

## 자기센서를 이용한 위치검출 실린더의 환경변화에 따른 성능평가

김 성 현\*, 배 종 일\*\*, 이 민 철\*\*\* 이 만 형\*\*\*

\*부산대학교 지능기계공학과, \*\*부경대학교 전기공학과,  
\*\*\*부산대학교 기계공학부

### Sensing Performance Evaluation under Various Environment Condition of Stroke Sensing Cylinder using Hall Sensor

Sung Hyun Kim\*, Jong Il Bae\*\*, Min Cheol Lee\*\*\*, Man Hyung Lee\*\*\*

\* Grad. of Dept. of Intelligent Mechanical Eng. , Pusan National University

\*\* Dept. of Electrical Eng. , Pukyong National University

\*\*\* Dept. of Mechanical Eng. , Pusan National University

**Abstracts** - We have developed a part of hydraulic stroke sensing cylinder using magnetic sensor that can detect each position under severe construction fields. In this paper, for evaluating the developed cylinder under various environment condition, temperature control systems and two hydraulic systems to be coupled consist of. The results show that the developed cylinder has good performance under the various environment condition.

**Keywords** : Stroke sensing cylinder, Temperature control

#### 1. 서론

건설기계와 같은 중장비는 가혹한 작업조건과 작업중의 소음, 진동 등의 원인으로 전자기기의 보존이 용이하지 않아 자동화가 타 기기에 비해 낮은 실정이다. 하지만 최근의 메카트로닉스에 의한 기술은 점차 고도화되어 종래의 기계장치들 보다 에너지 소모가 적고, 조작이 간편하며 작업성이 우수한 장치로 변모되고 있으며, 특히 센서와 마이크로 컴퓨터 등의 전자기기는 기능, 내환경성, 신뢰성의 면에서 상당히 진보되어 건설기계에 있어서도 성능개선 및 자동화를 위한 연구가 가능하게 되었다. 유압 굴삭기의 자동화, 로봇화를 위해서는 전기적 신호에 의한 전기·유압식 밸브의 연속적인 제어가 필요하며, 이의 제어를 위해서는 각각의 구동관절에 대한 위치검출센서의 역할이 대단히 중요하다. 굴삭기의 각 관절에 대한 위치 검출방식으로는 각도의 검출과 실린더의 변위를 검출하는 두 가지의 방식이 가능하지만, 굴삭기의 버켓 부분에 있어서는 가혹한 작업 환경에 대하여 내구성, 내진성, 내환경성 등이 요구

되므로 실린더의 변위를 직접 센싱하는 편이 안전하고 효과적이라 할 수 있다. 이와 같은 배경에서 최이<sup>(1)</sup> 등은 홀(Hall)센서<sup>(2)</sup>를 이용하여 직접 위치검출이 가능한 실린더를 개발하였다. 본 연구에서는 개발된 위치제어용 실린더가 실제 굴삭기에 장착하여 작업할 때 환경이 매우 열악하므로 다양한 환경변화에 따른 성능평가가 절실히 요망됨을 감안하여 다음과 같은 두종류의 성능평가를 수행하였다. 첫째, 온도변화에 따른 성능평가 수행으로 무더운 여름이나 사막등지에서 작업을 수행할 경우 홀센싱 디바이스(device)의 주변온도가 60~80℃정도 까지 상승될 수 있으며, 이에 따른 영향평가를 하고자 한다. 둘째, 각종 충격, 진동과 같은 외란을 피스톤로드에 부과하여 위치제어용 실린더의 홀센서 신호에 대한 영향평가 및 위치제어 성능을 평가하고자 한다. 이때 위치제어용 실린더의 위치제어를 위해서는 PWM<sup>(3)-(4)</sup> 제어방식을 적용하여 각종 부하의란에 따른 위치제어시의 성능을 평가하였다.

