บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีของปั๊มสุญญากาศ

การที่จะสร้างสุญญากาศให้เกิดขึ้นในระบบได้นั้นจำเป็นที่จะต้องเคลื่อนย้ายโมเลกุลของก๊าซออกจากระบบทั้งหมดและการที่โมเลกุลของก๊าซจะสามารถออกจากระบบได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของความดันเกิดขึ้นระหว่างสองบริเวณ บริเวณที่มีความดันต่ำจะมีจำนวนโมเลกุลของก๊าซน้อย ขณะที่บริเวณที่มีความดันสูงจะมีจำนวนโมเลกุลของก๊าซมาก สำหรับอุปกรณ์ที่สร้างความแตกต่างของความดันระหว่างสองบริเวณ เรียกว่า "ปั๊ม" ส่วนปั๊มที่สร้างสุญญากาศขึ้นภายในระบบเรียกว่า "ปั๊มสุญญากาศ"

ปั๊มสุญญากาศที่ทำการศึกษาในโครงงานนี้จะถูกใช้งานในระบบเบรกของรถยนต์ ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายน้ำมันไปยังระบบเบรก ทำให้เบรกสามารถทำงานได้ ปั๊มสุญญากาศจะเพิ่มแรงดันให้กับน้ำมัน โดยการอัดความดันผ่าน Check Valve และไปเก็บไว้ที่หม้อลมเบรกสุญญากาศ เมื่อเราเหยียบเบรก แรงดันจากหม้อลมเบรกสุญญากาศ จะถูกส่งไปที่แม่ปั๊มน้ำมันเบรก เพื่อทำหน้าที่อัดแรงดันให้น้ำมันเบรกออกไปตามท่อน้ำมันเบรก ผ่านวาล์วแยก ส่วนน้ำมันเบรก จะถูกส่งไปจนถึงตัวเบรก ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณดุมล้อ และที่ตัวเบรก ซึ่งมีลูกปั๊มน้ำมันเบรก เมื่อได้รับแรงดันมา ลูกปั๊มน้ำมันเบรกจะดันให้ผ้าเบรก ไปเสียดทานกับชุดจานเบรกที่อยู่ใกล้ กับจานดิสก์เบรก หรือ ดรัมเบรก

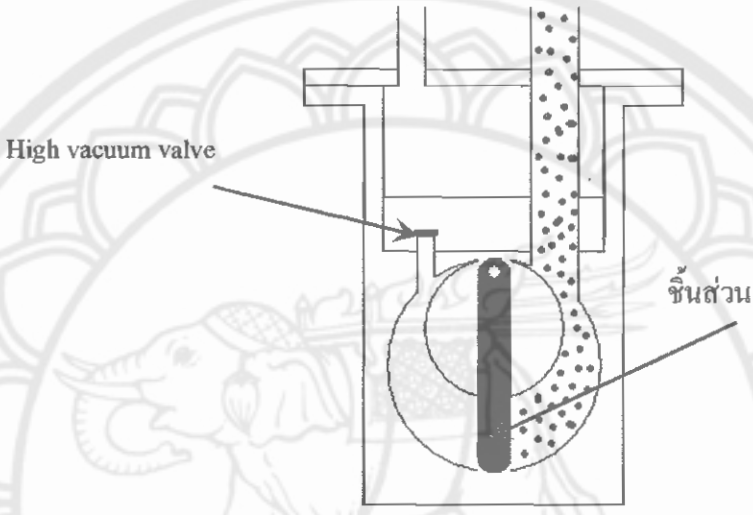
2.1 ประเภทของปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 Transfer pumps หรือส่วนใหญ่เรียกว่า Kinetic pumps

หลักการทำงานของ Transfer pumps คือ ก๊าซจะถูกส่งถ่ายอย่างต่อเนื่องจากทางเข้าของปั๊มถึงทางออก โดยปกติแล้วจะกระทำโดยกลไกการเคลื่อนที่ของปั๊ม เช่น Vane ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งชิ้นส่วนการเคลื่อนที่ของปั๊ม (โดยปกติจะเป็นการหมุน) จะทำให้โมเลกุลของก๊าซมีความเร่งและจะสร้างพื้นที่ที่มีความดันต่ำ ดังนั้น โมเลกุลจากถังเก็บจะเริ่มเคลื่อนออกจากถังเก็บจนเกิดบริเวณที่

มีความดันสถิตต่ำ กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซ้ำกันจนกระทั่งไม่เหลือโมเลกุลของก๊าซที่บรรจุอยู่ จึงทำให้ถังเก็บกลายเป็นสุญญากาศ เมื่อได้ระดับของสุญญากาศตามที่ต้องการแล้วเราจะแยกสุญญากาศออกจากถังเก็บโดยใช้วาล์วประเภท High vacuum valve วาล์วนี้จะหยุดการแลกเปลี่ยนของก๊าซระหว่างภาชนะและปั๊ม



