

자기센서를 이용한 위치검출 실린더의 환경변화에 따른 성능평가

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

°김 성 현*, 이 민 철*, 이 만 형**, 양 순 용***

*부산대학교 기계공학과 (Tel:051-510-2439; Fax: 051-512-9835; E-mail: mclee@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

**부산대학교 제어기계공학과 (Tel:051-510-2331; Fax: 051-512-9835; E-mail: mahlee@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

***삼성중공업 건기연구소 제어 연구파트 (Tel:0551-60-8255; Fax: 0551-60-8254)

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, thermal control systems and two hydraulic systems to be coupled consist of. The former is composed of an heater case, temperature sensor, and interface circuits which include SCR(silicon controlled rectifier) for the control of the voltage's phase. The latter is composed of an hydraulic cylinder for position control with solenoid valve (ON/OFF motion) and a load cylinder with proportional reducing valve. To obtain the various performance evaluation, it is carried out under high temperature condition in thermal system controlled by using Ziegler-Nichols PID tuning method and artificial disturbances such as impulse or constant force. The results show that the developed cylinder has good performance under the various environment condition.

Keywords Stroke sensing cylinder, Temperature control, PWM control, PID control, Ziegler-Nichols tuning.

1. 서론

건설기계와 같은 중장비는 가혹한 작업조건과 작업중의 소음, 진동 등의 원인으로 전자기기의 보존이 용이하지 않아 자동화기타 기기에 비해 낮은 실정이다. 하지만 최근의 메카트로닉스에 의한 기술은 점차 고도화되어 종래의 기계장치들 보다 에너지 소모가 적고, 조작성이 간편하며 작업성이 우수한 장치로 변모되고 있으며, 특히 센서와 마이크로 컴퓨터 등의 전자기기는 기능, 내환경성, 신뢰성의 면에서 상당히 진보되어 건설기계에도 있어서도 성능개선 및 자동화를 위한 연구가 가능하게 되었다. 특히 유압 굴삭기의 경우 숙련을 요하는 기능 노동자가 부족하고, 건설업 자체가 타산업에 비교하여 위험한 작업이 많으므로 자동화, 로봇화가 절실히 요망되고 있는 추세이다.

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 버킷 부분에 있어서는 가혹한 작업환경에 대하여 내구성, 내진성, 내환경성 등이 요구되므로 실린더의 변위를 직접 센싱하는 편이 안전하고 효과적이라 할 수 있다.

이와 같은 배경에서 최, 이⁽¹⁾ 등은 홀(Hall)센서⁽³⁾를 이용하여 직접 위치검출이 가능한 실린더를 개발하였으며, 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. 먼저 온도변화에 따른 성능평가 수행으로 무더운 여름이나 사막등지에서 작업을 수행할 경우 홀센싱 디바이스(device)의

주변온도가 60~80℃정도 까지 상승될 수 있으며, 이에 따른 위치 검출 실린더의 신뢰성 및 안전성이 문제가 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 개발한 위치검출 실린더가 여름이나 사막등지와 같은 무더운 열악한 온도환경하에서 작업을 수행할 경우를 고려하여 장시간동안 고온에서 위치검출이 안정되게 수행될 수 있는지 그 성능을 평가함으로 열악한 온도 환경하에서 개발된 위치 검출 실린더의 사용가능성을 밝히고자 한다.

또한 각종 충격, 진동과 같은 외란을 피스톤 로드와 이송방향과 수직인 방향(이후 종방향이라고 명함)으로 부가하여 센서장착구조가 부착된 위치제어용 실린더의 홀센서 신호에 대한 영향평가 및 위치제어 성능을 평가하고자 한다. 이를 위해 비례전자 감압 밸브와 압력센서로 구성된 부하외란용 실린더 구동시스템을 구성하여 성능평가를 위한 위치제어용 실린더와 커플링한 후, 비례 전자 감압밸브를 이용하여 각종 부하외란을 부가하여 실험하였다. 이때 위치제어용 실린더의 위치제어를 위해서는 PWM⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾ 제어방식을 적용하여 각종 부하외란에 따른 위치제어시의 성능을 평가하고자 하였다.

