

압축공기 에너지 Saver 개발에 관한 연구 Development of Compressed Air Energy Saver

*김광수¹, 김명섭¹, #김동수¹

*K. Kim¹, M. S. Kim¹, #D. S. Kim¹(kds671@kimm.re.kr)

¹ 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Pressure regulator, Energy saving, Sandwich type

1. 서론

압축공기를 작동유체로 하는 공기압 제어 시스템은 저가격, 제어성 향상 등의 이유로 단위 기계 자동화 및 생산, 조립 라인인 공장 자동화 시스템 구성에 광범위하게 활용되고 있다. 기존의 공압 제어 시스템 구성요소는 압력을 조절하고, 공기압 기기의 운환 및 먼지 등의 이물질 침입을 방지하는 F.R.L. Unit과 공기압 흐름의 방향을 제어하는 솔레노이드 작동식 공기압 방향 제어 밸브, 그리고 직선운동을 하는 실린더, 실린더의 속도를 제어하는 Speed controller와 기타 배관으로 구성되어 있다. 특히, 공기압 실린더는 Placement, Transfer, Elevator, Clamp, Self-locking, Descent, Reserving 및 External-locking 등 단순 반복 작업에 많이 응용되고 있다. 이들 응용분야 중에서 Transfer, Elevator, 및 Clamp 등은 일을 할 때와 그렇지 않을 때의 외부 하중이 다르므로 작업시 실린더에서 동일한 힘을 필요로 하지 않는 경우가 있다. (Fig. 1,2). 따라서 기존의 공압 제어 시스템 구성 시, 실린더의 속도를 제어하는 Speed controller 대신에 압력을 제어하는 Pressure regulator를 장착하여, 시스템 고유의 속도에 따른 작업 시와 비 작업시의 힘을 제어함으로써 압축공기의 손실을 방지하는 시스템의 필요성이 대두된다. 이 시스템은 공기압 작동기인 실린더의 규격이 클수록 그 필요성이 커진다. 따라서 본 연구에서는 압력을 조절하는 Dual supply pressure regulator, 즉, Energy saver를 설계 및 제작하여 Speed Controller 대신 부착하여 에너지 절약형 공기압 제어 시스템을 구성하고자 한다.

2. 설계 이론 및 공압 회로 설계

Fig. 4의 Dual supply pressure regulator 설계도에서와 같이 작동 원리는 핸들을 돌려 조절 스프링을 누르면 스템을 통해 스프링의 힘으로 밸브를 열고 이때에 1차 측에서 2차 측으로 공기가 흐르게 된다. 핸들을 많이 돌릴수록 높은 압력이 흐르게 되는데 이것만으로는 감압밸브의 기능이 충분하지 않다. 2차 측의 공기 소모량은 항상 변하고 있으므로 2차 측 압력이 조절압력보다 낮아질 경우가 있다. 따라서 2차 측으로 공기가 흘러 들어가면 2차 압력에 의해 다이어프램을 밀어 올려 조절스프링 힘과 동일한 점에서 밸브의 포켓이 정지되는 메커니즘으로 구성되어 있으며, 이렇게 해야만 2차 압력이 강하하더라도 조절 스프링에 의해 다이어프램이 눌러서 밸브의 포켓이 그만큼 많이 열리게 되며 2차 압력이 일정하게 유지된다. 또한, 다이어프램 중간에 relief valve를 부착하였는데 이는 부하의 변동으로 2차 압력이 상승할 경우 relief를 통해 공기를 배출시켜 줌으로써 2차 압력의 설정치를 고압에서 저압으로 바꾸어 주게 되며, 인위적으로 조절하기 어려운 2차 압력을 쉽게 변경시켜 준다. 압력 조절장치를 설계 하기 위해서는 다음의 식이 필요하다.

$$K_{as}X_{as} - A_d P_2 = F_L \quad (1)$$

$$A_{ps} P_2 - A_{pb} P_2 - K_{vs} X_{vs} = F_v \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 힘의 평형방정식은 다음과 같다.

$$(K_{as}X_{as} - A_d P_2) + (A_{ps} P_2 - A_{pb} X_{vs}) - K_{vs} X_{vs} = F_u \quad (3)$$

식 (3)에서 조절하고자 하는 압력, P_2 는 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$P_2 = \frac{K_{as}X_{as} - K_{vs}X_{vs}}{A_d} = \frac{F_{as} - F_{vs}}{A_d} \quad (4)$$

