

자동 굴삭을 위한 스트로크 센싱 실린더 위치 제어 The Position Control of Stroke Sensing Cylinder for Automatic Excavation

손 구 영(울산대원), 심 재 군(울산대원),
양 순 용(울산대 기계·자동차공학부), 이 병 룡(울산대 기계·자동차공학부), 안 경 관(울산대 기계·자동차공학부)

Abstract

The Field Robot means the machinery applied for outdoor tasks in construction, agriculture and undersea etc. In this study, to field-robotize a hydraulic excavator that is mostly used in construction working, we developed an interfacing hardware part of stroke sensing cylinder using magnetic sensor and estimated its performance. It is illustrated by experiment that the proposed control system by stroke sensing cylinder gives good performances in the position control

Keywords :Field Robot, Excavator, Stroke Sensing cylinder.

I. 서론

필드 로봇(Field Robot)은 건설, 임업, 농업, 해저 등 다양한 옥외 작업에서 인간을 대신하여 위험하거나 반복적이고 힘든 일을 수행 할 수 있는 것을 의미한다. 특히, 건설 현장에서 많이 사용되는 굴삭기의 생산성 향상, 안전성 확보, 위험한 작업장에서의 해방 등을 위해 자동화, 지능화의 요구가 높아지고 있다. 이에따라, 다양한 작업이 가능한 굴삭기의 자동화 및 지능화에 따른 필드 로봇화에 대한 연구가 진행되고 있다.

필드 로봇의 자동화를 위해서는 무엇보다도 전기적 신호에 의해 연속적으로 제어될 수 있는 전기·유압식 밸브의 제어가 중요하며, 이의 제어를 위해서는 각각의 구동관절에 대한 위치 검출센서가 중요한 역할을 하게 된다. 필드 로봇의 각 관절에 대한 위치 검출을 할 수 있는 센서로서는 대표적으로 포텐시미터, 차동 트랜스듀스, 스트레인 게이지와 스프링 기구를 조합한 방식 등이 있다. 작업의 상황에 따라 적절한 방식이 선택되어야 하며 필드

로봇의 버킷부분은 가혹한 작업환경하에서도 신뢰성과 내구성을 보장하면서 원격조정으로 동작을 직접 제어할 수 있어야한다. 본 논문에서 제안한 직접 위치검출이 가능한 실린더를 이용하면 가혹한 작업환경하에서도 신뢰성과 내구성을 보장받을 수 있다.이와 같은 배경에서 자기센서를 이용하여 직접 위치 검출이 가능한 실린더를 개발하였다. 자기센서를 이용하여 계측한 신호를 위치데이터로 활용할 수 있는 펄스신호로 변환해 검출가능하게 하므로써 스트로크 센싱 실린더의 위치제어시에 발생할 수 있는 자성구배(magnetic slope)에 따른 문제점과 자기센서의 증폭율이 커짐에 따른 노이즈 문제등을 해결하였다. 직접 위치검출이 가능하므로 임의 위치에서의 감속과 정지를 쉽게 행할 수 있어 필드 로봇 뿐만 아니라 다단계 이송장치등에서도 응용이 가능하다.

선행 연구자들의 연구결과에 있어서의 문제점들을 보완하고 좀 더 실제적인 시스템을 구성하여 스트로크 센싱 실린더의 성능평가를 하는 동시에 필드 로봇 개발가능성을 구체화하였다. 실린더 시스템에 대한 정확한 수학적 모델 및 이론적 해석을 통한 제어가 어려우므로 산업현장에서 많이 이용되고있는 PID제어기를 적용하였다.

본 연구에서는 자기센서를 이용한 스트로크 검출에 있어서 실린더 로드의 자성구배 및 노이즈 문제를 회로적으로 해결한 기존의 방법을 디지털 신호처리를 통해 자기센서의 출력파형을 Low pass filter 및 hysteresis를 설정하는 알고리즘을 이용하여 펄스로 변환함으로써 기존의 문제점을 해결하였다. 마지막으로, PID제어 기법을 적용하여 스트로크 센싱 실린더를 이용한 위치제어 실험을 수행하였고 변위 검출의 정확성을 평가하였다.

II. 본론

1. 자기눈금의 형성원리

실린더 로드의 스트로크 센싱을 위해서는 실린더 로드에서 이종(異種)의 투자율을 가진 자기눈금을 형성시켜 자기센서가 이동하는 실린더 로드 위에서 투자율의 변화를 측정할 수 있어야 한다. 여기서 투자율(permeability)이란 자력선을 집중시킬 수 있는 능력을 말하며 연철과 같이 쉽게 자화되는 물질은 큰 투자율을 가지고 있어 그림 2와 같이 자기유도로 인해 자력선이 집중된다.