รูปที่ 2.1 Transfer pump

ที่มา: www.home.wxs.nl/~brink494/schpm_e.html

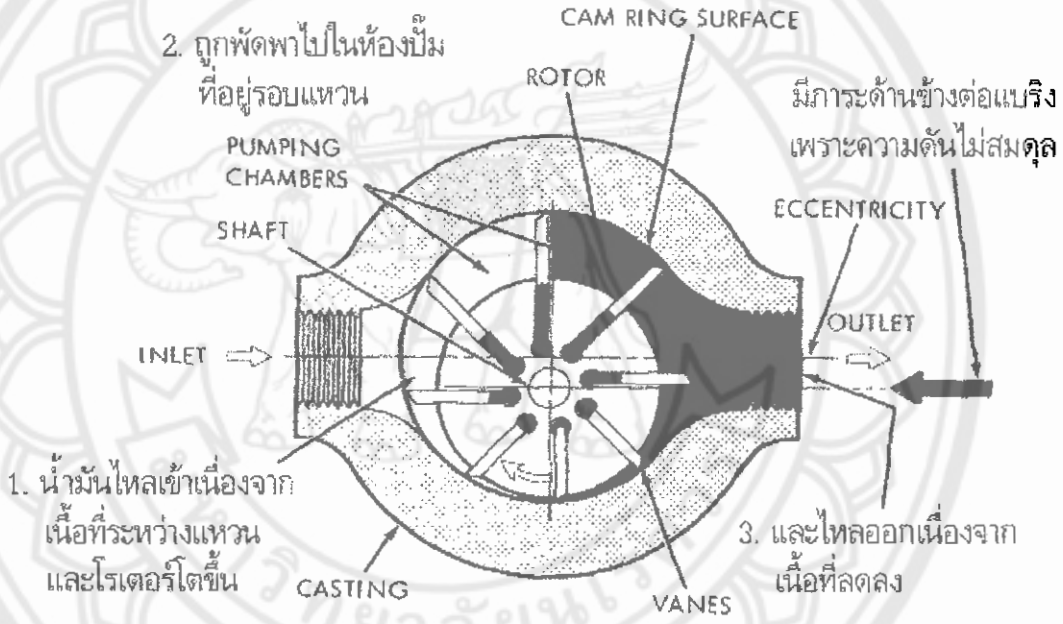
2.1.2 Trapping pump หรือ Capture pumps

โดยปกติแล้วหลักการทำงานของ Trapping pump หรือ Capture pumps จะเคลื่อนย้ายโมเลกุลของก๊าซโดยการดูดซับหรือการกลั่นตัวบริเวณผิวด้านในของปั๊ม ถ้าโมเลกุลของก๊าซทำปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุบริเวณผิวด้านในของปั๊ม จะเกิดวัสดุใหม่ขึ้นมาโดยมาจากปฏิกิริยาของก๊าซกับวัสดุบริเวณผิวด้านในของปั๊ม โมเลกุลนี้จะสะสมกันเป็นฟิล์มบางๆ สิ่งนี้เรียกว่า การดูดซับโมเลกุลของก๊าซ นอกจากนี้ถ้าโมเลกุลของก๊าซมาสัมผัสกับผิวความเย็นด้านในของปั๊ม ก๊าซก็จะถูกกลั่นตัวและกลายเป็นของเหลว ซึ่งจะทำให้ภายในตัวปั๊มกลายเป็นสุญญากาศ

ในโครงงานนี้เน้นการศึกษาปั๊มสุญญากาศประเภท Transfer pumps หรือ Kinetic pumps ซึ่งทำหน้าที่อัดแรงดันจากน้ำมันไปเก็บไว้ที่หม้อลมเบรกสุญญากาศ ดังนั้นต่อไปจึงจะเน้นเฉพาะการทำงานของปั๊มประเภทนี้เท่านั้น

2.2 หลักการทำงานของปั๊มสุญญากาศประเภท Transfer pumps

ปั๊มสุญญากาศ เป็นปั๊มที่สร้างสุญญากาศให้เกิดขึ้นภายในระบบ เป็นการย้ายโมเลกุลของก๊าซออกจากระบบ โมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนย้ายออกจากระบบได้ก็ต่อเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างความดันเกิดขึ้นภายในปั๊ม ลักษณะการทำงานของปั๊มสุญญากาศจะคล้ายกับการทำงานของเวนปั๊มหรือปั๊มใบพัด ดังรูปที่ 2.2



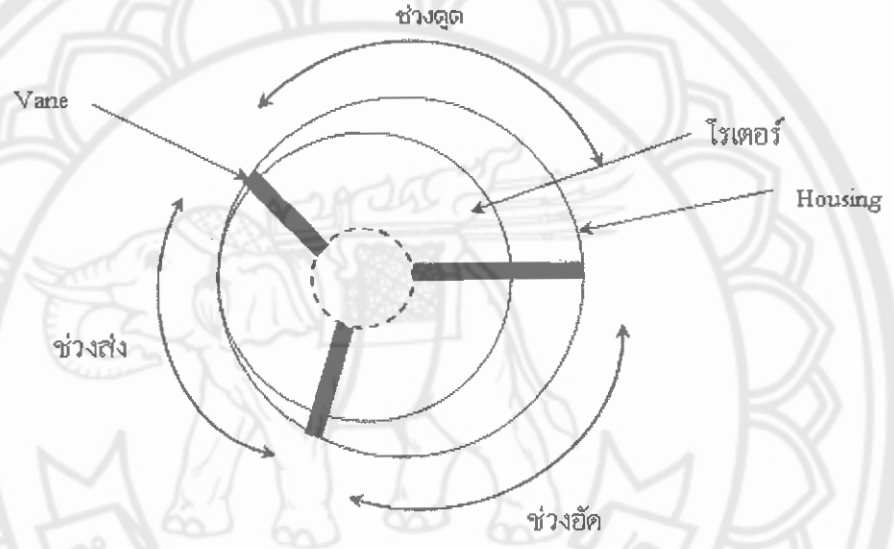
รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของปั๊มใบพัด