공기 소모량의 과대로 인해 원하는 압력 P_2 가 강하하므로 밸브의 포켓 변위가 Δx 만큼 이동하므로, 2차 측 압력 P'_2 로 저하하는 경우는

$$P_2 = \frac{K_{as}(X_{as} - \Delta x) - K_{vs}(X_{vs} + \Delta x)}{A_d} \quad (5)$$

2차 압력 변화량은

$$P_2 - P'_2 = \frac{(K_{as} + K_{vs})\Delta x}{A_d} \quad (6)$$

가 된다. 식 (6)에서 A_d 가 클수록, 스프링상수 값이 작을수록 Δx 가 커지므로 밸브 포켓의 열림이 커지고, 2차 압력의 회복도 빠르며 유량특성 또한 좋아진다. 식 (3)에서 1차 압력, P_1 의 압력이 삭제되어 있으나, P_2 의 압력 변화에 약간의 영향이 있다. 위의 식들을 바탕으로 하여 압력 P_2 에 대한 다이어프램과 스프링의 힘의 관계를 살펴보면 Table 1과 같으며 이를 토대로 설계한 Dual supply pressure regulator의 사양은 Table 2와 같다.

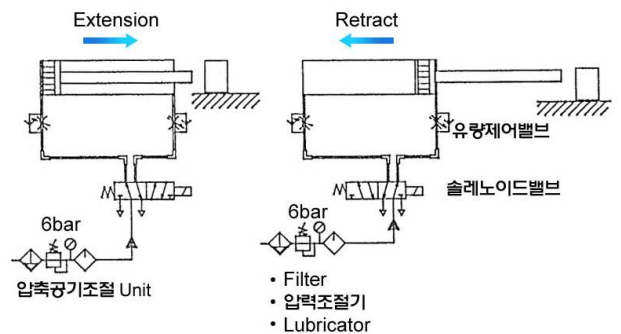


Fig. 1. Air pressure system controlled by speed regulator.

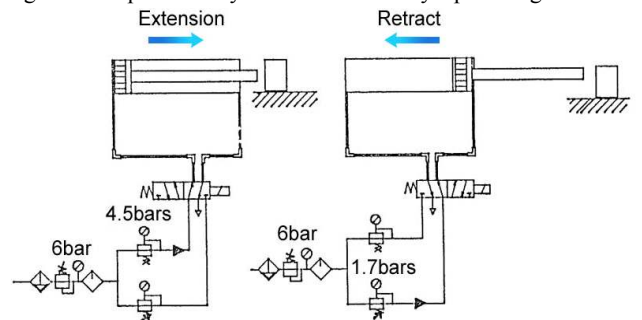


Fig. 2. Air pressure system controlled by dual pressure regulator.

앞서 기술한 설계이론을 통하여 본 연구 목표인 밸브에 sub-pressure regulator를 sandwich형으로 부착하는 이중압력조절 장치를 설계하였다. 설계사양은 접속구경 1/4inch 용 밸브에 적합

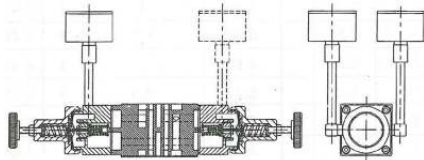
한 구조로 하여 압력을 조절하는 screw에 relief valve를 복합하는 방식으로 하였으며, 공급포트에서 입력된 압축공기를 실린더 포트에 입력되는 압력을 조절하는 회로로 구성하였다.

Table 1 Relationship of diaphragm & spring force

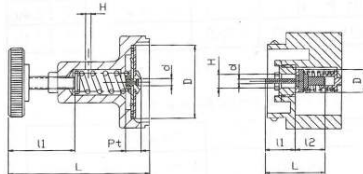
P ₂ (kgf/cm ²)	A _d (cm ²)	F _{as} (kgf ²)	F _{vs} (kgf ²)	X _{as} =X _{vs} (mm)	K _{as}	K _{vs}
1	2.27	3.5	1.23	0.5	7	2.46
2	2.27	7.0	2.46	1.0	7	2.46
3	2.27	10.5	3.69	1.5	7	2.46
4	2.27	14.0	4.92	2.0	7	2.46
5	2.27	17.5	6.15	2.5	7	2.46
6	2.27	21.0	7.38	3.0	7	2.46
7	2.27	24.5	8.61	3.5	7	2.46
8	2.27	28.0	9.84	4.0	7	2.46
9	2.27	31.5	11.07	4.5	7	2.46
10	2.27	35.0	12.3	5.0	7	2.46

