สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE SEED SPACING DRILL INTO THE SEEDING GROW TRAY

T119263

นายศรนรินทร์ ทูนไธสง
นายศรัณยู บุญประสิทธิ์
นายโอฬาร ลัดดางาม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119263
วัน,เดือน,ปี.....- 6 ธ.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE SEED SPACING DRILL INTO THE SEEDING GROW TRAY

นายศรนรินทร์ ทูนไธสง

นายศรัณยู บุญประสิทธิ์

นายโอฬาร ลัดดางาม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE SEED SPACING DRILL INTO THE SEEDING GROW TRAY

โดย

นายศรนรินทร์ ทูนไธสง

นายศรัณยู บุญประสิทธิ์

นายโอพาร ลัดดางาม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE SEED SPACING DRILL INTO THE SEEDING GROW TRAY

ผู้จัดทำ

1. นายศรนรินทร์ ทูนไธสง รหัสประจำตัว 50011526
2. นายศรัณยู บุญประสิทธิ์ รหัสประจำตัว 50011532
3. นายโอฬาร ลัดดางาม รหัสประจำตัว 50011984

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์)

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

นายศรนรินทร์ ทูนไธสง 50011526
นายศรัณยู บุญประสิทธิ์ 50011532
นายโอฬาร ลัดดางาม 50011984

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงในถาดเพาะกล้า โดยมีขนาดของถาด กว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มีหลุมจำนวน 63 หลุม เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชนี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ 1) โครงสร้าง มีฐานรองรับเป็นแผ่นไม้ที่มีขนาดกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 240 เซนติเมตร และมีเสารองรับที่สามารถปรับระดับได้ 2) ชุดถาดหลุมหยอดเมล็ด 3) ปั๊มสุญญากาศพร้อมเข็มฉีดยาเบอร์ 18 และเบอร์ 21 ชุดละ 7 หัว 4) ชุดดันถาดเข้าและออก โดยใช้กระบอกนิวเมติกจำนวน 1 กระบอก 5) ชุดกดดินในถาดหลุมซึ่งใช้กระบอกนิวเมติก 1 กระบอก และมีเซนเซอร์ควบคุมการเคลื่อนตัวของกระบอกสูบโดยใช้เซนเซอร์ทำงานตามสนามแม่เหล็ก(Proximity sensor) 3 ตัว การทำงานเมื่อกดปุ่ม START กระบอกสูบที่ 1 คือ จะดันถาดเข้าไปเพื่อให้กระบอกสูบตัวที่ 2 ทำการกดดินให้เป็นหลุมในถาดเพาะกล้า จากนั้น กระบอกสูบตัวที่ 3 ที่มีท่อสุญญากาศก็จะดูดเมล็ดแล้วเลื่อนมาหยอดในหลุมที่เตรียมไว้ หลังจากนั้น ก็จะเลื่อนออกโดยการใช้กระบอกสูบตัวที่ 1 พร้องทั้งกลบหลุมโดยใช้แปรงปัดดินที่ติดตั้งที่ตัวเครื่อง

ผลจากการทำงานพบว่าเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชนี้ ใช้เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเข็มฉีดยา เบอร์18 ดูดเมล็ดพันธุ์พืชเฉลี่ย 49 หลุมต่อถาด (ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน Standard deviation (SD) เท่ากับ 2.48 เปอร์เซ็นต์) และมีประสิทธิภาพ 79.05 เปอร์เซ็นต์เหมาะสำหรับการหยอดเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวกวางตุ้งหรือ เมล็ดพืชที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ความสามารถในการทำงานของเครื่องสามารถทำงานได้ 29,400 หลุมต่อชั่วโมง และในแรงงานคนสามารถทำงานได้ 12,600 หลุมต่อชั่วโมง หรือเครื่องหยอดเมล็ดทำงานได้ดีกว่าแรงงานคน 2.33 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE VEGETABLE SEED SPACING DRILL INTO THE SEEDING GROW TRAY

Sornnarin Toonthaisong

Sarunyoo Boonprasit

Olan Raddagam

Lecture Teerapong Pholpo Advisor

Dr. Prasan Choomjaihan Advisor

ABSTRACT

The purposes of this engineering project are to design and development of vegetable seed spacing drill , release seed into seeding grow tray. The size of the seeding grow tray is 35 cm. wide, 40 cm. longs, and there are 63 holes. The vegetable seed releasing machine has the component of five parts as 1) Structure consist of base which is made of wood with the dimension 120 cm. wide, 240 cm. longs and support pillar which can adjust level. 2) The set of tray that use to drop seed. 3) The vacuum pump with 7 sets of hypodermic needle no. 18 and no. 21. 4) A set of pneumatic cylinder for driving movement of the dropping tray. 5) A soil pressing set consists of a set of pneumatic cylinder and 3 sensors working by magnetic field.

The machine begins to work when to press a 'START' button through a cylinder no.1 be compressed in order to cylinder no.2 to press the soil to become a hole in the tray. A cylinder no.3 that is vacuum duct to absorb the seed then it to slide to drop into the hole that was prepared. Then it will slide out through the cylinder no.1 with to press the hole by to use a brush of it.

The experimental results the machine through to use Pakchoi chinese cabbage that the size in diameter of hypodermic needle no. 18 to absorb seed to average 49 holes per a tray. (The standard deviation (SD) was 2.48 %) The efficiency of the machine is 79.05% that to appropriate to drop Pakchoi chinese cabbage or seed that has the size to be nearly. The workout of the machine can work 29400 holes per hour and human to work 12600 holes per hour. In conclusion, the machine was with good quality that it work quality is 2.33 of human.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบนิวเมติกและระบบไฟฟ้าควบคุม และนายฑศพร เกิดผล ปริญญาโทวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ปรึกษาระบบวงจรไฟฟ้าควบคุม นางจิตาพร กังสวัสดิ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมารวมถึงเงินทุนในการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะเมล็ด ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายศรนรินทร์ ทูนไธสง
นายศรัณยู บุญประสิทธิ์
นายโอพาร ลัดดางาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1ความต้องการของผู้บริโภคผักสด	3
2.2 ขั้นตอนการปลูก	4
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการปลูกในปัจจุบัน	9
2.4 หลักการของเครื่องหยอดเมล็ดที่มีอยู่ในปัจจุบัน	9
2.5ทฤษฎีของระบบนิวเมติก	12
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องจักร	52
3.1 ชุดโครงสร้าง	54
3.2 ชุดควบคุมต่างๆ	55
3.3 อธิบายการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ด	57
บทที่ 4 การดำเนินการทดสอบและผลการทดลอง	58
4.1 ทำการหาขนาดเข็มฉีดยา	58
4.1.1 จุดประสงค์ในการทดลอง	58
4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	58
4.1.3 ขั้นตอนในการทดลอง	58
4.1.4 ผลการทดลอง	58
4.2 ทำการทดลองหาความแม่นยำในการหยอดเพื่อหาค่าความผิดพลาด	60
4.2.1 จุดประสงค์ในการทดลอง	60
4.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
4.2.3 ขั้นตอนในการทดลอง	60
4.2.4 ผลการทดลอง	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.3 ข้อเสนอแนะและแก้ไข	63
ภาคผนวก ก การเลือกขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรนิวเมติก	64
ภาคผนวก ข วงจรเซนเซอร์	86
ภาคผนวก ค ภาพของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า	87
บรรณานุกรม	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 1 การส่งออกสินค้าเกษตร	4
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการบังคับการทำงานด้วยระบบต่าง ๆ	13
ตารางที่ 3 การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลมเมื่อรู้ค่าปริมาณความต้องการลมอัด	19
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก	31
ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ	38
ตารางที่ 6 ค่าของแรงที่หัวจับสามารถยกได้ทางทฤษฎี	43
ตารางที่ 7 ผลการทดลองการหาขนาดหัวเข็มฉีดยา	59
ตารางที่ 8 ผลการทดลองหาความแม่นยำในการหยอด	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1 ส่วนประกอบวัสดุเพาะกล้า	5
รูปที่ 2 การวัสดุเพาะใส่ในกระบะ	6
รูปที่ 3 การใช้ไม้จิ้มกลางหลุมของวัสดุเพาะนำเมล็ดผักหยอดลงในหลุมกระบะ	6
รูปที่ 4 นำกระบะเพาะวางไว้ในโรงเรือนแล้วรดน้ำให้ชุ่ม	7
รูปที่ 5 เมล็ดผักที่งอกหลังหยอดเมล็ด 3-5 วัน	7
รูปที่ 6 การย้ายกล้าผักจากกระบะลงในแปลง	8
รูปที่ 7 ระยะการปลูกผัก	8
รูปที่ 8 ลักษณะแปลงปลูกที่สมบูรณ์	8
รูปที่ 9 การหยอดเมล็ดโดยการใช้มือ	9
รูปที่ 10 ภาพเครื่องที่ได้จากคลิปวีดีโอ	9
รูปที่ 11 ตัวถีบถาดเข้าไปหาจุดหยอดเมล็ด	10
รูปที่ 12 การดันถาดโดยใช้กระบอกลม	10
รูปที่ 13 การทำงานของกระบอกสูบของการดูดจับเมล็ด	10
รูปที่ 14 ภาพตอนปล่อยเมล็ดลงหลุมหยอด	11
รูปที่ 15 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่อง	11
รูปที่ 16 ชาวกรีกโบราณที่ใช้ลมอัดเป็นตัวส่งกำลัง	12
รูปที่ 17 อุปกรณ์และระบบนิวเมติก	15
รูปที่ 18 เครื่องอัดอากาศชนิดเคลื่อนที่ได้	16
รูปที่ 19 เครื่องอัดอากาศชนิดติดตั้งถาวร	16
รูปที่ 20 การพิจารณาเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลม	17
รูปที่ 21 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ	19
รูปที่ 22 ลักษณะโครงสร้าง	19
รูปที่ 23 เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม	20
รูปที่ 24 ลักษณะโครงสร้าง	20
รูปที่ 25 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน	21
รูปที่ 26 ลักษณะโครงสร้าง	21
รูปที่ 27 เครื่องอัดอากาศ ชนิดสกรู	21
รูปที่ 28 ลักษณะโครงสร้าง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 29 เครื่องอัดอากาศ ชนิดใบพัดหมุน	22
รูปที่ 30 ลักษณะโครงสร้าง	22
รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศ ชนิดเรเดียนโฟลว์	22
รูปที่ 32ลักษณะโครงสร้าง	22
รูปที่ 33 เครื่องอัดอากาศ ชนิดแอกเซียลโฟลว์	23
รูปที่ 34 ลักษณะโครงสร้าง	23
รูปที่ 35 เครื่องกรองลมท่อส่งลมอัด	24
รูปที่ 36ลักษณะโครงสร้าง	24
รูปที่ 37 เครื่องระบายความร้อนลมอัด	24
รูปที่ 38 ถังเก็บลมอัด	25
รูปที่ 39 อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพ	25
รูปที่ 40 ลักษณะการจับยึดกระบอกสูบโดยใช้สกรู	26
รูปที่ 41 ลักษณะการจับยึดกระบอกสูบโดยใช้ตัวจับตามลักษณะงาน	26
รูปที่ 42 ลิมิตสวิตช์	27
รูปที่ 43 หน้าสัมผัสชนิดทำงานช้า	27
รูปที่ 44 หลักการต่อสวิตช์	28
รูปที่ 45 การติดตั้งลิมิตสวิตช์	28
รูปที่ 46 ลิมิตสวิตช์ที่ติดตั้งอยู่ปลายกานสูบ	29
รูปที่ 47 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ	29
รูปที่ 48 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำแบบทำงานทางเดียว	30
รูปที่ 49 หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ	32
รูปที่ 50 ระยะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับ	33
รูปที่ 51 การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ	34
รูปที่ 52 รีเลย์หน่วงเวลา	35
รูปที่ 53 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)	35
รูปที่ 54 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง	37
รูปที่ 55 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสองข้าง	38
รูปที่ 56 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสองข้าง	30
รูปที่ 57 ลักษณะของข้อต่อที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 58 โครงสร้างภายในของหัวพ่นลมที่ทำให้เกิดสุญญากาศ	40
รูปที่ 59 การหาค่าของสุญญากาศตามหลักการของทอร์ริเชลลิ	41
รูปที่ 60 การขนย้ายห่อ	41
รูปที่ 61 การยกแผ่นเหล็ก	41
รูปที่ 62 งานจับยึดกระจก	42
รูปที่ 63 งานจับยึดงานแผ่นเรียบสำหรับพ่นสี	42
รูปที่ 64 งานจับตัวไอซี	42
รูปที่ 65 งานจับชิ้นงานเครื่องประดับ	42
รูปที่ 66 งานจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	42
รูปที่ 67 งานจับชิ้นส่วนของนาฬิกา	42
รูปที่ 68 กราฟหาความสิ้นเปลืองลมที่ใช้	44
รูปที่ 69 วงจรพื้นฐาน	44
รูปที่ 70 วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วแบบปุ่มกด	45
รูปที่ 71 วงจรพื้นฐานใช้ไฟฟ้าควบคุม	45
รูปที่ 72 วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วใช้ไฟฟ้าควบคุม	45
รูปที่ 73 วงจรปรับสุญญากาศที่หัวจับได้	46
รูปที่ 74 วงจรที่ติดตั้งสวิตช์สุญญากาศเข้าไปในระบบ	46
รูปที่ 75 วงจรที่ติดตั้งหัวจับสุญญากาศหลายหัว	47
รูปที่ 76 การเดินท่อลมในวงจรหัวจับสุญญากาศ	47
รูปที่ 77 การจับชิ้นงานที่มีรูพรุนมากๆ	48
รูปที่ 78 การจับชิ้นงานที่มีความบางเกินไป	48
รูปที่ 79 การจับชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน	48
รูปที่ 80 แผ่นชิ้นงานที่มีความกว้างมากเกินไป	48
รูปที่ 81 การจับยกเหล็กแผ่นที่วางซ้อนกันอยู่หลายแผ่น	49
รูปที่ 82 การจับยึดชิ้นงานด้านข้างตัวรองรับหัวจับ	49
รูปที่ 83 แสดงการยึดปลายเสาด้วยวิธีต่าง ๆ	51
รูปที่ 84 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า	52
รูปที่ 85 ส่วนประกอบของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืช	54
รูปที่ 86 วงจรควบคุมนิวเมติก	55
รูปที่ 87 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรควบคุมของเครื่องหยอดเมล็ด	55
รูปที่ 88 วงจรไฟฟ้าควบคุมระบบนิวเมติก	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 89 ไดอะแกรมหน้าที่การทำงานของเครื่องหยอดเมล็ด	57
รูปที่ 90 กราฟแสดงขนาดหัวเข็มแต่ละเบอร์ในการหยอดเมล็ดพืชลงหลุม	60
รูปที่ 91 กราฟแสดงความแม่นยำในการหยอดของหัวเข็ม เบอร์ 18	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การปลูกพืชผักเพื่อบริโภคสดในอดีตมีวิธีการปลูกมีอยู่ 2 แบบ คือ การปลูกด้วยการหยอดเมล็ดลงบนแปลงปลูกและการเพาะเมล็ดให้เป็นต้นกล้าก่อนที่จะย้ายลงไปปลูกในแปลงความแตกต่างในการปลูกผักทั้ง 2 วิธีนี้อยู่ที่ปริมาณการใช้เมล็ดพันธุ์ในการปลูกจาก วิธีแรกเป็นการปลูกด้วยเมล็ด โดยตรงลงบนแปลงปลูก หลังจากต้นงอกออกมาแล้ว หากพบว่าต้นกล้ามีระยะการปลูกชิดกันเกินไปก็จำเป็นต้องถอนต้นกล้าบางส่วนทิ้งเพื่อทำให้ต้นกล้าที่เหลือเจริญงอกงามได้ดี ส่วนการปลูกแบบย้ายกล้านั้นจะสิ้นเปลืองเมล็ดพันธุ์น้อยกว่าเนื่องจากไม่มีการถอนทิ้งดังนั้นสำหรับการปลูกผักที่มีราคาแพงนั้นการปลูกแบบเพาะเป็นต้นกล้าจึงเหมาะสมอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันระบบการปลูกแบบเพาะกล้าได้รับความนิยมและแพร่หลายขึ้นเรื่อยๆ ในพืชผักบางชนิดที่มีราคาแพงนั้นจะมีการขายผักในลักษณะต้นกล้าเพื่อให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจจะปลูกผักกินเอง โดยซื้อไปทำการปลูกและดูแลจนสามารถบริโภคได้ธุรกิจดังกล่าวเริ่มเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย โดยระยะแรกจะมีต้นกล้าผักขายแบบยกถาดซึ่งผลิตโดย **บริษัท ไดนามิคพันธุ์พืช จำกัด** บริษัทนี้นำเข้าอุปกรณ์หยอดเมล็ดลงบนถาดเพาะจากต่างประเทศซึ่งมีราคาประมาณ 150,000 บาทซึ่งเกินกำลังที่กลุ่มธุรกิจขนาดเล็กในประเทศไทยจะสามารถซื้อได้ ดังนั้นหากมีการออกแบบสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงบนถาดเพาะได้เองโดยใช้เทคโนโลยีภายในประเทศก็จะทำให้กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก (SME) ของไทยสามารถเพาะต้นกล้าผักได้

เนื่องจากในปัจจุบันมีวิธีการหยอดเมล็ดพันธุ์ลงบนถาดเพาะกล้าของกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กยังคงเป็นการใช้แรงงานคนซึ่งมีข้อบกพร่องในการทำงานคือความล่าช้าในการทำงานประมาณ 8 ถาดต่อชั่วโมง หรือ 56 ถาดต่อวัน และการหยอดเมล็ดพันธุ์ผักขนาดเล็กๆนั้นหากใช้คนหยอดจะเกิดปัญหาการหยอดเมล็ดลงในแต่ละหลุมมากเกินไปสิ้นเปลืองเมล็ดพันธุ์พืชอย่างมากส่งผลให้ต้นทุนของต้นกล้าที่ใช้คนปลูกมีมากกว่าแบบใช้เครื่อง

วัตถุประสงค์

1. ประยุกต์ระบบนิวเมติกเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดพืชแทนมนุษย์
2. ออกแบบและพัฒนากลไกการเคลื่อนที่ในแต่ละส่วนของเครื่องหยอดเมล็ดให้ทำงานได้อย่างสอดคล้องที่สุด
3. ทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมและความสามารถในการทำงานของ เครื่องต้นแบบ

ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาและสร้างกลไกการจับเมล็ดทีละเมล็ด
2. ศึกษาและสร้างกลไกขยับถาดเพาะเมล็ดขนาดกว้าง 350 มม. ยาว 400 มม.
3. ศึกษาและสร้างกลไกการปล่อยเมล็ดลงหลุมของถาดเพาะกล้าขนาด 63 หลุม
4. ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดระบบนิวเมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องหยอดเมล็ด
2. เพื่อเป็นการพัฒนาอีกขั้นของการนำเครื่องจักรไปใช้ในการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกร
3. เครื่องต้นแบบที่ได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความต้องการของผู้ปริโภคผักสด

ผักเป็นพืชที่มีความสำคัญกับชีวิตคนทั่วโลกและคนไทยมานานแล้วเป็นแหล่งของสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายได้แก่วิตามินแร่ธาตุต่างๆและแหล่งเยื่อใยช่วยในการขับถ่ายนอกจากนี้ยังพบว่าผักหลายชนิดมีสาระสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพโดยตรงเช่น lycopene citrulline cucurbitacin capsaicin เป็นต้น ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งหลายชนิด โรคอ้วน โรคความดันโลหิต โรคเบาหวานและโรคอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากรายงานของ WHO พบว่าในประเทศกำลังพัฒนายังมีการบริโภคผักและผลไม้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตายจากโรคดังกล่าวดังนั้นจึงได้จัดทำโครงการรณรงค์ให้ทั่วโลกมีการบริโภคผักให้ได้อย่างน้อย 400 กรัมต่อคนต่อวัน

ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคผักใน 5 ลักษณะกล่าวคือ ลักษณะที่1 ในรูปของผักเคียงหรือกับแกล้ม (สดนึ่ง ลวกหรือ ต้ม) กับน้ำพริก หรืออาหารรสจัดต่างๆ เช่น ลาบ ส้มตำลักษณะที่ 2 ในรูปของผักปรุงรสและแต่งกลิ่น เช่น ใส่ในต้มยำ ยำ หรือแกงต่างๆ ลักษณะที่ 3 ใช้เป็นส่วนประกอบหลัก เช่น ผัด ยำ และต้ม ลักษณะที่ 4 ใช้เป็นเครื่องดื่ม เช่น น้ำตะไคร้ น้ำบัวบก น้ำแตงโม น้ำมะเขือเทศและน้ำผักรวม และลักษณะที่ 5 ใช้เป็นผลไม้ได้แก่ แตงโม แคนตาลูป และ มะเขือเทศ ของว่างและของขบเคี้ยว ได้แก่ เมล็ดแตงโม และเมล็ดฟักทอง สำหรับปริมาณการบริโภคผักในประเทศ มีประมาณ 3.7 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าไม่น้อยกว่า 18,600 ล้านบาท (คิดจากการบริโภค 60 ก.ก./คน/ปี และราคาเฉลี่ย 5 บาท/ก.ก.) [1]

การผลิตผักในประเทศไทยแบ่งออกได้ เป็น 3 กลุ่ม คือ ผักสด ผักแปรรูปและเมล็ดพันธุ์ผัก ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกจำนวน 3.2 ล้านไร่ได้ผลผลิตปริมาณ 5.2 ล้านตันต่อปี (ค่าเฉลี่ยจาก 5 ปี เพาะปลูกจากปี 2541/42 ถึง 2545/46 เฉพาะ 50 ชนิดที่มีการสำรวจโดยกรมส่งเสริมการเกษตร) ลักษณะการผลิต มีตั้งแต่เป็นสวนครัวหลังบ้านจนถึงแปลงปลูกขนาดใหญ่เพื่อส่งโรงงานแปรรูป รวมทั้งการปลูกในโรงเรือนทั้งที่ใช้ดินและไม่ใช้ดินด้วย แต่ส่วนใหญ่เป็นการผลิตแบบรายย่อย ปัญหาของการผลิตนอกเหนือจากปัญหาการตลาดเช่นเดียวกับผลิตผลทางการเกษตรอื่นๆแล้ว ที่เป็นปัญหาสำคัญมากในปัจจุบันคือมีสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่ในผลผลิต ทั้งนี้เนื่องจากผักเป็นพืชอวบน้ำมีศัตรูมาก ในการผลิตจึงมีการใช้ป้องกันกำจัดศัตรูมากตามไปด้วย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ส่วนการผลิตเพื่อส่งโรงงานแปรรูปพบว่ามีปัญหาคือ ผลผลิตต่ำ ไม่ได้มาตรฐานและไม่สม่ำเสมอ ต้นทุนสูง ส่งผลให้โรงงานมีต้นทุนการผลิตสูงไม่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

เนื่องจากผักเป็นพืชอายุสั้นที่ให้ผลตอบแทนสูงมีความต้องการใช้บริโภคภายใน ประเทศและส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ดังนั้นจึงเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญต่อชีวิตของคนไทยทั้งด้านเศรษฐกิจ และด้านคุณภาพชีวิตของผู้ผลิต ผู้บริโภคและผู้ค้าตลอดจนด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบกับผักมีมากมายหลายชนิด โดยเฉพาะผักพื้นบ้านที่เริ่มมีความสำคัญมากขึ้น จากการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารเพื่อสุขภาพและสมุนไพร และผลกระทบที่มีต่อการผลิต การแปรรูป และการส่งออกผักของไทย ที่เกิดจากนโยบายของรัฐบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เรื่องคือ นโยบายการเปิดเขตการค้าเสรีกับประเทศจีนซึ่งเป็นผลมาจากการลงนามข้อตกลงทางการค้าแบบทวิภาคีและนโยบายครัวโลก (Kitchen of the world) ทำให้ต้องมีการประมวลสถานภาพของการวิจัยผักโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับผลการวิจัยผักที่นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ขึ้น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยคณะกรรมการสาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยาจึงได้มอบหมายให้คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นโดยศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืนเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดสัมมนาในเรื่องการนำผลการวิจัยผักสู่การปฏิบัติเชิงพาณิชย์ขึ้นปี 2548 การส่งออกสินค้าเกษตร อาหารและแปรรูปเกษตร มีมูลค่าประมาณ 768,700 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 12.67 ซึ่งสามารถแยกเป็นรายสาขา ดังนี้

ตารางที่ 1 การส่งออกสินค้าเกษตร [2]

สินค้า	ล้านบาท	เพิ่มขึ้น
พืชและผลิตภัณฑ์	425,700	16.85 %
ปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์	56,700	5.62 %
ประมงและผลิตภัณฑ์	176,400	11.30 %
ไม้และผลิตภัณฑ์	83,800	5.17 %
สินค้าอื่นๆ	25,900	0.08 %

2.2 ขั้นตอนการปลูก

การปลูกพืชให้ประสบผลสำเร็จสูงและลดค่าใช้จ่ายได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง นับจากเมล็ดพันธุ์ที่ใช้จนถึงการเก็บเกี่ยว ผลผลิต และถ้าจะให้ดีเกษตรกรควรเริ่มต้นจากการหาเมล็ดพันธุ์ที่ดีแล้วนำมาเพาะกล้า *การเพาะกล้าให้ต้นแข็งแรงและมีคุณภาพดี จะส่งผลต่อพืช ทำให้ต้นแข็งแรงและให้ผลผลิตสูง* การเพาะกล้าพืชที่ถูกต้อง มีขั้นตอน ดังนี้ 1. ต้องเลือกเมล็ดพันธุ์พืชที่มีคุณภาพที่ดี คือ ทนต่อโรคและแมลง, เปอร์เซ็นต์ความงอกสูง รวมทั้งดูวัน เดือน ปี ที่ผลิตว่ายังไม่ หมดอายุ 2. ถ้าเมล็ดพืชที่เพาะมีเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งควรกะเทาะหรือลอกเปลือกออก วิธีการนี้จะช่วยให้เมล็ดงอกเร็วขึ้นกว่าการเพาะเมล็ด ทั้งเปือก พืชที่นิยมลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออก เช่น มะม่วง 3. การแช่น้ำเมล็ดพืชจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง จึงช่วยให้เมล็ดพืชงอกได้เร็วขึ้น วิธีการคือนำมาแช่ในน้ำอุ่น (ใช้น้ำร้อนผสมน้ำเย็น อัตราส่วน 1 : 1) แช่นาน 30 นาที และปล่อยจนน้ำเย็น แช่ทิ้งไว้นาน 10 – 12 ชม. จึงนำมาเพาะลงในถาดเพาะกล้าพืชที่ นิยมแช่น้ำเมล็ด เช่น พริก มะเขือ 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมวัสดุเพาะกล้าพืช ทำได้โดยการผสมดินร่วน : ปุ๋ยคอกละเอียดและเก่า : ขี้เถ้าแกลบ อัตราส่วน 1 : 1 : 1 เมื่อผสม วัสดุเพาะกล้าแล้วนำกรอกลงในภาชนะ เช่น ถาดเพาะ กระถาง ถุงพลาสติก ฯลฯ โดยใส่วัสดุเพาะกล้าลงในภาชนะประมาณ 2 ใน 3 ของความสูง ของภาชนะบรรจุไม่ควรใส่ให้สูงล้นเต็มภาชนะ เพราะเวลารดน้ำจะทำให้เมล็ดพันธุ์ไหลหลุดติดไปกับน้ำที่ใช้รด 5. เกลี่ยผิวหน้าวัสดุเพาะให้เรียบ และทำเป็นหลุมหรือร่องเล็ก ๆ ตามขนาดความยาวของภาชนะ ระยะห่างระหว่างแถว ประมาณ 3 ซม. ลึกประมาณ 0.5 – 1 ซม. 6. โรยเมล็ดพันธุ์ลงไป ถ้าเป็นหลุมปลูก ควรหยอดเมล็ด 2-3 เมล็ด/หลุม ถ้าโรยเป็นแถว ควรโรยบาง ๆ และกลบวัสดุปลูกทับ เมล็ดพันธุ์ผักที่โรยไว้ 7. ควรหว่านปุ๋นขาวบาง ๆ ลงบนผิวของวัสดุปลูกเพื่อป้องกันมดหรือแมลงเข้าทำลายเมล็ดพันธุ์ 8. ควรวางภาชนะเพาะกล้าในที่ร่มรำไร และรดน้ำทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้งในช่วงเช้า และเย็น 9. เมื่อเมล็ดเริ่มมีใบจริง ควรวางภาชนะเพาะกล้าให้ได้รับแสงสว่างในช่วงครึ่งวันเช้า หรือใช้วัสดุพรางแสงกั้นบนภาชนะที่ใช้เพาะ กล้า เพื่อให้กล้าผักเริ่มปรับตัวแข็งแรงขึ้นและไม่กระทบกระเทือนต่อสภาพการย้ายปลูกต่อไป

2.2.1 การเตรียมวัสดุเพาะ

- วัสดุเพาะกล้าประกอบไปด้วย แกลบเผา 3 ส่วน ดิน 1 ส่วน ปุ๋ยหมัก(โบกาฉิ) 1 ส่วน (รูปที่ 1)
- และกระบะเพาะกล้าผัก ขนาด 6x17 ช่อง จะเพาะได้ประมาณ 108 ต้น หรือ กระบะโฟมจะเพาะได้ 90 ต้น
- เมล็ดพันธุ์ผักที่เพาะได้มีความงอกประมาณ 80 %

รูปที่ 1 ส่วนประกอบวัสดุเพาะกล้า

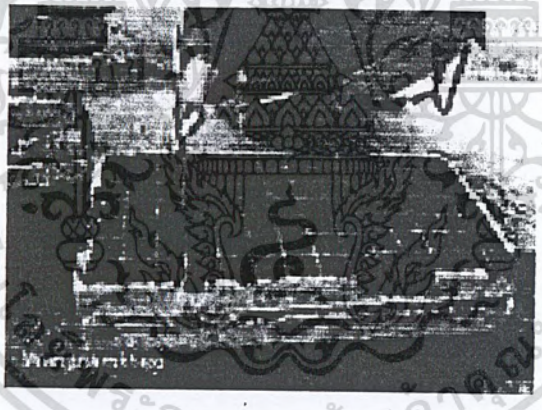
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการเพาะกล้าผัก

- นำวัสดุเพาะมาผสมกันและนำใส่กระบะเพาะกล้าให้เต็มถาดเพื่อรอการหยอดเมล็ดพืช (รูปที่ 2)

รูปที่ 2 การวัสดุเพาะใส่ในกระบะ

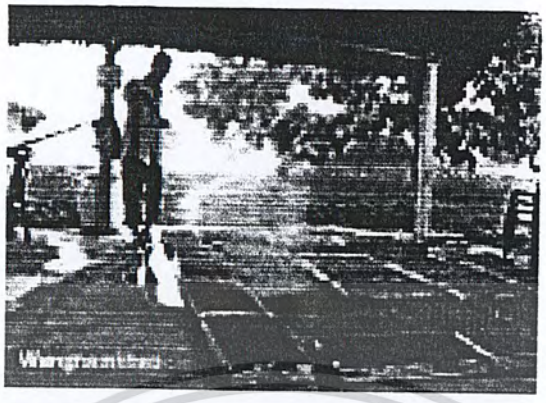
-ใช้ไม้จิ้มกลางหลุมของวัสดุเพาะนำเมล็ดผักหยอดลงในหลุมกระบะ เพาะหลุมละ 1 เมล็ดแล้วกลบด้วยวัสดุเพาะบางๆ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 การใช้ไม้จิ้มกลางหลุมของวัสดุเพาะนำเมล็ดผักหยอดลงในหลุมกระบะ

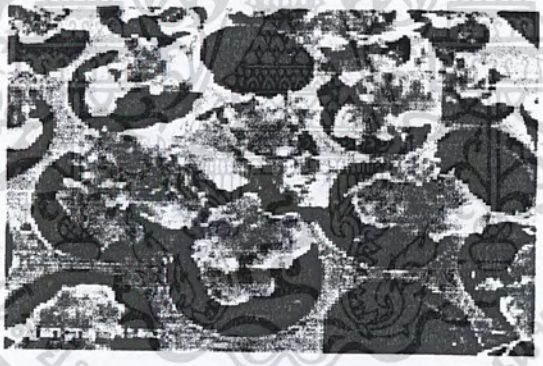
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำกระบะเพาะวางไว้ในร่มรำไร หรือในโรงเรือนแล้วรดน้ำให้ชุ่มวันละ 2 ครั้ง เวลา 7.00 - 8.00 น.และ15.00-16.00 น. (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 นำกระบะเพาะวางไว้ในโรงเรือนแล้วรดน้ำให้ชุ่ม

- เมล็ดผักจะงอกหลังหยอดเมล็ด 3-5 วัน หลังจากผักมีใบ 3-5 ใบ หรือ มีอายุประมาณ 20วัน ให้ย้ายกล้าปลูกลงในแปลง (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 เมล็ดผักที่งอกหลังหยอดเมล็ด 3-5 วัน

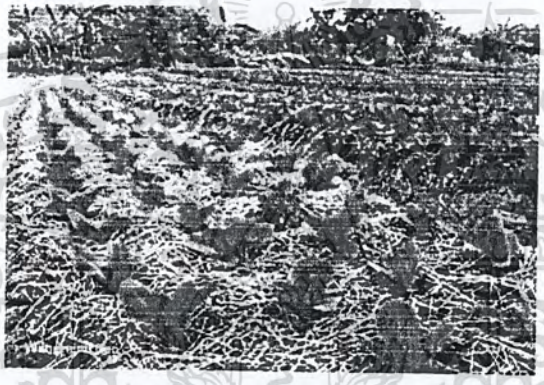
2.2.3 การย้ายกล้าปลูก

- รดน้ำแปลงผักที่เตรียมไว้แล้วให้ชุ่ม
- ย้ายกล้าผักจากกระบะลงในแปลงแต่ยังไม่ต้องรดน้ำเพื่อไม่ให้ดินอัดแน่นเกินไปเพราะอาจจะทำให้รากขาดอากาศหายใจ (รูปที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 การย้ายกล้าผักจากกระบะลงในแปลง

