สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ

AUTOMATIC PAINT PACKER MACHINE

T050154

โดย

นาย ไกรสร ศรีสลับ

นาย วีรชาติ ธาตุทอง

นาย สิทธิชัย อิสริยะเนตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.จำลอง ปราบแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...50154...
วัน,เดือน,ปี 2 1 เม.ย. 2547
.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ

AUTOMATIC PAINT PACKER MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย ไกรสร ศรีสลับ รหัสนักศึกษา 43515951
2. นาย วีรชาติ ธาตุทอง รหัสนักศึกษา 43515971
3. นาย สิทธิชัย อิสริยะเนตร รหัสนักศึกษา 43515976

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ

นาย ไกรสร ศรีสลับ 43515951
นาย วีรชาติ ธาตุทอง 43515971
นาย สิทธิชัย อิสริยะเนตร 43515976
ผศ. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความรู้ในศาสตร์แขนงต่างๆ ทำให้เกิดการพัฒนาและประยุกต์ใช้เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆขึ้นอย่างมากมายในยุคปัจจุบัน ไม่เว้นแม้แต่ในวงการอุตสาหกรรมการบรรจุสีที่ได้นำเอาเครื่องจักรเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตได้รวดเร็วและได้สินค้าที่มีคุณภาพแน่นอนมากขึ้น

โครงงานนี้ได้นำเสนอการออกแบบและผลิตเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ โดยใช้ระบบนิวแมติคควบคุมการทำงาน ตัวเครื่องมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2.5 เมตร สูง 2.5 เมตร สามารถปรับปริมาณการบรรจุได้ตั้งแต่ 5,000 ถึง 20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามขนาดถังที่ใช้บรรจุ ใช้บรรจุสีที่มีความหนืด ตั้งแต่ 500 ถึง 3,500 เซนติพอยท์ และมีระบบปิดฝาถังโดยอัตโนมัติโดยใช้ระบบการลำเลียงถังเป็นแบบรางเลื่อน ความเร็วในการบรรจุ 5,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลา 20 วินาที 20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลา 40 วินาที ทั้งนี้ความเร็วในการบรรจุเปลี่ยนแปลงตามความหนืดของสีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC PAINT PACKER MACHINE

Kraisorn Srisalab

Veerachart Thartthong

Sittichai Isariyanate

Asst.Prof.Chamlong Prabkeao Advisor

ABSTRACT

With progress of technology and various knowledge, many of equipment has been developand apply at present. Even though paints to pack industry, it used machine in production process for rapidly production and quality of the product.

The project present, design and produce the automatic paints packer machine is use pneumatic operation control system. The machine has dimension 1.0x2.5x2.5 meter. It can adjust the packing capacity from 5000 cc to 20000 cc follow by bucket size and it use for viscous from 500cp to 3500cp of paints. This paints pack machine has an automatic bucket cover closed system. The bucket transfer system is used the sliding arm. Time of the packing is 20 sec for 5000 cc and 40 sec for 20000 cc of the bucket. Also the time of the packing is varying by viscosity of paint.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงานนี้ซึ่งอาจารย์ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา จนทำให้ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เสร็จได้ด้วยดี ซึ่งต้องขอบคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบคุณบริษัทสี SAFECO, DYNO และ HATO ที่ให้ข้อมูลต่างๆของสี ทั้งยังให้สีมาใช้ในการทดลองที่สำคัญจะขาดมิได้คือ บริษัท P.GENERAL SUPPLY ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินเป็นจำนวนมาก ต้องขอขอบคุณมา ณ ที่ นี้ด้วย

นายไกรสร ศรีสลับ

นาย วีรชาติ ธาตุทอง

นาย สิทธิชัย อิสริยะเนตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสีและของไหล	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับของไหล	3
2.2 ความรู้เบื้องต้นและคุณสมบัติทั่วไปของสี	3
2.3 ของไหล Newtonian และ non-Newtonian	4
2.4 การไหลในท่อและการสูญเสียในท่อ	6
2.5 ทฤษฎีแรงตึงผิวของของเหลว	11
บทที่ 3 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบนิวแมติค	13
3.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ลมอัด	13
3.2 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวแมติค	14
บทที่ 4 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องบรรจุสี	29
4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่อง	29
4.2 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุสี	38
บทที่ 5 การออกแบบชิ้นส่วนประกอบ	40
5.1 ข้อจำกัดในการออกแบบ	40
5.2 การออกแบบโครงเครื่องบรรจุสี	40
5.3 การออกแบบกระบอกสูบบรรจุ	41
5.4 การออกแบบวาล์วดูด-วาล์วจ่าย	48
5.5 การออกแบบระบบขับเคลื่อนและลำเลียงถังสี	49
5.6 การออกแบบชุดปิดฝา	50
5.7 การออกแบบหัวจ่ายสี	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

5.8 การออกแบบชุดชั่งน้ำหนัก 54

บทที่6 วงจรและการควบคุม 55

6.1 ลิมิตสวิทช์ และ Sensor fitting 55

6.2 หลักการทำงานของ Sensor fitting 55

6.3 วงจรนิวแมติคแบบแยกสัญญาณควบคุม 56

6.4 วงจรนิวแมติคควบคุมการทำงาน 58

6.5 การควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสี 59

บทที่ 7 การทดสอบการใช้งาน 60

7.1 วิธีการทดสอบ 60

7.2 ผลการทดสอบ 60

บทที่ 8 วิจารณ์และสรุปผล 62

8.1 วิจารณ์และสรุปผลงาน 62

8.2 แนวทางการพัฒนา 62

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 64

ภาคผนวก ค 65

ภาคผนวก ข 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 2.1 แสดงความเค้นเฉือนและความหนืด 5
รูปที่ 2.2 แสดง Moody diagram 8
รูปที่ 2.3 แสดงการสูญเสียที่ทางออก 9
รูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัด 9
รูปที่ 2.5 แสดงการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด 10
รูปที่ 2.6 แสดงการเกิด Capillary rise 11
รูปที่ 3.1 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ 15
รูปที่ 3.2 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม 15
รูปที่ 3.3 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบใบพัดเลื่อน 16
รูปที่ 3.4 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบสกรู 16
รูปที่ 3.5 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน 16
รูปที่ 3.6 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบกังหันชนิดลม 17
รูปที่ 3.7 แสดงชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด 17
รูปที่ 3.8 ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียว 18
รูปที่ 3.9 ลูกสูบลมชนิดทำงานสองทาง 18
รูปที่ 3.10 ลูกสูบชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทก 20
รูปที่ 3.11 ลูกสูบชนิดที่มีก้านสูบสองข้าง 20
รูปที่ 3.12 ลูกสูบช่วงชักหลายตำแหน่ง 20
รูปที่ 3.13 ลูกสูบหมุน 21
รูปที่ 3.14 มอเตอร์ลม 21
รูปที่ 3.15 วาล์วแบบลูกบอล 22
รูปที่ 3.16 วาล์วแบบแผ่นกลม 23
รูปที่ 3.17 วาล์วแบบลูกสูบเลื่อน 23
รูปที่ 3.18 วาล์วแบบลูกสูบและแผ่นเลื่อน 24
รูปที่ 3.19 วาล์วแบบใช้แผ่นหมุน 24
รูปที่ 3.20 วาล์วกันกลับ 25
รูปที่ 3.21 วาล์วกันกลับชนิดสองทาง 25
รูปที่ 3.22 วาล์วปรับอัตราการไหล 26
รูปที่ 3.23 วาล์วคายไอเสียเร็ว 26
รูปที่ 3.24 วาล์วความดันสองทาง 27
รูปที่ 3.25 วาล์วรักษาความดันด้านออก 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3.26วาล์วนิรภัย 28
รูปที่ 3.27 วาล์วจัดลำดับ 28
รูปที่ 3.28วาล์วควบคุมอัตราการไหล 28
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องบรรจุสี 29
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของชุดเลื่อนถัง 30
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของ Hopper 31
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของวาล์วดูด 31
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของชุดกระบอกอัดสี 32
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของชุดวาล์วจ่าย 32
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของหัวจ่ายรูปร่างผึ้ง 33
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของชุดปิดฝาถัง 33
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของชุดตาชั่ง 34
รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของเครื่องบรรจุสี 34
รูปที่ 4.11 ถังเก็บลม 35
รูปที่ 4.12 กระบอกบรรจุ 35
รูปที่ 4.13 ตู้ควบคุม 35
รูปที่ 4.14 ฝาหน้ากระบอกบรรจุ 36
รูปที่ 4.15 วาล์วปรับปริมาณลม 36
รูปที่ 4.16 ถังเก็บสี 36
รูปที่ 4.17 ด้านหน้าเครื่องบรรจุ 37
รูปที่ 4.18 ด้านหลังเครื่องบรรจุ 37
รูปที่ 4.19 ติดตั้งถังเก็บสี 37
รูปที่ 5.1 โครงเครื่อง 41
รูปที่ 5.2 แสดงขนาดกระบอกบรรจุ 41
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของซีลและลูกสูบ 43
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการหาค่าความเร็วของลูกสูบ 48
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของวาล์วและแรงต้านในการยกวาล์ว 49
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการออกแบบรางเลื่อน 50
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะของ Sensor fitting 55
รูปที่ 6.2 แสดงการทำงานของ Sensor fitting 56
รูปที่ 6.3 หลักการควบคุมแบบ Cascade 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.4 หลักการควบคุมแบบ Shift Register 58
รูปที 6.5 แสดงวงจรนิวแมติคควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสี 59
รูปที่ 7.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการผลิตของเครื่องที่นำเข้ากับเครื่องที่ผลิตขึ้น 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 แสดงความขรุขระสัมบูรณ์ ε ของท่อใหม่ 7
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัด 10
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด 10
ตารางที่ 2.4 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อท่อ 11
ตารางที่ 3.1 ขนาดมาตรฐานของลูกสูบ และช่วงชักมาตรฐานจากต่ำสุดถึงสูงสุด 19
ตารางภาคผนวก ก
ตารางแปลงหน่วยความหนืด 65
ตารางภาคผนวก ข
ตารางการบันทึกผล 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันโรงงานผลิตสีต้องการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการผลิตลง จึงได้มีการนำเครื่องจักรมาใช้ในกระบวนการผลิตแทนการใช้แรงงานคน เพื่อให้ผลิตทันต่อความต้องการของตลาดและมีความแม่นยำแน่นอนในการทำงาน ได้ผลผลิตที่แน่นอนมากขึ้น เครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสีทั่วไปเป็นเครื่องที่มีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ประเทศต้องสูญเสียดุลการค่าเป็นจำนวนมาก การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการหันมาใช้เครื่องจักรที่ผลิตภายในประเทศ ถึงแม้เครื่องจักรที่สามารถผลิตได้คุณภาพจึงไม่ดีเท่าของต่างประเทศ แต่มีต้นทุนที่ถูกกว่าและยังสามารถใช้งานได้ในระดับเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบและผลิตเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติให้เป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการโรงงานผลิตสีหรือนำไปประยุกต์ใช้กับของเหลวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.) สามารถออกแบบเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติโดยสามารถปรับปริมาณการบรรจุได้ตามต้องการและมีความแม่นยำในการบรรจุ

2.) สามารถที่จะออกแบบวงจรนิวแมติคที่มีขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยากได้

3.) เพื่อให้นักศึกษามีประสบการณ์ในการออกแบบ

4.) เพื่อให้มีความคิดสร้างสรรค์ในการทำงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติได้กล่าวถึง อัตราการบรรจุสีลงถังต่อชั่วโมง ซึ่งอัตราการบรรจุนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืดของสี ความดันที่ใช้งาน และการปรับอัตราการไหลของลมที่เข้ากระบอกสูบนิวแมติกส์ของชุดรางเลื่อน

แต่จะไม่กล่าวถึงค่าความหนืดของสีที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เพราะสีมีปริมาณที่มากและใช้เวลาในการบรรจุน้อยฉะนั้น อุณหภูมิของสีจึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้สามารถคิดได้ว่าความหนืดของสีไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติสามารถบรรจุสีที่มีความหนืดตั้งแต่ 500 เซนติพอยท์ ถึง 3,500เซนติพอยท์สามารถบรรจุสีลงถังขนาด 5,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยบรรจุสีลงทีละถังควบคุมปริมาตรโดยชุดชั่งน้ำหนัก และขับเคลื่อนถังด้วยแขนเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการทำงานของเครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินั้น จะใช้วงจรนิวแมติคแบบใช้ลมควบคุมการทำงานทั้งหมด จะไม่ใช้วงจรนิวแมติคแบบควบคุมด้วยไฟฟ้าเลยเพราะ ในการออกแบบนั้นจะคำนึงถึงความปลอดภัยในโรงงานเป็นหลัก

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการสร้างเครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินั้น มีอยู่ 2 ส่วนสำคัญด้วยกัน คือ

1. การออกแบบเครื่อง
2. การสร้างเครื่อง

การสร้างเครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินั้นการออกแบบและสร้างจะทำควบคู่ กันไปคือ เมื่อออกแบบชิ้นส่วนนั้นๆได้แล้วก็จะทำการจัดสร้างชิ้นส่วนนั้นขึ้นมา หรือถ้าเป็นชิ้นส่วนมาตรฐานก็จะจัดซื้อชิ้นส่วนนั้นๆมา และวิธีการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

1. ออกแบบโครงสร้างและการจัดวาง
2. ออกแบบชิ้นส่วนสำคัญๆ เช่น กระบอกสูบ วาล์วดูด วาล์วจ่าย และซีล เป็นต้น
3. ออกแบบวงจรนิวแมติค
4. จัดซื้อชิ้นส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้
5. จัดสร้างชิ้นส่วนต่างๆพร้อมทั้งประกอบเข้าด้วยกัน
6. จัดซื้ออุปกรณ์นิวแมติค
7. เดินวงจรนิวแมติค
8. ทำการทดสอบเครื่องกับน้ำ
9. ทำการทดสอบเครื่องกับสีจริง
10. นำกลับมาปรับปรุง
11. ทำการทดสอบอีกครั้งเพื่อหาผลการทดสอบ
12. เปรียบเทียบผลการทดสอบกับเครื่องที่มีอยู่แล้วในตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสีและของไหล

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับของไหล

ของไหลเป็นสสารที่ไม่มีแรงต้านต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเหมือนของแข็ง ของไหลจะไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหลจะเกิดขึ้นจากแรงเฉือน(Shear force) ดังนั้นเมื่อมีแรงเฉือนกระทำกับของไหลจะทำให้เกิดการไหลขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าของไหลอยู่นิ่งจะไม่มีแรงเฉือนเกิดขึ้น โดยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการไหลทั้งหมดนี้จะกระทำในแนวตั้งฉากกับระนาบที่ของไหลสัมผัส

เราสามารถแบ่งของไหลออกได้เป็นสองสถานะคือของเหลวและแก๊ส ของเหลวมีคุณสมบัติอัดตัวได้ยาก(incompressible) ของเหลวจำนวนหนึ่งจะมีปริมาตรคงที่เสมอ ไม่ว่าจะบรรจุอยู่ในภาชนะรูปร่างแบบใด และของเหลวจะมีผิวอิสระ(Free surface) เกิดขึ้นเป็นขอบเขตกั้นไว้ระหว่างของเหลวกับอากาศที่อยู่เหนือของเหลว ส่วนแก๊สมีคุณสมบัติอัดตัวได้ง่าย(Compressible) แก๊สจะขยายตัวเต็มภาชนะที่บรรจุและไม่มีผิวอิสระเหมือนกับของเหลว

ความแตกต่างระหว่างของแข็งกับของเหลว

1. ภายในช่วงยืดหยุ่น (Elastic limit) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของแข็งจะเป็นไปในลักษณะที่ว่า ความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นกับของแข็งเป็นสัดส่วนกับความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอก ส่วนในกรณีของของไหล อัตราการเกิดความเครียดจะเป็นสัดส่วนกับความเค้น

2. ความเครียดของของแข็งไม่ขึ้นกับเวลาที่แรงภายนอกกระทำ และถ้าอยู่ภายในช่วงยืดหยุ่นเมื่อเอาแรงภายนอกออกของแข็งจะกลับคืนสู่รูปร่างเดิม แต่ในกรณีของของไหล ของไหลจะเกิดการไหลต่อไปเรื่อยๆขณะที่รับแรงภายนอกและจะไม่กลับคืนสู่รูปร่างเดิมเมื่อเอาแรงภายนอกออก

2.2 ความรู้เบื้องต้นและคุณสมบัติทั่วไปของสี

สีเป็นของไหลที่อยู่ในสถานะของของเหลวประเภทหนึ่ง สีจัดเป็นสารประกอบทางเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย พบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น สีที่ใช้ทาอยู่ตามฝาผนังอาคารบ้านเรือน และใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆเช่น ใช้ทาเครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ สีสามารถแบ่งย่อยออกเป็นหลายประเภทเช่น สีน้ำ สีน้ำมัน สีพลาสติก เป็นต้น ซึ่งสีโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ตัวด้วยกันดังนี้คือ

1. ผงพื้นสี เป็นวัสดุที่ทำให้ยึดเกาะติดกับผิวชิ้นงานโดยทั่วไปจะใช้ผงตะกั่ว ผงสังกะสี และผงติตาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น

2. ผงแม่สี เป็นตัวที่ทำให้เกิดฟิล์มเคลือบเกิดเป็นสีต่างๆขึ้นตามต้องการ ผงแม่สีส่วนใหญ่ได้มาจากแร่ต่างๆเช่น สีแดงได้มาจากตะกั่วแดงและออกไซด์ของเหล็ก สีน้ำเงินได้มาจากโคบอลท์และสีดำได้มาจากแกรไฟต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำยาซักแห้ง เป็นน้ำยาที่ทำให้สีแห้งเร็วยิ่งขึ้น

4. ตัวทำละลาย เป็นสารละลายที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยผสมผงพื้นสีและผงแม่สีให้เข้ากัน โดยทั่วไปมักใช้ทินเนอร์ น้ำมันสนและน้ำมันลินสีต เป็นต้น

คุณสมบัติทั่วไปเกี่ยวกับสี

1. คุณสมบัติทางกายภาพ โดยทั่วไปคุณสมบัติทางกายภาพของสีจะบอกในรูปของค่าความหนาแน่นและค่าความหนืด ซึ่งค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่แสดงความเข้มข้นของสีโดยคิดเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร ส่วนค่าความหนืดเป็นค่าที่แสดงถึงความต้านทานในการไหลของสี ตัวอย่างค่าความหนาแน่นและความหนืดของสีชนิดต่างๆมีดังนี้

สีน้ำธรรมดา ค่าความหนาแน่นประมาณ 1,500-1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ค่าความหนืดประมาณ 3,000-3,500 เซนติพอยท์

สีน้ำชนิดพิเศษ ค่าความหนาแน่นประมาณ 1,300-1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ค่าความหนืดประมาณ 1,150-1,500 เซนติพอยท์

สีน้ำมัน ค่าความหนาแน่นประมาณ 1,000-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ค่าความหนืดประมาณ 900-1,000 เซนติพอยท์

2. คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางเคมีจะอยู่ในรูปของการกัดกร่อน (Corrosion) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของสีแต่ละประเภทด้วย เช่นสีน้ำมันที่มีส่วนผสมของทินเนอร์จะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนวัสดุประเภทยางและพลาสติก สีน้ำมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดสนิมในวัสดุประเภทเหล็กเป็นต้น ดังนั้นจากลักษณะคุณสมบัติทางเคมีของสีดังกล่าว มีส่วนสำคัญอย่างมากในการตัดสินใจเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ

2.3 ของไหล Newtonian และ non-Newtonian

โดยทั่วไปสีจัดเป็นของไหลที่มีคุณสมบัติการประพฤติตัวเป็นแบบ non-Newtonian fluids ซึ่งเป็นได้ทั้งชนิดที่ขึ้นกับเวลาและชนิดที่ไม่ขึ้นกับเวลา สีบางประเภทที่เป็นแบบ non-Newtonian fluids ชนิดที่ไม่ขึ้นกับเวลาจะมีการประพฤติตัวเป็นประเภทที่เรียกว่า Pseudoplastic fluids ส่วนสีบางประเภทที่เป็นแบบ non-Newtonian fluids ชนิดที่ขึ้นกับเวลาจะมีการประพฤติตัวเป็นประเภทที่เรียกว่า Thixotropic fluids ซึ่งรายละเอียดของของไหลทั้งแบบที่เป็น Pseudoplastic fluids , Thixotropic fluids รวมถึงคุณสมบัติของ Newtonian fluids และ non-Newtonian fluids มีดังต่อไปนี้

Newtonian fluids คือของไหลที่มีค่าความเค้นเฉือนแปรผันโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (τ_{yx}) กับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (du/dy)ซึ่งเรียกว่ากฎความหนืดของนิวตันได้ดังนี้

$$\tau_{yx} = \mu\left(\frac{du}{dy}\right) \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ τ_{yx} คือค่าความเค้นเฉือนมีหน่วยเป็น N/m²

μ คือค่าความหนืดสัมบูรณ์มีหน่วยเป็น N·s/m²

$\left(\frac{du}{dy}\right)$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีหน่วยเป็น 1/s

ส่วน non-Newtonian fluids คือของไหลที่ค่าความเค้นเฉือนไม่แปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ของไหลโดยทั่วไปมักจะแสดงพฤติกรรมเป็นแบบของไหล non-Newtonian แทบทั้งสิ้น ของไหลแบบนี้ยังแบ่งออกได้อีกสองประเภทคือ แบบที่การไหลขึ้นกับเวลา และแบบที่การไหลไม่ขึ้นกับเวลา ดังแสดงในรูปที่2.1 สมการที่ได้จากการทดลองเชิงตัวเลขสำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง τ_{yx} และ du/dy ในกรณีที่ของไหลไม่ขึ้นกับเวลามักนิยมใช้ Power-low model ในการคำนวณในทางวิศวกรรม และเมื่อพิจารณาการไหลในหนึ่งมิติจะได้ว่า

$$\tau_{yx} = k\left(\frac{du}{dy}\right)^n \tag{2.2}$$

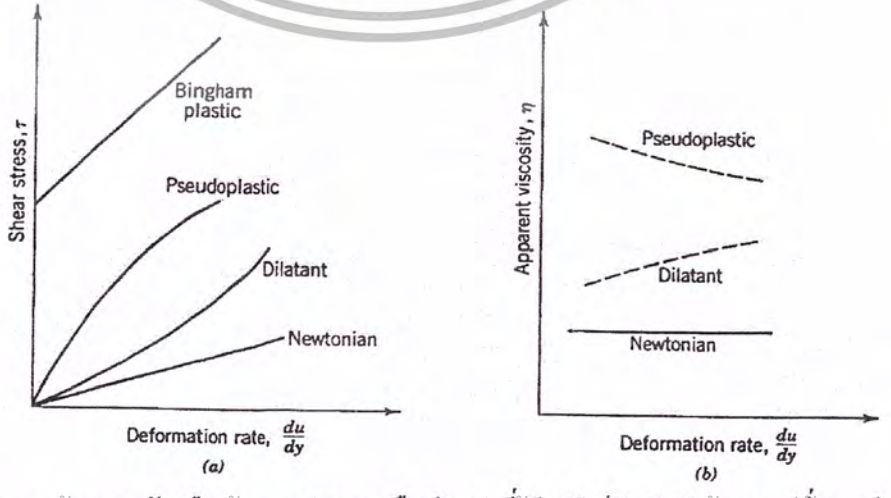
เมื่อ n คือดัชนีพฤติกรรมของการไหล (flow behavior index)

k คือดัชนีความสม่ำเสมอ (consistency index)

ซึ่งสมการนี้เมื่อเทียบกับกฎความหนืดของนิวตันแล้ว n=1 และ $k=\mu$ นั่นเอง สมการนี้อาจเขียนใหม่ได้ว่า

$$\tau_{yx} = k\left|\frac{du}{dy}\right|^{n-1}\bullet\frac{du}{dy} = \eta\frac{du}{dy} \tag{2.3}$$

ซึ่งเทอม $\eta = k\left|\frac{du}{dy}\right|^{n-1}$ จะถูกเรียกว่า ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) โดยทั่วไปแล้วความหนืดปรากฏของของไหล non-Newtonian นี้จะมีค่าสูงกว่าความหนืดของน้ำมาก



รูปที่ 2.1 แสดง a) ความเค้นเฉือนและ b) ความหนืดปรากฏที่เป็นฟังก์ชันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหล non-Newtonian สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

