

자기센서를 이용한 절대위치 검출형 고정도 유압 실린더 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Hydraulic Cylinder with Magnetic Sensors for Detecting Absolute and Precise Position

°박 민 규(부산대 대학원), 이 민 철(부산대 공대), 이 만 형(부산대 공대), 양 순 용(삼성중공업)

M. K. Park(Graduate School, Pusan National Univ.), M. C. Lee(Pusan National Univ.)

M. H. Lee(Pusan National Univ.) S. Y. Yang(Samsung Heavy Industry)

ABSTRACTS

This paper introduces the development of hydraulic cylinder with magnetic sensors detecting absolute and precise position for automation of excavator. The system which is developed can detect absolute position with a little displacement by using algorithm for recognizing datum points, 1/4 divider algorithm and high precision algorithm improved position precision and robustness to noise etc. The solenoid valve and PWM control using saw-toothed wave are used for absolute position control of cylinder, respectively

Key Words: absolute position detecting cylinder (절대위치 검출형 실린더), magnetic sensor(자기 센서), datum point(기준점), high precision algorithm(고정도 알고리즘), PWM control(PWM 제어)

1. 서론

메카트로닉스에 의한 기술은 점차 고도화되어 종래의 기계장치들 보다 조작성 간편하며 작업성이 우수한 장치로 변모되고 있다. 센서와 마이크로 프로세서 등의 전자기기는 기능·신뢰성의 면에서 상당히 진보되어 작업환경이 열악한 건설기계에 있어서도 자동화의 연구가 가능하게 되었다. 한편 유압 굴삭기의 경우 숙련된 기능 노동자가 부족하고, 건설업 자체가 타 산업에 비해 위험한 작업이 많으므로 자동화가 절실히 요망되고 있는 추세이다. 유압 굴삭기의 자동화를 위해서는 전기적 신호에 의한 전기·유압식 밸브의 연속적인 제어가 필요하며 제어를 위해서는 각각의 구동관절에 대한 위치검출센서의 역할이 대단히 중요하다. 특히, 굴삭기의 버킷 부분에 있어서는 가혹한 작업환경에 대하여 내구성, 내진성 등이 요구되므로 실린더의 변위를 직접 검출하는 것이 안전하고 효과적이라 할 수 있다. 이와 같은 배경에서 선행 연구에서 홀센서⁽¹⁾를 이용하여 상대위치 검출이 가능한 유압 실린더를 개발하였고,⁽²⁾⁻⁽³⁾ 개발된 상대위치검출 실린더의 온도·충격에 대한 영향평가를 수행하여 열악한 환경상에서의 사용가능성을 밝혔다.⁽⁴⁾ 하지만 이러한 선행 연구에서 개발된 위치검출 실린더는 위치검출시 상대적인 위치만을 인식하므로 작업 시간전에 절대위치의 기

준점을 찾아 주어야 하는 문제점과 장시간 사용할 때 누적되는 오차로 인해 신뢰성을 잃을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 실린더의 기동시 미소 변위만 주어지면 절대위치를 검출할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위한 절대위치 인식 눈금가공 방법 및 절대위치를 안정하게 인식하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한 개발된 절대위치 검출 실린더의 위치 정도를 개선시키기 위해 1/4분주기 및 고정도 알고리즘을 도출하고자 한다.

2. 절대위치 검출 시스템

2.1 홀센서를 이용한 변위 측정 원리

홀센서는 전자나 정공 등의 하전 캐리어(carrier)가 자기장에 놓여진 반도체 내를 움직일 때 운동방향에 수직인 로렌츠(Lorentz)력이 작용하는 것을 이용한 것이다.⁽¹⁾ 사용된 홀센서의 원리는 Fig. 1과 같

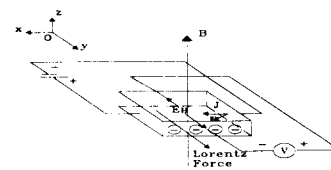


Fig. 1 Principle of Hall sensor

다. 피스톤 로드에서 이중(異種)의 투자율을 가진 자기 눈금을 형성시켜 홀센서로서 투자율의 변화를 측정함으로써 피스톤 로드의 변위를 계측할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 사용된 센서장착구조는 자기 눈금 가공을 한 피스톤 로드와 센서와의 간격이 수백 μm 이내로 충격·진동에 관계없이 일정하게 유지되도록 설계·제작되어져 있다.

