ชุดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศชนิดวงแหวนน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

AN APPARATUS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIQUID RING VACUUM PUMP IN ORDER TO BECOME HIGH EFFICIENCY

พัชร หาญวนิชกุล
พิชญ์ อยู่ชยันตี
อภิสิทธิ์ สีม่วง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศชนิดวงแหวนน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

AN APPARATUS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIQUID RING VACUUM PUMP IN ORDER TO BECOME HIGH EFFICIENCY

T143936

พัชร หาญวนิชกุล

พิชญ์ อยู่ชยันตี

อภิสิทธิ์ สีม่วง

วพ.
TJ5625
2558
เลขหมู่
เลขทะเบียน 143936
วัน.เดือน.ปี 04 ต.ค. 2559
b. 17809705
.1

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN APPARATUS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIQUID RING VACUUM PUMP IN ORDER TO BECOME HIGH EFFICIENCY

PATCHARA HANVANICHAKUL

PITCH YOOCHAYANTEE

APHISIT SRIMUANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศชนิดวงแหวนน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

An apparatus to improve the efficiency of liquid ring vacuum pump in order to become high efficiency

คณะผู้จัดทำ

1. นาย พัชร หาญวนิชกุล รหัสประจำตัว 55010840
2. นาย พิชญ์ อยู่ชยันตี รหัสประจำตัว 55010856
3. นาย อภิสิทธิ์ สีม่วง รหัสประจำตัว 55011424

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มณฑล ใจกุศล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศชนิดวงแหวนน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นาย พัชร	หาญวนิชกุล	55010840
นาย พิชญ์	อยู่ชยันตี	55010856
นาย อภิสิทธิ์	สีม่วง	55011424
ผศ. มณฑล	ใจกุศล	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษา ชุดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มสุญญากาศ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยการศึกษาครั้งนี้เกิดขึ้นเพราะคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญของอุณหภูมิของน้ำ ที่ไหลเข้าตัวปั๊มสุญญากาศ เพราะการที่น้ำไหลเข้าสู่ปั๊มสุญญากาศในสภาวะที่มีอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มสุญญากาศลดลงและยังอาจทำให้เกิดการสึกหรอที่ตัวปั๊มอีกด้วยการทดลองนี้ได้มีการนำชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปในตัวปั๊ม ซึ่งตัวแปรที่สนใจคือ อุณหภูมิที่สามารถทำได้จากชุดอุปกรณ์และ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มสุญญากาศเมื่อติดชุดอุปกรณ์เข้าไป โดยทำการทดสอบจากชุดทดสอบที่สร้างขึ้นดังนี้คือชุดการทดสอบแบบระบบปิดติดตู้ทำน้ำเย็น,ชุดการทดสอบแบบระบบเปิดไม่ติดตู้ทำน้ำเย็นและชุดการทดสอบแบบระบบเปิดติดตู้ทำน้ำเย็น ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ ที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นตัวปั๊มเป็น 15 องศา ที่อัตราการไหล 200 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้ชุดทดลองที่ออกแบบเป็นระบบเปิด พร้อมกับติดชุดทำความเย็น ซึ่งชุดทดลองนี้ให้ประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 83.4 ขณะที่ในชุดการทดลองดั้งเดิมนั้นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำได้และให้ประสิทธิภาพสูงสุดได้เพียงร้อยละ 74.3 เมื่อเทียบกันแล้วชุดทดลองใหม่ที่ดีที่สุดสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นได้ร้อยละ 9.1 และทำความดันในห้องสุญญากาศได้ที่ –758 มิลลิเมตรปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN APPARATUS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIQUID RING VACUUM PUMP IN ORDER TO BECOME HIGH EFFICIENCY

PATCHARA	HANVANICHAKUL	55010840
PITCH	YOOCHAYANTEE	55010856
APHISIT	SRIMUANG	55011424
Assis.Prof Monthol	Jaikusol	Advisor

Year 2558

Abstract

This thesis aims to study on the effect of service water temperature on the operation of the vacuum pump. Previous study shows that the temperature of service water affect the operation of vacuum pump, because the unsuitable temperature of service water and speed of motor can reduce the performance of vacuum pump and may cause wear inside vacuum pump. This project is to apply the testing apparatus to reduce the temperature of service water before entering in vacuum pump. The interesting parameters in this project are suitable service water temperature and volumetric efficiency of vacuum pump when we install the testing apparatus. The experiment will be test by this testing apparatus in case 1 close loop with cooler, case 2 open loop no cooler and case 3 open loop with cooler. So the vacuum pump can run at high efficiency when the temperature of water circulation inside the pump is 15 degree Celsius at water flow rate 200 Liter/hour and our testing apparatus is an open loop with cooler. It give a volumetric efficiency 83.4% while the previous apparatus can't control the temperature of service water and give a volumetric efficiency 74.3%. So when we compare the two type of testing apparatus, the new case will make an efficiency more than original case at 9.1% and can make a vacuum pressure inside the chamber at -758 mmHg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากปราศจากการให้ความรู้และคำแนะนำดีๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. มณฑล ใจกุศล ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยดูแลเอาใจใส่ในการอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อสถานที่รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ ทำให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณพี่รักกุล ศรีสุนทร พี่วุฒิลักษณ์ พ่วงศรี และพี่อิทธิณัฐ ตวงสุทธี สำหรับการให้คำแนะนำในเรื่องเกี่ยวกับระบบปั๊มสุญญากาศและการให้ความช่วยเหลือในเรื่องการไปดูงานจริงที่บริษัท ไทย เบฟเวอเรจ เอเนอร์ยี่ จำกัด นายเขมชาติ บุณยะกาญจน ที่เอื้อเฟื้อถังบรรจุน้ำขนาด 100 ลิตร รวมทั้งพี่พงศ์พันธ์ วาทะสุนทรพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของอุปกรณ์เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและการให้คำปรึกษาที่ดี

สุดท้ายนี้ต้องขอพระคุณบุคคลที่มีความสำคัญยิ่งของข้าพเจ้า คือ บิดา มารดา ที่ได้คอยให้ความสนับสนุนข้าพเจ้าหลายๆเรื่อง ในการศึกษาทดลองตลอดช่วงเวลาการศึกษา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอันสูงสุด จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย พัชร หาญวนิชกุล

นาย พิชญ์ อยู่ชยันตี

นาย อภิสิทธิ์ สีม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 วิธีการดำเนินงาน 2

1.5 แผนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การแบ่งชนิดของปั๊มสุญญากาศ 3

2.1.1 ปั๊มสุญญากาศประเภท Positive Displacement 3

2.1.2 ปั๊มสุญญากาศประเภท Momentum Transfer 5

2.1.3 ปั๊มสุญญากาศประเภท Entrapment 6

2.2 ปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid Ring 7

2.3 การใช้งานปั๊มสุญญากาศ 8

2.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตร 9

2.5 ตัวแปรที่ใช้ทดสอบ 10

2.5.1 อัตราการไหลของน้ำ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.5.2 อุณหภูมิของน้ำ 11
2.6 วิธีการคำนวณอุณภูมิน้ำหล่อเย็น 11
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 ส่วนประกอบชุดทดสอบและวิธีการใช้งาน 14
3.1ส่วนประกอบของชุดทดสอบ 14
3.2 ปั๊มสุญญากาศ 14
3.3 ห้องสุญญากาศ 17
3.4 ตู้ทำน้ำเย็น 17
3.5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 18
3.6 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร 18
3.7 ถังพักน้ำ 19
3.8 ท่อและข้อต่อชนิดต่างๆ 19
3.9 วาล์ว 22
3.10 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล 23
3.11 มาตรวัดอุณหภูมิ 25
3.12 มาตรวัดความดัน 26
3.13 วิธีการใช้ชุดทดสอบระบบสุญญากาศ 26

บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 27
4.1 วิธีการทดลอง 27
4.2 ผลการทดลอง 27
4.2.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ทำได้ในแต่ละกรณีที่อุณหภูมิต่างกัน 28
4.2.2 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ทำได้ในแต่ละกรณีที่อุณหภูมิเดียวกัน 29
4.2.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแรงดูดที่ทำได้ในแต่ละกรณี 30

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 32
5.1 สรุปผลการทดลอง 32
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 32
5.3 ข้อเสนอแนะ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก 35

ภาคผนวก ข 38

ภาคผนวก ค 39

เอกสารอ้างอิง 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน.....2
ตารางที่ 3-1 ตารางเปรียบเทียบที่ใช้ในการเลือกรุ่นของปั๊มสุญญากาศ.....16
ตารางที่ 3-2 ตารางความดันไอของน้ำ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 Piston Pump 4
รูปที่ 2.2 Rotary Vane Pump 4
รูปที่ 2.3 Scroll Pump 4
รูปที่ 2.4 Diffusion Pump 5
รูปที่ 2.5 Turbomolecular Pump 6
รูปที่ 2.6 Cyro Pump 6
รูปที่ 2.7 Ion Pump 7
รูปที่ 2.8 Liquid Ring Vacuum Pump 8
รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของ Liquid Ring Vacuum Pump 8
รูปที่ 2.10 วงแหวนน้ำภายใน Liquid Ring Vacuum Pump 10
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและความดันไอ 11
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำเลี้ยงระบบ 15
รูปที่ 3.2 ห้องสุญญากาศ 17
รูปที่ 3.3 ตู้ทำน้ำเย็น 17
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 18
รูปที่ 3.5 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร 18
รูปที่ 3.6 ถังพักน้ำ 19
รูปที่ 3.7 ข้อต่อตรง 19
รูปที่ 3.8 ข้อต่องอ 90 องศา 20
รูปที่ 3.9 ข้อต่อ Tee 20
รูปที่ 3.10 ข้อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20
รูปที่ 3.11 ข้อต่อสำหรับสายยาง 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.12 ข้อต่อเกลียวใน....21
รูปที่ 3.13 ข้อต่อเกลียวนอก....21
รูปที่ 3.14 บอลวาล์ว....22
รูปที่ 3.15 โกลบวาล์ว....22
รูปที่ 3.16 เช็ควาล์ว....23
รูปที่ 3.17 เกตวาล์ว....23
รูปที่ 3.18 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำ....24
รูปที่ 3.19 อุปกรณ์วัดอัตรการไหลอากาศ....24
รูปที่ 3.20 มาตรวัดอุณหภูมิ....25
รูปที่ 3.21 มาตรวัดความดัน....26
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส....28
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส....28
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....28
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส....29
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบปิดติดเครื่องทำความเย็น....29
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบเปิดติดเครื่องทำความเย็น....30
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบเปิดไม่ติดเครื่องทำความเย็น....30
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันที่ห้องสุญญากาศ....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

Vacuum Pump หรือ ปั๊มสุญญากาศ เป็นปั๊มชนิดหนึ่งที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆในการสร้างสภาวะสุญญากาศ ทั้งด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น โดยชนิดของปั๊มสุญญากาศที่น่าสนใจคือ Liquid Ring Vacuum Pump เนื่องจากเป็นปั๊มสุญญากาศที่มีจุดเด่นคือ มีความทนทานสูง มีการสั่นของระบบการทำงานที่น้อยกว่าปั๊มสุญญากาศประเภทอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับงานหลายรูปแบบ จากโครงงานรุ่นที่แล้วเราพบว่าตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของตัวปั๊มคืออุณหภูมิของน้ำภายในตัวปั๊ม ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้มีการคิดชุดทดลองขึ้นมาเพื่อใช้เป็นชุดปรับอุณหภูมิของน้ำภายในตัวปั๊มให้เมาะสม โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำตามที่คณะผู้จัดทำกำหนดไว้ พร้อมกับคำนวณประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มและทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดในแต่ละกรณี เพื่อเป็นการหาจุดทำงานที่เหมาะสม , ปรับปรุงประสิทธิภาพ เพิ่มขีดความสามารถของปั๊ม รวมทั้งสามารถนำเอาไปเป็นกรณีศึกษาอ้างอิงสำหรับการนำไปใช้จริงในงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid Ring

1.2.2 เพื่อศึกษาและปรับอุณหภูมิของน้ำในระบบที่เหมาะสมในการทำงานของปั๊มสุญญากาศ

1.2.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบปั๊มสุญญากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ในการศึกษาเป็นชนิดวงแหวนน้ำ (Liquid Ring)

1.3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าปั๊มสุญญากาศและอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าสู่ตัวปั๊ม

1.3.3 ตัวแปรที่เราสนใจจะศึกษา คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มสุญญากาศและความดันสุญญากาศภายในห้องสุญญากาศ

1.3.4 การทดสอบจะเก็บค่าโดยใช้เครื่องมือวัดและนำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มสุญญากาศ

