

샌드위치 타입의 이중압력 조절장치 개발 Development of Sandwich Type Pressure Regulator

*김동수¹, #김명섭¹, 김강대¹

*D. S. Kim¹, #M. S. Kim(joseph@kimm.re.kr)¹, K. D. Kim¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부 톨툴링인쇄전자공정장비팀

Key words : Pressure Regulator, Energy Saving, Sandwich Type, Optimal Design

1. 서론

압축공기를 작동유체로 하는 공기압 제어시스템은 저가격, 제어성 향상 등의 이유로 단위기계 자동화 및 생산·조립 라인의 공장 자동화 시스템 구성에 광범위하게 활용되고 있다. 기존의 공기압제어시스템 구성 요소는 압력을 조절하고, 공기압기기의 윤활 및 먼지 등 이물질 방지를 위한 FRL Unit과 공기압 흐름의 방향을 제어하는 솔레노이드 작동식 공기압 방향제어밸브 그리고 직선운동을 하는 실린더, 실린더의 속도를 제어하는 Speed Controller와 기타 배관으로 되어있다. 특히, 공기압 실린더는 Placement, Transfer, Elevator, Clamp, Self-locking, Descent, Reversing 및 External-locking 등 단순 반복 작업에 많이 응용되고 있다. 이들 응용 중에서 Transfer, Elevator 및 Clamp 등은 일을 할 때와 그렇지 않을 때의 외부하중이 다르므로 작업 시 실린더에서 동일한 힘을 필요로 하지 않는 경우가 있다. 따라서 기존의 공압제어시스템 구성 시 실린더의 속도를 제어하는 Speed Controller 대신에 압력을 제어하는 Pressure Regulator를 부착하여, 시스템 고유의 속도에 따른 작업 시와 비 작업시의 힘을 제어함으로써 압축공기의 손실을 방지하는 시스템의 필요성이 대두된다. 이 시스템은 공압 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 공압제어시스템을 구성하고자 한다.

2. 설계이론

본 절에서는 Relief Valve와 Poppet Valve로 구성된 Sandwich형 Pressure Regulator의 설계 이론에 대하여 논하고자 한다. 그림 1의 Dual Supply Pressure Regulator 설계도 에서와 같이 작동 원리는 핸들을 돌려 조절 스프링을 누르면 스템을 통하여 스프링 힘으로 밸브를 열고 이때에 1차 측에서 2차 측으로 공기가 흐르게 된다. 핸들을 많이 돌릴수록 높은 압력이 흐르게 되는데 이것만으로는 감압밸브의 기능이 충분하지 못하다. 2차측의 공기 소모량은 항상 변하고 있으므로 2차측 압력이 조절압력보다 낮아질 경우가 있다. 따라서 2차측으로 공기가 흘러 들어가면 2차 압력에 의해 다이어프램을 밀어 올려 조절스프링 힘과 동일한 점에서 밸브의 포켓이 정지되는 메커니즘으로 구성되어 있으며, 이렇게 해야만 2차 압력이 강하더라도 조절스프링에 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 배기시켜 줌으로써 2차 압력의 설정치를 고압에서 저압으로 바꾸어주게 되며, 인위적으로 조절하기 어려운 2차 압력을 쉽게 변경시켜 준다. 압력조절장치를 설계하기 위해서는 다음식이 필요하다.

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

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

식 (1)과 (2)에서 힘의 평형방정식은 다음과 같다.

$$(K_{as}X_{as} - A_d P_2) + (A_{ps} P_2 - A_{pb} P_2) - K_{vs} X_{vs} = 0 \quad (3)$$

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

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

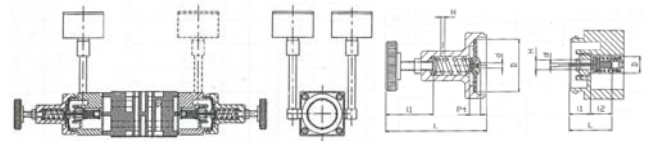
공기 소모량의 과다로 인하여 원하는 압력, P_2 가 강하하므로 밸브의 포켓 변위가 Δx 만큼 이동하므로, 2차측 압력이 P_2' 로 저하하는 경우는

