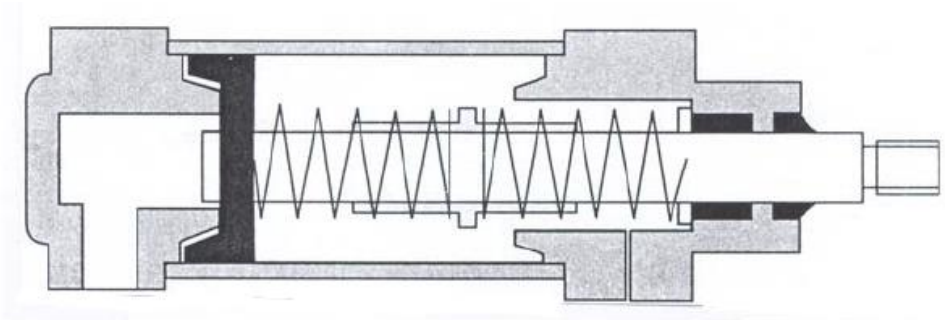
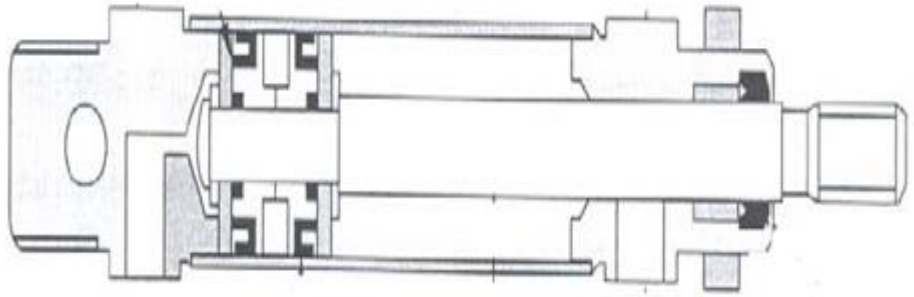
อุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์

อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์จะเป็นตัวทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล และมีการทำงานในแนวเส้นตรงนั้นก็คือ กระบอกสูบ จะประกอบไปด้วย ลูกสูบ ก้านสูบ ฝาครอบหัวท้าย บูชก้านสูบ และสปริงกระบอกสูบที่ใช้กันมากในระบบนิวแมติกส์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว (single acting air cylinder) และกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (double acting air cylinder)

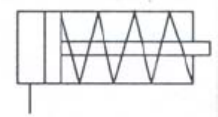


ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 33)

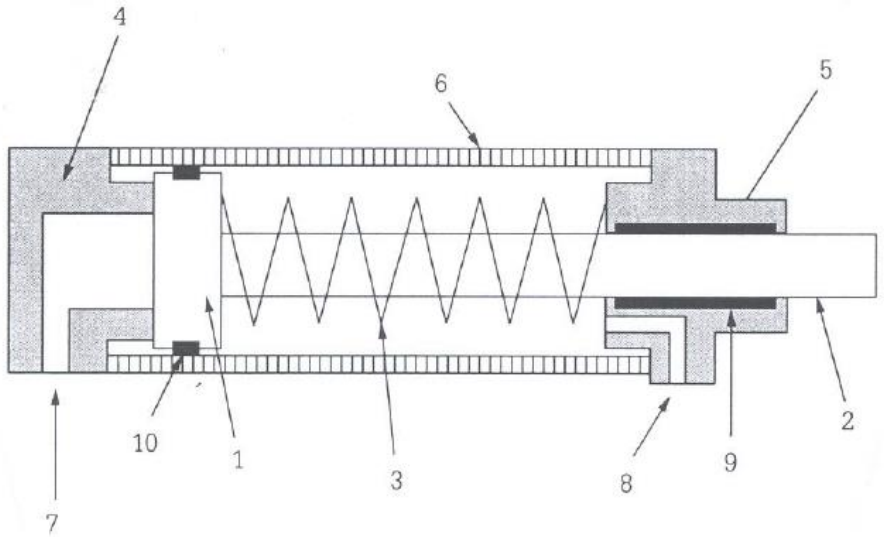


ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 35)

กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว



สัญลักษณ์



โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 34)

จากภาพ

หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)

หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)

หมายเลข 3 สปริงสำหรับดันให้ลูกสูบถอยกลับ (return spring)

หมายเลข 4 ฝาครอบท้าย (base end cover)

หมายเลข 5 ฝาครอบหัว (head end cover)

หมายเลข 6 กระบอกสูบ (cylinder tube)

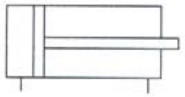
หมายเลข 7 รูต่อลม (pressure connection)

หมายเลข 8 รูระบายลม (vent hole)

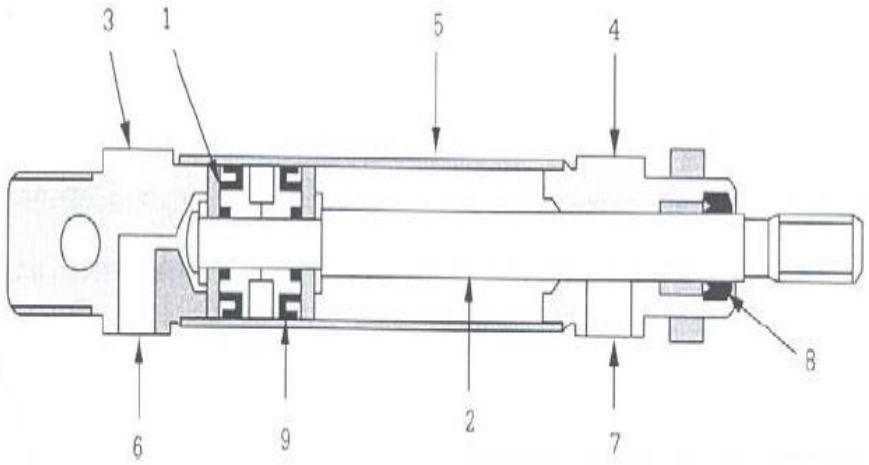
หมายเลข 9 บูชก้านสูบ (bush and sealing element)

หมายเลข 10 ซีลลูกสูบ (piston seal)

กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง



สัญลักษณ์



กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 35)

จากภาพ

หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)

หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)

หมายเลข 3 ฝาครอบท้าย (base end cover)

หมายเลข 4 ฝาครอบหัว (head end cover)

หมายเลข 5 กระบอกสูบ (cylinder tube)

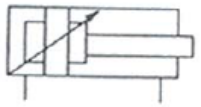
หมายเลข 6 รูต่อลมด้านลูกสูบ (pressure connector, base side)

หมายเลข 7 รูต่อลมด้านก้านสูบ (pressure connector, head side)

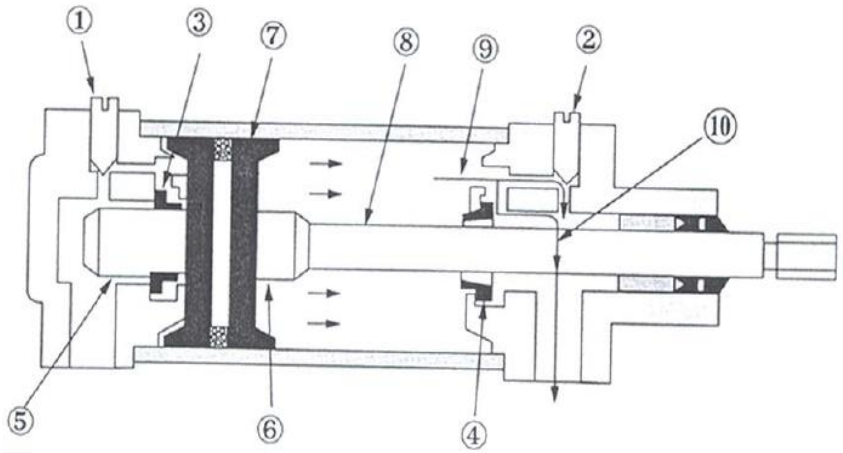
หมายเลข 8 ซีลก้านสูบ (bush and sealing element)

