

## 공기압 실린더의 위치제어기 선정에 관한 연구

김일수\*, 김기우\*\*, 정영재\*, 손준식\*\*\*, 송창재\*\*\*, 박주석\*\*\*\*

### A Study on the Selection of Controller for Position of a Pneumatic Cylinder

Ill-Soo Kim\*, Ki-Woo Kim\*\*, Young-Jae Jeong\*,  
Joon-Sik Son\*\*\*, Chang-Jae Song\*\*\*, Ju-Seog Park\*\*\*\*

#### Abstract

This paper concentrates on the position control of a pneumatic cylinder under parameter variation. A closed-loop control is proposed to design the different controllers(P, PI, PID, PD controller) in order to choose the best controller based on the fast and accurate control of the system. It is shown that the control algorithm is robust and effective in attaining the fast and accurate position control of system under time-dependent parameter variation. Experimental results showed that PD controller law is effective to obtain the fast response and to increase the stability of the system. The method is a useful control algorithm which always automatically adjusts the position control in accordance with the error, using carrier wave of triangle type regardless of changes on the operating condition and physical differences between components.

#### Key Words :

### 1. 서 론

현재 공압 응용기술은 생산공정의 무인화를 위한 제어 기술, 생산성 향상, 원가절감에 따른 이익 극대화, 제품의 품질 균일화에 중심적 위치를 차지하고 있다. 기계 자동화의 형태는 기계 구조위에서 실린더, 모터 등이 동작하

고 이를 감지하여 제어장치가 제어하고, 대부분의 제어는 전기, 전자에 의존하고 있으나 이를 배제하는 시스템에서는 순수 공압에 의한 제어를 한다. 그러나 공압시스템의 증가 추세에도 불구하고 공기의 압축성으로 인하여 정밀 제어에 많은 어려움이 있으며, 이는 곧 제품의 품질에 영향을 미치므로 공압에 서보시스템이 적용되고 제어방식

\* 목포대학교 공과대학 기계공학과  
\*\* 광주직업훈련원  
\*\*\* 목포대학교 공과대학 기계공학과 대학원  
\*\*\*\* 목포기능대학

에 있어서도 정밀도를유지하기위하여 여러 가지 제어방법에 관한 연구가 수행 중에 있다. 공압시스템의 최적 위치 제어에서 시간지연 및 오차는 제품의 품질과 생산성을 저하시키므로 이에 대한 개선이 필요하게 되어, 이에 관한 연구가 필수적으로 요구되고 있다.

자동화장치로서의 공압시스템이 단순 온오프동작(on-off action)만으로는 만족할 수 없으므로 위치제어의 개념이 도입되었고, Shearer<sup>(11)</sup>에 의해 처음 공압시스템에서의 위치제어가 시도되었으며 Huu<sup>(2)</sup>에 의해 공압 서보밸브를 사용한 위치제어에 대하여 연구되었으며, Lu<sup>(3)</sup>는 온오프 밸브를 사용한 공압시스템을 제안하였다. 또한 Cho와 Lee<sup>(4)</sup>는 PD제어기와 수정된 온오프 제어기를 사용한 dead band, pulse band를 도입한 위치제어를 구현하였으며, Won<sup>(5)</sup>은 3축 매니퓰레이터를 구성하고 온오프 밸브를 사용한 위치제어를 수행하였다. Chin<sup>(7)</sup>은 TDC이론을 적용한 위치제어에 관하여 연구하였고, Lee<sup>(6)</sup>는 온오프 밸브를 사용하여 공압구동기의 성능을 검증하고 이들 공압구동기를 조합하여 3축 매니퓰레이터를 구성하여 성능을 규명하였으며, 공기압 서보시스템의 시뮬레이션 및 위치제어를 수행하였다.

