

에너지 절약 시스템 공압 서보 액추에이터 개발

배성우[†], 김동수*, 김명섭**

Development of Pneumatic Servo Actuator for the Energy saving system

Sung-Woo Bae, Dong-Soo Kim, Myoung-Sub Kim

Key Words: Solenoid Valve(솔레노이드밸브), Servo Valve(서보밸브), Servo Cylinder(서보실린더), Filedbus system(필드 버스 시스템)

Abstract

The object of this paper is development of pneumatic servo actuator technique for energy saving type. In this paper, consist of pneumatic servo actuator technique is pneumatic servo valve, pneumatic motor and cylinder. This technique applied a automobile, aerospace engineering, a ship, defence industry and industrial machine because it have high response, high speed, high precision control, low friction etc., compare with previously technique. But it depend on import the whole quantity. So this study, suggest that through the development of servo actuator applicable the use of industrial field.

1. 서 론

공기압을 이용하는 기기는 현재 산업계와 사업장에서 흔히 볼 수 있는 기술이며, 거의 모든 회사에서 사용되며 여러 형태로 적용되고 있다. 즉, 공기압 기술은 거의 모든 산업분야를 포괄하는 기술이라고 볼 수 있다. 그러나 압축된 공기를 매체로 사용할 때 상당한 주의와 노하우가 필요하다. 현재 안전 기술적인 주의를 대부분 이루어지고 있지만, 매우 높은 에너지 함유량을 가지고 있는 공기압을 충분히 활용하는 기술력은 부족한 실정이다. 그리고 많은 경우에는 공기압을 만들기 위해 소요되는 에너지와 비용을 제대로 평가하고 있지 못하고 있다. 공기압 설비를 이용

할 경우 약 5~50%까지의 에너지 절약 효과를 볼 수 있으며 평균 감가상각 기간은 2년 미만이기 때문에 기업들에게 상당히 매력적일 수가 있다.

각각의 핵심기술은 공기압 밸브 그리고 고속, 저마찰 실린더 및 공기압 모터, 이중압력조절기 등으로 압축공기 에너지 절약 시스템의 요소 개발의 초석이 됨은 물론이고 자동차, 우주항공, 방산, 선박, 일반산업기계(인쇄, 섬유, 식품, 의료, 공작기계, 농기계, 프레스, 사출기 등) 및 반도체 장비 등의 자동화 라인 등 전 산업분야에 광범위하게 응용되고 있는 핵심기반 기술이다.

공기압 기술은 전기기술에 비해 큰 출력을 낼 수 있고, 전기 스파크에 의한 화재방지 및 에너지 낭비가 적고 장치의 Compact화가 가능하다는 점과 유압기술에 비해 보수유지가 쉽고 청결하며 동력원을 격리시킬 수가 있어서 진동, 소음이 적을 뿐 아니라, 에너지 가격은 전기:유압:공기의 비율이 1:4:10으로 비싸지만, 장치비 등의 가격이 저렴하여 성능대비 가격이 가장 우수한 기술이다.

작동유체인 압축공기는 압축성유체이고 윤활이

† 한국기계연구원 정보장비연구센터

E-mail : baesw@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7165 FAX : (042)868-7176

* 한국기계연구원 정보장비연구센터

** 한국기계연구원 정보장비연구센터

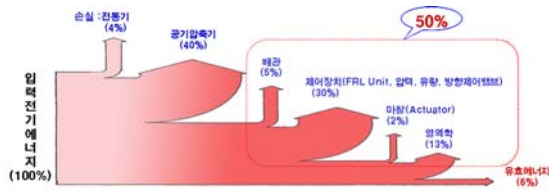


Fig. 1 Energy loss for Pneumatic system

중지 않아 마찰력이 크기 때문에 비선형성 특성을 갖는 시스템이다. 따라서 속도 및 정밀 위치 제어가 어렵다는 이유로 서보제어 시스템에서 제한된 부분에서만 사용되어 왔다. 최근에는 전자통신기술의 발달로 압축공기 시스템의 제어성 향상이 두드러져서 출력 1ton, 속도 3m/sec, ±0.01mm의 위치오차 범위의 전기와 유압의 중간 고유영역을 담당하고 있다.

