

การออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อระบบผสมของระบบการ

ระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสเป็คเตอริง

DESIGN AND CONSTRUCT VACUUM SYSTEM FOR  
HYBRID THERMAL EVAPORATION AND MAGNETRON

SPUTTERING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อระบบผสมของระบบการ  
ระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสปีดเตอริง  
DESIGN AND CONSTRUCT VACUUM SYSTEM FOR  
HYBRID THERMAL EVAPORATION AND MAGNETRON  
SPUTTERING SYSTEM



ปัญญา สิงห์คา  
พีรศิลป์ เจริญยืนยาว

b. 00265891  
i. ....

TB00195

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2558

DESIGN AND CONSTRUCT VACUUM SYSTEM FOR  
HYBRID THERMAL EVAPORATION AND MAGNETRON  
SPUTTERING SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)  
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ACADEMIC YEAR 2015  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** การออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อระบบผสมของระบบการระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสเปตเตอริง  
Design and Construct Vacuum System for Hybrid Thermal Evaporation and Magnetron Sputtering System

**ชื่อนักศึกษา** นายปัญญา สิงห์คา รหัสนักศึกษา 55051548  
นายพีรศิลป์ เจริญยืนยาว รหัสนักศึกษา 55051571

**ปริญญา** วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์  
**ปีการศึกษา** 2558  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส  
**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาทราย เล็กชะอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิสสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อระบบผสมของระบบการระเหยสารด้วยความร้อน และแมกนีตรอนสปีดเตอริง		
ชื่อนักศึกษา	นายปัญญา สิงห์คา	รหัสนักศึกษา	55051548
	นายพีรศิลป์ เจริญยืนยาว	รหัสนักศึกษา	55051571
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ญัฐพร พรหมรส		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์รณรงค์		

### บทคัดย่อ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและจัดสร้างภาชนะสุญญากาศเพื่อนำมาใช้ในการเคลือบฟิล์มบางโดยมีความประสงค์ที่จะลดต้นทุนในการสั่งซื้ออุปกรณ์สำเร็จรูปจากต่างประเทศ ภาชนะสุญญากาศที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างมีปริมาตรภายในประมาณ 18.5 ลิตร โดยมีแปลนมาตรฐานเชื่อมต่อทั้งหมด 6 แปลน ขนาด ISO 250 160 100 และ 63 รวมถึงส่วนประกอบอื่นที่คณะผู้วิจัยสามารถออกแบบสร้างได้ อาทิเช่นฝาปิดแปลนของภาชนะสุญญากาศ ช่องอ 90 องศา ตัวอุดรู ตัวล็อกฝาแปลนบน-ล่าง เป็นต้นในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการจัดซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้ประกอบร่วมกับภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างเพื่อสร้างระบบในการทดสอบการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศ อาทิเช่น ปั๊มกลโรตารี ปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย เกจวัดความดันชนิดพิรานี วาล์วแยก และโอริง เป็นต้น จากนั้นได้ประกอบชิ้นส่วนต่างๆเพื่อทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในโดยการใช้ปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย โดยผลการทดลองที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความดันและเวลา โดยระบบที่ได้ทำการออกแบบที่จัดสร้างขึ้นมานั้นสามารถสร้างค่าความดันได้  $10^{-5}$  torr ใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองเคลือบฟิล์มบางของระบบผสมของการระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสปีดเตอริงได้

**คำสำคัญ:** ภาชนะสุญญากาศ แปลนมาตรฐาน การระเหยสารด้วยความร้อน แมกนีตรอนสปีดเตอริง

<b>Title</b>	Design and Construct Vacuum System for Hybrid Thermal Evaporation and Magnetron Sputtering System		
<b>Students</b>	Mr.Punya Singka	Student ID	55051548
	Mr.Peerasil Charoenyuenyao	Student ID	55051571
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Physics)		
<b>Department</b>	Physics		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2015		
<b>Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Nathaporn Promros		
<b>Co-advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Boonchoat Paosawatyanong		

### Abstract

We designed and constructed a chamber for using in thin film deposition. Our proposed is to decrease the cost of import equipment. The chamber's volume was approximately 18.5 litres with 6 standard flanges (ISO 250 160 100 and 63). Also, another part that we designed and constructed such as a lid, 90 degrees elbow flange, hole sealer etc. In this research, we bought a rotary pump, diffusion oil pump, pirani pressure gauge, isolated valve and o-ring. After that, we had assembled a system for testing a vacuum state using rotary and diffusion oil pump. The result showed the relation between pressure and time, which our vacuum system can make pressure inside of  $1 \times 10^{-5}$  Torr in 1 hour. In this pressure, we can use this system for hybrid thermal evaporation and magnetron sputtering for deposition of thin film.

**Keyword:** Vacuum, chamber, Standard, flange, Thermal, evaporation, Magnetron, sputtering

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้มอบหมายหัวข้อโครงการพิเศษเรื่องนี้แก่คณะผู้วิจัย สนับสนุนด้านอุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติงาน รวมถึงคำแนะนำ อธิบายชี้แจงความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงานอันมีส่วนส่งผลทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ฝึกงานและอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในช่วงปิดภาคเรียนเพื่อให้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและปฏิบัติงานเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการสร้างชิ้นเคลือบฟิล์มบางพื้นฐาน

รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม รศ.วิชิต ศิริโชติ ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ดร.พิศาล สุขวิสูตร อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของทุกท่านและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบวิชาโครงการพิเศษนี้ให้แก่กลุ่มของคณะผู้วิจัยรวมถึงให้คำแนะนำข้อมูลต่างๆ ในการปรับปรุงเนื้อหาและเล่มโครงการพิเศษในครั้งนี้

คณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ต่างๆ ด้านฟิสิกส์ให้แก่คณะผู้วิจัยเพื่อนำไปใช้ประกอบวิชาชีพ

นาย พงศภัก สิทธิมาตร และ นางสาว ณัฐฐาทิพย์ ป่าธนู รุ่นพี่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ข้อมูลและคำแนะนำเพิ่มเติมในการต่อยอดจากโครงการเดิมของทั้งสองท่าน รวมถึงการให้คำแนะนำในการทำรูปเล่มโครงการพิเศษ

หน่วยงาน AUN/SEED-Net (JICA) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษนี้

ปัญญา สิงห์คา

พีรศิลป์ เจริญยืนยาว

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 การนำก๊าซ	4
2.1.2 ความเร็วป้อนและอัตราการขับ	4
2.1.3 การขับก๊าซ	5
2.2 ป้อนกลโรตารี	5
2.2.1 หลักการพิจารณาในการเลือกใช้ป้อนกลโรตารี	5
2.2.2 ป้อนกลโรตารีแบบแวน	6
2.3 ป้อนไอพ่นกระจาย	7
2.3.1 หลักการพิจารณาในการเลือกใช้ป้อนไอพ่นกระจาย	8
2.3.2 การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการป้อนโดยใช้ป้อนไอพ่นกระจาย	9
2.3.3 การเลือกป้อนโรตารีให้เหมาะสมกับป้อนไอพ่นกระจาย	9
2.4 อุปกรณ์วัดความดัน	10
2.4.1 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดัน	10
2.4.2 หน่วยวัดความดัน	11

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 การเลือกส่วนประกอบและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้	11
2.5.1 วาล์ว	11
2.5.1.1 วาล์วหมุนได้ 90 องศา	11
2.5.1.2 วาล์วรูเข็ม	11
2.5.1.3 วาล์วปรับหยาบ	11
2.5.2 ฉากกัน	11
2.5.3 โอรัง	12
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>13</b>
3.1 การออกแบบระบบสุญญากาศ	13
3.1.1 ภาชนะสุญญากาศ	15
3.1.1.1 ภาชนะสุญญากาศ	16
3.1.1.2 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน	17
3.1.1.3 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง	18
3.1.1.4 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า	19
3.1.1.5 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหลัง	20
3.1.1.6 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านขวา	21
3.1.1.7 ตัวล็อกฝาด้านบน	22
3.1.1.8 ตัวล็อกฝาด้านหน้า	25
3.1.2 ชั้นวางภาชนะสุญญากาศ	29
3.1.3 ข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25	33
3.1.4 ข้องอ 90 องศา	34
3.1.5 Centering ring	35
3.1.5.1 Centering ring NW 16	35
3.1.5.2 Centering ring NW-25	36
3.1.6 ข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25	37
3.1.7 ข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25	38
3.1.8 ฝาปิดแปลน NW-25	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.9 ตัวอุดรูด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ	40
3.1.10 วาล์วปล่อยความดันเข้า	43
3.1.11 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	47
<b>3.2 อุปกรณ์ที่จัดซื้อ</b>	<b>47</b>
3.2.1 บี้มกลโรตารี	47
3.2.2 บี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย	48
3.2.3 เกจวัดความดัน	48
3.2.4 แคลมป์ล็อค	49
3.2.5 โอริง	49
3.2.6 วาล์วสลับทาง วาล์วแยก วาล์วควบคุมอัตราการสูบ	50
3.3 ขั้นตอนการเตรียมภาชนะสุญญากาศเพื่อทดสอบสภาวะสุญญากาศ	50
3.4 การประกอบชิ้นส่วนเพื่อทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศ	51
3.5 การทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศโดยบี้มกลโรตารี	55
3.6 ทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศโดยบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย	55
3.7 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	56
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	<b>57</b>
4.1 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยบี้มกลโรตารี	58
4.2 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย	63
4.3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	68
<b>บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม</b>	<b>74</b>
5.1 สรุปผลงานวิจัย	74
5.2 ข้อเสนอแนะและงานที่จะทำในอนาคต	75
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	
<b>ภาคผนวก</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	3
2.1 เปรียบเทียบหน่วยความดัน	10
2.2 คุณสมบัติของยาง	12
4.1 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 1	59
4.2 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 2	60
4.3 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 3	61
4.4 ค่าเฉลี่ยของการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี ทั้ง 3 ครั้ง	62
4.5 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 1	64
4.6 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 2	65
4.7 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 3	66
4.8 ค่าเฉลี่ยของการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมัน ฟุ้งกระจายทั้ง 3 ครั้ง	67
4.9 การทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน ครั้งที่ 1	69
4.10 การทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน ครั้งที่ 2	70
4.11 การทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน ครั้งที่ 3	71
4.12 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงการบีบลง	6
2.2 ภาพการทำงานของปั๊มกลโรตารี	7
2.3 ส่วนประกอบภายในของปั๊มไอฟุ้งกระจาย	8
2.4 วาล์วหมุน 90 องศา	11
2.5 ฉากกันระบายนความร้อนด้วยน้ำ	12
3.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ของระบบที่ใช้ในการทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศ	13
3.2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้าง	15
3.3 ภาชนะสุญญากาศ	16
3.4 ฝาปิดหน้าแปลนหลักด้านบน	17
3.5 ฝาปิดหน้าแปลนด้านล่าง	18
3.6 ฝาปิดหน้าแปลนด้านหน้า	19
3.7 ฝาปิดหน้าแปลนด้านหลัง	20
3.8 ฝาปิดหน้าแปลนด้านขวา	21
3.9 ตัวล็อคฝาด้านบน	22
3.07 ส่วนล็อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน	23
3.11 ส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน	24
3.12 ตัวล็อคฝาด้านหน้า	25
3.13 ส่วนล็อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า	26
3.14 ส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน	27
3.15 ส่วนต่อแปลนด้านหน้า	28
3.16 แผนภาพส่วนประกอบชั้นวางภาชนะสุญญากาศ	29
3.17 ตัวรองภาชนะสุญญากาศ	30
3.18 แผ่นรองวาง	31
3.19 โครงชั้นวางภาชนะสุญญากาศ	32
3.20 ข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25	33
3.21 ข้องอ 90 องศา	34
3.22 Centering ring NW-16	35
3.23 Centering ring NW-25	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 ข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25	37
3.25 ข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25	38
3.26 ฝาปิดแปลน NW-25	39
3.27 ตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ	40
3.28 ตัวอุดรูตัวผู้	41
3.29 ตัวอุดรูฝาด้านบนตัวเมีย	42
3.30 วาล์วปล่อยความดันเข้า	43
3.31 ฝาปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า	44
3.32 แกนกดทับโอริง	45
3.33 ครอบแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25	46
3.34 ภาพถ่ายเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	47
3.35 ภาพถ่ายปั๊มกลโรตารี เบอร์ 8	47
3.36 ภาพถ่ายปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจาย	48
3.37 ภาพถ่ายเกจวัดความดันด้านหน้า,ด้านบน,ด้านหลัง	48
3.38 ภาพถ่ายแคลมป์ล็อก NW-25	49
3.39 ภาพถ่ายของโอริง	49
3.40 ตัวอย่างภาพการทำความสะอาด	51
3.41 ภาพถ่ายส่วนประกอบต่างๆ	51
3.42 ภาชนะสุญญากาศที่ต่อกับเกจวัดความดันแล้ว	52
3.43 หน้าแปลนด้านหลังที่ประกอบข้อต่อท่อนำก๊าซแล้ว	52
3.44 ภาพถ่ายขณะที่ประกอบข้อต่อท่อนำก๊าซกับวาล์วสลับทาง	53
3.45 ภาพถ่ายภาชนะสุญญากาศที่ประกอบวาล์วแยกกับช่องอ 90 องศาแล้ว	53
3.46 ภาพถ่ายขั้นตอนการประกอบปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจาย	54
3.47 ภาพการต่อเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	54
4.1 ระบบการทดสอบการสร้างความดันสุญญากาศในภาชนะ	57
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันเฉลี่ยและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี	63
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันเฉลี่ยและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจาย	68
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำความเย็น	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันเทคโนโลยีสุญญากาศที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบฟิล์มบางมีความสำคัญอย่างมากในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย ทั้งนี้การดำเนินงานวิจัยในเรื่องของการเคลือบฟิล์มบางในระบบสุญญากาศจำเป็นต้องอาศัยพื้นฐานด้านฟิสิกส์ในเรื่องวัสดุศาสตร์ (Material) สถานะของแข็ง (Solid state) และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มาเพื่อประยุกต์ใช้ในการพัฒนาปรับปรุงและอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ฟิล์มบาง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำโครงการพิเศษเรื่องนี้ขึ้นโดยสืบเนื่องมาจากการศึกษาและทดลองวิจัยในด้านการเคลือบฟิล์มบางนี้จำเป็นต้องสั่งซื้ออุปกรณ์เฉพาะทางมาเพื่อใช้ในการทดลองวิจัยโดยที่ส่วนใหญ่จะมาจากการสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศเป็นระบบเครื่องมือสำเร็จรูปซึ่งส่งผลให้ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงในการจัดซื้อเพื่อนำมาใช้ศึกษาทดลองวิจัย ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะสร้างเครื่องมือเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางเพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นช่องทางในการพัฒนาความรู้ทางด้านเทคโนโลยีในการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศและยังสามารถนำไปใช้เพื่อประกอบการเรียนรวมถึงวิจัยพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางให้กับผู้ที่สนใจ ซึ่งในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะทำการออกแบบเครื่องมือเพื่อสร้างระบบสุญญากาศเพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางในสภาวะสุญญากาศซึ่งจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ อาทิเช่น ภาชนะสุญญากาศ (Vacuum chamber) หน้าแปลนของภาชนะสุญญากาศ ข้อต่อต่างๆ แหล่งกำเนิดการระเหยสาร (Evaporation source) เป็นต้น ทั้งนี้อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่สั่งซื้อมา อาทิเช่น ปั๊มกลโรตารี (Rotary pump) ปั๊มฟุ้งกระจาย (Diffusion pump) แผ่นกั้นไอ (Baffle) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) วาล์ว (Valve) เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน (Cooling bath) รวมถึงหัวแมกนีตรอนสปัตเตอร์ซึ่งออกแบบสร้างไว้ก่อนหน้านี้แล้ว โดยคณะผู้วิจัยจะนำชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นระบบสุญญากาศที่ใช้สำหรับการเคลือบฟิล์มบางระบบผสมระหว่างระบบการระเหยสารด้วยความร้อนหลายแหล่งกำเนิด (Multi-thermal evaporation) และระบบแมกนีตรอนสปัตเตอร์ (Magnetron sputtering) เมื่อประกอบและติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วคณะผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบสภาวะสุญญากาศภายในของภาชนะสุญญากาศที่ได้ออกแบบจัดสร้างขึ้น โดยคณะผู้วิจัยคาดหวังที่จะดำเนินการจนสามารถเคลือบฟิล์มบางจากระบบดังกล่าวได้นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังสามารถที่จะควบคุมเรื่องของการใช้งบประมาณในการจัดซื้อและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างอิสระเพื่อให้ตรงต่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานและง่ายต่อการปรับปรุงรวมถึงการประยุกต์ต่อเติมระบบในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบสร้างระบบสุญญากาศที่สามารถสร้างค่าความดันภายใน เพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางด้วยระบบผสมระหว่างระบบการระเหยสารด้วยความร้อนและระบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือประกอบการเรียนและงานวิจัยของนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมถึงภาควิชาและสถาบันอุดมศึกษาอื่น ๆ ที่มีความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางและเครื่องมือระบบสุญญากาศ รวมถึงการศึกษาด้านวัสดุศาสตร์
3. เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อเครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบสำเร็จรูปจากต่างประเทศที่มีราคาการจำหน่ายที่สูง
4. เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพด้านการนำความรู้เชิงฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ให้เป็นรูปธรรมในรูปแบบงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้วางขอบเขตของงานวิจัยไว้ดังนี้

1. ออกแบบสร้างชิ้นส่วนของภาชนะสุญญากาศด้วยการใช้วัสดุหลักคือเหล็กกล้าไร้สนิม
2. ออกแบบสร้างภาชนะสุญญากาศมีลักษณะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 257 mm. ความสูงโดยรวมประมาณ 338 mm. โดยรอบจะมีท่อยื่นออกมาพร้อมหน้าแปลนขนาด ISO 160 (225 mm.), ISO 100 (165 mm.) และ ISO 63 (130 mm.)
3. ทดสอบการสร้างความดันภายในของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างขึ้น

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาการออกแบบและการเคลือบฟิล์มบาง	←→								
ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ภายในระบบ	←→								
ออกแบบจัดสร้างภาชนะสุญญากาศและอุปกรณ์ใช้ร่วม			←→						
ทดสอบสภาวะสุญญากาศ							←→		

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดต้นทุนในการสั่งซื้อเครื่องเคลือบฟิล์มบางสำเร็จรูปจากต่างประเทศ
2. เข้าใจถึงหลักการพื้นฐานของการสร้างระบบสุญญากาศ การเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนและดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง
3. ได้ระบบสุญญากาศที่สามารถเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสปีดเตอริงได้ เพื่อนำมาใช้ในการเรียนและการวิจัยของนักศึกษา
4. เข้าใจถึงการออกแบบอุปกรณ์โดยการใช้โปรแกรม Solidworks 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อใช้กับระบบผสมระหว่างระบบการระเหยสารด้วยความร้อนและระบบการสปีดเตอริง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะขออธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยเริ่มต้นจากหลักการที่เกี่ยวข้องกับความดัน ก๊าซ และ คุณสมบัติของวัสดุที่คณะวิจัยใช้ในการออกแบบสร้างภาชนะสุญญากาศจากนั้นจะอธิบายหลักการของส่วนประกอบสำคัญในการสร้างระบบสุญญากาศ อาทิเช่น ภาชนะสุญญากาศ ปั๊มกลโรตารี ปั๊มไอพุ้ง กระจาย วาล์วหยาบ (Roughing valve) วาล์วหนูน (Backing valve) วาล์วควบคุมอัตราการสูบ (Speedivalve) วาล์วเข็ม (Needle valve) เกจวัดความดันพิรานี (Pirani pressure gauge) เป็นต้น

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 การนำก๊าซ (Conductance,C)

ก๊าซจะไหลผ่านท่อนำก๊าซได้เมื่อมีผลต่างระหว่างความดันที่ปลายท่อโดยสามารถอธิบายในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$C = \frac{Q}{P_1 - P_2} \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ  $Q$  = ปริมาตรของก๊าซต่อหน่วยเวลาที่ไหลผ่านท่อ

$P_1, P_2$  = ความดันก๊าซที่ปลายท่อด้านเข้าและออก

#### 2.1.2 ความเร็วปั๊ม (Pumping speed, $S_p$ ) และ อัตราการสูบ (Throughput, $Q$ )

ความเร็วปั๊ม หาได้จากอัตราของปริมาตรก๊าซที่ปั๊มได้ต่อเวลา

$$S_p = \frac{dV}{dt} \quad \dots (2.2)$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการขับ เป็นผลคูณของความเร็วปั๊ม ( $S_p$ ) กับความดันที่บริเวณช่องเข้าปั๊ม ( $P_{in}$ )

$$Q = P_{in} S_p \quad \dots (2.3)$$

### 2.1.3 การขับก๊าซ (Outgassing)

ในภาชนะสุญญากาศแม้ว่าปั๊มเอาก๊าซออกหมดแล้วก็ยังก๊าซหลงเหลืออยู่ในภาชนะสาเหตุจากการหลุดของก๊าซโมเลกุลจากผิวของผนัง (desorption) และการซึมผ่านผนัง วัดปริมาณได้โดยมีค่าคงตัว (Outgassing Constant,  $k$ ) ซึ่งหมายถึงอัตราที่ก๊าซหลุดออกจากผิวต่อหน่วยพื้นที่ หน่วย  $\text{torr} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

## 2.2 ปั๊มกลโรตารี (Rotary pump)

การคำนวณหาค่าความเร็วปั๊มจากปั๊มกลโรตารี

$$S_{rot} > \frac{Q_{max}}{CBP} \quad \dots (2.4)$$

โดย  $S_{rot}$  คือ ความเร็วปั๊มกลโรตารี  
 $Q_{max}$  คือ อัตราการส่งผ่านสูงสุด (maximum throughput)

### 2.2.1 หลักการพิจารณาในการเลือกใช้ปั๊มกลโรตารี

1. ความเร็วปั๊ม (Pump speed) คำนวณได้จากปริมาณของก๊าซที่โรเตอร์กวาดไปต่ออนาที นั่นคือผลคูณของปริมาตรของการขจัด (Volumetric displacement) กับความเร็วรอบของปั๊ม (Rpm of pumps) ความเร็วปั๊มจะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซที่กำลังปั๊มออกก๊าซที่มีโมเลกุลหนักจะทำให้ความเร็วปั๊มลดลง ความดันของภาชนะสุญญากาศหรือความดันของก๊าซที่ช่องเข้าปั๊มกล ความเร็วปั๊มจะมีค่าที่ความดันสูงและลดลงเมื่อมีความดันลดต่ำลง ความเร็วปั๊มขึ้นอยู่กับการทำงานของปั๊ม ใช้น้ำมันหรือไม่ใช้ก๊าซบัลลาสต์

2. ความดันต่ำสุด (Ultimate pressure) หมายถึงความดันต่ำสุดที่บริเวณช่องก๊าซเข้าปั๊มที่ปั๊มสามารถทำได้ แต่ภายในภาชนะสุญญากาศอาจจะไม่สามารถทำให้มีความดันต่ำสุดได้ ทั้งนี้เพราะข้อต่อจากภาชนะสุญญากาศไปยังปั๊มจะลดประสิทธิภาพของการปั๊ม ความดันต่ำสุดของปั๊มจะแปรไปตามขนาดของปั๊มแบบจังหวะเดี่ยวหรือสองจังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