หมายเลข 9 ซีลลูกสูบ (piston seal)

กระบอกสูบที่มีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก



สัญลักษณ์



ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 36)

เมื่อลูกสูบ (7) ถูกดันให้วิ่งออกจะทำให้ลมอัดที่อยู่ด้านก้านสูบถูกดันให้ออกจากกระบอกสูบทางหมายเลข (9) และ (10) ซึ่งขณะนี้ความเร็วของลูกสูบ (7) ก็ยังคงมีความเร็วตามปกติจนกระทั่งเดือย (6) ดันซีล (4) ให้ปิดทางออกของลมอัดหมายเลข (10) (ซึ่งเป็นทางออกตามปกติของลมในกระบอกสูบ) ทำให้ความดันลมมีทางออกเพียงทางเดียวเท่านั้นคือ ทางหมายเลข (9) แต่ทางออกหมายเลข (9) นี้จะต้องผ่านวาล์วปรับขนาดของช่องทางหมายเลข (2) ทำให้ลมอัดในกระบอกสูบวิ่งออกจากกระบอกสูบได้น้อยลง ถ้าปรับวาล์ว (2) ให้แคบลงไปอีก ความเร็วของลูกสูบก็ยิ่งลดน้อยลงไปอีก (ความเร็วของลูกสูบขึ้นอยู่กับการระบายลมอัดให้ออกมาจากกระบอกสูบได้รวดเร็วมากน้อยเพียงไร) ถ้าดูในภาพที่ 3.4 ในขณะนี้จะเป็นตำแหน่งการหดกลับของลูกสูบที่ปิดทางออกของลมอัดในทางออกปกติแต่จะเปิดทางออกของลมอัดให้ออกทางวาล์วเข็มหมายเลข (1) เท่านั้นทำให้ความเร็วของลูกสูบลดน้อยลง การกระแทกระหว่างลูกสูบกับฝาครอบทั้งด้านหัวและท้ายก็ลดน้อยตามไปด้วย

ขนาดของกระบอกสูบ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบต่าง ๆ

(หน่วย : มิลลิเมตร)

8	10	12	16
20	25	32	*40
*50	*63	*80	*100
*125	*140	*160	*180
200	250	320	400

เครื่องหมาย * แสดงค่าที่ถูกกำหนดโดย JIS B 8377

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2547, หน้า 114)

เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ เกลียวปลาย–ก้านสูบ ช่วงชักยาวสุด

เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ	เกลียวปลายก้านสูบ	ช่วงชักยาว
40	16	M14 × 1.5	500
50	20	M18 × 1.5	600
63	20	M18 × 1.5	600
80	25	M22 × 1.5	750
100	32	M26 × 1.5	750
125	36	M30 × 1.5	1000
140	36	M30 × 1.5	1000
160	40	M36 × 1.5	1200
180	45	M40 × 1.5	1200

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2547, หน้า 114)

ความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบ

1. แรงของกระบอกสูบ

แรงของกระบอกสูบสามารถคำนวณได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ และความดันลมอัด ดังนี้

$$F_1 = \frac{\pi}{4} D^2 \times P \times \mu_1$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P \times \mu_2$$

เมื่อ F_1 = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (กิโลกรัมแรง)

F_2 = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดึง (กิโลกรัมแรง)

P = ความดันลมอัด (กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (เซนติเมตร)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (เซนติเมตร)

μ_1 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดัน

μ_2 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดึง

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
ปกติจะตั้งไว้ที่ 0.5 - 0.7

ความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบ

2. ปริมาณลมที่ใช้ (อัตราการใช้ลม)