#### 2. 위치제어용 실린더의 성능평가 시스템

## 2.1 홀센서를 이용한 위치제어용 실린더 및 구동시스템

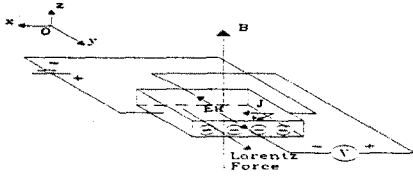


그림 1 홀센서의 원리

홀센서는 전자나 정공 등의 하전 캐리어(carrier)가 자계중에 놓여진 반도체 내를 움직일 때 운동방향에 수직인 로렌츠(Lorentz)력이 작용하는 것을 이용한 것이다<sup>(2)</sup>. 사용된 홀센서의 원리는 그림 1과 같다. 본 연구에서는 홀센서가 이동하는 피스톤 로드 위(上)에서 피스톤 로드에서 이종(異種)의 투자율(permeability)을 가진 자기눈금을 형성시켜 투자율의 변화를 측정함으로써 피스톤 로드의 이동위치를 측정할 수 있도록 하였다. 투자율의 차이를 이용하여 형성된 자기눈금에 따른 파형을 검출하기 위해 홀센서를 실제 피스톤 로드 위에 일정한 간격을 유지하도록 센서 장착구조를 설계·제작하여 장착하였다. 위치제어용 실린더의 제어를 위해 유압실린더의 구동을 위한 유압장치, 홀센서가 장착된 센서장착구조와 자기눈금이 가공된 위치제어용 실린더, 홀센서로부터의 출력파형의 신호처리회로부의 3부분으로 크게 나눌 수 있다. 자기센서로부터 나온 출력전압은 신호처리를 거쳐 펄스로 변환한 후 정도가 높은 카운터 회로를 제작하여 펄스를 계수하도록 하였으며, 이 계수된 위치 데이터의 값은 D/I용의 입력신호로 사용하여 피스톤 로드의 위치를 검출하도록 하였다.

## 2.2 온도제어를 위한 열 시스템

위치검출 실린더의 홀센서 주변에 일정한 온도의 조건을 형성하기 위한 온도제어시스템을 구성하였다. 제어기 설계에서 PID제어를 실행할 경우 최적의 제어기인 파라미터를 설정하지 않으면 좋은 응답은 기대할 수 없을 뿐더러 제어대상이나 제어계 전체의 파손 등 위험한 경우가 발생할 수도 있다. 본 실험에서는 가장 일반적인 파라미터 설정법인 Ziegler Nichols 스텝 응답법을 이용하여 구한 것으로, 그림 2를 통해 "Ziegler Nichols PI제어에 관한 설정" 조건에 따라  $k=10.2$ ,  $L=125$ ,  $T_i=3.3 \cdot L=412.5$  (sec),  $\tau=3650$  (sec),  $K_p=0.9\tau/(k \cdot L)=2.448$  이 구해진다. 본 제어기는 목표값의 변경이나 정상적인 외란이 있어도 편차가 없는 PI제어를 선택하였다. 본 시스템의 경우 데워진 공기를 혼합하는 교반기가 없어 순전히 대류에 의해 열이 전달되며 지연 시간(time delay)이 요구하는 온도에 따라 각기 다르다. 따라서, 계인을 크게 두면 발산하여 불안정하

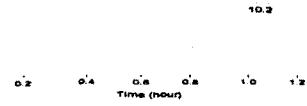


그림 2 Ziegler-Nichols의 스텝응답

게 되고 또한 냉각기가 없기 때문에 오버슈트를 아주 적게 해야 한다. 이러한 특성을 고려하여 정교하게 제어를 설계하여야 한다.

## 2.3 부하외란 인가를 위한 실린더 구동 시스템

부하외란 인가용 실린더의 구동을 위한 유압모터로는 정격전압이 220~380V인 (주)을지 전기의 3상 유도 전동기를 사용하였고, 유압펌프는 DENISON사의 PV15를 사용하였다. 부하외란의 공급을 위한 비례전자 감압밸브로서는 양방향으로 동작하는 UCHIDA - REXROTH사의 3DREP6A를 사용하였고, 비례전자 감압밸브의 제어기로서 사용되는 앰프(amplifier)는 동회사의 URP-15W10을 사용하였다.

## 3. 위치검출 실린더의 환경변화에 따른 성능평가

### 3.1 온도변화에 따른 성능평가

80°C조건으로 10시간동안 위치검출 실린더의 홀센서와 신호처리 일부분을 포함하는 홀센싱 디바이스(device) 부분의 온도를 일정하게 가열하도록 한다. 그림 3은 이때 80°C를 10시간동안 유지하는 온도제어의 결과로서 오버슈트 없이 온도제어가 잘 수행되었음을 알 수 있다. 그림 4는 10 시간동안 홀센싱 디바이스 부분을 가열후 50mm 위치제어를 수행하여 얻어진 신호와 펄스로 변환된 결과이다. 위치제어가 정확하게 되었는지 확인해보면 홀센서에서 검출된 신호의 갯수가 그림 4에서 25개로 확인되어 정확하게 수행 되었음을 확인할 수 있고, 홀센서에서 검출된 신호 형태의 양상을 보면 온도에 의한 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 위치검출 실린더의 주어진 조건의 온도와 시간에서 홀센서의 성능이 양호함이 입증되었다.

