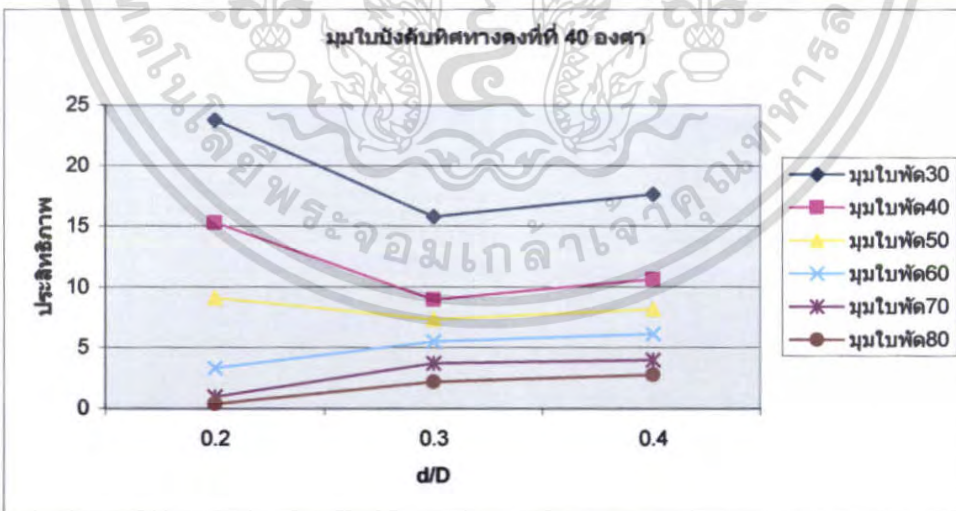
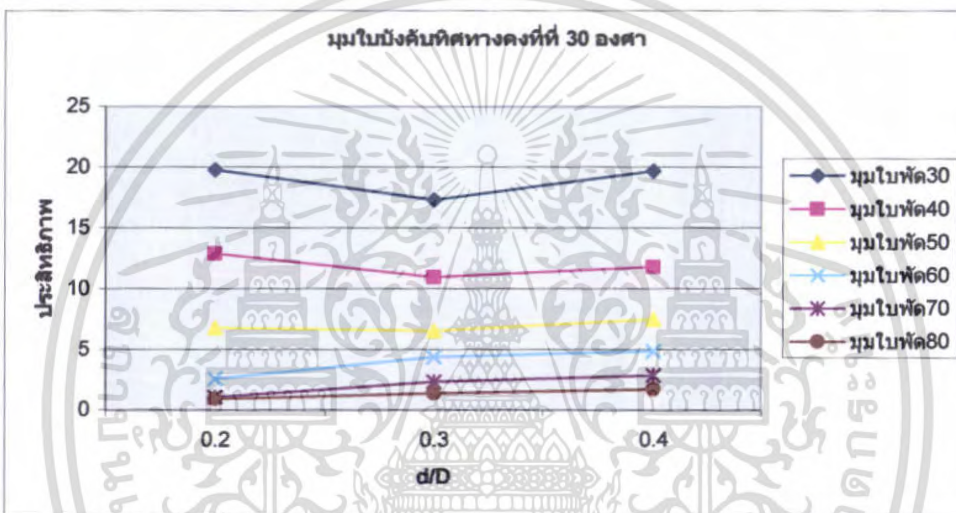
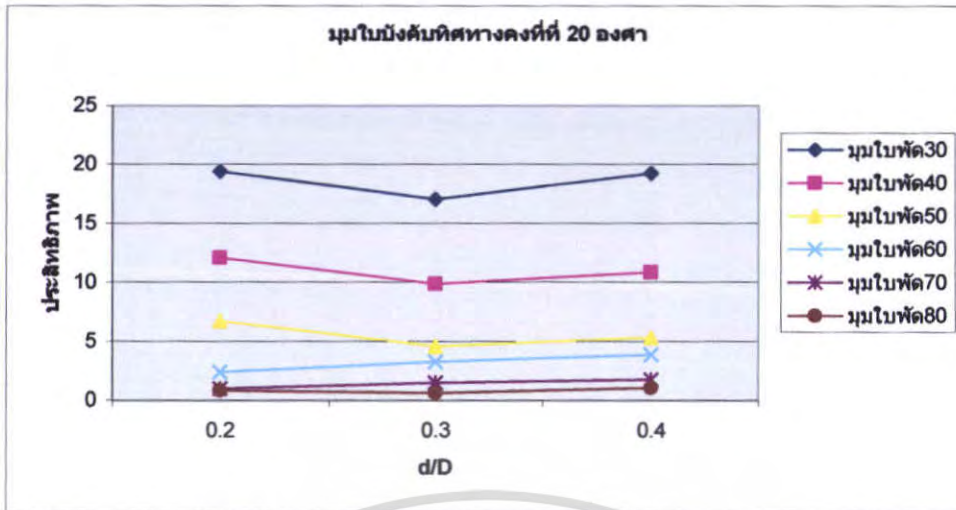
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



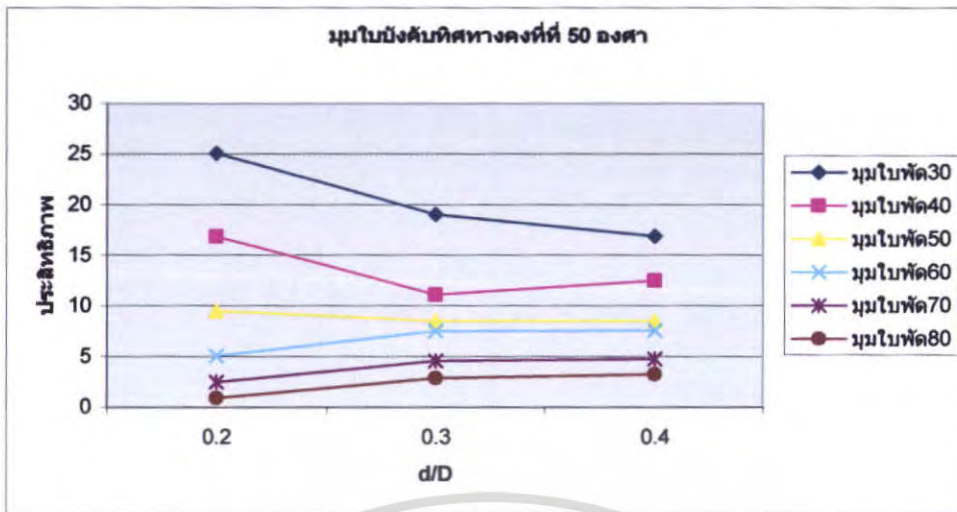
จำกผลกำรทลลองจะเห็นได้ว่ำ $d/D = 0.2$ ที่มุนไบบึงค้ำบทิศหำงค้งที่ 10, 40 และ 50 องศำ ได้ประสิทธิภำพสูงสุค และ $d/D = 0.3$ ที่มุนไบบึงค้ำบทิศหำงค้งที่ 20, 30 องศำ ได้ประสิทธิภำพสูงสุค
อัตรำกำรไหล 900 L/min



เอกสรำนี้เป็นเอกสรำที่สงวนไว้สำหรับกำรใช้งำนเพื่อกำรศีกษำเท่ำนั้น ไม่อนุญำตให้ นำไปใช้ประยोजนด้ำนกำรค้ำ
ไม่ว่ำกรณใด ๆ ทั้งสิ้น อี กทั้งหำมมิให้ดัดแปลงเนื้อหำ และต้องอ้ำงอิงถึงเจ้ำของเอกสรำทุคครั้งที่มีกำร นำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $d/D = 0.2$ ที่มุมไบบ่งค้ำทิศทางค้งที่ 10, 40 และ 50 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และ $d/D = 0.4$ ที่มุมไบบ่งค้ำทิศทางค้งที่ 20, 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการวิเคราะห์กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับจำนวนใบพัดที่ 3, 4 , และ 5 ใบและที่มุมใบพัดต่างๆเมื่ออัตราการไหลคงที่ ผลปรากฏว่าจำนวนใบพัดที่เหมาะสมคือ 3 ใบและจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก (d/D) ที่ 0.2 , 0.3 , และ 0.5 และที่มุมใบพัดต่างๆเมื่ออัตราการไหลคงที่ ผลปรากฏว่า (d/D) ที่เหมาะสมคือ 0.2 และเมื่อทำการเปลี่ยนมุมใบบังคับทิศทางที่ 10 , 20 , 30 , 40 , และ 50 องศาผลปรากฏว่าที่มุมใบบังคับทิศที่เหมาะสมคือที่ 30 องศา และเมื่อทำการเปลี่ยนมุมใบพัดที่ 30 , 40 , 50 , 60 , 70 และ 80 องศา มุมใบพัดที่เหมาะสมคือ 30 องศา

ดังนั้นที่จำนวนใบพัด 3 ใบ อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่อภายนอก 0.2 มุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา มุมใบพัด 30 องศา เหมาะสมที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] มนตรี พิรุณกษัตริ. 2547. กลศาสตร์ของไหล. วิทยพัฒน์ จำกัด.
- [2] เสรี สุภาทิพย์. 2546. กลศาสตร์ของไหล. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [3] วีระชัย ถิ้มพรชัยเจริญ และพงศศักดิ์ ชินนาบุญ. 2544. กลศาสตร์ของไหล. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] สุธรรม นิยมวาส และบัญญัติ นิยมวาส 2549. เครื่องจักรกลของไหล. วิทยพัฒน์ จำกัด.
- [5] Doble WA. The Tangential Water Wheel. Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Vol. XXIX. 1899
- [6] Durrand WF. The Pelton Water Wheel. Stanford University. Mechanical Engineering. 1939
- [7] Rao NS. Fluid Flow Machines. McGraw-Hill. 1984



ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

1. อัตราการไหล 1200 L/min

1.1 $\frac{d}{D} = 0.2$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2513	2.198840005	578.355	106661.6	2198.072	26.3119235
10	40	1497	1.934941321	303.1782	106661.6	2198.072	13.7929156
10	50	998	1.489539609	155.5933	106661.6	2198.072	7.078627791
10	60	753	1.194713401	94.16014	106661.6	2198.072	4.283760584
10	70	574	0.947606485	56.93093	106661.6	2198.072	2.590039551
10	80	428	0.72623478	32.53338	106661.6	2198.072	1.480087163

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2602	2.180876441	593.9457	107462.1	2214.082	26.82582242
20	40	1758	2.085048006	383.6572	107462.1	2214.082	17.32804717
20	50	1097	1.594447593	183.0734	107462.1	2214.082	8.268592112
20	60	723	1.155166042	87.41604	107462.1	2214.082	3.948184172
20	70	627	1.023561754	67.17226	107462.1	2214.082	3.033865217
20	80	594	0.976544546	60.71373	107462.1	2214.082	2.742162554

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2716	2.148200056	610.6789	108529.5	2235.43	27.31818284
30	40	1677	2.04455353	358.8723	108529.5	2235.43	16.05383765
30	50	1161	1.65790924	201.4658	108529.5	2235.43	9.012396497
30	60	947	1.432300545	141.9687	108529.5	2235.43	6.350844138
30	70	703	1.128383417	83.0272	108529.5	2235.43	3.714149137
30	80	610	0.999454388	63.81183	108529.5	2235.43	2.854566287

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2734	2.142048124	612.9656	111864.9	2302.138	26.62592925
40	40	1794	2.101286114	394.5627	111864.9	2302.138	17.13896805
40	50	1234	1.726117564	222.943	111864.9	2302.138	9.684173713
40	60	986	1.476267087	152.3527	111864.9	2302.138	6.617880063
40	70	791	1.243727333	102.9698	111864.9	2302.138	4.472791995
40	80	560	0.927151008	54.34341	111864.9	2302.138	2.360562707