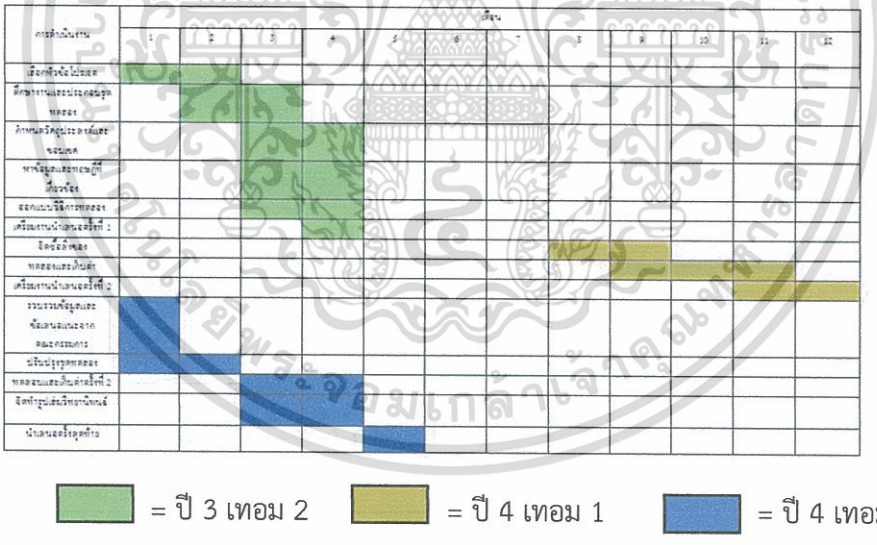
1.3.5 การทดลองจะเป็นการทดลองทั้งแบบระบบเปิดและปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในโครงงานนี้ได้ทำการปรับปรุงชุดทดลองจากชุดทดลองเดิมซึ่งเป็นชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อเอาไว้ศึกษาการทำงานของระบบปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid Ring เบื้องต้น ในชุดทดสอบดังกล่าวนั้นมีปัญหาอยู่คือเมื่อทำการทดลองไปได้ระยะเวลาหนึ่งอุณหภูมิของปั๊มจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจนทำให้ไม่สามารถเดินเครื่องปั๊มได้ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหานี้ก็คือ วงแหวนน้ำ (Liquid Ring) ภายในตัวปั๊มระบายความร้อนที่เกิดจากการทำงานของตัวปั๊มนี้ได้ไม่ทันจึงทำให้อุณหภูมิของวงแหวนน้ำ (Liquid Ring) สูงขึ้นเป็นผลทำให้อุณหภูมิของตัวปั๊มมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบและปรับปรุงชุดทดสอบเดิม และทำการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของระบบสุญญากาศ โดยชุดทดลองใหม่ที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งทำการทดลองเปลี่ยนตัวแปรที่ส่งผลต่อระบบได้แก่ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่ปั๊มสุญญากาศ และอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าสู่ตัวปั๊ม ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนั้นมาจากการเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดต่างๆในระหว่างการทดสอบ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณ และสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเลี้ยงระบบในแต่ละอุณหภูมิ และกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงดูดที่ทำได้ในแต่ละกรณี ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่ต้องการทราบถึงวิธีการปรับปรุงการทำงานของระบบปั๊มสุญญากาศ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.5 แผนการดำเนินงาน



ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

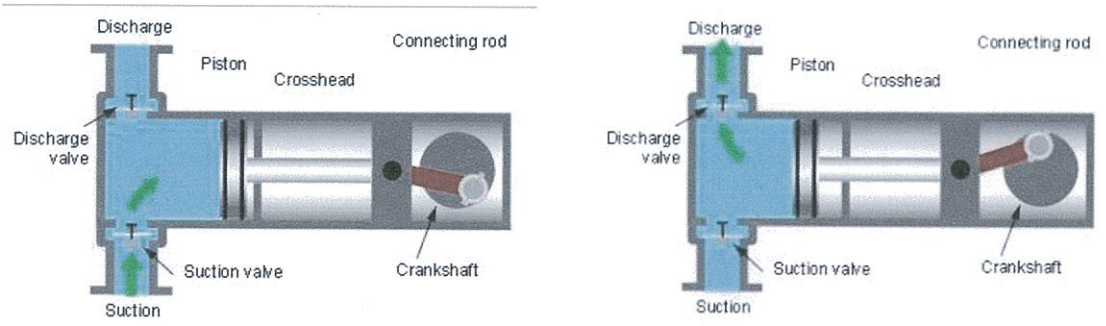
2.1 การแบ่งชนิดของปั๊มสุญญากาศ

สุญญากาศ หมายถึง ปริมาตรของที่ว่างที่ปราศจากสสารใดๆ ในทางวิทยาศาสตร์สภาวะที่ใกล้เคียงนิยามของคาดว่าสุญญากาศก็คือ บริเวณที่ความดันของแก๊สน้อยกว่าความดันบรรยากาศมาก ซึ่งในความเป็นจริงวิทยาการในปัจจุบันยังไม่สามารถทำให้เกิดสภาวะ สุญญากาศสมบูรณ์ หรือ ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ ปั๊มสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในปริมาตรปิด โดยการลดความดันแก๊สในปริมาตรปิด ซึ่งเป็นผลการลดความหนาแน่นของแก๊ส โดยการนำอนุภาคของแก๊สออกจากปริมาตรปิด ทำให้เกิดสุญญากาศบางส่วน ปั๊มสุญญากาศสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามวิธีหลักการทำงาน Positive displacement pump ใช้หลักการสร้างช่องว่าง ปล่อยให้แก๊สไหลเข้ามาช่อง ปิดทางเข้า และปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก Momentum transfer pump หรือเรียกอีกอย่างว่า molecular pump ใช้ลำเจ็ทความเร็วสูงของของไหลอัดแน่น หรือ ใบพัดที่หมุดด้วยความเร็วสูงในการส่งให้อนุภาคแก๊สออกไปจาก Entrapment Pump ใช้หลักการจับอนุภาคของแก๊สในรูปของของแข็ง หรือใช้การดูดซับ

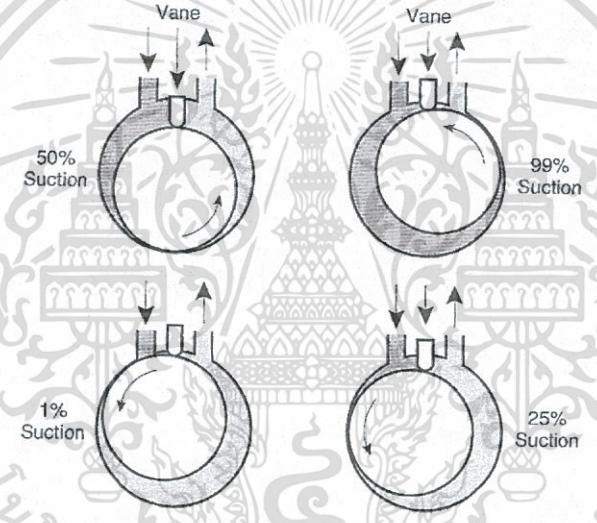
2.1.1 ปั๊มสุญญากาศประเภท Positive Displacement

หลักการทำงานของปั๊มสุญญากาศประเภทนี้คือการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในปั๊มเพื่อดึงอนุภาคของแก๊สออกจากภาชนะปิดที่เราต้องการสร้างสภาวะสุญญากาศ สภาวะสุญญากาศภายในปั๊มสามารถเกิดขึ้นได้จากการเพิ่มปริมาตรภายในปั๊ม ในการทำเช่นนั้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาตรไปเรื่อยๆเพื่อดึงอนุภาคแก๊สออกจากห้องสุญญากาศ ทำได้โดยเพิ่มปริมาตรภายในปั๊ม ปล่อยให้แก๊สไหลเข้าสู่ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นภายในปั๊ม ปิดทางเข้า และปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก และสร้างช่องว่างใหม่ ซ้ำไปเรื่อยๆ ซึ่งคล้ายกับปั๊มน้ำทั่วไป คือ ภายในตัวปั๊มจะมีกลไกทำให้ปริมาตรปิดขนาดเล็กขยายตัวขึ้นเพื่อลดความดันให้น้อยกว่าความดันบรรยากาศ เนื่องจากระดับความดันที่ต่างกันทำให้ของไหลไหลเข้าสู่ช่องว่างที่มีความดันน้อยกว่า หลังจากนั้นก็ปิดทางเข้าของปั๊มและส่งของไหลที่อยู่ในช่องว่างออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยการลดขนาดช่องว่างลงและเปิดให้ของไหลไหลออกไป

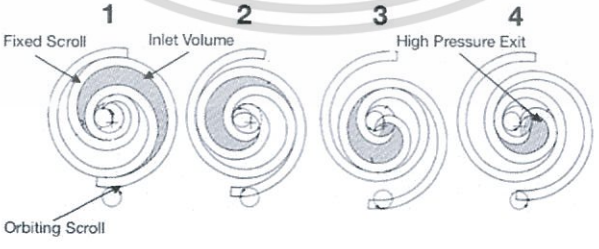
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 piston pump



รูปที่ 2.2 Rotary Vane Pump

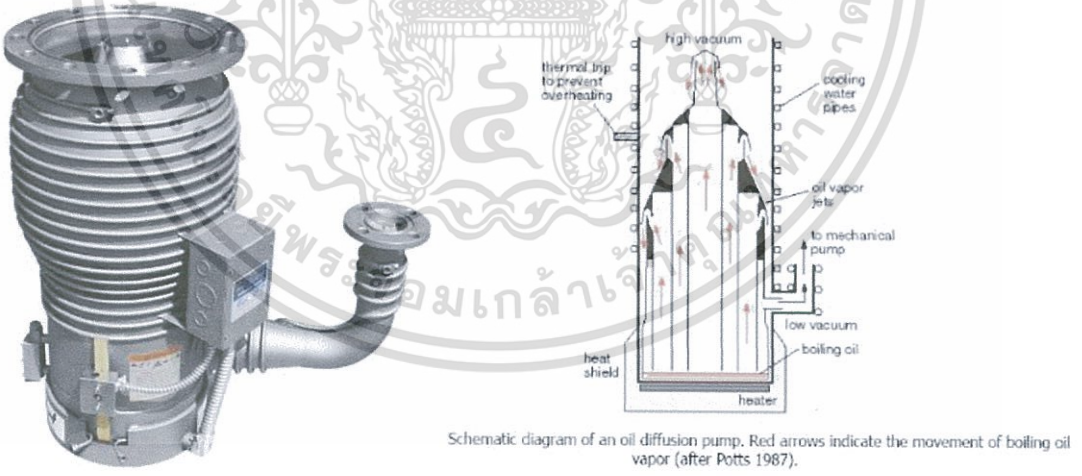


รูปที่ 2.3 Scroll Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ปั๊มสุญญากาศประเภท Momentum Transfer

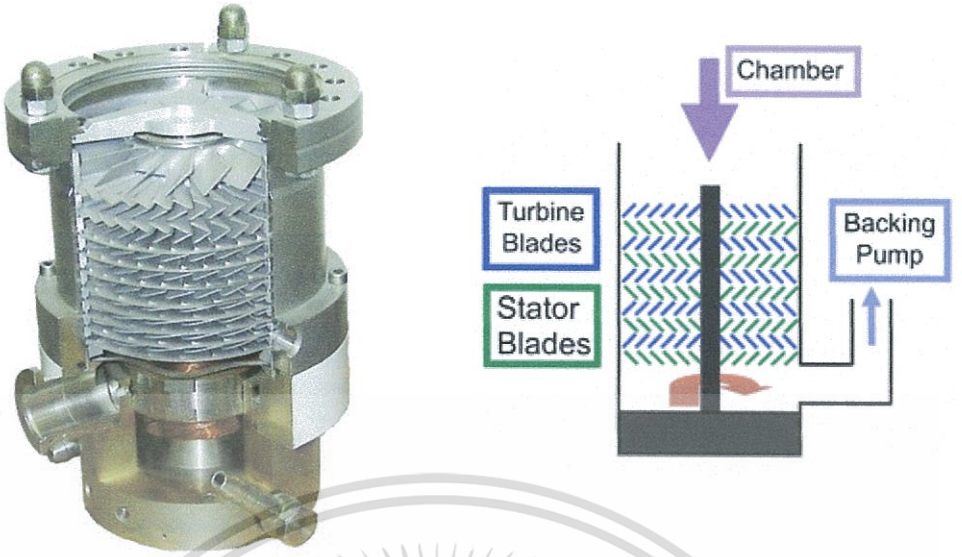
ภายในปั๊มประเภท Momentum Transfer โมเลกุลของแก๊สจะถูกเร่งความเร็วจากด้านที่ต้องการสร้างสภาวะสุญญากาศไปสู่ทางออกของปั๊ม มักใช้ร่วมกับกับปั๊มสุญญากาศประเภท Positive Displacement เนื่องจากปั๊มชนิดนี้สามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อความดันของด้านทางออกต้องน้อยกว่า 0.1 kPa โดยการต่อทางออกของปั๊ม Momentum Transfer สู่ทางของเข้าของปั๊ม Positive Displacement สสารจะมีการไหลต่างกันที่ความดันต่างกันตามกฎของ Fluid Dynamics ที่ความดันบรรยากาศและสุญญากาศเล็กน้อย โมเลกุลยังคงมีปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงทำให้เกิดการไหลแบบหนืด หากเพิ่มระยะห่างระหว่างโมเลกุล โมเลกุลจะมีปฏิกิริยากับผนังมากกว่ากับโมเลกุลรอบข้าง ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าปั๊มประเภท Positive Displacement เนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่กว่าและมีความเร็วในการไหลมากกว่า แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าที่การป้องกันการรั่วซึม เพราะถ้าหากมีการรั่วซึมที่ทำให้มีความดันเกิดขึ้นมากกว่า 0.1 kPa ที่ทางออกของปั๊มประเภทนี้ จะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับภายในปั๊มได้ ดังนั้นปั๊มประเภทนี้จะทำงานได้ดีที่สุดที่ความดันบรรยากาศที่ทางออกเป็นสุญญากาศ ปั๊มสุญญากาศประเภท momentum transfer แบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ Diffusion pump และ Turbo molecular pump ทั้งสองชนิดมีหลักการทำงานที่เหมือนกันคือ การส่งแก๊สที่ไหลเข้าในปั๊มออกไปสู่ทางออกของปั๊มโดยการถ่ายเทโมเมนตัม diffusion pump ส่งโมเลกุลแก๊สออกไปด้วยลำเจ็ทของน้ำมันหรือปรอท ส่วน Turbo molecular pump ใช้ใบพัดความเร็วสูงในการส่งแก๊สออกไป ซึ่งทั้งสองชนิดจะทำงานไม่ได้ถ้าส่งแก๊สออกสู่ความดันบรรยากาศ



Schematic diagram of an oil diffusion pump. Red arrows indicate the movement of boiling oil vapor (after Potts 1987).