1. ของไหล non-Newtonian ชนิดที่การไหลไม่ขึ้นกับเวลาแบ่งย่อยได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1.1 Bingham plastic fluid: คือของไหลซึ่งมีพฤติกรรมทำนองเดียวกับของแข็ง จนกระทั่งค่าความเค้นเฉือนต่ำสุด (τ_{yx}) ถูกทำให้มีมากเพียงพอ จึงจะแสดงความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเปลี่ยนรูปร่าง โดยมีแบบจำลองดังนี้

$$\tau_{yx} = \tau_y + \mu_p \frac{du}{dy} \tag{2.4}$$

1.2 Pseudoplastic fluids คือของไหลความหนืดปรากฏลดลง เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มขึ้น (n<1)เรียกอีกชื่อว่าพลาสติกเทียม ซึ่งของไหล non-Newtonian โดยส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น สารละลายโพลีเมอร์ , สี , การกระจายของอนุภาคคอลลอยด์และเยื่อกระดาษในน้ำเป็นต้น

1.3 Dilatant fluids คือของเหลวที่มีความหนืดปรากฏลดลง เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลดลง (n>1) ซึ่งได้แก่ การกระจายของแป้งหรือเม็ดทรายเป็นต้น

2. ของไหลแบบ non-newtonian การไหลขึ้นกับเวลาซึ่งแบบย่อยได้เป็น

2.1 Thixotropic fluid คือของเหลวที่มีความหนืดปรากฏลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เช่น สี มาร์การีน, น้ำผึ้ง เป็นต้น

2.2 Rheopectic fluids คือของเหลวที่มีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

2.3 Viscoclastic fluids คือของเหลวที่มีพฤติกรรมการยืดหยุ่นในบางครั้ง เช่นเยลลี่

2.4 การไหลในท่อและการสูญเสียในท่อ (Total head loss)

การสูญเสียในท่อจะแบ่งเป็นสององค์ประกอบย่อยคือ การสูญเสียหลัก (Major loss) ซึ่งเกิดเนื่องจากความเสียดทานในการไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ และการสูญเสียรอง (Minor loss) เนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ ลักษณะของทางเข้า ข้อต่อหรือการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อแบบต่างๆ

การสูญเสียหลัก

จากสมการพลังงาน (Energy equation) ที่รู้จักกันทั่วไปสามารถลดรูปให้เหลือเป็นสมการเบอร์นูลลี่ (Bernoulli equation) ดังนี้

$$\left[\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right] - \left[\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right] = h_{lt} \tag{2.5}$$

สมการดังกล่าวสามารถใช้ในการหาการสูญเสียหลักได้ โดยการให้การไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ $\left[\alpha_1 \frac{v_1^2}{2}\right] = \left[\alpha_2 \frac{v_2^2}{2}\right]$ และท่อวางในแนวราบ $(gz_1 = gz_2)$ สมการดังกล่าวจะลดรูปลงเหลือ

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} = h_l \tag{2.6}$$

นั่นคือการสูญเสียหลักสามารถเขียนในรูปของความดันสูญเสีย (Pressure loss) สำหรับการไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่และวางในแนวราบและเนื่องจาก Head loss เป็นการเปลี่ยนรูปของพลังงานเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอิทธิพลของความเสียดทานจากพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้น Head loss สำหรับการไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่จึงขึ้นกับรายละเอียดของการไหลในท่อเท่านั้น

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

สำหรับการไหลแบบราบเรียบนั้นความดันที่ลดลงอาจคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\Delta P = \frac{128\mu LQ}{\pi D^4} = 32\frac{L}{D}\frac{\mu\bar{v}}{D} \tag{2.7}$$

เมื่อแทนลงในสมการก่อนหน้านี้จะได้

$$h_l = 32\frac{L}{D}\frac{\mu\bar{v}}{\rho D} = \left(\frac{64}{\mathrm{Re}}\right)\frac{L}{D}\frac{\bar{v}^2}{2} \tag{2.8}$$

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ในการไหลแบบปั่นป่วนนั้นไม่สามารถสร้างสูตรสำหรับคำนวณความดันที่ลดลงได้เช่นเดียวกับกรณีการไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยผลจากการทดลองและใช้การวิเคราะห์มิติเพื่อสร้างสหสัมพันธ์(Correlate) สุดท้ายจะได้สมการที่ใช้สำหรับหาค่า Head loss เป็น

$$h_l = f\frac{L}{D}\frac{\bar{v}^2}{2} \tag{2.9}$$

ซึ่งค่า f สามารถหาได้จาก Moody diagram ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยจำเป็นต้องรู้ค่า Reynold number (Re) และค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (e/d) ซึ่งค่าความขรุขระสัมบูรณ์ของท่อชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 2.1 ในการเปิดไดอาแกรมโดยจากไดอาแกรมจะเห็นได้ว่าค่า f สำหรับการไหลแบบราบเรียบจะมีค่าเท่ากับ 64/Re ซึ่งจะขึ้นกับค่า Renold number เท่านั้น ไม่ขึ้นกับค่าความขรุขระ (Roughness) ของท่อเลย

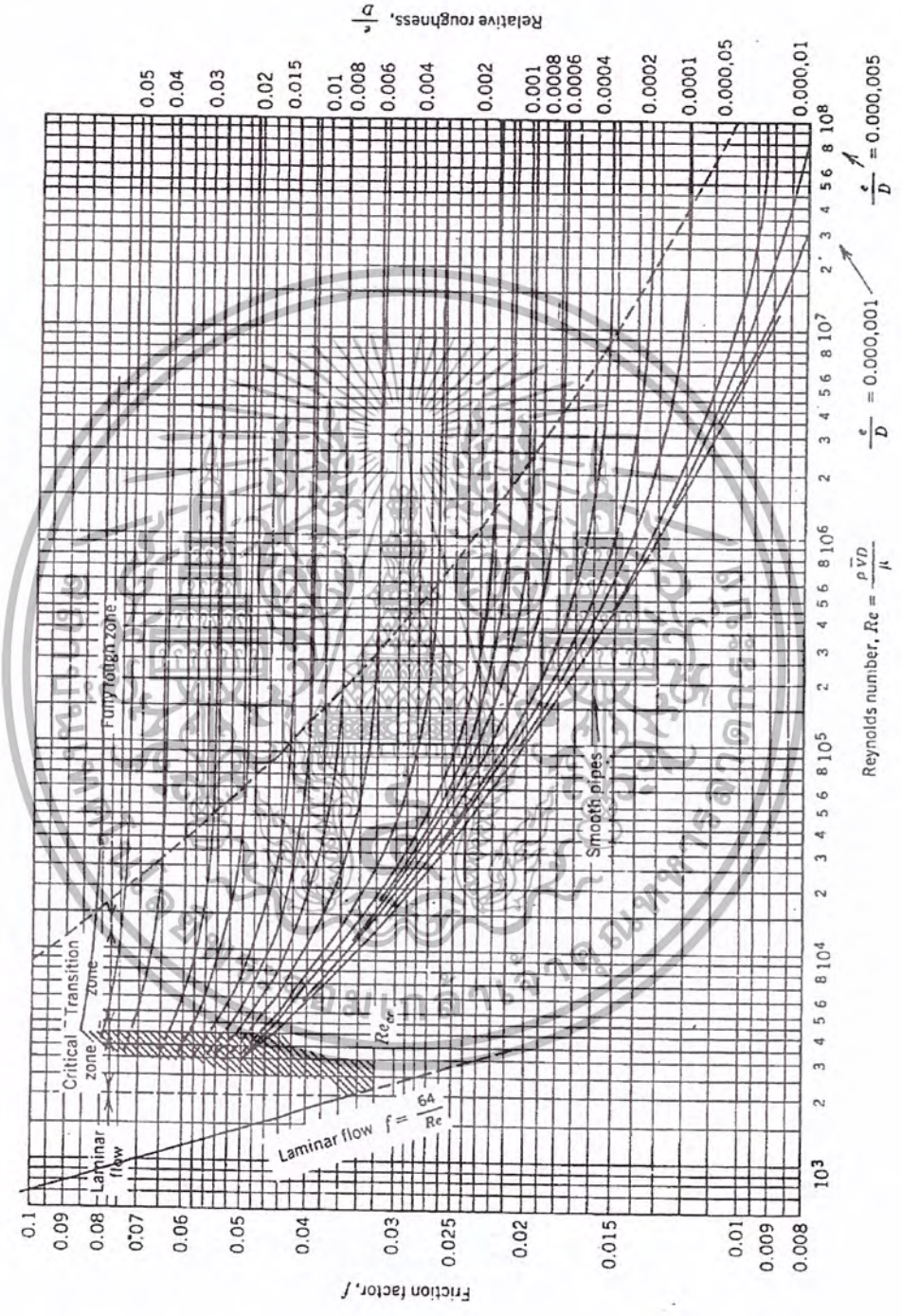
	mm
ท่อจากการรีด, ท่อทองเหลือง, ท่อตีบุก, หลอดแก้ว, ท่อคอนกรีตที่หล่อโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์	0.0015
ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียวในท้องตลาด	0.046
ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปโดยการเชื่อม	0.046
ท่อเหล็กหล่อเคลือบด้วยยางมะตอย	0.120
ท่อเหล็กเคลือบสังกะสี	0.150
ท่อเหล็กหล่อ, ค่าเฉลี่ย	0.250
ท่อไม้	0.180 - 0.900
ท่อคอนกรีต	0.300 – 3.000
Riveted steel	0.900 – 9.000

ตารางที่ 2.1 แสดงความขรุขระสัมบูรณ์ ε ของท่อใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียรอง

การสูญเสียรองเกิดจากมีการไหลในระบบซึ่งไหลผ่านข้อต่อ ท่อโค้งหรือมีการเปลี่ยนพื้นที่แบบต่างๆซึ่งมีนิยามดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดง Moody diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{lm} = k\frac{\bar{V}^2}{2} \qquad (2.10)$$

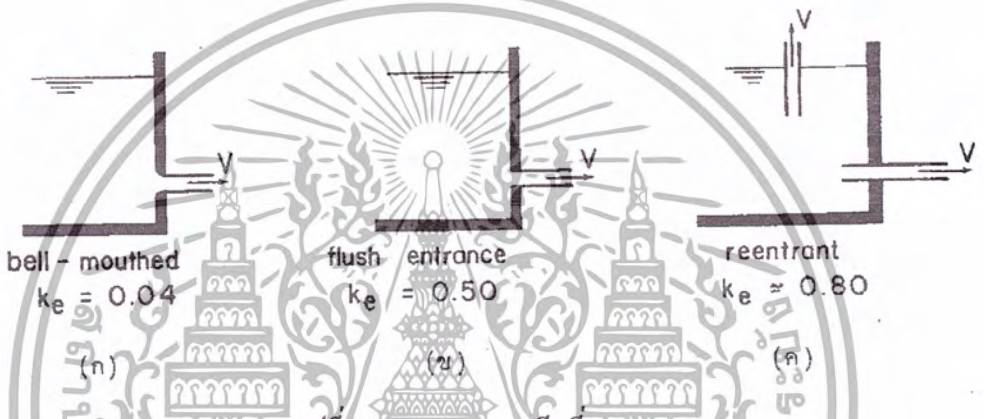
โดย k คือสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) ซึ่งได้จากการทดลองเป็นกรณีๆไปในบางครั้งการสูญเสียรองอาจจะหาได้จาก

$$h_{lm} = f\frac{Le}{D}\frac{\bar{V}^2}{2} \qquad (2.11)$$

โดย Le คือความยาวเทียบเท่า (Equivalent length) ของท่อตรง

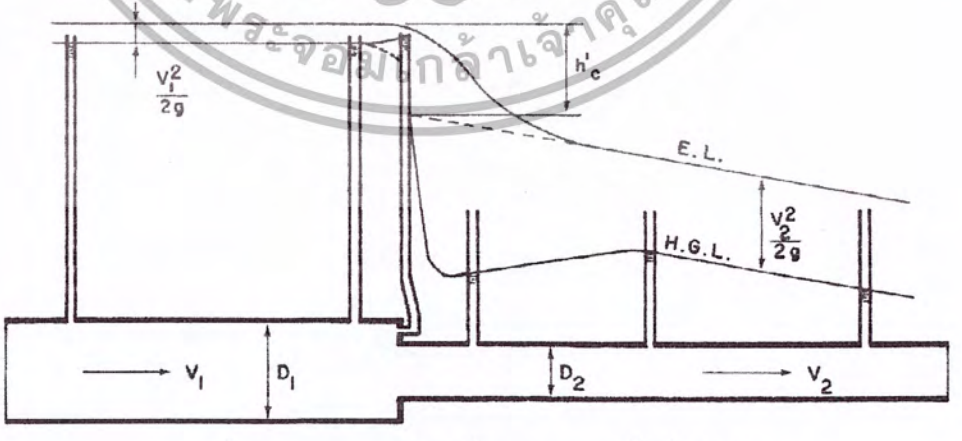
สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (k) สามารถหาได้จากผลการทดลองเป็นกรณีดังต่อไปนี้

1. การสูญเสียที่ทางออก (Loss of head at entrance) มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการสูญเสียที่ทางออก

2. การสูญเสียในจากการลดพื้นที่หน้าตัด (Loss due to contraction) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D_2/D_1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
k_c	0.50	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33
D_2/D_1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
k_c	0.28	0.22	0.15	0.06	0.00	

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัด

3. การสูญเสียเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด (Loss due to enlargement) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

รูปที่ 2.5 แสดงการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด

$\frac{D_2}{D_1}$	มุมกราย α						
	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1.2	0.02	0.04	0.09	0.16	0.25	0.35	0.37
1.4	0.03	0.06	0.12	0.23	0.36	0.50	0.53
1.6	0.03	0.07	0.14	0.26	0.42	0.57	0.61
1.8	0.04	0.07	0.15	0.28	0.44	0.61	0.65
2.0	0.04	0.07	0.16	0.29	0.46	0.63	0.68
2.5	0.04	0.08	0.16	0.30	0.48	0.65	0.70
3.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.48	0.66	0.71
4.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.49	0.67	0.72
5.0	0.04	0.08	0.16	0.31	0.50	0.67	0.72

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

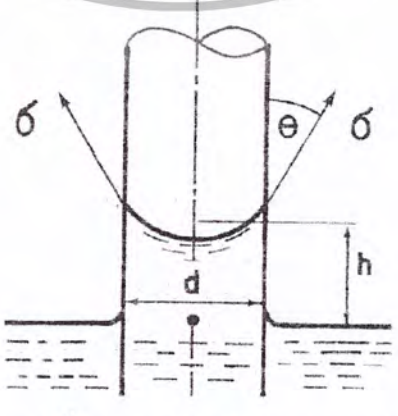
4. การสูญเสียในข้อต่อ (Loss in pipe fitting) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ชนิดของข้อต่อ	k	L/D
Globe valve, เปิดเต็มที่	10	350
Angle valve, เปิดเต็มที่	5	175
ข้อโค้งกลับ (close return bend)	2.2	75
สามทาง (Tee)	1.8	67
ข้องอ 90° (short-radius elbow)	0.9	32
ข้อโค้งรัศมีปานกลาง (medium-radius elbow)	0.75	27
ข้อโค้งรัศมียาว (long-radius elbow)	0.60	20
ข้องอ 45° (45° elbow)	0.42	15
Gate valve, เปิดเต็มที่	0.19	7

ตารางที่ 2.4 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อท่อ

2.5 ทฤษฎีแรงตึงผิวของของเหลว

ภายในเนื้อของเหลวโมเลกุลของของเหลวอยู่ภายใต้แรงดึงดูดเท่ากันในทุกทิศทุกทาง แรงดึงดูดนี้เกิดจากโมเลกุลอื่นที่อยู่รอบๆ แต่ที่ผิวอิสระระหว่างของเหลวสัมผัสกับอากาศแรงดึงขึ้นกับแรงดึงลงในของเหลวมีค่าไม่เท่ากัน ผิวหน้าของของเหลวจึงอยู่ภายใต้แรงดึงซึ่งมีลักษณะคล้ายแมมเบรน (Membrane) ที่อยู่ภายใต้แรงดึง) แรงดึงนี้มีค่าเท่ากันทุกๆจุดบนผิวของเหลวและกระทำในระนาบของผิวของเหลวดังรูปที่ 2.6 รัศมีความโค้งของผิวสัมผัสไม่มีผลต่อค่าแรงตึงผิว(Surface tension) แรงตึงผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและชนิดของของเหลวกับผิวสัมผัส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงตึงผิวจะมีค่าลดลง ความตึงผิวทำให้หยดของของเหลวมีลักษณะเป็นทรงกลม เช่น หยดน้ำ เม็ดฝนเป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิด Capillary action คือการที่ของเหลวในหลอดมีระดับสูงขึ้นกว่าของเหลวด้านนอก (ถ้าของเหลวทำให้หลอดเปียกได้เช่น น้ำ) ถ้าของเหลวไม่ทำให้หลอดเปียกเช่นปรอท ของเหลวในหลอดจะมีระดับต่ำกว่าของเหลวด้านนอ



รูปที่ 2.6 แสดงการเกิด Capillary rise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 1.6 ให้ (θ) เป็นมุมของเหลวที่สัมผัสกับหลอดแก้วซึ่งเป็นของแข็ง แรงดึงขึ้นเนื่องจากแรงตึงผิวคือ $\sigma\pi d(\cos\theta)$ น้ำหนักของของเหลวที่สูงขึ้นคือ $\gamma\frac{\pi}{4}d^2h$ เนื่องจากอยู่ในสภาวะสมดุลย์;

$$\sigma\pi d(\cos\theta) = \gamma\frac{\pi}{4}d^2h \tag{2.12}$$

$$h = \frac{4Q\cos\theta}{\gamma d} \tag{2.13}$$

เมื่อ h เป็น Capillary rise หรือ Capillary depression ,

σ (Sigma) เป็นแรงตึงผิวมีหน่วยเป็นแรงต่อหน่วยความยาว

γ เป็นน้ำหนักจำเพาะของของเหลว

d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอด

ถ้าเป็นหลอดแก้วสะอาด เมื่อของเหลวเป็นน้ำ $(\theta = 0)$ และเมื่อของเหลวเป็นปรอท $(\theta = 140)$ Capillary action เป็นสิ่งที่ทำให้การอ่านค่าจากเกจ (Gage) ซึ่งทำจากหลอดแก้วเกิดความคลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่นน้ำในหลอดขนาด 6mm. มีระยะ h=4.5mm. ส่วนปรอทมีระยะ h=-1.5mm. เป็นต้น หลอดที่มีขนาดเส้นผ่านกลางโตกว่า 12 mm. มีผลจาก Capillary action น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบนิวแมติค

การวิวัฒนาการของการเปลี่ยนไปใช้เครื่องจักรแบบใหม่ๆ และการใช้เครื่องจักรแทนแรงงานคนในระหว่าง 40 กว่าปีที่แล้วมานี้ ทำให้มนุษย์รู้จักผลผลิตของลมอัดและประโยชน์ที่ได้รับจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานด้วยลมอัดเหล่านี้ จนทำให้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปแล้วตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งนิยมใช้เพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ทุกวันนี้ขอบข่ายการใช้ระบบนิวแมติคได้แพร่หลายมากขึ้น และได้วิวัฒนาการจากการใช้ระบบการทำงานแบบง่ายๆธรรมดาเป็นระบบทำงานโดยอัตโนมัติด้วยเครื่องจักรกลอันทันสมัย

ในการทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยการใช้กลไกทางเครื่องกลและไฟฟ้า บ่อยครั้งจะเห็นว่ามีความยุ่งยากและราคาแพง ถึงแม้ว่าการเคลื่อนที่จะใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลังก็จะพบปัญหาที่ว่า ขนาดช่วงชักจะจำกัด และกำลังงานกับขนาดของอุปกรณ์จะใหญ่โตเป็นเงาตามตัว ด้วยเหตุนี้การพัฒนาสร้างอุปกรณ์นิวแมติคส์ที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังจึงสามารถช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่กล่าวมานี้ได้ จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งซึ่งทำให้ระบบนิวแมติคเข้ามามีบทบาทสำคัญๆมากยิ่งขึ้นในวงการอุตสาหกรรม

3.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ลมอัด

การใช้ลมอัดมีข้อดีดังนี้

1. ทนต่อการระเบิด ลมอัดไม่มีอันตรายจากการระเบิดหรือติดไฟ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ราคาแพงสำหรับป้องกันการระเบิด

2. รวดเร็ว ลมอัดมีความรวดเร็วในการทำงานสูง ลูกสูบมีความเร็วในการทำงาน 1 ถึง 2 เมตรต่อวินาที ถ้าเป็นลูกสูบแบบพิเศษสามารถให้ความเร็วการทำงานได้ถึง 10 เมตรต่อวินาที

3. การส่งถ่ายง่าย การส่งลมอัดไปตามท่อในระยะทางไกลๆสามารถทำได้ง่ายและลมอัดที่ใช้แล้วไม่ต้องนำกลับ สามารถปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศได้เลย

4. เก็บรักษาได้ง่าย ลมอัดสามารถเก็บกักไว้ในถังเก็บลมได้ง่าย ดังนั้นอุปกรณ์ทำงานจึงสามารถทำงานได้ต่อเนื่องจากการใช้ลมอัดจากถังนี้

5. ความปลอดภัยจากงานเกินกำลัง อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบลมอัดจะไม่เกิดการเสียหาย ถึงแม้ว่างานจะเกินกำลัง(Over load)

6. การควบคุมอัตราความเร็ว ความเร็วของลูกสูบสามารถปรับได้ง่ายๆตามต้องการ โดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหลของลม

7. การควบคุมความดัน ความดันของลมอัดสามารถควบคุมได้ง่ายๆ โดยใช้วาล์วควบคุมความดัน

8. สะอาด ลมอัดมีความสะอาดทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้สะอาด

9. โครงสร้างง่ายๆ เช่น ลูกสูบจะมีโครงสร้างง่ายๆธรรมดา มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจะไม่มีกลไกอะไรที่ยุ่งยากและซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การตั้งระยะช่วงชัก โดยการปรับระยะหยุดหรือช่วงชักของลูกสูบ สามารถปรับระยะช่วงชักได้ทุกตำแหน่งจากน้อยสุดถึงมากสุดตามต้องการ

11. อุณหภูมิขณะใช้งาน ลมอัดที่สะอาดปราศจากความชื้นสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง

12. ข้อดีอื่นๆของอุปกรณ์นิวแมติคส์ เช่น กะทัดรัด ทนทาน น้ำหนักเบา และสามารถซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้ลมอัดจะมีข้อดีในการใช้งานต่างๆมากมายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ก็มีข้อเสียเช่นเดียวกันดังนี้

1.ลมอัดถูกอัดตัวได้ ด้วยเหตุที่อากาศสามารถอัดตัวได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงานไม่สม่ำเสมอ

2.ลมอัดมีความชื้น ลมอัดจะถูกทำให้เย็นลงหลังจากการถูกอัดเข้าไปเก็บซึ่งทำให้เกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำภายในถังเก็บลมและท่อลมในวงจร

3.ลมอัดต้องการเนื้อที่มาก เนื่องจากความดันลมอัดที่ใช้ในวงจรนิวแมติคไม่สูงมากนัก (ประมาณ 6บาร์) ทำให้กระบอกสูบต้องมีขนาดใหญ่มาก ถ้าต้องการใช้แรงมากๆ

4.ลมอัดมีเสียงดัง เมื่อลมอัดระบายออกจากอุปกรณ์ทำงาน ไอเสียที่ออกมาจะทำให้เกิดเสียงดังมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเก็บเสียง(Silencer)

5.ความดันของลมอัดเปลี่ยนแปลง ความดันของลมอัดจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น และความดันจะลดลงถ้าอุณหภูมิลดต่ำลง

3.2 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวแมติค

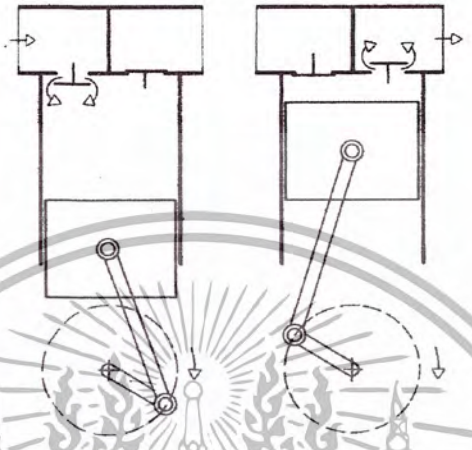
อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวแมติคประกอบไปด้วยชุดสร้างลมอัด ถังเก็บกักลมอัด ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด อุปกรณ์ทำงาน และวาล์วควบคุมการทำงาน

