

자기 센서를 이용한 스트로크 센싱 실린더의 개발 및 성능평가

Development of Stroke Sensing Cylinder Using Magnetic Sensor and Its Performance Estimation

*홍영호(부산대원), 이민철(부산대 기계공학과)
이만형(부산대 제어기계공학과), 양순용, 진영일(삼성중공업)

ABSTRACT

We developed a part of stroke sensing cylinder using magnetic sensor and estimated its performance. In this paper, for the performance estimation of stroke sensing cylinder, we consist of hydraulic system using solenoid valve with ON-OFF motion. In order to the control of solenoid valve for the position control of cylinder rod, PWM (Pulse Width Modulation) method which modulates time pulse width in proportion to error was used. A performance of cylinder rod with magnetic scales was evaluated by its hydraulic system.

1. 서 론

건설기기는 지능화의 진진도가 타 기계에 비하여 낮은 실정이다. 그 원인으로서는 건설기기의 작업 조건이 가혹하고 보수, 정비가 주로 건설 현장인 야외에서 이루어지는 경우가 많으며 작업 중의 소음, 진동 등이 발생하기 때문이다. 이러한 건설기기는 축전을 요하는 지능-도동자가 부족하고, 다산입과 비교하여 위험한 작업이 많으므로 노동재해 발생률이 높기 때문에 자동화가 진척히 요망된다고 할 수 있다. 이에 최, 이민¹⁾ 등은 위치감축이 가능한 실린더를 사용한 방법을 제안하였으며 그 배경은 요약하면 다음과 같다.

유압장치의 자동화를 위해서는 무엇보다도 전기자 신호에 의해 연속적으로 제어될 수 있는 전기-유압식 밸브의 제어가 중요하다. 이의 제어를 위해서는 각각의 구동관선에 대한 위치감축센서가 중요한 역할을 하게 된다. 위치감축을 할 수 있는 센서로서는 대표적으로 포텐쇼미터, 직동트랜스듀스, 스트레인 게이지와 스프링 기구를 조합한 방식 등이 있으나, 대부분 가혹한 작업환경 하에서 신뢰성과 내구성을 보장할 수 없다. 이에 비해 직접 위치감축이 가능한 실린더를 이용하면 가혹한 작업환경하에서도 신뢰성과 내구성을 보장할 수 있다.

이와 같은 배경에서 최, 이민¹⁾ 등은 자기센서²⁾를 이용하여 직접 위치 감축이 가능한 실린더를 개발하고자 하였다. 이를 위해서 로보트 매니플레이터와 유사한 2축 계층성치를 구성하여 자기능입이 가능한 실린더의 자기능입 가동성도를 평가하였으며, 자기센서를 이용하여 계측한 신호를 위치데이터로 활용

할 수 있는 원스킬호로 변환해 감축가능하게 하므로써 스트로크 센싱 실린더 개발의 가능성을 밝혔다. 하지만 스트로크 센싱 실린더의 위치제어시에 발생할 수 있는 자성구배(magnetic slope)에 따른 문제점과, 자기센서의 증폭율이 커짐에 따른 노이즈 문제 등 설치시스템에 적용한 경우에는 보완해야 할 부분이 많이 있었다.

본 연구에서는 이와 같은 진행 연구자들의 연구결과에 있어서의 문제점들을 보완하고 좀 더 실제적인 시스템을 구성하여 스트로크 센싱 실린더의 성능평가를 하는 동시에 개발가능성을 구체화하였다. 이를 위해 자기능입이 형성된 실린더 표면에 따라 신호의 센싱을 양호하게 할 수 있도록 자기 센서를 장착할 수 있는 센서 부착구조를 설계·제작하여 실린더에 장착하였다. 유압 실린더의 구동에는 솔레노이드 밸브를 이용한 유압 시스템을 이용하였으며, 실린더 로드의 위치 제어를 오차에 비례하여 밸브의 개폐시간주를 조절하는 PWM³⁾ 방식 (Pulse Width Modulation) 방식을 이용하였다. 즉, 솔레노이드 밸브의 ON/OFF 시간을 비례제어입력에 따라 PWM방식으로 제어하여 실린더 로드의 위치제어를 수행하였으며, 그 성능을 평가하였다. 자기센서의 출력전압은 미약하므로 신호를 감축하기 위해서 높은 증폭을 거치야만 하였으며 이 과정에서 증폭된 노이즈의 강감을 위해 실험원격자들이 설계한 회로를 수정 보완하여 노이즈를 거의 감감시켰다. 자기 센서는 부자용의 변화를 측정하여 출력전압을 발생시키며, 이 출력전압을 이용하여 위치감축을 위한 원스킬호를 얻어야 하므로 실린더 로드에서 의 자성구배가 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 실린더 로드

의 탈사와 처리를 통해 자성구배에 따른 분체침을 어느 정도 개선하였다.