2.2 절대위치 검출을 위한 전체 시스템

절대위치 검출을 위한 시스템은 Fig. 2와 같이 유압 실린더의 구동을 위한 유압장치, 자기센서가 장착된 센서장착구조, 자기 눈금이 가공된 실린더, 자기 센서로부터의 출력파형을 증폭 및 필터링을 하는 신호처리회로부 및 위치 검출 및 제어를 위한 호스트 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 홀센서로부터 측정된 홀전압 파형을 신호처리를 하여 각종 노이즈를 제거한 후 A/D변환기를 통해 컴퓨터에서 읽고 이 신호를 펄스변환 알고리즘에 의해 펄스로 바꾼 다음 카운트 회로 또는 계수 알고리즘을 이용해서 위치를 검출한다.

2.3 신호처리 회로의 구성

자기센서로부터 측정된 신호를 처리할 수 있는 회로부에 대한 개략도는 Fig. 3과 같다.

노치필터는 전원에 존재할 수 있는 노이즈를 제거하기 위해서 구성하였으며 전류방식으로 구동되는 자기센서(THS103A)에 일정한 전류가 공급되도록 정전류회로를 구성하였다. 그리고 자기센서의 출력전압이 미약하므로 차동연산증폭기를 구성하여 자기센서에서 발생하는 불평형전압을 보상함과 동시에 1

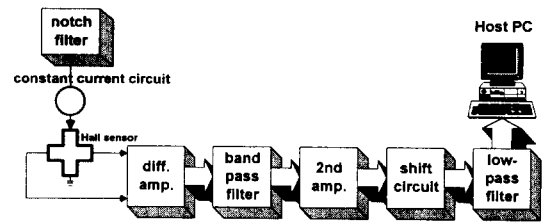


Fig. 3 Schematic diagram of signal processing circuit

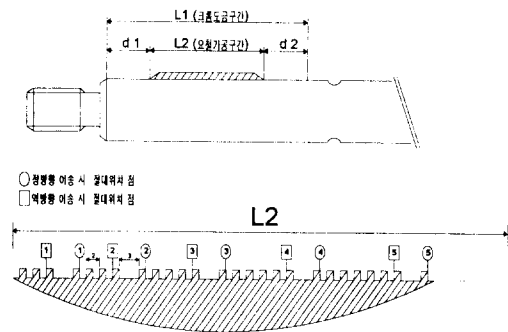


Fig. 4 A section of piston rod and datum points for detecting absolute position

차증폭시키고, 증폭이나 외란에 의해 포화전압이 되는 것을 방지하기 위해 대역통과필터를 구성하였고, 다시 비반전증폭기(2차증폭기)를 이용해서 컴퓨터로 읽을 수 있는 전압레벨까지 증폭시킨다. 그후 미소전위조정을 위해 shift 회로를 거치고 실린더 최대속도 이상의 불필요한 신호 및 노이즈를 제거하기 위해 저역통과필터를 설치했다.

2.4 절대위치 검출형 피스톤 로드 설계

절대위치를 인식하기위한 방법으로 피스톤 로드의 자기스케일을 변형하는 방법을 사용한다.

Fig. 4에서와 같이 기준점 사이의 일정한 간격의 요철의 눈금이 n ($n=3, 4, 5, \dots$)주기마다 철(凸)부분의 눈금을 제거하는 방식으로 L2구간을 자기 눈금 가공을 한다. 그후 L1구간을 크롬도금하고 평삭가공을 한다. 단순히 요철가공만 된 경우에는 투자율에 의한 홀전압 차이가 거의 없으므로 요철부에 크롬도금을 하고 평삭가공을 해야만 뚜렷한 홀전압의 차이를 측정할 수 있다.

3. 절대위치 제어 및 고정도 계수 원리

3.1 절대위치 검출 원리

Fig. 5는 피스톤 로드가 정방향으로 이동할 경우의 절대위치 검출 원리를 나타낸다.

