

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงก่อนและหลังการเคลือบ
ภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิค

COMPARATIVE STUDY ON CENTRIFUGAL PUMP PERFORMANCE BEFORE
AND AFTER INTERNAL CASING AND IMPELLER CERAMIC COATING



ปฐนันท์ มีบุญเกิด
PHATHANUTH MEEBOONKHURD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557
KMITL-2014-EN-M-030-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARATIVE STUDY ON CENTRIFUGAL PUMP PERFORMANCE BEFORE
AND AFTER INTERNAL CASING AND IMPELLER CERAMIC COATING

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, pagoda-like structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border containing Thai text. The text at the top reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' and the text at the bottom reads 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง'.

PHATHANUTH MEEBOONKHURD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงก่อนและหลังการเคลือบภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิก

Thesis Title Comparative Study on Centrifugal Pump Performance Before and After Internal Casing and Impeller Ceramic Coating

นักศึกษา นายปฐนันท์ มีบุญเกิด

รหัสประจำตัว 53610626

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-030-007

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|---------------|--|
| รศ.ดร.ชินรัชช์ | เธียรพงษ์ |  |
| ดร.เอกพจน์ | ต้นตราภิวัดน์ |  |
| รศ.ดร.สมิทธิ์ | เอี่ยมสอาด |  |
| ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ | ทิมสาร |  |
| รศ.ดร.จำลอง | ปราบแก้ว |  |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของบีมแรงเหวี่ยงขนาดใหญ่
ก่อนและหลังการเคลือบภายในเรือนบีมและใบพัดด้วยสาร
เซรามิค

นักศึกษา

นายปฐนัฐ มีบุญเกิด

รหัสประจำตัว

53610626

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2557

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของบีมแรงเหวี่ยงที่ใช้สูบน้ำสำหรับหอคูลิ่ง
ในโรงงานผลิตสารฟีนอลและอะซิโตนในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจังหวัดระยอง โดยการ
เปรียบเทียบสมรรถนะก่อนและหลังทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนบีมและใบพัดด้วยสารเซรามิค
จากข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะของบีมใหม่ก่อนนำมาติดตั้งใช้งานของบริษัทผู้ผลิตพบว่าบีมมี
ประสิทธิภาพสูงสุด 89.8% ที่อัตราการไหล 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ที่ค่าเฮด 55 เมตร และ
กำลังไฟฟ้า 738 กิโลวัตต์ หลังจากติดตั้งบีมมีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 ปีได้มีการ
ทดสอบสมรรถนะของบีมอีกครั้งพบว่าบีมมีประสิทธิภาพสูงสุดลดลงเหลือ 61.3% ที่อัตราการไหล
3,664 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ที่ค่าเฮด 52 เมตร และกำลังไฟฟ้า 806.5 กิโลวัตต์หลังจากที่มีการ
ซ่อมบำรุงโดยการถอดบีมมาทำความสะอาดภายใน เปลี่ยนซิลกันรั่วและเคลือบผิวภายในตัวเรือนบีม
และใบพัดด้วยสารเซรามิคโดยมีส่วนผสมของสารอีพอกซีซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ ที่มีคุณสมบัติลดแรง
ต้านทานที่ผิวภายในของตัวเรือนบีมและใบพัดแล้วจึงประกอบบีมกลับตังเดิมแล้วจึงเดินเครื่องใช้งาน
ตามปกติจากการตรวจวัดพบว่าบีมหลังการเคลือบจะมีพื้นผิวเรียบเมื่อเทียบกับพื้นผิววัสดุเดิมและมี
ค่าความเสียดทานลดลง 16% เมื่อเทียบกับก่อนการเคลือบ, ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 70.5% ที่อัตรา
การไหล 3,856 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ที่ค่าเฮด 55 เมตร และ กำลังไฟฟ้า 783 กิโลวัตต์ทำให้
ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลง 2.9 % และ จากการประเมินค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าซ่อมบำรุงและค่าเคลือบผิว
เทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 21 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis Title | Comparative Study on Centrifugal Pump Performance Before and After Internal Casing and Impeller Ceramic Coating |
| Student | Mr. Phathanuth Meeboonkhurd |
| Student ID. | 53610626 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Mechanical Engineering |
| Year | 2014 |
| Thesis Advisor | Asso.Prof.Dr. Chamlong Prabkeao |

ABSTRACT

This paper is presented the results of centrifugal pump performance test used for cooling water circulated in cooling tower unit for production phenol and acetone substance in Mapthaput industrial estate, Rayong. By comparasion pump performance before and after internal casing and impeller by ceramic coating. From the data sheet new pump performance before installation by manufacturer showed the maximum efficiency 89.8 %, flow rate 4,450 m³/h, head 55 m and power 738 kW. After pump installed and run for operated 24 hrs for 3 years. The pump performance was tested. The results of test showed that the maximum efficiency was 61.3% at 3,664 m³/h flow rate and the pump head was at 52 m with 806.5 kW power. After overhaul the pump by internal cleaning, changing the mechanical seal and coating the internal casing and impeller by ceramic. The coating material was a composite epoxy resin which would reduce the resistance of the surface of casing and impeller. After the coat and commission running for operated and pump performance test. The pump performances were tested after the coat. From the results the pump has smooth surface, causing the pump performances to increase. The friction was reduced by 16%. The maximum efficiency was 70.5%, at 3,865 m³/h. The head was 55 m and the power was 783 kW. Finally, the energy could be saved by 2.9% and the payback period was 21 months.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำสั่งสอน, คำแนะนำ, คำปรึกษา และความกรุณาของ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์คนนี้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท พีทีที ฟินอล จำกัด (บริษัทกลุ่ม ปตท.) ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้, ช่วย
ให้คำแนะนำ, ค้นคว้าข้อมูล, การเก็บข้อมูล และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา และมารดาของผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่งที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน
และเป็นกำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นเข้ารับการศึกษาจนสำเร็จสมความตั้งใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเช่นนี้ ซึ่ง
คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปฐมนิธิ มีบุญเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ|||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... | IX |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 1 |
| 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 2 |
| | |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 บทนำ..... | 3 |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 9 |
| | |
| บทที่ 3 ทฤษฎี..... | 10 |
| 3.1 หลักการทำงานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง..... | 10 |
| 3.2 ประเภทของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง..... | 11 |
| 3.3 ส่วนประกอบของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง..... | 12 |
| 3.4 สมการพื้นฐานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง..... | 13 |
| 3.5 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม..... | 23 |
| 3.6 แนวทางอนุรักษ์พลังงานของปั๊ม..... | 27 |
| | |
| บทที่ 4 สารีพอกซีและการเคลือบผิวปั๊ม..... | 30 |
| 4.1 คุณสมบัติของสารีพอกซี..... | 30 |
| 4.2 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของอีพอกซีเรซิน..... | 30 |
| 4.3 คุณสมบัติของอีพอกซี..... | 35 |
| 4.4 การเคลือบผิวปั๊มแบบแรงเหวี่ยงด้วยสารีพอกซี..... | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 5 อุปกรณ์การทดสอบและวิธีการทดสอบ..... | 42 |
| 5.1 อุปกรณ์การทดสอบ..... | 42 |
| 5.2 วิธีการทดสอบ..... | 47 |
| บทที่ 6 ผลการทดสอบ..... | 49 |
| 6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ..... | 49 |
| 6.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความเสียดทาน..... | 52 |
| 6.3 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน..... | 53 |
| บทที่ 7 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| 7.1 สรุปผลการทดสอบ..... | 55 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 56 |
| ภาคผนวก..... | 58 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 89 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดvอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 แสดงค่าความขรุขระภายในท่อที่ทำด้วยวัสดุต่างๆ..... | 21 |
| 6.1 แสดงการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความคุ้มในการลงทุน | 56 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.1 | แสดงการเคลือบผิวภายใน Impeller ด้วยสารอีพอกซี.....3 |
| 2.2 | แสดงเส้นสมรรถนะของปั๊มที่ทำการ Coated & Uncoated.....4 |
| 2.3 | แสดงการเคลือบผิวภายในปั๊มด้วยอีพอกซี.....4 |
| 2.4 | แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง.....5 |
| 2.5 | แสดงวิธีพ่นเคลือบ.....6 |
| 2.6 | แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง.....7 |
| 2.7 | แสดงแผนภูมิ Single line Diagram.....8 |
| 2.8 | แสดงความเร็วในแนวรัศมี และ สูบน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....8 |
| 2.9 | แสดงปั๊มน้ำขนาด 11 กิโลวัตต์.....9 |
| 3.1 | ภาพส่วนประกอบของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง.....10 |
| 3.2 | การทำงานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง.....11 |
| 3.3 | ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดสอบ.....11 |
| 3.4 | แสดงใบพัดแบบปิด.....12 |
| 3.5 | แสดงตัวเรือนปั๊มแบบ Double Volute ที่ใช้ทดสอบ.....12 |
| 3.6 | ท่อรูปตัว T.....13 |
| 3.7 | ทางเข้าและทางออกของความเร็วใบพัด.....14 |
| 3.8 | ไดอะแกรมความเร็วที่ทางเข้าและออกของใบพัด.....14 |
| 3.9 | การกระจายเฮดความดันในปั๊ม.....17 |
| 3.10 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะและรูปแบบใบพัดที่เหมาะสม.....18 |
| 3.11 | แสดงค่า k_3 สำหรับการหาความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดโวลูต.....19 |
| 3.12 | แผนภาพมูดี้ (Moody Diagram).....21 |
| 3.13 | กราฟ H-Q ของปั๊มเซนตริฟูกอลแบบต่างๆ.....22 |
| 3.14 | กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม.....23 |
| 3.15 | กราฟสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดลอง.....24 |
| 3.16 | ลักษณะการทำงานของปั๊มเมื่ออัตราการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไป.....25 |
| 3.17 | ผลของความดันสถิตต่อปั๊มที่ลดความเร็วลง.....26 |
| 3.18 | การซ่อมบำรุงที่มีผลต่อคุณสมบัติ.....27 |
| 3.19 | การเคลือบผิวที่มีผลต่อสมรรถนะของปั๊ม.....28 |
| 4.1 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของอีพอกซี (Diglycidyl Ether of Bisphenol A, AGEBA).....30 |
| 4.2 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของเอมีนตติยภูมิ.....31 |
| 4.3 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิฟังก์ชันนอลเอมีน.....32 |
| 4.4 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของแอซิดแอนไฮไดรด์.....33 |
| 4.5 | การเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซี-แอนไฮไดรด์.....34 |
| 4.6 | สูตรโครงสร้างสามมิติของอีพอกซีที่ใช้สารเชื่อมโยงประกอบแอนไฮไดรด์.....34 |
| 4.7 | การเคลือบผิวป้องกันการเกิดการสึกหรอจากชั้น Oxide ของผิวโลหะ.....38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 4.8 | สี่ที่มีส่วนประกอบอีพอกซีสำหรับการเคลือบปั๊ม.....38 |
| 4.9 | ก่อนทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัด.....39 |
| 4.10 | ขั้นตอนการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัด.....39 |
| 5.1 | แสดงปั๊มแรงเหวี่ยงที่ใช้การทดสอบ.....42 |
| 5.2 | (ก) แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow meter).....42 |
| 5.2 | (ข) แสดงการวัดอัตราการไหลโดยใช้ Ultrasonic flow.....42 |
| 5.3 | แสดงเกจวัดความดัน.....43 |
| 5.4 | เครื่องวัดรอบ.....44 |
| 5.5 | เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....44 |
| 5.6 | เครื่องวัดเทอร์ค.....45 |
| 5.7 | เครื่องตั้งแนวศูนย์กลางแบบไดอัลเกจ.....45 |
| 5.8 | ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของปั๊ม.....47 |
| 5.9 | แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ผลทดสอบ.....48 |
| 6.1 | กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฮดก่อนและหลังการเคลือบ.....49 |
| 6.2 | กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่ากำลังก่อนและหลังการเคลือบ.....50 |
| 6.3 | กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพก่อนและหลังการเคลือบ.....51 |
| 6.4 | กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของปั๊มก่อน, หลังการเคลือบและผู้ผลิต (OEM).....51 |
| 6.5 | Moody Chart สำหรับความเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบและผนังขรุขระ.....52 |
| 6.6 | Moody Chart สำหรับเปรียบเทียบความเสียดทานก่อนเคลือบและหลังเคลือบ.....53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

| | |
|-----------|---|
| Q | อัตราการไหลของปั๊ม |
| Q_m | อัตราการไหลที่วัดได้ที่ตำแหน่ง m ในระบบของปั๊ม |
| H | เฮด |
| sp.gr | ความถ่วงจำเพาะ |
| Q_{LA} | อัตราการไหลผ่านใบพัด |
| Q_{sp} | อัตราการไหลผ่าน Wear Ring |
| Q_E | อัตราการไหลผ่าน Balancing Axial Thrust |
| Q_h | อัตราการไหลผ่าน Hydraulic Bearing, Sealing, Cooling, Flushing |
| P | กำลังที่คัปปลิ่ง |
| P_m | กำลังที่สูญเสียทางกล |
| P_{Rec} | กำลังที่สูญเสียเนื่องจากการไหลวน (Circulation) |
| P_{RR} | กำลังที่สูญเสียใน Disc Friction |
| P_{s3} | กำลังที่สูญเสียใน Interstage Seal |
| P_{er} | กำลังที่สูญเสียใน Balancing Device |
| P_u | กำลังที่ได้จริง |
| P_{vh} | กำลังที่สูญเสียทางไฮดรอลิก |
| D_2 | เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดที่ทางออก |
| b_2 | ความกว้างของใบพัดที่ทางออก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงอย่างแพร่หลาย สำหรับปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ผลิตมีหลายชนิดและหลายขนาด สมรรถนะและโครงสร้างที่หลากหลาย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ตามความต้องการซึ่งปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเป็นอุปกรณ์ที่ใ้สูบของเหลวที่นิยมใช้กันมาก ประมาณกันว่าพลังงานไฟฟ้า 20% ของโลกต้องใช้ไปเพื่อการเดินปั๊มสูบของเหลวในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มบริษัทธุรกิจปิโตรเคมี ที่ตั้งอยู่ในนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นบริษัทที่ผลิตสารพีนอลและอะซิโตน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเม็ดพลาสติกได้มีการใช้ปั๊มหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งานในกระบวนการต่างๆของการผลิตและจากการใช้ปั๊มเป็นจำนวนมาก ปั๊มจึงเป็นอุปกรณ์หลักที่ต้องทำการซ่อมบำรุงใหญ่ (Turnaround) เนื่องจากปั๊มที่เดินเครื่องใช้งานตั้งแต่เริ่มติดตั้งในโรงงานสมรรถนะของปั๊มจะลดลง มีเสียงดัง เกิดรั่วไหลของสารเคมีที่อุปกรณ์กันรั่วเชิงกล (Mechanical Seal) และใช้พลังงานมากขึ้น หนึ่งในปั๊มดังกล่าวเป็นปั๊มคูลิ่งซึ่งเป็นปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ได้ดำเนินการติดตั้งโดยบริษัทผู้ผลิตปั๊มซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลสมรรถนะของปั๊มที่ติดตั้งใช้งานเริ่มต้น ปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด 89.8%, อัตราการไหลที่ 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, เหนือ 55 เมตร กำลังไฟฟ้า 738 กิโลวัตต์ได้ทำการเดินปั๊มใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อเนื่องทุกวันเป็นเวลา 3 ปีแล้วจึงทำการตรวจวัดพบว่าปั๊มมีสมรรถนะลดลงและปั๊มมีการใช้พลังงานที่สูงขึ้นโดยมีประสิทธิผลลดลงเหลือ 61.3%, อัตราการไหล 3,664 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ค่าเหนือ 52 เมตร

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวทางการแก้ไขและจึงได้ริเริ่มโครงการซึ่งเกิดแนวความคิดในการประหยัดพลังงานและเพิ่มสมรรถนะของปั๊ม ซึ่งมีหลายวิธีแต่โครงการครั้งนี้ เลือกที่ใช้การเคลือบผิวโดยสารเซรามิกที่มีส่วนผสมของอีพอกซี (Epoxy) ซึ่งเป็นสารที่เพิ่มความต้านทานให้กับพื้นผิวป้องกันการเกิดการผุกร่อน (Corrosion) และลดความเสียหายให้กับพื้นผิวซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปั๊มมีสมรรถนะลดลง โดยการเคลือบผิวครั้งนี้จะทำการเคลือบผิวที่ภายในตัวเรือนปั๊มแบบโวลูท (Volute) มีลักษณะของตัวเรือนปั๊มคล้ายกันหอย และใบพัด (Impeller) แบบปิดซึ่งจะมีการปิดหุ้มใบพัดด้วยฝาครอบทั้งสองด้าน ซึ่งโครงการนี้ได้มีการทดสอบเปรียบเทียบผลสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังทำการเคลือบผิวและได้ทำการวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อหาระยะคืนทุนในการลงทุนของโครงการครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงก่อนและหลังการเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิก

1.2.2 เปรียบเทียบค่าความเสียหายของปั๊มก่อนและหลังการเคลือบ

1.2.3 การประเมินการใช้พลังงานก่อนและหลังเคลือบ

1.2.4 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงของผู้ผลิตที่นำมาติดตั้งใช้ในกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตสารพีนอลและอะซิโตน โดยทำการทดสอบสมรรถนะหลังจากได้ทำการติดตั้งใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ปี และได้มีการเพิ่มสมรรถนะของปั๊มโดยเลือกวิธีการเคลือบผิวที่ภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิกซึ่งมีส่วนผสมของสารอีพอกซี ภายหลังจากที่ปั๊มมีการเคลือบได้ทำการทดสอบสมรรถนะเพื่อเปรียบเทียบผลทดสอบก่อนและหลังเคลือบ จากผลทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังการเคลือบได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อทำการประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและระยะเวลาในการคืนทุน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

เริ่มจากสำรวจการสิ้นเปลืองพลังงานของปั๊มคู่อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแล้ววิเคราะห์พบว่าปั๊มที่ใช้งานมานานแล้วเกิดการสึกหรอ ที่ได้ทำการทดสอบสมรรถนะเก็บข้อมูลไว้จากปั๊มก็ได้ถอดชิ้นส่วนประกอบทำความสะอาดภายในและเคลือบผิวภายในตัวใบพัดและเรือนปั๊มประกอบกลับเข้าไปเช่นเดิม แล้วทดสอบสมรรถนะตามมาตรฐานอีกครั้งแล้วนำข้อมูลก่อนและหลังการเคลือบมาเปรียบเทียบและหาระยะเวลาในการคืนทุนโดยรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของการวิจัย และ ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีสารอีพอกซี

บทที่ 5 การทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังเคลือบผิว

บทที่ 6 ผลการทดสอบ

บทที่ 7 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นิยมใช้ปั๊มอย่างแพร่หลาย ซึ่งในแต่ละปีพบว่ามีการใช้พลังงานในการเดินปั๊มเป็นจำนวนมาก ดังนั้นได้มีการศึกษาวิธีการลดการใช้พลังงานของปั๊ม ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้รวมถึงการเคลือบผิวโดยใช้สารประกอบเซรามิกที่มีส่วนประกอบของสารอีพอกซี ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถปกป้องพื้นผิวโดยตรงจากการเสียดสีของวัสดุที่ส่งผ่านที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสูญเสียผิวโลหะ ทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถนะของปั๊มและการเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและใบพัด ตัวอย่างเช่น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

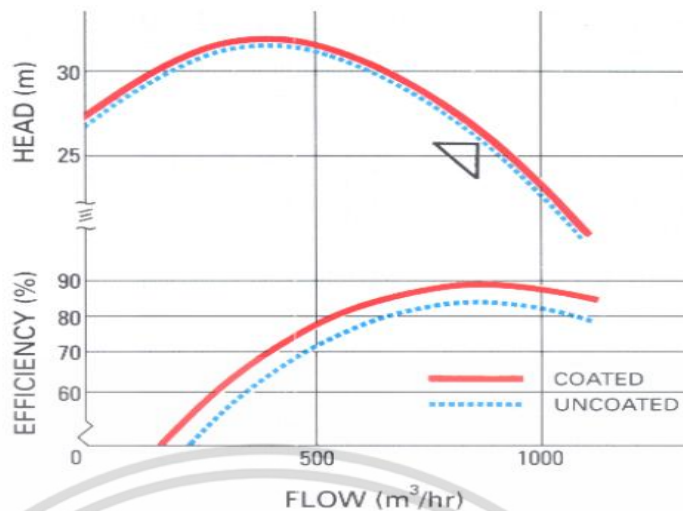
Jeremie [1] ทำการวิจัยในด้านเทคโนโลยีการเคลือบผิวที่ส่งผลที่ทำให้สมรรถนะของปั๊มเพิ่มขึ้น โดยการพัฒนาปรับปรุงและพัฒนาสารอีพอกซี (Supermetalgilde) โดยเพิ่มสารฟีนอลและไฮโดรคาร์บอนซึ่งสารดังกล่าวจะมีคุณสมบัติพิเศษ ทนสารเคมีได้ดี ซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาการสึกกร่อนได้เป็นอย่างดี โดยได้นำมาทดลองเคลือบใบพัดของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.1 หลังจากได้นำมาประกอบติดตั้งปั๊มและทดสอบพบว่าปั๊มได้ลดการใช้พลังงานลง 7 % (1.1kw) ที่ BEP สรุปได้ว่าการเคลือบผิวด้วยสารอีพอกซี (Supermetalgilde) ทำให้สมรรถนะของปั๊มโดยรวมดีขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว



รูปที่ 2.1 แสดงการเคลือบผิวภายใน Impeller ด้วยสารอีพอกซี [1]

DA BEL [2] ทดลองเคลือบผิวภายใน Impeller ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว โดยปั๊มมีความเร็วรอบที่ 1300 รอบต่อนาที มีอัตราการไหล 875 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่เฮด 26.5 m และมีประสิทธิภาพสูงสุด 83.5% ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นสมรรถนะของปั๊มที่ทำการ Coated & Uncoated [2]

จากผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มหลังทำการเคลือบ ดังรูปที่ 2.1 พบว่าปั๊มที่ทำการ Coated มีประสิทธิภาพสูงสุดเพิ่มขึ้น 6% สรุปได้ว่า การเคลือบผิวช่วยทำให้เฮดเพิ่มขึ้น, อัตราการไหลเพิ่มขึ้น, ลดการใช้พลังงานและทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มดีขึ้น

Karen [3] ทำการทดลองโดยการพ่นทรายที่ผิวและเคลือบที่ตัวเรือนปั๊ม ด้วยสารอีพอกซีที่มีการเพิ่มคุณสมบัติทางกล โดยได้ทำการทดลองกับปั๊มที่มีปัญหาการใช้งานเนื่องจากเกิดการสึกกร่อนภายในตัวปั๊มแบบแรงเหวี่ยง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยปั๊มได้เริ่มการติดตั้งใช้งานในปี 2000 โดยมีประสิทธิภาพของปั๊มอยู่ที่ 88% ของ the pump's best efficient point (BEP), อัตราการไหล 6,000-gpm ที่เฮด 150-ft และขนาด 300-hp หลังจากที่ผ่านมาการใช้งาน 6 ปีได้ทำการตรวจสอบพบว่าประสิทธิภาพลดลงเหลือ 77.8% ของ BEP ดังนั้นคณะวิจัยดำเนินการถอด (Overhaul) ปั๊มเพื่อทำการ Inspection พบว่าชิ้นส่วนภายในปั๊มเกิดการสึกหรอโดยเฉพาะตัวปั๊ม หลังจากนั้นได้ดำเนินการพ่นทรายเพื่อทำความสะอาดผิวภายในปั๊มและเคลือบด้วยสารอีพอกซี ดังรูป 2.3 หลังทำการเคลือบผิวแล้วได้ดำเนินการประกอบติดตั้งทำการทดสอบในการใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพของปั๊มเพิ่มขึ้นเป็น 85.2% ที่ BEP

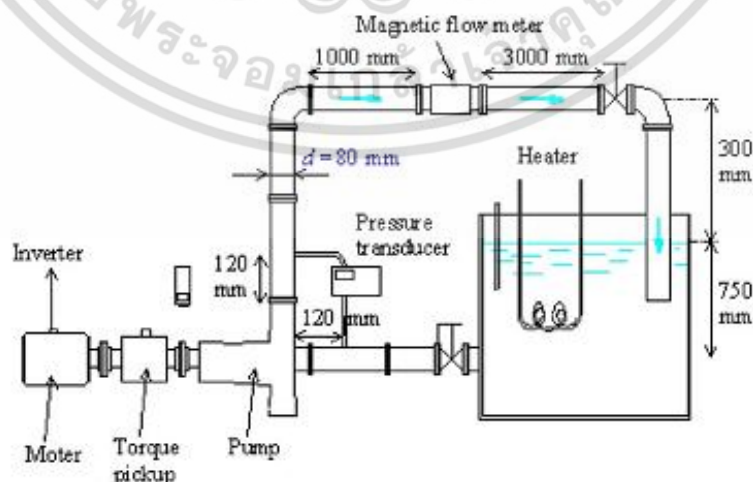


รูปที่ 2.3 แสดงการเคลือบผิวภายในปั๊มด้วยอีพอกซี [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูธร ตี๋มปราย [4] ทดลองเพื่อศึกษาผลของมุมใบพัดที่มีผลต่อสมรรถนะของจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรงเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดและสัมประสิทธิ์การสูญเสียการไหล โดยสร้างจานใบพัดขนาดและแบบเดียวกันที่มีมุมใบพัดต่างกัน 5 มุม ล้วนนำไปทดลองหาสมรรถนะที่ความเร็วรอบคงที่ต่างกัน 7 ความเร็วรอบ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลจากน้อยไปมาก 10 ครั้งและทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลไปเขียนกราฟสมรรถนะของชุดจานใบพัดก็สามารถระบุสถานะที่จานใบพัดให้ประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อวิเคราะห์สมรรถนะทางทฤษฎีแล้วนำไปหาบัพผลการทดลองโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดก็สามารถหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียได้ สรุปสำหรับชุดจานใบพัดที่ทดลองพบว่าจานที่ใบพัดที่มีมุมใบพัด 60 องศา ซึ่งมีความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที ให้ประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 50% และพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่มีอิทธิพลต่อการไหลอย่างชัดเจน คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากจำนวนใบพัดมีจำกัดและเนื่องจากการซ็อก ส่วนสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากอย่างอื่นมีผลต่อการสูญเสียอย่างมากจนการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ให้คำตอบออกมาเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียสองชนิดแรกเป็นศูนย์

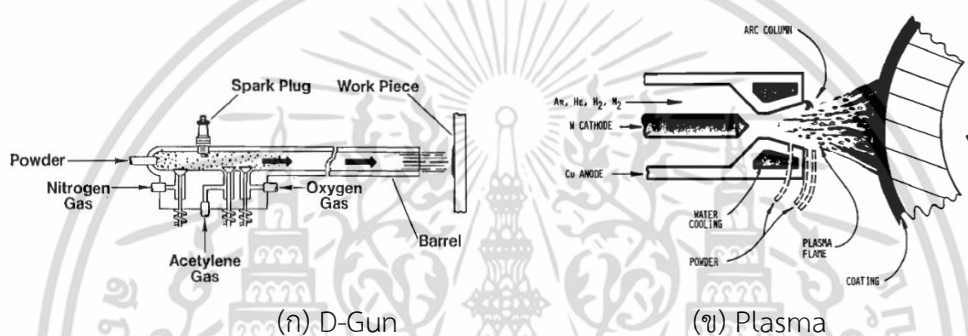
Satoshi และคณะ [5] ศึกษาทดลองวิจัยแรงตึงผิวมีผลต่อสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง โดยคณะวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้สารละลายที่ลดแรงตึงผิว ($C_{18}H_{35}N(C_2H_4OH)_2CH_3Cl$) ลงไปในน้ำที่ความเข้มข้น 200, 500, 1000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เปรียบเทียบกับน้ำประปาโดยใช้อุณหภูมิที่ $25^{\circ}C$, โดยปั๊มที่ใช้ทดลองที่ความเร็วรอบ 1300 rpm และที่อัตราการไหลต่างๆ จากผลการทดลองทางคณะผู้วิจัยได้พบว่าสารละลายที่ผสมลงไปที่มีความเข้มข้นต่างๆส่งผลให้ลดแรงเสียดทานในโมเลกุลของน้ำ นอกจากนี้ส่งผลกับค่าความหนืดลดลงทำให้ปั๊มสามารถมีประสิทธิภาพในการสูบน้ำที่สูงกว่าน้ำประปาทุกความเข้มข้นและทำให้ปั๊มลดกำลังในการขับเพลลาจากกราฟผลการทดลองจะสรุปว่าในน้ำที่ใส่สารละลายลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้น 200, 500, 1000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะพบว่ามีค่า H และ η สูงกว่าน้ำประปาแต่จะสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 1000 ppm, มี P ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำประปา ดังนั้นคณะวิจัยได้ทำการสรุปพบว่าสารละลายที่ใส่ลงไปใ้ในน้ำช่วยทำให้สมรรถนะของปั๊มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำประปาและความเข้มข้นส่งผลกับค่าสมรรถนะของปั๊มโดยตรงและส่งผลกับกำลังในการขับเพลลาของปั๊มโดยตรง



รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

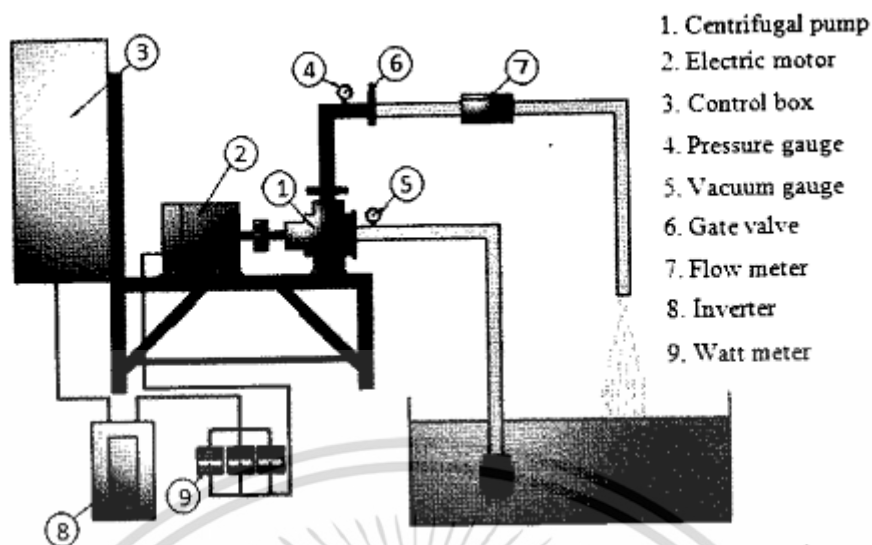
Robert C. Tucker, Jr. [6] ทำการศึกษาวิจัยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนเพื่อหลอมชิ้นส่วนของปั๊มแรงเหวี่ยงให้อยู่ในภาวะหลอมเหลวหรือกึ่งหลอมเหลว แล้วพ่นด้วยแรงดันแก๊สให้ไปตกกระทบบนผิวชิ้นงานที่ต้องการจะเคลือบโดยใช้วิธีพ่นเคลือบแบบ D-Gun เปรียบเทียบกับ Plasma โดยใช้วัสดุที่เคลือบผิวเป็น Tungsten Carbide-Cobalt-Chromium และ Tungsten Carbide-Nickel-Chromium ทำการทดลองกับชิ้นส่วนของปั๊มแรงเหวี่ยงที่ใช้สูบน้ำทะเลเกิดปัญหาการสึกกร่อนทำให้สมรรถนะของปั๊มลดลง โดยใช้วิธีการพ่นเคลือบแบบ D-Gun พบว่าหลังจากที่ทำการพ่นเคลือบผิวแกนเพลลาของปั๊มแรงเหวี่ยงโดยใช้วัสดุที่เคลือบผิวเบื้องต้นพบว่าหลังจากผ่านการใช้งาน 3 เดือนแล้วนำมาตรวจสอบพบว่าเกิดปัญหาการสึกกร่อนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการเคลือบแบบ Plasma เนื่องจาก D-Gun มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า Plasma ซึ่งทำให้เกิดการขยายผลใช้วิธีแบบนี้อย่างแพร่หลายสำหรับปั๊มที่ใช้งานแถวทะเลป้องกันปัญหาการสึกกร่อน



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีพ่นเคลือบ [6]

มานพ พิพัฒน์กุล และ วินัส ทัดเนียม [7] นำเสนอผลกระทบของความเร็วยรอบ ที่มีต่อสมรรถนะปั๊ม การทดลองใช้เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงชนิดศูนย์รูน A36 - 130 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ความเร็วยรอบปกติ 1485 รอบต่อนาที ขนาด 5.5 แรงม้าเป็นต้นกำลังควบคุมความเร็วยรอบของมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ ทารทดลองในช่วงความเร็วยรอบ 750-2235 รอบต่อนาทีในช่วงอัตราการไหล 0 - 14 ลิตรต่อนาที จากผลการทดลองพบว่าเฮดสูงสุดที่ปั๊มทำได้เมื่ออัตราการไหลเป็นศูนย์ได้ 16.63 เมตร ที่ความเร็วยรอบ 2235 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วยรอบลดลง จะทำให้อัตราการไหลและเฮดลดลงเมื่อความเร็วยรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบเท่ากับ 47.83% ที่ความเร็วยรอบ 1215 รอบต่อนาที ได้อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที และเฮด 5.18 เมตร จากการทดลองพบว่าในช่วงความเร็วยรอบระหว่าง 1100 - 1485 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพของระบบจะดีที่สุด เมื่ออัตราการไหลลดลงต่ำกว่า 5 ลิตรต่อนาที ปรปรับความเร็วยรอบ จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

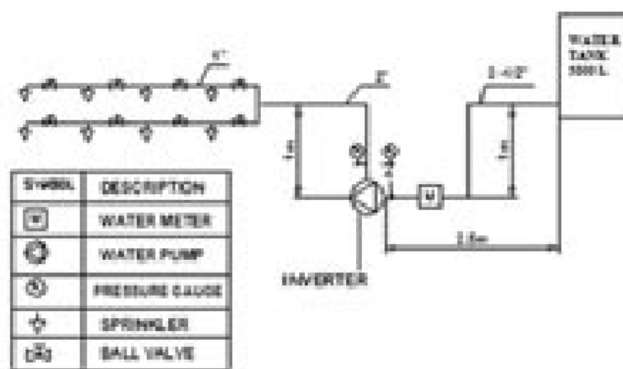
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์การทดลอง [7]