2. 자기 센서를 이용한 스트로크 센싱 실린더

자기센서는 전사나 정공 등의 하전 캐리어(carrier)가 자계중에 놓이진 반도체내를 움직일 때 운동방향에 수직인 로렌츠(Lorentz)력이 작용하는 것을 이용한 것이다⁽⁶⁾. 여기에는 크게 홀(Hall)효과를 이용한 것과 자기저항효과를 이용한 것으로 분류된다. 이러한 자기센서는 피측정 자계를 혼란시키지 않고, 고감도로서 직선성이 좋은 자전변환특성을 가진 수 있다는 장점이 있다. 또한, 소형 경량이며 지능센서(intelligent sensor)IC로서의 활용이 가능하다. 본 연구에서 사용한 자기센서의 원리는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서와 같이 n형 반도체에 전계를 가해서 전류밀도 J 가 흐르고 있는 것에 자계를 돌리면 전계방향에 따라 움직이던 전자는 반도체의 앞방향에 로렌츠력이 가해져서, 전계의 역방향과 θ 의 각도를 이루는 방향으로 움직인다. 이 결과 반도체 앞쪽에 전자가 쏠려 이쪽이 음(-)으로 반대쪽이 양(+)으로 대전되어 횡방향으로 전계가 발생하게 된다. 이것을 홀(Hall)효과라고 하며 이 때 생성되는 전계를 홀전계라 한다.

본 연구에서는 자기센서가 이동하는 실린더 로드 위에서 실린더 로드 에 이종(異種)의 투자율(permeability)을 가진 자기분극을 형성시켜 투자율의 변화를 측정하므로 실린더 로드의 이송위치를 계속할 수 있도록 하였다. 여기서 투자율이란 자력선을 집중시킬 수 있는 능력을 말하며 연철과 같이 쉽게 자화되는 물질은 큰 투자율을 가지고 있어 유도에 의해 자력선이 집중된다. 유도에 의한 철막대의 자화에 있어서 자속밀도는 자석과 물체 사이의 간격에 의한 영향보다는 주로 투자율의 차이에 의해 변화된다⁽⁸⁾. 이러한 투자율의 차이를 이용하여 형성된 자

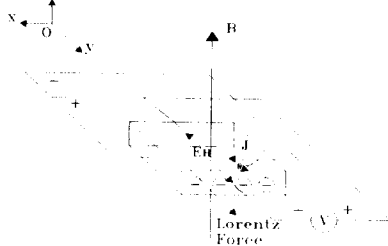


Fig. 1 Principle of Hall sensor

기분극에 따른 파형을 검출하기 위해 자기센서를 실제 실린더 로드 위에 일정한 간격을 유지하도록 센서 부착구조를 설계·제작하여 장착하였다.

장착된 센서 부착구조는 실린더로드의 자기스케인을 읽는 부분으로서, 충격 등에 의한 진동에 대해서도 센서와 로드의 거리를 일정하게 유지해야 하며, 카트리지 타입으로 쉽게 교체할 수 있어야 하고, 외관상으로도 깨끗이온 형상을 갖는 것이 좋으며, 또한 부착구조가 간단해야 한다.

본 연구에서 사용한 센서 부착구조는 자기분극 가공을 한 실린더 로드와 센서와의 간격이 수백 μm 이내로 충격·진동에 관계없이 일정하게 유지되도록 하여 만족스러운 출력은 얻을 수 있게 하였다. 또한 센서 부착구조와 실린더로드가 접촉하는 부분은 재료의 마면 및 연 발생이 예상되므로 이 부분의 재료의 선택을 적절히 해야만 실린더 로드의 반복운동에 따른 스트로크 센싱 신호의 영향을 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 오윤, 지윤, 부식성 분위기, 이물질 유입, 충격하중 및 진동, 구조상 급유불능지점 등 급유가 어렵거나 바람직스럽지 못한 곳, 또는 급유를 하여도 효과가 없는 곳에 무급유로 사용할 수 있는 오일리스 베어링(oilless bearing)을 사용하였다.