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2470	2.205148052	570.0896	118669.9	2438.238	23.38121116
50	40	1598	1.999778937	334.4777	118669.9	2438.238	13.71800834
50	50	1335	1.813146973	253.351	118669.9	2438.238	10.39074227
50	60	1004	1.496130756	157.2214	118669.9	2438.238	6.448156384
50	70	804	1.260218308	106.0499	118669.9	2438.238	4.349447884
50	80	774	1.221949173	98.99255	118669.9	2438.238	4.06000343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4 ใบ

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2057	2.187066268	470.8739	106661.6	2198.072	21.4221331
10	40	1421	1.880533449	279.6942	106661.6	2198.072	12.72452619
10	50	1005	1.497226357	157.4932	106661.6	2198.072	7.165062859
10	60	731	1.165785523	89.1958	106661.6	2198.072	4.057910967
10	70	432	0.732537023	33.12239	106661.6	2198.072	1.506883943
10	80	262	0.452903628	12.41983	106661.6	2198.072	0.565032685

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2129	2.200474401	490.3434	107462.1	2214.082	22.14658024
20	40	1510	1.943764628	307.2055	107462.1	2214.082	13.8750742
20	50	1047	1.542487177	169.035	107462.1	2214.082	7.634541075
20	60	854	1.32232932	118.1968	107462.1	2214.082	5.338413261
20	70	562	0.930083244	54.70998	107462.1	2214.082	2.471000471
20	80	385	0.657641453	26.50076	107462.1	2214.082	1.196918561

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2198	2.209259865	508.2564	108529.5	2235.43	22.73640567
30	40	1562	1.977645964	323.324	108529.5	2235.43	14.46361641
30	50	1223	1.716124482	219.6765	108529.5	2235.43	9.827036348
30	60	916	1.396446328	133.8838	108529.5	2235.43	5.989175514
30	70	699	1.12298679	82.15996	108529.5	2235.43	3.675353715
30	80	470	0.791741652	38.94841	108529.5	2235.43	1.742322998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2238	2.212531628	518.2723	111864.9	2302.138	22.51264949
40	40	1645	2.027045237	349.0099	111864.9	2302.138	15.16025069
40	50	1340	1.817233968	254.8731	111864.9	2302.138	11.07114871
40	60	1043	1.538240116	167.9256	111864.9	2302.138	7.294331246
40	70	785	1.236068493	101.5595	111864.9	2302.138	4.411529961
40	80	612	1.00230308	64.20353	111864.9	2302.138	2.788865225

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็ว รอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2087	2.193179317	479.0766	118669.9	2438.238	19.64847681
50	40	1693	2.052986868	363.7906	118669.9	2438.238	14.92022689
50	50	1354	1.82856644	259.142	118669.9	2438.238	10.62824867
50	60	1160	1.656943968	201.1751	118669.9	2438.238	8.250838938
50	70	934	1.417362652	138.5595	118669.9	2438.238	5.682771043
50	80	763	1.207728765	96.45002	118669.9	2438.238	3.955726404

จำนวนใบพัด 5ใบ

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1856	2.126714	413.1382	106661.6	2198.072	18.79548
10	40	1377	1.846829	266.176	106661.6	2198.072	12.10952
10	50	1024	1.517884	162.6848	106661.6	2198.072	7.401249
10	60	578	0.953421	57.67942	106661.6	2198.072	2.624091
10	70	419	0.712006	31.22525	106661.6	2198.072	1.420575
10	80	238	0.411481	10.25027	106661.6	2198.072	0.46633

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .12 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1818	2.11151	401.7866	107462.1	2214.082	18.14687
20	40	1362	1.834969	261.5858	107462.1	2214.082	11.81464
20	50	1056	1.551994	171.5388	107462.1	2214.082	7.747627
20	60	697	1.120283	81.72767	107462.1	2214.082	3.691266
20	70	535	0.890216	49.84913	107462.1	2214.082	2.251458
20	80	384	0.656028	26.36707	107462.1	2214.082	1.190881

ตารางที่ ก .13 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1874	2.133494	418.475	108529.5	2235.43	18.72011
30	40	1427	1.885004	281.543	108529.5	2235.43	12.59458
30	50	1110	1.607615	186.7727	108529.5	2235.43	8.355114
30	60	714	1.143155	85.43028	108529.5	2235.43	3.821648
30	70	625	1.020738	66.77329	108529.5	2235.43	2.987044
30	80	410	0.697709	29.94103	108529.5	2235.43	1.339386

ตารางที่ ก .14 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2312	2.215061	536.021	111864.9	2302.138	23.28362
40	40	1804	2.105605	397.5774	111864.9	2302.138	17.26992
40	50	1274	1.761604	234.9017	111864.9	2302.138	10.20363
40	60	897	1.374074	129.0063	111864.9	2302.138	5.603762
40	70	754	1.196019	94.3882	111864.9	2302.138	4.100024
40	80	599	0.983727	61.67508	111864.9	2302.138	2.679035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .15 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2270	2.214187	526.076	118669.9	2438.238	21.57607
50	40	1680	2.046151	359.7952	118669.9	2438.238	14.75636
50	50	1305	1.788186	244.2484	118669.9	2438.238	10.01741
50	60	1044	1.539303	168.2027	118669.9	2438.238	6.898536
50	70	975	1.463995	149.4007	118669.9	2438.238	6.127404
50	80	774	1.221949	98.99255	118669.9	2438.238	4.060003

$$1.2 \frac{d}{D} = 0.3$$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก .16 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2036	2.319249	494.2352	106661.6	2198.072	22.48494
10	40	1286	1.994849	268.5093	106661.6	2198.072	12.21567
10	50	1047	1.754402	192.2579	106661.6	2198.072	8.746659
10	60	878	1.544393	141.9256	106661.6	2198.072	6.456822
10	70	598	1.123545	70.32341	106661.6	2198.072	3.199323
10	80	366	0.705959	27.04388	106661.6	2198.072	1.230345

ตารางที่ ก .17 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2089	2.317494	506.7169	107462.1	2214.082	22.8861
20	40	1754	2.273808	417.4377	107462.1	2214.082	18.85376
20	50	1303	2.009428	274.0471	107462.1	2214.082	12.37746
20	60	1035	1.740582	188.5573	107462.1	2214.082	8.516274
20	70	863	1.524153	137.6726	107462.1	2214.082	6.218046
20	80	476	0.911734	45.42383	107462.1	2214.082	2.051587

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2156	2.310612	521.4158	108529.5	2235.43	23.32508
30	40	1574	2.196578	361.876	108529.5	2235.43	16.1882
30	50	1248	1.961048	256.1599	108529.5	2235.43	11.45909
30	60	1067	1.777063	198.4612	108529.5	2235.43	8.877987
30	70	747	1.358815	106.2403	108529.5	2235.43	4.752568
30	80	474	0.908118	45.05357	108529.5	2235.43	2.015432

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2160	2.310036	522.253	111864.9	2302.138	22.68557
40	40	1510	2.160063	341.3907	111864.9	2302.138	14.82929
40	50	1218	1.93318	246.4495	111864.9	2302.138	10.70525
40	60	1027	1.731277	186.0995	111864.9	2302.138	8.08377
40	70	823	1.468903	126.5323	111864.9	2302.138	5.496293
40	80	594	1.116874	69.43828	111864.9	2302.138	3.016252

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2008	2.318862	487.3567	118669.9	2438.238	19.98807
50	40	1758	2.275097	418.627	118669.9	2438.238	17.16924
50	50	1326	2.028619	281.548	118669.9	2438.238	11.54719
50	60	1215	1.930336	245.4808	118669.9	2438.238	10.06796
50	70	1040	1.746361	190.0972	118669.9	2438.238	7.796498
50	80	717	1.313516	98.57409	118669.9	2438.238	4.042841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก.21 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1825	2.293936	438.18	106661.6	2198.072	19.93475
10	40	1311	2.016173	276.6552	106661.6	2198.072	12.58627
10	50	892	1.563049	145.9304	106661.6	2198.072	6.639017
10	60	766	1.386965	111.1995	106661.6	2198.072	5.058955
10	70	628	1.172985	77.10108	106661.6	2198.072	3.507668
10	80	463	0.888147	43.04019	106661.6	2198.072	1.958088

ตารางที่ ก.22 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2016	2.319065	489.3413	107462.1	2214.082	22.10132
20	40	1444	2.117431	320.0257	107462.1	2214.082	14.4541
20	50	1186	1.902304	236.1419	107462.1	2214.082	10.66545
20	60	916	1.594501	152.8722	107462.1	2214.082	6.904542
20	70	684	1.26248	90.38349	107462.1	2214.082	4.082211
20	80	558	1.056001	61.67467	107462.1	2214.082	2.785564

ตารางที่ ก.23 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2067	2.318618	501.6237	108529.5	2235.43	22.4397
30	40	1886	2.30656	455.3181	108529.5	2235.43	20.36826
30	50	1326	2.028619	281.548	108529.5	2235.43	12.5948
30	60	972	1.665291	169.42	108529.5	2235.43	7.578856
30	70	648	1.205365	81.75268	108529.5	2235.43	3.657134
30	80	608	1.140141	72.55552	108529.5	2235.43	3.245707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2118	2.315154	513.2326	111864.9	2302.138	22.29374
40	40	1780	2.281857	425.1252	111864.9	2302.138	18.46654
40	50	1414	2.096383	310.2618	111864.9	2302.138	13.47712
40	60	1120	1.834871	215.0958	111864.9	2302.138	9.343306
40	70	889	1.55907	145.0694	111864.9	2302.138	6.301507
40	80	736	1.342327	103.4057	111864.9	2302.138	4.491724

ตารางที่ ก.25 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2108	2.316071	511.0118	118669.9	2438.238	20.95824
50	40	1792	2.285308	428.6384	118669.9	2438.238	17.57984
50	50	1337	2.037581	285.1377	118669.9	2438.238	11.69442
50	60	1156	1.872279	226.5358	118669.9	2438.238	9.290961
50	70	995	1.693312	176.3471	118669.9	2438.238	7.232564
50	80	882	1.549746	143.0664	118669.9	2438.238	5.867614

จำนวนใบพัด 5ใบ

ตารางที่ ก.26 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1632	2.225566	380.1624	106661.6	2198.072	17.29526
10	40	1104	1.817763	210.0461	106661.6	2198.072	9.555925
10	50	888	1.557742	144.7827	106661.6	2198.072	6.586806
10	60	570	1.076459	64.22153	106661.6	2198.072	2.921721
10	70	324	0.623688	21.15051	106661.6	2198.072	0.96223
10	80	183	0.33253	6.369275	106661.6	2198.072	0.289766

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.27 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1795	2.286144	429.5132	107462.1	2214.082	19.39916
20	40	1258	1.970105	259.4051	107462.1	2214.082	11.71615
20	50	829	1.477308	128.1841	107462.1	2214.082	5.789491
20	60	685	1.264045	90.62784	107462.1	2214.082	4.093247
20	70	470	0.900872	44.31691	107462.1	2214.082	2.001593
20	80	313	0.601803	19.71546	107462.1	2214.082	0.890458

ตารางที่ ก.28 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1835	2.296301	441.0353	108529.5	2235.43	19.72933
30	40	1377	2.068985	298.1946	108529.5	2235.43	13.33947
30	50	954	1.642933	164.0502	108529.5	2235.43	7.338642
30	60	796	1.43056	119.1866	108529.5	2235.43	5.331709
30	70	594	1.116874	69.43828	108529.5	2235.43	3.106261
30	80	460	0.882676	42.49789	108529.5	2235.43	1.901106