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

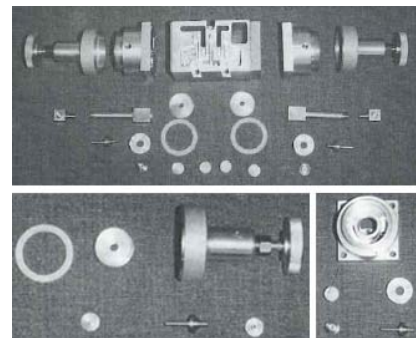
2차 압력 변화량은

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

가 된다. 식 (6)에서 A_d 가 클수록, 스프링상수 값이 작을수록 Δx 가 커져서 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 근거로 하여 원하는 압력, P_2 에 대한 다이어프램과 스프링 힘의 관계를 살펴보면 표 1과 같다.



(a) Design of Dual Supply Pressure Regulator



(b) Manufacture of Dual Supply Pressure Regulator

Fig. 1 Design & Manufacture of Dual Supply Pressure Regulator

Table 1 Relationship of Diaphragm & Spring Force

P_2 (kg/cm ²)	A_d (cm ²)	F_{as} (kgf)	F_{vs} (kgf)	$X_{as}=X_{vs}$ (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

3. Energy Saving형 공압제어시스템 개발

값이 싸고 제어성이 좋은 공기압 시스템은 산업계에서 널리 사용되고 있다. 그러나 사용자의 인식부족으로 인한 과대 설계로 에너지 절약 차원에서 역행하는 오류를 범하고 있다. 공기 소비량은 실린더 피스톤 단면적에 비례하여 증가하므로, 실린더 직경과 배관 크기의 최적 설계로 에너지 절약 문제를 해결할 수 있다. 이외에도 최근에는 이중 압력 조절장치를 부착하여 최적 설계된 공기압 시스템을 활용하여 공급 압력을 가변하여 절감하는 방법이 있다. 본 연구에서는 우선적으로 컴퓨터 프로그램을 이용하여 실린더 직경 및 배관 설계를 최적화하여 에너지 절약형 공압제어 시스템을 구성하는데 그 목적이 있다. 기존에 발표된 이론에 대하여는 컴퓨터 시뮬레이션 해석을 통해 입증하고자 하며 최적 설계에 필요한 자료를 데이터베이스화 하였다. 차후 실험을 통하여 본 연구의 타당성을 입증할 계획이다.

4. 최적설계 Software 개발

4.1. 실린더 상류측 회로설계

그림 2와 같이 구성된 회로에서 유체의 흐름을 정상상태로 가정하면, 압력과 유량은 시간에 대하여 일정하다. 순간적인 유량 흐름을 고려하기 위해서는 유체의 흐름이 충분히 느리다고 가정하여 각종 부품에 대한 유출능력 계수를 사용하여 공기의 체적유량에 대해 계산할 수 있다. 상류측 회로의 최대 체적 유량은 다음식에 의해 계산되어진다.

$$Q_1 = V_{max1} \cdot A_1 \cdot \frac{P_1}{P_0 \cdot \frac{T_0}{T_{atm}}} \quad (7)$$

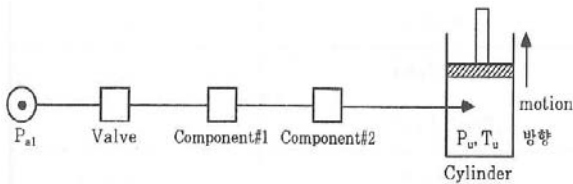


Fig. 2 The Higher Part Circuit Diagram of Cylinder

4.2. 실린더 하류측 회로설계

실린더 하류측 회로설계는 피스톤 속도가 일정하게 움직일 때, 배기되는 회로에 걸리는 Back Pressure 값을 찾아내어 하류측 회로를 설계하는데 그 목적이 있다. 그림 3은 실린더 하류측 회로 구성도를 나타낸다.