Fig. 5의 (a)는 피스톤 로드가 정방향으로 이동할 때 홀센서의 출력파형과 이 출력파형을 디지털 신호처리에 의해 구형파로 변환시킨 신호를 나타낸다. 요철

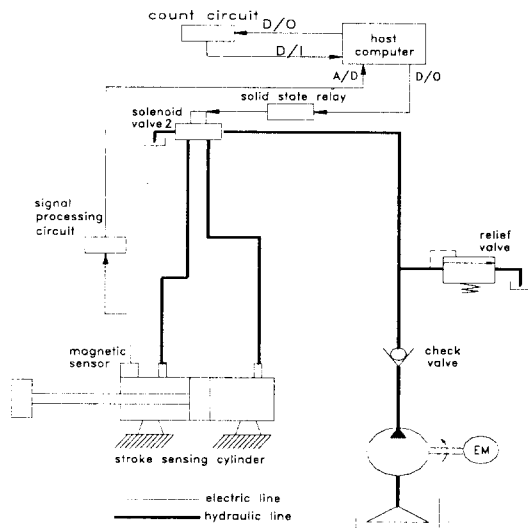


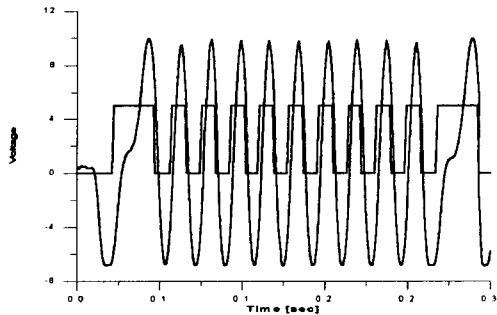
Fig. 2 Operating system of hydraulic cylinder

을 지난 후 3mm가공한 부분에서의 홀센서 출력파형은 자장의 영향으로 변곡점을 가지며 상승함을 알 수 있고 이 부분에서 구형파는 5V로 유지하고 있다. Fig. 5의 (b)는 Fig. 5의 (a)의 구형파 신호를 톱니파 신호로 변환해서 절대위치를 인식하는 방법에 대한 그림이다. 톱니파 변환 원리는 구형파 크기의 중심인 2.5V를 기준으로 5V까지는 톱니파를 점진적으로 증가시키고, 2.5V에서 0V까지는 점진적으로 감소시킴으로써 구형파를 톱니파로 변환할 수 있다. 톱니파 변환 시 철(凸)부분의 눈금을 하나 제거한 기준점 부분에서의 톱니파의 크기가 요철가공한 부분의 피크치보다 약 3배정도 큼을 알 수 있다. 이 점을 첫번째 기준점으로 인식한 후 피스톤 로드가 어느 위치에 있어도 두번째 기준점을 통과하는 순간 기준점 사이의 요철 개수를 계수함으로써 절대위치를 인식할 수 있다.

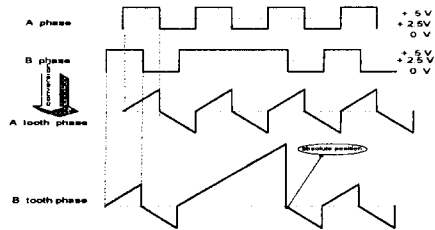
역방향으로 이동할 경우에도 기본적인 검출 원리는 정방향과 같다.

3.2 고정도 계수 원리

거리를 계수하기 위해서는 먼저 절대위치를 인식하기 위해 가공한 기준점 부분의 톱니파를 보상해주어야 한다. Fig. 6은 톱니파 보상원리를 나타낸다. 톱니파의 크기가 요철가공한 부분의 톱니파의 피크치보다 임의의 배수의 구간에서는 0에서 점진적으로 감소시키고, 그 이상의 구간에서 톱니파의 최대값까



(a) Hall sensor signal and square wave signal



(b) Transform square wave signal into tooth wave signal

Fig. 5 Principle for detecting absolute position in forward direction

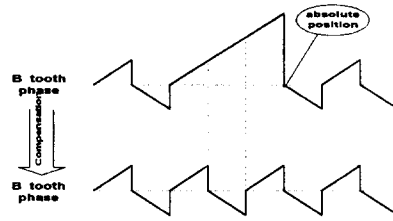


Fig. 6 Compensation tooth wave

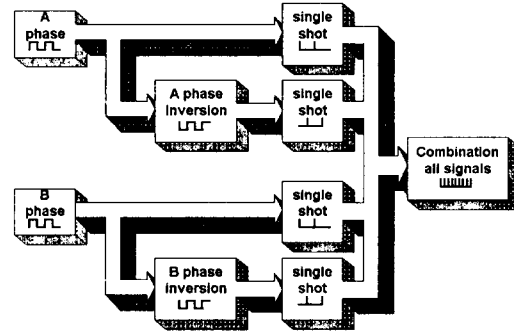


Fig. 7 Schematic diagram for 1/4 divider

지는 다시 0에서 점진적으로 증가시킴으로써 톱니파를 보상해주고 이 보상된 톱니파를 다시 구형파로 변환하여 1/4분주기를 이용해서 계수한다.