รูปที่ 2.4 Diffusion Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



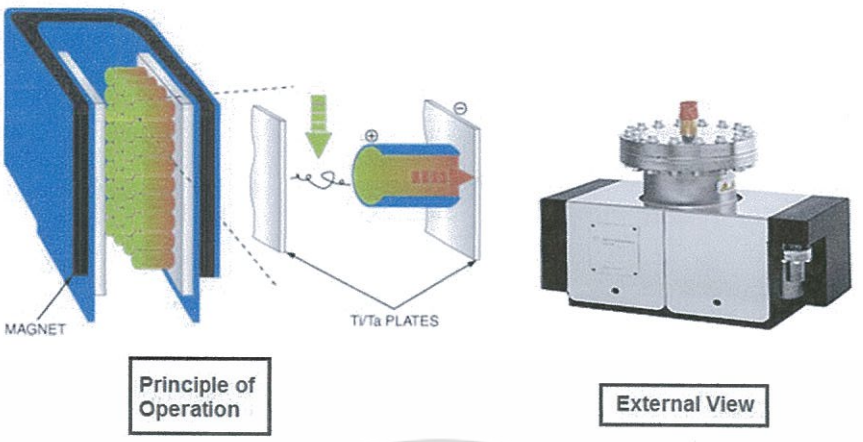
รูปที่2.5 Turbo molecular Pump

2.1.3 ปั๊มสุญญากาศประเภท Entrapment

ปั๊มสุญญากาศประเภท Entrapment อาจเป็น CyroPump ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำในการควบแน่นแก๊สให้อยู่ในสถานะของแข็ง, Chemical Pump ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับแก๊สเพื่อที่จะได้สารที่ตกตะกอนเป็นของแข็ง หรือ Ion Pump ซึ่งใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงในการโมเลกุลของแก๊สแยกตัวเป็นไอออนและจะมีพื้นผิวแข็งเป็นตัวจับไอออน

รูปที่ 2.6 Cyro Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



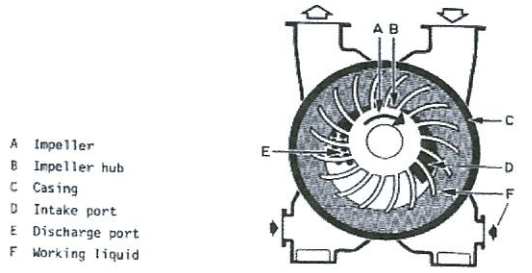
รูปที่ 2.7 Ion Pump

2.2 ปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid Ring

Liquid ring pump เป็นปั๊มสุญญากาศชนิด positive displacement แบบหมุน โดยทั่วไปใช้เป็นปั๊ม สุญญากาศ แต่ก็สามารถใช้งานเป็น gas compressor ได้เช่นกัน มีลักษณะการทำงานคล้าย rotary vane pump แต่แตกต่างกันที่ช่องว่างภายในปั๊มเกิดจากช่องว่างระหว่างใบพัดและวงแหวนของของไหล เพื่อสร้างห้องอัด ปั๊มประเภทนี้ออกแบบโดยอาศัยหลักแรงเสียดทานต่ำ โดยมีใบพัดเป็นส่วนเดียวที่เคลื่อนไหว แรงเสียดทานจะเกิดเพียงตำแหน่งเดียวที่แกนเพลา โดยทั่วไปปั๊มแบบ liquid ring มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ

Liquid ring pump มีหลักการทำงานคือ อนุภาคของแก๊สจะถูกอัดระหว่างช่องว่างระหว่างใบพัด ซึ่งจะเยื้องจากศูนย์กลางของตัวปั๊มที่เป็นทรงกระบอก ของเหลวที่ใช้งาน (โดยทั่วไปใช้น้ำ) จะถูกส่งเข้าสู่ตัวปั๊ม และเนื่องจากการหมุนของใบพัดที่สร้างแรงเหวี่ยงทำให้ของเหลวเกิดเป็นรูปทรงวงแหวนในตัวปั๊ม ตัววงแหวนของเหลวนี้จะทำให้ช่องว่างระหว่างใบพัดที่ตั้งเยื้องศูนย์กลายเป็นที่ว่างปิดและทำหน้าที่เป็นห้องอัดอนุภาคของแก๊สที่จะไหลเข้ามาทางท่อทางเข้า แก๊สที่ไหลเข้ามาจะถูกจับไว้ในห้องอัดที่เกิดจากช่องว่างระหว่างใบพัดและวงแหวนของเหลว เมื่อใบพัดหมุดไปทำให้ปริมาตรลดลงแก๊สจะถูกบีบอัดและส่งออกไปยังบรรยากาศภายนอกที่ท่อทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Liquid Ring Vacuum pump

รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของ Liquid Ring Vacuum Pump

2.3 การใช้งานปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศถูกใช้งานในอุตสาหกรรมและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลายรูปแบบที่ต้องการสภาวะสุญญากาศหรือต้องการดูดแก๊สออกจากระบบ เช่น

- กระบวนการขึ้นรูปพลาสติก
- การผลิตหลอดไฟ,หลอดสุญญากาศและหลอดรังสีแคโทด
- ในทางการแพทย์เช่นกระบวนการรักษาที่เกี่ยวกับกัมมันตรังสี
- กระบวนการเคลือบผิวกระจก,โลหะและพลาสติก เพื่อการตกแต่ง
- เคลือบแข็งส่วนประกอบเครื่องยนต์ (เช่น เครื่องยนต์รถสูตร 1)
- กระบวนการผลิตภัณฑ์จากนมวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมผลิตอาหารและยา
- การซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศ (เพื่อเป็นการนำแก๊สที่ตกค้างภายในระบบออกก่อนที่จะเปลี่ยนสารทำความเย็น)
- ระบบบำบัดน้ำเสีย
- กระบวนการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง
- การวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาฟิวชั่น
- กระบวนการแยกส่าออกจากน้ำกากส่าเพื่อเอาไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุรา

2.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

Liquid Ring Vacuum Pump เป็นปั๊มประเภท Positive Displacement โดยสามารถคำนวณหา Theoretical Capacity จากสมการ

$$\dot{S}_{th} = V_a \times N$$

เมื่อ $\dot{S}_{th}$ คือ อัตราการดูดทางทฤษฎี [CFM]

V_a คือ ปริมาตรรวมระหว่างใบพัด [CF]

N คือ ความเร็วรอบของปั๊ม [RPM]

ในปริมาตรระหว่างใบพัด (Impeller Cell) จะเต็มไปด้วยส่วนผสมระหว่าง อากาศที่ถูกดูดเข้ามา (Incoming Gas) กับ ไอน้ำระเหย (Evaporated Vapor) ของน้ำในระบบ (Service Liquid)

ซึ่งปริมาตรในส่วนของไอน้ำระเหยจะแทรกแทนที่อากาศที่ต้องการดูด ทำให้ความสามารถในการดูดอากาศลดลงตามทฤษฎี โดยใช้ Dalton's Gas Law ในการหาอัตราส่วนอากาศที่ถูกแทนที่ จากสมการ

$$P_t = P_a + P_v$$

เมื่อ P_t คือ ความดันรวมทางเข้าปั๊ม [Torr]

P_a คือ ความดันอากาศทางเข้าปั๊ม [Torr]

P_v คือ ความดันไอของน้ำในระบบ [Torr]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถหาอัตราส่วนอากาศที่ถูกแทนที่ จากสมการ

$$\alpha = \frac{P_t - P_v}{P_t} = \frac{P_a}{P_t}$$

เมื่อ α คือ Reducing Factor

ในความเป็นจริงอากาศในใบพัดจะไม่ออกมาหมดอย่างสิ้นเชิง และยังมีการสูญเสียของของไหลในรูอากาศเข้า (Inlet Port) - รูอากาศออก (Discharge Port) ของปั๊ม ทำให้อัตราการไหลจริง (Actual Capacity) แตกต่างจากอัตราการไหลทางทฤษฎี (Theoretical Capacity)

ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency) จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_V = \frac{\dot{S}_A}{\alpha \times \dot{S}_{th}}$$

เมื่อ

η_V คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

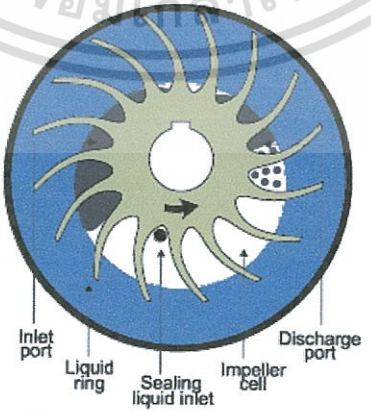
$\dot{S}_A$ คือ อัตราการดูดจริงที่วัดได้ [CFM]

2.5 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ

2.5.1 อัตราการไหลของน้ำ

อัตราการไหลของน้ำจะส่งผลต่อความหนาของวงแหวนน้ำ (Liquid Ring) ในปั๊ม ทำให้อัตราการดูดของอากาศ

จริง ($\dot{S}_A$) ที่ไหลเข้าในตัวปั๊มเพิ่มมากขึ้น หรือลดลง ตามอัตราการไหลที่ต้องการทดสอบ

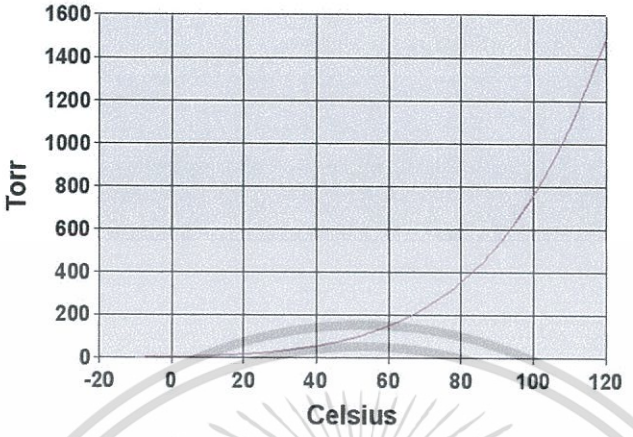


รูปที่ 2.10 วงแหวนน้ำภายใน Liquid Ring Vacuum Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำจะส่งผลต่อความดันไอน้ำ (P_v) ที่อุณหภูมิต่างๆกันจะมีผลตามกราฟข้างล่าง



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำและความดันไอ

และเมื่อความดันไอน้ำ (P_v) เปลี่ยน จะส่งผลต่อ Reducing Factor (α) เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเปลี่ยนไป

2.6 วิธีการคำนวณอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ท่อสแตนเลส ขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 3 เมตร โดยมีอุณหภูมิของน้ำขาเข้า 27 องศาเซลเซียส และต้องการอุณหภูมิของขาออกเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส โดยที่น้ำมีอัตราการไหล 200 ลิตร/ชั่วโมง

<u>วิธีทำ</u>

2.6.1) คำนวณความเร็วของน้ำภายในท่อ

จากสมการ

$$Q = A_c V$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการไหลของน้ำททที่เข้าสู่ตัวปั๊ม [Liter/hour]

V คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าสู่ตัวปั๊ม [Meter/sec]

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ [m^2]

เพราะฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \frac{Q}{Ac}$$

<u>หมายเหตุ</u> ; $Q = 200\frac{L}{hr},\ 5.56 \times 10^{-5}\ \frac{m^3}{s}$

ดังนั้น

$$V = \frac{5.56 \times 10^{-5}}{\frac{\pi}{4}(0.0127)^2} = 0.4389\ m/s$$

2.6..2) คำนวณหา Reynold number

จากสมการ

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{(997.8)(0.4389)(0.0127)}{9.798 \times 10^{-4}}$$

D เท่ากับ 0.5 นิ้ว หรือ 0.0127 เมตร

จะได้

$$Re = 5676.43$$

(Re > 4000 เป็น Turbulent Flow)

2.6.3) คำนวณหา Nu และ h

จากสมการ

$$Nu = \frac{hD}{K} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7(\frac{f}{8})^{\frac{1}{2}}(Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

เมื่อ Nu คือ Nusselt Number

f คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Re คือ Reynold Number

Pr คือ Prandtl Number

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน[W/m^2 K]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ [m]

โดยค่า f เราหาจาก $\frac{\epsilon}{D}$ ซึ่งท่อที่ใช้เป็นท่อ stainless

ดังนั้น

$$\epsilon = 0.002\,mm\,, D = 0.0127\,m$$

จาก

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}})$$

แทนค่า จะได้ $f = 0.036$

แทนค่าในสมการ Nusselt number จะได้

$$h = 2127.48\,W/mK^2$$

2.6.4) หาอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ทำความเย็น

จากสมการ

$$\mathrm{Te} = \mathrm{Ts\text{-}(Ts\text{-}Ti)}(e^{\frac{-hAs}{mCp}})$$

เมื่อ Te คือ อุณหภูมิทางออก [°C]