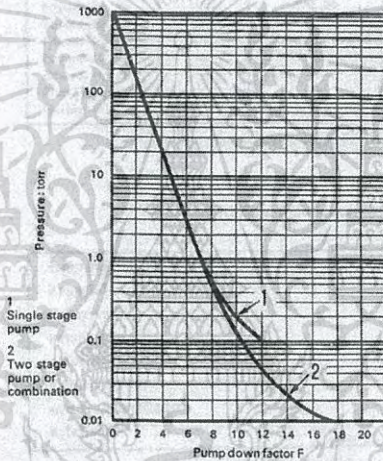
3. กราฟแสดงการปั๊มลง (Pump down curve) ปั๊มกลโรตารีจะใช้เวลาช่วงหนึ่งในการปั๊ม ภาชนะให้มีความดันลง จะแสดงได้โดยกราฟในรูปที่ 2.1 สำหรับปั๊มจังหวะเดียวและสองจังหวะเวลาที่ ใช้ในการปั๊มลงทั้งหมด หาได้จากสมการ

$$T = \frac{F \times V}{S} \quad \dots (2.5)$$

เมื่อ S คือ ความเร็วปั๊ม

V คือ ปริมาตรของภาชนะสุญญากาศหรือระบบ

F คือ ค่าจำเพาะปั๊มลง (Pump down factor) หาได้จากกราฟ



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการปั๊มลง

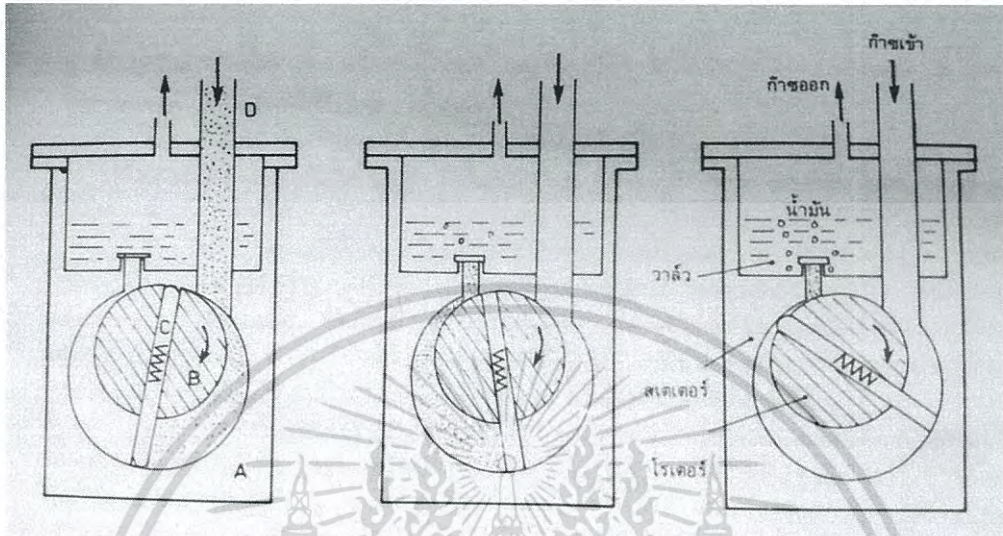
### 2.2.2 ปั๊มกลโรตารีแบบแวน (Rotary vane pump)

ปั๊มประกอบด้วยประต้วัยภาชนะทำด้วยโลหะเป็นกระบอกกลวงเรียกว่าสเตเตอร์ (Stator, A) ภายในทรงกระบอกกลวงมีแท่งโลหะรูปกระบอกหมุนได้มอเตอร์ไฟฟ้าเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor, B) แกนของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ตะขิวของสเตเตอร์พอดี (ช่องว่างน้อยมาก  $\approx 0.001$  นิ้ว) บริเวณที่ตะขิวด้านบนนี้เรียกว่า Top Seal Rotor จะถูกเจาะรูเพื่อติดแวน (Van, C) 2 อันโดยจะถูกดันด้วยสปริงให้แตะกับผิวสเตเตอร์ตลอดเวลาอธิบายการทำงานของปั๊มเป็นจังหวะดังนี้

- 1) โรเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกาทำให้ก๊าซถูกดูดออกจากภาชนะสุญญากาศเข้าช่องทาง D
- 2) โรเตอร์หมุนไปเกือบ  $180^\circ$  ก๊าซที่ถูกดูดเข้าจะถูกอัดแล้วถูกส่งออกทางลิ้น discharge valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

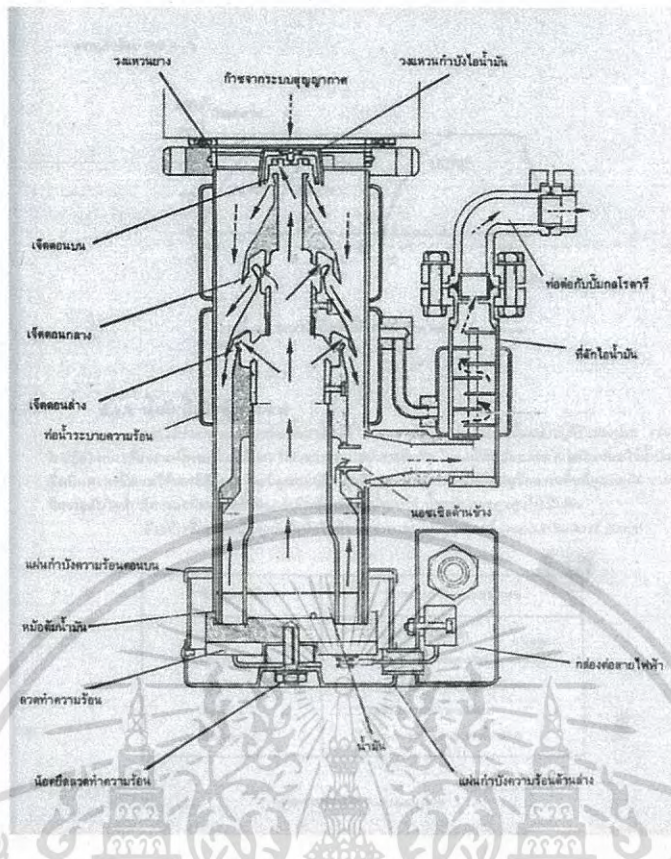
- 3) ก๊าซถูกอัดส่งออกจนเกือบหมดก๊าซจากภาชนะสูญญากาศจะแว่นดูดเข้าไปยังช่องว่างในสเตเตอร์อีกครั้ง



รูปที่ 2.2 ภาพการทำงานของปั๊มกลโรตารี

### 2.3 ปั๊มไอพุ้งกระจาย (Vapour diffusion pump)

ในการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ปั๊มไอพุ้งกระจายแบบใช้น้ำมันโดยหลักการทำงานคือน้ำมันปั๊มซึ่งอยู่ที่บริเวณด้านล่างของตัวปั๊มจะถูกให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าจนถึงจุดเดือดซึ่งส่งผลให้น้ำมันปั๊มเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอลอยขึ้นปะทะกับช่องเจ็ทที่ระดับต่างๆกันและถูกบังคับให้เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ โดยบริเวณส่วนบนของท่อจะถูกทำการระบายความร้อนด้วยน้ำจากระบบหล่อเย็น เมื่อไอน้ำมันเกิดสภาวะสูญเสีความร้อนทำให้พลังงานจลน์ของไอนั้นลดลงและตกลงมาชนกับโมเลกุลของอากาศหรือก๊าซทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศหรือก๊าซเคลื่อนที่ทิศเดียวกับไอน้ำมันที่ตกลงมาส่งผลให้ความดันของอากาศและก๊าซด้านล่างมากกว่าด้านบนและถูกดูดออกโดยปั๊มโรตารีที่ต่อร่วมกันกับปั๊มไอน้ำมันพุ้งกระจายดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบภายในของปั๊มไอฟุ้งกระจาย

### 2.3.1 หลักการพิจารณาในการเลือกใช้ปั๊มไอฟุ้งกระจาย

1. ความดันต่ำสุด คือ ความสามารถในการทำความดันสุญญากาศของปั๊มไอฟุ้งกระจาย นั้นๆ ซึ่งเป็นความดันต่ำมากโดยทั่วไปความดันต่ำที่ถูกทำจากปั๊มไอฟุ้งกระจายเพื่อใช้ในระบบสุญญากาศจะมีค่าอยู่ในช่วง  $10^{-3}$  ถึง  $10^{-10}$  torr หรือน้อยกว่า
2. ความดันท้าย (Backing pressure) คือ ความดันตอนล่างหรือบริเวณล่างภายในของปั๊มไอฟุ้งกระจายควรมีค่าไม่เกิน 0.1 torr ซึ่งโดยทั่วไปจะนำปั๊มกลโรตารีต่อร่วมด้วย
3. ความเร็วปั๊ม คือ ความเร็วในการทำความดันสุญญากาศให้มีค่าต่ำสุดของปั๊มไอฟุ้งกระจาย โดยทั่วไปปั๊มไอฟุ้งกระจายมีความเร็วปั๊มอยู่ที่  $10 \text{ l.s}^{-1}$  ถึง  $45000 \text{ l.s}^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการปั๊มโดยใช้ปั๊มไอฟุ้งกระจาย

เวลาที่ใช้ในการปั๊มลง สามารถหาได้จากการลดความดันตามเวลา

$$P = P_0 e^{-(S/V)t} \quad \dots (2.6)$$

หรือ 
$$t = 2.3 \frac{V}{S} \log \frac{P_0}{P} \quad \dots (2.7)$$

เมื่อ  $t =$  เวลา (sec)  $V =$  ปริมาตรของภาชนะสุญญากาศ (lites)

$S =$  ความเร็วปั๊ม ( $l.s^{-1}$ )  $P_0 =$  ความดันเริ่มต้น (torr)

$P =$  ความดันสุญญากาศที่ต้องการ (torr)

ทั้งนี้ภาชนะสุญญากาศสามารถปลดปล่อยก๊าซออกจากผนังวัสดุ จึงควรเลือกปั๊มที่มีค่าความเร็วปั๊มเพื่อไว้ด้วยโดยสามารถคำนวณหาความดันที่ปั๊มต่ำสุดได้จริงจากสมการ

$$P = \frac{Q}{S} \quad \dots (2.8)$$

เมื่อ  $P =$  ความดันต่ำสุด (torr)

$Q =$  throughput ( $l.s^{-1}$ )

$S =$  ความเร็วปั๊ม ( $l.s^{-1}$ )

### 2.3.3 การเลือกปั๊มโรตารีให้เหมาะสมกับปั๊มไอฟุ้งกระจาย

หลักสำคัญในการเลือก คือ ความสามารถของปั๊มกลโรตารีที่สามารถทำให้ความดันท้ายของปั๊มไอฟุ้งกระจายไม่เกินกว่ากำหนดเมื่อปั๊มไอฟุ้งกระจายทำงานเต็มที่โดยอัตราส่งผ่านสูงสุดจะมีค่าเท่ากับผลคูณของความดันกับความเร็วปั๊มไอฟุ้งกระจาย สามารถอธิบายในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\text{ความเร็วปั๊มกลโรตารี} > \frac{\text{อัตราส่งผ่าน (maximum throughput)}}{\text{ความดันท้ายวิกฤต}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัว หดตัวของก๊าซเมื่อความดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซชนิดต่างๆหรืออาศัยหลักการแตกตัวของก๊าซชนิดต่างๆ เป็นต้น

### 2.4.1 การเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดัน

ควรพิจารณาองค์ประกอบหรือข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดดังนี้

1. ช่วงความดันที่วัดได้ควรครอบคลุมความดันสุญญากาศที่ต้องการวัดระบบสุญญากาศ จึงมักใช้หัววัด 2 แบบคือวัดความดันในช่วง  $760 - 10^{-3}$  torr และต่ำกว่า  $10^{-3}$  torr
2. ความละเอียดของสเกลวัด อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบจะวัดความดันที่อ่านในสเกล log และอ่านสเกลเชิงเส้นตรงได้ในบางช่วง
3. ความไวต่อก๊าซป้อน อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบอาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซหรือการแตกตัวของก๊าซ ดังนั้นเมื่อใช้กับก๊าซต่างชนิดกันจะให้ความไวต่างกัน จึงต้องทราบค่าเปรียบเทียบของก๊าซต่างๆ อุปกรณ์ประเภทนี้มักใช้ในโตรเจนเป็นมาตรฐาน
4. ข้อมูลจำเพาะเกี่ยวกับอุปกรณ์ควรทราบว่าหัววัดความดันสามารถแสดงค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนความดันได้เร็วช้าเพียงใด ผลของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และความแม่นยำในการวัด

### 2.4.2 หน่วยวัดความดัน

ความดันในระบบสุญญากาศมีช่วงกว้างมากมักแบ่งได้เป็น

ความดันสุญญากาศหยาบ	(Rough vacuum)	760 - 1	torr
ความดันสุญญากาศปานกลาง	(Medium vacuum)	$1-10^{-3}$	torr
ความดันสุญญากาศต่ำ	(High vacuum)	$10^{-3}-10^{-8}$	torr
ความดันสุญญากาศต่ำมาก	(Ultrahigh vacuum)	$< 10^{-8}$	torr

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบหน่วยความดัน

Pressure	torr	mbar	Bar	Pascal	atm
1 torr	1	1.333	$1.333 \times 10^{-3}$	133.3	$1.316 \times 10^{-3}$
1 mbar	0.75	1	0.001	100	$9.87 \times 10^{-4}$
1 bar	750	1000	1	$10^5$	$9.87 \times 10^{-1}$
1 pascal	0.0075	0.01	$10^{-5}$	1	$9.87 \times 10^{-6}$
1 atm	760	1013	$1013 \times 10^{-3}$	101325	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การเลือกส่วนประกอบและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

### 2.5.1 วาล์ว

ในงานวิจัยนี้วาล์วเป็นส่วนประกอบที่เสมือนเป็นแผ่นกั้นเพื่อเปิดปิดทางการไหลของอากาศหรือก๊าซรวมถึงการแยกภาชนะสุญญากาศออกจากระบบข้อต่อต่างๆที่เชื่อมต่อหรือติดกับภาชนะสุญญากาศนั้นๆ

#### 2.5.1.1 วาล์วหมุน 90 องศา (Quarter-swing valve)

เป็นวาล์วที่ใช้แผ่นโลหะวงกลมหมุนได้รอบตัว 90 องศา ที่สามารถเปิดปิดทางการไหลของอากาศหรือก๊าซภายในระบบสุญญากาศที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วาล์วหมุน 90 องศา

#### 2.5.1.2 วาล์วรูเข็ม

เป็นวาล์วเปิดปิดทางการไหลของอากาศหรือก๊าซภายในระบบสุญญากาศหรือภาชนะสุญญากาศในปริมาณเล็กน้อยซึ่งส่งผลให้สามารถควบคุมความดันรวมถึงอัตราการไหลของอากาศหรือก๊าซตามที่ต้องการโดยภายในจะมีเข็มโลหะเลื่อนเข้าออกตามทิศทางการหมุนปิดเปิดของวาล์ว

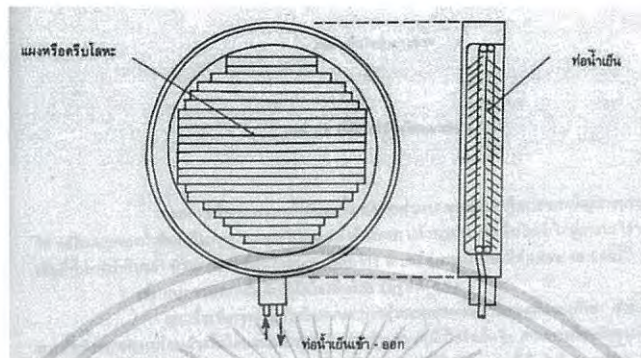
#### 2.5.1.3 วาล์วปรับหยาบ

เป็นวาล์วที่ใช้เพื่อเลือกทางการไหลของอากาศหรือก๊าซจากภายในภาชนะสุญญากาศไปยังปั๊มกลโรตารีหรือจากภาชนะสุญญากาศไปยังปั๊มกลโรตารีร่วมกับปั๊มไอฟุ้งกระจาย

### 2.5.2 ฉากกั้น

หมายถึงผนังหรือแผ่นกั้นที่มีหน้าที่ควบแน่นไอน้ำให้ไหลย้อนกลับไปยังภาชนะสุญญากาศแต่จะทำให้ไอที่ระเหยกลับคืนสู่หม้อต้มของปั๊มไอฟุ้งกระจาย

ฉากกั้นระบายความร้อนด้วยน้ำ ฉากกั้นประเภทนี้มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีการเรียงเพื่อ  
 ดักไอน้ำมันโดยระบายความร้อนที่เกิดบริเวณฉากกั้นด้วยน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนดัง  
 รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ฉากกั้นระบายความร้อนด้วยน้ำ

ในการวิจัยครั้งนี้ภาชนะสุญญากาศและระบบข้อต่อที่นำมาประกอบรวมจำเป็นต้องทำการคง  
 สภาพสุญญากาศของระบบภายในภาชนะสุญญากาศโดยในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้  
 ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการคงสภาพสุญญากาศของระบบคือโอริง

2.5.3 โอริง

โอริงใช้วัสดุประเภทยางสังเคราะห์ (Elastomer) ซึ่งในงานวิจัยนี้ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้โอริง  
 จากวัสดุยางนีโอพรีน (Neoprene) ซึ่งมีคุณสมบัติของยางดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของยาง

	ความซึมได้ของก๊าซต่อนิ้ว ( $\text{atm cm}^3\text{s}^{-1}$ )	ความดันไอต่ำสุด (torr)	อัตราซัพก๊าซ ( $\text{torr} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ )
ซิลิโคน	$100 \times 10^{-8}$	$2.2 \times 10^{-7}$	$0.44 \times 10^{-5}$
ไวตัน	$1.6 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-9}$	$2.04 \times 10^{-5}$
ไนไตรล์	$0.31 \times 10^{-8}$	-	-
ยางธรรมชาติ	-	$4.5 \times 10^{-9}$	-
นีโอพรีน	-	$2.1 \times 10^{-9}$	$5.4 \times 10^{-5}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

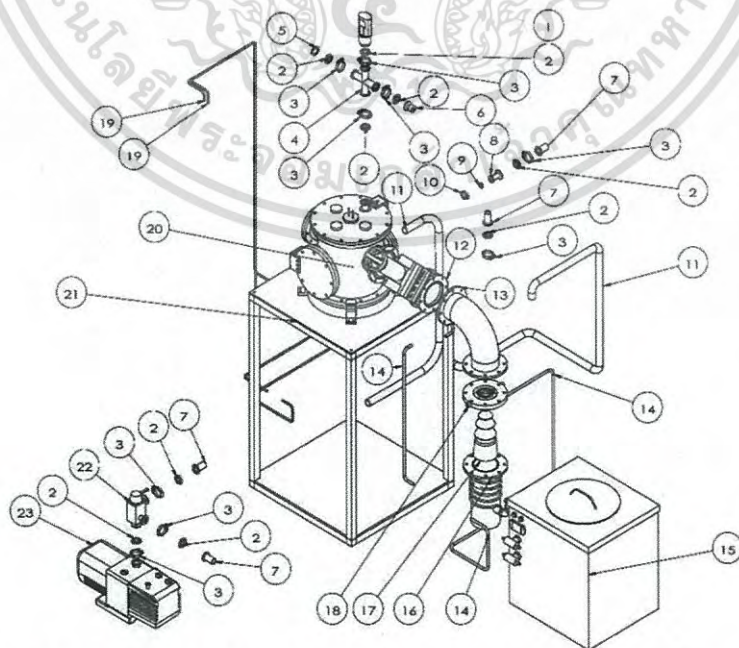
### บทที่ 3

## การออกแบบระบบสุญญากาศ

ในเนื้อหาหลักของบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบจัดสร้างระบบสุญญากาศที่ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นรวมถึงส่วนประกอบที่ได้จัดซื้อเพื่อนำมาใช้ร่วมกับภาชนะสุญญากาศที่จัดสร้างขึ้น การประกอบชิ้นส่วนเพื่อสร้างระบบในการเตรียมทดสอบสร้างสภาวะสุญญากาศภายในภาชนะสุญญากาศและขั้นตอนในการทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศเพื่อจุดประสงค์ที่จะนำไปใช้งานสำหรับการเคลือบฟิล์มบางระบบผสมระหว่างวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนและดีซีสปัตเตอร์ริง

### 3.1 การออกแบบระบบสุญญากาศ

เป้าหมายหลักในงานวิจัยนี้คือการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศเพื่อนำไปใช้ในการเคลือบฟิล์มบางระบบผสมระหว่างวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนและการสปัตเตอร์ริง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบสร้างเครื่องมือที่สามารถใช้เพื่อสร้างระบบสุญญากาศโดยระบบนี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญได้แก่ ภาชนะสุญญากาศ โอริง ข้อต่อ บีมสุญญากาศ และระบบทำน้ำเย็นหมุนเวียน เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบสร้างภาชนะสุญญากาศและจัดเตรียมระบบเพื่อทดสอบการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศจะถูกอธิบายในหัวข้อถัดไป โดยในรูปที่ 3.1 คือแผนภาพแสดงอุปกรณ์ต่างๆของระบบที่ใช้ในการทดสอบการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศที่ทางคณะผู้วิจัยได้จัดเตรียมไว้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ของระบบที่ใช้ในการทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

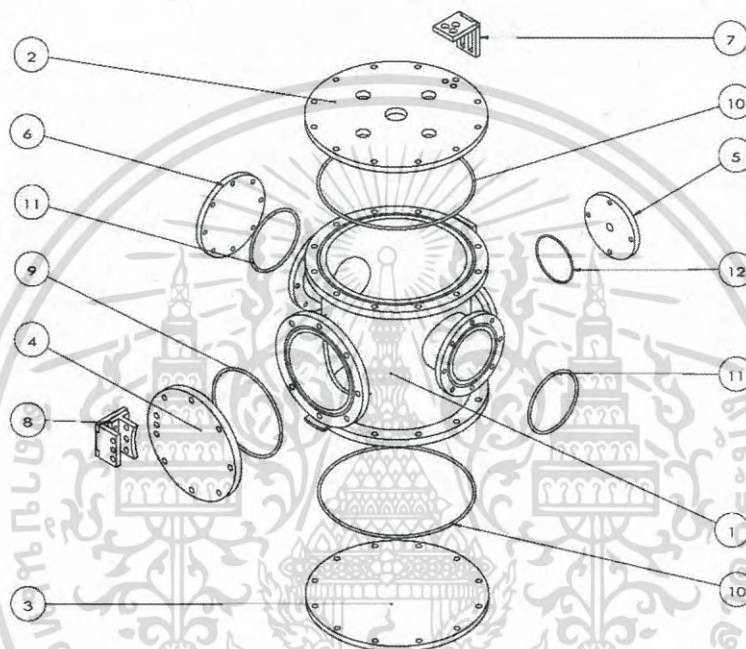
จากรูปที่ 3.1 จะอธิบายรายการอุปกรณ์ต่างๆตามหมายเลขที่แสดงอยู่ในรูปดังนี้

1. เกจวัดความดันชนิดพีรานี
2. Centering ring NW-25
3. แคลมป์ล็อก NW-25
4. ข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25
5. ฝาปิดแปลน NW-25
6. วาล์วปล่อยอากาศเข้า (Leak valve)
7. หน้าแปลนท่อนำก๊าซ NW-25
8. ข้อต่อตัวแปลงหน้าแปลน NW-16 : NW-25
9. Centering ring NW-25
10. แคลมป์ล็อก NW-16
11. ท่อนำก๊าซ
12. วาล์วแยก (Isolate Valve)
13. ช็องอ 90 องศา
14. สายยางน้ำขนาด 5 x 8 mm.
15. เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน
16. บี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย
17. เจ็ทของบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย (Jet)
18. ฉากกันไอน้ำมัน
19. สายยางน้ำขนาด 6 x 8 mm.
20. ภาชนะสุญญากาศ
21. ชั้นวางภาชนะสุญญากาศ
22. วาล์วสลับทาง
23. บี้มกลโรตารี

จากรายการที่แสดงไปข้างต้นได้แสดงถึงอุปกรณ์โดยรวมของระบบที่คณะวิจัยได้ทำการจัดเตรียมระบบขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบจัดสร้างขึ้นโดยในหัวข้อถัดไปคณะผู้วิจัยจะแยกอธิบายถึงส่วนของอุปกรณ์ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างและอุปกรณ์ที่จัดซื้อเป็นหัวข้อดังนี้

### 3.1.1 ภาชนะสุญญากาศและแผ่นปิดหน้าแปลน

ภาชนะสุญญากาศที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขึ้นมาใช้วัสดุหลักคือเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ภาชนะสุญญากาศถูกออกแบบให้มีลักษณะรูปทรงกระบอกแนวตั้ง โดยมีท่อยื่นต่อพร้อมมีหน้าแปลน 6 แปลน คละขนาดสามารถต่อเข้ากับฝาเปิดปิดแปลนได้รวม 6 ฝาเพื่อใช้ในการจัดเตรียมอุปกรณ์ภายในและเชื่อมต่อเพื่อเพิ่มอุปกรณ์อื่นๆมายังภาชนะสุญญากาศโดยมีปริมาตรภายในประมาณ 18.5 ลิตร ซึ่งรูปที่ 3.2 เป็นแผนภาพแสดงส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้าง

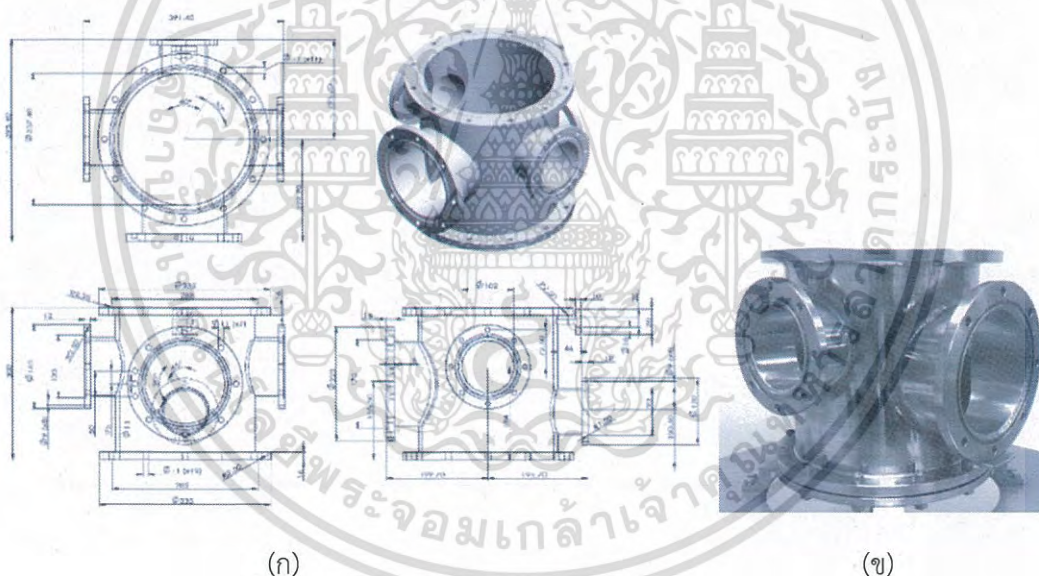
จากรูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างประกอบไปด้วย

1. ภาชนะสุญญากาศ
2. ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน
3. ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง
4. ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง
5. ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหลัง
6. ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านขวา
7. ตัวล็อกฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน
8. ตัวล็อกฝาภาชนะสุญญากาศด้านหน้า
9. โอริงเส้นผ่าศูนย์กลาง 180 mm. หนา 5 mm.
10. โอริงเส้นผ่าศูนย์กลาง 290 mm. หนา 5 mm.
11. โอริงเส้นผ่าศูนย์กลาง 128 mm. หนา 5 mm.
12. โอริงเส้นผ่าศูนย์กลาง 96 mm. หนา 5 mm.

รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆคณะผู้วิจัยจะอธิบายเป็นหัวข้อดังนี้

### 3.1.1.1 ภาชนะสุญญากาศ

ภาชนะสุญญากาศมีลักษณะทรงกระบอกแนวตั้งกึ่งวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 280 mm. หน้า 10 mm. สูง 300 mm. ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมด้านบนและล่างมีหน้าแปลนมาตรฐาน ISO 250 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 335 mm. หน้า 16 mm. เจาะรูจำนวน 12 รู ขนาด 11 mm. ห่างจากจุดศูนย์กลางหน้าแปลน 155 mm. ทำร่องใส่โอริงบริเวณหน้าแปลนทั้งสอง ซึ่งขนาดของร่องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 290 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 280 mm. บริเวณขอบภายนอกของร่องห่างจากขอบภายในของหน้าแปลนบนและล่าง 55 mm. ส่วนด้านหน้าเป็นท่อยื่นมาด้านหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 170 mm. หน้า 16 mm. พร้อมหน้าแปลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 225 mm. และเจาะรูจำนวน 10 รู ขนาดรู 11 mm. ห่างจากจุดหน้าแปลน 100 mm. ทำร่องใส่โอริงบริเวณของหน้าแปลนซึ่งมีขนาดของร่องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 170 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 180 mm. รวมถึงบริเวณหน้าเจาะรู 3 รูขนาด 8 mm. ในแนวตั้งทางด้านขวาของหน้าแปลนห่าง 97.5 mm. ระยะห่างระหว่างรู 2.5 mm.



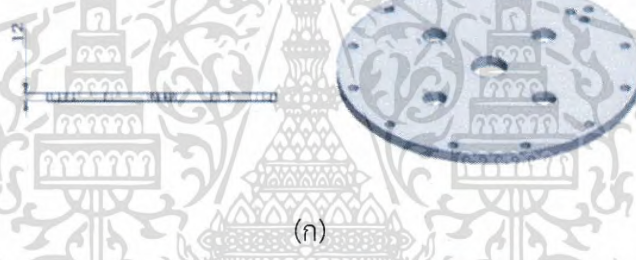
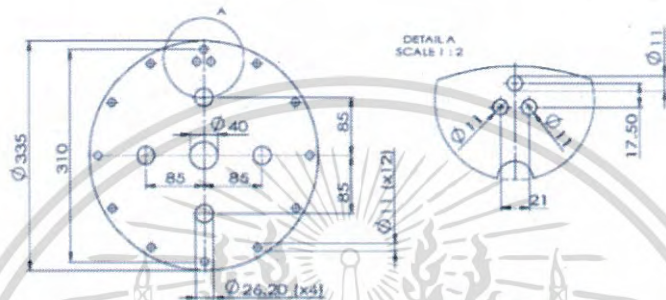
รูปที่ 3.3 ภาชนะสุญญากาศ

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบภาชนะสุญญากาศ

(ข) ภาพถ่ายของภาชนะสุญญากาศที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น

### 3.1.1.2 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน

ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 335 mm. และหนา 12 mm. เจาะรูขนาด 11 mm. จำนวน 12 รู ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝา 155 mm. เจาะรู 2 รูขนาด 11 mm. ห่างจากจุดศูนย์กลาง 141.5 mm. ที่จุดศูนย์กลางของฝาปิดเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26.20 mm. ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝาปิด 85 mm. จำนวน 4 รู ดังรูปที่ 3.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 ฝาปิดหน้าแปลนด้านบน

- (ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดหน้าแปลนด้านบน  
(ข) ภาพถ่ายของฝาปิดหน้าแปลนด้านบนที่ได้ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1.3 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง

ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 335 mm. หนา 12 mm. เจาะรู 11 mm. ทะลุผ่านฝาปิดจำนวน 12 รู ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝา 155 mm. ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฝาปิดหน้าแปลนด้านล่าง

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดหน้าแปลนด้านล่าง

(ข) ภาพถ่ายของฝาปิดหน้าแปลนด้านล่างที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า

ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้าวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 225 mm. หนา 16 mm. เจาะรู 11 mm. ทะลุผ่านฝาปิดจำนวน 7 รู ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝา 100 mm. โดยมีการเจาะรูด้านหลังของฝาปิดหน้าแปลนด้านหน้า ห่างจากจุดศูนย์กลาง 90.7 mm. จำนวน 3 รู ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ฝาปิดหน้าแปลนด้านหน้า

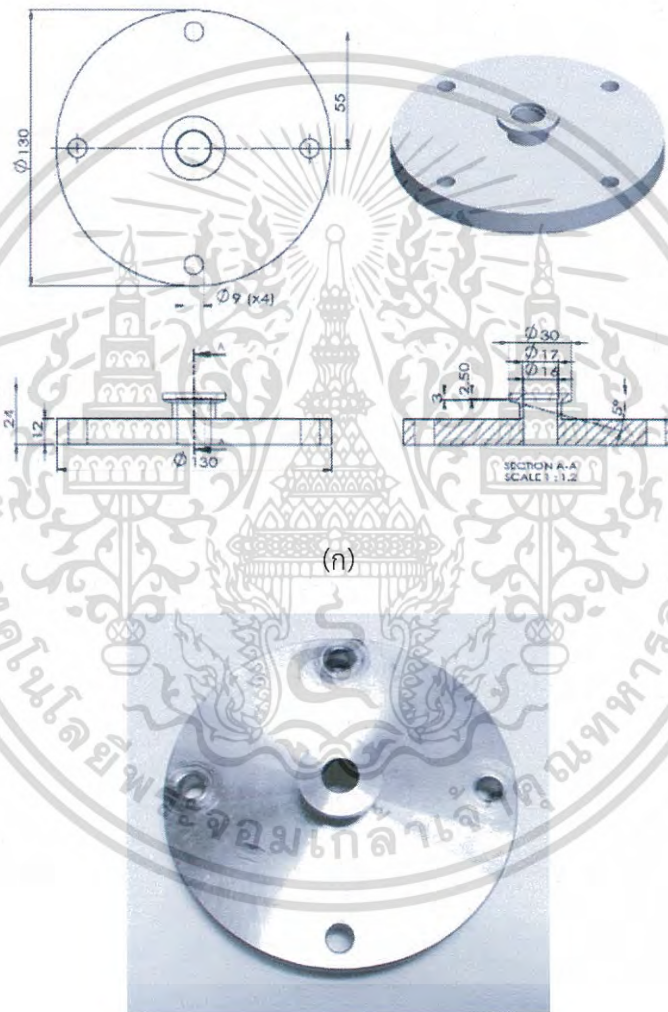
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดหน้าแปลนด้านหน้า

(ข) ภาพถ่ายฝาปิดหน้าแปลนด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1.5 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหลัง

ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหลังจากใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 mm. หนา 12 mm. เจาะรู 9 mm. ทะลุผ่านฝาปิดจำนวน 4 รู ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝา 55 mm. โดยมีท่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 mm. และหน้าแปลน NW-16 ที่แสดงในภาคผนวก ก ที่ด้านหลังของฝาปิดหน้าแปลนด้านหลังความยาว 28 mm. เพื่อให้สูบลูกอากาศออกดังรูปที่ 3.7



(ข)

รูปที่ 3.7 ฝาปิดหน้าแปลนด้านหลัง

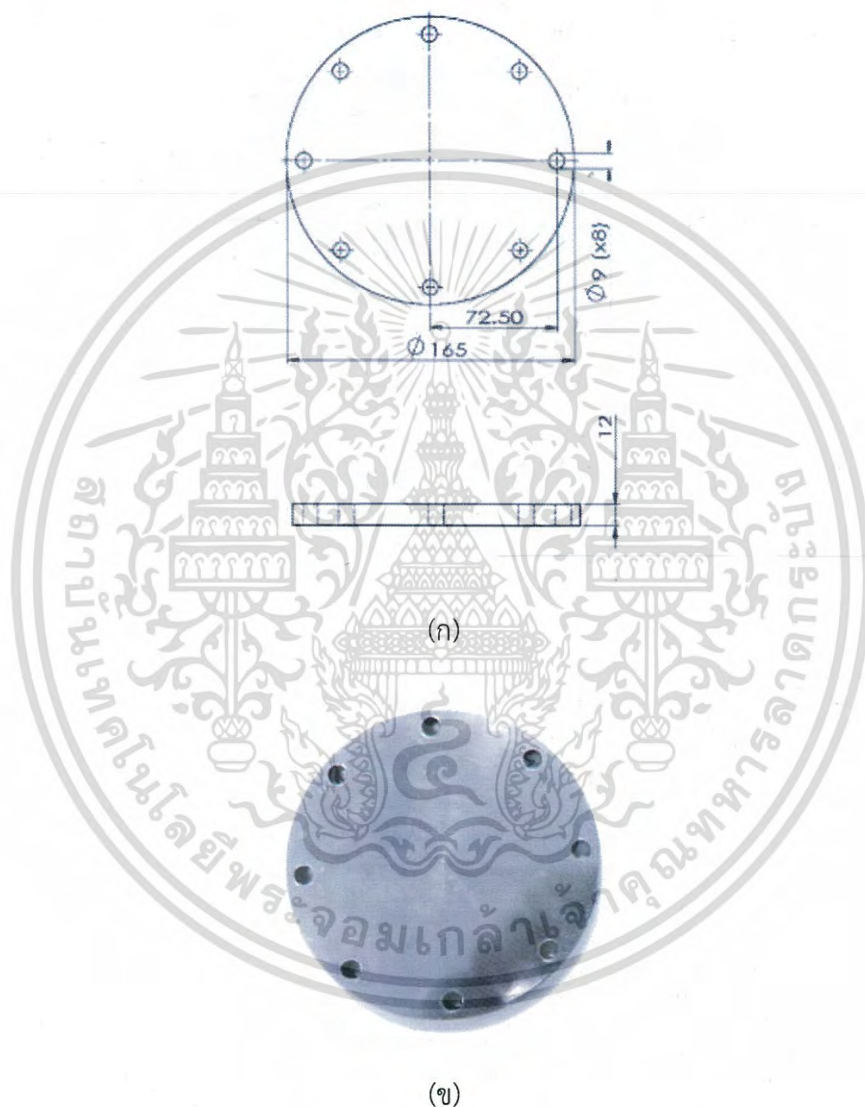
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดหน้าแปลนด้านหลัง

(ข) ภาพถ่ายฝาปิดหน้าแปลนด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1.6 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านขวา

คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านขวามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 165 mm. หนา 12 mm. เจาะรูขนาด 9 mm. จำนวน 8 รู ห่างจากจุดศูนย์กลางของฝา 72.5 mm ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ฝาปิดหน้าแปลนด้านขวา

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดหน้าแปลนด้านขวา

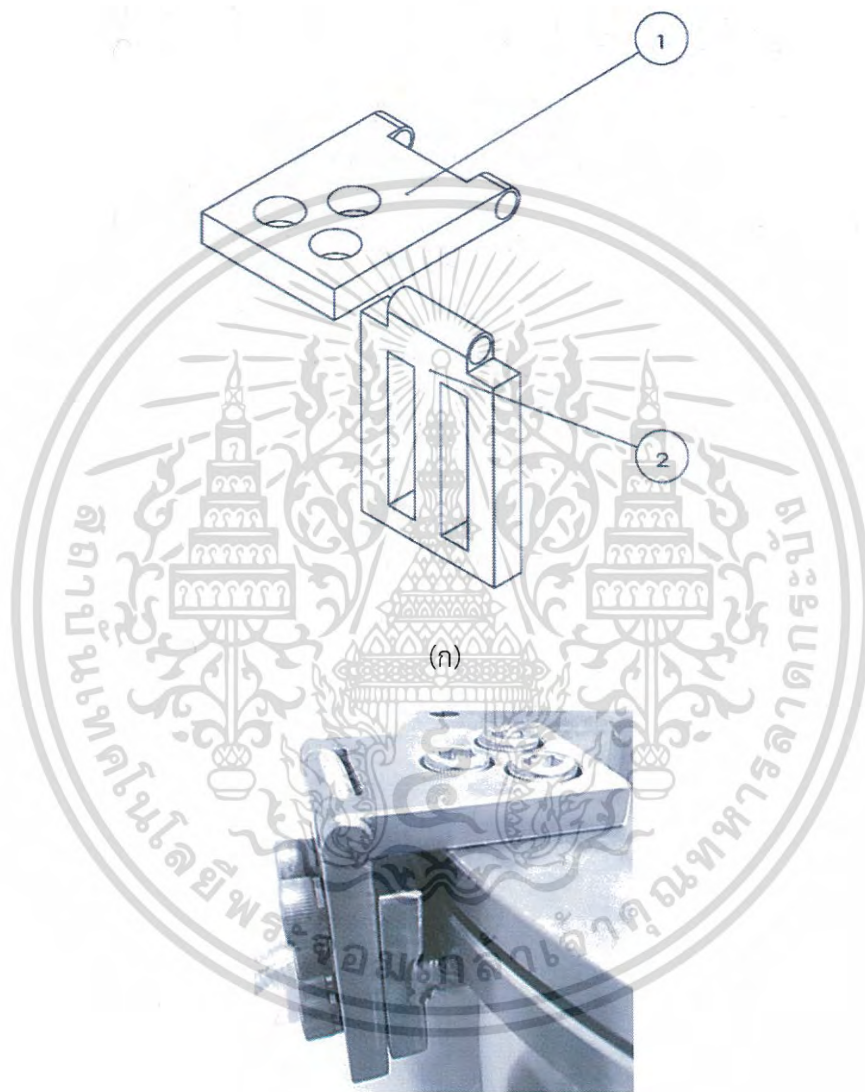
(ข) ภาพถ่ายฝาปิดหน้าแปลนด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1.7 ตัวล๊อคฝาด้านบน

ตัวล๊อคฝาด้านบนจัดสร้างโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ส่วนล๊อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน
2. ส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้



(ข)

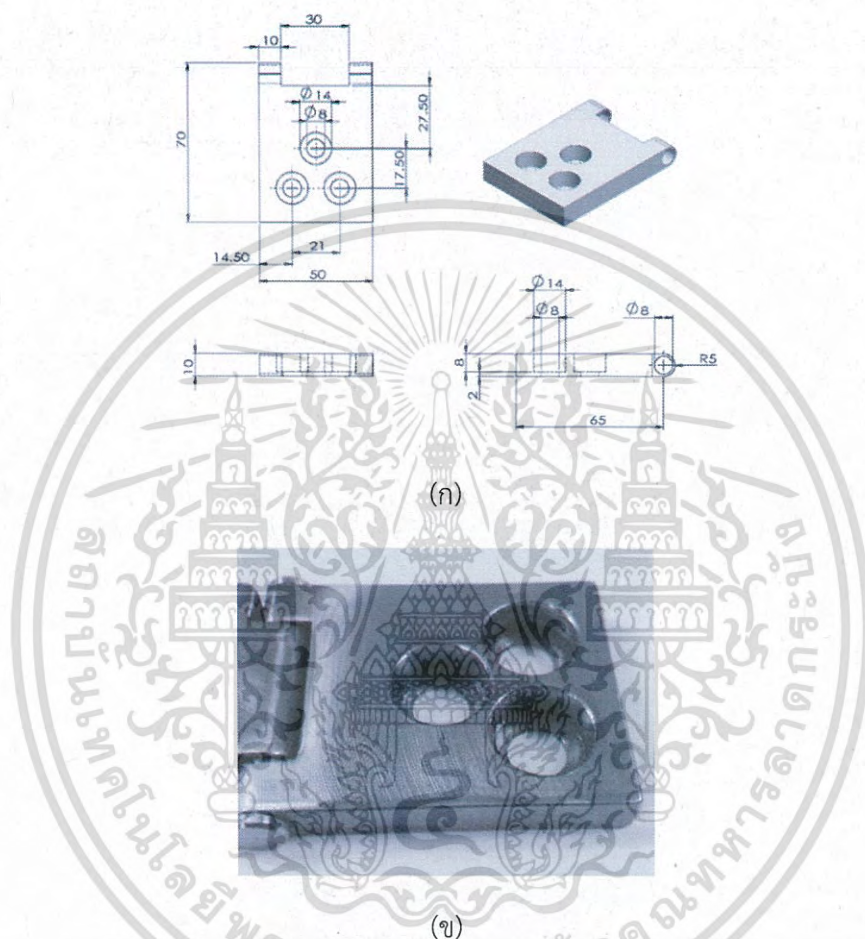
รูปที่ 3.9 ตัวล๊อคฝาด้านบน

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของชิ้นส่วนตัวล๊อคฝาด้านบน

(ข) ภาพถ่ายตัวล๊อคฝาด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนลึอกฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน เป็นส่วนประกอบที่ใช้เชื่อมต่อกับฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบนเพื่อเป็นจุดหมุนในการเปิดปิดโดยมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้างทั้งหมด 50 mm. ความยาวทั้งหมด 70 mm. หนา 10 mm. เจาะรู 3 รูขนาด 14 mm. ลึก 8 mm. และ 8 mm. ลึก 2 mm. ณ ตำแหน่งเดียวกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.10

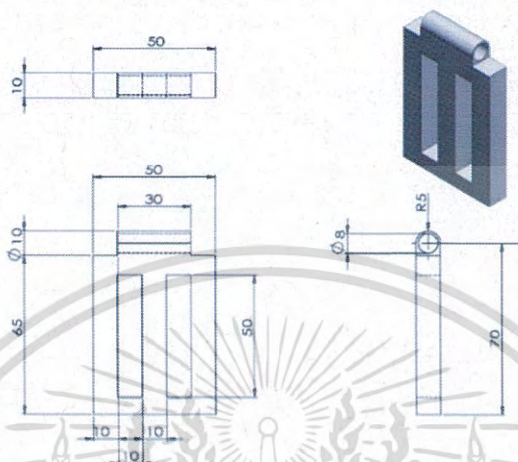


รูปที่ 3.10 ส่วนลึอกฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบส่วนลึอกฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน

(ข) ภาพถ่ายส่วนลึอกฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านบน

2. ส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้าง 50 mm. ความยาว 65 mm. หนา 10 mm. เจาะรูสี่เหลี่ยม (Square Slot) ขนาด 10x50 mm. ระยะห่างรูและขอบชิ้นงานระหว่างรูเท่ากับ 10 mm. ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.11



(ก)

(ข)

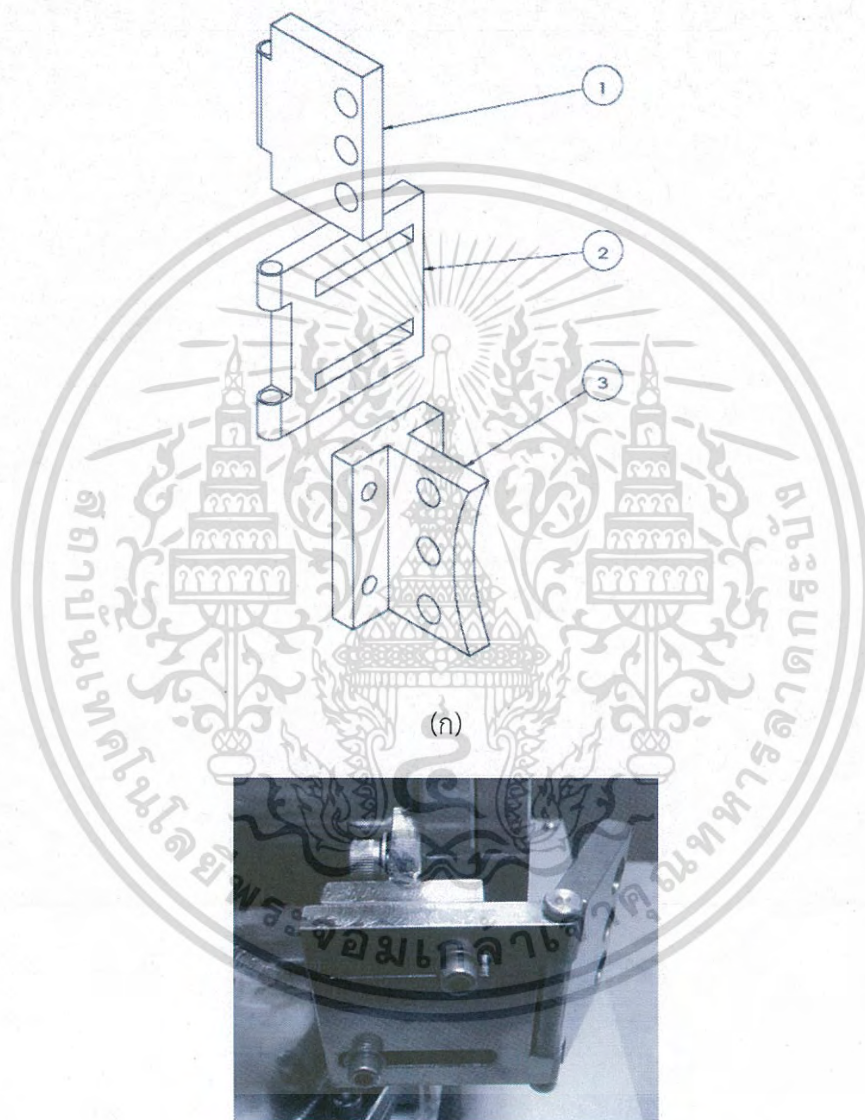
รูปที่ 3.11 ส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน

(ข) ภาพถ่ายส่วนเชื่อมต่อแปลนฝาปิดด้านบน

### 3.1.1.8 ตัวล็อคฝาด้านหน้า

ตัวล็อคฝาด้านหน้าจัดสร้างโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่  
 1. ส่วนล็อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า 2. ส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน 3. ส่วนต่อแปลนด้านหน้าของภาชนะสุญญากาศ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.12 โดยมีรายละเอียดการออกแบบตามนี้



(ข)

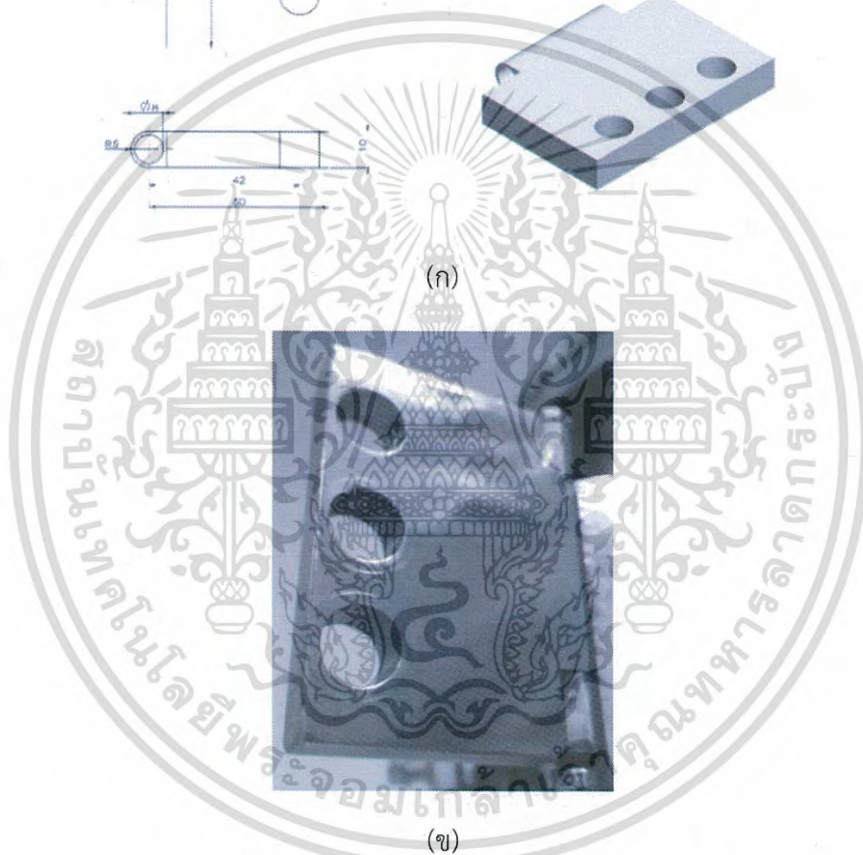
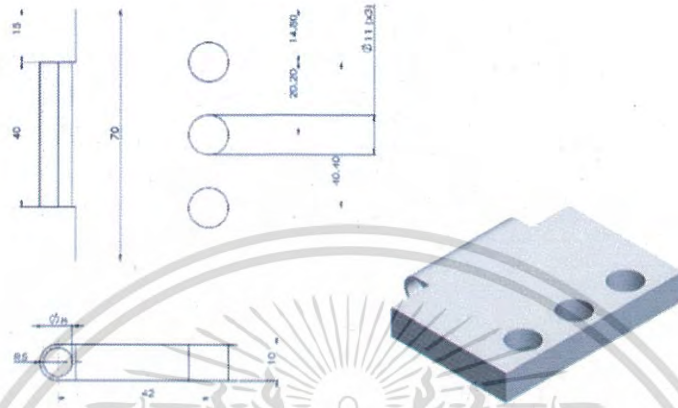
รูปที่ 3.12 ตัวล็อคฝาด้านหน้า

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของชิ้นส่วนตัวล็อคฝาด้านหน้า

(ข) ภาพถ่ายตัวล็อคฝาด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนล๊อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้างทั้งหมด 55 mm. ความยาวทั้งหมด 70 mm. หนา 10 mm. เจาะรูขนาด 11 mm. จำนวน 3 รู ระยะห่างระหว่างรู 20.20 mm. ดังรูปที่ 3.13



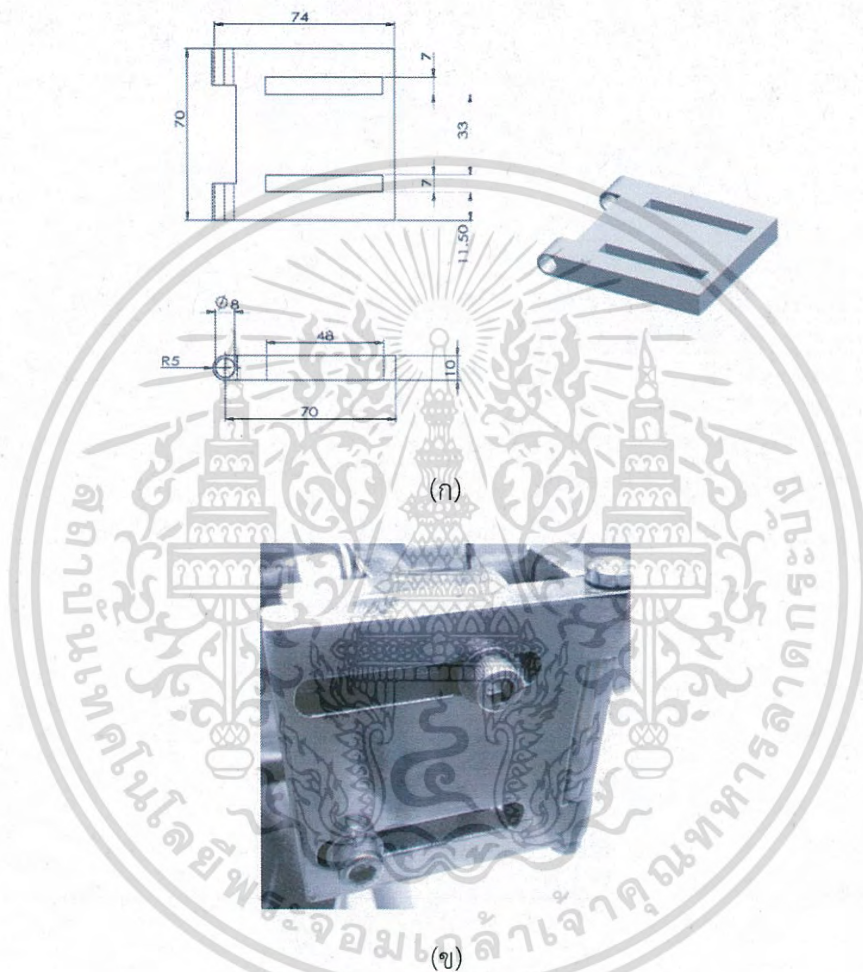
รูปที่ 3.13 ส่วนล๊อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบส่วนล๊อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า

(ข) ภาพถ่ายส่วนล๊อคฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน ส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลนมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้างทั้งหมด 70 mm. ความยาวทั้งหมด 74 mm.หนา 10 mm. เจาะร่องสี่เหลี่ยมสำหรับใส่สลักรูลึอกจำนวน 2 ร่องขนาด 7x48 mm. ห่างจากบริเวณขอบ 11.50 mm. ดังรูปที่ 3.14

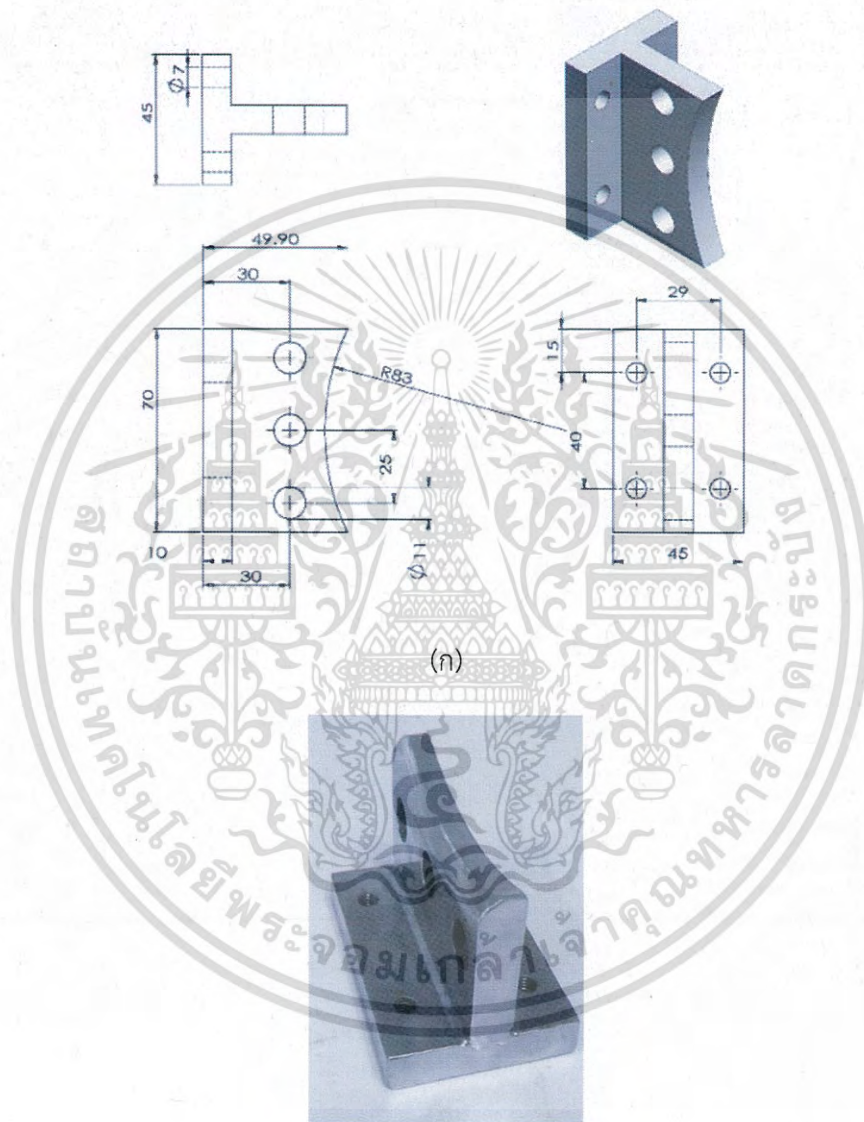


รูปที่ 3.14 เชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน

(ข) ภาพถ่ายส่วนเชื่อมต่อฝาปิดด้านหน้ากับแปลน

3. ส่วนต่อแปลนด้านหน้าของภาชนะสุญญากาศ ส่วนต่อแปลนด้านหน้าที่เชื่อมต่อกับภาชนะสุญญากาศมีความกว้างทั้ง 45 mm. ความยาวทั้งหมด 49.90 mm. และที่พื้นผิวด้านขวาเจาะรูขนาด 7 mm. ทั้งหมด 4 รู และเจาะรูขนาด 11 mm. 3 รูระยะห่างระหว่างรู 25 mm. ความสูงทั้งหมด 70 mm. ดังรูปที่ 3.15



(ข)

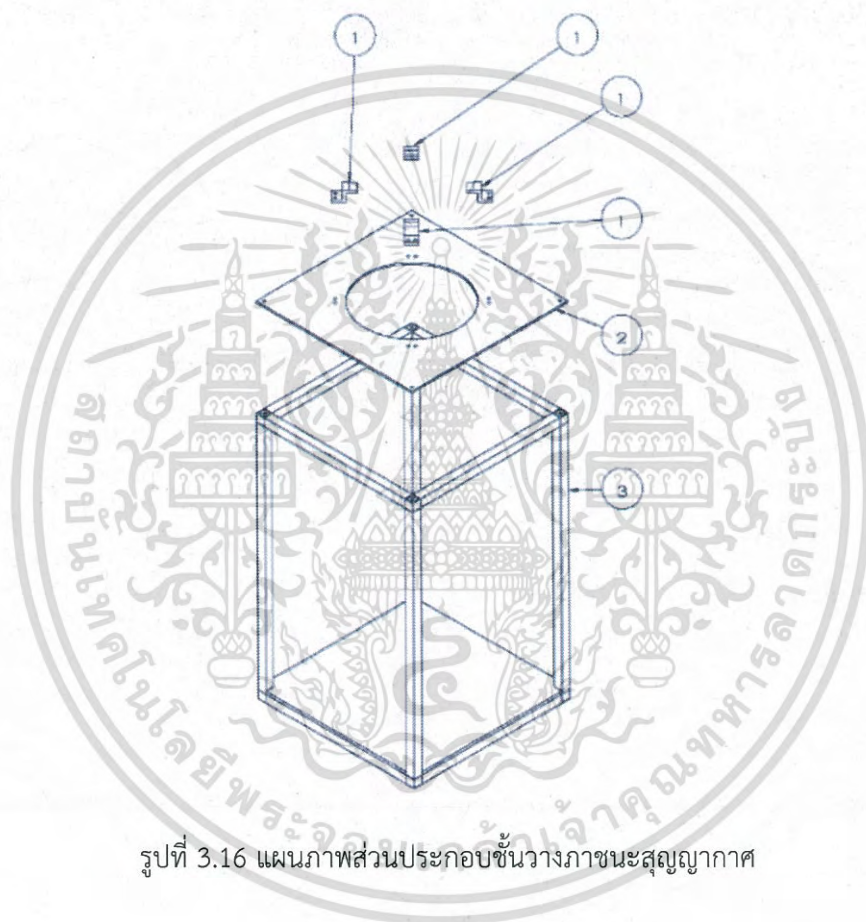
รูปที่ 3.15 ส่วนต่อแปลนด้านหน้า

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบส่วนต่อแปลนด้านหน้าของภาชนะสุญญากาศ

(ข) ภาพถ่ายส่วนต่อแปลนด้านหน้าของภาชนะสุญญากาศ

### 3.1.2 ชั้นวางภาชนะสุญญากาศ

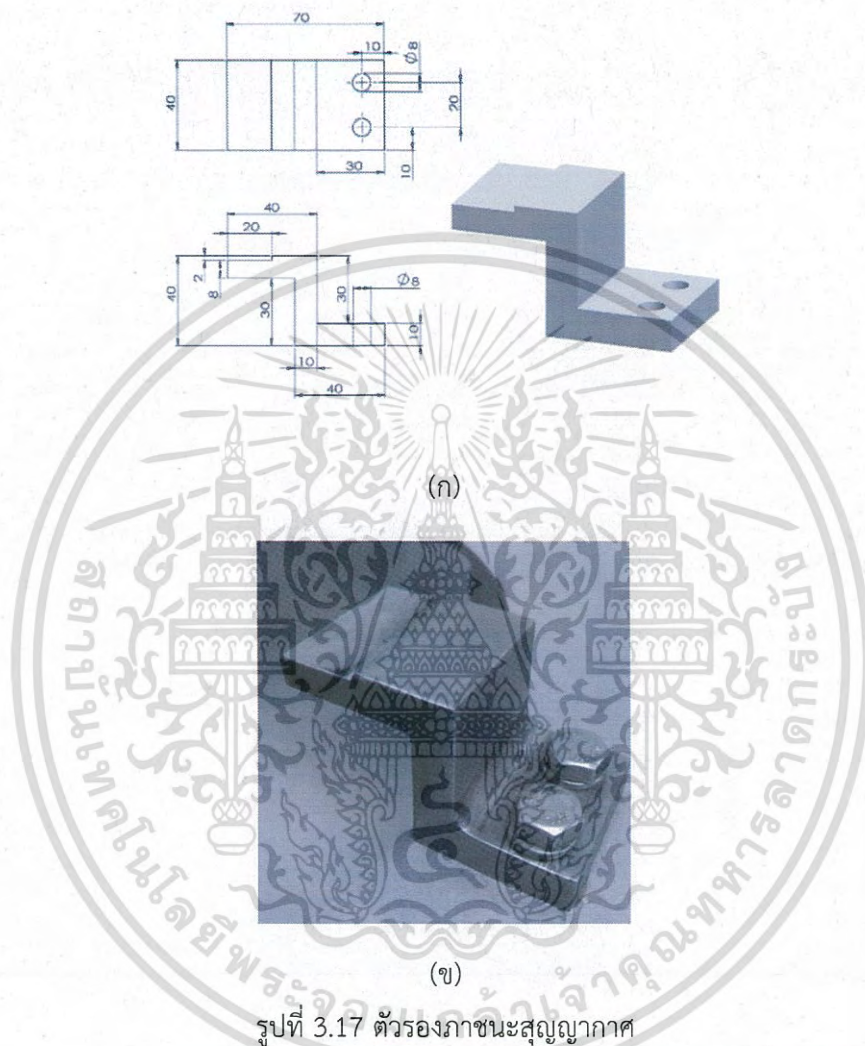
ชั้นภาชนะสุญญากาศที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขึ้นมาใช้วัสดุหลักคือเหล็ก โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการวางส่วนของภาชนะสุญญากาศให้มีความสะดวกในการทดลองวิจัยและต่อเติมระบบโดยประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1.ตัวรองภาชนะสุญญากาศ 2.แผ่นรองวาง และ 3.โครงชั้นวางภาชนะสุญญากาศแสดงเป็นแผนภาพดังรูปที่ 3.16 โดยอธิบายรายละเอียดการออกแบบดังนี้



รูปที่ 3.16 แผนภาพส่วนประกอบชั้นวางภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวรองภาชนะสุญญากาศ วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสูงทั้งหมด 40 mm. กว้าง 40 mm. และยาวทั้งหมด 70 mm. โดยมีร่องเพื่อใช้วางภาชนะสุญญากาศกว้าง 20 mm. ยาว 40 mm. เจาะรูขนาด 8 mm. บริเวณด้านท้ายจำนวน 2 รู ห่างกัน 20 mm. เพื่อใช้ยึดกับแผ่นรองวางดังรูปที่ 3.17



(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบตัวรองภาชนะสุญญากาศ

(ข) ภาพถ่ายตัวรองภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แผ่นรองวาง แผ่นรองวางขนาด กว้าง 600 mm. ยาว 600 mm. หนา 6 mm. เจาะรูขนาด 8 mm. ห่างจากมุม 15 mm. ทั้ง 4 มุมโดยที่จุดศูนย์กลางของแผ่นรองเจาะรูกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 360 mm. เจาะรูขนาด 8 mm. ห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นรอง 210 mm. จำนวน 2 รู ระยะห่างระหว่างรู 20 mm. ดังที่รูปที่ 3.18



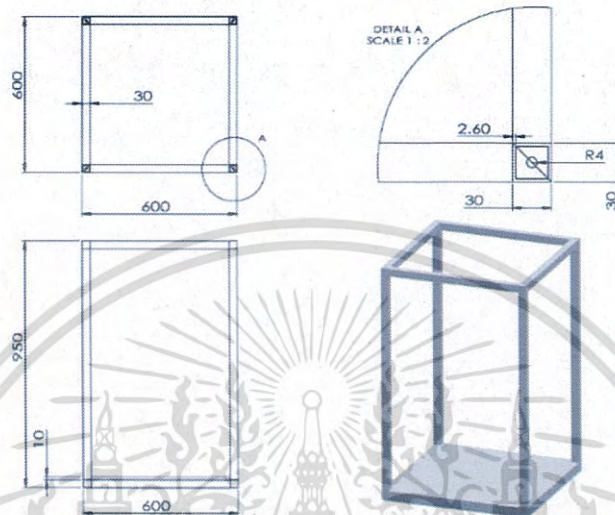
รูปที่ 3.18 แผ่นรองวาง

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบแผ่นรองวาง

(ข) ภาพถ่ายแผ่นรองวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โครงชั้นวาง โครงชั้นวางใช้เหล็กกล่องขนาด 3x3 mm. ในการทำโครงมีขนาดกว้าง 600 mm. ยาว 600 mm. สูง 950 mm. เจาะรูขนาด 8 mm. ห่างจากขอบ 15 mm. ของมุมด้านบน ทั้ง 4 มุม ดังรูปที่ 3.19



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.19 โครงชั้นวางภาชนะสุญญากาศ

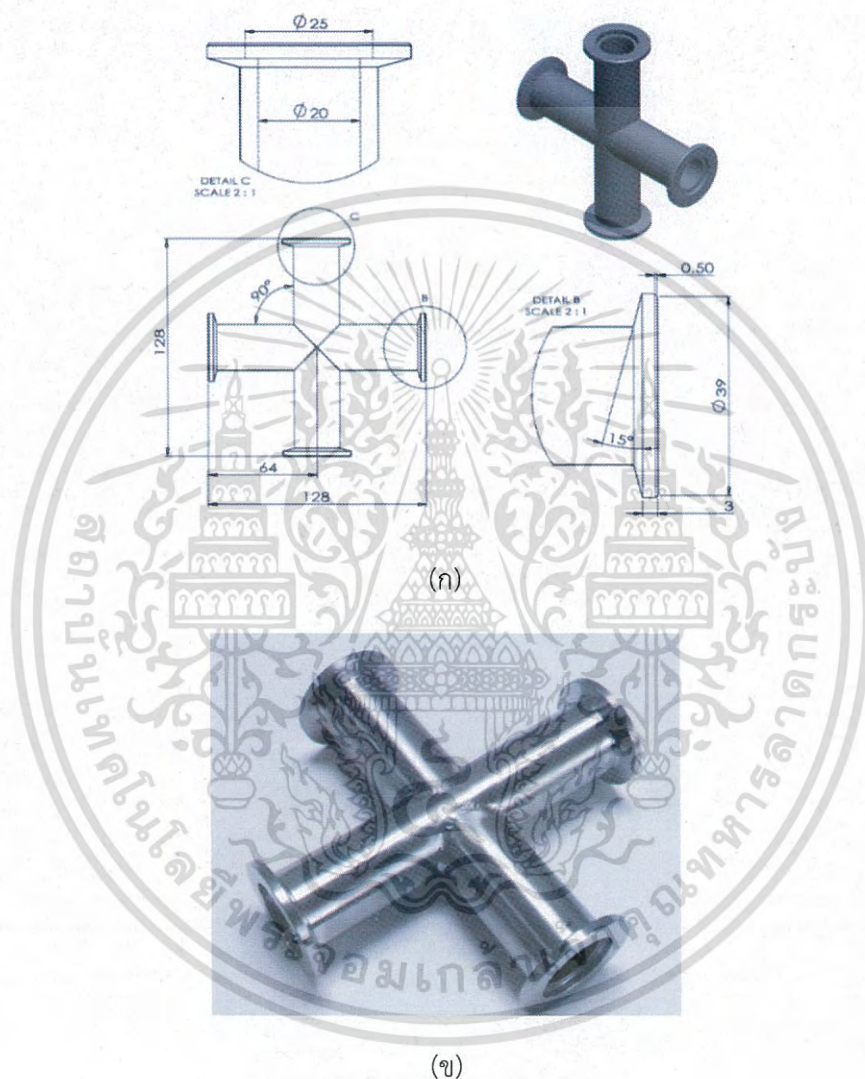
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบโครงชั้นวางภาชนะสุญญากาศ

(ข) ภาพถ่ายโครงชั้นวางภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 ข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25

คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบข้อต่อสี่ทางจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 20 mm. หน้า 7 mm. สูง 128 mm. มีหน้าแปลนขนาด NW-25 เจาะรูกลมขนาด 25 mm. ที่จุดศูนย์กลางของแปลนลงไป 5 mm. ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25