Fig. 7은 본 연구에서 사용된 1/4분주기의 개괄적인 블록도이다. 기존의 1/4분주 카운트 회로를 응용하여 알고리즘적으로 처리함으로써 노이즈에 강인하고 하드웨어 구성이 간단해 지도록 하였다.

먼저 보상된 A, B 상 구형파를 입력으로 하고 A, B 상을 반전하여 \bar{A}, \bar{B} 신호를 만들고, 이 신호들을 샘플링 타임을 이용하여 싱글쇼트(single shot)시켜서 $\Delta A, \Delta B$ 와 $\Delta \bar{A}, \Delta \bar{B}$ 를 만들고 위의 신호를 조합해서 1/4분주기를 설계하였다.

이와 같이 피스톤 로드의 가공주기가 1mm이므로 1/4분주기를 이용해서 1/4mm정도(精度)를 가질 수 있다. 그리고 1/10mm이하의 정도를 가지기 위해서 Fig. 6에서의 보정된 톱니파를 이용하여 고정도 계수가 가능하도록 하는 알고리즘을 제안하였다. 고정도 계수 원리는 현재의 톱니파의 절대값을 가장 최근에 측정된 톱니파 피크치로 나누어 계산하며, 초기 기동 시에는 이전에 실험을 통해 얻었던 피크치의 추측값으로 나눈다.

이 보정된 톱니파는 샘플링 시간을 기준으로 누적되었기 때문에 샘플링 시간을 좀 더 빠르게 하면 구형파 한 주기에 많은 단계가 이루어져 더 높은 정도를 얻을 수 있게된다.

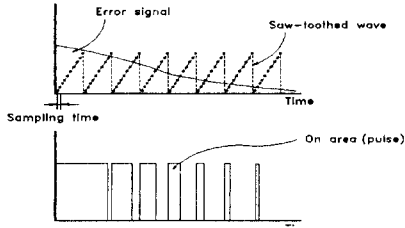


Fig. 8 Principle of PWM control using saw-toothed wave

3.3 절대위치 검출형 실린더의 PWM 제어

본 연구에서 절대위치용 실린더 구동에 이용된 솔레노이드 밸브는 디지털 형태의 밸브로서 단순히 ON/OFF 동작으로 유체 펄스열을 형성하고 이에 의하여 평균적인 유체출력을 제어한다.⁽⁵⁾ PWM 제어 방식은 이러한 유체펄스열을 형성하는 변조법으로서 오차에 비례하여 밸브의 개폐시간의 폭을 조절하는 펄스폭 변조 방식이다. 본 연구에서는 Fig. 8과 같이 톱니파를 이용한 PWM 제어를 실현하였다.⁽³⁾

3.4 절대위치 검출 실린더의 위치제어 알고리즘

절대위치 검출 실린더를 이용한 위치제어 및 디지털 신호처리 알고리즘의 흐름도는 Fig. 9와 같다. 먼저 실린더의 최초 기동 시 피스톤 로드 방향이 역방향으로 이동한다. 피스톤 로드 방향이 이동하면서 홀센서의 신호가 검출되며 컴퓨터에서 디지털 구형파 변환 알고리즘을 통해 구형파로 변환되고, 이 변환된 구형파를 다시 톱니파로 변환한다. 기준점에서 톱니파의 피크치가 전 단계의 피크치보다 약 3배 가량 큰 것을 이용하여 기준점을 찾을 수 있고, 기준점을 두 번 찾게 되면 그 사이의 피크치를 계수함으로써 현재의 절대위치를 알 수 있다. 사용자가 목표했던 절대위치와 현재의 절대위치를 이용해서 새로운 거리 입력값을 구하고 위치제어를 한다. 위치제어를 함으로써 현재의 절대위치점에서 목표했던 절대위치로 피스톤 로드 방향이 이동하게 되고 기준점을 통과할 때마다 기준점의 절대위치값과 계산된 위치값을 비교하면서 예상치 못한 외란이나 노이즈로 생긴 오차를 보정한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 고정도 계수 알고리즘을 이용한 실험

