

유압실린더의 학습에 의한 위치제어

(Piston Control of Hydraulic Cylinder Using a Learning Strategy)

박성환* 권기수* 허준영** 이진걸***

S. H. Park K. S. Kwon J. Y. Huh J. G. Lee

*부산대 대학원 **현대중장비 연구소 ***부산대 정밀기계공학과

Pusan National Univ. Hyundai C.E.I.

Pusan National Univ.

ABSTRACT

As microcomputers have become widespread and the high speed solenoid valves have been developed, digitally controlled hydraulic systems are used in many applications. This study deals with position control of hydraulic cylinder operated by two port 3-way high speed solenoid valve using a self-learning strategy. This was done by developing a control algorithm for the microcomputer which always automatically adjust the length of control pulse to the optimum value in accordance with the error regardless of changes in the operating condition and physical differences between components. Tests carried out in the laboratory indicate that a positional accuracy could be improved.

기호설명

E_i : 입력전압

E_f : 피이드백 전압

e_r : 오차신호($E_i - E_f$)

k_c : controller의 감도

T_c : 제어펄스폭

T_m : 실린더가 움직이기 시작하는 최소펄스폭

T_p : 인가펄스폭

T_w : 무효펄스폭

y : 실린더변위

\bar{E}_r : 전회의 오차

\bar{E}_f : 전회의 피이드백 전압

1. 서론

1.1 연구의 배경

최근마이크로 컴퓨터와 메카트로닉스의 발전에 따라 전기, 전자에 의한 제어기술을 유압기와 연결시킨 전기유압서보시스템의 개발이 촉진되고 있다. 그러나 이러한 전기유압서보시스템의 작동수단으로 종래에 많이 사용되고 있는 전기 유압서보밸브와 전자비례밸브는 아날로그 전류값으로 제어되므로 마이크로 컴퓨터등의 디지털기기로 제어하는 경우 D/A변환기와 증폭기를 사용하여 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환할 필요가 있다. 그러므로 제어회로는 복잡해지고 가격 또한 고가로 되어 경제성이 뒤떨어질 뿐 아니라 작동유의 오염에 취약하므로 건설기계, 농업기계등과 같은 작동유가 오염되기 쉬운 조건에서는 유압시스템의 작동신뢰성의 확보가 어렵다. 따라서 저렴하면서 오염에 강하고 신뢰성이 높은 밸브가 요구되고 있다.

이러한 요구조건을 만족시키기 위해서 개발된 고속전자밸브는 마이크로 컴퓨터를 이용하여 펄스(Pulse)폭변조 On-Off방식(PWM)의해 유압서보시스템을 제어한다. 그러나 종래의 단순한 PWM제어에서는 작동조건의 변화나 밸브의 개체차(Physical Difference of Device)에

관계없이 밸브의 열리는 시간을 최적으로 자동조정하는 제어를 행하고 있기 때문에 얻어진 정도에 한계가 있고 또 일정주기마다 펄스를 On-Off하는 제어를 행하므로 큰 Step상의 입력에 대해서는 응답성을 잃는 등 개선의 여지가 남아 있다.

이에 대하여 종래의 PWM제어보다도 위치 결정정도를 높이기 위해서는 작동조건의 변화나 밸브의 개체차(Physical Difference of Device)에 관계없이 Controller(Microprocessor)의 Parameter를 항상 On-Line방식으로 최적으로 자동조정하는 자기학습기능을 가진 펄스(Pulse) 폭 조종의 On-Off제어를 기초로 하는 새로운 제어방식을 제안한다.

본 연구에 사용된 제어방식은 디지털 제어방식이라는 점에서 PWM제어와 같지만 PWM제어가 일정주기 아래에서 오차에 비례해서 변조율을 조정하고 있는데 대해 본 제어방식은 오차에 따라 펄스(Pulse)주기 그 자체를 조정하고 있기 때문에 근본적으로 다른 제어방식이다.

1.2 종래의 연구

기준신호와 위치검출기에서 계속된 오차변위로 PWM신호의 펄스폭을 계산하여 고속전자밸브를 구동함으로써 유압실린더의 위치를 제어하는 여러가지 제어방법이 제안되었다.