- รดน้ำแปลงผักให้ชุ่มอีกครั้งในตอนเช้าเพื่อไม่ให้ดินอัดแน่นที่ต้นกล้า
- ระยะปลูกผัก 3 - 4 ต้น แล้วแต่ความกว้างของหน้าแปลง ถ้าหน้าแปลงกว้างประมาณ 1 ม. (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 ระยะการปลูกผัก

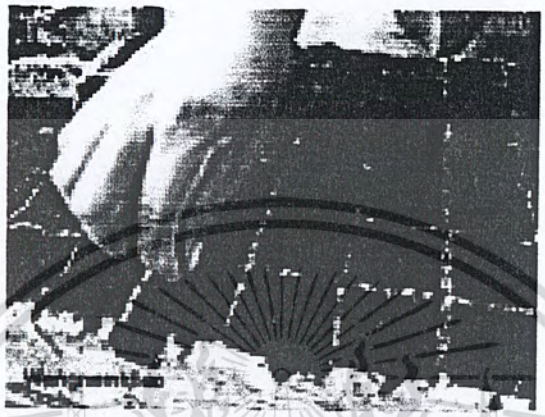
- ควรทำการย้ายกล้าผักในตอนเย็นเพื่อให้ผักพักตัวช่วงกลางคืนและฟื้นตัวเร็วขึ้นใน 1 ปีสามารถปลูกผักได้ 2-3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด แต่ไม่ควรปลูกในมากกว่านี้เพราะจะทำให้ดินเสื่อมเร็ว และ ควรมีกพักแปลงอย่างน้อย 1 รุ่น เพื่อให้ดินฟื้นตัว ตัดวงจรศัตรูพืชในดินและปลูกปุ๋ยพืชสด (รูปที่ 8)

รูปที่ 8 ลักษณะแปลงปลูกที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการปลูกในปัจจุบัน

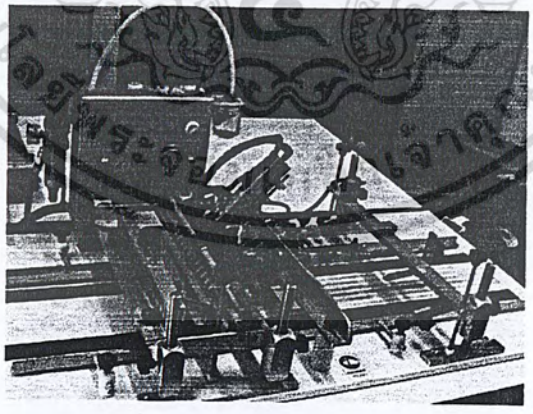
ในปัจจุบันธุรกิจขายต้นกล้าผักยังเป็นธุรกิจขนาดเล็กซึ่งทำให้ธุรกิจนี้มีเงินทุนน้อยจึงไม่สามารถซื้อเครื่องหยอดเมล็ดได้เนื่องจากเครื่องหยอดเมล็ดมีราคาแพงมากถ้าซื้อมาก็จะทำให้ต้นทุนของต้นกล้าแพงและทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับคนอื่นได้ ส่วนใหญ่ธุรกิจนี้จะเพาะเมล็ดโดยการใช้มือในการหยอดและใช้กิ่งไม้มาจิ้มให้เป็นหลุมและค่อยหยอดเมล็ด (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 การหยอดเมล็ดโดยการใช้มือ

2.4 หลักการของเครื่องหยอดเมล็ดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

เมื่อเราได้ดูคลิปวีดีโอของเครื่องหยอดเมล็ด (รูปที่ 10) เราทำการดูการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้าแต่ละฟังก์ชั่นและแยกการทำงานแต่ละส่วนออกมาเป็นฟังก์ชั่น จะได้ออกมาเป็นดังนี้



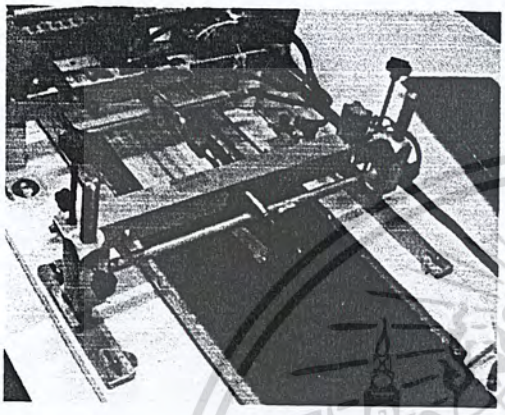
รูปที่ 10 ภาพเครื่องที่ได้จากคลิปวีดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

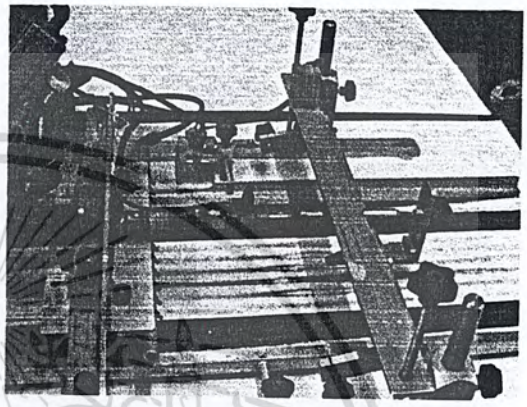
วิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงานของเครื่อง

การลำเลียงถาด ⟶ การดูดจับเมล็ดพืช ⟶ การปล่อยเมล็ดพืช

2.4.1 การลำเลียงถาดเพาะกล้า มีหลักการทำงาน คือ ตัวดันถาดนี้จะใช้กระบอกลมทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสอง คอยดันถาดเข้าไปจุดหยอดเมล็ด (รูปที่ 11,12)

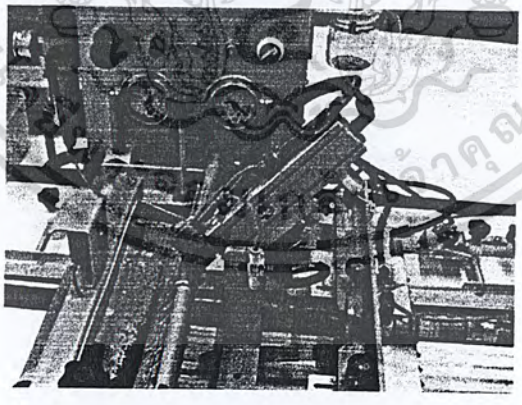


รูปที่ 11 ตัวถีบถาดเข้าไปหาจุดหยอดเมล็ด



รูปที่ 12 การดันถาดโดยใช้กระบอกลม

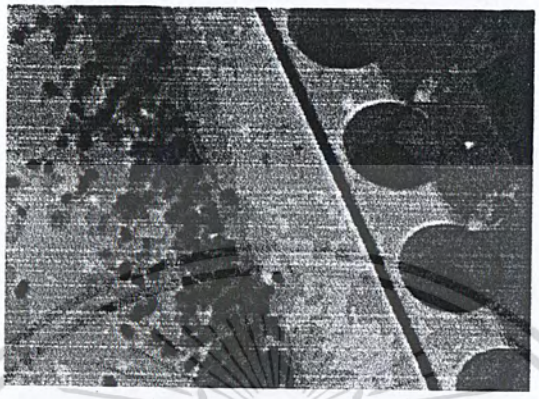
2.4.2 การดูดจับเมล็ดพืช หลักการทำงาน คือ กระบอกสูบชนิดทำงานสองทางและเป็นตัวบังคับท่อให้เลื่อนเข้า-ออก ไปที่ถาดใส่เมล็ดพืชแล้วใช้ลมสุญญากาศดูดเมล็ดพืชแล้วเลื่อนกลับมาปล่อยที่หลุมหยอด (รูปที่ 13)



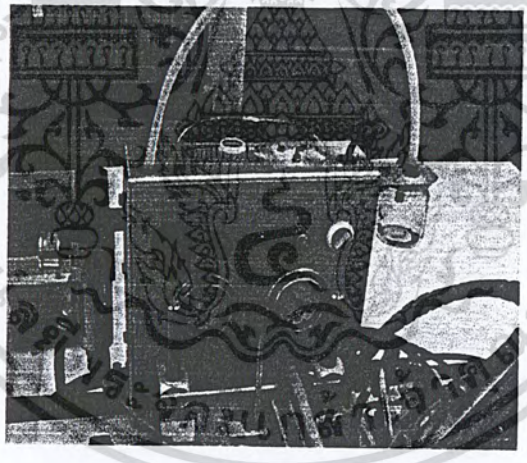
รูปที่ 13 การทำงานของกระบอกสูบของการดูดจับเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การปล่อยเมล็ดพืช หลักการทำงาน คือ เมื่อท่อสุญญากาศมาถึงจุดปล่อยเมล็ด เซนเซอร์จะสั่งให้วาล์วที่ควบคุมลมสุญญากาศจะตัดลมเมล็ดพืชก็จะหล่นลงไปในหลุมหยอดเมล็ดโดยระบบทั้งหมดจะจะถูกตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องและมีเกจ์วัดแรงดันลมรวมถึงสวิตท์เปิด-ปิด เครื่อง (รูปที่ 14,15)



รูปที่ 14 ภาพตอนปล่อยเมล็ดลงหลุมหยอด



รูปที่ 15 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีของระบบนิวเมติก

นิวเมติก (pneumatic) มาจากคำว่า **นิวมา** (pneuma) เป็นภาษากรีกโบราณ หมายถึง ลมหรือ ลมหายใจ วิชานิวเมติกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับลมและลมที่เคลื่อนที่และยังเป็นหนึ่งในจำนวนวิทยาการที่เก่าแก่ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้จนถึงปัจจุบัน มนุษย์ได้รู้จักวิธีการใช้นิวเมติกมาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น การใช้ไม้ซาง (ktesibios) เป่าลูกดอกเพื่อการล่าสัตว์ การใช้สูบเป่าไฟช่วยในการถลุงแร่เมื่อประมาณ 3,000 ปีก่อน และเมื่อ 2,000ปีก่อน ชาวกรีกโบราณได้สร้างปืนใหญ่โดยใช้ลมอัดเป็นตัวส่งกำลังเป็นต้น (รูปที่ 16)

รูปที่ 16 ชาวกรีกโบราณที่ใช้ลมอัดเป็นตัวส่งกำลัง

ในช่วงปี ค.ศ. 1653 ปาสกาล ได้ค้นพบหลักที่ว่า ความดันที่กระทำไปยังส่วนใดๆ ก็ตามของก๊าซหรือของไหลที่อยู่ในภาชนะปิดก็จะถ่ายทอดไปยังส่วนที่เหลือในภาชนะปิดนั้นๆในขนาดที่เท่ากันทฤษฎีที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาวิชานิวเมติก [3]

ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ได้มีผู้ค้นคว้าเกี่ยวกับระบบลมอัดหรือระบบนิวเมติกเพื่อนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ต่อมาในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 **เจมส์ วัตต์** ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปและกลับโดยใช้ไอน้ำซึ่งมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศและสิ่งนี้เองได้กลายมาเป็นต้นกำเนิดของการสร้างกระบอกสูบของระบบนิวเมติก

ปัจจุบันได้มีการใช้ลมอัดและระบบนิวเมติกมาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ งานการบรรจุหีบห่อ งานด้านกระบวนการผลิตอาหารงานการประกอบสิ่งต่างๆ งานขนย้ายวัสดุ งานพิมพ์ และงานด้านอื่นๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติ และการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้นถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้าสามารถดัดแปลงเป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวเมติกยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีโครงสร้างอย่างง่าย มีความสะดวกในการบำรุงรักษา เป็นต้น

การเปรียบเทียบระบบนิวเมติกกับระบบการทำงานอื่น ๆ

เนื่องจากในงานอุตสาหกรรม การบังคับการทำงานด้วยระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฮดรอลิก และระบบนิวเมติก ซึ่งแต่ละระบบก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปดังรายละเอียด ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการบังคับการทำงานด้วยระบบต่าง ๆ [4]

รายละเอียดของระบบ		บังคับการทำงานด้วยระบบ			
		กลไก	ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบขับเคลื่อน	โครงสร้าง	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างจะซับซ้อน	ค่อนข้างจะซับซ้อน	ง่าย
	ความสามารถ	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี แต่ต้องระวัง
	เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ง่าย	ง่าย	ยาก	ง่าย
	เคลื่อนที่แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	น้อย-มาก	น้อย-มาก	กลาง-มากกว่า	น้อย-กลาง
	การปรับกำลังขับ	ยาก	ยาก	ง่าย	ง่าย
	การบำรุงรักษา	ง่าย	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	ความเร็วคงที่	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ไม่คงที่ ความดันต่ำ
	การรับภาระเกินกำหนด (overload)	ค่อนข้างยาก	ยาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การเลือกรูปแบบการติดตั้ง	น้อย	กลาง	มาก	มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปรียบเทียบการบังคับการทำงานด้วยระบบต่าง ๆ

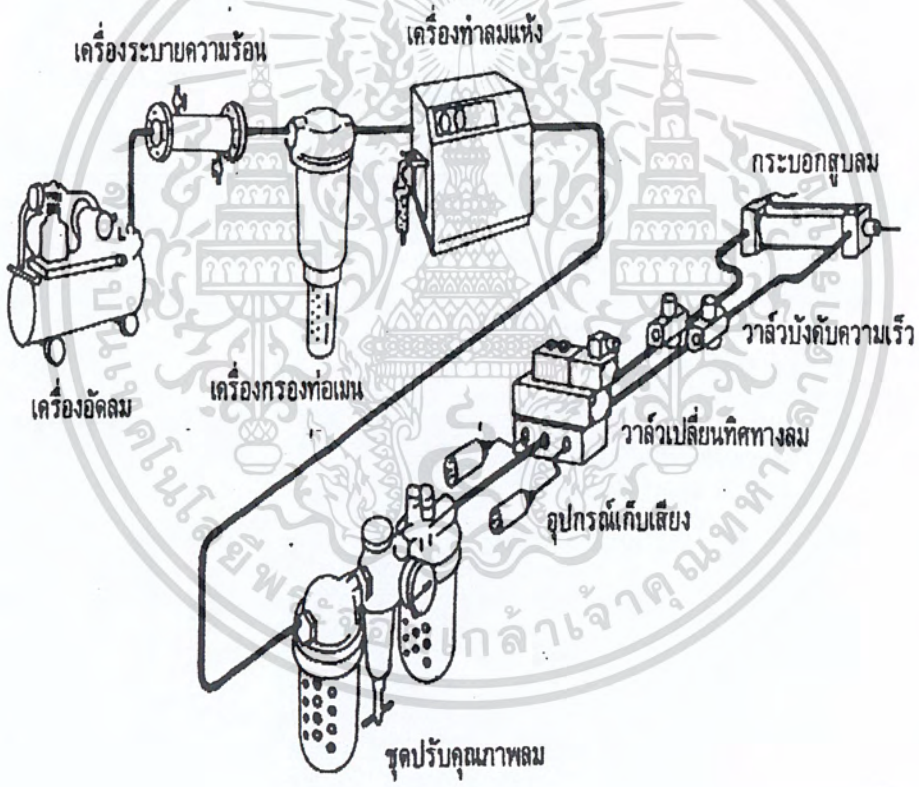
รายละเอียดของระบบ		บังคับการทำงานด้วยระบบ			
		กลไก	ไฟฟ้า / อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบขับเคลื่อน	การส่งสัญญาณ	ยาก	ง่ายมาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การป้องกันการติดไฟ	ดี	ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย	ดี	ดีมาก
	ความรู้สึกไวต่อความชื้น	น้อย	มาก	น้อย	ต้องระบายออก
	ความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิ	น้อย	มาก	กลาง	น้อย
	การเลือกวิธีการบังคับ	น้อย	มากกว่า	น้อย	มาก
	การคำนวณในระบบ	น้อย	มาก	น้อย	กลาง
	การคำนวณความเร็ว	สูง	สูงมาก	กลาง	กลาง
	การคำนวณการบังคับ	อะนาล็อก (ดิจิตอล)	ดิจิตอล(อะนาล็อก)	อะนาล็อก	ดิจิตอล(อะนาล็อก)
	ข้อเสียเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน	ปกติ	มีผลเสีย	ปกติ	ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวเมติก

อุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ(รูปที่ 17) ในระบบนิวเมติกจะสามารถจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มของอุปกรณ์พื้นฐานได้ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ต้นกำลังนิวเมติก (Power unit)
- อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Treatment component)
- อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (Controlling component)
-อุปกรณ์ทำงาน (Actuator or working component)
- อุปกรณ์ในระบบท่อทาง (Piping system)



รูปที่ 17 อุปกรณ์และระบบนิวเมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อุปกรณ์ต้นกำลังนิวเมติก จะทำหน้าที่สร้างลมอัดที่มีคุณภาพที่มีคุณภาพเพื่อนำไปใช้งานในระบบนิวเมติก ซึ่งจะประกอบไปด้วย

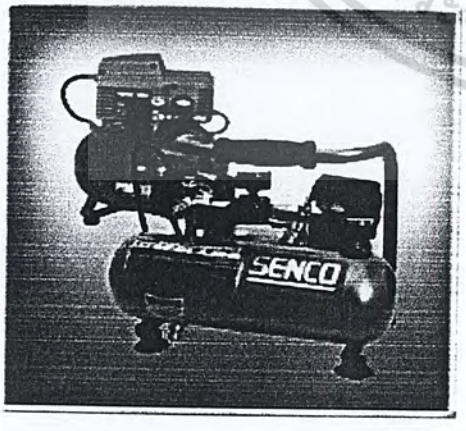
- อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Driving unit) จะทำหน้าที่เป็นต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ ซึ่งได้แก่ เครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะนิยมใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อน ทั้งนี้เนื่องจากมีความเร็วรอบซึ่งค่อนข้างคงที่ และมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน
- เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ทำหน้าที่ดูดอากาศที่อยู่ในบรรยากาศโดยรอบ เพื่อนำมาทำการอัดให้มีค่าความดันสูงกว่าบรรยากาศปกติ

สัญลักษณ์

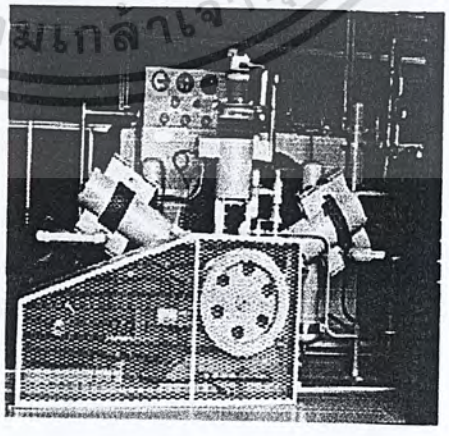
เครื่องอัดอากาศหรือคอมเพรสเซอร เป็นแหล่งผลิตพลังงานทางนิวเมติกโดยเพิ่มความดันให้อากาศด้วยการอัดอากาศซึ่งดูดเข้ามาที่ความดันปกติให้มีความดันสูงขึ้น อาศัยพลังงานไฟฟ้าในการหมุนมอเตอร์ที่ใช้อัดลม เพื่อจะนำไปใช้ในงานบริการต่างๆซึ่งในวิชานิวเมติกส์จะนำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์นิวเมติก เช่น กระบอกสูบหรือมอเตอร์ลมโดยอัดอากาศเก็บไว้ในถังเก็บลมแล้วส่งจ่ายไปตามท่อลมเข้าเครื่องจักรกลนิวเมติก

1. เครื่องอัดอากาศชนิดเคลื่อนที่ได้ (รูปที่ 18) เหมาะสำหรับงานที่ใช้ปริมาณลมไม่มาก โดยเครื่องอัดอากาศจะมีขนาดเล็กและติดตั้งเป็นชุดเดียวกับถังเก็บลม

2. เครื่องอัดอากาศชนิดติดตั้งถาวร (รูปที่ 19) เหมาะสำหรับงานที่ใช้ปริมาณลมมากโดยมีความดันคงที่และเครื่องอัดอากาศจะแยกต่างหากจากถังเก็บลม



รูปที่ 18 เครื่องอัดอากาศชนิดเคลื่อนที่ได้



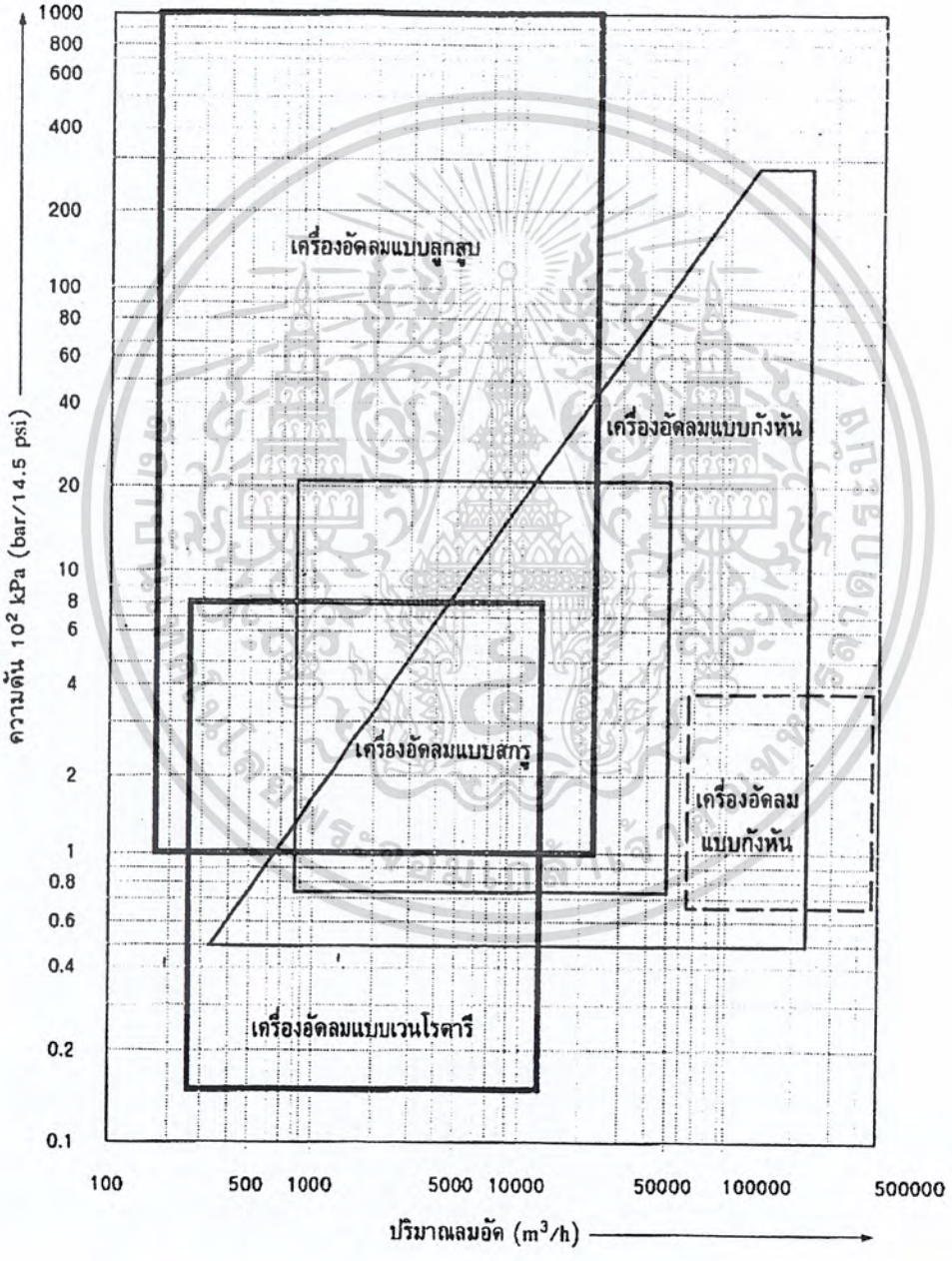
รูปที่ 19 เครื่องอัดอากาศชนิดติดตั้งถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพิจารณาเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลม (รูปที่ 20)

เนื่องจากความต้องการปริมาณลมอัดของโรงงานต่าง ๆ มีปริมาณไม่เท่ากัน การออกแบบการเดินท่อก็ต่างกัน นอกจากนั้นชนิดของเครื่องอัดลมต่าง ๆ ก็มีความสามารถไม่เท่ากัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกเครื่องอัดลมจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึง



รูปที่ 20 การพิจารณาเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119263

คุณลักษณะของเครื่องอัดอากาศ

1. ปริมาตรหรือความจุของอากาศที่อัดมีอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/นาที หรือ ลิตร/นาที

2. อัตราส่วนการอัดอากาศมีหน่วยเป็นบาร์ การอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศจะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดอากาศ มีค่าตั้งแต่ประมาณ 2 - 3 ลูกบาศก์เมตร/นาที จนถึง 300 ลูกบาศก์เมตร/นาที

3. ความดันใช้งานปกติของระบบนิวเมติกมีค่าประมาณ 6 บาร์ หรือตั้งแต่ความดันใช้งานต่ำสุด 5 บาร์ จนถึงความดันสูงสุดที่ 15 บาร์ และมีค่าต่ำกว่านี้สำหรับใช้ในงานพิเศษ

ปริมาณความต้องการลมอัดที่ใช้งาน

จะต้องพิจารณาความต้องการลมอัดที่จะต้องใช้ในปัจจุบันและในอนาคตภายหน้าว่าต้องการปริมาณลมอัดเพิ่มขึ้นเท่าไร ควรวางแผนไว้ล่วงหน้าประมาณ 1 ถึง 2 ปี เมื่อทราบปริมาณความต้องการแน่นอนแล้ว สามารถนำไปหาขนาดของเครื่องอัดลมได้โดยคำนวณได้จากปริมาตรที่เครื่องอัดลมสามารถผลิตได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{compresor} = V \times N \times n \qquad .....1$$

$$\text{หรือ} \quad V_{compresor} = \frac{\pi d^2}{4} \times L \times N \times n \qquad .....2$$

เมื่อ

$V_{compresor}$ คือ ปริมาตรที่เครื่องอัดลมสามารถผลิตได้ หรือที่เรียกปริมาตรทางทฤษฎี (V_{th})

มีหน่วยเป็น $L/\min$ หรือ m^3/hr

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสี

L คือ ระยะชักที่ลูกสูบของเครื่องอัดลมเคลื่อนที่

N คือ ความเร็วรอบของเครื่องอัดลม (rpm)

n คือ จำนวนลูกสูบของเครื่องอัดลม

แต่สมการที่ 1 หรือ 2 เป็นการคำนวณหาปริมาตรทางทฤษฎี จะนำมาใช้ในงานจริงไม่ได้เพราะปริมาตรลมอัดที่ออกจากเครื่องอัดลมมาจะมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องมาจากการสูญเสียในการดูดอากาศเข้ามาในเครื่องอัดลม ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ปริมาตรที่เครื่องอัดลมผลิตได้จริง ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$V_{acture} = V_{th} \times \eta_v$$

โดยที่

V_{acture} คือ ปริมาตรลมอัดที่ออกจากเครื่องลมอัด

V_{th} คือ ปริมาตรลมอัดที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

η_v คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

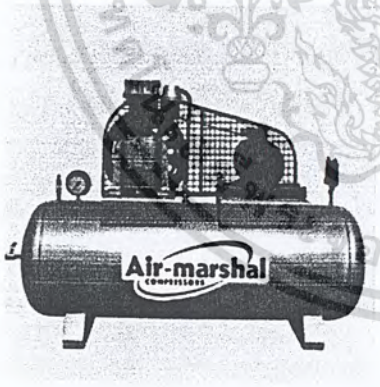
หรืออาจจะใช้ตารางที่ 3 สำหรับการเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลมถ้าทราบปริมาณความต้องการลมอัด

ตารางที่ 3 การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดลมเมื่อรู้ค่าปริมาณความต้องการลมอัด [4]

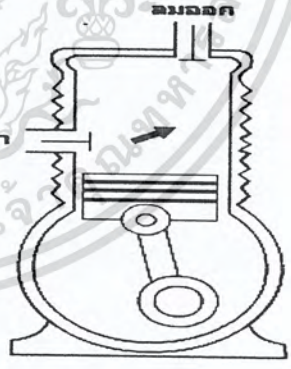
ความต้องการลมอัด (ลิตรต่อนาที)	กำลังของเครื่องอัดลม (กิโลวัตต์)	ชนิดของเครื่องอัดลม
2,800	7.5 ถึง 18.5	แบบลูกสูบชัก
34,000	18.5 ถึง 225	แบบลูกสูบชักหรือแบบสกรู
85,000	225 ถึง 450	แบบลูกสูบชักหรือแบบสกรูแรงเหวี่ยง
180,000	450 ถึง 935	แบบลูกสูบชักหรือแบบใบพัดหมุน
510,000	935 ถึง 2450	แบบใบพัดหมุน

นอกจากนี้เครื่องอัดอากาศยังสามารถจำแนกตามหลักของการอัดอากาศและโครงสร้าง ที่นิยมใช้แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ

1. เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ (piston compressor) (รูปที่ 21,22) เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบถูกสร้างขึ้นเพื่อดูดอากาศเข้ามาในกระบอกสูบโดยลูกสูบ แล้วทำการอัดอากาศเพื่อทำการส่งต่อไปใช่ในระบบ โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบจะนิยมใช้มากที่สุด เพราะสามารถอัดอากาศที่ความดันต่ำๆ ถึงความดันสูง (4 – 300 บาร์) มีราคาถูก ประสิทธิภาพดี สามารถส่งลมได้ตั้งแต่ 2 – 500 ลูกบาศก์เมตร/นาที



รูปที่ 21 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ



รูปที่ 22 ลักษณะโครงสร้าง

การทำงาน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะดูด ลิ้นของวาล์วไอดีจะเปิดออกทำให้อากาศจากภายนอกไหลเข้ามาทางด้านลมเข้าในกระบอกลูกสูบ ลิ้นทางด้านไอเสียจะถูกปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะอัดอากาศที่อยู่ในกระบอกสูบจะถูกอัด ลิ้นไอเสียจะเปิดออกไปทางด้านลมออก ส่วนลิ้นไอดีจะปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบจะต้องหล่อลูกสูบด้วยน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งทำหน้าที่

1. เป็นฟิมล์หล่อลื่นป้องกันการสึกหรอ

2. ป้องกันการกัดกร่อนและไม่ทำให้เกิดสนิมในกระบอกสูบ

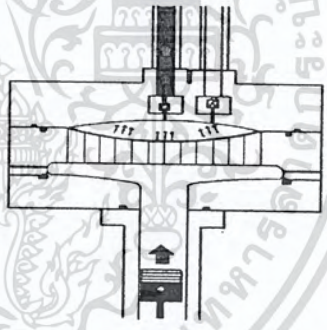
3. เป็นซีลป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

4. ช่วยระบายความร้อน

ซึ่งการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการหล่อลื่น อุณหภูมิที่ใช้งาน และความหนืด โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำมันเบอร์ SAE 20 การเปลี่ยนน้ำมันจะเปลี่ยนเมื่อใช้งานไปประมาณ 300 – 500 ชั่วโมง หรือที่ 6 เดือน แล้วแต่สภาวะแวดล้อมว่ามีฝุ่นละอองหรือความชื้นมากน้อยเพียงไร ไม่มีการกำหนดช่วงระยะเวลาที่แน่นอน แต่การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันครั้งแรกหลังเดินเครื่อง (run in) ควรทำภายในระยะเวลา 71 ชั่วโมง แล้วล้างระบบให้สะอาดด้วยน้ำมันล้างเครื่อง (flushing oil)

2. เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม (diaphragm compressor) (รูปที่ 23,24) เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรมนี้เป็นชนิดลูกสูบเหมือนกัน ดูดอากาศเข้ามาในกระบอกสูบโดยลูกสูบ แต่ระหว่างลูกสูบและส่วนที่อัดอากาศถูกปิดกั้นด้วยแผ่นไดอะแฟรม ทำให้อากาศที่ถูกอัดสะอาด ไม่มีน้ำมันหล่อลื่นจากลูกสูบเจือปน เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม เหมาะสำหรับโรงงานผลิตเคมีภัณฑ์ ยารักษาโรค และอุตสาหกรรมอาหาร

รูปที่ 23 เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม



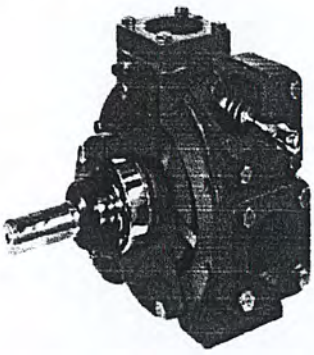
รูปที่ 24 ลักษณะโครงสร้าง

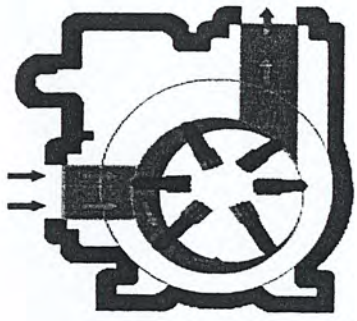
การทำงาน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลง แผ่นไดอะเฟรมจะดูดเอาอากาศจากภายนอกผ่านวาล์วไอดีเข้ามาภายในห้องเก็บลม เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น แผ่นไดอะแฟรมจะอัดอากาศภายในห้องเก็บลมให้มีความดันสูงขึ้น และไหลออกไปภายนอกทางด้านวาล์วไอเสีย จะเห็นได้ว่าลมอัดที่อยู่ในห้องเก็บลมจะไม่สัมผัสกับชิ้นส่วนที่เป็นลูกสูบที่เคลื่อนที่

3. เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน (sliding vane rotary compressor) (รูปที่ 25,26) เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อนประกอบด้วยใบพัดเลื่อน (ใบเวน) เครื่องอัดลมประเภทนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อดูดอากาศเข้ามาในช่องว่างซึ่งถูกปิดโดยแผ่นใบพัดที่เคลื่อนที่ขึ้นลงได้อยู่ในร่องสลอต (slots) ของตัวหมุน(rotor) และเรือนสูบอยู่กับที่โดยปกติ เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะใช้น้ำมันหล่อลื่นเพื่อระบายความร้อนและช่วยอุดช่องว่างระหว่างใบพัดเลื่อนและร่องของโรเตอร์เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อนหมุนเรียบไม่มีเสียงดังการผลิตลมอัดสม่ำเสมอไม่ขาดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้วงๆ เหมือนชนิดลูกสูบ

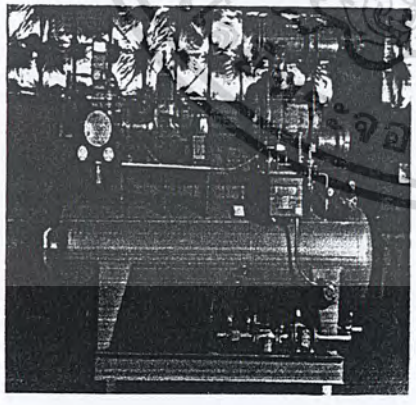


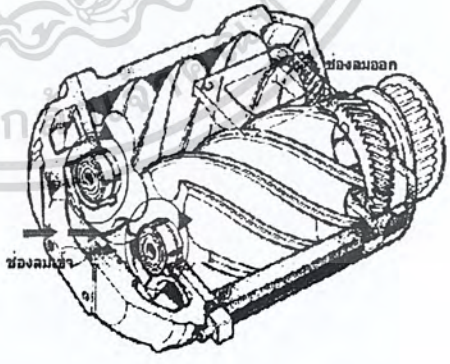


รูปที่ 25 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน *รูปที่ 26 ลักษณะโครงสร้าง*

การทำงานอากาศจะถูกอัดโดยการหมุนของโรเตอร์ในตัวเรือนสูบที่อยู่กับที่ในแนวเยื้องศูนย์ ใบพัดเลื่อนจะถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสลัดออกมาติดอยู่กับด้านที่อยู่ห่างจากผนังของตัวเรือนมาก อากาศจะถูกอัดจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งทำให้อากาศมีความดันและไหลออกที่ทางออก แผ่นใบพัดเลื่อนจะเลื่อนระหว่างโรเตอร์และเรือนสูบจากห้องแคบเป็นห้องกว้าง และจากห้องกว้างเป็นห้องแคบ

4.เครื่องอัดอากาศชนิดสกรู (screw compressor) (รูปที่27,28) เครื่องอัดอากาศชนิดสกรูจะประกอบด้วยตัวเรือนซึ่งมีเพลาสกรู 2 เพลาขบกัน ตัวหนึ่งมีฟันเป็นสันนูน อีกตัวหนึ่งเป็นสันเว้า ทิศทางการหมุนจะหมุนเข้าหากัน เครื่องอัดอากาศชนิดสกรูถูกสร้างขึ้นเพื่อดูดอากาศเข้ามาในช่องว่างภายในตัวเรือนและทำการอัดอากาศโดยการหมุนของโรเตอร์ (rotor) ที่มีลักษณะเป็นเกลียวสกรู เครื่องอัดอากาศแบบนี้ไม่มีเสียงดัง ไม่มีการหล่อลื่น แต่จะใช้วิธีการฉีดน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในห้องอัดอากาศเพื่อช่วยระบายความร้อนและป้องกันการรั่วไหลของอากาศ ทำให้ความดันอากาศสูงขึ้น



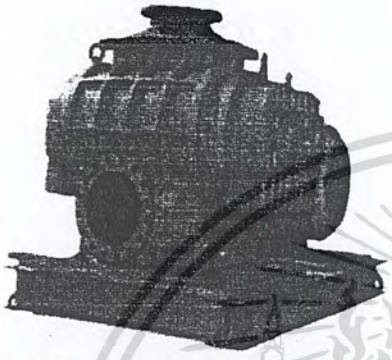


รูปที่ 27 เครื่องอัดอากาศ ชนิดสกรู *รูปที่ 28 ลักษณะโครงสร้าง*

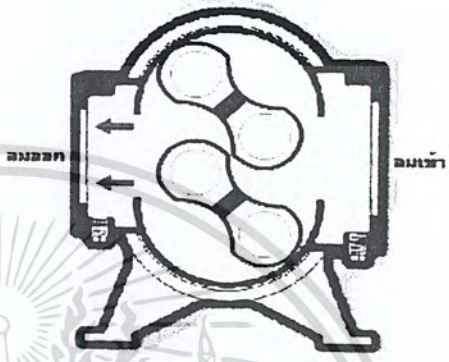
การทำงาน เมื่อเพลาสกรูหมุน อากาศจากภายนอกจะถูกดูดผ่านท่อเข้ามา และถูกอัดตามร่องฟันที่ขบกันด้วยความเร็วสูง ทำให้อากาศถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นและไหลออกอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุน(rootcompressor)(รูปที่ 29,30)เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุนประกอบด้วยใบพัด 2 ใบ 2 ตัวขบกันหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากัน (ลักษณะคล้ายเกียร์ปั๊ม) ใบพัดวางชิดกับตัวเรือน เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุนนี้มีราคาแพง ไม่มีเสียงดัง ไม่มีการหล่อลื่น ดังนั้นระหว่างใช้งานต้องมีการระบายความร้อน



รูปที่ 29 เครื่องอัดอากาศ ชนิดใบพัดหมุน

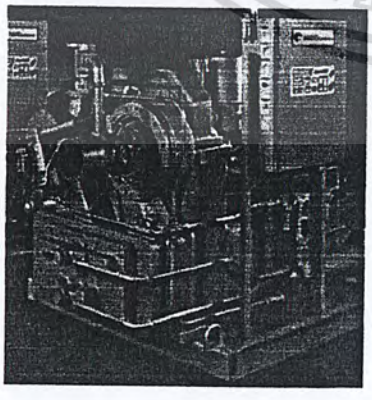


รูปที่ 30 ลักษณะโครงสร้าง

การทำงาน เมื่อใบพัดหมุน อากาศจะถูกพัดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนปริมาตร ทำให้อากาศไม่ถูกอัดตัว แต่จะถูกอัดตัวโดยต้านกับความต้านทานที่เกิดขึ้นอีกด้านหนึ่ง คือ ด้านลมออกไปถังเก็บลม

6. เครื่องอัดอากาศชนิดกังหันหรือกระแสอากาศ (turbo compressor or flow compressor) หน้าที่ เครื่องอัดอากาศชนิดกังหันหรือกระแสอากาศทำงานโดยอาศัยหลักการของใบพัดกังหันหนึ่งใบพัดหรือมากกว่า การเปลี่ยนความเร็วลมจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานลมอัดมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด

6.1 เครื่องอัดอากาศชนิดเรเดียนโฟลว์ (radial flow compressor) (รูปที่31,32) หรือเซนตริฟิวกัลคอมเพรสเซอร์ (centrifugal compressor)



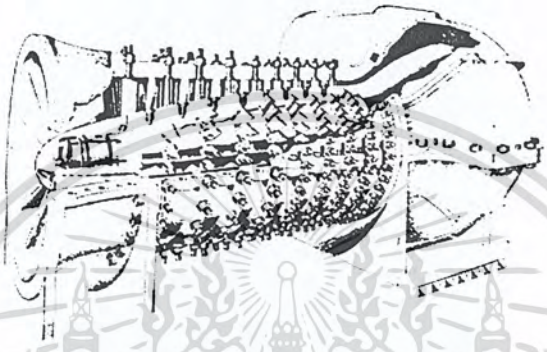
รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศ ชนิดเรเดียนโฟลว์

รูปที่ 32ลักษณะโครงสร้าง

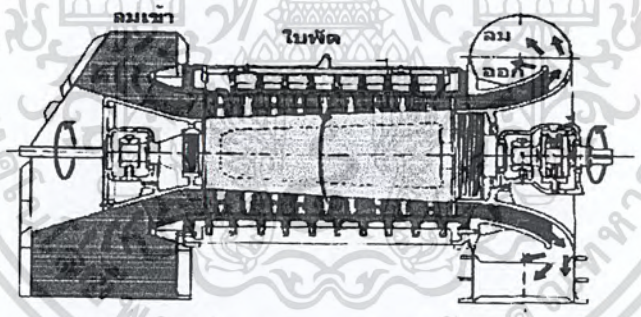
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเครื่องอัดอากาศชนิดเรเดียนโฟลว์เป็นเครื่องอัดอากาศที่ทำให้อากาศไหลวนรอบกังหันจากศูนย์กลางออกไปรอบนอกโดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การระบายความร้อนระหว่างชั้นที่เหมาะสมทำให้การอัดอากาศนั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้น ถ้าระบบระบายความร้อนนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะทำให้การอัดอากาศเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ความดันตก มีความเร็วรอบสูง 50,000 – 100,000 รอบ/นาที มีความดันใช้งาน 7 บาร์ มีความจุ 160ลิตร/วินาที เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการอากาศจำนวนมากและสม่ำเสมอ

6.2 เครื่องอัดอากาศชนิดแอกเซียลโฟลว์ (axial flow compressor) (รูปที่33,34)



รูปที่ 33 เครื่องอัดอากาศ ชนิดแอกเซียลโฟลว์



รูปที่ 34 ลักษณะโครงสร้าง

การทำงาน เครื่องอัดอากาศชนิดแอกเซียลโฟลว์ เป็นเครื่องอัดอากาศที่ทำให้อากาศไหลขนานไปตามแกนเพลา โดยอากาศซึ่งผ่านการอัดแล้วจะไหลไปตามแกนเพลา ผ่านใบพัดส่วนที่เคลื่อนที่และส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งวางสลับกันไปเป็นแถวไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีผลต่อความเร็วและความดันของอากาศ การระบายความร้อนระหว่างชั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ซึ่งมีผลทำให้ความดันถูกจำกัดในแต่ละชั้น ซึ่งเครื่องอัดอากาศชนิดแอกเซียลโฟลว์มีขาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเครื่องอัดอากาศชนิดเรเดียนโฟลว์แต่มีความสูงกว่าประมาณ 25 % เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้ปริมาณลมมากและอัตราการไหลคงที่ ความดันปานกลาง

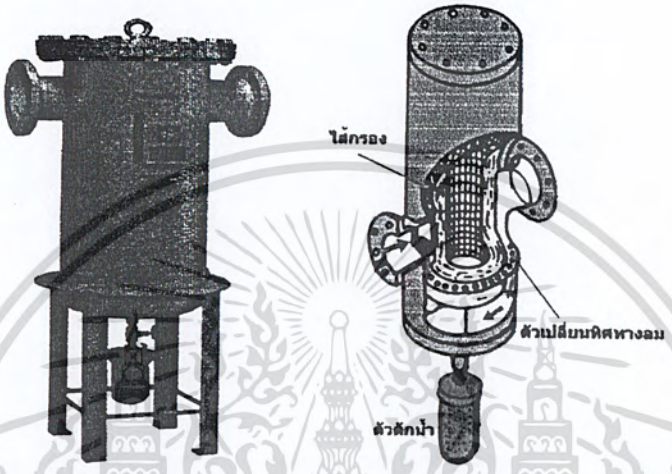
สถานที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศควรเป็นที่ที่มีความสะอาด ปราศจากฝุ่นละอองและที่ความชื้นสูง เนื่องจากถ้าอากาศมีสิ่งเจือปนเข้าไปในระบบจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องอัดอากาศสั้นลง ถ้าจำเป็นที่จะต้องติดตั้งใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานในบริเวณที่อากาศมีสิ่งเจือปนควรจะมีอุปกรณ์กรองอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

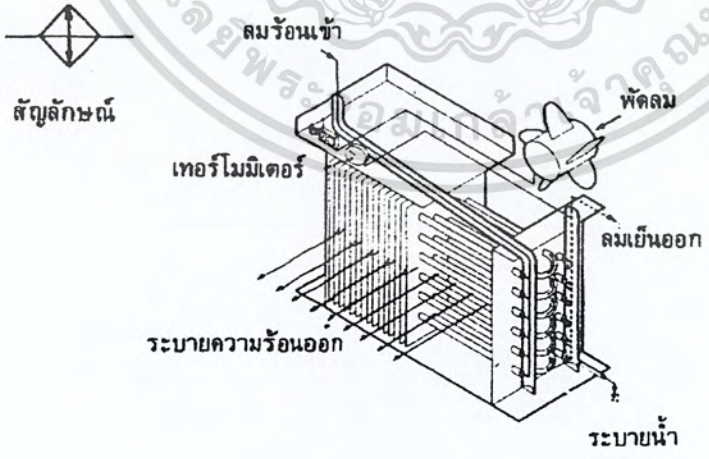
- เครื่องกรองอากาศขาเข้า (Intake filter)(รูปที่ 35,36) ทำหน้ากรองอากาศก่อนที่จะเข้าไปยังเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้อากาศที่จะทำการอัดปราศจากฝุ่นละออง ทั้งนี้เพราะถ้าหากอากาศที่อัดมีฝุ่นละอองปะปนอยู่ จะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องอัดอากาศ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบนิวเมติก

สัญญาลักษณ์



รูปที่ 35 เครื่องกรองลมท่อส่งลมอัด *รูปที่ 36ลักษณะโครงสร้าง*

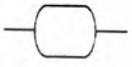
- เครื่องระบายความร้อนลมอัด (After cooler) (รูปที่ 37) ทำหน้าที่ระบายความร้อนลมอัดให้มีอุณหภูมิลดลง ภายหลังจากที่ได้ถูกอัดโดยเครื่องอัดอากาศให้มีความดันสูงขึ้นแล้ว

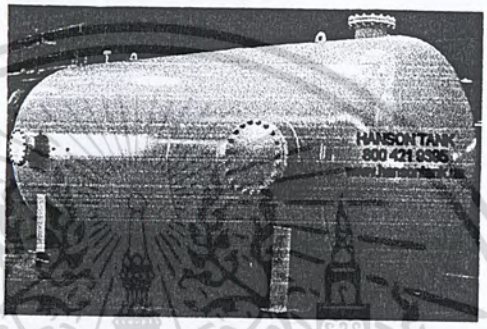


รูปที่ 37 เครื่องระบายความร้อนลมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

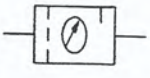
- ถังเก็บลมอัด (Air receiver) (รูปที่ 38) เป็นอุปกรณ์ใช้เก็บลมอัดที่ผลิตได้จากเครื่องอัดอากาศและทำให้เกิดการจ่ายลมอัดไปใช้งานให้แก่ระบบนิวแมติกในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ ถังเก็บลมอัดนี้จะต้องมีการติดตั้งวาล์วระบายความดัน (Pressure relief valve) เอาไว้เพื่อระบายลมอัดที่มีค่าความดันสูงเกินกว่าที่กำหนดออกสู่บรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อความดันของลมอัดซึ่งอยู่ภายในถังมีค่าสูงกว่าปกติ สำหรับสวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure switch) จะทำหน้าที่ควบคุมการเปิด - ปิดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศเมื่อความดันของลมอัดมีค่าสูงถึงระดับความดันที่ได้ตั้งเอาไว้

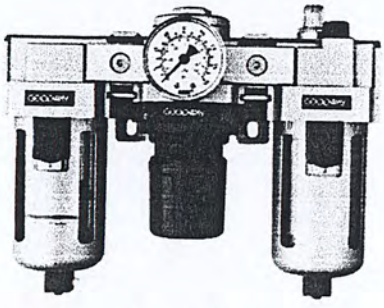
สัญญาลักษณ์ 



รูปที่ 38 ถังเก็บลมอัด

2. อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพ / ชุดบริการลมอัด (รูปที่ 39)ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพของลมอัดให้ปราศจากฝุ่นละอองและน้ำก่อนที่จะนำไปใช้ในระบบนิวแมติกซึ่งจะประกอบด้วย ตัวกรองลมอัด(Air filter) วาล์วปรับความดันพร้อมเกจ (Pressure regulator) อุปกรณ์ผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator oiler) สำหรับอุปกรณ์ผสมละอองน้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบันอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบนิวแมติกได้ถูกพัฒนาให้มีคุณลักษณะ เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการสารหล่อลื่นจากภายนอก (Non-lubricated)

สัญญาลักษณ์ 



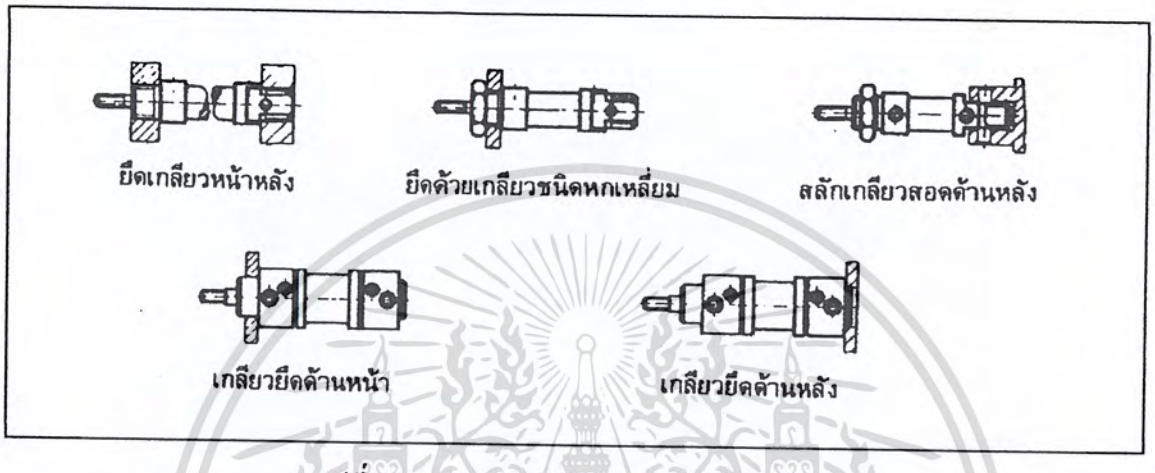
รูปที่ 39 อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

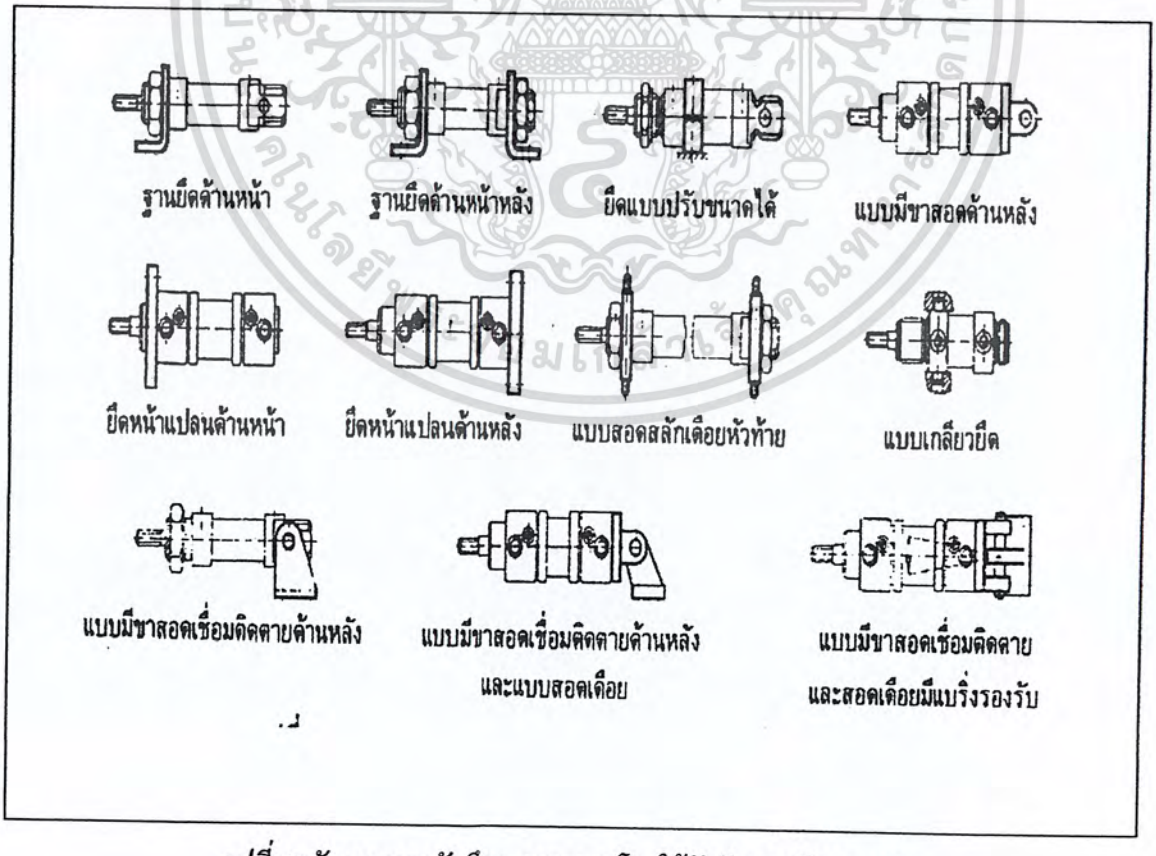
3. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน หมายถึง วาล์วควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบนิวเมติก ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจร ควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด ควบคุมอัตราการไหล และความดันของลมอัด

ลักษณะการจับยึดกระบอกสูบ

การนำเอากระบอกสูบลมไปติดตั้งกับเครื่องจักรที่ใช้ระบบนิวเมติกไปบังคับในการทำงาน มีการจับยึด 2 วิธี คือ การจับยึดโดยใช้สกรู และการจับยึดโดยใช้ตัวจับตามลักษณะของงาน ซึ่งดูได้จาก(รูปที่ 40,41)



รูปที่ 40 ลักษณะการจับยึดกระบอกสูบโดยใช้สกรู

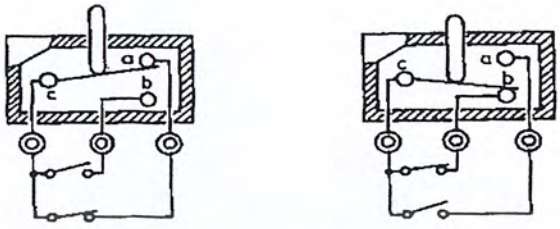


รูปที่ 41 ลักษณะการจับยึดกระบอกสูบโดยใช้ตัวจับตามลักษณะงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิมิตสวิตซ์

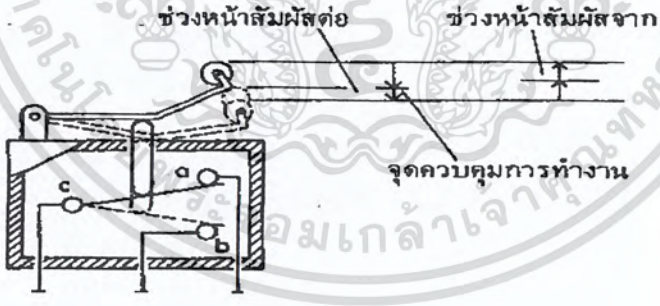
ลิมิตสวิตซ์ก็คล้ายกับสวิตซ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งหลักการทำงานสามารถดูได้จาก(รูปที่ 42)



รูปที่ 42 ลิมิตสวิตซ์

ในตำแหน่งปกติ หมายถึง ตำแหน่งที่ยังไม่มีอะไรมากระทำปุ่มกดบนลิมิตสวิตซ์ขณะทำงาน ซึ่งตำแหน่งนี้หน้าสัมผัสจะต่ออยู่ระหว่างจุด c กับจุด a เมื่อมีก้านสูบมากดหรือมีอะไรมากระทำที่ปุ่มกดจะทำให้หน้าสัมผัสต่อระหว่างจุด c กับจุด a จะสังเกตได้ว่าหน้าสัมผัสระหว่างจุด c กับจุด a จะเป็นปกติปิด และหน้าสัมผัสระหว่างจุด c กับจุด b จะเป็นปกติเปิด หน้าสัมผัสในลิมิตสวิตซ์มีลักษณะการทำงานอยู่ 2 แบบ คือ

1. หน้าสัมผัสชนิดทำงานช้า (รูปที่ 43) เมื่อมีการกระทำที่ขาบังคับของลิมิตสวิตซ์ จะบังคับหน้าสัมผัสหลุดจากจุด a แต่ในขณะเดียวกันก็ยังไม่ต่อจุด b ทันที จะมีระยะอยู่ช่วงหนึ่งถึงจะทำให้หน้าสัมผัสต่อระหว่างจุด c กับจุด b แต่ถ้าปล่อยขาปุ่มกดก่อนที่หน้าสัมผัสจะต่อจุด b ก็จะทำให้หน้าสัมผัสกลับไปต่อระหว่างจุด c กับจุด a อีก



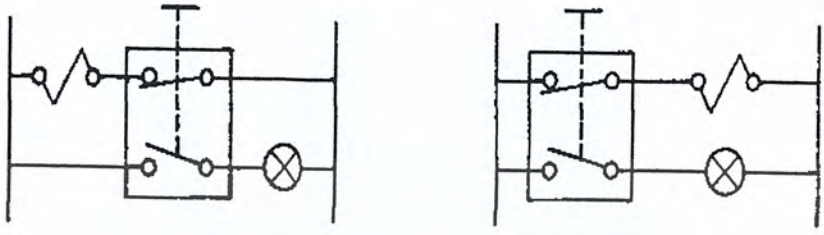
รูปที่ 43 หน้าสัมผัสชนิดทำงานช้า

2. หน้าสัมผัสชนิดทำงานทันทีแบบนี้จะต่างจากแบบแรกคือ เมื่อมีการกระทำที่ขาบังคับของลิมิตสวิตซ์ จะบังคับหน้าสัมผัสหลุดจากจุด a มาต่อจุด b ทันทีด้วยความเร็วของสปริงในตัวของลิมิตสวิตซ์ไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วของขาบังคับของลิมิตสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

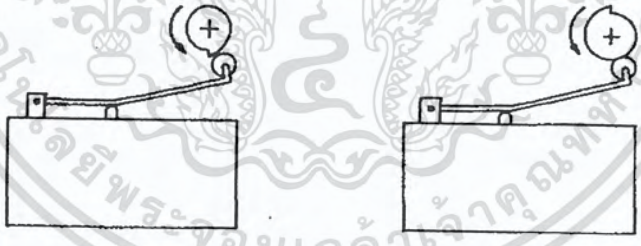
หลักการเลือกใช้ลิมิตสวิตซ์ การเลือกใช้ลิมิตสวิตซ์จะต้องใช้ให้ถูกต้องกับงานที่ใช้ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ให้พิจารณาตามหลักการ ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 44)

- ห้ามต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าคนละด้านกับหน้าสัมผัส จะต้องต่อเข้าลิมิตสวิตซ์เสียก่อนจึงจะต่อเข้าอุปกรณ์อื่น ๆ ได้



รูปที่ 44 หลักการต่อสวิตซ์

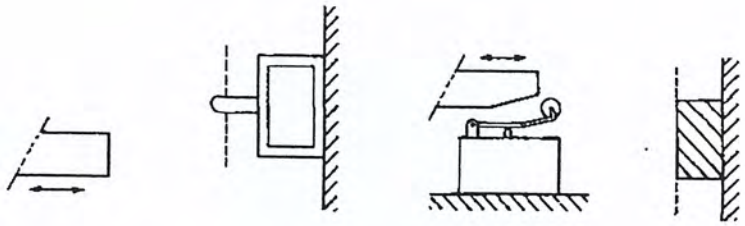
- ห้ามใช้ลิมิตสวิตซ์เกินกำบังจากบริษัทผู้ผลิตกำหนดเอาไว้ตัวอย่าง เช่น ลิมิตสวิตซ์ถูกออกแบบเพื่อทนกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ไม่ควรนำมาใช้กับมอเตอร์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกระแส 10 แอมแปร์พอดี เพราะบางครั้งกระแสไฟจะสูงกว่ากำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุให้หน้าสัมผัสไหม้ได้
- การติดตั้งลิมิตสวิตซ์ไม่ควรให้เกิดการกระแทกหรือการตีกลับอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการสึกหรอของกลไกในลิมิตสวิตซ์และชำรุดเร็วกว่าปกติ (รูปที่ 45)



รูปที่ 45 การติดตั้งลิมิตสวิตซ์

- จะต้องแน่ใจว่ากลไกบังคับปุ่มกดให้ลิมิตสวิตซ์ ทำงานมีแรงกระทำทนเพียงพอที่จะให้ลิมิตสวิตซ์ทำงานได้ โดยปกติทั่วไปลิมิตสวิตซ์จะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 1 ใน 5 วินาที ในการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าบางครั้งในเครื่องจักรถ้าต้องการเร่งการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยการปรับความเร็วในการเพียงพอในการกระตุ้นให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้ทัน
- อย่าใช้ลิมิตสวิตซ์เป็นที่หยุดของก้านสูบหรือกลไกต่าง ๆ (รูปที่ 46)ถ้าต้องการให้มีที่หยุดควรจะใช้กลไกทางกลเป็นตัวหยุดเพื่อความแม่นยำในการหยุดชิ้นงานในจังหวะสุดช่วงชักพอดีโดยที่ไม่มีผลเสียหายกับลิมิตสวิตซ์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

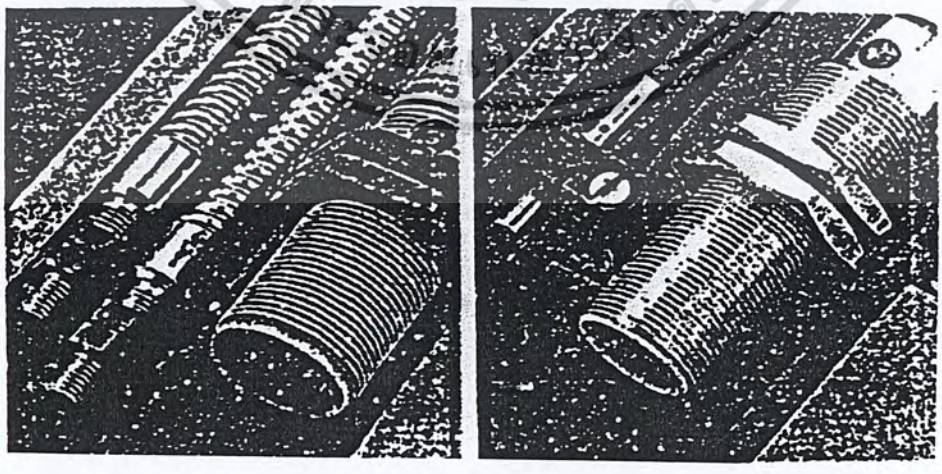


รูปที่ 46 ลิมิตสวิตช์ที่ติดตั้งอยู่ปลายกานสูบ

- อย่าใช้กลไกบังคับการทำงานลิมิตสวิตช์ที่หนักหรือยาวเกินไป ควรใช้กลไกที่บริษัทผู้ผลิตออกแบบมาให้ ถ้าระยะระหว่างลิมิตสวิตช์และชิ้นงานที่กระทำกับขาของลิมิตสวิตช์ห่างเกินไปที่จะใช้ลิมิตสวิตช์ได้ อาจใช้วิธีติดตั้งลิมิตสวิตช์ให้ใกล้เข้ามาหรือออกแบบชิ้นส่วนใหม่ จะทำให้ลิมิตสวิตช์มีอายุการใช้งานได้มากขึ้น
- การนำลิมิตสวิตช์มาใช้งานแต่ละอย่าง ควรจะศึกษาเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำกับลิมิตสวิตช์รวมทั้งแรงที่เกิดจากการที่เกิดขึ้นด้วยวิธีที่ทำให้ลิมิตสวิตช์ปลอดภัยจากการใช้งานควรจะใช้กลไกแบบลูกกลิ้งเป็นตัวรับแรงกระทบ

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (รูปที่ 47) คือ เซนเซอร์กลุ่มที่สามารถทำงานได้โดยมิต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภาพนอกโดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบในรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสงเสียง และสัญญาณลม ส่วนการนำเซ็นเตอร์ประเภทนี้ไปใช้งานได้ ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจสอบจับตำแหน่ง ระดับ ขนาดและรูปร่าง นอกจากนั้น ยังสามารถส่งสัญญาณไปให้ตัวนับนับจำนวนของชิ้นงานได้ รวมไปถึงการนำไปใช้งาน ด้านความปลอดภัยไม่ว่าจะเป็นในโรงงานหรือตามที่พักอาศัย อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้กับงานควบคุมเสียเป็นส่วนใหญ่



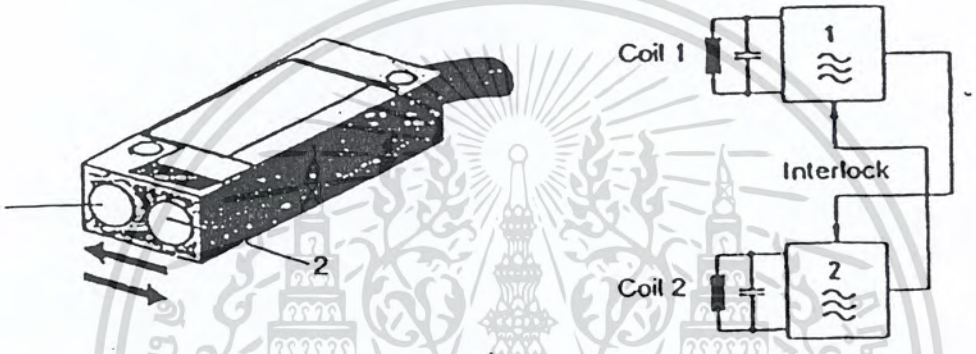
รูปที่ 47 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำพร็อกซิมิตี้เซนเตอร์มาใช้งานในกระบวนการผลิตแทนสวิตช์แบบกลไกแล้วจะไม่ทำให้เกิดการสึกหรอหรือแตกหักใดๆทั้งสิ้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บรรจุอยู่ภายในจะถูกซีลด์ไว้อย่างสมบูรณ์ จึงสามารถป้องกันฝุ่น ละออง และความชื้นได้ รวมทั้งรับประกันความเชื่อถือได้ จึงเป็นเหตุผลให้ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

