



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)  
ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและทดสอบปั๊มก้นหอย

Design and Testing of a Scroll Pump

นามผู้วิจัย นายจิรวัดน์ โภคานิตย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤษไมตรี, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิวะโกศิษฐ์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและทดสอบปั๊มก้นหอย

Design and Testing of A Scroll Pump

โดย

นายจิรวัดน์ โภคานิตย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2552

จิรวัดน์ โภคานิตย์ 2552: การออกแบบและทดสอบปั๊มกันหอย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤษไมตรี, Ph.D. 88 หน้า

งานวิจัยนี้แสดงการออกแบบและการทดสอบปั๊มแบบกันหอย ในการออกแบบและสร้างปั๊มน้ำแบบกันหอยได้ใช้สมการเวียนโค้งภายในและภายนอกของปั๊มน้ำแบบกันหอย โดยคำนวณค่าพิกัดของเส้นโค้งบนใบกันหอยด้วยโปรแกรม SCILAB-5.1 และสร้างแบบจำลองปั๊มกันหอยด้วยโปรแกรม Solid Work จากนั้นจึงนำไปใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร CNC สำหรับการออกแบบและสร้างชุดทดสอบใช้ข้อกำหนดตามวิธีการทดสอบของมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS B 8301) ปี ค.ศ.1990

การทดสอบนี้จัดทำเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความดัน และประสิทธิภาพของปั๊มน้ำกับความเร็รรอบ ความเร็รรอบที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ 675 750 825 900 975 และ 1,050 รอบต่อนาที จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหล ความดัน และประสิทธิภาพของปั๊มน้ำแบบกันหอยจะเพิ่มขึ้นตามรอบการหมุนของมอเตอร์ ค่าสูงสุดของอัตราการไหล ความดัน และประสิทธิภาพ ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 195 ลิตรต่อนาที 9 psig และ 22.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้เกิดขึ้นที่ความเร็รรอบเท่ากับ 1,050 รอบต่อนาที สาเหตุหลักที่ทำให้สมรรถนะของปั๊มที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้มีค่าต่ำ คือ ความสูญเสียจากการรั่วของน้ำ และความเสียดทานระหว่างใบหมุนกับตัวเรือน

Jeerawat Pokanit 2009: Design and Testing of A Scroll Pump. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Phichai Kritmaitree, Ph.D. 88 pages.

This research presents design and testing of a scroll pump. The fixed and orbiting scrolls mathematical models were used in design and construction of the scroll pump. The coordinates of the curves along the fixed and orbiting scroll wraps were calculated by SCILAB-5.1 program. The scroll pump was modeled by Solid Work program and constructed by CNC machine. The testing facilities were designed and constructed under the Japanese Industrial Standards (JIS B 8301, 1990).

The testing was conducted to find relationships of flow rate, pressure, and efficiency of scroll pump and its speed. The tested speed of the motor was 675, 750, 825, 900, 975, 1050 rpm. The results showed that the flow rate, pressure, and efficiency of scroll pump were increase with the speed of the motor. The maximum values of the flow rate, pressure, and efficiency were 195 l/min, 9 psig, and 22.66 percent, respectively. These values were occurred at the maximum speed of 1050 rpm. The water leakage and friction loss between orbiting scroll and casing were the major reasons of the low performance of the scroll pump.

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Student's signature                      Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย กฤษไมตรี ประธานกรรมการ  
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาและวางแผนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้  
ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ศิวะโกศิษฐ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัยนี้  
ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ  
ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ห้อง CML ทุกคนที่ได้ที่มีส่วนช่วยเหลือ  
อย่างมากในงานวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และพี่ชายที่ได้แนะนำและให้กำลังใจในการเรียนและการทำ  
วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ได้ดีเสมอมา

จิรวัดน์ โภคานิตย์

มีนาคม 2552

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	41
ผล	41
วิจารณ์	45
สรุปและข้อเสนอแนะ	52
สรุป	52
ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	54
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก มาตรฐานวิธีการทดสอบปีมน้ำ	57
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดฉากของ Orbit Scroll และ Fix Scroll	66
ภาคผนวก ค แบบของปีมน้ำแบบก้นหอย	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	88

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 675 รอบต่อนาที	43
2	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที	43
3	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 825 รอบต่อนาที	43
4	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที	44
5	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 975 รอบต่อนาที	44
6	ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 1,050 รอบต่อนาที	44
7	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 675 รอบต่อนาที	45
8	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที	45
9	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 825 รอบต่อนาที	46
10	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที	46
11	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 975 รอบต่อนาที	46
12	ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 1,050 รอบต่อนาที	47
13	ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตร	50
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	ตารางขอบเขตสูงสุดที่ยอมให้สำหรับความผิดพลาดทั้งหมด	64
ข1	แสดงตัวอย่างผลของฟังก์ชันเวียนของ Fix Scroll	71
ข2	แสดงตัวอย่างผลของฟังก์ชันเวียนของ Orbit Scroll มุมข้อเหวี่ยง 0 เรเดียน	74
ข3	การคำนวณหาจุดที่มีระยะไกลสุดและระยะใกล้สุดจากจุด (0,0)	78

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การจำแนกประเภทปั๊ม	4
2	คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย (ก) และปั๊มแบบก้นหอย (ข)	5
3	เส้นเวียนก้นหอย	9
4	เส้นเวียนโค้งก้นหอยของปั๊มแบบก้นหอย $\alpha = 3$ มิลลิเมตร, $\beta = 0.3 \pi$ เรเดียน	11
5	เส้นเวียนโค้งก้นหอยของปั๊มแบบก้นหอย $\alpha = 3$ มิลลิเมตร, $\beta = 0.5 \pi$ เรเดียน	12
6	เส้นเวียนโค้งก้นหอยของปั๊มแบบก้นหอย $\alpha = 3$ มิลลิเมตร, $\beta = 0.7 \pi$ เรเดียน	13
7	แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับทดลองปั๊มน้ำ	16
8	การติดตั้งชุดวัดอัตราการไหลแบบ Variable Area Flow Meter	17
9	แผนภาพแสดงตำแหน่งของรูปวัดความดัน	18
10	ตัวอย่างของปั๊มน้ำที่วัดความดันด้านดูดไม่ได้	18
11	ตำแหน่งของระนาบอ้างอิงในการคำนวณหัวรวมของปั๊มน้ำ	19
12	กราฟแสดง H-Q Curve ของปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	20
13	กราฟแสดง H-Q Curve ของปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแต่ละขนาด	21
14	อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Danfoss ขนาด 10 แรงม้า	26
15	เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Variable Area Flow Meter	27
16	เครื่องวัดความดันแบบบูรุดอง	27
17	มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้ายี่ห้อ BROOK	28
18	ถังเก็บน้ำแบบสแตนเลสยี่ห้อ DOS ขนาด 3,000 ลิตร	29
19	วาล์วปรับสมดุล (Balacing Valve) ขนาด 2 นิ้ว	29
20	แสดงตัวเรือนใบ Orbit Scroll	30
21	แสดงตัวเรือนใบ Fix Scroll	30
22	แสดงใบ Fix Scroll	31
23	แสดงใบ Orbit Scroll	31
24	แสดงส่วนรายละเอียดอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งของปั๊มน้ำแบบก้นหอย	32
25	แสดงส่วนรายละเอียดอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งของปั๊มน้ำแบบก้นหอย	32
26	ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพของปั๊มน้ำแบบก้นหอย	33
27	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดอ้างอิงและ Orbit Scroll	36
28	แบบแสดงรายละเอียดและรูปแบบของใบ Fix Scroll และ Fix Scroll	37
29	แบบแสดงรูปแบบของเพลลาขับ	37

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	แบบแสดงตัวเรือน Orbit Scroll Pump	38
31	แบบแสดงตัวเรือน Fix Scroll Pump	39
32	แบบแสดงรายละเอียดและรูปแบบของชุดทดสอบปั้มน้ำแบบก้นหอย	39
33	การกัดขึ้นรูปปั้มน้ำแบบก้นหอยโดยใช้เครื่องจักร CNC	40
34	ตัวอย่างกราฟฟิักัดเส้นเวียนภายในและภายนอก Orbit scroll และ Fix scroll ที่ตำแหน่งมุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle, $\theta$ ) เท่ากับ 0 เรเดียน	41
35	แสดงลักษณะและรายละเอียดตัวปั้มน้ำแบบก้นหอย	42
36	รูปแสดงการรั่วของน้ำที่ตำแหน่งตัวเรือนของ Orbit Scroll ในขณะที่เดินเครื่อง	48
37	รูปแสดงฟองอากาศภายในเส้นท่อที่เกิดในขณะที่ทำการเดินเครื่อง	48
38	รูปแสดงการเสียดสีระหว่างใบ Orbit Scroll กับตัวเรือน (Casing)	48
39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหล	49
40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	49
41	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลทางทฤษฎีและอัตราการไหลจากการทดลอง	51
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ก1	ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบบแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	60
ก2	ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบบแบบไหลตามแกน	60
ก3	ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบบแบบไหลตามแกน	62
ข1	รูปร่างลักษณะของโปรแกรม SCILAB-5.1	67
ข2	ตัวอย่างการเขียน โปรแกรมและการประมวลผลของ โปรแกรม SCILAB	68
ข3	กราฟแสดงตัวอย่างของผลการคำนวณค่าของฟิักัดเส้นเวียนโค้งภายใน และเส้นเวียนโค้งภายนอกของปั้มน้ำแบบก้นหอยที่มุมข้อเหวี่ยง 0 เรเดียน	77
ข4	แสดงการกำหนดจุดบนแกน x และแกน y เพื่อหาจุดหมุนของ Orbit Scroll	79

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$a$	=	สัมประสิทธิ์เส้นเวียนก้นหอย (Spiral Coefficient)
$f$	=	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า
$g$	=	ความเร่งเฉลี่ยของแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตรต่อวินาที <sup>2</sup>
$h$	=	ความสูงระหว่างผิวน้ำกับศูนย์กลางของท่อส่งบริเวณที่วัดความดันด้านส่ง
$k$	=	มุมม้วนของเส้นเวียนก้นหอย (Involute Angle)
$p$	=	จำนวนขั้วของมอเตอร์
$r$	=	พิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates)
$x$	=	พิกัดแกน $x$
$y$	=	พิกัดแกน $y$
$H$	=	ความสูงที่ปั๊มดันของไหลให้มีพลังงานศักย์เพิ่มขึ้นได้
$N$	=	ความเร็วรอบของมอเตอร์
$P$	=	ค่าความดันที่อ่านได้จากเครื่องวัดความดันแบบบูร์ดอง
$Q$	=	อัตราการไหลของปั๊มน้ำหน่วยเป็นลบ.เมตรต่อชั่วโมง
$R$	=	รัศมีการเคลื่อนที่ของใบ Orbit Scroll
$\phi$	=	มุมม้วนของเส้นเวียนก้นหอย (Involute Angle)
$\alpha$	=	สัมประสิทธิ์ก้นหอย (Scroll Coefficient)
$\beta$	=	ค่าความแตกต่างของมุมเริ่มต้นการโค้ง (Discrepancy of Starting Roll Angle)
$\gamma$	=	รัศมีของวงกลมพื้นฐาน, $\alpha(\pi - \beta)$
$\theta$	=	มุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle)
$\lambda$	=	ตำแหน่งมุม (Position Angle)
$h_d$	=	ความสูงด้านส่งวัดจากระนาบอ้างอิง
$h_s$	=	ความสูงด้านดูดวัดจากระนาบอ้างอิง
$H_t$	=	เสถียรภาพของปั๊มน้ำ
$Q_t$	=	อัตราการไหลทางทฤษฎีของปั๊มน้ำแบบก้นหอย
$V_d$	=	ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่ตำแหน่งวัดความดันด้านส่ง
$V_s$	=	ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวที่ตำแหน่งวัดความดันด้านดูด
$\nu$	=	น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) ของน้ำ

**คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)**

$\eta_p$	=	ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำ
$\eta_m$	=	ประสิทธิภาพของมอเตอร์
$\eta_v$	=	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มน้ำแบบกั้นหอย
$Kw$	=	พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์
$gpm$	=	อัตราการไหลของปั๊มน้ำหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที
$Bhp$	=	แรงม้าของต้นกำลัง
$Whp$	=	แรงม้าทางทฤษฎี

## การออกแบบและทดสอบปั๊มก้นหอย

### Design and Testing of A Scroll Pump

#### คำนำ

ในปัจจุบันนี้มีการผลิตปั๊มเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมออกมาใช้กันอย่างหลากหลายรูปแบบ เป็นผลทำให้ปั๊มที่มีชื่ออยู่ในงานด้านวิศวกรรมจึงมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งปั๊มในงานวิศวกรรมแต่ละแบบก็จะมีข้อแตกต่างกันทางด้านคุณสมบัติและประสิทธิภาพ โดยในการแบ่งประเภทของปั๊มสามารถแบ่งได้จากลักษณะของพลังงานที่ให้แก่ของไหล โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) ปั๊มน้ำประเภทพลวัต (Dynamics Pump) (2) ส่งของไหลที่ละก้อน (Positive Displacement Pump) ซึ่งมีหลักการการทำงานของปั๊มทั้งสองประเภทที่สำคัญก็คือการถ่ายเทพลังงานกลจากตัวต้นกำลังไปยังของไหลเพื่อ ทำการเพิ่มความดัน, พลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ของของไหล ดังนั้น ในการออกแบบปั๊มน้ำจะต้องทำให้ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่สามารถถ่ายเทพลังงานกลจากต้นกำลังไปยังของไหลได้ดีที่สุด

ปั๊มแบบก้นหอยเป็นปั๊มชนิดใหม่จัดเป็นปั๊มส่งของไหลที่ละก้อน (Positive Displacement Pump) ในการออกแบบปั๊มแบบก้นหอยได้ใช้แนวคิดและดัดแปลงมาจากคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยในระบบปรับอากาศ ซึ่งปั๊มแบบก้นหอยที่ทำการออกแบบและสร้างนี้จะประกอบด้วยใบพัดก้นหอย 2 ใบพัด ที่มีลักษณะเส้นเว้าก้นหอยเหมือนกันแต่หมุนวนในทิศทางตรงกันข้ามหันเข้าประกบกัน โดยเรียกชื่อใบพัดก้นหอยทั้งสองตามลักษณะการทำงาน ดังต่อไปนี้ Fixed Scroll เป็นใบพัดก้นหอยที่ติดแน่นไม่เคลื่อนที่และ Orbiting Scroll เป็นใบพัดก้นหอยที่มีการเคลื่อนที่ตามทิศการหมุนของเพลาชับ (Crank Shaft) แต่จะเคลื่อนที่ในลักษณะโคจร (Orbital) ซึ่งจะทำให้เกิดโพรงขึ้น โดยขนาดของโพรงจะเปลี่ยนแปลงไปตามองศาการของการหมุนของใบพัดก้นหอยที่มีการเคลื่อนที่ (Orbiting Scroll)

การทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของปั๊มแบบก้นหอย (Scroll Pump) จะทำการออกแบบชุดเครื่องมือทดสอบสำหรับหาความดันและอัตราการไหลที่ความเร็วรอบต่างๆ ของปั๊มแบบก้นหอย โดยจะใช้วิธีการทดสอบตามข้อกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบปั๊มของ JIS 8301 และทำการหาประสิทธิภาพของกราฟการทำงานของปั๊มแบบก้นหอย (Performance Curve of Scroll Pump) พร้อมทั้งการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของปั๊มแบบก้นหอยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปั๊มแบบก้นหอยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไปในอนาคต

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการการออกแบบและทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบก้นหอย
2. ศึกษาการสร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยและชุดทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบก้นหอย

## ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบปั้มน้ำแบบก้นหอยและชุดเครื่องมือทดสอบสมรรถนะปั้มน้ำแบบก้นหอย
2. สร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยและชุดเครื่องมือทดสอบสมรรถนะปั้มน้ำแบบก้นหอย
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพปั้มน้ำแบบก้นหอย

## การตรวจเอกสาร

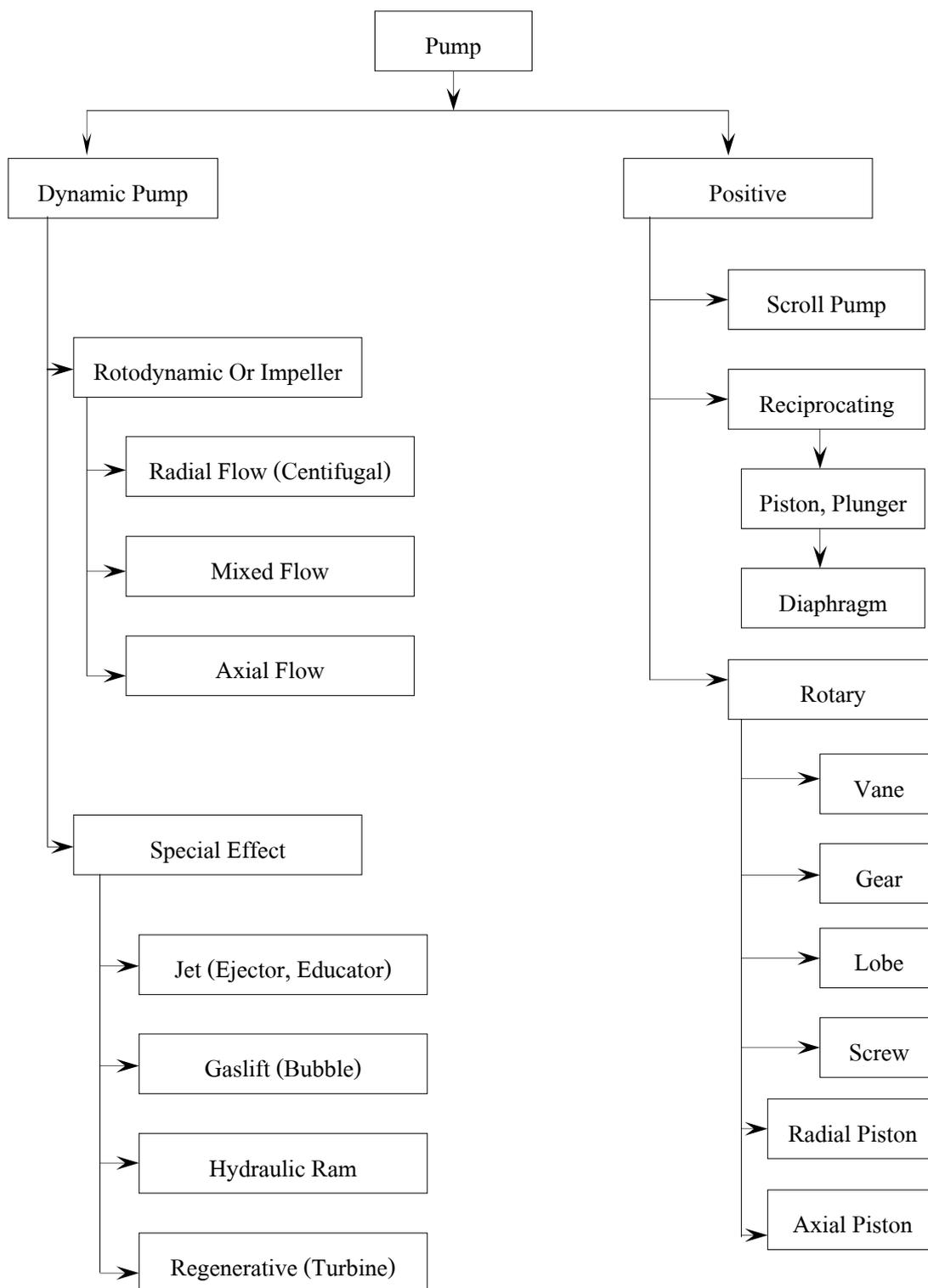
### การจำแนกประเภทปั๊มน้ำ

ปั๊ม คือ เครื่องจักรกลสำหรับถ่ายโอนพลังงานกลจากเครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับให้แก่ของเหลวที่ไหลผ่านปั๊ม การใช้งานทั่วไปได้แก่ การลำเลียงของเหลวผ่านท่อจากบริเวณที่มีระดับต่ำไปสู่บริเวณที่มีระดับสูงกว่าหรือจากบริเวณที่มีความดันต่ำไปยังบริเวณที่มีความดันสูงกว่าและมีระยะทางไกลๆ (ธีารง, 2534)

การจำแนกปั๊มสามารถจำแนกออกได้หลายประเภท เช่น ตามลักษณะการใช้งาน เช่น Suction System, Flood Suction System, Siphon System หรือตามชนิดของตัวขับหรือตามลักษณะรูปร่างซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัด ข้อแตกต่างและมีการเหลื่อมล้ำกัน การจำแนกประเภทที่ปราศจากอิทธิพลภายนอก และได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือการจำแนกโดยพิจารณาหลักการเพิ่มพลังงานแก่ของเหลว โดยวิธีนี้ปั๊มจะแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ปั๊มแบบไหลไหลต่อเนื่อง (Dynamic Pump) คือ ปั๊มที่มีการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว โดยการเพิ่มความเร็วให้ของเหลวก่อน แล้วหลังจากนั้นจะลดความเร็วของของเหลวลงเพื่อเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์ หรือพลังงานความดันที่ปากท่อส่ง
2. ปั๊มแบบส่งของไหลทีละก้อน (Positive Displacement Pump) คือ ปั๊มที่เพิ่มพลังงานให้ของเหลว โดยใช้ชิ้นส่วนเคลื่อนที่อัดหรือดันของเหลวภายในปริมาตรปิดให้มีความดันสูงขึ้นพอที่จะไหลผ่านลิ้นหรือช่อง (Port) ออกไปสู่ท่อส่งได้โดยตรง

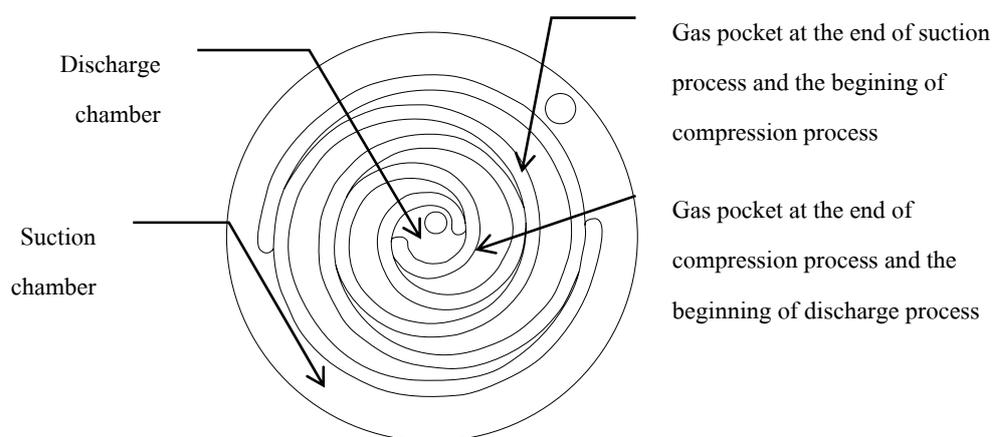
โดยที่ปั๊มยังสามารถแยกประเภทย่อยลงไปได้อีกดังแสดงในภาพที่ 1 โดยในปัจจุบันปั๊มที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรม การชลประทาน และสุขาภิบาลส่วนใหญ่จะเป็นปั๊มแบบ Rotodynamic (ธีารง, 2534)



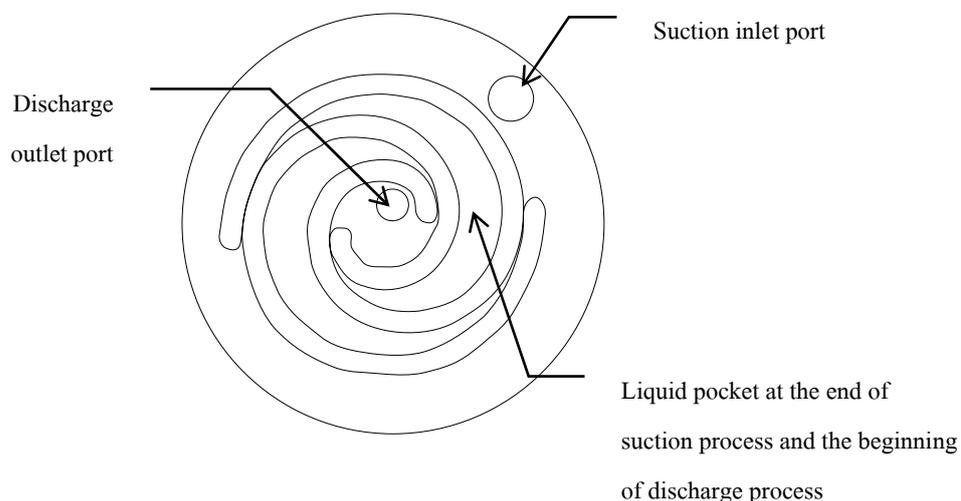
ภาพที่ 1 การจำแนกประเภทปั๊ม

ที่มา: ชำรง (2534)