따라서 본 연구에서는 에너지 효율을 증가시키기 위한 이중압력 조절 기능의 시스템 회로 구성 기술, 최적 시스템 설계 기술, 압축공기 시스템의 효율 극대화 기술, Solenoid의 저소비전력화 및 고응답화 기술, IT기술에의 접목화를 위한 Fieldbus기술, Spool 절환기술의 고속화와 고유출력능력화기술, 완충기술의 고성능화, 씰링 기술의 고 내구성화, Hybrid Bearing기술, 최적의 전자-공압식 초정밀 제어시스템의 구성을 위한 제어알고리즘 개발에 의한 통합시스템 구축을 제안하고자 한다.

2. 절전회로 부착형 On/Off 솔레노이드 밸브 개발

0.1watt급 절전회로는 0.35Watt On/Off 솔레노이드 밸브에 부착하여 소비전력을 0.1Watt로 낮출 수 있으며, 응답시간 3m/sec, 1억만회 정상 작동한 On/Off 솔레노이드 밸브는 포핏이 고응답의 반응 속도로 풀 스트로크를 낼 수 있도록 설계 하였으며, 이를 위해 솔레노이드에서 충분한 전하력의 힘이 발생 되도록 설계 하였다. 또한, 해석과 실험으로 설계의 타당성을 증명하여 시제품을 제작 하였으며, 포핏의 스트로크 변화에 따른 마이크로밸브 내부의 유동장 특성을 수치해석 하였다. 그 결과 마이크로 밸브 내부의 Path line과 정압분포, 동압분포를 Fig. 2에 나타내었다. 또한 포핏의 변위가 0.4mm 이내에서는 포핏 벽면에 작용하는 동압의 감소가 거의 없음을 확인 하였으며, 해석과 실험으로 설계의 타당성을 증명하

여 시제품을 제작 하였다.

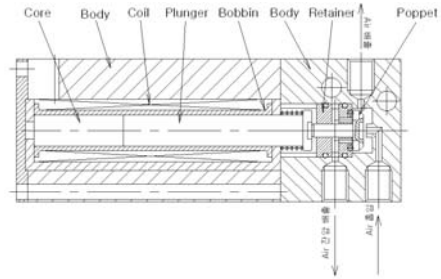


Fig. 2 Schematic Diagram of micro valve

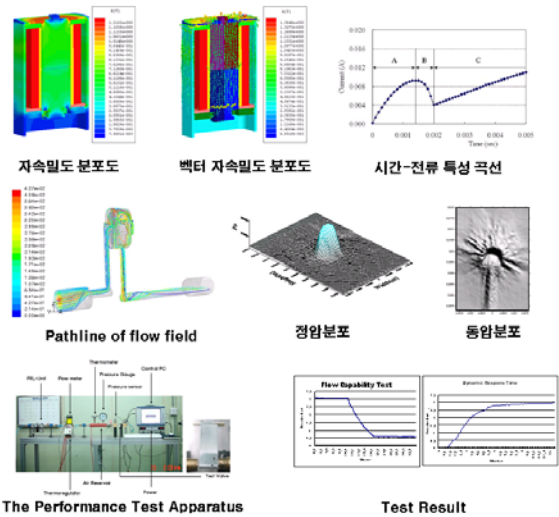


Fig. 3 Characteristics analysis and test result of Micro valve

3. 서보 밸브 개발

공기압 서보밸브의 핵심기술인 리니어 모터를 주파수 150Hz, 유량 800 l /min 급인 개발 사양에 맞춰 설계 후, 전자장 해석 및 시스템의 과도응답을 확인 하여 리니어 모터를 최적설계 하였으며, 서보밸브의 기구부 최적 설계를 위하여 스펴의 위치 변화에 대한 밸브내의 수치해석을 다양하게 수행하였다. 해석 결과를 기반으로 스펴 및 슬리브의 조합으로 이루어지는 밸브 기구부 최적설계, 제작 및 실험을 완료하였다. 스펴 및 슬리브와 밸브 Body 등의 시제품을 제작하여 150Hz 공기압 서보밸브용 리니어 모터 전용 디지털 제어기와 위치 측정을 위한 홀 센서를 개발 하였으며, 기존의 공기압 서보 밸브의 제어 방식을 분석하고 이를 바탕으로 응답성능을 개선할 수 있는 디지털 제어 방식을 사용하여 설계, 제작 및 특성을

시험하였다. 또한 종합성능 및 신뢰성 시험을 수행할 수 있는 시험기를 설계 및 제작하였으며, 국내 공기압 서보밸브의 성능시험 규격이 없어, 외국의 JIS, MIL, ISO 등의 국제 규격을 기반으로 공기압 서보밸브의 종합성능 및 신뢰성 평가 항목을 결정하고, 성능시험 방법 및 세부 기술에 대해 정리하였으며, 성능시험을 위해 전용 S/W를 개발하여 시제품의 평가를 수행하였다.