ตารางที่ ก.29 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1800	2.287516	430.9679	111864.9	2302.138	18.72033
40	40	1263	1.974591	261.029	111864.9	2302.138	11.33855
40	50	1107	1.820993	210.9912	111864.9	2302.138	9.16501
40	60	940	1.625285	159.9063	111864.9	2302.138	6.945993
40	70	772	1.395768	112.7817	111864.9	2302.138	4.899
40	80	583	1.098433	67.02713	111864.9	2302.138	2.911516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.30 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1826	2.294178	438.4664	118669.9	2438.238	17.98292
50	40	1374	2.066694	297.2155	118669.9	2438.238	12.18976
50	50	1168	1.884414	230.3709	118669.9	2438.238	9.448252
50	60	1093	1.805829	206.588	118669.9	2438.238	8.472839
50	70	890	1.560397	145.3562	118669.9	2438.238	5.961527
50	80	720	1.318092	99.33145	118669.9	2438.238	4.073903

$$1.3 \frac{d}{D} = 0.4$$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก.31 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2062	2.28732	493.6555	106661.6	2198.072	22.45857
10	40	1160	1.821222	221.1207	106661.6	2198.072	10.05976
10	50	769	1.456892	117.2633	106661.6	2198.072	5.334825
10	60	541	1.19914	67.90093	106661.6	2198.072	3.089113
10	70	301	0.891768	28.09486	106661.6	2198.072	1.278159
10	80	220	0.779684	17.95351	106661.6	2198.072	0.816785

ตารางที่ ก.32 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2140	2.303088	515.8611	107462.1	2214.082	23.2991
20	40	1401	1.996892	292.8202	107462.1	2214.082	13.22536
20	50	940	1.628304	160.2034	107462.1	2214.082	7.23566
20	60	665	1.343461	93.50935	107462.1	2214.082	4.223391
20	70	427	1.057749	47.27364	107462.1	2214.082	2.135135
20	80	323	0.921483	31.1529	107462.1	2214.082	1.407034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.33 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2071	2.289339	496.2478	108529.5	2235.43	22.19921
30	40	1383	1.98506	287.3454	108529.5	2235.43	12.85414
30	50	1035	1.715422	185.8316	108529.5	2235.43	8.313015
30	60	701	1.383511	101.5101	108529.5	2235.43	4.540964
30	70	501	1.15048	60.32885	108529.5	2235.43	2.698758
30	80	403	1.02692	43.31616	108529.5	2235.43	1.93771

ตารางที่ ก.34 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2153	2.305337	519.5015	111864.9	2302.138	22.56604
40	40	1443	2.023691	305.6462	111864.9	2302.138	13.27662
40	50	1090	1.76321	201.1587	111864.9	2302.138	8.73791
40	60	928	1.616888	157.0494	111864.9	2302.138	6.821894
40	70	657	1.334448	91.76463	111864.9	2302.138	3.986061
40	80	518	1.171286	63.504	111864.9	2302.138	2.758479

ตารางที่ ก.35 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1983	2.267368	470.6013	118669.9	2438.238	19.30088
50	40	1727	2.175185	393.185	118669.9	2438.238	16.12579
50	50	1184	1.840388	228.0707	118669.9	2438.238	9.353916
50	60	973	1.659223	168.9764	118669.9	2438.238	6.930266
50	70	745	1.431332	111.6105	118669.9	2438.238	4.577506
50	80	654	1.331057	91.11352	118669.9	2438.238	3.736859

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4 ใบ

ตารางที่ ก.36 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1978	2.265971	469.1254	106661.6	2198.072	21.34259
10	40	1258	1.897155	249.7997	106661.6	2198.072	11.36449
10	50	938	1.626408	159.6764	106661.6	2198.072	7.264385
10	60	629	1.302578	85.75567	106661.6	2198.072	3.901404
10	70	415	1.042381	45.27755	106661.6	2198.072	2.059875
10	80	258	0.832791	22.48869	106661.6	2198.072	1.02311

ตารางที่ ก.37 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2124	2.300172	511.3559	107462.1	2214.082	23.09562
20	40	1414	2.005308	296.7829	107462.1	2214.082	13.40433
20	50	1005	1.688537	177.6172	107462.1	2214.082	8.02216
20	60	755	1.442027	113.9538	107462.1	2214.082	5.146773
20	70	528	1.183438	65.40154	107462.1	2214.082	2.95389
20	80	358	0.968117	36.276	107462.1	2214.082	1.638422

ตารางที่ ก.38 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2179	2.309508	526.7264	108529.5	2235.43	23.56264
30	40	1536	2.079002	334.237	108529.5	2235.43	14.9518
30	50	1070	1.746057	195.5468	108529.5	2235.43	8.747613
30	60	817	1.506903	128.8593	108529.5	2235.43	5.764408
30	70	608	1.278346	81.35052	108529.5	2235.43	3.639144
30	80	427	1.057749	47.27364	108529.5	2235.43	2.114745

ตารางที่ ก .39 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2226	2.315947	539.5878	111864.9	2302.138	23.43855
40	40	1568	2.09675	344.113	111864.9	2302.138	14.94754
40	50	1178	1.835631	226.3285	111864.9	2302.138	9.831229
40	60	886	1.576202	146.1686	111864.9	2302.138	6.349254
40	70	721	1.405402	106.0582	111864.9	2302.138	4.606943
40	80	560	1.221894	71.6193	111864.9	2302.138	3.110991

ตารางที่ ก .40 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2239	2.317477	543.0977	118669.9	2438.238	22.27419
50	40	2057	2.286176	492.2122	118669.9	2438.238	20.18721
50	50	1493	2.054118	320.9916	118669.9	2438.238	13.1649
50	60	1246	1.888188	246.2475	118669.9	2438.238	10.0994
50	70	1059	1.736514	192.4786	118669.9	2438.238	7.894169
50	80	925	1.614019	156.264	118669.9	2438.238	6.408889

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .41 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1611	2.119563	357.3965	106661.6	2198.072	16.25954
10	40	1005	1.688537	177.6172	106661.6	2198.072	8.080591
10	50	794	1.483124	123.2555	106661.6	2198.072	5.607438
10	60	523	1.17737	64.45003	106661.6	2198.072	2.932116
10	70	317	0.91341	30.30634	106661.6	2198.072	1.378769
10	80	178	0.719907	13.41236	106661.6	2198.072	0.610187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.42 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1632	2.130273	363.8847	107462.1	2214.082	16.43501
20	40	1144	1.80824	216.5162	107462.1	2214.082	9.779051
20	50	743	1.429185	111.1439	107462.1	2214.082	5.019865
20	60	623	1.295684	84.48807	107462.1	2214.082	3.815941
20	70	421	1.050077	46.27128	107462.1	2214.082	2.089863
20	80	311	0.905314	29.46916	107462.1	2214.082	1.330988

ตารางที่ ก.43 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1783	2.198945	410.3687	108529.5	2235.43	18.35748
30	40	1335	1.952491	272.8215	108529.5	2235.43	12.20443
30	50	933	1.621656	158.3612	108529.5	2235.43	7.084149
30	60	712	1.395583	104.0026	108529.5	2235.43	4.652464
30	70	545	1.20395	68.67732	108529.5	2235.43	3.07222
30	80	435	1.067944	48.62348	108529.5	2235.43	2.175129

ตารางที่ ก.44 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2100	2.29549	504.5487	111864.9	2302.138	21.91653
40	40	1540	2.081256	335.4708	111864.9	2302.138	14.57214
40	50	1310	1.934942	265.3063	111864.9	2302.138	11.52435
40	60	925	1.614019	156.264	111864.9	2302.138	6.787776
40	70	766	1.453717	116.5513	111864.9	2302.138	5.062742
40	80	593	1.260864	78.25845	111864.9	2302.138	3.399381

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.45 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2150	2.304828	518.663	118669.9	2438.238	21.27204
50	40	1730	2.176509	394.1078	118669.9	2438.238	16.16363
50	50	1123	1.790951	210.5095	118669.9	2438.238	8.633674
50	60	953	1.640568	163.6423	118669.9	2438.238	6.711497
50	70	723	1.407577	106.517	118669.9	2438.238	4.368605
50	80	683	1.36359	97.47942	118669.9	2438.238	3.997945

2. อัตราการไหล 1100 L/min

$$2.1 \frac{d}{D} = 0.2$$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก.46 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2493	2.201966	574.5678	106261	1959.978	29.31501
10	40	1506	1.941065	305.9662	106261	1959.978	15.61069
10	50	966	1.453879	146.9988	106261	1959.978	7.500022
10	60	724	1.156496	87.63776	106261	1959.978	4.471364
10	70	504	0.843692	44.50642	106261	1959.978	2.270761
10	80	394	0.672126	27.71758	106261	1959.978	1.414178

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.47 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2555	2.191187	585.9746	106795.1	1969.592	29.75107
20	40	1729	2.07118	374.8187	106795.1	1969.592	19.03027
20	50	1080	1.577015	178.2658	106795.1	1969.592	9.050902
20	60	714	1.143155	85.43028	106795.1	1969.592	4.337461
20	70	602	0.988026	62.25487	106795.1	1969.592	3.160801
20	80	498	0.834594	43.50239	106795.1	1969.592	2.208701

ตารางที่ ก.48 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2670	2.162692	604.3859	108529.5	2000.811	30.20704
30	40	1658	2.034261	353.0203	108529.5	2000.811	17.64386
30	50	1150	1.647245	198.2734	108529.5	2000.811	9.909653
30	60	894	1.370514	128.2418	108529.5	2000.811	6.409489
30	70	673	1.087583	76.61006	108529.5	2000.811	3.828951
30	80	524	0.873799	47.92381	108529.5	2000.811	2.395219

ตารางที่ ก.49 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2693	2.155667	607.6121	111598	2056.044	29.55248
40	40	1762	2.086906	384.8727	111598	2056.044	18.71909
40	50	1214	1.707873	217.0115	111598	2056.044	10.55481
40	60	876	1.348996	123.6868	111598	2056.044	6.015766
40	70	706	1.132422	83.67995	111598	2056.044	4.06995
40	80	476	0.800979	39.90587	111598	2056.044	1.940905

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.50 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2366	2.214019	548.2825	118268	2176.104	25.1956
50	40	1550	1.970028	319.6042	118268	2176.104	14.68699
50	50	1266	1.754614	232.5003	118268	2176.104	10.68425
50	60	925	1.406938	136.2151	118268	2176.104	6.259585
50	70	756	1.198627	94.84494	118268	2176.104	4.358475
50	80	643	1.04603	70.39855	118268	2176.104	3.235073

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก.51 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2030	2.180922	463.3877	106261	1959.978	23.64249
10	40	1417	1.877536	278.4624	106261	1959.978	14.20742
10	50	989	1.479596	153.1609	106261	1959.978	7.814421
10	60	725	1.157826	87.85969	106261	1959.978	4.482688
10	70	428	0.726235	32.53338	106261	1959.978	1.659885
10	80	262	0.452904	12.41983	106261	1959.978	0.633672

ตารางที่ ก.52 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2113	2.197869	486.0822	106795.1	1969.592	24.67934
20	40	1506	1.941065	305.9662	106795.1	1969.592	15.5345
20	50	1040	1.535046	167.0949	106795.1	1969.592	8.483731
20	60	851	1.318662	117.4549	106795.1	1969.592	5.963416
20	70	560	0.927151	54.34341	106795.1	1969.592	2.75912
20	80	384	0.656028	26.36707	106795.1	1969.592	1.338707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .53 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2132	2.200939	491.1381	108529.5	2000.811	24.54695
30	40	1548	1.968746	318.9841	108529.5	2000.811	15.94274
30	50	1205	1.699554	214.3534	108529.5	2000.811	10.71333
30	60	908	1.387063	131.8228	108529.5	2000.811	6.588468
30	70	688	1.108077	79.79337	108529.5	2000.811	3.988052
30	80	468	0.788656	38.63151	108529.5	2000.811	1.930793