Sanville<sup>(8)</sup>은 공압 밸브의 유량 특성을 규정하는 연구를 행하였으며, Theorin<sup>(9)</sup>은 On-off 밸브의 효과적인 개폐방법을 제안하고 이를 사용하여 위치제어와 압력제어를 하였다. Pu<sup>(10)</sup>는 스플 밸브의 특성을 규명하여 공압시스템 설계를 위한 이론적인 해를 발표하였다. 한편, 수학적 모델의 부정확성에 따라 모델링이 요구되지 않는 제어방법에 대한 연구가 많이 시도되어졌다. 개폐식 밸브를 사용한 제어로는 지금까지 주로 펄스폭 변조(PWM)가 주로 사용되었으며, Eun과 Cho<sup>(11)</sup>는 보조탱크 및 보조유로써 안정성과 정확도를 높이기 위한 연구를 했고, Eun et. al.<sup>(12)</sup>는 펄스 폭(pulse band)을 도입한 수정된 PWM으로 정착시간을 줄이고 응답속도를 빠르게 하였다.

Takashashi<sup>(13)</sup>는 전기 유압식 서보모터 시스템에 부하 및 오일온도와 같은 매개변수의 변화에 무관하게 모터 회전각이 모델출력을 따르도록 제어입력을 발생시켜 시스템에 보내는 MRAC(Model Reference Adaptive Control)를 적용하였다. 그러나, MRAC를 적용시에는 응답특성이 매순간 추정된 매개변수에 의해 크게 좌우되어 안정성 문제가 대두되고, 계산시간이 길어 보다 큰 샘플링 시간이 요구되는 단점이 있다. Watton<sup>(14)</sup>은 서보 밸브/실린더 위치제어 시스템에 공급압력이 변해도 시스템 응답의 초기부분이 원하는 값을 갖도록 제어기 게인을 조절하

여 공급압력에 무관하게 일정한 응답을 얻고자 자기동조법(self turning scheme)을 적용하였다. Hong<sup>(15)</sup>은 Watton<sup>(14)</sup>의 이론을 서보 밸브/모터 위치제어 시스템에 적용하여 초기상태의 응답은 PID에 비해 좋은 성능을 얻었으나, 오버슈트와 정상상태 오차가 발생하는 단점이 있었다. Ahn<sup>(16)</sup>은 GPC(Generalized Predictive Control)를 전기 유압식 서보모터 성능을 얻었으나, 매 스텝마다 매개변수 추정 및 최적 제어입력계 계산시간이 필요하다는 단점이 있다.

본 연구의 목적은 공압시스템의 위치제어를 하는데 있어서 시스템이 주변 상황의 변화에 관계없이 정확하고 빠른 제어성능을 보일 수 있는 제어기(controller) 선정에 있다. 이를 위하여 공압실린더는 왕복 운동시 동일한 속도를 유지하기 위하여 로드레스 실린더(rodless cylinder)를 사용하였으며, 제어시간을 측정하기 위하여 LG산전(주)의 Master-K500의 PLC를 선정하여 시스템에 전압변환(DC 0~10V) 및 일정한 시간유지를 하였고 선형 포텐서 미터를 이용하여 공압 실린더의 위치변화를 측정하고 선형 포텐서 미터에서 출력되는 전압을 A/D변환시켜 컴퓨터로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 또한, 기준이 되는 두 지점 4V와 8V를 선정하고 충분한 조정시간을 위해 4초의 지연시간 간격을 두어 두 지점간의 이동시 안정된 제어시간을 측정하였고, 부하를 변화시켜 제어시간을 측정하였다. 4개의 제어기(P, PI, PID 및 PD)를 선정하여 5단계의 부하(1, 2, 4, 6, 8kg)를 변화시키면서 각 제어기마다 제어시간을 측정하였으며, 이 결과를 이용하여 각 제어기의 제어성능을 비교분석 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시스템 구성

본 실험에 사용된 실험장치는 서보공압 시스템으로써, 실험장치 구성도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1은 공압 서보 시스템으로 로드레스 실린더와 서보 밸브, PID 제어기, 일정한 전압과 지연시간을 공급하기 위한 PLC, data변환을 위한 A/D변환기, 실린더의 동작을 감시하는 선형 포텐서미터, 동작결과를 출력하기 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. 시스템의 환경을 변화시키기 위해 추를 1kg<sub>f</sub>, 2kg<sub>f</sub>, 5kg<sub>f</sub>을 조합하여 사용하였다.