본 연구에서는 이러한 종래의 연구들을 고찰하고 자기 학습기능을 가진제어기의 응답과 비교분석 하였다.

1.2.1 단순 PWM제어

단순 PWM제어방식은 고속전자밸브를 이용한 위치제어를 행하기 위하여 PWM구동을 위한 제어신호를 마이크로 컴퓨터와 임출력장치로 연산 및 임출력을 수행한다. 속응성 향상을 위하여 오차변위에 비례적인(Proportional Gain) K_p 를 곱해서 변조율 τ 를 계산한다.

1.2.2 데드타임 보상에 의한 PWM 제어

데드타임을 보상하는 방법은 밸브의 구동(On)시간에 정상상태오차 발생량을 감안하여 변위오차량에 미리 정상상태 오차량을 더하여 줌으로써 정상상태 오차량을 감소시키고자 하는 방법이다.

1.2.3 차동식 PWM제어

차동식 PWM제어방식은 정상상태 오차를 보상하기 위하여 동시에 두개의 고속전자밸브의 개폐타이밍을 조정하는 방식이다.

2. 연구내용

2.1 시스템의 구성과 유압실린더의 특성

2.1.1 시스템의 구성

본 연구에서 사용된 전자유압 위치제어 시스템은 2개의 고속전자밸브, Microprocessor, 위치검출기 및 A/D 변환기로 구성되어 있고 블록선도는 그림1과 같으며 Table은 실험장비목록을 나타낸다.

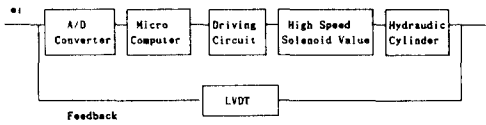


그림1. 시스템구성의 블럭선도

No.	Instrument	Manufacture company	Model
1.	Double rod cylinder	NETA CO.	50×20×60
2.	고속전자밸브	NACHI	AS-A21-D1B
3.	Micro computer	SAMSUNG	Intel 80286-16MHZ
4.	위치검출기	FEEDBACK	D. 8230
5.	Oscilloscope	LeCroy	9400A
6.	A/D 변환기	Advantech Co.	PCL-712
7.	Function generator	KIKUSUI ELECTRONIC	4594L

Table1. 실험장비목록

이 시스템에서 사용되어진 NACHI (日本, 不二越)사의 2 위치 3 방향 포핏형 고속전자밸브 AS - A21 - D1B의 제원은 Table2 에 나타나 있다.

최대 압력	175 [kg/cm ²]
최대유량	8 [l/min]
유로형태	2 위치 3방향
정격전압	12 [V]
전류	max. 2.6 [A]
On 시간	4 ~ 6 [msec]
Off 시간	1.5 ~ 2.5 [msec]
사용유온	-20 ~ 90 [°C]

Table2. 고속전자밸브의 제원

2.1.2 서보 실린더의 개루프 특성

자기학습기능을 가진 제어기의 구성을 위해서는 위치 결정 정도에 지배적인 영향을 주는 실린더가 움직이기 시작하는 최소의 인가펄스폭 T_p 에 대한 실린더의 변위 y 의 관계를 먼저 파악해야 한다.

위의 특성들을 파악하기 위해서는 개루프 시스템을 구성하여 펄스폭을 미소하게 증가시키면서 같은 간격의 시간으로 고속전자밸브에 인가하여 실린더의 변위를 측정한다. 그림2는 고속전자밸브① 과 고속전자밸브② 의 실린더변위-인가펄스폭 ($Y-T_p$) 의 특성을 나타낸 것이다.

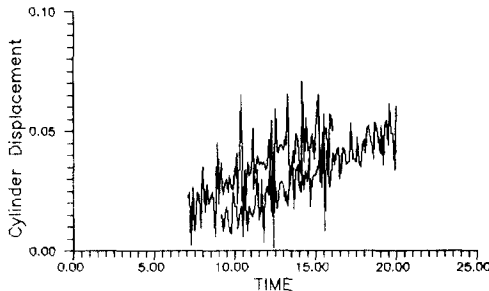


그림2. 실린더변위-인가펄스폭($Y-T_p$)

2.2 자기학습기능을 가진 제어기의 구성

2.2.1 제어기구성의 목적과 방법

단순 On-Off 제어는 최단시간 제어가 가능한 잇점을 가진 반면에 안정하게 작동시키기 위해서는 비교적 큰 불감대를 설계하지 않으면 안되기 때문에 양호한 위치

결정정도가 얻어질 수 없는 결점을 가진다.