2. 위치제어용 실린더의 성능평가 시스템

2.1 홀센서를 이용한 위치제어용 실린더 및 구동시스템

홀센서는 전자나 정공 등의 하전 캐리어(carrier)가 자계중에 놓여진 반도체 내를 움직일 때 운동방향에 수직인 로렌츠(Lorentz)력이 작용하는 것을 이용한 것이다⁽³⁾. 사용된 홀센서의 원리는 그림 1과 같다. 본 연구에서는 홀센서가 이동하는 피스톤 로드 위(上)에서 피스톤 로드와 이종(異種)의 투자율(permeability)을 가진 자기누금을 형성시켜 투자율의 변화를 측정함으로써 피스톤 로드의 이송위치를 계측할 수 있도록 하였다.

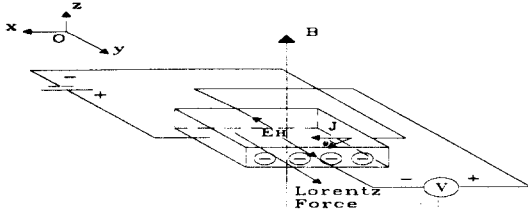


그림 1 홀센서의 원리
Fig. 1 The principal of Hall sensor

여기서 투자율이란 자력선을 집중시킬 수 있는 능력을 말하며, 유도에 의한 철막대의 자화에 있어서 자속밀도는 자석과 물체 사이의 간격에 의한 영향보다는 주로 투자율의 차이에 의해 변화된다⁽⁸⁾. 이러한 투자율의 차이를 이용하여 형성된 자기능급에 따른 파형을 검출하기 위해 홀센서를 실제 피스톤 로드 위에 일정한 간격을 유지하도록 센서 장착구조를 설계·제작하여 장착하였다. 본 연구에서 사용한 센서 장착구조는 자기능급 가공을 한 실린더 로드와 센서와의 간격이 수백 μm 이내로 충격·진동에 관계없이 일정하게 유지되도록 하여 신호를 얻을 수 있도록 설계하였다. 위치제어용 실린더의 제어를 위해 유압실린더의 구동을 위한 유압장치, 홀센서가 장착된 센서장착구조와 자기능급이 가공된 위치제어용 실린더, 홀센서로부터의 출력파형의 신호처리 회로부의 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. 단, 피스톤 로드에 대한 자기능급의 주기는 2 mm로 가공하였다.

유압장치에 있어서 솔레노이드 밸브구동에 사용되는 무접점 릴레이(solid state relay)는 응답시간이 1 msec인 대신 엔지니어링사의 DSS-2025를 사용하였고, 솔레노이드 밸브는 ON/OFF 각각의 절환시간이 30 msec인 UCHIDA-REXROTH사의 4WE10G를 사용하였다.

2.1 온도제어를 위한 열 시스템

위치검출 실린더의 홀센서 주변에 일정한 온도의 조건을 형성하기 위한 온도제어시스템을 그림 2와 같이 구성하였다.

컴퓨터와 온도 제어 주변 장치와의 인터페이스 카드는 A/D, D/A, DIO 기능이 있는 Darim 보드를 사용하였으며 히터와 컴퓨터와의 접지를 분리시키기 위하여 포토커플러를 사용하였다. 그리고 히터가 구동중인가를 확인하기 위해 포토커플러의 애노드(anode)단자에 LED(light emitting diode)를 첨부하였으며 온도 표시를 위하여 7-Segment를 설치하였다. 또한 실제 사이리스터(thyristor)의 스위칭전압은 220V의 고전압이므로 위상 제어된 결과를 컴퓨터를 통해 관측하기 위해서 변압기를 이용해 10V 이내의 전압으로 감압하여 컴퓨터로 계속 가능한 검출부 회로를 구성하였다. 또한 온도를 검출하기 위한 센서로는 직선성이 우수하고 정밀도가 뛰어난 IC화 온도 센서인 LM35를 사용하였다. 온도 제어에 필요한 SCR(silicon controlled rectifier)는 대전력 제어용인 SanRex사의 SC30C-804F를 사용하였고 검출부에서는 소전력 제어용인 NEC사의 2P4M 모델을 사용하였다. 이상에서 구성한 온도제어시스템을 위치검출 실린더의 개발 및 성능 평가를 위해 구성한 유압실험장치에 부착하였다. 제어기 설계에서 PID 제어를 실행할 경우 최적의 제어게인 파라미터를 설정하지 않으면 좋은 응답(출력)은 기대할 수 없을 뿐더러 제어대상이나 제어 전체의 파손 등 위험한 경우가 발생할 수도 있다.