Ts คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายในห้องเย็น [°C]

เมื่อแทนค่าต่างๆ จะได้

$$Ts = 9.1\,℃$$

2.7 กรณีศึกษาจากการใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ทางคณะผู้จัดทำได้ไปศึกษาดูงานการใช้งานจริงของระบบปั๊มสุญญากาศแบบวงแหวนน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมที่ บริษัท ไทย เบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด จังหวัดปทุมธานี ซึ่งทางบริษัทได้ใช้ปั๊มสุญญากาศแบบวงแหวนในระบบการผลิตเชื้อเพลิงจากน้ำกากส่า ในการดูดอากาศออกจากระบบเพื่อให้ทั้งระบบอยู่ในสภาวะสุญญากาศเพื่อที่จะลดจุดเดือดของระบบ และเพื่อที่จะประหยัดพลังงานที่ใช้ในการแยกน้ำที่อยู่ในตัวกากส่าออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนประกอบชุดทดสอบและวิธีการใช้งาน

3.1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบ

ชุดทดสอบจำลองระบบปั๊มสุญญากาศมีส่วนประกอบสำคัญต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid Ring

2) ห้องสุญญากาศ

3) ตู้ทำน้ำเย็น

4) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

5) ถังพักน้ำ

6) ถังน้ำขนาด 100 ลิตร

7) ท่อและข้อต่อชนิดต่างๆ

8) วาล์ว

9) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำและอากาศ

10) เทอร์โมมิเตอร์

11) มาตรวัดความดัน

3.2 ปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ในการทดสอบนั้น เลือกเป็นชนิด Liquid Ring Vacuum Pump โดยมีวิธีเลือกขนาดของปั๊ม ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณการเลือกปั๊มสุญญากาศ

การคำนวณเลือกปั๊มสุญญากาศจะแตกต่างจากการเลือกปั๊มโดยทั่วไป เนื่องจากปั๊มสุญญากาศมีจุดมุ่งหมายใน

การดูดอากาศออกจากภาชนะปิดหรือห้องปิดที่มีปริมาตรควบคุมจำกัด ในการคำนวณจึงมีวิธีการดังต่อไปนี้

ในการตัดสินใจเลือกขนาดของปั๊มมีข้อมูลต้องการทราบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อัตราการดูดอากาศที่ต้องการ

2) ความดันต่ำสุดที่ต้องการดูด

3) อุณหภูมิของน้ำเลี้ยงระบบ

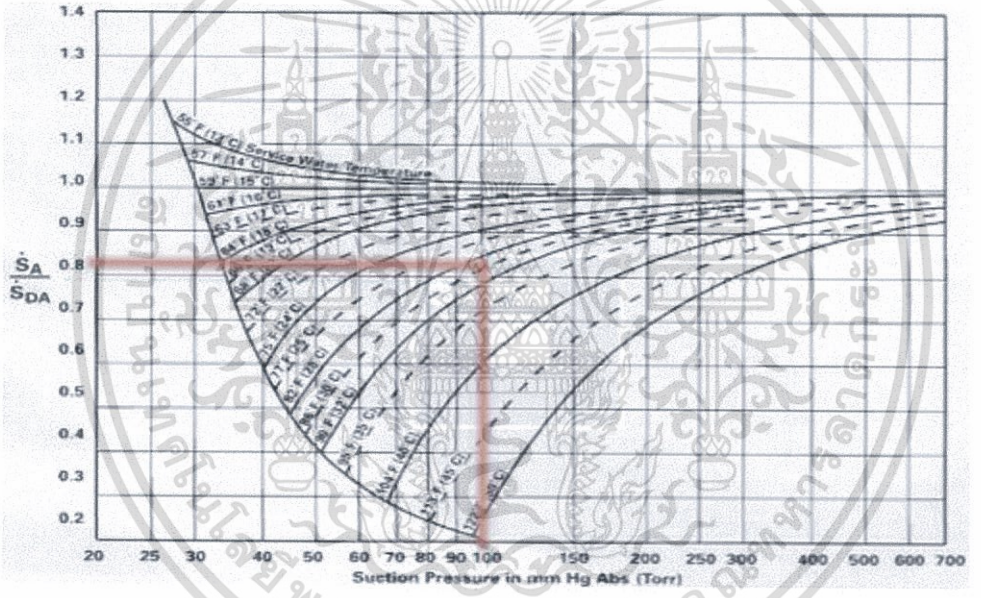
โดยจะยกตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการ คือ

1) ภาชนะปิดขนาด 400 ลิตร หรือ 14.12 ลูกบาศก์ฟุต ต้องการดูดอากาศภายใน 1 นาที จะได้อัตราการดูดอากาศที่ต้องการ = 14.12 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

2) ความดันต่ำสุดที่ต้องการในภาชนะปิด = 100 มิลลิเมตรปรอท

3) อุณหภูมิน้ำเลี้ยงระบบ = 30 องศาเซลเซียส

นำข้อมูลที่ต้องการมาดูกราฟดังนี้



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเลี้ยงระบบและการทำงานของของปั๊มสุญญากาศ

เมื่อ $\dot{S}_A$ คือ อัตราการดูดอากาศที่ต้องการ

$\dot{S}_{DA}$ คือ อัตราการดูดที่ใช้ในการเลือกปั๊ม

ทำการลากเส้นจากแกนนอนคือแรงดูดต่ำสุดที่ทำได้ 100 มิลลิเมตรปรอท ขึ้นไปตัดกับเส้นอุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส จะได้ค่า $\frac{\dot{S}_A}{\dot{S}_{DA}} \approx 0.82$ เราจะนำค่าที่ได้นี้ไปเลือกขนาดของปั๊ม

จากกราฟเห็นได้ว่าค่า $\frac{\dot{S}_A}{\dot{S}_{DA}} \approx 0.82$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{S}_{DA} = \frac{\dot{S}_A}{0.82} = \frac{14.12}{0.82} = 17.22 CFM$$

ดังนั้นเราจะได้อัตราการดูดที่ใช้ในการเลือกปั๊ม = 17.22 CFM

โดยนำค่าอัตราการดูดที่ใช้ในการเลือกปั๊มมาดูดตาราง Catalog ของปั๊ม ดังตารางตัวอย่าง

Medium Vacuum Performance (Dry Air)

Model Number (Inlet x Outlet Size) measured in inches	Vacuum in inches Hg.		4	8	12	16	20	24	26	26.4	Average Service Liquid Flow USGPM
	Absolute Pressure in Inches Hg.		25.92	21.92	17.92	13.92	9.92	5.92	3.92	3.52	
	Absolute Pressure in mm Hg.		658	557	455	354	252	150	100	89	
	Speed	Horsepower	CFM	CFM	CFM	CFM	CFM	CFM	CFM	CFM	
LPH 20103 (1¼ x 1¼)	3500	*1.5	13.6	14.3	14.8	14.7	13.8	11.3	-	-	1.0
LPH 20105 (1¼ x 1¼)	3500	2	23.5	27.0	29.0	29.5	28.0	22.0	-	-	1.0
LPH 20107 (1¼ x 1¼)	3500	3	29.5	32.0	33.5	34.0	31.7	23.0	-	-	1.1
LPH 3404 (1½ x 1½)	1150	2	20	20	19	17	10	-	-	-	3
	1750	3	40	40	40	40	40	32	-	-	3
LPH 3408 (1½ x 1½)	1150	3	40	40	38	34	23	-	-	-	3
	1750	5	75	75	75	75	74	65	-	-	3
LPH 40412 (1½ x 1½)	1750	7.5	118	118	118	118	117	102	60	-	3
LPH 40517 (2 x 2)	1750	10	164	167	167	167	163	147	105	-	5
LPH 50518 (2½ x 2½)	1150	*7.5	152	153	155	151	142	118	82	70	8
	1750	15	248	250	250	248	240	217	184	170	8
LPH 50523 (2½ x 2½)	1150	10	182	186	187	184	173	142	90	70	7
	1750	20	315	325	330	327	318	288	250	235	7

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบที่ใช้ในการเลือกรุ่นของปั๊มสุญญากาศ

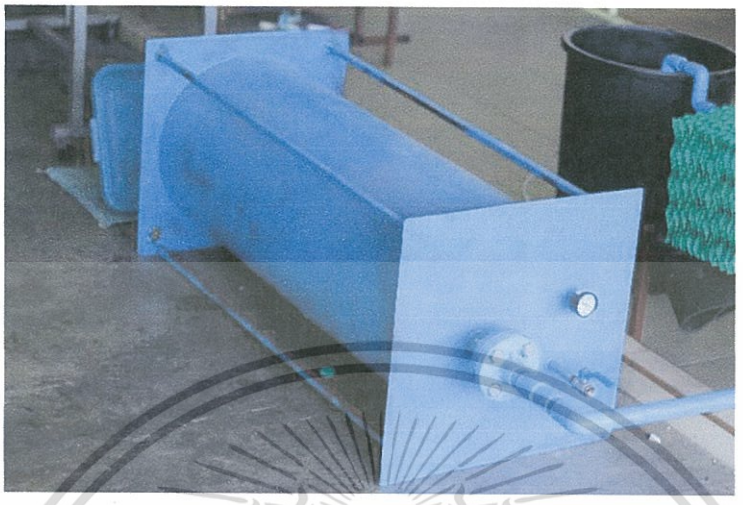
จากตารางเราจะเลือกความดันสุญญากาศที่ 4 inches Hg. หรือประมาณ 101.6 mm Hg. (ใกล้เคียงกับความดันต่ำสุดที่ต้องการดูด = 100 mm Hg) และอัตราการไหลที่ 20 CFM (ใกล้เคียงกับอัตราการดูดที่ใช้ในการเลือกปั๊ม = 17.22 CFM) ซึ่งจะตรงกับปั๊มรุ่น LPH 3404 @1150 RPM โดยปั๊มที่ใช้ทดสอบจริงผู้ทดสอบได้เลือกใช้ปั๊มรุ่น LEMC 25 มีอัตราการดูดอยู่ที่ 24 m3/h หรือ 400 Liter/hr เดินเครื่องด้วยความเร็ว 2800 rpm ใช้กำลัง 0.75 kW ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ตารางกำหนด ผู้ทดลองจริงได้ทำการลดขนาดห้องสุญญากาศลงเหลือครึ่งนึ่งคือราว 200 ลิตร เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3 ห้องสุญญากาศ

เป็นอุปกรณ์ที่เอาไว้บรรจุอากาศสำหรับการทดลอง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 ห้องสุญญากาศ

3.4 ตู้ทำน้ำเย็น

ตู้ทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำก่อนเข้าสู่ปั๊มสุญญากาศ มีขนาด 80 วัตต์

รูปที่ 3.3 ตู้ทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143936

3.5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ล้อมรอบตัวขดภายในตู้ทำน้ำเย็น

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

3.6 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร

ถังน้ำนี้ทำหน้าที่บรรจุน้ำก่อนเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเข้าสู่ระบบปั๊มสุญญากาศ ถังน้ำทำจากพลาสติกที่มีความแข็งแรงทนทาน ไม่เป็นสนิม และมีรอยรั่วซึม ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.5 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ถังพักน้ำ

ถังพักน้ำเป็นถังที่ใช้พักน้ำที่ออกมาจากตัวปั๊ม เพื่อปรับอุณหภูมิน้ำให้พร้อมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป

รูปที่ 3.6 ถังพักน้ำ

3.8 ท่อและข้อต่อชนิดต่างๆ

ท่อที่ใช้ในชุดทดสอบเป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ใช้เป็นท่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

ข้อต่อที่ใช้มีดังต่อไปนี้

1) ข้อต่อตรง

รูปที่ 3.7 ข้อต่อตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ข้อต่องอ 90 องศา

รูปที่ 3.8 ข้อต่องอ 90 องศา

3) ข้อต่อตัว Tee (สามทาง)

รูปที่ 3.9 ข้อต่อตัว Tee

4) ข้อต่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

รูปที่ 3.10 ข้อต่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ข้อต่อสำหรับสายยาง (หางปลาไหล)

รูปที่ 3.11 ข้อต่อสำหรับสายยาง

6) ข้อต่อเกลียวใน

รูปที่ 3.12 ข้อต่อเกลียวใน

7) ข้อต่อเกลียวนอก

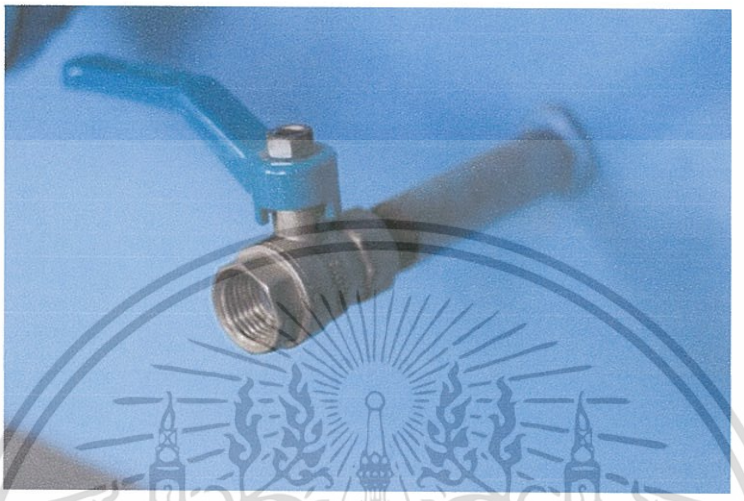
รูปที่ 3.13 ข้อต่อเกลียวนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วาล์ว