Fig. 2는 구성된 공압시스템을 이용하여 부하변화시 공압실린더의 동작상태를 측정할 수 있는 순서도를 나타내며 다음과 같다.

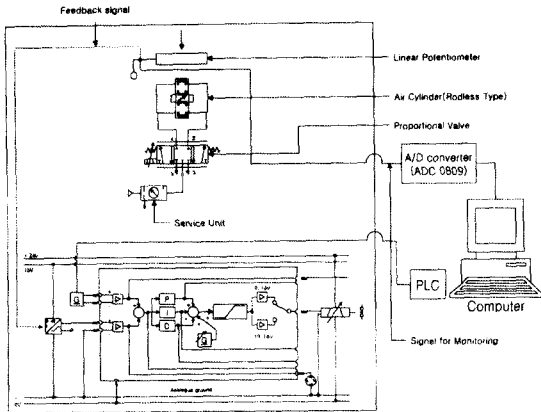


Fig. 1 Schematic diagram of experiment equipment

Preparatory Work

- Assemble the closed-loop control system
- Check the circuit
- Switch on the electrical power supply
- Switch on the compressed air
- Initialize the controller
- Set the range selector switch(0~10V)

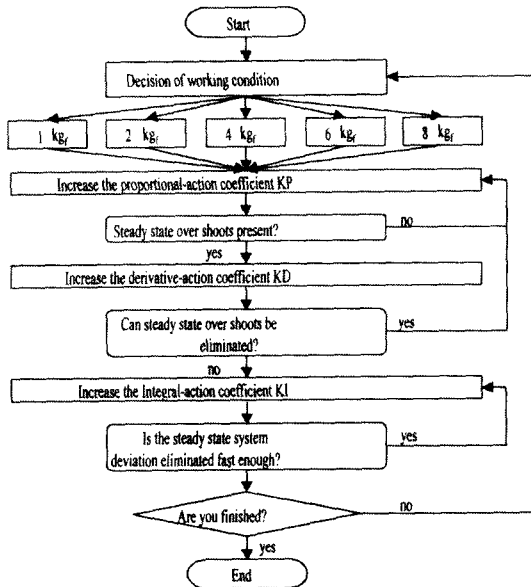


Fig. 2 Flow chart of PID control system for the different loads

2.2 실험방법

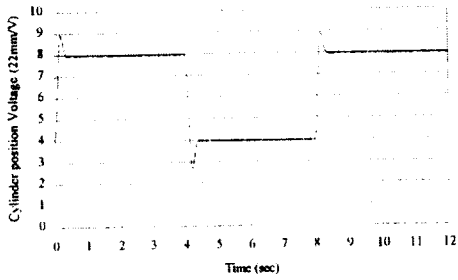
부하변화에 따른 연속적인 동작 상태를 측정하기 위해 제어 시스템을 Fig. 1에서 보는 것과 같이 페루프 제어 시스템을 구성하였다. 시스템에 중량부하 조건을 1kg, 2kg, 4kg, 6kg, 8kg으로 단계별로 증가시키고 공기압은 5bar로 유지하였다. 각각의 조건에 대하여 P, PI, PD, PID 제어를 실시하였다. P제어기는 제어기의 모든 변수를 "0"으로 설정 한 후 비례계수 ( $K_p$ )값을 점차 증가시키면서 동작의 정상상태를 관찰하여 최적의 상태를 찾는다. PD제어기는 적분계수 ( $K_i$ )값을 "0"으로 설정한 후 제어기에서 결정한 비례계수 ( $K_p$ )값을 참조하고, 미분계수 ( $K_d$ )값을 점차 증가시키면서 시스템 편차(system deviation)를 수정하기 위해 비례계수 ( $K_p$ )값을 다시 조절하여 동작의 정상상태를 관찰하며 최적의 상태를 찾는다. PI제어기는 적분계수 ( $K_i$ )값을 "0"으로 설정한 다음 결정한 비례계수 ( $K_p$ )값을 참조하고, 적분계수 ( $K_i$ )값을 점차 증가시키면서 정상상태를 관찰하며 최적의 상태를 찾는다. PID제어기는 4)~6)에서 결정한 각각의 매개 변수값을 설정한 후 동작 상태를 측정하였다. 시스템의 정정 시간을 고려한 동작상태를 측정하기 위해 각 동작간에 임의의 시간인 4초의 지연을 주었다.