3. 실험장치의 구성 및 PWM 제어

3.1 스트로크 센싱을 위한 시스템의 구성

스트로크 센싱 실린더의 개발 및 성능평가를 위한 전체적인 시스템의 블록선도는 Fig. 2와 같다. 본 실험장치는 자기분극이 형성된 실린더 로드와 이 자기분극을 측정하기 위한 자기센서가 장착된 센서 부착구조, 유압 실린더를 구동시키기 위한 유압장치(hydraulic equipment), 자기센서로부터 획득한 신호를 처리하는 신호처리회로의 3부분으로 나누어진다.

실험에 사용된 A/D변환기, D/A변환기, D/I(digital input), D/O(digital output)용의 PC-Labcard는 EDlaboratory사의 PCL

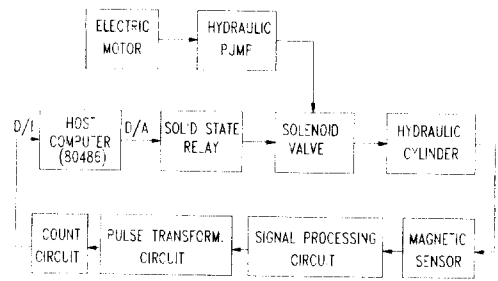


Fig. 2 Block diagram of hydraulic control system with stroke sensing cylinder

-812카드를 사용하였다. 자기센서로부터 나온 출력전압은 신호 처리를 거쳐 펄스로 변환한 후 정도가 높은 카운터 회로를 제작하여 펄스를 계수하도록 하였으며, 이 계수된 위치 데이터의 값은 D/A용의 입력신호로 사용하여 실린더 로드의 위치를 검출하도록 하였다. 단, 실린더 로드 에 대한 자기 눈금의 주기는 2 mm로 가공하였다.

유압 장치에 있어서 솔레노이드 밸브의 구동에 사용되는 무접점 릴레이(solid state relay)는 사용동작전압범위가 3~32V(DC)이고 응답시간이 1 msec인 대신엔지니어링사의 JSS-2025를 선정하여 사용하였고, 솔레노이드 밸브는 ON/OFF 전환시간이 30 msec인 UCHIDA-REXROTH사의 4WE10G를 사용하였다. 유압모터로는 정격전압이 220~380V이고 회전수가 1140 rpm인 (주)올지 전기의 3상 유도 전동기를 사용하였고, 유압펌프는 UCHIDA OIL HYDRAULICS사의 GXPO를 사용하였다.

3.2 유압시스템의 PWM 제어

서보밸브나 전자비례밸브 등의 아날로그 형태의 밸브는 오차에 비례하여 연속적인 아날로그 형태의 제어입력을 인가함으로써 시스템의 속도, 힘, 위치 등을 제어할 수 있다. 이에 반하여 고속전자밸브나 본 연구에 이용된 솔레노이드 밸브와 같은 디지털 형태의 밸브는 밸브의 동작이 단순히 ON/OFF 동작으로 유체 펄스열을 형성하고 이에 의하여 평균적인 유체 출력을 제어하는 것이다.

유체 펄스열을 형성하는 변조법에는 펄스진폭변조법(pulse amplitude modulation, PAM), 펄스주파수변조법(pulse frequency modulation, PFM), 펄스폭변조법(pulse width modulation, PWM), 펄스수변조법(pulse number modulation, PNM), 펄스부호변조법(pulse code modulation, PCM) 등이 있다^(4~7).

