

ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกลีบใบพืชที่มีต่อสมรรถนะของสุมแบบไหลตามแนวรัศมี



นาย ปวีศ หนูเกตุ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN : 974-17-4941-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF VARIATION OF IMPELLER BLADE INLET POSITIONS
ON PERFORMANCE OF A RADIAL FLOW PUMP

Mr. Pavarit Nooket

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

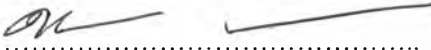
Academic Year 2005

ISBN : 974-17-4941-4


481686

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกลีบใบพัดที่มีต่อสมรรถนะของสว
แบบไหลตามแนวรัศมี
โดย นาย ปวริศ หนูเกตุ
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

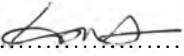

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ศักดิ์ มลิลิต)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชัย ลิตะพัฒนนะ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นัตถชัย หงษ์อุเทน)

ปวริศ หนูเกตุ : ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกليبใบพัดที่มีต่อสมรรถนะของสูบแบบไหลตามแนวรัศมี. (THE EFFECTS OF VARIATION OF IMPELLER BLADE INLET POSITIONS ON PERFORMANCE OF A RADIAL FLOW PUMP) อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร : 133 หน้า. ISBN 974-17-4941-4.

งานวิจัยนี้กล่าวถึงผลของการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกليبใบพัดที่มีต่อสมรรถนะของสูบแบบไหลตามแนวรัศมี โดยใช้ใบพัด 3 ชุดที่มีมุมที่ทางออกของกليبใบพัดเป็น 15, 30 และ 45 องศา ในการทดลอง มีการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกليبใบพัดโดยทำการกลิ้งกليبใบออกจากทางด้านในทีละชั้นเพื่อเพิ่มระยะในแนวรัศมีให้แก่กليبใบ

ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการกลิ้งกليبใบออกจากทางด้านในแล้ว จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะย้ายที่ไปสู่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และหัวรวมของสูบลดลง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....ปวริศ หนูเกตุ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2548.....

4570416521 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD : THE EFFECTS OF VARIATION OF IMPELLER BLADE INLET POSITIONS

PAVARIT NOOKET : THE EFFECTS OF VARIATION OF IMPELLER BLADE INLET POSITIONS ON PERFORMANCE OF A RADIAL FLOW PUMP. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. STAPORN SUPRICHAKORN, 133 pp. ISBN 974-17-4941-4.

The content of this thesis deals with The Effects of Variation of Impeller Blade Inlet Positions on Performance of A Radial Flow Pump. Three sets of blades with outlet blade angles of 15°, 30° and 45° were used in this experiment by machining the leading edges of the blades out in a series of steps to increase their radial distances from the center of rotation.

The result of the tests show that after machining , the point of best efficiency of each impeller migrate to where flow rates increase while total discharge heads decrease.

Department..... Mechanical Engineering Student' signature Pavarit Nooket.
Field of study..... Mechanical Engineering Advisor' signature [Signature]
Academic year..... 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์
สถาพร สุปรีชากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ซึ่งได้ให้คำแนะนำในการทำ
วิทยานิพนธ์นี้ ตั้งแต่เริ่มทำการศึกษา การออกแบบและสร้างชุดใบพัดทดสอบ การทดลองทดลองจน
การแก้ไขปัญหาดังกล่าว อันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ คุณสมล ธรรมลักษณ์ เจ้าของห้างหุ้นส่วนจำกัด บ้านโป่ง ส. การช่าง และ
บริษัท พรประจักษ์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำและการสร้างชุด
ใบพัดทดสอบ และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและแบ่งปันความ
สนุกสนานให้กันตลอดระยะเวลาการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งของผู้วิจัยที่ให้การ
สนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา และ
ขอขอบคุณผู้ที่มีได้กล่าวนามทุกท่านที่มีส่วนในวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและเป็นเกียรติอย่างสูงที่ได้รับ ความกรุณาจากทุกๆ ท่าน จึง
ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์.....	ค
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเครื่องสูบน้ำ.....	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมบูรณ์และความเร็วสัมพัทธ์.....	4
2.3 แรงบิดในเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวรัศมี.....	5
2.4 Theoretical Characteristic Curve.....	7
2.5 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของสูบแบบไหลตามแนวรัศมี.....	10
2.5.1 ส่วนประกอบที่อยู่กับที่.....	10
2.5.1.1 เรือนสูบลูกก้นหอย(Volute Casing).....	10
2.5.1.2 ผนึกกันรั้ว(Seal หรือ Packing).....	11
2.5.2 ส่วนเคลื่อนหมุน.....	12