อัตราการใช้ลมที่ต้องใช้ทำให้กระบอกสูบทำงาน สามารถคำนวณได้จากปริมาตรของกระบอกสูบและปริมาตรของท่อ ปริมาตรของท่อจะแตกต่างกันตามวิธีการเดินท่อ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณลมที่ใช้จากปริมาตรของกระบอกสูบดังต่อไปนี้

$$Q_a = \frac{(A_1 + A_2) \times L \times (P + 1.033) \times n}{1.033}$$

เมื่อ Q_a = ปริมาณลมที่ใช้ (ลิตรต่อนาที คิดเทียบที่ความดันบรรยากาศ)

L = ช่วงชักของกระบอกสูบ (ซม.)

A_1 = พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ (ตร.ซม.)

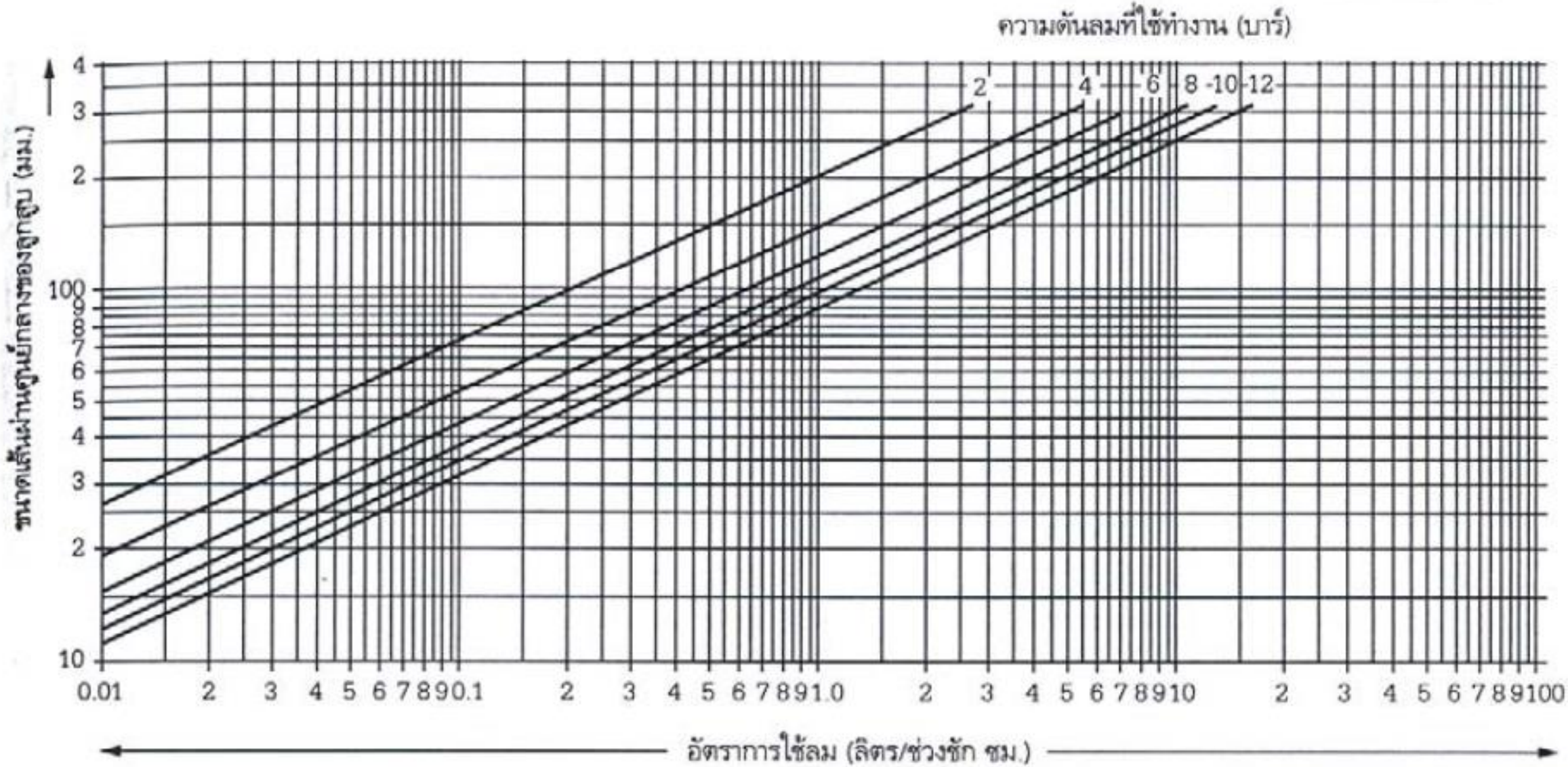
A_2 = พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ (ตร.ซม.)

