工學碩士 學位論文

유압실린더 스트로크 검출을 위한 전용센서 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Exclusive Sensor for Detecting the Hydraulic Cylinder Stroke

指導敎授　金　鍾　和

2000年　2月

韓國海洋大學校 大學院

制御計測工學科

李　　　한

목　　차

A Study on the Development of Exclusive Sensor for Detecting the Hydraulic Cylinder Stroke

Han Lee

Department of Control & Instrumentation Engineering, Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

In order to comprise a basic closed-loop control system for hydraulic systems it is necessary to detect the piston rod stroke of hydraulic cylinder. There are many conventional type sensors which have been applied to detect the displacement of cylinders. Several types of LVDTs and magnetic sensors are representative illustrations of them. However, they cannot reveal the original performance normally or they cannot be applied at all where the operating circumstance of cylinders is beyond specifications of sensors. Especially, for the purpose of detecting the strokes of cylinders mounted on heavy equipments, a special exclusive sensor must be used. Because the operating circumstances of heavy equipments are so severe that general purpose sensors cannot endure such circumstance as a shock and a residual vibration induced by rough works.

In the conclusion, an exclusive sensor must be developed to detect the strokes of hydraulic cylinders of heavy equipments.

In this thesis, an exclusive method for detecting the piston rod stroke for heavy equipments is suggested, which adopts a remote detecting technique using optical sensors and optical fibers. To do this, first of all, a kind of scale treatment of piston rod is required and it is also proposed here. An entire implementation procedure of the proposed exclusive sensor is explained concretely. A prototype of the sensor is resulted from the procedure. And then, several experiments using the prototype are executed for verifying the effectiveness of the suggested method and the possibility of the remote detection. Finally, the conclusion is demonstrated based on the experimental results.

제 1 장 서 론

산업현장이나 건설현장에서 사용되는 유압장비들은 다른 장비들에 비해 사용환경이 열악하고 충격이나 진동이 심하여 아직 자동화나 무인화가 미비한 상태이다. 이는 유압실린더의 스트로크를 측정할 수 있는 센서의 발달이 뒤받침 되지 않았기 때문이라고 볼 수 있다.

중장비나 유압프레스, 간척지 수문 등에 사용되는 유압액츄에이터는 실린더의 스트로크를 검출하여 폐루프 제어시스템을 구성하므로서 보다 정확하게 제어할 수 있다. 이런 폐루프 제어시스템을 정밀제어 하기 위해서는 전용센서 개발이 필요하다. 종래의 유압실린더의 위치 검출 수단은 자기 저항체와 N극과 S극이 교대로 자화되어 있는 영구자석의 상대 운동에 의해 발생되는 자기장의 변화에 따라 자기 저항체의 전기 저항값 변화를 이용하여 위치를 검출하는 것이다. 상기의 영구자석은 주위의 누설 자기장에 의해 많은 영향을 받을 뿐만 아니라 또한 위치 검출용 영구 자석과 자기 저항체 사이의 간격 변화에 대해서도 민감하다. 더욱이 누설 자기장이 강한 경우나 혹은 자기 저항체와 위치 검출용 영구자석이 수평이 유지되지 않고 기울어진 각을 갖게 되는 경우에는 정확한 위치검출이 어렵게 되는 문제점이 발생한다.

또 상기의 위치 검출 방법은 검출된 아날로그 전압 신호를 디지털신호로 변환하여 제어기에 인가하기 때문에 별도의 A/D컨버터의 장착이 요구됨으로써 구성회로가 복잡하게 되고 이로 인하여 사용상의 많은 제약과 가격을 현저히 상승시키는 요인이 되어 왔다.

앞에서 언급한 문제뿐만 아니라 중장비에서 요구되는 부가적인 문제는 사용환경과 작업환경을 견딜 수 있어야 한다는 것이다. 항상 옥외에서 지역에 상관없이 사용되고 굴삭기 작업이나 암반작업이 수반되는 유압 중장비의 사용환경과 작업환경은 가혹하여 기존의 센서들을 응용하여 스트로

크를 측정하기 위해서는 센서 자체나 센서를 보호하기 위한 housing을 실린더 상에 직접 부착하여야 한다. 표 1.1은 이제까지 중장비의 스트로크검출에 많이 응용되어 온 센서들에 대하여 온도사양과 진동사양을 비교한 것이다. 넓은 범위의 온도사양은 열원(Heat source)을 이용하여 센서의 동작온도를 일정하게 유지하거나 온도보상 알고리즘을 이용하여 온도차이로 인한 비선형성을 보상할 수 있다. 그러나 중장비로 작업 시 발생하는 진동이나 충격을 센서의 사양내로 완화시키는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 굴삭기 등으로 작업할 때 발생되는 진동과 충격의 형태를 살펴보면, 1차적으로 버켓(Bucket)에 충격이 전달된 다음의 진동은 충격이후에 발생되는 잔류진동(Residual vibration)의 성격이 매우 강하여, housing등의 부수적인 보호수단을 강구하더라도 과도한 충격과 진동의 영향을 줄이는 데는 한계가 있기 때문이다[1]. 그러므로 기존의 센서를 응용하는 경우 매우 귀찮은 유지보수 문제가 수반되기 때문에 사용상의 한계가 존재할 수밖에 없다. 따라서 중장비에 사용되는 유압실린더 전용의 센서는 이와 같은 문제를 해결할 수 있어야 한다. 피스톤로드 상에 비자성체로 스케일을 형성하고 피스톤 로드가 이동될 때 마그네틱 센서(홀 소자)에서 감지되는 자기장의 포화상태를 처리하여 스트로크를 검출하는 방식을 택한 일본의 Kayaba[1]제품이나, 피스톤 로드에 홈을 가공하고 크롬으로 채워 넣음으로써 크롬 깊이의 차이에 인해 마그네틱 센서에서 감지되는 자기장의 포화상태를 처리하여 스트로크를 검출하는 전용센서에 관련된 연구[2]가 있었으나, 이러한 방법들도 마그네틱 센서 자체를 실린더에 직접 부착하여야 하기 때문에 과도한 충격과 진동이 인가될 때에는 여러 가지 문제점을 야기하였다.

본 논문에서는 위에서 언급된 여러 가지의 문제점들 특히, 동작온도에 대한 사용환경과 진동 충격에 대한 작업환경을 극복함과 동시에 열원이나 housing과 같은 부수적인 설비가 필요 없는 간단하면서도 새로운 개념의 유압실린더 스트로크 검출방법을 제안한다. 제안하는 원격검출 방법은 발

광 및 수광 센서와 광파이버[3]를 이용한 원격검출 방법으로서 실린더상에서 발생되는 충격과 진동의 영향을 전혀 받지 않으며 대기와 직접 접촉되지 않기 때문에 유압중장비의 사용환경과 작업환경에 매우 강인한 특성을 가지고 있다. 제안하는 방법의 유효성을 검증하고 원격검출의 가능성을 확인하기 위하여 광신호의 처리를 위한 데이터 처리보드를 포함한, 유압 실린더처럼 왕복운동 특성을 지닌 prototype을 제작한 후 실험을 수행하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 새로운 스트로크 원격 검출 방법을 제안하고 그 개요를 설명하였으며 제 3장에서는 이를 구현하는데 필요한 각 요소에 대해 구체적으로 기술하였다. 제4장에서는 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위한 실험장치의 prototype 구현에 대하여 기술하였으며, 제 5장에서는 구현한 prototype을 이용하여 실험을 수행함으로써 제안한 원격검출방법의 타당성을 검토하였다. 마지막으로 6장에서는 실험결과를 토대로 본 논문에서 제안한 방법에 대하여 총체적인 결론을 내렸으며 차후의 연구과제에 대해서도 정리하였다.