สำหรับแนวคิดในการออกแบบและสร้างปั๊มแบบก้นหอย (Scroll pump) ได้ทำการพัฒนาและดัดแปลงมาจากคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย (Scroll Compressor) ซึ่งจะทำการปรับค่าของช่วงตำแหน่งมุม (Position Angle,  $\lambda$ ) ของสมการของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยได้มากที่สุด ไม่มากกว่า  $3\pi$  เรเดียน สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ค่าของตำแหน่งมุมเท่ากับ  $3\pi$  เรเดียนในการสร้างระบบสมการปั๊มแบบก้นหอย ดังแสดงในภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยและปั๊มแบบก้นหอย (Kritmaitree, 2002)



(ก) คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย



(ข) ปั๊มแบบก้นหอย

ภาพที่ 2 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย (ก) และปั๊มแบบก้นหอย (ข)

ที่มา: Kritmaitree (2002)

เหตุผลในการสนับสนุนในการวิจัยจะตั้งสมมติฐานจากการใช้ข้อดีของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย (Scroll Compressor) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) คือ

1. คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยมีชิ้นส่วนอุปกรณ์น้อยกว่าคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ จึงยากต่อสึกหรอ
2. คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยไม่มีวาล์ว จึงไม่มีเสียงดังจากการไหลผ่านวาล์วและมีการสูญเสียพลังงานน้อย
3. การสั่นสะเทือนน้อยง่ายต่อการถ่วงดุล (Balancing) และยังมีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) มากกว่าอีกด้วย (Jiang, 2003)
4. คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยมีน้ำหนักเบาและขนาดเล็ก จึงทำให้คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น (Shaffer, 2001)

จากข้อดีของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่ปั๊มแบบก้นหอยน่าจะมีข้อดีเหมือนกับคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย แนวคิดที่จะประดิษฐ์คิดค้นปั๊มแบบก้นหอยขึ้นมา เนื่องจากโครงการของ Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) มีความต้องการที่จะออกแบบระบบหมุนเวียนไฮโดรเจนเหลว โดยการปั๊มไฮโดรเจนเหลวที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ แทนที่จะปล่อยไฮโดรเจนเหลวนั้นทิ้งไป (Kritmaitree, 2002) สำหรับปั๊มส่งของไหลที่ละกอน (Positive Displacement Pump) นั้น พลังงานที่ให้กับของไหลจะเพิ่มขึ้นเป็นระยะๆ ด้วยแรงที่มากกระทำต่อขอบเขตเคลื่อนที่หนึ่งหรือหลายๆ ขอบเขตที่เคลื่อนที่ที่บรรจุของไหลไว้ โดยที่ผลจากพลังงานดังกล่าวทำให้ความดันเพิ่มขึ้นไปถึงค่าที่ต้องการ และทำให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวาล์ว (Valves) หรือช่อง (Ports) ไปยังท่อจ่าย (Discharge Line) (Krutzsich, 1985) ข้อดีของปั๊มประเภทส่งของไหลที่ละกอนคือ ไม่มีการเกิดโพรง (Cavitations) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเกียร์ปั๊มซึ่งทาง JAERI ทดลองใช้ในการหมุนเวียนไฮโดรเจนเหลวแล้วพบว่าปั๊มแบบก้นหอยนี้มีปริมาตรกระจัดมากกว่าเกียร์ปั๊ม (Gear pump) และมีชิ้นส่วนในการเคลื่อนที่น้อยกว่า ทำให้ปั๊มแบบก้นหอยมีความน่าเชื่อถือมากกว่า และสามารถจัดปัญหาของเกียร์ปั๊มได้เป็นอย่างดีนอกจากนั้น ปั๊มแบบก้นหอยยังมีขนาดเล็กกะทัดรัดกว่าเกียร์ปั๊มที่อัตราการไหลและ

ความดันเดียวกัน ส่วนสำคัญมากกว่าสิ่งอื่นใดคือ ปัมป์แบบก้นหอยทำงานได้อย่างเหมาะสมด้วยสมรรถนะที่ดีในการหมุนเวียนไฮโดรเจนเหลวอย่างคงที่ เนื่องจากความสามารถในการไหลแบบ 2-เฟส การทำงานที่ความเร็วต่ำ และสามารถปรับหรือควบคุมอัตราการไหลได้ นอกจากนี้ปัมป์แบบก้นหอยยังสามารถทำหน้าที่เป็นมาตรวัดการไหลได้อีกด้วย ดังนั้น ทาง JAERI จึงพัฒนาปัมป์แบบก้นหอยขึ้นมา (Kritmaitree, 2002)

ในส่วนของงานวิจัยและการศึกษาปัมป์แบบก้นหอยนั้น ได้เคยมีการศึกษาวิเคราะห์ปัมป์แบบก้นหอยด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เพื่อที่จะทำนายการไหลและการกระจายความดันในกระบวนการดูด โดยใช้น้ำเป็นของไหล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปัมป์น้ำแบบก้นหอยนั้น มีความดันสัมพัทธ์ที่เป็นลบน้อย (Small Negative Relative Pressure) และแสดงลักษณะการดูดเชิงปริมาตรของกระบวนการดูดที่ดี (Kritmaitree, 2002) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกทำการออกแบบและสร้าง ปัมป์น้ำแบบก้นหอยโดยใช้สมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอยสำหรับชุดทดสอบปัมป์น้ำแบบก้นหอยใช้ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบปัมป์น้ำขนาดเล็กของมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS B 8301) ส่วนที่สองทำการทดลองหาประสิทธิภาพของปัมป์น้ำแบบก้นหอย

### การออกแบบและสร้างปัมป์แบบก้นหอย

#### ใบพัดก้นหอย

ใบพัดก้นหอยของปัมป์แบบก้นหอยนั้น คัดแปลงมาจากใบพัดก้นหอยของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย โดยที่ปัมป์และคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยจะประกอบด้วยใบพัดแบบก้นหอย (Scroll Wraps) จำนวน 2 ใบพัด ที่มีลักษณะเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปใบพัดก้นหอยเหมือนกัน แต่การหมุนวนในทิศทางตรงกันข้ามพร้อมๆกับประกบเข้าหากัน โดยจะเรียกชื่อใบพัดทั้งสองตามลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้ Fixed Scroll เป็นใบพัดก้นหอยที่ติดแน่นไม่เคลื่อนที่และ Orbiting Scroll เป็นใบพัดก้นหอยที่มีการเคลื่อนที่ตามการหมุนของเพลาขับ (Crank Shaft) โดยลักษณะการหมุนของใบพัด Orbiting Scroll จะหมุนตามรอบการหมุนของเพลาขับแต่จะเคลื่อนที่ในลักษณะโคจร (Orbital) โดยส่วนประกอบของใบพัดก้นหอยทั้ง 2 ใบ ประกอบไปด้วยเส้นเวียนก้นหอย 2 เส้น ได้แก่ เส้นเวียนโค้งภายใน (Inner Curve) และเส้นเวียนโค้งภายนอก (Outer Curve) โดยเส้นเวียนโค้งทั้งสองนั้น ได้มาจากการตัดแปลงสมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอย (Algebraic Spiral Scroll) สำหรับ

ป้อมแบบก้นหอยนั้น เส้นเวียน โค้งภายในและภายนอกของใบพัดก้นหอยทั้ง Fixed Scroll และ Orbiting Scroll โดยที่ใบพัดก้นหอยของป้อมและของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยนั้น จะมีลักษณะเส้นเวียนที่เหมือนกัน แต่ว่าใบพัดก้นหอยของป้อมนั้นจะสั้นกว่าใบพัดก้นหอยของคอมเพรสเซอร์ (Kritmaitree, 2002)

#### สมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอย

สมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอย (Kohsokabe, 1959) สามารถเขียนได้ทั้งในรูปพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates) และ พิกัดฉาก (Rectangular Coordinates) ซึ่งสมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอยในรูปพิกัดเชิงขั้ว  $(r, \phi)$  แสดงดังนี้

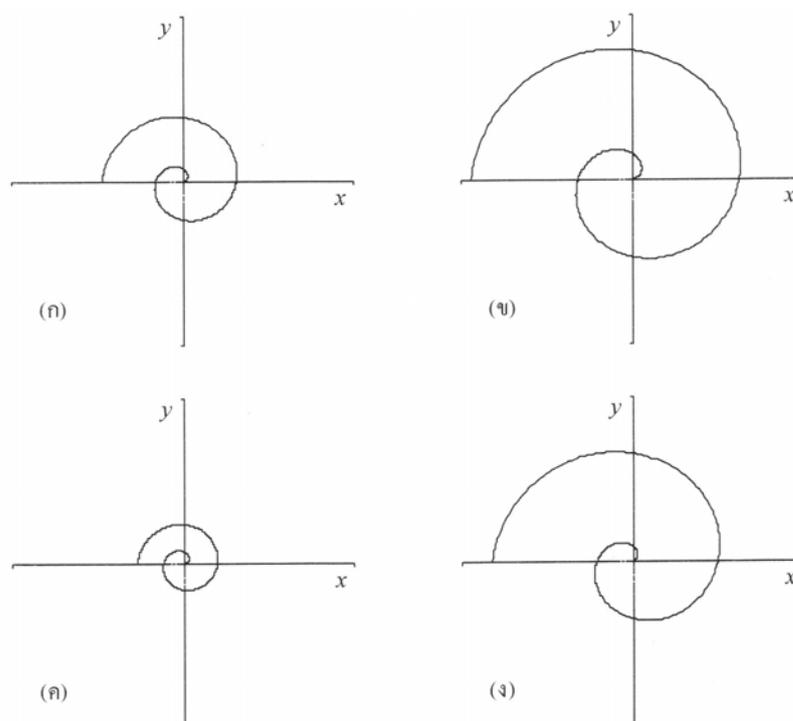
$$r = a\phi^k \quad (1)$$

หรือสมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอย ในรูปพิกัดฉาก  $(x, y)$  แสดงดังนี้

$$x = a\phi^k \cos \phi \quad (2)$$

$$y = a\phi^k \sin \phi \quad (3)$$

ตัวอย่างกราฟแสดงของเส้นเวียนก้นหอยที่ได้จากสมการพีชคณิตเส้นเวียนก้นหอยข้างต้น แสดงในภาพที่ 3 โดยกำหนดให้มุมม้วนของเส้นเวียนก้นหอยเริ่มตั้งแต่  $0\pi$  เรเดียนถึง  $3\pi$  เรเดียน ซึ่งเส้นเวียนก้นหอยที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามสัมประสิทธิ์เส้นเวียนก้นหอย ( $a$ ) และความลาดเอียงของเส้นเวียนก้นหอย ( $k$ )



(ก)  $a = 1, k = 1$

(ข)  $a = 2, k = 1$

(ค)  $a = 1, k = 0.75$

(ง)  $a = 1, k = 1.25$

### ภาพที่ 3 เส้นเวียนก้นหอย

ที่มา: ธนา (2548)

สมการพิกัดเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยของบีมแบบก้นหอย

สมการพิกัดเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยบีมแบบก้นหอย สามารถเขียนอยู่ในสมการพิกัดฉาก  $(x, y)$  โดยแบ่งออกเป็นสมการพิกัดเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยสำหรับ Fixed Scroll และ Orbiting Scroll ซึ่งทั้ง Fixed Scroll และ Orbiting Scroll ยังแบ่งออกเป็น สมการพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนโค้งภายนอกดังสมการที่ (4) ถึงสมการที่ (11) (Kritmaitree, 2002)

## Fixed Scroll

เส้นเวียนโค้งภายใน

$$x = \alpha (\cos \lambda + (\lambda + \pi - \beta) \sin \lambda) \quad (4)$$

$$y = \alpha (\sin \lambda - (\lambda + \pi - \beta) \cos \lambda) \quad (5)$$

โดยที่  $0 \leq \lambda \leq 3\pi$ 

เส้นเวียนโค้งภายนอก

$$x = \alpha (\cos \lambda + (\lambda - \pi) \sin \lambda) \quad (6)$$

$$y = \alpha (\sin \lambda - (\lambda - \pi) \cos \lambda) \quad (7)$$

โดยที่  $2\pi \leq \lambda \leq 5\pi$ 

## Orbiting Scroll

เส้นเวียนโค้งภายใน

$$x = \alpha (\cos \lambda + (\lambda - \beta) \sin \lambda) + \gamma \cos \theta \quad (8)$$

$$y = \alpha (\sin \lambda - (\lambda - \beta) \cos \lambda) + \gamma \cos \theta \quad (9)$$

โดยที่  $\pi \leq \lambda \leq 4\pi$ 

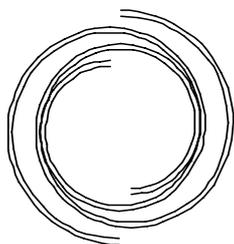
เส้นเวียนโค้งภายนอก

$$x = \alpha (\cos \lambda + \lambda \sin \lambda) + \gamma \cos \theta \quad (10)$$

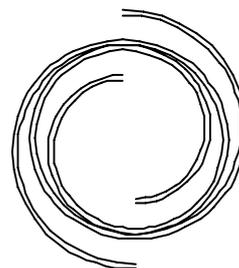
$$y = \alpha (\sin \lambda - \lambda \cos \lambda) + \gamma \sin \theta \quad (11)$$

โดยที่  $\pi \leq \lambda \leq 4\pi$

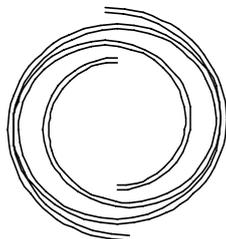
ตัวอย่างของเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยของบีมแบบก้นหอย แสดงในภาพที่ 4, ภาพที่ 5 และภาพที่ 6 โดยกำหนดให้สัมประสิทธิ์ก้นหอยมีค่าคงที่ ( $\alpha$ ) 3 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยที่ได้ จะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามค่าความแตกต่างของมุมเริ่มต้นโค้ง ( $\beta$ ) โดยที่เส้นเวียนก้นหอยของบีมแบบก้นหอยที่มีค่าความแตกต่างของมุมเริ่มต้นการโค้ง ( $\beta$ ) มากจะได้ไบพัตก้นหอยที่หนากว่าไบพัตก้นหอยที่ได้เส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยของบีมแบบก้นหอยที่มีค่าความแตกต่างของมุมเริ่มต้นการโค้งน้อย



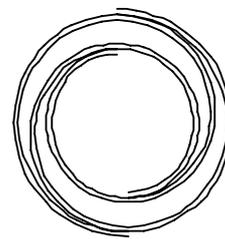
$\theta = 0 \pi$  เรเดียน



$\theta = 0.5 \pi$  เรเดียน

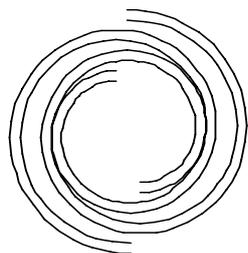


$\theta = \pi$  เรเดียน

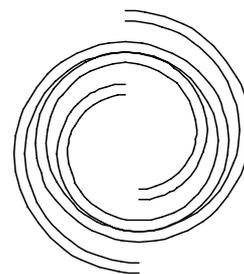


$\theta = 1.5 \pi$  เรเดียน

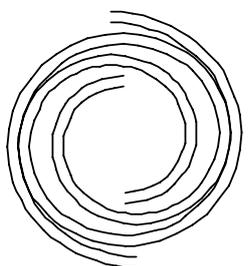
ภาพที่ 4 เส้นเวียนโค้งก้นหอยของบีมแบบก้นหอย  $\alpha = 3$  มิลลิเมตร,  $\beta = 0.3 \pi$  เรเดียน



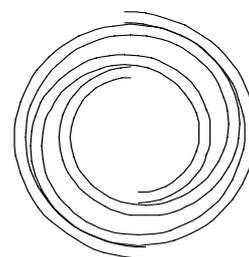
$\theta = 0 \pi$  เรเดียน



$\theta = 0.5 \pi$  เรเดียน

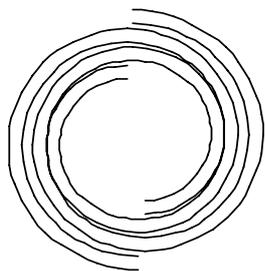


$\theta = \pi$  เรเดียน

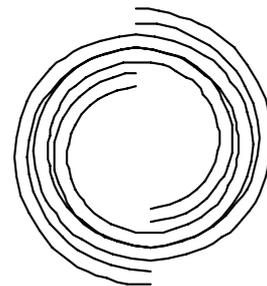


$\theta = 1.5 \pi$  เรเดียน

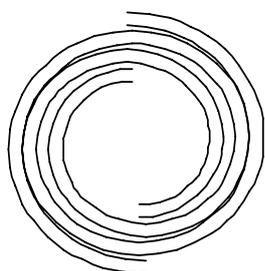
ภาพที่ 5 เส้นเวียนโค้งก้นหอยของป้มแบบก้นหอย  $\alpha = 3$  มิลลิเมตร,  $\beta = 0.5 \pi$  เรเดียน



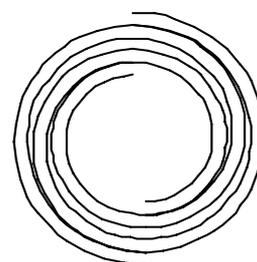
$\theta = 0 \pi$  เรเดียน



$\theta = 0.5 \pi$  เรเดียน



$\theta = \pi$  เรเดียน



$\theta = 1.5 \pi$  เรเดียน

ภาพที่ 6 เส้นเวียน โค้งก้นหอยของสปริงแบบก้นหอย  $\alpha = 3$  มิลลิเมตร,  $\beta = 0.7 \pi$  เรเดียน

### กระบวนการการทำงานของสปริงแบบก้นหอย

กระบวนการทำงานของสปริงแบบก้นหอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการดูด (Suction Process) และ กระบวนการจ่าย (Discharge Process) โดยเพลลาซ์จะต้องหมุนสองรอบ จึงจะทำให้สปริงแบบก้นหอยสามารถทำงานได้ครบทั้งสองกระบวนการ การหมุนรอบแรกของเพลลาซ์นั้นจะทำให้เกิดกระบวนการดูดของไหลให้เข้ามาภายในห้องของสปริงแบบก้นหอย และการหมุนรอบที่สองของเพลลาซ์จะทำให้เกิดกระบวนการจ่ายของไหลที่อยู่ห้องของสปริงแบบก้นหอยให้ออกไปยังท่อจ่าย (Discharge Line)

### กระบวนการดูด

จากสมการพิกัดเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยของปั๊มแบบก้นหอย สมการที่ (4) ถึงสมการที่ (11) กระบวนการดูดจะเริ่มต้นที่มุมข้อเหวี่ยง  $1.5 \pi$  เรเดียนแล้วมุมข้อเหวี่ยงจะค่อยๆ ลดลง จนถึงที่สุดกระบวนการทำงานที่มุมข้อเหวี่ยง  $1.5 \pi$  เรเดียน โดยที่เพลลาขับจะหมุนหนึ่งรอบ ในทิศตามเข็มนาฬิกา

### กระบวนการจ่าย

กระบวนการจ่ายนั้นจะทำงานต่อเนื่องจากกระบวนการดูด ซึ่งจากสมการพิกัดเส้นเวียนก้นหอยรอบรูปไบพัตก้นหอยของปั๊มแบบก้นหอยสมการที่ (4) ถึงสมการที่ (11) กระบวนการจ่ายจะเริ่มต้นที่มุมข้อเหวี่ยง  $1.5 \pi$  เรเดียนแล้วมุมข้อเหวี่ยงจะค่อยๆ ลดลงจนถึงที่สุดกระบวนการจ่ายที่มุมข้อเหวี่ยง  $1.5 \pi$  เรเดียน โดยที่เพลลาขับจะหมุนหนึ่งรอบในทิศตามเข็มนาฬิกา เช่นเดียวกับกระบวนการดูด

ดังนั้น กระบวนการทำงานของปั๊มแบบก้นหอยทั้งกระบวนการดูดและกระบวนการจ่าย จะเริ่มต้นที่มุมไบพัตก้นหอย  $1.5 \pi$  เรเดียน แล้วมุมไบพัตก้นหอยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงที่สุด กระบวนการทำงานที่มุมข้อเหวี่ยง  $1.5 \pi$  เรเดียน (ธนา, 2548)

### การทดลองหาประสิทธิภาพของปั๊มแบบก้นหอย

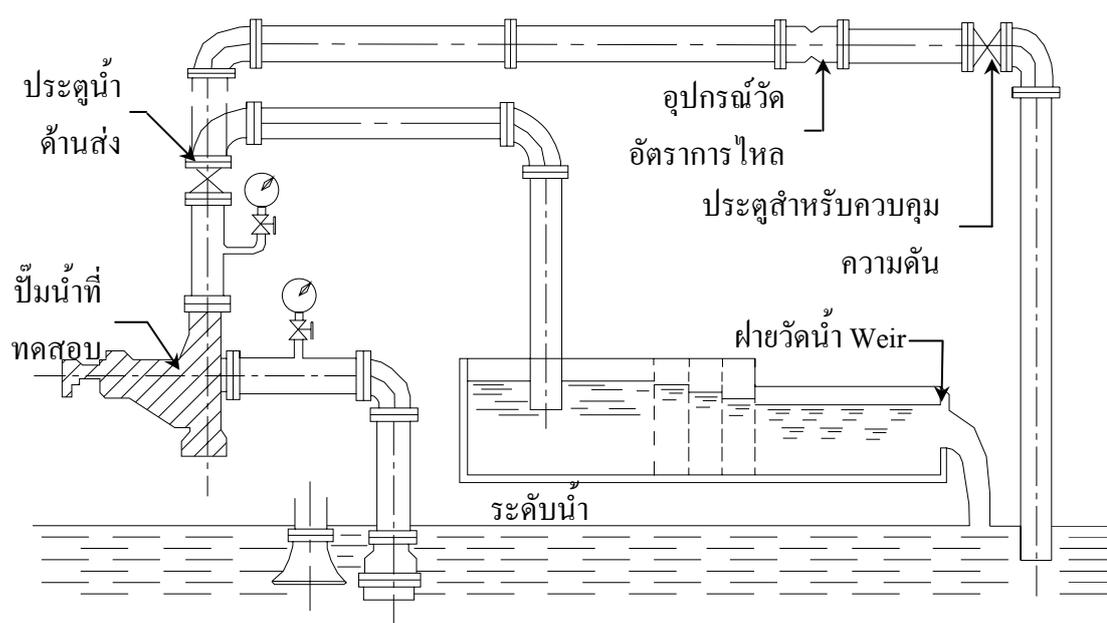
#### หลักการทั่วไปสำหรับการทดสอบ

1. พิสัย (Range) ของการทดสอบ หมายถึง ช่วงอัตราการสูบต่ำสุดไปถึงอัตราการสูบสูงสุด ที่ระบุการทดสอบโดยทั่วไปนั้น จะทำที่พิสัยกว้างที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยให้ครอบคลุมอัตราการสูบที่กำหนด (Rated Capacity) ของปั๊มด้วย สำหรับปั๊มขนาดใหญ่ที่ทำงานตายตัวอาจทดสอบเฉพาะที่อัตราการสูบที่กำหนด หรืออัตราการสูบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของปั๊มเฉพาะจุดที่ใช้ งานเพียงจุดเดียวก็ได้ (พิทักษ์, 2546)