3.2.1 ชุดสร้างแรงดัน

ชุดสร้างแรงดันประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์และถังเก็บลม ขนาดของชุดสร้างแรงดันหรือขนาดของคอมเพรสเซอร์ขึ้นอยู่กับปริมาณลมอัดที่ต้องการและยังขึ้นอยู่กับชนิดของการติดตั้งด้วย คือจะติดตั้งถาวรอยู่กับที่ หรือ แบบเคลื่อนยายได้ ชุดสร้างแรงดันชนิดเคลื่อนย้ายได้ส่วนใหญ่คอมเพรสเซอร์จะสร้างมาเป็นชุดเดียวถังเก็บลมและอุปกรณ์ช่วยอื่นๆ ปริมาณของลมอัดชนิดแบบเคลื่อนย้ายได้จึงมีขีดจำกัดเพราะว่าขนาดของมันไม่สามารถทำใหญ่โตมากได้เนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายบ่อยๆนั่นเอง ส่วนชุดสร้างแรงดันคอมชนิดติดตั้งแบบถาวรจะมีปริมาณการจ่ายลมไปสู่จุดต่างๆในโรงงานแบบคงที่ ถ้าชุดสร้างแรงดันมีขนาดใหญ่ควรจะมีห้องต่างหากโดยเฉพาะและควรเป็นที่ซึ่งมีอากาศแห้ง สะอาด ปราศจากฝุ่นละออง คอมเพรสเซอร์ภายในชุดสร้างแรงดันมีหน้าที่อัดอากาศจากความดันปกติ (ความดันบรรยากาศ) ให้มีความดันสูงขึ้นตามความต้องการ การเลือกใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆจะขึ้นอยู่กับลักษณะงาน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความดันใช้งานและปริมาณการจ่ายลมด้วย คอมเพรสเซอร์สามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดดังต่อไปนี้

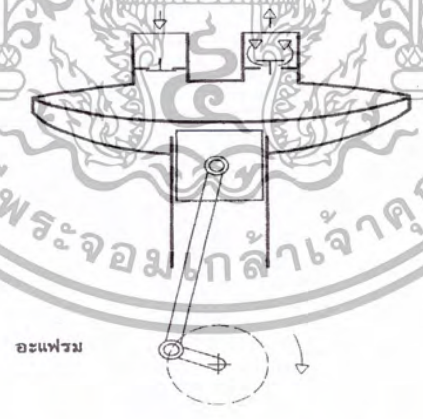
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Piston compressors) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบลูกสูบชัก(Reciprocation piston) และแบบลูกสูบหมุน(Rotary piston) ในปัจจุบันนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะคอมเพรสเซอร์แบบนี้เหมาะสำหรับความดันต่ำ ความดันปลานกลาง และความดันสูง ด้วยอัตราการจ่ายลมที่สามารถทำได้ตั้งแต่ 2 ถึง 3 ลิตรต่อนาที จนถึง 500 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที



รูปที่ 3.1 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

2. คอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม (Diaphragm compressor)ดังแสดงในรูปที่ 3.2 คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ จัดอยู่ในประเภทลูกสูบเช่นเดียวกัน แต่ห้องอัดอากาศกับลูกสูบจะถูกกั้น โดยแผ่นไดอะเฟรม ดังนั้น ลมอัดจะสะอาดปราศจากน้ำมัน

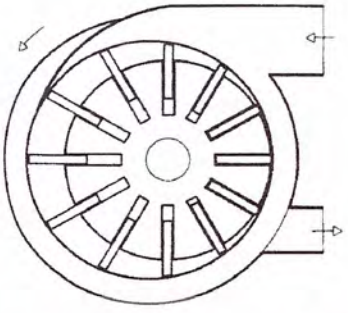


รูปที่ 3.2 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบไดอะแฟรม

3. คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดเลื่อน (Sliding vane rotary compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ตัวใบพัดเลื่อนจะติดอยู่กับชุดตัวหมุน(Rotor) และวางเยื้องศูนย์อยู่กับเรือนสูบเมื่อชุดตัวหมุนเริ่มทำงาน ตัวใบพัดเลื่อนจะสามารถเลื่อนขึ้นลงอยู่ในร่องของตัวหมุน โดยปลายอีกด้านจะสัมผัสตัวเรือน ทำให้สามารถกวาดดูดอากาศจากด้านหนึ่งออกไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ปัจจุบันเริ่มเป็นที่นิยมใช้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น ข้อดีของคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ก็คือหมุนได้เรียบและไม่มีเสียงดัง การผลิตลมอัดที่ไม่เป็นห้วงๆ เหมือนแบบลูกสูบชัก อัตราการจ่ายลมทำได้ตั้งแต่ 4 จนถึง 100 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

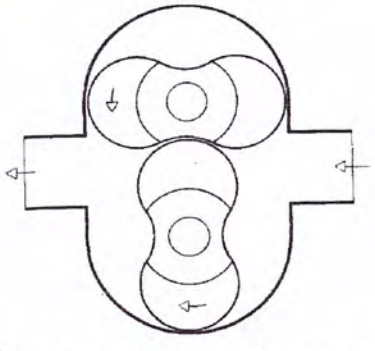


รูปที่ 3.3 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบใบพัดเลื่อน

4. คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้จะมีเพลาอยู่ 2 แกน เพลาตัวหนึ่งจะมีสกรูซึ่งมีสันฟันนูน และเพลาอีกตัวจะมีสกรูที่มีฟันเว้าสกรูทั้งสองจะประกอบอยู่ภายในเรือนเดียวกัน และวางขบกันอยู่มีทิศทางการหมุนเข้าหากัน ซึ่งทำให้สามารถดูดอัดลมจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้ อัตราการจ่ายลมสามารถผลิตได้ถึง 170 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

รูปที่ 3.4 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบสกรู

5. คอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน (Roots compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ อากาศจะถูกดูดจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยไม่ถูกเปลี่ยนแปลงปริมาตร นั่นคือ อากาศไม่ถูกอัดขณะถูกดูดจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง แต่อากาศจะถูกอัดตัวต้านกับความต้านทานที่เกิดขึ้นอีกด้านหนึ่ง ซึ่งหมายถึงอากาศที่ถูกอัดเก็บอยู่ภายในถังเก็บนั้นเอง

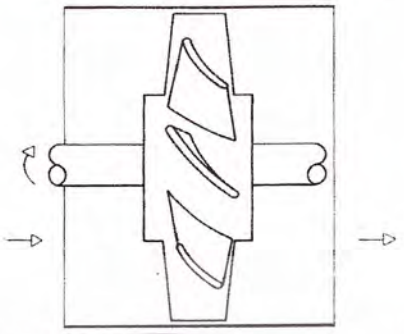


รูปที่ 3.5 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบใบพัดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

6. คอมเพรสเซอร์แบบกังหัน (Turbo compressor) คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ใช้หลักการของกังหันใบพัด ซึ่งความเร็วของลมอัดที่ถูกดูดไหลผ่านใบกังหัน จะถูกเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานลมอัด โดยที่คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้สามารถผลิตอัตราการจ่ายลมได้ตั้งแต่ 170 จนถึง 20000 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที



รูปที่ 3.6 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบกังหันชนิดลม

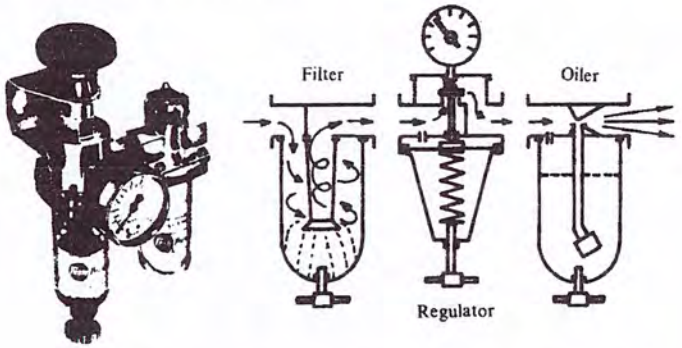
3.2.2 ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Service Unit)

ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัดมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากในระบบนิวแมติค มันช่วยลดความฝืดและยังทำให้อุปกรณ์เกิดการสึกหรอลดน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์นิวแมติค โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัดมักจะทำมาเป็นชุดเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ตัวด้วยกันดังนี้

1. หม้อกรองลมอัด (Compressed Air Filter) ทำหน้าที่เป็นตัวกักฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ รวมทั้งละอองน้ำที่กลั่นตัวที่มากับลมอัดไม่ให้สิ่งเหล่านี้เข้าไปในระบบได้

2. ตัวควบคุมความดันลมอัด (Compressed Air Regulator) มีหน้าที่รักษาความดันใช้งาน (ด้านออก) ให้คงที่อยู่เสมอโดยไม่ขึ้นกับความดันที่เปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ทางด้านต้นทาง (ทางเข้า) และปริมาณการใน
ทางด้านปลายทาง แต่มีข้อแม้อยู่ว่าความดันทางด้านต้นทาง (Primary) จะต้องสูงกว่าความดันทางด้านปลายทาง (Secondary) เสมอ

3. ตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (Compressed Air Lubricator) ทำหน้าที่พ่นละอองน้ำมันหล่อลื่นให้ปนไปกับลมอัดไปหล่อลื่นอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวแมติค เพื่อลดการเสียดสีกันโดยตรงของอุปกรณ์ทำให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานได้นานยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

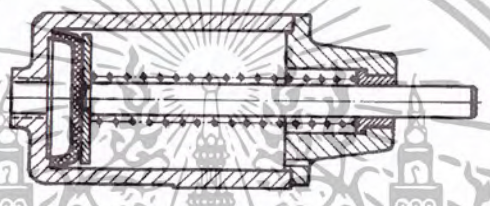
50154

3.2.3 อุปกรณ์ทำงานของระบบนิวแมติค (Pneumatic working elements)

อุปกรณ์ตัวทำงานของระบบนิวแมติคในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล โดยตัวเปลี่ยนแปลงพลังงานนี้มีทั้งแบบที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงซึ่งในที่นี้เรียกว่าลูกสูบลม(Air cylinder) และแบบเคลื่อนที่ในแนวหมุนซึ่งในที่นี้เรียกว่ามอเตอร์ลม (Air motor) ทั้งลูกสูบลมและมอเตอร์ลมยังสามารถแบ่งออกเป็นหลายแบบดังนี้

1. อุปกรณ์ทำงานแบบเชิงเส้นของระบบนิวแมติค(Linear-acting pneumatic elements) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากพลังงานลมอัดมาเป็นพลังงานกลในการเคลื่อนที่เชิงเส้นก็คือลูกสูบลม (Air cylinder) โดยลูกสูบถูกทำให้เคลื่อนที่อยู่ภายในกระบอกสูบด้วยลมอัดส่งกำลังงานผ่านก้านสูบไปใช้งาน ลูกสูบลมที่นิยมใช้งานอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิดคือ

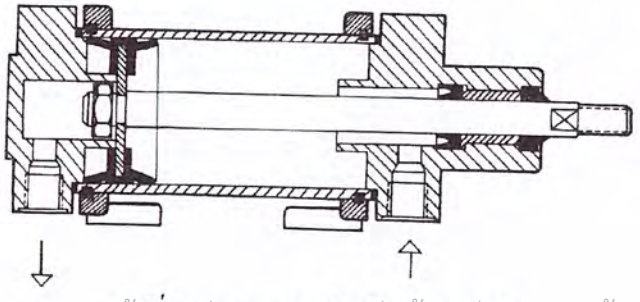
1.1 ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียว(Single-acting cylinder) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียว

ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียวจะเคลื่อนที่ออกด้วยลมอัดที่ดันด้านหัวลูกสูบ ส่วนในจังหวะเคลื่อนที่กลับสามารถวิ่งกลับได้โดยสปริงภายในกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออกหรือก้านสูบเลื่อนออกจากกระบอกสูบเรียกว่าการเคลื่อนที่ทิศทางบวก(Positive movement) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเลื่อนเข้าเรียกว่าการเคลื่อนที่ทิศทางลบ (Negative movement) การที่ลูกสูบทำงานทางเดียวมีสปริงดันกลับภายในจะมีผลทำให้เป็นตัวจำกัดความยาวช่วงชัก ด้วยเหตุนี้ความยาวของช่วงชักของลูกสูบชนิดนี้ โดยทั่วไปจะยาวไม่เกิน 100 mm. เนื่องจากลูกสูบชนิดนี้ทำงานทางเดียว ดังนั้นในจังหวะเลื่อนกลับจึงไม่ควรรับภาระใดๆทั้งสิ้น ตัวอย่างงานสำหรับลูกสูบชนิดนี้ เช่น งานจับยึดชิ้นงาน ตัวยันงาน งานป้อนทิศทางเดียว งานกดหรืออัด งานยกของ และอื่นๆ เป็นต้น

1.2 ลูกสูบลมชนิดทำงานสองทาง(Double-acting cylinder) ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลูกสูบลมชนิดทำงานสองทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกสูบชนิดทำงานสองทาง ลมอัดจะดันทั้งในจังหวะเลื่อนออกและเลื่อนเข้า ทำให้มีแรงทำงานได้ทั้งสองทิศทาง ลูกสูบชนิดทำงานสองทางส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการช่วงชักยาวๆหรือใช้กับลักษณะงานที่ต้องการใช้แรงทั้งในจังหวะเลื่อนเข้าและเลื่อนออก สิ่งที่เป็นตัวจำกัดขนาดของช่วงชักของลูกสูบชนิดนี้ก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับการสิ้นเปลืองปริมาณของลมอัดในกรณีที่ทำลูกสูบขนาดใหญ่ๆและช่วงชักยาวมากเกินไป และปัญหาเกี่ยวกับการคดงอของก้านสูบ ดังนั้นขนาดลูกสูบที่เหมาะสมและประหยัดจึงมีมาตรฐานกำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

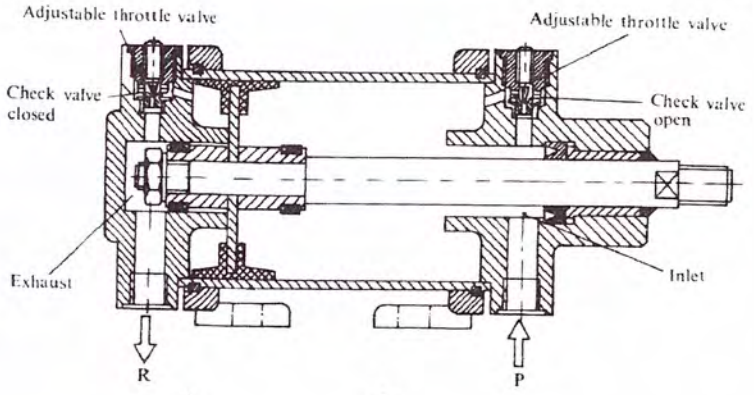
Piston diameter (mm)	Thrust at 6 bars air (kgf)	Standardized strokes (mm)	Minimum-maximum stroke range (mm)
6	1,2	10, 25, 40, 80	10 – 80
12	6	10, 25, 40, 80, 140, 200	10 – 200
16	12	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300	10 – 400
25	24	25, 40, 80, 140, 200, 300	10 – 500
35	52	70, 140, 200, 300	10 – 2000
40	72	40, 80, 140, 200, 300	10 – 2000
50	106	70, 140, 200, 300	10 – 2000
70	208	70, 140, 200, 300	10 – 2000
100	424	70, 140, 200, 300	10 – 2000
140	832	70, 140, 200, 300	10 – 2000
200	1700	70, 140, 200, 300	10 – 1100
250	2600	70, 140, 200, 300	10 – 1100

ตารางที่ 3.1 ขนาดมาตรฐานของลูกสูบ และช่วงชักมาตรฐานจากต่ำสุดถึงสูงสุด

นอกจากนี้ลูกสูบลมแบบทำงานสองทิศทางนี้ ยังสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดดังนี้

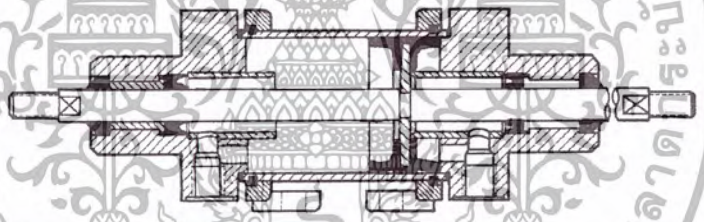
ก. ลูกสูบชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทก(Cylinder with end position cushion) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยเบาะลมกันกระแทกนี้ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของลูกสูบ จากการกระแทกกับผนังหัวท้ายของกระบอกสูบ ใช้ในกรณีที่ก้านสูบต้องรับภาระในการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและความเร็วสูง ตอนปลายช่วงชักของลูกสูบจึงต้องออกแบบให้มีเบาะลมคอยต้านการกระแทกก่อนจะสุดช่วงชัก เบาะลมนี้เกิดจากการปิดทางออกปกติของลมที่ใช้แล้ว (Exhaust) และบังคับให้ลมที่เหลือผ่านออกทางช่องแคบเล็กๆช้าๆ จึงทำให้เกิดความดันต้านกลับ (Back pressure) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบาะลมที่ปลายช่วงชักกันการกระแทกและลดความเร็วของลูกสูบลง ในทางตรงกันข้ามขณะที่ลูกสูบเริ่มเลื่อนออกจากปลายช่วงชัก ปริมาณลมที่เข้ามาดันให้ลูกสูบเลื่อนออกจะดันได้เต็มที่ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงและความเร็วตามต้องการ นอกจากนี้ความดันหรือแรงต้านการกระแทกของเบาะลมนี้ยังสามารถปรับให้มากน้อยได้ตามต้องการ ถ้าเป็นชนิดที่มีสกรูปรับช่องทางลมออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



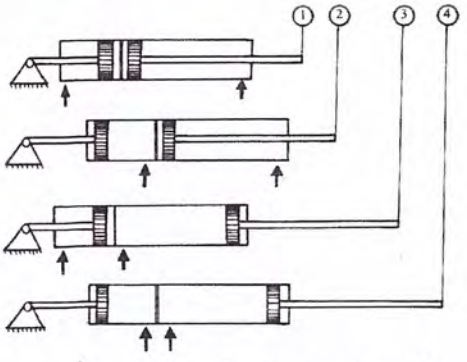
รูปที่ 3.10 ลูกสูบชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทก

ข. ลูกสูบชนิดที่มีก้านสูบสองข้าง (Cylinder with double-sided piston rod) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ลูกสูบชนิดนี้มีข้อดีคือ แบริ่งที่รองรับก้านสูบจะดีกว่าแบบอื่นๆเพราะมีจุดรองรับทั้งสองด้าน ดังนั้นจึงสามารถรับแรงทางด้านตั้งฉากกับก้านสูบได้บ้าง และประคองก้านสูบดีกว่าแบบอื่น แรงดันที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านจะเท่ากันเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบทั้งสองด้านมีขนาดเท่ากัน ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับการวางอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลูกสูบ ก็สามารถใช้ลูกสูบชนิดนี้ได้โดยวางอุปกรณ์ควบคุมไว้ด้านหลัง



รูปที่ 3.11 ลูกสูบชนิดที่มีก้านสูบสองข้าง

ค. ลูกสูบช่วงชักหลายตำแหน่ง (Multiple-position cylinder) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยลูกสูบชนิดนี้ประกอบด้วยลูกสูบแบบทำงานสองทาง 2 ตัวประกอบร่วมกันในกระบอกสูบเดียวกัน ทำให้เกิดช่วงชักหลายตำแหน่งขึ้นโดยการควบคุมช่องทางที่ป้อนเข้าทำงาน



รูปที่ 3.12 ลูกสูบช่วงชักหลายตำแหน่ง

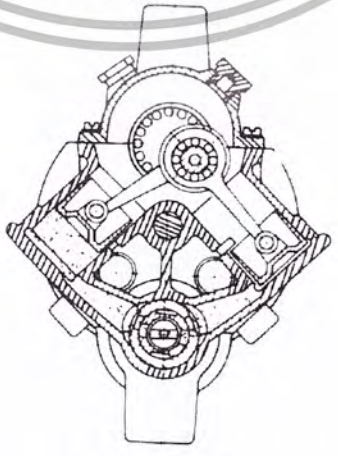
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ทำงานแบบหมุนของระบบนิวแมติค(Rotary-acting pneumatic elements) อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นการหมุนทางด้านเครื่องกลก็คือ มอเตอร์ลม (Pneumatic motor) และลูกสูบหมุน (Rotary cylinder) ซึ่งมีช่วงการหมุนไปและกลับจำกัด อุปกรณ์ทั้งสองประเภทนี้จัดอยู่ในประเภทอุปกรณ์ทำงานแบบหมุน (Rotary working element)

ก. ลูกสูบหมุน(Rotary cylinder or Osillating motor) ลูกสูบชนิดนี้จะเป็นตัวเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวเส้นของลูกสูบเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยอาศัยเฟืองและเฟืองสะพานดังแสดงรูปที่ 3.13 จำนวนรอบที่เฟืองหมุนไปและหมุนกลับขึ้นอยู่กับความยาวช่วงชักของก้านสูบ โดยทั่วไปแล้วมุมที่หมุนไปและกลับมีค่ามาตรฐานดังนี้คือ 45°, 90°, 180°, 290°จนถึง 720° อย่างไรก็ตาม ค่ามุมที่หมุนหรือแกว่งนี้สามารถปรับได้โดยการตั้งระยะช่วงชักด้วยสกรูปรับ ค่าแรงบิดที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงดันของลมอัด ขนาดลูกสูบ และอัตราทด ลักษณะงานที่ใช้กับลูกสูบชนิดนี้คือ การหมุนชิ้นงาน การดัดท่อ เป็นตัวควบคุมวาล์วหมุนและวาล์วเลื่อนแบบต่างๆ

รูปที่ 3.13 ลูกสูบหมุน

ข. มอเตอร์ลม (Pneumatic motor) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 มอเตอร์ลมจะมีทิศทางการหมุนไม่จำกัดมุมคือจะหมุนได้เช่นเดียวกันกับมอเตอร์ไฟฟ้า ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางและจำแนกเป็นหลายประเภท เช่น ใช้ลูกสูบ ใช้ใบพัด หรือฟันหัน เป็นต้น



รูปที่ 3.14 มอเตอร์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

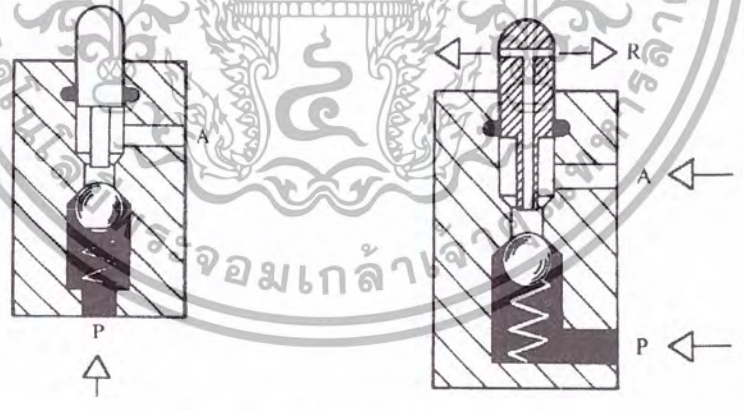
3.2.4 วาล์วในระบบนิวแมติค(Pneumatic Valve)

ระบบการทำงานของนิวแมติคประกอบด้วย อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ทำงาน อุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานที่มีผลต่อการทำงานของลูกสูบก็คือ วาล์วชนิดต่างๆนั่นเอง วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่หลายอย่างในระบบนิวแมติค เช่น การเริ่มและการหยุดการทำงานวงจร การควบคุมทิศทางการไหลของลม การควบคุมอัตราการไหลของลม และการควบคุมความดันเป็นต้น จากหน้าที่หลักต่างๆเหล่านี้ทำให้สามารถจำแนกวาล์วได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1. วาล์วควบคุมทิศทาง(Directional Control Valves) มีหน้าที่ควบคุมทิศทางของลมที่ไหลผ่านวาล์ว โดยใช้หลักการเปิด-ปิดและบังคับทิศทางการไหลของลม จำนวนท่อต่อลมเข้าออก (Port) ของวาล์วชนิดนี้มีหลายแบบเช่น 2 port, 3port, 4port หรือ 5port โดยPort ทางลมเข้ามาจากท่อจ่ายลมและ port ทางออกต่อเข้าลูกสูบหรือเข้าควบคุมวาล์วด้วยกัน และ portไอเสีย(exhaust)ต่อออกสู่บรรยากาศ ลักษณะของการเลื่อนวาล์วมีทั้งแบบที่ใช้การเลื่อนโดยกล้ามเนื้อ การเลื่อนโดยกลไก การเลื่อนโดยใช้ลม การเลื่อนโดยใช้ไฟฟ้า หรือการเลื่อนแบบผสม สามารถแบ่งออกตามลักษณะของโครงสร้างได้ดังนี้