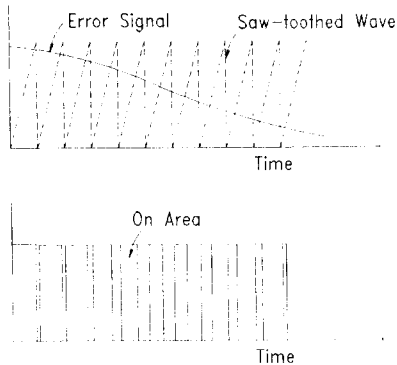


Fig. 3 Principle of PWM control

본 연구에서는 PWM제어방식을 채택하였다. 이러한 PWM 제어는 Fig. 3에서와 같이 오차에 비례하여 밸브의 개폐시간의 폭을 조절하는 펄스폭 변조 방식이다. 즉, 톱니파(saw-toothed wave)를 아날로그 소자 또는 프로그램에 의하여 생성한 후, 이 톱니파형과 각 샘플링 타임마다 구해지는 오차신호를 비교하여 오차신호가 톱니파보다 클 때에는 on신호를, 오차신호가 톱니파보다 작은 때에는 off신호를 밸브에 내 주어 밸브의 개폐시간의 폭을 조절하는 방식이다. PWM 제어방식에는 이 외에도 밸브에 인가된 펄스폭과 시스템 출력과의 관계를 특성실험을 통해서 구하고, 이러한 관계를 이용하여 한 샘플링안에 오차신호에 비례한 펄스폭을 결정하는 방식도 있다. 이러한 방식은 톱니파를 이용한 PWM제어방식과 비교하여 A/D변환과, 비례게인에 의한 밸브의 on 시간연산 및 밸브에의 on 시간 인가 등이 한 샘플링 안에 모두 처리되어야 하므로 비교적 큰 샘플링 타임이 필요하게 된다. 또한 한 샘플링 안에 밸브의 off 지연시간까지 고려해야 하므로 실제로 밸브에 인가되는 on 시간은 더 작을 수 있다. 하지만 톱니파를 이용한 PWM 제어방식은 한 샘플링 안에서 오차신호와 톱니파의 크기를 비교하여 밸브에 ON/OFF 신호만을 보내기 때문에 샘플링 타임이 훨씬 작고, 입력신호에 따른 밸브의 on 시간을 결정하기 위한 특성실험이 필요없으며, 입력펄스 폭 결정시 밸브의 지연시간을 고려할 필요가 없다는 점 등 여러가지 장점이 있어 시스템의 속성성 향상 및 제어정도 향상을 가져올 수 있으므로 본 연구에서는 Fig. 3과 같은 방식을 이용하여 PWM제어를 실현하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

스트로크 센싱 실린더의 위치검출을 위해 구성된 시스템을 이용하여 두 자기센서로부터의 출력파형을 증폭회로와 필터로 구성된 신호처리회로를 거치면 Fig. 4와 같은 출력파형이 검출

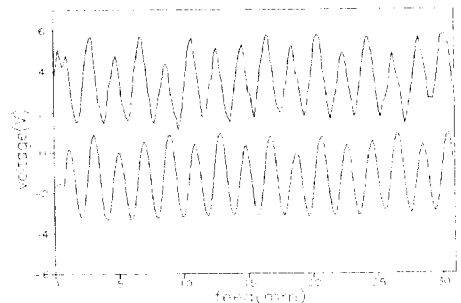


Fig. 4 Output signals from two magnetic sensors

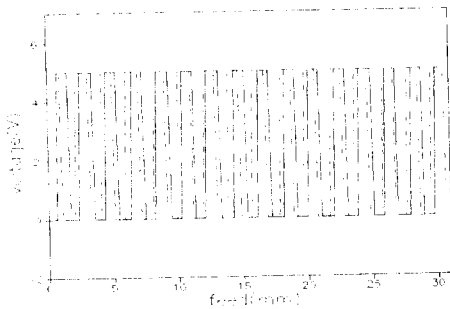


Fig. 5 The pulse signals to be obtained from signals of Fig. 5

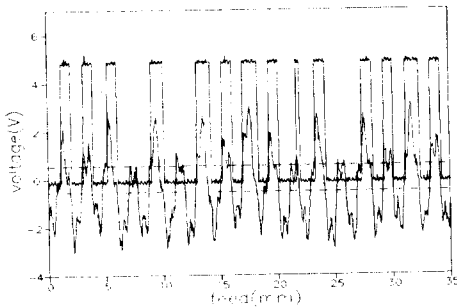


Fig. 6 Pulse change from sensing signal with noise

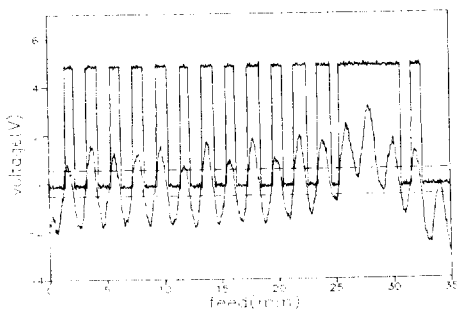


Fig. 7 Pulse change from sensing signal with magnetic slope

된다. 이러한 출력파형을 펄스변환하면 Fig. 5와 같은 펄스신호가 검출된다. 변환된 펄스출력파형은 카운터 회로(data acquisition circuit)에 입력되어 실린더 로드의 스트로크에 따라 계수된 디지털 신호로 바뀐다. 이 신호를 D/A채널을 이용하여 컴퓨터에 입력시켜 스트로크를 센싱하게 된다.