2. การปรับสภาวะตามการใช้งาน ถ้าทำการทดสอบปัมโดยไม่ติดตั้งในสภาพการใช้งานจริง จะต้องปรับสภาวะการทำงานให้เหมือนสภาวะการทำงานจริงให้มากที่สุดที่เท่าที่จะทำได้ตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้ สำหรับการทดสอบ โดยใช้ปัมจำลองขนาดย่อส่วนจะต้องระมัดระวังเรื่องความคล้ายเชิงเรขาคณิต (Geometrical Similarity) เป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความคล้ายของความเรียบผิว (Surface Finish) จะทำได้ยากเป็นพิเศษหรือทำไม่ได้เลย (พิทักษ์, 2546)
3. การทดสอบต้องทำที่หลายๆ จุดตลอดพิสัย เพื่อความแม่นยำในการกำหนดรูปร่างของเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะ (พิทักษ์, 2546)
4. ที่แต่ละจุดทดสอบต้องวัดปริมาณต่าง ๆ หลายครั้ง โดยทั่วไปอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยปริมาตรวัดทั้ง 3 ครั้ง ต้องกระจายอยู่รอบค่าปานกลางพอควร ถ้าปริมาณที่วัดทั้ง 3 ครั้งแปรไปในทิศทางเดียวกันหมด เช่นเพิ่มขึ้นทุกครั้ง แสดงว่าปัมยังทำงานสถานะที่ไม่คงที่ (Unsteady State) ต้องรอให้ทำงานคงที่ (Steady State) ก่อน (พิทักษ์, 2546)
5. ต้องเปรียบเทียบ (Calibrate) เครื่องมือวัดก่อนเริ่มต้นและเมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบเสมอ ถ้าเครื่องมือวัดมีความไม่แน่นอนสูง เช่น Strain Gauge มี Zero Drift จะต้องปรับศูนย์เป็นระยะๆ ระหว่างการทดสอบด้วย (พิทักษ์, 2546)
6. การอ่านปริมาณจากเครื่องมือวัด และการประเมินผลลัพธ์ จะต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญ (Significant Figure) เสมอ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดจากกลุ่มเครื่องมือวัดที่ใช้ (พิทักษ์, 2546)
7. ระหว่างทำการทดสอบต้องคำนวณผลลัพธ์ หรือกึ่งผลลัพธ์ (Intermediate Result) และเขียนเส้นโค้งต่างๆ ออกมาทันที เพื่อจะได้ทราบว่าจุดใดกระจายออกไปนอกแนวโน้ม จะได้ทำซ้ำที่จุดนั้นเพื่อทดสอบความถูกต้อง หรือจุดทดสอบบริเวณที่กราฟเลี้ยวกลับห่างเกินไป ก็จะสามารถทดสอบเพิ่มทำให้หาจุดสูงสุดของกราฟได้แน่นอนขึ้น (พิทักษ์, 2546)

## การทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำ

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่มาตรฐานอุตสาหกรรมไทยใช้อ้างอิงในการทดสอบปั้มน้ำขนาดเล็ก ดังจะแสดงในภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างชุดอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำ



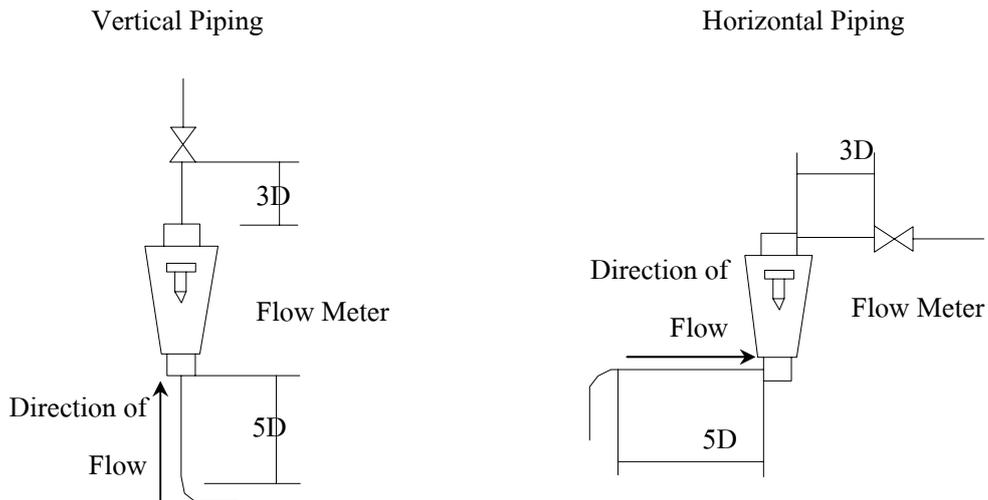
ภาพที่ 7 แผนภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับทดสอบปั้มน้ำ

ที่มา: ชำรง (2534)

การทดสอบทำโดยปรับปั้มน้ำให้หมุนด้วยอัตราเร็วตามที่กำหนด แล้วเปลี่ยนอัตราการไหลของปั้มน้ำ โดยการปรับประตุน้ำด้านส่งให้ได้อัตราการไหลครอบคลุมตลอดพิสัยที่จะทำการทดสอบ ในกรณีที่ปรับความดันด้านดูดโดยใช้ประตุน้ำสำหรับควบคุมความดัน (Throttle Valve) จะต้องใส่ชุดปรับการไหล (Flow Control) ไว้หน้าปากทางเข้าของปั้มน้ำที่จะทดสอบ หรือติดตั้งอุปกรณ์ไว้ห่างจากปากทางเข้าปั้มน้ำมากพอที่จะทำให้การไหลเข้าสู่ใบพัดของปั้มน้ำปราศจากอิทธิพลของอุปกรณ์ดังกล่าวและในกรณีที่การทดสอบเป็นแบบวงจรปิดจะต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงออกไปนอกพิสัย 0-40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นพิสัยที่ยอมรับให้ใช้ค่าความหนาแน่นมวลของน้ำสะอาดเท่ากับ 1,000 กก./ลบ.ม.

หัวรวมของสวบ (Total Head) คำนวณจากสมการ

$$H = h_d - h_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \quad (12)$$

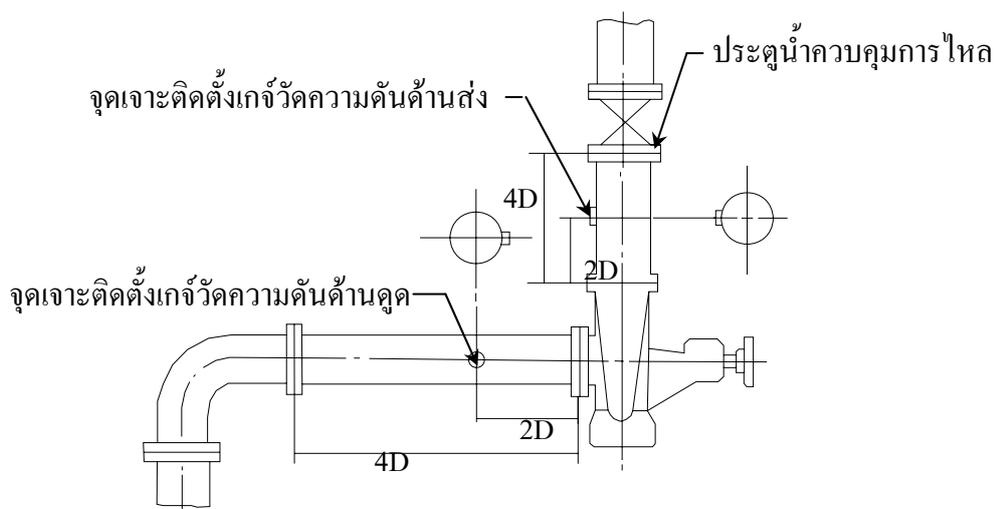


ภาพที่ 8 การติดตั้งชุดวัดอัตราการไหลแบบ Variable Area Flow Meter

ที่มา: Japanese Standards Association (1990)

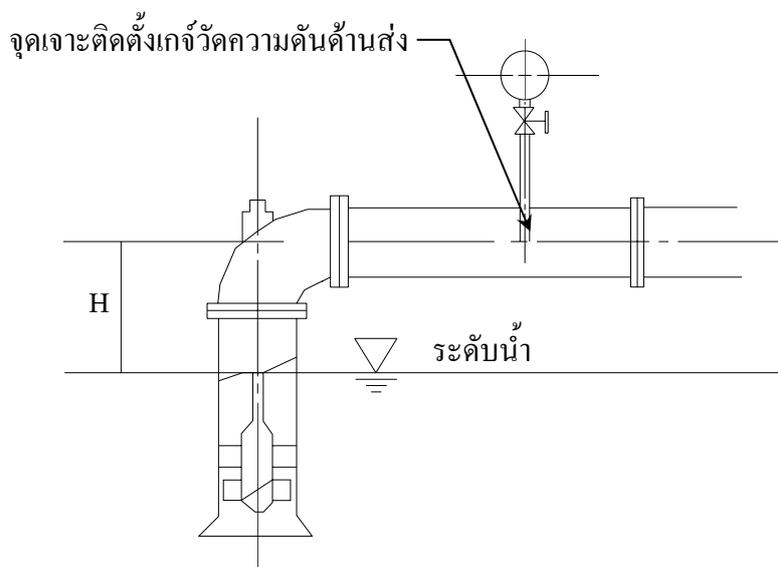
ภาพที่ 9 แสดงรายละเอียดของการวัดความดันเพื่อใช้ในการคำนวณ  $h_d$  และ  $h_s$  ในกรณีวัดความดันด้านดัดไม่ได้ (ภาพที่ 10) หัวรวมของสวบคำนวณจากสมการ

$$H = h + h_d + \frac{V_d^2}{2g} \quad (13)$$



ภาพที่ 9 แผนภาพแสดงตำแหน่งของรูปวัดความดัน

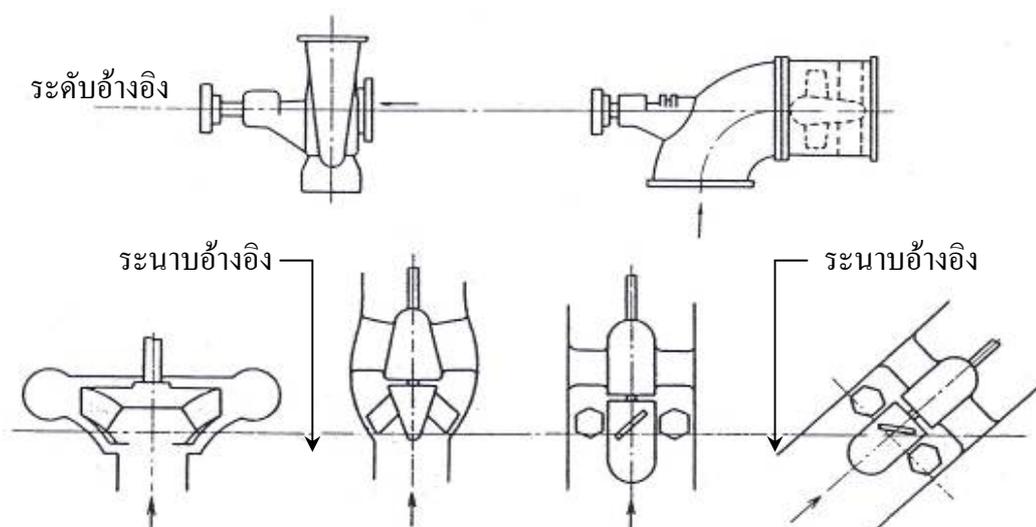
ที่มา: ชำรง (2534)



ภาพที่ 10 ตัวอย่างของปั้มน้ำที่วัดความดันด้านดูดไม่ได้

ที่มา: ชำรง (2534)

เครื่องมือที่ใช้วัดความดันจะต้องอ่านได้ละเอียดถึง 1/100 ของหัวรวมของสูบที่กำหนดไว้ ในกรณีที่ใช้มาตรวัดความดันแบบ Bourdon Tube จะต้องเปรียบเทียบมาตรฐานเสียก่อนโดยใช้ Dead Weight Tester หรือมาตรวัดความดันแบบ Standard Liquid Column มาตรที่ใช้จะต้องมีสเกลพอเหมาะ คือ หัวรวมที่กำหนดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 2 เท่าของสเกล



ภาพที่ 11 ตำแหน่งของระนาบอ้างอิงในการคำนวณหัวรวมของปั๊มน้ำ

ที่มา: ชำรง (2534)

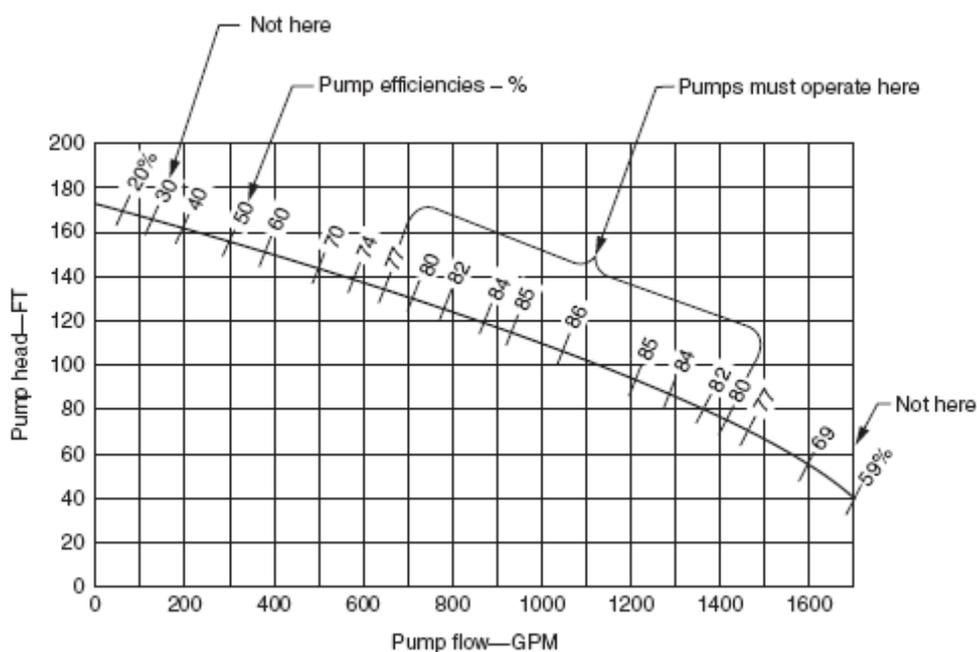
เครื่องมือวัดอัตราการไหลส่วนใหญ่จะเป็นฝายระบาย (Weir) รูระบาย (Orifice) หรือมาตรวัดแบบ Venturi ต้องสร้างเครื่องมือเหล่านี้ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน และใช้วัดตามวิธีที่กำหนด การวัดอัตราเร็วรอบของสูบด้วยเครื่องมือวัดรอบที่มีความแม่นยำสูง และอ่านให้ละเอียดถึง 1/200 ของอัตราเร็วรอบต่อนาทีที่กำหนด ต้องวัดหลายๆ ครั้งขณะทดสอบที่แต่ละจุด แล้วนำค่าที่อ่านมาหาค่าเฉลี่ยเป็นอัตราเร็วที่จุดนั้น กำลังเพลที่ปั๊มสามารถวัดจากพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ที่ทราบคุณลักษณะ (Characteristics) โดยการทดสอบล่วงหน้ามาแล้ว หรือใช้ Dynamometer ขับสูบปริมาณต่างๆ ที่วัด เพื่อนำมาคำนวณกำลังที่เพลต้องอ่านละเอียดถึง 1/10 ของค่าที่วัด

ในกรณีที่กำหนดเงื่อนไขด้านดูด (Suction Conditions) ใช้ทดสอบสูบที่หัวและความจुरะบุ แล้วลดความดันด้านดูดลงจนหัวรวมลดลงจากค่าปรกติ 3% ให้ใช้สภาวะนั้นคำนวณค่า Required NPSH (ชำรง, 2534)

### เส้นแสดงลักษณะคุณสมบัติ (Characteristic Curve)

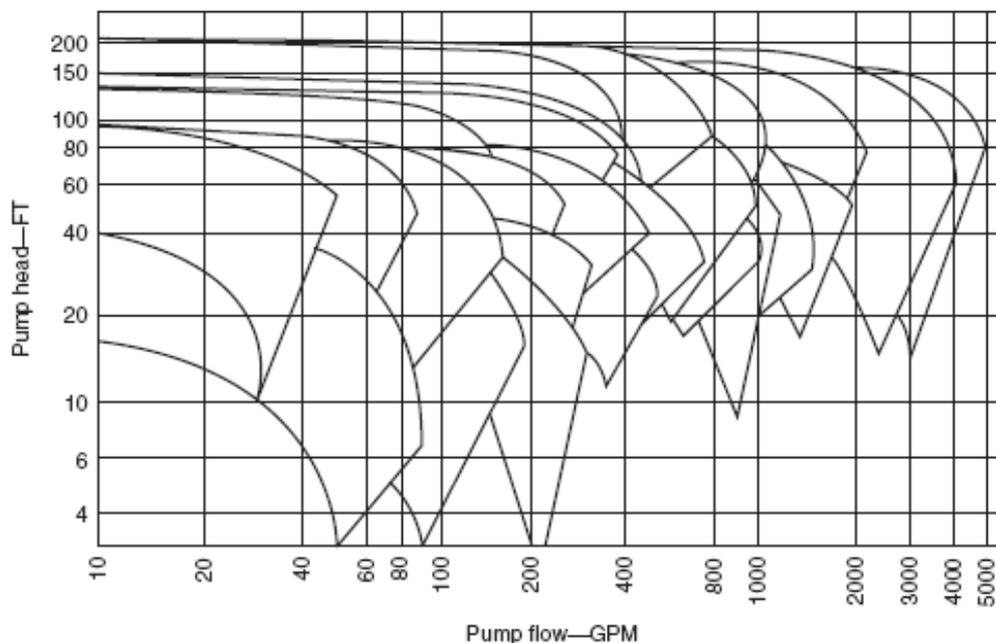
โดยปกติในการใช้งานปั๊มน้ำจะทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ (Constant Speed) และสามารถส่งน้ำได้ในปริมาณตั้งแต่ศูนย์ (Zero Capacity) ไปจนถึงปริมาณน้ำสูงสุดที่ปั๊มนั้นได้รับการออกแบบไว้ ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับสถานะทางด้านชุด การออกแบบระบบ และเสดของระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำจากปั๊ม ทำได้โดยการใช้เครื่องควบคุมปริมาณน้ำ เช่น ประตูน้ำ หรือลิ้นปิดเปิด เป็นต้น โดยให้ความเร็วรอบคงที่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำโดยให้ความเร็วรอบของปั๊มคงที่นี้จะทำให้ เสดกำลังที่ใช้ในการขับปั๊ม (Power Input) และประสิทธิภาพของปั๊ม

เส้นแสดงลักษณะคุณสมบัติของปั๊ม เป็นเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและเสดของปั๊ม โดยที่อัตราการไหลอยู่ในแนวแกนนอนและเสดของปั๊มอยู่ในแนวแกนตั้ง ทำให้เส้นกราฟที่เกิดขึ้นมีลักษณะดังภาพที่ 12 และภาพที่ 13



ภาพที่ 12 กราฟแสดง H-Q Curve ของปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ที่มา: Jamed (2006)



ภาพที่ 13 กราฟแสดงกลุ่ม H-Q Curve ของปั้มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแต่ละขนาด

ที่มา: Jamed (2006)

จากเส้นแสดงลักษณะคุณสมบัติของปั้มน้ำทำให้มองเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ลักษณะประจำตัวของปั้มน้ำก็คือ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำให้ไหลออกมากขึ้น เสดจะกลับลดลง ซึ่งความจริงข้อนี้เป็นเรื่องสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะต้องจำไว้ให้แม่นยำและต้องคำนึงถึงอยู่เสมอสำหรับวิศวกร ในการออกแบบระบบการใช้น้ำก็คือ เส้นแสดงลักษณะสมบัติของปั้มน้ำแต่ละขนาด แต่ละยี่ห้อแต่ละชนิด จะใช้แทนกันไม่ได้เลย หรือแม้กระทั่งจะเป็นยี่ห้อเดียวกัน แต่ละรุ่น หรือแต่ละโรงงาน ก็จะมีรายละเอียดแตกต่างกันมากมาย ซึ่งมีเหตุผลทำให้ลักษณะคุณสมบัติของปั้มน้ำแต่ละตัวแตกต่างกันไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับขนาด ความหนาและความโค้งของใบพัด ขนาดของช่องว่างภายในเรือนปั้มน้ำ ความเร็วรอบที่กำหนด ตลอดจนความหยาบละเอียดของวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและตัวเรือนปั้มน้ำ ก็จะมีผลอย่างมากต่อลักษณะคุณสมบัติของปั้มน้ำ เพราะฉะนั้นในการคำนวณออกแบบระบบการใช้น้ำ จะต้องคำนวณจากเส้นแสดงลักษณะเฉพาะตัวของปั้มน้ำที่เจาะจงจะใช้ในงานนั้นเท่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบได้

## กราฟสมรรถนะของปั๊ม (Performance Curves)

ในการผลิตปั๊มเพื่อจำหน่ายแต่ละรุ่นบริษัทผู้ผลิตจะทำการผลิตออกมาทีละหลายๆ ขนาด ในแต่ละขนาด ก็จะมีสมรรถนะและลักษณะสมบัติของมันแตกต่างกันไป ดังนั้น เพื่อให้การเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแต่ละขนาดทำได้ง่ายขึ้นจึงได้มีการจัดเอา เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสด กับอัตราการไหลของปั๊มแต่ละขนาดในช่วงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด มาเขียนกราฟรวมกันไว้ในกราฟเดียวกัน โดยให้แกนนอนเป็นค่าของอัตราการไหล และแกนตั้งเป็นค่าของเสดรวม ในขณะที่เดียวกันก็จะบอกขนาดท่อและกำลัง ที่จะต้องใช้ในการทำงานของปั๊มไว้ด้วย และสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่น่าจะบอกมาด้วยก็คือ ขนาดของรอบปั๊มที่จะทำให้ปั๊มมีสมรรถนะได้ตามกราฟนั้น สิ่งเหล่านี้เมื่อรวมเป็นกราฟเดียวกันแล้ว เราเรียกว่ากราฟสมรรถนะของปั๊ม (Performance Curve) ในบางบริษัทอาจไม่แสดงค่าเหล่านี้ไว้ในรูปของกราฟแต่จะใช้เป็นตาราง เรียกว่า ตารางสมรรถนะของปั๊ม (Performance Table) ซึ่งในตารางนี้ก็จะมิตัวเลขแสดงสมรรถนะของปั๊มขนาดต่างๆ ไว้เช่นเดียวกับแผนภูมิ ซึ่งถ้านำมาเอาตัวเลขเหล่านี้มาเขียนกราฟ ก็จะได้สมรรถนะของปั๊มเช่นเดียวกัน กราฟหรือตารางนี้ให้ประโยชน์ได้ดี ในการเลือกปั๊มให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสด กับ อัตราการไหล (H-Q Curve) แบ่งได้เป็น 5 แบบ (พิทักษ์, 2546)

### Rising Curve

มีลักษณะเป็นเส้นโค้งลาดลงอย่างสม่ำเสมอ โดยมีจุดที่เสดมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดซึ่งปริมาณน้ำที่ส่งได้มีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเมื่อปิดอุปกรณ์ควบคุมไม่ให้น้ำไหลผ่านท่อปล่อยไปได้ (Shut Off Point) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำกับระยะเสดในเส้นกราฟจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงที่เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพดี (Best Efficiency Range) (พิทักษ์, 2546)

### Dropping Curve

จุดที่เสดมีค่าสูงสุดในเส้นกราฟไม่ได้อยู่ที่จุดปริมาณน้ำที่ส่งได้มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่จะอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งซึ่งอัตราการไหลไม่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ทำให้เส้นกราฟแบบนี้แสดงลักษณะพิเศษได้อีกอย่างหนึ่งคือ เครื่องสูบน้ำที่มีเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเสด กับอัตราการไหล ในลักษณะนี้อาจให้ปริมาณน้ำได้ 2 ขนาดที่ค่าของเสดเดียวกัน (พิทักษ์, 2546)

### Steep Curve

กราฟที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างประมาณน้ำกับค่าของเสดในเส้นกราฟแบบนี้จะไม่ค่อยเป็นค้อยไปเหมือนแบบ Rising Curve ลักษณะของเส้นกราฟแบบนี้ จะมีความลาดชันสูง ทำให้การเปลี่ยนแปลงของระยะเสดเป็นไปอย่างมาก เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดปริมาณน้ำที่ผ่านเครื่องสูบลไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (พิทักษ์, 2546)

### Flat Curve

เส้นกราฟจะมีลักษณะแบนเกือบราบ ในส่วนหนึ่งเริ่มซึ่งอัตราการไหลมีค่าเท่ากับศูนย์ลงมา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้ามกับแบบ Steep Curve กล่าวคือ ปริมาณน้ำที่ผ่านเครื่องสูบลจะเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อเปลี่ยนค่าเสดไปแต่เพียงเล็กน้อยดังรูป เส้นกราฟประเภทนี้อาจเป็นไปได้ทั้งแบบ Rising Curve และ Dropping Curve คือจุดที่ระยะเสดมีค่าสูงสุด อาจจะอยู่ที่จุดซึ่งอัตราการไหลมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ก็ได้ (พิทักษ์, 2546)

### Unstable Curve

เป็นเส้นกราฟที่มีความแตกต่างออกไปจากทั้งสี่แบบข้างต้น กล่าวคือ บางจุดซึ่งให้ค่าเสดเท่ากัน อาจมีค่าของอัตราการไหลได้มากกว่า 2 ค่าดังในรูป ที่จุดซึ่งเสดมีค่า ทำให้เครื่องสูบลมีลักษณะเฉพาะตัวแบบนี้สามารถใช้งานได้กว้างขึ้น เหมาะสำหรับงานที่ต้องการเปลี่ยนปริมาณน้ำโดยไม่เปลี่ยนแปลงแรงดัน (พิทักษ์, 2546)