1.1 วาล์วแบบก้านเลื่อน(Poppet valves) วาล์วชนิดนี้เปิด-ปิดด้วยแผ่นซีลกลม ลูกบอลหรือกรวยกลม การซีลบริเวณบ่าวาล์วชนิดนี้ตามปกติจะมีวัสดุประเภทยืดหยุ่นรองรับอยู่ ชิ้นส่วนที่มีการเลื่อนเสียดสีกันจะมีน้อยชิ้น ทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้นและไม่มีปฏิกิริยาต่อฝุ่นละออง การซีลดี โครงสร้างแข็งแรงทนทานแรงที่ใช้กดทำงานของวาล์วชนิดนี้ขึ้นอยู่กับสปริงหรือความดันของลมภายในวาล์ว

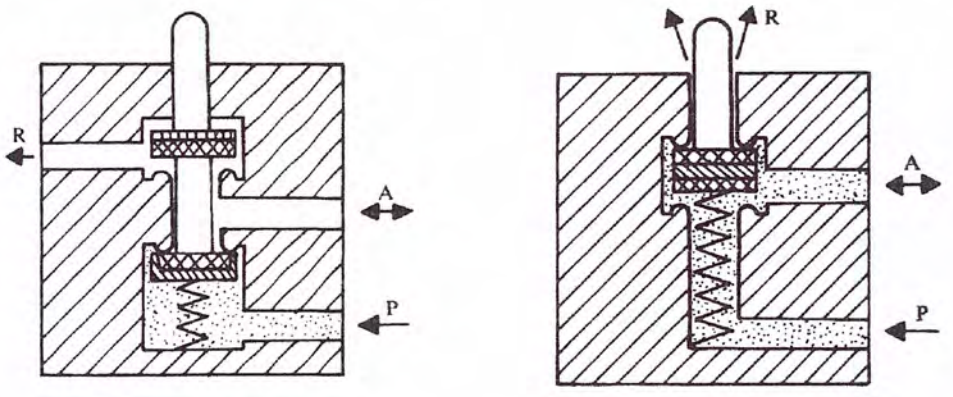
ก. วาล์วแบบลูกบอล(Ball seat valves) โครงสร้างวาล์วชนิดนี้เป็นแบบง่ายๆ มีขนาดเล็กและราคาถูกมาก ส่วนใหญ่จะเป็นวาล์วแบบ 2/2 หรือ 3/2 ตัวอย่างวาล์วแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วาล์วแบบลูกบอล

ข. วาล์วแบบแผ่นกลม(Disc seat valves) โครงสร้างวาล์วชนิดนี้มีหลักการคล้ายๆกับแบบลูกบอล ต่างกันตรงที่ใช้แผ่นวาล์วแทนวาล์วลูกบอล และมีขอบข่ายการออกแบบใช้งานได้มากชนิดกว่า ตัวอย่างของวาล์วแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.16

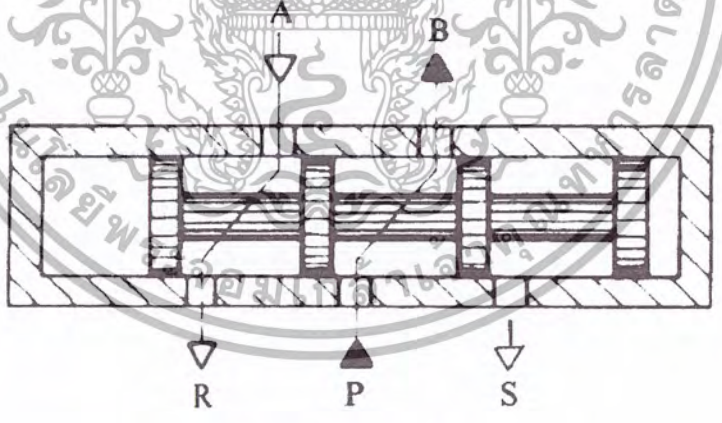
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วาล์วแบบแผ่นกลม

1.2 วาล์วแบบเลื่อน (Slide valves) วาล์วแบบเลื่อนโดยทั่วไปโครงสร้างภายในจะติดเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งสร้างเป็นลูกสูบหลายๆตอน หรือมีแผ่นเลื่อนติดอยู่ หรือเป็นแผ่นแบบหมุนเลื่อนไปมาในเรือนวาล์วซึ่งวาล์วประเภทนี้สามารถจำแนกเป็นแบบย่อยๆ ได้ดังนี้

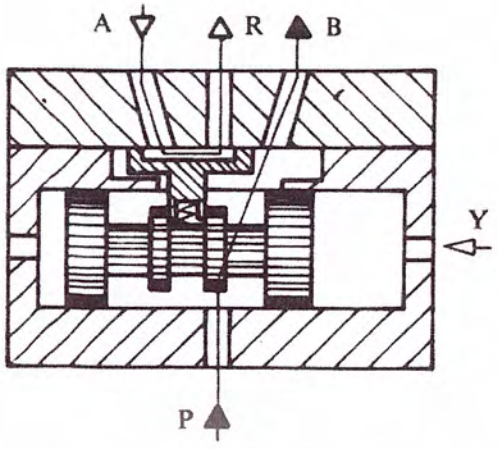
1. วาล์วแบบลูกสูบเลื่อน(Piston slide valves) วาล์วแบบลูกสูบเลื่อนนี้ใช้ลูกสูบเลื่อนเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของลม แรงที่ใช้ดันลูกสูบใช้เพียงเล็กน้อยเพราะว่าไม่มีแรงต้านของสปริงหรือลมอัดในทิศทางตรงข้าม การเลื่อนหรือควบคุมวาล์วชนิดนี้ทำได้หลายวิธี เช่น ใช้กล้ามเนื้อ กลไก แม่เหล็กไฟฟ้า หรือลม เป็นต้นตัวอย่างของวาล์วแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วาล์วแบบลูกสูบเลื่อน

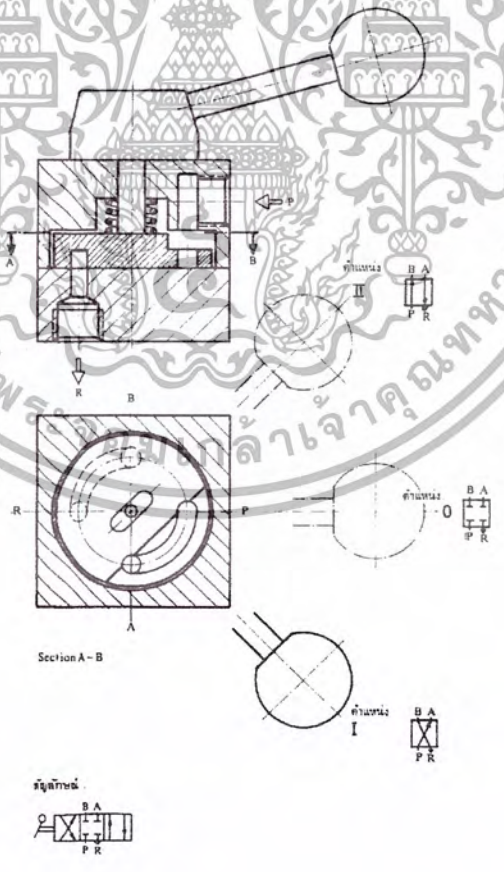
2. วาล์วแบบลูกสูบและแผ่นเลื่อน (Piston flat slide valves) วาล์วแบบนี้มีหลักการและโครงสร้างคล้ายกับแบบลูกสูบเลื่อน ต่างกันที่เพิ่มแผ่นเลื่อนแบนเพื่อใช้เป็นตัวควบคุมทิศทางของลม ส่วนที่สึกหรอต่างๆจะเกิดกับแผ่นเลื่อนนี้มากที่สุด ส่วนซีลวงแหวนบนลูกสูบไม่ต้องเลื่อนผ่านรูใดๆจึงมีการสึกหรอน้อยมาก การสึกหรอของแผ่นเลื่อนนี้มีการชดเชยส่วนที่สึกหรอได้โดยอัตโนมัติ เพราะว่าแผ่นเลื่อนที่แนบสัมผัสกับเรือนวาล์วอาศัยแรงกดจากความดันของลมอัดภายในวาล์วและสปริงดันในตัวของมันเอง ตัวอย่างของวาล์วแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วาล์วแบบลูกสูบและแผ่นเลื่อน

3. วาล์วแบบใช้แผ่นหมุน (Plate slide valve or Rotary slide valve) วาล์วแบบนี้ส่วนใหญ่จะออกแบบตัวเลื่อนทำงานด้วยมือหรือเท้าเพราะว่าเป็นการยากที่จะใช้ตัวเลื่อนชนิดอื่นสำหรับควบคุมวาล์วชนิดนี้เพราะตำแหน่งที่จะเลือกใช้มักจะเลือกตามชอบใจแล้แต่ลักษณะงาน และส่วนใหญ่เป็นวาล์วแบบ 3/3 หรือ 4/3คือมี 3 ตำแหน่งที่เลือกใช้งานได้ สำหรับตัวอย่างของวาล์วชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วาล์วแบบใช้แผ่นหมุน

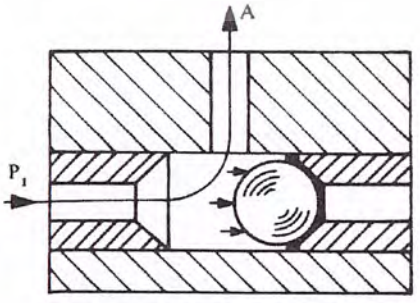
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วาล์วชนิดลมไหลทางเดียว(Non-return Valves) วาล์วชนิดนี้จะอนุญาตให้ลมไหลไปได้เพียงทางเดียวเท่านั้น โดยลมจะไหลย้อนกลับทางเดิมไม่ได้ วาล์วชนิดลมไหลทางเดียวที่มีใช้อยู่ในระบบนิวแมติคสามารถจำแนกออกเป็นหลายชนิดดังนี้

2.1 วาล์วกันกลับ(Check valves) วาล์วชนิดนี้มีคุณสมบัติให้ลมไหลผ่านไปได้เพียงทางเดียว โดยจะไหลย้อนกลับไม่ได้ เมื่อความดันของลมด้านเข้าสูงกว่าแรงต้านของสปริงภายในวาล์วลมก็จะไหลผ่านออกไปได้ ซีลของวาล์วชนิดนี้อาจทำเป็นรูปวงกลม รูปทรงกรวย หรือเป็นแผ่นก็ได้ ประโยชน์ของวาล์วชนิดนี้นอกจากใช้ในวงจรหรืออุปกรณ์ที่ต้องการให้ลมผ่านได้เพียงทางเดียวแล้ว ยังมีประโยชน์สำหรับการแยกอุปกรณ์ต่างชนิดกันไม่ให้มีผลสอดแทรกซึ่งกันและกัน ความต้านทานการไหลผ่านของลมภายในวาล์วกันกลับนี้ ควรจะมีความต้านทานน้อยกว่าอุปกรณ์อื่นๆภายในวงจร สำหรับตัวอย่างของวาล์วกันกลับนี้แสดงดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 วาล์วกันกลับ

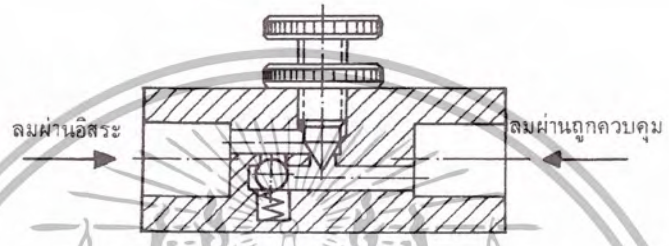
2.2 วาล์วกันกลับชนิดสองทาง (Shuttle valve) วาล์วชนิดนี้มีท่อลมเข้าสองทางและมีท่อลมออกทางเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เมื่อลมเข้าทางท่อ P1 ลูกบอลภายในวาล์วจะปิดท่อ P2 ลมก็จะออกไปยังท่อ A ถ้าลมเข้าทางท่อ P2 ลูกบอลภายในวาล์วจะปิดท่อ P1 ลมก็จะออกไปยังท่อ A อีก และถ้าลมเข้าท่อทั้งสองด้านคือ P1 และ P2 ลมก็ยังสามารถออกสู่ท่อ A ได้เช่นเดียวกัน ในทางตรงข้ามถ้าลมไหลกลับจากท่อ A ก็จะออกสู่ท่อ P1 หรือ P2 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งลูกบอลครั้งสุดท้าย ประโยชน์ของวาล์วชนิดนี้ใช้เมื่อวาล์วควบคุมทิศทาง หรือลูกสูบต้องการจุด Start หลายๆจุด



รูปที่ 3.21 วาล์วกันกลับชนิดสองทาง

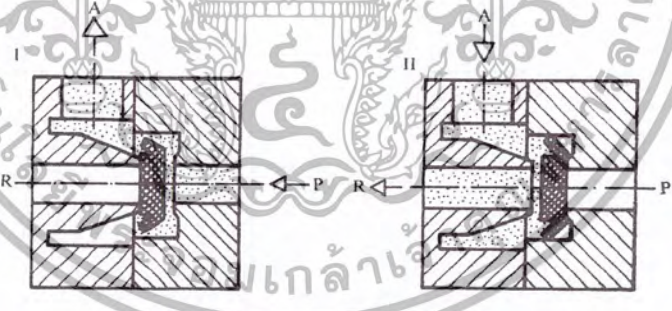
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วาล์วปรับอัตราการไหล (Flow control valves or Restrictor check valves) หรือเรียกอีกอย่างว่าวาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valves) เป็นวาล์วที่ใช้หลักการผสมกันระหว่างวาล์วปรับอัตราการไหลและวาล์วกันกลับ ตามปกติแล้ววาล์วชนิดนี้เป็นวาล์วชนิดลมไหลทางเดียวประเภทหนึ่ง ดังนั้นการควบคุมปริมาณลมหรือการปรับอัตราการไหลของลมที่ผ่านวาล์วชนิดนี้จึงควบคุมได้เพียงทิศทางเดียว ส่วนทิศทางตรงข้ามลมจะผ่านได้อิสระโดยผ่านวาล์วกันกลับ ซึ่งลมจะวิ่งสะดวกกว่าผ่านช่องแคบปรับอัตราการไหล วาล์วชนิดนี้มีประโยชน์คือใช้ควบคุมความเร็วของลูกสูบ โดยการติดตั้งโดยตรงที่ท่อทางลมเข้าและออกลูกสูบ สำหรับตัวอย่างของวาล์วชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วาล์วปรับอัตราการไหล

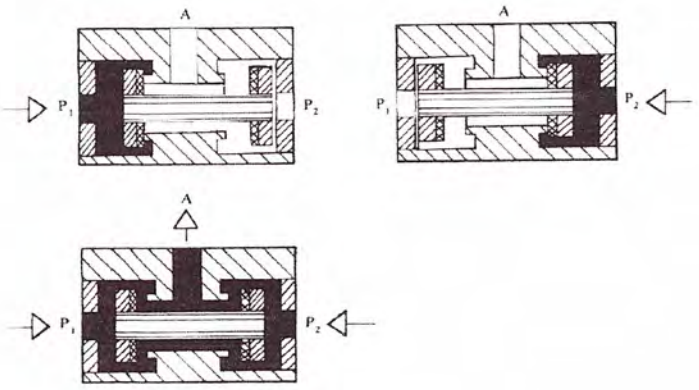
2.4 วาล์วคายไอเสียเร็ว(Quick exhaust valve) มีหน้าที่ช่วยให้ไอเสียคายออกจากลูกสูบสู่บรรยากาศ โดยผ่านวาล์วนี้ได้รวดเร็ว ทำให้ความเร็วของลูกสูบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างวาล์วชนิดนี้ดูได้จากรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วาล์วคายไอเสียเร็ว

2.5 วาล์วความดันสองทาง (Two-pressure valve) วาล์วความดันสองทางนี้เป็นวาล์วที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของ Interlock คือจะต้องมีลมเข้าทั้งสองทางจึงจะได้ลมออกไปใช้งาน ซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านของความปลอดภัยในการทำงานหรือเป็นสัญญาณเตือนในงานบางอย่าง ลักษณะของวาล์วชนิดนี้แสดงในรูปที่ 3.24

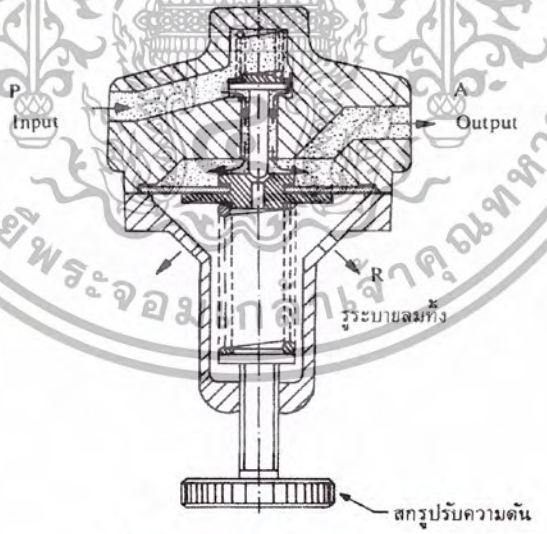
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 วาล์วความดันสองทาง

3. วาล์วควบคุมความดัน(Pressure control valve) มีหน้าที่คอยควบคุมความดันในวงจรให้มีค่าอยู่ในพิกัดที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้ววาล์วชนิดนี้มีใช้มากในวงจรไฮดรอลิค ส่วนในวงจรนิวแมติควาล์วนี้จะมีความจำเป็นน้อยกว่า วาล์วควบคุมความดันสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

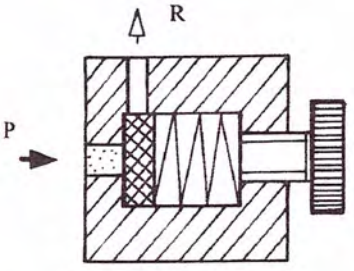
3.1 Pressure regulating valve วาล์วชนิดนี้มีหน้าที่รักษาความดันด้านออกไปใช้งาน (Output) ให้มีค่าคงที่อยู่เสมอ โดยที่ความดันที่จ่ายให้ (Input) อาจจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยไม่คงที่ แต่มีข้อแม้ว่าความดันที่ไม่คงที่ด้าน Input ที่ค่าต่ำสุดจะต้องมีค่าสูงกว่าความดันที่ตั้งไว้ด้าน Output เล็กน้อย ตัวอย่างของ Pressure regulating valve แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 วาล์วรักษาความดันด้านออก

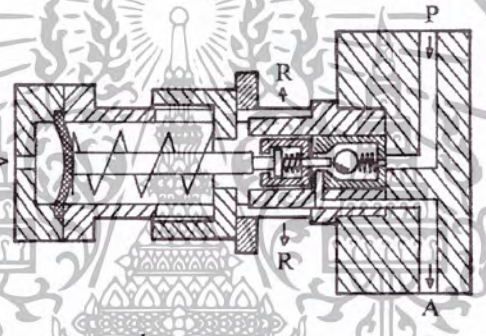
3.2 Pressure limiting valve วาล์วชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นวาล์วนิรภัย (Safety valve) คือเป็นตัวจำกัดความดันในวงจรไม่ให้มีค่าเกินพิกัดที่ตั้งไว้ เมื่อความดันในวงจรสูงเกินพิกัด วาล์วนี้ก็จะระบายลมออกสู่บรรยากาศจนกระทั่งถึงพิกัดที่ตั้งไว้ก็จะปิดตามเดิม โดยจะอาศัยแรงดันของสปริงภายในวาล์ว วาล์วชนิดนี้แสดงในรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



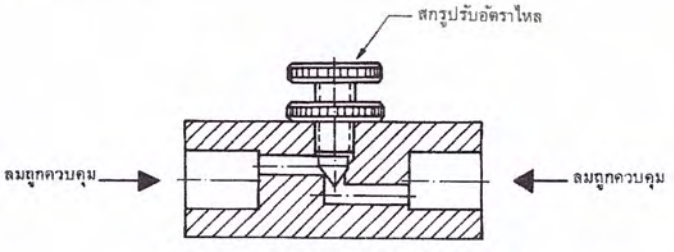
รูปที่ 3.26วาล์วนิรภัย

3.3 Sequence valve เป็นวาล์วที่มีลักษณะคล้ายกับ Pressure limiting valve แต่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานต่างกันคือความดันที่เข้าสู่วาล์วจะยังไม่สามารถผ่านออกไปได้จนกระทั่งมีความดันถึงตามต้องการ หรือมีความดันจากท่อควบคุมเข้ามาดันให้ลิ้นภายในวาล์วเปิด ลมจึงสามารถผ่านไปใช้งานได้ ลักษณะของ Sequence valve แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 วาล์วจัดลำดับ

4. วาล์วควบคุมอัตราการไหล(Flow control valve) มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของลมในวงจร การควบคุมนี้เป็นการจำกัดปริมาตรของลมที่ไหลผ่านวาล์วต่อหน่วยเวลา วาล์วควบคุมอัตราการไหลนี้มีทั้งชนิดที่ปรับค่าได้และปรับค่าไม่ได้ แต่ที่มีใช้อยู่ทั่วไปจะเป็นแบบปรับอัตราการไหลของลมได้ และชนิดที่มีใช้อยู่มากในวงจรทั่วไปส่วนใหญ่จะมี Check valve รวมอยู่ด้วย สำหรับลักษณะของวาล์วควบคุมอัตราการไหลนี้แสดงดังรูปที่ 3.28



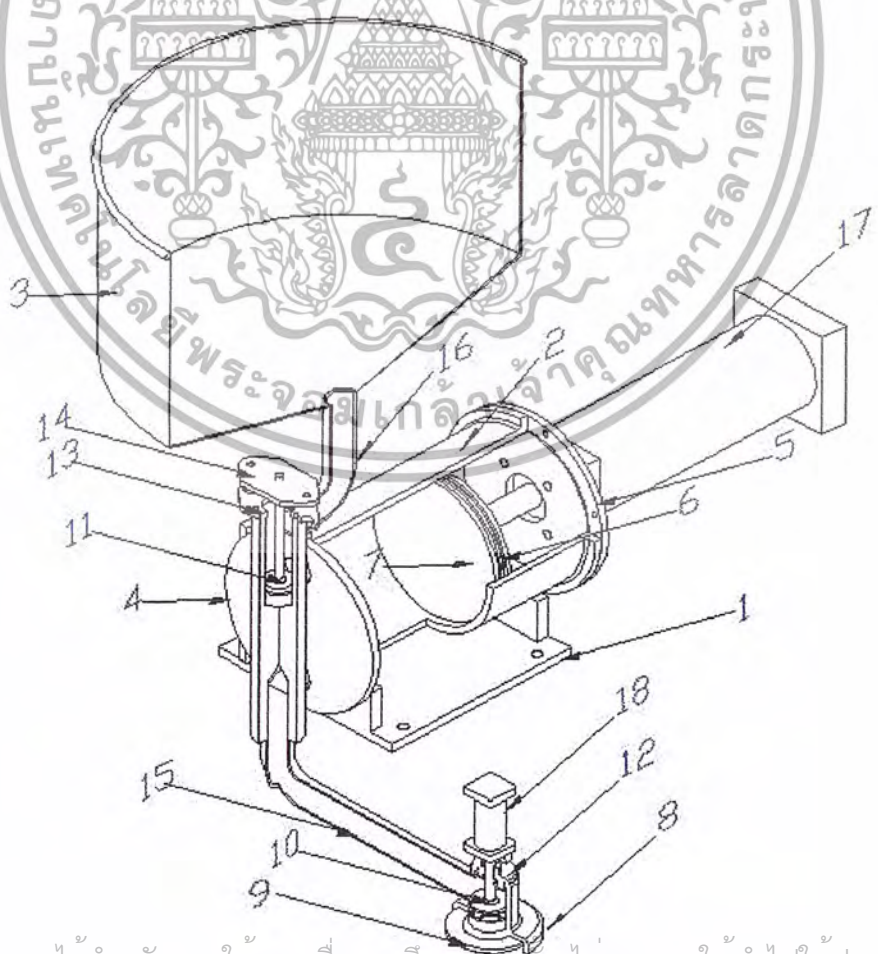
รูปที่ 3.28วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โครงสร้างและการทำงานของเครื่องบรรจุสี