ที่มา : www.widwa.com/engineering%20trip/en_pump.htm

ปั๊มสุญญากาศประกอบด้วยเรือนปั๊ม(Housing) ซึ่งภายในจะประกอบด้วย Rotor ซึ่งจะมีจุดศูนย์กลางหมุนที่เยื้องศูนย์กับเรือนปั๊ม การที่ Rotor อยู่ในตำแหน่งที่เยื้องศูนย์กับเรือนปั๊มเพราะว่าจะทำให้เกิดสภาวะอัดไล่ปริมาตรได้ (Displacement) ซึ่งถ้าไม่เยื้องศูนย์กันเลยนั้นอัตราไหลก็จะเป็นศูนย์ นอกจากนี้ Rotor ยังประกอบไปด้วย Vane โดย Vane จะถูกสวมเข้ากับ Rotor และปั๊มสุญญากาศยังประกอบด้วยเพลทซึ่งเป็นตัวประกบเข้ากับเรือนปั๊มโดยด้านในของเพลทตรงกลางจะมีลักษณะเป็นวงกลมนูนขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นลูกเบี้ยวสำหรับทำให้ Vane เวลาหมุนจะได้สัมผัส

กับขอบของเรือนปั๊มตลอดเวลา เราสามารถปรับปริมาตรการไล่อัด (Volume Displacement) ได้โดยปรับระยะการเยื้องศูนย์ให้มากขึ้น

จากรูปที่ 2.3 เป็นรูปแสดงช่วงการอัด ดูด และส่งของเหลวของปั๊มสุญญากาศซึ่งจะเห็นว่าปริมาตรของของเหลวจะถูกดูดเข้ามาในช่วงดูด จากนั้นจะถูกอัดจนปริมาตรเล็กลงและมีค่าความดันมากขึ้นในช่วงอัดและถูกปล่อยออกไปในช่วงส่ง ลักษณะการทำงานก็จะเป็นเช่นนี้ตลอดไป

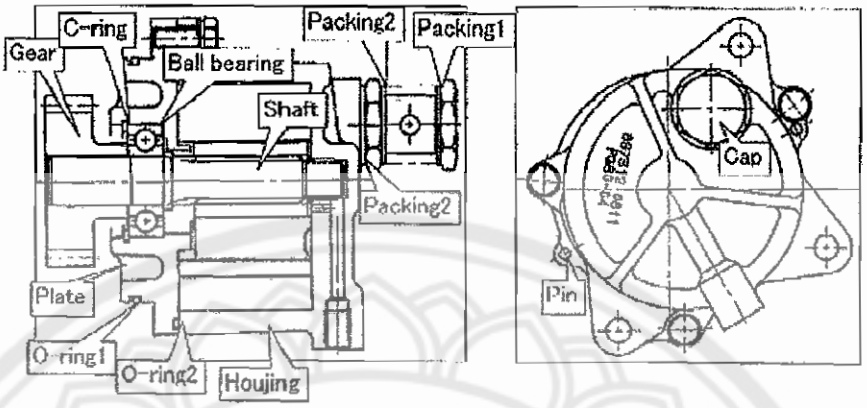


รูปที่ 2.3 ช่วงการอัด ดูด และส่งของเหลวของปั๊มสุญญากาศ

2.3 ส่วนประกอบของปั๊มสุญญากาศ รุ่น P772

ปั๊มสุญญากาศ รุ่น P772 เป็นปั๊มประเภท Transfer pumps หรือ Kinetic pump มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ Housing, Plate, Shaft, Gear, Rotor และ Vane โครงสร้างของปั๊มสุญญากาศ รุ่น P772 และส่วนประกอบของชิ้นส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.4

Structure of Vacuum Pump



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของปั๊มสุญญากาศ รุ่น P772

Local Parts

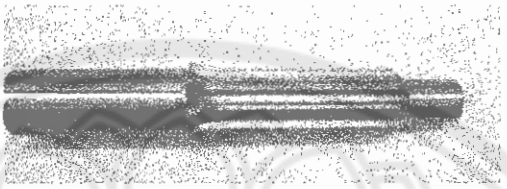
No.	Part name	Material
1	Housing	Aluminum sintered alloy
2	Plate	Aluminum sintered alloy
3	Shaft	Carbon steel
4	Gear	Carbon steel + Soft nitride
5	C – ring	Spring steel
6	O – ring 1	HNBR
7	O – ring 2	Silicon rubber
8	Packing 1	Copper
9	Packing 2	Copper
10	Pin	Bearing steel
11	Ball bearing	Bearing steel

KD Parts

No.	Part name	Material
1	Check valve Assy	Fluorine rubber etc.
2	Rotor	Iron sintered alloy
3	Bolt	Carbon steel
4	Vane	Carbon

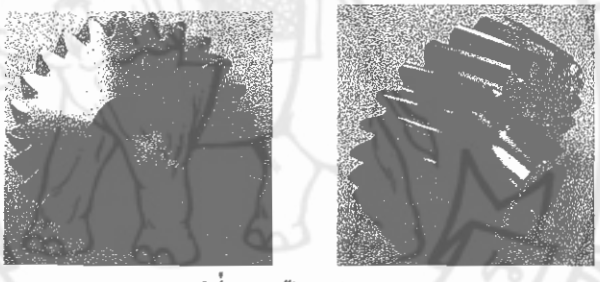
รูปที่ 2.5 ชิ้นส่วนปั๊มสุญญากาศที่ผลิตภายในบริษัทและที่สั่งนำเข้ามา