표 1.1 각 센서별 성능비교

Table 1.1 Performance comparison of sensors

Sensors \ Specs.		Operating Temp. (℃)	Vibration (G)	Shock (G)	Resolution	Accuracy	Sensing Time
Heavy Equipment		-40 - 100	25G above	120G above	1mm below		
Potentio-meter	JC40S [COPAL (Japan)]	-40 - 100	15G	100G		±0.05%	
	LP-100FP [MIDORI (Japan)]	-13 - 176	15G	50G		±1%	
	LP-10FBS-3 [MIDORI (Japan)]	-40 - 212	10G	50G		±1%	
LVDT	GYMTC-11 [SANTEST (Japan)]	-5 - 60	6G	20G	less than 0.01%FS		1kHz
	BTL-A [BALLUFF (Germany)]	-20 - 60		50G	12bit		2kHz
	AQLT [Data Instrument (America)]	-40 - 152	20G	50G		±0.05%	
Hall Sensor	KSSC-050 [Kayaba (Japan)]	-20 - 75	5G	90G	0.5mm		
Encoder	TS5000 [TAMAGAWA (Japan)]	-10 - 75	10G	100G	20-25,000 Pulses		200 μsec
	A2-E2 [U.S Digital (America)]	-13 - 185	20G	100G	10000rpm		
	CE-65-S ISI (TR Electronic (Germany)]	0 - 60	10G	100G	6000rpm		
Resolver	TS2013N94E23 [TAMAGAWA (Japan)]	-30 - 100	15G	100G	7200 Pulses	±0.28% for 180°	30 msec

제 2 장 유압실린더 스트로크 원격검출 방법의 제안

2.1 스트로크 원격검출 방법

유압실린더 피스톤로드의 스트로크를 검출하기 위하여 본 논문에서 제안하는 방법은 원격검출 방법이다. 여기서 정의되는 원격검출이란 피스톤로드의 스트로크를 직접 검출하면서도 검출소자 즉 센서를 유압실린더 상에 직접 부착하지 않고 유압실린더와는 별개의 곳에 위치시켜 스트로크를 검출한다는 의미에서 사용되었다. 서론에서도 언급한 바와 같이 중장비의 작업도중 발생되는 과도한 충격과 진동의 영향을 거의 받지 않으면서도 스트로크의 강인한 검출을 위해서 센서를 실린더 상에 부착하지 않아야 하는 것이 필수조건이기 때문에, 제안하는 방법은 이와 같은 조건을 만족시킬 수 있도록 발광 및 수광 센서와 광파이버[3]를 이용한 원격검출 방법을 도입하였다. 스트로크의 원격검출 원리는, 첫째 발광다이오드에서 발생되는 빛을 발광전송용 광파이버를 이용하여 피스톤로드 상에 조사시키고, 둘째 피스톤로드에서 반사된 빛을 수광 전송용 광파이버를 이용하여 수광센서에 전달시키면, 셋째 수광 센서는 수광된 빛의 양에 대응하는 전압을 출력하여 스트로크를 검출하고 있다. 따라서 피스톤로드의 스트로크를 직접 검출하는 발광 및 수광 센서를 실린더에 직접 부착하지 않고 별개의 안전한 곳에 설치하여 단지 광파이버를 매개체로 광 신호를 주고받음으로써 스트로크를 검출할 수 있게 된다. 전송되는 광 신호나 실린더 상에 부착되는 광파이버 헤드는 충격이나 진동과는 무관하기 때문에 제안되는 방법은 원리적으로 매우 강인한 방법[4]임을 직감할 수 있다.

그림2.1은 본 논문에서 제안하는 방법을 구현하기 위하여 필요한 스트로크 원격검출 센서의 기본 구성도를 보여 주는 그림이다. 이를 구성하는 필수요소로는 피스톤로드부(Piston rod part), 파이버센서 증폭부(Fiber sensor part), 업/다운 카운터부(Up/down counter part), 데이터 처리부

(Data processing part), 출력부(Output part) 등이 있으며 각각이 가져야 되는 기능은 다음절에서 설명한다.

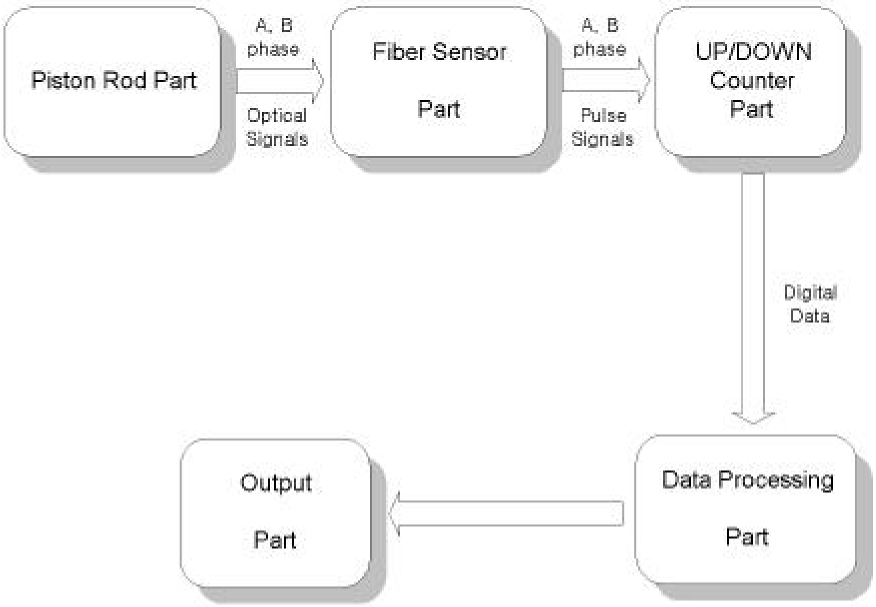


그림2.1 스트로크 원격검출을 위한 센서의 기본구성도

Figure 2.1 A basic configuration diagram of sensor for remote stroke detection

2.2 피스톤로드부

2.2.1 피스톤로드의 처리

본 논문에서는 피스톤로드 스트로크의 원격검출 수단으로 광을 이용하기 때문에 피스톤로드 상에 조사되어 반사된 빛이 스트로크의 일정한 간격에 따른 명암차이를 나타내도록 어떤 형태로든지 로드를 처리할 수 있어야 한다. 그러므로 반사된 빛의 양에 차이가 존재하도록 피스톤 로드를 일정간격으로 스케일 처리하여야 할뿐만 아니라, 기존의 유압실린더에서 사용되는 피스톤로드와 같은 표면조도 및 표면강도, 경도를 유지할 수 있어야 하며 동시에 인장이나 압축 또는 굽힘에 충분히 견딜 수 있도록 처리해야 한다. 유압실린더의 스트로크 센서 개발에 관련된 연구에서는 검출방법에 따른 피스톤로드의 스케일을 처리하는 것 자체가 중요한 연구과제가 될 정도로 어려운 개념이며 가공 또한 쉬운 일이 아니라고 알려져 있다.

