

공압 Servo Actuator 기술개발 및 동향



김 동 수(KIMM 산업기술연구부)

- '81 - '87 영남대학교 기계공학과(학사)
- '88 - '89 삼미종합특수강(주) 기계부기사
- '89 - '91 영남대학교 기계공학과(석사)
- '97 - '00 영남대학교 기계공학과(박사)
- '91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 공압 Servo Actuator의 개요

FA, FMS 생산시스템은 소량·다품종 및 신속한 동작의 수요를 충족하기위한 생산기계 등에서 사용되어지고 있다.

비록 공압 servo actuator가 완전자동화시스템에 중요한 장점을 제공하고 있지만 작동상태의 다양성 및 제어 안정성은 개선되어야만 한다.

특히 서보모터와 같은 전기 actuator는 그들의 뛰어난 제어 및 안정성에서 경쟁이 강화되고 있다.

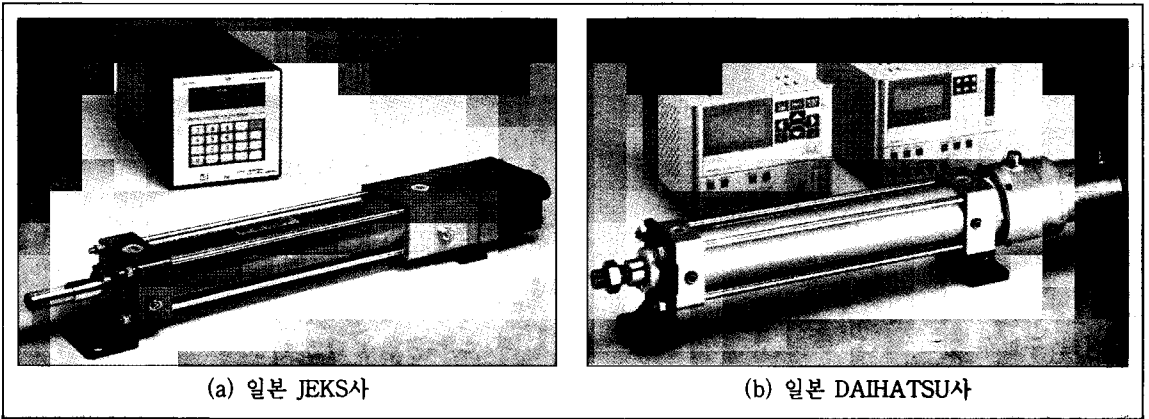
공압 servo actuator의 위치정확도 및 제어성은 실린더에 더 좋은것, 즉 마이크로 컴퓨터와 전자 제어 등의 인터페이스를 첨가시킴으로써 개선될 수 있겠다.

이를 위한 방법으로 LVDT를 실린더의 피스톤로드에 내장하여 position control 하는것과, 일반실린더에 공압 servo valve를 사용하여 제어하는 방법 및 일반 valve를 사용하고 실린더의 피스톤로드에 ball screw를 내장하고 rotary encoder를 연결하여 위치제어하는 방법 등이 있으나, 본 연구에서는 마지막 경우를 채택하여 개발하였다.

일본의 경우 DAIHATSU(주)와 JEKS(주) 등에서 상용화하고 있으며 아래 그림 1과 같다.

본 연구에서는 위의 가능성을 조사하기 위하여 공기압실린더의 피스톤로드를 중공축으로하여 피스톤면에 볼너트를 체결하여 볼스크류를 로드내로 들어가게하여 로타리 엔코더를 체결 위치신호를 받도록 하였다.

그림 3에서와 같이 피스톤이 전후진 직선운동



(a) 일본 JEKS사

(b) 일본 DAIHATSU사

그림 1. 공압 서보 액츄에이터 개략도

을 할 때 볼너트와 볼스크류는 회전운동으로 바뀌고 ball serew축에 zero backlash coupling으로 체결된 로타리 엔코더는 피스톤의 속도를 나타내는 피이드백 신호를 회전운동으로 제공받아 모니터링하게 하였다. 볼스크류는 5mm의 리이드피치로써 이때 로타리엔코더는 500pulse/1revolution이며, 이 시스템의 레질류션은 0.01mm/pulse이다.

또한 limit switch를 사용하여 피스톤에 부착된 magnetic band와 마주칠 때 원점위치를 측정하도록 설치하고, ball screw축을 gripping 하고 해제하는 역할을 하도록 전자 브레이크 (Response Time : 30msec)를 부착하여 시스템을 구성하였다.

컴퓨터는 실린더가 작동될 때 재래식 공압회로에서 단순하게 공압솔레노이드 밸브(Response Time : 25msec)와 브레이크를 제어하도록 하였으며 압축공기는 피스톤의 양쪽면에 공급되어 감속이나 브레이킹에 도와주는 역할을 하도록 했으며, 엔드캡 양쪽에 쿠션기구(Multiple Orifice Type)를 설치하여 감속함으로써 제어성을 향상시켰다. 컴퓨터는 로타리 엔코더의 위치신호, 리미트 스위치신호 및 명령모듈(솔레노이드밸브와 전자브레이크)을 받아들이고 display와 print 등 감시 시스템의 성능을 도와주는 역할을 하도록 하였다.