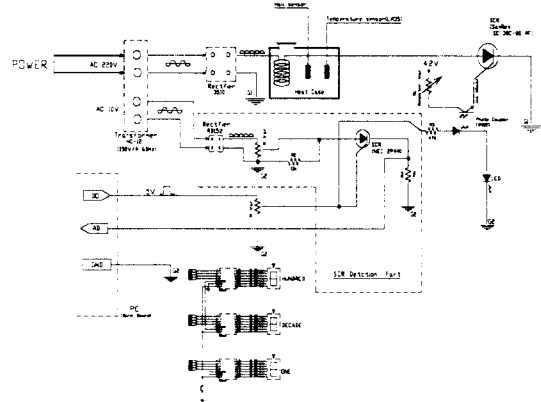


그림 2 온도제어를 하기위한 온도 제어 시스템
Fig. 2 Thermal control system for temperature control

본 실험에서는 가장 일반적인 파라미터 설정법인 Ziegler-Nichols 스텝 응답법을 이용하여 구한것으로, 그림 3을 통해 Ziegler-Nichols PI제어에 관한 설정 조건에 따라 $k=10.7$, $L=125$, $T_i=3.3 \cdot L=412.5(\text{sec})$, $\tau=3650(\text{sec})$, $K_p=0.9\tau/(k \cdot L)=2.448$ 이 구해진다. 단, T는 샘플링 주기로 2.5초이다. 본 제어기는 목표값의 변경이나 정상적인 외란이 있어도 편차가 없는 PI제어를 선택하였으며 그 관계식은 다음과 같다.

$$u(kT) = K_p[e(kT) + T/T_i \cdot \sum e(kT)] \quad (1)$$

그리고 이것을 열량으로 기준하여 열량에 대한 전압 펄스수로 계산하면 식(2)와 같이 된다.

$$U_{Z.N} = \frac{(K_p \Delta Q(kT) + T/T_i \cdot \sum \Delta Q(kT))}{\text{한 펄스당 열량}} \quad (2)$$

여기서 $\sum \Delta Q(kT)$ 는 누적된 열량으로 정상상태 오차를 주기위해 사용되어지는 적분값이다. 본 시스템의 경우 데워진 공기를 혼합하는 교반기가 없어 순전히 대류에 의해 열이 전달되며 지연 시간(time delay)이 요구하는 온도에 따라 각기 다르다. 따라서, 게인을 크게 두면 발산하여 불안정하게 되고 또한 냉각기가 없기 때문에 오버슈트를 아주 적게 해야 한다. 이러한 특성을 고려하여 다음과 같이 최적온도기울기조정법을 본 연구에서 제안하였다. 먼저 요구하는 온도 범위에 따라 적절한 게이트 타이밍을 주어 사이리스터 위상의 전력크기를 선택한다. 다음은 선택된 게이트 타이밍을 고정시킨 후 온도가 올라가는 초기 측정온도의 기울기를 미리 구하고 이어서 오버슈트를 줄이기 위하여, 식(3)과 같이 요구하는 온도, 측정온도 그리고 초기주변온도를 이용한 이상적인 요구하는 기울기와 실제측정기울기를 비교하여 사이리스터의 출력을 제어하도록 하였다.

$$U = \begin{cases} U_{Z.N} & \text{if } m_{-1} < r_{-1} \times \alpha \\ 0 & \text{if } m_{-1} > r_{-1} \times \alpha \end{cases} \quad (3)$$