P = ความดันลม (kgf/cm^2)

n = จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไป-กลับต่อนาที

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

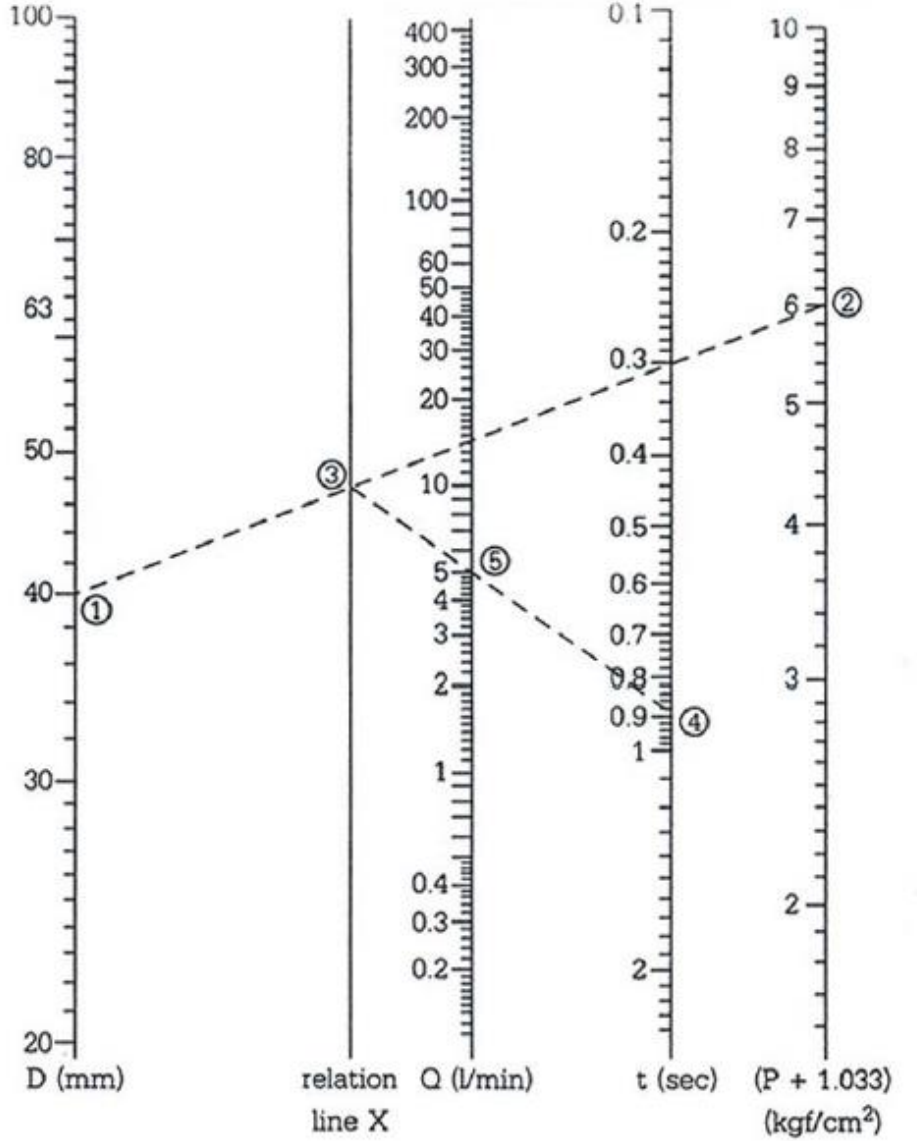


กราฟการหาอัตราการใช้ลม

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2547, หน้า 117)