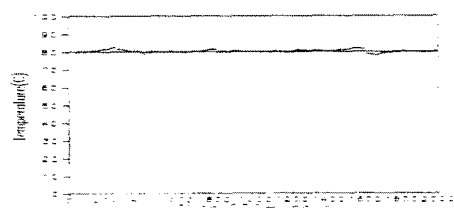


그림 3 80°C에 대한 온도 제어

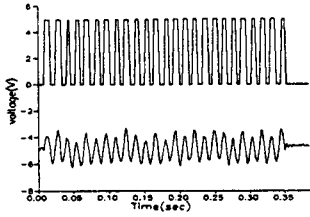


그림 4 위치 제어시 홀전압 및 펄스

### 3.2 종방향 부하외란에 따른 성능평가

본 실험은 위치검출용 유압실린더에 위치제어시에 정현파 형태의 부하외란을 인가하였다. 그림 5는 이때 20mm의 위치 제어를 수행 하였을 때 홀센서 출력전압 결과이다. 그림 5에서 포화 전압이 발생됨을 알 수 있는데, 이것은 홀센서가 설치된 실린더의 피스톤이 움직이면, 작은 외란에도 쉽게 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 1/4분주 회로를 통해 계수를 하는 도중 외란 영향에 의해 펄스신호가 제대로 계수되지 못하고 카운트를 중단하여 위치제어가 정상적으로 수행되지 못하였다.

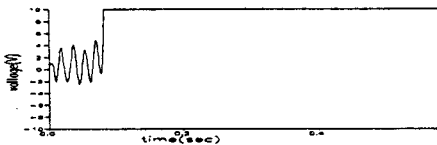


그림 5 위치제어시 홀센서의 출력전압

그림 6 홀센서 신호처리 과정 회로

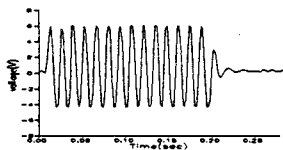


그림 7 홀센서 출력전압

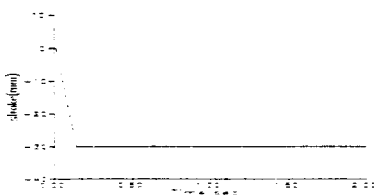


그림 8 30mm 위치제어

이러한 종방향 외란 영향을 막기위하여 신호처리 과정에서 자기누금과 센서 사이의 거리 변화로 인한 홀전압 영향을 없애기 위해 대역통과필터를 설치하였다. 정현파 형태의 종방향 외란을 부과하면서 -30mm 위치제어를 하여 그림 7과 같은 출력 전압을 얻었다. 이러한 펄스를 1/4분주기 카운트 회로를 거치고 -30mm의 위치제어를 수행한 결과, 그림 8과 같은 실험결과를 얻었으며, 이 결과를 보면 BPF를 설치함으로써 종방향으로 주어진 하중 외란에 대해 영향이 없고, 위치제어시의 성능평가도 양호함을 실험을 통해 최종 입증되었다.

### 4. 결론 및 향후 연구과제

홀센서를 이용하여 개발한 위치검출 실린더의 측정 성능을 무더운 사막과 같은 열악한 온도환경하에서 평가하기 위해 자기누금이 형성된 피스톤로드 표면에 가공된 자기누금의 자장의 변화를 측정할 수 있는 센서 장착구조위에 온도제어 시스템을 구성하였다. 이때 실험을 통해 실제 작업환경의 열악한 조건에 관계없이 개발된 스트로크 측정 실린더의 정확한 위치 검출이 안정되게 이루어짐이 판명되었다. 또한 위치제어용 실린더와 커플링된 부하외란용 구동 시스템을 구성하여 외란을 인가하고 위치제어용 실린더의 부하외란에 대한 성능 평가를 하였다. 이때 성능평가의 실험을 통해 문제가 되었던 홀전압의 영향을 없애기 위하여 본 연구에서는 기존의 신호처리 과정에 BPF를 설치함으로써, 개발한 위치제어용 실린더가 종방향 부하외란에 대해서도 안정성과 신뢰성을 갖추게 되었다.

### 참고 문헌

- (1) M. C. Lee, M. H. Lee, Y. J. Choi, S. Y. Yang and K. S. Yoon, "On Development of Stroke Sensing Cylinder for Automatic Excavator" Proc. of the IEEE ISIE' 95, Vol. 1 of 2, 363-368, 1995.
- (2) 片岡照榮, 高橋清, "Sensor Handbook", 世和出版, pp.100~104, 331~351, 1990.
- (3) 武藤高義, 山田宏尚, "PWM Digital Control of Hydraulic Actuator Utilizing 2-way Solenoid Valves", 油壓と空氣壓, 第19卷 第7號, pp. 52~59, 1987.
- (4) P. Gill, P. R. Ukrainetz and R. T. Burton, "Physical Effects of Pulse Width Modulation on Valves and Loads," SAE Technical Paper Series, 891862., 1989.
- (5) H. S. Ramirez, "A Geometric Approach to Pulse Width Modulated Control Design," Proceeding of the 26th Conference on Decision and Control, IEEE., pp. 1771 ~ 1776, 1987.