เครื่องบรรจุสีประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่และชิ้นส่วนที่อยู่นิ่ง โดยชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะใช้กระบอกนิวแมติคเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการขับเคลื่อน ขนาดของกระบอกนิวแมติคที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานและภาระของโหลดที่กระทำ เนื่องจากสีที่จะต้องบรรจุบางชนิดมีส่วนประกอบของสารละลายประเภทที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนและทำปฏิกิริยากับโลหะเช่น ทินเนอร์ น้ำมันสน และน้ำมันลีนสิด เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันการสึกหรอและเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องการออกแบบชิ้นส่วนใดๆก็ตามที่จะต้องทำงานโดยมีการสัมผัสโดยตรงกับสีนั้น จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายดังกล่าว วัสดุที่มีคุณสมบัตินี้มีอยู่หลายชนิดเช่น สแตนเลส หรือเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งชนิดพิเศษ(Hard chrome steel) เป็นต้น โดยโครงสร้าง ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องบรรจุสีมีรายละเอียดดังนี้

4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องบรรจุสี



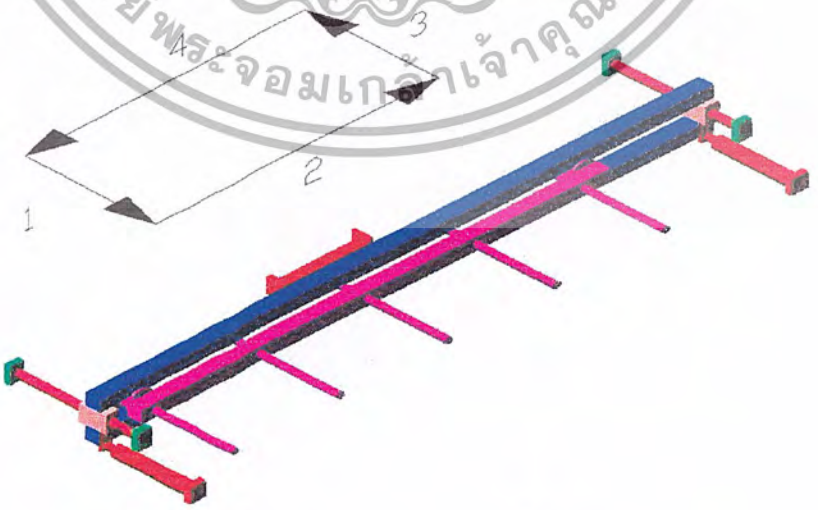
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฐานยึดกระบอกบรรจุ
2. กระบอกบรรจุ
3. Hopper
4. ฝาหน้ากระบอกบรรจุ
5. ฝาหลังกระบอกบรรจุ
6. ซีล
7. ลูกสูบอัดสี
8. ชุดหัวจ่าย
9. รังผึ้งหัวจ่าย
10. วาล์วจ่าย
11. วาล์วดูด
12. ซีลวาล์วจ่าย
13. ซีลวาล์วดูด
14. ชุดวาล์วดูด
15. ท่อจ่าย
16. ท่อดูด
17. กระบอกนิวแมติกส์อัดสี
18. กระบอกนิวแมติควาล์วจ่าย

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องบรรจุสี

โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องบรรจุสีตามรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆหลายชิ้น ซึ่งลักษณะและรายละเอียดของชิ้นส่วนที่สำคัญๆมีดังนี้

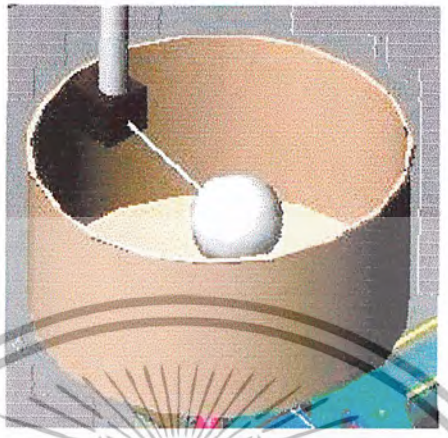
4.1.1.ชุดเลื่อนถัง มีลักษณะเป็นซี่ๆคล้ายฟันหวีดังแสดงในรูปที่ 4.2 มีล้อสำหรับเลื่อนไปในรางทั้งทางด้านหน้าและด้านข้าง ทำหน้าที่ลำเลียงถังสีในระบบการบรรจุสี ทำจากเหล็กธรรมดา (st.37) การเลื่อนเข้า-ออกมาเสียบถังสีทางด้านหน้าใช้กระบอกนิวแมติค 2 ตัวเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยยึดที่หัวและท้ายของรางเลื่อน กระบอกนิวแมติคที่ใช้มีขนาด bore×stroke เป็น 50×300 มิลลิเมตร ส่วนการเลื่อนไป-กลับทางด้านข้างใช้กระบอกนิวแมติคขับเคลื่อนเพียงตัวเดียว โดยยึดติดกับรางเลื่อนและใช้กระบอกนิวแมติคขนาด 80×400 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของชุดเลื่อนถัง

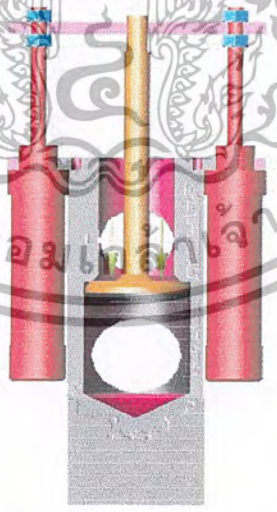
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2. Hopper ทำจากสแตนเลสม้วนพับขึ้นรูปเป็นรูปทรงกรวยดังแสดงในรูปที่ 4.3 ติดตั้งอยู่ด้านบนของเครื่อง ทำหน้าที่เก็บสีก่อนถูกส่งเข้าในระบบการบรรจุ โดยสีจะถูกส่งมาจากปั๊มไดอะแฟรมที่อยู่ด้านล่าง Hopperมีปริมาตรสูงสุดคือ 300 ลิตรด้านบนติดตั้งลูกลอยเพื่อควบคุมระดับของสี



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของ Hopper

4.1.3. ชุดวาล์วดูด ตัววาล์วทำจากสแตนเลสมีลักษณะคล้ายวาล์วที่ใช้ในเครื่องยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ทำหน้าที่ปิด-เปิดเพื่อให้สามารถดูดและอัดสีจาก Hopper ลงสู่ถังได้ ควบคุมการปิด-เปิดโดยใช้กระบอกนิวแมติค 2 ตัว บ่าวาล์วทำจากเทปล่อนกลึงขึ้นรูปอัดลงในร่องของสแตนเลส กระบอกนิวแมติคที่ใช้มีขนาด 20×150 มิลลิเมตร

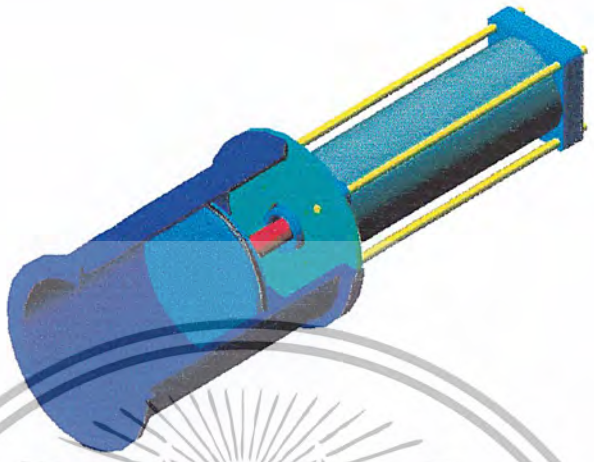


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของวาล์วดูด

4.1.4. ชุดกระบอกอัดสี ตัวกระบอกทำจากเหล็กธรรมดา (st.37) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 300 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ผิวด้านในของกระบอกชุบแข็งด้วยวิธีการ Hard chrome ตัวลูกสูบอัดสีทำจากแผ่นสแตนเลสสองแผ่นประกบกัน โดยระหว่างแผ่นสแตนเลสทั้งสองแผ่นใส่ซีลซิงทำจากเทปล่อนกลึงขึ้นรูปเป็นรูป U-cup ทั้งสองด้านเพื่อป้องกันการรั่ว ตัวลูกสูบจะต่ออยู่กับก้าน

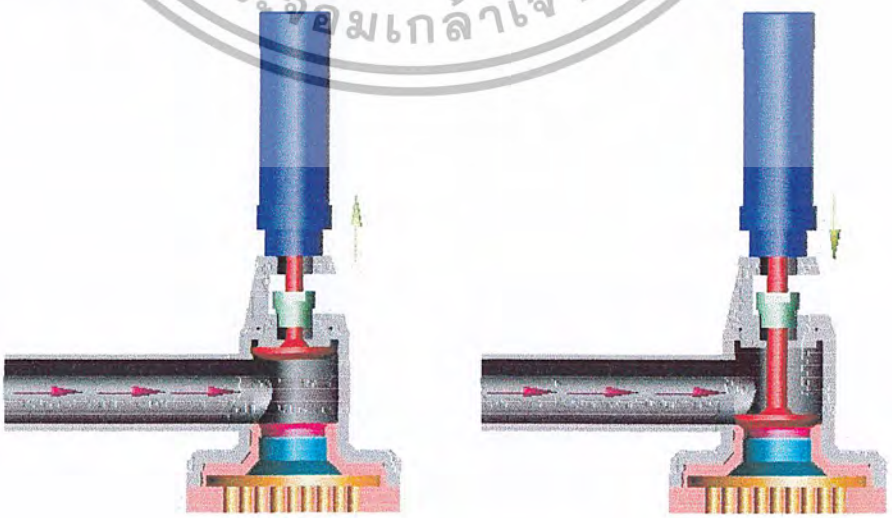
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูบของกระบอกนิวแมติคขนาด 150×400 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวต้นกำลังในการดูด-อัดสี กระบอกนิวแมติคนี้จะยึดติดอยู่กับแผ่นสแตนเลสที่ยึดติดอยู่กับท้ายของกระบอกอัดสีอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของชุดกระบอกอัดสี

4.1.5. ชุดวาล์วจ่ายและหัวจ่ายสี วัววาล์วทำจากสแตนเลสมีลักษณะคล้ายวาล์วที่ใช้ในเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ทำหน้าที่ปิด-เปิดเพื่อให้สามารถจ่ายและหยุดการจ่ายสีจากชุดกระบอกอัดสีไปยังถัง ควบคุมการปิด-เปิดโดยใช้กระบอกนิวแมติคเพียงตัวเดียว ตัวบ่าวาล์วทำจากเทปล่อนกลึงขึ้นรูปอัดลงในร่องของสแตนเลสเช่นเดียวกันกับบ่าวาล์วของชุดวาล์วดูด กระบอกนิวแมติคที่ใช้มีขนาด 40×150 มิลลิเมตร ลักษณะของหัวจ่ายเป็นแบบรังผึ้งโดยใช้หลักการของแรงตึงผิวของของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เพื่อป้องกันการหยดของสีในจังหวะที่ไม่มีการจ่ายสี โดยหัวจ่ายทำจากสแตนเลสมีรูเจาะของรังผึ้งทั้งหมด 171 รู ภายในรูเจาะจะใส่ท่อทองเหลืองที่มีความยาว 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อทองเหลืองมีขนาด 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของชุดวาล์วจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของหัวจ่ายรูปรังผึ้ง

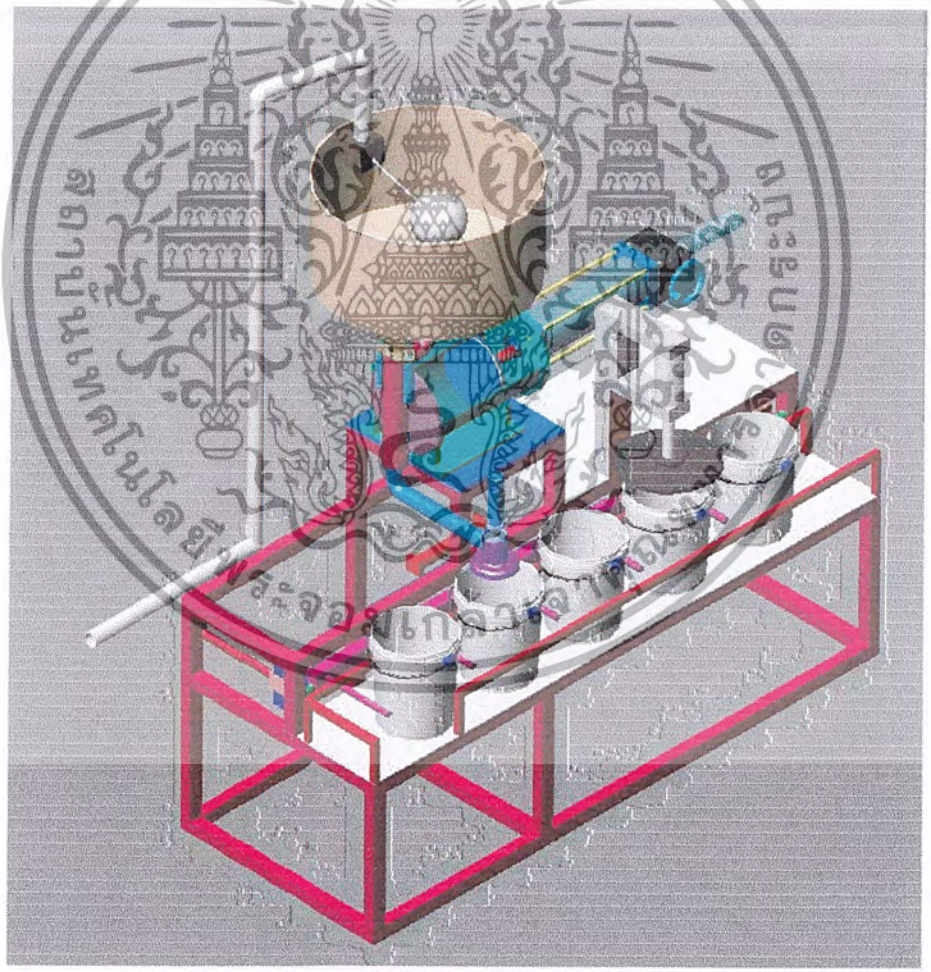
4.1.6. ชุดปิดฝาถัง แผ่นอัดฝาถังทำจากสแตนเลสต่ออยู่กับก้านสูบของกระบอกนิวแมติกส์ดังรูปที่ 4.8 กระบอกนิวแมติคที่ใช้มีขนาด 100×150 มิลลิเมตร ยึดติดอยู่กับโครงเครื่องโดยสามารถปรับระยะในแนวดิ่งตามระดับความสูงของถังสีแต่ละขนาด

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของชุดปิดฝาถัง

4.1.7. ชุดตาชั่ง ดัดแปลงมาจากตาชั่งขนาดมาตรฐานในท้องตลาดสามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 60 กิโลกรัมดังแสดงในรูปที่ 4.9 ใช้สำหรับวัดน้ำหนักของสีที่บรรจุลงสู่ถังสี ภายในชุดตาชั่งจะติดตั้งลิมิตสวิตซ์เพื่อเป็นสัญญาณในการสั่งตัดการจ่ายสีเมื่อบรรจุได้ตามน้ำหนักที่ต้องการ โดยจะมีตัวปรับระยะของลิมิตสวิตซ์เพื่อปรับตำแหน่งการตัดการจ่ายสีได้หลายตำแหน่งตามน้ำหนักที่ต้องการ ด้านล่างของชุดตาชั่งมีกระบอกนิวแมติคสำหรับดันตาชั่งให้กลับขึ้นมาในระดับเดิมเมื่อบรรจุสีได้ตามน้ำหนักแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

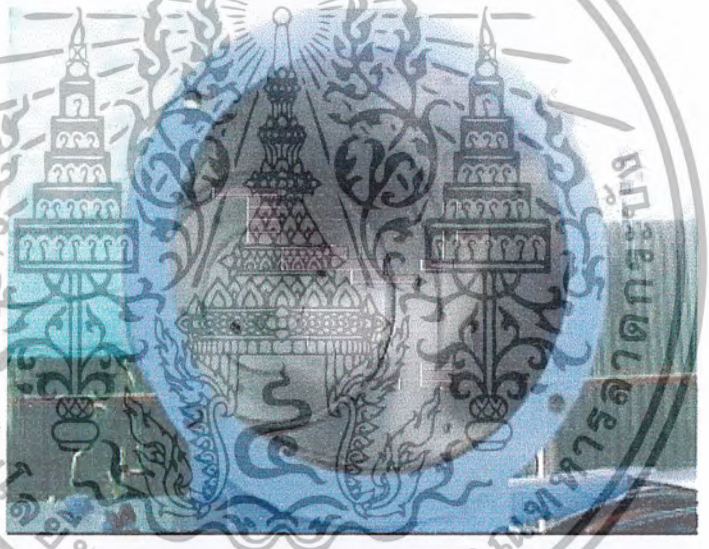
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของชุดตาชั่ง



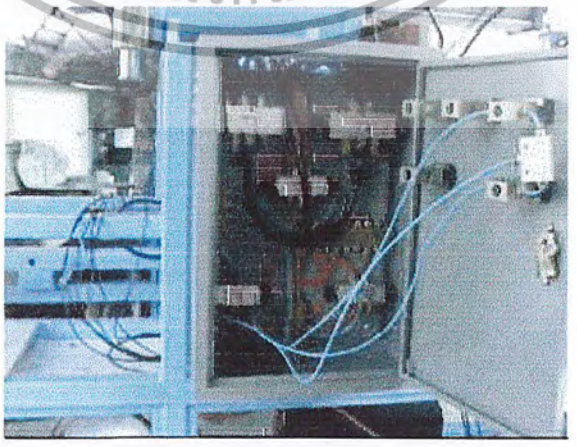
รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของเครื่องบรรจุสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ถังเก็บลม



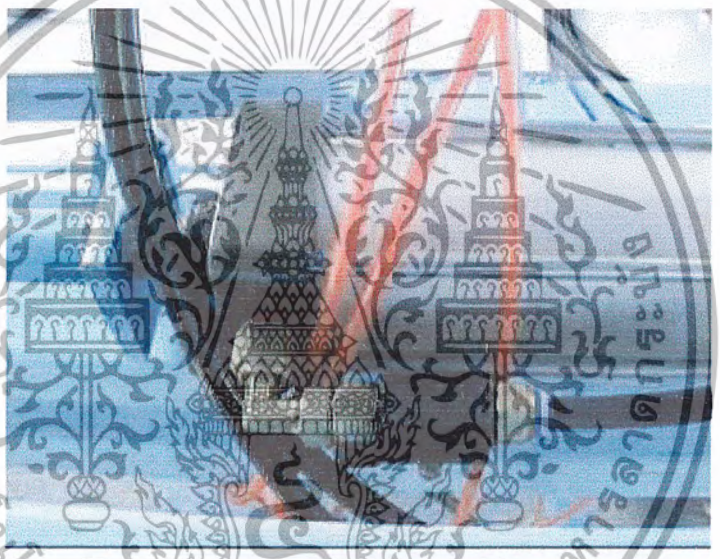
รูปที่ 4.12 กระบอกบรรจุ



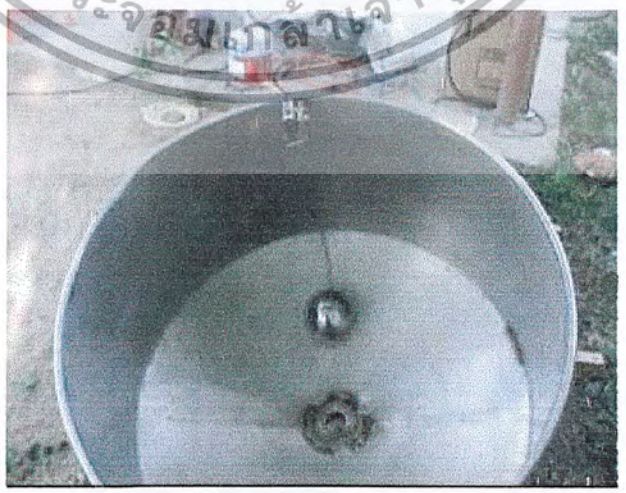
รูปที่ 4.13 ตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 ฝาหน้ากระบอกบรรจุ

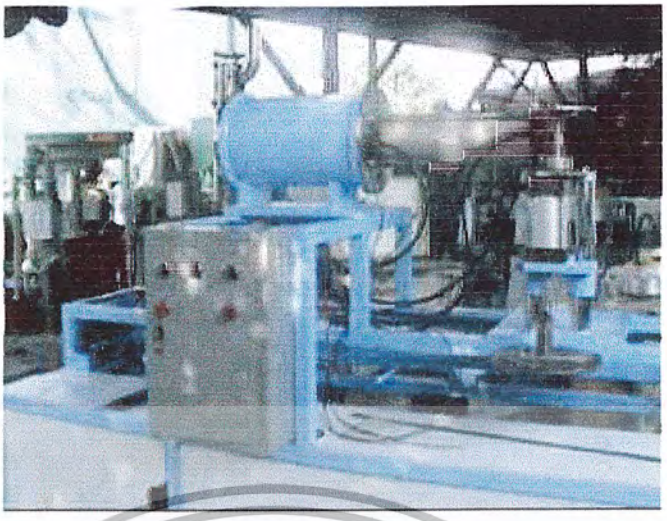


รูปที่ 4.15 วาล์วปรับปริมาณลม

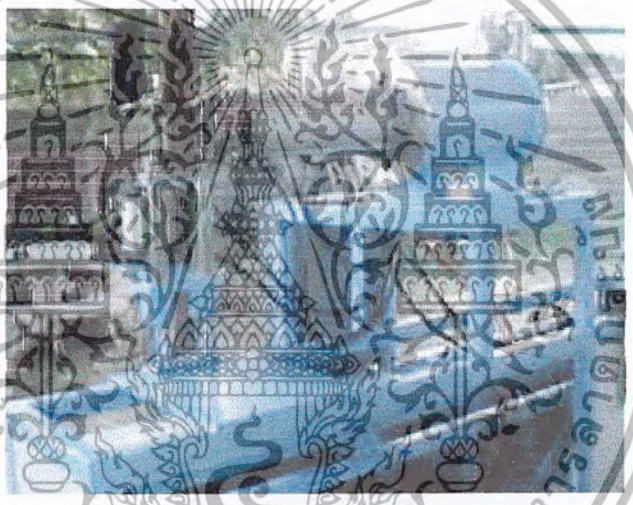


รูปที่ 4.16 ถังเก็บสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ด้านหน้าเครื่องบรรจุ



รูปที่ 4.18 ด้านหลังเครื่องบรรจุ

รูปที่ 4.19 ติดตั้งถังเก็บสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุสี

การทำงานของเครื่องบรรจุสีอาศัยหลักการของการอัดสีให้ไหลผ่านวาล์วไปตามท่อลงสู่ถังสีดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยใช้กระบอกสูบนิวแมติคเป็นอุปกรณ์ทำงานในการขับเคลื่อนลูกสูบอัดสี ชุดเลื่อนถังและควบคุมการเปิดปิดของวาล์วดูด-วาล์วจ่าย เพื่อควบคุมทิศทางการไหลตามที่ต้องการ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 จังหวะและแต่ละจังหวะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1. จังหวะที่ไม่มีถังสีมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1.เมื่อกดปุ่ม start ชุดเลื่อนถังจะทำงาน โดยการเลื่อนออกมาและเลื่อนไปยังตำแหน่งบรรจุสี

2.เมื่อชุดเลื่อนถังเลื่อนไปจนสุดและไม่มีถังสีไปแตะ limit switch ชุดเลื่อนถังจะเลื่อนเข้าและถอยกลับ ไปยังตำแหน่งเดิม

3.เมื่อชุดเลื่อนถังถอยกลับถึงตำแหน่งเดิมแล้วก็จะเลื่อนออกและเลื่อนไปยังตำแหน่งบรรจุอีกครั้ง และจะทำงานอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะมีถังสีไปแตะ limit switch จึงจะมีการเริ่มบรรจุสีลงสู่ถังสี

4.2.2.จังหวะที่มีถังสีมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1.เมื่อกดปุ่ม start ชุดเลื่อนถังจะทำงาน โดยการเลื่อนออกมาเสียบถังสีและเลื่อนถังสีไปยังตำแหน่งบรรจุสี

2.เมื่อถังสีไปแตะ limit switch ที่ตำแหน่งบรรจุ วาล์วดูดจะปิดและวาล์วจ่ายจะเปิดลูกสูบอัดสีจะอัดสีให้ไหลลงสู่ถังสี ขณะเดียวกันลูกสูบชุดดันตาชั่งจะถอยกลับทำให้น้ำหนักของสีและถังสีกดลงบนตาชั่ง ในตำแหน่งเดียวกันนี้ลูกสูบชุดปิดฝาจะเลื่อนลงเพื่อกดปิดฝาถังสี แต่ขณะนี้ยังไม่มีถังสีเลื่อนมายังตำแหน่งปิดฝา