2.3.1 เพลา (Shaft) เป็นแกนที่อยู่ตรงกลางของปั๊มสุญญากาศ โดยสวมอยู่กับลูกปืนซึ่งยึดติดกับเพลทส่วนปลายของเพลาจะสวมกับเฟืองตัวหนอน (Helical Gear) ตรงกลางจะเป็นร่องเฟืองไว้สำหรับสวมกับ Rotor ส่วนหัวของเพลาจะสวมอยู่กับบุช ทำหน้าที่ในการหมุน Rotor



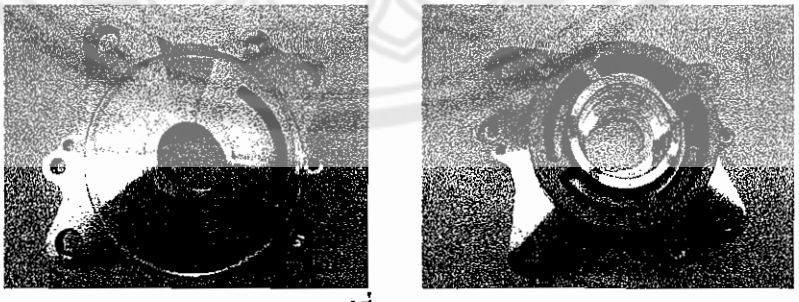
รูปที่ 2.6 เพลา

2.3.2 เฟืองตัวหนอน (Helical Gear) เป็นเฟืองที่สวมอยู่กับเพลา (Shaft) ทำหน้าที่ของเฟืองตัวหนอน จะเป็นตัวรับแรงส่งจากเครื่องยนต์ทำให้ปั๊มสุญญากาศสามารถทำงานได้



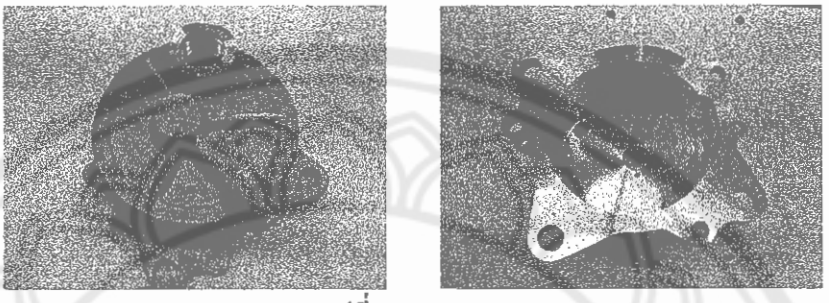
รูปที่ 2.7 เฟืองตัวหนอน

2.3.3 เพลท (Plate) เป็นส่วนที่อยู่ประกบอยู่กับ เรือนปั๊มเป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกับลูกเบี้ยวบังคับให้ Vane หมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กวาดน้ำมันและดูดอากาศเข้ามาภายในปั๊ม



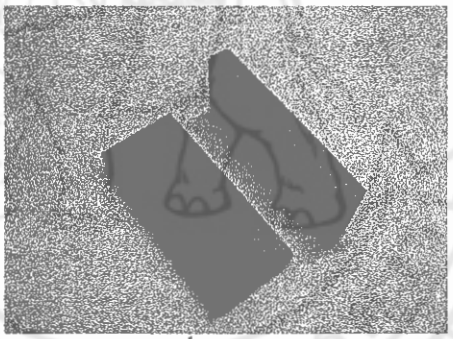
รูปที่ 2.8 Plate

2.3.4 เรือนปั๊ม (Housing) เป็นเรือนของปั๊มสุญญากาศภายในเรือนปั๊ม จะประกอบด้วย Rotor และ Vane มีรูด้านล่างสำหรับส่งถ่ายน้ำมันและมีส่วนของหูเพื่อประกบยึดเข้ากับเพลทด้วย Pin และ Bolt