2.5.2.1	ใบพัด	12
2.5.2.2	เพลลา	12
2.6	การเปลี่ยนพลังงาน	12
2.7	ประสิทธิภาพ(Efficiency)	13
2.8	กฎความคล้ายคลึงกันของใบพัด (Affinity Laws)	14
2.9	ค่าความเร็วจำเพาะ	18
2.10	การปฏิบัติงานด้านการดูดขึ้น	19
2.11	Torque Meter	22
2.12	การคำนวณหาหัวรวมของสูบ	23
2.13	การคำนวณหา Head Loss ที่เกิดขึ้นในท่อ	25
2.13.1	การสูญเสียหัวความดันภายในท่อตรง	25
2.13.2	การสูญเสียหัวความดันภายในอุปกรณ์ต่างๆของท่อ	28
2.13.2.1	ค่าการสูญเสียหัวความดันที่ท่องอ 90 องศา	28
2.13.2.2	ค่าการสูญเสียหัวความดันที่ท่อขยายขนาด	28
2.14	การออกแบบกลีบใบตามทฤษฎี Circular arc Method	29
2.15	การวัดอัตราการไหลและการควบคุมการไหลโดย Weir	30
2.15.1	การไหลผ่าน weir แบบสันหนา	31
2.15.2	สัมประสิทธิ์อัตราการสูบจากการทดลอง	32
2.16	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
2.16.1	เสียงที่เกิดจากชิ้นส่วนทางกล	33
2.16.2	เสียงที่เกิดจากของเหลว	33
2.16.2.1	การไหลแบบปั่นป่วน(Turbulence)	33
2.16.2.2	ปฏิสัมพันธ์ของชิ้นส่วนที่หยุดนิ่งและที่เคลื่อนหมุน (Stator/Rotor Interaction)	33
2.16.2.3	การสั่นพ้องของเสียง(Acoustic Resonance)	35
2.16.2.4	การเกิดโพรงไอ(Cavitation)	35
บทที่ 3 การออกแบบ		36
3.1	การออกแบบกลีบใบพัดทดสอบ	36
3.1.1	ความเร็วในแนวรัศมี	36
3.1.2	ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส	37

3.2 ชุดใบพัดทดสอบ	38
3.3 การสร้างกลีบใบพัดทดสอบทางเรขาคณิต	39
บทที่ 4 การทดลอง	41
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	41
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	42
4.3 การทดลอง	47
4.4 การคำนวณ	49
บทที่ 5 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง	50
5.1 ผลการทดลอง	50
5.1.1 สuibที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบเป็น 15 องศา	50
5.1.2 สuibที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบเป็น 30 องศา	53
5.1.3 สuibที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบเป็น 45 องศา	56
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	58
5.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสuibของใบพัดทั้ง 3 ใบ	59
5.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและหัวรวมของสuib	60
5.2.2.1 มุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา	60
5.2.2.2 มุมที่ทางออกของกลีบใบ 30 องศา	61
5.2.2.3 มุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา	62
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	64
6.1 สรุปผลการวิจัย	64
6.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	64
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงและออกแบบ	65
รายการอ้างอิง	66
ภาคผนวก	67