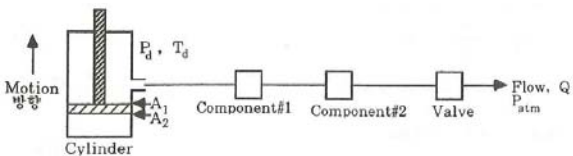


Fig. 3 The Lower Part Circuit Diagram of Cylinder

4.3. 실린더 피스톤 직경설계

피스톤 직경의 올바른 설계를 위해서는 실린더와 회로구성의 결합에 의한 시행착오의 반복과정을 거쳐서 결정할 수 있다. 먼저 힘 평형 방정식에서

$$F = P_1 A_1 - P_{c1} A_2 \quad (8)$$

여기서, P_{c1} 은 백압력, P_1 은 구동측 실린더내의 압력, A_1 과 A_2 는 피스톤 직경, F 는 전체 마찰력이다.

A_1 과 A_2 의 단면적의 비는 0.7~0.95이며, 따라서

$$A_1 = \frac{F}{P_1 - 0.9P_{c1}} \quad \text{or} \quad D_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{P_1 - 0.9P_{c1}}} \quad (9)$$

를 얻을 수 있다. 식 (9)에서 F 에 대한 계산법을 생각해야 한다. 마찰력은 크게 피스톤, 로드, 로드면에 부착되는 외부하중에 의한 마찰력, 가속에 의한 관성력, 피스톤과 로드짚에 의한 마찰력 등으로 나눌 수 있으므로 F_t 는 다음과 같이 표현된다.

$$F_t = P_1 A_1 - P_{c1} A_{c1} - M_t \cdot g \sin \theta - F_{ext} - M_t \cdot a \quad (10)$$

4.4. 공압회로 및 실린더 직경 설계 알고리즘

앞에서 살펴본 바와 같이 공기압 회로 및 실린더 직경 설계 이론식을 기초로 공기압 시스템의 최적 설계를 위한 프로그램은 다음과 같은 알고리즘에 의해 개발하였다.

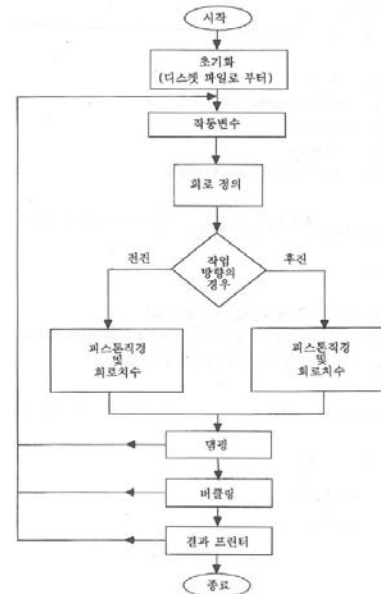


Fig. 4 Algorithm of Pneumatic Control System

5. 결론

본 연구에서는 샌드위치 타입의 이중압력 조절장치와 에너지 절약형 공압제어시스템의 최적설계 소프트웨어를 개발하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 샌드위치 타입의 이중압력 조절장치인 포켓 밸브와 릴리프 밸브의 설계이론을 정립하고 시제품을 제작하였다.
2. 샌드위치 타입의 이중압력 조절장치를 이용한 에너지 절약형 공압제어시스템을 구성하였다.
3. 에너지 절약형 공압제어시스템의 회로 및 시스템 설계이론을 정립하고, 최적설계 소프트웨어를 개발하였다.

후기

본 연구는 지식경제부와 에너지관리공단의 에너지자원기술 개발사업으로 진행중인 "압축공기시스템 에너지 절약 요소기술 개발" 과제 지원으로 이루어 졌으며 이에 관계자 여러분께 감사 를 드립니다.

참고문헌

1. J.Kain, C.Wartelle, "Dynamique des verins pneumatiques", september 1973, CETIM publication.
2. MILLER Fluid power company(USA), "Engineering aids and cylinder modifications", 7552-383, 1983.
3. PARKER Fluid power company(USA), "Selecting a stop-tube", 1980. industrial pneumatic technology p.65~68.
4. THOSHIHARU KAGAWA, "Temperature change of air in pneumatic system", in Fluid Power, 1993.
5. A.ROMITI, RAPARELLI, "Dynamic modelling and simulation of pneumatic systems", Fluid Power, 9th internation symposium, 1990.