วาล์วที่เลือกใช้ในระบบมี 4 ชนิดได้แก่

1) บอลวาล์ว : บอลวาล์วในระบบปั๊มสุญญากาศมีหน้าหลักคือ เพื่อปิดการไหลของอากาศ ไม่ให้ไหลเข้า-ออกจากห้องสุญญากาศได้ มีลักษณะดังรูป



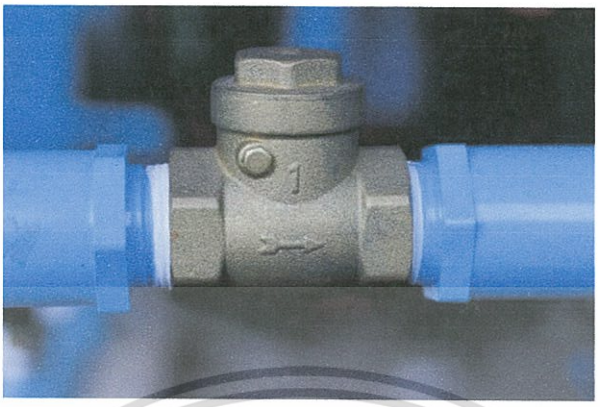
รูปที่ 3.14 บอลวาล์ว

2) โกลบวาล์ว : บอลวาล์วในระบบปั๊มสุญญากาศมีหน้าหลักคือ ปรับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าไปหมุนยังปั๊มสุญญากาศ มีลักษณะดังรูป

รูปที่ 3.15 โกลบวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เช็ควาล์ว: เช็ควาล์วในระบบปั๊มสุญญากาศมีหน้าที่หลักคือ ป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเข้าสู่อุปกรณ์ มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.16 เช็ควาล์ว

4) เกตวาล์ว: เช็ควาล์วในระบบปั๊มสุญญากาศมีหน้าที่หลักคือ ป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเข้าสู่อุปกรณ์ มีลักษณะดังรูป

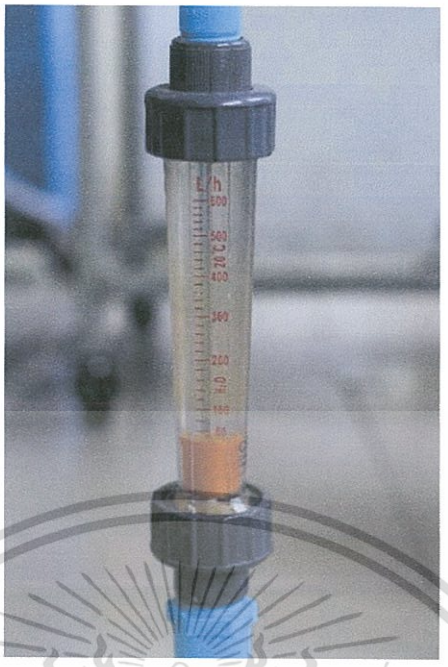
รูปที่ 3.17 เกตวาล์ว

3.10 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่เลือกใช้มี 2 ชนิดได้แก่

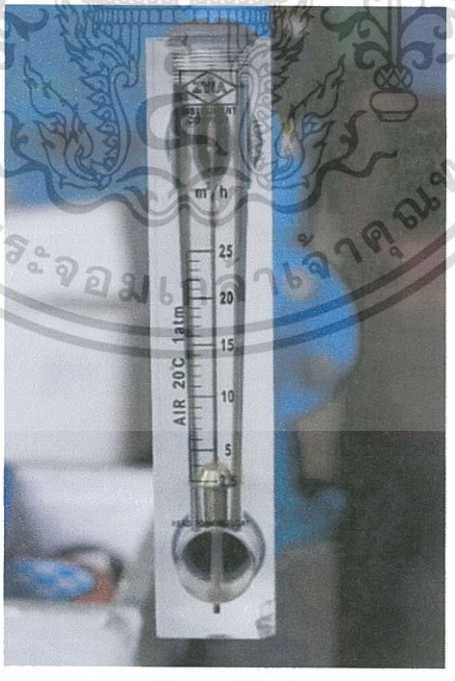
1) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำ (Water Flow Meter) ชนิด Rota Meter ช่วงการวัดอยู่ระหว่าง 60-600 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 1-10 ลิตรต่อนาที ดังรูปที่ 3.15 อาศัยหลักการทำงานคือ เมื่อน้ำไหลผ่าน น้ำจะยกลูกลอยให้ลอยขึ้นเพื่อบอกค่าอัตราการไหลของของน้ำ ณ ช่วงเวลานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำ

2) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ (Air Flow Meter) ชนิด Rota Meter ช่วงการวัดอยู่ระหว่าง 2.5-25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3.16 อาศัยหลักการทำงานคือ เมื่ออากาศไหลผ่าน อากาศจะยกลูกลอยให้ลอยขึ้นเพื่อบอกค่าอัตราการไหลของอากาศในท่อ ณ ช่วงเวลานั้น



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 มาตรวัดอุณหภูมิ

ช่วงการวัดอยู่ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 120 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิที่ทางออกของปั๊มสุญญากาศ เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าความดันไอน้ำในตารางที่ 3.3 ดังรูป 3.18

Temp.	Press.	Temp.	Press.	Temp.	Press.	Temp.	Press.
°C	mbar	°C	mbar	°C	mbar	°C	mbar
10	12.7	18	20.62	26	33.60	45	95.8
11	13.12	19	21.96	28	37.78	50	123.4
12	14.01	20	23.37	30	42.41	55	157.4
13	14.97	21	24.85	32	47.53	60	199.20
14	15.97	22	26.42	34	53.18	65	250.1
15	17.04	23	28.08	36	59.40	70	311.60
16	18.17	24	29.82	38	66.24	75	385.5
17	19.36	25	31.66	40	73.75	80	473.60

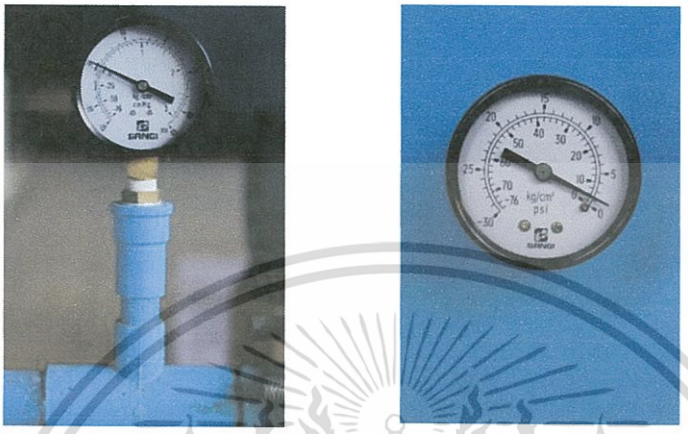
ตารางที่ 3.3 ตารางความดันไอของน้ำ

รูปที่ 3.20 มาตรวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 มาตรวัดความดัน

มาตรวัดความดันที่ใช้ในระบบปั๊มสุญญากาศนั้น มีหน้าที่วัดความดัน ณ 2 ตำแหน่ง คือ ห้องสุญญากาศและทางเข้าปั๊มสุญญากาศ โดยเลือกใช้มาตรวัดความดันที่สามารถวัดได้ทั้งช่วงที่ความดันมีค่ามากกว่าและน้อยกว่า 0 มิลลิเมตรปรอท ดังรูป



รูปที่ 3.21 มาตรวัดความดัน

3.13 วิธีการใช้ชุดทดสอบระบบสุญญากาศ

1) ตรวจสอบว่า วาล์วหน้าห้องสุญญากาศ อยู่ในตำแหน่งปิด

2) ตรวจสอบว่า วาล์วที่บริเวณถังบรรจุน้ำ Service Water อยู่ในตำแหน่งปิด

3) เติมน้ำที่เตรียมไว้ลงในถังบรรจุน้ำขนาด 100 ลิตร ให้อยู่ที่ระดับ 30 ลิตร

4) ตรวจสอบและทำการปรับตั้งอุณหภูมิน้ำในชุดทำความเย็น

5) เปิดเกตวาล์วที่ถังบรรจุน้ำเพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่ระบบ

6) ทำการเสียบปลั๊กตัวเครื่องปั๊มสุญญากาศรอให้ปั๊มเริ่มทำงาน

7) ทำการปรับระดับอัตราการไหลของน้ำ Service Water ที่ต้องการ

8) ทำการปิดวาล์วที่หน้าห้องสุญญากาศพร้อมกับเริ่มจับเวลา

9) ทำการทดสอบ จับเวลาเก็บค่าตัวแปรต่างๆ ในทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 5 นาที

10) เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ให้เปิดวาล์วหน้าห้องสุญญากาศอย่างช้าๆ เพื่ออากาศไหลกลับเข้าสู่ห้องสุญญากาศ

11) ปิดสวิตช์การทำงานของปั๊มสุญญากาศ

12) ตรวจสอบชุดทดสอบและเตรียมพร้อมสำหรับการทดลองในกรณีถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 ติดตั้งชุดทดสอบให้พร้อม โดยยังไม่เริ่มเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ

4.1.2 เตรียมอุณหภูมิน้ำ ที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ ตู้ทำความเย็น ตามลำดับแล้วจึงปล่อยเข้าสู่ตัวปั๊ม

4.1.3 เริ่มเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ และปรับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าปั๊มตามค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 140, 160, 180 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

4.1.4 ระหว่างทำการทดสอบ บันทึกค่าต่างๆ จากเครื่องมือวัดทุก 10 วินาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาทีโดยค่าที่ บันทึกมีดังต่อไปนี้ อุณหภูมิของน้ำภายในปั๊มสุญญากาศ (T_w), แรงดันอากาศฝั่งทางเข้าปั๊ม (P_a), อัตราการไหลของอากาศฝั่งทางเข้าปั๊ม ($\dot{S_a}$) และ ความดันที่หน้าถังสุญญากาศ (P_c)

4.1.5 หยุดเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ แล้วทำการปล่อยน้ำ พักไว้ที่ถังพักน้ำ เพื่อเตรียมสาหรับการทดสอบชุดต่อไป

4.1.6 นำค่าที่ได้จากการบันทึก มาคำนวณหาผลการทดสอบ ดังตารางบันทึกผลการทดลอง

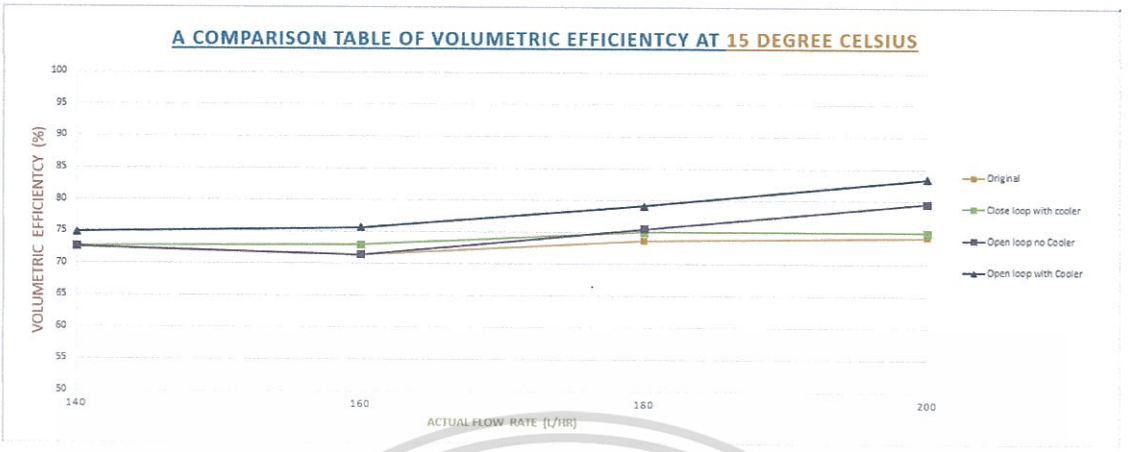
4.1.7 ทำข้อ 4.1.2 – 4.1.6 ซ้ำ จนครบค่าตัวแปรที่เรากำหนด

4.2 ผลการทดลอง

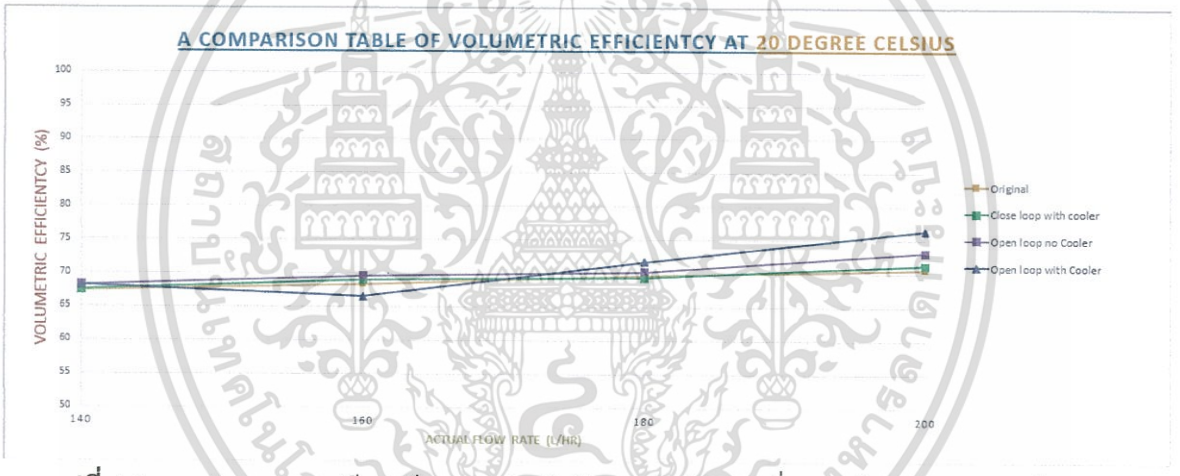
จากการทดสอบเปลี่ยนแปลงตัวแปรในระบบปั๊มสุญญากาศ ได้แก่ การพัฒนาชุดการทดลอง อุณหภูมิเลี้ยงระบบ และอัตราการไหลของน้ำเย็นในระบบ โดยผลการทดสอบได้บันทึกค่า และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงเป็นรูปกราฟได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