단, m_{-1} : 실제측정기울기, r_{-1} : 요구하는 기울기, α : 초기온도계수
즉 식(3)에서 주어진 조건이 만족되는 경우 히터를 가열하지 않

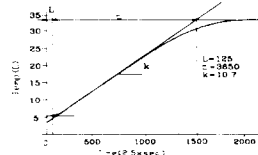


그림 3 Ziegler-Nichols의 스텝 응답
Fig. 3 Ziegler-Nichols step response

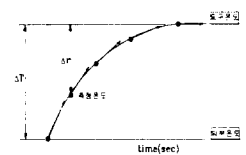


그림 4 최적온도 기울기 조정법
Fig. 4 Optimal slope control law

계 사이리스터를 OFF 시킴으로 측정치 매순간마다 최적의 피드 포워드 계인을 찾아주는 역할을 하게 된다. 전체적으로는 Ziegler-Nichols의 스텝응답으로 제어계인을 결정하며 일부 비선형 요소를 보상하기 위해 계인을 미소 조정하고 목표치 도달까지는 최적온도기울기조정법으로 온도가 이상적인 온도곡선의 기울기에 지배를 받고 도달후에는 계속해서 적분항에 의해 내부온도가 제어 된다. 즉 방열되는 미소의 열을 보충하기 위하여 사이리스터의 위상제어된 전압을 적분되어진 열량에 따라 매 순간 조절하여 공급한다.

2.3 부하외란을 부가하기 위한 실린더 구동시스템

부하외란 부가용 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 제어기(controller)로서 사용되는 앰프(amplifier)는 동화사의 URP-15W10을 사용하였다. 비례전자 감압밸브는 오염에 취약하기 때문에 공급되는 작동유는 이물질이 제거되어야만 하므로, 이를 위한 μ -filter로는 UCC-filter를 사용하였다. 또한 부하외란용으로 공급되는 압력의 측정 및 제어를 위한 압력센서로서는 최대압력 150Kgf/cm²까지 측정할 수 있으며 0~10V의 전압형태의 출력을 가진 VALCOM사의 VPRQ-A5-150K-4C를 사용하였다. 본 연구에서는 비례전자 감압밸브의 제어를 위해 전용앰프를 사용하였으며 이러한 앰프는 비례밸브에 전용으로 사용되는 앰프이다. 작동원리는 비례전자 감압밸브의 전용앰프에 인가되는 지령전압에 비례하여 비례전자 감압밸브의 파일럿부에 있는 직류 솔레노이드의 제어전류가 변화되고, 이러한 제어전류에 의해 2차압을 제어하게 되는 것이다.

3. 위치검출 실린더의 환경변화에 따른 성능평가

3.1 온도변화에 따른 성능평가

먼저 80°C 조건으로 10시간동안 개발된 위치검출 실린더의 홀센서와 신호처리 일부분을 포함하는 홀센싱 디바이스(device) 부분의 공기의 온도를 일정하게 가열하도록 한다. 그림 5는 이때 80°C를 10시간동안 유지하는 온도제어의 결과로서 오버슈트 없이 온도제어가 잘 수행되었음을 알 수 있으며, 일부 정상상태에서 발생된 부분적인 오차는 에어컨 가동 등 외부온도의 외란에 의한 것과 장시간 가열시 데이터 압축처리 과정에서 프로그램 오류에 의해 일부 발생된 원인으로 판단된다. 그림 6은 주어진 온도 80°C 조건 아래 10 시간동안 가열시 계속해서 홀센서의 전압을 측정할 결과이다. 전체적인 경향은 초기 오프셋(offset)전위와 주어진 온도조건에서 시간이 흘러가도 홀센서의 전압에는 거의 변화가 없음을 확인할 수 있으며 평균전위변동도 상온조건에서의 $\pm 0.17V$ 와 거의 같은 수준으로서 주어진 온도조건 80°C와 10 시간내에서 홀전압의 영향이 거의 없음을 확인할 수 있었다. 그림 7은 10 시간동안 홀센싱 디바이스 부분을 가열후 위치제어를 수행하여 얻어진 신호와 펄스 알고리즘을 통해 펄스로 변환된 결과이며 또한 PWM제어에 의해 그림 8과 같은 위치제어 결과를 얻게 되었다. 50mm 위치제어가 정확하게 되었는지 확인해보면 홀센서에서 검출된 신호의 갯수가 그림 7에서 25개로 확인되어 정확하게 수행 되었음을 확인할 수 있고, 홀센서에서 검출된 신호 형태의 양상을 보면 마찬가지로 온도에 의한 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 위치검출 실린더의 정지시 검출된 신호의 결과와 위치제어시 얻어진 결과에 의해 주어진 조건외의 온도와 시간에서 홀센서의 성능이 양호함이 입증되었다.