ภาคผนวก ก รายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบการทดลอง	68
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการออกแบบกลีบใบพัดทดสอบ	75
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	78
ภาคผนวก ง ผลการเปรียบเทียบสปริงยาง	88
ภาคผนวก จ ผลการทดลอง	89
ภาคผนวก ฉ ผลการคำนวณ	101
ภาคผนวก ช ผลการคำนวณหัวรวมของสูบ	113
ภาคผนวก ซ แบบประกอบและแบบรายละเอียดของใบพัดทดสอบ	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	133

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ความดันของบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ.....	20
2-2 ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิขนาดต่างๆ.....	20
3-1 มุมไบที่ตำแหน่งทางเข้าและออกของชุดไบพัดทดสอบ.....	39
ง.1 ผลการปรับเทียบสปริงยาง.....	88
จ-1 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา.....	89
จ-2 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	90
จ-3 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	91
จ-4 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	92
จ-5 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 30 องศา.....	93
จ-6 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 30 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	94
จ-7 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 30 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	95
จ-8 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	96
จ-9 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา.....	97
จ-10 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	98
จ-11 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	99
จ-12 ผลการทดลองของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	100
ฉ-1 ผลการคำนวณของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา.....	101
ฉ-2 ผลการคำนวณของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทาง ด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	102

ช-9 ผลการคำนวณหาหัวรวมของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา.....	122
ช-10 ผลการคำนวณหาหัวรวมของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลึงกลีบใบ ออกจากทางด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	123
ช-11 ผลการคำนวณหาหัวรวมของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลึงกลีบใบ ออกจากทางด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	124
ช-12 ผลการคำนวณหาหัวรวมของสูบที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบ 45 องศา (กลึงกลีบใบ ออกจากทางด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	125

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2-1 การไหลของของเหลวภายในสุมแบบไหลตามรัศมี.....	3
2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมบูรณ์และความเร็วสัมพัทธ์.....	4
2-3 สามเหลี่ยมความเร็วที่ทางเข้าออกใบพัด.....	5
2-4 การไหลของของไหลออกจากใบพัด.....	6
2-5 สามเหลี่ยมความเร็ว (Velocity triangle).....	7
2-6 Euler's head – capacity characteristic.....	8
2-7 กำลังที่เกิดจาก Euler's head.....	9
2-8 ส่วนประกอบ โดยทั่วไปทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนหมุน.....	10
2-9 ภาพตัดของสุมแสดงเรือนสุมรูปก้นหอย.....	11
2-10 ใบพัดแบบปิด, แบบเปิด และ แบบกึ่งเปิด.....	12
2-11 พลังงานของไหลที่ถูกสุม.....	13
2-12 ใบพัดที่คล้ายคลึงกัน.....	14
2-13 ภาคตัดของใบพัดที่ความเร็วจำเพาะต่างๆ.....	19
2-14 ชนิดของใบพัด.....	19
2-15 การเปลี่ยนแปลงของค่า NPSH กับอัตราการสุม.....	21
2-16 Torque Meter ที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
2-17 ตำแหน่งที่ติดตั้ง pressure gauge ที่ทางออกสุม.....	24
2-18 ตำแหน่งที่ติดตั้ง pressure gauge ที่ทางเข้าสุม.....	25
2-19 Moody Chart.....	26
2-20 ค่าความขรุขระของท่อ.....	27
2-21 ค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ.....	27
2-22 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อ 90 องศา.....	28
2-23 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อขยายขนาด.....	29
2-24 การออกแบบกลีบใบตามทฤษฎี Circular arc Method.....	29
2-25 (a) weir แบบสันคม.....	30
(b) weir แบบสันหนา.....	30
2-26 การเกิด shadow.....	34
2-27 การเกิด jet/wake.....	34