1/4분주기와 고정도 알고리즘을 동시에 적용한 경우와 1/4분주 카운트 회로만을 적용한 경우의 정도를 비교한 결과는 Fig. 10과 같다. 1/4분주 카운트 회로만을 사용한 경우 정도가 0.5mm이지만 1/4분주기와 고정도 알고리즘을 사용한 경우 샘플링 시간이 1ms일 때 0.2mm 이하로 정도가 높아짐을 알 수 있

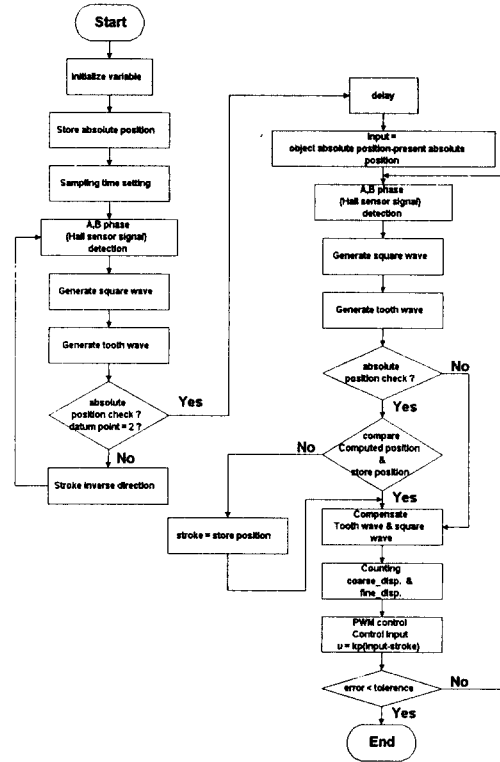


Fig. 9 Flow chart for position control of the cylinder detecting absolute position

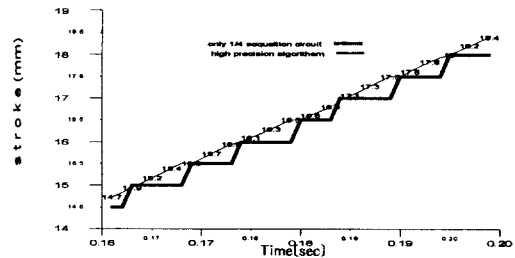


Fig. 10 Comparison of Sensing accuracy

다. 만약 샘플링 시간을 아주 짧게 하면 분해능을 더욱 더 높일 수 있다.

4.2 절대위치 검출 및 제어 실험

본 연구에서 제안한 방법으로 가공된 자기눈금을 가진 피스톤 로드 방향에 개발한 알고리즘을 적용시켜 절대위치 검출 및 절대위치 제어 실험을 수행하였다. 이때 목표로 하는 절대위치값으로 30.3mm를 주었다. 먼저 피스톤 로드상의 기준점들의 절대위치 값을 Table 1과 같이 실제 거리를 계산하여 적납했다.

Fig. 11은 초기 기동 시부터 기준점을 두 개 인식할 때까지의 홀센서의 출력신호와 이 출력신호를 디지털 신호처리에 의해 구형파로 변환한 결과이다.

Table 1 Absolute position storage values for datum points

| 기준점 사이의 구형과 개수 | 정방향에 대한 절대위치 값 | 역방향에 대한 절대위치 값 |
|----------------|----------------|----------------|
| ... | ... | ... |
| 6 | 61 | 40 |
| 7 | 79 | 56 |
| 8 | 99 | 74 |
| 9 | 121 | 94 |
| ... | ... | ... |