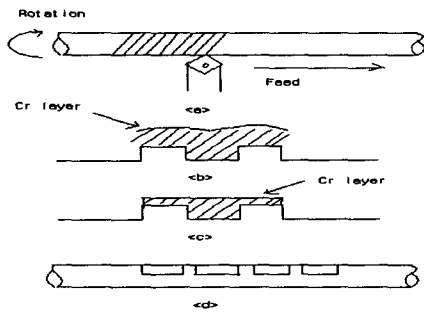


그림 1 자기눈금 형성

2. 홀센서의 원리

실린더 로드에서 가공된 자기눈금을 측정하기 위해 홀효과를 이용한 홀센서를 사용하였다. 홀센서의 일반적인 특징은 출력전압이 자계의 세기 및 입력전류의 크기에 비례하고 또한 자계의 극성에 따라 극성의 출력 전압이 얻어진다. 홀소자의 원리는 다음과 같다. 그림 2에서와 같이 n형 반도체에 전계를 가해서 전류밀도 J 가 흐르고 있는 것에 자계를 가해주면 전계방향에 따라 움직이던 전자는 반도체의 앞방향에 로렌츠력이 가해져서, 전계의 역방향과 θ 의 각도를 이루는 방향으로 움직인다.

홀전압은 식 (1)에 포함된 요소에 의해 결정된다.

$$V_H(\text{홀전압}) = (R_H/d) I_c B f_H = K I_c B \quad (1)$$

여기서 $K = (R_H/d) f_H$ 이고, R_H 는 홀계수로서 반도체 자체의 전자 이동도로 정해지는 물리 상수이다. f_H 는 형상계수로서 형상이나 홀각으로 정해지는 상수이며, d 는 반도체편의 두께이다.

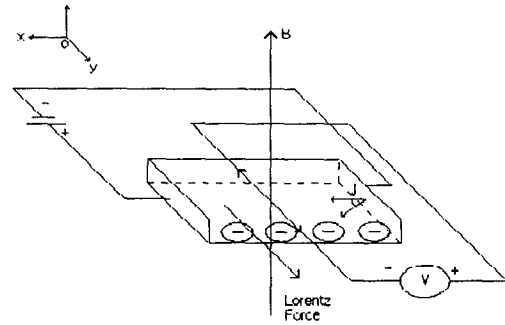


그림 2 전류자기효과의 원리도

B 는 자속 밀도이며 I_c 는 인가전류이다. K 는 값이 클수록 홀소자의 감도가 높고 두께 d 가 작은 소자일수록 출력전압은 크다.

3. 신호 처리부

홀센서로부터 측정된 신호를 처리하는 회로부에 대한 개략도는 그림3과 같다.

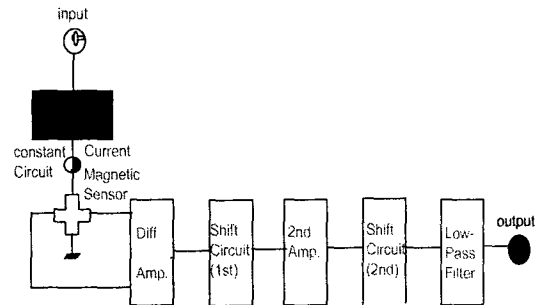


그림 3 회로부 블록도

여기서, 노치필터는 전원에 존재할 수 있는 노이즈 성분을 제거하기 위해서 구성하여 전류방식으로 구동되는 홀센서에 일정한 전류가 공급되도록 하였으며 계측된 홀센서에서 얻을 수 있는 출력전압은 매우 미약하므로 전압을 증폭시키는 회로로 차동연산증폭기를 구성하여 홀센서에서 발생하는 불평형전압을 보상함과 동시에 홀센서에서 발생하는 노이즈 성분도 감소시키도록 하였다. 또한 shift 회로(1차)를 구성하여 차동증폭된 신호가 나타내는 전압을 0V에 offset을 조정하여 증폭율이 높은 비반전 증폭(2차 증폭)후에 출력전압이 포화전압을 넘지 않도록 하였다. 저역 통과 필터를 구성하여 이동하는 실린더 스트로크의 최대 주파수 이상의

노이즈를 제거 하도록 하였다. 또한 스트로크 센싱 실린더 출력신호를 제어 입력 신호인 펄스 변환 문제점의 해결을 위한 물리적인 해결 방식의 한계를 본 논문에서는 S/W적으로 처리하는 방식이 적용되었다.