2.3 실험결과 및 고찰

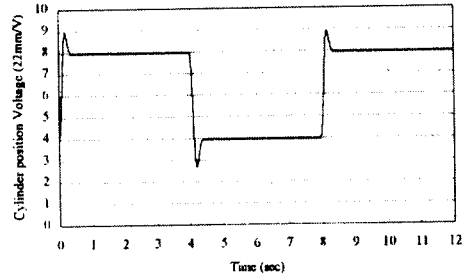
Fig. 3~7은 초기값을 4V로 시작하여, 4초 간격으로 4V에서 8V로 반복하여 증감시키면서 부하를 1, 2, 4, 6, 8kg까지 변화시켜 실린더 로드를 동작시킬 때 12초 동안에 P제어, PI제어, PID제어, PD제어에서 제어된 상태를 나타낸 것이다. 부하가 0kg에서 8kg으로 변할 때 (a)는 P제어기, (b)는 PI제어기, (c)는 PID제어기, (d)는 PD제어기를 사용하였을 때의 실험결과이다. Fig. 3~7에서, P제어와 PI제어에서는 전압(위치)이 바뀌는 지점에서 가속의 영향으로 과도응답의 변화를 나타내며, 반면에 PID제어와 PD제어에서는 저전압(위치)에서 과도응답의 변화가 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 부하가 0kg에서 8kg으로 변화할 때 PI제어에 전압의 변화가 심한 것을 알 수 있었으며, PD제어에서 가장 안정적인 위치제어를 수행하고 있는 것을 실험결과에서 알 수 있었다.

3. 제어기 선정

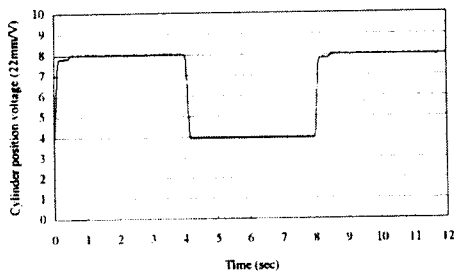
본 연구는 공기압 실린더 위치제어에 필요한 최적 제어기를 선정하기 위하여 부하가 0kg에서 8kg으로 부하변화