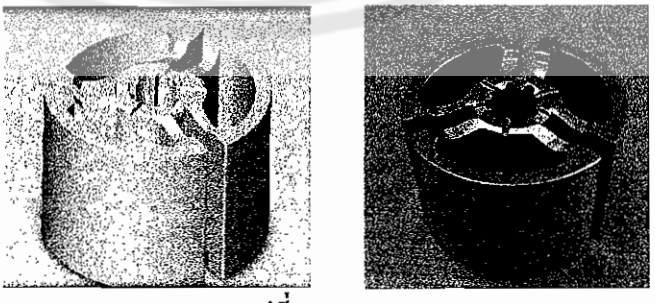
รูปที่ 2.9 Housing

2.3.5 Vane ทำหน้าที่เป็นตัวกวาดน้ำมัน มี Rotor และเพลาเป็นตัวขับเคลื่อน



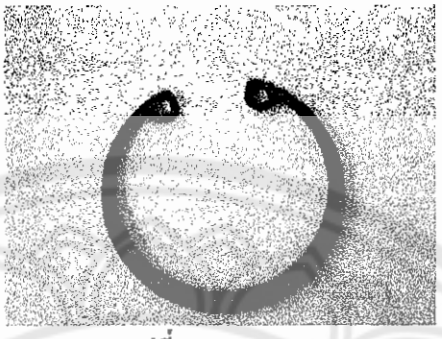
รูปที่ 2.10 Vane

2.3.6 Rotor สวมอยู่กับเพลาและอยู่ภายในเรือนปั๊มมีร่อง 3 ร่องสำหรับใส่กับ Vane ทำหน้าที่เป็นตัวขับให้ Vane หมุน



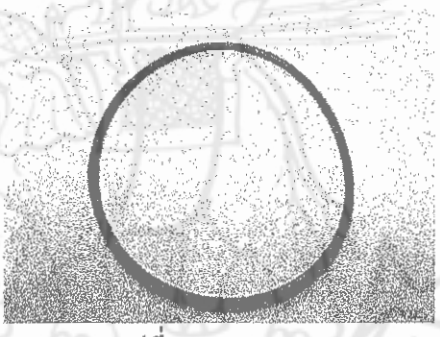
รูปที่ 2.11 Rotor

2.3.7 C- Ring จะถูกสวมเข้าไปในร่องของเพลทเพื่อล็อคลูกปืน (Ball Bearing)



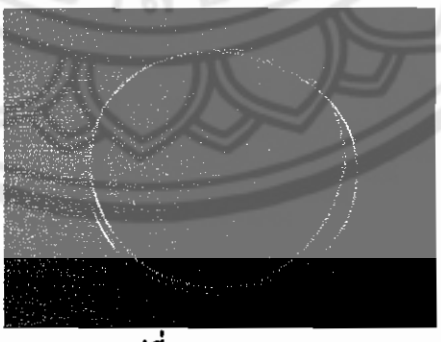
รูปที่ 2.12 C- Ring

2.3.8 O-Ring 1 จะถูกใส่ตรงร่องของเพลทด้านนอกป้องกันการรั่ว



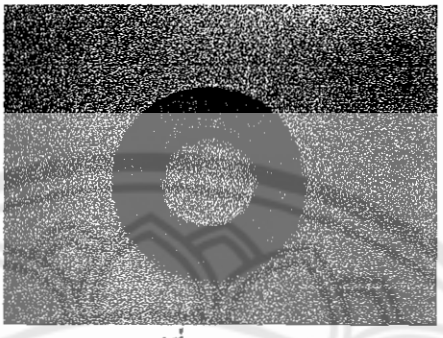
รูปที่ 2.13 O-Ring 1

2.3.9 O-Ring 2 จะถูกใส่ตรงร่องของเพลทด้านในเพื่อป้องกันการรั่ว



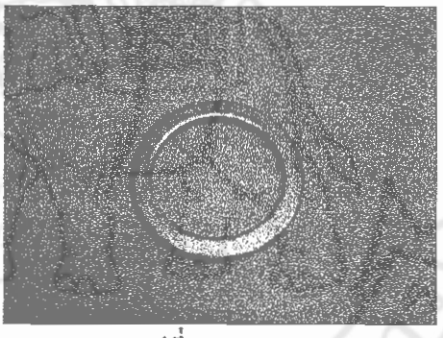
รูปที่ 2.14 O-Ring 2

2.3.10 Packing 1 เป็นแหวนรองระหว่าง Dust Seal Roller กับ Cap



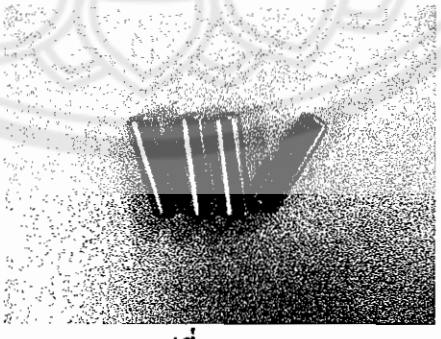
รูปที่ 2.15 Packing 1

2.3.11 Packing 2 เป็นแหวนรองระหว่าง Check Valve กับ Dust Seal Roller



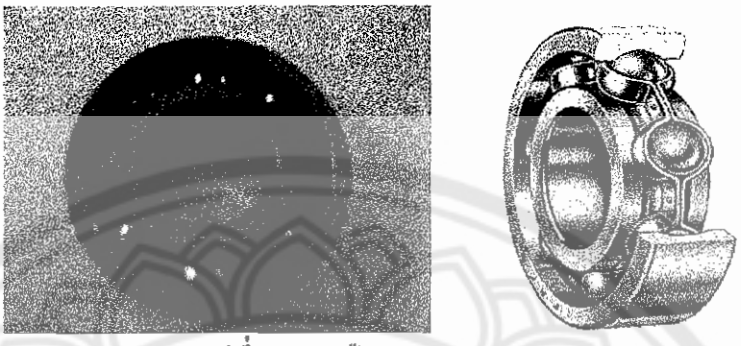
รูปที่ 2.16 Packing 2

2.3.12 Pin เป็นสลักที่ยึดระหว่าง เพลทและเรือนปั๊ม



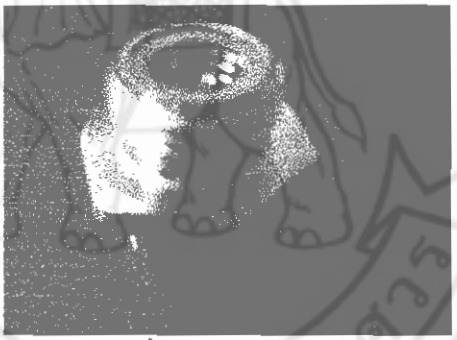
รูปที่ 2.17 Pin

2.3.13 ลูกปืน (Ball Bearing) จะสวมติดอยู่กับเพลทและเพลา



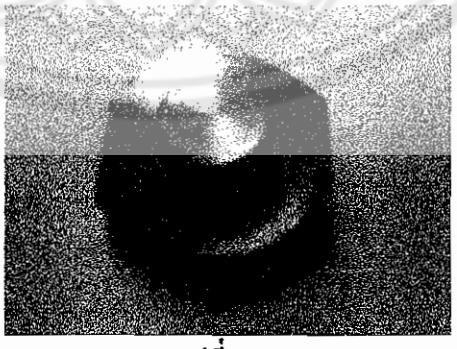
รูปที่ 2.18 ลูกปืน (Ball Bearing)