- เซ็นเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive sensor) (รูปที่ 48)

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์แบบแรกที่เราจะทำความรู้จักกันคือเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำหรือเรียกกันทางภาษาเทคนิคว่า อินดั๊กดีฟเซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำของขดลวดซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงานหรือวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น



รูปที่ 48 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำแบบทำงานทางเดียว

- ส่วนประกอบของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ จะประกอบด้วย (1) วงจรกำเนิดคลื่นความถี่สูง (Oscillator) (2) วงจรหรือสวนของการประมวลผล (evaluator) (3) วงจรแยกแยะสภาวะและสั่งงาน (trigger) (4) หลอดไฟแสดงสภาวะในการทำงาน (status display) (5) วงจรขยายสัญญาณและป้องกันด้านเอาต์พุต (output with protective circuit) (6) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากภายนอก (External voltage) (7) วงจรรักษาระดับแรงดันภายในให้คงที่ (internal constant voltage supply) (8)ส่วนหรือพื้นที่ที่ใช้ในการตรวจจับซึ่งมีขดลวดอยู่ภายใน (active zone : coil) (9) เอาต์พุตของเซนเซอร์ ซึ่งในที่นี้จะเป็นแบบทำงานหรือที่ทำงาน (on-off) จากส่วนประกอบหลักดังกล่าวสามารถแสดงได้ ต่อไปนี้

- หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (รูปที่ 49)

ที่บริเวณส่วนหัว (8) ของเวนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กซึ่งมีความถี่สูง โดยได้รับสัญญาณมาจากวงกำเนิดความถี่ (1) ในกรณีที่มีวัตถุหรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่สนามแม่เหล็กสามารถส่งไปถึง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการหน่วงออสซิสเลท (oscillate) ลดลงไปหรือบางที่อาจถึงจุดที่หยุดการออสซิลเลท และเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่ก็เริ่มต้นการ ออสซิลเลท ใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวในข้างต้นจะถูกแยกแยะ ได้ด้วยวงจร

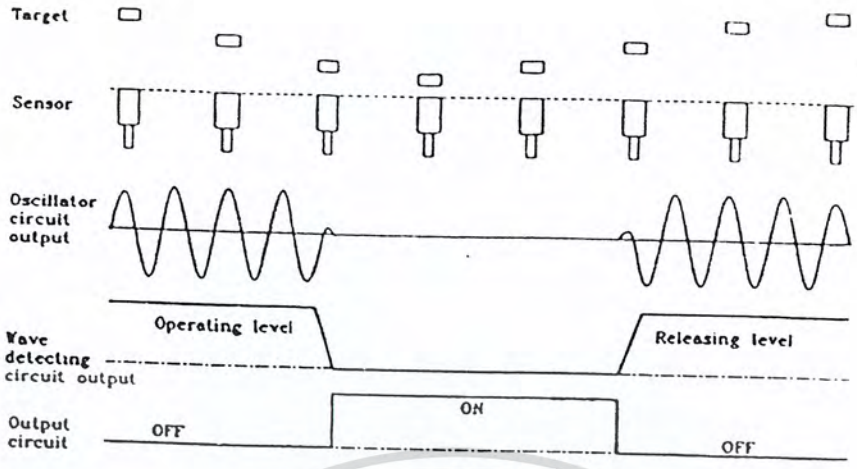
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายใน (2) และ (3) หลังจากนั้นก็จะส่งผลไปยังเอาต์พุต (5) ว่าให้ทำงานหรือไม่ทำงาน โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเอาต์พุตว่าเป็นแบบไหน เพื่อเป็นการลดจินตนาการในการทำความเข้าใจการทำงานของเซนเซอร์ ชนิดนี้จึงขอแสดง ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง พร็อกซิมิตี้ เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก [5]

คุณสมบัติ	สวิตช์แบบกลไก	พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์
การชำรุดเนื่องจากการสัมผัสหรือถูกกระแทก	มีเพราะจะต้องสัมผัสหรือกระแทกให้สวิตช์ทำงานมีอายุการใช้งานจำกัดเนื่องจากเป็นกลไก หน้าสัมผัสมีการสึกหรอได้ในขณะทำงานหรืออาจเกิดการอาร์คขึ้นได้เป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอเร็วขึ้น	ไม่มีเพราะทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสความทนทานสูงเนื่องจากภายในเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ และไม่เกิดการอาร์ในขณะที่ทำงาน
ความทนทาน		
ความเร็วในการทำงาน	ต่ำเนื่องจากเป็นกลไก	สูงอันเนื่องมาจากเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ความเที่ยงตรง	การเลื่อนจุดทำงาน (สัญญาณ) มีค่าปานกลางและเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ตำแหน่งในการทำงานมีความเที่ยงตรงไม่ดีนัก	การเลื่อนจุดทำงาน (สัญญาณ) มีค่าต่ำทำให้ตำแหน่งที่ตรวจจับมีความเที่ยงตรงสูง
กระแสโหลด	เป็นหน้าสัมผัสจึงออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสโหลดสูง	เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงจ่ายกระแสโหลดได้ต่ำ
การติดตั้ง	จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมชิ้นส่วนกลไกเพื่อให้มากดตัวสวิตช์ เช่น กระเดื่อง ลูกเบี้ยว เป็นต้น	ทำได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมใด ๆ เพียงติดตั้งเข้าไปตรงจุดที่ต้องการตรวจจับเท่านั้น
ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม	เนื่องจากมีกลไกที่จะต้องถ่ายทอดแรงไปกดหน้าสัมผัสจึงจำเป็นต้องมีซีลด์ยางที่แกนซึ่งมีโอกาสเสื่อมสภาพและเป็นต้นเหตุให้ฝุ่นละอองหรือน้ำเข้าไปภายในได้	ดีมาก เพราะถูกซีลด์ด้วยตัวเรือนพลาสติก หรือโลหะไว้ทั้งหมดและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในถูกห่อหุ้มไว้ด้วย epoxy resin จึงสามารถป้องกันฝุ่นละอองและน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 49 หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

ระยะตรวจจับมาตรฐานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำนั้น หาได้โดยการใช้แผ่นเหล็กอ่อน (mild steel) เป็นวัตถุนำ หากวัตถุที่ต้องการตรวจจับเป็นโลหะชนิดอื่น เช่นอลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง ฯลฯ ระยะการตรวจจับก็จะน้อยลง ทั้งนี้เราสามารถหาค่าได้โดยการเอาค่าตัวประกอบ (factor) คูณด้วยระยะการตรวจจับมาตรฐาน ตัวอย่าง เช่น ค่าตัวประกอบของเหล็กอ่อน เท่ากับ 1 ทองเหลืองเท่ากับ 0.35 ทองแดงเท่ากับ 0.25 ดังนั้นหากระยะตรวจจับมาตรฐาน (เหล็กอ่อน) เท่ากับ 10 มิลลิเมตร เมื่อนำไปตรวจจับทองเหลืองก็จะเป็น 3.5 และทองแดงเป็น 2.5 มิลลิเมตร ตามลำดับเป็นต้น

- รายละเอียดทางเทคนิค (รูปที่ 50)

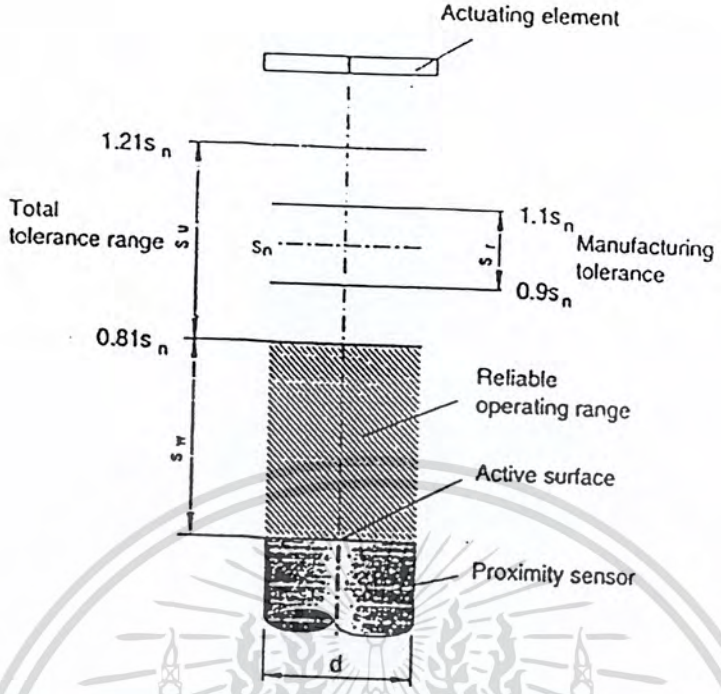
ในการนำเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำมาใช้งานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องทราบรายละเอียดหรือข้อมูลทางด้าน เทคนิค ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์และประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

ระยะการตรวจจับ (Sensing Rang) คือ ระยะที่เมื่อแผ่นโลหะที่ตรวจจับเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ด้านหน้าของส่วนตรวจจับ แล้วมีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เปิด (on) เป็น ปิด (off) หรือ ปิด (off) เป็น เปิด (on)

ระยะการตรวจจับทั่วไป (Nominal Sensing Rang ; Sn) คือ ค่าระยะตามคุณลักษณะโดยไม่ได้คิดรวมถึงผลคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตในแต่ละตัว ปรือผลกระทบจากภายนอก เช่น อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

ระยะการตรวจจับจริง (Real Sensing Rang ; Sr) คือระยะการตรวจจับ ซึ่งวัดค่าได้โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟตามค่าที่กำหนด อุณหภูมิที่กำหนด ระยะการตรวจจับจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 90% ถึง 100% ของระยะการตรวจจับแบบทั่วไป (Sn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 50 ระยะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับ

ระยะการตรวจจับจริง (Real Sensing Rang ; Sr) คือระยะการตรวจจับ ซึ่งวัดค่าได้โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟตามค่าที่กำหนด อุณหภูมิที่กำหนด ระยะการตรวจจับจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 90% ถึง 110% ของระยะการตรวจจับแบบทั่วไป

ระยะการตรวจจับที่ใช้ประโยชน์ (Useful Sensing Rang ; Su) คือ ระยะการตรวจจับ ซึ่งวัดตามวิธีการวัดที่หนึ่งตามมาตรฐาน EN 50010 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟ และอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ระยะตรวจจับที่ใช้ประโยชน์ จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 81% ถึง 121% ของระยะการตรวจจับแบบทั่วไป (Sn)

ระยะการตรวจจับในการทำงาน (Working Sensing Fang ; Sw) คือ ระยะใด ๆ ที่เซนเซอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ที่อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด

ค่าในการชดเชยระยะที่ถูกต้อง ระยะตรวจจับทั่วไป (Sn) ของเซนเซอร์สามารถจะตรวจจับวัตถุได้ตามระยะตรวจจับที่กำหนดได้โดยใช้แผ่นเหล็กอ่อน (mild steel) เป็นวัตถุสำหรับถูกตรวจจับ การใช้แผ่นโลหะที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดไว้ จะทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลงเช่นเดียวกัน ถ้าแผ่นโลหะนั้นมีผิวโค้งก็จะมีผลต่อการตรวจจับด้วย และระยะการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงไปถ้าวัตถุที่ตรวจจับเป็นโลหะประเภทอื่น ซึ่งจะทราบได้ว่าระยะตรวจจับสำหรับโลหะประเภทนั้นเป็นเท่าไร โดยคูณระยะมาตาฐานด้วยค่าตัวประกอบ (factor) ที่ระบุไว้ในตาราง คุณสมบัติเฉพาะของแต่ละรุ่น การใช้เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ ตรวจจับแผ่นโลหะบาง ๆ นั้นอาจทำให้ระยะการตรวจจับน้อยกว่าระยะการตรวจจับของแผ่นโลหะที่หนาปกติได้ กรณีนี้ขึ้นอยู่กับว่าสนามเหล็กไฟฟ้านั้นสามารถทะลุผ่านแผ่นโลหะบางนั้นไปได้มากน้อยเพียงใด ถ้าความหนาของแผ่นโลหะนั้นน้อยกว่าระยะที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านไปจะทำให้แผ่นโลหะนั้นเกิดกระแสไหลวน

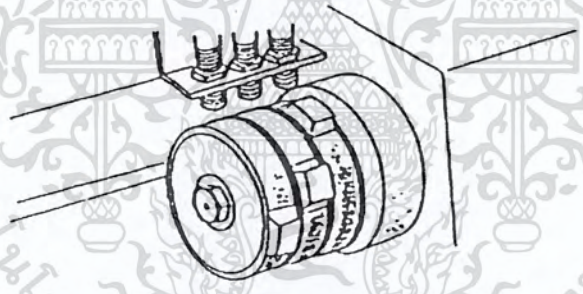
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Eddy current) ซึ่งมีผลทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะนั้นมีค่าต่ำลงกว่าค่าปกติ จากผลที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ระยะการตรวจจับลดลงตามไปด้วยค่าความสามารถในการกระทำซ้ำ (Repeatability) สามารถหาได้โดย การวัดสองครั้งติดต่อกันภายใต้สภาวะที่กำหนดของ EURONORM ซึ่งเซนเซอร์ที่ดีควรมีระยะที่เท่ากัน

ค่าอีสเตอร์รีซีสของการตัดต่อ (Switching Hysterics) คือ ระยะความแตกต่างระหว่างเซนเซอร์ทำงาน (on) กับหยุดทำงาน (off) เมื่อนำแผ่นโลหะที่ใช้ทดสอบเลื่อนเข้ามาใกล้หรือถอยห่างจากบริเวณด้านหน้าส่วนตรวจจับของเซนเซอร์ ค่าฮีสเตอร์รีซีสจะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของระยะตรวจจับจริง

การที่มีเซนเซอร์ทำงานทางเดียวเหตุผลก็คือ ในงานบางลักษณะเราไม่สามารถที่จะใช้เซนเซอร์เหนี่ยวนำแบบธรรมดาได้ ตัวอย่างเช่น เราต้องการนับการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบของกระบอกสูบตัวหนึ่ง (โดยที่เราต้องการนับเพียงทิศทางการเคลื่อนที่ออกทิศทางเดียวเท่านั้น หากถามต่อว่า แล้วเซนเซอร์แบบนี้ต่างจากแบบธรรมดาอย่างไร ก็พอจะตอบได้ว่า เซนเซอร์แบบนี้จะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด วงจรสร้างความถี่ทั้งสองตัวจะถูกล็อคซึ่งกันและกันทางอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้มีเพียงตัวเดียวเท่าผ่านพื้นที่ตรวจจับทำการลดทอนสัญญาณของชุดกำเนิดความถี่เรียงตามลำดับ ความแตกต่างของกระแสในขดลวดจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นที่ทำงานในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีวัตถุซึ่งเป็นโลหะ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (รูปที่ 51) โดยการนำมาทำเป็นอุปกรณ์ควบคุมแบบเรียงลำดับ(Sequencer) ซึ่งใช้เพลาลูกเบี้ยวเป็นตัวกำหนดในการให้สัญญาณดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 51 การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ

รีเลย์หน่วงเวลา (Timer Relay)

ในงานควบคุมมอเตอร์ด้วยแมกเนติกคอนแทกเตอร์ บางครั้งการทำงานจำต้องอาศัยเวลาในการต่อวงจรโดยอัตโนมัติตัวที่ทำหน้าที่ในการหน่วงเวลาและคอยต่อวงจรอื่น ๆ ให้ทำงานตามลำดับการทำงานของวงจรเราเรียกว่า รีเลย์หน่วงเวลา (รูปที่ 52) รีเลย์หน่วงเวลารีเลย์หน่วงเวลาที่ใช้กันมากในงานการควบคุมมอเตอร์ด้วยแมกเนติกมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น นิวเมติกหน่วงเวลา (Pneumatic Timer Relay) รีเลย์หน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Time Relay)

รีเลย์หน่วงเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ กำลังเป็นที่นะยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะสามารถตั้งเวลาได้นานนับเป็นชั่วโมง ๆ หลักการทำงานก็อาศัย ไอซี ทำงานแบบการนับลูกคลื่น โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

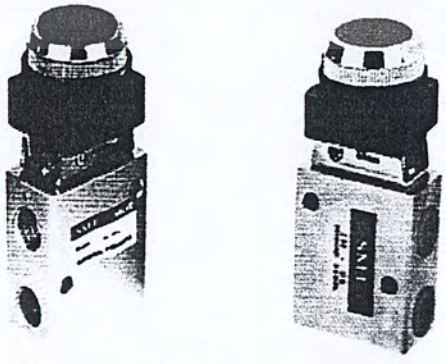
วงจรสร้างสัญญาณขึ้นบันได โดยให้มีความถี่ตามต้องการและมีวงจรตรวจนับสัญญาณความถี่ เมื่อได้นับสัญญาณความถี่ที่ได้ตามต้องการแล้ว รีเลย์ยูนิต ก็จะทำงานให้คอนแทคทำงานตามไปด้วย

รูปที่ 52 รีเลย์หน่วงเวลา

สวิตซ์ปุ่มกด (Push Button Switch)

สวิตซ์ปุ่มกด (รูปที่ 53) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมแบบใช้มือกดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม เช่น กดให้วงจรทำงาน (Start) หรือหยุดการทำงานของวงจรควบคุม (Stop) รูปร่าง สวิตซ์ ปุ่มกด สวิตซ์ปุ่มกดที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วไป มีดังนี้

- สวิตซ์ปุ่มกดแบบธรรมดาใช้กับงาน Start หรือ Stop มีทั้งแบบตัวเดียวแบบติดฝาตู้และเป็นกล่อง
- สวิตซ์ปุ่มกดหัวเห็ด (Giant Head Push Button) เป็นสวิตซ์ปุ่มกดหัวใหญ่กว่าธรรมดา แบบหัวเห็ดเพื่อให้มีพื้นที่ในการกดสัมผัสมากเหมาะสำหรับใช้เป็น Emergency Switch เช่น ต้องการให้วงจรหยุดทำงานทันทีเมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดการผิดปกติของการทำงานของวงจร
- สวิตซ์ปุ่มกดพร้อมหลอดไฟสัญญาณ (Illuminated Push Button) เป็นสวิตซ์ปุ่มกดที่มีหลอดไฟสัญญาณติดอยู่ เมื่อกดสวิตซ์ปุ่มกดให้ทำงานหลอดไฟสัญญาณจะสว่าง
- สวิตซ์ปุ่มกดแบบเท้าเหยียบ (Foot Push Button) เป็นสวิตซ์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบเหมาะสำหรับใช้งานกับเครื่องจักรกล บางที่เราอาจใช้เป็น Emergency Switch ก็ได้



รูปที่ 53 สวิตซ์ปุ่มกด (Push Button Switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ถ่ายทอดหรือส่งพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ เมื่อวงจรทั้งสองนั้นอยู่ในความเหนี่ยวนำหรือชักนำของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเดียวกัน จะเป็นแกนเหล็ก การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีส่วนเคลื่อนที่เหมือนกับมอเตอร์ จึงมีการสูญเสียกำลังงานในขณะทำงานน้อยกว่ามอเตอร์ การทำงานของหม้อแปลงก็จะเริ่มต้นจากไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 25 เฮิรตซ์ ขึ้นไป ที่ใช้อยู่ตามปกติได้แก่ 50-60 เฮริตซ์ การถ่ายทอดหรือส่งถ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) สูงออกมาเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำเรียกว่า หม้อแปลงลดลง (Step down Transformer) และส่งถ่ายแรงเครื่องไฟฟ้าต่ำออกมาเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงเรียกว่า หม้อแปลงเพิ่มขึ้น (Step up Transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่ว ๆ ไปมี 2 ชนิด คือ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส (1 phase) และหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (3 phase) หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส จะมีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดประมาณ 20 KVA ใช้กับงานประเภทงานเบามีสายไฟเข้าสองสาย หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะมีขนาด 10 KVA โดยประมาณใช้สำหรับงานหนักตามโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่ต้องการกำลังมาก ๆ จะมีสายไฟเข้าเกินกว่าสองสายขึ้นไป

- ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ได้แก่ แกนเหล็ก ขดลวด ฉนวน

- แกนเหล็ก (Core) มีลักษณะต่าง ๆ กัน แล้วแต่แบบของหม้อแปลง แกนเหล็กจะเป็นรูปตัวอี ตัวไอ ตัวยู จะเป็นแผ่นเหล็กบาง ๆ (Laminated Sheet Steel) ความหนาของแกนเหล็กแล้วแต่ความถี่ ปกติหนา 1.5 – 0.5 มิล มีส่วนผสมของวิลิคอน (Silicon) ร้อยละ 4 ขึ้นไป ผิวของแต่ละแผ่นจะฉาบด้วยฉนวน เช่น กระดาษบาง ๆ หรือ เชลแล็ก อย่างใดอย่างหนึ่งอัดกันเป็นแท่งเหล็ก แต่ละแผ่นจะต้องอัดกันให้แน่นที่สุด เพื่อไม่ให้เส้นแรงแม่เหล็กหนีออกหรือเกิดเสียงดัง

- ขดลวด (Winding) ที่ใช้พันหม้อแปลงจะมีทั้งลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวนหรือลวดอะลูมิเนียมหุ้มด้ายขดลวดมีทั้งชนิดกลมและเหลี่ยมหรือแบน แต่ลวดอะลูมิเนียมจะสูญเสียกำลังงานมากกว่าลวดทองแดง ขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 ขด คือ ขดไฟเข้าซึ่งเรียกว่า ขดปฐมภูมิหรือขดไพมารี (Primary Winding) และขดไฟออกซึ่งเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิหรือขดเซคันดารี (Secondary Winding) ขดลวดในหม้อแปลงและสัญลักษณ์ของขดลวดในหม้อแปลงการพันขดลวดในแกนเหล็ก เมื่อพันขดไฟฟ้าเข้ากับขดไฟออกแยกออกจากกัน ซึ่งหมายถึงพันไว้คนละด้านของแกนเหล็กเรียกว่า พันไว้แบบอันดับ (Core Type) แต่ถ้าพันขดไฟเข้าและขดไฟออกทับกันบนแกนเหล็กเดียวกันเรียกว่า พันไว้แบบเส้นขนาน (Shell Type)

- ฉนวน (Insulator) สำหรับในหม้อแปลงคือกระดาษไขบาง ๆ ที่วางคั่นไว้ระหว่างชั้นของขดลวดเพื่อป้องกันขดลวดอาบน้ำยาลักวงจรระหว่างชั้น หรือกระดาษแข็ง ไฟเบอร์แม็กคาไลท์ ซึ่งจะกั้นระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กไม่ให้รั่วหรือกราวด์ถึงกัน หรือวานิชที่เป็น ของเหลวซึ่งเป็นฉนวนใช้อาบลงบนขดลวดแล้วอบด้วยความร้อนให้แห้ง เพื่อป้องกันความชื้นและไม่ให้ขดลวดสั่น ขดลวดจะเกาะกันแน่น ผ้าเทปพันสายก็เป็นฉนวนอีกแบบหนึ่งที่พันบนขดลวดหลังจากพันขดลวดเรียบร้อยแล้ว

- หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตามหลักการเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กตัดกับขดลวด หรือขดลวดตัดกับเส้นแม่เหล็ก ก็จะผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมา ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ 50 หรือ 60 เฮิรตซ์ เข้าทางขดไฟเข้าคือขดปฐมภูมิ กระแสจะสร้างแรงเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปในแกน เหล็ก แต่เนื่องจากเป็นไฟสลับทำให้

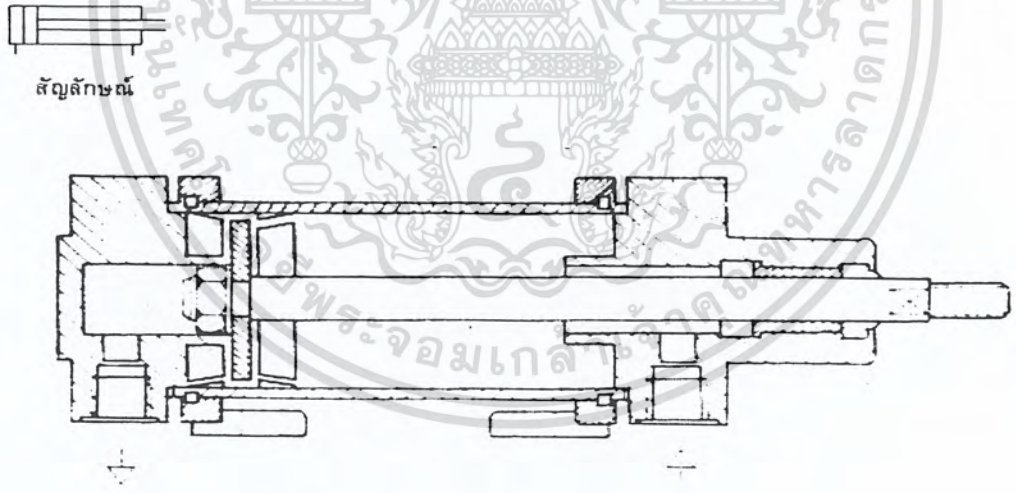
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางและไปตัดกับขดลวดไฟออก (ขดทุติยภูมิ) ทำให้ผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดทุติยภูมิและความถี่ทางขดทุติยภูมิจะเท่ากับความถี่เดิมทางขดปฐมภูมิ คือ 50 หรือ 60 เฮิรตซ์ เมื่อเป็นหม้อแปลงที่แปลงแรงดันให้ลดลง แรงดันทางขดปฐมภูมิจะสูง กระแสไฟจะน้อย แรงดันทางขดทุติยภูมิจะต่ำ กระแสจะสูง แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงที่แปลงแรงดันให้เพิ่มขึ้นนี้แรงดันทางขดปฐมภูมิจะต่ำ กระแสจะสูง แรงดันทางขดทุติยภูมิกระแสจะต่ำ การทำงานเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กที่ในแกนเหล็กจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กำลังไฟฟ้าทางขดไฟเข้าจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าทางขดไฟออก (เพราะมีความสูญเสีย หรือ Losses ในหม้อแปลงบ้าง) ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าจะแปลงหรือลดแรงดันแต่กำลังไฟฟ้าไม่ได้แปลงเพิ่มหรือลด

4. อุปกรณ์ทำงาน ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของลมอัดให้เป็นกำลังงานกล เช่น กระบอกสูบลม และมอเตอร์ลมประเภทต่าง ๆ

กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง

จะใช้ลมดันหัวลูกสูบทั้งตอนเคลื่อนที่ออกและเคลื่อนที่กลับทำให้ได้แรงทั้งสองทิศทาง เหมาะกับงานที่จะต้องการใช้แรงในตอนลูกสูบเลื่อนออกเลื่อนเข้ารวมทั้งลักษณะงานที่ต้องการช่วงชักยาว ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีที่ช่วงชักยาวเกินไปจะทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งงอได้ ดังนั้นช่วงชักของกระบอกสูบแบบนี้จะต้องมีการคำนวณหาระยะช่วงชักที่อนุญาตให้ใช้งานได้ นอกจาปัญหาดังกล่าวถ้ากระบอกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตเกินไปจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองลมมาก (รูปที่ 54)

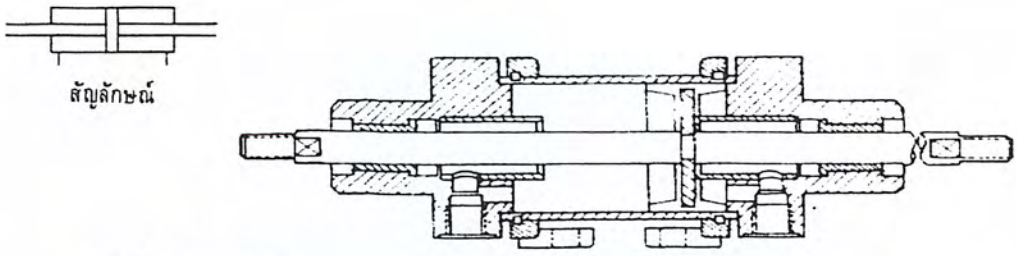


รูปที่ 54 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง

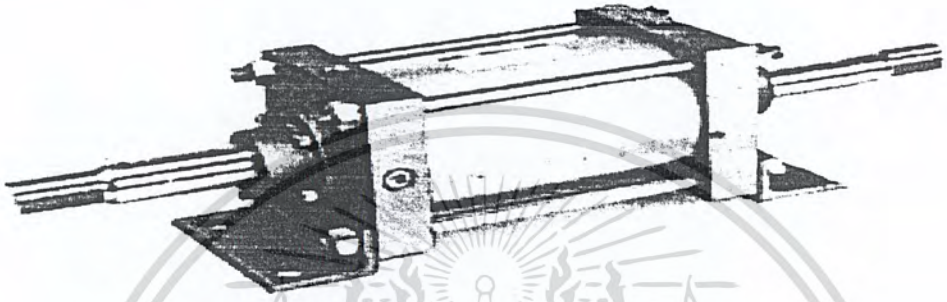
กระบอกสูบลมชนิดทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสองข้าง

กระบอกสูบแบบนี้ไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปหรือกลับ แรงที่ได้ทั้งสองข้างจะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดทั้งสองข้างมีขนาดเท่ากันที่ปลายจะครองรับของก้านสูบทั้งสองข้างจะมีแบริ่งรองรับก้านสูบอยู่ ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทกด้านข้างของก้านสูบจึงน้อยมาก ไม่เหมือนกับกระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง ลักษณะของกระบอกสูบนี้ดูได้จาก (รูปที่ 55,56)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 55 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสองข้าง



รูปที่ 56 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทางแบบมีก้านสูบสองข้าง

การเลือกขนาดกระบอกสูบ

การเลือกหาขนาดกระบอกสูบลมให้มีขนาดพอเหมาะกับงานในระบบนิวแมติกมีองค์ประกอบในการพิจารณาอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น

1. ความดันของลมที่ใช้ในระบบ
2. น้ำหนักของงานที่กระบอกสูบจะต้องไปกระทำ
3. ความยาวช่วงชักของก้านสูบที่จะรับภาระ
4. ความเร็วของลูกสูบที่ต้องการใช้
5. ลักษณะงานที่จะนำกระบอกสูบไปใช้งาน

เมื่อจะนำกระบอกสูบลมไปใช้งานควรรู้เรื่องเกี่ยวกับผลการเปลี่ยนแผลงเมื่อค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าอื่น ๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงไว้ในตาราง

ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ [4]

ข้อมูลที่เปลี่ยน	ความเร็ว	แรงที่ได้รับ
เพิ่มความดันใช้งาน	ไม่มีผล	เพิ่มขึ้น
ลดความใช้งาน	ไม่มีผล	ลดลง
เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ลดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ	เพิ่มขึ้น	ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกขนาดกระบอกสูบลมให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน หรือขนาดของแรงที่ได้จากลูกสูบ สามารถหาได้จากการคำนวณจากสมการหรือจากการเปิดตาราง

การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบลม แรงที่ได้จากลูกสูบเพื่อไปดันให้ก้านสูบไปกระทำกับโหลดให้เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความดันลมที่ใช้ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ และแรงเสียดทานของซีลที่กระทำต่อกระบอกสูบ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ตามกฎของปาสคาล

$$F_{th} = 10(A \cdot P)$$

เมื่อ

F_{th} คือ แรงที่ได้จากลูกสูบทางทฤษฎี (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (cm^2)

P คือ ความดันใช้งาน (bar)

การคำนวณความเร็วของก้านสูบ สามารถหาได้จากสมการ

$$t = 5.21 \times V / S \times K$$

เมื่อ

t คือ เวลาการเคลื่อนที่ของก้านสูบ (sec)

V คือ ปริมาตรกระบอกสูบระบายลม (L)

S คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิของอุปกรณ์ที่รับลม (mm^2)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์แปรผันตามอัตราของโหลด มีค่าอยู่ระหว่าง 2 – 3