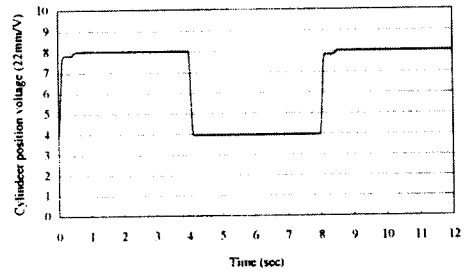
(a) P controller



(b) PI controller

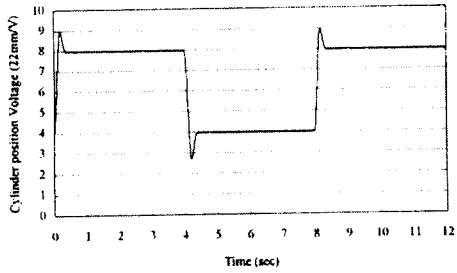


(c) PID controller

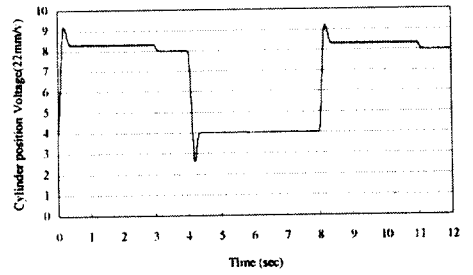


(d) PD controller

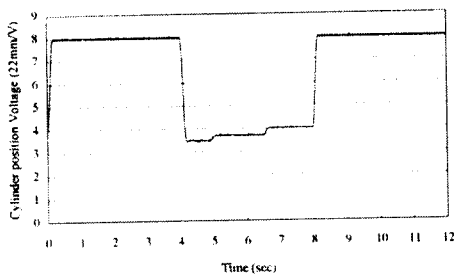
Fig. 3 Experimental results for load 1kg



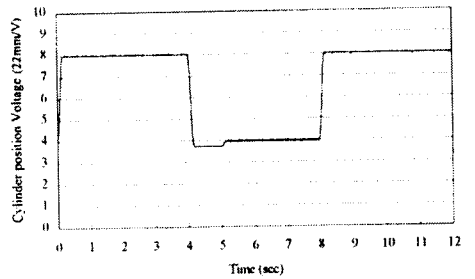
(a) P controller



(b) PI controller

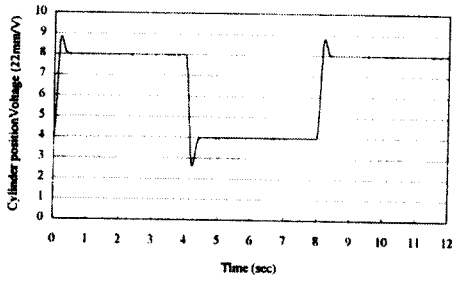


(c) PID controller

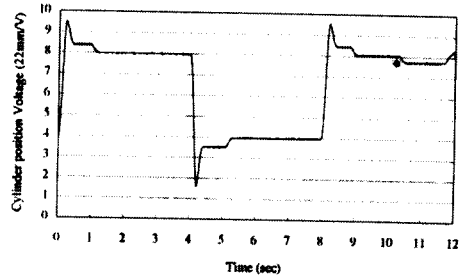


(d) PD controller

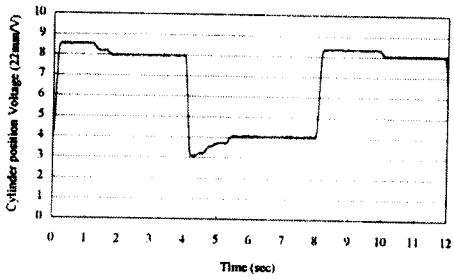
Fig. 4 Experimental results for load 2kg



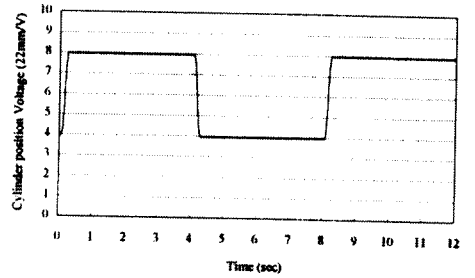
(a) P controller



(b) PI controller

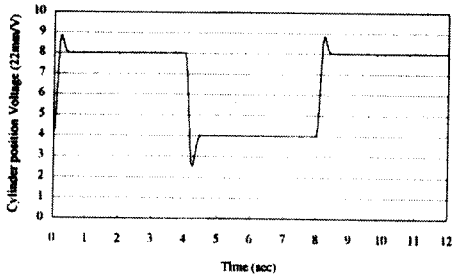


(c) PID controller

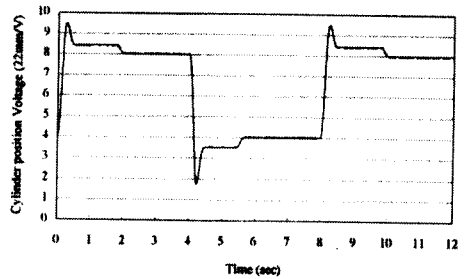


(d) PD controller

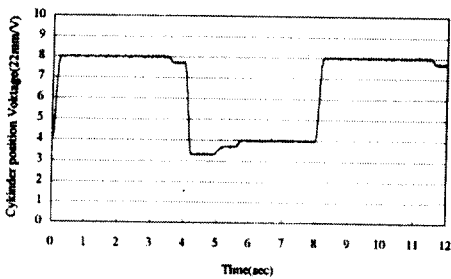
Fig. 5 Experimental results for load 4kg