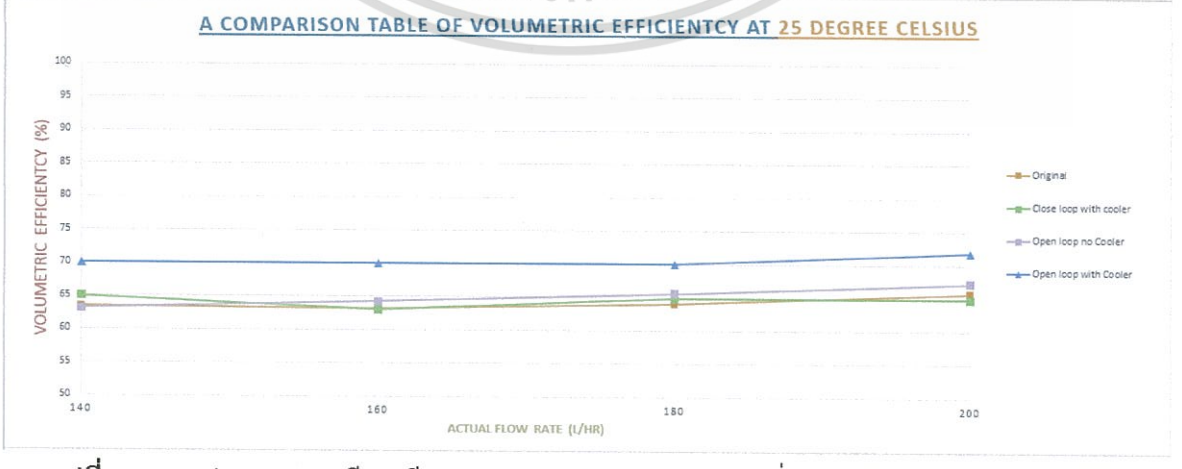
4.2.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ทำได้ในแต่ละกรณีที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

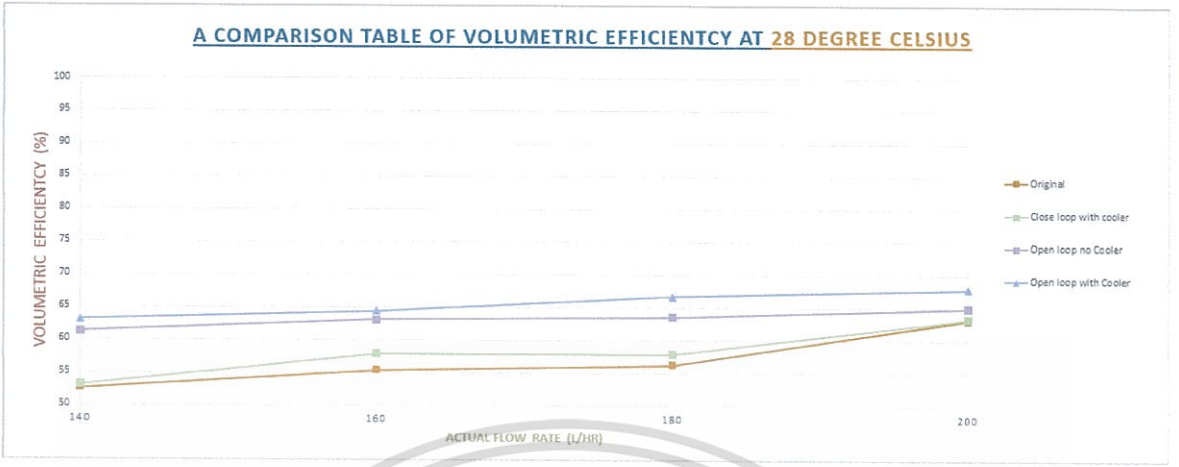


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

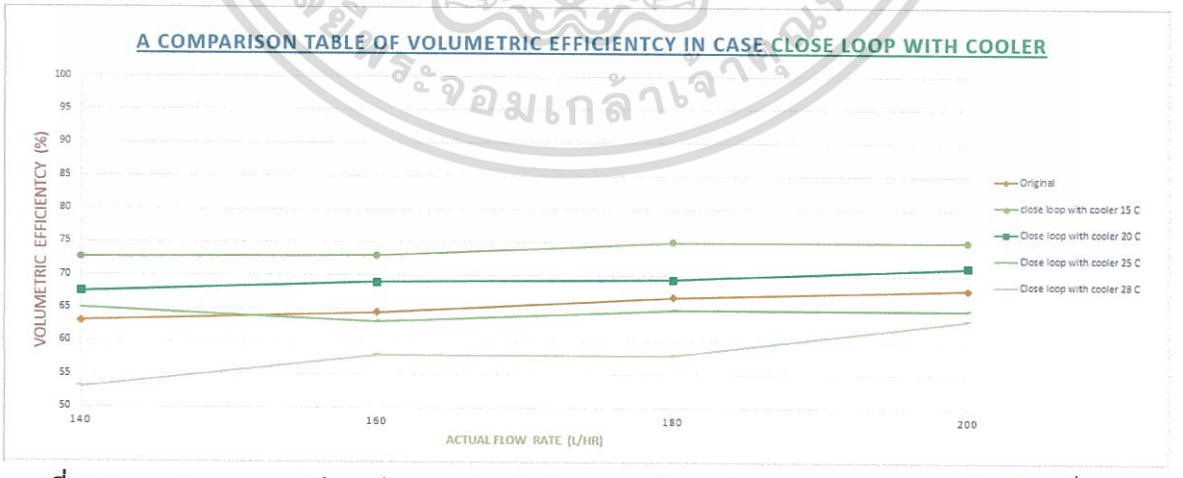
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

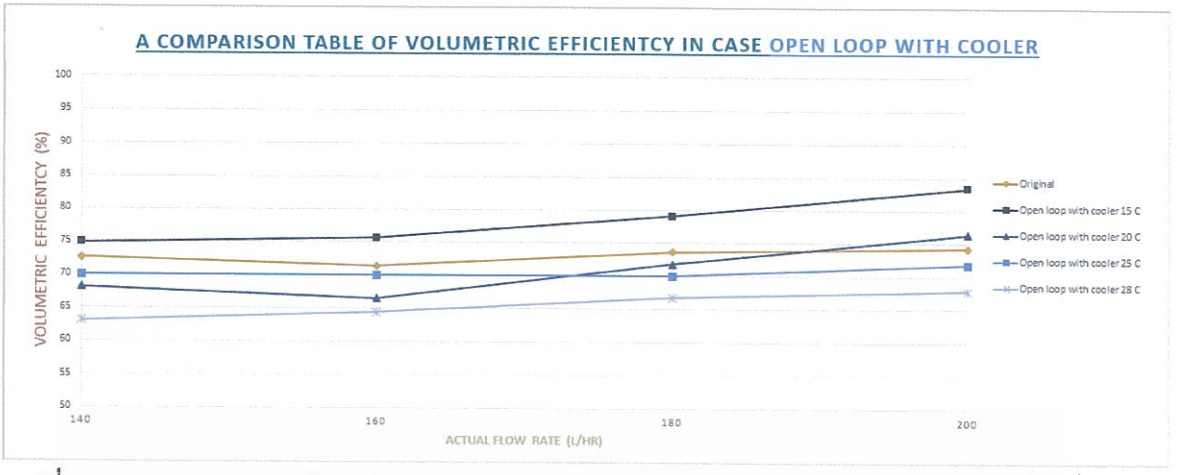
จากรูปที่ 4.1 - 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของทุกๆชุดการทดลองเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 28 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเย็นเลี้ยงระบบ โดยที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของน้ำเลี้ยงระบบมีค่าต่ำ การเปลี่ยนแปลงชุดการทดลองแทบจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงปริมาตร แต่กลับกัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำเลี้ยงระบบมีค่าสูง จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรชัดเจน

4.2.2 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ทำได้ในชุดการทดลองเดียวกันที่อุณหภูมิต่างกัน

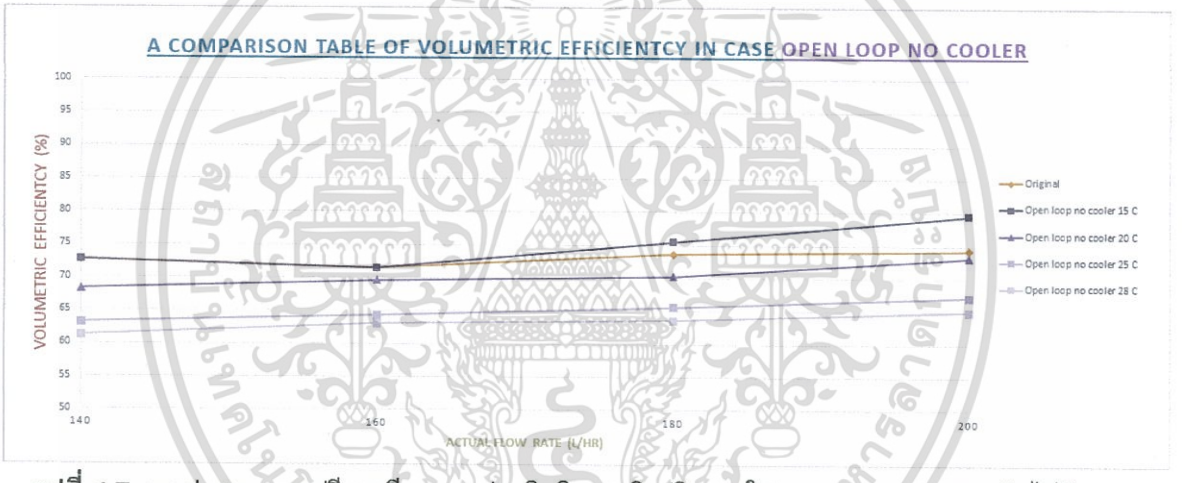


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบปิดติดเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



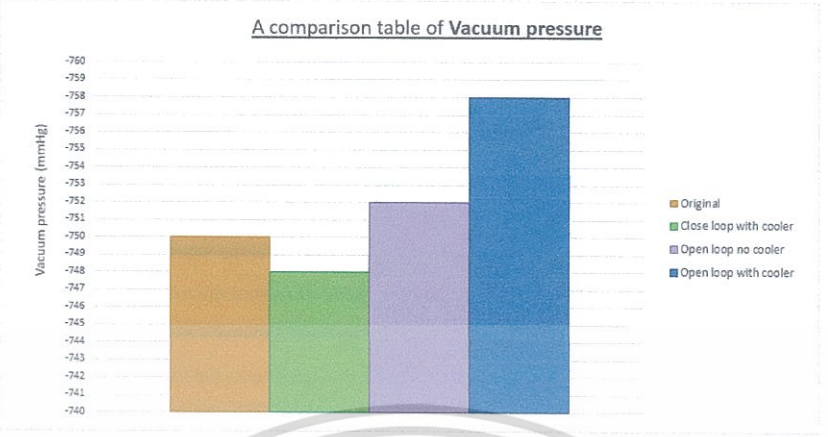
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบเปิดติดเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรในชุดการทดลองระบบเปิดไม่ติดเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแรงดูดที่ทำได้ในแต่ละกรณี