สำหรับกระบอกสูบทำงานสองทาง

$$Q_a = 2 \times (L \times N \times q)$$

เมื่อ

Q_a คือ อัตราความสิ้นเปลืองลมอัด

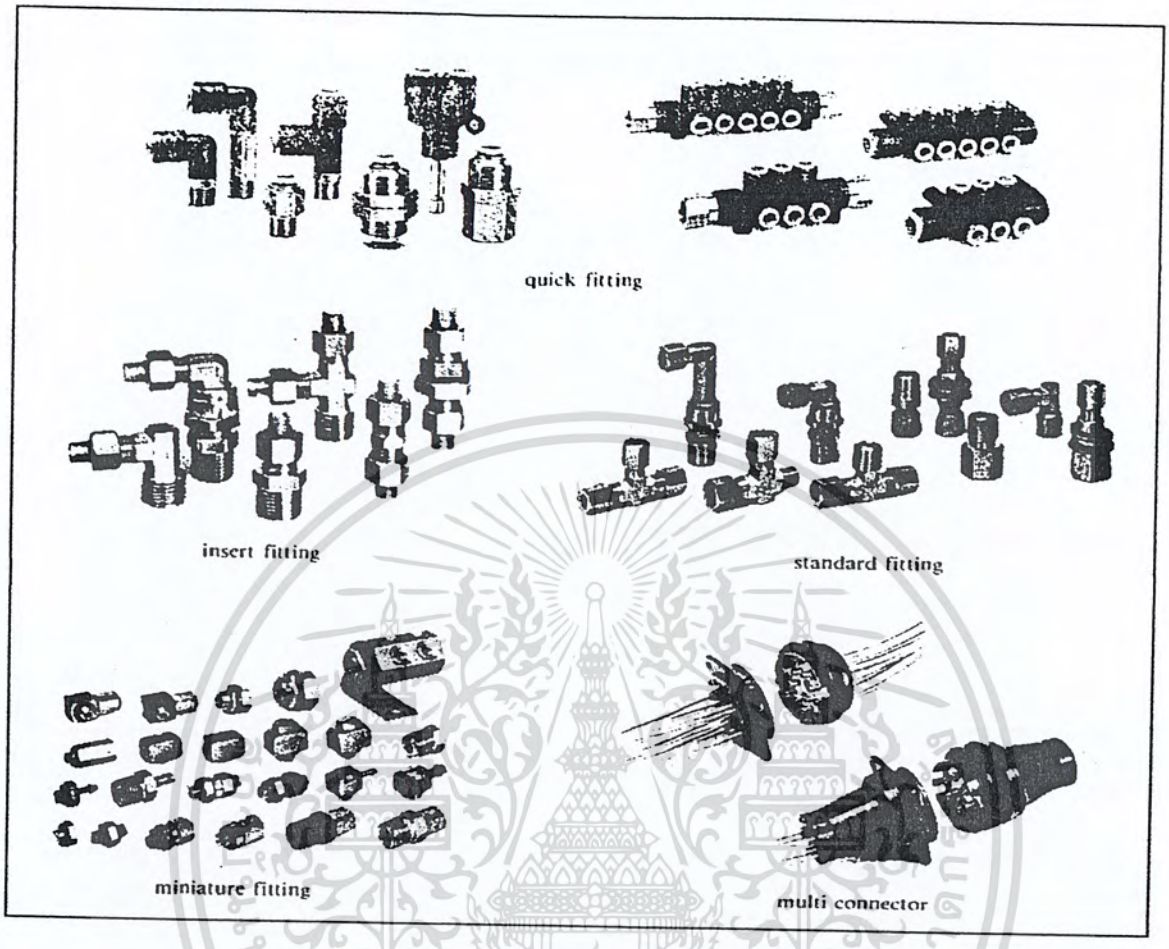
L คือ ช่วงชักกระบอกสูบ (cm)

N คือ จำนวนครั้งการเลื่อนเข้าออกต่อนาที

q คือ อัตราความสิ้นเปลืองลมต่อระยะชัก 1 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

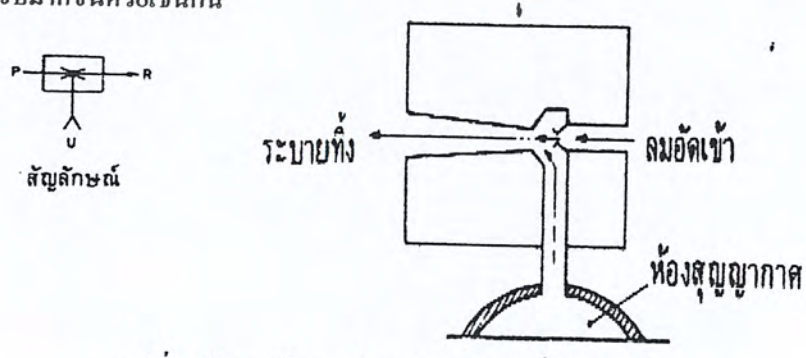
5.อุปกรณ์ในระบบท่อทาง ทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดินของลมอัดในระบบนิวแมติก โดยระบบท่อนี้จะรวมถึงท่อส่งลมอัด และข้อต่อชนิดต่างๆด้วย



รูปที่ 57 ลักษณะของข้อต่อที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

หัวจับสุญญากาศ

หัวจับสุญญากาศจะอาศัยหลักการเอาลมอัดเป่าผ่านคอคอด (รูปที่ 58) เพื่อทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดสุญญากาศขึ้น อากาศในหัวจับจะถูกดูดออกมาด้วย ดังนั้นในบริเวณดังกล่าวจึงเกิดสุญญากาศขึ้น เช่น ความดันบรรยากาศภายในก็จะดันให้หัวจับ จับชิ้นงานนั้นได้แน่น ระดับของสุญญากาศจะมีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความเร็วและปริมาณของลมอัดที่พ่นผ่านคอคอดนั้น นอกจากนั้นแรงของหัวจับจะมีค่ามาก ถ้ามีพื้นที่ในการจับมากขึ้นด้วยเช่นกัน

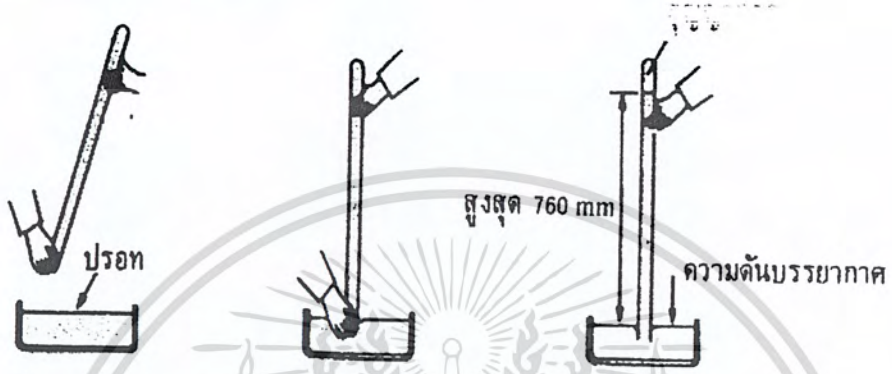


รูปที่ 58 โครงสร้างภายในของหัวพ่นลมที่ทำให้เกิดสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าของสุญญากาศ

ตามหลักการของทอร์ริเชลลิ (Torricelli) (รูปที่ 59) นำเอาหลอดแก้วยาว 1 เมตร ภายในบรรจุด้วยปรอทให้เต็ม เอามืออุดไว้ ใส่ไปภายในภาชนะที่มีปรอทอยู่ ตั้งหลอดแก้วให้ตรงแล้วเอามือที่อุดนั้นออก ความสูงของระดับปรอทภายในหลอดแก้วจะมีความสูงเพียง 760 มิลลิเมตรปรอทเท่านั้นที่ความดันบรรยากาศ ส่วนด้านบนจะเป็นช่องว่างซึ่งเป็นสุญญากาศ

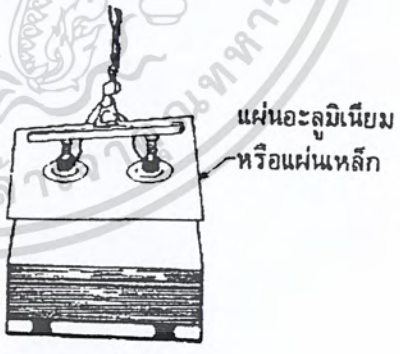


รูปที่ 59 การหาค่าของสุญญากาศตามหลักการของทอร์ริเชลลิ

การนำเอาระบบหัวจับสุญญากาศไปใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ (รูปที่ 60-63) ในบางครั้งอาจนำเอาหัวจับสุญญากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากไปใช้ในการจับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมล็ดพันธุ์พืช (รูปที่ 64-67)

การขนย้ายห่อ

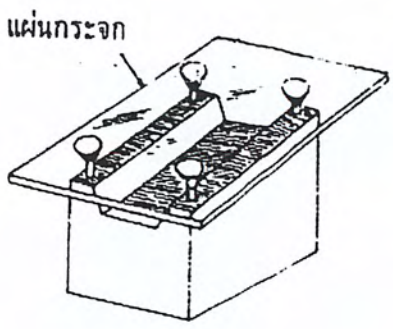
รูปที่ 60 การขนย้ายห่อ



การยกแผ่นเหล็ก

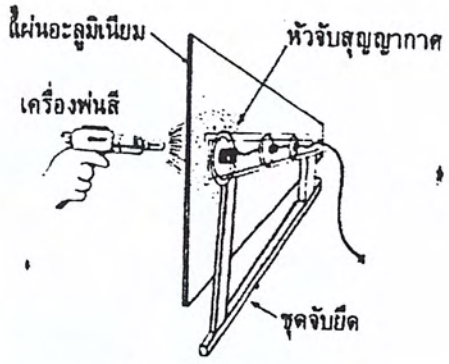
รูปที่ 61 การยกแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานจับยึดกระจก

รูปที่ 62 งานจับยึดกระจก



งานจับยึดชิ้นงานแผ่นเรียบสำหรับพ่นสี

รูปที่ 63 งานจับยึดงานแผ่นเรียบสำหรับพ่นสี

งานจับตัวไอซี

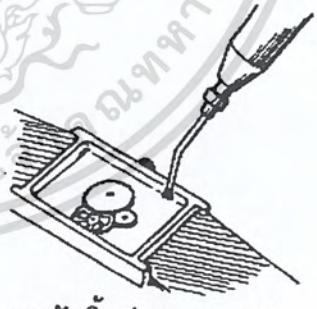
รูปที่ 64 งานจับตัวไอซี

งานจับชิ้นงานเครื่องประดับ

รูปที่ 65 งานจับชิ้นงานเครื่องประดับ

งานจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 66 งานจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



งานจับชิ้นส่วนของนาฬิกา

รูปที่ 67 งานจับชิ้นส่วนของนาฬิกา

การเลือกขนาดของหัวจับสุญญากาศ

ในการจับยกชิ้นงานโดยทั่วไปชิ้นงานที่จะยกย่อมมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของชิ้นงานนั้น ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการเลือกขนาดของหัวจับสุญญากาศให้เหมาะสมกับชิ้นงาน จะหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W=\frac{(P\times A)}{760}$$

โดยที่

W = น้ำหนักของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

P = ค่าสุญญากาศที่ใช้ในระบบ มีหน่อยเป็นตารางเซนติเมตร

A = พื้นที่หัวจับที่ใช้งานจริง มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

จากสมการเป็นค่าที่ใช้ในการยกน้ำหนักทางทฤษฎีเท่านั้นถ้านำมาใช้งานจริงควรจะเผื่อค่าความปลอดภัยไว้ด้วย เช่น ถ้าชิ้นงานนั้นเป็นแผ่นเรียบควรเผื่อค่าความปลอดภัยในการใช้งานไว้ 3 เท่า แต่ถ้าชิ้นงานนั้นมีรูพรุนบาง เช่น แผงเสียบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของโทรทัศน์หรือวิทยุ ก็ควรเผื่อค่าความปลอดภัยไว้ประมาณ 5 เท่า

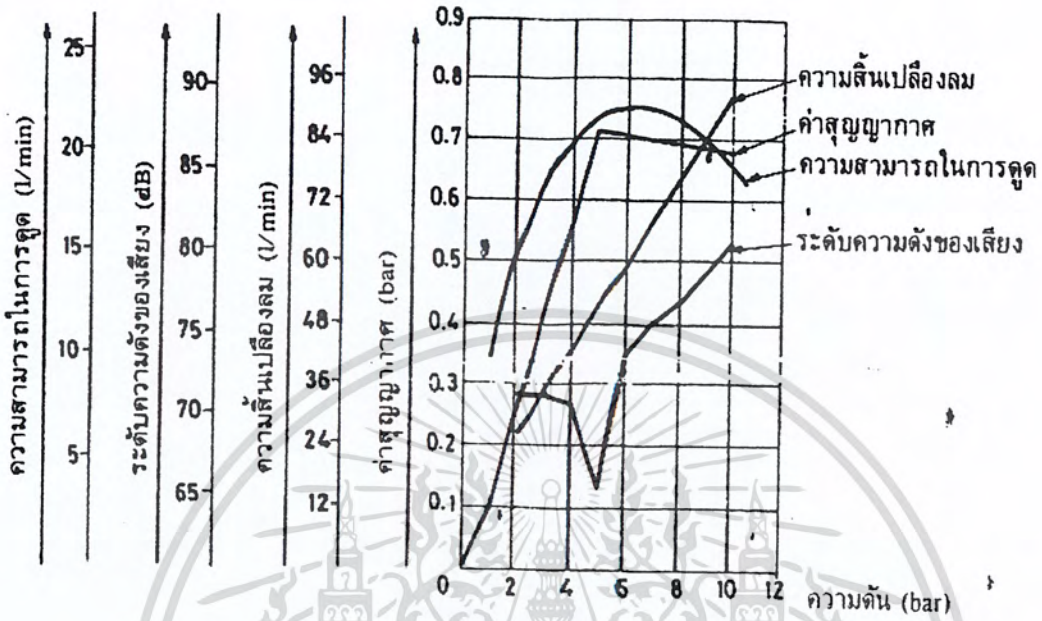
ถ้าไม่ต้องการใช้สมการในการคำนวณก็อาจจะใช้ตาราง เปิดหาค่าได้ แต่เป็นน้ำหนักที่ยกทางทฤษฎี ถ้าต้องการนำไปใช้งานจริงต้องมีค่าเผื่อความปลอดภัยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 6 ค่าของแรงที่หัวจับสามารถยกได้ทางทฤษฎี [4]

เส้นผ่านศูนย์กลางหัวจับ (mm)	ค่าสุญญากาศ (mmHg)			
	-300	-400	-500	-600
1	0.003	0.004	0.005	0.006
2	0.012	0.017	0.021	0.025
3.5	0.038	0.051	0.063	0.076
5	0.08	0.10	0.12	0.15
8	0.20	0.26	0.33	0.40
10	0.31	0.41	0.52	0.62
15	0.7	0.9	1.2	1.4
20	1.3	1.7	2.1	2.5
25	2.0	2.6	3.2	3.9
30	2.8	3.7	4.7	5.6
35	3.8	5.1	6.3	7.6
40	5.0	6.6	8.3	9.9
50	8	10	13	16
60	11	15	19	22
80	20	26	33	40
100	31	41	52	62
120	45	60	74	89
150	70	93	116	140
200	124	165	207	248
300	279	371	466	558
400	496	660	828	992
500	775	1031	1294	1550
600	1116	1484	1864	2234
—	—	—	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรู้ค่าแรงที่สามารถจับยกได้ ถ้าต้องการหาค่าความสิ้นเปลืองลมที่ใช้ ระดับความดังของเสียงและความสามารถในการดูด (รูปที่ 68)



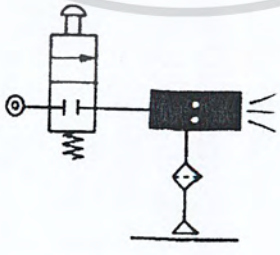
รูปที่ 68 กราฟหาความสิ้นเปลืองลมที่ใช้

การเดินทางวงจรของระบบหัวจับสุญญากาศ

ในชุดอุปกรณ์ทำงานของระบบหัวจับสุญญากาศจะประกอบด้วยหัวพ่นลมและหัวจับสุญญากาศ ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทำมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ยาง ซิลิคอน สำหรับวงจรที่ใช้เดินในระบบหัวจับสุญญากาศมีอยู่หลายแบบด้วยกันแล้วแต่ลักษณะงานที่จะนำไปใช้ ซึ่งมีอยู่ดังนี้

1.วงจรพื้นฐาน

วงจรนี้เป็นวงจรที่ใช้เดินกับหัวจับพื้นฐานทั่วไปคือ วาล์ว 2/2 (รูปที่ 69) ลมจะผ่านหัวพ่นลมออกไปทำให้ที่หัวจับเกิดสุญญากาศขึ้นจับชิ้นงานยกขึ้นมาได้

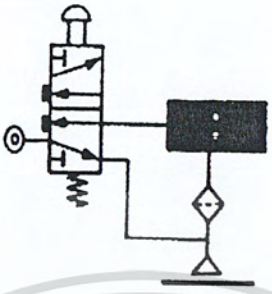


รูปที่ 69 วงจรพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วแบบปุ่มกด (รูปที่ 70)

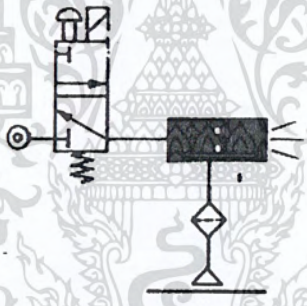
วงจรนี้จะใช้กับงานที่ต้องการปล่อยชิ้นงานได้รวดเร็วโดยการใช้ วาล์ว 5/2 เมื่อต้องการให้หัวจับชิ้นงาน ให้กด วาล์ว 5/2 ลมจะพ่นผ่านหัวพ่นลมทำให้หัวจับทำงาน แต่เมื่อต้องการปล่อยชิ้นงาน ลมจากแหล่งจ่ายลมจะมาพ่นที่หัวจับ ทำให้ชิ้นงานหลุดออกมาได้



รูปที่ 70 วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วแบบปุ่มกด

3.วงจรพื้นฐานใช้ไฟฟ้าควบคุม (รูปที่ 71)

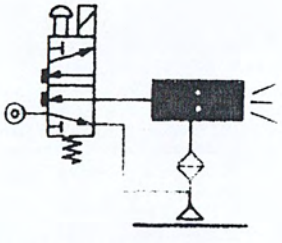
วงจรนี้การทำงานเหมือนกับวงจรพื้นฐาน แต่ใช้ไฟฟ้าควบคุมการทำงาน



รูปที่ 71 วงจรพื้นฐานใช้ไฟฟ้าควบคุม

4.วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วใช้ไฟฟ้าควบคุม (รูปที่ 72)

วงจรนี้คล้ายคลึงกับวงจรปล่อยชิ้นงานเร็วแบบปุ่มกดต่างกันที่วงจรนี้จะใช้วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน

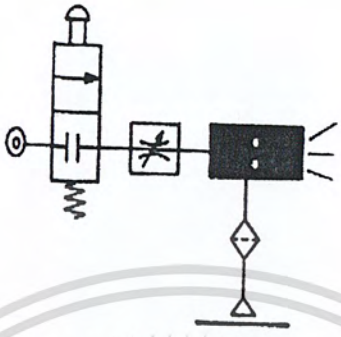


รูปที่ 72 วงจรปล่อยชิ้นงานเร็วใช้ไฟฟ้าควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.วงจรปรับสุญญากาศที่หัวจับได้ (รูปที่ 73)

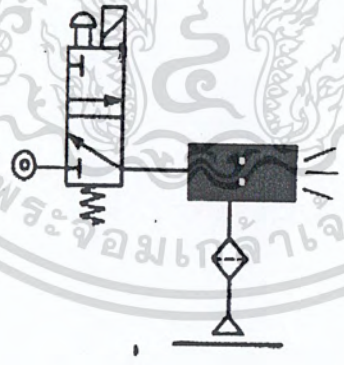
เป็นวงจรที่สามารถปรับเวลาในการจับของหัวสุญญากาศได้ โดยใช้วาล์วควบคุมปริมาณอัตราการไหลของลมที่ไหลผ่านหัวพ่นลม



รูปที่ 73 วงจรปรับสุญญากาศที่หัวจับได้

6.วงจรที่ติดตั้งสวิตช์สุญญากาศเข้าไปในระบบ (รูปที่ 74)

เป็นวงจรที่ทำงานคล้ายกับวงจรอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้วแต่การที่ติดตั้งสวิตท์สุญญากาศเข้าไปในระบบก็เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าหัวจับสุญญากาศจับงานได้แน่พอตามค่าของสุญญากาศที่กำหนดไว้ จึงจะมีการสั่งให้ทำงานต่อไป

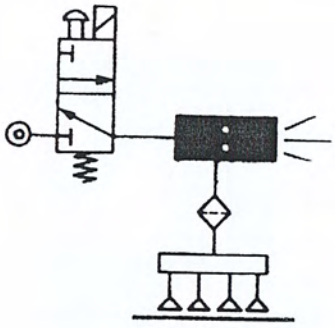


รูปที่ 74 วงจรที่ติดตั้งสวิตช์สุญญากาศเข้าไปในระบบ

7.วงจรที่ติดตั้งหัวจับสุญญากาศหลายหัว (รูปที่ 75)

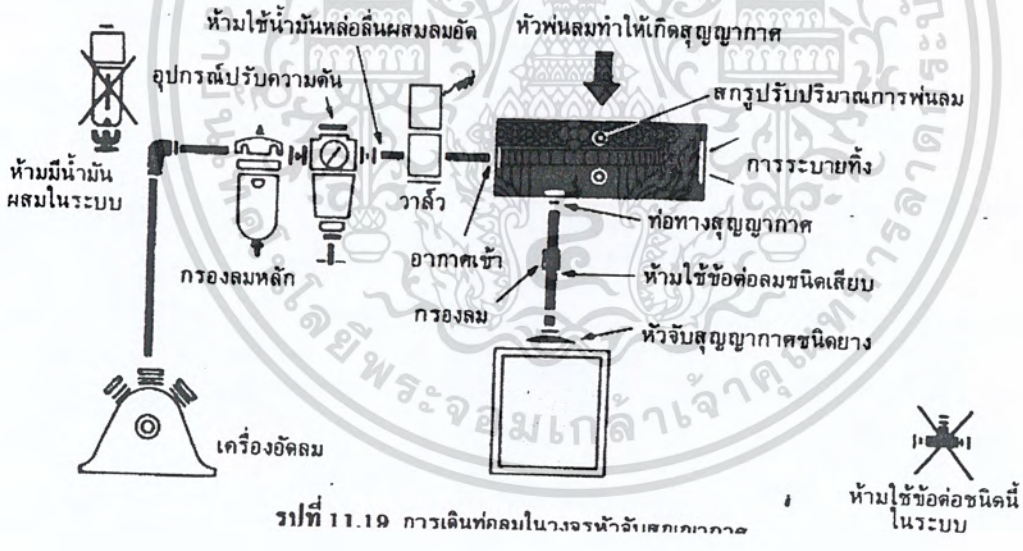
เป็นวงจรที่ทำงานเหมือนกับวงจรอื่น แต่ในกรณีที่ชิ้นงานใหญ่มากอาจจะต้องใช้หัวจับหลายหัว จึงจะยกชิ้นงานขึ้น จึงต่อเข้าตามวงจรดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 75 วงจรที่ติดตั้งหัวจับสุญญากาศหลายหัว

สำหรับในงานที่มีความจำเป็นจะต้องใช้หัวจับสุญญากาศหลายหัว (รูปที่ 76) เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าหัวจับทุกหัวได้จับแรงเท่ากันทุกหัว จะต้องนำเอาสวิตช์สุญญากาศไปติดตั้งหัวจับที่ใช้ท่อลมยาวที่สุด เพื่อที่จะสั่งให้มีการทำงานในขั้นต่อไปเมื่อจับแน่นทุกตัวแล้ว และในกรณีที่ชิ้นงานมีเนื้อที่มากควรจะเฉลี่ยเนื้อที่ในการจับยึดให้ใกล้เคียงกันด้วย



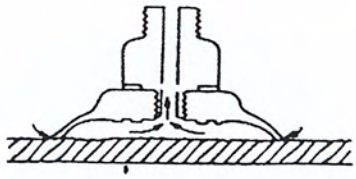
รูปที่ 11.19 การเดินท่อลมในวงจรหัวจับสุญญากาศ

รูปที่ 76 การเดินท่อลมในวงจรหัวจับสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวังในการใช้หัวจับสุญญากาศ

1.ไม่ควรใช้หัวจับสุญญากาศจับชิ้นงานที่มีรูพรุนมากๆ (รูปที่ 77) เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการจับยึดไม่ดีและถ้าจำเป็นจะใช้ จะต้องเผื่อค่าความปลอดภัยให้มากกว่า 3 เท่า ดังรูป

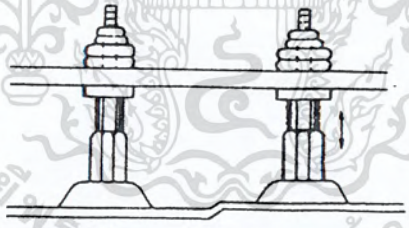


รูปที่ 77 การจับชิ้นงานที่มีรูพรุนมากๆ

2.ไม่ควรใช้หัวจับสุญญากาศไปจับชิ้นงานที่มีความบางเกินไป (รูปที่ 78) เพราะจะทำให้เกิดการโก่งงอขึ้นได้

รูปที่ 78 การจับชิ้นงานที่มีความบางเกินไป

3.การใช้หัวจับกับชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน (รูปที่ 79) ควรจะใช้สปริงติดตั้งที่ชุดยึดหัวจับ



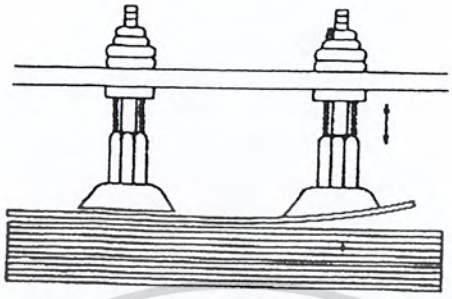
รูปที่ 79 การจับชิ้นงานที่มีความหนาไม่เท่ากัน

4.ในกรณีที่ชิ้นงานมีแผ่นกว้างมากเกินไป (รูปที่ 80) ควรจะใช้หัวจับให้มีจำนวนพอเหมาะกับชิ้นงาน เพราะอาจจะทำให้ชิ้นงานแอ่นลงได้

รูปที่ 80 แผ่นชิ้นงานที่มีความกว้างมากเกินไป

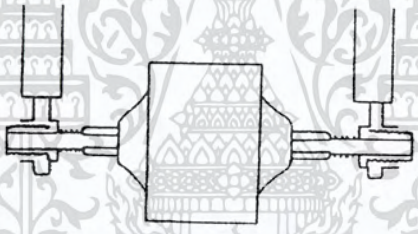
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ในกรณีที่ใช้หัวจับยกเหล็กแผ่นที่วางซ้อนกันอยู่หลายแผ่น (รูปที่ 81)มักจะพบปัญหาคือแผ่นเหล็กจะติดกัน เนื่องจากน้ำมันที่ชโลมแผ่นเหล็ก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายในขณะยกขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการให้ยกได้ทีละแผ่นควรจะใช้สปริงติดตั้งที่หัวจับ แต่ให้ความยาวของสปริงไม่เท่ากัน



รูปที่ 81 การจับยกเหล็กแผ่นที่วางซ้อนกันอยู่หลายแผ่น

6.การจับยึดชิ้นงานด้านข้างตัวรองรับหัวจับ (รูปที่ 82) ควรจะใช้แบริ่งที่มีความแข็งแรงในการจับยึดเพื่อป้องกันการลื่นของชิ้นงานได้



รูปที่ 82 การจับยึดชิ้นงานด้านข้างตัวรองรับหัวจับ

7.ห้ามใช้ข้อต่อลมชนิดเสียบมาใช้กับงานหัวจับสุญญากาศ เพราะจะทำให้อากาศแทรกซึมเข้าไปในระบบได้ ดังนั้นในการทำงานจำเป็นจะต้องใช้ข้อต่อลมชนิดเป็นแบบเกลียวขัน

เสา

เสามีลักษณะเป็นท่อนตรงและรับแรงกดในแนวแกน (รูปที่ 83) ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาที่เรียวยาวก็ยังคงอยู่ในสภาพที่ตรงได้ แต่ถ้าแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง เสาดังกล่าวก็อาจจะเกิดการโก่งงอขึ้น (Buckling) แรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอนี้เรียกว่า แรงวิกฤต (critical load) ความเค้นที่เกิดในเสาขณะที่จะเริ่มเกิดการโก่งงออาจจะต่ำกว่าความเค้นใช้งานก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการโก่งงอขึ้นแล้วชิ้นงานนั้น ก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการโก่งงอแทนที่จะจำกัดความเค้น
ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลจำนวนมากก็ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเสา เช่น ก้านสูบ สูตรที่ใช้กับเสาจำจำแนกตามอัตราส่วนความเพรียว (Slenderness ratio) โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ

Le คือ ความยาวสมมูล (equivalent length)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

A คือ พื้นที่หน้าตัด

เนื่องจากการออกแบบเสาที่อาจจะเกิดการโก่งงอจะจำกัดแรงกด แทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกด ถ้าให้ Fc เป็นแรงวิกฤต แรงกดใช้งานคือ F = Fc/N

ซึ่งถ้าเป็นเหล็กโครงสร้างแล้วจะใช้สูตรออยเลอร์เมื่ออัตราส่วนความเพรียวมากกว่า 115 จากสูตรจำเห็นว่าเสาจะเกิดโก่งรอบแกน ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดหรือรัศมีไจเรชันมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับเสายาวนี้ ในทางการออกแบบเครื่องกลแนะนำให้ใช้ประมาณ 3.5 สำหรับเสาที่มีขนาดยาวจะนิยมใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler) คือ

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N(Le/k)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 EI}{N(Le)^2}$$

สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ ดังรูปภาพที่ 42

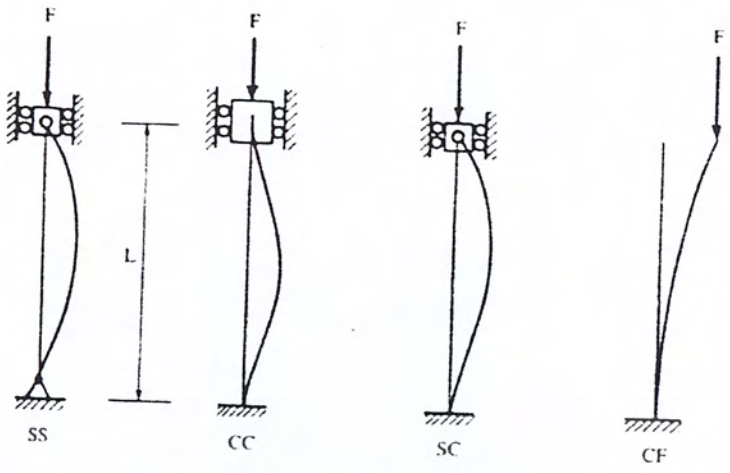
ปลายยึดแบบธรรมดา (SS:simple supported) Le = L

ปลายยึดแน่นสองข้าง (cc : clamped) Le = $\frac{L}{2}$

ปลายยึดแบบธรรมดา-ยึดแน่น (SC : simple supported – clamped) Le = 0.707L

ปลายยึดแน่น-อิสระ (CF:clamped-free) Le = 2L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 83 แสดงการยึดปลายเสาด้วยวิธีต่าง ๆ

จะเห็นว่าปลายแบบ CC มีความแข็งแรงสูงสุดและปลายแบบ CF รับแรงกดได้น้อยที่สุด ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเสา ปลายมักจะเป็นแบบ SS, SC หรือ CF ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แท้จริงของชิ้นงานนั้น

สำหรับเสาที่มีขนาดสั้นลงมาก สูตรของออยเลอร์จะใช้งานได้ไม่ดีนัก ทั้งนี้เพราะความเสียหายที่แม้จริงอาจจะเนื่องมาจากผลของการโก่งงอ และการที่ความเค้นในเสาเกินขีดจำกัด ยืดหยุ่นพร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ผู้ออกแบบมักจะนิยมใช้สูตรของจอห์นสัน (Johnson) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าสูตรพาราโบลา (parabolic formula) คือ

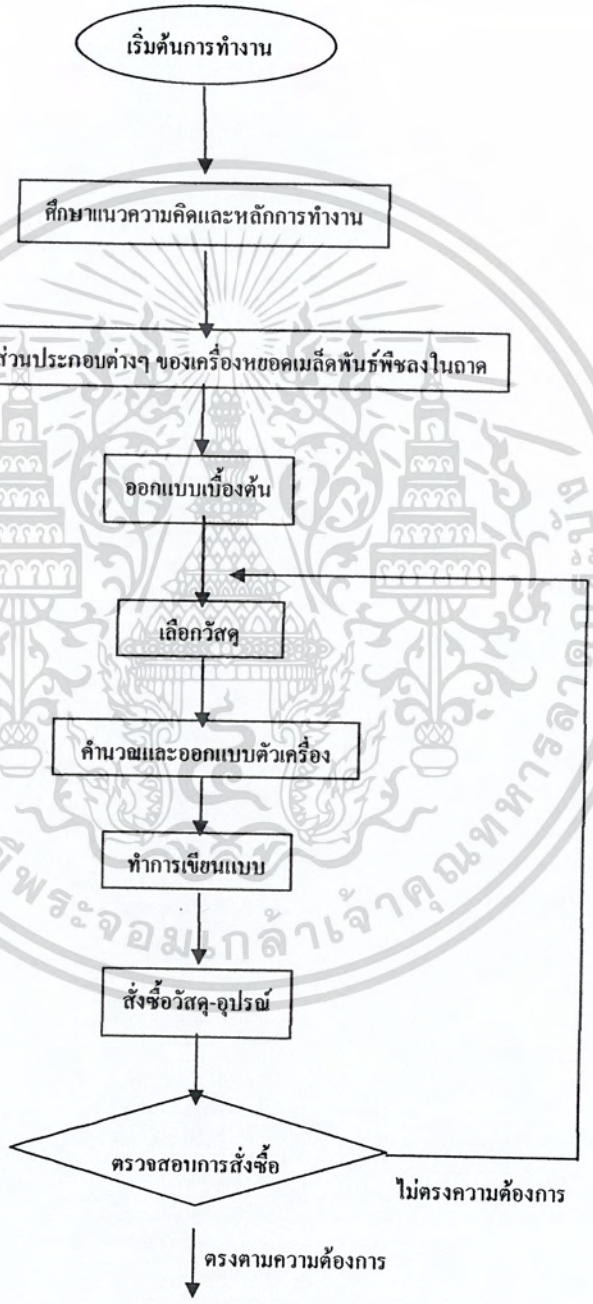
สำหรับเหล็กโครงสร้างแล้ว จะใช้สูตรของจอห์นสันเมื่ออัตราส่วนความเพรียวมีค่าประมาณ