### กำลังงานและประสิทธิภาพของปั้ม

นิยามของกำลังของปั้มทางทฤษฎี ( $Whp$ ) หมายถึง อัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่ใช้กันทั่วไป คือ แรงม้าดังแสดงในสมการที่ 14 (วิบูลย์, 2529)

$$Whp = \frac{v \cdot Q \cdot H_t}{550} \quad (14)$$

ในกรณีที่ของเหลวเป็นน้ำและอัตราการไหลมีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที (gpm) และเฮด (H) มีหน่วยเป็นฟุต แรงม้าทางทฤษฎีคำนวณโดยสมการ (วิบูลย์, 2529)

$$Whp = \frac{gpm \cdot H_t}{3,960} \quad (15)$$

สำหรับของเหลวที่เป็นน้ำในระบบเมตริกอัตราการไหลมีหน่วยเป็น ลิ.เมตรต่อชั่วโมง และเฮด (H) มีหน่วยเป็นเมตร แรงม้าทางทฤษฎีคำนวณโดยสมการ (วิบูลย์, 2529)

$$Whp = \frac{Q \cdot H_t}{273} \quad (16)$$

แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horepower,  $Bhp$ ) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ ต้นกำลังขับเคลื่อนปั๊มหรือให้แก่ปั๊ม หรือเป็นกำลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม เพื่อให้ปั๊มเพิ่มกำลังงานให้แก่ของเหลวเท่ากับแรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower) ดังนั้น (วิบูลย์, 2529)

$$Bhp = \frac{Whp}{\eta_p} \quad (17)$$

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ ( $Kw$ ) คำนวณได้จากสมการ (วิบูลย์, 2529)

$$Kw = \frac{0.746 \cdot Bhp}{\eta_m} \quad (18)$$

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
2. ซอฟต์แวร์สำเร็จ SciLab-5.1
3. ซอฟต์แวร์สำเร็จ Solid Works
4. อุปกรณ์ปรับค่าความถี่แบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter)
5. เครื่องวัดอัตราการไหล (Variable Area Flow Meter)
6. เครื่องวัดความดัน (Pressure Gauge)
7. มอเตอร์ (Motor)
8. ถังเก็บน้ำสแตนเลส (Stainless Water Tank)
9. วาล์วปรับสมดุล (Manual Balancing Valve)
10. ตัวปั้มน้ำแบบก้นหอย (Scroll Pump)

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

#### 1. เครื่องคอมพิวเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและคำนวณปั้มน้ำแบบก้นหอยและชุดทดสอบ ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะของเครื่อง ดังนี้

ระบบ	Microsoft Window XP
CPU	Intel (R) Core(TM)2 Duo 2.20 GHz
RAM	2.00 GB

#### 2. ซอฟต์แวร์สำเร็จ SciLab-5.1

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณผลของสมการเส้นเวียนโค้งปั้มน้ำแบบก้นหอยเพื่อนำค่า  $(x, y)$  มาใช้ในการออกแบบปั้มน้ำแบบก้นหอย โปรแกรมดังกล่าวสามารถ Down Load ได้ฟรีจากอินเทอร์เน็ต โดยฟังก์ชันการคำนวณของโปรแกรมนี้อาจมีลักษณะคล้ายกับโปรแกรม Math Lab

### 3. ซอฟต์แวร์สำเร็จ Solid Works

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบปั้มน้ำแบบก้นหอย ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับลิขสิทธิ์ถูกต้องตามกฎหมาย

### 4. อุปกรณ์ปรับค่าความถี่แบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ใช้หลักการปรับเปลี่ยนความถี่ (Hz) ตามสมการ  $N = \frac{120f}{p}$  โดยที่  $N$  = ความเร็วรอบต่อนาที (rpm),  $f$  = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Hz) และ,  $p$  = จำนวนขั้วของมอเตอร์ในการทดสอบนี้จะใช้อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Danfoss ขนาด 10 แรงม้าดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Danfoss ขนาด 10 แรงม้า

## 5. เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Variable Area Flow Meter

ใช้หือ Denki รุ่น 500 ลิตรต่อนาที ตัวโครงสร้างทำมาจาก Acrylic มีความแม่นยำ  $\pm 5\%$  ใช้ในการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในท่อ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Variable Area Flow Meter

## 6. เครื่องวัดความดัน

ในการทดสอบนี้ ใช้เป็นประเภทบูร์ดองมีความแม่นยำ  $\pm 2\%$  โดยที่แบบบูร์ดองใช้หือ TT/C โดยมีย่านการวัดที่ 0-30 psi โดยแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 เครื่องวัดความดันแบบบูร์ดอง

## 7. มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นแรงหมุนซึ่งเป็นพลังงานทางกล เราใช้แรงหมุนนี้ไปขับอุปกรณ์ทางกลต่าง ๆ มอเตอร์กระแสสลับ ที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ (INDUCTION MOTOR) โดยเฉพาะ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTOR) เป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างเรียบง่ายและแข็งแรง จึงเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย และใช้ในทุกสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นภายนอกอาคาร ในน้ำหรือในบรรยากาศที่อาจเกิดการระเบิดขึ้นได้ โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหุ้มมิดชิด และมีพัดลมระบายความร้อนอยู่ภายนอก ส่วนสำคัญของมอเตอร์จะแบ่งเป็นส่วนที่เป็น สเตเตอร์ (STATOR) ซึ่งเป็นส่วนที่ตรึงอยู่กับที่ และส่วนที่เป็น โรเตอร์ (ROTOR) หรือส่วนที่หมุน แต่ละส่วนก็จะประกอบด้วยทั้งส่วนเครื่องกลและส่วนไฟฟ้า พัดลมระบายอากาศที่ติดอยู่กับเฟลาของมอเตอร์ จะมีหน้าที่ระบายความร้อนให้กับตัวมอเตอร์ในขณะที่หมุน โดยในทดสอบนี้จะใช้มอเตอร์ยี่ห้อ Brook ขนาด 10 แรงม้าและประสิทธิภาพ 85% ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้ายี่ห้อ BROOK

## 8. ถังเก็บน้ำสแตนเลส (Stainless Water Tank)

ใช้ถังเก็บน้ำสแตนเลสยี่ห้อ DOS ขนาด 3,000 ลิตร โดยถังทำให้มีสเกลยางใส่วัดระดับน้ำ ภายในถังเก็บน้ำดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ถังเก็บน้ำแบบสแตนเลสยี่ห้อ DOS ขนาด 3,000 ลิตร

## 9. วาล์วปรับสมดุล Manual Balancing Valve

วาล์วปรับสมดุล (Balancing Valve) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) จนถึง 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ตัววาล์วทำด้วย Bronze แบบ Screwed Ends ในการปรับความดันภายใน เส้นท่อของอุปกรณ์ทดสอบโดยจะใช้วาล์วยี่ห้อ Crane ขนาด 2 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 วาล์วปรับสมดุล (Balancing Valve) ขนาด 2 นิ้ว

## 10. ตัวปั้มน้ำแบบก้นหอย Scroll Pump

ในการทดสอบจะสร้างตัวปั้มน้ำแบบก้นหอย (Scroll Pump) โดยใช้วัสดุโลหะผสม อะลูมิเนียม 7075 เริ่มจากการออกแบบจากโปรแกรมสำเร็จ Solid Works แล้วนำไปขึ้นรูปจาก เครื่อง CNC โดยมีทั้งหมดอยู่ 4 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 20, 21, 22, 23 ส่วนภาพที่ 24 และ 25 เป็นการผสมรายละเอียดของส่วนประกอบของชุดทดสอบปั้มน้ำแบบก้นหอย



ภาพที่ 20 แสดงตัวเรือนใบ Orbit Scroll



ภาพที่ 21 แสดงตัวเรือนใบ Fix Scroll



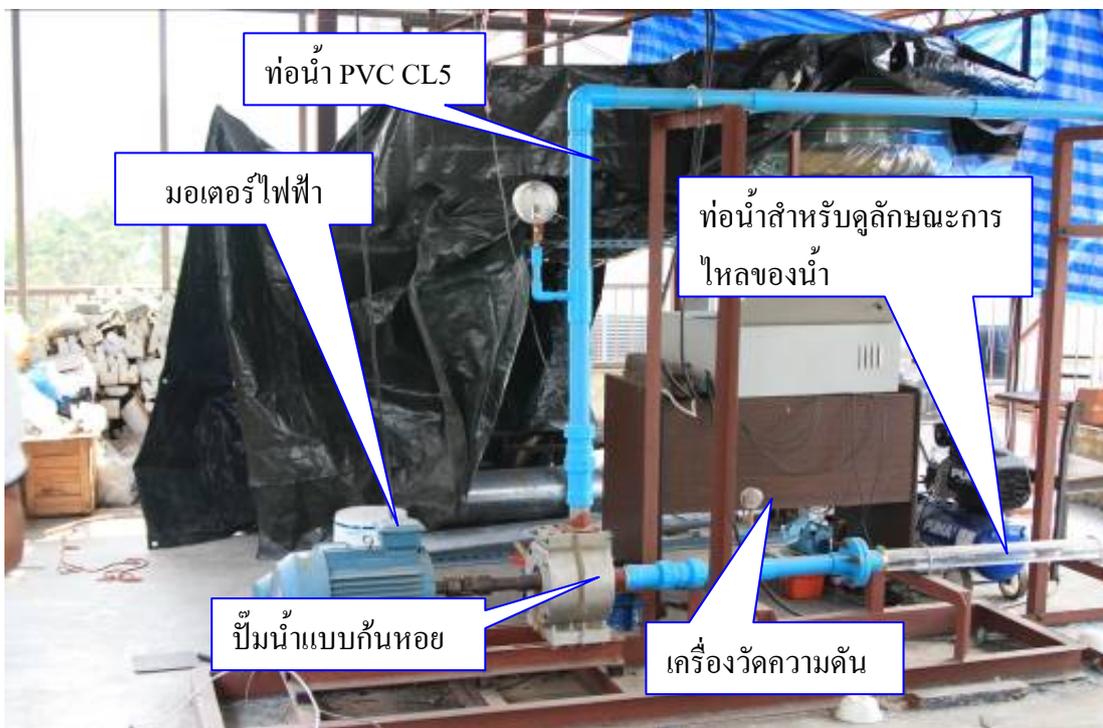
ภาพที่ 22 แสดงใบ Fix Scroll



ภาพที่ 23 แสดงใบ Orbit Scroll



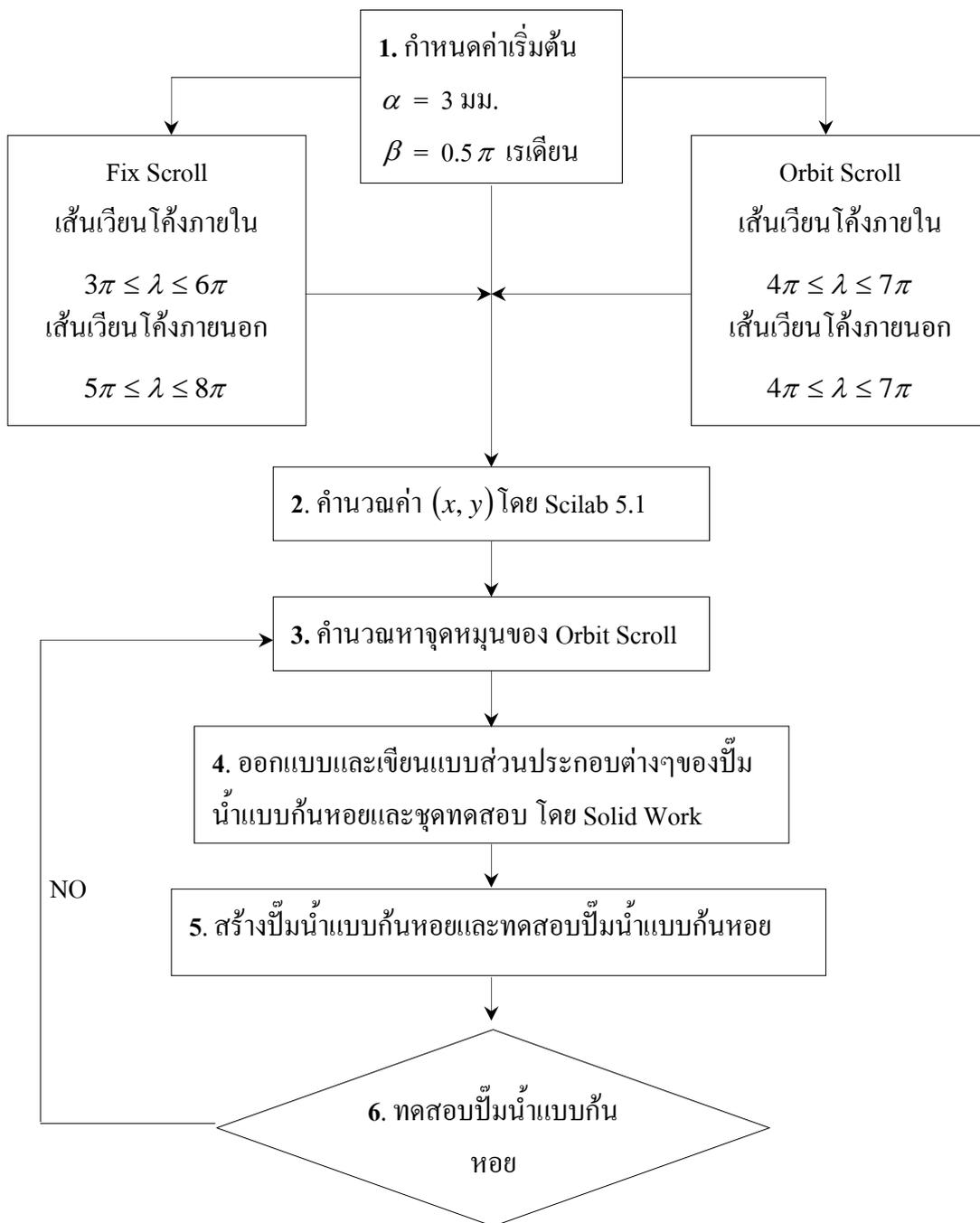
ภาพที่ 24 แสดงส่วนรายละเอียดอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งของปั้มน้ำแบบกั้นหอย



ภาพที่ 25 แสดงส่วนรายละเอียดอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งของปั้มน้ำแบบกั้นหอย

## วิธีการ

การออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอย (Scroll Pump) จะมีขั้นตอนในการดำเนินงานตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอย

จากขั้นตอนการออกแบบและชุดทดสอบประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอยจากภาพที่ 27 จะขอกกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

## 1. การเลือกใช้ค่าเริ่มต้นในการออกแบบปั้มน้ำแบบก้นหอย

ในการออกแบบและสร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดค่าเริ่มต้นในการออกแบบและสร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยดังต่อไปนี้

1.1 ค่าสัมประสิทธิ์ก้นหอย (Scroll Coefficient,  $a$ ) เท่ากับ 3 มม.

1.2 ค่าความแตกต่างของมุมเริ่มต้นการโค้ง (Discrepancy of Starting Rolls Angle,  $\beta$ ) เท่ากับ  $0.5\pi$  เรเดียน

1.3 ตำแหน่งมุม (Position Angle,  $\lambda$ ) โดยแบ่งออกดังต่อไปนี้

### Fix Scroll

เส้นเวียนโค้งภายใน

$$3\pi \leq \lambda \leq 6\pi \text{ เรเดียน}$$

เส้นเวียนโค้งภายนอก

$$5\pi \leq \lambda \leq 8\pi \text{ เรเดียน}$$

### Orbit Scroll

เส้นเวียนโค้งภายใน

$$4\pi \leq \lambda \leq 7\pi \text{ เรเดียน}$$

เส้นเวียนโค้งภายนอก

$$4\pi \leq \lambda \leq 7\pi \text{ เรเดียน}$$

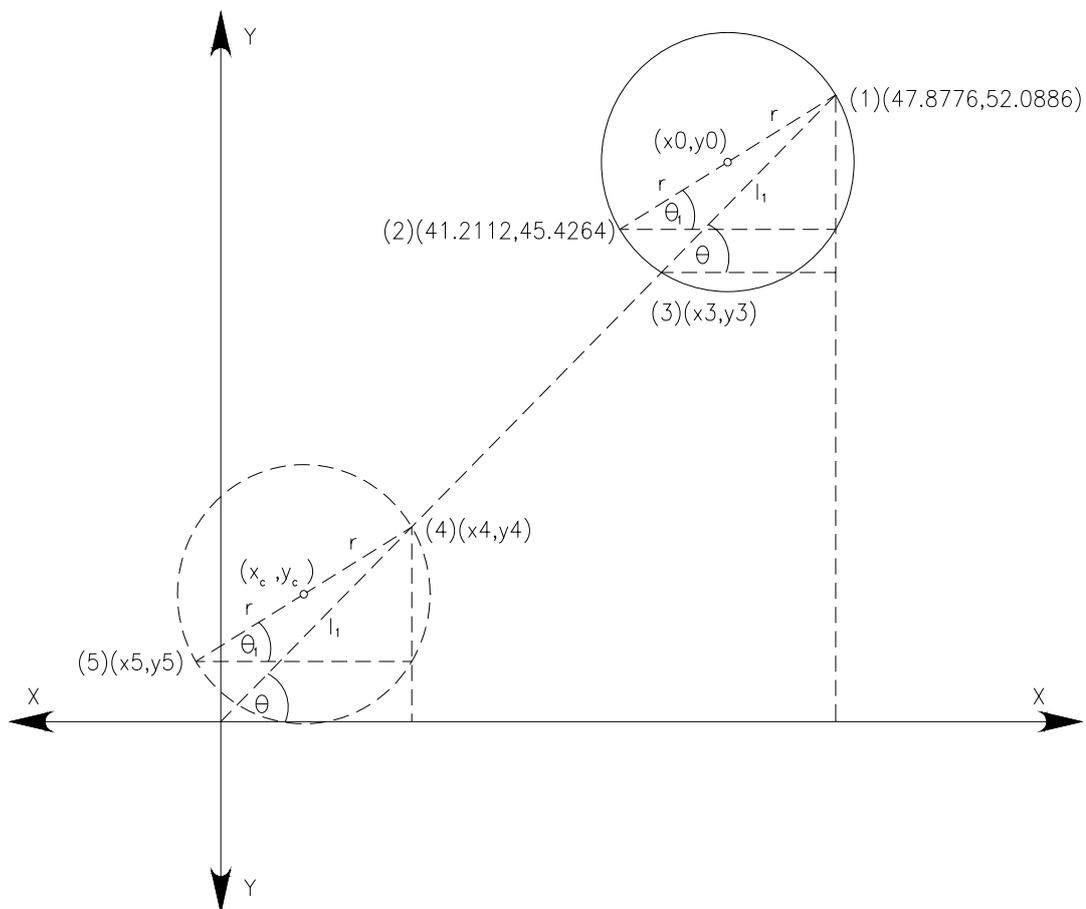
1.4 มุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle,  $\theta$ ) เท่ากับ 0 ถึง  $2\pi$  เรเดียน

## 2. การคำนวณหาค่าพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนโค้งภายนอกของ Orbit Scroll และ Fix Scroll

การคำนวณหาค่าพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนโค้งภายนอกของ Orbit Scroll และ Fix Scroll จะใช้การเขียนโปรแกรมคำนวณในโปรแกรมสำเร็จรูป SCILAB 5.1 เพื่อหาค่าพิกัด  $(x, y)$  สำหรับออกแบบเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนโค้งภายนอกของปั้มน้ำแบบก้นหอย โดยการเขียนโปรแกรมคำนวณจะทำการเขียนใน M-File ของ SCILAB 5.1 แล้วทำการคำนวณค่า โดยการเปลี่ยนค่าของมุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle,  $\theta$ ) ที่ละ  $0.1\pi$  เรเดียน จนครบรอบการหมุน ( $2\pi$  เรเดียน) ของปั้มน้ำแบบก้นหอย

## 3. การคำนวณหาจุดหมุนของ Orbit Scroll

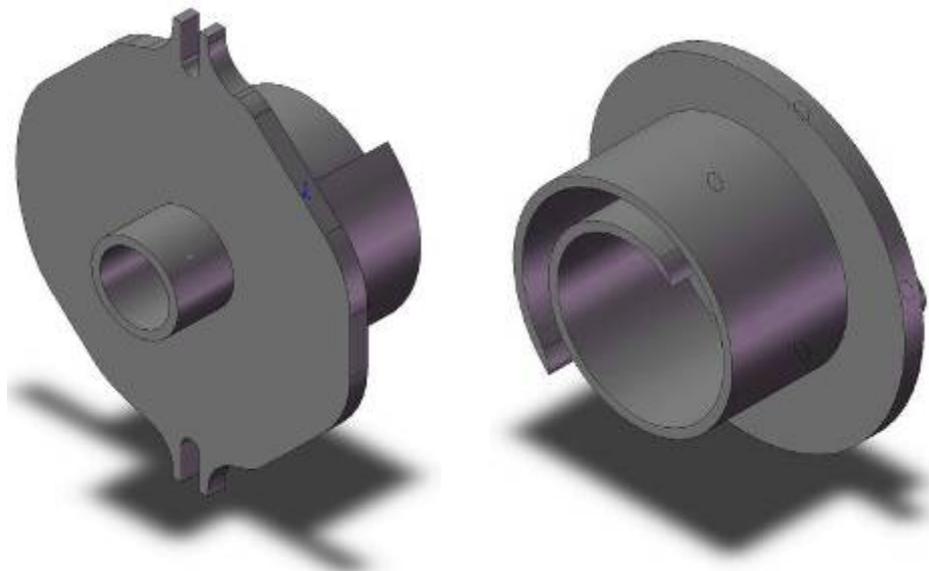
ในการคำนวณหาจุดหมุนของ Orbit Scroll จะใช้วิธีทางเรขาคณิตในการวิเคราะห์หาค่าพิกัดของจุดหมุนของ Orbit Scroll โดยใช้ตำแหน่งของพิกัดใดพิกัดหนึ่งเป็นพิกัดอ้างอิงเพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ของพิกัดอ้างอิงนั้นเมื่อทำการหมุนจนครบรอบของการหมุน จากภาพที่ 27 จะแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดอ้างอิง และ Orbit Scroll



ภาพที่ 27 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดอ้างอิงและ Orbit Scroll

#### 4. การออกแบบและเขียนแบบส่วนประกอบต่างๆ ของปั้มน้ำและชุดทดสอบประสิทธิภาพ

การออกแบบรูปแบบใบของปั้มน้ำแบบก้นหอยจะใช้พิกัดเส้นเวียนโค้งของปั้มน้ำแบบก้นหอยที่ได้จากคำนวณโดย SCILAB 5.1 ไปสร้างในโปรแกรม Solid Work โดยแสดงไว้ในภาพที่ 28 เป็นภาพแสดงรูปแบบของใบของ Orbit Scroll และ Fix Scroll ตามลำดับ



ภาพที่ 28 แบบแสดงรายละเอียดและรูปแบบของใบ Fix Scroll และ Fix Scroll

การออกแบบเพลาลูกเบี้ยว Orbit Scroll และส่วนของตัวเรือนปั้มน้ำแบบกั้นหอยจะใช้พิกัดจุดหมุนของ Orbit Scroll ที่ได้จากคำนวณในข้อที่กล่าวมาแล้วเป็นพิกัดอ้างอิงในการออกแบบ โดยรูปแบบของเพลาลูกเบี้ยวแบบกั้นหอยดังภาพที่ 29 ส่วนรายละเอียดและรูปแบบของตัวเรือนของ Orbit Scroll และ Fix Scroll จะแสดงดังภาพที่ 30,31 ตามลำดับ ส่วนประกอบอื่นๆ ของปั้มน้ำแบบกั้นหอย อย่างเช่น ลูกปืน ตัวคลัทช์ปริง ทำการเลือกหาขนาดตามค่ามาตรฐานผู้ผลิตของอุปกรณ์ที่ใช้กับมอเตอร์ขนาด 7.5 Kw (10 Hp) สำหรับการออกแบบชุดทดสอบปั้มน้ำแบบกั้นหอยได้ออกแบบตามมาตรฐาน JIS B 8302 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกันกับมาตรฐานการทดสอบปั้มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยรูปแบบและรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 29 แบบแสดงรูปแบบของเพลาลูกเบี้ยว