3.ในขณะที่ลูกสูบอัดสีเลื่อนอัดสีลงสู่ถังอยู่นั้น ชุดเลื่อนถังก็จะเลื่อนเข้าและถอยกลับเพื่อไปรอที่จะเลื่อนถังสีใหม่เข้ามาอีกครั้ง

4.เมื่อสีบรรจุลงสู่ถังได้ตามน้ำหนักที่ตั้งไว้แล้ว ลูกสูบอัดสีจะหยุดอยู่กับที่ วาล์วจะดูดจะเปิดและวาล์วจ่ายจะปิด ขณะเดียวกันลูกสูบชุดดันตาชั่งก็จะเลื่อนขึ้นเพื่อดันตาชั่งให้ขึ้นมาอยู่ระดับเดียวกันกับพื้นของรางเลื่อนและลูกสูบชุดปิดฝาจะเลื่อนขึ้นกลับไปยังตำแหน่งเดิม

5.เมื่อวาล์วจ่ายปิดสนิท ลูกสูบอัดสีจะถอยกับเพื่อดูดสีเข้าสู่กระบอกบรรจุ

6.เมื่อลูกสูบอัดสีถอยกลับสุดดูดสีเต็มกระบอกแล้ว ชุดเลื่อนถังจะทำงานอีกครั้งเพื่อเลื่อนถังสีที่บรรจุแล้วไปยังตำแหน่งปิดฝา และเลื่อนถังสีใหม่มายังตำแหน่งบรรจุอีกครั้ง จากนั้นก็กลับไปทำซ้ำตั้งแต่step ที่ 2. ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะกดปุ่มstop

4.2.3.จังหวะล้างเครื่องในกรณีที่ใช้งานเสร็จมี step การทำงานดังนี้

1.เมื่อกดปุ่ม start ของสวิตซ์ล้างเครื่องลูกสูบอัดสีจะเลื่อนอัดน้ำยาล้างเครื่อง แต่เนื่องจากจังหวะนี้วาล์วดูดเปิดและวาล์วจ่ายปิดอยู่ ทำให้น้ำยาล้างเครื่องถูกอัดขึ้นไปยัง hopper ที่อยู่ด้านบนของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.เมื่อลูกสูบอัดสีเลื่อนอัดสุดแล้วก็จะถอยกลับดูดเอาน้ำยาล้างเครื่องกลับเข้ามาในกระบอกบรรจุอีกครั้ง และจากนั้นก็จะเริ่มอัดใหม่เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะกดปุ่ม stop ของสวิตซ์ล้างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนประกอบ

การคำนวณและออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆในเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ ได้นำหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้โดยจะคำนึงถึงความเหมาะสม ความสะดวกในการใช้งาน การควบคุม รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดมาใช้เป็นหลัก ในเครื่องบรรจุสีนั้นจะประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบต่างๆหลายชิ้น ไม่ว่าจะเป็นกระบอกสูบบรรจุ วาล์วควบคุมทิศทางการไหล ระบบขับเคลื่อน และลำเลียงถังสี รวมถึงชิ้นส่วนประกอบอื่นๆอีกมากมาย ในการคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนประกอบชิ้นหลักๆที่สำคัญมีข้อจำกัดและหลักการในการออกแบบดังต่อไปนี้

5.1 ข้อจำกัดในการออกแบบ

ในการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติมีข้อจำกัดในการออกแบบดังนี้

5.1.1. ข้อจำกัดในเรื่องของการเลือกใช้วัสดุ เนื่องมาจากเครื่องบรรจุสีที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นจะต้องใช้งานกับสีได้หลายชนิด ซึ่งสีแต่ละชนิดก็จะมีส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมแตกต่างกันไป สารเคมีแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนและทำลายวัสดุแตกต่างกันไปเช่นกัน สารเคมีบางชนิดมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนวัสดุประเภทยางและพลาสติก เช่นทินเนอร์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่อยู่ในสีน้ำมัน สารบางชนิดมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดสนิมในโลหะประเภทเหล็ก เช่น น้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในสีน้ำ จากคุณสมบัติในการกัดกร่อนของสารเคมีดังกล่าวทำให้เกิดข้อจำกัดในการเลือกใช้วัสดุขึ้น โดยชิ้นส่วนประกอบใดก็ตามที่จะต้องสัมผัสกับสีที่ใช้บรรจุโดยตรง ก็จะต้องเลือกวัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีทุกชนิดที่มีอยู่ในสีมาใช้ในการทำชิ้นส่วนนั้น

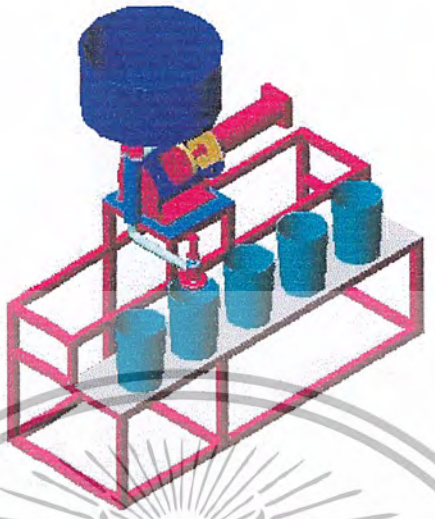
5.1.2. ข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการทำงานของเครื่อง เนื่องจากเครื่องบรรจุสีที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นมีวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานแทนที่เครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นความสามารถในการทำงานของเครื่องบรรจุสีที่สร้างขึ้นจะต้องเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับเครื่องจากต่างประเทศ ข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการทำงานดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องบรรจุสี

5.2 การออกแบบโครงเครื่องบรรจุสี

ในการออกแบบโครงเครื่องบรรจุสีสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ตำแหน่งในการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆที่จะต้องสอดคล้องกับลำดับขั้นตอนในการทำงาน การออกแบบที่ดีจะต้องใช้พื้นที่ทุกจุดอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด โดยรูปแบบในการทำงานจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของโครงเครื่องและตำแหน่งในการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ลักษณะของการจับยึดอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับตัวโครงเครื่องก็เป็นส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเช่นกัน โดยอุปกรณ์ต่างๆจะต้องจับยึดอย่างมั่นคงแข็งแรงไม่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในระหว่างการทำงาน นอกจากนี้ยังต้องสามารถถอดประกอบได้อย่างสะดวกในกรณีของการเคลื่อนย้ายและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการซ่อมแซม รวมถึงความสามารถในการรับแรงจากน้ำหนักของอุปกรณ์และโมเมนต์ต่างๆ โครงเครื่องที่ออกแบบใช้งานในเครื่องบรรจุสีมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.1

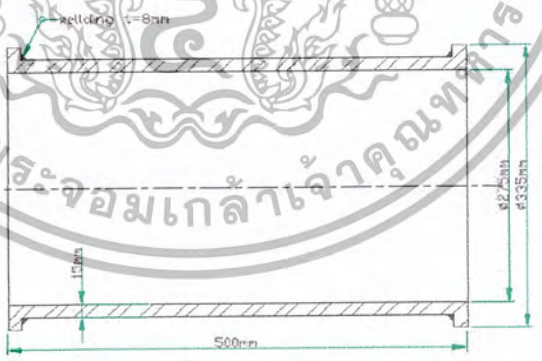


รูปที่ 5.1 โครงเครื่อง

5.3 การออกแบบชุดกระบอกบรรจุสี

กระบอกสูบบรรจุสีประกอบด้วยชุดกระบอกนิวแมติค ซึ่งเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการเลื่อนลูกสูบให้เคลื่อนที่อัดและดูดสีภายในกระบอกบรรจุ โดยการออกแบบชุดกระบอกบรรจุสีมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.3.1. กระบอกบรรจุ



รูปที่ 5.2 แสดงขนาดกระบอกบรรจุ

ขนาดของกระบอกบรรจุสีจะสัมพันธ์กับปริมาตรในการบรรจุ โดยเครื่องบรรจุสีที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นต้องการปริมาตรในการบรรจุตั้งแต่ 5 ลิตร ไปจนถึงปริมาตรสูงสุดที่สามารถบรรจุได้คือ 20 ลิตร นอกจากนี้ขนาดของกระบอกบรรจุสียังจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการบรรจุอีกด้วย คือหากกระบอกบรรจุมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็ก ความยาวของตัวกระบอกก็จะมากเวลาที่ใช้ในการบรรจุก็จะมากขึ้นตามไปด้วย หากกระบอกบรรจุมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในใหญ่ กระบอกก็จะมีลักษณะสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการบรรจุก็จะน้อยลง ในขณะเดียวกันการที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกใหญ่ขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงในการดันให้ลูกสูบเลื่อนอัดสีมากขึ้น ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติคที่ใช้เป็นต้นกำลังก็จะต้องใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ซึ่งขนาดกระบอกสูบนิวแมติคนี้ยิ่งตัวใหญ่ราคาก็จะยิ่งแพงขึ้น ดังนั้นขนาดของกระบอกบรรจุที่เหมาะสมจะต้องใช้เวลาในการบรรจุไม่มากและใช้กระบอกสูบนิวแมติคที่ไม่ใหญ่มากเช่นกัน จากการพิจารณาปัจจัยและองค์ประกอบต่างๆดังกล่าวทำให้เลือกใช้ขนาดของกระบอกบรรจุดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกเท่ากับ 275 มิลลิเมตร
ความยาวของกระบอกเท่ากับ 400 มิลลิเมตร
ปริมาตรสูงสุดเท่ากับ 23.7 ลิตร

จากข้อจำกัดในเรื่องการใช้วัสดุที่กล่าวไว้ในตอนต้น ทางผู้จัดทำต้องการเลือกใช้ท่อสแตนเลสเป็นวัสดุในการทำกระบอกบรรจุ แต่เนื่องจากไม่สามารถหาซื้อท่อสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตามขนาดที่เลือกไว้หรือขนาดใกล้เคียงได้ ทำให้ต้องเปลี่ยนมาใช้ท่อเหล็กธรรมดาแล้วนำมาชุบแข็งภายในเพื่อให้ทนต่อการเสียดสีและสารเคมีต่างๆแทน โดยท่อเหล็กที่ใช้มีความหนาเท่ากับ 8 มิลลิเมตร จากขนาดความหนาดังกล่าวสามารถตรวจสอบความแข็งแรงได้ ซึ่งกระบอกบรรจุสีจะทำหน้าที่คล้ายกับลักษณะของภาชนะความดัน เราสามารถหาค่าความหนาน้อยสุดที่สามารถใช้งานได้จากสมการที่(5.1) พบว่าจากขนาดกระบอกที่เลือกใช้นี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2

$$\frac{\sigma_t}{N} = \frac{\mathrm{Pr}}{2t} \qquad (5.1)$$

เมื่อ σ_t คือ ความเค้นแรงดึงของวัสดุ
P คือ ความดันภายกระบอกบรรจุ
r คือ รัศมีของกระบอกบรรจุ
N คือ ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

การคำนวณหาความหนาน้อยสุดของกระบอกอัด

จากสมการที่ 5.1 $$t = \frac{\mathrm{Pr}\,N}{2\sigma_t}$$

โดยที่ $\sigma_t = 0.6\sigma_u = 222MN/m^2$

$N = 4$

$P = 10bar = 10\times10^5 N/m^2$

$r = 0.1375m$

แทนค่าจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t = \frac{10 \times 10^5 \times 0.1375 \times 4}{2 \times 222 \times 10^6} = 1.23mm$$

ดังนั้นความหนากระบอกสูบน้อยสุดที่สามารถใช้ได้คือ 1.23 มิลลิเมตร

5.3.2. ลูกสูบและซีล

ภายในกระบอกบรรจุสีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อัดสีคือลูกสูบ ตัวลูกสูบนี้รับแรงมาจากกระบอกนิวแมติค โดยจะยึดติดอยู่ปลายก้านสูบของลูกสูบนิวแมติคโดยตรง วัสดุที่ใช้ในการทำลูกสูบเป็นสแตนเลสกลึงขึ้นรูปเป็นแผ่นกลม 2 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกบรรจุเล็กน้อย แผ่นลูกสูบ 2 ชิ้นจะถูกนำมาขันประกบเข้าด้วยกันโดยใส่ซีลไว้ตรงกลาง ตัวซีลทำจากเทปล่อนกลึงเป็นรูปแผ่นกลมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกบรรจุ ลักษณะของการออกแบบและการประกอบกันของซีลและลูกสูบดังแสดงในรูปที่ 5.3

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของซีลและลูกสูบ

5.3.3. กระบอกสูบนิวแมติค

ขนาดกระบอกนิวแมติคซึ่งระยะชักของกะบอกนิวแมติคจะเท่ากับระยะชักของกระบอกบรรจุคือ 400 มิลลิเมตร ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางหาได้จากแรงต้านการในการอัดสี ซึ่งแรงต้านในการอัดสีนี้เกิดขึ้นจากความเค้นเฉือนระหว่างสีกับผิวของกระบอกบรรจุ การสูญเสียภายในท่อส่งและแรงเสียดทานของกระบอกบรรจุกับลูกสูบ ในการหาแรงต้านในการอัดสีเพื่อใช้คำนวณหาขนาดกระบอกนิวแมติคจะคำนวณที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ คือ ความดันลมใช้งานที่ 6 บาร์ สีชนิดที่มีความหนืดสัมบูรณ์มากที่สุดคือสีน้ำที่ 3,500 เซนติพอยท์ มีค่าความหนาแน่น 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยแรงต้านการไหลจากความเค้นเฉือนภายในกระบอกสูบสามารถหาได้จากสมการ (5.2),(5.3)

$$F_w = \tau_w A \tag{5.2}$$

$$\tau_w = -\frac{R}{2}\frac{\partial P}{\partial x} \tag{5.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย F_w คือ แรงต้านในการไหลจากความเค้นเฉือน

τ_w คือ ความเค้นเฉือนระหว่างสีกับผิวภายในกระบอกบรรจุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบอัดสี

R คือ รัศมีของกระบอกบรรจุ

∂P คือ ความแตกต่างความดันของกระบอกบรรจุกับทางออก

∂x คือ ระยะชักที่ใช้อัดสี

แรงต้านการในการอัดสีที่เกิดจากการสูญเสียภายในท่อส่ง สามารถหาได้โดยการประยุกต์สมการเบอร์นูลลี่สมการ(5.4) ที่ทางเข้าท่อส่งกับหัวจ่ายเพื่อหาค่าความดันสูญเสียแล้วหาแรงต้านในการอัดสีโดยใช้สมการ (5.5)

$$h_f = f\left(\frac{L}{D} + \frac{L_e}{D}\right)\frac{v^2}{2} + k\frac{v^2}{2} \tag{5.4}$$

$$F_1 = \rho g A h_f \tag{5.5}$$

โดย h_f คือ ค่าความดันสูญเสียภายในท่อ

f คือ ตัวประกอบการสูญเสียภายในท่อ

L คือ ความยาวท่อ

L_e คือ ความยาวสมมูลของท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ

v คือ ความเร็วภายในท่อทางออกของกระบอกบรรจุ

k คือ ตัวประกอบการสูญเสียจากการไหลผ่านทางเข้า-ออกรูปแบบต่างๆ

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก

ρ คือ ความหนาแน่นของสีที่บรรจุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดท่อทางออก

ส่วนแรงต้านในการอัดสีเนื่องจากแรงเสียดทานของซีลและลูกสูบกับกระบอกบรรจุสามารถคำนวณได้จาก สมการ(5.6)

$$F_f = \mu F \tag{5.6}$$

โดยที่ F_f คือ แรงต้านจากแรงเสียดทานของซีลและลูกสูบกับกระบอกบรรจุ

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของซีลกับผนังกระบอกบรรจุ

F คือ แรงที่ใช้ในการอัดสี

จากการคำนวณดังกล่าวแรงต้านในการอัดสีจากความเค้นเฉือนที่ผิวภายในกระบอกสูบเท่ากับ 212.997นิวตัน แรงต้านในการอัดสีจากการสูญเสียภายในท่อส่งเท่ากับ 3312.10 นิวตัน ส่วนแรงต้านการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดสีจากความเสียดทานระหว่างซีลกับกระบอกบรรจุเท่ากับ 1590 นิวตัน และคิดเป็นแรงต้านการไหลรวมทั้งหมดเท่ากับ 4915.097 นิวตัน

การคำนวณหาขนาดกระบอกนิวแมติคอัดสี

จากคู่มือรายการสินค้าทดลองเลือกกระบอกสูบนิวแมติคขนาด 150×400 มิลลิเมตร และสมมุติให้มีความเร็วของลูกสูบในการเลื่อนเข้าเพื่ออัดสี 50 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นจึงหาภาระของกระบอกสูบแล้วนำไปเปรียบเทียบกับตารางความเร็วกระบอกสูบในรูปที่ 5.4 โดยภาระของกระบอกสูบสามารถหาได้จากแรงต้านการไหลดังนี้

1. แรงต้านเนื่องจากความเค้นเฉือนภายในกระบอกซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการ 5.2 และ 5.3 ดังนี้

จากสมการ 5.3 $$\tau_w = -\frac{R}{2}\frac{\partial P}{\partial x}$$

โดยที่ $R = 0.1375m$

$$\partial x = -\frac{0.02m^3}{\frac{\pi}{4}\times 0.275^2 m^2} = 0.336m$$

ส่วน ∂P สามารถหาได้โดยการประยุกต์สมการเบอร์นูลลี่ระหว่างหัวและท้ายของกระบอกบรรจุ ดังนี้

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{v_1^2}{2}+gz_1 = \frac{P_2}{\rho}+\frac{v_2^2}{2}+gz_2$$

ย้ายข้างเพื่อหา ∂P ได้

$$\partial P = P_1 - P_2 = \rho\left[\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}\right)+g(z_2 - z_1)\right]$$

โดยที่ $\rho = 1600kg/m^3$

$g = 9.81m/\sec^2$

$z_2 = .01375m$

$z_1 = 0.025m$

$v_1 = 50mm/\sec = 0.050m/\sec$

ส่วน v_2 สามารถหาได้จากสมการความต่อเนื่องดังนี้

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = v_1\left(\frac{A_1}{A_2}\right) = v_1\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$v_2 = 0.050\left(\frac{0.275}{0.050}\right)^2 = 1.5125m/\sec$$

แทนค่ากลับลงไปในสมการเบอร์นูลลี่จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\partial P = 1600\left[\left(\frac{1.5125^2 - 0.050^2}{2}\right) + 9.81(0.1375 - 0.025)\right] = 3586.077 N/m^2$$

แทนค่ากลับไปในสมการ 5.3 ได้

$$\tau_w = -\frac{0.1375 \times 3586.077}{2 \times (-0.366)} = 773.758 N/m^2$$

จากสมการ 5.2

$$F_w = \tau_w A$$

โดยที่ $A = \pi DL = \pi \times 0.275 \times 0.336 = 0.29 m^2$

แทนค่าสมการได้จากความเค้นเฉือนภายในกระบอกสูบ

$$F_w = 773.758 \times 0.29 = 212.997 N$$

2. แรงต้านเนื่องจากการสูญเสียในท่อส่งสามารถหาได้โดยใช้สมการ 5.4 และ 5.5 ดังนี้

จากสมการ 5.4

$$h_f = f\left(\frac{L}{D} + \frac{L_e}{D}\right)\frac{v^2}{2} + k\frac{v^2}{2}$$

โดยที่ $v = 1.5125 m/\sec$

$L = 0.4m$

$D = 0.050m$

$$\frac{L}{D} = \frac{0.4}{0.050} = 8$$

อุปกรณ์ - ข้องอ 90° ทั้งหมด 3 ตัว $\frac{L_e}{D} = 90$

- Square-edge ทั้งหมด 171 รู มีค่า $k = 85.5$

สำหรับท่อสแตนเลสมีค่าความขรุขระสัมพัทธ์ $e/D \approx 0.26/50 = 0.0052$ จาก Moody diagram รูปที่ 2.2 อ่านค่าตัวประกอบการสูญเสียได้ $f = 0.03$

แทนค่าทั้งหมดในสมการ 5.4 ได้

$$h_f = [0.03(8 + 90) + 85.5]\frac{1.5125^2}{2} = 101.16m$$

จากสมการ 5.5

$$F_l = \rho g A h_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $A = \pi/4 D^2 = \pi/4 \times 0.050^2 = 0.00196 m^2$

แทนค่าได้แรงต้านจากการสูญเสียในท่อ

$$F_l = 1600 \times 9.81 \times 101.16 \times 0.00196 = 3112.10 N$$

3. แรงต้านจากความเสียดทานของซีลกับผนังกระบอกอัดหาได้ดังนี้

จากสมการ 5.6

$$F_f = \mu F$$

โดยที่ $\mu = 0.15$

$$F = PA = 6 \times 10^5 \times \pi/4 \times 0.150^2 = 10.6 kN$$

แทนค่าได้แรงต้านจากความเสียดทานของซีลกับผนังกระบอกอัด

$$F_f = 0.15 \times 10600 = 1590 N$$

รวมแรงต้านทั้งหมดได้

$$F_t = F_w + F_l + F_f = 212.997 + 3112.10 + 1590 = 4915.097 N$$

จากตารางความเร็วลูกสูบในรูปที่ 5.4 พบว่าที่ขนาด 150×400 มิลลิเมตร ขนาดรูลมเข้า 3/8 นิ้ว ภาระของกระบอกสูบ 4915.097 นิวตัน ลูกสูบมีความเร็ว 50มิลลิเมตรต่อวินาทีตามที่สมมุติไว้ในตอนแรก ดังนั้นกระบอกสูบตามขนาดที่เลือกไว้สามารถใช้งานได้ ส่วนการคำนวณหาขนาดกระบอกสูบนิวแมติคที่ใช้ควบคุมการทำงานของชิ้นส่วนอื่นๆก็สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกัน

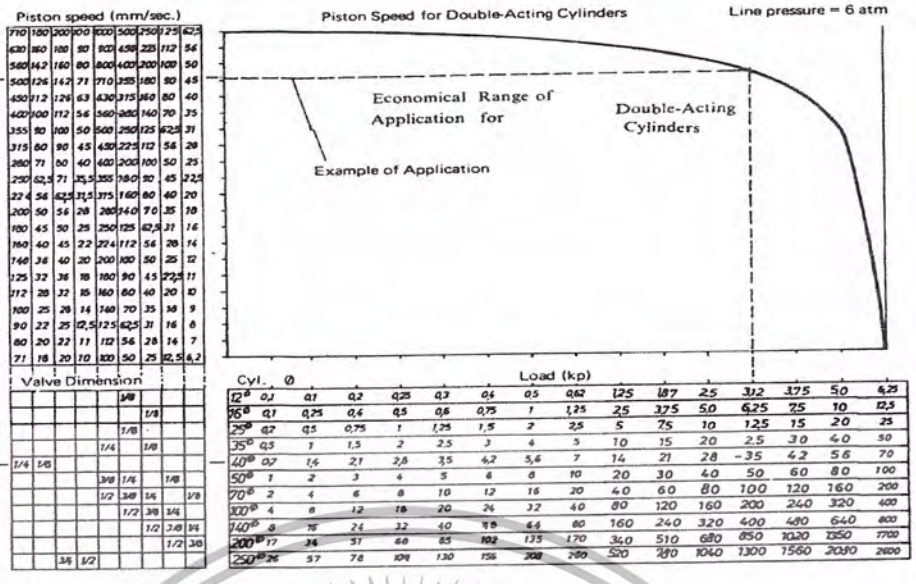
5.3.4. ท่อดูดและท่อส่ง

ขนาดท่อดูดและท่อส่งที่ใช้จะมีผลต่อความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุและความเร็วในการเลื่อนออกเพื่อดูดสีเข้ากระบอกสูบ การสูญเสียภายในท่อต้องมีค่าไม่มากนัก ขนาดของท่อจะต้องเหมาะสมสอดคล้องกับขนาดชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้ความเร็วในการบรรจุสีตามที่ต้องการ โดยขนาดท่อที่ใช้กับเครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และหนา 5 มิลลิเมตร

5.3.5. ความเร็วในการบรรจุ

ความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกนิวแมติค แรงดันใช้งาน แรงต้านการไหลของสีในกระบอกสูบและท่อส่ง การหาความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุสามารถหาได้จากรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการหาค่าความเร็วของลูกสูบ