4. 실험 장치의 구성

스트로크 센싱 실린더의 성능을 평가 하기 위해서는 실제 이송된 변위에 대한 정보와 측정된 값을 비교할 수 있어야 한다. 이를 위한 실험 장치 및 실험 장치의 Block diagram은 사진 1과 그림 4와 같다.

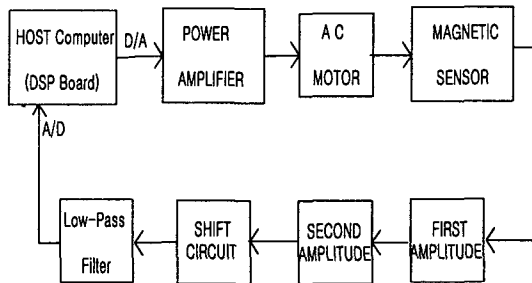


그림 4 전체시스템의 구성도

실린더 로드의 전체적인 이송시에 발생하는 Noise 및 자성구배가 존재하여 정상적인 펄스변환이 이루어지지 않는다. 이러한 문제는 1차적으로 신호처리부에서 처리된다. 본 연구에서는 자기센서의 출력파형을 DSP Board에서 A/D변환기로 받아 디지털 신호처리 알고리즘을 이용하여 신호처리 해주므로 Noise에 관계없이 자기눈금에 따른 펄스파형이 생성되도록 하였다. 생성된 펄스변형은 카운트 회로에 출력되어져 Noise가 존재해도 스트로크 센싱 실린더의 정확한 위치제어 가능하게 된다.

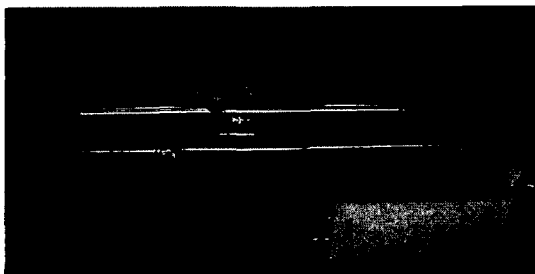


사진 1 실험장치

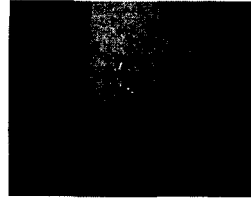


사진 2 실험장치 Panel



사진3 인터페이스부

5. 디지털 신호 처리 알고리즘

스트로크센싱 실린더에서 검출된 파형을 펄스로 변환시키는 과정에 발생하는 노이즈 문제에 의해 실린더 변위가 발생하여도 정확한 펄스파로 변화되지 못한 부분은 변위의 오차로 발생한다. 이것을 해결하기 위해서 자기 눈금이 검출 될 때 정확히 펄스로 변환시킬 수 있는 디지털 신호처리 알고리즘이 필요하다. 제안하는 디지털 신호처리 알고리즘은 그림 5와 같다.

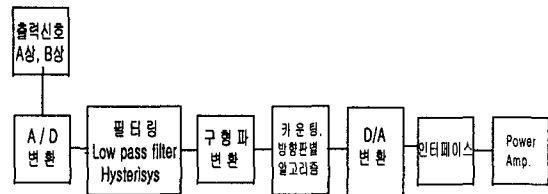


그림 5 디지털 신호처리 원리도

마그네틱센서로부터 출력되는 신호는 앞부분에서 설명한 신호처리부에 의해 1차적으로 Noise가 제거되고 A/D변환을 통해 DSP Board로 입력된다. 다음에 DSP Board상에서 Low pass filter 및 Hysterisis의 디지털 신호처리 알고리즘을 적용하여 Noise가 제거된 구형파로 변환한다. 이 구형파 신호는 카운팅·방향판별 알고리즘을 적용하여 피스톤 로드의 변위를 계산한다. 다음에 계산된 변위에 대하여 PID 제어를 적용하였다. DSP 보드로부터의 출력은 D/A변환기를 통해 Power Amp.로 입력되어 AC Motor를 구동하게 된다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 무모델형 이산 PID제어를 적용하여 실린더의 위치 제어 실험을 수행하였다. 이를 위해 디지털 신호처리 알고리즘과 PID 제어를 수행하는 프로그램을 작성하고 이를 DSP보드에 다운로드함으로써 로스트로크 센싱 실린더의 제어가 되도록 하였다. 실험에 사용한 프로그램은 그림 6과 같다.