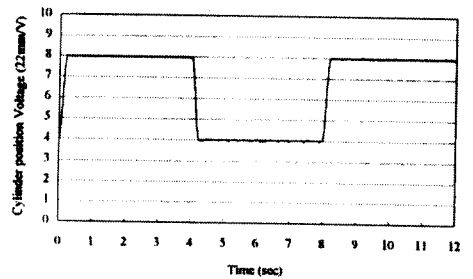
(a) P controller



(b) PI controller



(c) PID controller



(d) PD controller

Fig. 6 Experimental results for load 6kg

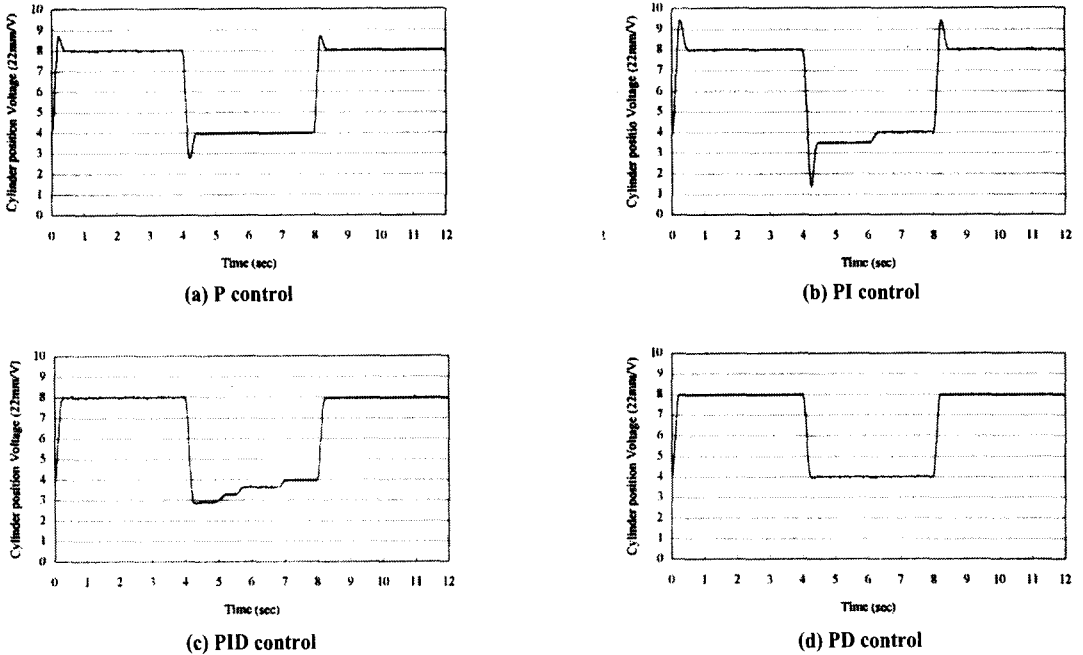


Fig. 7 Experimental results for load 8kg

를 기초로 하여 정확한 위치, 시간 및 안정적 동작을 선정 기준으로 하였으며 공압실린더에 부착된 선형 포텐서미터에서 공압실린더의 위치 변화에 따라 출력된 전압변화에 대하여 P, PI, PID 및 PD제어 실험결과를 합성하여 Fig. 8에 나타내었다.