본 연구의 목적은 단순 On-Off 제어의 최단시간 제어의 이점을 유지하면서 종래의 PWM 제어보다도 위치결정정도를 향상시키는데 있으며 그 기본적인 방법은 어떤양의 오차가 발생했을 때 이에 대응하는 실린더변위-인가펄스폭 선도의 값에 따라 정해지는 시간폭의 펄스를 인가하여 제어량을 최단시간에 목표치에 근접시키고 계속해서 새로운 미소편차에 의한 시간폭의 수정펄스를 인가하여 미리 지정된 작은 불감대에 편차가 들어가도록 하는 것이다.

본 연구에서는 불감대의 크기 $|er^*|$ 를 양자화된 오차 신호 er^* 의 값 $0 \sim \pm 2047$ 중에서 $|er^*| < 9$ 로 정하였다. 여기서 $|er^*| < 9$ 를 실린더의 변위로 계산하면 0.0216cm로서 아주 미소한 량이다. 이러한 불감대 선언은 개루프 특성실험에서 인가펄스폭을 0.1ms 증가시켰을 때 고속전자밸브①에 의한 실린더변위는 0.008138cm 이지만 고속전자밸브②에 의한 실린더변위는 0.01627cm 인것을 근거로 한다. 한편 제어펄스의 시간폭 T_c 는 무효펄스(pulse)시간폭 T_w 와 오차에 따른 유효펄스(pulse) 시간폭의 합으로 나타낸다.

$$\text{불감대의 크기 : } |er^*| < 9$$

$$\text{제어펄스의 시간폭 : } T_c = T_w + K_c |er^*| \quad (1)$$

$$e^* \geq 16$$

$$T_c = T_w + K_c |er^*| \quad (2)$$

$$e^* \leq -9$$

여기서 무효펄스 시간폭 T_w 는 실린더가 막 움직이기 시작 하는데 필요한 시간을 전기적으로 보상하는 펄스의 길이로 위치결정정도에 지배적인 영향을 미치는 양이다.

2.1.2 제어기의 자기학습기능

본 연구에서는 $|er^*| = 9$ 의 편차가 생겼을 때의 제어펄스의 길이 $T_c (= T_w + K_c \cdot 9)$ 가 언급된 T_m 값이 되고 이 펄스에 의한 제어편차가 $|er^*| < 9$ 의 불감대의 값에 들어가도록 하기 위해서 자기학습 기능을 부여하여 T_w 의 값을 항상 최적치에 자동조정하고 있다.

T_w 에 대한 편차가 $|er^*| \geq 9$ 또 전회의 편차도 $|er^*| \geq 9$ 일때 편차수정을 위해 펄스를 출력한 결과가 수정 부족 또는 과수정으로 불감대에 들어가지 않았을 때 전회의 편차 $|er^*|$ 와 수정 펄스에 의해 움직인 량

$|\Delta Er^*| = |Er^* - Er^*|$ 를 비교해서 T_w 의 값을 다음과 같이 수정한다.

$$\left. \begin{aligned} |\Delta Er^*| < |er^*| : T_w \text{ --- } T_w + 0.1 \text{ ms} \\ |\Delta Er^*| > |er^*| : T_w \text{ --- } T_w - 0.1 \text{ ms} \end{aligned} \right\} (3)$$

여기서 0.1 ms의 수정치는 $|\Delta y| < 0.02\text{cm}$ 라고 하는 특성을 기초로 결정된 것이다. 그리고 식(1), (2)중의 K_c 는 controller의 감도로서 T_c 의 값이 항상 $y - T_p$ 특성으로 정해지는 T_s 의 값이 되도록 즉, $y - T_p$ 의 비선형 특성을 보상하도록 편차에 따라 최적치에 자동조정하는 것이 바람직하다.