2. 설계이론 및 시제품 제작

2.1 Servo Actuator의 Ball Screw에 미치는 토오크 계산

공압 servo actuator mechanism 내의 구조는 압축공기에 의한 피스톤의 전·후진 직선운동시 볼스크류의 회전운동이 로타리 엔코더에 전달되어 위치 신호를 발생하도록 되어있으며, 이때 볼스크류에 미치는 정확한 torque값을 계산하여야만 위치정지 역할을 하는 electromagnetic brake의 gripping force를 선정할 수 있기 때문에 중요한 factor가 된다. 따라서 본 연구에서 개발된 서보 액츄에이터내에 장착된 볼스크류에 미치는 torque 계산은 아래와 같다.

$$T = \eta \frac{d}{2} \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (P_1 - P_2) \frac{t - \mu \pi d}{\pi d + \mu t} \right\} (Kgf \cdot cm) \quad (1)$$

여기서, T = 출력토오크

η = 효율(80%)

D = 실린더 Tube내경(8cm)

d = 나사부 직경(1.2cm)

P_1 = 공급압력(5Kgf/cm²)

P_2 = 배기압력(1Kgf/cm²)

μ = 나사의 마찰계수 (0.004)

t = 나사의 피치(0.5cm)이다.

식(1)에 개발한 사양의 값을 대입하여 풀면 torque는 5.24Kgf.cm이고 이때 force는 6.9Kgf이다.

따라서 electromagnetic brake의 force는 6.9Kgf 이상이어야 제기능을 발휘할 수 있겠다.

2.2 Servo Actuator의 Piston Rod 강도계산

실축일때와 중공축일때의 강도계산은 다음식에 의해 구할수 있다.

$$\text{좌굴하중, } P_{cr} = \frac{\eta \pi^2 EI}{l^2} \text{-----}(2)$$

여기서, 고정계수, $\eta = \frac{1}{4}$

극관성 단면 2차 모멘트 계수, $I = \frac{\pi d^4}{64}$

Young Modulus, $E = 2.09 \times 10^6 \text{Kgf/cm}^2$

$$\text{응력, } \sigma = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{4P_{cr}}{\pi(D^2 - d^2)} \text{-----}(3)$$

본 연구에서 piston rod의 외경 및 내경을 결정하기위해 식(2)를 이용하여 구한 결과는 다음과 같다.

개발사양인 $d = 1.4\text{cm}$, $D = 2.8\text{cm}$, $l = 58\text{cm}$, $F = 300\text{Kgf}$ 을 식(2)에 대입하여 풀면

좌굴하중 $P_{cr} = 2650\text{Kgf}$ 이다.

여기에 걸리는 응력, $\sigma = 633\text{Kgf/cm}^2$ 이므로

$F < \sigma$, 즉 $300\text{Kgf} < 633\text{Kgf}$ 이므로 설계상의 문제점은 없다. 따라서 위식에 의해 계산된 값으로 피스톤 rod를 설계제작하였으며 그림 2와 같다.

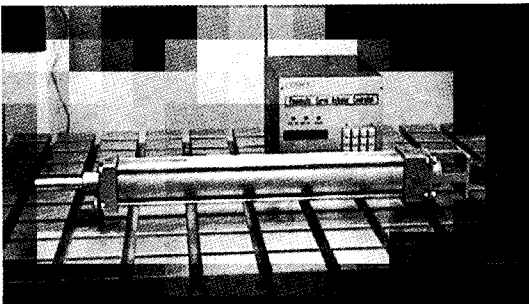


그림 2. 개발된 공압 서보 액츄에이터 시제품사진

2.3 Servo Actuator Controller 설계

앞절에서 설명한바와 같이 servo actuator는 압축공기가 piston에 공급되어 직선운동을 할 때 피스톤 rod부에 장착된 ball screw가 회전운동을 하며, ball screw축에 연결된 coupling에 의해 로타리 엔코더의 회전 신호를 controller의 CPU에 입력값으로 받아들이고 목표하는 위치에 도달했을 때, 공압솔레노이드밸브에 OFF신호와 electromagnetic brake에 ON 신호를 출력하여 위치를 제어하는 시스템으로 구성하였다. 원점 위치는 피스톤에 장착된 전자석 band가 리미트 스위치 위치에 도달했을때 입력신호로 받아들이도록 설계제작 하고 control unit회로를 구성하였다.

회로설계는 전면 panel에 indicator(위치, 동작 lamp)와 설정(digital switch, 원점위치, 이송속도, 위치구분)으로, 내부에는 digital switch와 감속위치, 뒷면에는 단자대, 제어출력(전자밸브, 전자브레이크), 위치신호입력(로타리엔코더, 근접스위치) 및 제어신호(동작허가 입력, start신호)로 회로를 구성하여 설계제작하였다.