ภาพที่ 30 แบบแสดงตัวเรือน Orbit Scroll Pump



ภาพที่ 31 แบบแสดงตัวเรือน Fix Scroll Pump



ภาพที่ 32 แบบแสดงรายละเอียดและรูปแบบของชุดทดสอบปั้มน้ำแบบกั้นหอย

##### 5. การสร้างปั้มน้ำแบบกั้นหอยและชุดทดสอบประสิทธิภาพปั้มน้ำแบบกั้นหอย

เมื่อทำการทำการออกแบบตัวปั้มน้ำแบบกั้นหอยและชุดทดสอบประสิทธิภาพแล้ว จึงได้ทำการสร้างปั้มน้ำแบบกั้นหอยและชุดทดสอบประสิทธิภาพปั้มน้ำแบบกั้นหอยตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อเป็นการประหยัดและง่ายในการกัดขึ้นรูปตัวใบพัดแบบกั้นหอยและตัวเรือน จึงทำการเลือกใช้วัสดุที่ใช้สร้างใบพัดแบบกั้นหอยและตัวเรือนปั้มน้ำเป็นอลูมิเนียม 7075 ดังแสดงในภาพที่ 33 การสร้างใบของปั้มน้ำแบบกั้นหอยโดยใช้เครื่องจักร CNC ขึ้นรูป



อลูมิเนียม 7075

ภาพที่ 33 การกัดชิ้นรูปใบปั้มน้ำแบบก้นหอยโดยใช้เครื่องจักร CNC

## 6. การทดสอบปั้มน้ำแบบก้นหอย

การทดสอบปั้มน้ำแบบก้นหอยจะทำการหาค่าของอัตราการไหลของน้ำและความดันน้ำ และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อัตราการหมุนต่างๆ โดยที่ก่อนทำการทดลองจะต้องทำการติดตั้งปั้มน้ำแบบก้นหอยกับชุดทดสอบพร้อมเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำของชุดทดสอบจนมีปริมาณให้ได้ประมาณหนึ่งในสามของปริมาณความจุถังเก็บน้ำ การควบคุมการเปิดปิดและการปรับความเร็วรอบของการหมุนของปั้มน้ำแบบก้นหอยจะใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุม

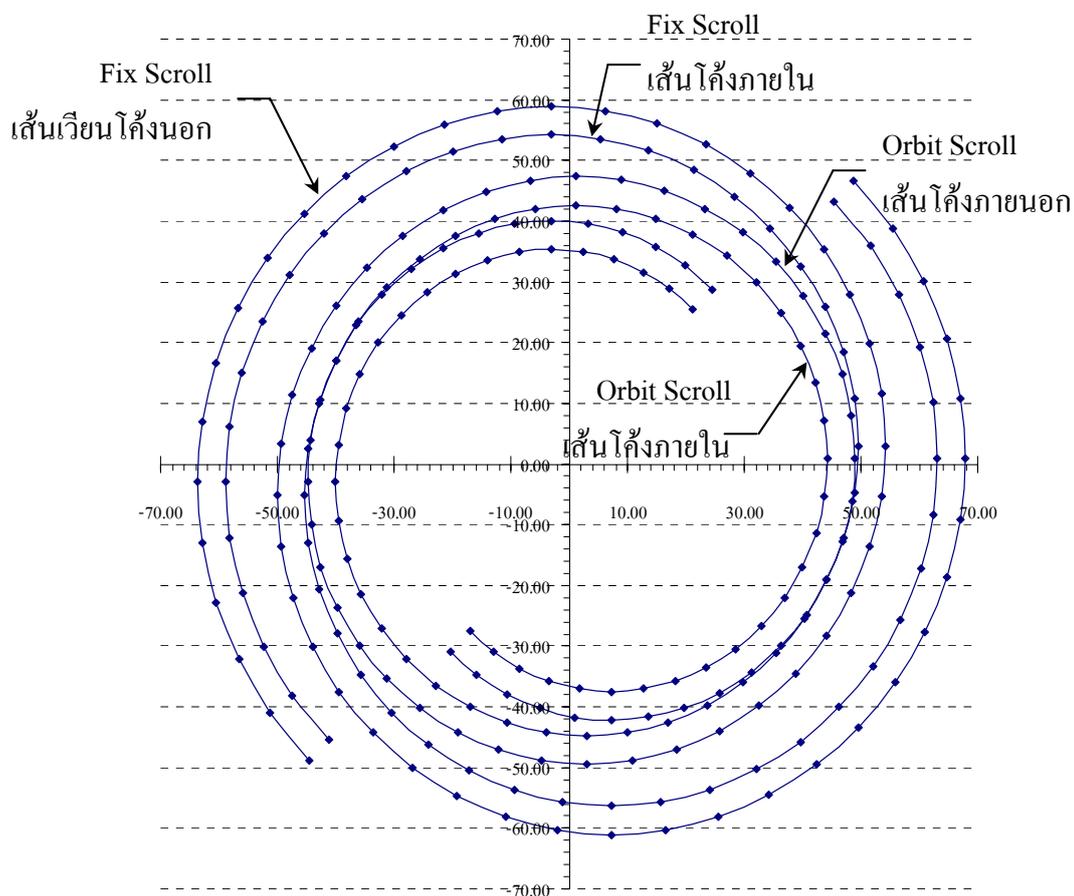
ในการทดลองเริ่มจากการปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ไปที่ 22.5 Hz. แล้วเริ่มเดินเครื่อง พร้อมกับปรับวาล์วปรับความดันให้ไปตำแหน่งเปิดสุด(หมายเลข 4) จึงทำการอ่านค่าอัตราการไหล ความดัน และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า หลังจากนั้นทำการปรับวาล์วไปที่ (หมายเลข 3) แล้วทำการอ่านค่าต่างๆ เหมือนเดิม ปรับวาล์วปรับความดันลดลงจนกระทั่งอยู่ที่ตำแหน่งหมายเลข 2 จึงทำการปิดเครื่องปั้มน้ำแบบก้นหอยและปรับวาล์วปรับความดันไปที่ตำแหน่งเปิดสุด (หมายเลข 4) แล้วเริ่มเดินเครื่องปั้มน้ำไปที่ความเร็วรอบที่ความถี่ 25 Hz แล้วอ่านค่าต่างๆ พร้อมกับทำการปรับวาล์วปรับความดันเหมือนขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วจนถึงความถี่ 35 Hz แล้วทำการนำผลการทดลองไปทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดัน และอัตราการไหลกับพลังงานไฟฟ้า โดยจะแสดงในหัวข้อผลการทดลองและวิจารณ์

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลที่จากการคำนวณคำนวณหาค่าพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนโค้งภายนอกของ Orbit Scroll และ Fix Scroll

ตัวอย่างผลการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 34 ในส่วนรายละเอียดของการคำนวณค่าพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและภายนอกของ Orbit Scroll และ Fix Scroll สามารถศึกษาจากภาคผนวก ข



ภาพที่ 34 ตัวอย่างกราฟพิกัดเส้นเวียนภายในและภายนอกของ Orbit scroll และ Fix scroll ที่ตำแหน่งมุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle,  $\theta$ ) เท่ากับ 0 เรเดียน

## 2. ผลการคำนวณหาพิกัดจุดหมุนของ Orbit Scroll

ผลการคำนวณหาพิกัดจุดหมุนของ Orbit Scroll โดยลักษณะการเคลื่อนที่ที่พิกัดจุดอ้างอิงของ Orbit Scroll จะเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยมีจุดศูนย์กลางการหมุนของพิกัดจุดอ้างอิงอยู่ที่ตำแหน่ง (44.5444 , 48.7575 ) และมีรัศมีการเคลื่อนที่เท่ากับ 4.7124 มม. จากข้อมูลของพิกัดจุดอ้างอิงสามารถคำนวณหาพิกัดจุดหมุนของใบของ Orbit Scroll เท่ากับ (3.0389, 3.6015) โดยรายละเอียดการคำนวณหาพิกัดจุดหมุนของ Orbit Scroll สามารถศึกษาได้จากภาคผนวก ข

## 3. ผลการสร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยและชุดทดสอบประสิทธิภาพปั้มน้ำแบบก้นหอย

ผลจากการสร้างปั้มน้ำแบบก้นหอยจะได้ปั้มน้ำที่มีลักษณะและรายละเอียดของประกอบดังแสดงในภาพที่ 35 ผลจากการสร้างชุดทดสอบประสิทธิภาพแสดงในภาพที่ 24 และ 25



ภาพที่ 35 แสดงลักษณะและรายละเอียดตัวปั้มน้ำแบบก้นหอย

#### 4. ผลการทดลองปั้มน้ำแบบกั้นหอย

ผลของการทดสอบปั้มน้ำแบบกั้นหอยที่ความเร็วรอบต่างๆ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 675 รอบต่อนาที

% ของการเปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	80	3.6	0.60
75	95	2.5	0.52
100	100	2	0.44

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที

% ของการเปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	95	4	0.67
75	100	3.5	0.61
100	120	2	0.44

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 825 รอบต่อนาที

% ของการเปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	110	5.5	0.70
75	115	4.3	0.60
100	125	3	0.46

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที

% ของการ เปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	120	6	0.70
75	135	4	0.54
100	140	3	0.44

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 975 รอบต่อนาที

% ของการ เปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	140	7.5	0.90
75	160	5	0.70
100	170	3.5	0.54

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 1,050 รอบต่อนาที

% ของการ เปิดวาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	พลังงานไฟฟ้า Kw
50	160	9	1.12
75	185	5.5	0.80
100	195	4.5	0.70

### วิจารณ์

จากผลการทดสอบปั้มน้ำแบบก้นหอยดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 6 นำมาทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของปั้มน้ำแบบก้นหอย ซึ่งได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 7 ถึง ตารางที่ 12 โดยรายละเอียดการคำนวณหาประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอยสามารถศึกษาจากภาคผนวก ข

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 675 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	80	3.6	0.0437	0.60	0.52	8.46
75	95	2.5	0.0360	0.52	0.45	8.05
100	100	2	0.0303	0.44	0.38	8.01

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	95	4	0.0576	0.67	0.58	10.00
75	100	3.5	0.0531	0.61	0.52	10.11
100	120	2	0.0364	0.44	0.38	9.61

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 825 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	110	5.5	0.0917	0.70	0.60	15.23
75	115	4.3	0.0750	0.60	0.52	14.53
100	125	3	0.0568	0.46	0.40	14.37

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	120	6	0.1091	0.70	0.60	18.13
75	135	4	0.0818	0.54	0.46	17.62
100	140	3	0.0637	0.44	0.38	16.82

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 975 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	140	7.5	0.1592	0.90	0.77	20.56
75	160	5	0.1213	0.70	0.60	20.14
100	170	3.5	0.0902	0.54	0.46	19.42

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 1,050 รอบต่อนาที

% ของ การเปิด วาล์ว	อัตราการไหล l/min	ความดัน psi	กำลังของปั้ม ทางทฤษฎี Whp	พลังงานไฟฟ้า Kw	แรงม้าของ ต้นกำลัง Bhp	ประสิทธิภาพ ของปั้มน้ำ %
50	160	9	0.2183	1.12	0.96	22.66
75	185	5.5	0.1542	0.80	0.69	22.42
100	195	4.5	0.1330	0.70	0.60	22.09

จากตารางที่ 7 ถึงตารางที่ 12 พบว่า เมื่อทำการเดินเครื่องปั้มน้ำแบบกันหอยที่ความเร็วรอบค่าใดค่าหนึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกันหอยเหมือนกัน โดยที่ค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกันหอยจะต่ำสุดเมื่อเปิดวาล์วปรับความดันไปที่ตำแหน่งเปิดสุด และจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อปิดวาล์วลงครึ่งหนึ่ง แต่การเปลี่ยนแปลงจะมีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการอ่านค่าจากเครื่องวัดที่ลักษณะที่เป็นอนาล็อกการอ่านค่าต่างๆ จะใช้การอ่านจากการประมาณด้วยสายตาจึงอาจทำให้ผลที่ได้มีค่าความคลื่อน จากผลที่ได้จากตารางที่ 7 ถึงตารางที่ 12 สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกันหอยได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกันหอยจะมีค่าของประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบที่มากขึ้น เนื่องจากปั้มน้ำแบบกันหอยนี้ไม่ได้ทำสมดุลการเคลื่อนที่ (Dynamic Balancing) ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการทดลองจึงทำการทดลองอยู่ที่ความเร็วรอบที่มากที่สุดที่ 1,050 rpm เนื่องจากเมื่อปรับความเร็วรอบไปมากกว่า 1,050 rpm ปั้มน้ำจะมีการสั่นที่ค่อนข้างรุนแรง จากค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกันหอยรุ่นนี้พบว่ามียาค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากหลายสาเหตุ โดยสาเหตุหลักๆ ที่พบจากการทดลองพบว่ามีกรั่วของน้ำที่ทางด้านใบ Orbit Scroll และรอยรั่วระหว่างหน้าสัมผัส Orbit Scroll กับ Fix Scroll ในระหว่างการทำงานของปั้มน้ำเป็นสาเหตุ ทำให้ปั้มน้ำไม่สามารถสร้างแรงดันได้ดังแสดงในภาพที่ 36 การเกิดฟองอากาศภายในเส้นท่อ ทำให้การอ่านค่าความดันที่ทางด้านออกผิดพลาดจากความจริง ดังแสดงในภาพที่ 37 การเสียดสีกันของใบ Orbit Scroll กับตัวเรือน ดังแสดงในภาพที่ภาพที่ 38 เป็นผลให้การเกิดแรงเสียดทานระหว่างใบ Orbit Scroll กับตัวเรือน (Casing) เป็นผลทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณค่อนข้างสูงในการขับตัวใบ Orbit Scroll ให้เคลื่อนที่ไปตามวง โคจรการสัมผัสระหว่าง Orbit Scroll กับ Fix Scroll

จากข้อมูลตารางที่ 7 ถึงตารางที่ 12 สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันดังภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าดังภาพที่ 40



รอยรั่วที่ตำแหน่ง  
ตัวเรือน

ภาพที่ 36 รูปแสดงการรั่วของน้ำที่ตำแหน่งตัวเรือนของ Orbit Scroll ในขณะที่เครื่อง

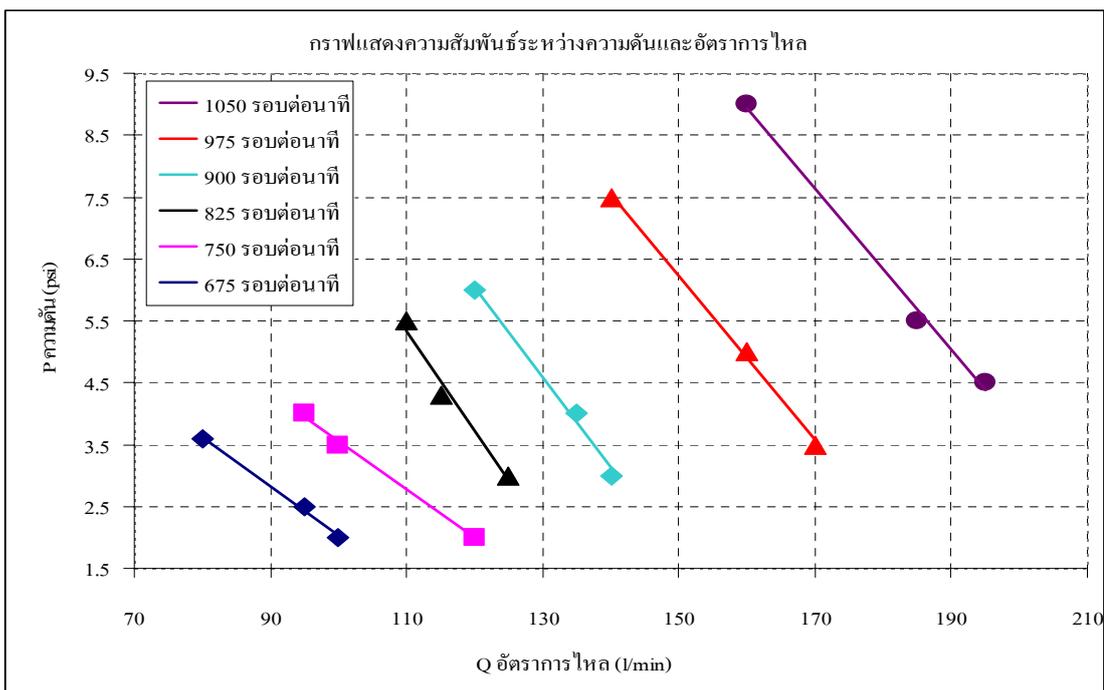
รูปแสดงการเกิด  
ฟองอากาศภายใน  
เส้นท่อ



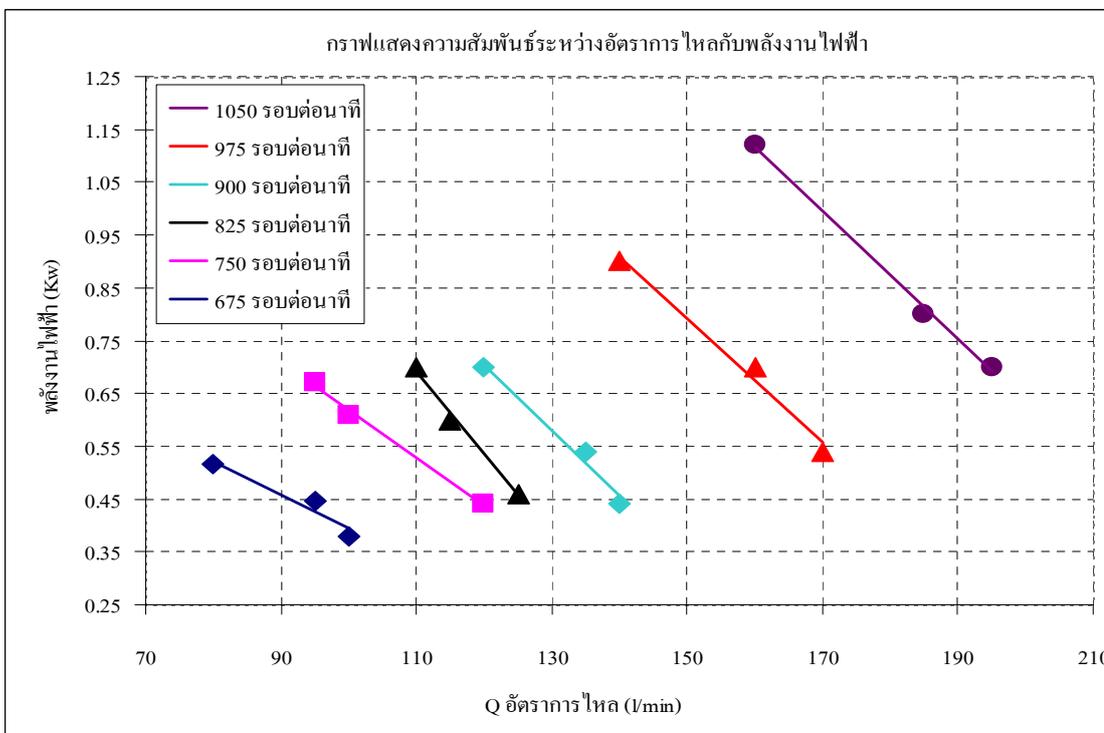
ภาพที่ 37 รูปแสดงฟองอากาศภายในเส้นท่อที่เกิดในขณะที่ทำการเดินเครื่อง



ภาพที่ 38 รูปแสดงการเสียดสีระหว่างใบ Orbit Scroll กับตัวเรือน (Casing)



ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหล



ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

การหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ( $\eta_v$ ) ของปั๊มน้ำแบบก้นหอย จะใช้อัตราการไหลทางทฤษฎีของปั๊มน้ำแบบก้นหอย  $Q_t$  เทียบกับอัตราการไหลที่ได้จากการทดลอง  $Q$  สามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_t} \quad 19$$

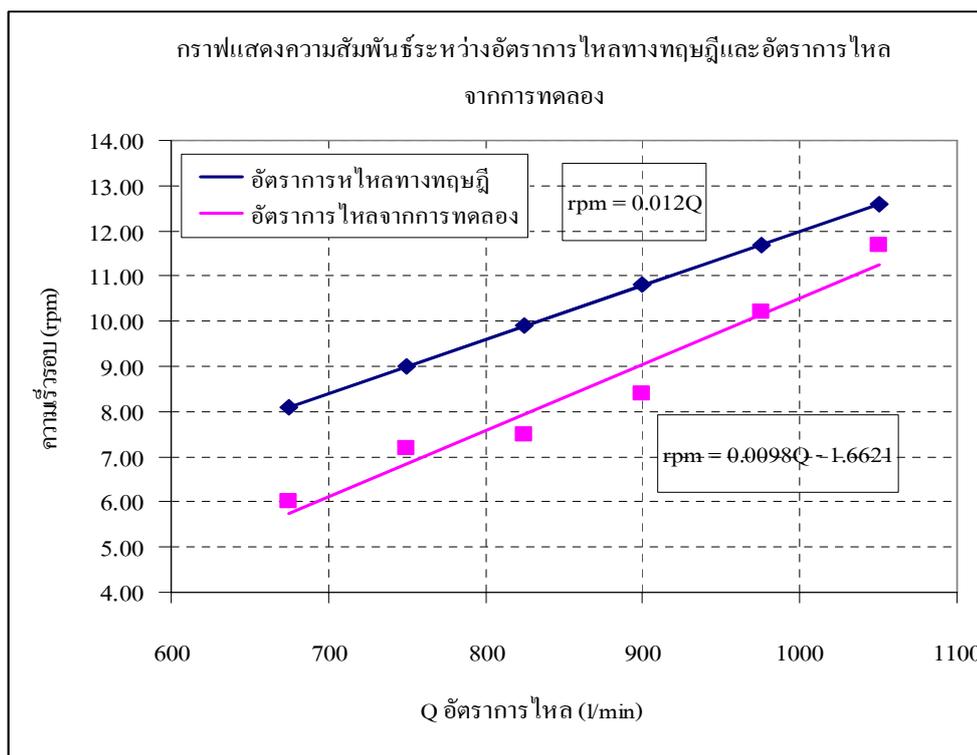
สำหรับปั๊มน้ำแบบก้นหอยที่ใช้ในการทดลองสามารถหาสมการของอัตราการไหลทางทฤษฎีได้ดังต่อไปนี้

$$Q_t = 0.011 \cdot N \quad 20$$

โดยที่การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสามารถใช้ตามสมการที่ 19 และ 20 จะแสดงในตารางที่ 13 และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลทางทฤษฎีและอัตราการไหลจากการทดลองได้แสดงดังภาพที่ 41

ตารางที่ 13 ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ความถี่	ความเร็วรอบ	อัตราการไหลของปั๊มน้ำแบบก้นหอย		ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
		$Q_t$ การคำนวณ	$Q$ การทดลอง	$\eta_v = \frac{Q}{Q_t}$
Hz	rpm	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /hr	
22.5	675	8.10	6	74.07
25	750	9.00	7.2	80.00
27.5	825	9.90	7.5	75.76
30	900	10.80	8.4	77.78
32.5	975	11.70	10.2	87.18
35	1050	12.60	11.7	92.86



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลทางทฤษฎีและอัตราการไหลจากการทดลอง

จากตารางที่ 12 ค่าของอัตราการไหลที่ได้ทางทฤษฎีและค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดสอบปั้มน้ำแบบกั้นหอย พบว่า เมื่อทำการเพิ่มความเร็วยรอบค่าของอัตราการไหลที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลทางทฤษฎี เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ไม่สามารถที่จะทำการเดินเครื่องปั้มน้ำที่ความเร็วรอบสูงสุดที่มอเตอร์สามารถทำได้ จึงไม่สามารถประเมินได้ว่าที่ความเร็วรอบสูงสุดของปั้มน้ำจะมีค่าของอัตราการไหลและประสิทธิภาพเชิงปริมาณเท่าไร แต่จากแนวโน้มของค่าอัตราการไหลจากการทดสอบและการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาณพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบการหมุนเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลทางทฤษฎีกับความเร็วรอบของหมุนและอัตราการไหลจากการทดลองกับความเร็วรอบของการหมุนจะมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงที่ความชันเป็นบวก โดยจะแสดงดังภาพที่ 41

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาการออกแบบและทดสอบสมรรถนะของปั้มน้ำแบบกั้นหอย พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลจะแปรผกผันกันในรูปแบบสมการเส้นตรง โดยค่าของอัตราการไหลกับความดันที่มีค่ามากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,050 rpm ค่าอัตราการไหลที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 195 l/min และค่าความดันที่สามารถทำได้มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 9 Psi ส่วนอัตราการไหลและความดันที่ความเร็วรอบต่างๆ สามารถดูรายละเอียดได้จากภาพที่ 40

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราการการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแปรผกผันในรูปแบบสมการเส้นตรงเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดัน โดยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,050 rpm มีค่าเท่ากับ 1.12 Kw ส่วนค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ สามารถดูรายละเอียดได้จากภาพที่ 41

ค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกั้นหอยจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปั้มน้ำแบบกั้นหอยทำงานที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกั้นหอยที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 22.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพของปั้มน้ำได้ค่อนข้างต่ำ ส่วนค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 92.86 เปอร์เซ็นต์

### ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกั้นหอยที่ใช้ในการทดสอบมีค่าค่อนข้างต่ำ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. มีการรั่วของน้ำที่ตำแหน่งตัวเรือนของ Orbit Scroll ในระหว่างทำการเดินเครื่องปั้มน้ำแบบกั้นหอย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกั้นหอยควรจะออกแบบตัวเรือนของ Orbit Scroll ให้สามารถป้องกันการรั่วของน้ำได้

2. ระบบส่งกำลังของปั้มน้ำแบบกั้นหอยไม่ได้ทำการปรับสมดุลการเคลื่อนที่ (Dynamic Balancing) เพื่อช่วยให้สามารถส่งกำลังให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรจะทำสมดุลการเคลื่อนที่ก่อนการติดตั้งชุดส่งกำลังกับตัวปั้มน้ำแบบกั้นหอย

3. มีแรงเสียดทานที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างใบ Orbit Scroll กับตัวเรือน (Casing) ควรทำการออกแบบของ Orbit Scroll ไม่ให้สัมผัสกับตัวเรือน เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างตัวเรือนและใบ Orbit Scroll

จากสาเหตุที่พบในระหว่างทำการทดสอบปั้มน้ำแบบกั้นหอย เชื่อได้ว่าถ้าสามารถแก้ไขสาเหตุดังกล่าวได้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบกั้นหอยได้มากขึ้น โดยอาจจะต้องศึกษาในงานวิจัยต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ธำรง เปรมปรีดี และ ดำรงค์ศักดิ์ มลิลดา. 2534. เครื่องสูบน้ำ: การออกแบบ การใช้งาน และ การบำรุงรักษา. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2529. ปัมป์และระบบสูบน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ชัยชนะ เกียรติวัฒน์. 2544. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีระยุทธ สุวรรณประทีป และ ชัยชนะ เกียรติวัฒน์. 2543. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชาญ ถนัดงาน และ วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์. 2537. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2537. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. 2551. คู่มือโปรแกรมภาษา SCILAB สำหรับผู้เริ่มต้น. บริษัท เพชรเกษมพรินต์ติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ธนา ภู่อีกรัตน์. 2548. การวิเคราะห์ความเสียหายของใบพัดกั้นหอยของปั๊มน้ำแบบกั้นหอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิทักษ์ ประกรแก้ว. 2546. การออกแบบและสร้างบ่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำบาดาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Kohsokabe, H., M. Takebayashi and Y. Kunugi. 1959. **ASHRAE Transactions**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc., Georgia., USA.