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันที่ห้องสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.5-4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับตัวแปรต่างๆ เราทำการปรับปรุงชุดการทดลองโดยเปลี่ยนชุดการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปิด เปลี่ยนชุดการทดลองเป็นระบบเปิด และเปลี่ยนชุดการทดลองเป็นระบบเปิดร่วมกับติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็น โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 28 องศาเซลเซียส ที่ชุดการทดลองเดียวกันพบว่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเย็นเลี้ยงระบบมีค่าสูง และอุณหภูมิของน้ำที่เลี้ยงระบบต่ำ โดยเราสามารถทำประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงสุดที่ร้อยละ 83.4 และสามารถทำความดันได้ต่ำสุดที่ -758 มิลลิเมตรปรอท ในชุดการทดลองระบบเปิด ร่วมกับติดเครื่องทำน้ำเย็น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และ อัตราการไหลของน้ำเย็นในระบบที่ 200 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบ เมื่อวิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำภายในตัวปั๊ม เทียบกับประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของระบบ และ อัตราการไหลของน้ำขาเข้าเทียบกับประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของระบบ จะเห็นได้ว่ายิ่งอุณหภูมิของน้ำในตัวน้ำต่ำลงและที่อัตราการไหลของน้ำขาเข้าสูงขึ้น จะส่งผลให้ปั๊มมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของระบบสูงขึ้น และจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงดูดของปั๊มที่ทำได้ในแต่ละชุดการทดลองที่เราปรับปรุง จะเห็นได้ว่า ที่ชุดทดลองเป็นระบบเปิด คือมีถังน้ำมาพักน้ำไว้ชั้นหนึ่งก่อนไม่ปล่อยกลับมาวนในระบบทันทีพร้อมกับติดตัวตู้ทำความเย็นเข้าไปเพื่อช่วยปรับอุณหภูมิของน้ำก่อนจะเข้าสู่ตัวปั๊ม จะช่วยให้ปั๊มสามารถทำงานได้นานขึ้นมีแรงดูดมากขึ้น สามารถทำให้สภาวะภายในห้องสุญญากาศมีความใกล้เคียงกับสภาวะสุญญากาศแบบอุดมคติมากขึ้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ตัวปั๊ม มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มอย่างชัดเจน โดยทำหน้าที่ช่วยในการถ่ายเทความร้อนภายในตัวปั๊มและเป็นตัวป้องกันการสึกหรอของตัวผนังภายในปั๊ม อันเป็นผลมาจากการเสียดสีของใบพัดภายในตัวปั๊มและที่ชุดการทดลองที่ออกแบบมาเป็นแบบระบบเปิดพร้อมกับติดตู้ทำความเย็น มีผลต่อความสามารถในการดูดของปั๊ม เพราะตัวน้ำเลี้ยงระบบนั้น จะถูกควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการทำงานของปั๊ม ทำให้อุณหภูมิของปั๊มไม่สูงจนเกินไป จึงส่งผลให้ปั๊มทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบที่ได้ ข้อมูลที่เก็บระหว่างทำการทดสอบ อาจมีความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดไปจากความเป็นจริง อันเนื่องมากจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. ระหว่างทำการทดสอบ ผู้ทดสอบไม่สามารถควบคุม อุณหภูมิอากาศภายนอกได้ จึงส่งผลให้ภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ไม่คงที่ ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมอุณหภูมิของน้ำ จึงทำให้ตัวอุณหภูมิของน้ำมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

2. ระหว่างทำการทดสอบ เราอาจจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ได้ตลอด ทำให้ค่าที่เก็บได้ในบางช่วงมีความคลาดเคลื่อน

3. ในระหว่างการทดสอบบางครั้ง ปลั๊กไฟของตัวปั๊มเกิดหลุดขึ้นมา ทำให้ต้องเสียบปลั๊กใหม่เพื่อให้ปั๊มทำงานใหม่ เพื่อเก็บผล ทำให้ผลการทดลองที่ออกมาเป็นไปอย่างที่ไม่ควรจะเป็น

4. อาจมีความคลาดเคลื่อนที่มาจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากความชำนาญในการใช้งานและระยะการติดตั้งชุดทดลองมีจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

โครงงานนี้ยังสามารถพัฒนาและต่อยอดเป็นงานวิจัยในอนาคต ได้ตามข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. หัวข้อหรือตัวแปรที่น่าสนใจในการทดสอบที่ควรศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่ ตัวแปรความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งผู้จัดทำมีความคิดว่าเป็นตัวแปรที่น่าสนใจ และมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency, η_v) จึงน่าจะเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่จะนำไปศึกษา

2. ถ้าเป็นไปได้อยากให้จำลองห้องทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ให้กับตัวชุดทดสอบนี้ ซึ่งการที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเราอาจจะไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ตู้ทำน้ำเย็นเข้ามาช่วยแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับตัวปั๊ม

3. ถ้าหากมีแนวคิดที่จะเอาปั๊มไปใช้ต่อ ควรนำปั๊มไปทำการลงยาแนวเพิ่มเพื่อเป็นการป้องกันการรั่วซึมของน้ำภายในตัวปั๊ม

4. ทางคณะผู้จัดทำคิดว่า ถ้าใช้ตู้ทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็อาจจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ไปมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในตัวปั๊มเย็นลง ซึ่งตัวแปรนี้นับว่าเป็นตัวแปรสำคัญ ที่จะไปส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มเพิ่มสูงขึ้น

5. ควรนำเอาอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบดิจิตอลที่มีความแม่นยำสูง เข้ามาวัดค่าตัวแปรต่างๆ เพราะจะทำให้ผู้ทดสอบได้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำมากขึ้นและลดความผิดพลาดที่เกิดจากการอ่านค่าของตัวผู้ทดสอบเองน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

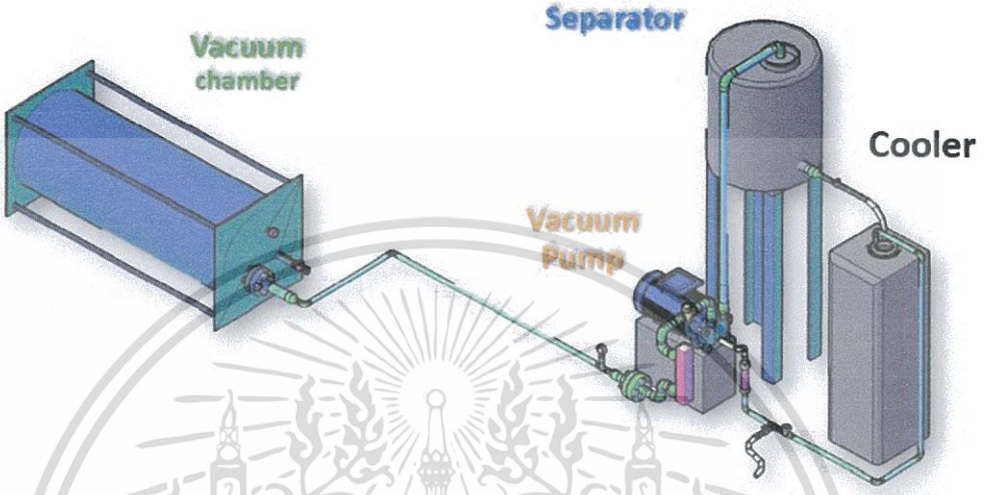
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

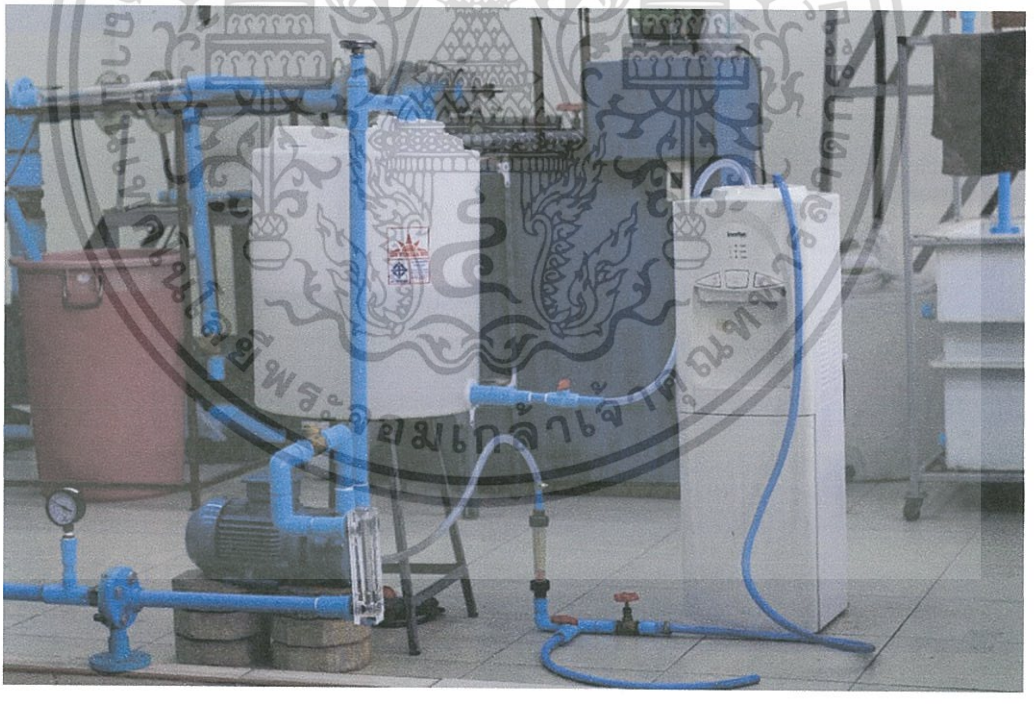
ภาคผนวก ก.

ชุดการทดลองในแต่ละกรณี

1.1) ชุดการทดลองระบบปิดแบบติดเครื่องทำน้ำเย็น



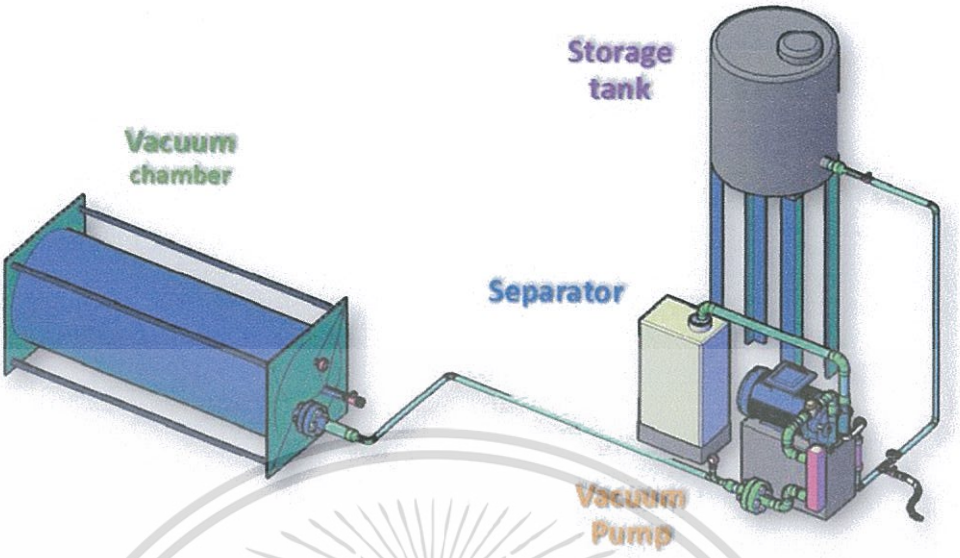
รูปที่ 1.1.1 แบบจำลองของชุดการทดลองระบบปิดติดเครื่องทำความเย็นโดย Auto-cad



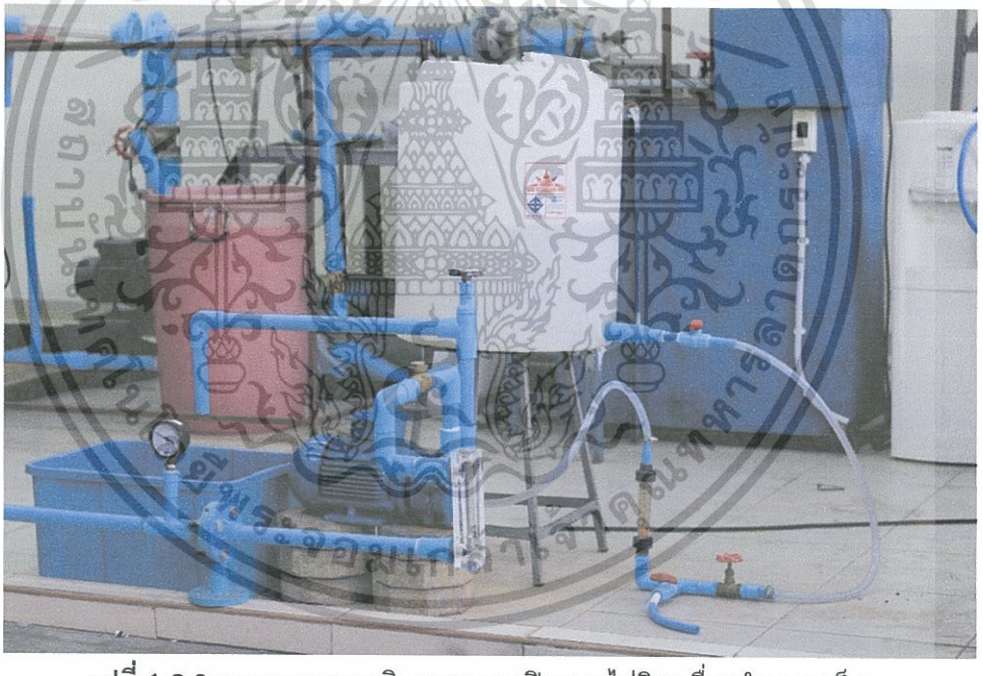
รูปที่ 1.1.2 ชุดการทดลองจริงของระบบปิดติดเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) ชุดการทดลองระบบเปิดแบบไม่ติดเครื่องทำความเย็น