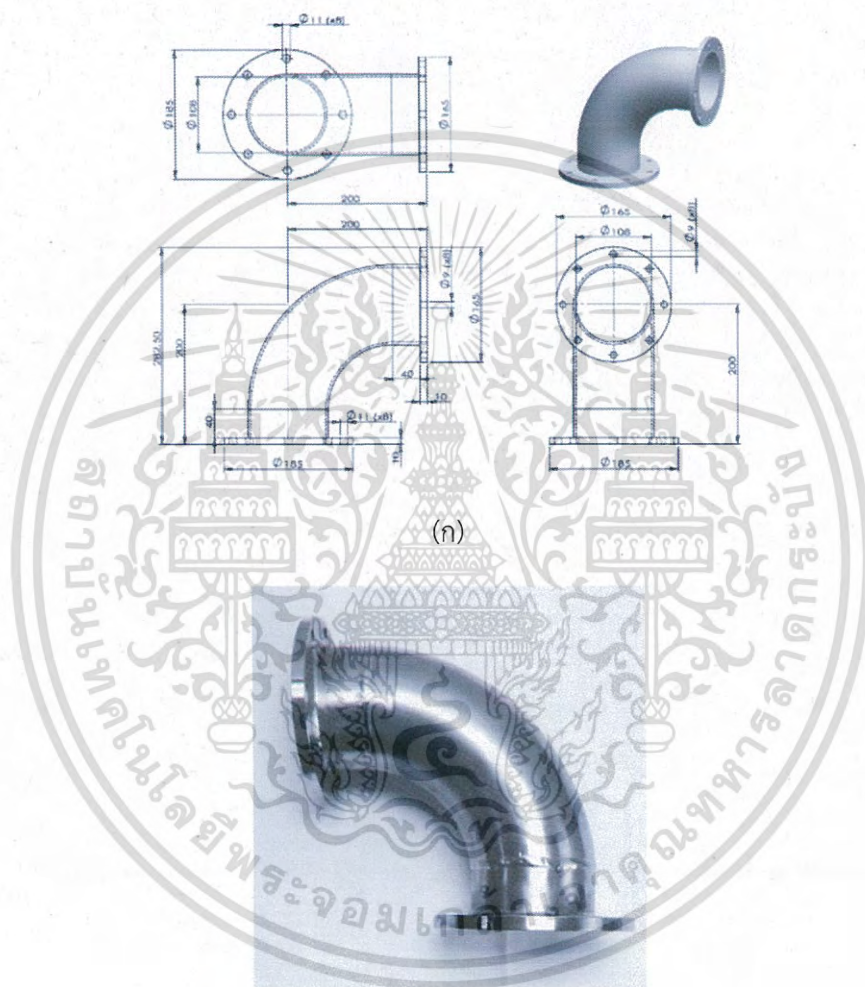
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25

(ข) ภาพถ่ายข้อต่อสี่ทางแปลน NW-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4 ข้องอ 90 องศา

ข้องอ 90 องศาวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีหน้าแปลน 185 mm. หน้า 10 mm. เจาะรูขนาด 11 mm. 8 รู มีท่อต่อออกมา 50 mm. และมีหน้าแปลน 165 mm. หน้า 10 mm. เจาะรูขนาด 9 mm. จำนวน 8 รู ร่องโหวตห่างจากจุดศูนย์กลางแปลนรัศมี 61.5 mm. หน้า 5 mm. มีท่อต่อขึ้นมา 50 mm. ดังรูปที่ 3.21



(ข)

รูปที่ 3.21 ข้องอ 90 องศา

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบข้องอ 90 องศา

(ข) ภาพถ่ายข้องอ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 Centering ring

จัดสร้างโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมโดยจะนำไปใช้กับโอรังเพื่อใช้ในการลดการรั่วซึมเข้าของอากาศไปยังภาชนะสุญญากาศโดยคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมา 2 ขนาดได้แก่

#### 3.1.5.1 Centering ring NW-16

มีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20.60 mm. ความสูงทั้งหมด 8 mm. มีปาทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.40 mm. ใช้ร่วมกับโอรังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 mm. หนา 3 mm. ดังรูปที่ 3.22



(ข)

รูปที่ 3.22 Centering ring NW-16

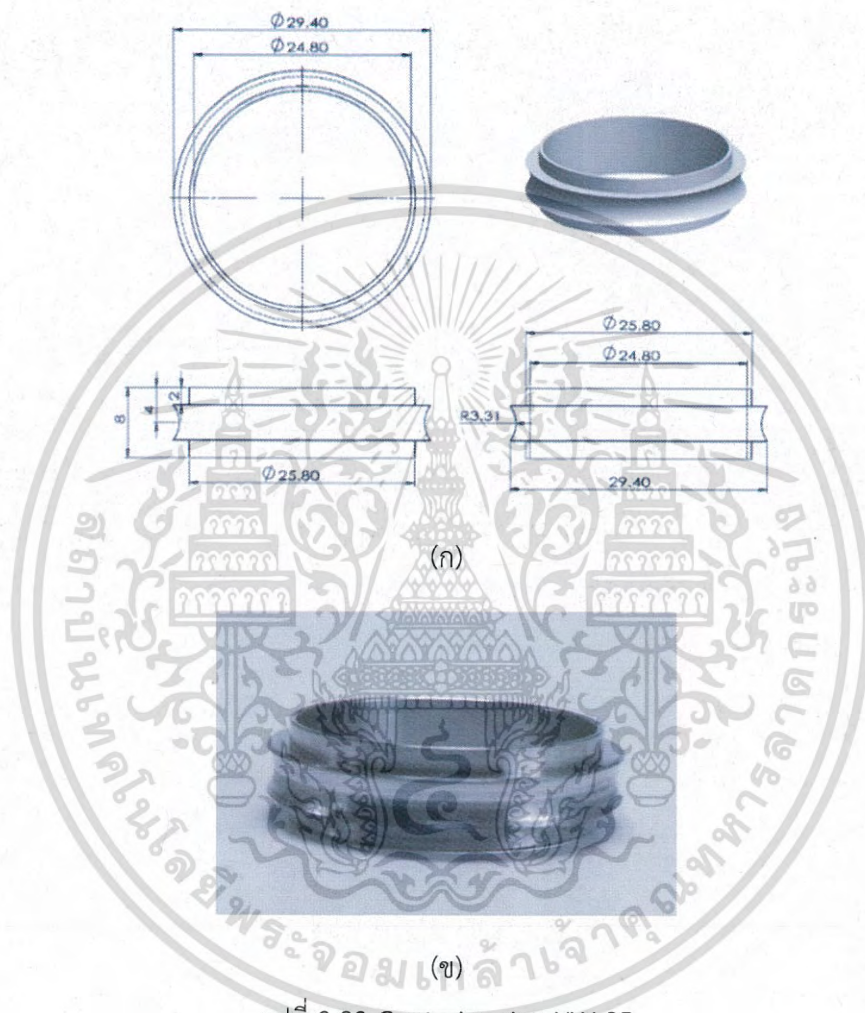
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบ Centering ring NW-16

(ข) ภาพถ่าย Centering ring NW-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5.2 Centering ring NW-25

มีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29.40 mm. ความสูงทั้งหมด 8 mm. มีปากทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 25.80 mm. ใช้ร่วมกันกับโอรังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 29 mm. หนา 3 mm. ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 Centering ring NW-25

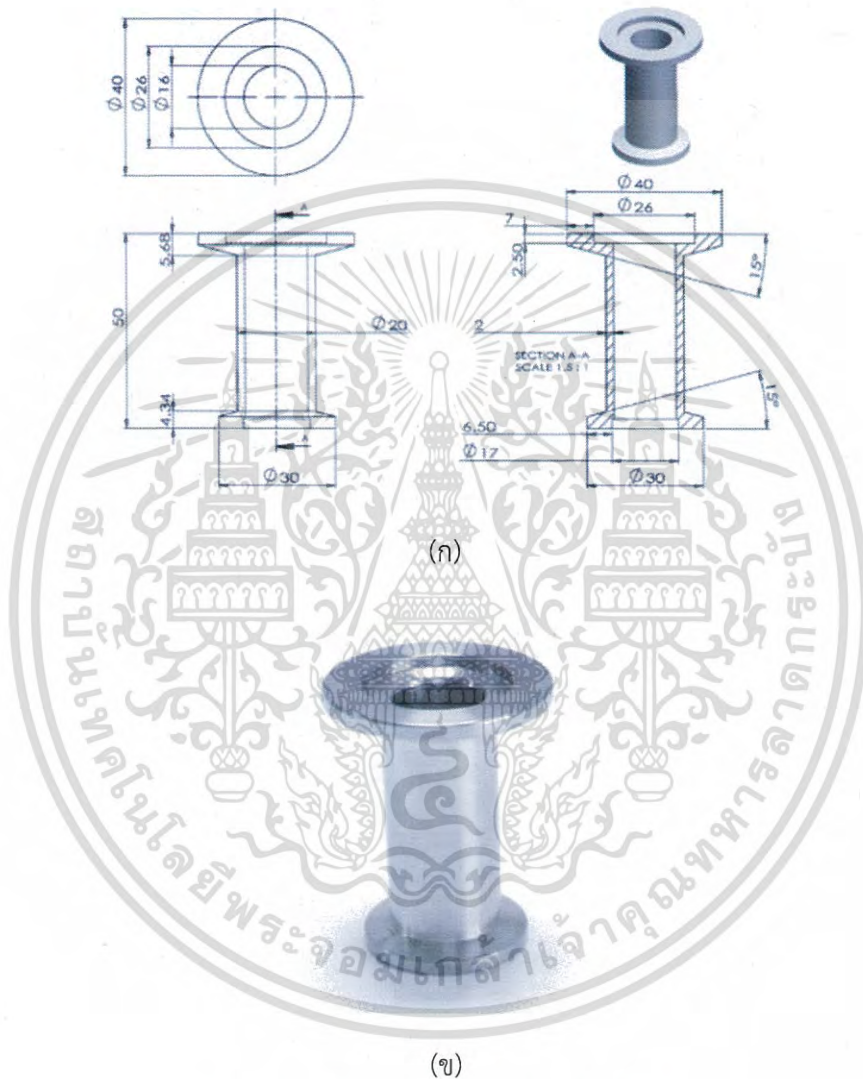
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบ Centering ring NW-25

(ข) ภาพถ่าย Centering ring NW-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 ข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25

จัดสร้างจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกมีความสูงทั้งหมด 50 mm. ที่ปลายด้านบนมีแปลนมาตรฐาน NW-25 ตามที่แสดงในภาคผนวก ก และที่ปลายด้านล่างมีแปลนมาตรฐาน NW-16 ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25

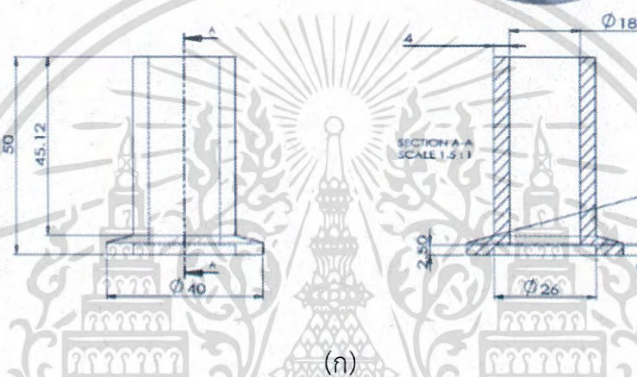
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25

(ข) ภาพถ่ายข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.7 ข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25

จัดสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะทรงกระบอกกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 26 mm. ที่บริเวณปลายด้านล่างมีแปลนมาตรฐาน NW-25 ตามที่แสดงในภาคผนวก ก ดังรูปที่ 3.25



(ข)

รูปที่ 3.25 ข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25

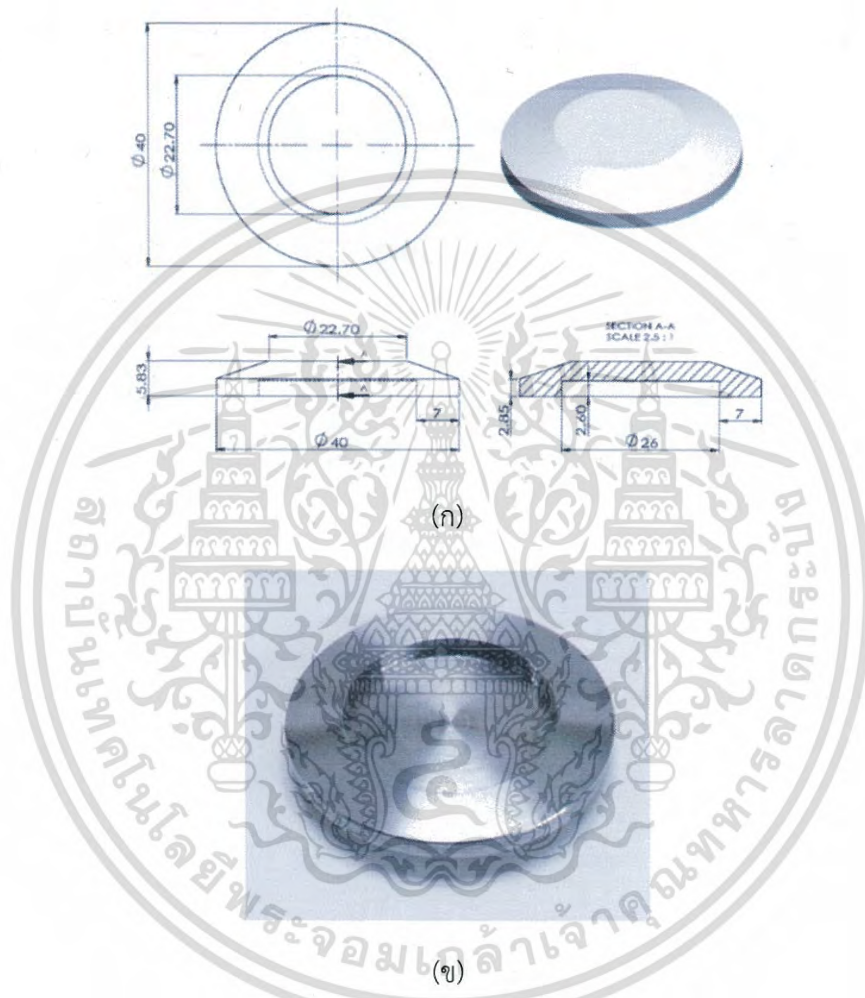
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25

(ข) ภาพถ่ายข้อต่อท่อนำก๊าซแปลน NW-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.8 ฝาปิดแปลน NW-25

จัดสร้างจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ทำป่าวกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm. ลึก 2.60 mm. ดังรูปที่ 3.26 มีจุดประสงค์เพื่อใช้ปิดปากแปลนของข้อต่อส่ทางแปลน NW-25 ที่ไม่ได้ใช้งาน



รูปที่ 3.26 ฝาปิดแปลน NW-25

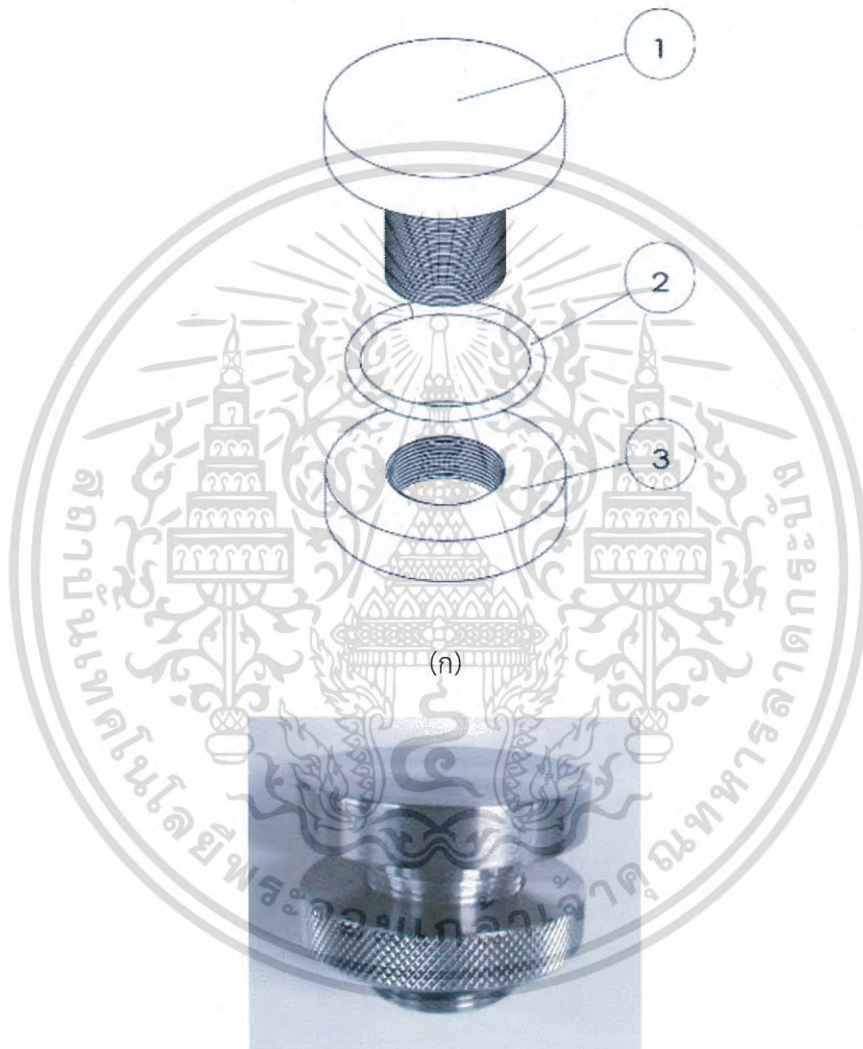
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดแปลน NW-25

(ข) ภาพถ่ายฝาปิดแปลน NW-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.9 ตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ

ตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนได้แก่  
 1) ตัวอุดรูตัวผู้ 2) โอริงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 40 mm. หน้า 3 mm. และ  
 3) ตัวอุดรูตัวเมีย ดังรูปที่ 3.27 โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและจัดสร้างตัวอุดรูฝาด้านบนตัวผู้  
 และตัวอุดรูฝาด้านบนตัวเมียโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีรายละเอียดดังนี้



(ข)

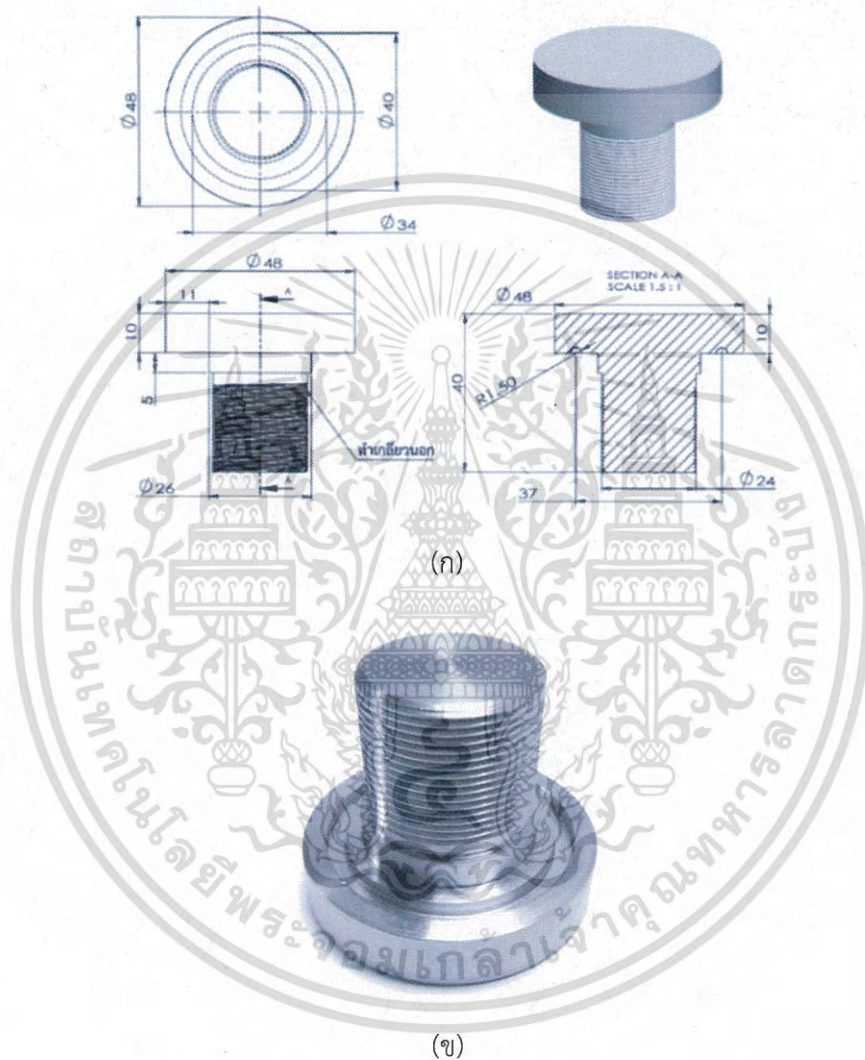
รูปที่ 3.27 ตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ

(ก) แผนภาพชิ้นส่วนตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ

(ข) ภาพถ่ายตัวอุดรูฝาด้านบนของแปลนภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตัวอุดรูฝาต้านบนตัวผู้ มีลักษณะเป็นทรงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 mm. หนา 10 mm. ทำร่องใส่โอริงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 40 mm. หนา 3 mm. มีแกนกลางเป็นทรงกระบอกตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm. และทำเกลียวนอกเพื่อใช้ในการหมุนเข้าออก ความสูงทั้งหมด 40 mm. ดังรูปที่ 3.28



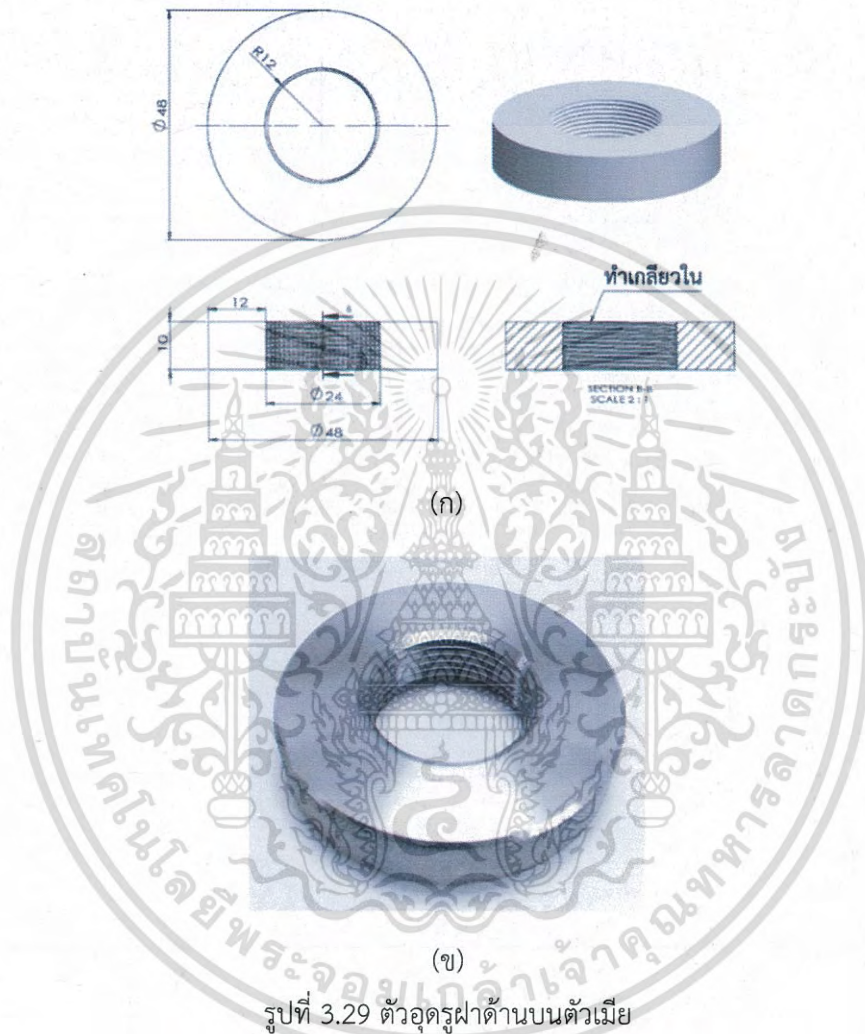
รูปที่ 3.28 ตัวอุดรูตัวผู้

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบตัวอุดรูตัวผู้

(ข) ภาพถ่ายตัวอุดรูตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวอุดรูฝาด้านบนตัวเมีย มีลักษณะเป็นทรงกลมกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 mm. หนา 10 mm. เจาะรูทะลุผ่านจุดศูนย์กลางของชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 mm. และทำเกลียวรับเพื่อใช้ร่วมกับตัวอุดรูตัวผู้ ดังรูปที่ 3.29