ณัฐสมุทรร เอกภาพสากล และ สุรชัย รดากการ [8] นำเสนอการเพิ่มสมรรถนะของปั้มน้ำด้วยอินเวอร์เตอร์ในระบบป้องกันอัคคีภัยเพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานของหัวกระจายน้ำดับเพลิง 8 หัว ในขณะที่เกิดอัคคีภัยได้การศึกษากระทำโดยทดลองเพิ่มอัตราการไหลและความดันของปั้มน้ำ ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ความถี่ 50 Hz ที่ความเร็วรอบ 2,850 รอบต่อนาที ชุดอินเวอร์เตอร์ใช้ควบคุมการปรับเพิ่มความถี่และความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อให้ปั้มน้ำสามารถเพิ่มอัตราการไหลและความดันมากขึ้นตามทฤษฎี Affinity Law ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดคงที่การทดลองมีการวัดอัตราการไหลและความดันที่ความถี่ 50 Hz ขณะเปิดหัวกระจายน้ำดับเพลิงหมด 8 หัว โดยการทำการเพิ่มความถี่ขึ้นครั้งละ 10 Hz โดยเริ่มจาก 50 Hz จนถึง 90 Hz ผลการทดลองพบว่าปั้มน้ำสามารถเพิ่มอัตราการไหลและความดันจาก 146 gpm, 24 psi ที่ความถี่ 50 Hz เป็น 169 gpm, 31 psi ที่ความถี่ 60 Hz และเป็น 155 gpm, 29 psi ที่ความถี่ 70 Hz และผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของ NFPA 13D และ NFPA 13R ที่มีอัตราการไหลไม่ต่ำกว่า 13 gpm ต่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานทั้งหมดในระบบ 104 gpm ต่อ 8 หัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยมีความดันขั้นต่ำที่สามารถทำงานได้ 7 psi จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่ากรเพิ่มความถี่ขึ้นไปที 60 Hz และ 70 Hz สามารถเพิ่มอัตราไหลและความดันของปั้มน้ำได้สอดคล้องกับทฤษฎีแต่เมื่อเพิ่มความถี่ไปที่ 80 Hz และ 90 HZ ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีเนื่องจากกำลังแรงม้าของมอเตอร์ไม่เพียงพอ หัวกระจายน้ำดับเพลิงมีจำนวนน้อยและท่อทางออกมีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถรองรับอัตราไหลที่เพิ่มขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงแผนภูมิ Single line Diagram [8]

ปวีรศ หนูเกต [9] นำเสนอผลการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกลีบใบพัดที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องสูบลมแบบไหลตามแนวรัศมี โดยใช้ใบพัด 3 ชุดที่มีมุมที่ทางออกของกลีบใบพัดเป็น 15, 30 และ 45 องศาในการทดลองมีการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกลีบใบพัดโดยการกลิ้งกลีบใบออกจากทางด้านในทีละชั้นเพื่อเพิ่มระยะในแนวรัศมีให้แก่กลีบใบ ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการกลิ้งกลีบใบออกจากทางด้านในแล้วจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะย้ายที่ไปสู่ตำแหน่งที่มีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นและหัวรวมของเครื่องสูบลมลดลง



รูปที่ 2.8 แสดงความเร็วในแนวรัศมี และ สูบลมที่ใช้ในการทดลอง [9]

อรรถสิทธิ์ สวนจันทร์ [10] นำเสนอถึงอิทธิพลของจำนวนใบเบลตต่อสมรรถนะของปั๊มน้ำหอยโข่งโดยปั๊มน้ำที่ได้นำมาทำการศึกษาครั้งนี้มี Specific Speed (N_s) = 818 (หน่วยยูเอส) ใบพัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตนอกเท่ากับ 245 มิลลิเมตร เป็นใบพัดแบบปิดและมีการไหลแนวรัศมี (5, 6 และ 7 เบลต) จากผลการทดลองพบว่าจำนวนใบเบลตที่มีจำนวนมากขึ้นนั้นช่วยเพิ่มความดันทางออกของปั๊มน้ำให้สูงขึ้นและเพื่อให้เข้าใจในผลการทดลองดีขึ้นจึงได้ทำการจำลองการไหลด้วยเทคนิคทางด้าน CFD เพื่อศึกษาสนามการไหลที่เปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากจำนวนใบเบลตที่เปลี่ยนไปด้วย 3-D Navier-Stokes และ K-Epsilon Turbulence Model จากผลการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ตรวจพบการเกิด Tip-Vortex และ Recirculation อย่างรุนแรงในกรณีที่มีปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานที่อัตราการไหลต่ำ และสนามการไหลในกรณีที่ใบพัดมีจำนวนของใบเบลด 7 ใบจะมีการกระจายของความเร็วที่สม่ำเสมอมากกว่าใบพัดที่มีจำนวนของใบเบลด 5 และ 6 ใบ



ชุดมอเตอร์

ปั๊มไพลูท

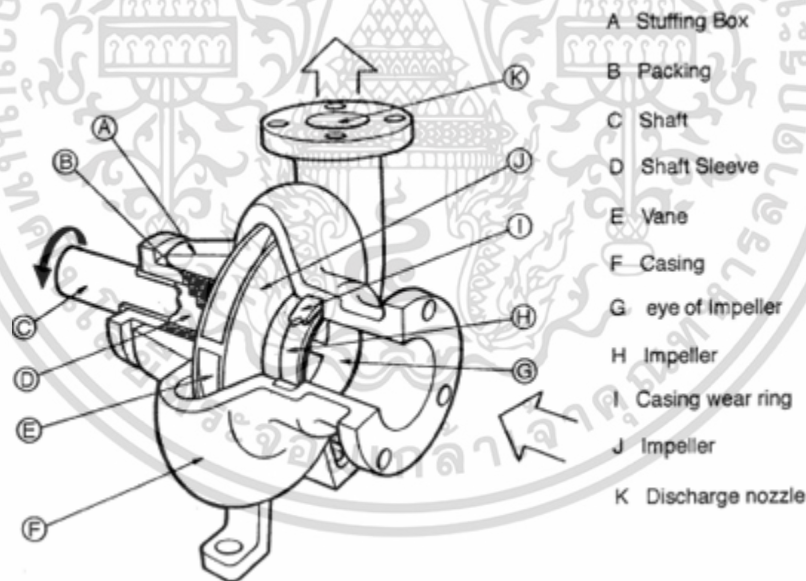
รูปที่ 2.9 แสดงปั๊มน้ำขนาด 11 กิโลวัตต์ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

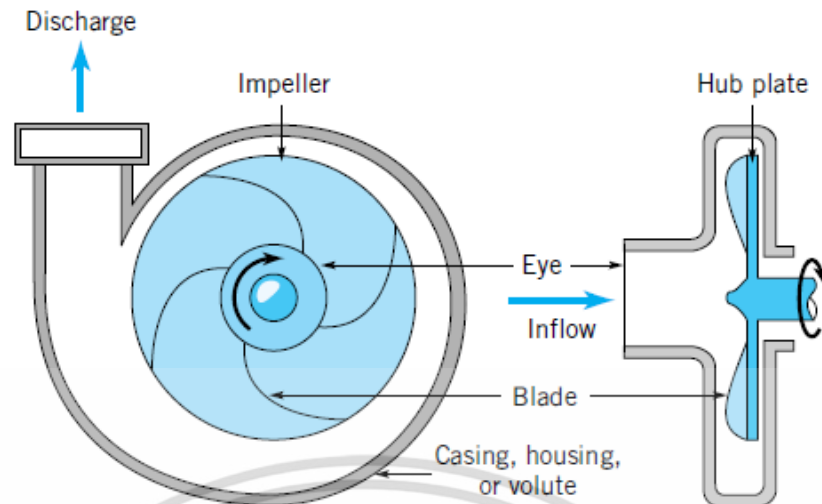
บทที่ 3 ทฤษฎี

3.1 หลักการทำงานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง

ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงรับพลังงานทางกลจากต้นกำลัง ซึ่งอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ และจะถูกถ่ายเทไปสู่ของเหลวโดยใบพัด (impeller) ที่ติดอยู่กับเพลลาภายในเรือนปั๊ม (casing) โดยมีช่องทางดูด (suction) และช่องทางจ่าย (discharge) ดังรูปที่ 3.1 ปั๊มจะทำงานเมื่อเพลลาของปั๊มถูกขับให้หมุนใบพัดที่ติดกับเพลลาก็จะหมุนตามไปด้วย การหมุนของใบพัดนี้จะทำให้อนุภาคของเหลวที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างครีบ (vane) ของใบพัดหมุนไปกับใบพัดและไหลเข้าทางด้านดูดไปออกด้านทางจ่าย ทำให้ความดันด้านดูดลดลงเป็นผลให้ของเหลวในท่อดูดไหลเข้าสู่ปากทางเข้าของใบพัด อนุภาคของของเหลวจะถูกผลักให้หมุนไปกับใบพัดที่ได้รับการถ่ายเทพลังงานมาจากต้นกำลัง ทำให้ของเหลวมีพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น (ความเร็วของของเหลวที่เพิ่มขึ้น) เมื่อของเหลวไหลออกจากใบพัดแล้ว พลังงานจลน์บางส่วนก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นความดัน เนื่องจากช่องทางการไหลที่ทางออกมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความเร็วของของเหลวลง ซึ่งก็จะทำให้ของเหลวสามารถไหลตามระบบการสูบไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้



รูปที่ 3.1 ภาพส่วนประกอบของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง



รูปที่ 3.2 การทำงานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง

3.2 ประเภทของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ทดสอบ

ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่นำมาทดสอบเป็นปั๊มแบบ Inline คือ น้ำเข้าและออกอยู่บนแนวเส้นตรงเดียวกันและมีการวางตัวมอเตอร์ออกเป็นแนวนราบ (Horizontal) โดยปั๊มครั้งเดียว (Single-stage) และมีวิธีการเชื่อมเพลลาของมอเตอร์เข้ากับเพลลาของปั๊มเป็นแบบ Long-coupled ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างมอเตอร์กับตัวปั๊มพอสมควร ข้อดีคือดูแลรักษาและซ่อมบำรุงง่ายกว่า ถ้าตัวปั๊มเสียสามารถถอดเฉพาะตัวปั๊มได้เลย และ มอเตอร์เสียก็สามารถถอดเฉพาะมอเตอร์ได้เลย ข้อเสียขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนประกอบของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 ใบพัด (Impeller)

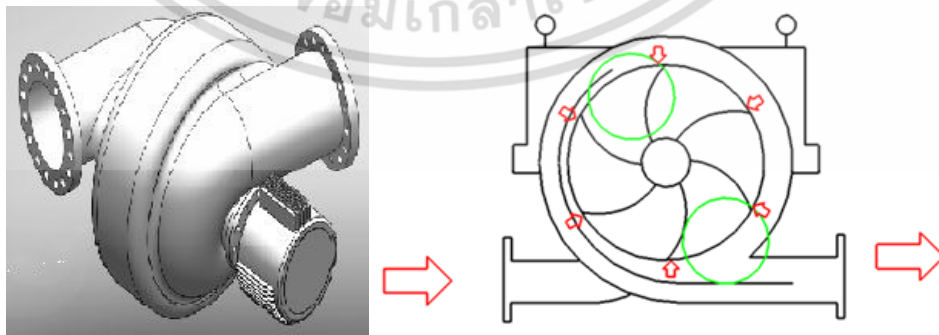
เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานกลของการหมุนใบพัดไปยังของเหลวที่อยู่ในใบพัดในรูปของพลังงานจลน์ของของเหลวที่เพิ่มขึ้นรูปร่างของใบพัดจะเป็นไปตามทิศทางการไหลของของเหลวที่ออกจากใบพัดเมื่อเทียบกับแกนหมุนซึ่งรูปแบบใบพัดที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบใบพัดปิด (Closed Impeller) อยู่ด้วยจานประกบกับ 2 แผ่นดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงใบพัดแบบปิด

3.3.2 เรือนปั๊ม (Casing)

เป็นส่วนที่ใช้ห่อหุ้มใบพัดและยังทำให้เกิดช่องทางการไหลของเหลวที่เข้าและออกจากใบพัด สำหรับช่องทางการไหลออกจะรวบรวมของเหลวที่ออกจากใบพัด และเปลี่ยนความเร็วให้เป็นพลังงานความดันซึ่งทำได้โดยให้ตัวเรือนปั๊มเป็นรูปก้นหอย โดยพื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหลออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงทางจ่าย ที่เรียกว่า เรือนปั๊มแบบโวลูต (Volute Casing) หรือแบบหอยโข่ง ในกรณีที่ใบพัดหมุนจะก่อให้เกิดแรงในแนวรัศมีขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบท่อเพลลาของใบพัดอาจทำให้เพลลาได้รับความเสียหายได้ จึงออกแบบให้เครื่องสูบลมมีช่องทางการไหลออกเป็นสองช่อง (Double Volute) ดังรูปที่ 3.5 (ก) และ (ข)



(ก)

(ข)

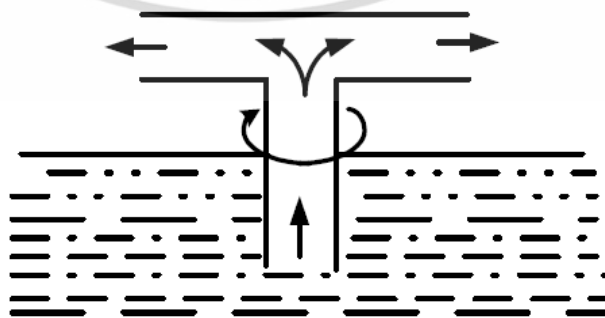
รูปที่ 3.5 (ก) และ (ข) แสดงตัวเรือนปั๊มแบบ Double Volute ที่ใช้ทดสอบที่มีผนังช่องทางการไหล

2 ช่องทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สมการพื้นฐานของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง

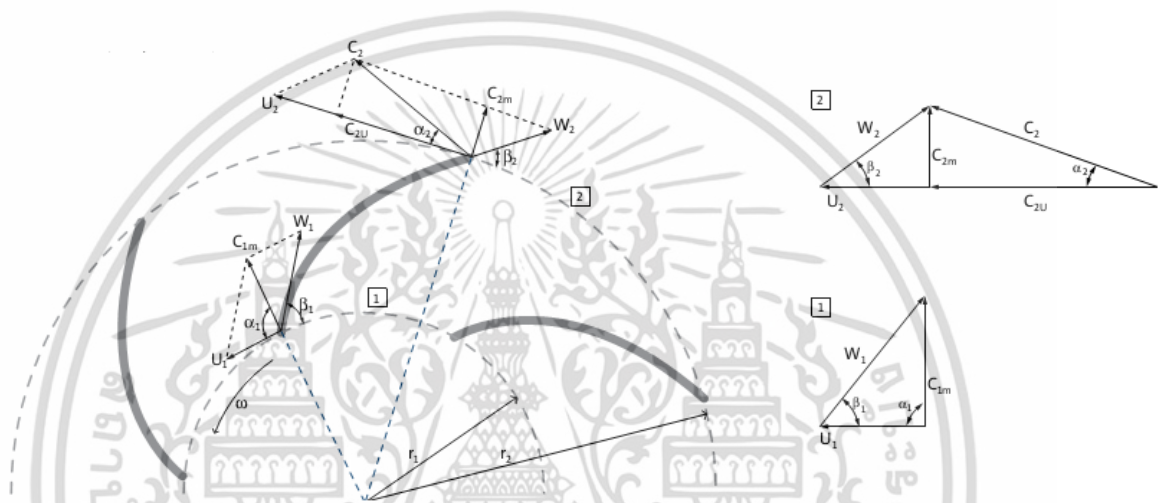
ปั๊มแบบแรงเหวี่ยง ประกอบด้วยใบพัด (Impeller) ซึ่งหมุนอยู่ ภายในตัวเรือนปั๊ม (Casing) โดยจะถ่ายเทพลังงานให้ของไหลโดยผ่านทางแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ซึ่งเกิดจากการหมุนของใบพัดนั่นเอง ถ้าจะกล่าวกว้างๆ ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะมีส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เคลื่อนไหวได้แก่ ใบพัดและแกนเพลลา (Shaft) และส่วนที่อยู่กับที่ ได้แก่ เรือนปั๊ม ชุดอุปกรณ์กันรั่ว (Stuffing Box) และอื่นๆ โดยมีหลักการทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางลักษณะที่เปรียบเทียบได้กับการทำงานด้วยการหมุนท่อรูปตัว T ดังในรูปที่ 3.5 ถ้าเราบรรจุน้ำไว้ในท่อรูปตัว T จนเต็มแล้ว นำไปจุ่มปลายด้านล่างลงในน้ำเมื่อหมุนท่อนั้นด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) ค่าหนึ่ง ก็จะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขึ้นในท่อและแรงนี้จะพยายามเหวี่ยงน้ำในท่อให้หลุดพ้นจากปากท่อออกมา ถ้าหมุนท่อร์เร็วขึ้นแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางก็จะเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้น้ำถูกเหวี่ยงกระจายออกมาแรงมากขึ้น ในขณะเดียวกันเมื่อน้ำในท่อถูกเหวี่ยงหลุดพ้นออกจากท่อไปแล้ว ภายในท่อก็จะเกิดช่องว่างซึ่งเป็นสุญญากาศขึ้นภายในท่อ ทำให้แรงดันจากบรรยากาศภายนอก ก็จะดันน้ำ จากแหล่งน้ำผ่านปลายท่อด้านล่างซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในท่อ ดังนั้นจึงเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องของน้ำไปเรื่อยๆ เป็นผลทำให้มีน้ำไหลผ่านปลายท่อด้านบนออกมาอยู่ตลอดเวลา ดังน้ำจากรูปที่ 3.5 ถ้าเรานำท่อรูปตัว T มาวางตะแคงแล้วต่อท่อจากปลายล่างให้จุ่มลงไปใต้น้ำตามเดิมจากนั้น นำเอาท่อนี้ไปบรรจุลงในตัวเรือนปั๊ม แล้วเปิดทางออกทางด้านบนให้น้ำไหลออกแล้วต่อท่อรูปตัว T นี้เข้ากับเพลลาส่งกำลังก็จะได้ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบง่ายๆ แตกต่างกันไปเพียงแต่ว่า มีการดัดแปลงปลายท่อทางออกของท่อรูปตัว T ให้เป็นหลายๆทางเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมากขึ้นและดัดแปลงจากรูปมุมฉากให้เป็นมุมโค้งพอให้น้ำไหลผ่านได้สะดวกมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของเหลวจะถูกผลักดันให้ไหลผ่านเข้าไปสู่อุปกรณ์ในตัวเรือนปั๊มด้วยแรงดันจากบรรยากาศหรือแรงดันอื่นๆ ตามที่ระบบปั๊มน้ำนั้นได้รับการออกแบบมา โดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งเกิดจากการหมุนของใบพัดจะทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นและความเร็วนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปของแรงดัน ด้วยการไหลผ่านเข้าไปในท่อรูปก้นหอย (Volute) หรือผ่านทางแผ่นกระจายน้ำซึ่งติดตั้งอยู่ผนังของตัวเรือนปั๊ม (Stationery Diffusion Vanes) จากนั้นก็จะไหลออกจากปั๊มน้ำโดยผ่านช่องทางออก (Outlet) ซึ่งจากรูปนี้จะมีท่อปล่อยหรือท่อจ่าย (Discharge Pipe) มาต่อเข้าอีกทีหนึ่ง เพื่อนำของเหลวมาใช้ในระบบที่วางไว้ต่อไป



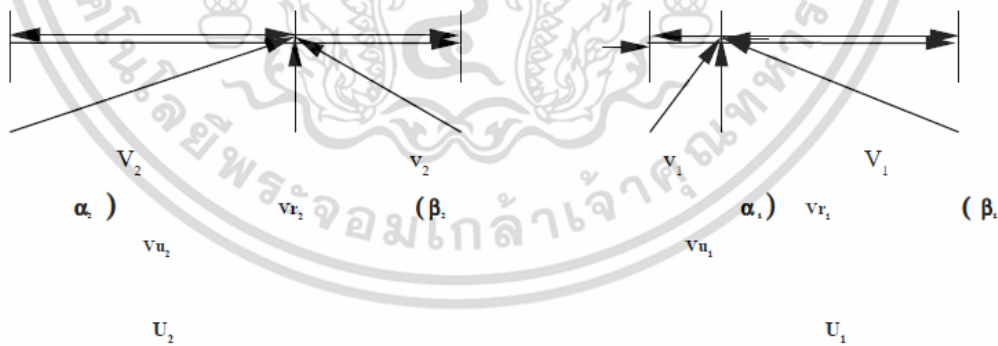
รูปที่ 3.6 ท่อรูปตัว T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางก็คือ อุปกรณ์ที่ถ่ายเทพลังงานในในแนวรัศมีไปยังของไหลที่เป็นสารทำงาน อุปกรณ์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะต้องมีชิ้นส่วนที่จำเป็นก็คือ ชุดใบพัด (Impeller) ที่ติดตั้งอยู่ที่แกนเพลา เมื่อของไหลไหลเข้าประชิดส่วนภายในของปั๊มในทิศทางตามแนวรัศมีทำให้ของไหลมีโมเมนตัมของโมเมนตัมถูกเปลี่ยนจากค่าศูนย์ไปยังค่าที่ขึ้นกับอัตราการไหลของมวลส่วนค่าความเร็วสมบูรณ์ในแนวเส้นสัมผัสของของไหล (V_u) ก็จะถูกทำให้เพิ่มขึ้นหรือในอีกแง่หนึ่งก็คือของไหลที่เข้าไปยังใบพัดจะไม่มีค่าโมเมนตัมเชิงมุมแต่จะไหลออกจากใบพัดด้วยโมเมนตัมเชิงมุม โดยสามารถใช้แผนภาพเวกเตอร์เชิงชั่วในการศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วทางเข้าใบพัดให้เป็นจุดที่ 1 และสำหรับตำแหน่งของของไหลด้านทางออกจะเป็นจุดที่ 2 จะได้แผนภาพแสดงปริมาณเวกเตอร์ของความเร็วเป็นดังรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ทางเข้าและทางออกของความเร็วใบพัดแบบ Blackward Curved [11]



รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมความเร็วที่ทางเข้าและออกของใบพัด [11]

สมการของค่าแรงบิดในอุดมคติของเครื่องสูบลม ได้มาจากการนำหลักของโมเมนตัม [12] กล่าวไว้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมเชิงมุมของวัตถุ เมื่อเทียบกับแกนการหมุน มีค่าเท่ากับแรงบิดลัพธ์ของวัตถุที่เทียบกับแกนหมุนเดียวกันเนื่องจาก Q คืออัตราการไหล ρQ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมเชิงมุมเทียบกับเวลา ส่วนแรงย่อยในแนวเส้นสัมผัสก็คือ $\rho Q V_u$ ที่จุดทางเข้า $\rho Q V_{u1}$ แทนแรงที่กระทำโดยของไหลตรงทางเข้าของใบพัด ที่จุดทางออก $\rho Q V_{u2}$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่ใบพัดกระทำต่อของไหลที่ไหลออก ผลคูณของแรงกับรัศมีมีค่าเท่ากับแรงบิด ดังนั้นแรงบิดลัพธ์ที่ใบพัดกระทำต่อของไหล ดังสมการที่ 3.1

$$T = \rho Q (r_2 V_2 \cos \alpha_2 - r_1 V_1 \cos \alpha_1) \quad (3.1)$$

เมื่อค่า T เป็นบวก โมเมนต์ของโมเมนตัมของของไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดทั้งปริมาตรควบคุมในทันทีก็คือปั๊ม สำหรับค่า T เป็นลบ โมเมนต์ของโมเมนตัมของของไหลจะมีค่าลดลงก็คือตรงส่วนของตัวขับเคลื่อน เมื่อค่า T เป็นศูนย์ก็คือในขณะที่ผ่านบริเวณที่ซึ่งไม่มีใบพัด เนื่องจาก

$$rV_1 = V_1 \cos \alpha_1 \quad (3.2)$$

$$rV_2 = V_2 \cos \alpha_2 \quad (3.3)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.1) จะได้

$$T = \rho Q (r_2 V_{u2} - r_1 V_{u1}) \quad (3.4)$$

เมื่อ $T = 0$ จะได้

$$rV_u = \text{Constant} \quad (3.5)$$

นำ ω คูณสมการ (3.4) จะได้

$$\omega T = \rho Q (\omega r_2 V_{u2} - \omega r_1 V_{u1}) = \rho Q (u_2 V_{u2} - u_1 V_{u1}) \quad (3.6)$$

ถ้าสมมติว่าเสตไม่มีการสูญเสียในแต่ละจุดของใบพัดเพราะฉะนั้นกำลังที่ได้จากปั๊มดังสมการ

$$\omega T = \gamma Q H_i \quad (3.7)$$

$H_i =$ ค่าของเสตที่ทางเข้า

นำสมการที่ (3.7) แทนในสมการ (3.6) แล้วจัดรูปใหม่จะได้ สมการของออยเลอร์

$$H_i = \frac{(u_2 V_{u2} - u_1 V_{u1})}{g} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการของออยเลอร์มาจัดรูปใหม่จะได้

$$H_i = \frac{u_2 V_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (3.9)$$

แต่ในทางปฏิบัติเฮดที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่าเท่ากับ

$$H_a = e_h H_i = H_i - H_l \quad (3.10)$$

โดยที่ H_l = ค่าเฮดที่สูญเสียและ e_h = ค่าประสิทธิภาพ

ในการหาอัตราการไหลทางทฤษฎี พิจารณาเวกเตอร์ความเร็วที่ทางออกจะได้สมการเท่ากับ

$$Q = 2\pi r_2 b_2 V_2 \quad (3.11)$$

$$V_2 = V_2 \cos \alpha_2 = u_2 - V_{r_2} \cot \beta_2 \quad (3.12)$$

$$H_i = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 Q \cot \beta_2}{2\pi r_2 b_2 g} \quad (3.13)$$

นำ ω เป็นความเร็วเชิงมุมของใบพัดนำไปคูณกับสมการ (3.1) จะได้กำลังที่จะป้อนเข้า (P_{input}) ดังสมการ

$$P_{in} = \omega T = \rho Q \omega (r_2 V_2 \cos \alpha_2 - r_1 V_1 \cos \alpha_1) \quad (3.14)$$

กำลังเอาต์พุต (P_{output}) ของปั๊ม โดยปกติจะแสดงอยู่ในเทอมของด้านจ่ายของปั๊มและพลังงานเฮดโดยรวมของปั๊มจะส่งผ่านไปยังของเหลว, H_p พลังงานเฮดในของไหลโดยปกติสามารถแสดงได้จากผลรวมของ พลังงานไฮดรอลิกทั้ง 3 รูป ดังรูปที่ 3.9

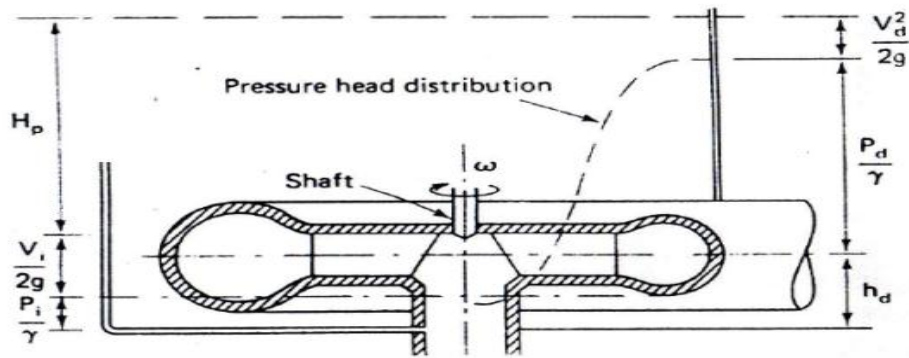
1. พลังงานจลน์, $V^2/2g$,
2. พลังงานแรงดัน, P/γ ,
3. พลังงานระดับ, h

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h \quad (3.15)$$

ดังนั้นจะหากำลังเอาต์พุต (P_{out}) ของปั๊มจาก

$$P_o = \gamma Q H_p = \gamma Q \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h \right) \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การกระจายเฮดความดันในปั๊ม

ดังนั้นประสิทธิภาพของปั๊มจะได้จากสมการ

$$e_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\gamma Q H_p}{\omega T} \quad (3.17)$$

โดยปกติปั๊มไฮดรอลิกจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (e_m) นิยามโดยอัตราส่วนของกำลังที่ป้อนเข้า (P_i) ต่อ กำลังของมอเตอร์ (P_m) ดัง

$$e_m = \frac{P_i}{P_m} \quad (3.18)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยรวมของปั๊มจะเป็น

$$e = e_p e_m = \left(\frac{P_o}{P_i} \right) \cdot \left(\frac{P_i}{P_m} \right) = \frac{P_o}{P_m} \quad (3.19)$$

$$P_o = e \cdot P_m \quad (3.20)$$

ดังรูป 3.9 พลังงานเฮดทั้งหมดที่ทางเข้าไปยังปั๊มจะถูกแสดงโดย

$$H_i = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} \quad (3.21)$$

และพลังงานเฮดทั้งหมดที่ด้านจ่ายเป็น

$$H_d = h_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

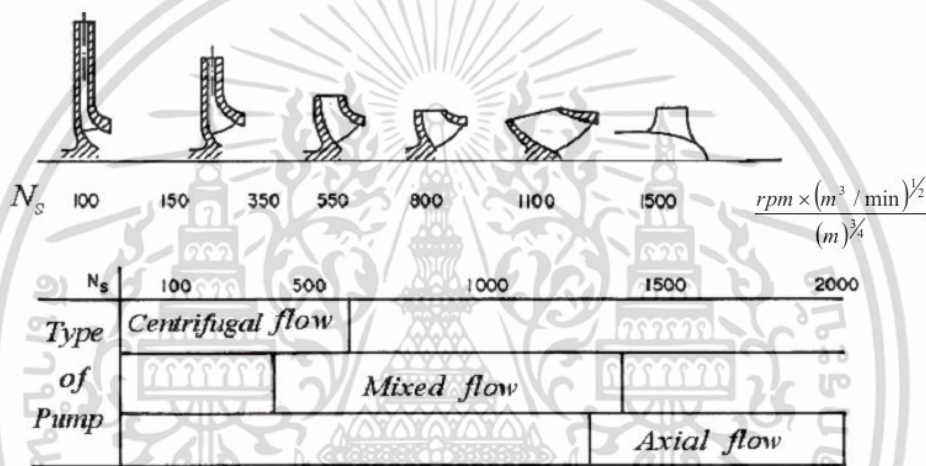
ผลต่างของพลังงานเฮดที่ทางเข้าและด้านจ่ายของปั๊มดังกล่าว

$$H_p = H_d - H_i = \left(h_d + \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} \right) \quad (3.23)$$

3.4.1 ความเร็วจำเพาะ

ค่าความเร็วจำเพาะ (N_s) เป็นตัวกำหนดรูปร่างของใบพัดและชนิดของปั๊มซึ่งมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะและรูปแบบของใบพัดที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.10 โดยค่าความเร็วจำเพาะหาได้จากสมการ

$$N_s = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (3.24)$$



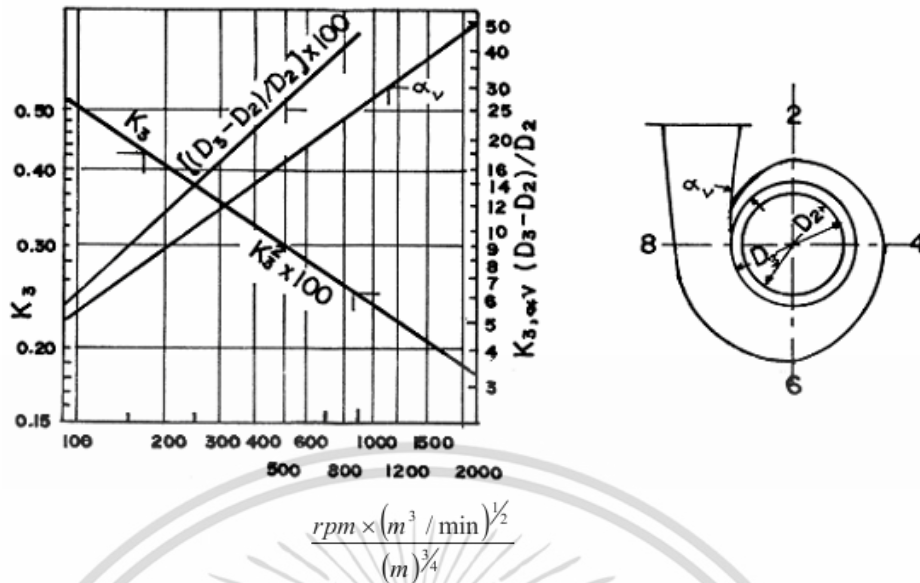
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะและรูปแบบใบพัดที่เหมาะสม [12]

3.4.2 ความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดของโวลูต

[12] โดยสมมติให้ขณะที่ของไหลถูกเหวี่ยงออกจากใบพัดนั้น มีการกระจายความดันรอบๆใบพัด อย่างสม่ำเสมอ ทำให้อัตราการไหลที่ไหลออกจากใบพัดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามมุม θ ที่เพิ่มขึ้นและทำให้ขนาดหน้าตัดของโวลูตเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นจากตำแหน่งลิ้นของโวลูตจนกระทั่งถึงคอของโวลูต การกำหนดความเร็วเฉลี่ย (C_m) คำนวณจาก

$$C_m = k_3 \sqrt{2gH_p} \quad (3.25)$$

เมื่อ K_3 คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเร็วจำเพาะของเครื่องสูบน้ำ การกำหนดค่า K_3 จะใช้ข้อมูลจากรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงค่า k_3 สำหรับการหาความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดโวลูต [12]

3.4.3 ประสิทธิภาพและการสูญเสียพลังงานของปั๊ม

1) การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน (Laminar and Turbulent Flow)
 การพิจารณาว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรือปั่นป่วนได้จากการคำนวณตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{DV}{\nu} \tag{3.26}$$

- โดย Re = ตัวเลขเรย์โนลด์
 ρ = ความหนาแน่นของของเหลว
 V = ความเร็วของของไหล
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ
 μ = ค่าความหนืดสมบูรณ์ของของเหลว
 ν = ค่าความหนืดเชิงจลน์ของของเหลว

2) การหาค่าการสูญเสียระยะสูงทั้งหมด (Total Head Loss)

การสูญเสียระยะสูงทั้งหมดหาได้จากผลรวมของการสูญเสียหลัก (Major Loss) และการสูญเสียรอง (Minor Losses)

$$h_L = \sum h_f + \sum h_m \tag{3.27}$$

2.1) การหาค่าการสูญเสียหลัก (Major Loss)

การคำนวณหาการสูญเสียหลักในการไหลภายในท่อนั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียดทาน สามารถคำนวณได้จากสมการของ Darcy