2.3.14 Check Valve ทำหน้าที่เป็นวาล์วปิด- เปิดการจ่ายน้ำมันของปั๊มสุญญากาศ จะมีเกลียวไว้สำหรับขันยึดติดกับเรือนปั๊มและป้องกันน้ำมันไหลย้อนกลับ



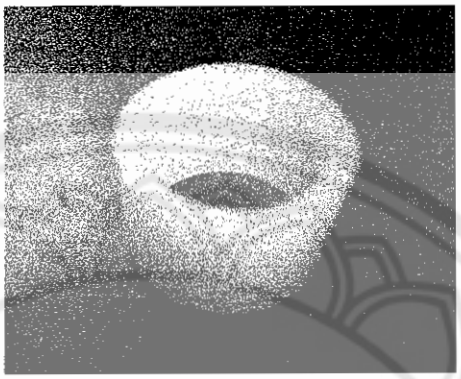
รูปที่ 2.19 Check Valve

2.3.15 Cap เป็นส่วนที่ขันยึดติดกับ Check Valve



รูปที่ 2.20 Cap

2.3.16 Dust Seal Roller เป็นตัวรองเพื่อป้องกันสิ่งต่างๆที่จะตกเข้าไปในรูของ Check Valve ในการประกอบใช้งานจริงจะถูกถอดออก



รูปที่ 2.21 Dust Seal Roller

2.4 ทฤษฎีที่นำมาประกอบการวิเคราะห์

สำหรับการศึกษาปัญหาของปั๊มสุญญากาศหมุนติดในครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้นำหลักการและทฤษฎีต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยประกอบด้วย

2.4.1 หลัก 4 M

ในการทำงานโดยทั่วไปมักมีปัจจัยอยู่ 4 ประการ ที่ทำให้สภาพปัจจุบัน และเป้าหมายต่างกัน ปัจจัย 4 ประการ คือ

2.4.1.1. Man (คน) คนเป็นผู้กระทำตามวิธีการที่ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานหรือกระทำตามวิธีการของตนเอง ตามถนัดหรือที่ตนเองสะดวกสบาย

*** ตัวอย่างมุมมอง เมื่อเกิดปัญหาจากปัจจัย "คน"**

1. คนได้ผ่านการฝึกอบรมก่อนเข้าปฏิบัติงานหรือไม่
2. มีการประเมินผลหลังการฝึกอบรมหรือไม่
3. มีการติดตามความสามารถหลังจากการฝึกอบรมไปแล้วเป็นระยะๆ หรือไม่
4. **ความพร้อมของร่างกาย / มีหรือไม่ เช่น ป่วย, ปวดกล้ามเนื้อ, สายตาสั้น, ยาว, ตาบอดสี**
5. **การเคลื่อนไหวของคนขณะทำงานหรือความถนัดของการหยิบชิ้นงาน**
6. **ขนาดของรูปร่าง เช่น อ้วนมาก, สูงมาก, เตี้ยมาก**

2.4.1.2 Method (วิธีการ) เป็นกระบวนการของการปฏิบัติที่เป็นขั้นตอนอย่างชัดเจนหรือการปฏิบัติตามความคิดเห็น หรือประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติเอง

*** ตัวอย่างมุมมอง เมื่อเกิดปัญหาจากปัจจัย "วิธีการ"**

1. วิธีการถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานหรือไม่ (Operation standard)
2. มีผู้ทบทวนใบมาตรฐานวิธีการหรือไม่ (ผู้อนุมัติ)
3. ผู้กำหนดมาตรฐานวิธีการคือใคร (ต้องเป็นผู้ชำนาญในงานนั้นๆ)
4. วิธีการถูกปรับปรุงให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ , Lay out ที่เปลี่ยนไปหรือไม่

2.4.1.3 Machine (เครื่องจักร, อุปกรณ์ของเครื่องจักร) เครื่องจักรเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการแปรรูป เปลี่ยนขนาด, รูปร่าง หรือเคลื่อนที่ของปัจจัยอื่นๆ หรือช่วยสนับสนุนวิธีการปฏิบัติงานให้สะดวกสบายขึ้น

*** ตัวอย่างมุมมอง เมื่อเกิดปัญหาจากปัจจัย "เครื่องจักร, อุปกรณ์"**

เงื่อนไขทางด้าน Spcc ของเครื่องจักร, สภาพทั่วไปของเครื่องจักร เป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่

- Hydraulic pressure
- Air pressure
- ค่าความฝ่ายของหัว Spinder
- Program, Offset ที่ใช้ควบคุมการกัดกลึง
- ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการหมุน และระยะป้อนการตัดชิ้นงาน
- Cutting tool ใช้วัสดุไม่เหมาะสมกับเงื่อนไขของเครื่องจักร
- การสั่นคลอนของเครื่องจักรขณะกลึงชิ้นงาน
- มีเสียงดังตามชุดอุปกรณ์ต่างๆ
- น้ำมัน Hydraulic รั่ว, ไส้กรองตัน
- ชุดราง Slide สึกหรอ หรือ สึกหรอไม่เท่ากัน
- ใบมีดใช้เกินอายุงาน