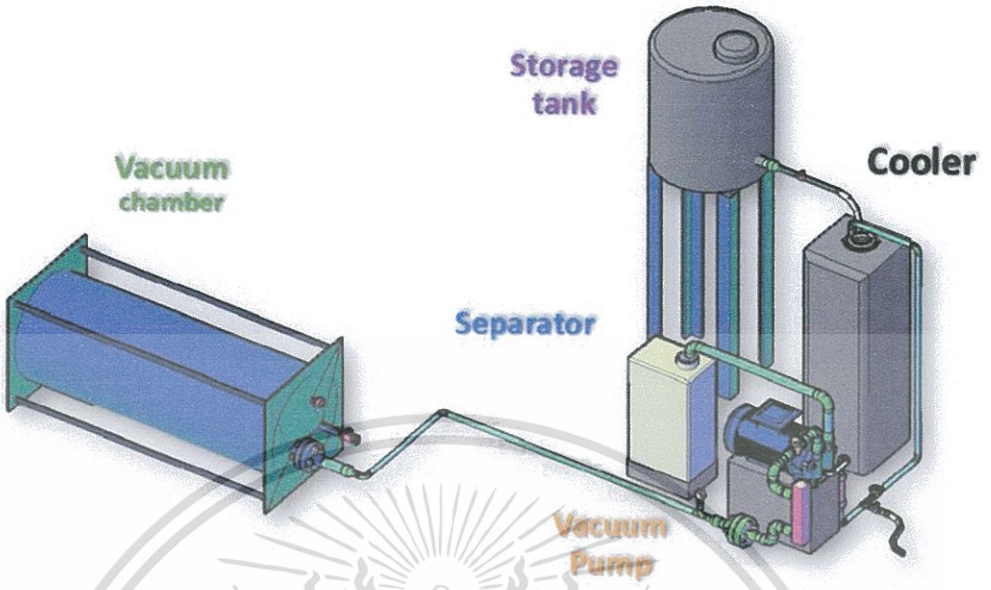
รูปที่ 1.2.1 แบบจำลองของชุดการทดลองระบบเปิดแบบไม่ติดเครื่องทำความเย็นโดย Auto-cad



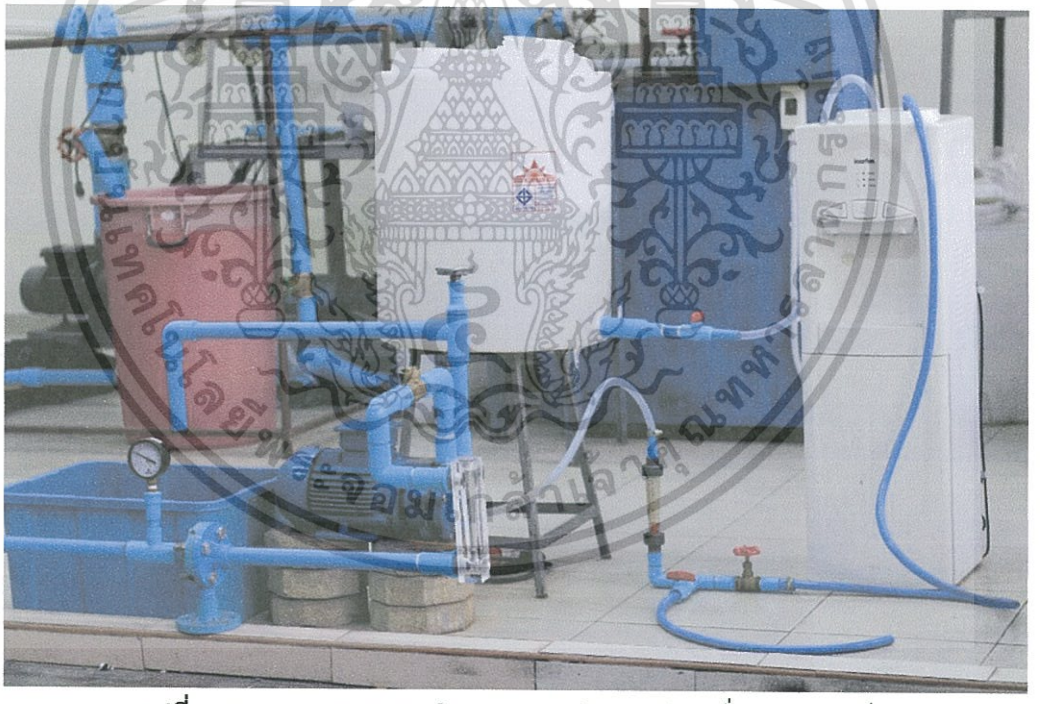
รูปที่ 1.2.2 ชุดการทดลองจริงของระบบเปิดแบบไม่ติดเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3) ชุดการทดลองระบบเปิดแบบติดเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 1.3.1 แบบจำลองของชุดการทดลองระบบเปิดแบบไม่ติดเครื่องทำความเย็นโดย Auto-cad

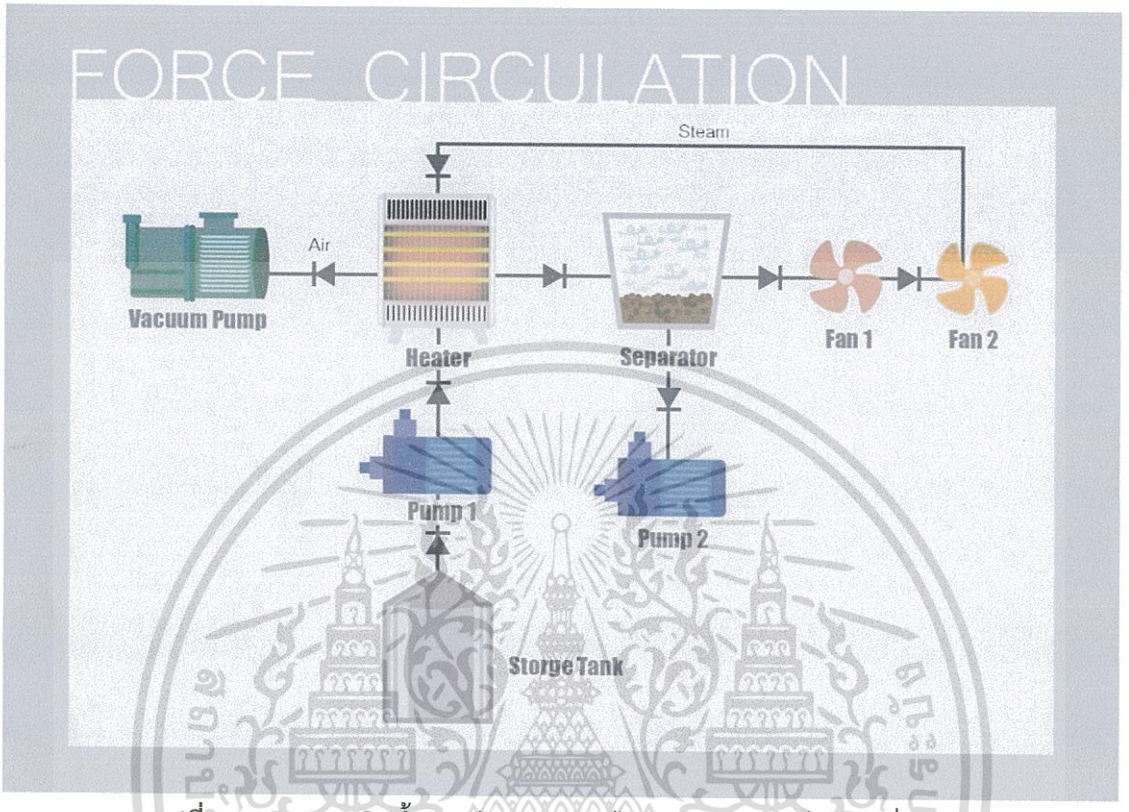


รูปที่ 1.3.2 ชุดการทดลองจริงของระบบเปิดแบบติดเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ระบบการผลิตน้ำกากส่าของบริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด



รูปที่ 2 ระบบการผลิตน้ำกากส่าของบริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด

จากที่ทางคณะผู้จัดทำได้ไปศึกษาดูงานจริงที่บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ทำให้ทางคณะผู้จัดทำเข้าใจถึงการนำชุดปั๊มสุญญากาศไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมจริง ในที่นี้ทางบริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ได้นำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำกากส่า โดยน้ำกากส่าคือของเสียจากกระบวนการกลั่น ซึ่งถ้านำของเสียนี้ไปบำบัดหรือนำไปทิ้งจะทำให้เสียประโยชน์ไป ทางบริษัทจึงได้คิดระบบนี้ขึ้นเพื่อที่จะดึงน้ำที่ผสมอยู่ในน้ำกากส่าออก เพื่อที่จะน้ำกากส่าไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป และในกระบวนการแยกน้ำออกจากกากส่านี้เองถ้าเกิดเรานำไปเผาที่ความดันบรรยากาศจะเสียพลังงานอย่างมาก ทางบริษัทจึงนำชุดปั๊มสุญญากาศมาดูดอากาศออกจากระบบ ทำให้ภายในระบบมีสภาวะเป็นสุญญากาศ และเมื่อความดันลดลงนี้เองทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ค่าใช้จ่าย

<u>ชุดการทดลองระบบปิดแบบไม่ติดตู้ทำความเย็น (ชุดการทดลองเดิม)</u>

-ปั๊มสุญญากาศ	16000	บาท
-ห้องสุญญากาศ	3000	บาท
-Separator tank	300	บาท
-Air flow meter	3000	บาท
-Rota meter	450	บาท
-Thermo meter	500	บาท
-Pressure gage * 2	1200	บาท
-ท่อและวาวล์	1100	บาท
รวม	25560	บาท

- ค่าน้ำแข็ง 24 บาท / 1 การทดลอง

<u>ชุดการทดลองระบบปิดแบบติดตู้ทำความเย็น</u>

-ต้นทุนเดิม	25560	บาท

<u>เพิ่มค่าใช้จ่าย</u>

+ตู้ทำน้ำเย็น	4990	บาท
+Coil spring	600	บาท
+Thermostat	1800	บาท
+Thermo Couple	600	บาท
+สายไฟ	50	บาท
รวม	7650	บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดการทดลองทั้งหมด 33220 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไฟ (ต่อ 1 ชั่วโมง)

การคิดค่าไฟจำเป็นรู้กำลังไฟของตู้ทำความเย็น คิดจากการวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ 0.55 แอมแปร เพราะฉะนั้นตู้ทำน้ำเย็นจะมีกำลัง (0.55)*(220) = 121 วัตต์

$$\text{หน่วยการใช้ไฟ} = \frac{(121\ W)(1\ hr)}{1000} = 0.121 \text{ หน่วย}$$

สมมติว่าค่าไฟหน่วยละ 7 บาท จะเสียค่าไฟเป็นเงิน 84.7 สตางค์ / 1 ชั่วโมง

ชุดการทดลองระบบเปิดแบบไม่ติดตู้ทำความเย็น

-ต้นทุนเดิม	25560	บาท
-ค่าน้ำแข็ง	24	บาท / 1 การทดลอง
เพิ่มค่าใช้จ่าย		
+ถังเตรียมน้ำ	900	บาท
+ท่อพีวีซี	100	บาท
รวม	1000	บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดการทดลองทั้งหมด 26560 บาท

ชุดการทดลองระบบเปิดแบบติดตู้ทำความเย็น

-ต้นทุนเดิม	25560	บาท
เพิ่มค่าใช้จ่าย		
+ตู้ทำน้ำเย็น	4990	บาท
+Coil spring	600	บาท
+Thermostat	1800	บาท
+Thermo Couple	600	บาท
+สายไฟ	50	บาท
+ถังเตรียมน้ำ	900	บาท
รวม	8550	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดการทดลองทั้งหมด 34120 บาท

ค่าไฟ (ต่อ 1 ชั่วโมง)

การคิดค่าไฟจำเป็นรู้กำลังไฟของตู้ทำความเย็น คิดจากการวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ 0.55 แอมแปร เพราะฉะนั้นตู้ทำน้ำเย็นจะมีกำลัง (0.55)*(220) = 121 วัตต์

$$\text{หน่วยการใช้ไฟ} = \frac{(121\ W)(1\ hr)}{1000} = 0.121 \text{ หน่วย}$$

สมมติว่าค่าไฟหน่วยละ 7 บาท จะเสียค่าไฟเป็นเงิน 84.7 สตางค์ / 1 ชั่วโมง

สรุปค่าใช้จ่ายทั้งหมด

1) ชุดการทดลองระบบปิดแบบไม่ติดตู้ทำความเย็น (ชุดการทดลองเดิม)

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์	25560	บาท
ค่าน้ำแข็งเพื่อทำความเย็นต่อหนึ่งการทดลอง	24	บาท

2) ชุดการทดลองระบบปิดแบบติดตู้ทำความเย็น

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์เดิม	25560	บาท
เพิ่มชุดทำความเย็น	7650	บาท
รวม	33220	บาท
ค่าไฟชั่วโมงละ	84.7	สตางค์

3) ชุดการทดลองระบบเปิดแบบไม่ติดตู้ทำความเย็น

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์เดิม	25560	บาท
เพิ่มอุปกรณ์	1000	บาท
รวม	26560	บาท

4) ชุดการทดลองระบบเปิดแบบติดตู้ทำความเย็น

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์เดิม	25560	บาท
เพิ่มชุดทำความเย็น	7650	บาท
เพิ่มอุปกรณ์	900	บาท
รวม	34120	บาท
ค่าไฟชั่วโมงละ	84.7	สตางค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kannappan Sam (1985). Introduction to Piping Stress Analysis. Tennessee : Wiley & Sons, Ins.

[2] L.N. Rozanov (2002). Vacuum Technique. 1st ed. London : Taylor & Francis.

[3] N.T.M. Dennis and T.A. Heppell (1968). Vacuum System Design. 1st ed. Great Britain : Willmer Brother Limited, Birkenhead.

[4] SIHI Sterling, Members of the sterling Fluid System Group. Engineering Fundamentals. USA,Canada : Sterling Fluid System Ltd.

[5] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, HEAT and MASS TRANSFER . 4th ed. In SI Units. USA : Mcgraw-Hill Companies.

[6] http://www.gotoknow.org/posts/438207

[7] http://www.kentchemistry.com/links/GasLaws/dalton.html

[8] http://www.wiredchemist.com/chemistry/vapor-pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้