본 논문에서는 반사광의 명암차이를 얻기 위하여 새로운 방법의 피스톤로드 가공방법을 제안한다. 이미 독일의 Hunger사 등에서 기존의 크롬이상으로 표면조도와 강도, 경도를 지닌 것으로 인정된 Al_2O_3가 첨가된 세라믹을 기본 표면처리용으로 사용하고 일정한 간격으로 홈을 판 후, 크롬을 도금함으로써 스케일을 형성하는 기법을 제안한다.

2.2.2 광파이버 헤드의 부착

피스톤로드의 스트로크 원격검출 수단인 광파이버를 사용하기 위해서는 실린더 상에 광파이버의 헤드를 삽입할 수 있는 구조를 설계해야 한다. 이 때 실린더와 피스톤로드 사이의 상대변위를 정확히 측정하는 것이 바로 스트로크의 측정이므로 실린더와 광파이버 헤드 사이에는 상대변위가 존재하지 않도록 하여야 하며, 특히 진동이나 충격이 실린더에 가해질 때

미소 변위로 인한 오차가 발생하지 않도록 주의를 기울여야 하는 것이 중요하다. 또한 로드의 표면에 형성되어 있는 유압작동유 유막의 기화로 인해 광파이버 헤드 표면에 기름방울이 맺히지 않도록 해야 한다.

2.3 광파이버 센서부

2.3.1 발광 및 수광용 센서

피스톤로드 상에 광을 공급하기 위한 발광용 다이오드와 반사광의 광량을 측정하기 위한 수광용 센서, 그리고 발수광 센서를 구동하기 위한 아날로그 회로를 포함하고 있어야 한다. 이 때 발광되는 빛의 세기가 항상 일정하도록 안정화 시켜 주는 기능을 부여하는 것도 매우 중요하다.

2.3.2 광파이버

원격검출을 위해 발광다이오드에서 발생된 광을 피스톤로드까지 전달하고 피스톤로드에서 반사된 광을 수광센서까지 전달하는 매개체를 사용하여야 한다. 본 논문에서는 광파이버를 사용할 것이며 이 때 광파이버는 광의 감쇠율을 최소화 할 수 있는 것이라야 하고, 그 직경은 피스톤로드 스케일의 대소에 따라 결정되어야 한다. 그 이유는 피스톤로드 스트로크의 양방향 검출을 위해서는 2조의 광센서들과 광파이버를 사용해야 하므로 피스톤로드 1스케일 내에 광파이버에서 조사되는 광의 초점이 2개가 위치될 수 있어야 하기 때문이다. 또한 광파이버와 광센서를 결합시켜 줄 방안이 강구되어야 하고, 발광과 수광용 파이버를 1조로 묶은 형태이면서 피스톤로드와의 이격 거리를 조절할 수 있는 형태의 광파이버헤드를 가져야 한다.

2.3.3 수광용 증폭기

피스톤로드가 움직임에 따라 세라믹과 크롬의 스케일로부터 반사된 광의 명암차이를 전압으로 변환하는 수광센서의 출력에 의해 스트로크를 측정하는 것이므로, 수광센서의 출력을 사용 가능한 전압레벨로 증폭함은 물론 파형을 정형화시켜 구형파를 생성하는 기능을 포함하고, 피스톤로드로부터 광파이버헤드의 이격 거리에 따라 수광센서의 감도를 조절할 수 있는 기능을 포함하는 일종의 증폭기가 필요하다.

2.4 업/다운 카운터부

광파이버 증폭부로부터 출력되는 2상의 증분형 펄스신호를 받아 들여 피스톤로드의 양방향 스트로크를 검출할 수 있는 업/다운 카운트 기능을 가져야 한다. 또한 기계적 가공에 의해 피스톤로드의 스케일을 세분화하는 데에는 한계가 있으므로 적절한 파형분할법[5]을 도입함으로써 스트로크 측정의 정도를 높일 수 있는 기능을 갖도록 하여야 한다. 더욱이 스트로크 센서 전체의 동작과 기능을 제어하는 CPU의 신호를 받아 스트로크의 카운트를 수행할 수 있는 기능을 가진 카운터 칩을 선택하여야 한다.

2.5 데이터 처리부

데이터 처리부는 원격검출 스트로크 센서의 전체기능을 제어할 수 있어야 하고, 업/다운 카운터부에서 제공되는 스트로크에 대한 디지털 값을 처리하여 사용자가 원하는 형태의 데이터로 출력부로 넘겨 줄 수 있어야 한다. 그리고 영점 셋팅등 사용자에 의해 외부에서 강제적으로 부여되는 명령을 전달받아 실행할 수 있어야 하고, 본 논문에서 도입되는 증분형 센서의 단점을 보완할 수 있도록 보정 기능을 갖고 있어야 한다. 이를 위해 적합한 방법은 프로그램이 가능한 전용의 CPU를 채택함으로써 구현

이 가능하다.

2.6 출력부

출력부는 피스톤로드의 현재 스트로크를 사용자가 원하는 형태로 출력하는 기능을 갖고 있어야 한다. 제어시스템에 이용되는 경우는 디지털 신호의 형태가 되는 것이 바람직하고, 지시계(Indicator)에 이용되는 경우는 LCD 디스플레이나 바(Bar) 디스플레이 형태가 되는 것이 바람직하다.

제 3 장 원격검출 센서의 구현방법

3.1 피스톤로드의 스케일 처리방법

광센서와 광파이버를 이용한 원격검출 방법을 실현하기 위해서는 피스톤로드의 스케일처리가 반드시 필요하다. 반사광의 명암차이에 의한 증분방식으로 스트로크를 측정하기 위해서는, 스케일을 형성하는 피스톤로드 표면이 서로 다른 재질에 의해 처리되어야 하며 또한 앞에서도 언급하였듯이 기존 유압실린더 로드로서의 특성을 갖추어야 한다. 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 표면처리 재질로서 흑색의 세라믹과 은백색의 크롬을 이용하여 로드를 스케일 처리하는 방법을 제시한다. 세라믹 처리는 최근 피스톤로드의 표면을 처리하는 재질로 독일, 네덜란드 등의 선진 기업체에서 이미 개발되어 실용화되어 있으며 특히 유압실린더 자체가 해수와 자주 접촉되는 특수유압 부분에서 진가를 발휘하고 있다. 그 이유는 기존의 크롬도금 실린더의 경우 크롬을 사이에 두고 철의 Fe^{++}와 해수의 Cl^{--}가 화학작용을 일으켜 크롬의 박리현상으로 인해 내구성에 심각한 문제를 야기하기 때문이다.

사진 3.1은 독일 Hunger사에서 제작한 세라믹코팅 유압실린더를 보여 주는 것이고 사진3.2는 세라믹코팅 과정을 보여 주는 사진이다.
본 논문에서 제시하는 피스톤로드 스케일 처리방법은 그림 3.1에 나타내었다. 그 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

① 피스톤로드의 스케일을 형성하기 위한 목적으로 선반을 이용한 기계적 가공을 행함으로써 주재료인 철봉표면에 일정한 간격으로 홈을 판다.

② 세라믹과 인성을 주기 위한 Al_2O_3등의 첨가물이 혼합된 분말을 용출 분사시켜 주재료 전체를 세라믹코팅 처리함으로써 철과 크롬 사이를

격리시킨다.