ตารางที่ ก .54 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2196	2.209061	507.7483	111598	2056.044	24.6954
40	40	1609	2.006326	337.8827	111598	2056.044	16.43363
40	50	1315	1.79659	247.2767	111598	2056.044	12.02682
40	60	1034	1.528635	165.4371	111598	2056.044	8.046378
40	70	775	1.223237	99.2249	111598	2056.044	4.826011
40	80	607	0.995175	63.22613	111598	2056.044	3.075135

ตารางที่ ก .55 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2042	2.183728	466.7267	118268	2176.104	21.44781
50	40	1638	2.023101	346.8486	118268	2176.104	15.93897
50	50	1300	1.783953	242.7366	118268	2176.104	11.15464
50	60	1091	1.588323	181.3727	118268	2176.104	8.334743
50	70	885	1.359789	125.9573	118268	2176.104	5.788201
50	80	709	1.136453	84.33468	118268	2176.104	3.87549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .56 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1843	2.121648	409.2673	106261	1959.978	20.88122
10	40	1368	1.839735	263.4206	106261	1959.978	13.43998
10	50	1013	1.505961	159.673	106261	1959.978	8.146675
10	60	585	0.963564	58.99901	106261	1959.978	3.010187
10	70	394	0.672126	27.71758	106261	1959.978	1.414178
10	80	204	0.351975	7.515378	106261	1959.978	0.383442

ตารางที่ ก .57 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1803	2.105176	397.2763	106795.1	1969.592	20.17049
20	40	1355	1.82937	259.4473	106795.1	1969.592	13.17264
20	50	914	1.394106	133.3676	106795.1	1969.592	6.771331
20	60	517	0.8633	46.71545	106795.1	1969.592	2.371834
20	70	531	0.884258	49.14529	106795.1	1969.592	2.495202
20	80	300	0.517505	16.24966	106795.1	1969.592	0.825027

ตารางที่ ก .58 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1848	2.123613	410.7578	108529.5	2000.811	20.52956
30	40	1421	1.880533	279.6942	108529.5	2000.811	13.97904
30	50	1091	1.588323	181.3727	108529.5	2000.811	9.064958
30	60	694	1.116222	81.08089	108529.5	2000.811	4.052401
30	70	547	0.90801	51.98599	108529.5	2000.811	2.598246
30	80	381	0.651182	25.96784	108529.5	2000.811	1.297866

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .59 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2295	2.214884	532.0374	111598	2056.044	25.87675
40	40	1778	2.094203	389.7256	111598	2056.044	18.95512
40	50	1265	1.753736	232.2005	111598	2056.044	11.29356
40	60	888	1.363372	126.7172	111598	2056.044	6.163157
40	70	702	1.127036	82.81006	111598	2056.044	4.027641
40	80	301	0.519189	16.35687	111598	2056.044	0.795551

ตารางที่ ก .60 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2214	2.210729	512.2966	118268	2176.104	23.54192
50	40	1623	2.014512	342.2132	118268	2176.104	15.72596
50	50	1239	1.730626	224.4311	118268	2176.104	10.31344
50	60	974	1.462874	149.1332	118268	2176.104	6.85322
50	70	802	1.25769	105.5739	118268	2176.104	4.851509
50	80	694	1.116222	81.08089	118268	2176.104	3.725966

$$2.2 \frac{d}{D} = 0.3$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก .61 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2030	2.319243	492.7773	106261	1959.978	25.14198
10	40	1273	1.983474	264.2794	106261	1959.978	13.48379
10	50	1066	1.775941	198.15	106261	1959.978	10.10981
10	60	872	1.536328	140.2196	106261	1959.978	7.154144
10	70	595	1.118543	69.65915	106261	1959.978	3.554078
10	80	360	0.694331	26.1624	106261	1959.978	1.334831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .62 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2063	2.318762	500.6841	106795.1	1969.592	25.42071
20	40	1731	2.266033	410.5554	106795.1	1969.592	20.8447
20	50	1296	2.003465	271.7661	106795.1	1969.592	13.79809
20	60	1032	1.737101	187.6347	106795.1	1969.592	9.52658
20	70	858	1.517348	136.2639	106795.1	1969.592	6.918383
20	80	475	0.909927	45.23854	106795.1	1969.592	2.296848

ตารางที่ ก .63 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2121	2.314856	513.8935	108529.5	2000.811	25.68426
30	40	1548	2.182316	353.5876	108529.5	2000.811	17.67222
30	50	1232	1.946315	250.976	108529.5	2000.811	12.54371
30	60	1059	1.768054	195.9746	108529.5	2000.811	9.79476
30	70	738	1.345335	103.919	108529.5	2000.811	5.193846
30	80	470	0.900872	44.31691	108529.5	2000.811	2.214947

ตารางที่ ก .64 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2146	2.31197	519.3023	111598	2056.044	25.25735
40	40	1500	2.153928	338.1667	111598	2056.044	16.44744
40	50	1207	1.9227	242.8999	111598	2056.044	11.81394
40	60	1020	1.723073	183.9553	111598	2056.044	8.947051
40	70	819	1.463276	125.4349	111598	2056.044	6.100789
40	80	591	1.111858	68.77734	111598	2056.044	3.34513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .65 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1965	2.316496	476.4337	118268	2176.104	21.89389
50	40	1708	2.257646	403.6008	118268	2176.104	18.54695
50	50	1280	1.989623	266.5565	118268	2176.104	12.24925
50	60	1162	1.878367	228.452	118268	2176.104	10.49821
50	70	993	1.690899	175.7419	118268	2176.104	8.07599
50	80	675	1.248342	88.19539	118268	2176.104	4.052903

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .66 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1817	2.29196	435.8835	106261	1959.978	22.2392
10	40	1293	2.000893	270.7888	106261	1959.978	13.81591
10	50	897	1.569656	147.3687	106261	1959.978	7.518898
10	60	767	1.388435	111.4626	106261	1959.978	5.686933
10	70	630	1.176244	77.56151	106261	1959.978	3.957264
10	80	461	0.884501	42.67833	106261	1959.978	2.17749

ตารางที่ ก .67 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1991	2.318183	483.0892	106795.1	1969.592	24.52738
20	40	1430	2.107738	315.4722	106795.1	1969.592	16.01714
20	50	1170	1.88642	231.011	106795.1	1969.592	11.72888
20	60	911	1.588003	151.4182	106795.1	1969.592	7.687797
20	70	680	1.256208	89.40854	106795.1	1969.592	4.539445
20	80	533	1.012844	56.50384	106795.1	1969.592	2.86881

ตารางที่ ก .68 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2035	2.319251	493.9928	108529.5	2000.811	24.68963
30	40	1853	2.300267	446.1306	108529.5	2000.811	22.29749
30	50	1311	2.016173	276.6552	108529.5	2000.811	13.82715
30	60	968	1.660355	168.2227	108529.5	2000.811	8.407728
30	70	641	1.194085	80.11274	108529.5	2000.811	4.004013
30	80	605	1.135174	71.88301	108529.5	2000.811	3.592694

ตารางที่ ก.69 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2090	2.317429	506.9454	111598	2056.044	24.65635
40	40	1756	2.274455	418.0327	111598	2056.044	20.33189
40	50	1392	2.080284	303.089	111598	2056.044	14.74137
40	60	1111	1.825284	212.2525	111598	2056.044	10.32335
40	70	884	1.552416	143.6378	111598	2056.044	6.986126
40	80	740	1.348339	104.4333	111598	2056.044	5.079333

ตารางที่ ก.70 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2064	2.318728	500.9194	118268	2176.104	23.01909
50	40	1744	2.270503	414.4546	118268	2176.104	19.04572
50	50	1264	1.975484	261.3539	118268	2176.104	12.01018
50	60	1095	1.808009	207.2159	118268	2176.104	9.522334
50	70	933	1.616375	157.8455	118268	2176.104	7.253582
50	80	829	1.477308	128.1841	118268	2176.104	5.890531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .71 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1617	2.218443	375.4627	106261	1959.978	19.15647
10	40	1092	1.804737	206.2742	106261	1959.978	10.52431
10	50	879	1.545733	142.2105	106261	1959.978	7.255721
10	60	545	1.033649	58.96281	106261	1959.978	3.008341
10	70	325	0.625671	21.28323	106261	1959.978	1.085891
10	80	171	0.306686	5.48906	106261	1959.978	0.280057

ตารางที่ ก .72 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1765	2.277309	420.7025	106795.1	1969.592	21.35988
20	40	1249	1.961959	256.4843	106795.1	1969.592	13.0222
20	50	811	1.451966	123.2496	106795.1	1969.592	6.257623
20	60	677	1.251492	88.67991	106795.1	1969.592	4.502451
20	70	469	0.899058	44.13355	106795.1	1969.592	2.240746
20	80	314	0.603798	19.84403	106795.1	1969.592	1.00752

ตารางที่ ก .73 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1823	2.293449	437.6069	108529.5	2000.811	21.87148
30	40	1360	2.055865	292.6456	108529.5	2000.811	14.62635
30	50	949	1.636656	162.5669	108529.5	2000.811	8.12505
30	60	788	1.419037	117.0384	108529.5	2000.811	5.849546
30	70	587	1.105155	67.89999	108529.5	2000.811	3.393624
30	80	455	0.873534	41.6006	108529.5	2000.811	2.079187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .74 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1795	2.286144	429.5132	111598	2056.044	20.89027
40	40	1251	1.963777	257.1331	111598	2056.044	12.50621
40	50	1099	1.812355	208.4728	111598	2056.044	10.13951
40	60	927	1.608693	156.085	111598	2056.044	7.591522
40	70	767	1.388435	111.4626	111598	2056.044	5.421219
40	80	585	1.101796	67.463	111598	2056.044	3.281204

ตารางที่ ก .75 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1809	2.289911	433.5762	118268	2176.104	19.92443
50	40	1338	2.038389	285.4641	118268	2176.104	13.11813
50	50	1111	1.825284	212.2525	118268	2176.104	9.753787
50	60	1040	1.746361	190.0972	118268	2176.104	8.735666
50	70	836	1.487062	130.1199	118268	2176.104	5.979491
50	80	673	1.245188	87.71187	118268	2176.104	4.030684

$$2.3 \frac{d}{D} = 0.4$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก .76 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2038	2.281682	486.7072	106261	1959.978	24.83228
10	40	1145	1.809056	216.8033	106261	1959.978	11.06152
10	50	761	1.448413	115.368	106261	1959.978	5.886191
10	60	531	1.187072	65.97506	106261	1959.978	3.366112
10	70	300	0.89041	27.95887	106261	1959.978	1.426489
10	80	213	0.7698	17.16191	106261	1959.978	0.875618

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่น กรุณา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.77 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2100	2.29549	504.5487	106795.1	1969.592	25.61692
20	40	1389	1.989027	289.1687	106795.1	1969.592	14.68166
20	50	921	1.610186	155.2187	106795.1	1969.592	7.880754
20	60	658	1.335577	91.98205	106795.1	1969.592	4.670107
20	70	422	1.051357	46.43774	106795.1	1969.592	2.357734
20	80	317	0.91341	30.30634	106795.1	1969.592	1.538712

ตารางที่ ก.78 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2046	2.283603	489.029	108529.5	2000.811	24.44154
30	40	1355	1.966241	278.8588	108529.5	2000.811	13.93729
30	50	1022	1.703843	182.2589	108529.5	2000.811	9.109252
30	60	693	1.374683	99.71126	108529.5	2000.811	4.983542
30	70	496	1.144325	59.40724	108529.5	2000.811	2.969158
30	80	391	1.011366	41.38982	108529.5	2000.811	2.068652