(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบตัวอุดรูฝาด้านบนตัวเมีย

(ข) ภาพถ่ายตัวอุดรูฝาด้านบนตัวเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.10 วาล์วปล่อยความดันเข้า

ออกแบบสร้างขึ้นเพื่อใช้ปล่อยความดันภายนอกเข้าไปยังภาชนะสุญญากาศเพื่อการใช้เพิ่มค่าความดันภายในของภาชนะสุญญากาศทำให้คณะผู้วิจัยสามารถจัดเตรียมชิ้นงาน อุปกรณ์ และชิ้นส่วนที่อยู่ภายในภาชนะสุญญากาศออกมาได้เมื่อเริ่มหรือขณะทำการสร้างความดันสุญญากาศโดยวาล์วปล่อยอากาศเข้านี้จะมีส่วนประกอบทั้งหมด 5 ชิ้นได้แก่ 1. สกรูยึดแกนกดทับโอริง 2. ฝาปิดวาล์วปล่อยอากาศเข้า 3. แกนกดทับโอริง 4. โอริงเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 11 mm. และ 5. กระบอกแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25 ดังรูปที่ 3.30 โดยมีรายละเอียดในการออกแบบจะถูกอธิบายได้ดังนี้



(ข)

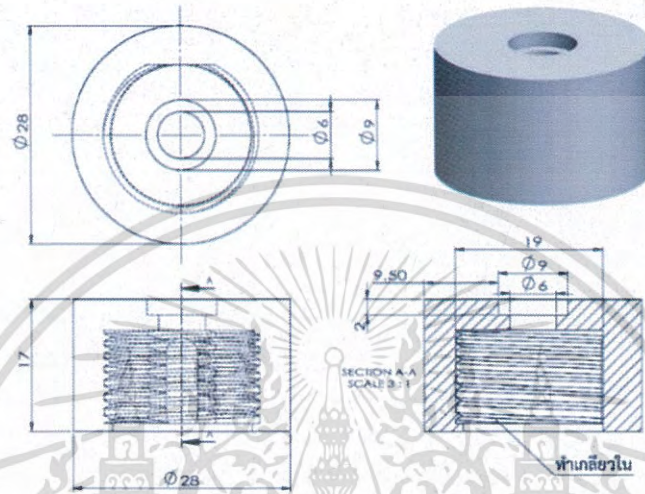
รูปที่ 3.30 วาล์วปล่อยความดันเข้า

(ก) แผนภาพชิ้นส่วนของวาล์วปล่อยความดันเข้า

(ข) ภาพถ่ายของวาล์วปล่อยความดันเข้าที่ประกอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฝาปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมในการจัดสร้างโดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 mm. สูง 17 mm. เจาะรูขนาด 19 mm. จากด้านล่างของชิ้นงานสูงขึ้นมา 15 mm. และทำรูป่าเพื่อใช้น็อตยึดแกนกดทับโอริงเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. และทำเกลียวในเพื่อใช้ร่วมกับชิ้นส่วนแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25 ดังรูปที่ 3.31



(ก)

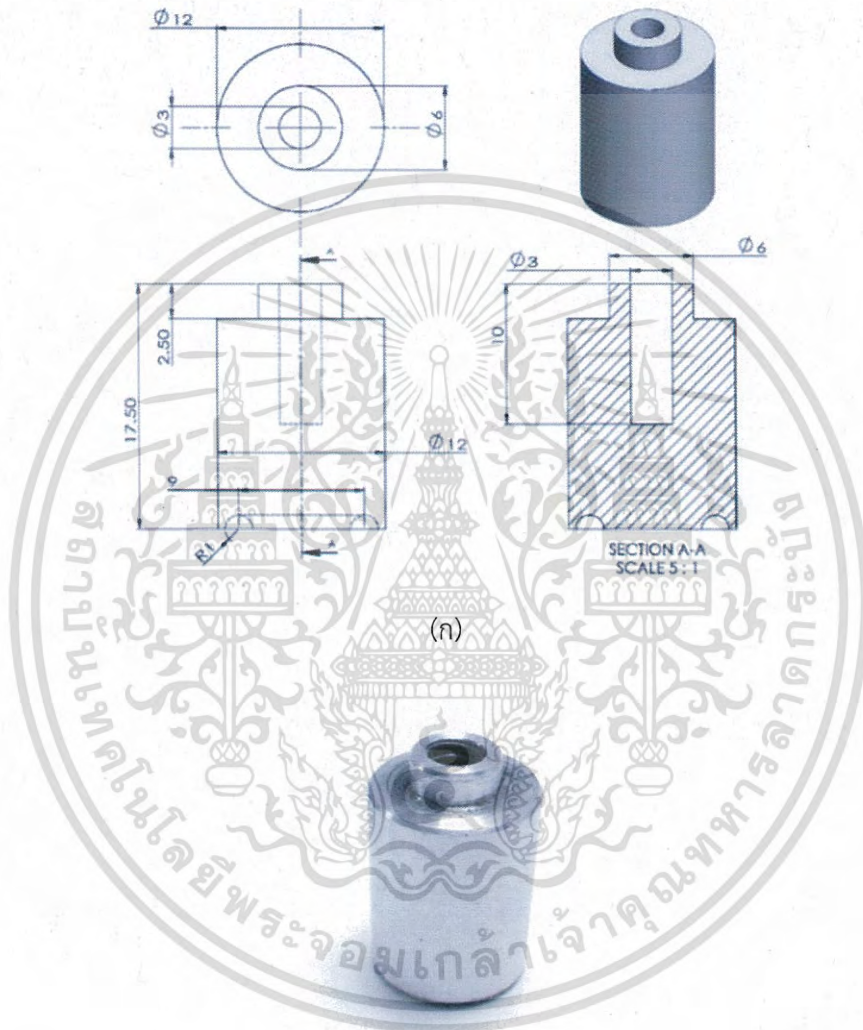
(ข)

รูปที่ 3.31 ฝาปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฝาปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า

(ข) ภาพถ่ายฝาปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า

2. แคนกดทับโอริง มีหน้าที่ในการกดทับโอริงเพื่อใช้ลดการซึมเข้าของความดันภายนอกโดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm. ความสูงทั้งหมด 17.5 mm. เจาะรูขนาด 3 mm. จากด้านบนลึกลงมา 10 mm. ในบริเวณด้านล่างของชิ้นงานทำร่องใส่โอริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 11 mm. ดังรูปที่ 3.32



(ข)

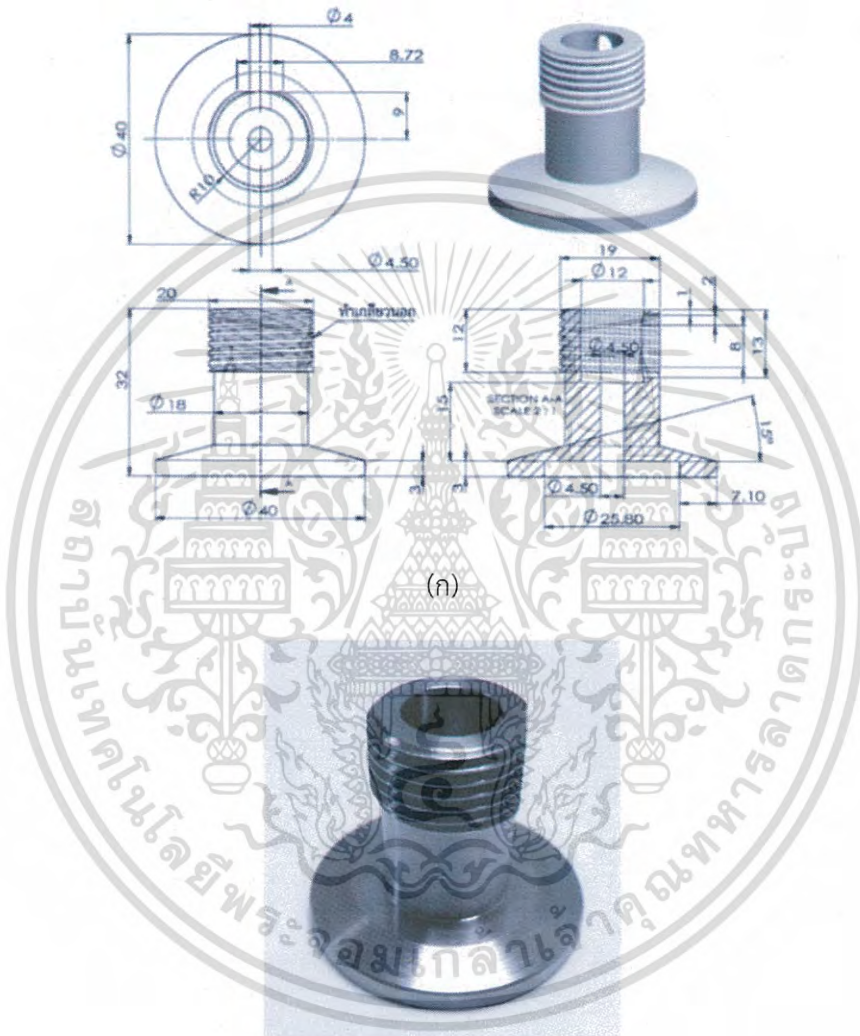
รูปที่ 3.32 แคนกดทับโอริง

(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบแคนกดทับโอริง

(ข) ภาพถ่ายแคนกดทับโอริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 กระบอกแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25 ความสูงของชิ้นงานทั้งหมด 32 mm. ลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm. เจาะรูขนาด 12 mm. ลึกลงมาจากด้านบน 13 mm. และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 mm. จากด้านล่างของชิ้นงานสูงขึ้นมา 18 mm. ที่บริเวณปลายด้านล่างมีแปลนขนาดมาตรฐาน NW-25 ตามที่แสดงในรูปที่ 3.33



(ข)

รูปที่ 3.33 กระบอกแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25

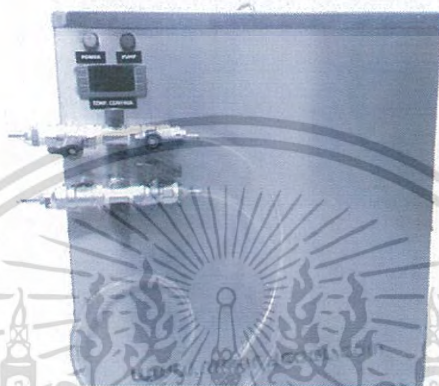
(ก) ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบกระบอกแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25

(ข) ภาพถ่ายกระบอกแปลนเชื่อมต่อมาตรฐาน NW-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.11 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสั่งทำเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน เพื่อที่จะไปลดอุณหภูมิของ ปีมไอน้ำมันฟุ้งกระจายและที่หัวแมกนีตรอน มีอัตราการไหลประมาณ 6 ลิตร/นาที สามารถทำความเย็นได้ในช่วง 5 ถึง 25 °C ใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1/2 แรงม้า น้ำยาทำความเย็นชนิด Non-CFC ใช้ไฟฟ้า 220 V 50 Hz 15 A จะมีทางออกของน้ำ 2 ทาง ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ภาพถ่ายเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

## 3.2 ส่วนที่จัดซื้อ

ในหัวข้อ 3.2 นี้จะเป็นส่วนของรายการอุปกรณ์ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดซื้อเพื่อนำมาใช้ร่วมกับ ภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นมาซึ่งจะอธิบายรายการที่จัดซื้อมาเป็นหัวข้อดังนี้

### 3.2.1 ปีมกลโรตารี

ในการดำเนินการทดสอบสถานะสุญญากาศของภาชนะสุญญากาศที่จัดทำขึ้นมามากคณะผู้วิจัยได้ จัดซื้อปีมกลโรตารีแบบแวน เบอร์ 8 ของบริษัท Edwards ดังรูปที่ 3.35 เพื่อนำมาใช้สูบลอากาศภายใน ภาชนะสุญญากาศออกซึ่งมีความเร็วปีมอยู่ที่ 8.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

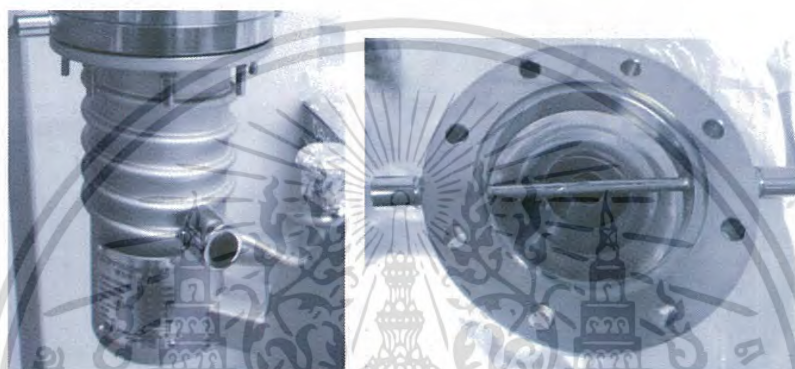


รูปที่ 3.35 ภาพถ่ายปีมกลโรตารี เบอร์ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 บี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

คณะผู้วิจัยมีความต้องการให้ความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าอยู่ในช่วง  $10^{-4}$  ถึง  $10^{-6}$  torr ดังนั้นจึงดำเนินการจัดซื้อบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจายของบริษัท WOOSUNG VACUUM รุ่น WDP-4Z ที่มีความสามารถในการสร้างความดันต่ำสุดอยู่ที่  $10^{-7}$  torr ความเร็วในการสูบอากาศออก 570 ลิตรต่อวินาที บรรจุน้ำมันสำหรับใช้สูบอากาศออกได้ 150 ml. ซึ่งมีฉลากกันไอน้ำมันชนิดหล่อเย็นด้วยน้ำที่ใช้ น้ำหมุนเวียน 1.5 ลิตรต่อนาที และใช้กำลังไฟฟ้า 220 V 1 เฟส 700 W ดังรูปที่ 3.36 พร้อมฉลากกันไอ ซึ่งบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจายจะใช้น้ำมันของบริษัท Provac น้ำมัน DC704



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.36 บี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

(ก) ภาพถ่ายบี้มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

(ข) ภาพถ่ายฉลากกัน

### 3.2.3 เกจวัดความดัน

คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดซื้อเกจวัดความดันชนิดพิรานี้อยี่ห้อ Thyracont รุ่น VSM77DL ขนาดหน้าแปลนเชื่อมต่อสแตนเลส NW-25 หน้าปิดบอกความดันแบบดิจิตอล มีช่วงในการวัดความดันอยู่ที่ 750 ถึง  $5 \times 10^{-9}$  torr โดยชนิดหัวไฟฟ้าแบบ SubD ตัวผู้ 15 ขั้ว มีลักษณะดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ภาพถ่ายเกจวัดความดันด้านหน้า, ด้านบน, ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 แคลมป์ล๊อค

คณะผู้วิจัยได้จัดซื้อแคลมป์ล๊อคของบริษัท Edwards ขนาด NW-25 จำนวน 10 ตัว และขนาด NW-16 2 ตัว มีลักษณะดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ภาพถ่ายแคลมป์ล๊อค NW-25

### 3.2.5 โอริง

คณะผู้วิจัยใช้โอริงในการรักษาสถานะสุญญากาศของภาชนะสุญญากาศซึ่งมีขนาดต่างกันไปตามร่องของภาชนะสุญญากาศซึ่งมีขนาดที่พอดีกันกับของร่องวางนั้น โดยโอริงจะถูกกดทับระหว่างหน้าแปลนและฝาปิดเพื่อป้องกันไม่ให้ความดันภายนอกเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศโอริง มีลักษณะดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ภาพถ่ายของโอริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 วาล์วสลับทาง วาล์วแยก วาล์วควบคุมอัตราการสูบ

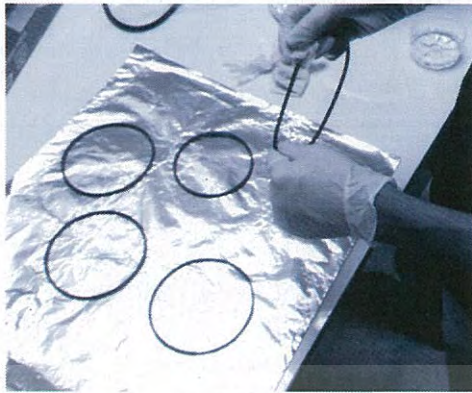
คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดซื้อวาล์วทั้ง 3 ชนิดนี้ ซึ่งวาล์วแต่ละชนิดจะทำหน้าที่ไม่เหมือนกัน โดยจะอธิบายได้ดังนี้

1. วาล์วสลับทาง คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกวาล์วสลับทางของบริษัท Edwards ซึ่งวาล์วสลับทาง จะทำหน้าที่สลับช่องทางการสูบก๊าซของปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย
2. วาล์วแยก คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกวาล์วแยกของบริษัท Chuanbei Vacuum Technology ยี่ห้อ CBVAC รุ่น CC-100B ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปิดปิดทางของการสูบก๊าซออกจากภาชนะสุญญากาศ กับปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย
3. วาล์วควบคุมอัตราการสูบ คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกซื้อวาล์วควบคุมอัตราการสูบ ของบริษัท Edwards ที่ทำหน้าที่ปรับความเร็วการสูบอากาศของปั๊มกลโรตารี

### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมภาชนะสุญญากาศเพื่อทดสอบสถานะสุญญากาศ

สำหรับขั้นตอนการเตรียมภาชนะสุญญากาศเพื่อทดสอบ ในขั้นตอนแรกคือการทำ ความสะอาดภาชนะสุญญากาศที่จัดทำขึ้นมาเพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนต่อการนำไปใช้สำหรับการเคลือบฟิล์มบางในสถานะสุญญากาศซึ่งจะอธิบายขั้นตอนในการทำความสะอาดภาชนะสุญญากาศดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ทำความสะอาด
2. ถอดแยกชิ้นส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ
3. สวมถุงมือและทำความสะอาดภาชนะสุญญากาศเบื้องต้น
  - 3.1 ใช้น้ำเปล่าผสมน้ำยาล้างจานล้างภาชนะสุญญากาศรวมถึงส่วนประกอบอื่นๆ
  - 3.2 ใช้ฟองน้ำขัดถูให้ทั่วภาชนะสุญญากาศ
  - 3.3 ใช้น้ำเปล่าล้างภาชนะสุญญากาศที่ผ่านการขัดถูด้วยน้ำเปล่าผสมน้ำยาล้างจาน
  - 3.4 รอให้ภาชนะสุญญากาศและส่วนประกอบต่างๆแห้ง
4. สวมถุงมือคู่มือเพื่อป้องกันสิ่งตกค้างจากการล้างครั่งก่อนหน้า
5. ใช้อะซิโตนและเมทานอลทำความสะอาดภาชนะสุญญากาศรวมถึงส่วนประกอบต่างๆให้ทั่วโดยอะซิโตนจะถูกพรมลงบนกระดาษชำระยกเว้นโอรังที่ใช้เพียงเมทานอล



(ก)



(ข)

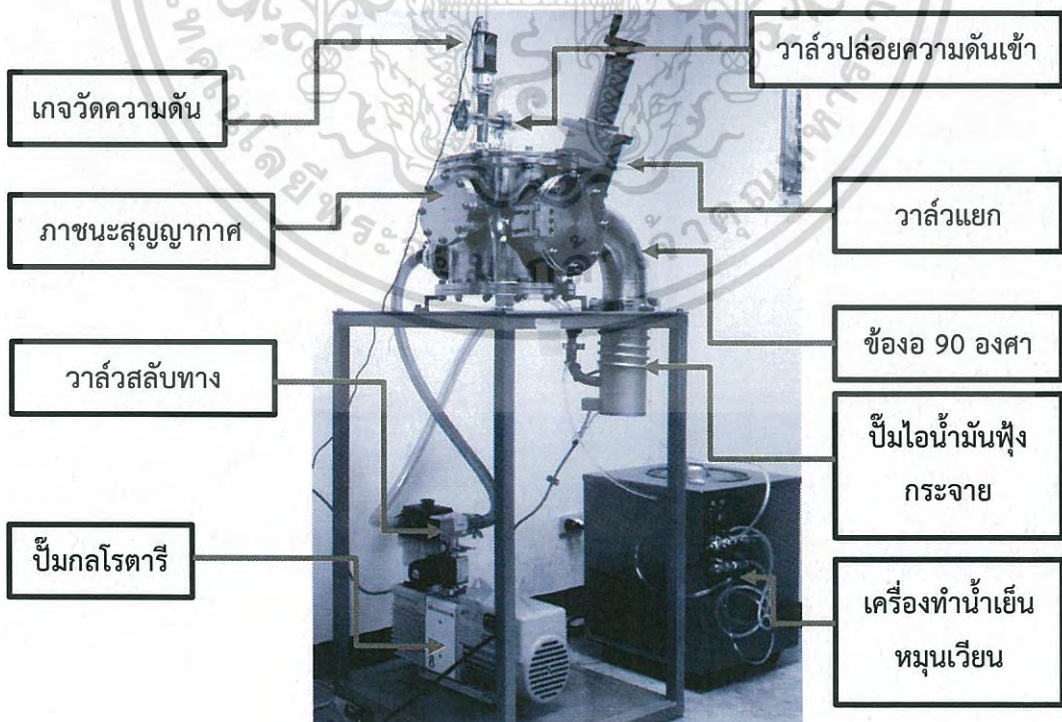
รูปที่ 3.40 ตัวอย่างภาพการทำความสะอาด

(ก) ภาพการทำความสะอาด O-ring ด้วยเมทานอล

(ข) ภาพการทำความสะอาดข้อต่อด้วยน้ำยาทำความสะอาด

### 3.4 การประกอบชิ้นส่วนเพื่อทดสอบการสร้างสถานะสุญญากาศ

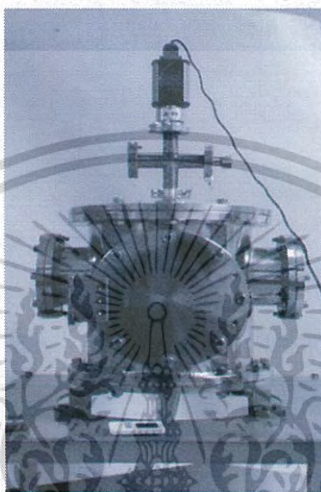
ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบการสร้างสถานะความดันสุญญากาศของภาชนะที่ได้ทำการออกแบบโดยมีภาชนะสุญญากาศวางอยู่เหนือชั้นวางและฐานรองมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.41 ภาพถ่ายส่วนประกอบต่างๆ

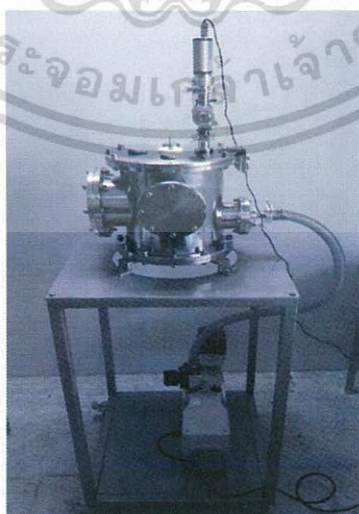
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ประกอบชิ้นส่วนปิดแปลนเข้ากับภาชนะสุญญากาศโดยใช้สกรูหัวจมหกเหลี่ยมเป็นตัวยึดระหว่างฝาปิดแปลนรวมถึงใส่โอริงตามร่องโอริงต่างๆของภาชนะสุญญากาศประกอบชิ้นส่วนหัวสปีดเตอร์ตัวดูดและข้อต่อสี่ทางบริเวณฝาปิดแปลนด้านบนประกอบรวมถึงวาล์วปล่อยความดันเข้า ฝาปิดแปลน NW-25 และเกจวัดความดันเข้ากับข้อต่อสี่ทางโดยมี Centering ring และโอริงซีลระหว่างข้อต่อและล็อกด้วยแคลมป์ล็อก NW-25 ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ภาชนะสุญญากาศที่ต่อกับเกจวัดความดันแล้ว