③ 홈이 완전히 메워지도록 크롬을 두껍게 도금한다. 이 때 비금속체인 세라믹 위에 금속체인 크롬을 도금하는 기술에 대해서는 이미 가능하다는 것이 알려져 있고 또한 크롬과 세라믹 사이에는 충분한 접착력이 존재한다는 것이 알려져 있다.

④ 세라믹이 보이고 피스톤로드가 원하는 직경이 될 때까지 버핑작업을 수행한다.

⑤ 크롬과 세라믹의 스케일이 선명하게 나타나고 원하는 표면조도를 만족할 때까지 미세버핑을 수행한다.

위와 같은 과정을 거치게 되면 일정한 간격의 크롬과 세라믹이 교대로 나타나는 스케일을 피스톤로드의 표면에 형성시킬 수 있다. 이 때 일정한 광량이 로드 위에 조사될 경우 검정색의 세라믹스케일에서는 빛이 흡수되고 은백색의 크롬스케일에서는 빛이 반사됨으로써 수광센서는 반사광의 차이에 해당되는 전압차이를 출력하게 되고, 피스톤로드의 움직이는 속도에 비례하는 주파수를 가지는 정현파를 출력하게 된다. 그림 3.1은 앞에서 설명된 스케일 생성 과정을 그림으로 보여주는 것이다.

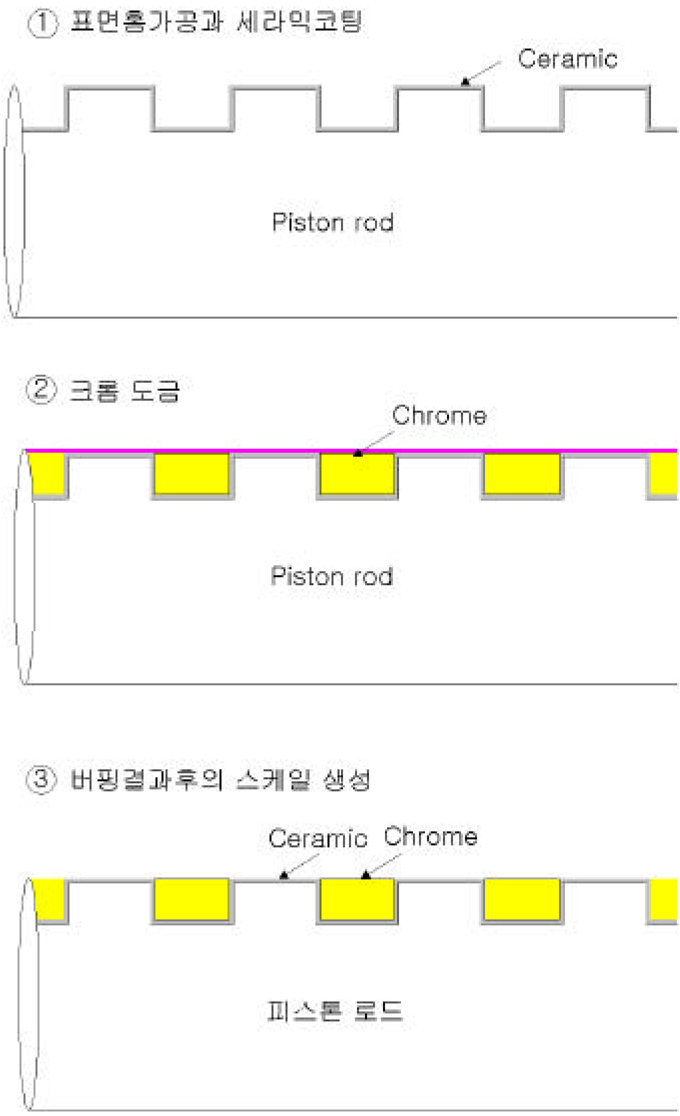


그림3.1 **피스톤로드 스케일 처리과정**

Figure 3.1 A Process of scaling piston rod

사진 3.1 **세라믹 코팅한 실제 유압실린더**(Hunger**사**)

Photo 3.1 Ceramic-coated hydraulic cylinder(Hunger Co.)

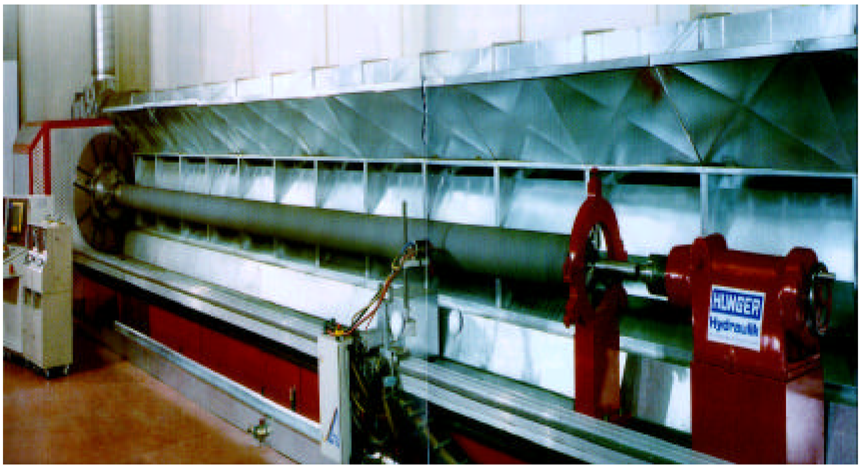


사진 3.2 **피스톤 로드에 세라믹을 코팅하는 과정**(Hunger**사**)

Photo 3.2 Process of ceramic coating on piston rod(Hunger Co.)

3.2 광센서와 광파이버로부터의 신호획득

3.2.1 광센서 및 광파이버

① **광 센 서**

발광센서는 광의 감쇠를 줄이기 위하여 파장이 긴 적색 발광다이오드를 사용하였고, 수광센서는 증폭효율을 높이기 위하여 포토트랜지스터를 사용하였다. 적색 발광다이오드에서 나온 광이 스케일 처리된 피스톤 로드에 조사되면 세라믹에서는 빛의 반사가 거의 일어나지 않고 크롬에서는 많은 양의 빛이 반사된다. 여기서 반사되는 빛을 수광센서에서 받아들여 전압신호로 변환한다. 이때 광센서들은 충격 및 외부환경에 대하여 강인하도록 실린더에 직접 장착되지 않고 안전한 곳에 놓여지게 된다. 발광 및 수광신호는 광파이버를 통해 전송된다.

② **광파이버**

발광다이오드에서 생성된 광을 광파이버헤드의 취부부분까지 전송하고 피스톤로드 스케일에서 반사된 빛을 수광센서까지 전송하는 역할을 한다. 직경은 피스톤로드가 1mm간격으로 스케일 되어 있으므로 스케일보다 작은 0.5mm인 반사형 광파이버 두 쌍을 사용하여 정도를 높였으며, 장거리 전송을 필요로 하지 않고 유연성이 우수해야 함으로 플라스틱 광파이버를 사용하였다.

③ **앰 프**

발광 출력을 높이기 위해 발광다이오드의 구동방식은 펄스구동 방식을 사용하였고, 수광센서에서 받은 전압을 증폭한 후 펄스신호로 변환해 주는 오토닉스사의 광파이버 전용 앰프를 사용하였다. 채택된 전용앰프의 응답속도는 1ms이하이다.