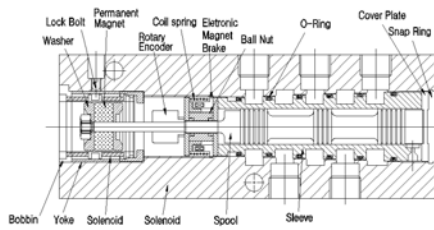


Fig. 4 Schematic Diagram of Servo valve

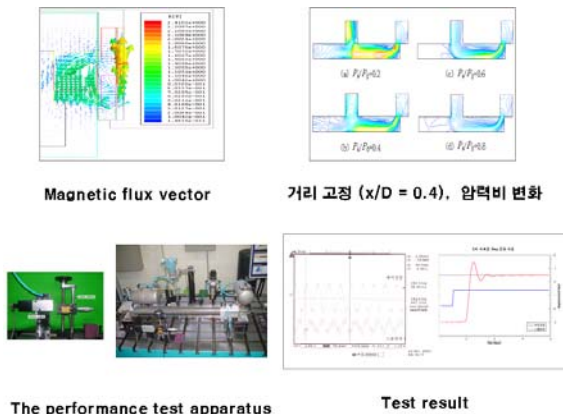


Fig. 5 Characteristics analysis and test result of Servo valve

4. 서보 실린더 개발

100% Seal이 없는 고성능 쥘리스 실린더의 핵심기술인 Hybrid Bearing 기술을 개발에 맞춰 누설유량을 최소화하기 위하여 왕복 운동하는 쥘리스 실린더에 대한 2차원적 레이놀즈 방정식을 유도하고, 유한차분법에 의해 그 해를 구하는 방식으로 해석을 수행하였다. 또한, 정밀가공 기술을 통하여 실린더 직경 50mm, 스트로크 500mm, 작동압력 8bar의 쥘리스 실린더를 제작 및 특성을 시험하였다. 종합성능 및 신뢰성 시험을 수행할 수 있는 시험기를 설계 및 제작하였으며, 향후 피스톤의 유형 및 특성 등을 분석하여 다양한 실험을 하고 발생하는 누설유량을 감소시키고 고 정밀 가공을 통하여 고성능의 쥘리

스 실린더를 제작할 수 있는 최적의 설계 조건을 제시하고자 한다.



Fig. 6 Schematic Diagram Fluidics Muscle

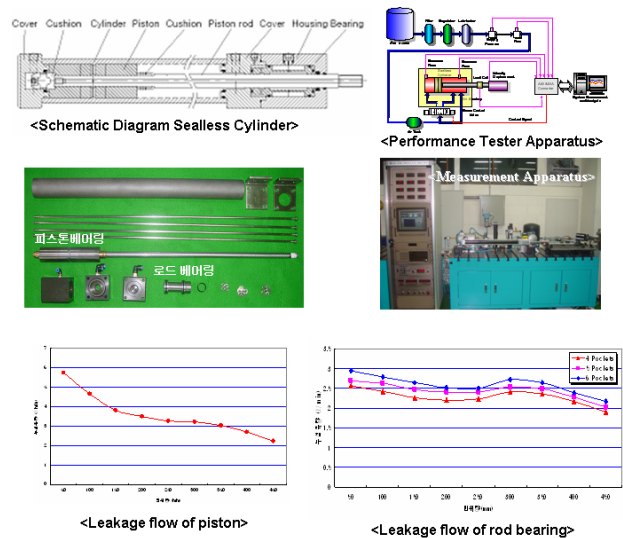
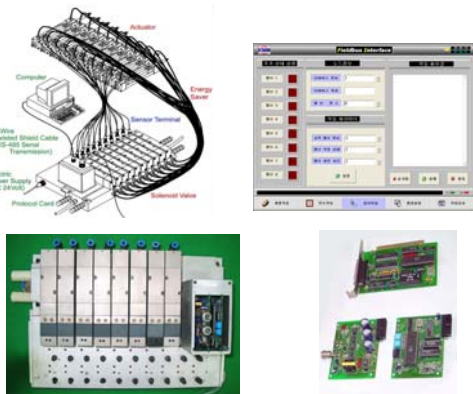


Fig. 7 Characteristics analysis and test result of Sealless Cylinder

5. 필드버스 시스템 개발

필드버스 시스템 구성을 위하여 RS-485멀티 드롭방식에 의한 네트워크를 구축하고 중앙의 제어 컴퓨터에서 각 솔레노이드 밸브 및 센서 신호를 2km까지 원거리를 제어할 수 있는 시스템을 개발하였다.