3-1 ความเร็วในแนวรัศมี.....	37
3-2 การออกแบบกลีบใบให้ของเหลวไหลเข้าสู่ใบพัดในแนวเดียวกับรัศมี.....	38
3-3 สามเหลี่ยมความเร็วที่ตำแหน่งทางเข้าและออกของใบพัด.....	38
3-4 ขั้นตอนการสร้างกลีบใบพัดทดสอบ.....	39
4-1 ส่วนประกอบหลักของสูบแบบไหลตามแนวรัศมีที่ใช้ทดลอง.....	41
4-2 (ก) สูบที่ประกบเรียบร้อย.....	42
(ข) ชุดเพลลาที่ถอดออกเพื่อเปลี่ยนใบพัด.....	42
4-3 การติดใบพัดเข้ากับชุดเพลลา.....	43
4-4 หลักของ Coupling Disk.....	43
4-5 การใส่สปริงยาง.....	44
4-6 การเล็งแนว.....	44
4-7 การยึดที่ Coupling Disk.....	45
4-8 ก้านเหล็กสำหรับใช้ถ่วงน้ำหนัก.....	45
4-9 อุปกรณ์วัดระดับความสูงและการปรับตำแหน่งก้านเหล็ก.....	46
4-10 การติดสเกล.....	46
4-11 การถ่วงน้ำหนัก.....	47
4-12 การตั้งศูนย์ที่ Hook Gauge.....	48
5-1 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 15 องศา.....	50
5-2 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทางด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	51
5-3 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากทางด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	52
5-4 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 15 องศา (กลีงกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	52
5-5 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 30 องศา.....	53
5-6 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 30 องศา (กลีงกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	54
5-7 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 30 องศา (กลีงกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	54
5-8 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 30 องศา (กลีงกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	55
5-9 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 45 องศา.....	56

5-10 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 45 องศา (กลี้งกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 5 ม.ม.).....	56
5-11 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 45 องศา (กลี้งกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 10 ม.ม.).....	57
5-12 กราฟแสดงผลการทดลองของสูบที่มุมที่ทางออกของกลีบใบพัด 45 องศา (กลี้งกลีบใบออกจากด้านในเป็นระยะ 15 ม.ม.).....	58
5-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของสูบของใบพัดทั้ง 3 เมื่อยังไม่ได้กลี้งด้านในออกกับอัตราการสูบ.....	59
5-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราการสูบที่มุมใบ 15 องศา.....	60
5-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหัวรวมของสูบกับอัตราการสูบที่มุมใบ 15 องศา.....	60
5-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราการสูบที่มุมใบ 30 องศา.....	61
5-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหัวรวมของสูบกับอัตราการสูบที่มุมใบ 30 องศา.....	61
5-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราการสูบที่มุมใบ 45 องศา.....	62
5-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหัวรวมของสูบกับอัตราการสูบที่มุมใบ 45 องศา.....	62
ก-1 มอเตอร์ไฟฟ้า.....	69
ก-2 เรือนสูบแบบไหลตามแนวรัศมี.....	70
ก-3 ชุดใบพัดทดสอบ.....	70
ก-4 Rectangular Weir.....	71
ก-5 อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า.....	71
ก-6 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ(Stroboscope).....	72
ก-7 Vacuum Gauge.....	73
ก-8 Pressure Gauge.....	73
ก-9 ประคูนน้ำ.....	74
ก-10 กราฟเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ(Characteristic Curve) ยี่ห้อ EBARA.....	75
ข-1 Velocity Diagram ที่ตำแหน่งทางเข้า.....	77
ค-1 สูบน้ำที่ใช้ทำการทดลอง.....	78
ค-2 ท่อตรงที่ใช้ในการทดลอง.....	82
ค-3 ท่องอ 90 องศาที่ใช้ในการทดลอง.....	84
ค-4 ท่อขยายขนาดที่ใช้ในการทดลอง.....	85
ง-1 กราฟแสดงการปรับเทียบสปริงยาง.....	88
ช-1 รูปภาพแสดงตำแหน่งต่างๆของท่อ.....	113