그림3.2.1은 앰프의 회로도를 간략히 나타낸 그림이다. 앰프는 NPN오픈 콜렉트방식을 사용하고 있으며 가변저항에 의한 2단 감도조정회로를 내장하고 있고 감도조정용 가변저항에 의해 출력펄스신호의 듀티비를 조정할 수 있음으로써 피스톤로드와 광파이버헤드 사이의 이격거리에 따른 수광센서의 출력감도를 조정할 수 있는 기능을 갖고 있다.

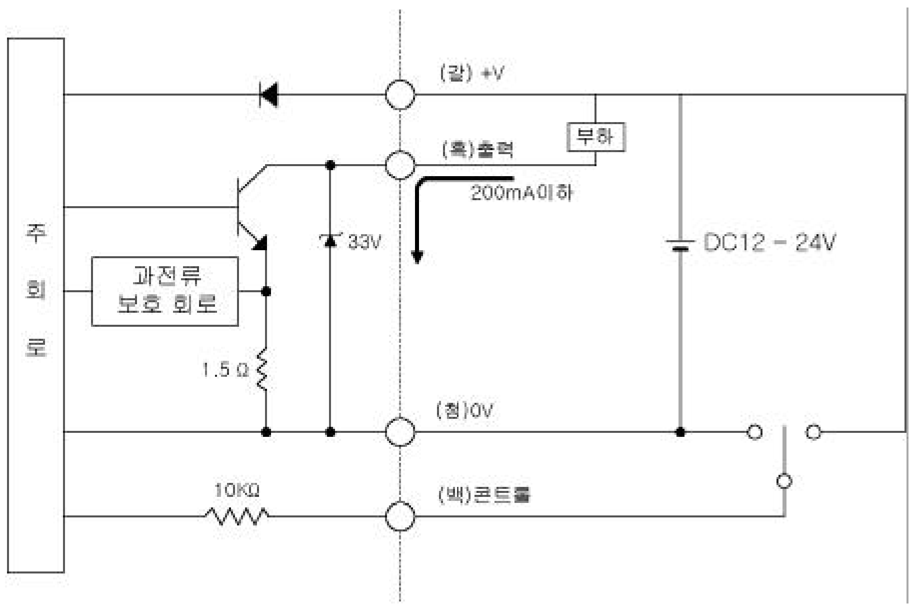


그림 3.2 앰프 회로도

Figure 3.2 Amplifier circuit

또한 주회로도는 수광센서에서 출력되는 정현파형을 구형파로 변환하는 트리거회로를 내장하고 있기 때문에, 본 논문에서는 파형정형에 필요한 회로를 따로 구성하지 않아도 광파이버 전용앰프를 사용함으로써 원하는 기능을 갖도록 하였다.

3.2.2 광파이버헤드의 설치방법

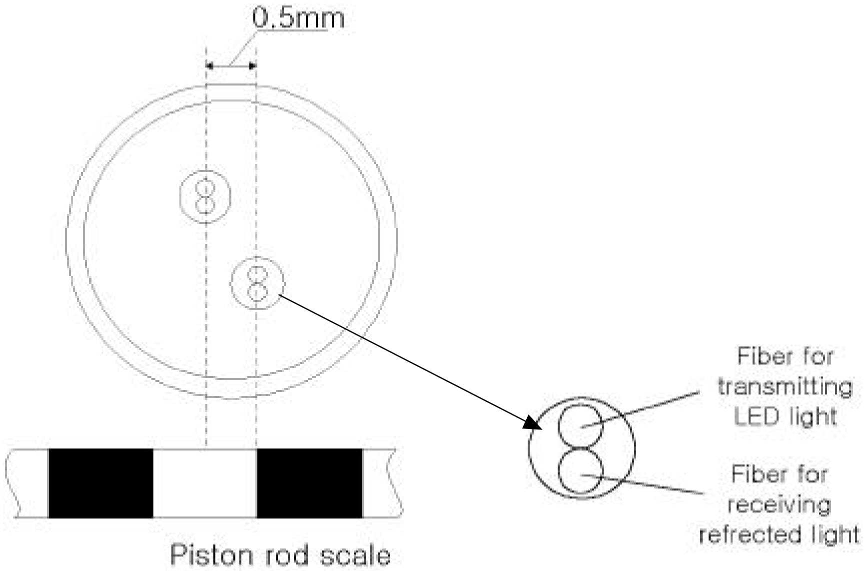


그림3.3 광파이버헤드 설치방법

Figure 3.3 A setting method of optic fiber head

스케일 처리된 피스톤로드의 스트로크의 양방향 검출을 위하여 두 쌍의 광파이버를 사용하였다. 증분방식으로 스트로크를 측정하기 위하여 A상 및 B상 두 광출력의 위상차가 90°가 되도록 광파이버헤드를 위치시키는 것이 매우 중요하고, 이것은 앰프의 감도조정 및 기계적 헤드취부와 밀접한 관계가 있다. 따라서 본 논문에서는 피스톤로드의 스케일이 1mm간격으로 되어 있기 때문에 두 쌍의 광파이버를 0.5mm간격으로 위치시켜 A상 및 B상의 출력 파형이 90°의 위상차를 가지도록 함으로써 업/다운 카운트를 수행할 수 있도록 하였다. 그림 3.3은 두 펄스신호의 위상차가 90°가 되도록 광파이버를 위치시킨 방법을 보여주는 그림이다. 정밀위치 조정은 출력신호의 듀티비를 고려한 상태에서 오실로스코프 상의 두 출력

의 파형을 지속적으로 검토함으로써 이루어 질 수 있다.

3.2.3 원격검출의 가능성

이미 앞에서 제시한 방법을 토대로 크롬과 세라믹에 의해 스케일 처리된 피스톤로드의 스트로크를 광센서와 광파이버에 의한 원격 방법으로 검출 가능한지를 알아보기 위하여 기초실험을 수행하였다. 그림3.4는 실험결과 얻은 광파이버 앰프의 출력을 오실로스코프로 포착한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 크롬스케일에서의 반사되는 광량이 세라믹스케일에서보다 훨씬 많아 수광센서에서 전압차이를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

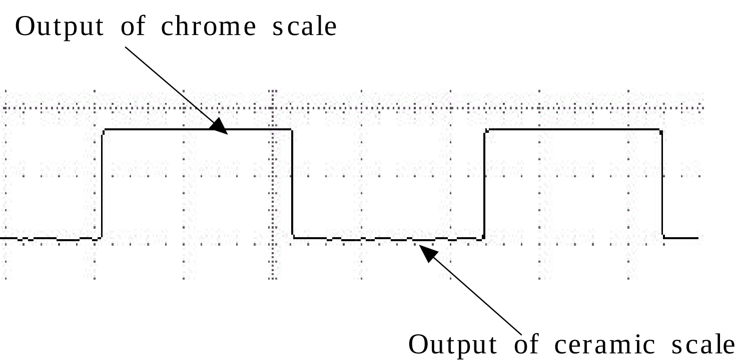


그림3.4 크롬과 세라믹 스케일에 대한 광파이버증폭기의 출력

Figure 3.4 Output of optic fiber amplifier for chrome and ceramic scales

또한 광파이버 증폭기의 출력이 그림과 같이 구형파로 파형 정형되어 출력됨을 알 수 있었고, 이를 카운트할 경우 피스톤로드의 스케일을 카운트하는 것과 동일하기 때문에 증분형태의 스트로크 센서를 구성할 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.3 업/다운 카운터

2조의 광파이버 센서로부부터 90°의 위상차를 갖고 출력되는 신호를 이용하여 피스톤로드의 스트로크를 검출하기 위해서는 A상과 B상 신호를 이용한 스트로크의 증가와 감소방향이 정의되어야 하고 이를 업/다운 카운트할 수 있는 카운트 방법이 모색되어야 한다.