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3.28)$$

$$\Sigma h_f = h_{f1} + h_{f2} + \dots \quad (3.29)$$

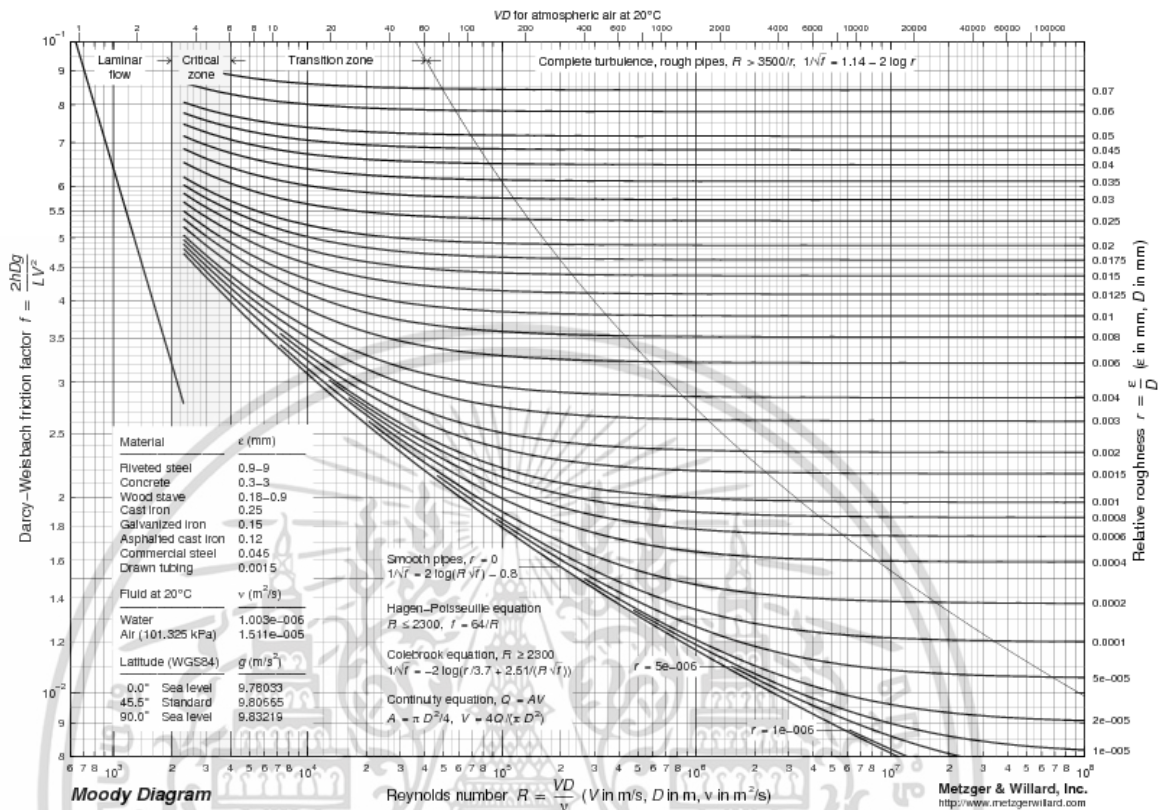
กรณีของการไหลแบบราบเรียบ ตัวประกอบของความเสียดทาน (Friction Factor, f) หาได้จากตัวเลขเรย์โนลด์โดยตรง แต่ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน ตัวประกอบของความเสียดทานหาได้จากตัวเลขเรย์โนลด์ และค่าความขรุขระภายในท่อ (Roughness, ϵ) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ความขรุขระของท่อขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ค่าความขรุขระของวัสดุได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความขรุขระภายในท่อที่ทำด้วยวัสดุต่างๆ [13]

| Surface | Absolute Roughness-k(ϵ) | | Hazen-Williams Coefficient:C |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | (m) | (feet) | |
| Copper,Lead,Brass,Aluminum | 1.0-2.0x10 ⁻⁶ | 3.3-6.7x10 ⁻⁶ | 130 |
| PVC,plastic and Glass Pipes | 1.0-2.0x10 ⁻⁷ | 3.3-6.7x10 ⁻⁷ | 150 |
| Epoxy,Vinyl Ester | 5.2x10 ⁻⁶ | 1.7x10 ⁻⁵ | 140 |
| Stainless steel | 1.52x10 ⁻⁵ | 5x10 ⁻⁵ | 130 |
| Steel commercial pipe | 4.5-9.14x10 ⁻⁵ | 1.5-3x10 ⁻⁴ | 100 |
| Stretched steel | 1.52x10 ⁻⁵ | 5x10 ⁻⁵ | 140 |
| Weld steel | 4.5x10 ⁻⁵ | 1.5x10 ⁻⁴ | 100 |
| Galvanized steel | 1.52x10 ⁻⁴ | 5x10 ⁻⁴ | 120 |
| Rusted steel (corrosion) | 1.52-4.0x10 ⁻⁴ | 5.13.3x10 ⁻⁴ | 120 |
| New cast iron | 2.44-8.23x10 ⁻⁴ | 8-27x10 ⁻⁴ | 130 |
| Worn cast iron | 8.23-15.2x10 ⁻⁴ | 2.7-5x10 ⁻³ | 89-100 |
| Rusty cast iron | 1.52-2.5x10 ⁻³ | 5-8.3x10 ⁻³ | 64-83 |
| Sheet or asphalted cast iron | 1.0-1.52x10 ⁻⁵ | 3.33-5x10 ⁻⁵ | 130-140 |
| Smoothed cement | 3.05x10 ⁻⁴ | 1x10 ⁻³ | 130 |
| Ordinary concrete | 0.3-1.0x10 ⁻³ | 1-3.33x10 ⁻³ | 120 |
| Coarse concrete | 0.3-5.0x10 ⁻³ | 1-16.7x10 ⁻³ | 100-110 |
| well planed wood | 1.83-9.4x10 ⁻⁴ | 6-30x10 ⁻⁴ | 89-100 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทราบค่าตัวเลขเรย์โนลด์และค่าความขรุขระแล้ว สามารถหาค่าตัวประกอบของความเสียดทานโดยใช้แผนภาพมูดี้ (Moody Diagram) ในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพมูดี้ (Moody Diagram) [14]

โดยค่าตัวประกอบของความเสียดทานของการสูญเสียหลักสามารถหาได้ดังนี้

การไหลแนวราบเรียบ (Laminar Flow) ดังสมการ

$$f = \frac{64}{R_e} \tag{3.30}$$

ซึ่งอยู่ ณ บริเวณมุมบนซ้ายของแผนภาพมูดี้

การไหลแบบปั่นป่วนโดยสมบูรณ์ (Complete Turbulent Flow) ดังสมการ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \frac{(3.7)}{\epsilon/D} \tag{3.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอยู่ ณ บริเวณหลังเส้นประในแผนภาพมูดี้ หรือ สมการ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{(\varepsilon/D)(Re)}{200} \quad (3.32)$$

สำหรับท่อที่มีความเรียบมาก จะเป็นความสัมพันธ์ของตัวเลขเรย์โนลด์เพียงค่าเดียว ดังสมการ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \left[\frac{Re\sqrt{f}}{2.51} \right] \quad (3.33)$$

ซึ่งอยู่ ณ บริเวณที่มีลูกศรชี้ว่าท่อเรียบ (Smooth Pipes) ดังรูปที่ 3.10

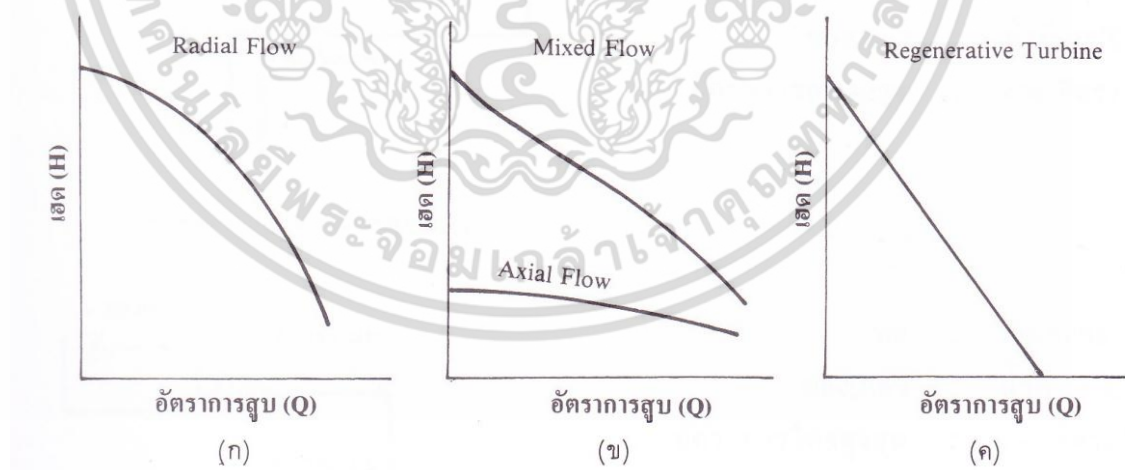
บริเวณช่วงเปลี่ยนแปลง (Transition Zone) ดังสมการ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (3.34)$$

3.5 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม

3.5.1 กราฟ H-Q ของปั๊ม

กราฟ H-Q หรือ H-Q Curve (Head Capacity Curve) ของปั๊มคือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบกับเฮดที่ปั๊มนั้นสามารถทำงานได้ ตั้งแต่อัตราการสูบเป็นศูนย์จนถึงอัตราการสูบสูงสุดของปั๊มนั้น



รูปที่ 3.13 กราฟ H-Q ของปั๊มเซนตริฟูกอลแบบต่างๆ [15]

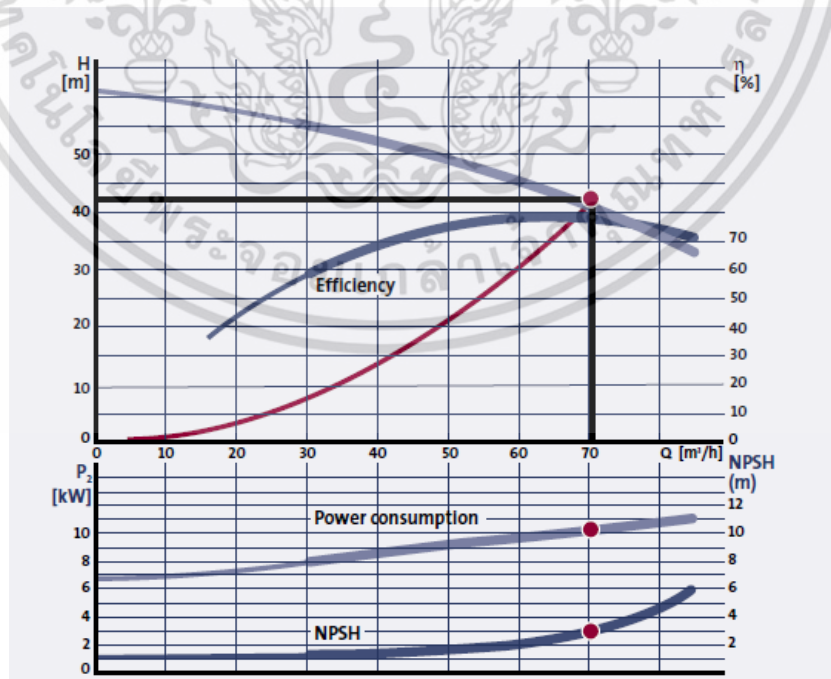
ลักษณะของกราฟ H-Q ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของใบพัด เช่นความกว้างของช่องเปิดระหว่างฝาประกบทิศทางการไหลของของเหลวที่ถูกละเหี่ยยออกจากใบพัด ความโค้งและจำนวนครีบบของใบพัด เป็นต้น กราฟ H-Q ของปั๊มเซนตริฟูกอลแบบต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.13 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ H-Q ในรูป (ก) เป็นลักษณะการทำงานของปั๊มซึ่งมีใบพัดผลักดันของเหลวออกมาในทิศทางตั้งฉากกับแกนของเพลลา (Radial Flow) รูป (ข) มีทั้งแบบที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงผลักดันของใบพัดขนานกับแกนของเพลลาเพียงอย่างเดียว (Axial Flow) และแบบที่ทิศทางการไหลออกของของเหลวทำมุม 45 ถึง 80 องศา กับแกนของเพลลา (Mixed Flow) สำหรับรูป (ค) เป็นลักษณะการทำงานของปั๊มแบบ Regenerative Turbine ซึ่งมีหลักการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวไม่ค่อยเหมือนกับสามแบบที่กล่าวมาข้างต้นทีเดียวนัก

กราฟในรูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบกับเฮดเมื่ออัตราการหมุนของใบพัดคงที่ ซึ่งได้มาจากการทดลองให้ปั๊มทำงานจริงในห้องทดลอง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ากราฟเหล่านี้จะแสดงลักษณะการทำงานตั้งแต่อัตราการสูบเป็นศูนย์จนถึงอัตราการสูบสูงสุดสำหรับปั๊มนั้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าปั๊มดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ตลอดเวลาที่แสดงในกราฟนั้น ทั้งนี้เพราะที่อัตราการสูบต่างๆ เหล่านี้ปั๊มทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน เวลาเลือกใช้งาน เราจะเลือกปั๊มที่ให้เฮดและอัตราการสูบที่ต้องการโดยค่าทั้งสองตรงกับจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด หรือใกล้เคียงกับจุดดังกล่าวมากที่สุด จุดดังกล่าวเป็นจุดที่ผู้ผลิตออกแบบให้ปั๊มทำงาน (Design Operating Point) ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มจะลดลงเมื่อให้ทำงานที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากจุดดังกล่าวออกไป

3.5.2 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม

บริษัทผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ผลิต แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เฮด ประสิทธิภาพ และกำลังขับปั๊ม เทียบกับอัตราการไหล ดังรูป 3.14 จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเริ่มจากศูนย์ประสิทธิภาพก็จะเริ่มจากศูนย์จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลง จุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเรียกว่า Best Efficiency Point (BEP) อัตราการไหล ณ จุดนี้เรียกว่า อัตราการไหลออกแบบ (Design flow rate)

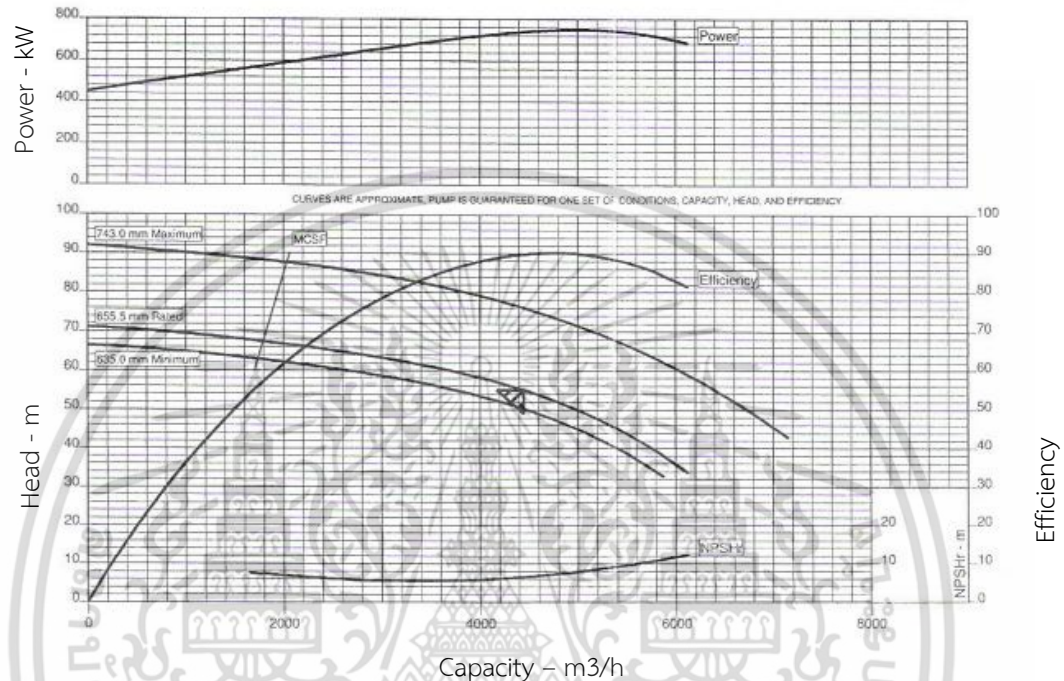


รูปที่ 3.14 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊ม

การอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยง ที่นำมาทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ ดังรูป 3.15 เราสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับปั๊มดังกล่าวได้ดังนี้ จุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด (BEP) มีอัตราการไหลออกแบบอยู่ที่ $4,450 \text{ m}^3/\text{h}$ ที่เฮด 55 m, กำลัง 738 kW, และมีประสิทธิภาพของปั๊มสูงสุดอยู่ที่ 89.8%, มีเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดคือ 635 mm



รูปที่ 3.15 กราฟสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดลอง

3.5.4 กฎความคล้ายของปั๊ม

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและเฮดหรือกราฟ H-Q ของปั๊มที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่แล้วได้มาโดยการทดลองให้ปั๊มซึ่งมีใบพัดขนาดหนึ่งทำงานด้วยความเร็วคงที่ เท่ากับความเร็วมাত্রฐานของมอเตอร์แบบต่างๆ อย่างไรก็ตามในการนำปั๊มเหล่านี้ไปใช้งานจริงสภาพการทำงานของปั๊มอาจจะไม่เหมือนกับที่ทำการทดลองไว้ ความแตกต่างดังกล่าวนี้อาจจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. รอบความเร็วของใบพัดเปลี่ยนไป ข้อแตกต่างนี้เกิดขึ้นอยู่เสมอเมื่อใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง ทั้งนี้เพราะตลอดช่วงการทำงานของเครื่องยนต์นั้นรอบความเร็วอาจแตกต่างกันได้มาก การเปลี่ยนแปลงชนิดของมอเตอร์ก็อาจทำให้รอบความเร็วเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป เนื่องจากช่วงการทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอลนั้นกว้างขวางมาก บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถผลิตใบพัดให้พอเหมาะกับความต้องการใช้งานทุกขนาดได้ ดังนั้นสำหรับเรือนปั๊ม (Casing) ขนาดหนึ่งผู้ผลิตจะออกแบบให้ใช้ได้กับใบพัดหลายๆ ขนาด เช่น ใช้ได้กับใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ถึง 12 นิ้ว เป็นต้น และถ้าการทำงานของใบพัดที่มีไม่เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ที่อัตราการสูบน้ำขนาดหนึ่ง ใบพัดขนาด 10 นิ้วจะให้เสดมากเกินไป แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ใบพัดขนาด 9 นิ้วก็จะได้เฮดน้อยเกินไป ในกรณีนี้ก็จำเป็นต้องคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมแล้ว
เจียร์ (Trim) ใบพัดขนาด 10 นิ้วลงมาให้พอดีกับความต้องการ เป็นต้น

การแก้ปัญหาเมื่อลักษณะการทำงานของปั๊มแตกต่างไปจากกราฟ H-Q ที่บริษัทผู้ผลิต
ทดลองไว้ ดังเช่นที่อธิบายไว้ข้างบน ทำได้โดยใช้กฎที่เรียกว่า Affinity Laws: คือ

เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว

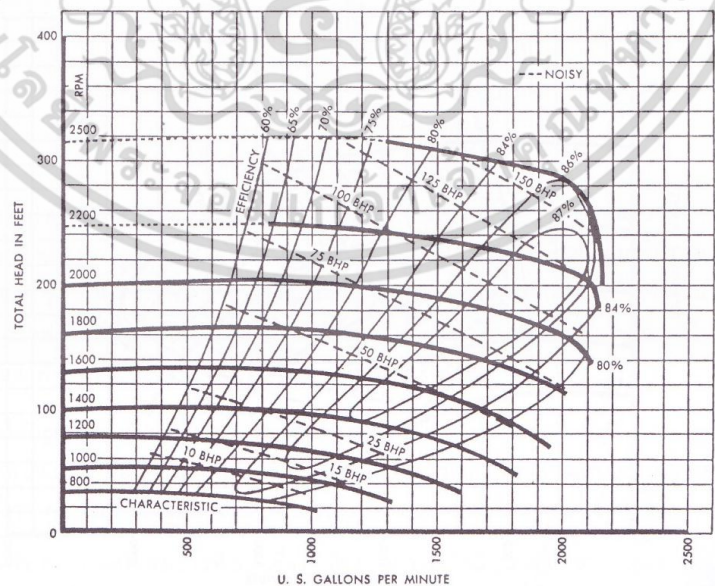
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{3.33}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{3.34}$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{3.35}$$

ในเมื่อ Q_1 , H_1 และ Bhp_1 เป็นอัตราการสูบ เฮดและแรงม้าที่ต้องการ (Brake Horsepower) เมื่อใบพัดหมุนด้วยอัตราเร็ว N_1 และ Q_2 , H_2 และ Bhp_2 เป็นอัตราการสูบ เฮดและแรงม้าที่ต้องการ เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น N_2

เมื่อรอบการหมุนของใบพัดเพิ่มขึ้น กราฟ H-Q จะยังคงรักษารูปร่างลักษณะของเส้นคงเดิมแต่เฮดจะเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือเส้นกราฟจะเลื่อนสูงขึ้นหรือเลื่อนต่ำลง ถ้ารอบความเร็วของใบพัดสูงขึ้นหรือลดลง ลักษณะการทำงานของปั๊มเมื่อรอบความเร็วเปลี่ยนไปแสดงไว้ในรูปที่ 3.16 ในกรณีที่มิข้อมูลเช่นรูปนี้อยู่ การหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของใบพัดจะทำได้ถูกต้องดีกว่าการใช้สมการที่ 3.33-3.35



รูปที่ 3.16 ลักษณะการทำงานของปั๊มเมื่ออัตราการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไป

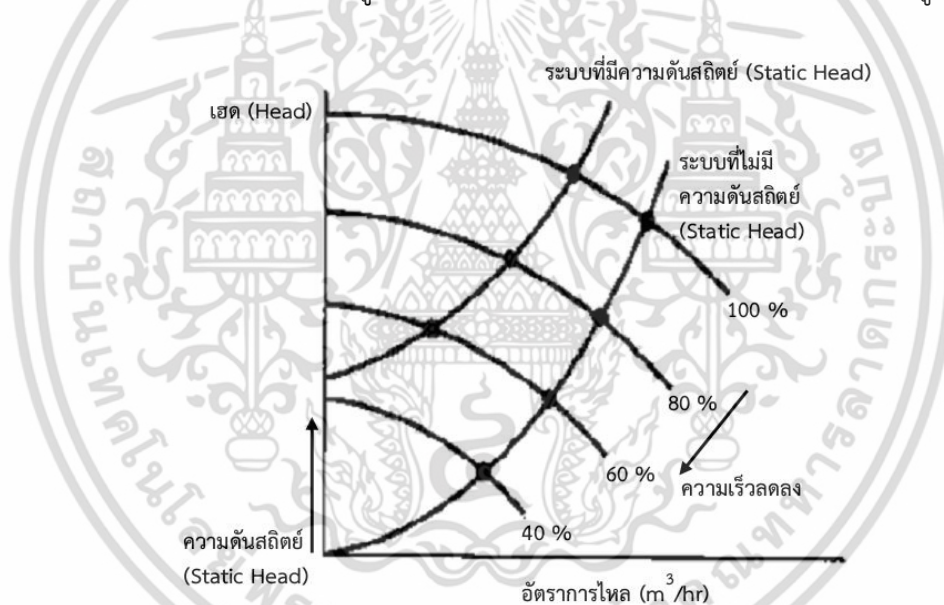
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แนวทางอนุรักษ์สมรรถนะของปั๊ม

3.6.1 การปรับความเร็วของปั๊ม

การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของปั๊ม จะมีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มซึ่งจะยังคงสูงอยู่เมื่อมีอัตราการไหลระหว่าง 60-100% ของอัตราการไหลที่ออกแบบไว้และเมื่ออัตราการไหลลดต่ำลง ประสิทธิภาพจะลดลง ซึ่งการลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของปั๊ม เมื่อปั๊มมีขนาดใหญ่ขึ้น อัตราการไหลและประสิทธิภาพก็จะลดลงเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงการทำงานของปั๊มเนื่องจากการปรับความเร็วรอบจะอธิบายได้โดยกฎความคล้าย (Affinity Laws) ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้:

อัตราการไหลจะแปรผันตามความเร็ว, เฮดแปรผันตามความเร็วยกกำลังสอง และ กำลังขับเคลื่อนจะแปรผันตามความเร็วยกกำลังสาม ดังนั้น ถ้าปั๊มมีความเร็วรอบ 50% จะทำให้เฮดเท่ากับ 25% และจะใช้กำลังขับเพียง 12.5% สำหรับระบบที่ไม่มี ความดันสถิต (Static Head) ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประเมินผลประหยัดจากการลดความเร็วรอบได้โดยตรง อย่างไรก็ตามระบบจริงจะมีความดันสถิตรวมอยู่ด้วยเสมอ จึงต้องมีการปรับปรุงสูตรความสัมพันธ์ให้นำไปใช้คำนวณได้ถูกต้อง ดังรูป 3.17 ในระบบที่ไม่มี ความดันสถิตที่ความเร็วรอบ 40% อัตราการไหลมีค่า 40% แต่เมื่อระบบมีความดันสถิตอยู่ด้วยที่ความเร็วรอบ 40% อัตราการไหลลดลงเป็นศูนย์



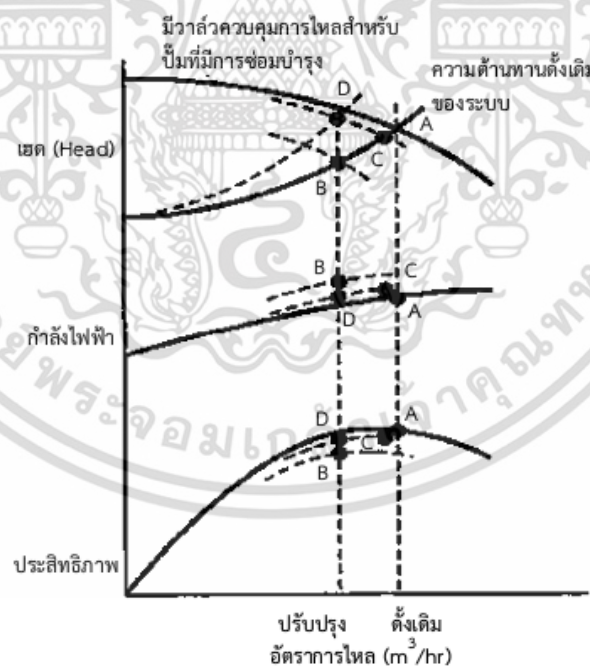
รูปที่ 3.17 ผลของความดันสถิตต่อปั๊มที่ลดความเร็วลง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมความเร็วรอบของปั๊มคือ

1. ทำให้การใช้ปั๊มสอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการตลอดเวลา
2. สามารถควบคุมอัตราการไหลที่ต้องการตลอดเวลา
3. สามารถควบคุมอัตราการไหลของปั๊มอย่างได้ผล
4. ลดพลังงานสูญเสียจากหริวาล์วของปั๊ม

อินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulated) เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่ใช้กับระบบปั๊มที่พบมากที่สุด ด้วย อินเวอร์เตอร์แบบ PWM มีประสิทธิภาพและกำลังสูญเสียในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่ำและกรณีที่มีปั๊มขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่ (กรณีนี้อาจไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์) ศักยภาพของการประหยัดจากการใช้อินเวอร์เตอร์จะสูงเมื่อการขับเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มีประสิทธิภาพ การควบคุม VSD อาจทำได้โดยปรับด้วยคนหรือแบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์เครื่องวัดในระบบ เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดความดัน และบางกรณีอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Interfacing) ถ้าสัญญาณที่ส่งมาไม่ได้มาตรฐาน ในระบบที่มีปั๊มหลายเครื่องทำงานขนานกัน ปั๊มนักจะทำงานที่ความเร็วรอบเท่ากันเพื่อให้มีจุดทำงานเดียวกัน ในกรณีนี้สามารถใช้อินเวอร์เตอร์แยกสำหรับปั๊มแต่ละเครื่องและใช้สัญญาณควบคุมเดียวกันหรือใช้กับปั๊มบางเครื่อง ในขณะที่ปั๊มที่เหลือทำงานที่ความเร็วคงที่ แม้ว่าช่วงของการควบคุมความเร็วจะจำกัดก็ตาม (ขึ้นอยู่กับความต้านทานของระบบ) VSD จะมีราคาค่อนข้างสูงแต่ก็มีการปรับราคาลดลงมาบ้างแล้ว ยิ่งไปกว่านั้นผลที่ได้จากการประหยัดค่าใช้จ่ายจะให้ผลตอบแทนกลับมาในระยะสั้น การใช้ปั๊มที่ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการประหยัดมากที่สุด จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ ความต้องการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงและทำงานต่ำกว่าอัตราการไหลสูงสุดเป็นเวลานาน กรณีที่ความเสียหายของระบบส่วนใหญ่เกิดจากความเสียหายความดันสถิตต่ำผลที่ตามมาทำให้ปั๊มทำงานที่ระดับความเร็วต่ำลง ดังรูป 3.18 เป็นที่น่าสังเกตว่าถ้าปั๊มเดินเครื่องด้วยอัตราการไหลที่น้อยกว่า 100% อยู่เสมอ แสดงว่าปั๊มมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นการเลือกปั๊มที่มีขนาดเล็กหรือปรับแต่งใบพัดให้มีขนาดเล็กลงอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการใช้ VSD โดยเฉพาะมีความเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จากการตรวจสอบปั๊มและวิเคราะห์จุดที่มีปัญหาประกอบกับแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังนี้ การบำรุงรักษา, การตัดแปลงแก้ไขอุปกรณ์หรือการเดินเครื่องการจัดการตรวจสอบ



- A = เครื่องสูบน้ำดั้งเดิม
- B = เครื่องสูบน้ำที่สึกหรอ
- C = เครื่องสูบน้ำที่มีการซ่อมบำรุง
- D = เครื่องสูบน้ำที่มีการซ่อมบำรุงและมีการควบคุมอัตราการไหล

รูปที่ 3.18 การซ่อมบำรุงที่มีผลต่อคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การบำรุงรักษา

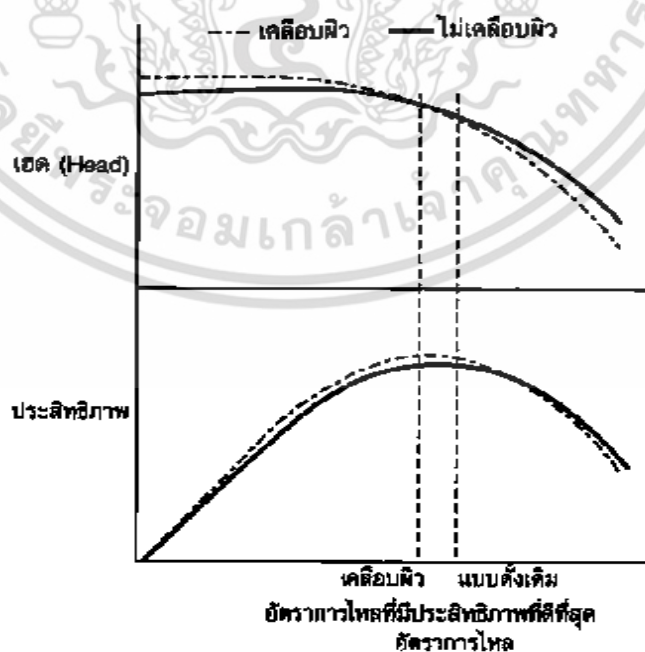
การที่จะทำให้ปั๊มที่สึกหรอกับมาใช้งานได้และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นอย่างน้อยที่สุดต้องซ่อมใหญ่ อาจรวมถึงเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในโครงสร้างของปั๊ม ดังนั้นประสิทธิภาพของปั๊มจะลดลงจากช่วงที่ติดตั้งใหม่ ประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมบำรุงใหญ่ ควรพิจารณาเป็นกรณีๆไป ค่าใช้จ่ายของปั๊มส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโดยรวมตลอดการใช้งาน ดังนั้นการที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ถือว่าคุ้มค่าในการปรับปรุง และมีข้อสังเกตว่าปั๊มที่สึกหรอ อัตราการไหลจะลดลง ถ้าทำการซ่อมบำรุงใหญ่ควรปรับอัตราการไหลให้ต่ำลงจากจุดทำงานเดิมเพื่อให้ผลประหยัดมากที่สุดดังรูป 3.14

3.6.3 การปรับปรุงอุปกรณ์

3.6.3.1 การเคลือบผิวภายใน

ได้มีการพัฒนาของกลุ่มวัสดุที่ใช้สำหรับเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของวัสดุดั้งเดิมเพื่อลดการกัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวประเภทนี้เหมาะสำหรับปั๊มที่เสียหายรุนแรง อันเนื่องมาจากการใช้งานกับของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวจะช่วยเคลือบป้องกันไม่ให้พื้นผิวถูกกัดกร่อนและไม่ทำให้ระยะช่องว่างต่างๆภายในปั๊มเปลี่ยนแปลง การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทานแม้ว่ามีประสิทธิภาพในการลดการกัดกร่อนไม่เท่าสารเคลือบผิวเพื่อลดการกัดกร่อน แต่ก็ยังเป็นวิธีที่ป้องกันการกัดกร่อนได้ดี จุดประสงค์หลักก็เพื่อปรับพื้นผิวให้มีความเรียบมากที่สุด (เมื่อเทียบกับพื้นผิววัสดุเดิม) และการเกิดการเสียดทานน้อยที่สุดขณะที่อัตราเร็วของน้ำสูง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปั๊มมีความดันและอัตราการไหลสูงขึ้นการเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทานจะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การเคลือบผิวเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มมักจะเคลือบเฉพาะที่ตัวเรือนปั๊ม(Casing) และ ใบพัด (Impeller) เพื่อลดการสูญเสียจากแรงเสียดทานหลัก ซึ่งก็คือ ความสูญเสียที่ผิวของตัวเรือนปั๊มแลใบพัด ดังรูป 3.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.19 การเคลือบผิวที่มีผลต่อสมรรถนะของปั๊มไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.2 การเปลี่ยนขนาดของใบพัด

การเปลี่ยนขนาดของใบพัดจะช่วยประหยัดพลังงานจากการสูบน้ำได้ เช่น ถ้าปั้มน้ำหรือวาล์วควบคุมการไหลอยู่เสมอ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจนำใบพัดขนาดเล็กมาใช้เพื่อทำให้มีอัตราการไหลเท่าเดิมในระดับของความดันต่ำ ทำให้มีการใช้พลังงานลดลง

3.6.3.3 การใช้ปั้มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

การใช้ปั้มน้ำเล็กจะคุ้มค่าถ้ามีการใช้พลังงานสูง นั่นคือเมื่อปั้มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นเวลานาน เช่นถ้าปั้มน้ำที่ติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลเพื่อควบคุมอัตราการไหล ให้ได้ตามต้องการอาจใช้ปั้มน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบเพื่อให้ส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลเท่าเดิมแต่ด้วยประสิทธิภาพสูงขึ้น

3.6.3.4 มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

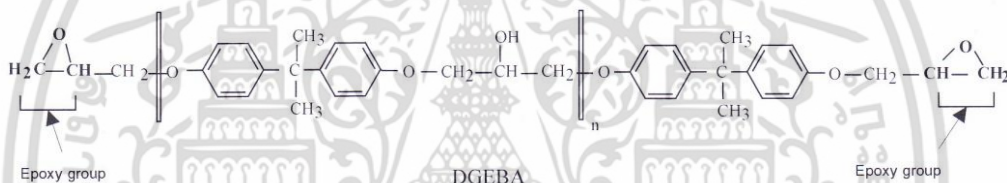
ปกติการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าปั้มน้ำที่มอเตอร์นั้นขับเคลื่อนอยู่ อย่างไรก็ตามการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Higher Efficiency Motor: HEMS) ซึ่ง HEMS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่วไปประมาณ 3 % นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงยังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ให้สูงขึ้น

บทที่ 4

ทฤษฎีอีพอกซีและการเคลือบผิว

4.1 คุณสมบัติของสารอีพอกซี (Epoxy Resins)

อีพอกซี (epoxy resins) คือพอลิเมอร์ที่มีวงสามเหลี่ยม ประกอบด้วยคาร์บอนสองอะตอมและออกซิเจนหนึ่งอะตอม ติดที่ปลายสายโซ่ หมู่อีพอกซี (epoxy group) นี้ เป็นตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง อีพอกซีมีสมบัติหลากหลายในช่วงกว้าง ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุล มีการยึดเกาะกับเส้นใยต่างๆ ได้ดี เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยอะรามิด เส้นใยคาร์บอน ฯลฯ มีการหดตัวต่ำเทียบเท่ากับเทอร์เซตชนิดอื่นๆ เช่น พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว และไวนิลเอสเทอร์ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมี มีเสถียรภาพรูปร่างสูง (dimension stability) ง่ายต่อการขึ้นรูป ถึงแม้ว่าต้นทุนการผลิตอีพอกซีคอมโพสิตจะสูงกว่าพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวและไวนิลเอสเทอร์ และการทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ไม่ดีเท่าพอลิเอไมด์ (polyamide) แต่สมบัติโดยรวมของอีพอกซีดีเยี่ยม



รูปที่ 4.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของอีพอกซี (Diglycidyl Ether of Bisphenol A, DGEBA)

เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยที่ซ้ำๆ กัน (repeating unit) ค่า n อยู่กับอัตราส่วนระหว่าง epichlorohydrin (ECH) และ diphenylolpropane (DPP) หรือที่เรียกว่า Bisphenol A ในระหว่างการสังเคราะห์

4.2 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของอีพอกซีเรซิน (Curing Reaction of Epoxy Resins)

อีพอกซีเรซินจะถูกเปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซตโดยการเกิดปฏิกิริยาของหมู่อีพอกซี ซึ่งอาจจะเกิดปฏิกิริยากับตัวมันเองกลายเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) หรืออาจเกิดปฏิกิริยากับสารเชื่อมโยงโมเลกุล (สารทำให้แข็ง) ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาอาจจะเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือเกิดทั้งสองอย่างก็ได้

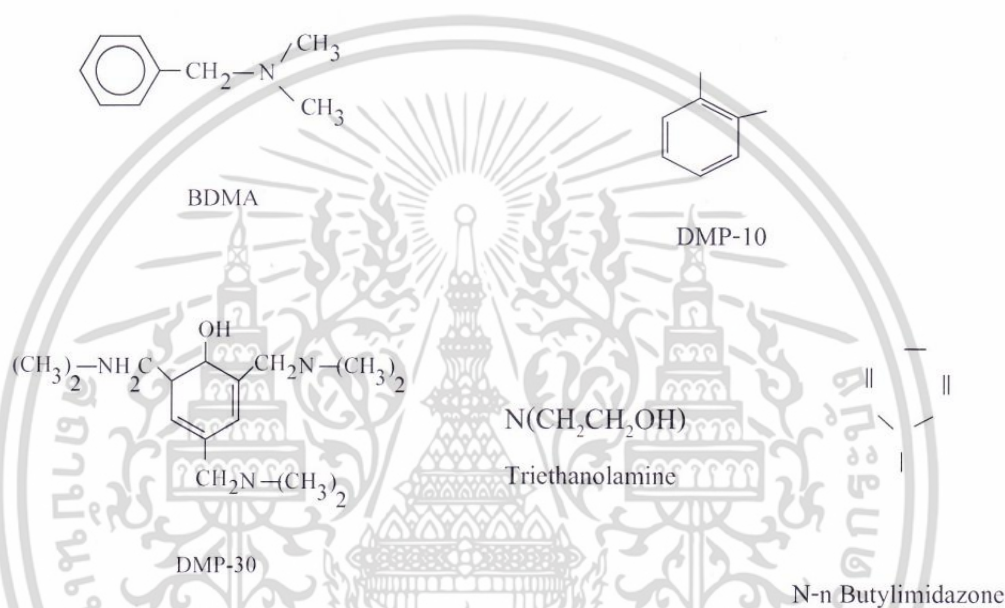
4.2.1 สารเชื่อมโยงของอีพอกซีเรซิน

สารเชื่อมโยงของอีพอกซีโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มเอมีน (amine) กลุ่มกรดลิวอิส (Lewis acid) และกลุ่มแอนไฮไดรด์ (acid anhydride)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 สารเชื่อมโยงกลุ่มเอมีน

1. เอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) โดยทั่วไปจะเหมาะสำหรับงานยึดเกาะและงานเคลือบ ตัวอย่างของสารเชื่อมโยงกลุ่มนี้ เช่น เบนซิลไดเมทิลเอมีน (benzyl dimethylamine, BDMA) ไดมethylอะมิโนเมทิลฟีนอล (dimethylaminomethyl phenol, DMP-10) 2, 4, 6 ไตรไดเมทิลอะมิโนเมทิลฟีนอล (2, 4, 6-tridimethylaminomethyl phenol, DMP-30) ไตรเอทานอลเอมีน (triethanol amine) และบิวทิลอิมิดาโซน (N-n-butylimidazone) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเอมีนตติยภูมิ

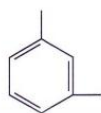
2. พอลิฟังก์ชันนอลเอมีน (polyfunctional amine) สารเชื่อมโยงกลุ่มนี้เป็นทั้งอะลิฟาติกเอมีนและอะโรมาติกเอมีน โดยมีไฮโดรเจนที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 3 อะตอม ซึ่งจะอยู่ในรูปของเอมีนปฐมภูมิ (primary amine) และ/หรือเอมีนทุติยภูมิ (secondary amine) โดยทั่วไปอะลิฟาติกเอมีนจะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้เร็ว และเกิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่อะโรมาติกเอมีนมีความว่องไวค่อนข้างต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนรูปร่างสูง พอลิฟังก์ชันนอลเอมีนนิยมนำมาใช้ในการทำกาว ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ และแผ่นลามิเนต (laminating) ตัวอย่างของสารเชื่อมโยงประเภทนี้ได้แก่ ไดเอทิลลีนไตรเอมีน (diethylene triamine, DTA) ไตรเอทิลลีนเตตระเอมีน (triethylenetetramine, TETA) ฟีนิลลีนไดเอมีน (phenylene diamine, MPA) และไดอะมิโนไดฟีนิลมีเทน (diaminodiphenyl methane, DDM) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 4.3



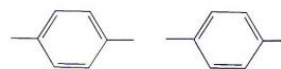
DTA



TETA



MPD



DDM



DDS

รูปที่ 4.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิฟังก์ชันอลเอมีน

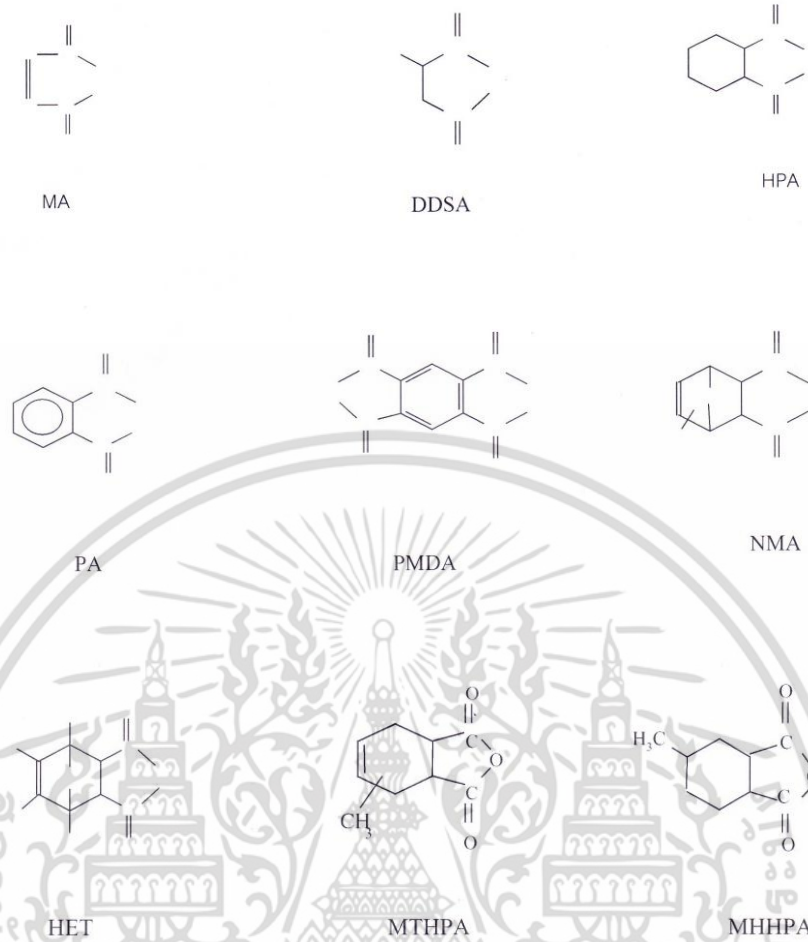
4.2.1.2 สารเชื่อมโยงกลุ่มกรดลิวอิส (Lewis Acid)

กรดลิวอิสที่ใช้เป็นสารเชื่อมโยง เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์โมโนเอทิลีนเอมีน (boron trifluoride monoethyleneamine, $\text{BF}_3 \cdot \text{MEA}$) เป็นสารเชิงซ้อนที่เสถียรที่อุณหภูมิห้อง และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น เป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นงานแผ่นมากกว่างานหล่อ

4.2.1.3 สารเชื่อมโยงกลุ่มแอนไฮไดรด์ (Acid Anhydride)

แอนไฮไดรด์ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารเชื่อมโยงของอีพอกซีเรซิน อาจอยู่ในรูปโมโนแอนไฮไดรด์ (monoanhydride) หรือไดแอนไฮไดรด์ (dianhydride) ตัวอย่างของแอนไฮไดรด์ที่ใช้กัน เช่น มาลีอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride, MA) โดดีซีนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (dodecylsuccinic anhydride, DDSA) เฮกซะไฮโดรฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (hexahydrophthalic anhydride, HPA) ฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride, PA) ไพโรเมลลิติกไดแอนไฮไดรด์ (pyromellitic dianhydride, PMDA) นาติกเมทิลแอนไฮไดรด์ (nadicmethyl anhydride, NMA) คลอเรนดิกแอนไฮไดรด์ (chlorendic anhydride, HET) เมทิลเตตระไฮโดรฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (methyltetrahydrophthalic anhydride, MTHPA) และเมทิลเฮกซะไฮโดรฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (methylhexahydrophthalic anhydride, MHHPA) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 4.4

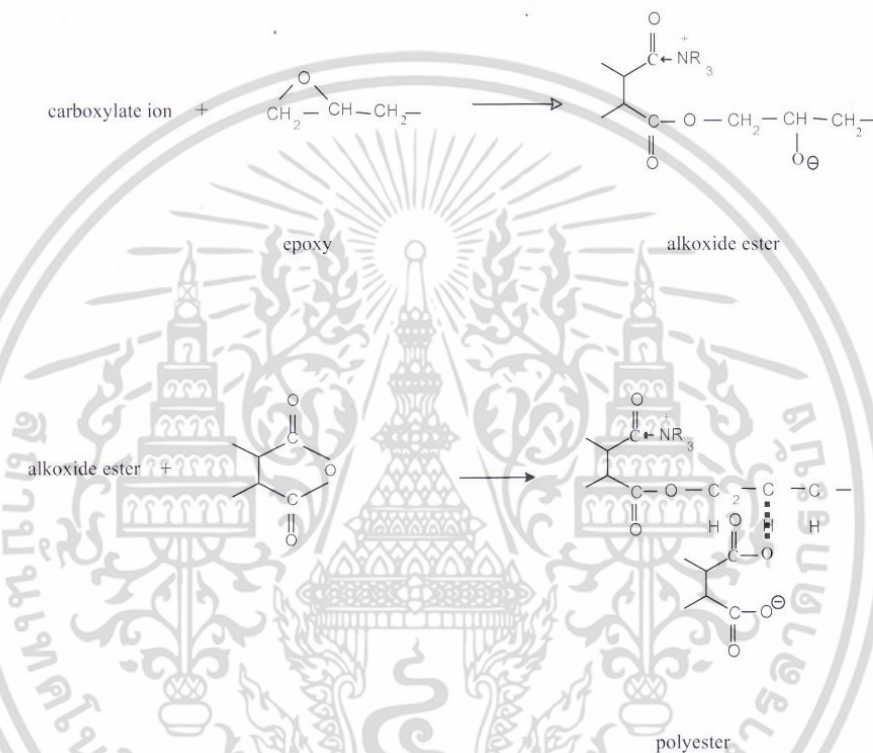
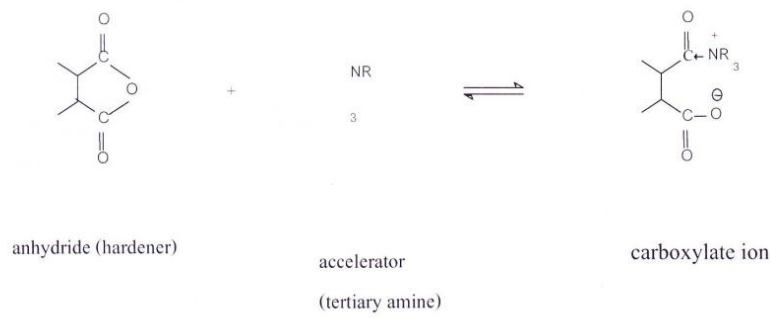
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



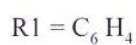
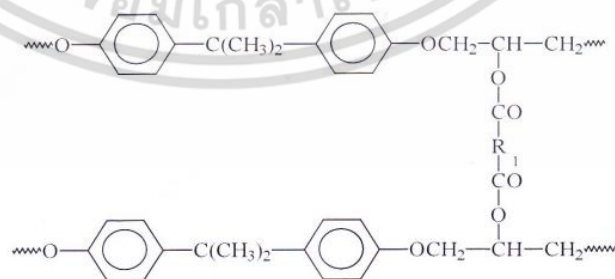
รูปที่ 4.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแอซิดแอนไฮไดรด์

ปฏิกิริยาระหว่างอีพอกซี-แอนไฮไดรด์จะเกิดค่อนข้างช้า และเกิดที่อุณหภูมิสูง เช่น ระบบ DGEBA/MTHPA ปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 300°C ซึ่งอาจจะทำให้อีพอกซีเกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) ได้ง่าย แต่ถ้ามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) เช่น BDMA พบว่าเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 75°C (Galy and Pascault, 1986; Monserrat, et al., 1995) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำหน้าที่เปิดวงแหวนของแอนไฮไดรด์ เกิดเป็นคาร์บอกซีเลทไอออน (carboxylate ion) แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับอีพอกซี เกิดเป็นแอลคอกไซด์เอสเทอร์ (alkoxide ester) และทำปฏิกิริยาต่อกับแอนไฮไดรด์เกิดเป็นพันธะพอลิเอสเทอร์ (polyester) ปฏิกิริยาจะเกิดเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ (Potter, 1970 : 54-55) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย (network) ดังแสดงในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซี-แอนไฮไดรด์



รูปที่ 4.6 สูตรโครงสร้างสามมิติของอีพอกซีที่ใช้สารเชื่อมโยงประเภทแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบสารเชื่อมโยงประเภทแอนไฮไดรด์กับพอลิฟังก์ชันนอลเอมีน พบว่าแอนไฮไดรด์มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาช้า ดังนั้นเมื่อนำมาเป็นสารเชื่อมโยงของอีพอกซีเรซิน จะเกิดความร้อนเนื่องจากการทำปฏิกิริยา (exotherm) ต่ำ การใช้แอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมโยงทำให้อีพอกซีเสถียรต่อความร้อน (thermal stability) มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงและทนต่อสารเคมี (ยกเว้นสารแอลคาไลด์ซึ่งจะไปไฮโดรไลซ์หมู่เอเทอร์) ฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) เป็นสารเชื่อมโยงที่มีราคาถูกที่สุดแต่มีข้อเสีย คือผสมกับเรซินได้ยาก ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อนประมาณ 120°C ในการผสม ซึ่งอาจจะทำให้อายุของส่วนผสม (pot life) สั้นหรือถูกจำกัด

แอนไฮไดรด์ที่เป็นของเหลว เช่นโดดีซิลซัคซินิคแอนไฮไดรด์ (dodecylsuccinic anhydride) และนาดีคเมทิลแอนไฮไดรด์ (nadimethyl anhydride) หรือแอนไฮไดรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะผสมกับอีพอกซีได้ง่าย ในกรณีที่ใช้มาลิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) เป็นสารเชื่อมโยงเพียงอย่างเดียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเปราะ จึงมักจะผสมกับแอนไฮไดรด์ชนิดอื่นๆ ส่วนโดดีซิลซัคซินิคแอนไฮไดรด์จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความยืดหยุ่น ในขณะที่คลอเรนดิคแอนไฮไดรด์ (chlorendic anhydride) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าทนต่อการตีไฟ (frame resistance) ได้ดี และไพโรเมลลิติกไดแอนไฮไดรด์ (pyromellitic dianhydride) ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันมาก ทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (crosslink density) สูง ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (heat distortion temperature) สูงขึ้น

ส่วนผสมของอีพอกซี-แอนไฮไดรด์มีความหนืดต่ำและสามารถเก็บไว้ได้นาน (long pot life) มีสารระเหย (low volatility) ในระหว่างการอบต่ำ ทำให้การหดตัวและอัตราการคายความร้อนต่ำ ข้อจำกัดของการใช้แอนไฮไดรด์ คือต้องใช้เวลานานและอุณหภูมิในการอบสูงถึงแม้ว่าจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบ การอบอีพอกซี-แอนไฮไดรด์ในระบบที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเกิดพันธะเอสเทอร์ (ester link) และอีเทอร์ (ether link) พอๆ กัน ในระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเบสส่วนใหญ่จะเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะเอสเทอร์ ส่วนในระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด ส่วนใหญ่จะเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะอีเทอร์ แต่ในกรณีระบบที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีกรดอิสระ (free acid) อยู่เล็กน้อยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงเกิดเป็นพันธะอีเทอร์ ทำให้สายโซ่มีความยืดหยุ่น ทำให้อุณหภูมิ T_g ที่ได้ต่ำกว่าระบบที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Montserrat, et al., 1995)

4.3 คุณสมบัติของอีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงโมเลกุล (Properties of Cross linked Epoxy)

อีพอกซีเรซินมีหมู่ที่แสดงสมบัติเฉพาะ (characteristic group) ขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงยากต่อการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ แต่อีพอกซีมีสารเชื่อมโยง (curing agent) หลายชนิดให้เลือกใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติตามต้องการ นอกจากนี้ยังพบว่า เวลา อุณหภูมิ และสารเติมแต่ง (filler) จะมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วย ในการทำปฏิกิริยาของอีพอกซีจะเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (molecular orientation) ซึ่งในกรณีที่ไม่มีสารระเหยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ จะไม่มีปัญหาเรื่องการหดตัวหรือมีการหดตัวน้อย โครงสร้างหลัก (main skeleton) ของอีพอกซีจะเสถียรต่อความร้อนได้ดี แต่การเสถียรทางความร้อนจะขึ้นอยู่กับการเชื่อมโยงด้วย ดังนั้นระบบที่มีการเชื่อมโยงด้วยแอนไฮไดรด์จะเสถียรต่อความร้อนประมาณ 200°C ในขณะที่ระบบที่มีการเชื่อมโยงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอมีนจะเสถียรต่อความร้อนประมาณ 150°C อีพอกซีเรซินจะมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) และความเป็นฉนวนสูง ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดี

อีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงจะไม่ละลายในสารละลาย แต่จะบวมในของเหลวที่มีค่าความสามารถในการละลาย (solubility parameter) ใกล้เคียงกัน เช่นสารละลายคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbons) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol) อีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงด้วยพันธะอีเทอร์ จะมีความเสถียรต่อสารละลายกรดอินทรีย์ (organic acid) กรดอนินทรีย์ (inorganic acid) และสารแอลคาไลซ์ (alkalis) ในขณะที่อีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงด้วยพันธะเอสเทอร์จะไม่เสถียรต่อสารแอลคาไลซ์เข้มข้น (strong alkalis) กรดอินทรีย์และอนินทรีย์ ส่วนอีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงด้วยพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจน (C-N) ซึ่งเกิดจากการใช้สารเชื่อมโยงกลุ่มเอมีนจะไม่ทนต่อกรดอินทรีย์

สมบัติของอีพอกซีที่มีการเชื่อมโยงนอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยา ชนิดของสารทำให้แข็ง แล้วจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณอีพอกซีและสารทำให้แข็งที่ใช้ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometric ratio, r) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่หมู่ฟังก์ชันของอีพอกซีทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของสารทำให้แข็ง สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้แอนไฮไดรด์ 80% โดยน้ำหนักอีพอกซีเรซิน ทั้งนี้เพื่อต้องการเปรียบเทียบกับการใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ได้ตามสมการ 4.1

$$\text{ปริมาณแอนไฮไดรด์ที่ใช้ (กรัม)} = \frac{(E) \times (AE) \times (r)}{WPE} \quad (4.1)$$

เมื่อ

E = น้ำหนักของเรซินที่ใช้ (กรัม) (weight of resin)

AE = น้ำหนักโมเลกุลของแอนไฮไดรด์ (anhydride equivalent weight)

r = อัตราส่วนเป็นโมลของอีพอกซีต่อแอนไฮไดรด์ (ratio of molar concentration of anhydride to epoxy; A/E)

WPE = น้ำหนักโมเลกุลของแอนไฮไดรด์ (anhydride equivalent weight)

ธีริน อยู่เจริญ [17] อีพอกซี (Epoxy) เป็นพลาสติกเหลวที่มีความหนืดสูง เมื่อนำมาใช้งาน จะแข็งตัวจากการนำอีพอกซีมาผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัว (hardener) ก่อนนำไปใช้ กล่าวคือ อีพอกซีส่วนแรกทำจาก Bis-Epi Resin ส่วนหลังเป็นส่วนที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัว (Hardener) นิยมทำจากอามีน (Amine) และอามาไซด์ (Amide) ซึ่งอีพอกซีที่ใช้อามีนเป็นสารทำให้แข็งจะทนความเย็นได้ดีถึงลบ 200 องศาเซลเซียส ส่วนอีพอกซีที่ผสมกับอามาไซด์จะมีคุณสมบัติทนความร้อนถึงอุณหภูมิ 70-160 องศาเซลเซียส และทนเบส (Alkalies) ได้ดี ปัจจุบันถึงเก็บสารเคมี นิยมใช้ถึงที่ทำจากอีพอกซีหลอมมากขึ้น จากคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมีที่เป็นกรดและเบสได้ดี นอกจากนี้อีพอกซียังนิยมนำมาใช้งานภายนอกอาคารมากยิ่งขึ้น เพราะมีการผสมสารเสริม (Additive) ทำให้ทนทานต่อรังสียูวีจึงไม่แตกร้าวง่าย ด้วยคุณสมบัติที่ดีของอีพอกซีแต่มีราคาสูงกว่าสารเคลือบชนิดอื่นๆ จึงมีการนำสารไซลีน (Xylene) มาผสม เพื่อให้มีราคาถูกลง แต่จะมีอัตราการหดตัว (Shrinkage) สูง ทำให้สูญเสียคุณสมบัติที่ต้องการใช้งานไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบสำคัญในการใช้งานมี 2 ส่วนดังนี้

1. อีพอกซีผสมโลหะแบ่งชนิดตามโลหะที่ผสม ได้แก่ เหล็ก ทองเหลือง สแตนเลส อะลูมิเนียม และไทเทเนียม แต่ถ้าเป็นชนิดอื่นๆ แบ่งตามคุณสมบัติการใช้งาน เช่น อีพอกซีทนอุณหภูมิสูง อีพอกซีทนการกัดกร่อน อีพอกซีเคลือบคอนกรีต เป็นต้น

2. สารเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัว (Hardener) เป็นสารที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัวใช้งานร่วมกับอีพอกซี

หลักในการเคลือบงานด้วยอีพอกซี

1. ชิ้นงานต้องสะอาดไม่มีคราบฝุ่น น้ำมัน สี และสิ่งสกปรกต่างๆ
2. บริเวณผิวงานที่ซ่อมแซมต้องมีพื้นผิวที่หยาบเพื่อการยึดเกาะที่ดีของอีพอกซี
3. งานที่ซ่อมแซมต้องแห้งสนิทเนื่องจากความชื้นมีผลต่อการยึดเกาะกับพื้นผิว (มีบางชนิดใช้สำหรับการซ่อมแซมพื้นผิวเปียก)

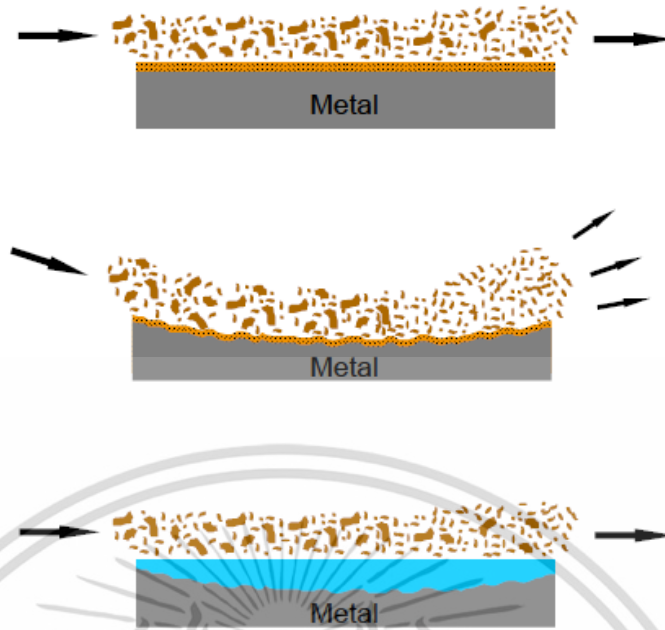
การเคลือบตัวเรือนปั๊มและท่อด้วยอีพอกซี

จากที่กล่าวในขั้นต้นสาเหตุการสึกกร่อนของตัวเรือนปั๊มและท่อ เกิดจากการเสียดสีและการกัดกร่อนจากสารเคมี การลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสึกหรอของตัวเรือนปั๊มและท่อนั้นทำได้ยาก เพราะมีการใช้งานอยู่เป็นประจำ และเป็นสิ่งที่อยู่ภายใน ไม่สามารถตรวจเช็คซ่อมบำรุงได้บ่อยๆ แต่เราสามารถป้องกันให้เกิดความเสียหายน้อยลงได้โดยการเคลือบอีพอกซี ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การเคลือบอีพอกซีเป็นการป้องกันพื้นผิวของตัวเรือนปั๊มและท่อโดยตรงจากการเสียดสีกับวัสดุส่งผ่าน ที่เป็นต้นเหตุของการสึกหรอภายในผนังของปั๊มและท่อ จึงไม่เกิดการสูญเสียผิวโลหะของตัวเรือนปั๊มและท่อ ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น และยืดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง
2. อีพอกซีสำหรับเคลือบตัวเรือนปั๊มและท่อมักมีลักษณะผิวคล้ายเซรามิก มีความลื่นทำให้ลดการเสียดสี ช่วยให้อัตราการไหลดีขึ้น จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของปั๊ม
3. มีคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนของสารเคมี (ขึ้นอยู่กับชนิดและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต)

การเคลือบอีพอกซีไม่จำเป็นต้องเคลือบกับตัวเรือนปั๊มและท่อที่ใช้งานแล้วเพียงอย่างเดียวสามารถใช้กับตัวเรือนปั๊มและท่อใหม่ได้เช่นกัน เพื่อป้องกันก่อนเกิดความเสียหายจากการเสียดสีในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊ม

การใช้งานและลักษณะของอีพอกซีชนิดเคลือบตัวเรือนปั๊มและท่อ อีพอกซีที่มีการใช้งานเหมือนกันทุกผลิตภัณฑ์ คือมีส่วนผสมสองส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนที่เป็นอีพอกซี และส่วนของสารเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัว (Hardener) สามารถใช้ได้โดยนำอีพอกซีผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาการแข็งตัวตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตกำหนด อีพอกซีชนิดนี้มีลักษณะเหลวมีความหนืดเล็กน้อยคล้ายสี สามารถใช้แปรงทาเคลือบได้สะดวกรวดเร็ว เมื่อแข็งตัวมีผิวสีและมีความแข็งสูง บางผู้ผลิตอาจผลิตหลายสีสำหรับการใช้งานโดยทาสีชั้นละสี เพื่อสะดวกในการตรวจสอบเมื่อถึงเวลาซ่อมบำรุง



รูปที่ 4.7 การเคลือบผิวป้องกันการเกิดการสึกหรอจากชั้นOxide ของผิวโลหะ

4.4 การเคลือบผิวปั๊มแบบแรงเหวี่ยงด้วยสารอีพอกซี



รูปที่ 4.8 สีที่มีส่วนประกอบอีพอกซีสำหรับการเคลือบปั๊ม

4.4.1 ทำการถอดประกอบ (Overhaul) ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเพื่อนำมาตรวจสอบ (Inspection) ของชิ้นส่วนของปั๊ม เช่น อุปกรณ์ชุดกันรั่วเชิงกล (Mechanical seal) ที่ทำให้ปั๊มมีประสิทธิภาพลดลง และใช้พลังงานสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ก่อนทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัด

หลังจากที่เดินปั๊มเป็นเวลา 3 ปี และ ได้นำตัวเรือนปั๊ม (Casing) และ ใบพัด (Impeller) มาเคลือบผิวภายในด้วยสารประกอบที่มีส่วนผสมของอีพอกซี (Epoxy)

4.4.2 การเตรียมพื้นผิวของตัวเรือนปั๊มและใบพัดจะมีการเตรียมพื้นผิวด้วยการพ่นทราย เนื่องจากการตกแตงผิวทำได้ยาก การพ่นทรายจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมพื้นผิว ลักษณะการเตรียมพื้นผิวมีหลักการ คือ ชิ้นงานต้องสะอาดแห้ง และมีพื้นผิวที่หยาบ เมื่อนำงานพ่นทรายเสร็จเรียบร้อยแล้วปราศจากสนิมและสิ่งสกปรกแล้ว ควรทำความสะอาดเพิ่มเติมด้วยน้ำยาทำความสะอาด เพราะสิ่งสกปรกหลงเหลืออยู่เป็นสาเหตุของการเกิดสนิม และทำให้อีพอกซีเกิดการหลุดร่อน

4.4.3 ผสมอีพอกซีตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตกำหนด (ควรผสมให้ถูกต้องเพราะมีผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว)

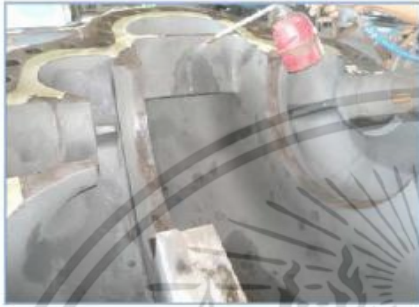
4.4.4 ใช้แปรงทาเคลือบบริเวณพื้นผิวที่ต้องการ เมื่ออีพอกซีแข็งตัวตามเวลาจึงนำไปใช้งานปกติในการทาเคลือบอีพอกซีแต่ละครั้งจะมีความหนาประมาณ 3 มม. แต่ถ้าต้องการความหนามากกว่านี้ทำได้โดยการทำการทาที่ละชั้น โดยเมื่อทาชั้นแรกเสร็จแล้วให้ทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมงเพื่อให้อีพอกซีเซตตัว จากนั้นจึงทาอีพอกซีทับลงไปเพื่อเพิ่มความหนา

4.4.5 นำตัวเรือนปั๊ม (Casing) และใบพัด (Impeller) ที่ทำการเคลือบ ผิวมาตรวจสอบประสิทธิภาพอีกครั้งก่อนนำไปประกอบและทดสอบสมรรถนะของปั๊มหลังการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊ม (Casing) และใบพัด (Impeller)

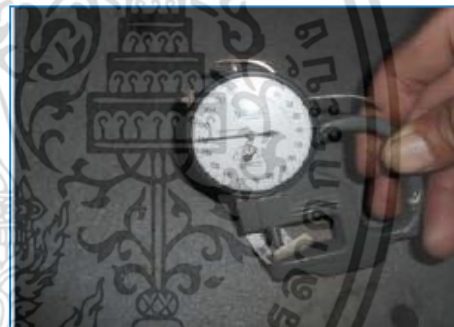
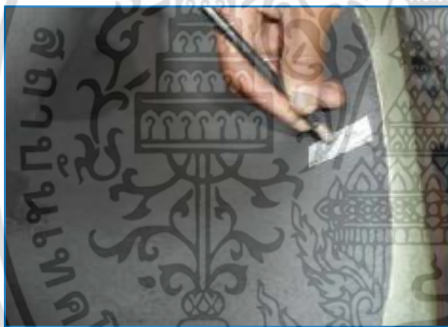


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



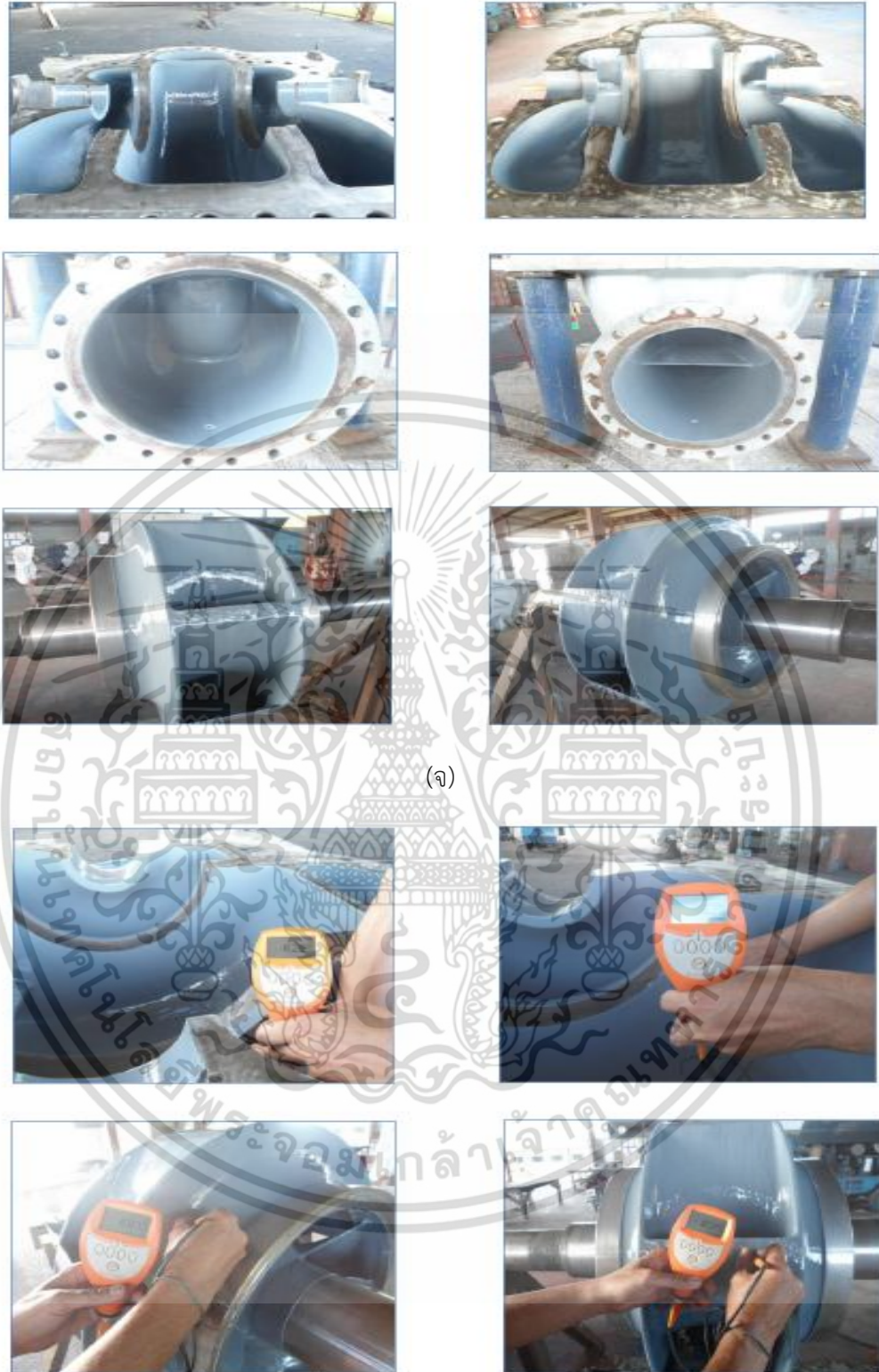
(ข)



(ค)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัด (ก) ฟันทรายเพื่อทำความสะอาดผิว (ข) ทำความสะอาดพื้นผิวอีกครั้งด้วย STEAM (ค) เช็คความหยาบของพื้นผิวอยู่ที่ 75 – 125 ไมครอน (ง) ทำการเคลือบครั้งแรก (สีเขียว) (จ) ทำการเคลือบผิวครั้งที่สอง (สีเทา) (ฉ) เช็คความหนาของ DRY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน FILM อยู่ที่ 500 ไมครอน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