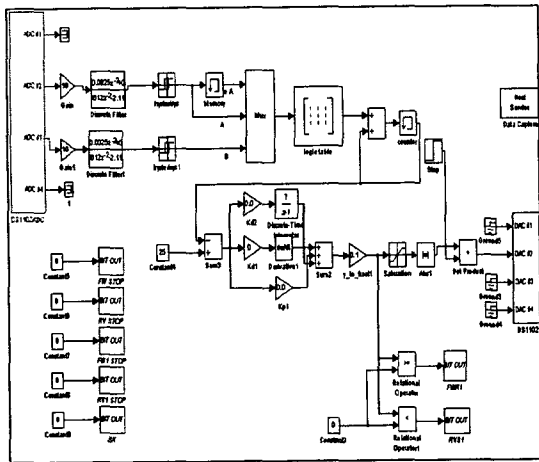


그림 6 신호 처리 및 제어의 프로그램

마그네틱 센서부로부터의 출력은 A상과 B상의 2개 신호이다. 그림 7에 마그네틱 센서부로부터 나오는 A상 신호의 출력 파형을 나타낸다.

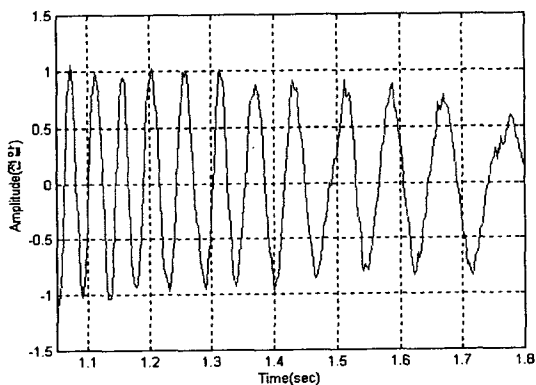


그림 7 마그네틱 센서부로부터의 A상 출력 파형
마그네틱 센서부의 A, B상 출력 신호는 DSP 보드로 입력되고 A/D 변환을 통해 디지털신호로 바뀌게 된다. 이 신호는 프로그램으로 구현한 Digital Low Pass Filter를 통해 고주파의 Noise를 제거한다. 그림

8에 Cut off Frequency가 1kHz인 Butterworth Digital Low Pass Filter를 통과한 A상 신호의 파형을 나타내었다.

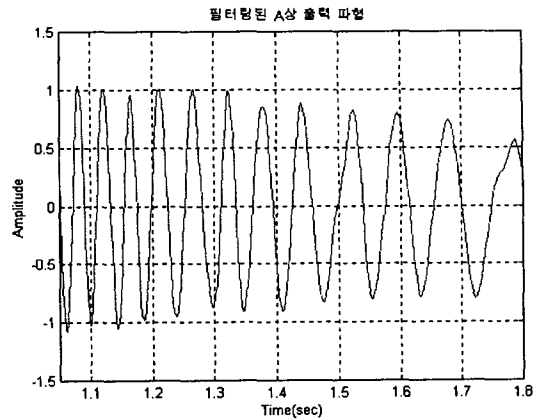


그림 8 필터링된 A상 출력 파형

필터링된 A,B상 신호들은 다시 Zero Crossing 부근의 작은 Amplitude의 신호들을 제거하기 위해 Hysterisis를 적용하여 구형파로 변환하는 과정을 거치게 된다.

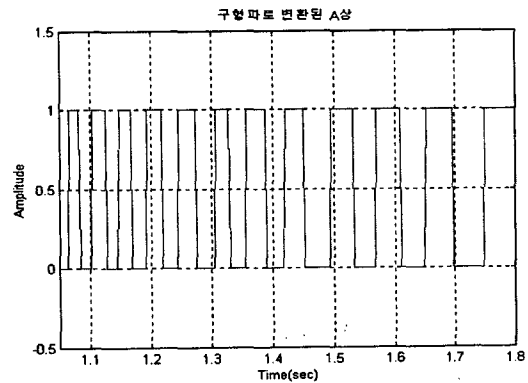


그림 9 구형파로 변환된 A상

다음에 구형파로 변환된 A, B상 신호는 Logic Table 형태로 구현한 카운팅 및 방향 판별 알고리즘을 사용해 카운팅 및 방향 판별을 하게 된다.