그러나 본 연구에서는 $y - T_p$ 특성을 참조하여 설계 사양에 맞추어 K_c 값을 0.5355의 일정치로 하여 실험하였다.

그림3은 자기학습 기능을 가진 제어기의 플로우차트를 나타낸다.

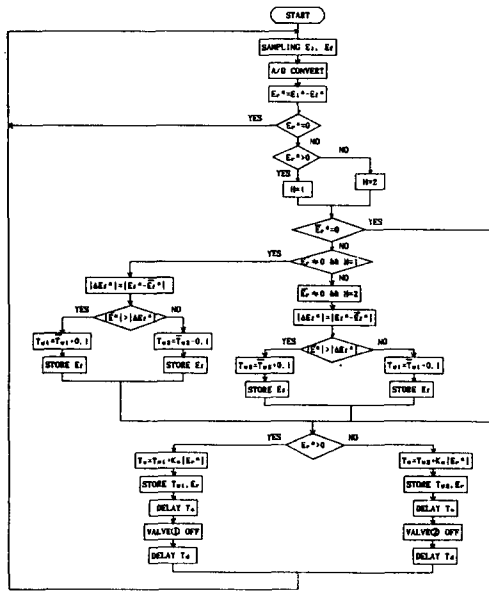


그림3. 자기학습기능을 가진 제어기의 플로차트

3. 실험 및 고찰

앞절에서 설계된 자기학습기능을 가진 제어알고리즘을 양로드 실린더를 액츄에이터로 사용하는 전기유압서보계의 위치제어에 적용하여 실험을 통해 그 응답특성을 검토하였다.

3.1 실험장치의 구성 및 실험방법

설계된 제어 알고리즘을 마이크로컴퓨터에 프로그래밍하여 제어기를 구성하고 그 제어성능을 측정하기 위하여 그림4와 같이 실험장치를 구성하였다.

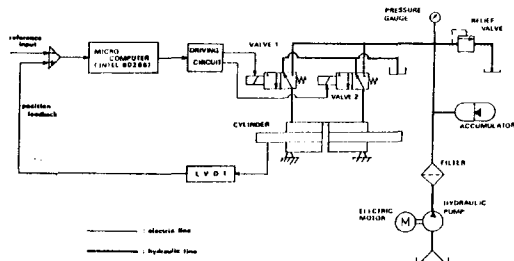


그림4. 실험장치의 구성도

실험은 실린더의 변위를 위치검출기로 검출하여 기준 입력 전압과 비교하여 그 오차에 대한 제어량을 계산하여 고속전자밸브①과 고속전자밸브②에 각각 펄스신호를 인가하여 실험하였다.

이때의 공급압력은 50kgf/cm²이며 제어기로 사용되는 마이크로컴퓨터는 INTEL 80286을 사용하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

그림 5는 주기를 100msec로 설정시 구형파에 대한 단순 PWM제어의 실험결과이다. 정착시간은 약 1.6초이며 정상상태오차는 16.5%로 나타났다. 이상의 결과는 ON/OFF 제어시 발생하는 광역의 불감대, 밸브의 개폐특성

및 변조율-유량특성의 비선형성등의 영향으로 인한 것으로 사료된다.

그림 6은 단순PWM제어에 비례게인 $K_p=30$ 으로 보상했을 때의 실험결과이다. 비례게인 K_p 를 증가시키면 정상상태오차 및 정착시간을 개선할 수 있었으나 헌팅의 발생으로 시스템의 불안정을 초래하였다.