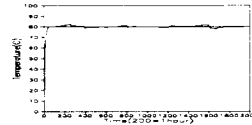


그림 5 80°C에 대한 온도 제어
Fig. 5 Thermal control for 80°C

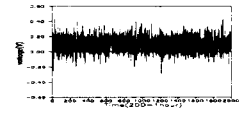


그림 6 정지시 80°C에 대한 홀센서의 출력전압
Fig. 6 Output signal from Hall sensor

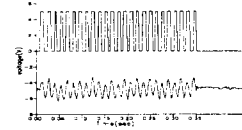


그림 7 위치 제어시 80°C에 대한 홀전압 및 펄스
Fig. 7 Output signal from Hall sensor in position control under 80°C

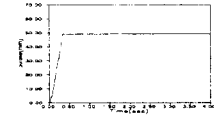


그림 8 80°C로 가열후 50mm 위치제어 결과
Fig. 8 Result of position control of 50mm feed under 80°C

3.1 종방향 부하외란에 따른 성능평가

그림 9는 본 연구에서 위치검출용 유압실린더에 정지시와 위치제어시에 인가한 정현파 형태의 외란이다. 이 경우 양의 값은 종방향 부하 외란 실린더의 미는 방향, 음의 값은 부하외란용 실린더의 당기는 방향으로 압력이 인가됨을 의미한다. 외란의 최대크기 압력은 25 kgf/cm² 크기로 정현파 형태의 외란을 비례전자 감압밸브를 이용하여 부하외란용 실린더에 가했을 때 변화된 결과가 그림 10 인데, 정지시 홀센서의 정현파 외란에 의해 출력된 전압을 살펴보면 압력부하의 최대 피크(peak)시 약 0.2초씩의 시간간연이 발생하면서 포화전압이 발생하였다.

시간간연의 원인은 지령전압에 대한 유압의 이송시간 및 가압되는데 필요한 시간에 의한 것으로 판단된다. 따라서 포화전압으로 인해 위치검출이 어려움을 간접적으로 알 수 있다. 그림 11은 같은 조건에서 20mm의 위치 제어를 수행 하였을 때 홀센서 출력전압 결과이다.

이 그림에서도 마찬가지로 포화 전압이 발생됨을 알 수 있는데, 이것은 홀센서가 설치된 실린더의 피스톤이 움직이면 적은 압력에 쉽게 영향을 받음을 간접적으로 알 수 있다. 따라서 그림 12의 결과를 보면 1/4분주 회로를 통해 계수를 하는 도중 외란 영향에 의해 펄스신호가 제대로 계수되지 못하고 카운트를 중단하여 위치제어가 정상적으로 수행되지 못함을 알 수 있다. 즉 포화전압으로 인해 자기능급에 따른 홀전압의 신호가 발생하지 않아 목표 위치까지 컴퓨터에서는 도달하지 못한 것으로 인식해 유압

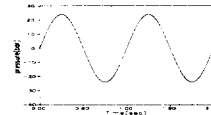


그림 9 종방향으로 정현파 외란을 부가하기 위한 신호
Fig. 9 The sinc signal for vertical load

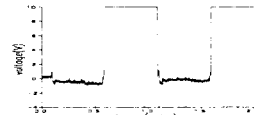


그림 10 그림 9에 대한 정지시 홀센서의 출력전압
Fig. 10 Output voltage signal from Hall sensor

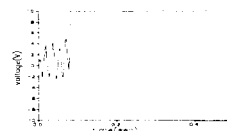


그림 11 그림 9의 조건에서 위치제어시 홀센서의 출력전압
Fig. 11 Output signal from Hall sensor during position control under vertical load