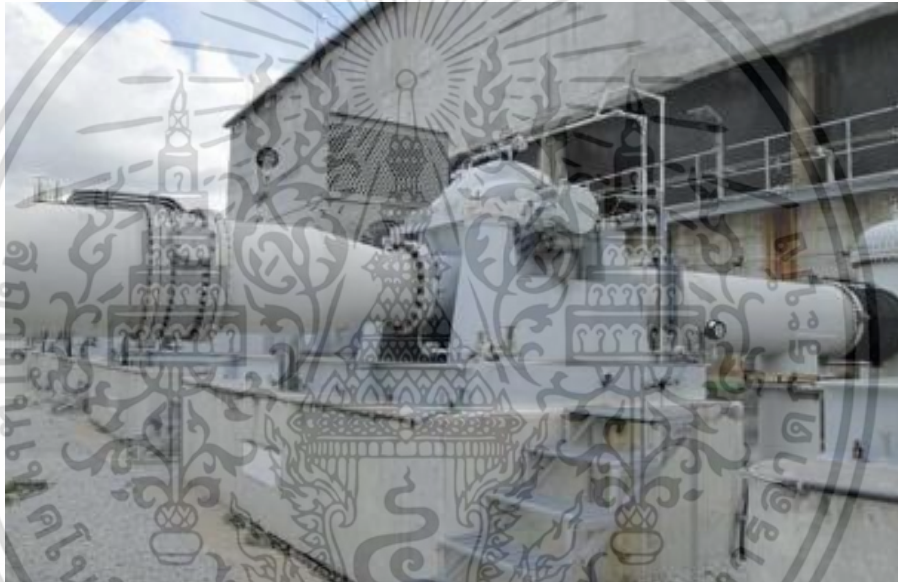
บทที่ 5

อุปกรณ์การทดสอบและวิธีการทดสอบ

5.1 อุปกรณ์การทดสอบ

ชุดอุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนต่างๆดังนี้

1. ปั๊มแรงเหวี่ยง ที่ใช้ในการทดสอบเป็นปั๊มแบบแรงเหวี่ยงใช้เป็นปั๊ม cooling ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสารฟินอลและสารอะซิโตน เป็นปั๊มที่ผ่านการเดินเครื่องเพื่อใช้งานเป็นเวลา 3 ปี ดังรูป 5.1หลังจากนั้นนำปั๊มมาเคลือบภายในเรือนปั๊มและใบพัด ดังรูป (ก) และ (ข)



รูปที่ 5.1 แสดงปั๊มแรงเหวี่ยงที่ใช้การทดสอบ



(ก) เคลือบเรือนปั๊ม

(ข) เคลือบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก ใช้หลักความแตกต่างความเร็วในการเดินทางของคลื่นความถี่เหนือเสียง ความเร็วจะมากขึ้นเมื่อทิศทางการไหลและทิศทางของคลื่นความถี่เป็นไปในทิศทางเดียวกันและจะลดลงเมื่อทิศทางการไหลและทิศทางของคลื่นความถี่ไหลกลับกัน ซึ่ง Ultrasonic flow meter ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของบ่มี มีค่า Full- Scale อยู่ที่ 10,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, ดังรูป 5.2



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.2 (ก) แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic flow meter) และ (ข) แสดงการวัดอัตราการไหลโดยใช้ Ultrasonic flow

3. เกจวัดความดัน ที่ใช้ในการทดสอบจะถูกติดตั้งที่บริเวณท่อดูด (Suction) และท่อจ่าย (Discharge)



รูปที่ 5.3 แสดงเกจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องวัดรอบ จะแสดงผลแบบตัวเลขมีความเที่ยงตรงใช้ทั้งแบบจี้สัมผัสกับเพลลาเครื่องจักร หรือแบบใช้แสง ดังรูป 5.4



รูปที่ 5.4 เครื่องวัดรอบ

5. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ใช้วัดกำลังไฟฟ้าทางด้านจ่ายพลังงานไฟฟ้าจาก ตู้ MCP ให้มอเตอร์ (Power Input) ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าจะหาจากสมการ

$$P_{e(\text{Input})} = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \text{Cos } \theta \quad (5.1)$$

เมื่อ P_e = กำลังไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์ (Input Power); kW

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า; V

I = กระแสไฟฟ้า; A

$\text{Cos } \theta$ = Power Factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องวัดทอร์ก ใช้วัด Output Torque ของเครื่องต้นกำลัง หรือ Input Torque ของปั๊ม การติดตั้งต้องเที่ยงตรงของแนวศูนย์กลางสูง ดังรูปที่ 5.6 โดยใช้เครื่องตั้งแนวศูนย์ ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 เครื่องวัดทอร์ก



รูปที่ 5.7 เครื่องตั้งแนวศูนย์กลางแบบไดอัลเกจ

กำลังมอเตอร์หาได้จาก

$$P_{m(\text{output})} = \frac{2\pi T_m \cdot n}{60} \quad (5.2)$$

เมื่อ $P_{m(\text{output})}$ = กำลังที่ได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า (Output): kW

T_m = แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า: kNm (อ่านค่าได้จากทอร์กมิเตอร์)

n = ความเร็วรอบ: rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า

$$\eta_m = \frac{P_{m(\text{output})}}{P_{e(\text{Input})}} = \frac{\frac{2\pi T_m \cdot n}{60}}{\sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \theta} \quad (5.3)$$

กำลังขับของปั๊ม

$$P_p(\text{Input}) = P_{m(\text{output})} = \frac{2\pi T_m \cdot n}{60} \quad (5.4)$$

กำลังไฮดรอลิกของปั๊มน้ำ

$$P_{hydraulic} = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (5.5)$$

เมื่อ $P_{hydraulic}$ = กำลังไฮดรอลิกของปั๊มน้ำ ; KW

Q = อัตราการไหล ; m³/h

H = เหนือรวมของปั๊ม ; m

γ = น้ำหนักจำเพาะ = 9.81 kN/m³

ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำ

$$\eta_p = \frac{P_{hydraulic}}{P_p(\text{Input})} = \frac{P_{hydraulic}}{P_{m(\text{output})}} = \left(\frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\frac{2\pi T_m \cdot n}{60}} \right) \quad (5.6)$$

กำลังมอเตอร์ขับของปั๊ม

$$P_p = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_m \cdot \eta_p} \quad (5.7)$$

เมื่อ

P_p = กำลังขับของปั๊มน้ำ ; KW

Q = อัตราการไหล ; m³/h

γ = น้ำหนักจำเพาะ = 9.81 kN/m³

η_m = ประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้า ; %

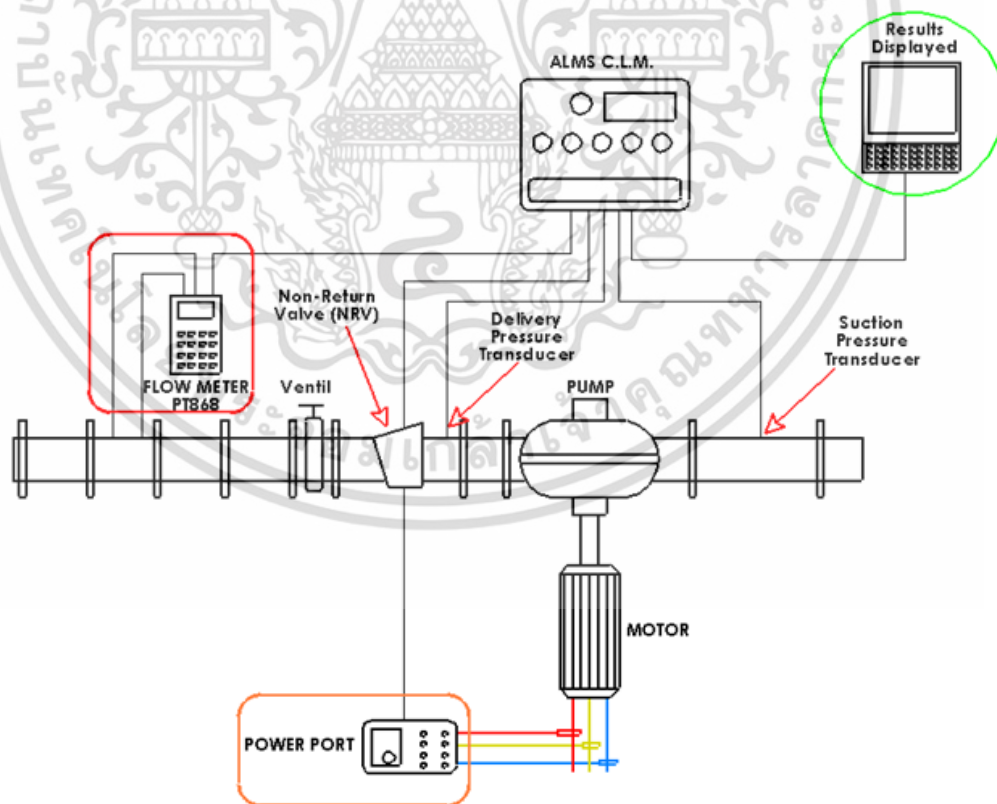
η_p = ประสิทธิภาพปั๊มน้ำ ; %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดสอบ

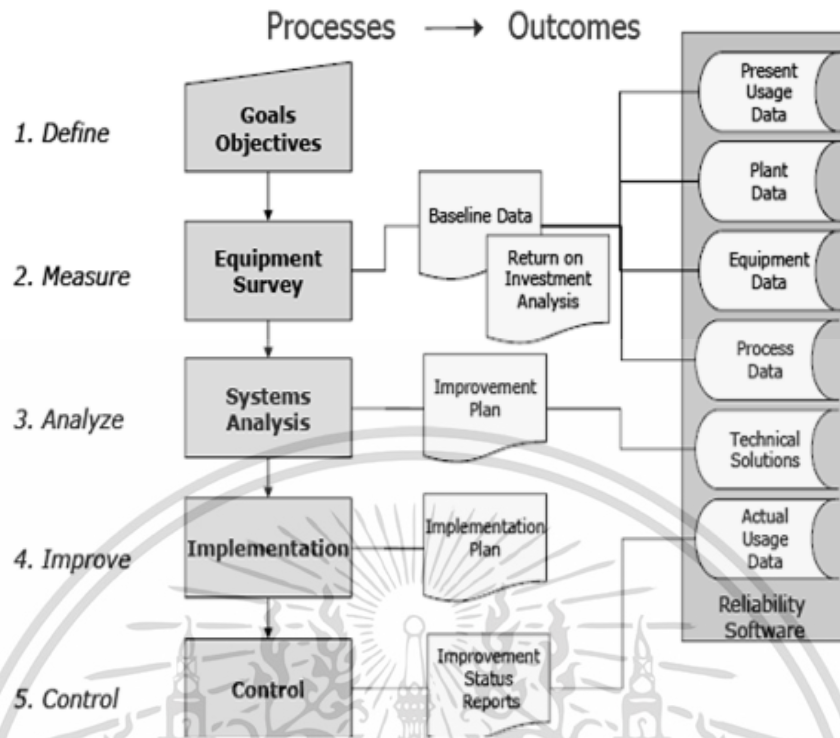
แผนภูมิการทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังเคลือบ ดังรูปที่ 5.8 มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ทำการสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือวัดทั้งหมดพร้อมทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลอัลตราโซนิก, เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า, ทอร์คมิเตอร์, เครื่องวัดแรงดันที่ท่อดูดและท่อจ่าย, ทำการติดตั้งตัวเชื่อมแปลงสัญญาณของเครื่องวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ Powerport ส่งสัญญาณเพื่อเชื่อมที่อุปกรณ์ทำแปลงสัญญาณแปลงค่ามาที่อุปกรณ์คอมพิวเตอร์
2. เดินปั๊มใช้งานตามปกติ โดยเริ่มบันทึกค่าอุปกรณ์เครื่องมือวัด ทุกๆ 10 นาทีตั้งแต่ 8.30-16.30 น. ในเงื่อนไขที่อุณหภูมิและสภาพอากาศปกติ จำนวน 1 เดือนโดยนำผลที่ได้จากอุปกรณ์วัดทั้งหมดมาบันทึกเป็นข้อมูลดิบทั้งก่อนและหลังการเคลือบ
3. นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ อัตราการไหล, เฮด, ประสิทธิภาพของปั๊ม, กำลัง, แรงดันท่อจ่ายและท่อดูด, ความเสียดทานและการใช้พลังงาน
4. หลังจากให้นำปั๊มมาทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิกแล้วได้ทำการทดสอบซ้ำตามข้อที่ 1-3
5. นำค่าที่ได้จากการทดสอบก่อนและหลังเคลือบ มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะ, ความเสียดทาน, การใช้พลังงาน และ ระยะเวลาการคืนทุนของการเคลือบ



รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ผลทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

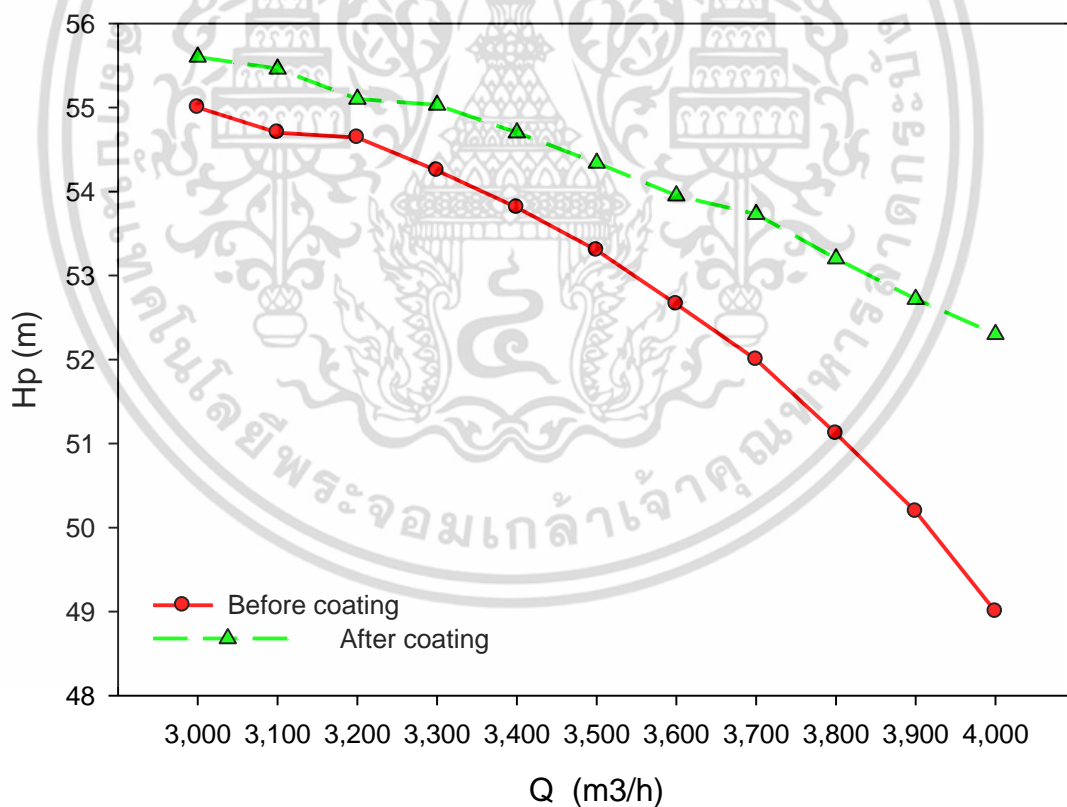
บทที่ 6

ผลการทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบ สมรรถนะของปั๊มหลังการเคลือบผิวภายในเรือนปั๊ม และใบพัด โดยนำผลทดสอบที่ได้เทียบกับผลทดสอบสมรรถนะของปั๊มหลังจากที่เดินเครื่องใช้งาน 3 ปี เพื่อประเมินผลทดสอบสมรรถนะของปั๊มและความคุ้มค่าในการเคลือบผิวครั้งนี้

6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ

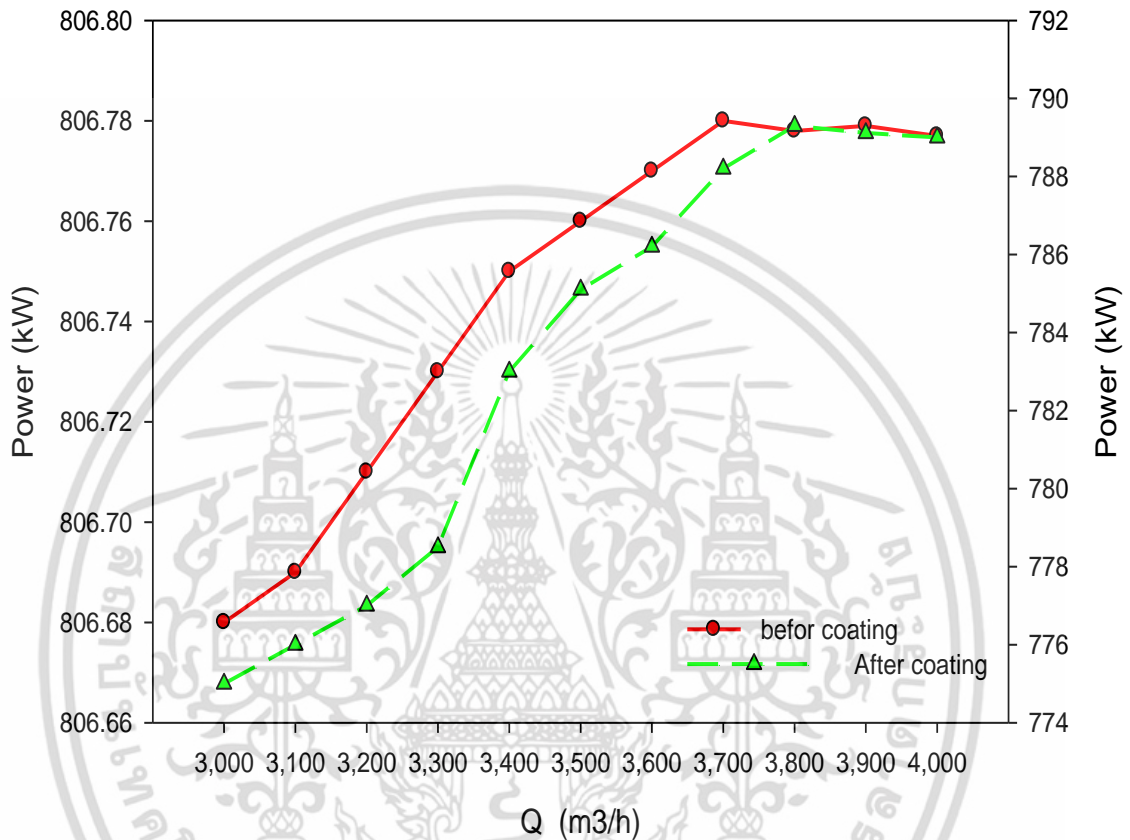
จากผลการทดสอบสมรรถนะปั๊มาก่อนและเคลือบพบว่าที่ อัตราการไหล 3,000 – 4,000 m^3/h มีแนวโน้มค่า H_p ลดลงใกล้เคียงกันเมื่อ Q เพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าที่ Q 3,800-4,000 m^3/h จะมีค่า H_p แตกต่างมากขึ้นดังรูปที่ 6.1 การสูญเสีย H_p ปั๊มาก่อนเคลือบเนื่องจากปั๊มมีการเดินเครื่องใช้งานนานทำให้เกิดการสูญเสียแรงบิดเนื่องจากแบร็ง, ความเสียดทานเนื่องจากการไหลระหว่างใบพัดกับตัวเรือนปั๊ม, การรั่วภายใน เป็นต้น



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฮดก่อนและหลังการเคลือบ

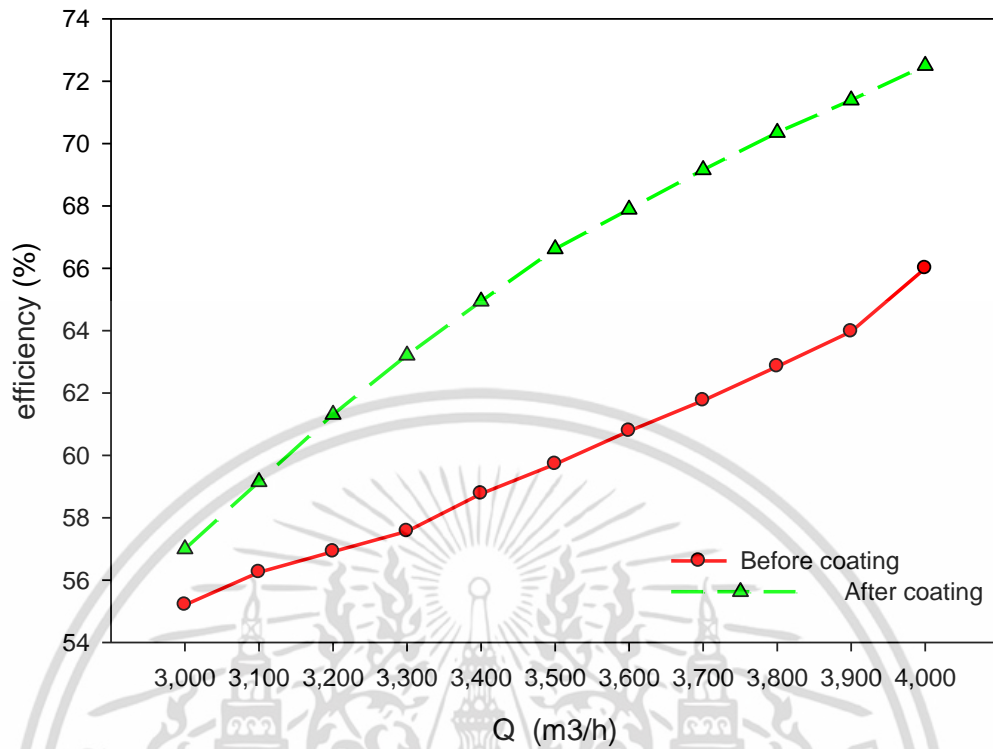
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบทางกำลังไฟฟ้าของปั๊มก่อนเคลือบและหลังการเคลือบพบว่าการใช้พลังงานของปั๊มก่อนการเคลือบจะมีค่าสูงกว่าหลังเคลือบเนื่องจาก กำลังบางส่วนจะเกิดการสูญเสียเมื่อของไหลผ่านใบพัดเนื่องจากเกิดความเสียดทานจากของไหลไหลผ่านช่องว่างครีบบใบพัด หลังจากปั๊มเคลือบผิวก็จะทำให้เกิดความเสียดทานลดลง ทำให้ใช้กำลังลดลง ดังรูปที่ 6.2

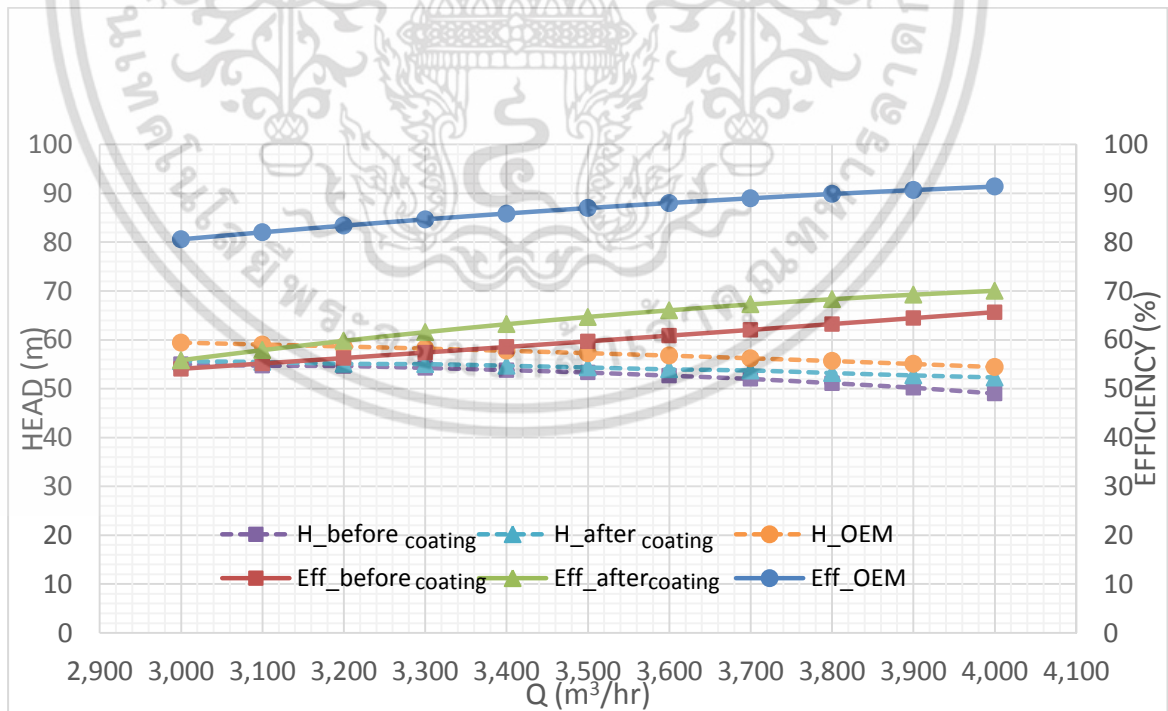


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่ากำลังก่อนและหลังการเคลือบ

จากผลการทดสอบค่า H_p , P ที่ Q ตั้งแต่ 3,000 - 4,000 m³/h จากการเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะจะพบว่าปั๊มที่ผ่านการเคลือบจะมีสมรรถนะที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเคลือบ และเมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่าจะมีค่าประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังรูปที่ 6.3 จากผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนเคลือบ, หลังเคลือบ ได้นำมาเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะของบริษัทผู้ผลิต (OEM) ดังรูปที่ 6.4



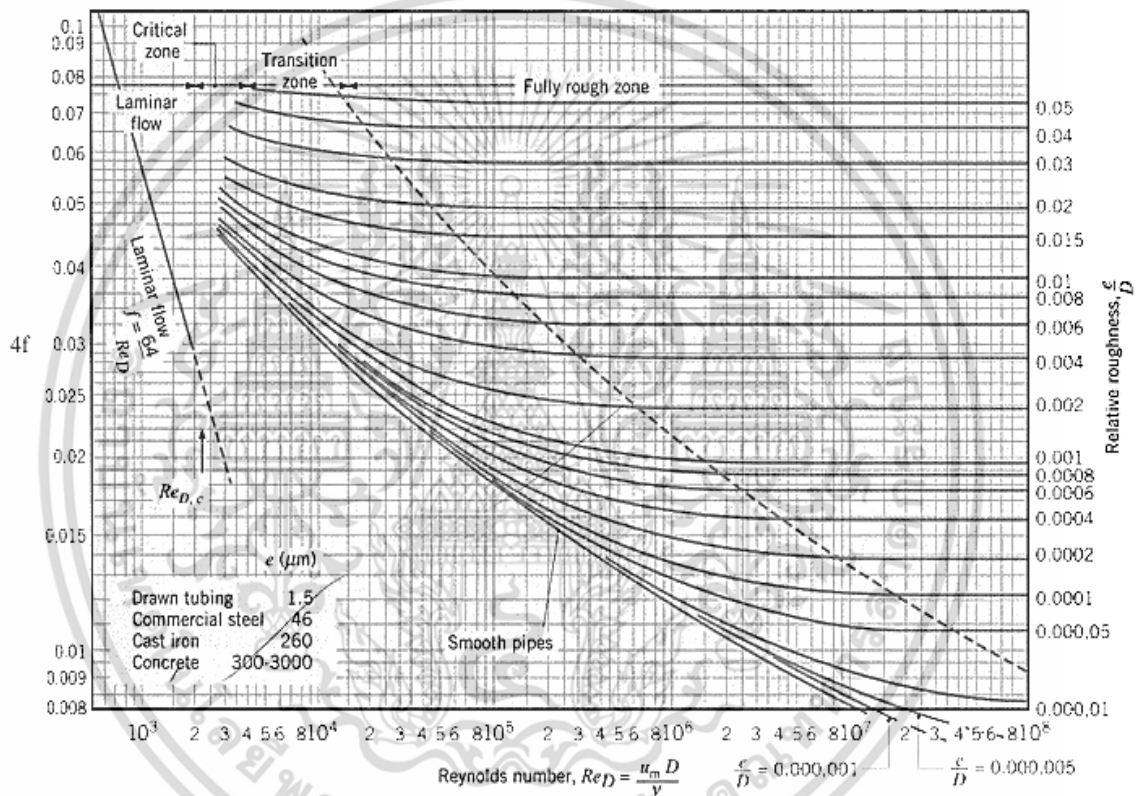
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพก่อนและหลังการเคลือบ



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของปั๊มก่อน, หลังการเคลือบ และผู้ผลิต (OEM)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

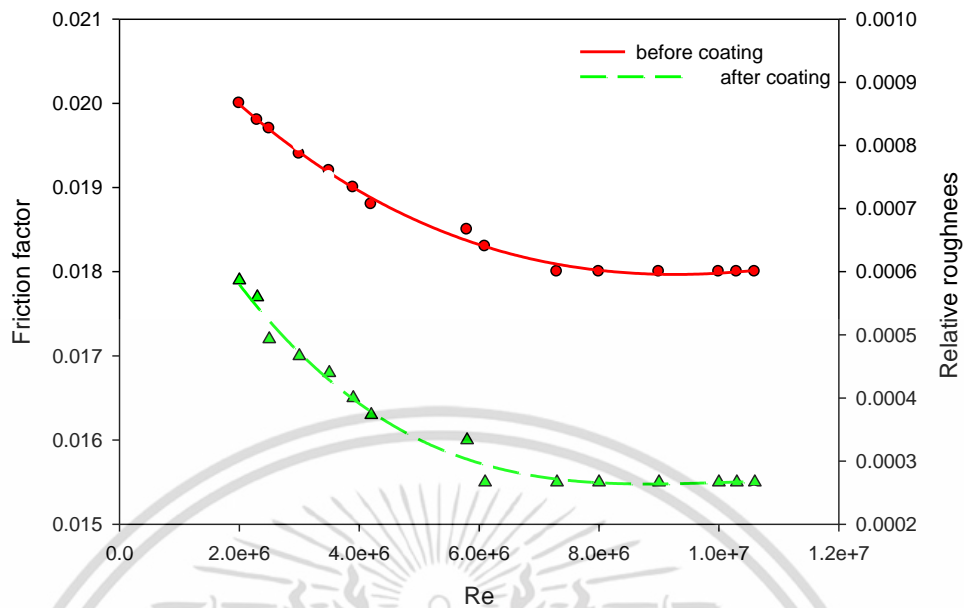
6.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความเสียดทาน

จากผลการทดสอบจะพบว่าสมรรถนะของปั๊มหลังเคลือบจะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเคลือบ เนื่องจากการเคลือบผิวส่งผลให้ลดค่าความเสียดทานได้ ดังนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเสียดทานเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการเคลือบโดยใช้ Moody chart [14] ดังรูปที่ 6.5 เป็นตัววิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความเสียดทาน พบว่าที่ปั๊มก่อนเคลือบ จะมีค่า $\epsilon/D = 0.000508$ และมีค่า $Re = 7.3 \times 10^6$ หลังจากปั๊มเคลือบผิว จะมีค่า $\epsilon/D = 0.00014$ และมีค่า $Re = 7.6 \times 10^6$ แต่จะเห็นว่ามีค่า Re ใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าความเสียดทานหลังการเคลือบลดลง 16% จากก่อนเคลือบดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.5 Moody Chart สำหรับความเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบและผนังขรุขระ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 Moody Chart สำหรับเปรียบเทียบความเสียดทานก่อนเคลือบ (สีแดง) และ หลังเคลือบ (สีเขียว)

6.3 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน [18] ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการปรับปรุงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะต้องเตรียมข้อมูลค่าใช้จ่ายและรายรับของโครงการในแต่ละช่วงเวลา เพื่อนำมาใช้ประเมินผลตอบแทนการลงทุนดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ได้แก่ ค่าที่ดิน, ค่าปรับปรุงที่ดิน, ค่าออกแบบก่อสร้าง, ค่าอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ, ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง, ค่าใช้จ่ายอื่นๆเช่น ค่าเสียโอกาสในการหยุดประกอบกิจการชั่วคราว, ค่าฝึกอบรมพนักงาน

1.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน, ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน, ค่าสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ, ค่าซ่อมบำรุง, ค่าบริหารจัดการ

2. รายรับของโครงการ ประกอบด้วย ค่าพลังงานที่ประหยัดได้, ค่าแรงงาน/ค่าซ่อมบำรุงรักษาที่ประหยัดได้, รายรับจากผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจากการจัดทำโครงการ

วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนมีหลายวิธีซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้เลือกระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึงระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมมีค่าเท่ากับเงินลงทุน การประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้ทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนในเวลาช้าหรือเร็ววิธีการนี้เป็นวิธีประเมินที่นิยมใช้ ใน

กรณีที่ผลตอบแทนหรือผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานมีค่าเท่ากันทุกปี จะ

คำนวณระยะเวลาในการคืนทุนได้จาก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน (บาท)}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี (บาท/ปี)}} \quad (6.1)$$

ตารางที่ 6.1 แสดงการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุน

| ตารางประมาณการผลวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ก่อนการเคลือบผิวปัมและหลังการเคลือบผิวปัม | | | |
|--|---------------|---|--------------|
| รายการ | ก่อนเคลือบผิว | หลังเคลือบผิว | หน่วย |
| ข้อมูล | | | |
| - จำนวนชั่วโมงทำงานทั้งหมด | 8,784 | 8,784 | ชั่วโมง / ปี |
| - กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ย | 806.50 | 783.00 | kW |
| - พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน | 590,358.00 | 573,156.00 | kWh / เดือน |
| - พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี | 7,084,296.00 | 6,877,872.00 | kWh / ปี |
| - ค่าไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อเดือน | 2,139,811.61 | 2,077,461.24 | บาท / เดือน |
| - ค่าไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อปี | 25,677,739.28 | 24,929,534.85 | บาท / ปี |
| ค่าใช้จ่าย | | | |
| - ราคาปั๊ม มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พร้อมค่าแรงติดตั้ง (รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%) | 1,300,000.00 | | บาท |
| ผลประโยชน์ที่จะได้ | | | |
| - ค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลง | 23.50 | | kW |
| - ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อเดือน | 17,202.00 | | kWh / เดือน |
| - ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี | 206,424.00 | | kWh / ปี |
| - ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อเดือน | 62,350.37 | | บาท / เดือน |
| - ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี | 748,204.43 | | บาท / ปี |
| ระยะเวลาคืนทุน | | | |
| - เงินลงทุน / ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีทั้งหมด | 1.74 | | ปี |
| -(เงินลงทุน / ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปีทั้งหมด) x จำนวนเดือน | 21 | | เดือน |
| หมายเหตุ | 1 | ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 3.62 บาท | |
| | 2 | รับประกันผลการประหยัดไม่ต่ำกว่า 2.91 % เทียบกับก่อนเคลือบผิวปั๊ม | |
| | 3 | ค่าไฟฟ้าในอนาคตมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุน <u>สั้นลง</u> กว่าค่าที่ประมาณการไว้ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดสอบ

1. จากผลการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงก่อนและหลังการเคลือบผิวที่อัตราการไหลต่างๆ พบว่าปั๊มก่อนการเคลือบมีสมรรถนะลดลงเนื่องจากเกิดความเสียหายจากการไหลระหว่างใบพัดกับตัวเรือนปั๊ม, การสูญเสียแรงบิดเนื่องจากแบริงสึกหรือความเสียหายของประเก็น, การรั่วภายใน ซึ่งนำมาเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะปั๊มใหม่ของผู้ผลิตพบว่า มีประสิทธิภาพลดลงอยู่ที่ 61.3% อัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 3,664 m³/h เฮดอยู่ที่ 52 m กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 806.5 kW หลังจากที่ทำปั๊มทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัดและทำการทดสอบที่เงื่อนไขเดียวกันพบว่าปั๊มมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 70.5% อัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 3,856 m³/h เฮดอยู่ที่ 55 m กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงเหลืออยู่ที่ 783 kW

2. เมื่อนำผลทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังเคลือบนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเสียหายจากผลการทดสอบจะพบว่าสมรรถนะของปั๊มหลังเคลือบจะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเคลือบเนื่องจากการเคลือบผิวส่งผลให้ลดค่าความเสียหายได้ ดังนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเสียหายเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการเคลือบโดยใช้ Moody chart ดังรูปที่ 6.4 เป็นตัววิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความเสียหาย พบว่าที่ปั๊มก่อนเคลือบ จะมีค่า $\epsilon/D = 0.000508$ และมีค่า $Re = 7.3 \times 10^6$ หลังจากปั๊มเคลือบผิว จะมีค่า $\epsilon/D = 0.00014$ และมีค่า $Re = 7.6 \times 10^6$ แต่จะเห็นว่าค่า Re ใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าความเสียหายหลังการเคลือบลดลง 16% จากก่อนเคลือบเนื่องจากการเคลือบผิวเพื่อปรับพื้นผิวให้มีความเรียบมากที่สุด

3. ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความคุ้มค่าของการลงทุนทำการเคลือบผิว พบว่ามีการประหยัดพลังงานอยู่ที่ 2.91% โดยจะพบว่ามีค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานลดลง 748,204.43 บาท/ปี ได้ทำการวิเคราะห์ระยะคืนทุนพบว่าอยู่ที่ 21 เดือน

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มไม่สามารถนำมาวิเคราะห์กับข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิตเนื่องจากปั๊มได้ทำการเดินเครื่องใช้งานมา 3 ปีแล้วซึ่งข้อมูลสมรรถนะของปั๊มจากผู้ผลิตเป็นข้อมูลของปั๊มใหม่

2. ทำการเปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ได้ไม่สามารถนำไปพล็อตกราฟได้เนื่องจากการวัดค่าความเสียหายไม่นิยมวัดภายในปั๊ม ผลการวิเคราะห์ที่ได้คิดที่ค่า 2 จุดคือก่อนและหลังเท่านั้น

3. การวิเคราะห์การใช้พลังงานได้เพียงคิดที่ค่าเฉลี่ยเพื่อประเมินการเบื้องต้นในการตัดสินใจลงทุนเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jeremie M. “Coating Technology Increases Pump Performance”, 2008. PP. 1-10
- [2] DA BEL, “Efficiency Tests on a 10-inch centrifugal pump before and after the application of a coating”, Report Ref 432/88 BEMO/01, National Engineering Laboratory, 1989
- [3] Karen V. “Energy Savings through Pump Refurbishment and Coatings Maintenance Matters”, 2008. pp 1-4
- [4] นายภูธร ตี๋ยมปราย.2546 “ผลของมุมใบพัดต่อสมรรถนะของงานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรง”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Satoshi Ogata., Asano Kimura., Keizo Watanabe “Effect of Surfactant Additives on Centrifugal Pump Performance”, 794 / Vol. 128, July 2006.
- [6] Robert C. Tucker, Jr. “Coatings for Centrifugal Pump Components” Associate Director, Materials Development Union Carbide Corporation, Indianapolis, Indiana, 1982. pp 107-110
- [7] นายมานพ พิพัฒกุล และ นายวินัส ทัดเนียม “ผลกระทบความเร็วรอบที่มีต่อสมรรถนะปั๊ม”, วารสารปทุมวัน ปีที่1 ฉบับที่ 1
- [8] นายณัฐสมุทร เอกภาพสากล และ นายสุรัชย์ รดาการ “การเพิ่มสมรรถนะของปั๊มน้ำด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในระบบป้องกันอัคคีภัย”, วิศวกรรมสาร มก.ฉบับที่ 83 ปีที่ 26 มกราคม – มีนาคม 2556
- [9] นายปวีต หนูเกตุ และ นายสถาพร สุปรีชากร “ผลของการเปลี่ยนตำแหน่งขาเข้าของกลีบใบพัดที่มีต่อสมรรถนะของสูบแบบไหลตามแนวรัศมี”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต
- [10] นายอรรถสิทธิ์ สวนจันทร์ และคณะ “อิทธิพลของจำนวนใบเบลตต่อสมรรถนะปั๊มน้ำหอยโข่ง”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่
- [11] Church H., Jagdish L., “Centrifugal Pumps and Blowers”, John Wiley and Sons.Inc. 1973.
- [12] Stepanoff .J. “Centrifugal and axial flow pumps: theory, design and application”, 2nd ed. USA: John Wiley & Sons Inc, 1957.
- [13] คำสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อด้วยวัสดุต่างๆ
<http://industrialpumps-tsy.blogspot.com/2013/09/pipe-friction-losses.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] BRUCR R. MUNSON, DONALD F. YOUNG and THEODORE H. OKIISHI, “FUNDAMENTALS OF FLUID MECHANICS”, Iowa State University, 2006
- [15] ชำรง เปรมปรีดี และ ดำรงค์ศักดิ์ มลิลิตา. เครื่องสูบน้ำ “ การออกแบบ การใช้งานและการบำรุงรักษา”, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2534.
- [16] Grundfos “Pump Handbook”, www.grundfos.com
- [17] ซีริน อยู่เจริญ. 2550. “อีพอกซี กับงานซ่อมบำรุงชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ” <http://www.thailandindustry.com/guru>, หน้า 1-7
- [18] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “คู่มือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน” ตุลาคม 2549



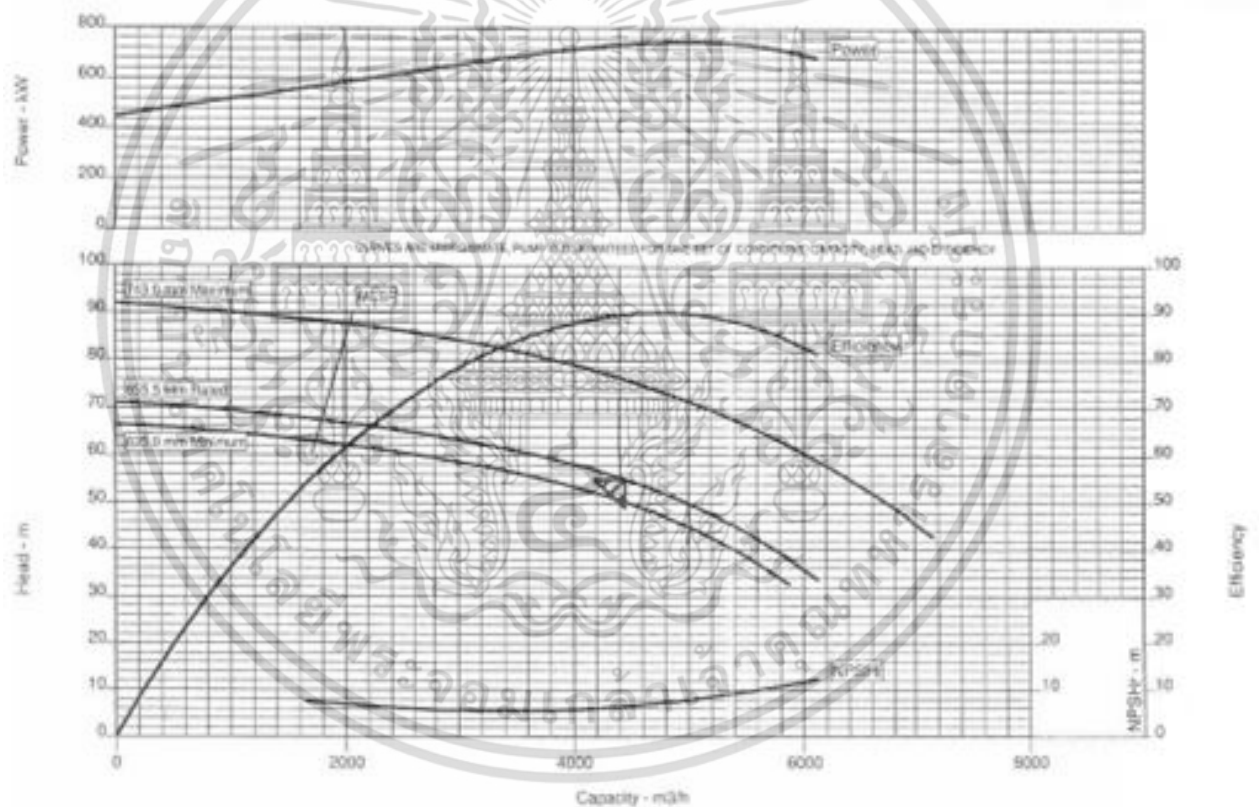
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUMP DATA SHEET

Vendor's name: FLOWSERVE PUMP DIVISION – WORTHINGTON S.p.a.
 Company's name: PTT PHENOL COMPANY LIMITED
 Purchaser's name: CTCI CORPORATION
 Plant Location: Map Ta Phut, Thailand
 Project name: PTT Phenol Project Map Ta Phut
 Purchase Order No.: 06P1139-F0019
 Unit / Service: Cooling Water Circulating Pumps
 Equipment name: CENTRFUGAL PUMPS
 Item Number: P-6102 A/B/S



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ISO 13709 (API 610 9TH)
CENTRIFUGAL PUMP
PROCESS DATA SHEET**

PAGE 1 OF 4

JOB NO. **06E7449** ITEM NO.(S) **P-6102 A/B/C**
 REQ / SPEC NO. /
 PURCH ORDER NO. DATE
 INQUIRY NO BY

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|----------|---|--------------------------------------|-----|--------|-----|-------|----------|------|--------|------|--|----|--|
| 1 APPLICABLE TO: <input type="radio"/> PROPOSALS <input checked="" type="radio"/> PURCHASE <input type="radio"/> AS BUILT | | UNIT PTT PHENOL PLANT | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 FOR PTT PHENOL COMPANY LIMITED | | SERVICE COOLING WATER CIRCULATING PUMP | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 SITE MAP TA PHUT, THAILAND | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 NOTES: INFORMATION BELOW TO BE COMPLETED: <input type="radio"/> BY PURCHASER <input type="radio"/> BY MANUFACTURER <input checked="" type="radio"/> BY MANUFACTURER OR PURCHASER | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 <input type="radio"/> DATA SHEETS (6.1.1) REVISIONS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | ITEM NO. | ATTACHED | ITEM NO. | ATTACHED | ITEM NO. | ATTACHED | NO. | DATE | BY | Check | Approved | | | | | | |
| 7 | PUMP | P-6102 A/B/C | | | | | 00 | 5/2/06 | FAP | JWC | TLC | | | | | | |
| 8 | MOTOR | PM-6102 A/B/C | | | | | 01 | 8/3/06 | FAP | JWC | TLC | | | | | | |
| 9 | GEAR | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | TURBINE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 APPLICABLE OVERLAY STANDARD(S): | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 <input type="radio"/> OPERATING CONDITIONS (5.1.3) | | | | | | <input type="radio"/> LIQUID (5.1.3) | | | | | | | | | | | |
| 13 | CAPACITY, NORMAL 4045.5 (m ³ /h) RATED 4450 (m ³ /h) | | LIQUID TYPE OR NAME COOLING WATER | | <input type="radio"/> HAZARDOUS <input type="radio"/> FLAMMABLE <input type="radio"/> (5.1.5) | | | | | | | | | | | | |
| 14 | OTHER | | | | <table border="1"> <tr> <td>MIN.</td> <td>NORMAL</td> <td>MAX.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>33</td> <td></td> </tr> </table> | | | | | | | MIN. | NORMAL | MAX. | | 33 | |
| MIN. | NORMAL | MAX. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | SUCTION PRESSURE MAX./RATED 0.16 / -0.08 (kg/cm ² G) | | DISCHARGE PRESSURE 5.4 (kg/cm ² G) | | PUMPING TEMP (°C) 33 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | DIFFERENTIAL PRESSURE 5.47 (kg/cm ²) | | DIFF. HEAD 55.0 (m) NPSHA 9.09 (1) (m) | | VAPOR PRESS. (kg/cm ² A) 0.05 | | | | | | | | | | | | |
| 17 | PROCESS VARIATIONS (5.1.4) | | STARTING CONDITIONS (5.1.4) | | RELATIVE DENSITY (SG): 0.9946 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | SERVICE: <input checked="" type="radio"/> CONT. <input type="radio"/> INTERMITTENT (STARTS/DAY) | | <input type="radio"/> PARALLEL OPERATION REQ'D (5.1.13) | | VISCOSITY (CP) 0.748 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | <input type="radio"/> SITE DATA (5.1.3) | | LOCATION: (5.1.30) | | SPECIFIC HEAT, Cp (kJ/kg-°C) (kcal/kg °C) | | | | | | | | | | | | |
| 20 | <input type="radio"/> INDOOR <input type="radio"/> HEATED <input checked="" type="radio"/> OUTDOOR <input checked="" type="radio"/> UNHEATED | | <input type="radio"/> ELECTRICAL AREA CLASSIFICATION (5.1.24 / 6.1.4) | | <input type="radio"/> CHLORIDE CONCENTRATION (PPM) | | | | | | | | | | | | |
| 21 | <input type="radio"/> CL <input type="radio"/> GR <input type="radio"/> DIV | | <input type="radio"/> WINTERIZATION REQ'D <input checked="" type="radio"/> TROPICALIZATION REQ'D | | <input type="radio"/> H ₂ S CONCENTRATION (6.5.2.4) (PPM) WET (5.2.1.12c) | | | | | | | | | | | | |
| 22 | SITE DATA (5.1.30) | | ALTITUDE 17-20.5 (m) BAROMETER 1.04 (kg/cm ² A) | | CORROSIVE / EROSION AGENT (5.12.1.9) | | | | | | | | | | | | |
| 23 | RANGE OF AMBIENT TEMPS: MIN / MAX 11 / 39.5 (°C) | | RELATIVE HUMIDITY: MIN / MAX 23 / 99 (%) | | MATERIALS | | | | | | | | | | | | |
| 24 | UNUSUAL CONDITIONS: (5.1.30) <input type="radio"/> DUST <input type="radio"/> FUMES | | OTHER MARINE | | <input checked="" type="radio"/> ANNEX H CLASS (6.12.1.1) S-6 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | <input type="radio"/> DRIVER TYPE | | <input checked="" type="radio"/> INDUCTION MOTOR <input type="radio"/> STEAM TURBINE <input type="radio"/> GEAR | | <input type="radio"/> MIN DESIGN METAL TEMP (5.12.4.1) 15 (°C) | | | | | | | | | | | | |
| 26 | <input type="radio"/> OTHER | | <input type="radio"/> OTHER | | <input type="radio"/> REDUCED HARDNESS MATERIALS REQ'D. (5.12.1.12) | | | | | | | | | | | | |
| 27 | MOTOR DRIVER (6.1.1 / 6.1.4) | | MANUFACTURER TOSHIBA | | <input type="radio"/> BARREL/CASE A216 WCB CS IMPELLER A487CA6NM 12%CHR | | | | | | | | | | | | |
| 28 | FRAME <input type="radio"/> 940 (kW) <input checked="" type="radio"/> 975/6poles (RPM) | | <input type="radio"/> ENCLOSURE | | <input type="radio"/> CASE/IMPELLER WEAR RINGS A426CPCA15 | | | | | | | | | | | | |
| 29 | <input type="radio"/> HORIZONTAL <input checked="" type="radio"/> VERTICAL <input type="radio"/> SERVICE FACTOR | | <input type="radio"/> VOLTS/PHASE/HERTZ | | <input type="radio"/> SHAFT A434-4140 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | <input type="radio"/> TYPE | | MINIMUM STARTING VOLTAGE (6.1.5) | | <input type="radio"/> DIFFUSERS | | | | | | | | | | | | |
| 31 | <input type="radio"/> INSULATION <input type="radio"/> TEMP. RISE | | FULL LOAD AMPS | | <input checked="" type="radio"/> PERFORMANCE: | | | | | | | | | | | | |
| 32 | <input type="radio"/> LOCKED ROTOR AMPS | | STARTING METHOD | | PROPOSAL CURVE NO. 20LPN 28-C <input type="radio"/> RPM 975 | | | | | | | | | | | | |
| 33 | <input type="radio"/> LUBE | | BEARINGS (TYPE/NUMBER): | | <input type="radio"/> IMPELLER DIA. RATED 655.5 MAX. 743 MIN. 635 (mm) | | | | | | | | | | | | |
| 34 | <input type="radio"/> RADIAL | | <input type="radio"/> THRUST | | <input checked="" type="radio"/> IMPELLER TYPE CLOSED | | | | | | | | | | | | |
| 35 | <input type="radio"/> VERTICAL THRUST CAPACITY | | UP (N) DOWN (N) | | <input type="radio"/> RATED POWER 738 (kW) EFFICIENCY 89.8 (%) | | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | <input type="radio"/> MINIMUM CONTINUOUS FLOW: | | | | | | | | | | | | |
| 37 | | | | | THERMAL (m ³ /h) STABLE 1794.7 (m ³ /h) | | | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | <input checked="" type="radio"/> PREFERRED OPER. REGION 3115 TO 5340 (m ³ /h) | | | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | <input checked="" type="radio"/> ALLOWABLE OPER. REGION 1794.7 TO 7100 (m ³ /h) | | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | <input checked="" type="radio"/> MAX HEAD @ RATED IMPELLER 71 (m) | | | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | <input checked="" type="radio"/> MAX POWER @ RATED IMPELLER 752 (kW) | | | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | <input checked="" type="radio"/> NPSHR AT RATED CAPACITY 6.5 (m) (5.1.10) | | | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | <input checked="" type="radio"/> SUCTION SPECIFIC SPEED | | | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | MAX/ACTUAL / 8130 US (5.1.11) | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | <input checked="" type="radio"/> MAX. SOUND PRESS. LEVEL REQ'D (dBA) (5.1.16) | | | | | | | | | | | | |
| 46 | | | | | <input checked="" type="radio"/> EST MAX SOUND PRESS. LEVEL 82(PUMP ONLY) (dBA) (5.1.16) | | | | | | | | | | | | |
| 47 | | | | | <input type="radio"/> UTILITY CONDITIONS | | | | | | | | | | | | |
| 48 | | | | | ELECTRICITY | | | | | | | | | | | | |
| 49 | | | | | DRIVERS | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | HEATING | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | SYSTEM VOLTAGE DIP <input checked="" type="radio"/> 80% <input type="radio"/> OTHER (6.1.5) | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | STEAM | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | DRIVERS | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | HEATING | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | COOLING WATER: (5.1.19) SOURCE | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | SUPPLY TEMP. (°C) MAX. RETURN TEMP. (°C) | | | | | | | | | | | | |
| 57 | | | | | NORM. PRESS. (kg/cm ² G) DESIGN PRESS. (kg/cm ² G) | | | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | MIN. RET. PRESS. (kg/cm ² G) MAX. ALLOW. D.P. (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | | |
| 59 | | | | | CHLORIDE CONCENTRATION: (PPM) | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


中鼎工程股份有限公司
CTCI CORPORATION
ISO 13709 (API 610 9TH)
BETWEEN BEARINGS (TYPE BB)
CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

PAGE 3 OF 4


JOB NO. **06E7449** ITEM NO.(S) **P-6102 A/B/C**
 REQ / SPEC NO. _____
 PURCH ORDER NO. _____ DATE _____
 INQUIRY NO _____ BY _____