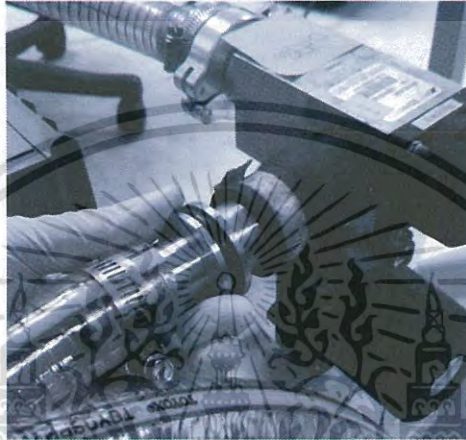
3. ประกอบข้อต่อแปลงขนาดแปลน NW-16:25 และข้อต่อท่อนำก๊าซที่ประกอบกับท่อนำก๊าซเข้ากับฝาปิดแปลนภาชนะสุญญากาศด้านหลังโดยมี Centering ring และ โอริงซีลระหว่างข้อต่อล็อกด้วยแคลมป์ล็อก NW-25 และ NW-16 ดัง รูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 หน้าแปลนด้านหลังที่ประกอบข้อต่อท่อนำก๊าซแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำข้อต่อท่อนำก๊าซอีกด้านเชื่อมต่อกับวาล์วสลับทางในทาง roughing โดยมี Centering ring และ โอริงซีลระหว่างข้อต่อและล็อกด้วยแคลมป์ล็อก NW-25
5. นำข้อต่อท่อนำก๊าซที่ประกอบด้วยท่อนำก๊าซอีกชิ้นมาประกอบเข้ากับปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายและนำไปต่อเข้ากับวาล์วสลับทางด้าน backing โดยมี Centering ring และ โอริงซีลระหว่างข้อต่อและล็อกด้วยแคลมป์ล็อก NW-25 ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ภาพถ่ายขณะที่ประกอบข้อต่อท่อนำก๊าซกับวาล์วสลับทาง

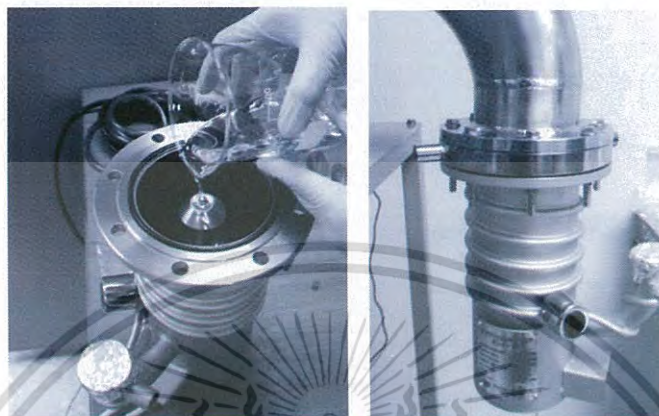
6. นำวาล์วสลับทางที่ประกอบไปด้วยท่อนำก๊าซมาประกอบร่วมกับวาล์วควบคุมอัตราการสูบและแปลนเชื่อมต่อของปั๊มกลโรตารี โดยมี Centering ring และโอริงซีลระหว่างข้อต่อและล็อกด้วยแคลมป์ล็อก NW-25
7. นำวาล์วแยกประกอบเข้ากับแปลนภาชนะสุญญากาศด้านซ้ายโดยอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับช่องอ 90 องศา โดยใส่โอริงในแต่ละร่องโอริงและยึดด้วยสกรูหกเหลี่ยมดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ภาพถ่ายภาชนะสุญญากาศที่ประกอบวาล์วแยกกับช่องอ 90 องศาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใส่เจ็ทลงไปในปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายจากนั้นเติมน้ำมันสำหรับปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย 150 ml. และวางโอรังในร่องใส่โอรัง จากนั้นนำไปประกอบร่วมกับฉากกันและ นำไปประกอบกับแปลนของข้ออ 90 องศาพร้อมยึดด้วยสกรูหกเหลี่ยม ดังรูปที่ 3.46



(ก)

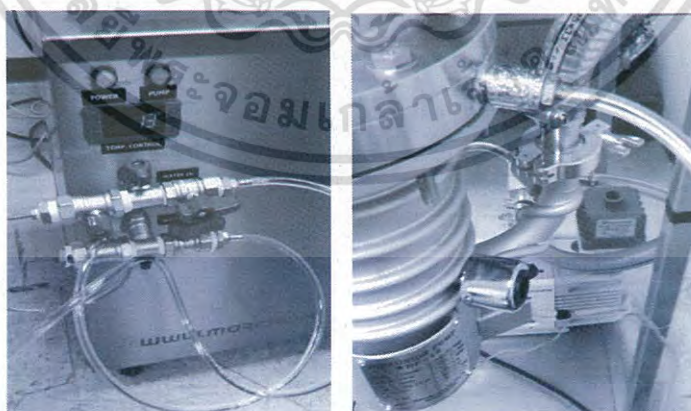
(ข)

รูปที่ 3.46 ภาพถ่ายขั้นตอนการประกอบปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

(ก) ภาพถ่ายขณะเติมน้ำมันลงในปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

(ข) ภาพถ่ายปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายที่ประกอบกับข้ออ 90 องศาแล้ว

9. ทำการต่อสายยางทั้ง 2 ขนาดกับเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนโดยที่สายยางขนาด 4x6 mm. ใช้ต่อสำหรับทางน้ำเข้าออกสู่หัวสปีดเตอร์และสายยางขนาด 5x8 mm. สำหรับทางน้ำที่เข้าสู่ฉากกันและปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายดังรูปที่ 3.47



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.47 ภาพการต่อเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

(ก) ภาพถ่ายเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนที่ต่อกับสายยาง

(ข) ภาพถ่ายฉากกันที่ต่อกับสายยางขนาด 5x8 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศโดยปั๊มกลโรตารี

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบนี้คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นโดยมุ่งหวังที่จะหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศและเวลาที่ใช้เมื่อเริ่มการสูบอากาศออกโดยการใช้น้ำมันกลโรตารี รวมถึงการตรวจสอบการรั่วของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นมาซึ่งขั้นตอนการทดลองและบันทึกผลคณะผู้วิจัยขออธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ปิดวาล์วปล่อยความดันเข้าและวาล์วแยกให้สนิท พร้อมเปิดเกจวัดความดัน
2. สลับทางของวาล์วสลับทางไปทางฝั่งของ roughing เพื่อเตรียมเริ่มการสูบอากาศภายในภาชนะสุญญากาศออก โดยให้ค่าความดันก่อนการสลับทางของวาล์วเท่ากับความดันบรรยากาศ และ  $t$  ที่เวลา 0 นาที ( $t_0$ )
3. เปิดปั๊มกลโรตารีพร้อมเริ่มทำการบันทึกค่าความสัมพันธ์ของความดันและเวลาในทุกๆ ครึ่งนาฬิกา เป็นระยะเวลาทั้งหมด 30 นาที เสร็จแล้วปิดปั๊มกลโรตารี
4. เปิดวาล์วปล่อยความดันเข้า เพื่อนำอากาศเข้าไปยังภาชนะสุญญากาศ
5. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 อีกจำนวน 2 รอบ

### 3.6 ทดสอบการสร้างสภาวะสุญญากาศโดยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบในหัวข้อที่ 3.6 นี้คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นโดยมุ่งหวังที่จะหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศและเวลาที่ใช้เมื่อเริ่มการสูบอากาศออกโดยการใช้น้ำมันฟุ้งกระจายร่วมกับปั๊มกลโรตารี รวมถึงการตรวจสอบการรั่วของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นมาซึ่งขั้นตอนการทดลองและบันทึกผล จะอธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ปิดวาล์วปล่อยอากาศเข้าและวาล์วแยกให้สนิท พร้อมเปิดเกจวัดความดัน
2. สลับทางของวาล์วสลับทางไปทางฝั่งของ backing
3. เปิดปั๊มกลโรตารีเพื่อสูบอากาศทางฝั่งห้องอ 90 องศา ออกเป็นเวลา 15-30 นาที (เพื่อให้มีความดันที่ใกล้เคียงกันกับของฝั่งภายในภาชนะสุญญากาศเมื่อทำการเปิดวาล์วแยกและใช้น้ำมันฟุ้งกระจาย)
4. สลับทางของวาล์วสลับทาง ไปทางฝั่ง roughing เพื่อเริ่มการสูบอากาศภายในภาชนะสุญญากาศออก โดยให้ค่าความดันก่อนการสลับทางของวาล์วสลับทาง ไปทางฝั่ง roughing เป็น  $t$  ที่เวลา 0 นาที ( $t_0$ ) พร้อมทำการบันทึกค่าความสัมพันธ์ของความดันและเวลาทุกๆ ครึ่งนาฬิกา เป็นระยะเวลา 60 นาที
5. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 อีกจำนวน 2 รอบ

### 3.7 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบในหัวข้อที่ 3.7 นี้คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นโดยมุ่งหวังที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนและเวลาที่ใช้เมื่อทำการใช้งาน โดยจะอธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

1. นำสายยางมาต่อในแต่ละวาล์วน้ำเข้า-ออกเพื่อสร้างระบบปิดในการวนของน้ำ
2. ปิดวาล์วน้ำทั้งหมด
3. เทน้ำใส่ถังบรรจุประมาณ 12 ลิตร
4. เปิดเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนบันทึกค่าอุณหภูมิจากหน้าจอแสดงผลดิจิทัล ให้เป็น  $T_0$
5. เปิดปั๊มน้ำและวาล์วน้ำ พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิตามที่แสดงจากจอแสดงผลทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 60 นาที
6. เมื่อครบแล้วทำการปิดปั๊มน้ำและเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน
7. ทำซ้ำตามขั้นตอน 1 ถึง 7 อีกจำนวน 2 รอบ

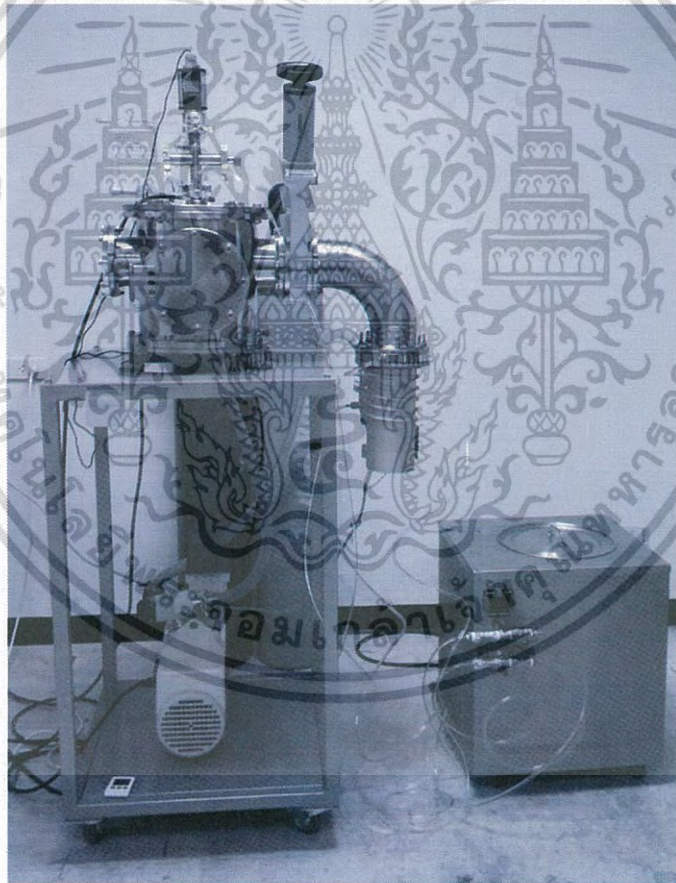


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นผลที่ได้ขึ้นตอนการดำเนินการทดสอบในหัวข้อที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามที่ได้รายงานไปข้างต้นโดยคณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นโดยมุ่งหวังที่จะหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศและเวลาที่ใช้เมื่อเริ่มการสูบลมอากาศออกโดยใช้ปั๊มกลโรตารี ปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย เพื่อเป็นการตรวจสอบรอยรั่วของภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นและหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนเพื่อตรวจสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบที่คณะผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับภาชนะสุญญากาศดังรูปที่ 4.1 และผลการทดลองจะถูกอธิบายแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้



รูปที่ 4.1 ระบบการทดสอบการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศในภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี

จากที่คณะผู้วิจัยได้ทำการเตรียมระบบเพื่อการทดสอบการสร้างสภาวะความดันสุญญากาศเรียบร้อยแล้วต่อมาได้ทำการทดสอบการสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศที่จัดสร้างขึ้นโดยผ่านทางปั๊มกลโรตารีและบันทึกค่าความดันภายในของภาชนะสุญญากาศจากเกจวัดความดันโดยทำการทดสอบทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง โดยมีขอบเขตการทดสอบและบันทึกผลคือ 1. ใช้ระยะเวลาในการทดสอบต่อครั้งเป็นเวลา 30 นาที 2. บันทึกค่าความดันจากเกจวัดความดันทุกๆ 30 วินาที โดยเริ่มตั้งแต่ทำการสับสวิทช์เลือกช่องทางการสูบอากาศออกเป็น roughing โดยผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 1, 2 และ 3 จะถูกแสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยต่อมาในตารางที่ 4.4 จะเป็นตารางความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาของการทดสอบด้วยปั๊มกลโรตารีทั้ง 3 ครั้ง และแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.2



ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 1

ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 1					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	7.52E+02	10.5	1.37E-02	21	9.30E-03
0.5	2.71E+01	11	1.33E-02	21.5	9.17E-03
1	9.17E-01	11.5	1.30E-02	22	9.12E-03
1.5	1.25E-01	12	1.28E-02	22.5	9.05E-03
2	5.91E-02	12.5	1.24E-02	23	8.95E-03
2.5	4.20E-02	13	1.22E-02	23.5	8.85E-03
3	3.38E-02	13.5	1.20E-02	24	8.77E-03
3.5	2.89E-02	14	1.17E-02	24.5	8.67E-03
4	2.59E-02	14.5	1.15E-02	25	8.60E-03
4.5	2.47E-02	15	1.14E-02	25.5	8.55E-03
5	2.09E-02	15.5	1.11E-02	26	8.47E-03
5.5	2.02E-02	16	1.10E-02	26.5	8.45E-03
6	1.90E-02	16.5	1.08E-02	27	8.40E-03
6.5	1.80E-02	17	1.08E-02	27.5	8.32E-03
7	1.73E-02	17.5	1.05E-02	28	8.25E-03
7.5	1.65E-02	18	1.04E-02	28.5	8.22E-03
8	1.59E-02	18.5	1.02E-02	29	8.10E-03
8.5	1.53E-02	19	1.01E-02	29.5	8.10E-03
9	1.48E-02	19.5	1.00E-02	30	8.02E-03
9.5	1.44E-02	20	9.77E-03		
10	1.41E-02	20.5	9.62E-03		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 2

ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 2					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	7.52E+02	10.5	1.01E-02	21	7.22E-03
0.5	1.43E+01	11	9.92E-03	21.5	7.14E-03
1	5.49E-01	11.5	9.70E-03	22	7.14E-03
1.5	9.70E-02	12	9.47E-03	22.5	7.07E-03
2	4.88E-02	12.5	9.25E-03	23	6.99E-03
2.5	3.31E-02	13	9.17E-03	23.5	6.92E-03
3	2.63E-02	13.5	8.95E-03	24	6.92E-03
3.5	2.23E-02	14	8.72E-03	24.5	6.77E-03
4	1.93E-02	14.5	8.65E-03	25	6.77E-03
4.5	1.71E-02	15	8.50E-03	25.5	6.77E-03
5	1.54E-02	15.5	8.27E-03	26	6.69E-03
5.5	1.44E-02	16	8.27E-03	26.5	6.69E-03
6	1.36E-02	16.5	8.12E-03	27	6.69E-03
6.5	1.30E-02	17	7.97E-03	27.5	6.62E-03
7	1.25E-02	17.5	7.82E-03	28	6.62E-03
7.5	1.20E-02	18	7.74E-03	28.5	6.62E-03
8	1.17E-02	18.5	7.59E-03	29	6.54E-03
8.5	1.13E-02	19	7.52E-03	29.5	6.54E-03
9	1.12E-02	19.5	7.52E-03	30	6.47E-03
9.5	1.07E-02	20	7.44E-03		
10	1.05E-02	20.5	7.37E-03		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 3

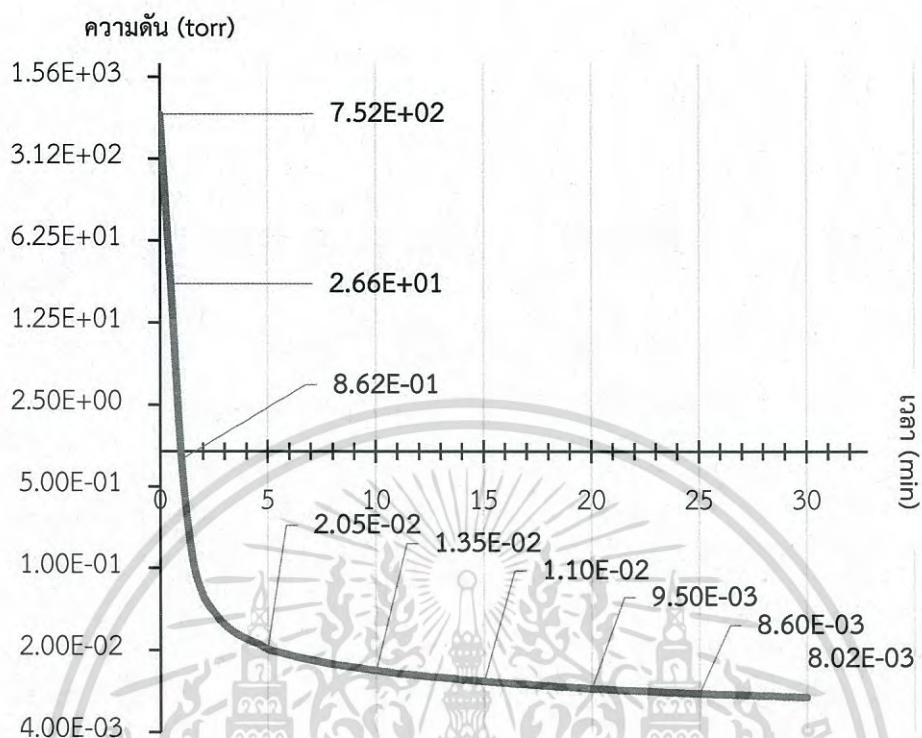
ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารีครั้งที่ 3					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	7.52E+02	10.5	1.56E-02	21	1.11E-02
0.5	3.83E+01	11	1.51E-02	21.5	1.09E-02
1	1.12E+00	11.5	1.48E-02	22	1.08E-02
1.5	1.50E-01	12	1.45E-02	22.5	1.08E-02
2	6.74E-02	12.5	1.43E-02	23	1.06E-02
2.5	5.15E-02	13	1.41E-02	23.5	1.05E-02
3	3.89E-02	13.5	1.38E-02	24	1.04E-02
3.5	3.32E-02	14	1.35E-02	24.5	1.03E-02
4	2.95E-02	14.5	1.32E-02	25	1.02E-02
4.5	2.70E-02	15	1.30E-02	25.5	1.01E-02
5	2.51E-02	15.5	1.28E-02	26	1.00E-02
5.5	2.35E-02	16	1.26E-02	26.5	1.00E-02
6	2.22E-02	16.5	1.23E-02	27	9.85E-03
6.5	2.11E-02	17	1.23E-02	27.5	9.77E-03
7	2.01E-02	17.5	1.20E-02	28	9.62E-03
7.5	1.92E-02	18	1.19E-02	28.5	9.62E-03
8	1.84E-02	18.5	1.17E-02	29	9.47E-03
8.5	1.78E-02	19	1.17E-02	29.5	9.47E-03
9	1.72E-02	19.5	1.14E-02	30	9.40E-03
9.5	1.67E-02	20	1.13E-02		
10	1.61E-02	20.5	1.12E-02		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของการทดลองหาความสัมพันธ์ของความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี  
ทั้ง 3 ครั้ง

ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาของการทดสอบด้วยปั๊มกลโรตารีทั้ง 3 ครั้ง					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	7.52E+02	10.5	1.31E-02	21	9.30E-03
0.5	2.66E+01	11	1.28E-02	21.5	9.17E-03
1	8.62E-01	11.5	1.25E-02	22	9.12E-03
1.5	1.24E-01	12	1.23E-02	22.5	9.05E-03
2	5.84E-02	12.5	1.20E-02	23	8.95E-03
2.5	4.22E-02	13	1.18E-02	23.5	8.85E-03
3	3.30E-02	13.5	1.16E-02	24	8.77E-03
3.5	2.81E-02	14	1.13E-02	24.5	8.67E-03
4	2.49E-02	14.5	1.11E-02	25	8.60E-03
4.5	2.30E-02	15	1.10E-02	25.5	8.55E-03
5	2.05E-02	15.5	1.07E-02	26	8.47E-03
5.5	1.93E-02	16	1.06E-02	26.5	8.45E-03
6	1.83E-02	16.5	1.04E-02	27	8.40E-03
6.5	1.73E-02	17	1.03E-02	27.5	8.32E-03
7	1.66E-02	17.5	1.01E-02	28	8.25E-03
7.5	1.59E-02	18	1.00E-02	28.5	8.22E-03
8	1.53E-02	18.5	9.85E-03	29	8.10E-03
8.5	1.48E-02	19	9.75E-03	29.5	8.10E-03
9	1.44E-02	19.5	9.62E-03	30	8.02E-03
9.5	1.39E-02	20	9.50E-03		
10	1.35E-02	20.5	9.40E-03		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของความดันเฉลี่ยและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี โดย แกนตั้งคือ ความดัน (torr) และ แกนนอนคือ เวลา (min)

#### 4.2 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและบันทึกผลทั้งหมด 3 ครั้งโดยในแต่ละครั้งจะเริ่มการทดสอบต่อเนื่องหลังจากการสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีโดยค่าความดันควรที่จะอยู่ในช่วง  $3 \times 10^{-2}$  หรือต่ำกว่า โดยมีขอบเขตการทดสอบและบันทึกผลคือ 1. ใช้ระยะเวลาในการทดสอบต่อครั้งเป็นเวลา 60 นาที 2. บันทึกค่าความดันจากเกจวัดความดันทุกๆ 1 นาทีโดยเริ่มตั้งแต่ทำการสับสวิทซ์เลือกช่องทางการสูบอากาศออกเป็นทาง backing และเปิดวาล์วแยก โดยผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 1, 2 และ 3 จะถูกแสดงดังตารางที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับโดยต่อมาในตารางที่ 4.8 จะเป็นตารางความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาของการทดสอบด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายทั้ง 3 ครั้งและแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 1

ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 1					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	1.54E-02	21	2.63E-05	42	2.26E-05
1	6.24E-05	22	2.63E-05	43	2.26E-05
2	4.96E-05	23	2.63E-05	44	2.18E-05
3	4.36E-05	24	2.63E-05	45	2.26E-05
4	4.06E-05	25	2.56E-05	46	2.26E-05
5	3.76E-05	26	2.56E-05	47	2.18E-05
6	3.61E-05	27	2.48E-05	48	2.18E-05
7	3.38E-05	28	2.48E-05	49	2.18E-05
8	3.23E-05	29	2.48E-05	50	2.18E-05
9	3.08E-05	30	2.41E-05	51	2.18E-05
10	3.01E-05	31	2.41E-05	52	2.11E-05
11	2.93E-05	32	2.41E-05	53	2.11E-05
12	2.93E-05	33	2.41E-05	54	2.11E-05
13	2.86E-05	34	2.33E-05	55	2.11E-05
14	2.86E-05	35	2.33E-05	56	2.11E-05
15	2.78E-05	36	2.33E-05	57	2.03E-05
16	2.71E-05	37	2.33E-05	58	2.03E-05
17	2.71E-05	38	2.41E-05	59	2.03E-05
18	2.71E-05	39	2.33E-05	60	2.03E-05
19	2.63E-05	40	2.33E-05		
20	2.63E-05	41	2.33E-05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายครั้งที่ 2

ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายครั้งที่ 2					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	7.67E-03	21	2.03E-05	42	1.65E-05
1	4.21E-05	22	2.03E-05	43	1.58E-05
2	3.38E-05	23	1.95E-05	44	1.58E-05
3	2.93E-05	24	1.95E-05	45	1.58E-05
4	2.78E-05	25	1.95E-05	46	1.58E-05
5	2.71E-05	26	1.88E-05	47	1.58E-05
6	2.56E-05	27	1.88E-05	48	1.50E-05
7	2.56E-05	28	1.88E-05	49	1.50E-05
8	2.48E-05	29	1.80E-05	50	1.50E-05
9	2.41E-05	30	1.80E-05	51	1.50E-05
10	2.33E-05	31	1.80E-05	52	1.50E-05
11	2.33E-05	32	1.73E-05	53	1.50E-05
12	2.26E-05	33	1.73E-05	54	1.50E-05
13	2.26E-05	34	1.73E-05	55	1.50E-05
14	2.26E-05	35	1.73E-05	56	1.43E-05
15	2.18E-05	36	1.73E-05	57	1.43E-05
16	2.18E-05	37	1.73E-05	58	1.43E-05
17	2.11E-05	38	1.73E-05	59	1.43E-05
18	2.11E-05	39	1.65E-05	60	1.43E-05
19	2.11E-05	40	1.65E-05		
20	2.03E-05	41	1.65E-05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 3

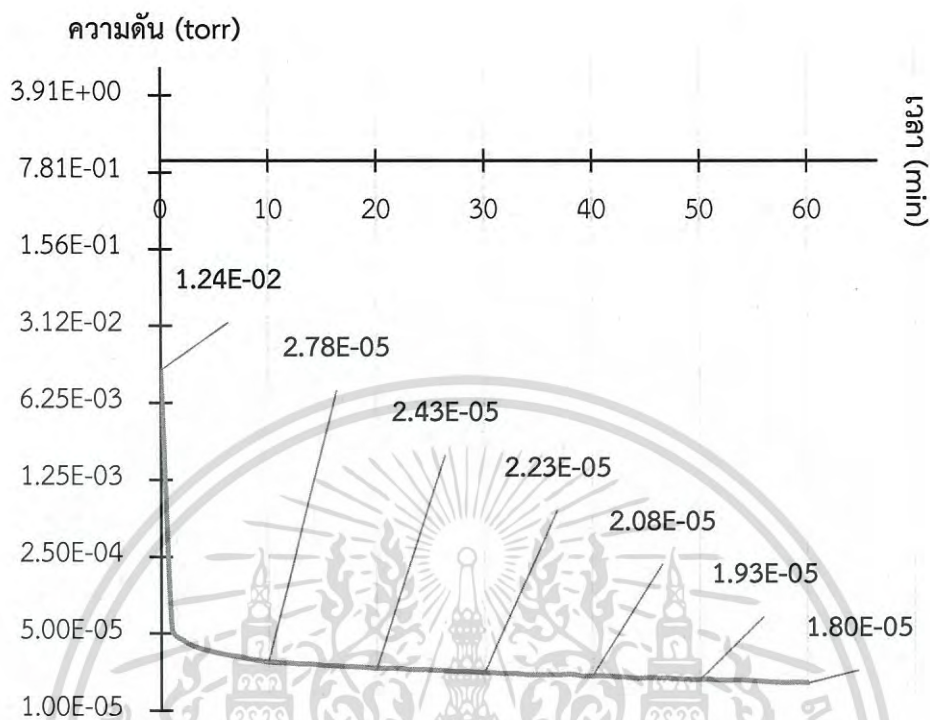
ความสัมพันธ์ของค่าความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายครั้งที่ 3					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	1.40E-02	21	2.63E-05	42	2.26E-05
1	6.17E-05	22	2.63E-05	43	2.26E-05
2	4.81E-05	23	2.56E-05	44	2.18E-05
3	4.29E-05	24	2.56E-05	45	2.18E-05
4	3.91E-05	25	2.56E-05	46	2.18E-05
5	3.76E-05	26	2.56E-05	47	2.18E-05
6	3.53E-05	27	2.48E-05	48	2.18E-05
7	3.38E-05	28	2.48E-05	49	2.11E-05
8	3.23E-05	29	2.48E-05	50	2.11E-05
9	3.08E-05	30	2.48E-05	51	2.11E-05
10	3.01E-05	31	2.41E-05	52	2.11E-05
11	2.93E-05	32	2.41E-05	53	2.11E-05
12	2.93E-05	33	2.41E-05	54	2.11E-05
13	2.86E-05	34	2.33E-05	55	2.03E-05
14	2.86E-05	35	2.33E-05	56	2.03E-05
15	2.78E-05	36	2.33E-05	57	2.03E-05
16	2.78E-05	37	2.33E-05	58	1.95E-05
17	2.78E-05	38	2.33E-05	59	2.03E-05
18	2.71E-05	39	2.26E-05	60	1.95E-05
19	2.71E-05	40	2.26E-05		
20	2.63E-05	41	2.26E-05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมัน ฟุ้งกระจายทั้ง 3 ครั้ง

ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความดันและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายทั้ง 3 ครั้ง					
t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)	t (min)	P <sub>av</sub> (torr)
0	1.24E-02	21	2.43E-05	42	2.06E-05
1	5.54E-05	22	2.43E-05	43	2.03E-05
2	4.39E-05	23	2.38E-05	44	1.98E-05
3	3.86E-05	24	2.38E-05	45	2.01E-05
4	3.58E-05	25	2.36E-05	46	2.01E-05
5	3.41E-05	26	2.33E-05	47	1.98E-05
6	3.23E-05	27	2.28E-05	48	1.95E-05
7	3.11E-05	28	2.28E-05	49	1.93E-05
8	2.98E-05	29	2.26E-05	50	1.93E-05
9	2.86E-05	30	2.23E-05	51	1.93E-05
10	2.78E-05	31	2.21E-05	52	1.9E-05
11	2.73E-05	32	2.18E-05	53	1.9E-05
12	2.71E-05	33	2.18E-05	54	1.9E-05
13	2.66E-05	34	2.13E-05	55	1.88E-05
14	2.66E-05	35	2.13E-05	56	1.85E-05
15	2.58E-05	36	2.13E-05	57	1.83E-05
16	2.56E-05	37	2.13E-05	58	1.8E-05
17	2.53E-05	38	2.16E-05	59	1.83E-05
18	2.51E-05	39	2.08E-05	60	1.8E-05
19	2.48E-05	40	2.08E-05		
20	2.43E-05	41	2.08E-05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของความดันเฉลี่ยและเวลาด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย โดย แกนตั้งคือ ความดัน (torr) และ แกนนอนคือ เวลา (min)

#### 4.3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาที่เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนใช้ในการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 5-6 °C ซึ่งทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้งโดยช่วงเวลาการทดสอบทั้งหมด 60 นาทีต่อครั้ง และบันทึกค่าอุณหภูมิที่แสดงจากมาตรวัดดิจิทัลของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนทุกๆ 1 นาที โดยผลการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 จะถูกแสดงในตารางที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ โดยต่อมาในตารางที่ 4.12 จะเป็นตารางความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนทั้ง 3 ครั้งและแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟ ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็น หมุนเวียน ครั้งที่ 1

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนครั้งที่ 1					
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	24	21	16	42	5.6
1	26	22	15	43	5.7
2	26	23	15	44	5.7
3	25	24	14	45	5.8
4	25	25	13	46	5.9
5	24	26	13	47	6
6	24	27	12	48	6
7	23	28	12	49	6.1
8	23	29	11	50	6.1
9	22	30	10	51	6.2
10	21	31	9.9	52	6.2
11	21	32	9.4	53	6.2
12	20	33	9	54	6.3
13	19	34	8.2	55	6.3
14	19	35	7.7	56	6.4
15	18	36	7.1	57	6.4
16	18	37	6.6	58	6.4
17	17	38	6.2	59	6.5
18	16	39	5.9	60	6.5
19	24	40	5.6		
20	26	41	5.6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมวนเวียน ครั้งที่ 2

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมวนเวียนครั้งที่ 2					
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	26	21	16	42	5.7
1	27	22	16	43	5.7
2	27	23	15	44	5.7
3	26	24	15	45	5.7
4	26	25	14	46	5.7
5	25	26	13	47	5.8
6	25	27	13	48	5.9
7	24	28	12	49	5.9
8	23	29	12	50	6
9	23	30	11	51	6.1
10	22	31	10	52	6.1
11	21	32	9.8	53	6.2
12	21	33	9.2	54	6.2
13	20	34	8.6	55	6.3
14	19	35	8	56	6.3
15	19	36	7.5	57	6.4
16	18	37	7	58	6.4
17	18	38	6.1	59	6.5
18	17	39	5.7	60	6.5
19	26	40	5.7		
20	27	41	5.7		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมวนเวียน ครั้งที่ 3

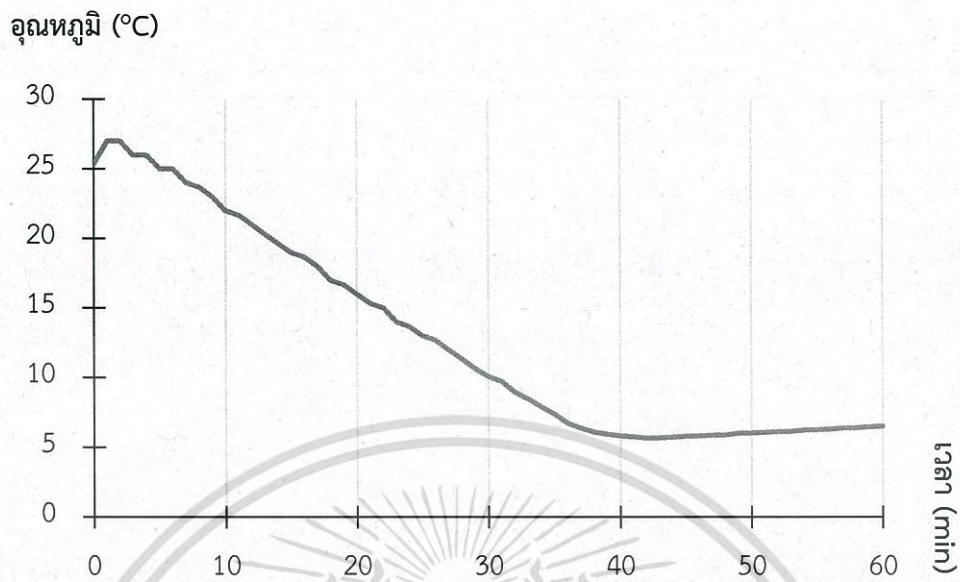
ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมวนเวียนครั้งที่ 3					
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	26	21	16	42	5.6
1	28	22	16	43	5.6
2	28	23	15	44	5.6
3	27	24	15	45	5.6
4	27	25	14	46	5.6
5	26	26	14	47	5.6
6	26	27	13	48	5.6
7	25	28	13	49	5.7
8	25	29	12	50	5.8
9	24	30	11	51	5.8
10	23	31	11	52	5.9
11	23	32	10	53	5.9
12	22	33	9.6	54	6
13	22	34	9	55	6
14	21	35	8.5	56	6.1
15	20	36	7.9	57	6.1
16	20	37	7.5	58	6.2
17	19	38	7	59	6.2
18	18	39	6.5	60	6.3
19	18	40	6.2		
20	17	41	5.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน					
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	25.3	21	16.6	42	5.8
1	27	22	16	43	5.7
2	27	23	15.3	44	5.6
3	26	24	15	45	5.7
4	26	25	14	46	5.7
5	25	26	13.6	47	5.8
6	25	27	13	48	5.8
7	24	28	12.6	49	5.8
8	23.6	29	12	50	5.9
9	23	30	11.3	51	6
10	22	31	10.6	52	6
11	21.6	32	10	53	6
12	21	33	9.7	54	6.1
13	20.3	34	8.9	55	6.1
14	19.6	35	8.4	56	6.2
15	19	36	7.8	57	6.2
16	18.6	37	7.3	58	6.3
17	18	38	6.7	59	6.3
18	17	39	6.3	60	6.4
19	25.3	40	6.1		
20	27	41	5.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำและเวลาของเครื่องทำความเย็น โดย แกนตั้ง คือ อุณหภูมิ (°C) และ แกนนอนคือ เวลา (min)

## บทที่ 5

# สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากงานวิจัยการออกแบบสร้างระบบสุญญากาศเพื่อผสมระบบการระเหยสารด้วยความร้อนและแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างภาชนะสุญญากาศและอุปกรณ์ต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ อาทิเช่น ชั้นวางภาชนะสุญญากาศ หน้าแปลนปิดรู แหวนรองโอรัง เป็นต้น โดยใช้วัสดุหลักส่วนใหญ่ได้แก่เหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศรวมถึงการจัดซื้ออุปกรณ์ต่างเพื่อนำมาใช้เพื่อสร้างสภาวะสุญญากาศภายใน อาทิเช่น ปั๊มกลโรตารี ปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย เกจวัดความดัน วาล์วแยก เครื่องทำความเย็น เป็นต้น ทั้งนี้งบประมาณในการจัดสร้างและจัดซื้อในงานวิจัยนี้ ต่ำกว่า 800,000 บาท ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของคณะผู้วิจัยที่ต้องการจะลดต้นทุนการสั่งซื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบการเคลือบฟิล์มสำเร็จรูปจากต่างประเทศที่มีราคาหลายล้านบาท ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้รับมาซึ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบและจัดสร้างแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ ดังต่อไปนี้

- i. ภาชนะสุญญากาศพร้อมหน้าแปลน 4 แปลน
- ii. ฝาปิดแปลนแต่ละด้านของภาชนะสุญญากาศ
- iii. ชั้นวางภาชนะสุญญากาศ
- iv. ช่องอ 90 องศาหน้าแปลนขนาด ISO 100
- v. ข้อต่อ 4 ทง ขนาด nw 25
- vi. แปลนปิดรู จำนวน 4 ชั้น
- vii. วาล์วปล่อยความดันเข้า
- viii. เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

และในส่วนของอุปกรณ์ที่จัดซื้อได้แก่

- i. ปั๊มกลโรตารีแบบแวน เบอร์ 8 บริษัท Edwards Vacuum
- ii. ปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย รุ่น WDP-4Z บริษัท Woosung Vacuum Technology
- iii. เกจวัดความดันแบบพิรานี รุ่น VSM77DL บริษัท Thyracont Vacuum Instrument GMPH
- iv. แคลมป์ล็อก ขนาด NW 25 และ NW 16 บริษัท Edwards Vacuum
- v. วาล์วแยก รุ่น CC-100B connection flanges GB-LP บริษัท CBVAC
- vi. โอรังตามขนาดร่องโอรังต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการประกอบชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบสร้างและอุปกรณ์ที่จัดซื้อเข้าร่วมกันเพื่อใช้ทดสอบการสร้างความดันภายในภาชนะสุญญากาศ โดยผลการทดลองการทดสอบการสร้างความดันภายในภาชนะสุญญากาศและอุณหภูมิ น้ำของเครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนที่ใช้สำหรับหล่อเย็นปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อทำการทดลองด้วยปั๊มกลโรตารีสามารถสร้างความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ  $8 \times 10^{-3}$  torr ใช้เวลา 30 นาที
2. เมื่อทำการทดลองด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายสามารถสร้างความดันภายในภาชนะสุญญากาศ มีค่าความดันประมาณ  $1.8 \times 10^{-5}$  torr ใช้เวลา 60 นาที
3. เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนสามารถสร้างความเย็นนี้ได้ต่ำสุดที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 30 นาที และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้หล่อเย็นเมื่อเริ่มใช้งานควบคู่กันกับปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายอยู่ในช่วง 8-12 °C

จากการผลการทดลองของการทดสอบการสร้างความดันภายในภาชนะสุญญากาศ ทั้ง 3 ครั้งคณะผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบสุญญากาศที่ได้ทำการออกแบบสร้างรวมถึงอุปกรณ์ที่จัดซื้อสามารถนำมาใช้ในการสร้างระบบการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอร์ และวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะและงานที่จะทำในอนาคต

- i. ควรลดจำนวนรอยต่อ, ข้อต่อระหว่างแปลนของภาชนะสุญญากาศให้มีจำนวนน้อยลง เพื่อลดโอกาสในการรั่วซึมของบรรยากาศภายนอกเข้าไปสู่ภายในของภาชนะสุญญากาศ ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างขึ้น
- ii. ควรวางตำแหน่งแปลนท่อสูบอากาศของปั๊มกลโรตารีและแปลนของปั๊มไอน้ำมันฝรั่งกระจายไว้ทางด้านล่างของภาชนะสุญญากาศเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการสูบน้ำอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ
- iii. ควรเปลี่ยนชนิดโอริงที่ใช้เป็นชนิด Viton เพราะทนความร้อนได้สูง ประมาณ 232 °C
- iv. ควรเปลี่ยนสายยางให้เป็นสายที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อลดการรั่วซึมของก๊าซ
- v. ควรติดตั้งระบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ระบบจ่ายก๊าซ เพื่อทำการสปัตเตอร์
- vi. ควรติดตั้งขั้วไฟฟ้าด้านล่างของภาชนะสุญญากาศและแหล่งจ่ายไฟ 3 KVA เพื่อใช้ในการระเหยสารด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ญัฐพร พรหมรส. 2548. “การออกแบบลักษณะเฉพาะของหัวดีซีแมกนีตรอนสปีดเทอริง.”  
ปริญญาวิทยา ศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์,  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] พงศภัค สิทธิมาตร และณัฐฐาทิพย์ ป่าธนู. 2558. “การออกแบบและสร้างหัวแมกนีตรอน  
สปีดเทอริงขนาด เล็กและลักษณะเฉพาะของหัว.” ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา  
ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ชัยวิทย์ ศิวาचनाโนย. 2526. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ. กรุงเทพฯ : ภาพ  
พิมพ์.
- [4] สิทธิชัย โภโคยอุดม. 2551. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำสำหรับวงจรรวมยุคใหม่. กรุงเทพฯ : ด่าน  
สุทธาการพิมพ์.
- [5] ธีระพงษ์ พวงมะลิ. ม.ป.ป. นานอฟิสิกส์. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล
- [6] วิลเลียม ดี, คาลิสเตอร์.เจ อาร์. 2548. วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน. แปลและเรียบ  
เรียงโดย สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ กอบบุญ หล่อทองคำ เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร ธาชาย เหลือง  
วารานันท์ มาวิน สุประดิษฐ์ ณ อยุธยา และปฐมมา วิสุทธิพิทักษ์กุล. กรุงเทพฯ : ท้อป.
- [7] Kurt J.lesker company. 2559. ISO-K and ISO-F Dimensions. [Online]. Available :  
[https://www.lesker.com/newweb/flanges/pdf/kjlced09\\_sec01\\_pages75-  
86\\_isoflanges&components.pdf](https://www.lesker.com/newweb/flanges/pdf/kjlced09_sec01_pages75-86_isoflanges&components.pdf)

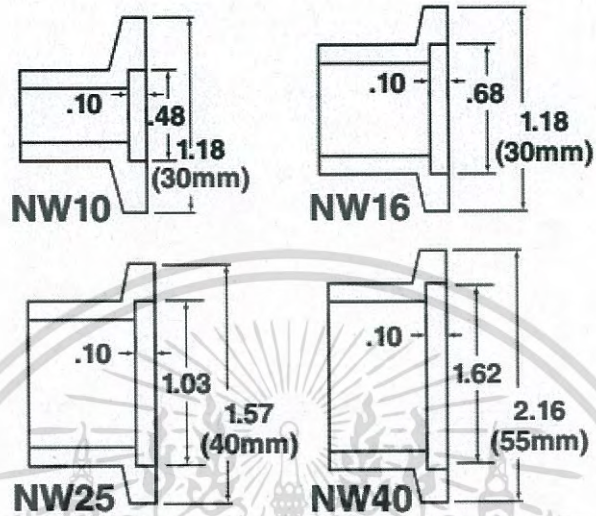


## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### แปลนมาตรฐาน ISO-NW



รูปที่ ก1 ขนาดแปลนมาตรฐาน ISO-NW

### แปลนมาตรฐาน ISO-F

ตารางที่ ก1 ขนาดแปลนมาตรฐาน ISO-F

Flange Size	Tube O.D. (in.)	Flange O.D. in. (mm)	Flange Thickness in. (mm)	No. of Bolts	Holes Diameter in. (mm)	BCD in. (mm)
ISO 63	2.5	5.12(130)	0.47(12)	4	0.35 (9)	4.33 (110)
ISO 80	3	5.71(145)	0.47(12)	8	0.35 (9)	4.92 (125)
ISO 100	4	6.5(165)	0.47(12)	8	0.35 (9)	5.71 (145)
ISO 160	6	8.86(225)	0.63(16)	8	0.43 (11)	7.87 (200)
ISO 200	8	11.22(285)	0.63(16)	12	0.43 (11)	10.24 (260)
ISO 250	10	13.19(335)	0.63(16)	12	0.43 (11)	12.20 (310)

## ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบหน่วย มิลลิเมตร,นิ้ว,หุน

หุน	นิ้ว	มิลลิเมตร
1	1/8	3.175
2	1/4	6.350
3	3/8	9.520
4	1/2	12.700
5	5/8	15.875
6	3/4	19.050
7	7/8	22.225
8	1	25.400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### โอริง

#### ตัวอย่างชนิดของโอริง

1) Nitrile (Buna-N, NBR) ไนไตรเป็นยางทั่วๆไป ในกลุ่มของ Acrylonitrile Terpolymer Butadiene โดยacrylonitrile เป็นสารประกอบไนไตรล์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญ (18% ถึง 50%) มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ส่งผลดีต่อความต้านทานต่อน้ำมันและความร้อนระดับหนึ่งในช่วงอุณหภูมิ -40 °C ถึง 120 °C

2) Viton® or Fluorocarbon (FKM) เป็นยางที่มีคุณสมบัติสามารถต้านทานได้ดีในอุณหภูมิสูงในหลายๆสภาพ Viton® มีความสามารถในการทนอุณหภูมิช่วง -15 °F ถึง 450 °F (-26 °C ถึง 232 °C)

#### ขนาดของโอริง (O-ring Specification )



รูปที่ ค1 การวัดขนาดของโอริง

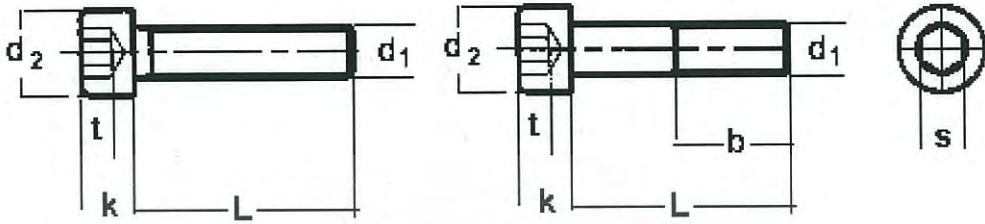
มาตรฐานการกำหนดสเปกและขนาดของโอริงจะถูกกำหนดด้วย 2 ค่าตัวแปรที่สำคัญ คือ

d1 คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (Inner Diameter) ของโอริง

d2 คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด (Area Diameter) ของโอริง

## ภาคผนวก ง

สกรูที่คณะผู้วิจัยเลือกใช้คือแบบ Socket Head Screw



รูปที่ ง1 แสดงขนาดสกรู Socket Head Screw

ตารางที่ ง1 ขนาดสกรู

d1	d2	b	k	s	t <sub>min</sub>	L <sub>≤<sup>1)</sup></sub>
M 1.4	2.6	-	1.4	1.25	-	12
M 1.6	3	15	1.6	1.5	0.7	16
M 1.8	3.4	-	1.8	1.5	-	16
M 2	3.8	16	2	1.5	1	20
M 2.5	4.5	17	2.5	2	1.1	25
M 3	5.5	18	3	2.5	1.3	20
M 4	7	20	4	3	2	25
M 5	8.5	22	5	4	2.5	25
M 6	10	24	6	5	3	30
M 8	13	28	8	6	4	35
M 10	16	32	10	8	5	40
M 12	18	36	12	10	6	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้