2.4.1.4 Material (วัตถุดิบ) วัตถุดิบหมายถึง ตัวชิ้นงานที่เป็นปัญหา

*** ตัวอย่างมุมมอง เมื่อเกิดปัญหาจากปัจจัย "วัตถุดิบ"**

1. Drawing กำหนด Spec ไว้อย่างไร (ขนาดต่างๆ ที่ระบุไว้)

2. สภาพชิ้นงานมีลักษณะเป็นอย่างไร เช่น มีส่วนโค้งมน, มีรัศมี (R), มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) มีอะไรเกิน, ขาดจากที่ Drawing กำหนดไว้
3. ส่วนผสมโลหะมีอัตราส่วนเป็นอย่างไร
4. ความแข็งหรือค่าที่กำหนดให้ควบคุมเฉพาะจุด
5. ปฏิกิริยาทางเคมีที่มีผลต่อ Material (สารบางตัวกัดกร่อนทองเหลือง, ซีลยาง)
6. ผิวงาน (ความเรียบ, ความหยาบ, ลายเส้นหลังการกลึง, เจียรนัย)
7. อุณหภูมิของชิ้นงาน (เมื่อนำมาตรวจวัดคุณภาพ)

ในปัจจุบันมีการพัฒนามุมมองปัจจัยเพิ่มขึ้นอีก 3 หัวข้อ คือ

1. Management (การบริหาร)

พิจารณาที่นโยบาย, การบริหารจัดการ, แผนที่ถูกกำหนดขึ้น

2. Measure (การตรวจสอบ)

พิจารณาที่ วิธีการตรวจสอบ, เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบ, ตรวจวัด, เกณฑ์การตรวจสอบ

3. Environment (สภาพแวดล้อม)

พิจารณาที่ สภาพแวดล้อมโดยรอบที่เกิดปัญหา เช่น แสงสว่างน้อยเกินไป, มากเกินไป / อากาศร้อนมากเกินไป / เย็นมากเกินไป เป็นต้น

เมื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติของ 4 M ระหว่างมาตรฐานและสภาพปัจจุบันในช่องตัดสินใจที่ได้วงกลม (O) ถือว่าไม่ใช่สาเหตุปัญหา ได้กากบาท (X) ถือว่าเป็นสาเหตุของปัญหา ให้นำมาพิสูจน์ว่าหัวข้อที่ตรวจสอบใดควรเป็นประเด็นที่จะต้องนำมาพิจารณากำหนดมาตรการตอบโต้ หรือการแก้ไขต่อ

2.4.2 แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone diagram)

แผนภูมิก้างปลาเป็นแผนภูมิแสดงเหตุและผลจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาหนทางแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม เพราะแผนภูมินี้แสดงโครงสร้างและรายละเอียดของปัญหาที่ต้องแก้ไข สาเหตุของปัญหาโดยเจาะจงลึกลงไปและช่วยป้องกันไม่ให้มองข้ามบางปัญหาไป

สาเหตุที่แผนภูมิมีชื่อเรียกอย่างนี้เพราะว่ารูปร่างของมันซึ่งใช้บอกรายละเอียดสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นมีลักษณะเหมือนก้างปลา แผนภูมินี้สามารถสร้างขึ้นและใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การใช้ประโยชน์เกี่ยวกับองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ประการในกระบวนการผลิต คือ วิธีการทำงาน (Method) วัสดุ (Materials) เครื่องจักร (Machine) คน (Man) โดยลากเส้นแกนกลาง