$40 < Le/k \leq 115$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

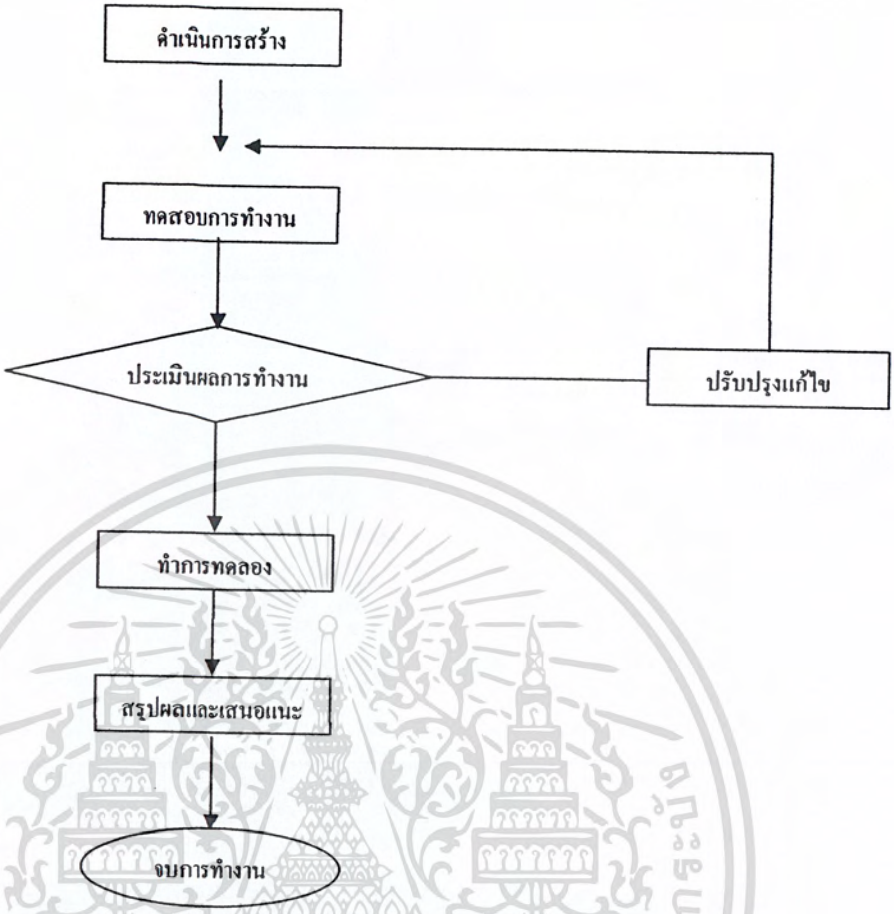
บทที่ 3
การออกแบบเครื่องจักร

ในการออกแบบและการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้าได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้(รูปที่ 84)



รูปที่ 84 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

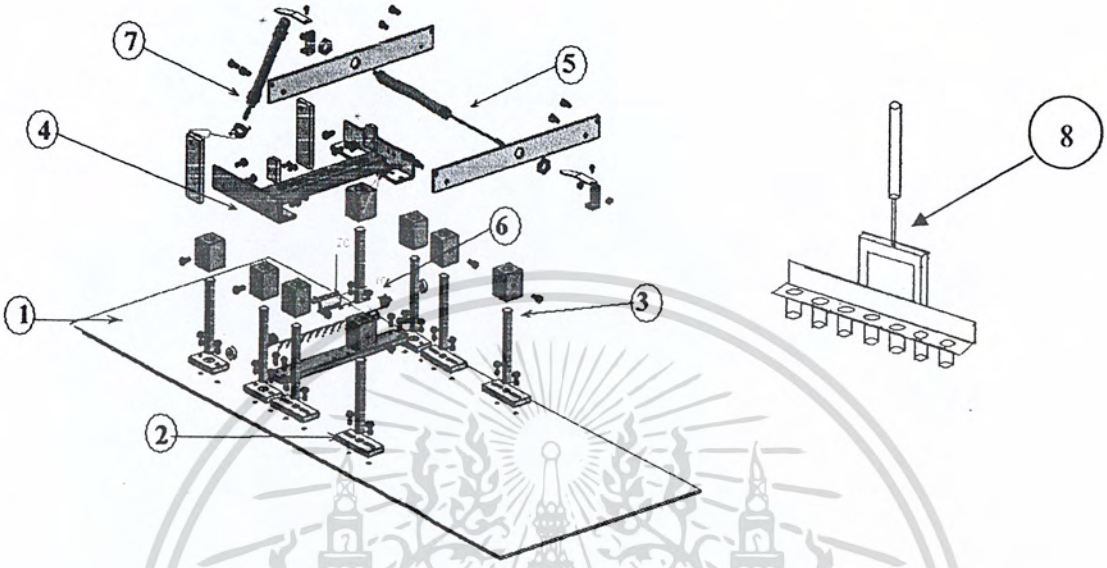


รูปที่ 84 (ต่อ) แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของการสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ชุดโครงสร้าง

3.1.1 การออกแบบโดยใช้โปรแกรม NX3



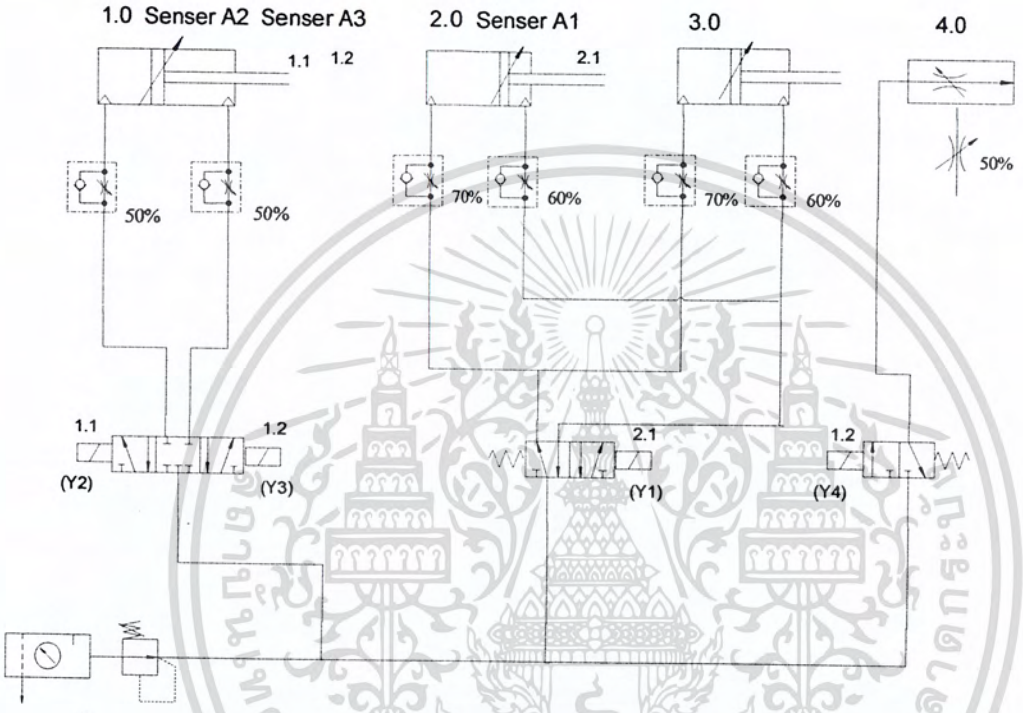
รูปที่ 85 ส่วนประกอบของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืช

1. ฐานรองรับโครงสร้าง ทำมาจากไม้อัดขนาด 121.92 x 243.84 x 1.2 cm
2. ฐานรองรับเสา ทำมาจากเหล็กแผ่นขนาด 5.08 x 10.16 cm จำนวน 8 แผ่น
3. ชุดเสาปรับได้ ทำมาจากเหล็กเกลียวตลอดสูง 25 cm จำนวน 8 เสา
4. ชุดหลุมหยอด ทำมาจากเหล็กกล่องขนาด 5.08 x 2.84 x 0.12 x 60cm
5. ชุดตัวดันถาด ใช้กระบอกสูบขนาด ∅ 25 mm B 300
6. ท่อสุญญากาศพร้อมหัวเข็ม ทำมากจากท่อเหล็กขนาด ∅ 3.81 cm หนา 0.05 cm ยาว 36.5 cm
7. ชุดบังคับท่อเลื่อนเข้า – ออก ใช้กระบอกสูบขนาด ∅ 32 mm H 150 mm
8. ชุดกดหลุม ทำมาจากเหล็กฉากขนาด 2.54 x 2.54 x 0.3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

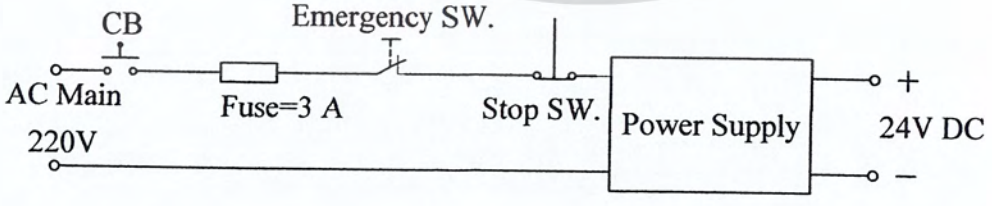
3.2 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานนิวเมติก



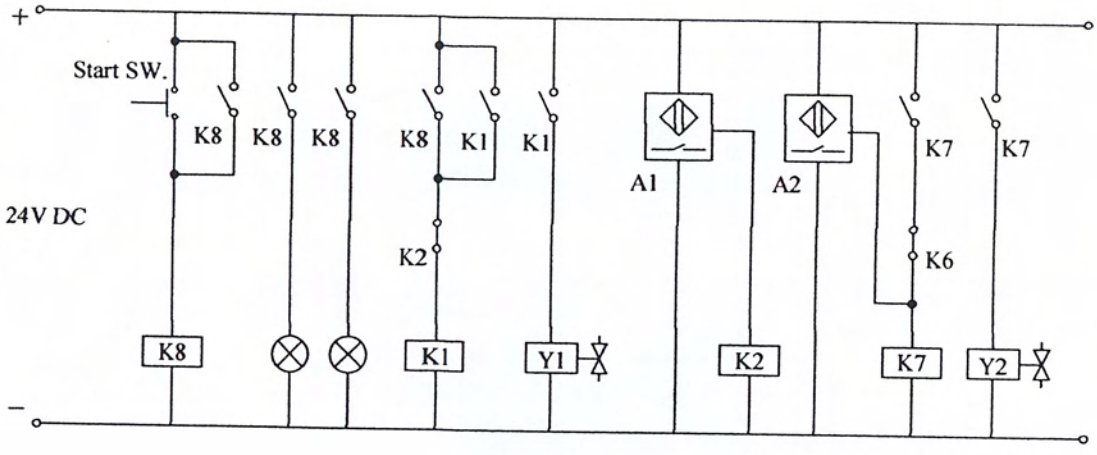
รูปที่ 86 วงจรควบคุมนิวเมติก

3.2.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้าควบคุมระบบนิวเมติก

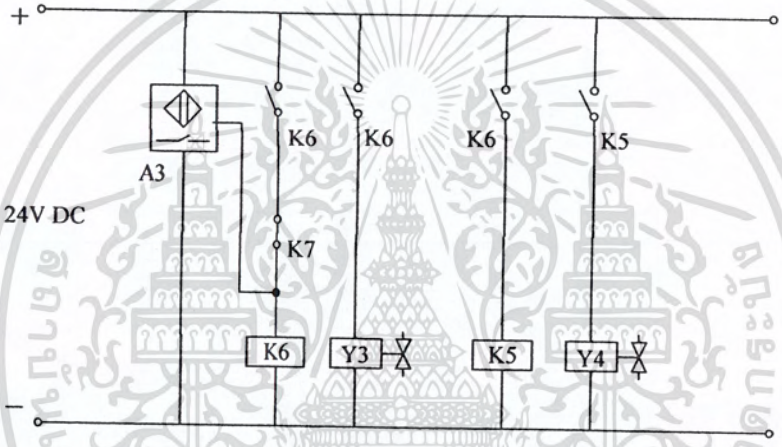


รูปที่ 87 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรควบคุมของเครื่องหยอดเมล็ดพืชลงถาดเพาะกล้าต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 88(ก)



รูปที่ 88(ข)

รูปที่ 88 วงจรไฟฟ้าควบคุมระบบนิวเมติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์		ตำแหน่ง	จังหวะ
โค้ด	ชื่อ		1 2 3 4 = 1
1.0	D.A.cyl	ออกสุด เข้าสุด	
2.0	D.A.cyl	ออกสุด เข้าสุด	
3.0	D.A.cyl	ออกสุด เข้าสุด	
4.0	VACUUM	1 0	
1.1	5/3 D.C.V.N.C (E.a.)	1 0	
1.2	5/3 D.C.V.N.C (E.a.)	1 0	
2.1	5/2 D.C.V.N.C (Ea.)	1 START 0	
4.1	3/2 D.C.V.N.C (E.a.)	1 0	

รูปที่ 89 ไดอะแกรมหน้าที่การทำงานของเครื่องหยอดเมล็ด

3.3 อธิบายการทำงานของเครื่องหยอดเมล็ด

จากรูปแสดงวงจรนิวเมติกของเครื่องหยอดเมล็ดพืชลงถาดเพาะกล้าต้นแบบ ประกอบด้วยกระบอกสูบ 1.0 2.0 และ 3.0 วาล์วควบคุมการทำงานของกระบอกสูบที่ทำงานด้วยไฟฟ้า (Solenoid value วาล์ว 5/3 D.C.V.N.C (E.a.) วาล์ว 5/2 D.C.V.N.C (E.a.) และวาล์ว 3/2 D.C.V.N.C (E.a.)) Vacuum value 4.0 ตัวหรี่ลม และ Unit pump

โดยที่กระบอกสูบ 1.0 มีเซนเซอร์ A2 และ A3 และกระบอกสูบ 2.0 มีเซนเซอร์ A1 ติดอยู่ เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งของกระบอกสูบ สัญญาณจากเซนเซอร์ A2 และ A3 จะถูกส่งไปที่วงจรอิเลคทรอนิกส์ ดังแสดงรูปที่ 3 เพื่อควบคุมให้รีเลย์ทำงานและสั่งการให้วาล์วควบคุม วาล์ว 5/3 D.C.V.N.C (E.a.) ส่งสัญญาณไฟฟ้าสั่งให้ลมดันกระบอกสูบ 1.0 ทำงานและสัญญาณจากเซนเซอร์ A1 จะสั่งการให้วาล์วควบคุม วาล์ว 5/2 D.C.V.N.C (E.a.) ส่งสัญญาณไฟฟ้าสั่งให้ลมดันกระบอกสูบ 2.0 และ 3.0 ทำงานตามลำดับ

เมื่อปลายเข็มถึงถาดที่ใส่เมล็ดเซนเซอร์ A3 จะสั่งให้ Y4 ทำงาน ลมจะดูดเมล็ดขึ้นมา แล้วจะปล่อยลงหลุมเมื่อเซนเซอร์ A2 ทำงาน และสั่งให้ Y4 หยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การดำเนินการทดสอบและผลการทดลอง

เมื่อดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชโดยใช้หลักการระบบนิวเมติกและกลศาสตร์เรียบร้อยตามหลักการออกแบบทางวิศวกรรมแล้วต่อไปเป็นการทดลองเพื่อทำการทดสอบหาขนาดหัวเข็มฉีดยาที่เหมาะสมโดยใช้เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้งทดสอบและทดสอบความแม่นยำในการหยอดเพื่อหาค่าความผิดพลาดของหัวเข็มที่เหมาะสม

4.1 ทำการทดลองหาขนาดหัวเข็มฉีดยา

4.1.1 จุดประสงค์ในการทดลอง

เพื่อทำการทดสอบความหาขนาดหัวเข็มฉีดยาที่เหมาะสมในการดูดเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง

4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2.1 เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืช

4.1.2.2 เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง 7000 เมล็ด

4.1.2.3 ถาดเพาะกล้า 30 ถาด

4.1.2.4 หัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18 , 21

4.1.3 ขั้นตอนในการทดลอง

4.1.3.1 นำเมล็ดผักกวางตุ้ง 7000 เมล็ดใส่ในถาดของเครื่องหยอดเมล็ด

4.1.3.2 ใส่หัวเข็มฉีดยาเบอร์ 18 จำนวน 7 หัวที่ท่อสุญญากาศ

4.1.3.3 นำถาดเพาะกล้ามาไว้ตรงตำแหน่งที่ดันถาดเข้า

4.1.3.4 เปิดเครื่องทำการทดสอบ

4.1.3.5เมื่อทดสอบเสร็จ 1 ถาดแล้วทำการจดบันทึกและทำซ้ำตามหัวข้อ 4.1.3.2 - 4.1.3.4 จนครบ 10 ถาด จึงเปลี่ยนหัวเข็มทำการเปลี่ยนหัวเข็มเบอร์ 21

4.1.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองในการหยอดเมล็ดผักกวางตุ้งนี้ได้ทราบถึงการทำงานของเครื่องเมล็ดโดยใช้ขนาดหัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18 มีประสิทธิภาพ 79.05 เปอร์เซ็นต์ดังข้อมูลในตารางที่ 7

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า หัวเข็มฉีดยาเบอร์ 18 สามารถดูดเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้งลงถาดที่มีจำนวนหลุม 63 หลุม ได้ดีกว่าหัวเข็ม เบอร์ 21 โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 49.8 หลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการทดลองการหาขนาดหัวเข็มฉีดยา

ครั้งที่	ขนาดหัวเข็ม	
	เบอร์ 18	เบอร์ 21
	เมล็ดที่ลงหลุม (หลุม)	เมล็ดที่ลงหลุม (หลุม)
1	52	37
2	55	41
3	50	39
4	48	37
5	49	38
6	51	42
7	47	33
8	49	38
9	46	36
10	51	35
AVG	49.8	37.6
SD	2.48	2.53
CV	4.97%	6.72%

หมายเหตุ ถาดมีหลุม 63 หลุม/ถาด

ประสิทธิที่ภาพของขนาดหัวเข็มแต่ละเบอร์ โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 7 จะได้ว่า

$$\eta_{th} = [\,1 - (\frac{63 - \chi}{63})\,] \times 100$$

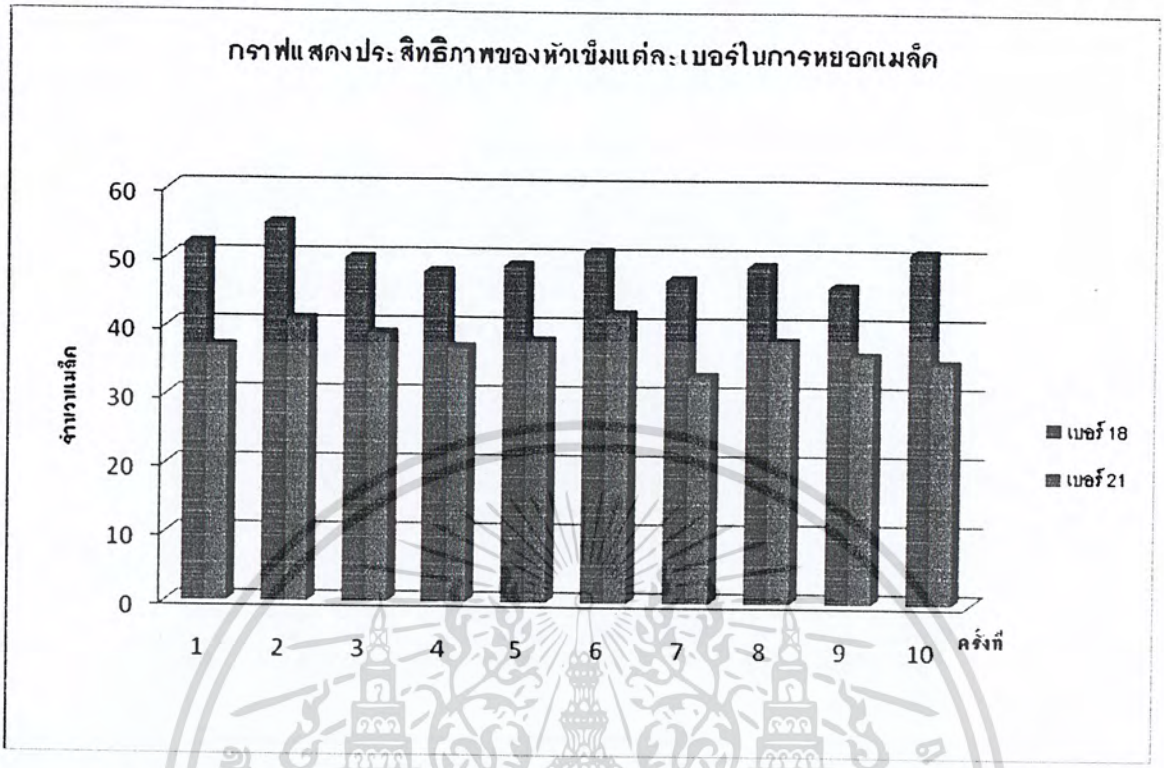
จากสมการข้างบน จะได้

หัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18 มีประสิทธิภาพ 79.05 %

หัวเข็มฉีดยา เบอร์ 21 มีประสิทธิภาพ 59.68 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางเราสามารถเขียนกราฟแสดงหัวเข็มฉีดยาที่เหมาะสมในการหยอดเมล็ดพืช



รูปที่ 90 กราฟแสดงประสิทธิภาพของหัวเข็มแต่ละเบอร์ในการหยอดเมล็ด

4.2 ทำการทดลองหาความแม่นยำในการหยอดเพื่อหาค่าความผิดพลาด

4.2.1 จุดประสงค์ในการทดลอง

เพื่อทำการทดสอบความแม่นยำในการหยอดเมล็ดพืชเพื่อหาค่าความผิดพลาดโดยใช้ตัวแปรจากการ ทดลองที่ 1

4.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2.1 เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืช

4.2.2.2 เมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง 7000 เมล็ด

4.2.2.3 ถาดเพาะกล้า 10 ถาด

4.2.2.4 หัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18 จำนวน 7 หัว

4.2.3 ขั้นตอนในการทดลอง

4.2.3.1 นำเมล็ดผักกวางตุ้ง 7000 เมล็ดใส่ในถาดของเครื่อง

4.2.3.2 ใส่หัวเข็มฉีดยาเบอร์ 18 จำนวน 7 หัวที่ท่อสุญญากาศ

4.2.3.3 นำถาดเพาะกล้ามาไว้ตรงตำแหน่งที่ดันถาดเข้า

4.2.3.4 เปิดเครื่องทำการทดสอบ

4.2.3.5 เมื่อทดสอบเสร็จ 1 ถาด แล้วจดบันทึก ทำซ้ำตามหัวข้อ 4.2.3.3 – 4.2.3.4 จนครบ 10 ถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองในการหยอดเมล็ดผักกวางตุ้งนี้ได้ทราบถึงการทำงานของเครื่องเมล็ดโดยใช้ขนาดหัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18 ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ความแม่นยำในการหยอดเมล็ดในถาด 63 หลุม ลงหลุม 1 เมล็ดต่อหลุม , ลงหลุมมากกว่า 1 เมล็ดต่อหลุม , ไม่ลงหลุม มีค่าเฉลี่ย 49.8 , 1.7 , 11.5 ตามลำดับ (ค่า CV เท่ากับ 4.97 , 78.82 , 27.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพหยอดเมล็ด 1 เมล็ดต่อหลุม 79.05 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 8 ผลการทดลองหาความแม่นยำในการหยอดเมล็ด

ครั้งที่	หัวเข็มฉีดยา เบอร์ 18		
	ลงหลุม 1 เมล็ด(หลุม)	ลงหลุมมากกว่า 1 เมล็ด(หลุม)	ไม่ลงหลุม (หลุม)
1	52	2	9
2	55	3	5
3	50	1	12
4	48	4	11
5	49	0	14
6	51	2	10
7	47	3	13
8	49	0	14
9	46	0	17
10	51	2	10
AVG	49.8	1.7	11.5
SD	2.48	1.34	3.13
CV	4.97 %	78.82 %	27.21 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

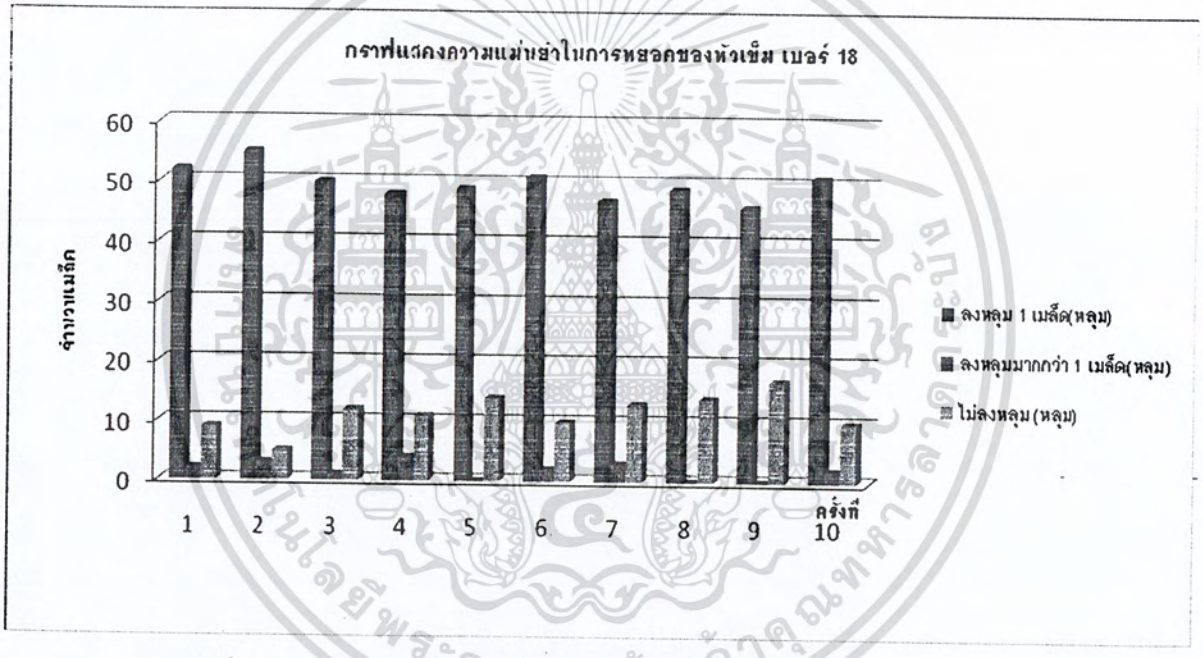
ประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ดของหัวเข็ม เบอร์ 18

$$\eta_{th} = \left[\frac{\chi}{63}\right] \times 100$$

จะได้

หยอดเมล็ด 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม	มีประสิทธิภาพ 79.05 %
หยอดเมล็ดมากกว่า 1เมล็ดต่อ 1 หลุม	มีประสิทธิภาพ 2.70 %
หยอดเมล็ดไม่ลงหลุม	มีประสิทธิภาพ 18.25 %

จากข้อมูลในตารางที่ 8 สามารถเขียนกราฟแสดงความแม่นยำในการหยอดของหัวเข็ม เบอร์ 18 (รูปที่ 92)



รูปที่ 91 กราฟแสดงความแม่นยำในการหยอดของหัวเข็ม เบอร์ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาขนาดหัวเข็มที่เหมาะสมในการหยอดเมล็ด โดยดูจากค่า AVG, SD, CV ของหัวเข็มแต่ละเบอร์จากตารางที่ 7 และเมื่อดูประสิทธิภาพในการหยอดของหัวเข็ม เบอร์ 18,21 จะได้ 79.05 %, 59.68%, ตามลำดับ สรุปได้ว่าหัวเข็ม เบอร์ 18 เหมาะสำหรับดูดเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง

จากการทดลองที่ 1 เราสามารถนำหัวเข็มที่เหมาะสมมาทดลองหาความแม่นยำในการหยอดเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง เมื่อทำการทดลองหาความแม่นยำในการหยอดเมล็ด จะได้ค่า AVG, SD, CV ของหัวเข็มเบอร์ 18 ตามตารางที่ 8 และค่าประสิทธิภาพในการหยอดเมล็ด คือ หยอดเมล็ด 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม จะเท่ากับ 79.05 % หรือประมาณ 49 หลุม และหยอดมากกว่า 1 เมล็ดต่อหลุม จะเท่ากับ 2.70 % และหยอดเมล็ดไม่ลงหลุม จะได้เท่ากับ 18.25 %

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

หัวเข็มฉีดยาตันบ่อย เนื่องจากเมล็ดพืชที่ได้มานั้นมีเศษผงและเศษเปลือกของเมล็ดติดมาด้วย ซึ่งมีขนาดเล็กมากไม่สามารถกำจัดก่อนเทลงถาดเมล็ดได้

5.3 ข้อเสนอแนะและแก้ไข

เมื่อทำการทดลองประมาณ 5 ถาด ให้ถอดหัวเข็มฉีดยามาทำความสะอาดโดยใช้ลวดขนาด 0.5 มม. สอดไปในรูของเข็มเพื่อเอาเศษดินหรือเปลือกของเมล็ดออก จากนั้นก็ทำการใส่เข้าที่ก็สามารถใช้งานต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเลือกขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรนิวแมติก

การเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติกมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะให้เครื่องจักรที่ใช้ระบบนิวแมติดควบคุม ทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ อุปกรณ์ที่จะต้องเลือกขนาดได้แก่ กระบอกสูบ ข้อต่อลม ท่อลม วาล์วควบคุม ชุดปรับสภาพลม การเลือกขนาดให้ถูกต้องนี้นอกจากจะทำให้การทำงานได้ตามเงื่อนไขแล้วยังทำให้ประสิทธิภาพของระบบนิวแมติกมีค่าสูงขึ้นด้วย ขั้นตอนของการเลือกขนาดของอุปกรณ์มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเงื่อนไขของอุปกรณ์นิวแมติก ได้แก่

1.1 การกำหนดความดันลมที่จะใช้ในระบบควบคุม เช่น กำหนดความดันลมที่ 5 kgf/cm2 ในระบบเมตริก หรือ 5 bar ในระบบ SI

1.2 การกำหนดคุณภาพลมอัด เช่น ลมอัดจำเป็นจะต้องน้ำมันหล่อลื่นผสมหรือไม่ ในอุปกรณ์บางประเภทก็ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่นผสมเข้าไปกับลมอัด ในบางครั้งจะมีกรองดักน้ำมันหล่อลื่นที่อาจจะติดไปกับลมอัดสำหรับงานบางประเภท เช่น งานประเภทอาหารและยา

1.3 ควรจะทราบถึงอุณหภูมิแบะความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศแวดล้อมทั่ว ๆไป เพราะสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยบอกให้ทราบว่าจะมีปริมาณน้ำปนเข้าไปกับลมอัดมาน้อยเพียงใด

1.4 แรงที่ต้องการในการทำงานเพื่อที่จะหาขนาดของกระบอกสูบไปใช้ในการดึงหรือดันชิ้นงานที่จะใช้กับเครื่องจักรนั้น ๆ

1.5 เวลาที่ต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่ในแต่ละช่วงชักของก้านสูบ

1.6 ความยาวช่วงชักของกระบอกสูบลมที่จะใช้ในการทำงาน

1.7 น้ำหนักของชิ้นงานที่จะให้กระบอกสูบลมไปขับให้เคลื่อนที่

1.8 ลักษณะของการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่ให้กระบอกสูบไปกระทำ เช่น การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง แนวนอน หรือในลักษณะของพื้นเอียง

1.9 ความถี่ในการทำลานของกระบอกสูบลม เพื่อจะไปหาขนาดของความสิ้นเปลืองที่ใช้กับเครื่องจักรนั้น ๆ

1.10 ระบบท่อที่ใช้วงจร โดยจะต้องกำหนดลักษณะข้อต่อและความหนาบางของท่อลม หรือสายลมอย่างอ่อนที่ในระบบ

ขั้นตอนที่ 2 การหาขนาดของลูกระบอกสูบ

ถ้าต้องการทราบค่าประสิทธิภาพของกระบอกสูบของแต่ละขนาดก็สามารถหาค่าได้จากรูป ก. 1 ซึ่งค่าประสิทธิภาพของกระบอกสูบจะขึ้นอยู่กับความดันใช้งาน และขาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เราสามารถทราบแรงที่กระบอกสูบกระทำได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = \eta \cdot A \cdot P$$

เมื่อ

F คือ แรงที่กระบอกสูบดันออก (kgf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

η คือ ประสิทธิภาพของกระบอกสูบ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (cm^2)

P คือ ความดันใช้งานของกระบอกสูบ (kgf / cm^2)

แต่ $A = \frac{\pi}{4} D^2$

ดังนั้น $F = \eta \frac{\pi D2}{4} . P$

หรือ $D = \sqrt{\frac{4F}{\eta \cdot \pi \cdot P}}$

เมื่อ

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ

สำหรับในกรณีของกระบอกสูบชนิดสองทางและมีการควบคุมปริมาณลม จะเกิดความดันย้อนกลับเกิดขึ้นได้ ค่าความดันใช้งานก็จะเปลี่ยนไป ซึ่งหาได้จากสมการ