센서로부터의 출력파형에 노이즈(noise)가 존재할 경우 제1차원 슈미트 트리거(schmitt trigger)회로⁽⁹⁾만을 이용하여 펄스변

환하면 문제가 된다. Fig. 6은 노이즈가 존재할 경우의 펄스변환 결과이며 중심은 펄스변환회로에 있어서 파형이 펄스로 변환될 때의 기준이 되는 전압인 LPT(lower trip point)와 UPT(upper trip point)⁽⁹⁾를 표시한 것이다. 즉, 펄스변환에 있어서 상한선과 하한선을 의미한다. Fig. 6에서와 같이 노이즈가 존재할 경우에는 펄스변환이 제대로 수행되지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 신호처리회로부에 노치필터나 저역통과 필터(Low-pass Filter)와 같은 필터를 사용하였다.

펄스변환회로를 이용하여 자기센서의 출력파형을 펄스변환할 때에는 자기센서 출력파형의 중심이 0V가 될 수 있도록 해야 하나, 실린더 로드자체의 자성구배에 의해 자기센서를 증폭해서 얻은 신호가 오프셋을 가지게 되어 펄스로 변환될 때 큰 문제가 된다. Fig. 7은 자성구배가 존재할 경우의 펄스변환 결과이며 펄스변환을 위한 기준전압인 LPT와 UPT는 Fig. 6과 동일하다. 이 경우 자성구배가 있는 부분에서는 정상적인 펄스가 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

PWM제어에 있어서는 톱니파의 주파수를 잘 선정할 필요가 있다. 톱니파의 주파수가 너무 큰 경우에는 정상상태오차가 커지고 톱니파의 주파수가 너무 작을 경우에는 정상적인 제어가 수행되지 않음을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 이것은 컴퓨터에서 톱니파를 생성할 경우 톱니파의 주파수가 클 경우에는 톱니파의 한 주기당 샘플링(sampling)되는 데이터의 수가 적고, 톱니파의 주파수가 작을 경우에는 톱니파의 한 주기당 샘플링되는 데이터의 수가 많기 때문이다. 즉, 톱니파의 한 주기당 샘플링되는 데이터의 수가 너무 적으면 위치제어시에 있어서 정도가 떨어지고, 톱니파의 한 주기당 샘플링되는 데이터의 수가 너무 많으면 위치제어시에 오차에 비례한 ON/OFF 신호를 정상적으로 밸브에 내 줄 수 없기 때문에 톱니파의 주파수 선정이 중요하다. Fig. 8은 톱니파의 주파수가 332 Hz일 때 20 mm 위치제어를 수행한 결과로서 1 mm 정도의 정상상태오차가 발생함을 알 수 있다.

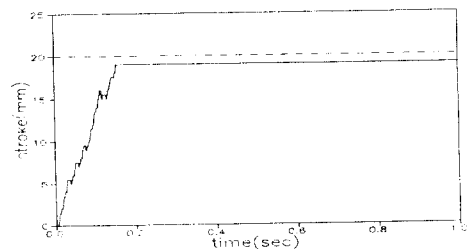


Fig. 8 Proportional position control by PWM with high frequency(332 Hz) saw-toothed wave