3.3.1 양방향 검출을 위한 A상, B상 펄스신호의 정의

대부분의 증분부호 형태의 센서에서 사용되는 방법과 같이 본 논문에서도 A상과 B상 두 개의 펄스신호를 이용해 스트로크의 증가와 감소를 검출할 수 있다. 이것은 0.5mm간격으로 설치된 2조의 광파이버에 의해 얻을 수 있으며 두 신호는 90°의 위상차를 갖고 있다.

① 스트로크 증가 방향

그림3.5와 같이 A상의 펄스신호가 먼저 들어 올 때 스트로크의 증가 방향을 나타낸다.

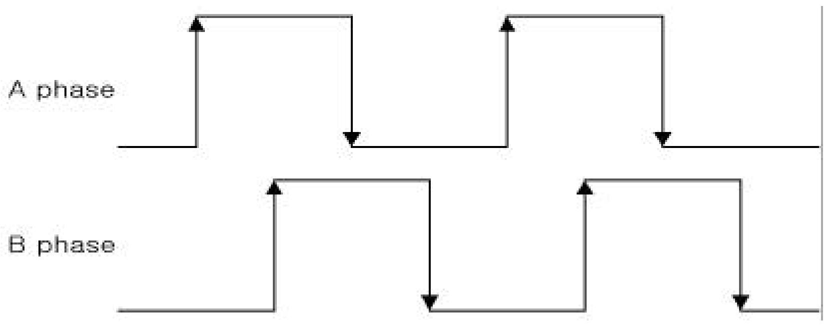


그림3.5 스트로크 증가방향의 A,B상 모양

Figure 3.5 Shapes of A and B phase for stroke increasing direction

② **스트로크 감소 방향**

그림3.6**은** B**상의 펄스신호가 먼저 들어 올 때 스트로크의 감소방향을 나타낸** A**상과** B**상의 모양이다**.

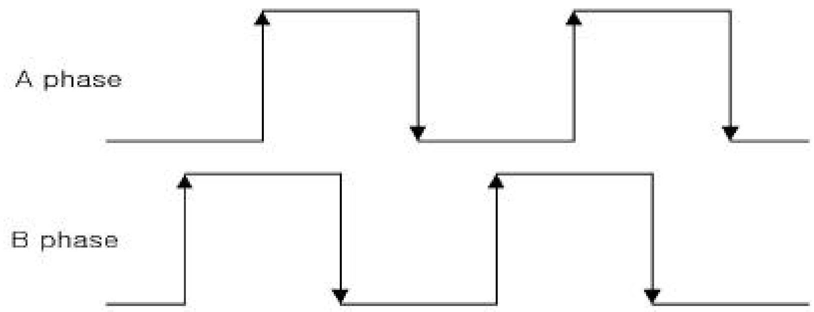


그림3.6 **스트로크 감소방향의** A,B**상 모양**

Figure 3.6 Shapes of A and B phase for stroke decreasing direction

A**상과** B**상이 발생하는 한 주기동안 카운트되는 펄스의 수는 동일하지만 이와 같이 스트로크 증가방향과 감소방향을 정의함으로써 카운터에서의 업**/**다운 카운트 실행에 대한 명령을 명확히 내릴 수 있게 된다**.

3.3.2 1/4분주에 의한 업/다운 카운트

그림3.7은 크롬과 세라믹의 출력 펄스신호를 상승에지와 하강에지에서 각각 카운트함으로서 A상과 B상의 한 주기 즉 2mm동안 총 4번의 카운팅을 수행할 수 있는 1/4분주 방법[5]을 설명한 그림이다. 이렇게 함으로써 기계적 가공의 제약으로 인하여 최소 1mm 간격으로 스케일된 피스톤로드의 스트로크 검출 정밀도를 0.5mm까지 향상시킬 수 있으며, 유압실린더에서 요구되는 보편적 정밀도를 가질 수 있도록 할 수 있다.

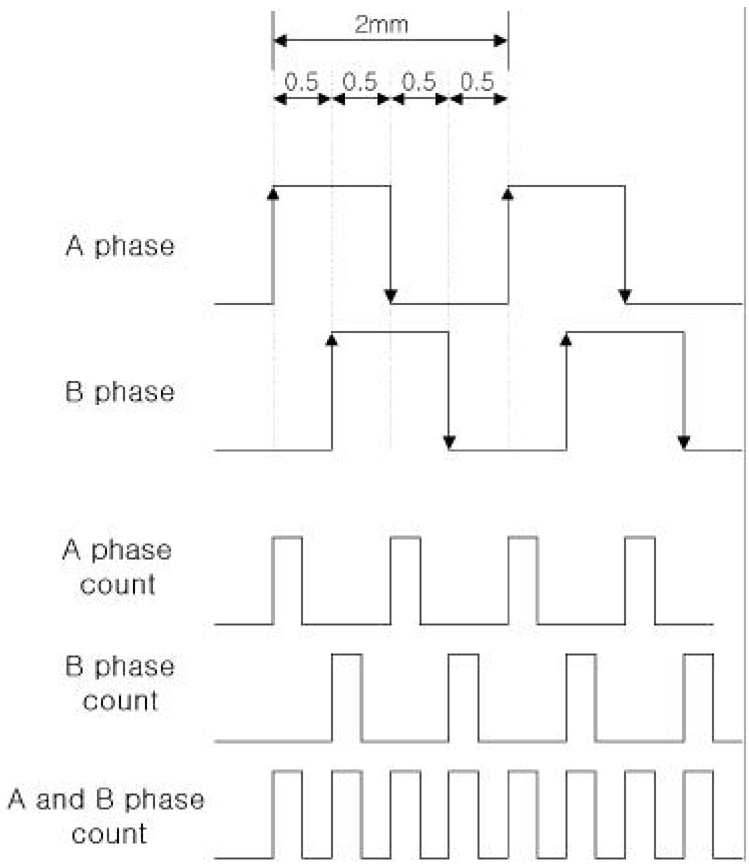


그림3.7 1/4분주에 의한 스케일 카운팅

Figure 3.7 Counting method of scales by 1/4 partition of one period

3.3.3 업/다운 카운터

그림3.8은 스트로크센서의 업/다운 카운트를 수행하기 위해 사용된 일본 NEC사의 PD4701의 내부블록 다이아그램을 보여주고 있다. 이 칩은 하드웨어적으로 4분할 내삽을 수행하고 있으며, 여기서 얻어진 데이터값을 CPU로 처리하여 스트로크센서의 분해능을 높였다. 그리고 이 칩은 350ns의 펄스폭까지 카운트 할 수 있고 8비트의 데이터값을 low와 high로 나누어 두 번 카운트함으로써 12비트의 카운터 값을 얻을 수 있다.