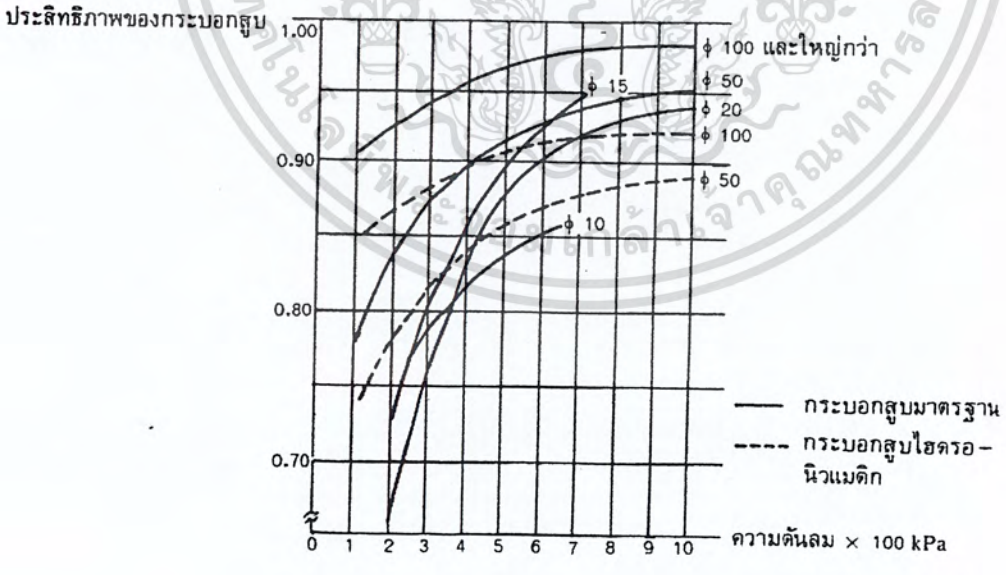
$$P = P1 - P2 \qquad (ก.2)$$

เมื่อ

P1 คือ ลมทางด้านเข้าดันให้กระบอกสูบเคลื่อนที่

P2 คือ ความดันลมย้อนกลับอีกด้านหนึ่งของหัวลูกสูบ

การเลือกขนาดของกระบอกสูบทั้งชนิดทำงานทางเดี่ยวและทำงานสองทาง สามารถดูได้จากตารางที่ ก.8 และตารางที่ ก.9 ของท้ายผนวกนี้



รูปที่ ก.1 การหาค่าประสิทธิภาพของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราความสามารถการทำงาน (load rate) ของกระบอกสูบลม โดยทั่วไปค่าของอัตราความสามารถการทำงานของกระบอกสูบลมจะต่ำกว่า 70% ซึ่งสามารถหาค่าดังกล่าวได้จากสมการ

$$\omega = \frac{4F}{\pi \cdot D2 \cdot \mathrm{P}} \text{ x } 100\% \qquad \text{(ก.3)}$$

เมื่อ

ω คือ อัตราความสามารถการทำงาน

ในกรณีที่ค่าของอัตราความสามารถทำงานมีค่าสูงเกินไป จะเกิดการกระตุกเกิดขึ้นและไม่ลดแรงกระแทกตอนจะสุดระยะชักได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเช็คดูว่าพื้นที่รับแรงกระแทกพอหรือไม่ โดยพื้นที่รับแรงนี้จะขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ (ดูได้จากตารางที่ ก1) ค่าของพลังงานจลน์สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\mathrm{KE} = \frac{w}{2g} \mathrm{v}^2$$

เมื่อ

KE คือ พลังงานจลน์(kgf . cm)

w คือ น้ำหนักของโหลด (kgf)

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (980 cm/sec^2)

v คือ ความเร็วของก้านสูบ (cm/sec)

ซึ่งค่า v นี้สามารถหาค่าได้จาก

$$\mathrm{V} = \frac{\text{ระยะชักของก้านสูบ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

ข้อมูลในการพิจาณาระยะชักของก้านสูบ สามารถดูได้จาก ตารางที่ ก.10 ท้ายภาคผนวกนี้

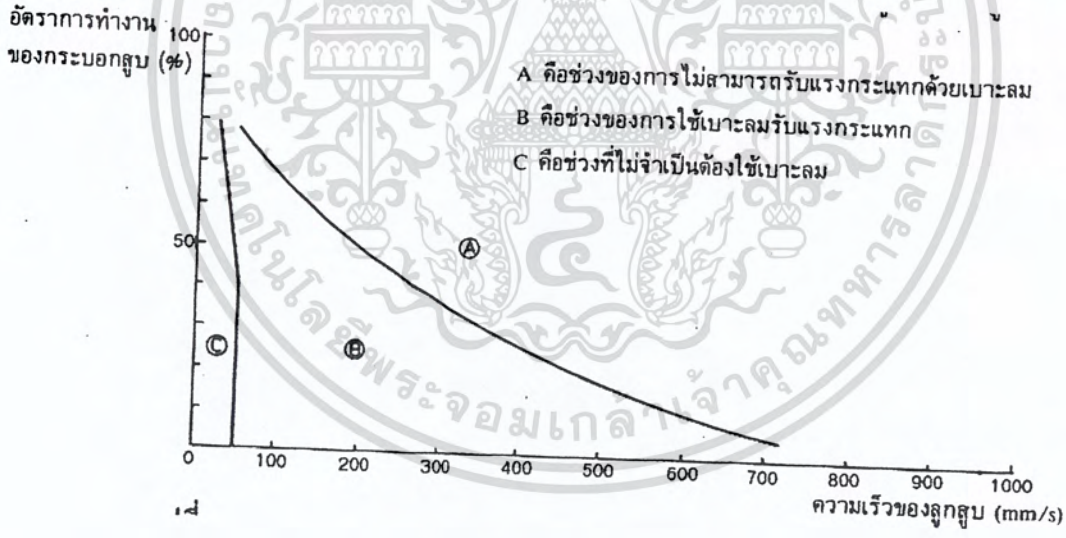
ตารางที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นกับระยะและพื้นที่ลดแรงกระแทกของกระบอกสูบ

เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ(mm)	ระยะกันกระแทกสุทธิ (cm)	พื้นที่รับแรงกระแทก (cm2)	ค่าพลังงานจลน์สูงสุด (kgf.cm)
40	1.3	9.42	25
50	1.45	14.7	45
63	1.7	26.3	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80	2.0	43.2	120
100	2.2	68.9	210
125	2.1	103	330
140	2.1	134	455
160	2.1	181	600
180	2.25	226	800
200	2.25	286	1,000
250	2.85	446	1,500
300	2.85	650	2,700

ในกรณีที่ต้องการความจำเป็นจะต้องมีพื้นที่ลดแรงกระแทกหรือไม่ สามารถดูค่าได้จากรูปที่ ก2



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและความเร็วของลูกสูบที่ความดัน 7 kgf/cm ^{2}

ขั้นตอนที่ 3 การหาปริมาณลมทั้งหมดที่กระบอกสูบต้องการ

ปริมาณลมที่กระบอกสูบต้องการจะพิจารณาลมที่ใช้ภายในกระบอกสูบและปริมาณลมที่อยู่ในท่อทางส่งลมด้วย ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะมีผลต่อการทำงานของกระบอกสูบ สามารถหาค่าปริมาณลมที่ต้องการได้จากสมการ

ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออก

$$Q1 = \frac{\pi}{4}(D^2_1 . L + d^2 . l) . \frac{P1 + 1.033}{1.033} \times \frac{1}{1000} \text{ลิตร} \qquad (ก.6)$$

ในกรณีที่ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า

$$Q1 = \frac{\pi}{4}\{(D^2_1 - D^2_2). L + d^2 . l) . \frac{P1 + 1.033}{1.033} \times \frac{1}{1000} \text{ลิตร} \qquad (ก.7)$$

โดยที่

Q1 คือ ปริมาณลมที่ต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออก

Q2 คือ ปริมาณลมที่ต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่กลับ

D1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกสูบ(cm)

D2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (cm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อส่งลม (cm)

L คือ ระยะชักของก้านสูบ (cm)

l คือ ความยาวท่อทางส่งลม

P1 คือ ความดันลมอัดที่ใช้ในระบบ (kgf/cm2)

สำหรับสมการ ก6 และสมการ ก7 เป็นค่าปริมาณลมที่ก้านสูบเคลื่อนที่ 1 ครั้ง ดังนั้น ถ้าต้องการหาปริมาณลมทั้งหมดสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$Q_3 = Q_1^n = Q_1 \frac{60}{t1 + t2} \text{ ลิตร/นาที} \qquad (ก.8)$$

$$Q_4 = Q_2^n = Q_2 \frac{60}{t1 + t2} \text{ ลิตร/นาที} \qquad (ก.9)$$

โดยที่

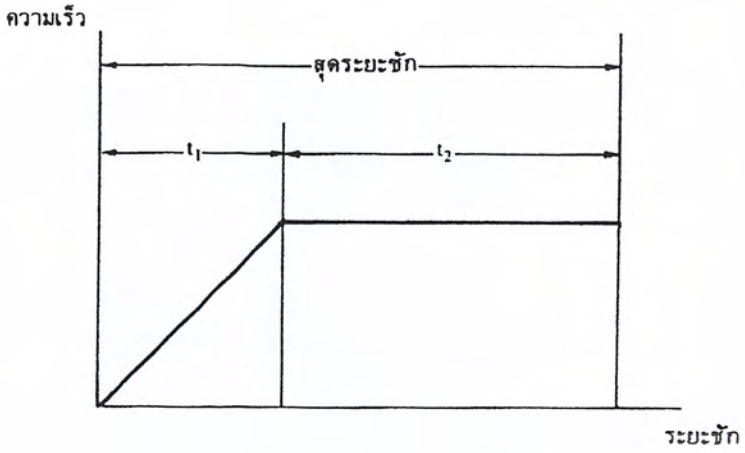
Q3 คือ ปริมาณลมทั้งหมดที่ต้องการในขณะที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออกในเวลา 1 นาที

Q4 คือ ปริมาณลมทั้งหมดที่ต้องการในขณะที่ก้านสูบเคลื่อนที่กลับในเวลา 1 นาที

t1 คือ เวลาที่ลมอัดเริ่มดันให้ก้านสูบเคลื่อนที่จนกระทั่งความเร็วคงที่(ดูรูป ก3)

t2 คือ เวลาที่ลมอัดดันให้ก้านสูบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จนกระทั่งสุดระยะชัก(ดูรูป ก3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ช่วงเวลาของ t_1 และ t_2

ขั้นตอนที่ 4 การหาพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ

ปริมาณลมที่ไหลในท่อทางและวาล์วต่าง ๆ ถ้าระยะมีความยาวมากขึ้นหรือมีวาล์วควบคุมหลาย ๆ ตัว จะทำให้ปริมาณลมลดน้อยลงกว่าต้นทาง ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิจึงมีบทบาทในการเลือกขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีผลทำให้การทำงานของก้านสูบช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้ ถ้าทำการเลือกขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้อง ซึ่งได้กล่าวบ้างแล้วในบทที่ 6 เรื่องการหาขนาดของวาล์ว แต่ในบทดังกล่าวไม่ได้รวมถึงท่อส่งลมอัด ซึ่งสามารถหาพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิได้จากสมการต่อไปนี้

ในกรณีที่ $\frac{P1+1.033}{P2+1.033} \geq 1.89$ (ความเร็วเสียง)

$$Q = 11.1S(P1 + 1.033)\sqrt{\frac{273}{273+t}} \text{ ลิตร / นาที} \qquad \text{(ก.10)}$$

ในกรณีที่ $\frac{P1+1.033}{P2+1.033} \leq 1.89$ (ความเร็วช้ากว่าความเร็วเสียง)

$$Q = 22.2S\sqrt{(P1 + 1.033)\Delta P}\sqrt{\frac{273}{273+t}} \text{ ลิตร / นาที} \qquad \text{(ก.11)}$$

โดยที่

S คือ พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)

P1 คือ ความดันลมเมื่อก่อนเข้าอุปกรณ์และท่อทาง (kgf/cm^2)

P2 คือ ความดันลมเมื่อถึงอุปกรณ์ดันลมทำงาน(kgf/cm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t คือ อุณหภูมิลมอัด (oC)

ΔP คือ ความแตกต่างของความดัน (P1 – P2) (kgf/cm^2)

Q คือ ปริมาณลมที่อุปกรณ์รวมทั้งท่อทางที่ต้องการในการทำงาน (l/min)

สำหรับค่าความดันของ P2 ถ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 10% ของความดัน P1แล้ว ค่าอุณหภูมิของลมดันจะไม่คิดในสมการ ก.10 และสมการ ก.11 ดังนั้นจากสมการ ก.10 จะได้

$$S = \frac{Q}{1.11(P1+1.033)} \text{ mm}^2 \qquad \text{(ก.12)}$$

หรือ จากสมการ ก.11 จะได้

$$S = \frac{Q}{2.22(P2+1.033)\Delta P} \text{ mm}^2 \qquad \text{(ก.13)}$$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของแต่ละชนิดมีค่าต่าง ๆ กัน เช่น วาล์วต่าง ๆ บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิมาให้ในแคตาล็อก หรือในบางครั้งก็อาจจะกำหนดมาในรูปของค่าแฟกเตอร์การไหลดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 6 ส่วนท่อทางส่งลมแม้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อลมมีขนาดเท่ากันแต่ความยาวไม่เท่ากันก็จะทำให้พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิไม่เท่ากัน แต่ในการต่อวงจรจริงจะต้องประกอบด้วยท่อทางส่งลมและวาล์วควบคุม ดังนั้นจำเป็นจะต้องหาพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิรวม ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 สมการที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของวาล์วควบคุมทิศทางสามารถหาค่าได้จากแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต ดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2

ขนาดของวาล์ว	ตำแหน่ง	ลักษณะของคอยล์	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ mm^2 (C_V)	ความดันใช้งาน (kgf/cm^2)
$\frac{1}{4}$. $\frac{3}{8}$	2	คอยล์เดี่ยว	27 (1.5)	1.0 ~ 9.9
	2	คอยล์คู่	27 (1.5)	
	3	ตำแหน่งกลางปิด	25.5(1.4)	
	3	ตำแหน่งกลางระบายทิ้ง	27 (1.5)	
$\frac{3}{8}$. $\frac{1}{2}$. $\frac{3}{4}$	2	คอยล์เดี่ยว	58 (3.2)	1.0 ~ 9.9
	2	คอยล์คู่	58 (3.2)	
	3	ตำแหน่งกลางปิด	58 (3.2)	
	3	ตำแหน่งกลางระบายทิ้ง	58 (3.2)	

หมายเหตุ ค่า $S = 17.86\ C_V$

ค่าของพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของวาล์วควบคุมปริมาณลมเนื่องจากลักษณะการใช้งานของวาล์วดังกล่าวมีการแปรเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิแปรเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถหาดูได้จากแคตาล็อกเช่นกัน

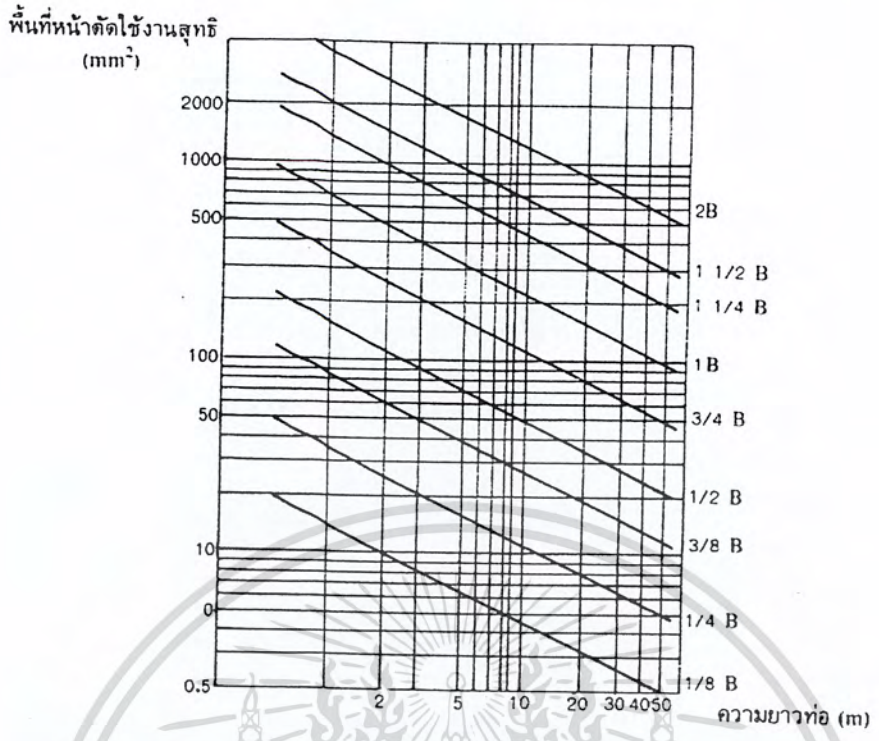
ตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 (ที่ความดันใช้งาน 5 kgf/cm^2)

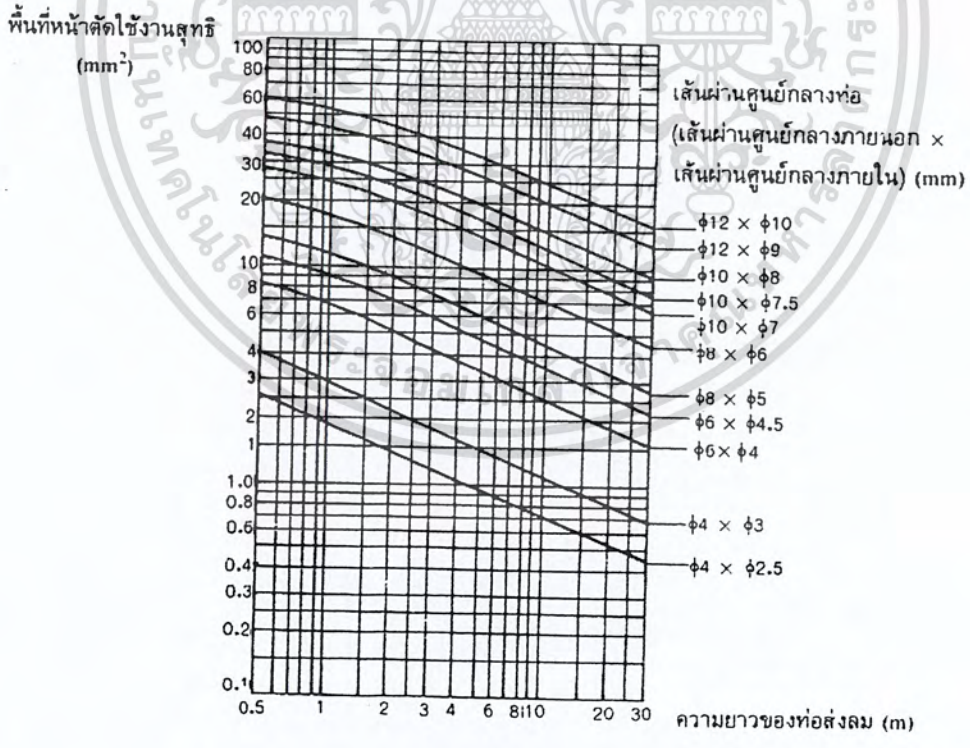
ขนาดรูของวาล์ว	ลมผ่านอย่างอิสระ		ลมผ่านการควบคุม		ขนาดกระบอกสูบที่ใช้ (mm)
	ปริมาณอากาศ (l/min)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)	ปริมาณอากาศ (l/min)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)	
M5×0.8	105	1.5	105	1.5	6, 10, 15, 20, 25
1/8	280	4.0	190	2.7	20, 25, 30, 40
1/4	420	6.0	240	4.0	20, 25, 30, 40
3/8	840	12.0	840	12.0	30, 40, 50, 63
1/2	1,680	24.0	1,680	24.0	80, 100

สำหรับค่าของพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของท่อลม ในระบบท่อส่งลมมีการกำหนดอยู่ 2 ลักษณะคือ กำหนดในระบบอังกฤษ และระบบเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

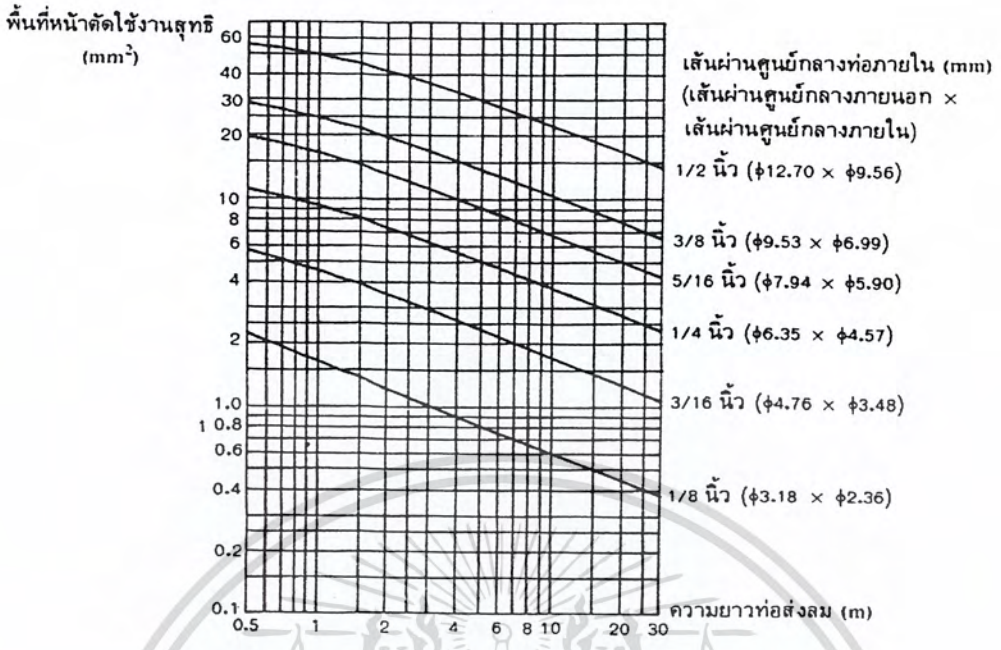


รูปที่ ก.4 กราฟสำหรับหาค่าพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของท่อลมแข็ง



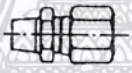
รูปที่ ก.5กราฟสำหรับหาค่าพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของท่อลมชนิดไนลอนที่กำหนดเป็นระบบเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 กราฟสำหรับหาค่าพื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิของท่อลมชนิดไนลอนที่กำหนดเป็นระบบอังกฤษ

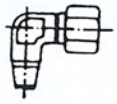
ตารางที่ ก.4 พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิและความยาวสมมูลของข้อต่อไนลอนชนิด nipple type แบบเกลียว



ขนาดท่อ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก × เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm²)	ความยาวสมมูล (m)
4 mm	4 × 2.5	3.0	0.3
4 mm	4 × 3	4.0	0.5
6 mm	6 × 4	8.4	0.4
6 mm	6 × 4.5	9.9	0.7
8 mm	8 × 6	21.1	0.4
10 mm	10 × 7	26.2	0.7
10 mm	10 × 7.5	26.8	1.2
10 mm	10 × 8	27.0	2.0
12 mm	12 × 9	51.1	0.4
1/8 in.	3.18 × 2.36	1.3	1.7
3/16 in.	4.76 × 3.48	4.0	1.4
1/4 in.	6.35 × 4.57	8.4	1.4
5/16 in.	7.94 × 5.90	14.3	1.6
3/8 in.	9.53 × 6.99	21.4	1.5
1/2 in.	12.70 × 9.54	45.1	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิและความยาวสมมูลของข้อต่อไนลอนชนิด elbow type



ขนาดท่อ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก × เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)	ความยาวสมมูล (m)
4 mm	4 × 2.5	2.7	0.5
4 mm	4 × 3	3.6	0.6
6 mm	6 × 4	7.6	0.7
6 mm	6 × 4.5	8.4	0.9
8 mm	8 × 6	18.4	0.7
10 mm	10 × 7	25.8	0.8
10 mm	10 × 7.5	27.4	1.2
10 mm	10 × 8	29.4	1.5
12 mm	12 × 9	44.5	0.7
1/8 in.	3.18 × 2.36	1.1	2.5
3/16 in.	4.76 × 3.48	3.8	1.5
1/4 in.	6.35 × 4.57	8.4	1.4
5/16 in.	7.94 × 5.90	13.6	1.8
3/8 in.	9.54 × 6.99	19.0	2.1
1/2 in.	12.70 × 9.56	38.9	2.2

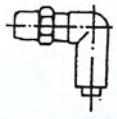
ตารางที่ ก.6 พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิและความยาวสมมูลของข้อต่อไนลอนชนิด nipple type และ elbow type แบบเสียบ

nipple type

ขนาดท่อ (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก × เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)	ความยาวสมมูล (m)
4	4 × 2.5	4.2	0
4	4 × 3	5.9	0
6	6 × 4	11.1	0
6	6 × 4.5	13.9	0
8	8 × 6	23.3	0
10	10 × 7	32.3	0
10	10 × 7.5	39.4	0
10	10 × 8	40.8	0
12	12 × 9	58.6	0

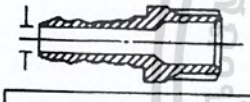
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิและความยาวสมมูลของข้อต่อไนลอนชนิด nipple type และ elbow type แบบเสียบ

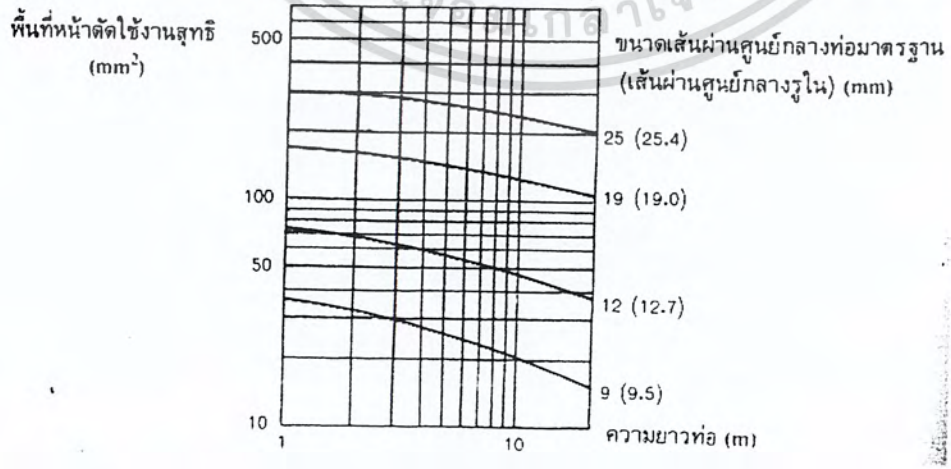


elbow type

ขนาดท่อ (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก × เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (mm^2)	ความยาวสมมูล (m)
4	4 × 2.5	3.7	0.2
4	4 × 3	5.0	0.3
6	6 × 4	10.0	0.3
6	6 × 4.5	11.9	0.3
8	8 × 6	21.1	0.3
10	10 × 7	28.7	0.3
10	10 × 7.5	32.3	0.5
10	10 × 8	34.8	0.9
12	12 × 9	47.5	0.6

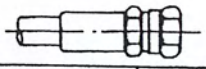


hose		fitting		
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อมาตรฐาน (mm)		ขนาด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กสุด (mm)
mid oil hose	9	hose nipple	W – HK – 3/8 × 9	8
	12		W – HK – 1/2 × 12	11
	19		W – HK – 3/4 × 19	16
	25		W – HK – 1 × 25	22

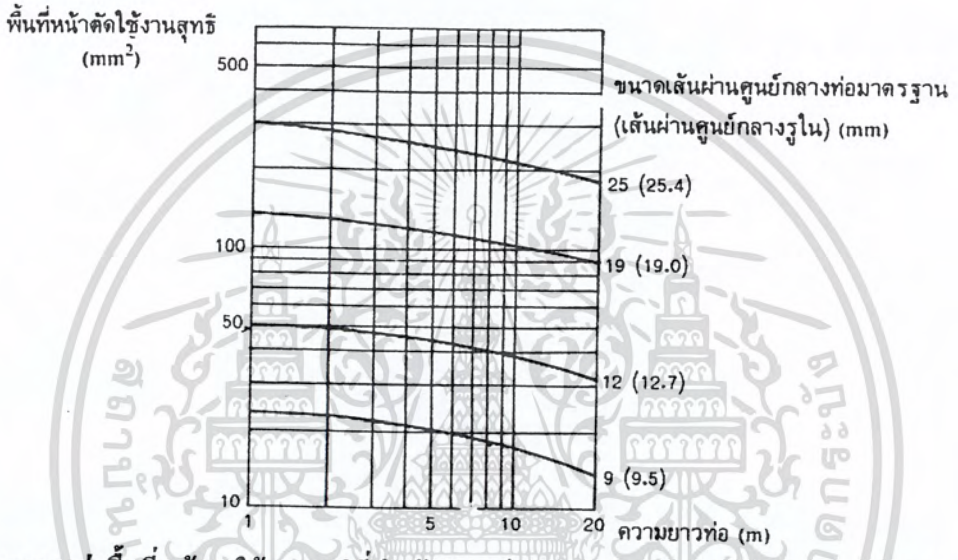


รูปที่ ก.7 การหาค่าพื้นที่หน้าตดใช้งานสุทธิที่ต่อเข้ากับวาล์วด้วยข้อต่อชนิด hose nipple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

union female fitting  male-male connector

	hose							
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อมาตรฐาน (mm)		ขนาด	เกลียว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กสุด (mm)		ขนาด	เกลีย
mid oil hose	9	union female fitting	1004 - 9	3/8	6.5	male-male connector	1013 - 9	3/8
	12		1004 - 12	1/2	9.5		1013 - 12	1/2
	19		1004 - 19	3/4	15.5		1013 - 19	3/4
	25		1004 - 25	1	21.5		1013 - 25	1



รูปที่ ก.8 การหาค่าพื้นที่หน้าตดใช้งานสุทธิที่ต่อเข้ากับวาล์วด้วยข้อต่อชนิด union female และชนิดข้อต่อ male-make

ตารางที่ ก.7 ความยาวสมมูลของข้องอฉากที่ทำด้วยเหล็ก

ขนาดท่อ	ความยาวสมมูล (m)
PT 1/8	0.2
PT 1/4	0.5
PT 3/8	0.8
PT 1/2	1.5
PT 3/4	1.5
PT 1	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 การเลือกขนาดของกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว

ขนาดกระบอกสูบ (mm)	ขนาดก้านสูบ (mm)	การเคลื่อน	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (cm^2)	ความดันใช้งาน × 100 kPa								
				2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	3	ออก	0.282	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	—	—	—
		เข้า		แรงดันกลับ = 0.15						—	—	—
10	4	ออก	0.785	0.9	1.7	2.5	3.3	4.1	4.8	—	—	—
		เข้า		แรงดันกลับ = 0.25						—	—	—
15	5	ออก	1.766	2.0	3.7	5.5	7.3	9.0	10.8	—	—	—
		เข้า		แรงดันกลับ = 0.45						—	—	—
20	10	ออก	3.14	2	5	8	12	15	18	21	24	27
		เข้า		แรงดันกลับ = 0.9								
25	12	ออก	4.90	5	10	15	20	25	30	34	39	44
		เข้า		แรงดันกลับ = 1.0								
30	12	ออก	7.04	7	14	21	28	35	42	49	56	63
		เข้า		แรงดันกลับ = 1.5								
40	16	ออก	12.56	17	29	42	54	67	79	92	104	117
		เข้า		แรงดันกลับ = 2.0								

หมายเหตุ เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่กลับจะไม่ใช้รับโหลด เพราะกลับด้วยแรงดันสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 การเลือกขนาดของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง

ขนาดกระบอก (mm)	ขนาดก้านสูบ (mm)	การเคลื่อน	พื้นที่หน้าตัดใช้งานสุทธิ (cm^2)	ความดันใช้งาน × 100 kPa								
				2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	3	ออก	0.283	0.565	0.848	1.131	1.414	1.696	1.979	–	–	–
		เข้า	0.212	0.424	0.636	0.848	1.060	1.272	1.484	–	–	–
10	4,5	ออก	0.785	1.571	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	–	–	–
	4	เข้า	0.660	1.319	1.979	2.64	3.30	3.96	4.62	–	–	–
	5	เข้า	0.589	1.178	1.767	2.36	2.95	3.53	4.12	–	–	–
15	5,6	ออก	1.767	3.53	5.30	7.07	8.84	10.60	12.37	–	–	–
	5	เข้า	1.571	3.14	4.71	6.28	7.85	9.42	11.00	–	–	–
	6	เข้า	1.484	2.97	4.45	5.94	7.42	8.91	10.39	–	–	–
20	10	ออก	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	22.0	25.1	28.3	31.4
		เข้า	2.36	4.71	7.07	9.42	11.78	14.14	16.49	18.85	21.2	23.6
25	12	ออก	4.91	9.82	14.73	19.63	24.5	29.4	34.4	39.3	44.2	49.1
		เข้า	3.78	7.56	11.33	15.11	18.89	22.7	26.4	30.2	34.0	37.8
30	12	ออก	7.07	14.14	21.2	28.3	35.3	42.4	49.5	56.5	63.6	70.7
		เข้า	5.94	11.88	17.81	23.8	29,7	35.6	41.6	47.5	53.4	59.4
40	16	ออก	12.57	25.1	37.7	50.3	62.8	75.4	88.0	101	113.1	125.7
		เข้า	10.56	21.1	31.7	42.2	52.8	63.3	73.9	84.4	95.0	105.6
50	20	ออก	19.63	39.3	58.9	78.5	98.2	117.8	137.4	157.1	176.7	196.3
		เข้า	16.49	33.0	49.5	66.0	82.5	99.0	115.5	131.9	148.4	164.9
63	20	ออก	31.2	62.3	93.5	124.7	155.9	187.0	218	249	281	312
		เข้า	28.0	56.1	84.1	112.1	140.2	168.2	196.2	224	252	280
80	25	ออก	50.3	100.5	150.8	201	251	302	352	402	452	503
		เข้า	45.4	90.7	136.1	181.4	227	272	317	363	408	454
100	30	ออก	78.5	157.1	236	314	393	471	550	628	707	785
		เข้า	71.5	142.9	214	286	357	429	500	572	643	715
125	36	ออก	122.7	245	368	491	615	736	859	982	1104	1227
		เข้า	112.5	225	338	450	563	675	788	900	1013	1125
140	36	ออก	153.9	308	462	616	770	924	1078	1232	1385	1539
		เข้า	143.8	288	431	575	719	863	1006	1150	1294	1438
160	40	ออก	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011
		เข้า	188.5	377	565	754	942	1131	1319	1508	1696	1885
180	45	ออก	254	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	2546
		เข้า	239	477	716	954	1193	1431	1670	1909	2147	2386
200	50	ออก	314	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3142
		เข้า	295	589	884	1178	1473	1767	2062	2356	2651	2945
250	60	ออก	491	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	4909
		เข้า	463	925	1388	1850	2313	2776	3238	3701	4163	4626
300	70	ออก	707	1414	2121	2827	3534	4241	4948	5655	6362	7069
		เข้า	668	1337	2005	2673	3342	4040	4679	5347	6015	6684