| CONSTRUCTION | SURFACE PREPARATION AND PAINT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------------|----------|--|------------|--------|---|---------|--------------|--|-----------|---------|--|--|--|-------------------------------------|---|--|--|--|--|--|
| 2 ROTATION: (VIEWED FROM COUPLING END) <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW 3 PUMP TYPE: (1.3) 4 <input checked="" type="checkbox"/> BB1 <input type="checkbox"/> BB2 <input type="checkbox"/> BB3 <input type="checkbox"/> BB5 5 CASING MOUNTING: 6 <input type="checkbox"/> CENTERLINE <input checked="" type="checkbox"/> NEAR CENTERLINE 7 <input type="checkbox"/> FOOT 8 CASING SPLIT: 9 <input checked="" type="checkbox"/> AXIAL <input type="checkbox"/> RADIAL 10 CASING TYPE: 11 <input type="checkbox"/> SINGLE VOLUTE <input checked="" type="checkbox"/> MULTIPLE VOLUTE <input type="checkbox"/> DIFFUSER 12 <input checked="" type="checkbox"/> BETWEEN BEARINGS <input type="checkbox"/> BARREL 13 CASE PRESSURE RATING: 14 <input checked="" type="checkbox"/> MAX ALLOWABLE WORKING PRESSURE 20 (kg/cm ² G) 15 @ P.T. _____ (°C) 16 <input checked="" type="checkbox"/> HYDROTEST PRESSURE 30 (kg/cm ² G) 17 <input type="checkbox"/> SUCTION PRESS. REGIONS MUST BE DESIGNED FOR MAWP (5.3.6) 18 <input checked="" type="checkbox"/> NOZZLE CONNECTIONS: (5.4.2) | <input type="checkbox"/> MANUFACTURER'S STANDARD <input type="checkbox"/> OTHER (SEE BELOW) <input checked="" type="checkbox"/> SPECIFICATION NO. ENG. STD. 13530-83A1 PUMP: <input checked="" type="checkbox"/> PUMP SURFACE PREPARATION _____ <input checked="" type="checkbox"/> PRIMER _____ <input checked="" type="checkbox"/> FINISH COAT _____ BASEPLATE: (6.3.17) <input checked="" type="checkbox"/> BASEPLATE SURFACE PREPARATION _____ <input checked="" type="checkbox"/> PRIMER _____ <input checked="" type="checkbox"/> FINISH COAT _____ <input checked="" type="checkbox"/> DETAILS OF LIFTING DEVICES (6.3.20) _____ SHIPMENT: (7.4.1) <input type="checkbox"/> DOMESTIC <input checked="" type="checkbox"/> EXPORT <input type="checkbox"/> EXPORT BOXING REQUIRED <input checked="" type="checkbox"/> OUTDOOR STORAGE MORE THAN 6 MONTHS SPARE ROTOR ASSEMBLY PACKAGED FOR: <input type="checkbox"/> SHIPPING CONTAINER (8.2.8.3) <input type="checkbox"/> VERTICAL STORAGE (8.2.8.2) <input type="checkbox"/> TYPE OF SHIPPING PREPARATION <input type="checkbox"/> N2 PURGE (8.2.8.4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>SIZE</th> <th>FLANGE RATING</th> <th>FACING</th> <th>POSITION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22 SUCTION</td> <td>24"</td> <td>ANSI 150#</td> <td>RF SIDE</td> </tr> <tr> <td>23 DISCHARGE</td> <td>20"</td> <td>ANSI 150#</td> <td>RF SIDE</td> </tr> <tr> <td>24 BALANCE DRUM</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | SIZE | FLANGE RATING | FACING | POSITION | 22 SUCTION | 24" | ANSI 150# | RF SIDE | 23 DISCHARGE | 20" | ANSI 150# | RF SIDE | 24 BALANCE DRUM | | | | HEATING AND COOLING <input type="checkbox"/> HEATING JACKET REQ'D. (5.8.9) <input type="checkbox"/> COOLING REQ'D. <input type="checkbox"/> COOLING WATER PIPING PLAN (6.5.3.1) C.W. PIPING: <input type="checkbox"/> PIPE <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> FITTINGS C.W. PIPING MATERIALS: <input type="checkbox"/> S. STEEL <input type="checkbox"/> C. STEEL <input type="checkbox"/> GALVANIZED COOLING WATER REQUIREMENTS: <input type="checkbox"/> BEARING HOUSING (m ³ /h) @ _____ (kg/cm ² G) <input type="checkbox"/> HEAT EXCHANGER (m ³ /h) @ _____ (kg/cm ² G) STEAM PIPING: <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> PIPE | | | | | |
| SIZE | FLANGE RATING | FACING | POSITION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 SUCTION | 24" | ANSI 150# | RF SIDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 DISCHARGE | 20" | ANSI 150# | RF SIDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 BALANCE DRUM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 PRESSURE CASING AUX. CONNECTIONS: (5.4.3) (Note 1) <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>NO.</th> <th>SIZE (NPS)</th> <th>TYPE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>27 <input checked="" type="checkbox"/> DRAIN</td> <td>3/4"</td> <td>300 RF</td> </tr> <tr> <td>28 <input checked="" type="checkbox"/> VENT</td> <td>3/4"</td> <td>300 RF</td> </tr> <tr> <td>29 <input type="checkbox"/> PRESS. GAUGE</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30 <input type="checkbox"/> TEMP GAUGE</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31 <input type="checkbox"/> WARM-UP</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>32 <input type="checkbox"/> BALANCE / LEAK-OFF</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | NO. | SIZE (NPS) | TYPE | 27 <input checked="" type="checkbox"/> DRAIN | 3/4" | 300 RF | 28 <input checked="" type="checkbox"/> VENT | 3/4" | 300 RF | 29 <input type="checkbox"/> PRESS. GAUGE | | | 30 <input type="checkbox"/> TEMP GAUGE | | | 31 <input type="checkbox"/> WARM-UP | | | 32 <input type="checkbox"/> BALANCE / LEAK-OFF | | | BEARINGS AND LUBRICATION BEARING (TYPE/NUMBER) (5.10.1): <input checked="" type="checkbox"/> RADIAL ball / 22324C/W33 <input checked="" type="checkbox"/> THRUST ball / 2x7324BG LUBRICATION (5.11.3, 5.11.4): (NOTE 4) <input checked="" type="checkbox"/> RING OIL <input type="checkbox"/> HYDRODYNAMIC <input type="checkbox"/> PURGE OIL MIST <input type="checkbox"/> PURE OIL MIST <input checked="" type="checkbox"/> CONSTANT LEVEL OILER PREFERENCE (5.10.2.2) <input type="checkbox"/> PRESSURE LUBE SYS. ISO10438-3 <input type="checkbox"/> ISO 10438-2 (8.2.6.1/8.2.6.5) <input checked="" type="checkbox"/> OIL VISC. ISO GRADE _____ <input type="checkbox"/> OIL PRESS. TO BE GREATER THAN COOLANT PRESSURE <input type="checkbox"/> REVIEW AND APPROVE THRUST BEARING SIZE (8.2.5.2.4) <input checked="" type="checkbox"/> OIL HEATER REQUIRED: <input type="checkbox"/> STEAM <input type="checkbox"/> ELECTRIC |
| NO. | SIZE (NPS) | TYPE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 <input checked="" type="checkbox"/> DRAIN | 3/4" | 300 RF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 <input checked="" type="checkbox"/> VENT | 3/4" | 300 RF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 <input type="checkbox"/> PRESS. GAUGE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 <input type="checkbox"/> TEMP GAUGE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 <input type="checkbox"/> WARM-UP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 <input type="checkbox"/> BALANCE / LEAK-OFF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 <input checked="" type="checkbox"/> MACHINED AND STUDDED CONNECTIONS (5.4.3.8) 34 <input type="checkbox"/> CYLINDRICAL THREADS REQUIRED (5.4.3.3) 35 ROTOR: 36 <input type="checkbox"/> COMPONENT BALANCE TO ISO 1940 G1.0 (5.9.4.4) 37 <input type="checkbox"/> SHRINK FIT-LIMITED MOVEMENT IMPELLERS (8.2.2.3) 38 COUPLINGS: (6.2.2) among 39 <input type="checkbox"/> MANUFACTURER v.list <input checked="" type="checkbox"/> MODEL Flex. SS Dis. w/ Spacer 40 <input type="checkbox"/> RATING (kW/100 RPM) _____ 41 <input checked="" type="checkbox"/> SPACER LENGTH _____ (mm) <input checked="" type="checkbox"/> SERVICE FACTOR ≥ 1.5 42 DRIVER HALF COUPLING MOUNTED BY: 43 <input checked="" type="checkbox"/> PUMP MFR. <input type="checkbox"/> DRIVER MFR. <input type="checkbox"/> PURCHASER 44 <input type="checkbox"/> COUPLING WITH HYDRAULIC FIT (6.2.10) 45 <input checked="" type="checkbox"/> COUPLING BALANCED TO ISO 1940-1 G6.3 (6.2.3) 46 <input type="checkbox"/> COUPLING PER ISO 14691 (6.2.4) 47 <input type="checkbox"/> COUPLING PER ISO 10441 (6.2.4) 48 <input type="checkbox"/> COUPLING PER API 671 (6.2.4) 49 <input checked="" type="checkbox"/> NON SPARK COUPLING GUARD (6.2.14c) 50 <input type="checkbox"/> COUPLING GUARD STANDARD PER _____ (Note 2) (6.2.14a) | INSTRUMENTATION (6.4.2) <input type="checkbox"/> SEE ATTACHED API-670 DATA SHEET <input type="checkbox"/> ACCELEROMETER(S) (6.4.2.1) _____ <input type="checkbox"/> NONCONTACTING TRANSDUCERS (6.4.2.2) _____ <input type="checkbox"/> RADIAL _____ PER BRG <input type="checkbox"/> AXIAL _____ PER BRG. <input checked="" type="checkbox"/> PROVISION FOR MOUNTING ONLY (5.10.2.11) <input checked="" type="checkbox"/> FLAT SURFACE REQ'D (5.10.2.12) <input type="checkbox"/> RADIAL BEARING METAL TEMP. <input type="checkbox"/> THRUST BRG METAL TEMP. <input type="checkbox"/> TEMP. GAUGES (WITH THERMOWELLS) <input type="checkbox"/> MONITORS AND CABLES SUPPLIED BY (6.4.2.4) _____ REMARKS _____ _____ _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 BASEPLATES: 52 <input type="checkbox"/> API BASEPLATE NUMBER _____ (ANNEX D) 53 <input type="checkbox"/> NON-GROUT CONSTRUCTION (6.3.13) 54 <input type="checkbox"/> OTHER _____ 55 MECHANICAL SEAL: (5.8.1) 56 <input checked="" type="checkbox"/> SEE ATTACHED ISO 21049/API 682 DATA SHEET | <input type="checkbox"/> WEIGHTS (kg) PUMP ~3600 BASEPLATE _____ DRIVER (pump only) TOTAL _____ _____ _____ GEAR _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 58 Note: 1. ALL CONNECTIONS SHALL BE PROVIDED WITH VALVES. 59 2. COUPLING GUARD SHALL FOLLOW FW ENGINEERING STANDARD 13530-39A1. 3. DRAIN OPENING ON THE BASEPLATE SHALL BE VALVED. 60 4. FLOOD OR RING OIL LUBRICATION, BUT RING OIL IS LIMITED TO JOURNAL SPEED OF 10m/s. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|--|--|--|
|  中鼎工程股份有限公司 CTCI CORPORATION | | REQUIRED FOR: _____ SITE: _____ UNIT: _____ JOB / PROJECT NO. 06E7449 ITEM NO.: P-6102 AJB/C REQUISITION / SPEC NUMBER _____ / _____ INQUIRY NUMBER _____ By: _____ PURCHASE ORDER NUMBER _____ DATE: _____ REVISION NO. _____ DATE _____ | |
| Category 1 & 2 Seals MECHANICAL SEAL DATA SHEET FOR CENTRIFUGAL & ROTARY PUMPS S.I. METRIC (kg/cm²) UNITS PAGE 1 OF 2 | | | |
| 1 DATA SUPPLIED <input type="checkbox"/> CUSTOMARY UNITS <input type="checkbox"/> SI UNITS <input checked="" type="checkbox"/> METRIC | | HARDWARE SUPPLIED <input type="checkbox"/> CUSTOMARY UNITS <input type="checkbox"/> SI UNITS <input checked="" type="checkbox"/> METRIC | |
| 2 <input type="checkbox"/> INDICATES DATA COMPLETED BY PURCHASER | | <input type="checkbox"/> BY SEAL VENDOR <input checked="" type="checkbox"/> BY SEAL VENDOR OR PURCHASER | |
| 3 <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> DEFAULT SELECTION | | | |
| 4 SEAL SPECIFICATION - (REF CLAUSE 4.1, FIGURES 1 TO 6) | | | |
| 5 CATEGORY <input type="checkbox"/> SEAL CATEGORY 1 (4.1.1) <input checked="" type="checkbox"/> SEAL CATEGORY 2 (4.1.1) <input type="checkbox"/> SEAL CODE (ANNEX D) | | | |
| 6 TYPE <input checked="" type="checkbox"/> TYPE A (3.73) <input type="checkbox"/> TYPE B (3.74) <input type="checkbox"/> ALTERNATE STATIONARY (TYPE A & B) | | | |
| 7 (CODE-CW) <input checked="" type="checkbox"/> TYPE C (3.75) <input type="checkbox"/> ALTERNATE ROTATING (TYPE C) <input type="checkbox"/> SINGLE SPRING (TYPE A) | | | |
| 8 APR'GT DEFAULT CONFIGURATION | | ALTERATE DESIGN | |
| 9 1 (3.2) <input checked="" type="checkbox"/> 1CW-FX | | <input type="checkbox"/> 1CW-FL <input type="checkbox"/> DIST. FLUSH <input type="checkbox"/> 01 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 23 <input type="checkbox"/> 32 <input type="checkbox"/> 61 <input type="checkbox"/> 62 | |
| | | <input type="checkbox"/> ALTERNATE BUSH <input type="checkbox"/> 02 <input type="checkbox"/> 13 <input type="checkbox"/> 21 <input type="checkbox"/> 31 <input type="checkbox"/> 41 <input type="checkbox"/> 61 | |
| 11 2 (3.3) LIQUID <input type="checkbox"/> 2CW-CW | | <input type="checkbox"/> FX <input type="checkbox"/> DIST. FLUSH <input type="checkbox"/> 01 <input type="checkbox"/> 13 <input type="checkbox"/> 23 <input type="checkbox"/> 41 <input type="checkbox"/> 62 <input type="checkbox"/> 75 | |
| | | <input type="checkbox"/> TANGENTIAL LBO CONN N <input type="checkbox"/> 02 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 31 <input type="checkbox"/> 52 <input type="checkbox"/> 71 <input type="checkbox"/> 76 | |
| 13 GAS <input type="checkbox"/> 2CW-CS | | <input type="checkbox"/> 2NC-CS <input type="checkbox"/> FX <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 21 <input type="checkbox"/> 32 <input type="checkbox"/> 61 <input type="checkbox"/> 72 | |
| 14 3 (3.4) LIQUID <input type="checkbox"/> 3CW-FB | | <input type="checkbox"/> 3CW-BB <input type="checkbox"/> FX <input type="checkbox"/> 01 <input type="checkbox"/> 13 <input type="checkbox"/> 53A <input type="checkbox"/> 54 <input type="checkbox"/> 74 | |
| | | <input type="checkbox"/> 3CW-FF <input type="checkbox"/> TANG. LBO <input type="checkbox"/> 02 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 53B <input type="checkbox"/> 61 | |
| 16 GAS <input type="checkbox"/> 3NC-BB | | <input type="checkbox"/> 3NC-FF <input type="checkbox"/> 3NC-FB <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 32 <input type="checkbox"/> 53C <input type="checkbox"/> 52 | |
| 17 SLEEVE-SHAFT DRIVE <input checked="" type="checkbox"/> SET-SCREW ONTO SHAFT <input type="checkbox"/> ALTERNATE (6.1.3.13)-SPECIFY | | | |
| 18 MATERIALS (REFERENCE 6.1.6 & ANNEX B) | | | |
| 19 SECONDARY SEALS | | SEAL FACES | |
| 20 <input checked="" type="checkbox"/> FKM <input type="checkbox"/> FFKM | | <input checked="" type="checkbox"/> CARBON VS SIC | |
| 21 <input type="checkbox"/> SPIRAL-W GASKET | | <input type="checkbox"/> SIC VS SIC | |
| 22 <input type="checkbox"/> NBR <input type="checkbox"/> EPM/EPDM | | <input type="checkbox"/> SS-SIC <input type="checkbox"/> RB-SIC | |
| 23 <input type="checkbox"/> OTHER: _____ | | <input type="checkbox"/> VS | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS N10276 (TYPE B) | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS N07718 (TYPE C) | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS N08020 | |
| | | <input type="checkbox"/> OR N06455 | |
| | | <input type="checkbox"/> OR S31600 | |
| | | <input type="checkbox"/> OR S31635 | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS S31600/S31635 | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS N10276 | |
| | | <input type="checkbox"/> UNS N08020 | |
| | | <input type="checkbox"/> OR S31635 | |
| | | <input type="checkbox"/> OTHER: _____ | |
| 24 MECHANICAL SEAL DATA | | | |
| 25 <input type="checkbox"/> SEAL VENDOR _____ | | <input type="checkbox"/> ALTERNATE SEAL FOR PUMP PERFORMANCE TEST | |
| 26 <input type="checkbox"/> DATA REQUIREMENTS FORM (ANNEX J) | | <input type="checkbox"/> DYNAMIC SEALING PRESSURE RATING (3 19) _____ kg/cm ² G | |
| 27 <input type="checkbox"/> SIZE/TYPE _____ | | <input type="checkbox"/> SATIC SEALING PRESSURE RATING (3 69) _____ kg/cm ² G | |
| 28 <input type="checkbox"/> SEAL DRAWING NUMBER _____ | | <input type="checkbox"/> MAXIMUM ALLOWABLE TEMPERATURE (3 40) _____ °C | |
| 29 <input type="checkbox"/> VENDOR'S SEAL CODE _____ | | <input type="checkbox"/> MINIMUM DESIGN METIAL TEMPERATURE (6 1 8.11.1) _____ °C | |
| 30 <input type="checkbox"/> MODIFIED FACES FOR PUMP PERFORMANCE TEST | | | |
| 31 SEAL CHAMBER DATA (REFERENCE 6.1.2.4) | | | |
| 32 ASME B73 1 & 2 <input type="checkbox"/> CYLINDRICAL <input type="checkbox"/> TAPERED <input checked="" type="checkbox"/> ISO 13709 <input type="checkbox"/> ISO 3069-G <input type="checkbox"/> OTHER, SPECIFY _____ | | | |
| 33 <input type="checkbox"/> BOLT-ON CHAMBER (6 1 2 5) <input checked="" type="checkbox"/> SEAL CHAMBER FLUSH PORT REQ'D <input checked="" type="checkbox"/> SEAL CHAMBER VENT REQ'D | | | |
| 34 <input checked="" type="checkbox"/> FLOATING THROAT BUSH <input type="checkbox"/> FIXED THROAT BUSH <input type="checkbox"/> CHAMBER HEATING/COOLING <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> C | | | |
| 35 PUMP DATA | | | |
| 36 PUMP DESIGN <input type="checkbox"/> MANUFACTURER _____ <input type="checkbox"/> MODEL _____ <input type="checkbox"/> FRAME/SIZE _____ <input type="checkbox"/> CASE MATERIAL _____ | | | |
| 37 PUMP OPERATING PRESSURE <input checked="" type="checkbox"/> SUCTION PRESS. (RATED -0.08 kg/cm ² G) <input checked="" type="checkbox"/> DISCHARGE PRESSURE 5.4 kg/cm ² G | | | |
| 38 SEAL CHAMBER <input type="checkbox"/> NORMAL kg/cm ² G <input type="checkbox"/> MIN/MAX (MDSP 3 4 2) _____ / _____ kg/cm ² G <input type="checkbox"/> MSSP (3 44) _____ kg/cm ² G | | | |
| 39 SHAFT <input type="checkbox"/> HORIZONTAL <input type="checkbox"/> VERTICAL <input type="checkbox"/> DIA. _____ mm <input type="checkbox"/> SHAFT SPEED _____ r/min | | | |
| 40 SHAFT DIRECTION (FROM DRIVER): <input type="checkbox"/> CW <input type="checkbox"/> CCW | | | |
| 41 FLUID DATA - (FOR QUENCH, BUFFER AND BARRIER FLUID DATA, SEE PAGE 2) | | | |
| 42 PUMPED STREAM | | <input type="checkbox"/> HAZARDOUS <input type="checkbox"/> FLAMMABLE <input type="checkbox"/> _____ | |
| 43 <input checked="" type="checkbox"/> TYPE OR NAME COOLING WATER CONC N _____ % | | <input type="checkbox"/> FLUID SOLID @ AMBIENT | |
| 44 <input type="checkbox"/> DISSOLVED CONTAMINANT <input type="checkbox"/> H ₂ S _____ ml/m ³ <input type="checkbox"/> WET | | <input type="checkbox"/> SOLIDIFIES @ _____ °C POUR POINT _____ °C | |
| 45 <input type="checkbox"/> Cl ₂ _____ ml/m ³ <input type="checkbox"/> OTHER _____ @ _____ ml/m ³ | | <input type="checkbox"/> PUMPED STREAM SOLIDIFIES UNDER SHEAR | |
| 46 <input type="checkbox"/> SOLID CONTAMINANT _____ | | <input type="checkbox"/> PUMPED STREAM CONTAINS AGENTS THAT POLYMERIZE | |
| 47 <input type="checkbox"/> CONCENTRATION (MASS FRACTION) _____ | | SPECIFY AGENTS _____ °C @ TEMP _____ °C | |
| 48 <input checked="" type="checkbox"/> PUMPING TEMPERATURE | | <input type="checkbox"/> PUMPED STREAM CAN PLATE OUT DECOMPOSE: | |
| 49 MIN _____ °C NORMAL 33 °C MAX _____ °C | | SPECIFY CONDITIONS _____ | |
| 50 <input checked="" type="checkbox"/> RELATIVE DENSITY (TO WATER @25°C) AT REF TEMP _____ | | <input type="checkbox"/> PUMPED STREAM IS REGULATED FOR FUGITIVE OR | |
| 51 @ NORMAL TEMP 0.9946 @ MAX TEMP _____ | | OTHER EMISSIONS REGULATION LEVEL _____ ml/m ³ | |
| 52 <input checked="" type="checkbox"/> ABSOLUTE VAPOR PRESSURE AT REFERENCE TEMP _____ | | <input type="checkbox"/> SPECIAL PUMP CLEANING PROCEDURES | |
| 53 NORMAL TEMP 0.1 kg/cm ² A MAX TEMP _____ kg/cm ² A | | SPECIFY: _____ | |
| 54 <input checked="" type="checkbox"/> ATMOSPHERIC BOILING POINT. 100 °C | | <input type="checkbox"/> ALTERNATE PROCESS FLUID & CONCENTRATION | |
| 55 <input checked="" type="checkbox"/> VISCOSITY @NORMAL PUMPING TEMP. 0.748 cP | | (INCL. COMMISSIONING) | |
| 56 FLUSH FLUID (PLAN 32) <small>If flush fluid is pumpage then flush fluid data is not required</small> | | | |
| 57 <input type="checkbox"/> TYPE OR NAME _____ CONC N _____ % | | <input type="checkbox"/> ABSOLUTE VAPOR PRESSURE AT REFERENCE TEMP | |
| 58 <input type="checkbox"/> SEAL VENDOR REVIEW REQUIRED | | NORMAL TEMP _____ kg/cm ² A MAX TEMP _____ kg/cm ² A | |
| 59 <input type="checkbox"/> FLUID TEMPERATURE | | <input type="checkbox"/> ATMOSPHERIC BOILING POINT _____ °C | |
| 60 MIN _____ °C NORMAL _____ °C MAX _____ °C | | <input type="checkbox"/> VISCOSITY @ NORMAL PUMPING TEMP _____ cP | |
| 61 <input type="checkbox"/> RELATIVE DENSITY (TO WATER @25°C) AT REF TEMP _____ | | <input type="checkbox"/> FLOW RATE REQ'D MAX/MIN _____ / _____ l/min | |
| 62 @ NORMAL TEMP _____ @ MAX TEMP _____ | | <input type="checkbox"/> PRESSURE REQ'D MAX/MIN _____ / _____ kg/cm ² G | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  中鼎工程股份有限公司 CTCI CORPORATION | | REQUIRED FOR: _____ SITE: _____ UNIT: _____ |
|--|--|--|
| Category 1 & 2 Seals MECHANICAL SEAL DATA SHEET FOR CENTRIFUGAL & ROTARY PUMPS S.I. METRIC (kg/cm²) UNITS PAGE 2 OF 2 (FLUID DATA, UTILITIES, ACCESSORIES, & INSP/TEST.) | | JOB / PROJECT NO. <u>06E7449</u> ITEM NO : <u>P-6102 A/B/C</u> REQUISITION / SPEC NUMBER _____ / _____ INQUIRY NUMBER _____ By: _____ PURCHASE ORDER NUMBER _____ DATE: _____ REVISION NO _____ DATE _____ |
| <input type="checkbox"/> INDICATES DATA COMPLETED BY PURCHASER <input checked="" type="checkbox"/> DEFAULT SELECTON | | <input type="checkbox"/> BY SEAL VENDOR <input checked="" type="checkbox"/> BY SEAL VENDOR OR PURCHASER |
| FLUID DATA - (QUENCH, BUFFER AND BARRIER FLUID DATA, LIQUID GAS) | | |
| 4 QUENCH MEDIUM (PLAN 51 62) 5 <input type="checkbox"/> TYPE OR NAME _____ | | <input checked="" type="checkbox"/> SUPPLY TEMPERATURE MAX/MIN _____ / _____ °C <input type="checkbox"/> FLOW RATE REQ'D MAX/MIN _____ / _____ l/min |
| 6 BUFFER/BARRIER MEDIUM 7 <input type="checkbox"/> TYPE OR NAME _____ | | <input checked="" type="checkbox"/> RELATIVE DENSITY (TO WATER @ 25°C) AT REF. TEMP. @ NORMAL TEMP _____ @ MAX TEMP _____ |
| 8 <input type="checkbox"/> PURCHASER SELEC'N <input type="checkbox"/> SEAL VENDOR SELEC'N 9 <input type="checkbox"/> SEAL VENDOR REVIEW <input type="checkbox"/> PURCHASER REVIEW | | <input checked="" type="checkbox"/> ABSOLUTE VAPOR PRESSURE AT REFERENCE TEMP. NORMAL TEMP _____ kg/cm ² A MAX TEMP _____ kg/cm ² A |
| 10 <input type="checkbox"/> FLOW RATE REQ'D MAX/MIN _____ / _____ l/min 11 <input type="checkbox"/> COOLING/HEATING REQUIRED (+OR-) _____ kW | | <input checked="" type="checkbox"/> ATMOSPHERIC BOILING POINT (LIQUID) _____ °C <input checked="" type="checkbox"/> VISCOSITY @ NORMAL TEMP (LIQUID) _____ cP |
| 12 <input checked="" type="checkbox"/> SUPPLY PRESSURE MAX/MIN _____ / _____ kg/cm ² G 13 <input checked="" type="checkbox"/> FLUID OPERATING TEMPERATURE 14 MIN _____ °C NORMAL _____ °C MAX _____ °C | | <input checked="" type="checkbox"/> SPECIFIC HEAT CAPACITY @ CONSTANT PRESSURE FOR LIQUID @ NORMAL TEMPERATURE _____ kcal/kg.K |
| SITE AND UTILITIES | | |
| 15 <input type="checkbox"/> CONTROL VOLTAGE _____ V PHASE _____ HERTZ _____ 17 <input type="checkbox"/> ELECTRICAL AREA CL _____ GR _____ DIV _____ | | <input type="checkbox"/> COOLING H ₂ O SUPPLY TEMP _____ °C <input type="checkbox"/> Cl ₂ _____ ml/m ³ <input type="checkbox"/> COOLING H ₂ O PRESS NORM./DES _____ / _____ kg/cm ² G |
| 18 <input checked="" type="checkbox"/> DESIGN AMBIENT MIN/MAX. <u>11</u> / <u>39.5</u> °C | | <input type="checkbox"/> ATEX (EC DIRECTIVE 94/9/EC) GR _____ CAT. _____ T CLASS _____ |
| ACCESSORIES (CLAUSES 8 AND 9) | | |
| GENERAL 21 <input type="checkbox"/> JOINT USER/VENDOR LAYOUT OF EQUIPMENT (8.1.4) 22 <input checked="" type="checkbox"/> PIPE TAPER THREADS (8.1.9) <input type="checkbox"/> ISO 7 <input checked="" type="checkbox"/> ASME B1.20.1 23 <input type="checkbox"/> SPECIAL REQUIREMENTS FOR HAZARDOUS SERVICE 24 _____ 25 <input type="checkbox"/> SPECIAL CLEANING AND DECONTAMINATION REQ'TS 26 <input checked="" type="checkbox"/> UTILITY MANIFOLD CONNECTIONS REQUIRED (8.4.4) 27 <input type="checkbox"/> TYPE AND SPEC OF HEAT TRACING (8.6.5.8) 28 _____ 29 <input type="checkbox"/> THERMAL RELIEF VALVES REQUIRED (9.8.3) | | PLAN 52 AND 53 SYSTEM CONTINUED <input type="checkbox"/> EQUIPMENT SUPPOR SUPPLIER _____ <input type="checkbox"/> FILLING SYSTEM SUPPLIER _____ <input type="checkbox"/> ASME CODE STAMP REQUIRED <input type="checkbox"/> EN 13445 OR OTHER CODE APPLICABLE _____ <input checked="" type="checkbox"/> RESERVOIR CAPACITY (8.5.4.3) _____ l <input checked="" type="checkbox"/> NILL TO GLAND PLATE HEIGHT (8.5.4.2) _____ m <input type="checkbox"/> RESERVOIR MAWP (3.41) _____ kg/cm ² G @ _____ °C <input type="checkbox"/> SET PRESSURE RANGE, MAX/MIN _____ / _____ kg/cm ² G <input checked="" type="checkbox"/> SYSTEM HOLD-UP PERIOD (PLANS 53B & 53C) _____ DAYS <input type="checkbox"/> TEMPERATURE INDICATOR (PLAN 53B & 53C) _____ PRESSURE SWITCH (8.5.4.2 h) TO ACTIVATE ON: <input checked="" type="checkbox"/> RISING PPESSURE (ARR 2) SET @ _____ kg/cm ² G <input checked="" type="checkbox"/> FALLING PRESSURE (ARR 3) SET @ _____ kg/cm ² G <input checked="" type="checkbox"/> HIGH LEVEL ALARM REQUIRED (8.5.4.2.i) <input type="checkbox"/> TEST BASED H/Q CURVE FOR INTERNAL CIRC DEVICE <input type="checkbox"/> EXTERNAL CIRCULATING PUMP (8.6.3.1) |
| 30 COOLING SYSTEM (PLAN 21, 22, 23, 41, 53B, 53C) 31 HEAT EXCHANGER SUPPLIER 32 <input checked="" type="checkbox"/> WATER COOLED <input type="checkbox"/> AIR COOLED <input type="checkbox"/> ISO 15840 33 <input checked="" type="checkbox"/> EQUIPMENT REFERENCE/CODE _____ 34 <input type="checkbox"/> COOLING WATER LINES SUPPLIER _____ 35 <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> GALVANISED PIPING (8.4.2) 36 <input checked="" type="checkbox"/> COOLING WATER FLOW RATE _____ l/min 37 <input type="checkbox"/> SIGHT FLOW INDICATORS (8.4.3) <input type="checkbox"/> OPEN <input type="checkbox"/> CLOSED 38 PLAN 11, 13, 14, 21, 23, 31, 32 AND 41 SYSTEMS 39 <input checked="" type="checkbox"/> CONNECTING LINES SUPPLIER VENDOR _____ 40 <input type="checkbox"/> TUBING <input checked="" type="checkbox"/> PIPING (8.5.2.2) <u>316SS</u> 41 <input type="checkbox"/> RESTRICTION ORIFICE NIPPLE IN FLUSH LINE (8.5.2.4) 42 <input type="checkbox"/> CYCLONE SEPARATOR SUPPLIER _____ 43 <input type="checkbox"/> PLAN 32 EQUIPMENT SUPPLIER _____ 44 <input type="checkbox"/> PLAN 32 FLOW IND R <input type="checkbox"/> PLAN 32 TEMPERATURE IND R _____ 45 PLAN 52 AND 53 SYSTEMS 46 <input checked="" type="checkbox"/> STANDARD (FIG G 27) <input type="checkbox"/> ALTERNATE (FIG G 28) 47 <input type="checkbox"/> DIMENSIONAL VARIATIONS TO STANDARD (FIG G 27) 48 _____ 49 <input type="checkbox"/> DIMENSIONAL VARIATIONS TO ALTERNATE (FIG G 28) 50 _____ 51 <input checked="" type="checkbox"/> ALTERNATE FABRICATION STANDARD _____ 52 <input type="checkbox"/> PRIMARY EQUIPMENT SUPPLIER _____ 53 <input checked="" type="checkbox"/> SUPPLIER REFERENCE/CODE _____ 54 <input type="checkbox"/> CONNECTING LINES SUPPLIER _____ 55 <input type="checkbox"/> TUBING <input type="checkbox"/> PIPING (8.5.4.4.9) _____ | | PLAN 72 AND 74 SYSTEM <input type="checkbox"/> EQUIPMENT SUPPLIER _____ <input type="checkbox"/> HIGH FLOW ALARM SWITCH (8.6.6.5) _____ PLAN 75 AND 76 SYSTEM <input type="checkbox"/> EQUIPMENT SUPPLIER _____ <input type="checkbox"/> HIGH LEVEL ALARM SWITCH FOR PLAN 75 (8.6.6.3) <input type="checkbox"/> TEST CONNECTION (8.6.5.4) INSTRUMENTATION <input type="checkbox"/> USER SPECIFICATION REFERENCE FOR _____ <input type="checkbox"/> INSTRUMENTATION/CONTROLS _____ PRESSURE GAUGES (9.4); <input type="checkbox"/> OIL FILLED PRESSURE GAUGES (9.4.3) <input type="checkbox"/> PRESSURE SWITCHES (9.5.2); <input type="checkbox"/> TRANSMITTER (9.5.2.3) <input type="checkbox"/> LEVEL SWITCHES (9.5.3); <input type="checkbox"/> TRANSMITTER (9.5.3.2) <input type="checkbox"/> HYDROSTATIC <input type="checkbox"/> CAPACITANCE <input type="checkbox"/> ULTRASONIC LEVEL INDICATORS (9.6) <input type="checkbox"/> WELD PAD <input type="checkbox"/> EXTERNAL REMOVABLE (9.6.2) <input type="checkbox"/> FLOW INDICATORS (9.7); <input type="checkbox"/> TRANSMITTER (9.7.3) |
| INSPECTION AND TESTING | | |
| 57 <input type="checkbox"/> PURCHASER PARTICIPATION IN INSPECTION & 58 TEST SPECIFY; _____ 59 <input checked="" type="checkbox"/> INSPECTOR'S CHECK LIST (10.1.7 & ANNEX H) 60 <input type="checkbox"/> PURCHASER APPROVAL REQUIRED FOR WELDED 61 <input type="checkbox"/> CONNECTION DESIGNS, (6.1.6.10.5) 62 <input checked="" type="checkbox"/> HARDNESS TEST (10.2.3.k) REQUIRED FOR; _____ 63 _____ | | <input checked="" type="checkbox"/> 100% INSPECTION OF ALL WELDS (6.1.6.10.5.1) USING; <input type="checkbox"/> MAGNETIC PARTICLE <input type="checkbox"/> LIQUID PENETRANT <input type="checkbox"/> RADIOGRAPHIC <input type="checkbox"/> ULTRASONIC <input type="checkbox"/> OPTIONAL QUALIFICATION TESTING REQ'D (10.3.1.1.2) <input checked="" type="checkbox"/> MODIFIED FACES FOR PUMP TEST (10.3.5.1), SEE PG 1, LINE 30 <input checked="" type="checkbox"/> ALTERNATE SEAL PUMP TEST (10.3.5.2) SEE PG 1, LINE 25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข -1 แสดงตัวเรือนปั๊มและใบพัดก่อนเคลือบ



รูป ข - 2 ทำความสะอาดผิวโดยการพ่นทรายด้วยผงทองแดง

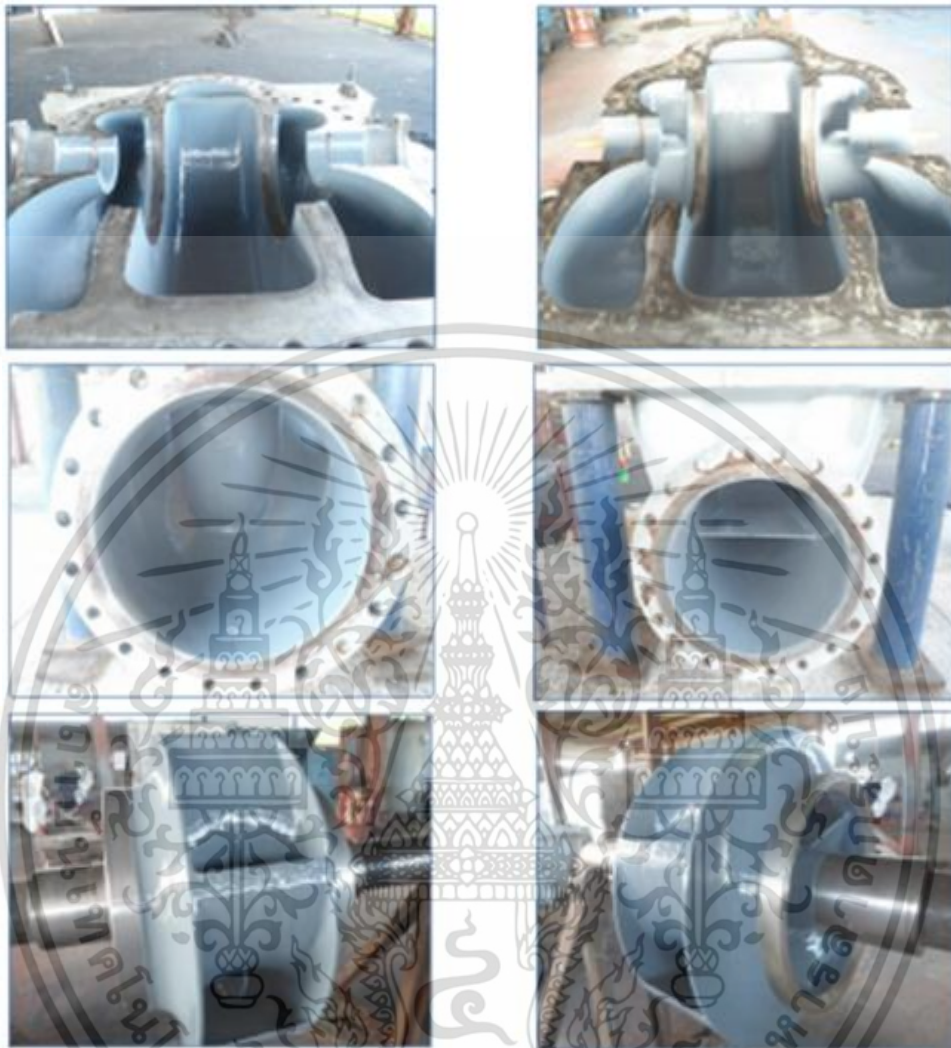


รูป ข- 3 แสดงการทำความสะอาดผิวหลังพ่นทรายด้วย Steam



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข - 4 ทำการ Top Coat

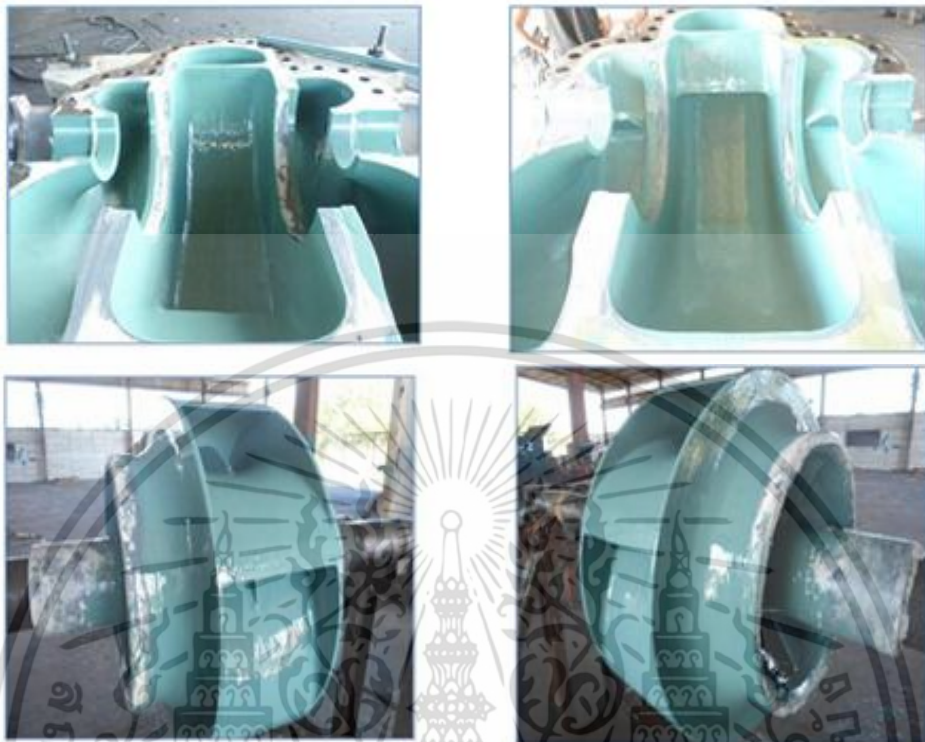


รูป ข - 5 ทำการตรวจเช็คโปรไฟล์ผิว (ค่ายอมรับที่ 75 - 125 ไมครอนมิลลิเมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข- 6 ทำการ First Coat



รูป ข - 7 ทำการตรวจเช็คความหนาของฟิล์ม (ยอมรับที่ 500 ไมครอนมิลลิเมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ตารางแสดงผลการตรวจวัดสมรรถนะของปั๊มก่อนการเคลือบผิว ทุกๆ 10 นาที

| Time | Q (m ³ /h) | Electric Current (A) | | |
|-------|-----------------------|----------------------|-----|-----|
| | | IL1 | IL2 | IL3 |
| 9.30 | 3,762.03 | 83 | 81 | 81 |
| 9.40 | 3,788.98 | 82 | 82 | 81 |
| 9.50 | 3,841.29 | 82 | 83 | 82 |
| 10.00 | 3,800.07 | 82 | 82 | 79 |
| 10.10 | 3,663.73 | 82 | 82 | 82 |
| 10.20 | 3,684.34 | 82 | 82 | 79 |
| 10.30 | 3,633.61 | 82 | 79 | 82 |
| 10.40 | 3,660.56 | 82 | 82 | 79 |
| 10.50 | 3,731.90 | 80 | 79 | 80 |
| 11.00 | 3,633.61 | 82 | 82 | 82 |
| 11.10 | 3,681.17 | 81 | 80 | 79 |
| 11.20 | 3,706.54 | 82 | 82 | 80 |
| 11.30 | 3,684.34 | 81 | 80 | 82 |
| 11.40 | 3,673.25 | 82 | 81 | 82 |
| 11.50 | 3,633.73 | 80 | 82 | 82 |
| 12.00 | 3,657.39 | 82 | 80 | 82 |
| 12.10 | 3,681.17 | 80 | 82 | 82 |
| 12.20 | 3,697.03 | 82 | 82 | 82 |
| 12.30 | 3,701.78 | 82 | 82 | 79 |
| 12.40 | 3,657.39 | 80 | 80 | 82 |
| 12.50 | 3,674.83 | 80 | 82 | 82 |
| 13.00 | 3,741.42 | 82 | 80 | 82 |
| 13.10 | 3,719.22 | 82 | 82 | 82 |
| 13.20 | 3,660.56 | 82 | 82 | 82 |
| 13.30 | 3,654.36 | 81 | 81 | 82 |
| 13.40 | 3,629.29 | 82 | 82 | 81 |
| 13.50 | 3,622.76 | 81 | 82 | 82 |
| 14.00 | 3,612.23 | 82 | 81 | 80 |
| 14.10 | 3,609.78 | 81 | 81 | 82 |
| 14.20 | 3,577.52 | 82 | 82 | 81 |
| 14.30 | 3,497.27 | 82 | 81 | 81 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการตรวจวัดสมรรถนะของปั๊มก่อนการเคลือบผิว ทุกๆ 10 นาที

| Time | Q (m ³ /h) | Electric Current (A) | | |
|-------|-----------------------|----------------------|-----|-----|
| | | IL1 | IL2 | IL3 |
| 15.00 | 3,684.34 | 80 | 82 | 80 |
| 15.10 | 3,608.25 | 82 | 82 | 81 |
| 15.20 | 3,605.08 | 81 | 81 | 80 |
| 15.30 | 3,647.88 | 80 | 80 | 80 |
| 15.40 | 3,643.13 | 81 | 81 | 80 |
| 15.50 | 3,605.38 | 82 | 82 | 80 |
| 16.00 | 3,674.73 | 82 | 81 | 81 |

$$Q_{av} = 3,664 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$I_{av} = 82.20 \text{ A}$$

$$H_p = 52 \text{ m}$$

ตารางที่ ข-2 ตารางแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มโดยเฉลี่ย

| Q (m ³ /h) | H _p (m) | P _{out} (kW) | P _{in} (kW) | η (%) |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| 3,664 | 52.0 | 494.64 | 806.49 | 61.3 |

การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ตารางที่ ข-3 ตารางวิเคราะห์การใช้พลังงาน

| | | | |
|----------------------------|--------|------------------------|-----------|
| ประสิทธิภาพปั๊ม (Original) | 89.80% | กำลังของปั๊ม(Original) | 544.12 kW |
| ประสิทธิภาพปั๊ม (Before) | 61.3% | กำลังของปั๊ม(Before) | 494.66 kW |
| ประสิทธิภาพปั๊ม(Loss) | 28.47% | กำลังที่สูญเสีย(Loss) | 49.47 kW |

การใช้พลังงานของปั๊มก่อนเคลือบ = 53,228.38 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ตารางแสดงผลการตรวจวัดสมรรถนะของปั๊มหลังการเคลือบผิว ทุกๆ 10 นาที

| Time | Q (m ³ /h) | Electric Current (A) | | |
|-------|-----------------------|----------------------|-----|-----|
| | | IL1 | IL2 | IL3 |
| 9.30 | 3,589.87 | 78 | 77 | 77 |
| 9.40 | 3,654.37 | 78 | 77 | 78 |
| 9.50 | 3,738.74 | 78 | 78 | 77 |
| 10.00 | 3,831.78 | 77 | 78 | 77 |
| 10.10 | 3,857.86 | 78 | 77 | 77 |
| 10.20 | 3,876.17 | 78 | 78 | 78 |
| 10.30 | 3,898.37 | 78 | 77 | 77 |
| 10.40 | 3,887.27 | 78 | 78 | 77 |
| 10.50 | 3,893.61 | 78 | 77 | 77 |
| 11.00 | 3,896.78 | 78 | 77 | 77 |
| 11.10 | 3,897.94 | 78 | 78 | 77 |
| 11.20 | 3,885.79 | 78 | 77 | 78 |
| 11.30 | 3,850.81 | 78 | 78 | 77 |
| 11.40 | 3,885.68 | 78 | 77 | 78 |
| 11.50 | 3,849.22 | 78 | 77 | 78 |
| 12.00 | 3,897.75 | 78 | 78 | 77 |
| 12.10 | 3,874.59 | 78 | 77 | 77 |
| 12.20 | 3,887.27 | 78 | 77 | 78 |
| 12.30 | 3,849.22 | 78 | 78 | 77 |
| 12.40 | 3,895.20 | 78 | 77 | 78 |
| 12.50 | 3,890.44 | 78 | 78 | 77 |
| 13.00 | 3,896.86 | 78 | 78 | 77 |
| 13.10 | 3,912.76 | 78 | 78 | 77 |
| 13.20 | 3,874.59 | 78 | 77 | 77 |
| 13.30 | 3,894.78 | 78 | 77 | 78 |
| 13.40 | 3,876.17 | 78 | 78 | 77 |
| 13.50 | 3,812.76 | 78 | 77 | 77 |
| 14.00 | 3,877.76 | 79 | 78 | 78 |
| 14.10 | 3,865.07 | 78 | 77 | 77 |
| 14.20 | 3,899.45 | 78 | 78 | 77 |
| 14.30 | 3,885.68 | 78 | 77 | 78 |
| 14.50 | 3,880.64 | 78 | 77 | 77 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 (ต่อ) ตารางแสดงผลการตรวจวัดสมรรถนะของปั๊มหลังการเคลือบผิว ทุกๆ 10 นาที

| Time | Q (m ³ /h) | Electric Current (A) | | |
|-------|-----------------------|----------------------|-----|-----|
| | | IL1 | IL2 | IL3 |
| 14.60 | 3,869.83 | 78 | 77 | 78 |
| 15.00 | 3,895.51 | 78 | 78 | 77 |
| 15.10 | 3,902.75 | 78 | 77 | 77 |
| 15.20 | 3,851.84 | 78 | 78 | 78 |
| 15.30 | 3,841.57 | 78 | 77 | 77 |
| 15.40 | 3,822.75 | 78 | 77 | 77 |
| 15.50 | 3,807.83 | 78 | 78 | 77 |
| 16.00 | 3,787.59 | 78 | 78 | 77 |

$$Q_{av} = 3,856 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$I_{av} = 79.5 \text{ A}$$

$$H_p = 55 \text{ m}$$

ตารางที่ ข-5 ตารางแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มโดยเฉลี่ย

| Q (m ³ /h) | H _p (m) | P _{out} (kW) | P _{in} (kW) | η (%) |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| 3,856 | 55.0 | 551.79 | 782.94 | 70.48 |

การวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการเคลือบผิว

ตารางที่ ข-6 ตารางวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการเคลือบผิว

| | | | |
|----------------------------|--------|------------------------|-----------|
| ประสิทธิภาพปั๊ม (Original) | 89.80% | กำลังของปั๊ม(Original) | 572.62 kW |
| ประสิทธิภาพปั๊ม (Before) | 70.48% | กำลังของปั๊ม(Before) | 551.79 kW |
| ประสิทธิภาพปั๊ม(Loss) | 19.32% | กำลังที่สูญเสีย(Loss) | 20.82 kW |