ตัวอย่าง การหาอัตราการใช้ลมตามกราฟนี้ คือ ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 60 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 20 มิลลิเมตร ช่วงชัก 500 มิลลิเมตร ทำงานที่ความดัน 6 บาร์ จงหาอัตราการใช้ลม

วิธีทำ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบตามที่กำหนดให้คือ ___มม. ลากเส้นไปตัดค่าความดันลบที่ใช้งาน___บาร์ จะได้อัตราการใช้ลม_____ลิตร/ช่วงชัก ซม. คูณด้วยค่าช่วงชัก 50 ซม. (500 มม.) ก็จะได้ค่าอัตราการใช้ลมในจังหวะลูกสูบวิ่งออกเท่ากับ_____ลิตร สำหรับอัตราการใช้ลมในจังหวะสูบถอยกลับ จะต้องเอาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบลบออกจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ (_____=___มม.) แล้วหาอัตราการใช้ลมอีกครั้งหนึ่ง จะได้เท่ากับ_____ลิตร/ช่วงชัก ซม. คูณด้วย 50 ซม. (500 มม.) จะได้อัตราการใช้ลมจังหวะสูบถอยเท่ากับ_____ลิตร แล้วนำไปลบออกจากค่าอัตราการใช้ลมในจังหวะสูบ (_____) ก็จะได้ค่าอัตราการใช้ลมในจังหวะสูบหดเท่ากับ_____ลิตร ถ้าคิดที่สูบวิ่งออกและเข้า 1 รอบ อัตราการใช้ลมเท่ากับ_____ลิตร(+)



ภาพการหาอัตราการใช้ลมของกระบอกสูบขณะทำงาน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 – 100 มม.) หน่วยวัดต่อช่วงชัก 10 มม. (ลิตร)
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์ , 2547 , หน้า 118)

จากภาพ ให้หาอัตราการใช้ลมของกระบอกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. ทำงานที่ความเร็ว 10 มม. ต่อ 0.9 วินาที ภายใต้ความดัน 5 kgf/cm^2

วิธีทำ จุดตัด (3) ได้จากเส้นผ่านศูนย์กลาง (40 มม.) กับความดันใช้งาน (5 + 1.033 kgf/cm^2) และสามารถหาจุดตัด (5) ได้โดยลากเส้นจากจุด (3) ไปจุด (4) ที่เป็นค่าของเวลาทำงาน (0.9 วินาที) สรุปว่าอัตราการใช้ลมเท่ากับ 5 ลิตร/นาที หรือคำนวณได้จากสูตร

หรือคำนวณได้จากสูตร

$$Q = \frac{\pi \times 6}{4} \times D^2 \times \frac{L}{t} \times \frac{P + 1.033}{1.033} \times 10^{-5}$$

กำหนดให้

Q = อัตราการใช้ลมที่ความดันบรรยากาศ (ลิตร/นาที)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (มิลลิเมตร)

L = ความยาวช่วงชัก (มิลลิเมตร)

t = เวลา (วินาที)

P = ความดันใช้งาน (กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)

การหาอัตราการใช้ลมของกระบอกสูบขณะทำงาน

ให้หาอัตราการใช้ลมของกระบอกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. ทำงานที่ความเร็ว 10 มม. ต่อ 0.9 วินาที ภายใต้ความดัน 5 kgf/cm^2

$$Q = \frac{\pi \times 6}{4} \times D^2 \times \frac{L}{t} \times \frac{P + 1.033}{1.033} \times 10^{-5}$$