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

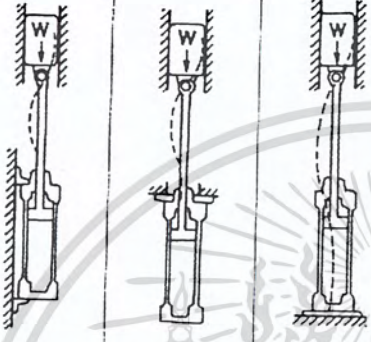
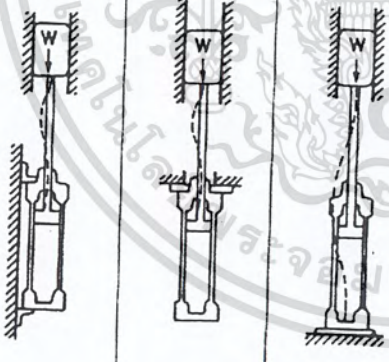
ความยาว (cm)

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด			การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm)			
						20	25	30	40
	Foot:L	Front Flange:F	Rear Flange:G	L F	2	79	91	75	101
					3	64	74	61	82
					4	55	64	53	71
					5	49	57	47	64
					6	45	52	43	58
					7	41	47	39	53
					8	38	43	36	49
					9	36	41	34	46
					10	33	39	32	43
				G	2	36	41	33	45
					3	28	33	26	35
					4	24	28	22	30
					5	21	24	19	26
					6	19	22	17	23
					7	17	19	15	21
					8	15	17	14	19
					9	14	16	13	17
					10	13	15	12	16
	Rear Clevis:C,D	Front Trunnion: TU	Rear Trunnion: TW	C D	2	74	87	71	95
					3	59	69	56	75
					4	50	59	48	64
					5	44	52	42	56
					6	40	47	38	50
					7	36	43	34	46
					8	33	39	31	42
					9	31	37	29	39
					10	29	34	28	37
				TU	2	158	183	151	202
					3	127	148	122	163
					4	110	127	105	140
					5	98	114	94	125
					6	89	103	85	113
					7	82	95	78	104
					8	76	88	72	97
					9	71	83	68	91
					10	68	78	65	86
				TW	2	79	93	73	98
					3	63	73	59	79
					4	54	62	50	67
					5	48	55	44	60
					6	43	49	40	54
					7	40	45	36	49
					8	36	42	34	45
					9	34	39	31	42
					10	32	37	30	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ) การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

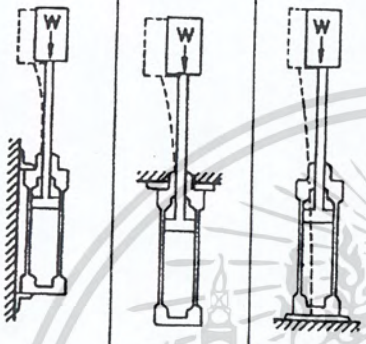
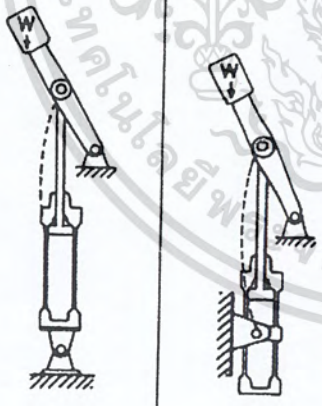
ความยาว (ด

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด	การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm) 20	25	30	40
	Foot:L Front Flange:F Rear Flange:G 	L F	2	226	261	217	289
			3	184	213	177	235
			4	159	184	152	203
			5	142	163	136	180
			6	128	149	123	164
			7	119	137	113	151
			8	111	128	106	141
			9	105	122	101	133
			10	99	115	95	126
		G	2	109	126	104	139
			3	88	102	84	112
			4	76	88	72	96
			5	67	77	64	85
			6	60	70	57	77
			7	56	64	52	70
			8	52	60	49	65
			9	49	57	46	61
			10	46	53	43	58
	Foot:L Front Flange:F Rear Flange:G 	L F	2	325	373	311	415
			3	265	305	254	339
			4	228	263	219	293
			5	205	236	196	262
			6	186	215	179	239
			7	173	199	165	221
			8	161	186	154	207
			9	152	175	145	195
			10	144	165	138	184
		G	2	159	182	151	202
			3	129	148	123	164
			4	110	127	105	141
			5	99	114	94	125
			6	89	103	85	114
			7	83	96	78	105
			8	77	89	73	98
			9	72	83	68	92
			10	68	78	65	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ) การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

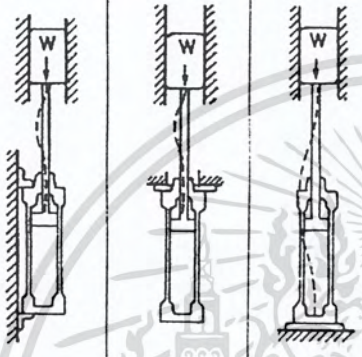
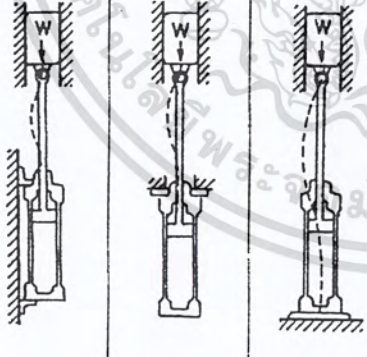
ความยาว (cm

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด	การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm)				
				40	50	63	80	100
	Foot:L / Front Flange: F / Rear Flange: G 	L F	2	100	126	98	122	141
			3	81	102	79	98	114
			4	70	88	68	84	98
			5	63	78	61	75	88
			6	58	71	55	68	80
			7	52	65	50	62	73
			8	48	60	46	58	68
			9	45	57	43	54	63
			10	42	53	40	51	59
		G	2	45	58	43	54	63
			3	35	46	34	42	50
			4	30	39	28	35	42
			5	26	34	25	31	37
			6	23	30	22	27	33
			7	21	27	19	24	29
			8	19	25	17	22	27
			9	17	23	16	20	24
			10	16	21	14	19	22
	Rear Clevis: C,D / Centre Trunnion: T 	C D	2	95	120	92	115	133
			3	76	96	73	91	105
			4	64	82	62	77	89
			5	57	72	54	68	78
			6	51	65	49	61	70
			7	46	60	44	55	64
			8	43	55	40	51	58
			9	40	51	38	47	55
			10	37	48	35	44	51
		T	2	131	166	129	160	185
			3	105	134	103	128	149
			4	90	115	88	109	127
			5	80	102	78	97	113
			6	72	93	71	88	101
			7	66	85	65	81	93
			8	61	79	59	75	86
			9	57	74	56	70	81
			10	54	69	52	65	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ) การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

ความยาว (cm)

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด	การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm)				
				40	50	63	80	100
	Foot:L / Front Flange: F / Rear Flange: G 	L F	2	288	363	283	353	406
			3	234	295	231	287	330
			4	202	254	199	247	285
			5	179	226	177	219	253
			6	163	206	161	199	230
			7	150	190	148	184	212
			8	140	177	138	171	197
			9	132	168	130	162	186
			10	125	158	123	153	176
		G	2	139	176	136	169	196
			3	112	142	116	136	158
			4	96	122	94	116	135
			5	85	108	83	102	119
			6	77	98	75	92	108
			7	70	90	68	85	99
			8	65	83	63	78	91
			9	61	79	59	74	86
			10	58	74	56	69	81
	Foot:L / Front Flange: F / Rear Flange: G 	L F	2	414	519	409	506	586
			3	318	423	313	412	476
			4	297	366	287	356	411
			5	266	339	257	317	367
			6	238	298	234	290	335
			7	220	275	216	267	309
			8	206	257	202	250	290
			9	194	243	190	235	274
			10	183	229	180	222	258
		G	2	202	254	199	246	
			3	154	206	151	199	
			4	141	178	138	171	
			5	125	158	123	152	
			6	114	144	111	138	
			7	105	132	102	127	
			8	98	123	95	118	
			9	92	116	89	111	
			10	86	109	84	104	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ) การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

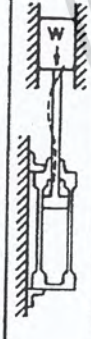
ความยาว (c

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด	การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm)						
				125	140	160	180	200	250	30
	Foot:L / Front Flange: F / Rear Flange: G	L F	2	163	145	156	175	196	226	25
			3	131	117	126	141	158	182	20
			4	113	100	108	121	136	157	17
			5	101	89	96	108	121	140	158
			6	91	81	86	97	109	126	142
			7	84	74	80	89	101	115	131
			8	78	68	74	83	93	108	122
			9	73	64	69	77	86	100	112
			10	68	60	65	73	82	94	106
		G	2	73	63	68	77	87	101	115
			3	57	49	53	60	68	79	90
			4	48	41	44	50	57	66	76
			5	42	35	38	44	50	58	66
			6	37	31	34	38	44	51	58
			7	34	28	30	34	40	45	53
			8	31	25	27	31	36	42	48
			9	28	23	25	28	32	38	43
			10	26	22	23	26	30	35	40
	Rear Clevis:C,D / Centre Trunnion: T	C D	2	154	134	145	164	184	211	240
			3	122	106	118	130	146	167	190
			4	104	89	97	109	123	141	161
			5	91	78	85	96	109	124	141
			6	82	70	76	86	97	111	126
			7	75	64	69	78	89	101	115
			8	69	58	63	71	81	93	106
			9	64	54	58	66	76	87	98
			10	60	50	54	62	70	80	91
		T	2	213	188	203	229	256	293	334
			3	171	151	163	183	206	235	267
			4	146	128	139	156	175	201	229
			5	129	113	123	139	156	178	203
			6	117	102	111	125	141	160	183
			7	107	94	101	115	129	147	168
			8	99	87	93	105	119	136	153
			9	93	81	87	99	112	128	145
			10	87	76	76	93	105	119	136

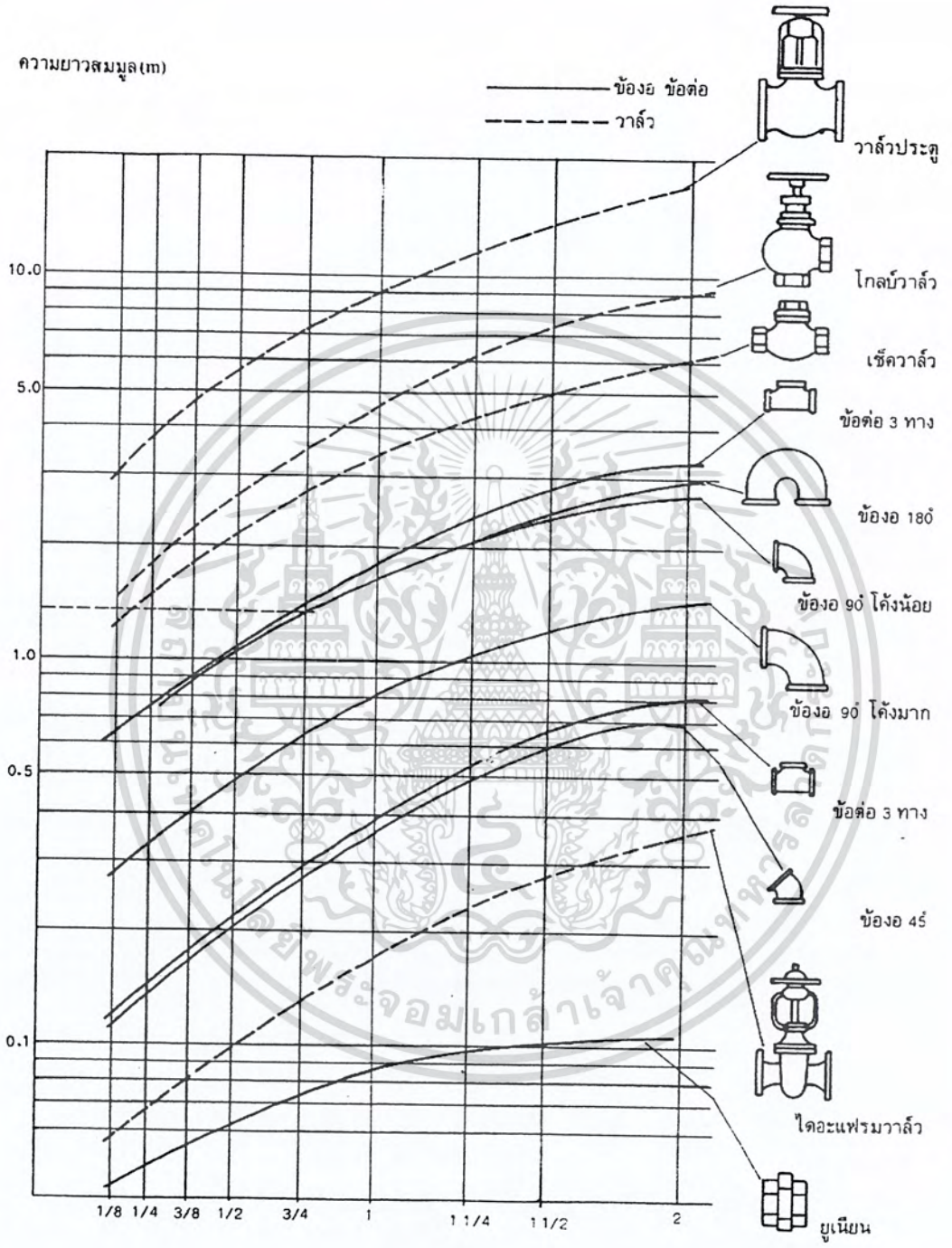
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10(ต่อ) การพิจารณาหาระยะชักของก้านสูบ

ความยาว (cm

เงื่อนไขการจับยึด	ลักษณะการจับยึด			การยึด	ความดันใช้งาน × 100 kPa	ขนาดกระบอกสูบ (mm)						
						125	140	160	180	200	250	300
	Foot:L	Front Flange: F	Rear Flange: G	L F	2	470	418	451	508	560	650	738
					3	382	339	366	412	459	527	598
					4	329	293	315	345	395	454	516
					5	293	263	281	315	252	403	458
					6	266	237	255	287	321	367	416
					7	245	218	235	265	296	339	385
					8	229	203	219	246	275	315	379
					9	215	192	206	232	260	297	337
					10	204	181	195	222	246	281	319
				G	2	227	199	216	244	272	313	356
					3	183	160	173	196	218	251	286
					4	156	137	148	167	187	215	245
					5	138	120	131	147	165	189	216
					6	125	109	118	133	149	171	195
					7	114	99	108	122	137	157	179
					8	106	92	100	113	126	145	166
					9	97	86	93	106	119	136	155
					10	91	81	88	100	112	128	146
	Foot:L	Front Flange: F	Rear Flange: G	L F	2	674	600	649	730	811	936	1061
					3	549	489	528	594	661	762	863
					4	474	422	456	513	571	658	846
					5	423	377	407	457	509	587	665
					6	386	343	371	417	464	535	606
					7	356	317	343	385	429	494	561
					8	333	297	320	360	401	465	524
					9	314	280	302	339	379	435	494
					10	297	264	286	320	357	411	466
				G	2	329	291	315	355	395	456	518
					3	266	235	254	287	320	369	419
					4	229	202	218	246	275	317	360
					5	203	179	194	218	244	281	320
					6	185	162	176	198	221	255	290
					7	170	149	144	182	204	235	268
					8	158	139	150	170	190	219	249
					9	149	131	141	159	179	205	234
					10	140	123	133	150	168	193	220

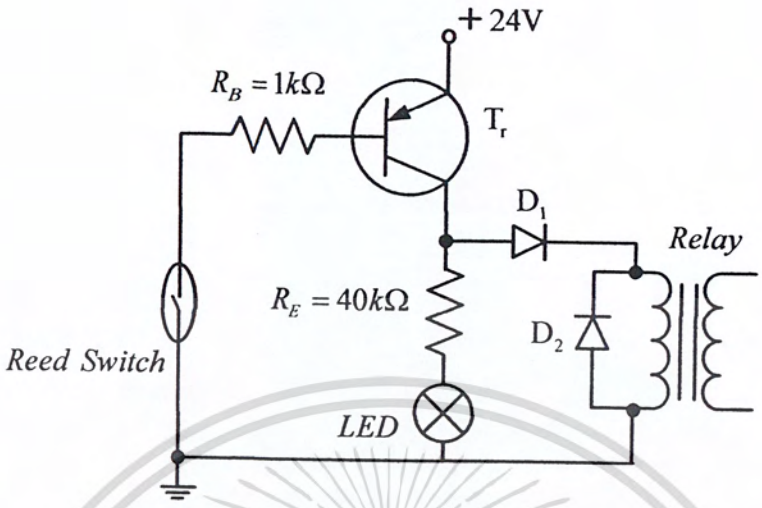
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.12 การหาค่าความยาวสัมมูลของข้องอ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3 วงจรเซนเซอร์

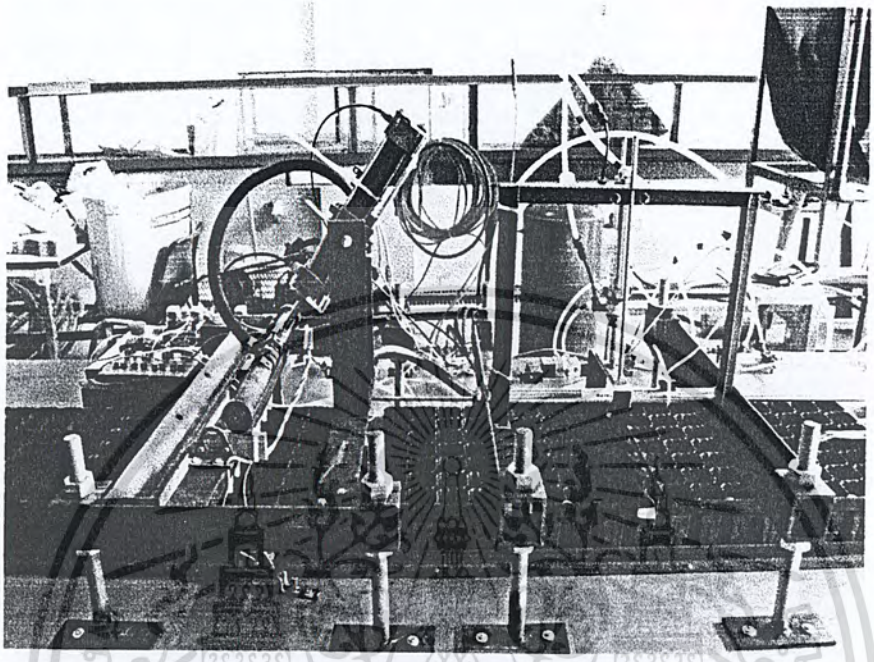
วงจรที่ 3 ประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD140 (Transistor, T_r) ไดโอดเบอร์ 1N4001 (Diode, D) หลอดแอลอีดี (LED) รีเลย์ (Relay) และตัวต้านทานขนาด 1kΩ และ 40kΩ ตามลำดับ

การทำงานของวงจร Reed switch จะทำการต่อวงจรเมื่อมีแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ ทำให้ทรานซิสเตอร์ (T_r) ทำงานกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด D_1 ขดลวดของรีเลย์ส่งผลให้รีเลย์ทำงาน

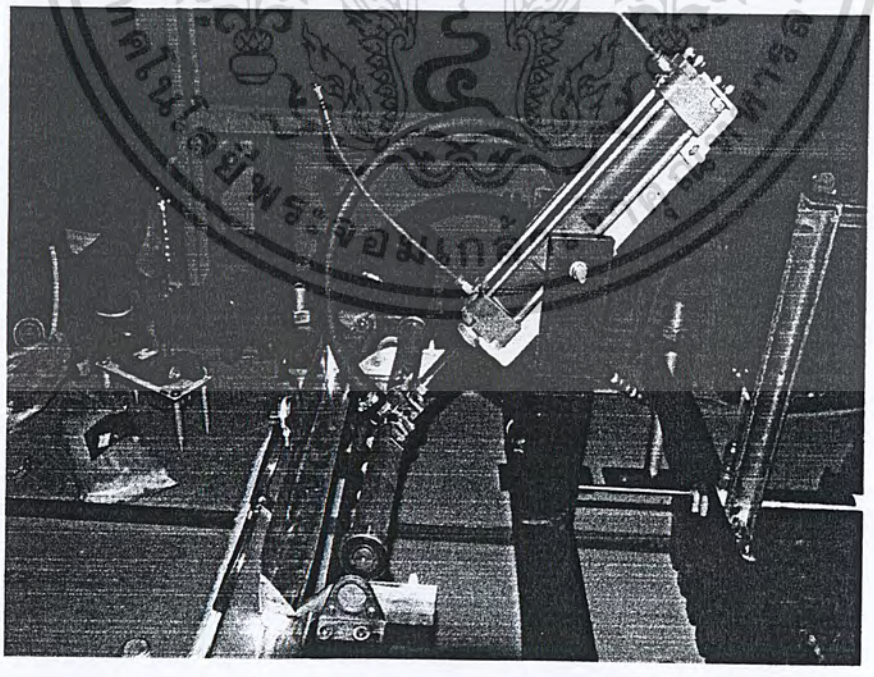
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ภาพของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

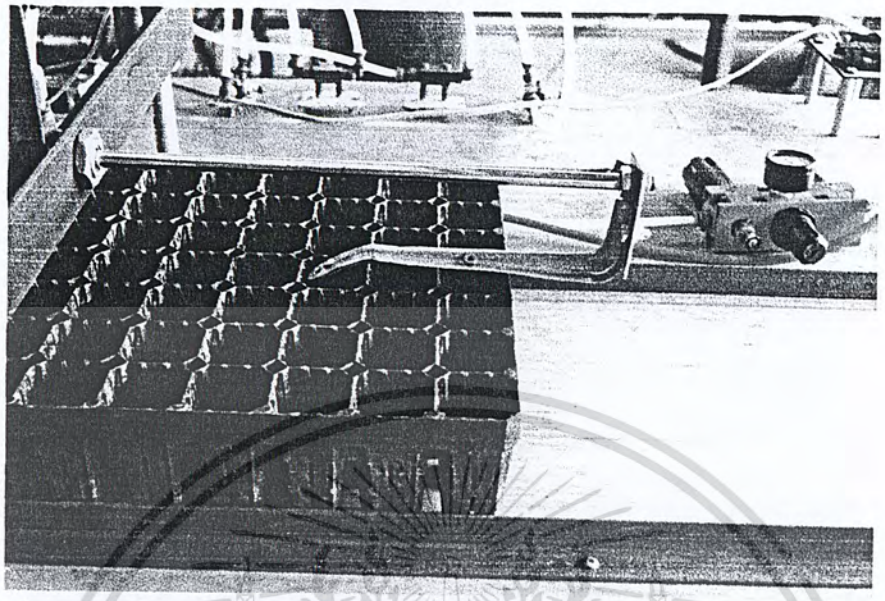


รูปที่ ข.1 ภาพเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงถาดเพาะกล้า

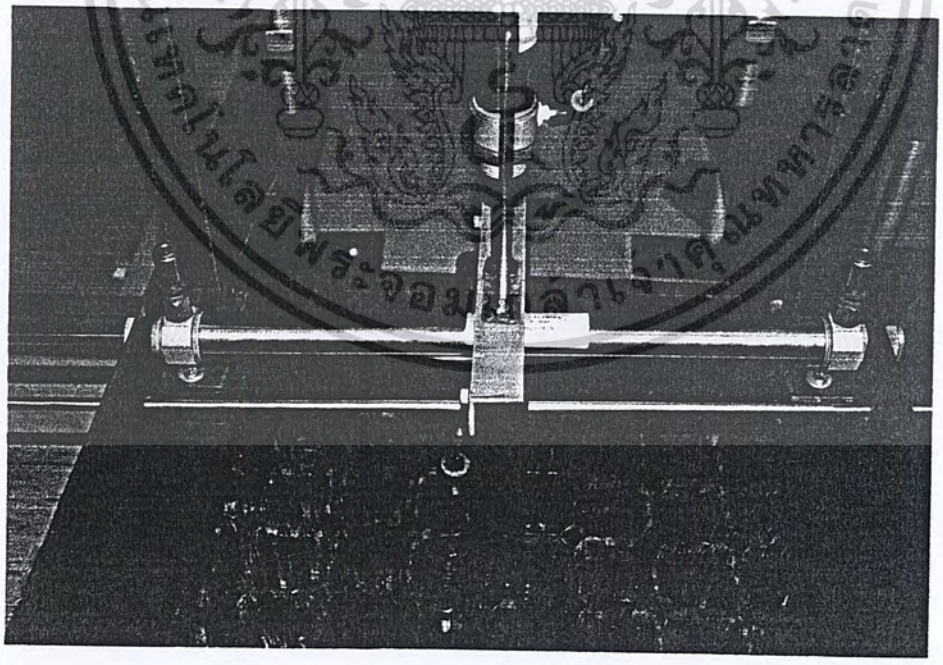


รูปที่ ข.2 กระบอกลมที่ใช้เป็นตัว Move ment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

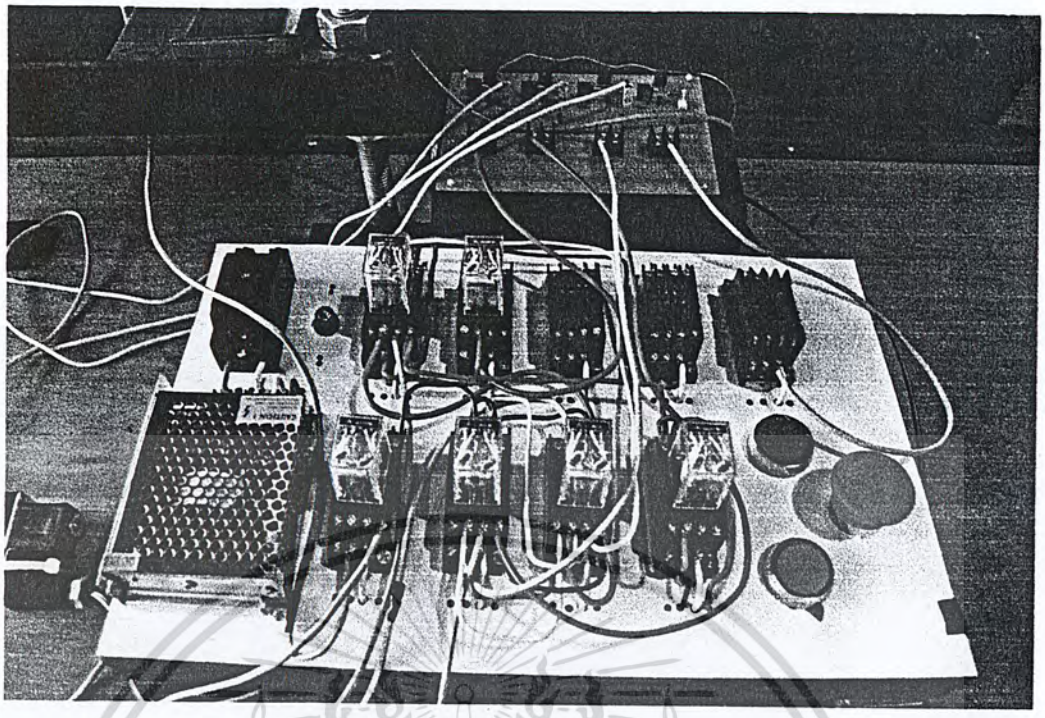


รูปที่ ข.3 กระบอกลมที่ทำงานเป็นตัวดันถาดเข้า

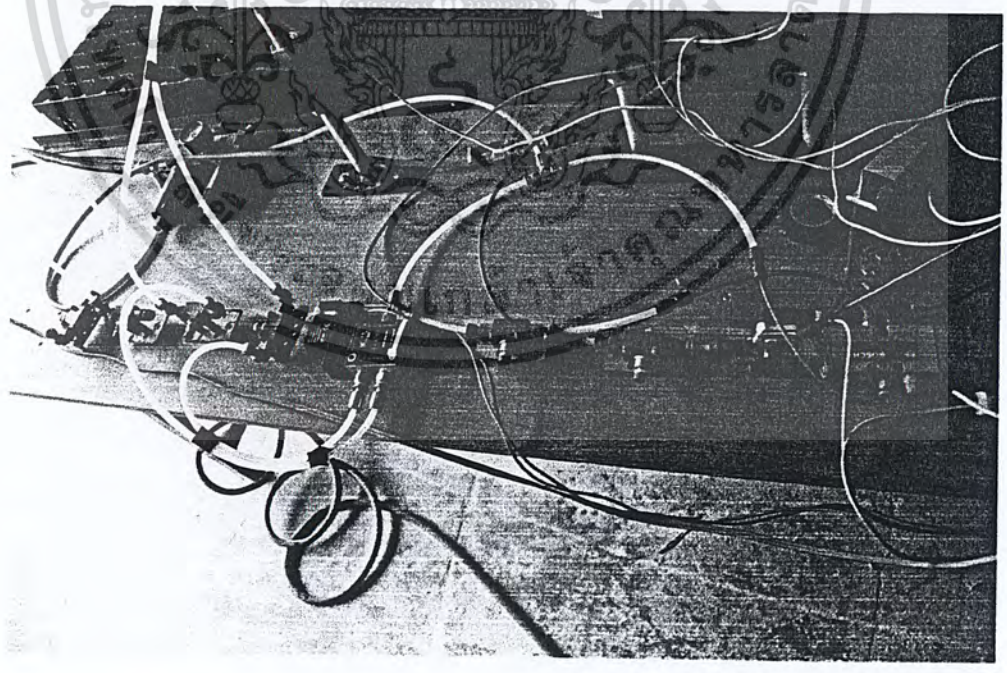


รูปที่ ข.3 กระบอกลมที่ทำงานเป็นตัวกดหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

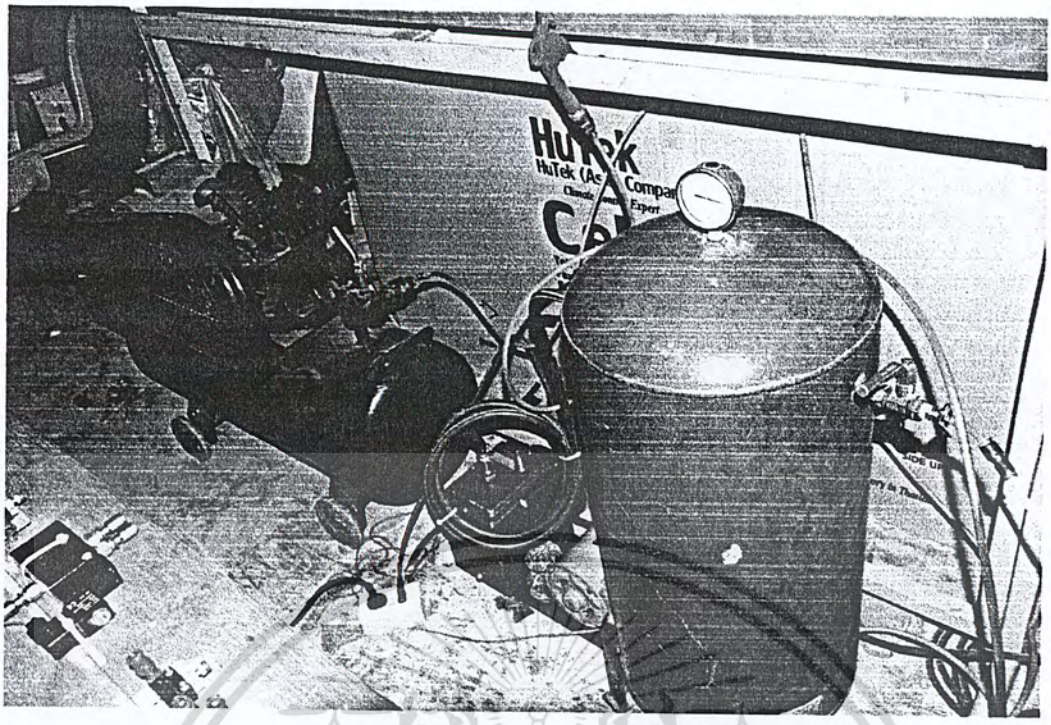


รูปที่ ข.4 ชุดวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง



รูปที่ ข.5 วาล์วควบคุมระบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ปั๊มลมและปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] กรมส่งเสริมการค้าภายใน กระทรวงพานิชย์.2007.สินค้าเกษตร [Online].

Available:http://.www.google.com

[2] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.2548.การส่งออกสินค้าเกษตร [Online].

Available:http://.www.google.com

[3] มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.2006.ทฤษฎีนิวเมติก. [Online]

Available:http://.www.kmtu.ac.th/pnuematic/project

[4]ปานเพชร ชินินทร.2544.นิวแมติกอุตสาหกรรม-กรุงเทพ :ซีเอ็นยูเคชั่น

[5] พรจิต ประทุมสุวรรณ.2541เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ กรุงเทพ : เรือนแก้วการพิมพ์

บริษัท นิวแมกซ์ จำกัด.2550. อุปกรณ์นิวเมติก [Online]

Available:http://.www.pnuemax.com

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ .2545.ออกแบบเครื่องจักรกล 1 – กรุงเทพ : ซีเอ็นยูเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้