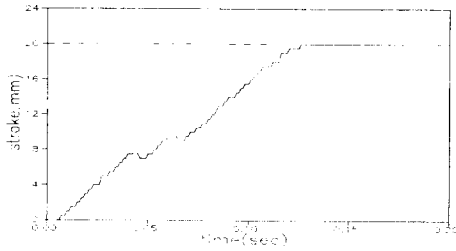


Fig. 9 Position control using pulse signal

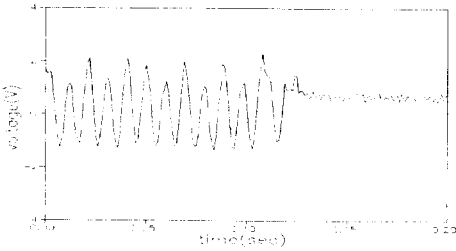


Fig. 10 The amplified signal sensing from magnetic sensor according to stroke

Fig. 9는 펄스변환회로를 이용한 경우에 있어서 스트로크 센싱 실린더의 20 mm 위치제어를 PWM방식으로 수행한 결과이고 Fig. 10은 위치제어의 정확성을 검증한 것이다. Fig. 9에서 보면 정확히 20 mm의 위치제어가 수행된 것처럼 보이나 주기가 2 mm인 자기눈금에 따른 파형인 Fig. 10을 보면 20 mm까지 도달하는 데는 12주기의 파형이 관측되므로 실제로는 24 mm 이상한 결과로 볼 수 있다. 따라서 4 mm 정도의 오차가 있음을 확인할 수 있으며, 이러한 오차는 자성구배로 인해 정확한 펄스가 발생되지 않았기 때문에 발생한 것으로 판단되어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 실린더 로드표면에 탈자화 처리를 하여 자성구배에 따른 문제점을 어느 정도 해결하였으나 여전히 개선의 여지가 남아 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 자기센서를 이용한 스트로크 센싱용 실린더의 개발을 위해, 자기센서를 이용하여 자기눈금이 형성된 실린더표면의 자장의 변화를 측정할 수 있는 센서 장착구조를 설계·제작하여 유압실린더에 장착하므로 스트로크 센싱이 가능한 실린더를 구성하였다. 또한 개발한 스트로크 센싱 실린더의 문제점 파악과 성능평가를 위해 솔레노이드 밸브를 이용한 유압 시스템을 구성하여 PWM제어방식으로 위치제어를 수행하였다. 이때 자기센서로부터 측정된 신호를 처리함에 있어서의 문제점이

되었던 노이즈를 경감시키고, 높은 증폭률을 얻을 수 있는 회로부를 수정설계하여 제안하였다.

펄스변환회로를 이용하여 스트로크 센싱 실린더의 위치제어를 수행하는 경우에는 실린더 로드 자체에 존재하는 자성구배가 큰 문제가 되었으며 탈자화 처리를 통해 어느 정도까지는 자성구배문제를 해결할 수 있었으나 여전히 개선의 여지가 남아 있다. PWM제어방식으로 위치제어를 수행함에 있어서 펄스파의 주파수를 적절히 선정함으로써 정상상태오차를 줄일 수 있었다.

이상의 실험들을 통해 본 연구에서 개발한 자기눈금이 형성된 실린더로드와 자기센서를 이용한 센서 장착구조로 구성된 스트로크 센싱 실린더를 이용하면 실린더 로드의 스트로크 센싱이 가능함이 판명되었고, PWM제어방식을 이용하여 위치제어가 가능함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1)최용준, 이민철, 이만형, 양순용, 권태화, 1994, "굴삭기의 자동화를 위한 스트로크 센싱 실린더의 개발에 관한 연구", 94한국자동제어학술회의논문집, pp. 1138 ~ 1142.
- (2)최용준, 이민철, 이만형, 양순용, 1994, "홀센서를 이용한 유압실린더의 스트로크 센싱 실린더 개발에 관한 연구", 94한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 375 ~ 380.
- (3)片岡照榮, 柴田幸男, 高橋清, 山岐弘郎, 1990, "Sensor Handbook", 世和出版, pp.100~104, 331~351.
- (4)武藤高義, 山田宏尚, 末松良一, 1987, "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.
- (5)P. Gill, P. R. Ukrainetz and R. T. Burton, 1989, "Physical Effects of Pulse Width Modulation on Valves and Loads," SAE Technical Paper Series, 891862.
- (6)H. S. Ramirez, 1987, "A Geometric Approach to Pulse Width Modulated Control Design," Proceeding of the 26th Conference on Decision and Control, IEEE., pp. 1771 ~ 1776.
- (7)武藤高義, 山田宏尚, 末松良一, 塚本哲也, 1991, "差動PWM方式による電氣・油壓サ-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.
- (8)李榮成, 郭永淳, 黃昶善, 曹井守, 金喆禹 共著, 1979, "基礎電氣電子工學", 茂林社, pp. 35 ~ 46.
- (9)Malvino 原著, 崔成在, 方根泰, 李弘民 共譯, 1993, "Electronic Principles (3版)", 尙學堂, pp. 577 ~ 584.