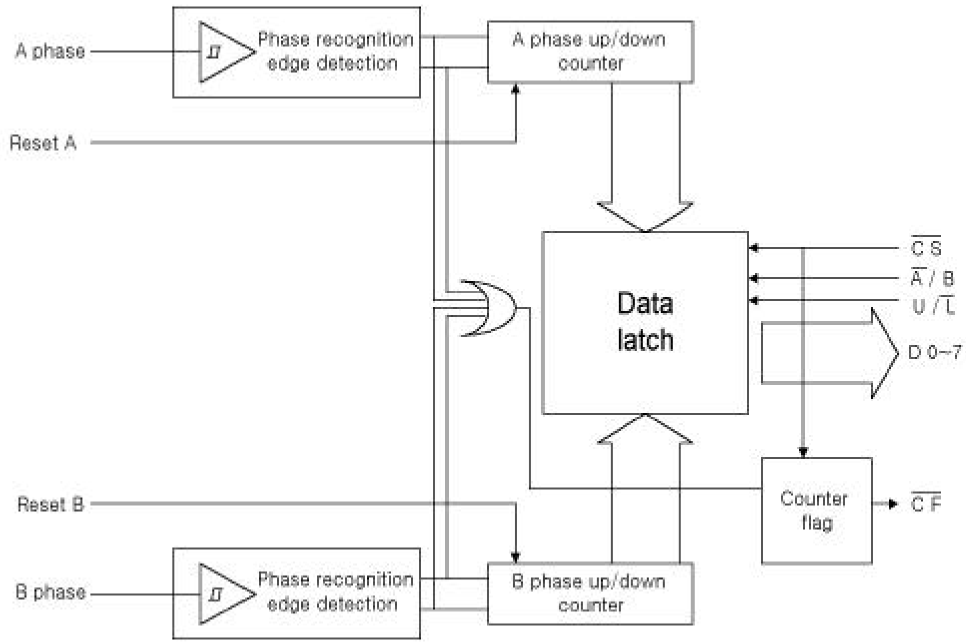


그림 3.8 업/다운 카운터 PD4701에 대한 블록 다이아그램

Figure 3.8 Block diagram of up/down counter PD4701

3.3.4 스트로크의 양방향 검출과 업/다운 카운트의 가능성

그림3.9는 두 쌍의 광파이버와 앰프로부터 출력되는 전압신호인 A상과 B상의 파형을 오실로스코프로 포착한 그림으로, 그림에서 알 수 있듯이 두 파형이 90 ° 의 위상차를 가지고 들어옴을 알 수 있으며 또한 스트로크의 양방향 검출과 업/다운 카운트가 가능하여 유압실린더의 스트로크를 정확히 측정할 수 있음을 암시해 준다.

파형에서 high 부분은 크롬의 출력을 나타내고 low 부분은 세라믹의 출력을 나타내고 있다.

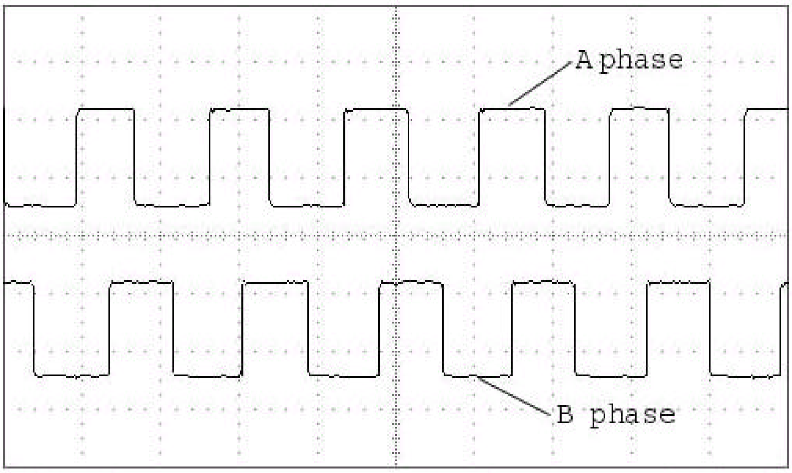


그림 3.9 광파이버앰프에서 출력된 A상과 B상의 신호

Figure 3.9 A phase and B phase signal outputted from optic fiber amplifiers

3.4 80C196KC 중심의 데이터 처리

3.4.1 80C196KC를 이용한 데이터 처리보드

그림3.10은 80C196KC[6] 중심의 데이터 처리보드에 대한 구성을 나타낸 것이다. 카운터로부터의 데이터를 받아 처리하여 LCD에 디스플레이 해 주는 역할을 하며 피스톤로드 스트로크센서 전체를 제어하는 중요한 기능을 갖고 있다. 또한 스트로크의 양방향 검출 반복실험을 수행하기 위하여 모터 구동회로가 장착되어 있다. 관련회로들은 부록에 첨부되어 있고 각 요소들에 대한 상세설명은 여기서는 생략하기로 한다.

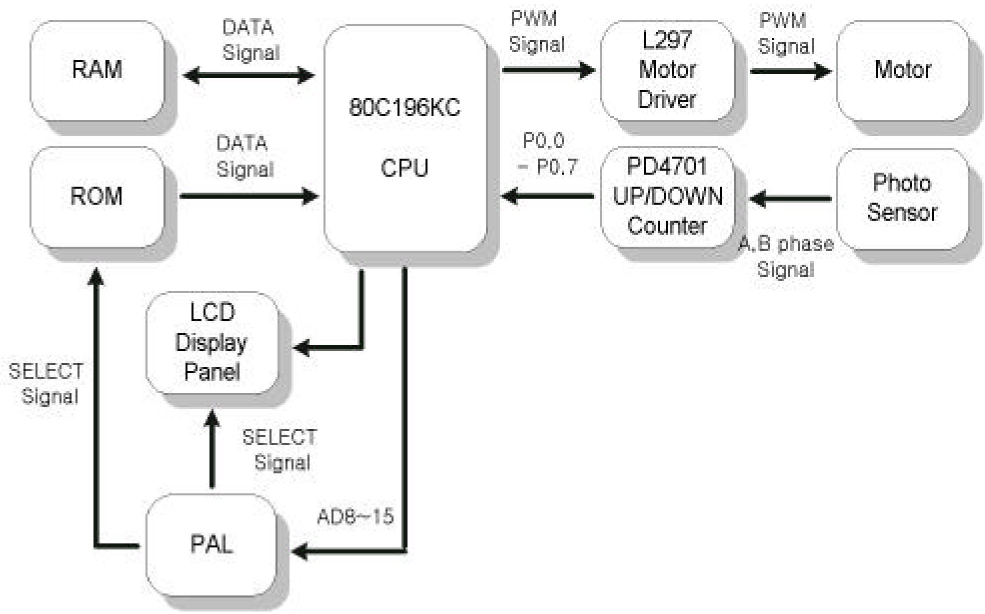


그림3.10 80C196KC 중심 데이터처리보드의 기능선도

Figure 3.10 The schematic diagram for data processing using 80C196KC

3.4.2 데이터처리를 위한 실행순서도

그림3.11**은 데이터 처리를 위한 실행 순서도를 나타낸 그림이다**.