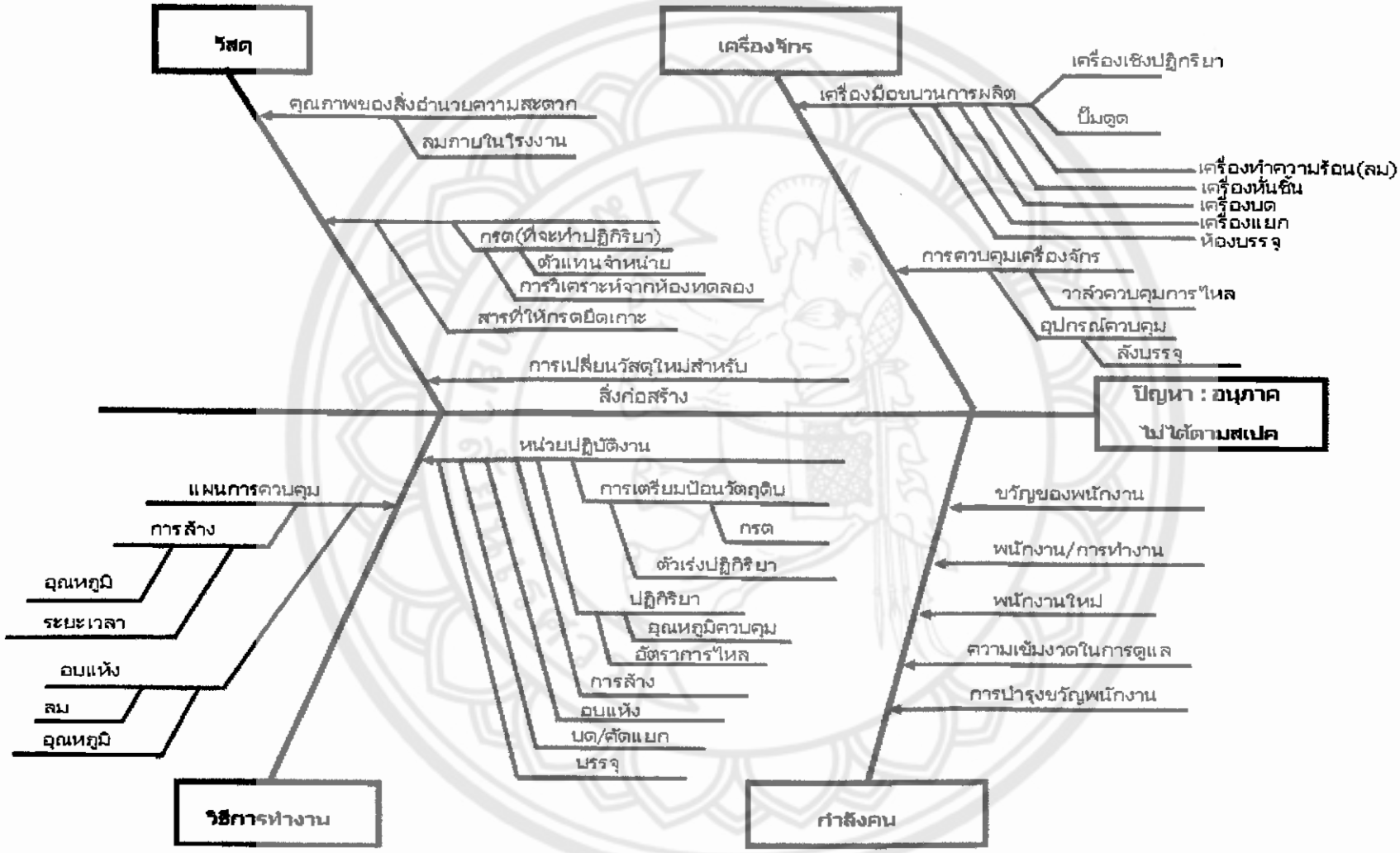
แนวนอนและใส่ข้อความของปัญหาที่ปลายเส้นทางด้านขวามือ จากนั้นเติมองค์ประกอบของปัญหาพื้นฐานทั้ง 4 สาเหตุทั้งหมดลงปลายเส้นสาขาที่แยกออกมาจากเส้นแกนกลางแนวนอน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนี้จะมีกิ่งสาขาย่อยหรือโครงตาข่ายที่แยกแยะรายละเอียดสาเหตุของปัญหาตามที่เราต้องการ

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงตัวอย่างปัญหาย่อยๆ ซึ่งอยู่ภายใต้องค์ประกอบของปัญหาพื้นฐานทั้ง 4 สาเหตุ ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังที่เห็นแต่ละปัญหาของมันเองซึ่งก้างปลาแต่ละอันจะสอดคล้องกับปัญหาที่ต้องการอย่างที่สุดสำหรับแนวทางที่ถูกต้องในการสร้างแผนภูมินี้คือควรจะมีการระดมความคิดเห็นอย่างอิสระหลายฝ่าย เช่น หัวหน้าวิศวกร ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายผลิตและฝ่ายบริหาร โดยใช้วิธีการนับคะแนนเสียงความเห็นอย่างง่ายๆ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกระบวนการผลิตภายในโรงงาน

สาเหตุ	ปัญหา
1. วิธีการทำงาน (Method)	- หน่วยปฏิบัติงาน - แผนการควบคุม - บัญชีโรงงาน/ขบวนการผลิต
2. วัสดุ (Materials)	- วัสดุสิ่งก่อสร้าง - วัตถุดิบ - สิ่งอำนวยความสะดวก อากาศอัดสำหรับเครื่องมือลม น้ำใช้ในการผลิต ไอน้ำ ฯลฯ
3. เครื่องจักร (Machine)	- เครื่องจักรในกระบวนการผลิต - อุปกรณ์ควบคุม
4. คน (Man)	- การจัดการองค์กร - เสถียรภาพของพนักงาน - ระดับการฝึกอบรมและประสบการณ์ - ประสบการณ์เฉพาะในขบวนการผลิต

รูปที่ 2.22 เป็นรูปลักษณะทั่วไปของแผนภูมิก้างปลาซึ่งได้พัฒนานำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการแก้ไขปัญหา ปกติความซับซ้อนของปัญหาและรายละเอียดของข้อมูลจากแผนภูมิจะเพิ่มมากขึ้นหากมีผู้ร่วมในการประชุมแก้ไขปัญหานั้นได้เสนอข้อมูลเข้ามาระหว่างการแก้ปัญหา



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างแผนภูมิก้างปลา

เนื้อหาส่วนใหญ่ในบทนี้เป็นการแนะนำหลักการทำงานของปั๊มสุญญากาศ ประเภทของปั๊มสุญญากาศ ชิ้นต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นปั๊มสุญญากาศ และทฤษฎีที่นำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาการประกอบหมุนติด เช่น แผนภูมิก้างปลา และ 4M เป็นต้น ในบทต่อไปจะอธิบายถึงวิธีการดำเนินงานซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจสอบกระบวนการผลิต การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนแก้ปัญหาและการทดลอง