ตารางที่ ก.79 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2103	2.296096	505.4028	111598	2056.044	24.58132
40	40	1423	2.011071	299.5302	111598	2056.044	14.56828
40	50	1062	1.739124	193.3141	111598	2056.044	9.402234
40	60	907	1.596687	151.5777	111598	2056.044	7.3723
40	70	626	1.299134	85.12098	111598	2056.044	4.140037
40	80	495	1.143092	59.2236	111598	2056.044	2.880463

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .80 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1914	2.246664	450.0787	118268	2176.104	20.68277
50	40	1644	2.136266	367.5915	118268	2176.104	16.89219
50	50	1121	1.789289	209.9397	118268	2176.104	9.647503
50	60	911	1.600556	152.6152	118268	2176.104	7.01323
50	70	692	1.373577	99.48724	118268	2176.104	4.571805
50	80	560	1.221894	71.6193	118268	2176.104	3.291171

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .81 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1960	2.260806	463.7969	106261	1959.978	23.66337
10	40	1250	1.891188	247.4304	106261	1959.978	12.62414
10	50	929	1.617843	157.3115	106261	1959.978	8.026186
10	60	627	1.300283	85.33235	106261	1959.978	4.35374
10	70	412	1.038524	44.78393	106261	1959.978	2.28492
10	80	248	0.818905	21.2566	106261	1959.978	1.084532

ตารางที่ ก .82 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2107	2.296894	506.5401	106795.1	1969.592	25.71803
20	40	1392	1.991002	290.081	106795.1	1969.592	14.72798
20	50	993	1.677621	174.3619	106795.1	1969.592	8.852692
20	60	748	1.434547	112.3117	106795.1	1969.592	5.702281
20	70	524	1.178585	64.63989	106795.1	1969.592	3.281893
20	80	353	0.961504	35.52499	106795.1	1969.592	1.803673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .83 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2136	2.302375	514.7373	108529.5	2000.811	25.72643
30	40	1524	2.072177	330.5371	108529.5	2000.811	16.52016
30	50	1055	1.733024	191.3663	108529.5	2000.811	9.564436
30	60	812	1.501763	127.6338	108529.5	2000.811	6.379103
30	70	598	1.266707	79.28404	108529.5	2000.811	3.962595
30	80	410	1.03595	44.45606	108529.5	2000.811	2.221902

ตารางที่ ก .84 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2179	2.309508	526.7264	111598	2056.044	25.61844
40	40	1543	2.08294	336.3963	111598	2056.044	16.36134
40	50	1159	1.820416	220.8322	111598	2056.044	10.74064
40	60	879	1.569311	144.3798	111598	2056.044	7.022212
40	70	713	1.396677	104.2302	111598	2056.044	5.069456
40	80	547	1.206351	69.06681	111598	2056.044	3.359209

ตารางที่ ก .85 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2181	2.309811	527.279	118268	2176.104	24.23041
50	40	1844	2.222536	428.9613	118268	2176.104	19.71235
50	50	1321	1.942713	268.6085	118268	2176.104	12.34355
50	60	1156	1.817992	219.9674	118268	2176.104	10.10831
50	70	945	1.633034	161.5234	118268	2176.104	7.422595
50	80	860	1.550448	139.561	118268	2176.104	6.413344

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก.86 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1603	2.115409	354.9247	106261	1959.978	18.1086
10	40	1008	1.691251	178.4338	106261	1959.978	9.103867
10	50	793	1.482082	123.0138	106261	1959.978	6.276286
10	60	523	1.17737	64.45003	106261	1959.978	3.288304
10	70	315	0.910714	30.02623	106261	1959.978	1.531968
10	80	238	0.804955	20.05197	106261	1959.978	1.023071

ตารางที่ ก.87 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1735	2.178703	395.6452	106795.1	1969.592	20.08767
20	40	1294	1.9235	260.5163	106795.1	1969.592	13.22692
20	50	904	1.593778	150.8011	106795.1	1969.592	7.656466
20	60	508	1.159069	61.6285	106795.1	1969.592	3.128998
20	70	475	1.118299	55.59812	106795.1	1969.592	2.822824
20	80	317	0.91341	30.30634	106795.1	1969.592	1.538712

ตารางที่ ก.88 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1766	2.191945	405.1621	108529.5	2000.811	20.24989
30	40	1312	1.936361	265.9062	108529.5	2000.811	13.28992
30	50	1012	1.694862	179.5243	108529.5	2000.811	8.972576
30	60	615	1.286455	82.80909	108529.5	2000.811	4.138776
30	70	483	1.128247	57.03741	108529.5	2000.811	2.850715
30	80	353	0.961504	35.52499	108529.5	2000.811	1.77553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.89 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1683	2.155104	379.6302	111598	2056.044	18.46411
40	40	1123	1.790951	210.5095	111598	2056.044	10.23857
40	50	973	1.659223	168.9764	111598	2056.044	8.218519
40	60	877	1.567337	143.87	111598	2056.044	6.997419
40	70	695	1.376894	100.1599	111598	2056.044	4.871484
40	80	533	1.18949	66.3585	111598	2056.044	3.227484

ตารางที่ ก.90 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1953	2.258742	461.7185	118268	2176.104	21.21767
50	40	1653	2.1407	370.371	118268	2176.104	17.01991
50	50	1013	1.695763	179.7972	118268	2176.104	8.262344
50	60	982	1.667534	171.3936	118268	2176.104	7.876167
50	70	811	1.500733	127.3892	118268	2176.104	5.854003
50	80	621	1.29338	84.06713	118268	2176.104	3.863194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราการไหล 1020 L/min

3.1 $\frac{d}{D} = 0.2$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก.91 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2412	2.21121	558.2331	105994	1841.718	30.31046
10	40	1476	1.92039	296.6772	105994	1841.718	16.10872
10	50	831	1.294018	112.5511	105994	1841.718	6.1112
10	60	614	1.005148	64.5962	105994	1841.718	3.507388
10	70	493	0.82699	42.67323	105994	1841.718	2.317034
10	80	296	0.510762	15.82408	105994	1841.718	0.859202

ตารางที่ ก.92 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2456	2.206868	567.3006	106261	1846.257	30.72706
20	40	1661	2.035906	353.945	106261	1846.257	19.17095
20	50	1052	1.547777	170.4247	106261	1846.257	9.230823
20	60	694	1.116222	81.08089	106261	1846.257	4.391636
20	70	510	0.852759	45.52028	106261	1846.257	2.465544
20	80	323	0.55602	18.79756	106261	1846.257	1.018144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.93 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2585	2.184819	591.1319	107729	1871.213	31.59084
30	40	1605	2.003957	336.6447	107729	1871.213	17.99072
30	50	1105	1.602567	185.3476	107729	1871.213	9.905212
30	60	804	1.260218	106.0499	107729	1871.213	5.667441
30	70	595	0.977983	60.9055	107729	1871.213	3.254867
30	80	402	0.684944	28.81972	107729	1871.213	1.540162

ตารางที่ ก.94 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2627	2.17464	597.9376	110931	1925.647	31.05126
40	40	1696	2.054544	364.7117	110931	1925.647	18.9397
40	50	1178	1.674191	206.4233	110931	1925.647	10.71968
40	60	725	1.157826	87.85969	110931	1925.647	4.562606
40	70	634	1.033418	68.57625	110931	1925.647	3.561206
40	80	394	0.672126	27.71758	110931	1925.647	1.439391

ตารางที่ ก.95 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2254	2.213466	522.198	117468	2036.776	25.63846
50	40	1477	1.921091	296.9866	117468	2036.776	14.58121
50	50	1200	1.694903	212.8798	117468	2036.776	10.4518
50	60	894	1.370514	128.2418	117468	2036.776	6.296312
50	70	635	1.034823	68.77778	117468	2036.776	3.376796
50	80	523	0.872302	47.75039	117468	2036.776	2.34441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .96 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1987	2.169878	451.2754	105994	1841.718	24.50296
10	40	1375	1.845258	265.5634	105994	1841.718	14.41933
10	50	973	1.461753	148.8659	105994	1841.718	8.08299
10	60	711	1.139137	84.77227	105994	1841.718	4.602891
10	70	420	0.71359	31.36942	105994	1841.718	1.70327
10	80	250	0.432253	11.31061	105994	1841.718	0.614133

ตารางที่ ก .97 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2061	2.187925	471.9748	106261	1846.257	25.56387
20	40	1454	1.904751	289.8751	106261	1846.257	15.70069
20	50	1009	1.5016	158.582	106261	1846.257	8.589379
20	60	828	1.290292	111.8219	106261	1846.257	6.05668
20	70	547	0.90801	51.98599	106261	1846.257	2.815751
20	80	377	0.644709	25.43981	106261	1846.257	1.377913

ตารางที่ ก .98 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2093	2.194312	480.702	107729	1871.213	25.68933
30	40	1500	1.93699	304.1074	107729	1871.213	16.25189
30	50	1175	1.671335	205.5464	107729	1871.213	10.98466
30	60	881	1.355001	124.9464	107729	1871.213	6.677296
30	70	664	1.075196	74.7247	107729	1871.213	3.993383
30	80	462	0.779378	37.68759	107729	1871.213	2.014073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .99 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2126	2.200002	489.5474	110931	1925.647	25.42249
40	40	1559	1.975753	322.3941	110931	1925.647	16.74212
40	50	1273	1.760733	234.6012	110931	1925.647	12.18298
40	60	1004	1.496131	157.2214	110931	1925.647	8.164601
40	70	752	1.193407	93.93229	110931	1925.647	4.87796
40	80	594	0.976545	60.71373	110931	1925.647	3.1529

ตารางที่ ก .100 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1963	2.163043	444.4203	117468	2036.776	21.81979
50	40	1574	1.985144	327.0432	117468	2036.776	16.05691
50	50	1250	1.740473	227.7118	117468	2036.776	11.18001
50	60	1041	1.536112	167.3716	117468	2036.776	8.217479
50	70	830	1.292777	112.3078	117468	2036.776	5.514
50	80	656	1.064129	73.06451	117468	2036.776	3.587263

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .101 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1896	2.141414	424.9594	105994	1841.718	23.07407
10	40	1349	1.824538	257.6162	105994	1841.718	13.98782
10	50	1029	1.52327	164.0592	105994	1841.718	8.907946
10	60	769	1.215498	97.8338	105994	1841.718	5.312095
10	70	543	0.902092	51.2695	105994	1841.718	2.783787
10	80	381	0.651182	25.96784	105994	1841.718	1.409979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .102 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1755	2.083646	382.7449	106261	1846.257	20.73086
20	40	1303	1.786496	243.6435	106261	1846.257	13.19662
20	50	904	1.382352	130.7963	106261	1846.257	7.084403
20	60	500	0.83763	43.83597	106261	1846.257	2.374316
20	70	401	0.683345	28.6809	106261	1846.257	1.553462
20	80	294	0.507385	15.61326	106261	1846.257	0.845671

ตารางที่ ก .103 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1788	2.098655	392.7507	107729	1871.213	20.9891
30	40	1376	1.846044	265.8697	107729	1871.213	14.20841
30	50	916	1.396446	133.8838	107729	1871.213	7.154922
30	60	513	0.857281	46.03087	107729	1871.213	2.459948
30	70	423	0.718338	31.8037	107729	1871.213	1.69963
30	80	301	0.519189	16.35687	107729	1871.213	0.874132

ตารางที่ ก .104 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2224	2.211539	514.799	110931	1925.647	26.73382
40	40	1720	2.066733	372.0671	110931	1925.647	19.32167
40	50	1229	1.721588	221.457	110931	1925.647	11.5004
40	60	856	1.32477	118.6924	110931	1925.647	6.163765
40	70	694	1.116222	81.08089	110931	1925.647	4.210579
40	80	485	0.81478	41.36094	110931	1925.647	2.147898