또한 작동 mode는 reset동작, 설정위치동작, step동작, cycle동작 및 외부설정동작으로 선정하였다.(그림 3참조)

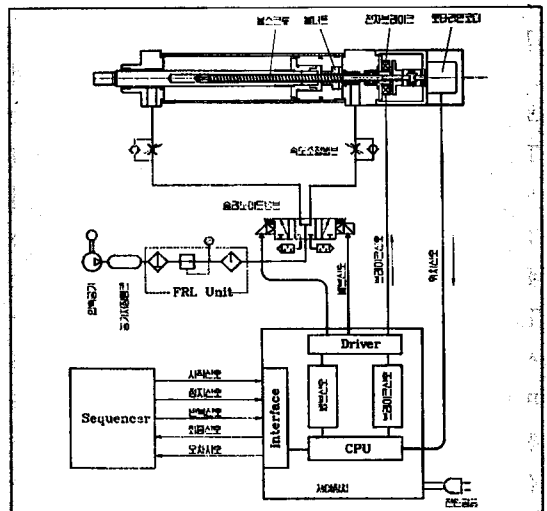


그림 3. 공압 서보액츄에이터 제어회로도

3. 성능시험 방법

- 1) 개발된 공압 servo actuator를 test system에 고정한다.
- 2) Controller에 cycle동작 및 step동작 등의 model을 선정한다.
- 3) Air를 공급하고 control unit를 동작시킨다.
- 4) Sequence program에 입력된 작동 순서대로 전진시 솔레노이드밸브를 동작시킨다.
- 5) 제어하고자하는 위치에 도달했을때, 동시에 solenoid valve를 OFF시키고 electromagnetic brake를 ON 시킨다.
- 6) 이와 같은 방법으로 반복실험을 수행한다.

4. 성능시험결과 및 결론

다양한 피스톤속도에서 공압 서보 액추에이터 시스템의 위치정확도를 결정하기 위하여 여러번의 실험을 수행하였다. Micro computer의 CPU에서 최종위치명령의 오브슈트를 기록함으로써 명령위치에서 얻어진 브레이크 신호시간에서 결정된 자체 학습제어절차를 개발하였다.

하중이 없고 최종제어위치에서 전자 브레이크로 브레이킹할 때 최종위치로부터 피스톤로드의 오버런 및 500mm행정의 속도곡선에 대해 나타내고 있으며 전자브레이크는 최고속도 442mm/sec까지 gripping이 가능함을 나타내고있다.(그림 4, 5참조)

마지막으로 하중이 없는 상태에서 전자브레이크를 사용하여 500mm행정의 평균속도와 위치에러의 관계를 나타낸 곡선으로 위치 정확도는 $\pm 0.2\text{mm}$ 임을 알수있다.(그림 6 참조)

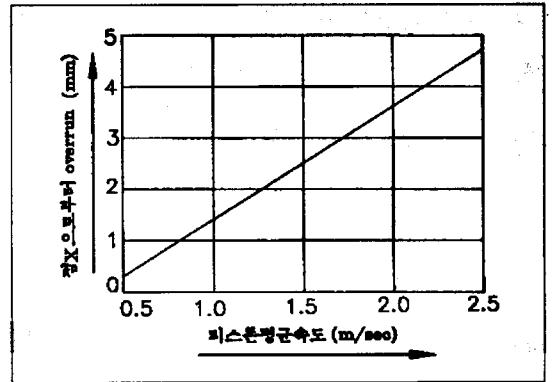


그림 4. 최종 위치에서 브레이크 신호로부터 피스톤로드의 오버런

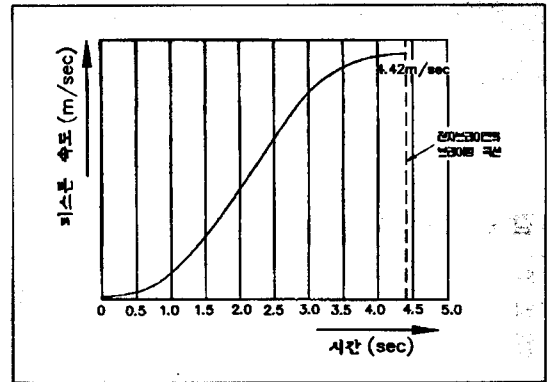


그림 5. 전자브레이크의 브레이킹 속도곡선

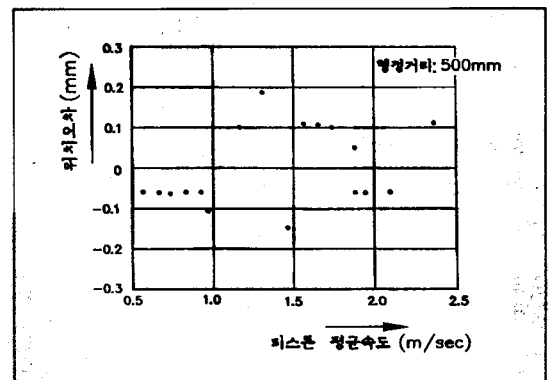


그림 6. 평균속도와 위치에러(500mm행정)