การใช้พลังงานของปั๊มหลังเคลือบ = 51,674.26 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ตารางแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q (m ³ /h) | Before | | After | |
|-----------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | H _p (m) | η (%) | H _p (m) | η (%) |
| 3,000.00 | 55.00 | 55.20 | 55.60 | 57.00 |
| 3,100.00 | 54.70 | 56.25 | 55.46 | 59.15 |
| 3,200.00 | 54.64 | 56.91 | 55.10 | 61.31 |
| 3,300.00 | 54.25 | 57.56 | 55.03 | 63.21 |
| 3,400.00 | 53.81 | 58.77 | 54.70 | 64.94 |
| 3,500.00 | 53.30 | 59.72 | 54.34 | 66.62 |
| 3,600.00 | 52.66 | 60.78 | 53.95 | 67.89 |
| 3,700.00 | 52.00 | 61.76 | 53.73 | 69.16 |
| 3,800.00 | 51.12 | 62.85 | 53.20 | 70.35 |
| 3,900.00 | 50.19 | 63.97 | 52.72 | 71.39 |
| 4,000.00 | 49.00 | 66.00 | 52.30 | 72.50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 ตารางแสดงผลการทดสอบ Friction ของปั๊มก่อนการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q | H | Ns | K3 | Cm | D | ρ | μ | Re |
|---------|---|------|------|------------|----|--------|----------|------------|
| 3762.03 | 5 | 3088 | 0.31 | 9.90177075 | 0. | 992. | 0.000652 | 7523768.52 |
| 3788.98 | 5 | 3099 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3815.93 | 5 | 3110 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3841.29 | 5 | 3121 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3800.07 | 5 | 3104 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3663.73 | 5 | 3048 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3684.34 | 5 | 3056 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3633.61 | 5 | 3035 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3660.56 | 5 | 3046 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3731.9 | 5 | 3076 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3633.61 | 5 | 3035 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3681.17 | 5 | 3055 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3706.54 | 5 | 3065 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3684.34 | 5 | 3056 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3673.25 | 5 | 3052 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3633.73 | 5 | 3035 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3657.39 | 5 | 3045 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการทดสอบ Friction ของปั๊มก่อนการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q | H | Ns | K3 | Cm | D | ρ | μ | Re |
|---------|----|------|------|------------|----|--------|----------|------------|
| 3681.17 | 52 | 3055 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3697.03 | 52 | 3061 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3701.78 | 52 | 3063 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3657.39 | 52 | 3045 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3674.83 | 52 | 3052 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3741.42 | 52 | 3080 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3719.22 | 52 | 3071 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3660.56 | 52 | 3046 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3654.36 | 52 | 3044 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3629.29 | 52 | 3033 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3622.76 | 52 | 3031 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3612.23 | 52 | 3026 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3609.78 | 52 | 3025 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3577.52 | 52 | 3012 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3497.27 | 52 | 2978 | 0.29 | 9.26294683 | 0. | 992. | 0.000652 | 7038364.10 |
| 3684.34 | 52 | 3056 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3608.25 | 52 | 3024 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการทดสอบ Friction ของปั๊มก่อนการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q | H | Ns | K3 | Cm | D | ρ | μ | Re |
|---------|---|---------|-----|------------|----|--------|----------|------------|
| 3605.08 | 5 | 3023 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3647.88 | 5 | 3041 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3643.13 | 5 | 3039 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3605.38 | 5 | 3023 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3674.73 | 5 | 3052 | 0.3 | 9.58235879 | 0. | 992. | 0.000652 | 7281066.31 |
| 3673.27 | 5 | 3051.48 | 0.3 | 9.582 | 0. | 992. | 0.000653 | 7281066.31 |

ตารางที่ ค-2 ตารางแสดงผลการทดสอบ Friction ของปั๊มหลังการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q | H | Ns | K3 | Cm | D | ρ | μ | Re |
|---------|---|------|-------|------------|----|--------|----------|------------|
| 3589.87 | 5 | 2892 | 0.31 | 10.1833938 | 0. | 992. | 0.000652 | 7737757.20 |
| 3654.37 | 5 | 2918 | 0.305 | 10.0191455 | 0. | 992. | 0.000652 | 7612954.67 |
| 3738.74 | 5 | 2952 | 0.31 | 10.1833938 | 0. | 992. | 0.000652 | 7737757.20 |
| 3831.78 | 5 | 2988 | 0.31 | 10.1833938 | 0. | 992. | 0.000652 | 7737757.20 |
| 3857.86 | 5 | 2999 | 0.31 | 10.1833938 | 0. | 992. | 0.000652 | 7737757.20 |
| 3876.17 | 5 | 3006 | 0.31 | 10.1833938 | 0. | 992. | 0.000652 | 7737757.20 |
| 3898.37 | 5 | 3014 | 0.3 | 9.85489726 | 0. | 992. | 0.000652 | 7488152.13 |
| 3887.27 | 5 | 3010 | 0.3 | 9.85489726 | 0. | 992. | 0.000652 | 7488152.13 |
| 3893.61 | 5 | 3012 | 0.3 | 9.85489726 | 0. | 992. | 0.000652 | 7488152.13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) ตารางแสดงผลการทดสอบ Friction ของปั๊มหลังการเคลือบที่อัตราไหลต่างๆ

| Q | H | Ns | K3 | Cm | D | ρ | μ | Re |
|----------|----|----------|-------|-------------|-----|--------|-----------|-------------|
| 3896.78 | 55 | 3014 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3897.94 | 55 | 3014 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3885.79 | 55 | 3009 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3850.81 | 55 | 2996 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3885.68 | 55 | 3009 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3850.81 | 55 | 2996 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3885.68 | 55 | 3009 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3849.22 | 55 | 2995 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3895.2 | 55 | 3013 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3890.44 | 55 | 3011 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3896.86 | 55 | 3014 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3912.76 | 55 | 3020 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3874.59 | 55 | 3005 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3894.78 | 55 | 3013 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3876.17 | 55 | 3006 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3812.76 | 55 | 2981 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3877.76 | 55 | 3006 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3865.07 | 55 | 3001 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3899.45 | 55 | 3015 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3885.68 | 55 | 3009 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3880.64 | 55 | 3007 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3869.83 | 55 | 3003 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3895.51 | 55 | 3013 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3902.75 | 55 | 3016 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3851.84 | 55 | 2996 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3841.57 | 55 | 2992 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3822.75 | 55 | 2985 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3807.83 | 55 | 2979 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3787.59 | 55 | 2971 | 0.31 | 10.18339384 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7737757.209 |
| 3952.64 | 55 | 3035 | 0.3 | 9.85489726 | 0.5 | 992.2 | 0.0006529 | 7488152.137 |
| 3857.057 | 55 | 2998.085 | 0.304 | 9.977 | 0.5 | 992.2 | 0.000653 | 7580954.023 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณหาค่าความเสียดทาน (รูปที่ 6.6)
สมการความเร็วจำเพาะ

$$N_s = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$N_s = \frac{975(3897)^{1/2}}{55^{3/4}}$$

$$= 3014$$

หาความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดของโวลูต

$$C_m = k_3 \sqrt{2gH_p}$$

$$C_m = 0.31 \sqrt{2 \times 9.81 \times 55}$$

$$= 9.85 \text{ m/s}$$

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

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

$$R_e = \frac{992.2 \times 9.85 \times 0.5}{0.000653}$$

$$= 7300000$$

หาค่า *friction*

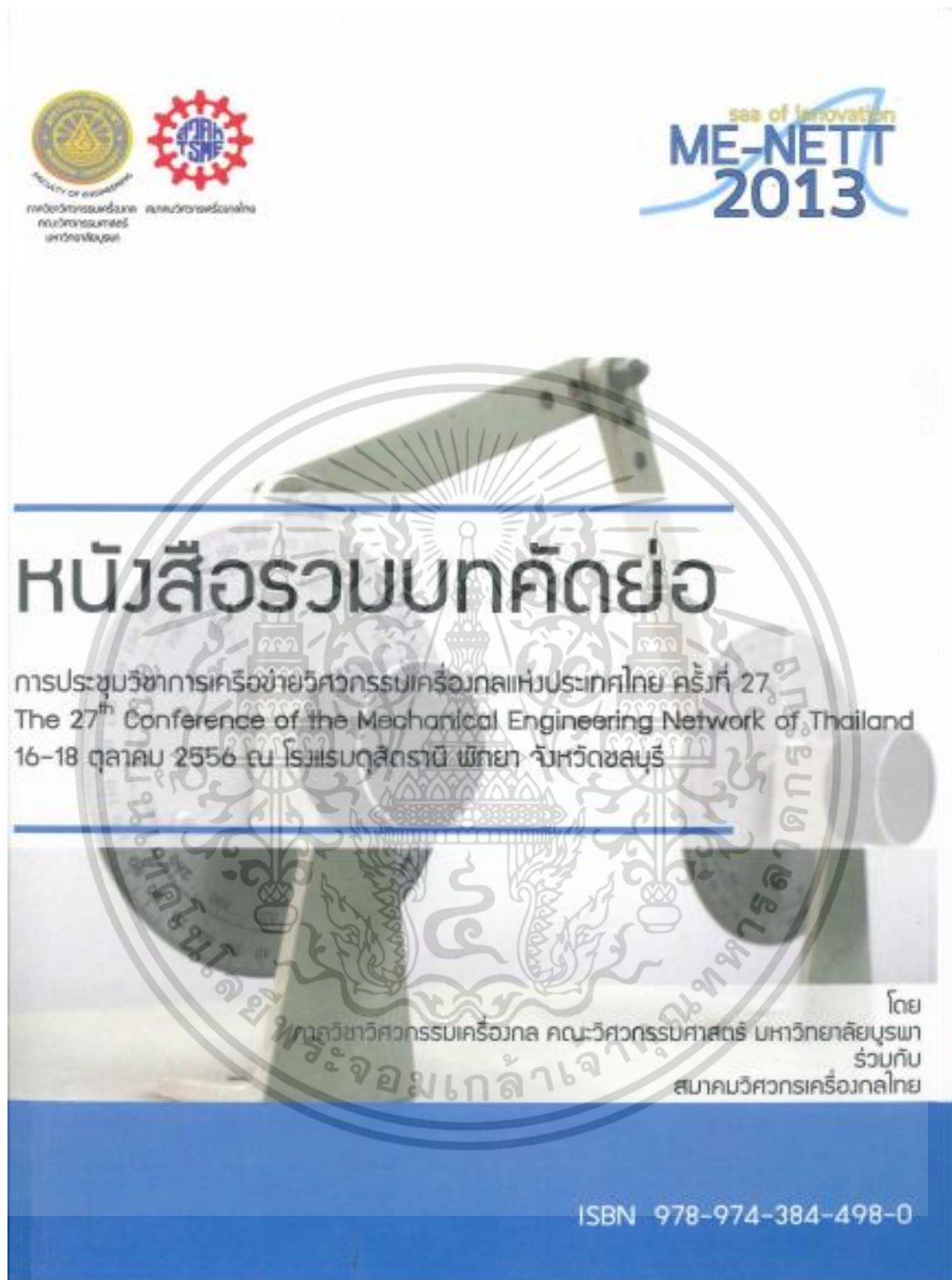
$$\frac{\epsilon}{d} = 0.000104$$

จาก Moody Chart จะได้ ค่า Friction = 0.0155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSF-2041

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงขนาดใหญ่ก่อนและหลังการเคลือบ ภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิค

Study on the Performance of the Big Centrifugal Pump before and after internal Casing and Impeller by Ceramics Coating

ปฐนัท มีบุญเกิด*, จำลอง ปราบแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซ.ฉลองกรุง 1 แขวง/เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
*ติดต่อ: E-mail: phathanuth.m@gmail.com โทรศัพท์ 023298350-1 โทรสาร 02 3298352

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงขนาดใหญ่ที่ใช้สูบน้ำสำหรับหอคูลิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะก่อนและหลังทำการเคลือบผิวภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิค จากข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มก่อนนำมาติดตั้งใช้งานของบริษัทผู้ผลิตพบว่าปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด 89.8 % ที่อัตราการไหล 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ค่าเฮด 55 เมตร หลังจากติดตั้งปั๊มใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ปี ได้ทดสอบสมรรถนะของปั๊มอีกครั้งพบว่าปั๊มประสิทธิภาพสูงสุดลดลงเหลือ 61.3 % ที่อัตราการไหล 3,664 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ค่าเฮด 52 เมตร หลังจากการซ่อมบำรุงโดยการถอดปั๊มมาทำความสะอาดภายใน เปลี่ยนซีลกันรั่วและเคลือบผิวใบพัดและภายในเรือนปั๊มด้วยสารเซรามิคที่มีส่วนผสมของสารอีพอกซีซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติลดแรงต้านทานที่ผิวภายในของตัวเรือนปั๊มและใบพัด แล้วจึงประกอบปั๊มกลับตั้งเดิมแล้วจึงเดินเครื่องใช้งานตามปกติ จากการตรวจวัดพบว่าปั๊มมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 70.5% ที่อัตราการไหล 3,856 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และที่ค่าเฮด 55 เมตร ทำให้ลดค่าพลังงานไฟฟ้าลง 3% และจากการประเมินค่าใช้จ่ายที่เป็นซ่อมบำรุงและค่าเคลือบผิวเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงพบว่าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 9 เดือน

คำหลัก: ปั๊มแรงเหวี่ยง, การเคลือบผิว, สมรรถนะของปั๊ม

Abstract

This paper presents the results of performance testing of large centrifugal pumps are used to pump for cooling tower unit in a petrochemical industry. By comparing the performance before and after coating internal with casing and impeller by ceramic material. Based on the test performance of the pump before the deployment of the manufacturer that the pump efficiency 89.8% at a flow rate of 4,450 cubic meters per hour, and at the head of 55 meters after run commissioning pump in used around 24 hours for 3 years and performance test pump again. For pump efficiency decreased to 61.3% at a flow rate of 3,664 cubic meters per hour, and at the head of 52 meters after maintenance by overhaul and cleaning internal, replacement mechanical seal, coating with impeller and casing by ceramics have a component

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSF-2041

of epoxy resin, a polymer that possesses the internal resistance of the surface of the casing and the impeller. After installation the pumped return to run commissioning . The performance test showed that the pump efficiency increased to 70.5% at a flow rate of 3,856 cubic meters per hour, and at the head of 55 meters to reduce energy consumption by 3% and cost evaluation for maintenance and coating cost compare with reduction for energy consumption found that return of investment (ROI) around 9 months.

Keywords: Centrifugal pump, Coating, Performance

1. บทนำ

ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สูบของเหลวที่นิยมใช้กันมาก ประมาณกันว่าพลังงานไฟฟ้า 20% ของโลกต้องนำไปเพื่อการเดินปั๊มสูบของเหลวในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในกรณีศึกษาในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ที่ตั้งอยู่ในนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นกลุ่มที่ผลิตสารฟีนอลและอะซิโตน ได้มีการใช้ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเป็นจำนวนมาก หลังจากได้ทำการเดินปั๊มสำหรับในการใช้งานในระยะเวลา 3 ปีพบว่าประสิทธิภาพของปั๊มลดลง เกิดการสั่นสะเทือน การเกิดการรั่วไหล เนื่องจากซีลกันรั่ว (Mechanical seal) ชำรุด ส่งผลให้ปั๊มดังกล่าวมีการใช้พลังงานจำนวนมาก จึงมีแนวคิดในการลดการใช้พลังงานและเพิ่มอายุในการใช้งานของปั๊มโดยการซ่อมบำรุงเปลี่ยนซีลกันรั่วและเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและใบพัด [1] ค้นพบว่า การใช้สารเคลือบผิว ไม่เพียงแต่การปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊ม ยังเป็นการยืดอายุการใช้งานออกไปและยังช่วยให้มีการบำรุงรักษาให้น้อยลงและสามารถป้องกันการกัดกร่อนแหวนที่สวมไว้เพื่อป้องกันการรั่วซึมจากด้านที่มีแรงดันสูงไปสู่แรงดันต่ำ และสามารถหยุดการกัดกร่อนทั่วไปที่เกิดขึ้นกับตัวปั๊มและใบพัด [2] ค้นพบว่า การเคลือบผิวส่วนประกอบของปั๊มแรงเหวี่ยงทั้งแหวนสวมใบพัด พื้นผิวของใบพัดและพื้นผิวที่สวมต่อกับเพลลา จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของปั๊ม [3] ค้นพบว่าปั๊มแบบแรงเหวี่ยงทำงานที่ความเร็วรอบ 1300 รอบต่อนาที, มีอัตราการไหลที่ 875 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, เฮด 26.5 เมตร และมีประสิทธิภาพปั๊ม 83.5% หลังจากที่ได้ทำการเคลือบผิวปั๊มด้วยสารประกอบของเซรามิกส์ แล้วพบว่าปั๊มมี

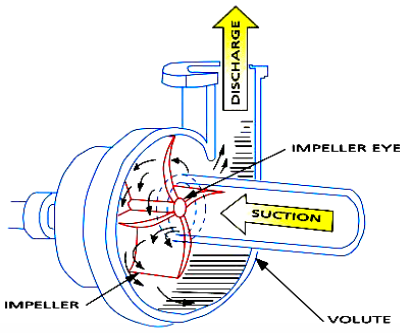
ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 6 % เมื่อเทียบก่อนทำการเคลือบผิว โดยมีเงื่อนไขของอัตราการไหลและเฮดคงที่

โครงการนี้จึงทำการซ่อมบำรุงปั๊มแบบแรงเหวี่ยงซึ่งเป็นคู่อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของบริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด โดยการเปลี่ยนซีลกันรั่วและเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิค โดยการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังทำการเคลือบภายในตัวเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิคและได้วิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อหาจุดคุ้มทุน

2. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับปั๊ม

ปั๊มแรงเหวี่ยงทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดที่ได้รับการถ่ายทอดกำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดดันบรรยากาศ ของเหลวจะถูกดูดเข้าทางศูนย์กลางของใบพัด ของเหลวจะได้รับพลังงานกลจากใบพัดแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เมื่อของเหลวไหลออกจากใบพัดแล้วพลังงานจลน์บางส่วนก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดันแทน เนื่องจากช่องทางการไหลภายในเสื้อปั๊มขยายใหญ่ขึ้น ทำให้ความเร็วของของเหลวลง ซึ่งก็จะทำให้ของเหลวสามารถไหลไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

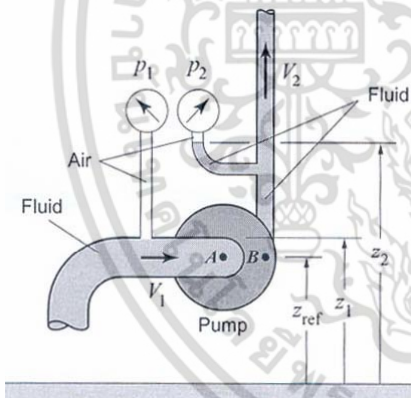
TSF-2041



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของปั๊ม

2.1 เฮดปั๊ม

เฮดปั๊มหมายถึงพลังงานที่ปั๊มให้กับของเหลวเพื่อให้เกิดการไหลจากด้านดูด (จุด A) ไปยังด้านส่งของปั๊ม (จุด B) ดังแสดงในรูปที่ 2 ค่าเฮดปั๊มคำนวณจากสมการพลังงานของเบอร์นูลลี (1)



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งหาค่าเฮดปั๊ม

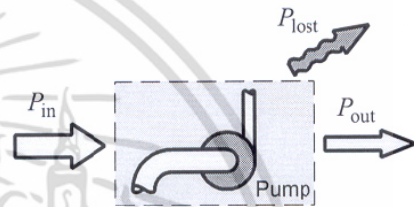
จากรูปเขียนสมการพลังงานระหว่างจุด A และ B จะได้ว่า

$$\therefore H_p = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1) \quad (1)$$

เมื่อ H_p คือเฮดปั๊ม (m), V_1 และ V_2 คือความเร็วการไหลที่จุด A และจุด B ตามลำดับ (m/s) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดท่อ

3. ประสิทธิภาพของปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊ม (η_p) หมายถึง ร้อยละของกำลังงานที่ปั๊มผลิตได้ (Power output) เมื่อเทียบกับกำลังงานที่ให้ปั๊ม (Power input) โดยผ่านเพลจากต้นกำลังและใบพัดซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)



รูปที่ 3 แสดงค่ากำลังที่ให้และกำลังที่ได้จากปั๊ม

$$\eta_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (2)$$

กำลังที่ปั๊มผลิตได้ (Pump Power output) คำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\eta_p = \gamma H_p Q \quad (3)$$

เมื่อ H_p คือเฮดปั๊ม (m)

γ คือน้ำหนักจำเพาะของของไหล (N/m^3)

Q คืออัตราการไหลของปั๊ม (m^3/s)

กำลังที่ให้แก่ปั๊ม (Pump Power input) หาได้โดยการวัดกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์แล้วคูณกับประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$P_{input} = VI\sqrt{3}\eta_m \cos \phi \quad (4)$$

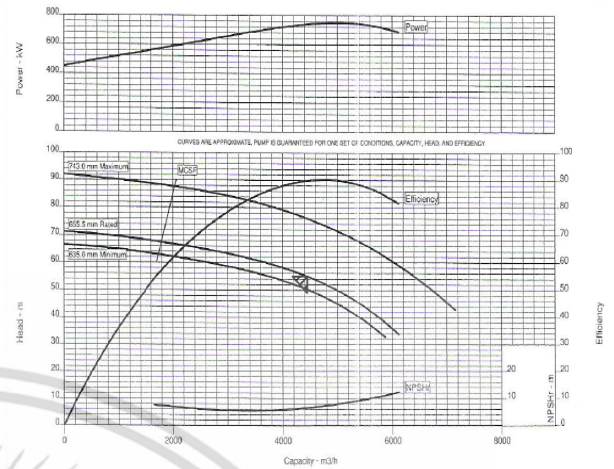
TSF-2041

4. กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยง

ปกติบริษัทผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ผลิตขึ้นแล้วเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮดปั๊มเทียบกับอัตราการไหล, ประสิทธิภาพของปั๊มเทียบกับอัตราการไหล และ กำลังที่ใช้ขับปั๊มเทียบกับอัตราการไหล รูปที่ 4 แสดงลักษณะของปั๊มแบบแรงเหวี่ยงซึ่งเป็นปั๊มคูลลิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของ บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด รูปที่ 5 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มดังกล่าว จะสังเกตเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นค่าเฮดของปั๊มจะค่อย ๆ ลดลง แต่ประสิทธิภาพของปั๊มก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดแล้วจึงค่อย ๆ ลดลง จุดให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเรียกว่า Best efficiency Point (BEP) อัตราการไหล ณ จุดนี้เรียกว่า design flow rate ในการเลือกปั๊มมาใช้งานจะต้องเลือกที่อัตราไหลและประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียง จากกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มดังรูปที่ 5. เป็นของ ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้เป็นปั๊มคูลลิ่งในโรงงานผลิต สารฟีนอล ซึ่งบริษัทผู้ผลิตปั๊มได้ทดสอบที่ความเร็วรอบ 975 รอบต่อนาที พบว่าปั๊มมี ประสิทธิภาพสูงสุด 89.8% ที่อัตราการไหล 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เฮดของปั๊มมีค่า 55 เมตร



รูปที่ 4 แสดงปั๊มคูลลิ่งแบบแรงเหวี่ยง



รูปที่ 5 แสดงสมรรถนะของปั๊มจากบริษัทผู้ผลิต

หลังจากปั๊มผ่านการใช้งานในกระบวนการผลิต สารฟีนอลและอะซิโตน พบว่าค่าประสิทธิภาพลดลง และใช้พลังงานสูง จากสาเหตุเนื่องจากใบพัดมีการสึกหรอและเกิดการรั่วที่ซีลป้องกันการรั่วเชิงกล (Mechanical Seal) ซึ่งทำให้เกิดการรั่วภายในเรือนปั๊มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงจากอัตราการไหล 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เหลือ 3,630 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ เฮดจากเดิมที่ 55 เมตร ลดลงเหลือ 52 เมตร โดยมีประสิทธิภาพลดลงจาก 89.8% เหลือ 61% และมีกระแสที่เพิ่มขึ้น จึงได้เลือกวิธีการในการลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง โดยได้เลือกวิธีการเคลือบผิวที่ใบพัดและตัวเรือนปั๊มเป็นโครงการในการวิจัยครั้งนี้

5. การเคลือบผิวโดยใช้สารประกอบเซรามิค

อีพอกซี (Epoxy) เป็นพลาสติกเหลวมีความหนืดสูง เมื่อนำอีพอกซีมาผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจะเกิดการแข็งตัว (hardener) ก่อนนำไปใช้ กล่าวคือ อีพอกซีส่วนแรกทำจาก Bis-Epi Resin ส่วนหลังเป็นส่วนที่ทำให้อีพอกซีแข็งตัว (Hardener) นิยมทำจาก อามีน (Amine) และอามีด์ (Amide) ซึ่งอีพอกซีที่ใช้ อามีนเป็นสารทำให้แข็งจะทนความเย็นได้ดีถึงลบ 20 องศาเซลเซียส ส่วนอีพอกซีที่ผสมกับอามีด์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSF-2041

มีคุณสมบัติทนความร้อนถึงอุณหภูมิ 70-160 องศาเซลเซียส และทนเบส (Alkalies) ได้ดี การนำสารเซอร์รามิคอีพอกซีมาเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและใบพัด จะทำให้ผิวงานเรียบช่วยลดความเสียหายระหว่างผิวสัมผัสและช่วยต้านการสึกหรอของอุปกรณ์ ในการเคลือบงานด้วยอีพอกซี จะต้องเตรียมชิ้นงานให้ สะอาดไม่มีคราบฝุ่น น้ำมัน สี และสิ่งสกปรกต่างๆ บริเวณผิวงานที่เคลือบจะต้องเป็นพื้นผิวที่หยาบและแห้งสนิทเพื่อการยึดเกาะที่ดีของอีพอกซี ยกเว้นบางชนิดใช้สำหรับการซ่อมแซมพื้นผิวเปื่อย การเคลือบผิวภายในตัวเรือนและใบพัดของปั๊ม เป็นการป้องกันการเสียดสีกับเศษวัสดุที่ส่งผ่าน ซึ่งเป็นต้นเหตุของการสึกหรอภายในผนังของเรือนปั๊มและใบพัด ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียผิวโลหะของตัวเรือนปั๊มและใบพัด ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและยืดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง

6. ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินการ

ในการศึกษาสมรรถนะของปั๊มก่อนและหลังการเคลือบผิวใบพัดและภายในเรือนปั๊ม มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

6.1 ถอดชิ้นส่วนของปั๊มเพื่อนำมาตรวจสอบ เช่น อุปกรณ์ชุดกันรั่วเชิงกล (Mechanical seal)



รูปที่ 6 ภายในและใบพัดของปั๊มก่อนทำการเคลือบผิว



รูปที่ 7 ใบพัดและภายในเรือนปั๊มหลังทำการเคลือบผิว

6.2 การเตรียมพื้นผิวของตัวเรือนปั๊มและใบพัด จะใช้วิธีการพ่นทราย ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากภายในเรือนปั๊มและใบพัดมีซอกเล็กๆ ทำความสะอาดโดยวิธีอื่นได้ยาก การพ่นทรายจะทำให้ได้พื้นผิวที่หยาบ เมื่อนำงานพ่นทรายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ปรุจากสนิมและสิ่งสกปรกแล้ว ควรทำความสะอาดเพิ่มเติมด้วยน้ำยาทำความสะอาด เพราะสิ่งสกปรกหลงเหลืออยู่เป็นสาเหตุของการเกิดสนิมและทำให้อีพอกซีเกิดการหลุดร่อนได้

6.3 ผสมอีพอกซีตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตกำหนดให้ถูกต้องเพราะส่วนผสมมีผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว

6.4 ใช้แปรงทาเคลือบบริเวณพื้นผิวที่เตรียมไว้ โดยปกติการทำเคลือบอีพอกซีแต่ละครั้งจะมีความหนาประมาณ 3 มม. แต่ถ้าต้องการความหนามากกว่านี้ทำได้โดยการทำการทาทับที่ละชั้น โดยเมื่อทาชั้นแรกเสร็จแล้วต้องทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้อีพอกซีเซตตัว จากนั้นจึงทาอีพอกซีทับลงไป เพื่อเพิ่มความหนา

6.5 นำตัวเรือนปั๊มและใบพัดที่ทำการเคลือบผิว มาตรวจสอบความหนาและความเรียบร้อยโดยทั่วไป ก่อนนำไปประกอบ

6.6 เมื่อประกอบปั๊มเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดสอบสมรรถนะโดยการติดตั้งเครื่องอุปกรณ์วัดอัตราการและติดตั้งวัดค่ามิเตอร์สำหรับวัดกระแส แสดงในรูปที่ 8 รูปที่ 9 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอุตราโซนิก

6.7 เดินเครื่องให้ปั๊มทำงานแล้ววัดค่าอัตราการไหลและวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ทุกๆ 10 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำค่าที่ได้มา

TSF-2041

เขียนกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มเพื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของปั๊มก่อนการเคลือบผิวไบพัตและภายในเรือนปั๊ม



รูปที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของปั๊ม



รูปที่ 9 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic

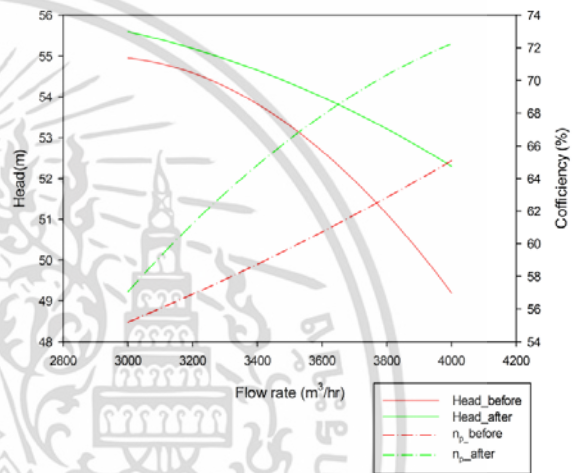
7. ผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊มจากบริษัทผู้ผลิตที่ได้ทดสอบก่อนนำมาติดตั้งใช้งาน และได้ทดสอบหลังจากติดตั้งใช้งานวันละ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ปี พบว่าสมรรถนะของปั๊มลดลงและมีการใช้พลังงานสูงเนื่องจากสาเหตุ ไบพัตมีการสึกหรอและเกิดการรั่วที่ซีลป้องกันการรั่วเชิงกล (Mechanical Seal) ซึ่งทำให้เกิดการรั่วภายในเรือนปั๊มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงจากอัตราการไหล 4,450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เหลือ 3,630 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ เฮดจากเดิมที่ 55 เมตร ลดลงเหลือ 52 เมตร โดยมีประสิทธิภาพลดลงจาก 89.8% เหลือ 61% และมีกระแสที่เพิ่มขึ้น

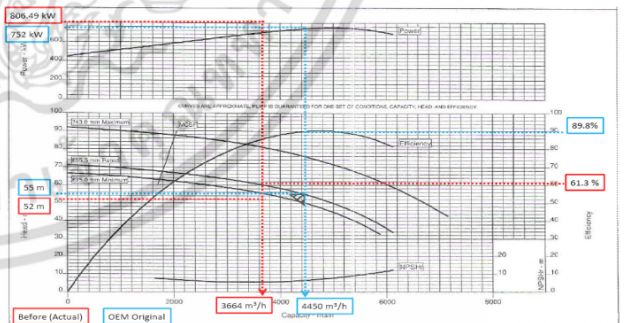
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนซีลกันรั่วและเคลือบผิวภายในเรือนปั๊มและไบพัตแล้วจึงวัดสมรรถนะอีกครั้งพบว่าปั๊มมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นก่อนทำการเคลือบผิวดังรูปที่ 10 และมีอัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 3,856 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เฮด 55 เมตร ปั๊มมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 61.3% เป็น 70.5% ดังแสดงในรูปที่ 11 และในรูปที่ 12 โดยมีผลเปรียบเทียบสมรรถนะเฉลี่ยได้ดังแสดงในตารางที่

1



รูปที่ 10 กราฟแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของปั๊ม โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการเคลือบผิว



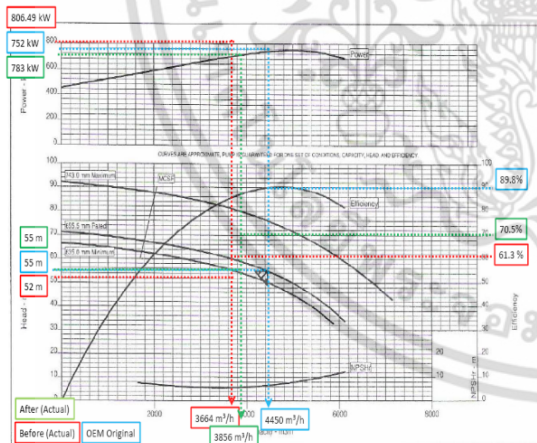
รูปที่ 11 สมรรถนะของปั๊มของบริษัทผู้ผลิตและก่อนการเคลือบผิว (เส้นสีฟ้าแสดงข้อมูลประสิทธิภาพ OEM (Original Equipment Manufacturer), เส้นสีแดงแสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลประสิทธิภาพของปั๊มก่อนการเคลือบผิว)

TSF-2041

ตารางที่ 1 ผลทดสอบเฉลี่ยสมรรถนะของปั๊มก่อน
และหลังการเคลือบผิว

| | Before | After | Saving |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Pump Flow rate (m ³ /h) | 3664 | 3856 | 192 |
| Pump Head(m) | 52.0 | 55.0 | 3 |
| Amp(A) | 83.80 | 79.50 | 0.3 |
| Pump Efficiency (%) | 61.3 | 70.5 | 9.1 |
| Power Use (KW) | 53,228 | 51,674 | 1,554 |

หลังจากปั๊มที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลาประมาณ 3 ปี พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มลดน้อย เมื่อเทียบกับข้อมูลดั้งเดิม OEM Original ดังรูปภาพที่ 9 หลังจากที่ได้นำปั๊มทำการเคลือบผิวด้วยสารเซรามิกส์ ในส่วนของตัวเรือนปั๊ม (Casing) และ ใบพัด (Impeller) ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1 และ ดังรูปภาพที่ 10



รูปที่ 12 กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มก่อนและ
หลังการเคลือบผิว (เส้นสีฟ้าแสดงข้อมูล
ประสิทธิภาพ OEM (Original Equipment
Manufacturer), เส้นสีแดงแสดงข้อมูลประสิทธิภาพ
ของปั๊มก่อนการเคลือบผิว, เส้นสีเขียวแสดงข้อมูล
ประสิทธิภาพของปั๊มหลังการเคลือบผิว)

7. สรุปผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการเคลือบผิวด้วยการใช้
สารประกอบเซรามิกพบว่าปั๊มจะเรียบลื่นและช่วย
ลดการต้านทานการไหลของสารเคมีภายในปั๊ม ทำให้
ค่าประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ
ก่อนการเคลือบผิว 9.1% อัตราการไหลเพิ่มขึ้น
5.2% และลดการใช้พลังงานลง 3%, โดยมีระยะเวลา
ในการคืนทุน 9 เดือน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด (กลุ่ม ปตท.)
ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลของปั๊มและรายละเอียดของ
โครงการเป็นอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jeremie, M. "Coating Technology Increases Pump Performance," Belzona Polymeric Ltd, Claro Road, Harrogate, North Yorkshire HG1,2008
- [2] Robert C. Tucker, Jr. (1982). "Coatings for centrifugal pump components," Associate Director, Materials Development Union Carbide Corporation Indianapolis, Indiana, pp. 107-110.
- [3] Dr DA BEL, "Efficiency Tests on a 10-inch centrifugal pump before and after the application of a coating", Report Ref 432/88 BEMO/01, National Engineering Laboratory, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายปฐนธ์ มีบุญเกิด
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 27 กันยายน ที่จังหวัด สมุทรปราการ

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และในปีการศึกษา 2553 ได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโททางวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

- วิศวกรรมเครื่องกล ส่วนบำรุงรักษาและส่วนวิศวกรรม ฝ่ายวิศวกรรมและบำรุงรักษา บริษัท กลุ่ม ปตท. จำกัด (มหาชน) ดูแล อุปกรณ์ งานเครื่องกล
- วิศวกรซ่อมบำรุง ส่วนบำรุงรักษา บริษัท กลุ่ม ปตท. จำกัด (มหาชน)
- วิศวกรเครื่องกลอาวุโส ดูแลโครงการก่อสร้างสร้างขยายโรงงานปิโตรเคมีและแก๊ส
- ผู้จัดการโครงการ ติดตั้งระบบสายพานลำเลียง และเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้