Jiang, Z., D.K. Harrison and K. Cheng. 2003. Computer-aided design and manufacturing of Scroll Compressors. **J Mater. Process Technol.** 138: 145-151.

Kritmaitree, P. 2002. **Study of Volumetric Scroll Pump for the Cold Moderator System.** Ph.D. Thesis, Utsunomiya University.

Krutzsch, W.C. 1985. Introduction: classification and selection of pump. Pp. 1.1-1.5. In Karassik, I.J., W.C. Krutzsch, W.H. Fraser and J.P. Messina, eds. **Pump Handbook International Edition.** McGraw-Hill Inc., New York.

Shffer, R.W. 2001. Scroll Compressors. Pp. 12.1-12.7. In P.C. Hanlon, ed. **Compressor Handbook.** McGraw-Hill., USA.

Japanese Standards Association. 1990. **Testing Methods for Centrifugal Pump, Mixed Flow Pumps and Axial Flow Pumps.** JIS B 8301 Japanese Standards Association., Tokyo.

Jamed, B.R. 2006. **HVAC Pump Hanbook.** McGraw-Hill, Inc., Singapore.

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**  
**มาตรฐานวิธีการทดสอบป้มน้ำ**

## มาตรฐานวิธีการทดสอบปั้มน้ำ

### 1. มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น(Japanese Industrial Standard)

เอกสาร B 8301-1990 เรื่อง วิธีการทดสอบเครื่องสูบบนแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบไหลผสม และแบบไหลตามแนวแกน

#### 1.1 ขอบเขต

มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น B 8301 นี้ ได้กำหนดวิธีการทดสอบของเครื่องสูบบนแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบไหลผสม และแบบไหลตามแนวแกนเพลา แต่อย่างไรก็ตามวิธีการทดสอบนี้ จะไม่ใช้กับเครื่องสูบน้ำที่ใช้สำหรับหม้อน้ำร้อน เครื่องอัดอากาศ และเครื่องสูบน้ำมัน โดยมีข้อ ในพิจารณา

1.1.1 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้เพิ่มเติม JIS B 7505, JIS B 8302, JIS B 8313, JIS B 8314, JIS B 8319, JIS B 8323, JIS B 8323, JIS B 8324, JIS B 8325, JIS B 8327

1.1.2 หน่วยและค่าต่างๆ ที่ใช้ในมาตรฐานนี้อ้างอิงในหน่วยที่ใช้กันทั่วไป

1.1.3 ค่าของเฮคในมาตรฐานนี้เกี่ยวข้องกับค่าความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.80 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

#### 1.2 หัวข้อการทดสอบและหัวข้อการตรวจสอบ

1.2.1 หัวข้อการทดสอบ ควรจะทำตามรายการการทดสอบในหัวข้อที่ 1.2.2

1.2.2 เฮครวม อัตราการไหล ความเร็วรอบ กำลังขับของเพลาของเครื่องสูบน้ำ

### 1.3 สภาวะในการทดสอบ

การทดสอบของเหลว การทดสอบของเครื่องสูบน้ำจะต้องใช้น้ำใสที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0 ถึง 40 °C เพื่อให้ความหนาแน่นของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง  $1,000 \frac{kg}{m^3}$

#### 1.3.1 การทดสอบความเร็วรอบจะยึดถือตามความเร็วจำเพาะ

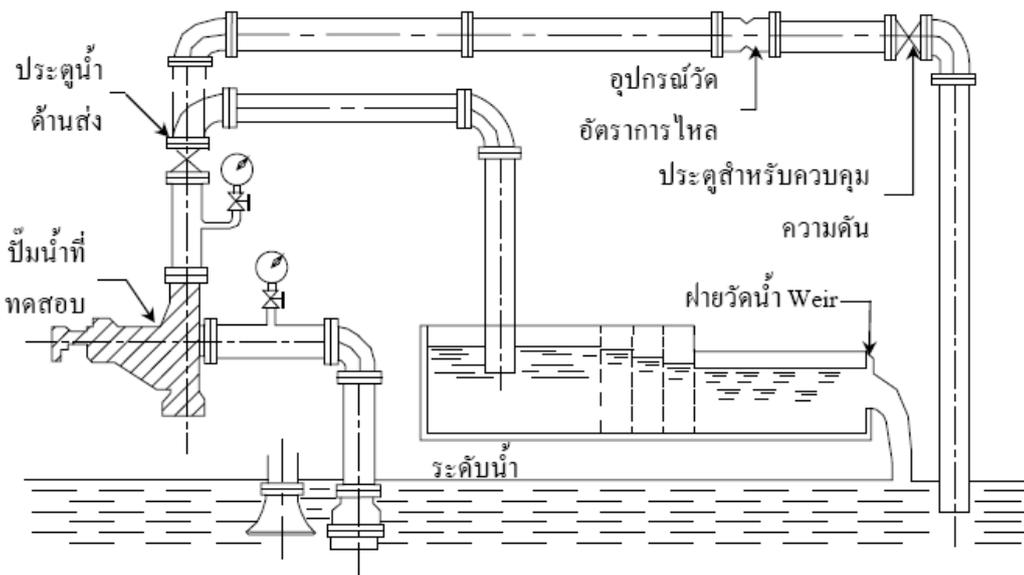
1.3.2 ในกรณีที่มิมีข้อจำกัดของเครื่องมือวัดทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบหาค่าความเร็วรอบจำเพาะได้ ค่าความแตกต่างของความเร็วรอบจะอยู่ในย่านการอ่าน  $\pm 20\%$  ในกรณีนี้ผลการทดสอบที่ได้ควรจะนำมาปรับค่าความเร็วรอบจำเพาะด้วย

1.3.3 ในกรณีที่เครื่องสูบน้ำมีกำลังมาก จนไม่สามารถจะใช้ความเร็วรอบในย่านนั้นๆ ในการทดสอบ ทำให้ไม่สามารถหาค่าในหัวข้อที่ 2 ได้ ดังนั้นความเร็วรอบในการทดสอบอาจจะลดลงได้ 35% ของความเร็วรอบจำเพาะ ซึ่งถือเป็นข้อตกลง

1.3.4 ในกรณีที่เครื่องสูบน้ำถูกขับด้วยมอเตอร์ ความเร็วรอบที่ได้รับจากการขับของมอเตอร์ที่ใช้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาพปกติจะอยู่ในสภาวะ  $\pm 1\%$  ของค่าความถี่และ  $\pm 1\%$  ของค่าโวลต์ของกระแสไฟฟ้า

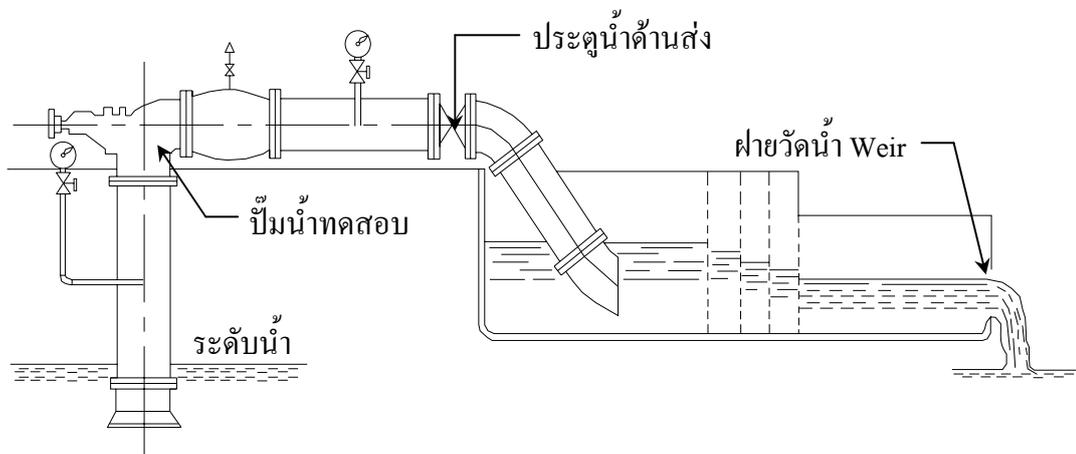
### 1.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

จะต้องมีเครื่องมือวัดทดสอบให้เพียงพอสำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ ในกรณีเครื่องมือวัดอัตราการไหลควรสอดคล้อง ในเอกสาร JIS B 8302 ตัวอย่างในการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ แสดงให้เห็นดังภาพที่ผนวกที่ 1 และภาพที่ผนวกที่ 2



ภาพผนวกที่ ก1 ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ที่มา: ชำรง (2534)



ภาพผนวกที่ ก2 ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน

ที่มา: ชำรง (2534)

## 1.5 วิธีการทดสอบ

1.5.1 โดยทั่วไปการทดสอบเครื่องสูบน้ำจะถูกดำเนินการโดยการขับเครื่องที่ความเร็วรอบของการทดสอบค่าหนึ่ง โดยการเปลี่ยนค่าเฮดรวมและอัตราการไหล โดยการปรับวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ

1.5.2 เฮดรวมของเครื่องสูบน้ำ มีเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดค่า ดังนี้

1.5.2.1 เครื่องมือวัดความดันแบบบูร์ดอง และ เครื่องมือวัดสุญญากาศ

1.5.2.2 เครื่องมือวัดความดันแบบคอลัมน์

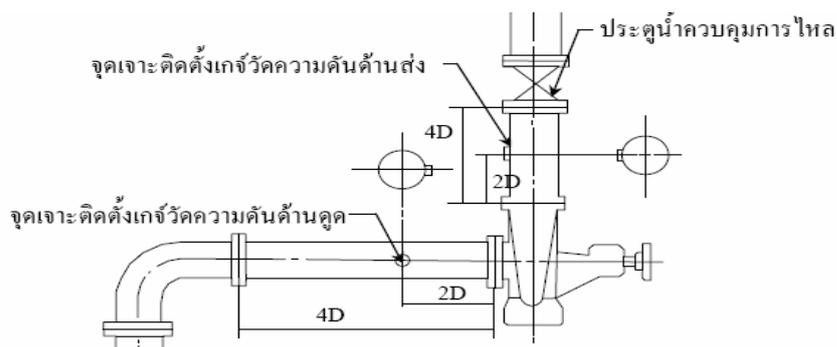
1.5.2.3 เครื่องมือวัดแบบหลอดโค้งรูปตัว U

1.5.2.4 เครื่องมือวัดความดันแบบ Weight

1.5.2.5 เครื่องมือวัดแบบ Pressure Intensifier

1.5.3 การตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดความดัน

กรณีที่ 1 ในกรณีที่สามารวัดค่าเฮด ทางด้านที่สูบได้ เพราะว่าปากทงน้ำเข้าของเครื่องสูบน้ำที่ใช้สูบอยู่ในแนวขนานกับแกนเพลลา เมื่อเวลาทำการสูบ ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดความดัน ดังภาพผนวกที่ ก3



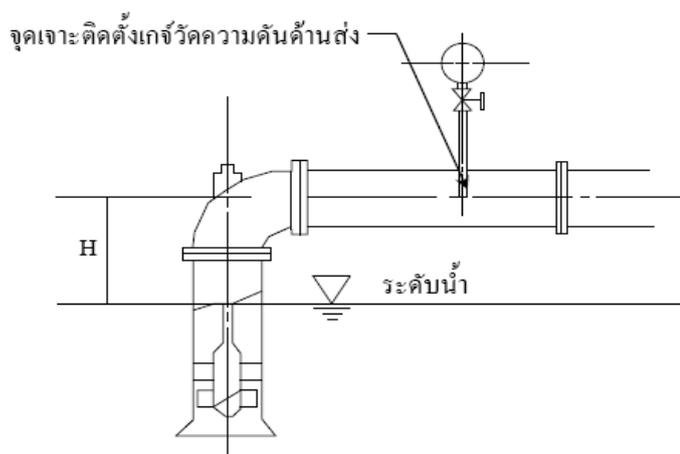
ภาพผนวกที่ ก3 ชุดทดสอบสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแกน

ที่มา: ชำรง (2534)

สามารถคำนวณความดันรวมได้ตามสมการ

$$H = h_d - h_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \quad 21$$

กรณีที่ 2 ในกรณีที่ไม่สามารถวัดค่าเสด ทางด้านที่สูบน้ำได้ เพราะว่าปากทางน้ำเข้าของเครื่องสูบน้ำที่ใช้สูบน้ำอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนเพลลา เมื่อเวลาทำการสูบน้ำจะต้องจุ่มลงไปต่ำกว่าระดับแหล่งน้ำเปิด ดังภาพผนวกที่ 4 เสดรวมของเครื่องสูบน้ำจะคำนวณความดันรวมได้ ตามสมการ



ภาพผนวกที่ ก4 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันกรณีที่ 2

ที่มา: ชำรง (2534)

$$H = h - h_d + \frac{V_d^2}{2g} \quad 22$$

#### 1.5.4 อัตราการไหลของเครื่องสูบลม มีเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดค่า ดังนี้

##### 1.5.4.1 Orifice Plate, Nozzle, Venturi Tube

##### 1.5.4.2 ฝ่ายวัดน้ำ

##### 1.5.4.3 ถังวัดโดยปริมาตร

##### 1.5.4.4 เครื่องมือวัดต่างๆแบบ Float Type Area แบบ Electromagnetic และแบบ Turbine

1.5.5 การวัดความเร็วรอบ ให้ใช้เครื่องวัดรอบ (Tachometer) ที่มีความแม่นยำสูง เครื่องวัดรอบแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้ได้ ถ้าหากได้มีการปรับเทียบมาตรฐานถูกต้อง เมื่อมีการวัดความเร็วรอบ ค่าที่รายงานมักจะเป็นค่าเฉลี่ยของการวัดหลายๆ ครั้ง ในกรณีที่เครื่องสูบลมที่ทดสอบติดตั้งมาพร้อมกับมอเตอร์ การวัดความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ในขณะที่ทำการทดสอบก็จะเพียงพอสำหรับการทดสอบนั้น

1.5.6 การวัดกำลังงานที่ใช้ จะได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ ถ้าหากทราบประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้น และเครื่องสูบลมต่อตรงเข้ากับมอเตอร์ สำหรับมอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับกำลังงานที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์จะวัดโดยใช้มิเตอร์ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ละเอียดถูกต้องพอสมควรจะได้จากผู้ผลิต

#### 1.6 สมรรถนะของการทดสอบแบบจำลอง

เมื่อการทดสอบในโรงงานไม่สามารถทำได้เนื่องจากเครื่องสูบลมมีขนาดใหญ่มากก็จะใช้วิธีทดสอบด้วยแบบจำลอง เพื่อพิสูจน์สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบลมต้นแบบ การแปลงผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองก็จะทำโดยอาศัยกฎแห่งความคล้ายคลึงที่เกี่ยวข้องกับการย่อส่วน

ของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามจะต้องมีการนำเอาผลกระทบจากการย่อส่วนที่มีต่อประสิทธิภาพ  
พิจารณาเพื่อบอกสมรรถนะของต้นแบบ

1.7 การเปลี่ยนค่าความเร็วรอบและความหนาแน่นที่ค่าของความเร็วจำเพาะต่างๆ

1.8 ตารางบันทึกผลการทดสอบ

1.9 การตรวจสอบผลการทดสอบ

1.9.1 ความแม่นยำในการวัด ความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนในการวัดค่าต่างๆ  
ในการทดสอบเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในตารางผนวกที่ ก1 เป็นตัวอย่างขอบเขตที่จะยอมให้ได้  
ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ISO ที่ 2548 และ 3555 ก่อนทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบ  
จะต้องตรวจสอบวิธีการทดสอบและเครื่องมือวัดที่ใช้ว่าจะให้ความละเอียดถูกต้องตามมาตรฐาน  
ดังกล่าวนี้หรือไม่ ความเบี่ยงเบนของค่าที่วัดได้จากการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งจะอยู่ในขอบเขต  
ที่กำหนดหรือไม่

ตารางผนวกที่ ก1 ตารางขอบเขตสูงสุดที่ยอมให้สำหรับความผิดพลาดทั้งหมด

ค่าที่วัด	มาตรฐาน	
	ISO-2548	ISO-3555
อัตราการใช้	3.5%	2.0%
เสถียรภาพ	3.5%	1.5%
กำลังงานที่เครื่องสูบต้องการ	3.5%	1.5%
กำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ (สำหรับการทดสอบรวมทั้งชุด)	3.5%	1.5%
ความเร็วรอบของเครื่องสูบ	2.0%	5.0%
ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ	5.0%	2.8%
ประสิทธิภาพ	4.5%	2.5%

1.9.2 เมื่อการทดสอบเครื่องสูบที่ความเร็วรอบซึ่งแตกต่างจากความเร็วรอบที่กำหนด หรือเมื่อความหนาแน่นของของเหลวที่กำหนดแตกต่างจากความหนาแน่นของน้ำใสที่ใช้ทดสอบ ผลการทดสอบทุกค่าจะต้องแปลงเป็นค่า ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขในการทำงานที่กำหนด

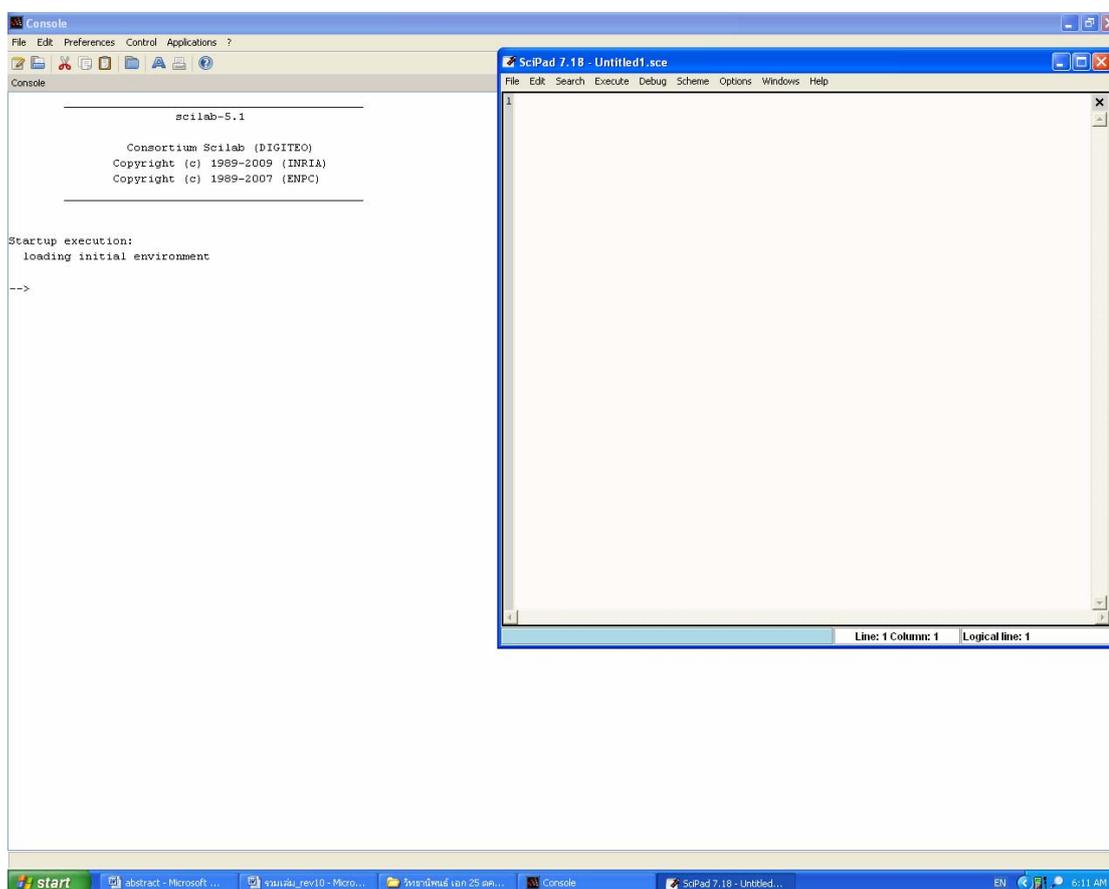
1.9.3 ผลการทดสอบจะต้องบันทึกไว้ในแบบฟอร์มซึ่งระบุค่าของแต่ละตัวแปรที่ทำการวัดแปลงให้เป็นค่าภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และข้อมูลซึ่งรวมถึงเกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

### ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาฟังก์ชันของ Orbit Scroll และ Fix Scroll

## ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดฉากของ Orbit Scroll และ Fix Scroll

ในงานวิจัยได้มีการนำโปรแกรมภาษา SCILAB-5.1 ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวเป็นโปรแกรมไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ของตัวโปรแกรมสามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ <http://www.scilab.org> มาช่วยในการคำนวณหาพิกัดฉาก  $(x, y)$  สมการไบเวียนนอกและเวียนในของ Orbit Scroll และ Fit Scroll โดยลักษณะการเขียนโปรแกรมจะคล้ายกับโปรแกรม Math Lab ซึ่งในงานวิจัยจะแสดงวิธีการใช้งานของโปรแกรมในส่วนที่ใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