สารบัญคําย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
b	ความกว้างของขอบ Weir	m
B	ความสูงของกليبใบพัด	m
C_d	ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient)	-
D, d	เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, ท่อ	m
η	ประสิทธิภาพ	%
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดของท่อ(Darcy Friction factor)	-
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
G	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความดัน	kg/cm^2
G_m	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศ	inHg
h_{elbow}	head loss ที่เกิดขึ้นในท่องอ 90 องศา	m
h_f	head loss ที่เกิดขึ้นในท่อตรง	m
$h_{Gradual Enlargement}$	head loss ที่เกิดขึ้นในท่อขยายขนาด	m
h_i	หัวความดันด้านเข้าวัดจากระนาบอ้างอิง	m
h_L	หัวเนื่องจากการความเสียดท่อคูด	m
h_o	หัวความดันด้านออกวัดจากระนาบอ้างอิง	m
h_s	หัวความดันด้านคูดเทียบกับศูนย์กลางใบพัด	m
h_{sv}	NPSHr	m
h_v	หัวที่ความดันไออิ่มตัว	m
H	ระดับความสูงที่วัดจากขอบด้านล่างของ Weir	m
H_a	ความดันบรรยากาศเทียบเป็นความสูงของแท่งของเหลว	m
H_p	หัวรวมของสูบ	m
H_{sv}	NPSHa	m
K	ค่าคงที่, ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อตรง	-
K_{elbow}	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่องอ 90 องศา	-
$K_{Gradual Enlargement}$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อขยายขนาด	-
L	ความยาวของท่อ	m
L_p	กำลังที่เพลลาของสูบ	kW

L_w	กำลังของของไหล	kW
M	มวล	kg
N	ความเร็วรอบ	rpm
N_s	ความเร็วจำเพาะ	-
p_i	ความดันที่ตำแหน่งทางเข้า	N/m^2
p_o	ความดันที่ตำแหน่งทางออก	N/m^2
Q, q	อัตราการสูบ	m^3/s
r	รัศมีของใบพัด	m
Re	Reynolds number	-
S	ความเร็วจำเพาะที่ทางดูด	-
S_u	ส่วนหนาของกลีบใบในแนวเส้นรอบวง	m
T	แรงบิด	N.m
T	อุณหภูมิของน้ำ	C
u	ความเร็วในแนวสัมผัสของของไหล	m/s
v	ความเร็วสัมผัสของของไหล	m/s
v_m	ความเร็วสัมผัสในแนวรัศมีของกลีบใบ	m/s
v_T	ความเร็วสัมผัสในแนวสัมผัสของกลีบใบ	m/s
V	ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหล	m/s
V_c	ความเร็วของการไหลแบบ uniform flow	m/s
V_i	ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่ตำแหน่งวัดความดันด้านเข้า	m/s
V_m	ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวรัศมีของกลีบใบ	m/s
V_o	ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่ตำแหน่งวัดความดันด้านออก	m/s
V_T	ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวเส้นสัมผัสของกลีบใบ	m/s
X	ระยะยัดของสปริงยาง	m
y_c	ระดับความสูงบนสันฝายของการไหลแบบ uniform flow	m
Y	ระดับความสูงที่วัดจากพื้นถึงขอบด้านล่างของ Weir	m
z	ระดับความสูงวัดจากตำแหน่งอ้างอิง	m
Z	จำนวนกลีบใบ	-
Z_o	ระยะห่างในแนวตั้งฉากวัดจากจุดศูนย์กลางของ เครื่องมือวัดถึงระดับอ้างอิง	m
Z_i	ระยะห่างในแนวตั้งฉากวัดจากตำแหน่งที่ติดตั้ง Pressure Gauge ถึงระดับอ้างอิง	m

ρ	ความหนาแน่นของของไหล, รัศมีของใบพัด	$\text{kg/m}^3, \text{m}$
α	มุมที่ความเร็วสัมบูรณ์กระทำกับความเร็วในแนวสัมผัส	degree
β	มุมที่ความเร็วสัมพัทธ์กระทำกับความเร็วในแนวสัมผัส	degree
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s
γ	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ	N/m^3
ε	ค่าความขรุขระของท่อ	mm
ν	Kinematic Viscosity of Water	m^2/s