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .105 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2141	2.202288	493.5137	117468	2036.776	24.23014
50	40	1560	1.976385	322.7041	117468	2036.776	15.84387
50	50	1118	1.615648	189.0588	117468	2036.776	9.28226
50	60	920	1.401118	134.9183	117468	2036.776	6.624111
50	70	746	1.185553	92.56955	117468	2036.776	4.544906
50	80	594	0.976545	60.71373	117468	2036.776	2.980874

$$3.2 \frac{d}{D} = 0.3$$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก .106 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1965	2.316496	476.4337	105994	1841.718	25.86898
10	40	1238	1.951875	252.9187	105994	1841.718	13.73276
10	50	1028	1.732444	186.4063	105994	1841.718	10.12133
10	60	839	1.491225	130.9524	105994	1841.718	7.110342
10	70	584	1.100115	67.24492	105994	1841.718	3.651206
10	80	349	0.672905	24.58033	105994	1841.718	1.334642

ตารางที่ ก .107 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1997	2.318461	484.6031	106261	1846.257	26.24787
20	40	1677	2.24537	394.1208	106261	1846.257	21.34702
20	50	1249	1.961959	256.4843	106261	1846.257	13.89212
20	60	1000	1.699322	177.8624	106261	1846.257	9.633673
20	70	822	1.467498	126.2576	106261	1846.257	6.838573
20	80	452	0.868035	41.06615	106261	1846.257	2.224292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .108 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2049	2.31912	497.3632	107729	1871.213	26.57972
30	40	1508	2.158845	340.7463	107729	1871.213	18.20992
30	50	1173	1.889421	231.9718	107729	1871.213	12.39687
30	60	1016	1.71836	182.7327	107729	1871.213	9.765468
30	70	721	1.319616	99.58437	107729	1871.213	5.321915
30	80	449	0.862526	40.53467	107729	1871.213	2.166224

ตารางที่ ก .109 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2076	2.318226	503.7227	110931	1925.647	26.15862
40	40	1438	2.113305	318.0749	110931	1925.647	16.51782
40	50	1161	1.877355	228.1325	110931	1925.647	11.84706
40	60	971	1.664059	169.1205	110931	1925.647	8.782528
40	70	780	1.407439	114.9033	110931	1925.647	5.966999
40	80	563	1.064545	62.73081	110931	1925.647	3.257649

ตารางที่ ก .110 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1891	2.307404	456.6921	117468	2036.776	22.4223
50	40	1645	2.231529	384.2172	117468	2036.776	18.86399
50	50	1211	1.926527	244.1899	117468	2036.776	11.98904
50	60	1117	1.831686	214.1473	117468	2036.776	10.51403
50	70	948	1.635398	162.2707	117468	2036.776	7.967036
50	80	631	1.177871	77.79213	117468	2036.776	3.819376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .111 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1769	2.278547	421.8852	105994	1841.718	22.90715
10	40	1259	1.971005	259.7298	105994	1841.718	14.10258
10	50	865	1.526866	138.2374	105994	1841.718	7.505894
10	60	739	1.346837	104.1761	105994	1841.718	5.656462
10	70	611	1.145097	73.23048	105994	1841.718	3.976205
10	80	448	0.860687	40.35817	105994	1841.718	2.191333

ตารางที่ ก .112 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1925	2.31237	465.904	106261	1846.257	25.23506
20	40	1383	2.073536	300.1526	106261	1846.257	16.25736
20	50	1126	1.84121	216.9952	106261	1846.257	11.75325
20	60	882	1.549746	143.0664	106261	1846.257	7.748996
20	70	657	1.219785	83.87972	106261	1846.257	4.543231
20	80	536	1.018061	57.11456	106261	1846.257	3.093533

ตารางที่ ก .113 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1971	2.316955	477.9831	107729	1871.213	25.54403
30	40	1794	2.285867	429.2218	107729	1871.213	22.93816
30	50	1267	1.978158	262.3288	107729	1871.213	14.01918
30	60	933	1.616375	157.8455	107729	1871.213	8.435463
30	70	618.3	1.157113	74.88306	107729	1871.213	4.001846
30	80	587	1.105155	67.89999	107729	1871.213	3.628662

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .114 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2024	2.319195	491.3106	110931	1925.647	25.51405
40	40	1696	2.253026	399.9451	110931	1925.647	20.76939
40	50	1340	2.040001	286.1169	110931	1925.647	14.85822
40	60	1066	1.775941	198.15	110931	1925.647	10.29005
40	70	852	1.509144	134.5794	110931	1925.647	6.98879
40	80	711	1.30433	97.06566	110931	1925.647	5.040678

ตารางที่ ก .115 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1990	2.318132	482.8361	117468	2036.776	23.7059
50	40	1690	2.250653	398.1106	117468	2036.776	19.54611
50	50	1204	1.919818	241.9329	117468	2036.776	11.87823
50	60	1048	1.755546	192.567	117468	2036.776	9.454499
50	70	883	1.551082	143.352	117468	2036.776	7.038183
50	80	785	1.414696	116.2362	117468	2036.776	5.70687

จำนวนใบพัด 5ใบ

ตารางที่ ก .116 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1572	2.195509	361.2402	105994	1841.718	19.61431
10	40	1039	1.745207	189.789	105994	1841.718	10.305
10	50	846	1.500898	132.9015	105994	1841.718	7.216171
10	60	525	0.99888	54.88846	105994	1841.718	2.980286
10	70	312	0.599806	19.58728	105994	1841.718	1.063533
10	80	155	0.271967	4.412211	105994	1841.718	0.23957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.117 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1572	2.195509	361.2402	105994	1841.718	19.61431
10	40	1039	1.745207	189.789	105994	1841.718	10.305
10	50	846	1.500898	132.9015	105994	1841.718	7.216171
10	60	525	0.998888	54.88846	105994	1841.718	2.980286
10	70	312	0.599806	19.58728	105994	1841.718	1.063533
10	80	155	0.271967	4.412211	105994	1841.718	0.23957

ตารางที่ ก.118 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1572	2.195509	361.2402	105994	1841.718	19.61431
10	40	1039	1.745207	189.789	105994	1841.718	10.305
10	50	846	1.500898	132.9015	105994	1841.718	7.216171
10	60	525	0.998888	54.88846	105994	1841.718	2.980286
10	70	312	0.599806	19.58728	105994	1841.718	1.063533
10	80	155	0.271967	4.412211	105994	1841.718	0.23957

ตารางที่ ก.119 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1572	2.195509	361.2402	105994	1841.718	19.61431
10	40	1039	1.745207	189.789	105994	1841.718	10.305
10	50	846	1.500898	132.9015	105994	1841.718	7.216171
10	60	525	0.998888	54.88846	105994	1841.718	2.980286
10	70	312	0.599806	19.58728	105994	1841.718	1.063533
10	80	155	0.271967	4.412211	105994	1841.718	0.23957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.120 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1572	2.195509	361.2402	105994	1841.718	19.61431
10	40	1039	1.745207	189.789	105994	1841.718	10.305
10	50	846	1.500898	132.9015	105994	1841.718	7.216171
10	60	525	0.99888	54.88846	105994	1841.718	2.980286
10	70	312	0.599806	19.58728	105994	1841.718	1.063533
10	80	155	0.271967	4.412211	105994	1841.718	0.23957

$$3.3 \frac{d}{D} = 0.4$$

จำนวนใบพัด 3ใบ

ตารางที่ ก.121 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1984	2.267646	470.8963	105994	1841.718	25.56832
10	40	1110	1.780106	206.8127	105994	1841.718	11.22934
10	50	739	1.424884	110.2129	105994	1841.718	5.984244
10	60	522	1.176155	64.26038	105994	1841.718	3.489154
10	70	294	0.882248	27.14854	105994	1841.718	1.474088
10	80	208	0.76272	16.60493	105994	1841.718	0.9016

ตารางที่ ก.122 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2049	2.284312	489.8982	106261	1846.257	26.53467
20	40	1362	1.970993	280.9769	106261	1846.257	15.21873
20	50	899	1.588916	149.5096	106261	1846.257	8.097986
20	60	634	1.308306	86.81745	106261	1846.257	4.702349
20	70	410	1.03595	44.45606	106261	1846.257	2.407902
20	80	312	0.906665	29.60804	106261	1846.257	1.603679

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบออนไลน์ท่านสามารถ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.123 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1974	2.264841	467.9433	107729	1871.213	25.00749
30	40	1304	1.93067	263.5082	107729	1871.213	14.08221
30	50	975	1.661074	169.5126	107729	1871.213	9.058971
30	60	668	1.34683	94.16677	107729	1871.213	5.032392
30	70	471	1.11331	54.88396	107729	1871.213	2.933068
30	80	381	0.998334	39.81158	107729	1871.213	2.127581

ตารางที่ ก.124 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2030	2.279721	484.3799	110931	1925.647	25.15414
40	40	1370	1.976385	283.4004	110931	1925.647	14.71715
40	50	1027	1.708309	183.6307	110931	1925.647	9.536051
40	60	880	1.570298	144.6349	110931	1925.647	7.510976
40	70	613	1.284141	82.39135	110931	1925.647	4.278632
40	80	482	1.127006	56.8567	110931	1925.647	2.952602

ตารางที่ ก.125 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1856	2.226896	432.5997	117468	2036.776	21.23944
50	40	1588	2.107508	350.2903	117468	2036.776	17.19828
50	50	1065	1.741729	194.1505	117468	2036.776	9.532246
50	60	860	1.550448	139.561	117468	2036.776	6.852056
50	70	655	1.332188	91.33037	117468	2036.776	4.484065
50	80	532	1.188281	66.16667	117468	2036.776	3.248598

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .126 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1917	2.247628	450.9775	105994	1841.718	24.48678
10	40	1215	1.864597	237.1208	105994	1841.718	12.87498
10	50	900	1.58989	149.7676	105994	1841.718	8.131953
10	60	613	1.284141	82.39135	105994	1841.718	4.473614
10	70	403	1.02692	43.31616	105994	1841.718	2.351943
10	80	240	0.80775	20.29069	105994	1841.718	1.101726

ตารางที่ ก .127 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2039	2.281925	486.9977	106261	1846.257	26.37757
20	40	1355	1.966241	278.8588	106261	1846.257	15.10401
20	50	962	1.648994	166.0362	106261	1846.257	8.993123
20	60	726	1.410835	107.2065	106261	1846.257	5.806694
20	70	510	1.161518	62.00183	106261	1846.257	3.358245
20	80	343	0.948228	34.04201	106261	1846.257	1.843839

ตารางที่ ก .128 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2070	2.289117	495.9601	107729	1871.213	26.50474
30	40	1472	2.041534	314.5378	107729	1871.213	16.8093
30	50	1014	1.696663	180.0702	107729	1871.213	9.623183
30	60	784	1.472679	120.8461	107729	1871.213	6.45817
30	70	581	1.246774	75.81798	107729	1871.213	4.051809
30	80	400	1.02304	42.83127	107729	1871.213	2.288958

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .129 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2134	2.302014	514.1748	110931	1925.647	26.70141
40	40	1489	2.051743	319.7614	110931	1925.647	16.6054
40	50	1116	1.785125	208.5168	110931	1925.647	10.8284
40	60	854	1.544444	138.0506	110931	1925.647	7.16905
40	70	694	1.375789	99.93547	110931	1925.647	5.189709
40	80	535	1.191907	66.74281	110931	1925.647	3.465994

ตารางที่ ก .130 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	2073	2.28978	496.8228	117468	2036.776	24.39261
50	40	1788	2.200969	411.8981	117468	2036.776	20.22305
50	50	1246	1.888188	246.2475	117468	2036.776	12.09006
50	60	1036	1.716308	186.1073	117468	2036.776	9.137347
50	70	793	1.482082	123.0138	117468	2036.776	6.039635
50	80	654	1.331057	91.11352	117468	2036.776	4.473419