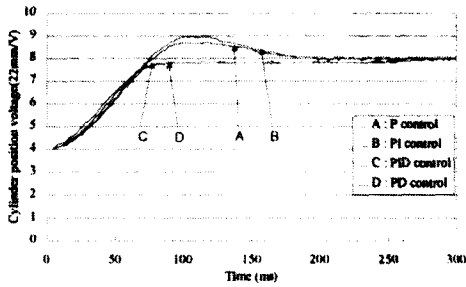
Fig. 8에서 X축은 시간, Y축은 공압실린더의 위치변화(전압)를 나타내며, 여기서 공압실린더의 위치변화는 선형 포텐서미터의 총 길이 220mm와 전압변화 10V의 관계를 이용하여 전압 1V는 22mm인 공압실린더의 위치변화 관계식을 사용하였다.

Fig. 8의 (a)는 부하 1kg<sub>f</sub>을 4가지 제어기로 제어한 결과를 합성한 것으로 P와 PI제어에서 과도응답 및 제어 시간이 지연됨을 알 수 있고, 반면에 부하를 2kg<sub>f</sub>, 4kg<sub>f</sub>, 6kg<sub>f</sub>, 8kg<sub>f</sub>으로 점점 증가시켜 실험한 결과들은 Fig. 8의 (b) (c) (d) (e)에 나타내었으며 P와 PI에서는 (a)와 동일한 형태의 결과를 보였고 PID와 PD에서는 load가 증가할수록 PID제어에서 목표값에 도달하는 시간이 길다. 따라서 PD제어가 정확한 위치, 시간, 안정적인 동작 기준으로 볼 때 가장 적합한 제어기임을 알 수 있다.

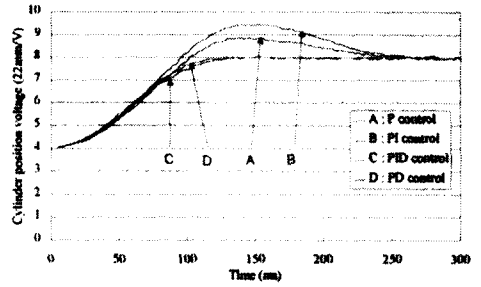
#### 4. 결 론

공압실린더의 위치제어에 있어서 제어기 선정 기준값인 실린더에 1kg~8kg까지 부하를 변화시키면서 공기압 실린더를 작동시킬 때 위치의 동작상태를 측정하고 그 결과를 비교분석하여 최적의 제어기를 선정하였다. 중량부하의 변화에 있어서, PD제어에서 가장 빠르고 안정적인 제어가 이루어졌으며 중량부하가 증가함에 따라서 정상상태에 도달하는 시간은 점점 증가하였고, P와 PI제어에서의 과도응답이 증가하는 반면 PID와 PD제어는 안정적이다. 또한 PI제어, P제어, PID제어 및 PD제어 순서에 따라 개선되고 있음을 확인하였으며 PD 제어가 최적의 제어임을 나타내었다.

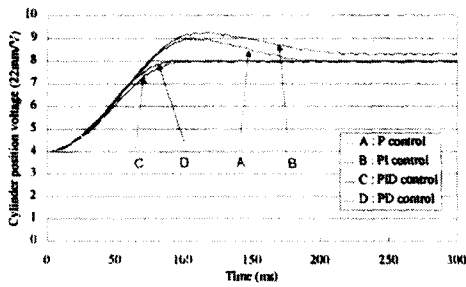
결과적으로, 본 연구를 위하여 고려한 부하변화에 다른 위치 제어기에 있어서 전반적으로 PD제어에서 가장 안정된 상태를 보였으며, 앞으로 수치적 시뮬레이션과 실험 결과의 비교분석을 통하여 그 유효성 확인이 필요함으로 이에 대한 연구를 진행코자 한다.