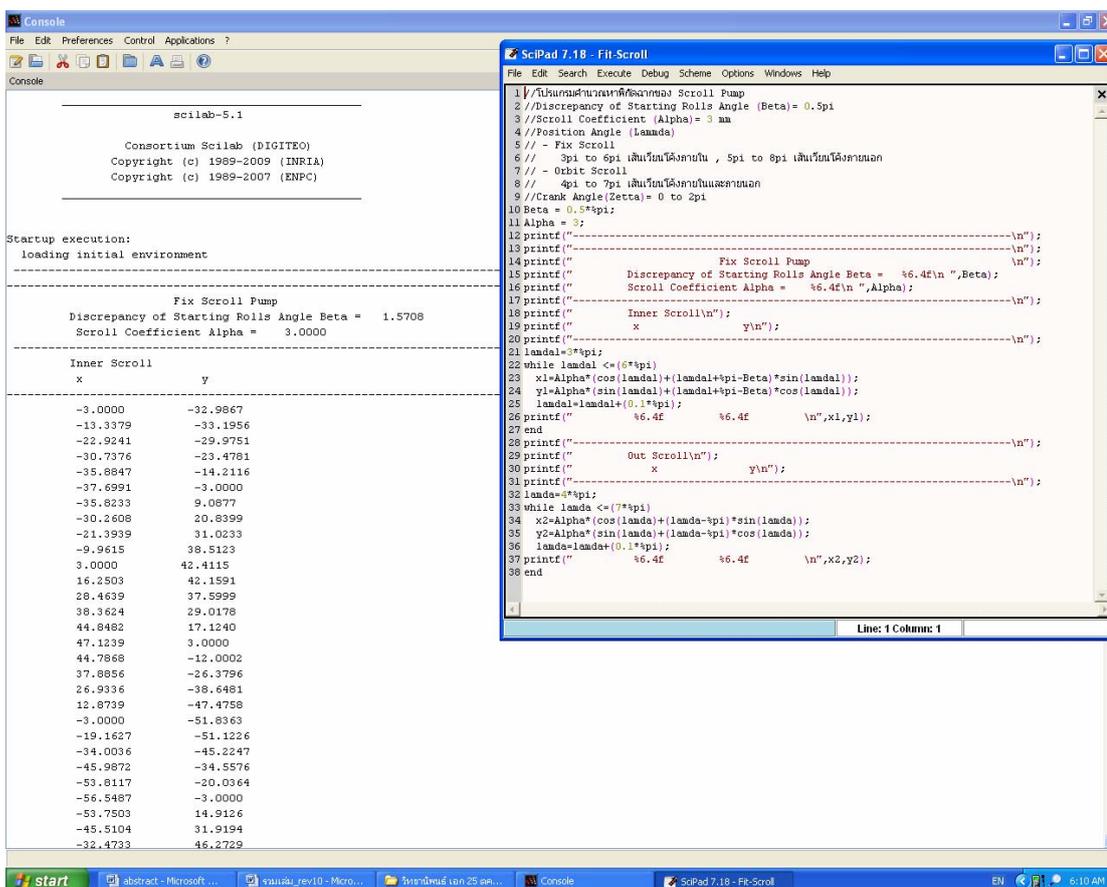


### ภาพผนวกที่ ข1 รูปร่างลักษณะของโปรแกรม SCILAB-5.1

จากภาพผนวกที่ ข1 จะพบว่ารูปร่างลักษณะของโปรแกรม SCILAB-5.1 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนหน้าต่างโปรแกรมอิดิเตอร์(Editor) ที่ชื่อว่า SciPad 7.18 โดยส่วนนี้จะใช้เพื่อเขียนหรือแก้ไขโปรแกรม ส่วนหน้าต่างคำสั่ง (Command Window) เป็นส่วนที่ใช้ในการป้อนคำสั่งต่างๆ

ลงไปเพื่อทำการคำนวณ และเป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผลพร้อมออกทางหน้าต่างคำสั่ง โดยที่เครื่องหมาย “-->” เป็นตัวบอกว่าโปรแกรม SCILAB พร้อมทั้งจะรอรับคำสั่ง

การคำนวณหาค่าพิกัดฉากของสมการเส้นเวียนโค้งภายในและภายนอกสามารถเขียนโปรแกรมที่หน้าต่างอิดิเตอร์ SciPad 7.18 สามารถใช้คำสั่ง Execute ในการประมวลผลของโปรแกรม โดยตัวอย่างการเขียนโปรแกรมและการประมวลผลโปรแกรมดังภาพที่ ข2



```

1 //โปรแกรมคำนวณพิกัดฉาก Scroll Pump
2 //Discrepancy of Starting Rolls Angle (Beta)= 0.5pi
3 //Scroll Coefficient (Alpha)= 3 mm
4 //Position Angle (Lamda)
5 // - Fix Scroll
6 // 3pi to 6pi เส้นเวียนโค้งภายใน , 5pi to 8pi เส้นเวียนโค้งภายนอก
7 // - Orbit Scroll
8 // 3pi to 7pi เส้นเวียนโค้งภายในและภายนอก
9 //Crank Angle(Zetta)= 0 to 2pi
10 Beta = 0.5*pi;
11 Alpha = 3;
12 printf("-----\n");
13 printf("-----\n");
14 printf("          Fix Scroll Pump\n");
15 printf("Discrepancy of Starting Rolls Angle Beta = %6.4f\n",Beta);
16 printf("Scroll Coefficient Alpha = %6.4f\n",Alpha);
17 printf("-----\n");
18 printf("Inner Scroll\n");
19 printf("x          y\n");
20 printf("-----\n");
21 lamda=3*pi;
22 while lamda <= (7*pi)
23   x1=Alpha*(cos(lamda)+(lamda+pi-Beta)*sin(lamda));
24   y1=Alpha*(sin(lamda)+(lamda+pi-Beta)*cos(lamda));
25   lamda=lamda+(0.1*pi);
26   printf("          %6.4f          %6.4f          \n",x1,y1);
27 end
28 printf("-----\n");
29 printf("Out Scroll\n");
30 printf("x          y\n");
31 printf("-----\n");
32 lamda=5*pi;
33 while lamda <= (7*pi)
34   x2=Alpha*(cos(lamda)+(lamda-pi)*sin(lamda));
35   y2=Alpha*(sin(lamda)+(lamda-pi)*cos(lamda));
36   lamda=lamda+(0.1*pi);
37   printf("          %6.4f          %6.4f          \n",x2,y2);
38 end
  
```

scilab-5.1

Consortium Scilab (DIGITEO)  
Copyright (c) 1989-2009 (INRIA)  
Copyright (c) 1989-2007 (ENPC)

Startup execution:  
loading initial environment

-----

Fix Scroll Pump  
Discrepancy of Starting Rolls Angle Beta = 1.5708  
Scroll Coefficient Alpha = 3.0000

-----

Inner Scroll

x	y
-3.0000	-32.9667
-13.3379	-33.1956
-22.9241	-29.9751
-30.7376	-23.4781
-35.8847	-14.2116
-37.6991	-3.0000
-35.8233	9.0877
-30.2608	20.8399
-21.3939	31.0233
-9.9615	38.5123
3.0000	42.4115
16.2503	42.1591
28.4639	37.5999
38.3624	29.0178
44.8482	17.1240
47.1239	3.0000
44.7868	-12.0002
37.8856	-26.3796
26.9336	-38.6481
12.8739	-47.4758
-3.0000	-51.8363
-19.1627	-51.1226
-34.0036	-45.2247
-45.9872	-34.5576
-53.8117	-20.0364
-56.5487	-3.0000
-53.7503	14.9126
-45.5104	31.9194
-32.4733	46.2729

ภาพผนวกที่ ข2 ตัวอย่างการเขียน โปรแกรมและการประมวลผลของ โปรแกรม SCILAB

ในการเขียนโปรแกรม SCILAB ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพิกัดฉากของเส้นเวียนโค้งของใบ Fix Scroll สามารถเขียนคำสั่งในการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

```

Beta = 0.5*%pi;
Alpha = 3;
printf("-----\n");
printf("-----\n");
printf("          Fix Scroll Pump          \n");
printf("    Discrepancy of Starting Rolls Angle Beta =  %6.4f\n ",Beta);
printf("    Scroll Coefficient Alpha =  %6.4f\n ",Alpha);
printf("-----\n");
printf("    Inner Scroll\n");
printf("    x          y\n");
printf("-----\n");
lamda1=3*%pi;
while lamda1 <=(6*%pi)
    x1=Alpha*(cos(lamda1)+(lamda1+%pi-Beta)*sin(lamda1));
    y1=Alpha*(sin(lamda1)+(lamda1+%pi-Beta)*cos(lamda1));
    lamda1=lamda1+(0.1*%pi);
printf("    %6.4f    %6.4f    \n",x1,y1);
end
printf("-----\n");
printf("    Out Scroll\n");
printf("    x          y\n");
printf("-----\n");
lamda=4*%pi;
while lamda <=(7*%pi)
    x2=Alpha*(cos(lamda)+(lamda-%pi)*sin(lamda));
    y2=Alpha*(sin(lamda)+(lamda-%pi)*cos(lamda));
    lamda=lamda+(0.1*%pi);
printf("    %6.4f    %6.4f    \n",x2,y2);
end

```

การคำนวณหาค่าพิกัดฉากของเส้นเวียนโค้งของใบ Orbit Scroll สามารถเขียนคำสั่งในการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

```
Zetta=input("Crank Angle:");
Beta = 0.5*%pi;
Alpha = 3;
printf("-----\n");
printf("-----\n");
printf("          Orbit Scroll Pump          \n");
printf("    Discrepancy of Starting Rolls Angle Beta =  %6.4f\n ",Beta);
printf("    Scroll Coefficient Alpha =  %6.4f\n ",Alpha);
printf("-----\n");
printf("    Inner Scroll\n");
printf("    x          y\n");
printf("-----\n");
lamda1=4*%pi;
while lamda1 <=(7*%pi)
    x1=Alpha*(cos(lamda1)+(lamda1-Beta)*sin(lamda1))+((Alpha*(%pi-Beta))*cos(Zetta));
    y1=Alpha*(sin(lamda1)+(lamda1-Beta)*cos(lamda1))+((Alpha*(%pi-Beta))*cos(Zetta));
    lamda1=lamda1+(0.1*%pi);
printf("    %6.4f    %6.4f    \n",x1,y1);
end
printf("-----\n");
printf("    Out Scroll\n");
printf("    x          y\n");
printf("-----\n");
lamda=4*%pi;
while lamda <=(7*%pi)
    x2=Alpha*(cos(lamda)+(lamda*sin(lamda)))+((Alpha*(%pi-Beta))*cos(Zetta));
    y2=Alpha*(sin(lamda)+(lamda*cos(lamda)))+((Alpha*(%pi-Beta))*sin(Zetta));
```

```

lamda=lamda+(0.1*%pi);
printf("    %6.4f    %6.4f    \n",x2,y2);
end

```

จากคำสั่งในการเขียนโปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าพิกัดของใบ Orbit Scroll และ Fix Scroll โดยการเปลี่ยนค่าของมุมข้อเหวี่ยง (Crank Angle,  $\theta$ ) ที่ละ  $0.1\pi$  เรเดียน จนครบรอบการหมุน ( $2\pi$  เรเดียน) ของปั๊มน้ำแบบก้านหอย โดยผลที่ได้การคำนวณหาค่าพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและภายนอกของ Orbit Scroll และ Fix Scroll ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข1, ข2 และ ถูกนำมาสร้างกราฟ ดังภาพผนวกที่ ข3 เป็นการแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการคำนวณค่าของพิกัดเส้นเวียนโค้งภายในและเส้นเวียนเวียนโค้งภายนอกของปั๊มน้ำแบบก้านหอยที่มุมข้อเหวี่ยง 0 เรเดียน

**ตารางผนวกที่ ข1** แสดงตัวอย่างผลของพิกัดเส้นเวียนของ Fix Scroll

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
-3.0000	32.9867	-3.0000	37.6991
-8.1970	32.5767	-8.9342	37.2311
-13.3379	31.3415	-14.7941	35.8233
-18.2905	29.2890	-20.4299	33.4878
-22.9241	26.4484	-25.6940	30.2608
-27.1125	22.8699	-30.4447	26.2021
-30.7376	18.6240	-34.5500	21.3939
-33.6925	13.8002	-37.8913	15.9396
-35.8847	8.5053	-40.3664	9.9615
-37.2388	2.8607	-41.8932	3.5978
-37.6991	-3.0000	-42.4115	-3.0000
-37.2311	-8.9342	-41.8855	-9.6714
-35.8233	-14.7841	-40.3050	-16.2503
-33.4878	-20.4299	-37.6866	-22.5693

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
-30.2603	-25.6940	-34.0732	-28.4639
-26.2021	-30.4447	-29.5342	-33.7769
-21.3939	-34.5500	-24.1637	-38.3624
-15.9396	-37.8913	-18.0790	-42.0900
-9.9615	-40.3664	-11.4177	-44.8482
-3.5978	-41.8932	-4.3350	-46.5476
3.0000	-42.4115	3.0000	-47.1239
9.6714	-41.8855	10.4086	-46.5399
16.2503	-40.3050	17.7065	-44.7868
22.5693	-37.6866	24.7086	-41.8854
28.4639	-34.0732	31.2337	-37.8856
33.7769	-29.5342	37.1090	-32.8664
38.3624	-24.1637	42.1748	-26.9336
42.0900	-18.0790	46.2888	-20.2183
44.8482	-11.4177	49.3299	-12.8739
46.5476	-4.3350	21.2020	-5.0722
47.1239	3.0000	51.8363	3.0000
46.5399	10.4086	51.1942	11.1458
44.7868	17.7065	49.2685	19.1627
41.8854	24.7086	46.0841	26.8480
37.8856	31.2337	41.6980	34.0036
32.8664	37.1090	36.1985	40.4412
26.9336	42.1748	29.7035	45.9872
20.2183	46.2888	22.3577	50.4876
12.8739	49.3299	14.3301	53.8117
5.0722	51.2020	5.8094	55.8563

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
-3.0000	51.8363	-3.0000	56.5487
-11.1458	51.1942	-11.8829	55.8486
-19.1627	49.2685	-20.6189	53.7503
-26.8480	46.0841	-28.9874	50.2829
-34.0036	41.6980	-36.7735	45.5104
-40.4412	36.1985	-43.7733	39.5307
-45.9872	29.7035	-49.7996	32.4733
-50.4876	22.3577	-54.6863	24.4971
-53.8117	14.3301	-58.2934	15.7863
-55.8563	5.8094	-60.5107	6.5466
-56.5487	-3.0000	-61.2611	-3.0000
-55.8486	-11.8829	-60.5030	-12.6201
-53.7503	-20.6189	-58.2320	-22.0751
-50.2829	-28.9874	-54.4817	-31.1268
-45.5104	-36.7735	-49.3228	-39.5433
-39.5307	-43.7733	-42.8629	-47.1055
-32.4733	-49.7996	-35.2432	-53.6120
-24.4971	-54.6863	-26.6365	-58.8851
-15.7863	-58.2934	-17.2425	-62.7752
-6.5466	-60.5107	-7.2837	-65.1651
3.0000	-61.2611	3.0000	-65.9734

ตารางผนวกที่ ข2 แสดงตัวอย่างผลของพิกัดเส้นเวียนของ Orbit Scroll มุมข้อเหวี่ยง 0 เรเดียน

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
1.4817	62.7173	1.4817	67.4297
11.0283	61.9669	11.7655	66.6213
20.2680	59.7496	21.7243	64.2314
28.9789	56.1426	31.1182	60.3413
36.9551	51.2558	37.7250	55.0682
44.0125	45.2296	47.3446	48.5617
49.9922	38.2297	53.8046	40.9996
54.7646	30.4436	58.9634	32.5830
58.2320	22.0751	62.7138	23.5313
60.3303	13.3392	64.9847	14.0763
61.0304	4.4562	65.7428	4.4562
60.3381	-4.3532	64.9924	-5.0903
58.2934	-12.8739	62.7752	-14.3301
54.9693	-20.9015	59.1681	-23.0409
50.4690	-28.2473	54.2814	-31.0171
44.9229	-34.7423	48.2551	-38.0745
38.4853	-40.2418	41.2552	-44.0542
31.3298	-44.6279	33.4691	-48.8267
23.6445	-47.8123	25.1007	-52.2941
15.6275	-49.7380	16.3647	-54.3924
7.4817	-50.3801	7.4817	-55.0925
-0.5904	-49.7457	-1.3276	-54.4001
-8.3921	-47.8737	-9.8483	-52.3555
-15.7366	-44.8326	-17.8760	-49.0314
-22.4519	-40.7186	-25.2217	-44.5310
-28.3846	-35.6528	-31.7168	-38.9850

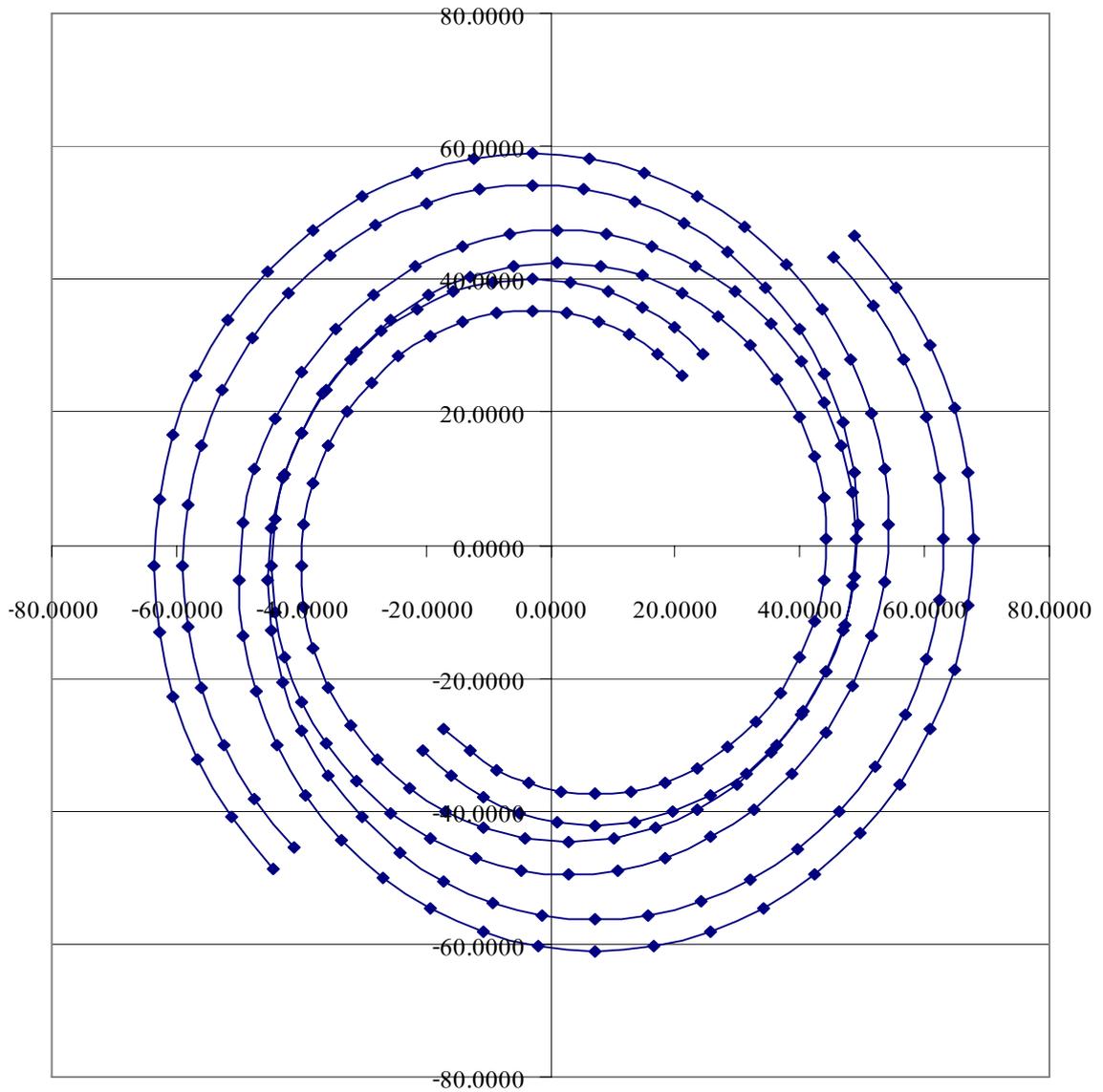
## ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
-33.4039	-29.7775	-37.2163	-32.5474
-37.4036	-23.2524	-41.6024	-25.3918
-40.3050	-16.2503	-44.7868	-17.7065
-42.0581	-8.9524	-46.7125	-9.6896
-42.6421	-1.5438	-47.3545	-1.5438
-42.0658	5.7912	-46.7202	6.5284
-40.3664	12.8739	-44.8482	14.3301
-37.6083	19.5352	-41.8071	21.6746
-33.8807	25.6199	-37.6931	28.3898
-29.2551	30.9904	-32.6273	34.3226
-23.9821	35.5294	-26.7520	39.3418
-18.0875	39.1428	-20.2269	43.3416
-11.7685	41.7612	-13.2247	46.2430
-5.1897	43.3417	-5.9268	47.9961
1.4817	43.8677	1.4817	48.5801
8.0796	43.3494	8.8168	48.0038
14.4432	41.8226	15.8994	46.3044
20.4213	39.3475	22.5607	43.5462
25.8756	36.0062	28.6455	39.8186
30.6838	31.9009	34.0160	35.2331
34.7426	27.1502	38.5550	29.9201
37.9696	21.8861	42.1683	24.0255
40.3050	16.2503	44.7868	17.7065
41.7129	10.3904	46.3672	11.1276
42.1809	4.4562	46.8932	4.4562
41.7206	-1.4044	46.3750	-2.1416

## ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

พิกัดเส้นเวียนภายใน		พิกัดเส้นเวียนภายนอก	
x	y	x	y
40.3664	-7.0490	44.8482	-8.5053
38.1742	-12.3440	42.3730	-14.4834
35.2194	-17.1678	39.0318	-19.9376
31.5943	-21.4137	34.9264	-24.7459
27.4059	-24.9922	30.1757	-28.8046
22.7722	-27.8328	24.9116	-32.0316
17.8196	-29.8853	19.2758	-34.3671
12.6788	-31.1205	13.4160	-35.7749
7.4817	-31.5305	7.4817	-36.2429

จากข้อมูลตารางผนวกที่ ข1 และ ข2 ทำการย้ายตำแหน่งพิกัดจากที่ได้จากการคำนวณ โดยหมุนแกนไปที่ตำแหน่งมุม 45 องศา ซึ่งจะได้ลักษณะของกราฟที่ได้แสดงดังภาพผนวกที่ ข3



ภาพผนวกที่ ข3 กราฟแสดงตัวอย่างของผลการคำนวณค่าของฟังก์ชันเวียนโค้งภายในและ  
เส้นเวียนโค้งภายนอกของปั้มน้ำแบบก้นหอยที่มุมข้อเหวี่ยง 0 เรเดียน

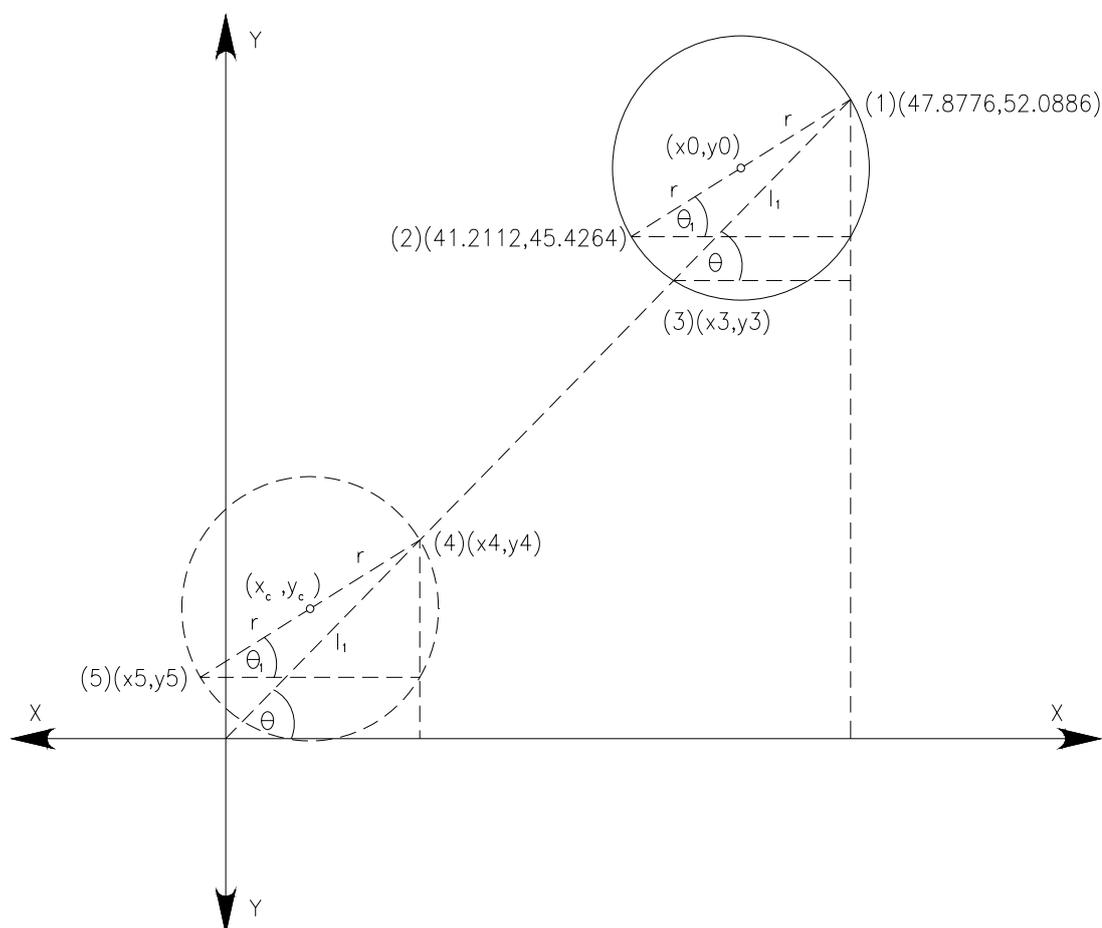
### ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดจุดหมุนของ Orbit Scroll