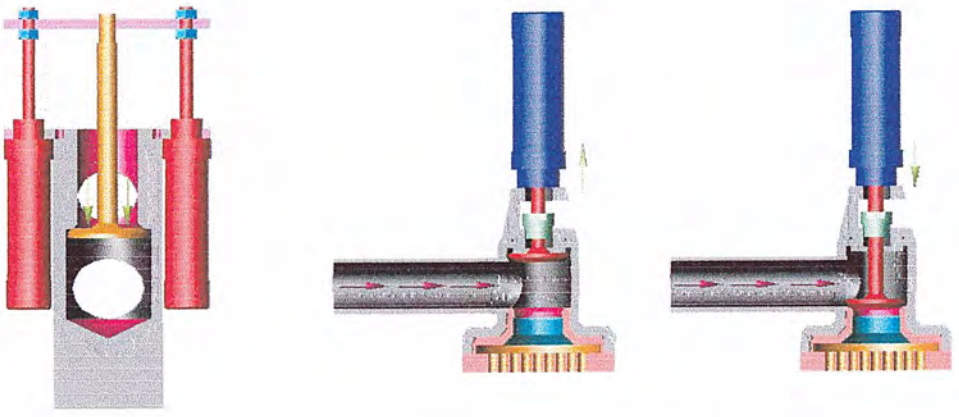
ความหนืดของสีที่บรรจุจะมีผลต่อความเร็วในการเลื่อนอัด สีชนิดที่มีค่าความหนืดสูงจะมีแรงต้านการไหลมาก ดังนั้นความเร็วในการเลื่อนอัดจะน้อยกว่าสีชนิดที่มีความหนืดต่ำ สีที่มีความหนืดสัมบูรณ์มากที่สุดคือสีน้ำที่ความหนืด 3500 เซนติพอยท์ มีความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุ 15 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนสีที่มีความหนืดต่ำสุดคือสีน้ำมันที่ความหนืด600 เซนติพอยท์ มีความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุ 65 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็วในการเลื่อนออกเพื่อดูดสีเข้ากระบอกสูบ สามารถหาได้โดยวิธีเดียวกันกับความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุ โดยสีน้ำที่มีความหนืดสูงสุด 3500 เซนติพอยท์ มีความเร็วเลื่อนออกเพื่อดูดสีเข้ากระบอกสูบ 13 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนสีน้ำมันที่มีความหนืดต่ำสุดที่ 600 เซนติพอยท์ จะมีความเร็วเลื่อนออกเพื่อดูดสีเข้ากระบอกสูบ 58 มิลลิเมตรต่อวินาที

5.4 การออกแบบวาล์วดูด-วาล์วจ่าย

วาล์วด้านดูดและด้านจ่ายที่ใช้ในเครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินี้ ลักษณะคล้ายๆกับวาล์วที่ใช้ในเครื่องยนต์โดยทำขึ้นเอง วัสดุที่ใช้ทำเป็นสแตนเลสขนาดของวาล์วจะต้องพอดีและปิดสนิทกับบ่าวาล์ว โดยบ่าวาล์วทำจากเทปล่อนกลึงเป็นมุมเอียงรับกันพอดีกับตัววาล์ว ส่วนความยาวของก้านวาล์วขึ้นอยู่กับระยะเปิด-ปิดวาล์วโดยวาล์วที่ใช้มีขนาดความโต 65 มิลลิเมตร ก้านวาล์วโต 16 มิลลิเมตร ความยาวของวาล์วส่งเป็น 225 มิลลิเมตร ส่วนวาล์วดูดก้านวาล์วจะทำหน้าที่เป็นก้านสูบของกระบอกนิวแมติคไปในตัวโดยมีความยาว 225 มิลลิเมตรเช่นเดียวกัน วาล์วทั้งสองตัวควบคุมการปิด-เปิดด้วยกระบอกนิวแมติค โดยวาล์วด้านดูดใช้กระบอกนิวแมติคควบคุมสองตัว ส่วนวาล์วด้านจ่ายใช้เพียงแค่ตัวเดียว ขนาดของกระบอกนิวแมติคที่ใช้จะขึ้นอยู่กับแรงที่ต้านในการยกวาล์ว ลักษณะของวาล์วและแรงต้านในการยกวาล์วแสดงในรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วาล์วด้านดูด วาล์วด้านจ่าย

รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของวาล์วและแรงต้านในการยกวาล์ว

โดยแรงต้านในการยกวาล์วหาได้จากสมการ (5.7)

$$F = \rho g h A \tag{5.7}$$

โดย F คือ แรงต้านในการยกวาล์ว

h คือ ระยะความสูงของสีเหนือวาล์ว

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวาล์ว

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของสี

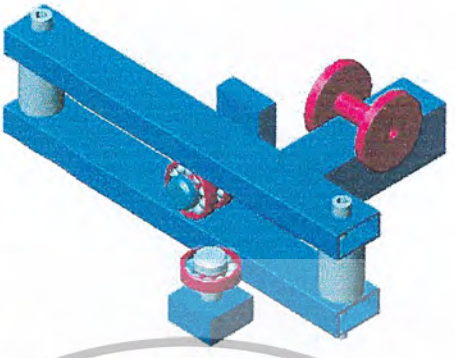
ส่วนความเร็วในการยกวาล์วจะขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกนิวแมติคและแรงกดวาล์ว ดังนั้นการเลือกขนาดกระบอกนิวแมติคต้องคำนึงถึงความเร็วในการยกวาล์วด้วย โดยความเร็วในการยกวาล์วสามารถหาได้โดยใช้กราฟเช่นเดียวกับการหาความเร็วในการเลื่อนอัดสีเพื่อบรรจุดังได้กล่าวมาแล้ว ความดันลมที่ใช้กับกระบอกนิวแมติคสำหรับควบคุมวาล์วนี้จะใช้ 6 บาร์เช่นเดียวกัน เมื่อคำนวณตามวิธีดังกล่าวขนาดกระบอกนิวแมติคที่ใช้ในการควบคุมวาล์วด้านดูดเป็น 25x75 มิลลิเมตร ซึ่งมีความเร็วในการยกวาล์ว 56 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนขนาดกระบอกนิวแมติคที่ใช้ควบคุมวาล์วด้านจ่ายเป็น 40x75 มิลลิเมตร มีความเร็วในการยกวาล์ว 56 มิลลิเมตรต่อวินาที

5.5 การออกแบบระบบขับเคลื่อนและลำเลียงถังสี

ชุดขับเคลื่อนถังทำหน้าที่ลำเลียงถังสีไปยังตำแหน่งบรรจุ ตำแหน่งปิดฝา และเลื่อนถังสีออกจากกระบวนการบรรจุ ลักษณะของชุดลำเลียงเป็นแบบรางเลื่อนมีแขนเหล็กยื่นออกมาคล้ายฟันหวี โดยระยะห่างของแขนเหล็กแต่ละชิ้นจะถูกบังคับด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังสี ซึ่งแขนเหล็กมีระยะห่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 400 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของแขนเหล็กที่ยื่นออกมาเท่ากับ 20 มิลลิเมตร รางเลื่อนนี้จะใช้กระบอกสูบนิวแมติคเป็นตัวขับเคลื่อนรางให้วิ่งไปบนล้อที่มีแบริ่งอยู่ภายในดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการออกแบบรางเลื่อน

รางเลื่อนสามารถเลื่อนได้ทั้งในทิศทางเข้า-ออกและทิศทางซ้าย-ขวา การขับเคลื่อนรางให้เลื่อนตามทิศทางเข้า-ออกนั้นจะใช้กระบอกสูบนิวแมติคจำนวนสองตัว ติดตั้งที่หัวและท้ายของรางเลื่อน ส่วนการเลื่อนในแนวซ้าย-ขวาใช้กระบอกสูบนิวแมติคเพียงตัวเดียว ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติคที่ใช้จะต้องให้แรงมากพอที่จะสามารถเอาชนะแรงจากความฝืดของรางเลื่อนและโหลดภายนอก โดยแรงจากความฝืดสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = \mu N \tag{5.8}$$

เมื่อ F คือ แรงเนื่องจากความฝืด

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

N คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำบนรางเลื่อน

จากสมการดังกล่าวจะได้ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติคที่ใช้ขับเคลื่อนรางให้เลื่อนในแนวเข้า-ออก เป็น 50×200 มิลลิเมตร และได้ขนาดกระบอกที่ใช้ขับเคลื่อนในแนวซ้าย-ขวาเป็น 80×400 มิลลิเมตร ส่วนความเร็วในการเลื่อนนั้นออกแบบให้สามารถปรับได้โดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหล

5.6 การออกแบบชุดปิดฝา

ชุดปิดฝาทำหน้าที่กดปิดฝาถังสีที่บรรจุเสร็จแล้วให้สนิท การกดปิดฝาใช้กระบอกสูบนิวแมติคเลื่อนแผ่นกดฝาให้กดปิดฝาถัง กระบอกสูบนิวแมติคต้องให้แรงมากพอที่จะกดฝาถังสีให้สนิทในจังหวะปิดและยกแผ่นกดฝาขึ้นได้ในจังหวะปล่อย โดยสามารถคำนวณหาขนาดกระบอกสูบนิวแมติคที่ต้องใช้ได้จากสมการที่ (5.9) ได้ขนาดกระบอกสูบนิวแมติค 100×100 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = PA \tag{5.9}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการปิดฝา

P คือ ความดันลมที่ใช้งาน

A คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกที่ต้องการ

ระยะการกดปิดฝาสามารถปรับได้โดยการปรับกระบอกสูบนิวแมติคขึ้น-ลง การปรับจะใช้การหมุนมือหมุนให้กระบอกสูบนิวแมติคเลื่อนขึ้นลงในแนวดิ่งตามเกลียวที่ทำไว้ ขนาดของเกลียวปรับระดับที่ใช้สามารถหาได้จากสมการ(5.10)

$$\sigma_c = \frac{W}{A_r} \tag{5.10}$$

เมื่อ σ_c คือ ค่าความเค้นวิกฤต (Critical or Bucking stress) ของวัสดุ

W คือ น้ำหนักที่เกลียวสามารถรับได้

A_r คือ พื้นที่รับแรงของเกลียว

สำหรับเกลียวที่มีความยาวปานกลาง พบว่าเป็นไปตามสูตรของจอห์สัน โดยมีค่าอัตราส่วนความเพรียว(L_e/k)อยู่ระหว่าง 40-110 และสามารถหาค่าน้ำหนักที่เกลียวสามารถรับได้จากสมการ(5.11)

$$W = \frac{A_r \sigma_y}{N}\left[1 - \frac{\sigma_y (L_e/k)^2}{4\pi^2 E}\right] \tag{5.11}$$

เมื่อ σ_y คือ ค่าความเค้นคราก(Yield strength) ของวัสดุ

N คือ ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

L_e คือ ค่าความยาวสมมูล(Equivalent length)

$k = \left(\frac{I}{A}\right)^{1/2}$ รัศมีไจเรชัน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

A คือ พื้นที่หน้าตัด

E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น(Young modulus) ของวัสดุ

จากสมการการคำนวณขนาดเกลียวดังกล่าว เราได้เกลียวปรับระดับเป็นเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 36 มิลลิเมตร มุมฮีลิกซ์ 15° มีระยะพิต 6 มิลลิเมตร ซึ่งตรงกับเกลียวมาตรฐาน ISO2904-1977(E) จากขนาดเกลียวที่เลือกใช้เราสามารถตรวจสอบการล็อคด้วยตัวเองจากสมการที่ 5.12 ซึ่งพบว่าเกลียวที่เลือกใช้มีคุณสมบัติในการล็อคด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan\alpha < f_s = \tan\beta \qquad (5.12)$$

เมื่อ $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{le}{\pi d_m}\right)$ คือ มุมฮีลิกซ์

le คือ ระยะทางที่เกลียวเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนต่อการหมุน 1 รอบ

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเกลียว

f_s คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าเกลียวกับแป้นเกลียว

การคำนวณหาขนาดสกรูปรับระดับชุดปิดฝาถัง

สกรูปรับระดับชุดปิดฝาถังรับแรงจากการกดของกระบอกสูบนิวแมติคปิดฝาถังโดย

$$F = PA = 10\times10^5 \times \pi/4 \times 0.1^2 = 7853.98N$$

วัสดุที่ใช้ทำสกรูเป็นเหล็ก st.37 และเลือกใช้ความปลอดภัยเท่ากับ 4

$$\sigma_y = 240N/mm^2$$

$$\sigma_{cd} = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{240}{4} = 60N/mm^2$$

ในการหาค่าโดยประมาณของสกรูในขั้นแรกสมมติให้ $L_e/k < 40$

จากสมการ 5.10

$$W = \sigma_{cd} A_r = \sigma_{cd}\left[\frac{\pi}{4} d_r^{\,2}\right]$$

$$7853.98 = 60\left[\frac{\pi}{4} d_r^{\,2}\right]$$

$$d_r = 13mm$$

ทดลองเลือกสกรูขนาด 16 มิลลิเมตร ระยะพิทช์เท่ากับ 4 มิลลิเมตร, $d_r = 14$ มิลลิเมตร ลักษณะการรองรับของสกรูเป็นแบบ cs ซึ่ง

$$L_e = 0.707L = 0.707\times400 = 282.8mm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัศมีไจเรชั่น $$k = \frac{d_r}{4} = \frac{14}{4} = 3.5mm$$

จะได้ $$L_e/k = \frac{282.8}{3.5} = 80.8$$

จะเห็นได้ว่าค่า L_e/k อยู่ในช่วงสูตรของจอห์นสันซึ่ง

สมการที่ 5.11 $$W = \frac{A_r\sigma_y}{N}\left[1 - \frac{\sigma_y(L_e/k)^2}{4\pi^2 E}\right]$$

ในที่นี้ $A_r = \frac{\pi}{4}\times 14^2 = 153.94mm$ และสำหรับเหล็ก $E = 206000N/mm^2$

แทนค่าได้

$$W = \frac{153.94\times 240}{4}\left[1 - \frac{240(80.8)^2}{4\pi^2(206000)}\right] = 7456.85N$$

ซึ่งน้อยกว่าแรงกดของกระบอกสูบนิวแมติคจึงเลือกขนาดใหม่เป็น 20 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 4 มิลลิเมตร, $d_r = 18$ มิลลิเมตร

$$L_e/k = \frac{282.8}{(18.4)} = 62.84$$

$$A_r = \frac{\pi}{4}\times(18)^2 = 284.46mm^2$$

$$W = \frac{254.46\times 240}{4}\left[1 - \frac{240(62.84)^2}{4\pi^2(206000)}\right] = 13488.38N$$

ดังนั้นจึงเลือกสกรูปรับระดับชุดปิดฝาถังขนาด Tr 20×4

5.7 การออกแบบหัวจ่ายสี

ชุดหัวจ่ายสีออกแบบโดยการนำหลักการของทฤษฎีแรงตึงผิวของของเหลวมาประยุกต์ใช้ โดยในการทำงานหลังจากจังหวะที่หยุดจ่ายสีวาล์วจ่ายเลื่อนมาปิดท่อจ่ายสีแล้ว สีที่ยังคงมีค้างอยู่ในหัวจ่ายจะต้องไม่มีการหยดเลย การป้องกันการหยดดังกล่าวทำได้โดยการออกแบบให้มีลักษณะเหมือนรังผึ้งดังแสดงในรูปที่ 5.7 ตัวแป้นหัวจ่ายทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 135 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรจำนวน 171 รูและนำท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตรมาสวมอัดในรูที่เจาะไว้ สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อทองแดงที่เลือกใช้ได้มาจากการประมาณและทดลองใช้งาน เนื่องจากไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับค่าแรงตึงผิวของสีแต่ละชนิด จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเลือกและใช้งานตามขนาดและความยาวพบว่าสามารถใช้งานได้ดีโดยไม่เกิดการหยดของสีในขณะใช้งาน

5.8 การออกแบบชุดชั่งน้ำหนัก

ชุดชั่งน้ำหนักจะเป็นตัววัดปริมาณในการบรรจุ ในการชั่งน้ำหนักใช้ตาชั่งที่มีสเกลที่แน่นอนเป็นมาตรฐาน มีค่าความแข็งของสปริงเท่ากับ 24.5 กิโลนิวตันต่อเมตร ภายในตาชั่งติดตั้งลิมิตสวิทช์ซึ่งเป็นตัวสั่งตัดการบรรจุเมื่อได้น้ำหนักของสีตามที่ต้องการ การตั้งน้ำหนักในการบรรจุสามารถทำได้โดยการปรับระดับตำแหน่งการแตะของลิมิตสวิทช์ จานของตาชั่งจะอยู่ระดับเดียวกันกับระดับของพื้นเครื่องที่วางถังสี เพื่อให้ถังสีสามารถเลื่อนเข้ามายังตำแหน่งบรรจุได้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งตาชั่งจะตรงกับตำแหน่งบรรจุสี เมื่อสีถูกบรรจุลงสู่ถังระดับจานของตาชั่งจะถูกกดให้ต่ำกว่าระดับพื้นวางถังสี ดังนั้นเพื่อให้ถังสามารถเลื่อนต่อไปได้เมื่อสีถูกบรรจุเต็มแล้ว จึงต้องติดตั้งกระบอกสูบนิวแมติคเพื่อดันตาชั่งให้กลับขึ้นมาอยู่ในระดับเดียวกับพื้นวางถังสีอีกครั้ง ขนาดของกระบอกสูบนิวแมติคที่เลือกใช้จะต้องให้แรงมากกว่าแรงกดของสีที่บรรจุในถังและน้ำหนักของจานตาชั่ง โดยขนาดของกระบอกสูบนิวแมติคที่เลือกใช้มีขนาด 40×50 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วงจรและการควบคุมการทำงาน

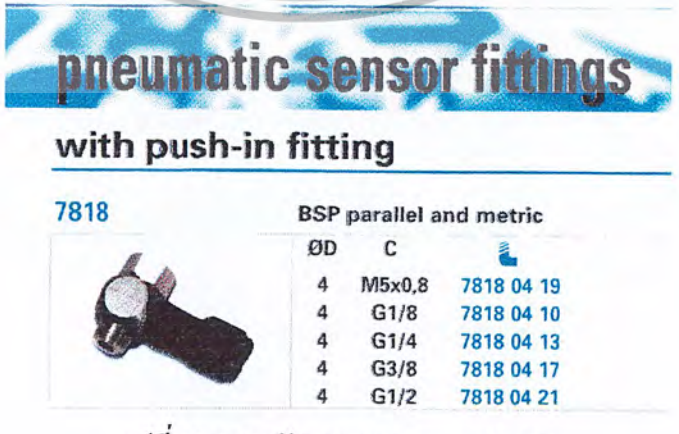
เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ได้ใช้ระบบนิวแมติคในการทำงาน โดยวงจรนิวแมติคที่ใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องบรรจุสีนี้จะเป็นแบบที่ใช้สัญญาณลมควบคุม เนื่องมาจากข้อจำกัดในเรื่องของส่วนผสมของสีบางประเภทที่มีสารไวไฟบางชนิดเช่น ทินเนอร์ผสมอยู่ ทำให้ไม่สามารถนำวงจรนิวแมติคที่ควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานได้

6.1 ลิมิตสวิทช์ และ Sensor fitting

ในการควบคุมการทำงาน โดยการใช้วงจรนิวแมติคแบบใช้สัญญาณลมควบคุมการทำงาน อุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการทำงานให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องได้แก่ ลิมิตสวิทช์และSensor fitting ทั้งลิมิตสวิทช์และSensor fitting นี้จัดเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในประเภทของวาล์วควบคุมทิศทางการไหล โดยลิมิตสวิทช์ถือเป็นวาล์วควบคุมทิศทางการไหลชนิดทำงานด้วยวิธีทางกล คือต้องอาศัยกลไกไปแตะหรือกดสำหรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมอัดเพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมการทำงาน ส่วน Sensor fitting ถือเป็นวาล์วควบคุมทิศทางการไหลชนิดที่ทำงานโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้การที่ลิมิตสวิทช์มีข้อจำกัดในเรื่องของความต้องการพื้นที่ในการติดตั้งที่มีมากกว่า Sensor fitting ทำให้ Sensor fitting เริ่มเป็นที่ยอมรับและนำมาประยุกต์ใช้งานเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน

6.2 หลักการทำงานของ Sensor fitting

Sensor fitting เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจจับความดันลมอัดที่ระบายออกทางระบายของกระบอกสูบนิวแมติค ติดตั้งโดยตรงที่ Port ทางเข้าและทางออกของกระบอกสูบนิวแมติค ลักษณะและการทำงานของ Sensor fitting แสดงดังรูปที่ 6.1 และ 6.2



pneumatic sensor fittings

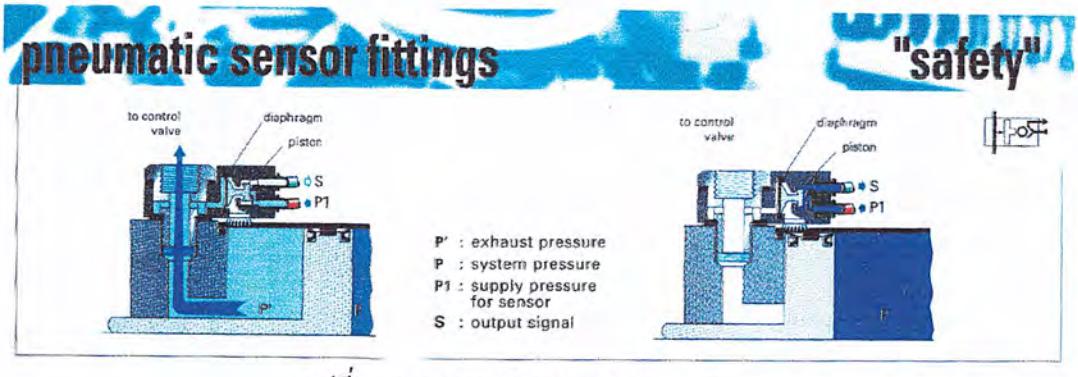
with push-in fitting

7818 BSP parallel and metric

ØD	C	
4	M5x0,8	7818 04 19
4	G1/8	7818 04 10
4	G1/4	7818 04 13
4	G3/8	7818 04 17
4	G1/2	7818 04 21

รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะของ Sensor fitting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงการทำงานของ Sensor fitting

การทำงานของ Sensor fitting

จากรูปที่ 6.2 แสดงลักษณะการทำงานของ Sensor fitting โดยที่ Sensor fitting จะประกอบด้วย Port ทั้งหมดจำนวน 3 Port คือ Port P เป็น Port ทางผ่านของลมที่ระบายออกจากกระบอกสูบ Port P1 เป็น Port ที่มีสัญญาณลมมารอ และ Port S เป็น Port สัญญาณออกเมื่อ Sensor fitting ทำงาน ภายใน Sensor fitting จะมีแผ่นไดอะแฟรมกั้นระหว่าง Port P กับ Port P1 และ Port S ในขณะที่ลูกสูบเลื่อนออกจะมีลมระบายออกจากกระบอกสูบ ความดันของลมที่ระบายออกนี้จะดันให้แผ่นไดอะแฟรมปิดช่องระหว่าง Port P1 กับ Port S เอาไว้ ลมจาก Port P1 จึงไม่สามารถผ่านไปยัง Port S ต่อมาเมื่อลูกสูบเลื่อนสุดระยะชัก ความดันของลมที่ระบายออกจะหมดไป ทำให้ความดันลมจาก Port P1 ดันแผ่นไดอะแฟรมให้เปิดช่องระหว่าง Port P1 กับ Port S ออกทำให้ความดันลมจาก Port P1 ผ่านไปยัง Port S เพื่อใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมการทำงานต่อไป ในกรณีที่ลูกสูบเลื่อนเข้าแผ่นไดอะแฟรมจะถูกความดันลมจาก Port P ดันให้ปิด Port P1 กับ Port S ไว้ตลอดเวลา ถึงแม้ลูกสูบจะเลื่อนเข้าจนสุดกระบอกสูบแล้วก็ตาม