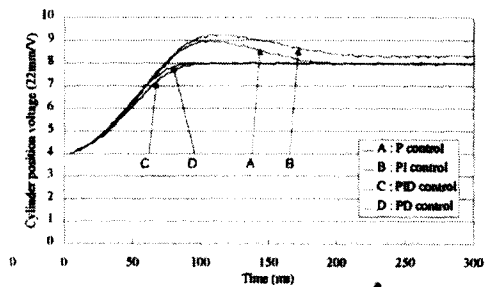
(a) Load 1kg



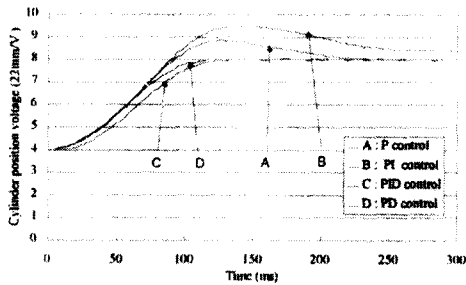
(b) Load 2kg



(c) Load 4kg



(d) Load 6kg



(e) Load 8kg

Fig. 8 Experimental results for different load

### 후 기

본 연구는 목포대학교 식품산업기술연구센터를 통한 한국과학재단 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Shearer, J. L., "Continuous Control of Motion with Compressed Air", Trans. of

ASME, pp. 233~249, 1959.

2. Huu, N., "Verhalten Servopneumatischer Zylimderantriebeim Lageregelkreis", Dissertation, RWTH-Aachen, 1987.

3. Lu, Y., "Elektropneumatischer Positionierantriebemit Schnellen Schaltventiler", Dissertation, RWTH-Aachen, 1992.

4. Cho, H. S. and Lee, C. W., "Performance of a Modified On-off Controller with PD Action of Pneumatic Servomechanism", Int. Sym. on Fluid Control and Measurement, Tokyo, pp. 37~45, 1985.

5. Won, J. Y., "공압 3축 매니플레이터의 위치제어에 관한 연구", KAIST 석사학위 논문, 1992.

6. Lee, S. G., "On the Development of a PWM Control-based Pneumatic Servomechanism", Int. Sym. on Fluid Control and Measurement, Tokyo, pp. 29~36, 1985.

7. Chin, S. M., "TDC 이론을 이용한 유공압 시스템의 위치 제어 및 유압 시스템의 안정성 해석", KAIST 박사학위 논문, 1995.

8. Sanville, F. E., "A New Method of Specifying the Flow", Cymposium 4th-7th, January, Guilford, pp. D3-37~D3-47, 1971.
9. Theorin, C. H., "PCP-Modulation of Seat Valve", Fluid Technisches Kolloquium, pp. 193-203, 1989.
10. Pu, J., "Performance Characteristics of Spool-Type Pneumatic Valves", 9th Int. Conference, 1990.
11. Eun, T., Cho, Y. J. and Cho, H. S., "Stability and Positioning Accuracy of a Pneumatic On-Off Servomechanisms", Proceedings of American Control Conference, June, 1982.
12. Eun, T., Cho, H. S. and Lee, C. W., "On the Development of A Modified On-Off Pneumatic Servomechanism", Proc. of ACC, 1985.
13. Takahashi, K., Incue, M. and Ikeo, S., "Application of the Model Reference Adaptive Control to Electrohydraulic Servosystem", Proc. of Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control, Vol. 107, 1985, pp. 66~87.
14. Watton, J., "Fluid Power System", Prentice Hall, 1984.
15. 홍 성철, "전기 유압식 서어보인택싱 시스템의 적응제어에 관한 연구", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1991.
16. 안 경관, "전기 유압식 서어보인택싱 시스템의 위치제어 및 관성 부하 시뮬레이터에 관한 연구", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1992.
17. Zeigler, J. G., and Nichols, N. B., "Optimum Setting for Automatic Controllers", Trans. ASME, Vol. 64, pp. 759~768, 1942.
18. 이정재, 홍동표, "PID제어기에 의한 소형 로봇용 그리퍼의 힘 제어", 한국공작기계학회지, Vol. 8, No. 2, pp. 44~49, 1999.