Table 2 Specification of dual pressure regulator

Item	Dimension (mm)
Main body	75.5 × 44 × 44
Poppet valve	Ø3.4 × Ø1.0 × 6.5
Poppet Distance	Ø2.5 × 24.5
Relief valve	Ø2.5 × Ø1.0 × 36
Diaphragm	Ø13.5 × 1
Fitting size	Ø3 × M7 × 0.75 × 55
End cap assembly	M5 × 20
Connection size	1/4 inch



(a) Dual Supply Pressure Regulator Assembly



(b) Relief Valve & Poppet Valve

Fig. 3. Dual pressure regulator drawing

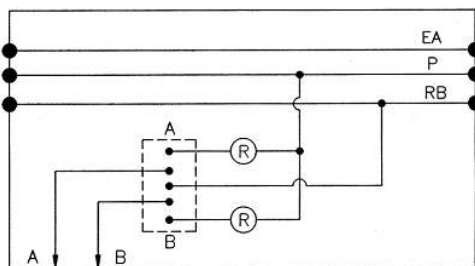


Fig. 4. Circuit diagram of dual pressure regulator

3. 압축공기 에너지 절약 효과 비교

Fig. 5sms 압축공기 절약형 시스템의 개략도이다. 먼저 pressure

regulator를 부착하지 않은 기존 시스템에 대한 압축공기 소비량, Q₁을 구해보기로 한다. 즉, 실린더 전후진 동일하게 공급압력, P_s=6kgf/cm²으로 작동할 경우에 대하여 실린더 체적,

$$V_1 = A \times Stroke = \frac{\pi \times 80^2}{4} \times 500 = 0.628l$$

전·후진시 압축공기 소비량은.

$$Q_1 = 2 V_1 \times P = 0.628l \times 2 \times 7 = 8.792l \text{가 된다.}$$

이때의 추력, F₁ = PA = 7 × $\frac{\pi \times 80^2}{4}$ = 35kgf 로 전·후진 거의 동일하다. 그러나 regulator를 부착한 경우에 대해 살펴보면, 압력 4kgf/cm²을 공급하여 전진할 경우 압축공기 소비량,

$$Q_2 = 0.628l \times 1 \times 5kgf/cm^2 = 3.14l \text{가 되며, 이 때 전진시 추}$$

력, F₂ = 5 × $\frac{\pi \times 80^2}{4}$ = 25kgf로 외부 하중 20kgf를 충분히 움직일 수 있다. 압력 1kgf/cm²을 공급하여 후진할 경우 압축공기 소비량, Q₃는

$$Q_3 = 0.628l \times 1 \times 2kgf/cm^2 = 1.256l \text{이며, 이 때 후진시 추력,}$$

$$F_3 = 20 \times \frac{\pi \times 80^2}{4} = 10kgf \text{가 된다. 따라서, 압축공기 절약효율,}$$

η는 다음과 같이 50% 절약이 가능함을 알 수 있다.

$$\eta = \frac{Q_1 - (Q_2 + Q_3)}{Q_1} = \frac{8.792 - 4.396}{8.792} \times 100 = 50\%$$

따라서, 현재 공장 자동화 시스템 구성에 있어서 압축공기의 특징인 신속성 및 제어성 향상등의 이유로 많이 사용되고 있다는 측면에서 볼 때, 압축공기 energy saver형 공압 제어 시스템 구성효과는 대단한 에너지를 절약할 수 있다는 사실에서 그 중요성이 매우 크다.

4. 결론

본 연구에서는 압축 공기의 에너지 saver 개발을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 샌드위치 타입의 이중압력 조절장치인 포켓밸브와 릴리프 밸브의 설계이론을 정립하였다.
2. 샌드위치 타입의 이중압력 조절장치의 설계이론을 바탕으로 압축 공기 에너지 saver를 개발하였다.

후기

본 연구는 지식경제부와 에너지관리공단의 에너지자원기술 개발사업으로 진행 중인 “압축공기시스템 에너지 절약 요소 기술 개발” 과제의 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Kain, C. Wartelle, "Dynamique desverius pneumatic", CETIM publication, 1973.
2. MILLER Fluid Power company(USA), "Engineering aids and cylinder modification", 7552-383, 1983.
3. PARKER Fluid Power company(USA), "Selecting a stop-tube", Industrial pneumatic technology, 65-68, 1980.
4. D. Bouteille, P. Bertrand, "Les automatismes electro-pneumatiques et pneumatiques", Editions de l'usine nouvelle.
5. Thoshiharu Kagawa, "Temperature change of air in pneumatic system", In Fluid Power, 1993.
6. A. Romiti, Raparelli, "Dynamic modeling and simulation of pneumatic systems", Fluid Power 9th international symposium, 1990.