통신망 구축을 위하여 중앙 제어 장치 및 공기압 시스템 사이의 인터페이스를 위한 하드웨어 모듈을 설계/제작 하였으며, 체계적이고 효율적인 시스템 구축이 가능하며 또한 시스템의 확장이 용이하도록 사용자 인터페이스를 설계/제작 하였다. 또한 수집된 데이터로부터 시스템을 효율적으로 제어할 수 있는 응용 프로그램을 개발하였다.



| | | | | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 통신케이블 길이(m) | 500 | 700 | 900 | 1,100 | 1,300 | 1,500 | 1,700 | 2,000 |
| 솔레노이드 밸브의 정상 작동 여부 | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 | 정상 |

Fig 8. Development Result of Fieldbus system

4. 결론

본 연구에서는 에너지 절약형 서보 액추에이터 개발을 위해 On/Off 솔레노이드 밸브, 서보 밸브, 서보 실린더, 필드버스 시스템 개발 및 성능평가를 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. On/Off 솔레노이드 밸브의 핵심기술인 Solenoid Actuator, Popper Mechanism 기술을 개발하였으며, 0.1watt 급 절전회로를 개발하여 에너지 절감효과를 얻을 수 있었다.

2. 서보밸브의 핵심기술인 Force Motor를 설계 및 제작하였으며, 상용해석 프로그램을 이용하여 전자장 해석 및 시스템의 과도응답을 확인하였고 Spool의 유동해석을 위한 프로그램을 개발하여 Spool Mechanism을 개발하였으며 전압 분배부, 솔레노이드 밸브 구동부 제어 기술 개발을 통하여 공압 누출을 최대한 방지하였다.

3. 서보 실린더 개발을 위해 쿠션 설계 기술 및 열역학적 해석을 통하여 각각의 설계 인자 관계를 규명하여 저마찰 실린더를 개발하였다.

4. 저 노이즈형 Filedbus 시스템 구성을 위하여 S/W Expert System을 구축하고 중앙의 제어 컴퓨터에서 각 솔레노이드 밸브 및 센서 신호를 제어할 수 있는 시스템을 개발하여 중앙 제어 장치

및 공기압 시스템 사이의 인터페이스를 위한 하드웨어 모듈을 설계 제작하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 에너지절약과제인 “IT기반 첨단 공압 제어밸브/실린더 시스템 개발” 과제 지원으로 연구되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) B. J. Sung, E. W. Lee and H. E. Kim, "Empirical Design of an On and Off Type Solenoid Actuator For Valve Operation", *KIEE International Trans on EMECS*, Vol 4-B, No. 2, pp39~46, 2004
- (2) Andersen, B. W., 1967, "The Analysis and Design of Pneumatic Systems," *John Wiley & Son Inc.*, pp. 48-61.
- (3) Green, W. L., 1970, "The Poppet Valve-Flow Force Compensation," *Proceedings of Fluid Power International conference*, pp. S1-S6
- (4) G. Tao, H.Y. Chen, Y.Y. J and Z.B. He, 2002, "Optimal design of the magnetic field of a high-speed response solenoid valve," *J. Materials Processing Technology*, Vol. 129, pp. 555-558.
- (5) Bruno Lequesne, 1990, "Fast-acting long-stroke bistable solenoid with moving permanent magnets," *IEEE Trans. Industrial Application*, Vol. 26, No. 3, pp. 401-407.
- (6) Bruno P. Lequesne, 1998, "Finite-Element analysis of a constant-force solenoid for Fluid flow control," *IEEE Trans. Industrial Application*, Vol. 24, No. 4, pp. 574-581.
- (7) Belforte G., Raparelli T., Mazza L. and Trivella A., 1999, "Analysis and design of pistons for sealess pneumatic cylinders", *Fluid Power, Forth JHPS International Symposium*, pp459~464.
- (8) Belforte G., Raparelli T., Ferraresi C. and Trivella A., 12-13 March 1996, "New design of

low friction cylinders", *12 Aachene fluidtechnicshes kolloquium*, Aachen, Germany, pp629-642

(9) P. Pleinevauxa and J. D Decotignie, May 1998, "Time Critical Communication Networks Field Buses", *IEEE Networks*, pp. 55~63. Vol.2. No.3

(10) J.G Bollinger and N. A. Duffie, May 1983, "Data-Driven automation 4: Enabling Hardware", *IEEE Spectrum*, pp.70~73