비례게인을 증가시 발생하는 헌팅을 보상하고 아울러 비례제어시 발생하는 정상상태오차를 감소시키기 위하여 데드타임보상을 행한 결과를 그림7에 나타낸다. 그림에서 보는 바와같이 데드타임을 8%로 보상하였음에도 불구하고 정상상태오차는 20%, 정착시간은 0.5초로 나타났다. 따라서 데드타임 보상만으로는 효과적인 제어특성을 얻을 수 없음을 알 수 있다. 그림8은 동시에 두개의 고속전자밸브의 개폐타이밍을 조정하는 차동식 PWM(Differential PWM)방식에 의한 결과를 나타낸다. 이때 정상상태오차는 제거되었으나 정착시간은 약 1초로서 속응성의 관점에서 볼때 대단히 열악함을 알 수 있다. 따라서 위와 같은 ON/OFF제어의 결점을 보완하기 위하여 자기학습에 의한 제어방식을 도입하였을 때의 시스템의 응답특성은 그림9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 정상상태오차는 제거되었으며 정착시간은 0.5초로서 양호한 응답특성을 보이고 있다.

한편 그림10은 삼각파형에 대한 실험결과로서 Type 1형으로 구성된 본시스템에 램프입력에 대한 정상상태오차는 거의 무시할 만큼의 양으로 나타남을 알 수 있어 학습에 의한 제어효과가 탁월함을 증명한다.

이상의 실험결과에서 보는 바와같이 밸브의 ON/OFF특성에 의해 고주파의 대역폭은 기대하기 어려우나 일정 대역폭에 대해서는 대단히 안정한 응답특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

고속전자밸브를 이용한 ON/OFF제어방식을 학습제어를 이용하여 유압서보계에 적용하여 그특성을 분석, 개선한 결과는 다음과 같다.

- 1) 자기학습에 의한 제어를 실시한 결과 ON/OFF제어의 특성상 나타나는 광범위한 불감대를 개선하여 고정도의 위치제어가 가능하였다.
- 2) 밸브등의 개폐차를 보상해줌으로써 정착시간 및 위치결정정도가 대폭적으로 개선되었다.

참고문헌

- 1) Herbert e.Merritt, 1967, Hydraulic Control System, John Wiley & Sons.
- 2) 武藤高義, 山田宏尚, 末松良一: "2方向型電磁弁による油壓アクチュエータ의 PWM 디지털制御", 油壓と空氣壓, 第 19 卷 第 7 號, PP.564~571, 1988.
- 3) 田中裕久: "高速電磁弁に關する 研究", 日本機械學會論文集, 50卷 457號, PP.1594~1601, 1984-9.
- 4) 田中裕久: "油空壓のデジタル制御", 油壓と空氣壓, 第 16 卷 第 1 號, PP.3-11, Jan 1988.
- 5) 田中裕久, 油空壓のデジタル制御と應用, 近代圖書株式會社, 1987.
- 6) Hirohisa Tanaka, Hiroyoshi Tanaka, and Kazuo Araki: "Electro-Hydraulic Digital Control of 3-Way On/Off Solenoid Valves", 日本機械學會論文集, 50卷458號, PP.2663 ~ 2666, 1985-2.
- 7) Shing-Gwo Wu, Wen-Liang Chen: "Analysis and PID Controller Design of PWM Systems", Journal

of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Transactions of The ASME, Vol. 110, Dec. 1988.

- 8) Yuzo KOYANGI, Eilchi KOJIMA, Masaaki SHINDA : "Design and Performance of a Self-Learning Microprocessor-Based Electrohydraulic Digital Position Control", 油壓と空氣壓, 第18卷 第18號, PP.57~65, 1986-6.
- 9) J. WATTON, 1989, Fluid Power Systems, Prentice Hall.