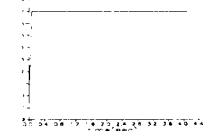


그림 12 20mm 위치제어 목표 수행 결과
Fig. 12 Result of position control of 20mm feed under vertical load

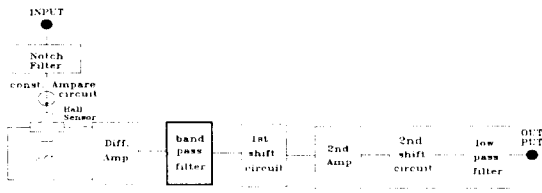


그림 13 출전압 발생시 신호처리 과정 회로
Fig. 13 Signal passing circuit

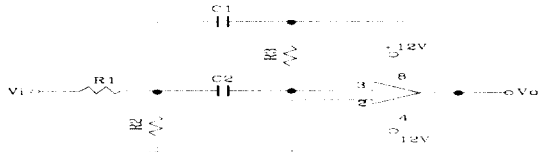


그림 14 BPF 아날로그 회로 구성
Fig. 14 BPF analog circuit

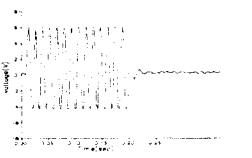


그림 15 외란을 인가하여 위치제어시 발생하는 출력전압
Fig. 15 Output voltage signal from Hall sensor

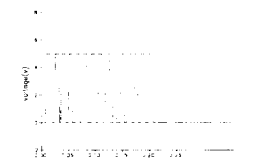


그림 16 그림 15의 출력전압을 펄스로 변환
Fig. 16 Pulse conversion from Hall voltage signal

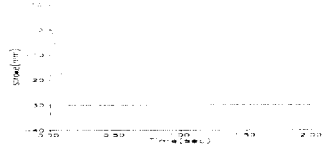


그림 17 종방향 정현파 외란시 역방향으로 30mm 위치제어
Fig. 17 Result of position control of 30mm feed under vertical load

류를 계속해서 공급하게 되어 실제 위치는 훨씬 멀리가 있음이 확인되었다. 종방향 외란 영향을 막기위하여 신호처리 과정에서 자기눈금과 센서 사이의 거리 변화로 인한 홀전압 영향을 없애기 위해 대역통과필터(band pass filter, 이후 BPF로 명함)를 설치하였다. 기존의 신호처리 과정을 대략적으로 살펴보면 홀전압이 발생하여 차동증폭기에서 동상의 노이즈를 제거시키면서 약 50배 정도 증폭을 시킨다. 이어서 1차 shift 회로를 거쳐 비반전증폭회로에서 약 300배 증폭을 한다. 그후 미소 전위조정을 위해 2차 shift 회로를 거치고 실린더 최대속도 이상의 불필요한 신호 및 노이즈를 제거하기 위해 LPF(low pass filter)를 설치하였으며, 차단(cut off)주파수는 약 1000Hz 정도로 하여 원하는 신호만 노이즈 없이 검출하도록 하였다. 이러한 신호처리는 홀전압이 조금만 변화가 생겨도 약 만 배 이상 증폭되어 출력되는 전압은 아주 크게 변화가 생겨 쉽게 포화전압이 되고 만다.