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .131 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1713	2.168931	388.8762	105994	1841.718	21.11486
10	40	1150	1.813128	218.2401	105994	1841.718	11.84981
10	50	863	1.553442	140.3183	105994	1841.718	7.61888
10	60	608	1.278346	81.35052	105994	1841.718	4.4171
10	70	378	0.994412	39.34293	105994	1841.718	2.136208
10	80	235	0.800758	19.69597	105994	1841.718	1.069435

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .132 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1627	2.127749	362.34	106261	1846.257	19.62565
20	40	1153	1.815563	219.1033	106261	1846.257	11.86743
20	50	708	1.391202	103.0937	106261	1846.257	5.583927
20	60	612	1.282983	82.18278	106261	1846.257	4.451319
20	70	409	1.034662	44.29249	106261	1846.257	2.399043
20	80	285	0.869962	25.95096	106261	1846.257	1.405598

ตารางที่ ก .133 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1714	2.169381	389.1841	107729	1871.213	20.7985
30	40	1245	1.887437	245.9519	107729	1871.213	13.14398
30	50	908	1.597655	151.8369	107729	1871.213	8.114356
30	60	717	1.401044	105.1428	107729	1871.213	5.618964
30	70	513	1.165186	62.56348	107729	1871.213	3.343472
30	80	428	1.059026	47.44154	107729	1871.213	2.535336

ตารางที่ ก .134 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1684	2.155574	379.9386	110931	1925.647	19.73044
40	40	1100	1.77169	203.9806	110931	1925.647	10.59283
40	50	901	1.590863	150.0258	110931	1925.647	7.790929
40	60	793	1.482082	123.0138	110931	1925.647	6.388182
40	70	635	1.30945	87.0304	110931	1925.647	4.519541
40	80	514	1.166407	62.75115	110931	1925.647	3.258705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .135 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1735	2.178703	395.6452	117468	2036.776	19.42507
50	40	1520	2.069882	329.3044	117468	2036.776	16.16792
50	50	1035	1.715422	185.8316	117468	2036.776	9.123813
50	60	912	1.601522	152.8749	117468	2036.776	7.50573
50	70	727	1.411919	107.4367	117468	2036.776	5.274841
50	80	613	1.284141	82.39135	117468	2036.776	4.045185

3. อัตราการไหล 900 L/min

$$3.1 \frac{d}{D} = 0.2$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก .136 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	2164	2.205428	499.5265	104793	1599.245	31.23514
10	40	1271	1.758989	234.0006	104793	1599.245	14.63194
10	50	821	1.28157	110.1271	104793	1599.245	6.88619
10	60	541	0.899128	50.91283	104793	1599.245	3.183554
10	70	342	0.587503	21.03027	104793	1599.245	1.315012
10	80	245	0.423612	10.86283	104793	1599.245	0.679248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .137 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	2176	2.206891	502.6296	105460	1609.25	31.23378
20	40	1464	1.91191	292.9657	105460	1609.25	18.20511
20	50	909	1.388239	132.0798	105460	1609.25	8.20754
20	60	548	0.909487	52.16577	105460	1609.25	3.24162
20	70	403	0.686543	28.95884	105460	1609.25	1.799524
20	80	210	0.362547	7.968773	105460	1609.25	0.495186

ตารางที่ ก .138 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	2273	2.214298	526.7977	106125	1619.225	32.53394
30	40	1383	1.85152	268.0149	106125	1619.225	16.55205
30	50	957	1.443695	144.6092	106125	1619.225	8.930764
30	60	614	1.005148	64.5962	106125	1619.225	3.989328
30	70	394	0.672126	27.71758	106125	1619.225	1.711781
30	80	202	0.348445	7.367055	106125	1619.225	0.454974

ตารางที่ ก .139 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	2293	2.214848	531.5649	108662.9	1657.294	32.07428
40	40	1472	1.917577	295.4397	108662.9	1657.294	17.82664
40	50	1004	1.496131	157.2214	108662.9	1657.294	9.486636
40	60	615	1.00657	64.7929	108662.9	1657.294	3.909561
40	70	527	0.878287	48.44571	108662.9	1657.294	2.923182
40	80	294	0.507385	15.61326	108662.9	1657.294	0.942094

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .140 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1952	2.159749	441.257	115066.9	1753.354	25.16646
50	40	1249	1.739582	227.4132	115066.9	1753.354	12.97018
50	50	1001	1.492839	156.4067	115066.9	1753.354	8.920433
50	60	802	1.25769	105.5739	115066.9	1753.354	6.021255
50	70	549	0.910964	52.34581	115066.9	1753.354	2.985468
50	80	412	0.700892	30.22434	115066.9	1753.354	1.723802

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .141 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1730	2.07167	375.1242	104793	1599.245	23.45633
10	40	1194	1.689295	211.1145	104793	1599.245	13.20089
10	50	841	1.306381	114.9938	104793	1599.245	7.190505
10	60	712	1.140477	84.99138	104793	1599.245	5.314469
10	70	366	0.626841	24.01301	104793	1599.245	1.501522
10	80	218	0.376595	8.592886	104793	1599.245	0.537309

ตารางที่ ก .142 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1811	2.108578	399.6837	105460	1609.25	24.83665
20	40	1275	1.762474	235.2021	105460	1609.25	14.61564
20	50	880	1.353802	124.6942	105460	1609.25	7.748588
20	60	716	1.14583	85.87004	105460	1609.25	5.336028
20	70	472	0.794824	39.26644	105460	1609.25	2.440046
20	80	326	0.561011	19.14245	105460	1609.25	1.189526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .143 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1881	2.136058	420.5429	106125	1619.225	25.97186
30	40	1308	1.790716	245.1562	106125	1619.225	15.14034
30	50	1022	1.515724	162.136	106125	1619.225	10.01318
30	60	751	1.1921	93.70465	106125	1619.225	5.787006
30	70	570	0.941779	56.18652	106125	1619.225	3.469964
30	80	384	0.656028	26.36707	106125	1619.225	1.628376

ตารางที่ ก .144 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1875	2.133863	418.7706	108662.9	1657.294	25.26834
40	40	1354	1.828566	259.142	108662.9	1657.294	15.63646
40	50	1104	1.601555	185.0629	108662.9	1657.294	11.16658
40	60	840	1.305149	114.7487	108662.9	1657.294	6.92386
40	70	638	1.039032	69.38378	108662.9	1657.294	4.186572
40	80	485	0.81478	41.36094	108662.9	1657.294	2.495692

ตารางที่ ก .145 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1723	2.068223	372.9847	115066.9	1753.354	21.27265
50	40	1368	1.839735	263.4206	115066.9	1753.354	15.02382
50	50	1053	1.548833	170.703	115066.9	1753.354	9.735803
50	60	900	1.377627	129.7724	115066.9	1753.354	7.401385
50	70	718	1.148502	86.31067	115066.9	1753.354	4.922605
50	80	547	0.90801	51.98599	115066.9	1753.354	2.964947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .146 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1529	1.956406	313.0941	104793	1599.245	19.57762
10	40	1172	1.668472	204.6704	104793	1599.245	12.79794
10	50	860	1.329642	119.6855	104793	1599.245	7.483877
10	60	497	0.833075	43.33601	104793	1599.245	2.709779
10	70	214	0.369577	8.278039	104793	1599.245	0.517622
10	80	197	0.339604	7.002414	104793	1599.245	0.437858

ตารางที่ ก .147 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1528	1.955748	312.7841	105460	1609.25	19.43664
20	40	1138	1.635497	194.8051	105460	1609.25	12.10533
20	50	814	1.272808	108.4415	105460	1609.25	6.738637
20	60	473	0.796364	39.42587	105460	1609.25	2.449953
20	70	300	0.517505	16.24966	105460	1609.25	1.009766
20	80	274	0.473434	13.57747	105460	1609.25	0.843714

ตารางที่ ก .148 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุม ใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1554	1.97258	320.8442	106125	1619.225	19.81467
30	40	1188	1.683656	209.3525	106125	1619.225	12.92918
30	50	824	1.285313	110.8523	106125	1619.225	6.846008
30	60	494	0.828512	42.83851	106125	1619.225	2.645618
30	70	314	0.541002	17.7802	106125	1619.225	1.098069
30	80	294	0.507385	15.61326	106125	1619.225	0.964243

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .149 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1794	2.101286	394.5627	108662.9	1657.294	23.80765
40	40	1338	1.815602	254.2641	108662.9	1657.294	15.34213
40	50	982	1.471816	151.2772	108662.9	1657.294	9.127966
40	60	568	0.93886	55.81585	108662.9	1657.294	3.367892
40	70	304	0.524235	16.68046	108662.9	1657.294	1.006488
40	80	201	0.346678	7.293422	108662.9	1657.294	0.44008

ตารางที่ ก .150 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1948	2.158527	440.1034	115066.9	1753.354	25.10067
50	40	1473	1.918281	295.7491	115066.9	1753.354	16.86762
50	50	1042	1.537176	167.6485	115066.9	1753.354	9.561594
50	60	733	1.168432	89.64288	115066.9	1753.354	5.112653
50	70	504	0.843692	44.50642	115066.9	1753.354	2.53836
50	80	301	0.519189	16.35687	115066.9	1753.354	0.932891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3.2 \frac{d}{D} = 0.3$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก .151 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1727	2.264619	409.351	104793	1599.245	25.59651
10	40	1318	2.022014	278.9381	104793	1599.245	17.44186
10	50	861	1.521434	137.1086	104793	1599.245	8.573334
10	60	708	1.299722	96.31461	104793	1599.245	6.022505
10	70	500	0.954766	49.96609	104793	1599.245	3.124355
10	80	360	0.694331	26.1624	104793	1599.245	1.635922

ตารางที่ ก .152 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1752	2.273156	416.8423	105460	1609.25	25.90289
20	40	1428	2.106335	314.8212	105460	1609.25	19.56323
20	50	1088	1.800358	205.0199	105460	1609.25	12.74009
20	60	859	1.518711	136.5453	105460	1609.25	8.485027
20	70	693	1.276524	92.59141	105460	1609.25	5.7537
20	80	392	0.755863	31.01257	105460	1609.25	1.927144

ตารางที่ ก .153 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1809	2.289911	433.5762	106125	1619.225	26.77678
30	40	1315	2.019517	277.9597	106125	1619.225	17.16622
30	50	971	1.664059	169.1205	106125	1619.225	10.44453
30	60	879	1.545733	142.2105	106125	1619.225	8.78263
30	70	624	1.166453	76.18339	106125	1619.225	4.704929
30	80	370	0.713688	27.63874	106125	1619.225	1.706912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .154 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1753	2.273482	417.1401	108662.9	1657.294	25.16996
40	40	1250	1.962869	256.8087	108662.9	1657.294	15.49567
40	50	1007	1.707688	179.9891	108662.9	1657.294	10.86043
40	60	830	1.478705	128.4601	108662.9	1657.294	7.751196
40	70	668	1.237281	86.50741	108662.9	1657.294	5.2198
40	80	451	0.8662	40.88866	108662.9	1657.294	2.467195

ตารางที่ ก .155 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1661	2.238598	389.1832	115066.9	1753.354	22.1965
50	40	1458	2.126896	324.5728	115066.9	1753.354	18.51155
50	50	1049	1.756689	192.8762	115066.9	1753.354	11.00042
50	60	953	1.64168	163.7532	115066.9	1753.354	9.339431
50	70	789	1.420481	117.3062	115066.9	1753.354	6.690389
50	80	496	0.94764	49.19644	115066.9	1753.354	2.805848