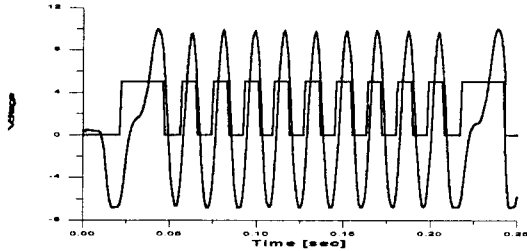


Fig. 11 Hall sensor signal and square wave signal

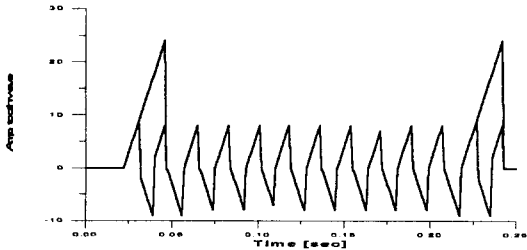


Fig. 12 Tooth wave signal and compensated tooth wave signal

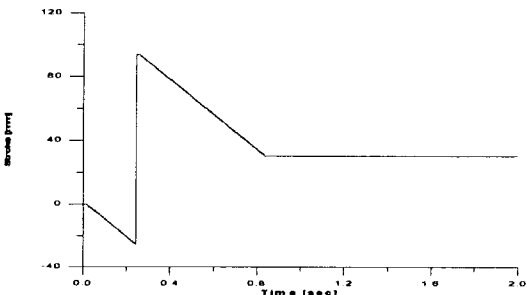


Fig. 13 Control result of absolute position 30.3mm

그리고 Fig. 12는 기준점을 인식하기 위해 Fig. 11의 구형파를 다시 톱니파로 변환하고 톱니파의 피크치를 비교함으로써 기준점을 인식하는 과정을 보여주고 있으며 기준점을 두 개 검출했을 때 기준점 사이의 구형파 개수를 계수함으로써 현재의 절대위치 값을 알 수 있다. 실험에선 역방향으로 이송했으며 기준점 사이의 구형파 개수가 9개 이므로 Table 1에서 현재의 절대위치 값이 94mm임을 확인할 수 있

다. 그리고 이 톱니파 보정 알고리즘을 통해 기준점에서의 톱니파를 보정하고 다시 구형파로 변환해서 1/4분주기와 고정도 알고리즘을 적용하여 0.2mm 정도(精度)의 위치를 계수한다. Fig. 13은 절대위치 30.3mm의 제어 결과이며 초기 기동시 역방향으로 이송하면서 2개의 기준점을 인식해서 절대위치 점을 찾은 후 절대위치 30.3mm 위치제어를 하기 위해 역방향으로 다시 64.3mm 움직여 정확한 위치제어를 수행하였다.

5. 결론

본 연구에서 개발한 절대위치 검출형 실린더는 피스톤 로드에서 여러개의 기준점을 설정함으로써 미세한 변위로도 절대위치 검출을 가능하게 하였으며 기준점을 인식할 때마다 거리보정을 함으로써 오차의 누적이 없도록 하였다. 또한 제한한 피스톤 로드는 비교적 간단한 가공방법으로 피스톤 로드를 가공할 수 있어 제작이 용이하다. 기준점을 설정하기 위해 가공 폭을 조절함으로써 기준점에서 정도가 떨어지는 문제점이 있었으나 알고리즘적으로 보정하였고, 톱니파를 이용한 고정도 알고리즘을 개발함으로써 기존의 0.5mm 정도(精度)를 0.2mm이하의 정도까지 낼 수 있도록 하여 미세한 작업도 가능하게 하였다. 또한 기존의 1/4분주 카운트 회로를 사용함으로써 유발될 수 있는 노이즈 등의 문제를 해결하기 위해 디지털 신호처리를 이용한 1/4분주기를 설계함으로써 아날로그 신호에서 첨가될 수 있는 노이즈의 영향을 제거하므로 신뢰도를 개선시켰다. 절대위치 검출 실린더의 위치제어를 위해 톱니파를 이용한 PWM제어를 이용하여 위치제어를 수행한 결과 비교적 정확한 절대위치 제어가 가능하였다.

참고문헌

1. 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.
2. 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 IEEE ISIE 95, Vol. 1 of 2, 363~368, 1995
3. S. Y. Yang, M. C. Lee, M. H. Lee, and S. Arimoto, "Development of digital stroke sensing cylinder and its performance evaluation", Robotica, Vol.16, pp.687~694, 1996
4. 김성현, 이민철, 이만형, 양순용, "자기센서를 이용한 위치검출 실린더의 환경에 따른 성능평가", 96한국자동차공학술회의논문집, pp 636~639, 1996
5. 武藤高義, 山田宏尙, 末松良一, "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.