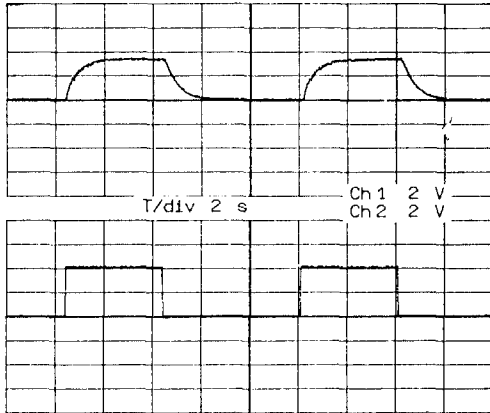


그림5. 단순PWM제어

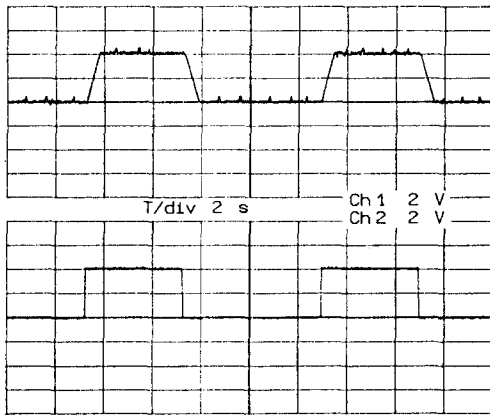


그림6. 단순PWM제어 비례게인 $K_p=30$ 보상

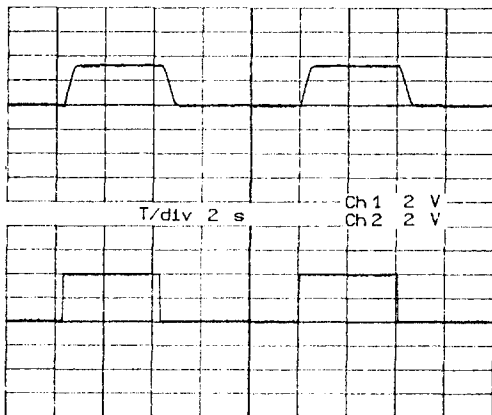


그림7. 데드타임 8%보상

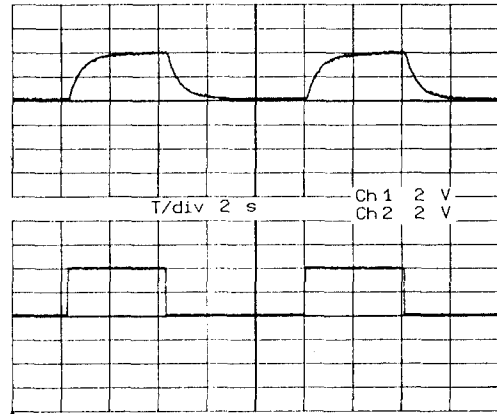


그림8. 차동PWM에 의한 제어

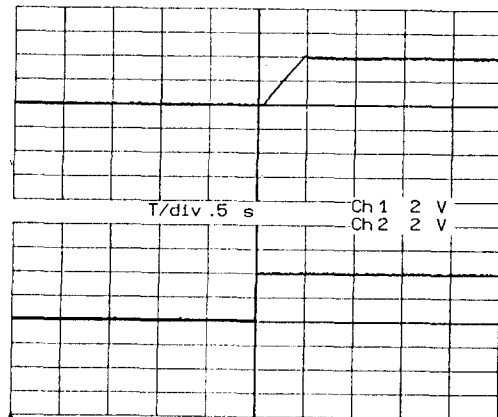
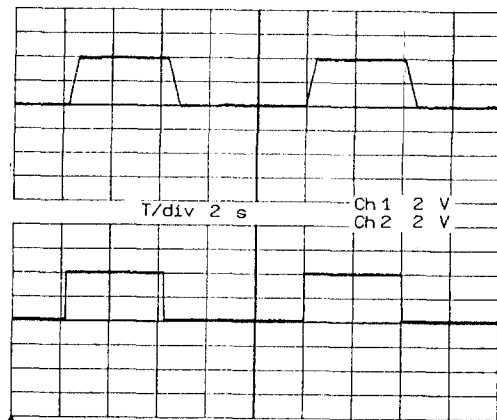


그림9. 자기학습에 의한 제어

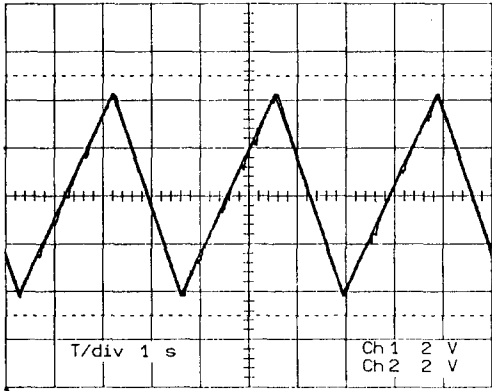


그림10. 램프입력에 대한 응답