6.3 วงจรนิวแมติคแบบแยกสัญญาณควบคุม

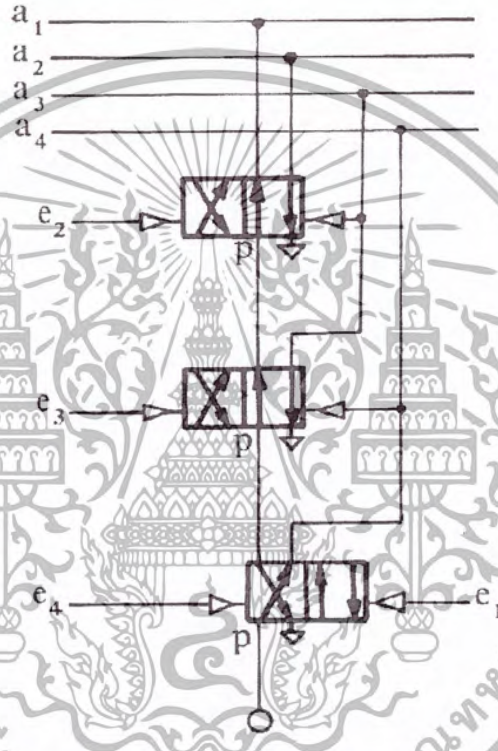
เนื่องมาจากข้อเสียของวงจรนิวแมติคควบคุมการทำงานแบบธรรมดาและแบบทำงานต่อเนื่อง ในเรื่องของความปลอดภัยและความแน่นอนในการทำงาน คือในตำแหน่งปกติหรือในระหว่างการทำงานช่วงใดช่วงหนึ่ง วาล์วควบคุมทุกตัวในวงจรจะมีความดันลมรออยู่ตลอดเวลา และถ้าวาล์วเหล่านี้ถูกสิ่งใดสิ่งหนึ่งกระทบหรือคนไปโดนเข้าโดยบังเอิญก่อนถึงจังหวะการทำงาน ลูกสูบที่วาล์วเหล่านั้นควบคุมอยู่ก็จะทำงานทันที ทำให้เกิดความเสียหายต่องานที่กำลังทำอยู่ เพราะลำดับการทำงานจะผิดพลาดไปทันที ด้วยเหตุนี้เองวงจรนิวแมติคแบบแยกสัญญาณควบคุมจึงถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมา โดยวงจรนิวแมติคแบบแยกสัญญาณควบคุมนี้มีอยู่สองแบบด้วยกันดังนี้

1. วงจรนิวแมติคแยกสัญญาณควบคุมแบบ Cascade Control วงจรแบบนี้มีหลักทำงานโดยการแยกสัญญาณควบคุมให้วาล์วควบคุมแต่ละตัวทำงานตามจังหวะงาน คือในระหว่างที่วาล์วควบคุมตัวใดตัวหนึ่งกำลังทำงานอยู่ วาล์วตัวอื่นๆที่เหลือจะไม่มีความดันลมมารออยู่ที่ท่อ P ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีสิ่งใดไปกระทบหรือโดนวาล์วควบคุมก็จะไม่มีผลต่อกระบวนการควบคุมแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการควบคุมแบบ Cascade Control

การควบคุมวงจรชนิดนี้ใช้วาล์ว 4/2 แบบเลื่อนด้วยสัญญาณลมดันต่อขนานกันดังรูปที่ 6.3 โดยจำนวนของวาล์วขึ้นอยู่กับจำนวนท่อสัญญาณออกที่ต้องการ ส่วนการทำงานขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุม e_1, e_2, e_3 และ e_4 ในการทำงานแต่ละขั้นจะมีสัญญาณควบคุมเพียงสัญญาณเดียว ข้อเสียของการควบคุมแบบนี้คือ จะต้องใช้จำนวนวาล์วเพิ่มมากขึ้นในวงจร สัญญาณที่จะออกไปควบคุมการทำงานจะต้องวิ่งผ่านวาล์วหลายตัว ถ้าจำนวนวาล์วมากเกินไปและวาล์วตัวใดตัวหนึ่งเกิดการขัดข้องขึ้น ระบบควบคุมอาจจะเกิดการผิดพลาดขึ้นได้เช่นกัน



รูปที่ 6.3 หลักการควบคุมแบบ Cascade

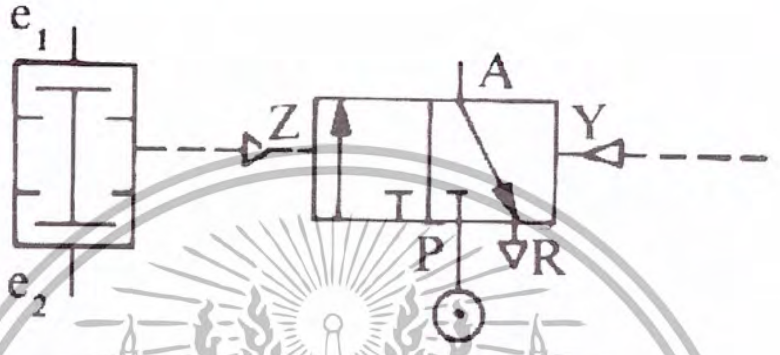
2. วงจรนิวแมติคแยกสัญญาณควบคุมแบบ Shift Register Control เป็นระบบการแยกสัญญาณควบคุมที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะการควบคุมเช่นเดียวกับแบบ Cascade Control แต่การควบคุมด้วยวิธีนี้จะมีข้อดีกว่าคือ สัญญาณที่ส่งออกไปควบคุมวาล์วต่างๆจะรวดเร็วและแน่นอนกว่า เพราะสัญญาณลมไม่ต้องวิ่งผ่านวาล์วควบคุมหลายตัวเหมือนแบบ Cascade Control

หลักการควบคุมแบบ Shift Register หรือ Taskstufen

ชุดควบคุมนี้ประกอบวาล์ว 3/2 ชนิดเลื่อนด้วยสัญญาณลม 1 ตัวและวาล์วชนิดความดันสองทางอีก 1 ตัวดังแสดงในรูปที่ 6.4 การทำงานเมื่อมีสัญญาณ e_1 มารออยู่วาล์ว 3/2 ยังอยู่ในตำแหน่งปกติ ถ้ามีสัญญาณ e_1 และ e_2 จึงมีสัญญาณออกที่ Z ทำให้เลื่อนวาล์ว 3/2 ความดันจาก P ออกสู่ A ไปควบคุมการทำงานของวงจรต่อไป เมื่อจังหวะการทำงานผ่านพ้นไปจะมีสัญญาณ Y ดันให้วาล์ว 3/2 กลับสู่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดิม การที่วงจรแบบ Shift Register นี้สามารถควบคุมได้รวดเร็วและแน่นอนกว่าวงจรแบบ Cascade ทำให้วงจรแบบนี้กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น แต่ในบางกรณีอาจจะใช้ทั้งสองระบบร่วมกันในวงจร เพื่อความสะดวกและเหมาะสมในการควบคุมการทำงาน คือ ในกรณีแยก Control line ออกจำนวนมากการควบคุมแบบ Shift Register จะรวดเร็วและนอนกว่า เพราะสัญญาณลมไม่ต้องวิ่งผ่านวาล์วหลายๆตัว แต่ในกรณีที่แยก Control line ออกเพียง 2 หรือ 3 เส้น การควบคุมแบบ Cascade จะสะดวกและคล่องตัวกว่า



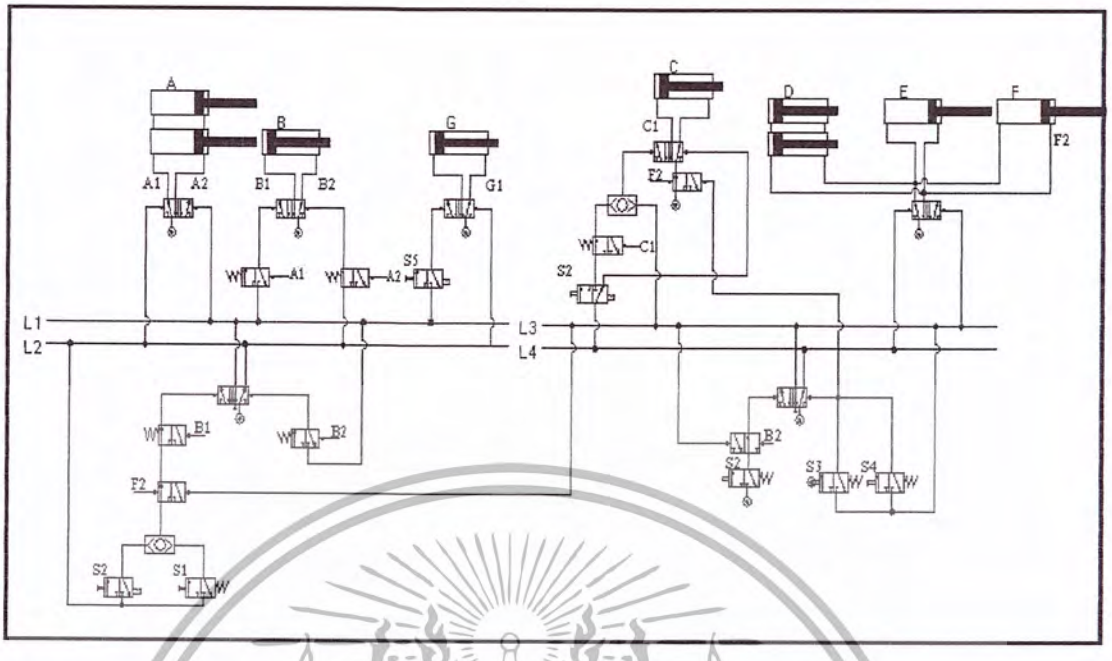
รูปที่ 6.4 หลักการควบคุมแบบ Shift Register

6.4 วงจรนิวแมติคควบคุมการทำงาน

เนื่องจากเครื่องบรรจุสีที่ผลิตขึ้นใช้กระบอกสูบนิวแมติคเป็นอุปกรณ์ทำงาน ในการขับเคลื่อนลูกสูบอัดสี ชุดขับเคลื่อน ชุดปิดฝาและควบคุมการปิด-เปิดของวาล์ว วงจรนิวแมติคควบคุมการทำงานเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากในการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบต่างๆ เพื่อให้การทำงานของเครื่องบรรจุสีเป็นไปตามลำดับที่ต้องการ

วงจรนิวแมติคที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสีนี้เป็นวงจรแบบแยกสัญญาณควบคุมชนิด Cascade control ซึ่งเหตุผลที่เลือกวงจรการควบคุมแบบนี้ก็เพราะว่า เป็นวงจรที่มีความปลอดภัยและแน่นอนในการทำงานมากกว่าวงจรควบคุมแบบลำดับต่อเนื่องธรรมดา และจากการแบ่ง Control line ออกเป็นเพียง 2 line ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้วงจรควบคุมแยกสัญญาณแบบ Shift Register Control ซึ่งควบคุมได้รวดเร็วและแน่นอนกว่าแต่ก็สิ้นเปลืองอุปกรณ์มากกว่า และด้วยเหตุผลที่สีที่ใช้บรรจุบางชนิดนั้นมีส่วนประกอบของสารไวไฟ ดังนั้นจึงเป็นการจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบนิวแมติคแบบที่ควบคุมด้วยสัญญาณลมล้วนๆในการควบคุมการทำงาน โดยไม่สามารถจะใช้ระบบควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาควบคุมได้เลย ซึ่งวงจรนิวแมติคที่ได้ออกแบบมาสำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสีที่สร้างขึ้น มีวงจรดังแสดงในรูปที่ 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงวงจรนิวแมติคควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสี

6.5 การควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสี

การควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุสีโดยจากวงจรนิวแมติคแบบ Cascade controlที่ได้ออกแบบขึ้น การควบคุมการทำงานนั้นจะมีกล่องควบคุมการทำงานซึ่งประกอบด้วยสวิทซ์ควบคุม 5 ตัวดังแสดงในรูปที่ 6.6

สวิทซ์ควบคุมแต่ละตัวมีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆดังนี้

1. สวิตซ์ Start ซึ่งเป็นสวิทซ์แบบปุ่มกดสำหรับเริ่มต้นการทำงานของเครื่องบรรจุสี โดยเมื่อกดสวิทซ์นี้เครื่องบรรจุสีจะทำงาน 1 รอบแล้วหยุด

2. สวิตซ์ Start/Stop เป็นสวิทซ์แบบบิดสำหรับเริ่มต้นและหยุดการทำงาน โดยเมื่อบิดสวิทซ์ไปยังตำแหน่ง Start เครื่องบรรจุสีจะเริ่มทำงานและจะทำงานไปเรื่อยๆจนกว่าจะกดบิดสวิทซ์ให้กลับมาอยู่ในตำแหน่ง Stop ตามเดิม

3. สวิทซ์ Close cover เป็นสวิทซ์แบบบิดสำหรับปิด-เปิดการทำงานของระบบปิดฝาถัง โดยเมื่อบิดไปยังตำแหน่ง Start จะเป็นการเปิดระบบปิดฝาถังให้ทำงานตามลำดับการทำงานของเครื่องบรรจุ และถ้าบิดกลับมาอยู่ในตำแหน่ง Stop จะเป็นการเดินเครื่องบรรจุสีโดยไม่ให้ระบบปิดฝาถังทำงาน

4. สวิทซ์ Clean เป็นสวิทซ์แบบบิดสำหรับล้างเครื่องหลังจากเสร็จจากการใช้งานเครื่องบรรจุสีเสร็จแล้ว โดยเมื่อบิดสวิทซ์ไปยังตำแหน่ง Start ระบบล้างเครื่องจะเริ่มทำงานและจะทำงานต่อไปเรื่อยๆจนกว่าจะบิดสวิทซ์กลับมาอยู่ในตำแหน่ง Stop ตามเดิม

5. สวิทซ์ Emergency เป็นสวิทซ์แบบกดสำหรับกรณีเกิดการผิดพลาดขึ้นในขั้นตอนการบรรจุ เมื่อกดสวิทซ์นี้เครื่องบรรจุสีจะหยุดการบรรจุในขั้นตอนนั้น แล้วจะทำงานในขั้นตอนต่อไปทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การทดสอบการใช้งาน

7.1 วิธีการทดสอบ

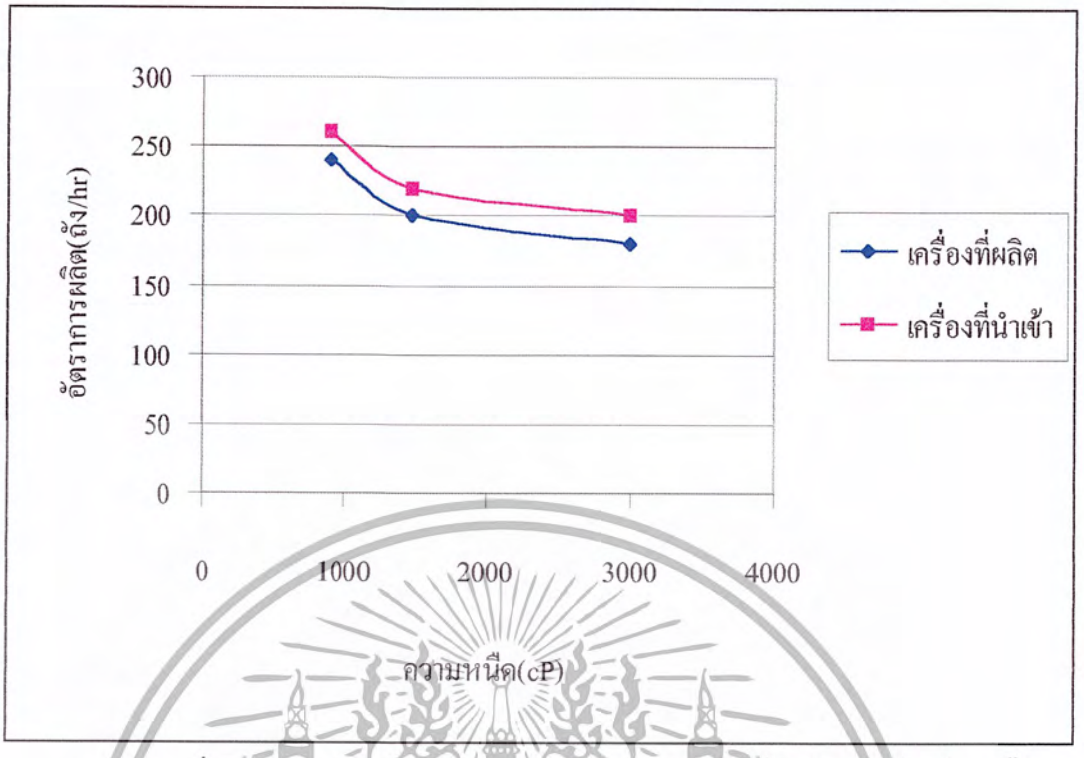
ในการทดสอบการใช้งานของเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ ในขั้นแรกจะทดสอบลำดับการทำงานของเครื่องโดยการเดินเครื่องเปล่า หากลำดับการทำงานของเครื่องถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ในขั้นตอนต่อไปจะใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดสอบเพื่อตรวจสอบการรั่วของระบบก่อน แล้วจึงค่อยทำการทดสอบกับสีจริงโดยใช้สี 3 ชนิดในการทดสอบคือ สีน้ำธรรมดาความหนืด 3,000 เซนติพอยท์ สีน้ำชนิดพิเศษความหนืด 1,500 เซนติพอยท์ และสีน้ำมันความหนืด 900 เซนติพอยท์ การทดสอบการใช้งานเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้คือ

1. เปิดปั๊มไดอะแฟรมเพื่อสูบสีขึ้นไปยังถังพัก (Hopper) ซึ่งอยู่ด้านบนของเครื่อง สังเกตดูการทำงานของปั๊มและลูกลอยเมื่อระดับสีในถังพักเพิ่มขึ้น สังเกตการรั่วซึมของน้ำที่ทุกๆจุด
2. ปรับตำแหน่งการตัดของลิมิตสวิทซ์ที่ชุดชั่งน้ำหนักให้อยู่ที่ 20 กิโลกรัม
3. กดสวิทซ์ Start (สวิทซ์ปุ่มกด) สังเกตการทำงานของชุดขับเคลื่อนถังสี
4. บิดสวิทซ์เดินเครื่อง(สวิทซ์บิด)ไปยังตำแหน่ง Start สังเกตดูการทำงานของเครื่อง
5. ป้อนถังเข้าสู่กระบวนการบรรจุพร้อมกับเปิดการทำงานของชุดปิดฝาโดยการบิดสวิทซ์ปิดฝาไปยังตำแหน่ง Start สังเกตการทำงานของชุดขับเคลื่อนถัง ชุดปิดฝา การหยดของสีที่หัวจ่าย จับและจดบันทึกเวลาในการบรรจุต่อถัง รวมทั้งอ่านและจดบันทึกค่าน้ำหนักที่บรรจุในแต่ละถัง
6. ทดลองกดสวิทซ์ฉุกเฉิน สังเกตดูการทำงานของเครื่องบรรจุสี
7. หยุดการทำงานของเครื่องโดยบิดสวิทซ์เดินเครื่อง(สวิทซ์บิด)ไปยังตำแหน่ง Stop
8. ทดสอบการทำงานของระบบล้างเครื่องโดยบิดสวิทซ์ล้างเครื่อง(สวิทซ์บิด)ไปยังตำแหน่ง Start สังเกตการทำงานของเครื่องบรรจุสี
9. บิดสวิทซ์ล้างเครื่องกลับคืนสู่ตำแหน่ง Stop ตามเดิม

7.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการใช้งานเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติโดยการเดินเครื่องเปล่าพบว่าเครื่องบรรจุสีสามารถทำงานได้ถูกต้องตามลำดับขั้นตอนการทำงานที่ออกแบบไว้ ต่อมาเมื่อใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดสอบพบว่าไม่มีการรั่วซึมของน้ำเกิดขึ้นในระบบบรรจุเลย หลังจากนั้นจึงทดสอบการทำงานในการบรรจุสีจริงพบว่าไม่มีการรั่วในระบบเช่นเดียวกัน และมีอัตราการผลิตต่อชั่วโมงของสีแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตของเครื่องบรรจุสีที่นำเข้าจากต่างประเทศแสดงดังกราฟในรูปที่.. และในการบรรจุสีลงถังมีค่าความผิดพลาดของน้ำหนักสีแต่ละถังอยู่ที่ 1.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการผลิตของเครื่องที่นำเข้ากับเครื่องที่ผลิตขึ้น

จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตของเครื่องบรรจุสีจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความหนืดของสีที่บรรจุ โดยสีที่มีความหนืดน้อยจะมีอัตราการผลิตสูงกว่าสีที่มีความหนืดมาก และอัตราการผลิตของเครื่องที่สร้างขึ้นจะต่ำกว่าอัตราการผลิตของเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศประมาณ 10 % โดยเครื่องบรรจุสีที่นำเข้าสามารถบรรจุสีน้ำธรรมดาได้ 200 ถังต่อชั่วโมง ในขณะที่เครื่องบรรจุสีที่สร้างขึ้นสามารถบรรจุได้ 180 ถังต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
วิจารณ์และสรุป

8.1 วิจารณ์และสรุป

จากการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติ เราจะได้เครื่องบรรจุสีที่สามารถบรรจุสีที่มีความหนืดตั้งแต่ 500 เซนติพอยท์ ถึง 3,500 เซนติพอยท์ โดยเครื่องบรรจุสีที่ได้สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพและกำลังการผลิตต่ำกว่าเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศเล็กน้อย ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากหลายปัจจัยด้วยกันเช่น ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่อง ความดันที่ใช้งาน ค่าความหนืดของสี และการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ชุดรางเลื่อน เป็นต้น

เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้น มีขั้นตอนการทำงานน้อยกว่าเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่ได้จัดสร้างขึ้น แต่ทั้งนี้เครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่จัดสร้างขึ้นนั้นมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำกว่าเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่นำเข้าจากต่างประเทศถึงประมาณ 3 เท่า ดังนั้นเครื่องบรรจุสีอัตโนมัติที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้จึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่งให้กับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสี เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตในการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศที่มีราคาแพง

8.2 แนวทางการพัฒนา

เครื่องบรรจุสีอัตโนมัตินั้นยังมีส่วนที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกเช่น ชุดชั่งน้ำหนัก และชุดรางเลื่อน โดยชุดชั่งน้ำหนักของเครื่องบรรจุสีนั้นใช้ตาชั่งแบบสปริง ซึ่งตาชั่งแบบนี้เมื่อใช้งานไปนานๆแล้วจะทำให้สปริงเกิดการล้าขึ้นและทำให้ปริมาณในการบรรจุนั้นไม่แน่นอน เราสามารถพัฒนาได้โดยการเปลี่ยนมาใช้ตาชั่งที่มีความแน่นอนมากขึ้นเช่น โหลดเซลล์ ส่วนชุดรางเลื่อนนั้นได้ใช้แผ่นสแตนเลสเป็นแผ่นรองในการเลื่อนซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานในการเลื่อนมาก ในจุดนี้สามารถพัฒนาได้โดยการเปลี่ยนมาใช้โรลเลอร์ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานในการเลื่อนนั้นน้อยลง นอกจากนี้ยังอาจพัฒนาระบบปิดฝาถังโดยการติดตั้งชุดป้อนฝาถังอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] มงคล อาทิภาณุ "นิวแมติคส์ 1" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ, 2540

[2] ชาญ ถนัดงาน "กลศาสตร์ของไหล" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ, 2523

[3] ดร.วริทธ์ อึ้งอาภรณ์ "การออกแบบเครื่องจักรกล"ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541

[4] Robert W. Fox & Alan T. Mcdonald "INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS" 4th Edition, John Wiley & Sons Inc.1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแปลงหน่วยความหนืด

Centipoise	Krebs Uuit	Saybolt Universal	Centipoise	Krebs Uuit	Saybolt Universal	Centipoise	Krebs Uuit	Saybolt Universal
10		60	420		2050	3500	129	16500
15		80	440		2160	4000	133	18500
20		100	460	66	2270	4500	136	21000
25		130	480	67	2380	5000		23500
30		160	500	68	2480	5500		26000
40		210	550	69	2660	6000		28000
50	30	260	600	71	2900	6500		30000
60	33	320	700	74	3375	7000		32500
70	35	370	800	77	3380	7500		35000
80	37	430	900	81	4300	8000		37000
90	38	480	1000	85	4600	8500		39500
100	40	530	1100	88	5200	9000		41000
120	43	580	1200	92	5620	9500		43000
140	46	690	1300	95	6100	10000		46500
160	48	790	1400	96	6480	11000		51000
180	50	900	1500	98	7000	12000		55005
200	52	1000	1600	100	7500	13000		60000
220	54	1100	1700	101	8000	14000		65000
240	56	1200	1800		8500	15000		67500
260	58	1280	1900		9000	16000		74000
280	59	1380	2000	103	9400	17000		83500
300	60	1475	2100		9850	18000		83500
320		1530	2200		10300	19000		8800
340		1630	2300	105	10750	20000		9300
360	62	1730	2400	109	11200	30000		140000
380		1850	2500	114	11600			
400	64	1950	3000	121	14500			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางการบันทึกผล

	สีน้ำมัน	สีน้ำชนิดพิเศษ	สีน้ำธรรมดา
1	20.08	20.04	19.97
2	20.06	20.09	19.95
3	20.05	19.97	19.93
4	20.12	19.98	20.01
5	19.96	20.05	20.07
6	19.94	20.15	20.11
7	19.99	20.13	20.18
8	20.04	19.97	20.10
9	20.08	19.93	20.04
10	20.11	19.96	19.97
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	0.9%	1.1%	1.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้