그래서, 본 연구에서는 종방향 외란의 영향을 신호처리 과정에서 해결하기 위해 그림 13과 같이 차동증폭기 후단에 그림 14와 같은 BPF를 설치하였다. 종방향 외란에 의한 홀전압의 변화는 직류성분에 가까운 비교적 아주 낮은 신호가 주종이므로 설계된 대역필터의 특성에 의해 0Hz에 가까운 직류성분은 제거되어 요구하는 신호성분인 교류성분만 남게 된다. 따라서 홀전압이 종방향 외란에 의해 전체적으로 직류성분이 바이어스되어 포화상태가 되는 현상을 제거할 수 있어 자기눈금에 따른 안정적인 홀전

압을 얻을 수 있게 된다. 종방향 영향을 막기 위한 BPF를 설계한 후 이를 실시시스템에 적용하여 종방향 부하외란에 의한 영향 평가를 다시 수행 하였다. 똑같은 그림 9와 같은 정현파 신호의 종방향 외란을 부가하면서 역방향으로 30mm 위치제어를 하여 그림 15와 같은 출력 전압을 얻었다. 후단부인 0.2초 부근에서 신호의 진폭이 줄어짐을 알 수 있는 데, 이것은 PWM 제어에 의해 속도가 저하되면서 필터의 영향을 받아 나타난 현상으로 이 부분의 펄스변환도 역시 다른 부분과 마찬가지로 양호하게 나타남을 그림 16에서 확인할 수 있다. 이러한 펄스를 1/4분주기 카운트 회로를 거치고 역방향으로 30mm의 위치제어를 수행한 결과 그림 17과 같은 실험결과가 얻어졌으며, 이 결과를 보면 BPF를 설치함으로써 종방향으로 주어진 하중 외란에 대해 영향이 없으며 마찬가지로 위치제어시의 성능평가도 양호함을 실험을 통해 최종 입증되었다.

4. 결론 및 향후 연구과제

홀센서를 이용하여 개발한 위치검출 실린더의 측정 성능을 부더운 사막과 같은 열악한 온도환경하에서 평가하기 위해 자기눈금이 형성된 피스톤로드 표면에 가공된 자기눈금의 자장의 변화를 측정할 수 있는 센서 장착구조위에 온도제어 시스템을 구성하였다. 이때 실험을 통해 실제 작업환경의 열악한 주변온도(80℃를 10시간 유지)에 관계없이 선행연구에서 개발된 스트로크 측정 실린더의 피스톤 로드 이동에 대한 정확한 위치 검출과 위치 제어가 안정되게 이루어짐이 판명되었다. 또한 위치제어용 실린더와 커플링된 부하외란용 실린더 구동 시스템을 구성하여 비례전자 감압밸브를 통해 외란을 인가하고 위치제어용 실린더의 부하외란에 대한 성능 평가를 하였다. 이러한 성능평가의 실험을 통해 문제가 되었던 홀전압의 영향을 없애기 위하여 본 연구에서는 기존의 신호처리 과정에 BPF를 설치하였다. 이를 통해 개발한 위치제어용 실린더가 종방향 부하외란에 대해서도 안정성과 신뢰성을 갖추게 되었다. 이제 남은 향후의 연구과제로서는 현재 개발된 위치검출 실린더는 단지 상대적인 위치 검출만 가능한데 이를 개선하여 절대 위치 검출이 가능한 시스템을 개발하고자 한다.

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) 홍영호, 이민철, "신호압축법을 이용한 위치제어용 유압실린더의 성능평가", '95한국자동제어학회학술회논문집, pp.693~696.
- (3) 片岡照榮, 柴田幸男, 高橋清, 山岐弘郎, "Sensor Handbook", 世和出版, pp.100~104, 331~351, 1990.
- (4) 武藤高義, 山田宏尚, 末松良一, "PWM Digital Control of Hydraulic Actuator Utilizing 2-way Solenoid Valves", 油壓と空壓, 第19卷 第7號, pp. 52~59, 1987.
- (5) 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.
- (6) 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.
- (7) 武藤高義, 山田宏尚, 末松良一, 塚本哲也, "差動 PWM 방식による電氣・油壓サーボ系のデジタル制御", 日本機械學會論文集, 第57卷, 第537號, pp. 178 ~ 185, 1987.
- (8) Malvino 原著, 崔成在, 方根泰, 李弘民 共譯, "Electronic Principles (3版)", 尙學堂, pp. 577~584, 1993.
- (9) 月刊 自動化技術 編輯部 譯, "온도·습도센서," 성안당, pp. 10 ~ 180, 1988.