본 논문의 실험에 사용된 실린더 로드와 자기눈금은 2mm 간격이다. 그러므로 50mm만큼 이동하였을 때 펄스변환에 의한 카운팅 값은 25가 된다.

그림 9는 목표위치를 50mm로 했을 때의 실린더의 변위와 그림 10은 제어 입력을 나타내었다.

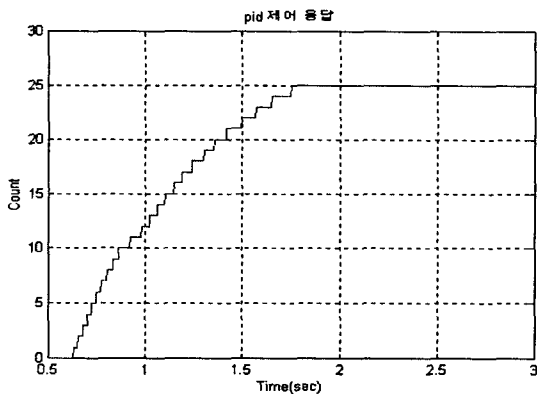


그림 10 제어 응답

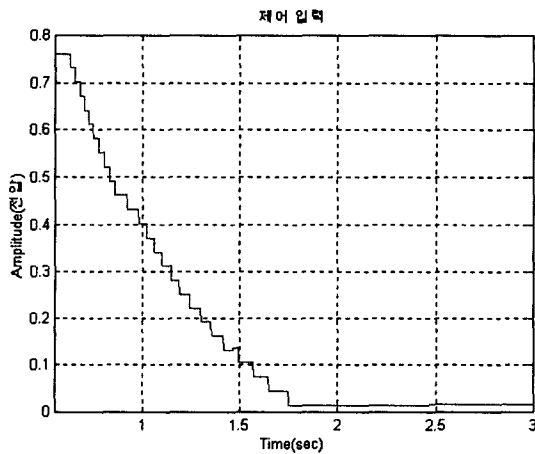


그림 11 제어 입력

그림 9에서 보듯이 정상상태 오차 없이 정확히 25펄스의 카운팅이 이루어졌음을 알 수 있고 실험장치에 부가적으로 연결된 엔코더와 눈금자를 통해 움직인 변위를 측정하였을 때 실린더 로드에서 새겨진 자기눈금의 1눈금 간격인 2mm의 오차 이내로 제어가 수행되었음을 확인하였다.

VI. 결론

본 논문은 필드 로봇 개발을 위해 자기센서를 이용한 스트로크 센싱용 실린더를 PID제어 기법을 이용해 위치제어를 수행하였다. 이때 자기센서로부터 측정된 신호를 처리함에 있어서의 문제점이 되었던 노이즈를 경감시켰다. 본 연구에서 개발한 자기눈금이 형성된 실린더 로드와 자기센서를 이용한 센서 장착구조로 구성된 스트로크 센싱 실린더를

이용하면 실린더 로드의 스트로크 센싱이 가능함이 판명 되었고, PID 제어 기법을 이용하여 위치-제어가 수행됨을 보았다.

참고문헌

- [1] N. Kimura, H. Araya, M. Kakuzer, "Automatic control system for hydraulic excavator", *Kobe Steel Engineering Report*, Vol.37, No.2, 1987.
- [2] 이민철, "슬라이딩 모드를 이용한 로봇 매니플레이터의 실시간제어에 관한 연구", 대한기계학회, 제16卷, 第11號, pp2011~2020
- [3] Hashimoto, H., et al., "A Microprocessor-Based Robot Manipulator Control with Sliding Mode" *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol.134, No.1, pp11~18.
- [4] 양순용 외 4., "굴삭기 자동화를 위한 스트로크 센싱 실린더 개발에 관한 연구", 한국 자동제어 학술회의논문집, 1994.
- [5] 최용준, 양순용외2, "홀센서를 이용한 유압실린더의 스트로크 센싱 실린더 개발에 관한 연구", 한국 정밀공학회, 94년도추계학술대회논문집, pp.375-380, 1994.
- [6] T. Yoshimura, K. Etokoro, "A Simulation Study of Leveling Control by Hydraulic Shovels", *日本機械學會論文集(C編)*, 58卷, 554号, 1992.
- [7] 足立修一, *制御のためのシステム同定*, 東京電機大學出版局, 1999.
- [8] *Sensor Handbook*, 世和出版, 1990, pp100~104, 331~351