จำนวนใบพัด 4 ใบ

ตารางที่ ก 156 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1505	2.15701	339.7794	104793	1599.245	21.24624
10	40	1064	1.773693	197.5279	104793	1599.245	12.35132
10	50	722	1.321138	99.83752	104793	1599.245	6.242791
10	60	608	1.140141	72.55552	104793	1599.245	4.536861
10	70	536	1.018061	57.11456	104793	1599.245	3.571345
10	80	391	0.753958	30.8555	104793	1599.245	1.929379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .157 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1701	2.254971	401.4705	105460	1609.25	24.94768
20	40	1203	1.918855	241.6107	105460	1609.25	15.01387
20	50	993	1.690899	175.7419	105460	1609.25	10.92074
20	60	765	1.385494	110.9365	105460	1609.25	6.893677
20	70	576	1.086625	65.51046	105460	1609.25	4.070869
20	80	465	0.891788	43.40334	105460	1609.25	2.697116

ตารางที่ ก .158 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1737	2.268121	412.358	106125	1619.225	25.46638
30	40	1574	2.196578	361.876	106125	1619.225	22.34871
30	50	1047	1.754402	192.2579	106125	1619.225	11.87345
30	60	863	1.524153	137.6726	106125	1619.225	8.502379
30	70	544	1.031922	58.75627	106125	1619.225	3.628666
30	80	450	0.864363	40.7115	106125	1619.225	2.514259

ตารางที่ ก .159 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1775	2.28037	423.6548	108662.9	1657.294	25.56305
40	40	1485	2.144509	333.321	108662.9	1657.294	20.11237
40	50	1153	1.869219	225.5786	108662.9	1657.294	13.61126
40	60	885	1.553749	143.9238	108662.9	1657.294	8.684267
40	70	729	1.331761	101.616	108662.9	1657.294	6.131443
40	80	602	1.130197	71.21296	108662.9	1657.294	4.296943

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.160 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1769	2.278547	421.8852	115066.9	1753.354	24.06162
50	40	1404	2.089134	307.0025	115066.9	1753.354	17.50945
50	50	994	1.692106	176.0445	115066.9	1753.354	10.04044
50	60	851	1.507773	134.2993	115066.9	1753.354	7.659568
50	70	709	1.301259	96.56472	115066.9	1753.354	5.50743
50	80	650	1.208578	82.22356	115066.9	1753.354	4.689503

จำนวนใบพัด 5ใบ

ตารางที่ ก.161 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1322	2.025326	280.243	104793	1599.245	17.52346
10	40	871	1.53498	139.9359	104793	1599.245	8.750125
10	50	731	1.334785	102.1262	104793	1599.245	6.385901
10	60	449	0.862526	40.53467	104793	1599.245	2.534613
10	70	266	0.506712	14.10755	104793	1599.245	0.882138
10	80	130	0.217125	2.954344	104793	1599.245	0.184734

ตารางที่ ก.162 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1480	2.141311	331.7033	105460	1609.25	20.61229
20	40	1050	1.75783	193.1856	105460	1609.25	12.0047
20	50	682	1.259347	89.89552	105460	1609.25	5.586175
20	60	571	1.078156	64.43564	105460	1609.25	4.004079
20	70	383	0.738677	29.61161	105460	1609.25	1.840088
20	80	254	0.482024	12.81476	105460	1609.25	0.796319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .163 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1504	2.156396	339.4569	106125	1619.225	20.96416
30	40	1118	1.832749	214.4634	106125	1619.225	13.24481
30	50	829	1.477308	128.1841	106125	1619.225	7.916385
30	60	666	1.234111	86.02738	106125	1619.225	5.312874
30	70	480	0.918953	46.16819	106125	1619.225	2.851252
30	80	370	0.713688	27.63874	106125	1619.225	1.706912

ตารางที่ ก .164 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1435	2.111226	317.0991	108662.9	1657.294	19.13355
40	40	1007	1.707688	179.9891	108662.9	1657.294	10.86043
40	50	895	1.567017	146.7929	108662.9	1657.294	8.857387
40	60	762	1.381074	110.1489	108662.9	1657.294	6.646313
40	70	617	1.154978	74.58771	108662.9	1657.294	4.500573
40	80	472	0.904498	44.68459	108662.9	1657.294	2.696239

ตารางที่ ก .165 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1486	2.145145	333.6444	115066.9	1753.354	19.02893
50	40	1058	1.766923	195.6643	115066.9	1753.354	11.15943
50	50	906	1.581477	149.9683	115066.9	1753.354	8.553226
50	60	846	1.500898	132.9015	115066.9	1753.354	7.579848
50	70	644	1.198926	80.81401	115066.9	1753.354	4.609111
50	80	503	0.960098	50.5466	115066.9	1753.354	2.882853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$3.3 \frac{d}{D} = 0.4$$

จำนวนใบพัด 3 ใบ

ตารางที่ ก .166 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1679	2.153217	378.3963	104793	1599.245	23.66093
10	40	960	1.647126	165.5033	104793	1599.245	10.34884
10	50	629	1.302578	85.75567	104793	1599.245	5.36226
10	60	439	1.073026	49.30409	104793	1599.245	3.082961
10	70	250	0.821688	21.50082	104793	1599.245	1.344436

ตารางที่ ก .167 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1759	2.189009	403.0155	105460	1609.25	25.04369
20	40	1158	1.819609	220.5438	105460	1609.25	13.70476
20	50	761	1.448413	115.368	105460	1609.25	7.169056
20	60	537	1.194321	67.12798	105460	1609.25	4.171383
20	70	348	0.954874	34.78032	105460	1609.25	2.161275
20	80	261	0.836944	22.86364	105460	1609.25	1.420764

ตารางที่ ก .168 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1665	2.146531	374.0759	106125	1619.225	23.10216
30	40	1105	1.775906	205.3954	106125	1619.225	12.68479
30	50	847	1.537409	136.2954	106125	1619.225	8.417322
30	60	573	1.237329	74.20759	106125	1619.225	4.582908
30	70	393	1.013965	41.70843	106125	1619.225	2.575827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .169 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1789	2.201372	412.2039	108662.9	1657.294	24.87211
40	40	1143	1.807423	216.2292	108662.9	1657.294	13.04713
40	50	873	1.56338	142.8522	108662.9	1657.294	8.619611
40	60	750	1.436688	112.78	108662.9	1657.294	6.805069
40	70	501	1.15048	60.32885	108662.9	1657.294	3.640203
40	80	384	1.002251	40.28246	108662.9	1657.294	2.430617

ตารางที่ ก .170 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1570	2.097837	344.7306	115066.9	1753.354	19.66121
50	40	1360	1.969638	280.3715	115066.9	1753.354	15.99058
50	50	899	1.588916	149.5096	115066.9	1753.354	8.527067
50	60	726	1.410835	107.2065	115066.9	1753.354	6.114369
50	70	526	1.181013	65.02028	115066.9	1753.354	3.708338
50	80	432	1.064126	48.11551	115066.9	1753.354	2.744199

จำนวนใบพัด 4ใบ

ตารางที่ ก .171 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1675	2.151319	377.1621	104793	1599.245	23.58376
10	40	1044	1.723375	188.3166	104793	1599.245	11.77534
10	50	788	1.476865	121.8079	104793	1599.245	7.616587
10	60	527	1.182226	65.2108	104793	1599.245	4.077599
10	70	347	0.953546	34.63214	104793	1599.245	2.165531
10	80	214	0.771213	17.27415	104793	1599.245	1.080144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .172 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางการที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1797	2.204571	414.6489	105460	1609.25	25.76659
20	40	1178	1.835631	226.3285	105460	1609.25	14.06422
20	50	837	1.527304	133.801	105460	1609.25	8.314496
20	60	632	1.306017	86.39215	105460	1609.25	5.368473
20	70	439	1.073026	49.30409	105460	1609.25	3.063793
20	80	294	0.882248	27.14854	105460	1609.25	1.68703

ตารางที่ ก .173 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางการที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1797	2.204571	414.6489	106125	1619.225	25.60786
30	40	1270	1.906029	253.3621	106125	1619.225	15.64712
30	50	885	1.57522	145.9126	106125	1619.225	9.011262
30	60	667	1.345708	93.94744	106125	1619.225	5.802
30	70	498	1.146789	59.77522	106125	1619.225	3.691594
30	80	361	0.972078	36.72964	106125	1619.225	2.268347

ตารางที่ ก .174 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางการที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1862	2.229041	434.4163	108662.9	1657.294	26.21239
40	40	1266	1.903081	252.1735	108662.9	1657.294	15.21598
40	50	963	1.649928	166.3028	108662.9	1657.294	10.0346
40	60	716	1.399953	104.9144	108662.9	1657.294	6.330464
40	70	575	1.239694	74.60894	108662.9	1657.294	4.501854
40	80	451	1.088209	51.36856	108662.9	1657.294	3.099545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก .175 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1847	2.223635	429.8716	115066.9	1753.354	24.51711
50	40	1654	2.141189	370.6798	115066.9	1753.354	21.14119
50	50	1139	1.804149	215.0822	115066.9	1753.354	12.26691
50	60	994	1.678534	174.6325	115066.9	1753.354	9.959913
50	70	742	1.428111	110.9109	115066.9	1753.354	6.325644
50	80	694	1.375789	99.93547	115066.9	1753.354	5.699676

จำนวนใบพัด 5 ใบ

ตารางที่ ก .176 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 10 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
10	30	1300	1.92781	262.3107	104793	1599.245	16.40216
10	40	817	1.506903	128.8593	104793	1599.245	8.057508
10	50	705	1.38791	102.4139	104793	1599.245	6.403889
10	60	397	1.019155	42.34859	104793	1599.245	2.648036
10	70	204	0.757045	16.16443	104793	1599.245	1.010754
10	80	128	0.647269	8.671675	104793	1599.245	0.542236

ตารางที่ ก .177 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 20 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
20	30	1458	2.032988	310.2421	105460	1609.25	19.27867
20	40	995	1.679447	174.9032	105460	1609.25	10.86862
20	50	633	1.307162	86.6047	105460	1609.25	5.381681
20	60	514	1.166407	62.75115	105460	1609.25	3.899403
20	70	304	0.895838	28.50439	105460	1609.25	1.771284
20	80	212	0.768385	17.04995	105460	1609.25	1.059497

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.178 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 30 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดัน ก่อนเข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
30	30	1485	2.049358	318.5317	106125	1619.225	19.67186
30	40	1055	1.733024	191.3663	106125	1619.225	11.81839
30	50	787	1.47582	121.5672	106125	1619.225	7.507739
30	60	598	1.266707	79.28404	106125	1619.225	4.896419
30	70	423	1.052637	46.60444	106125	1619.225	2.878194
30	80	302	0.893126	28.2311	106125	1619.225	1.743495

ตารางที่ ก.179 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 40 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
40	30	1400	1.99624	292.5157	108662.9	1657.294	17.65021
40	40	1002	1.685817	176.8017	108662.9	1657.294	10.6681
40	50	845	1.535393	135.7953	108662.9	1657.294	8.193797
40	60	702	1.384612	101.7357	108662.9	1657.294	6.138668
40	70	532	1.188281	66.16667	108662.9	1657.294	3.992453
40	80	422	1.051357	46.43774	108662.9	1657.294	2.802023

ตารางที่ ก.180 ผลการทดลองเมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่ที่ 50 องศา

มุมบังคับ ทิศทาง	มุมใบพัด	ความเร็วรอบ	แรงบิด	งานที่ได้ ออกมา	ความดันก่อน เข้า	งานที่ให้เข้า ไป	ประสิทธิภาพ
(องศา)	(องศา)	(rpm)	(J)	(Watts)	(Pa)	(Watts)	
50	30	1413	2.004664	296.4778	115066.9	1753.354	16.90919
50	40	1156	1.817992	219.9674	115066.9	1753.354	12.54552
50	50	900	1.58989	149.7676	115066.9	1753.354	8.541782
50	60	835	1.525276	133.304	115066.9	1753.354	7.602803
50	70	623	1.295684	84.48807	115066.9	1753.354	4.818656
50	80	485	1.130728	57.39951	115066.9	1753.354	3.273699

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้