ในการคำนวณหาจุดหมุนของ Orbit Scroll สามารถหาค่าได้จากการหาค่าระยะห่างที่จุดไกลสุดและจุดใกล้สุดของการเคลื่อนที่ของใบ Orbit Scroll โดยจะแสดงในตารางผนวกที่ ข3

ตารางผนวกที่ ข3 การคำนวณหาจุดที่มีระยะไกลสุดและระยะใกล้สุดจากจุด (0,0)

มุมมอง มุมข้อเหวี่ยง	พิกัดจากอ้างอิง		ระยะห่างจากจุด (0,0)
	x	y	
0.00	47.8755	45.4243	65.9957
0.1pi	48.7425	46.6169	67.4460
0.2pi	49.1985	48.0188	68.7481
0.3pi	49.1990	49.4932	69.7862
0.4pi	48.7438	50.8956	70.4721
0.5pi	47.8776	52.0886	70.7495
0.6pi	46.6851	52.9556	70.5960
0.7pi	45.2830	53.4116	70.0239
0.8pi	43.8086	53.4121	69.0800
0.9pi	42.4064	52.9570	67.8435
pi	41.2132	52.0907	66.4227
1.1pi	40.3463	50.8982	64.9496
1.2pi	39.8902	49.4962	63.5697
1.3pi	39.8897	48.0218	62.4282
1.4pi	40.3449	46.6195	61.6530
1.5pi	41.2112	45.4264	61.3345
1.6pi	42.4037	44.5594	61.5111
1.7pi	43.8057	44.1033	62.1614
1.8pi	45.2801	44.1029	63.2088
1.9pi	46.8240	44.5581	64.6368
2pi	47.8755	45.4243	65.9957

จากตารางผนวกที่ ข3 จุดที่มีระยะไกลสุด คือ (47.8776, 52.0886) และจุดที่มีระยะใกล้สุด คือ (41.2112, 45.4264) ซึ่งสามารถกำหนดจุดบนแกน x และแกน y ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข4



ภาพผนวกที่ ข4 แสดงการกำหนดจุดบนแกน x และแกน y เพื่อหาจุดหมุนของ Orbit Scroll

จากภาพผนวกที่ ข4 สามารถคำนวณหาจุดหมุนของ Orbit Scroll ได้ดังต่อไปนี้ โดยที่จุดศูนย์กลางของวงกลมมีค่าเท่ากับ

$$(x_o, y_o) = (44.5444, 48.7575)$$

$$r = 4.71237 \text{ มม.}$$

จากสมการวงกลม

$$\begin{aligned}(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 &= r^2 \\(x - 44.5444)^2 + (y - 48.7575)^2 &= r^2 \\x^2 - 89.0888x + y^2 - 97.5150y + 4339.29094 &= 0\end{aligned}\tag{22}$$

หาค่ามุม  $\theta$  จาก

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) \\ \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{52.0886}{47.8776}\right) \\ \theta &= 47.4121^\circ\end{aligned}\tag{23}$$

จากสมการเส้นตรง  $y = mx + b$

$$\text{ค่า } m = \tan(47.4121)$$

$$m = 1.0877$$

รูปแบบของสมการเส้นตรงที่ผ่านจุด  $(0,0)$  จะได้ว่า  $y = mx$  ดังนั้นสมการเส้นตรงเท่ากับ

$$y = 1.0877x\tag{24}$$

หาจุดตัดวงกลม  $(x_3, y_3)$  โดยการแทนค่าสมการ 24 ในสมการ 22 จะได้สมการ 25

$$\begin{aligned}x^2 - 89.0888x + (1.0877x)^2 - ((1.0877x)97.5150) + 4339.2909 &= 0 \\ 2.1836x^2 - 195.1805x + 4339.2909 &= 0\end{aligned}\tag{25}$$

ทำการแก้สมการจะได้จุดตัดจำนวน 2 ค่ามีค่าเท่ากับ

$$x_1 = 47.8775$$

$$x_3 = 41.5054$$

เลือกค่า  $x_3$  แทนค่าในสมการ 24 จะได้จุดตัด  $(x_3, y_3)$  มีค่าเท่ากับ (41.5054, 45.1560)

การหาระยะ  $l_1$  จาก

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2}$$

$$l_1 = 9.4162 \text{ มม.}$$

จากสมการ 23  $\theta = 47.4121^\circ$  จุด  $(x_4, y_4)$  มีค่าเท่ากับ

$$x_4 = l_1 \cos \theta \quad 26$$

$$y_4 = l_1 \sin \theta \quad 27$$

จากสมการ 25 และ 26 จะได้จุด  $(x_4, y_4)$  มีค่าเท่ากับ (6.3722, 6.9326)

การหาค่ามุม  $\theta_1$  จาก

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3}\right)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{52.0886 - 45.4264}{47.8776 - 41.2112}\right)$$

$$\theta_1 = 44.9718^\circ$$

$$\text{ค่า } m_1 = \tan(\theta_1)$$

$$m_1 = 0.9993$$

จากค่าความชันของสมการเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{(y_4 - y_5)}{(x_4 - x_5)} = m_1$  จะได้ว่า

$$\frac{(6.9326 - y_5)}{(6.3721 - x_5)} = 0.9993$$

จะสมการเส้นตรงมีค่าเท่ากับ

$$y_5 = 0.9993x_5 + 0.5644 \quad 28$$

ทำการหาจุดตัดวงกลมที่ตำแหน่ง  $(x_5, y_5)$  โดยการแก้สมการ

$$\sqrt{(6.9326 - y_5)^2 + (6.3721 - x_5)^2} = 9.4247 \quad 29$$

แทนค่าสมการ 28 ในสมการ 29 จะได้ว่า

$$1.9987x_5^2 - 25.4726x_5 - 7.6675 = 0 \quad 30$$

แก้สมการ 30 จะได้ค่าเท่ากับ

$$x_{5_1} = 13.0385$$

$$x_{5_2} = -0.2942$$

แทนค่า  $x_{5_2}$  ในสมการ 28 จะได้ค่า  $y_5$  มีค่าเท่ากับ 0.2704

จุดตัด  $(x_5, y_5)$  มีค่าเท่ากับ  $(-0.2942, 0.2704)$

ดังนั้น จุดหมุนของ Orbit Scroll จะมีค่าเท่ากับ  $(x_c, y_c)$

$$x_c = \frac{x_4 + x_5}{2} \quad 31$$

$$y_c = \frac{y_4 + y_5}{2} \quad 32$$

จากสมการจุดหมุนของ Orbit Scroll มีค่าเท่ากับ

$$x_c = 3.0389$$

$$y_c = 3.6015$$

### ตัวอย่างรายการคำนวณประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอย

จากผลการทดลองอัตราการไหลเท่ากับ 160 l/min และความดันเท่ากับ 9 Psi จากกำลังของปั้มน้ำ ทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ

$$Whp = \frac{Q \cdot H_t}{273}$$

$$Whp = \frac{9.60 \times 6.2052}{273}$$

$$= 0.2183 \quad \text{Kw}$$

พลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.120 Kw เนื่องจากประสิทธิภาพดีที่สุดของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1450 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 85.0% แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงเมื่อความเร็วรอบลดลง (Brook Hand Book) ดังนั้น สามารถกำหนดให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 85.0% ดังนั้น แรงม้าของต้นกำลัง (Bhp) มีค่าเท่ากับ  $1.120 \times 0.85 = 0.96 \text{ Kw}$  จากประสิทธิภาพของปั้มน้ำเท่ากับ

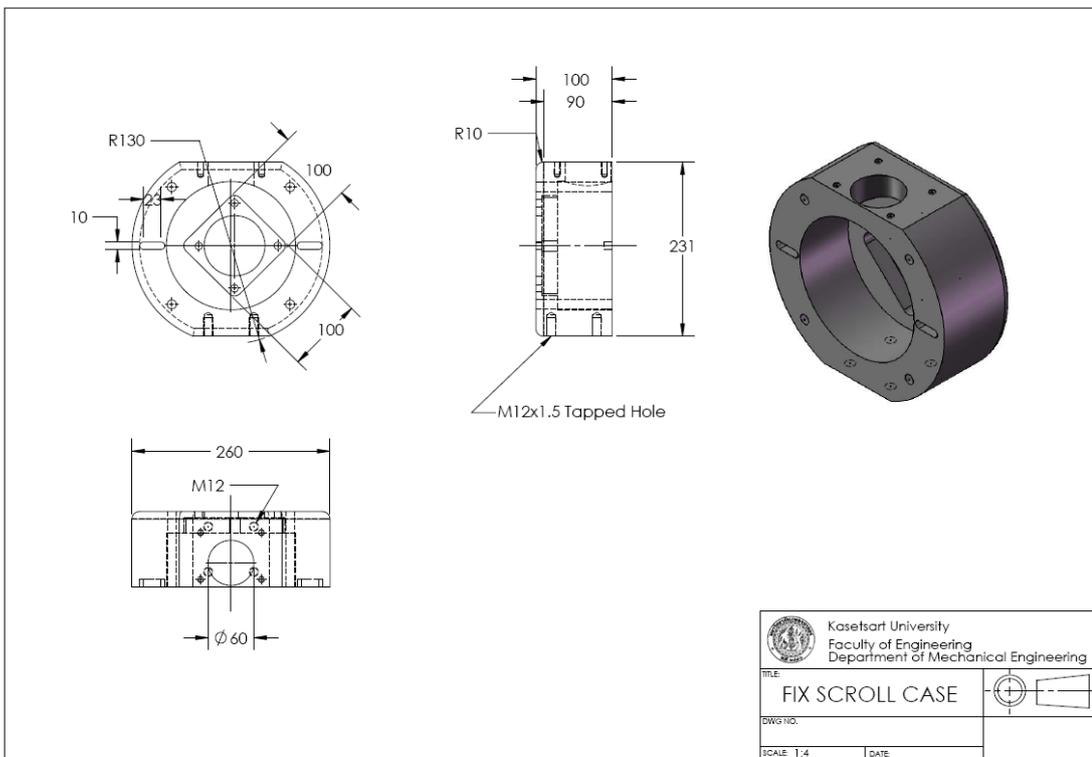
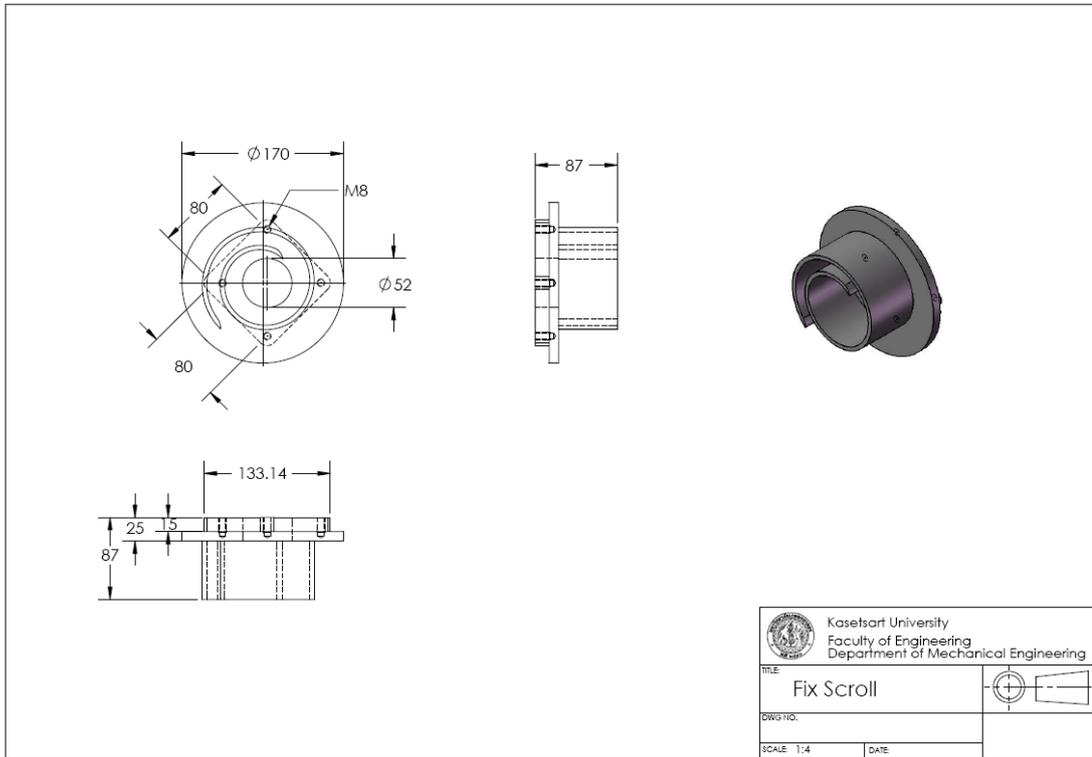
$$\eta_p = \frac{Whp}{Bhp} \times 100$$

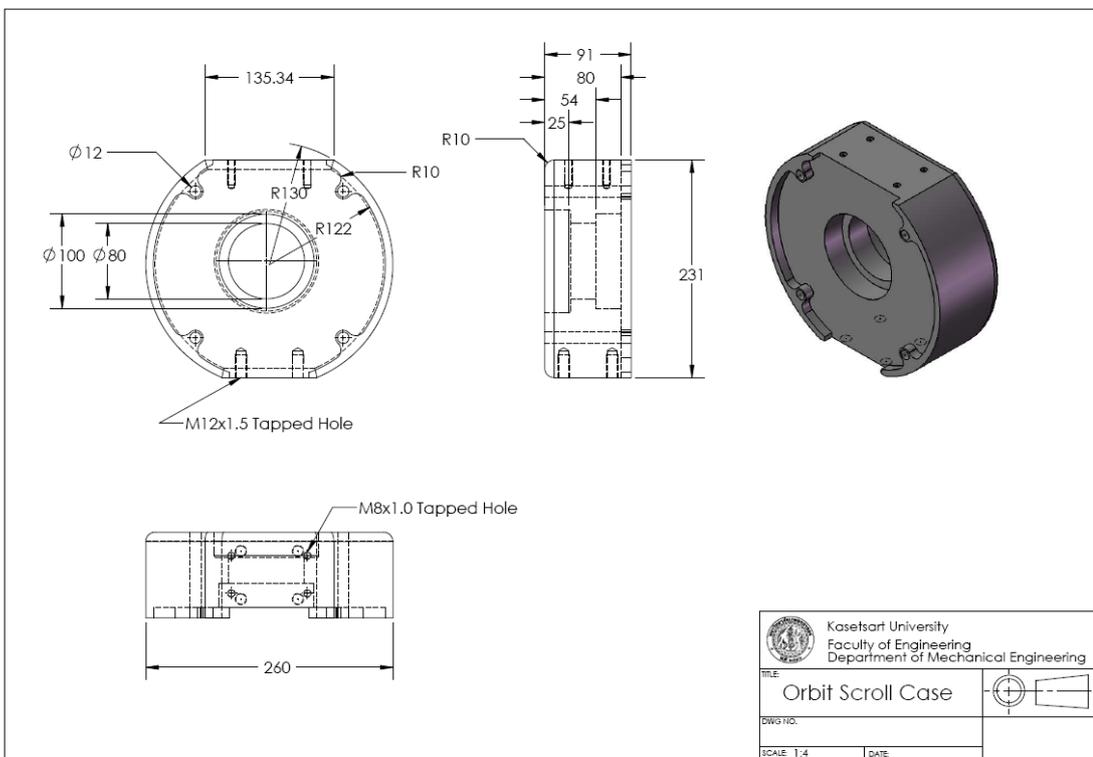
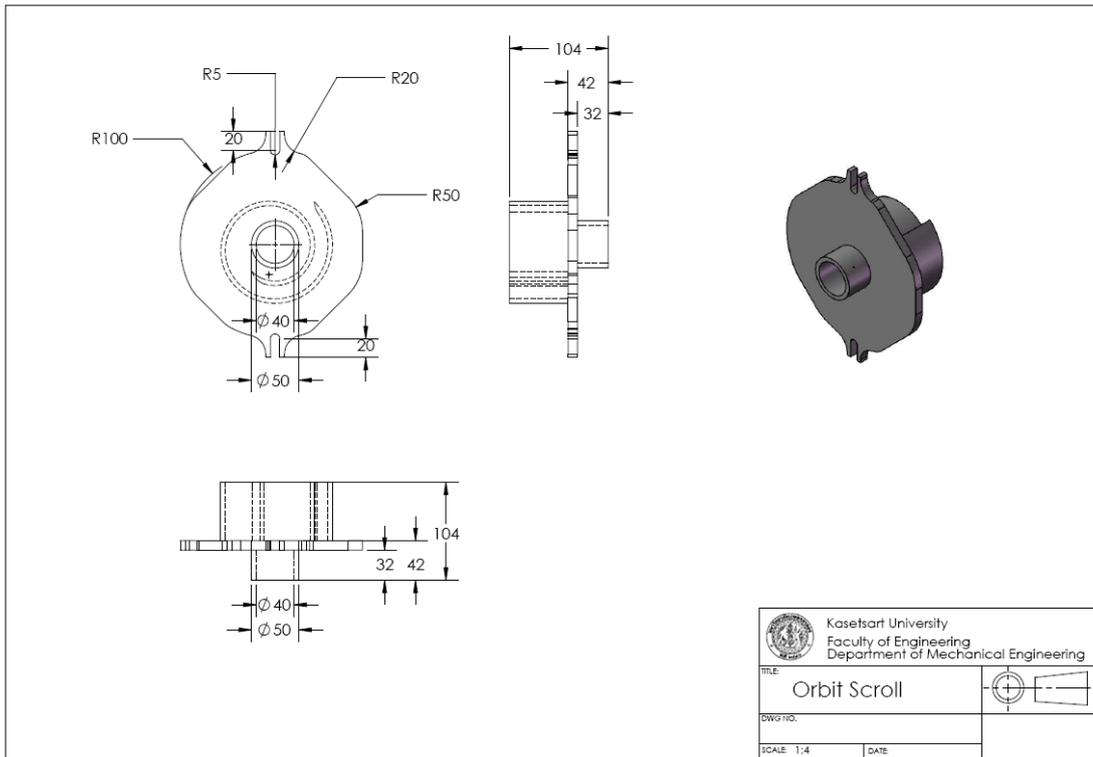
$$\eta_p = \frac{0.2183}{0.9600} \times 100$$

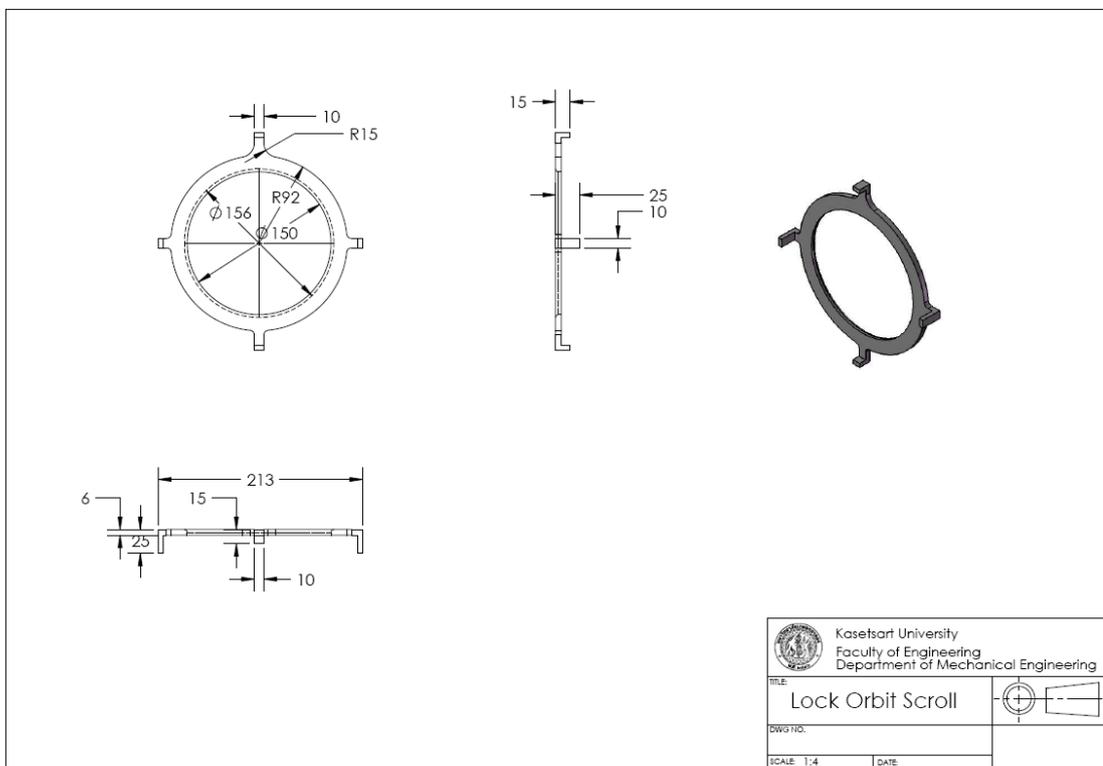
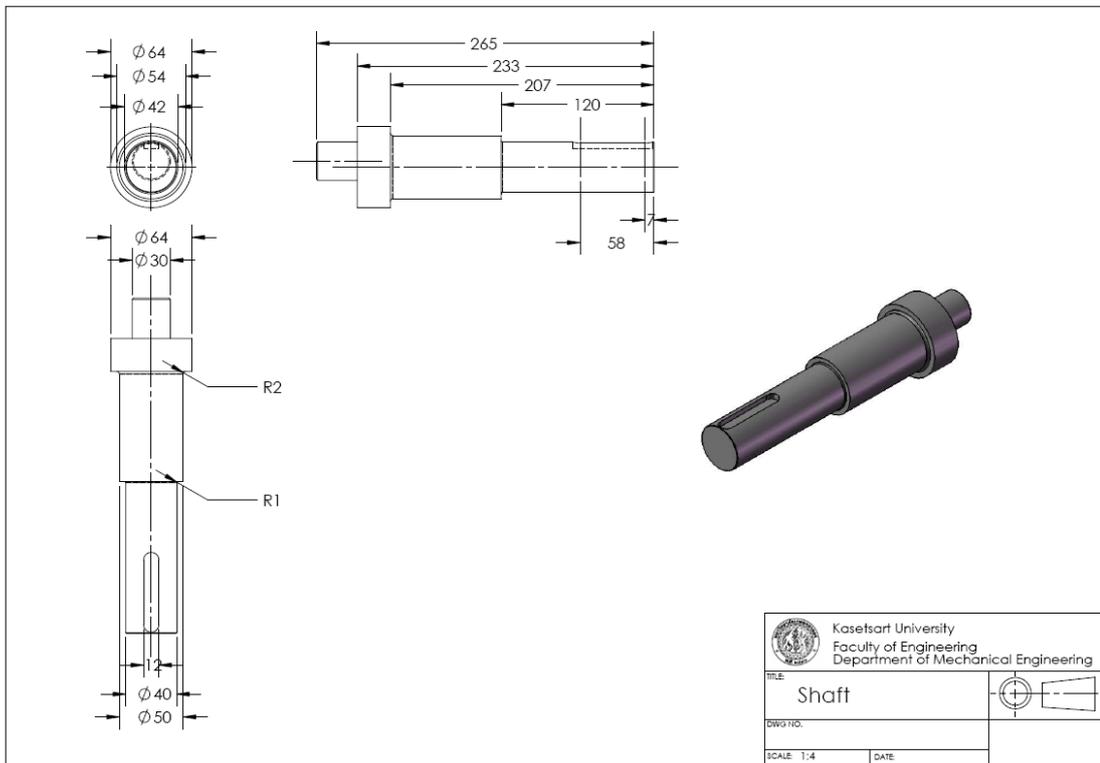
$$\eta_p = 22.7396 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบก้นหอยมีค่าเท่ากับ 22.7396%

ภาคผนวก ก  
แบบของปั้มน้ำแบบกั้นหอย







### ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นาย จีรวัฒน์ โภคานิตย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 กรกฎาคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัด อุตรธานี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกลอาวุโส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไออีซีเอ็ม จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-