แทนค่าในสูตร

$$Q = \frac{3.14x6}{4}\ 40 \times 40 \times \frac{10}{0.9} \times \frac{5 + 1.033}{1.033} \times 10^{-5}$$

$$= \frac{4.17x17{,}777.77x5.84}{100{,}000}$$

$$= 4.89 \text{ ลิตร/นาที หรือประมาณ } 5 \text{ ลิตร/นาที}$$

การคำนวณหาค่าแรงของกระบอกสูบ

แรงของกระบอกสูบคำนวณได้จากความดันลมอัด ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ และแรงเสียดทานของกระบอกสูบโดยมีแรงของกระบอกสูบทางทฤษฎีมีค่าเป็น

$$F_{th} = A \cdot P$$

โดย F_{th} = แรงที่คำนวณได้จากทฤษฎี มีหน่วยเป็นนิวตัน

A = พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

P = ความดันลมอัด มีหน่วยเป็นบาร์

ในทางปฏิบัติ แรงที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่าน้อยกว่าแรงที่คำนวณทางทฤษฎี เพราะสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานซึ่งจากการทดสอบพบว่าที่ความดัน 4-8 บาร์ แรงเสียดทานจะมีค่าเป็น 3-20 เปอร์เซ็นต์ของแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีและจะต้องนำค่านี้ไปคำนวณด้วย

การคำนวณหาค่าแรงของกระบอกสูบ

ถ้าเป็นกระบอกสูบทางเดียว

สามารถคำนวณหาค่าแรงที่เกิดขึ้นจริง

$$F_n = A \cdot P - (F_{R+} F_F)$$

ถ้าเป็นกระบอกสูบทำงานสองทาง

แรงที่เกิดขึ้นจริงในขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออกมีค่าเท่ากับ

$$F_n = A \cdot P - F_R$$

แรงที่เกิดขึ้นจริงในขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับมีค่าเท่ากับ

$$F_n = A' \cdot P - F_R \quad \text{หรือ} \quad F_n = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot P - F_R$$

$$A' = A^2 - a^2$$

$$A' = \frac{\pi}{4}D^2 - \frac{\pi}{4}d^2$$

$$= \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

F_{th} = แรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎี (theoretical piston force) มีหน่วยเป็นนิวตัน

F_n = แรงที่เกิดขึ้นจริง (effective piston force) มีหน่วยเป็นนิวตัน

A = พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

a = พื้นที่หน้าตัดก้านสูบ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

A' = พื้นที่หน้าตัดวงแหวน มีหน่วยเป็นตารางเมตร

P = ความดันใช้งาน มีหน่วยเป็นบาร์หรือนิวตัน

F_R = แรงเสียดทาน (frictional force) มีหน่วยเป็นนิวตัน
(มีค่า 3-20% ของแรงที่คำนวณทางทฤษฎี)

F_F = แรงต้านเนื่องจากสปริง (force of return spring) มีหน่วยเป็นนิวตัน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือเมตร

d = เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือเมตร

กระบอกสูบทำงานสองทางลูกหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 20 มิลลิเมตร แรงเสียดทาน 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงทฤษฎี ความดันใช้งาน 6 บาร์ จงหา

1) แรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีของกระบอกสูบขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออกและขณะเคลื่อนที่กลับ

2) แรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออกและขณะเคลื่อนที่กลับ

3) แรงที่เกิดขึ้นจริง ถ้ากระบอกสูบทางเดียวที่มีค่าแรงต้านเนื่องจากแรงของสปริงเท่ากับ 735 นิวตัน

วิธีทำ หาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ = 70 มิลลิเมตร = 7 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ = 20 มิลลิเมตร = 2 เซนติเมตร

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 7^2}{4} = 38.46 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

$$A' = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3.14}{4} \times (7^2 - 2^2) = 35.32 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ $= 38.46 \times 10^{-4}$ ตารางเมตร

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดวงแหวน $= 35.32 \times 10^{-4}$ ตารางเมตร

1) หาแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีของกระบอกสูบทำงานสองทาง

- ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_{th} = A \cdot P$$

$$= (38.46 \times 10^{-4}) \text{ ม.}^2 \times (6 \times 10^5) \text{ นิวตัน/เมตร}^2$$

$$= 2{,}307.60 \text{ นิวตัน}$$

- ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_{th} = A' \cdot P$$

$$= (35.32 \times 10^{-4}) \text{ ม.}^2 \times (6 \times 10^5) \text{ นิวตัน/เมตร}^2$$

$$= 2{,}119.2 \text{ นิวตัน}$$

แรงเสียดทานมีค่า 10% ของแรงทางทฤษฎี

$\therefore$ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก $= 2{,}307.6 \times \frac{10}{100} = 230.76$ นิวตัน

$\therefore$ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ $= 2{,}119.2 \times \frac{10}{100} = 211.92$ นิวตัน

2) หาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทำงานสองทาง

- ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_n = (A \cdot P) - F_R$$

$$= (38.46 \times 10^{-4}) \text{ ม.}^2 \times (6 \times 10^5) \text{ นิวตัน/เมตร}^2 - 230.76 \text{ นิวตัน}$$

$$= 2{,}307.6 - 230.76$$

$$= 2{,}076.84 \text{ นิวตัน}$$ **ตอบ**

- ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_n = (A' \cdot P) - F_R$$

$$= (35.32 \times 10^{-4}) \text{ ม.}^2 \times (6 \times 10^5) \text{ นิวตัน/เมตร}^2 - 211.92 \text{ นิวตัน}$$

$$= 2{,}119 - 211.92$$

$$= 1{,}907.28 \text{ นิวตัน}$$ **ตอบ**

3) หาแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบทางเดียว

$$F_n = (A \cdot P) - (F_{R+}F_F)$$

$$= (38.46 \times 10^{-4}) \text{ ม.}^2 \times (6 \times 10^5) \text{ นิวตัน/เมตร}^2 - (230.76 \text{ นิวตัน} + 735 \text{ นิวตัน})$$

$$= 2{,}307 - 965.76$$

$$= 1{,}341.84 \text{ นิวตัน}$$ **ตอบ**

การหาค่าแรงของกระบอกสูบที่คิดค่าแรงต้านเนื่องจากความเสียดทาน 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงทางทฤษฎี

เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความดันใช้งาน (บาร์), แรง หน่วยเป็นกิโลกรมแรง (kgf)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	310	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1,059
140	138	277	416	555	693	832	971	1,110	1,248	1,386	1,525	1,664	1,803	1,942	2,079
200	283	566	850	1,133	1,416	1,700	1,983	2,266	2,550	2,832	3,116	3,400	3,683	3,966	4,248
250	433	866	1,300	1,733	2,166	2,600	3,033	3,466	3,800	4,332	4,766	5,200	5,633	6,066	6,498

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 206)

ตัวอย่าง กระบอกสูบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ความดันใช้งาน 6 บาร์ อ่านค่าแรงของกระบอกสูบได้เท่าไร

วิธีทำ จากตาราง อ่านค่าแรงของกระบอกสูบได้ = 208 กิโลกรัมแรง

1 นิวตัน = 0.1 กิโลกรัมแรง

1 กิโลกรัมแรง = 10 นิวตัน

$\therefore$ อ่านได้ = 2,080 นิวตัน **ตอบ**

สรุป

ขนาดของกระบอกสูบมีขนาดตั้งแต่ 12 มิลลิเมตรขึ้นไป ส่วนความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ และความดันลม นอกจากนี้ยังมีเรื่องของการเสียดทานจะแปรค่าไปตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบจะแสดงผลได้โดยการคำนวณหาค่าแรงของ กระบอกสูบจากสูตร $F_{th} = A \cdot P$ และ $F_n = (A \cdot P) - (F_{R+}F_F)$

Bye Bye