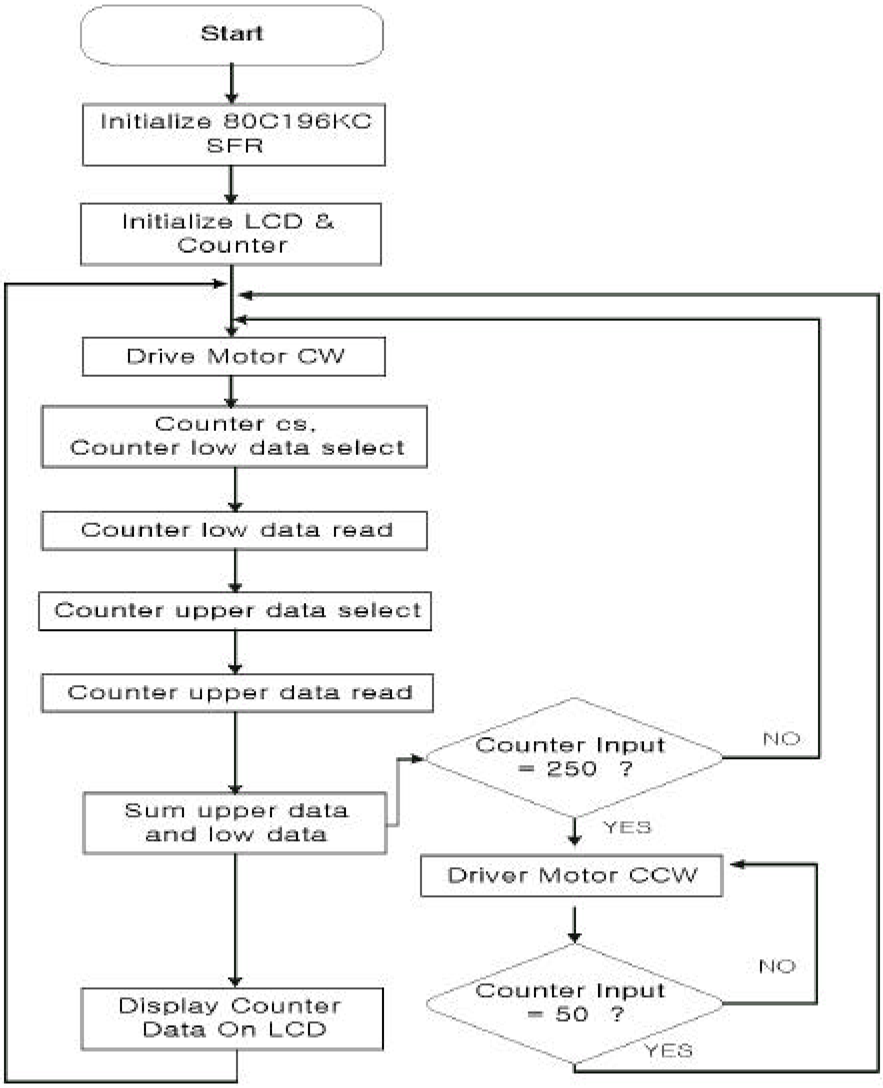


그림3.11 **데이터 처리를 위한 소프트웨어 실행순서도**

Figure 3.11 Flow chart of data processing

제 4 장 제작된 Prototype의 Configuration

4.1 스트로크의 상대비교를 위한 LVDT

본 논문에서 제안하여 구성되는 유압실린더 피스톤로드 스트로크 검출 센서의 성능을 확인하기 위하여 이제까지 많이 응용되어 온 LVDT를 비교 기준으로 사용하였으며, 대표적인 제품인 일본의 SANTEST LVDT GYMTC-11-A-600-24S-D를 채택하였다. 그 사양은 다음과 같다.

표3.1 SANTEST LVDT의 특성표

Table 3.1 Characteristics of SANTEST LVDT

Articles	Specifications
Nonlinearity	0.05% below
Resolution	0.01% below
Hysteresis	0.01% below
Sampling frequency	1kHz standard
Output signal (voltage)	0-10V or 10-0V
Output signal (current)	4-20mA or 20-4mA
Supply voltage	+15V±5%
Operating Temp.	Probe -5℃ +60℃ / Controller 0℃ +60℃
Vibration	6G Max
Shock	20G Max

4.2 전체 Configuration

그림4.1은 앞에서 제시된 방법들을 구현하여 실제로 제작한 유압실린더 스트로크 검출센서 prototype의 전체 구성을 보여주는 그림이며, 사진4.1은 제작된 prototype의 실물사진이다.

원격 검출을 위해 광파이버헤드부, 광전송을 위한 광파이버부, 광파이버 센서로부터 스트로크를 측정하기 위하여 처리된 피스톤로드부, 그리고 발광과 수신된 광을 증폭처리하기 위한 앰프부, 업/다운 카운트부, 데이터처리와 제어를 위한 데이터 처리보드부가 주 구성요소이다. 피스톤로드를 지속적으로 양방향 구동시키기 위하여 모터를 사용하였으며, 측정 결과를 직접 비교하기 위해 유압실린더의 스트로크 측정에 많이 사용되고 있는 일본 SANTEST사의 LVDT를 장착하였다.

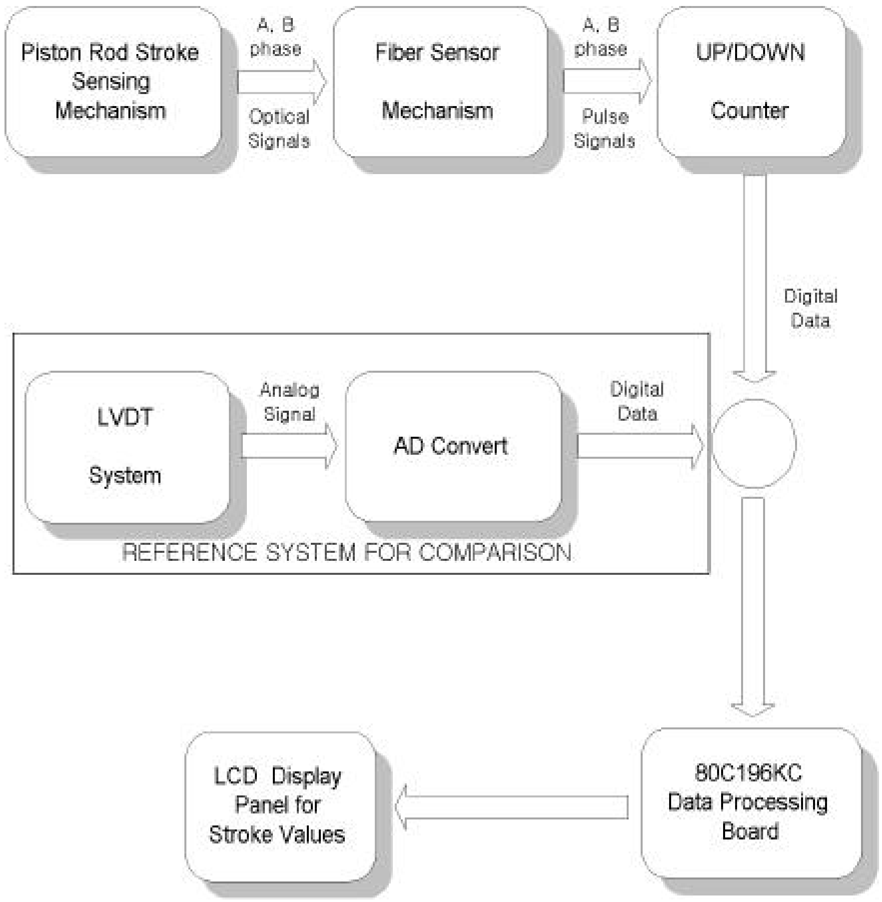


그림4.1 **본 논문에서 제작된** prototype**의 구성도**

Figure 4.1 Configuration diagram of a prototype developed in this thesis

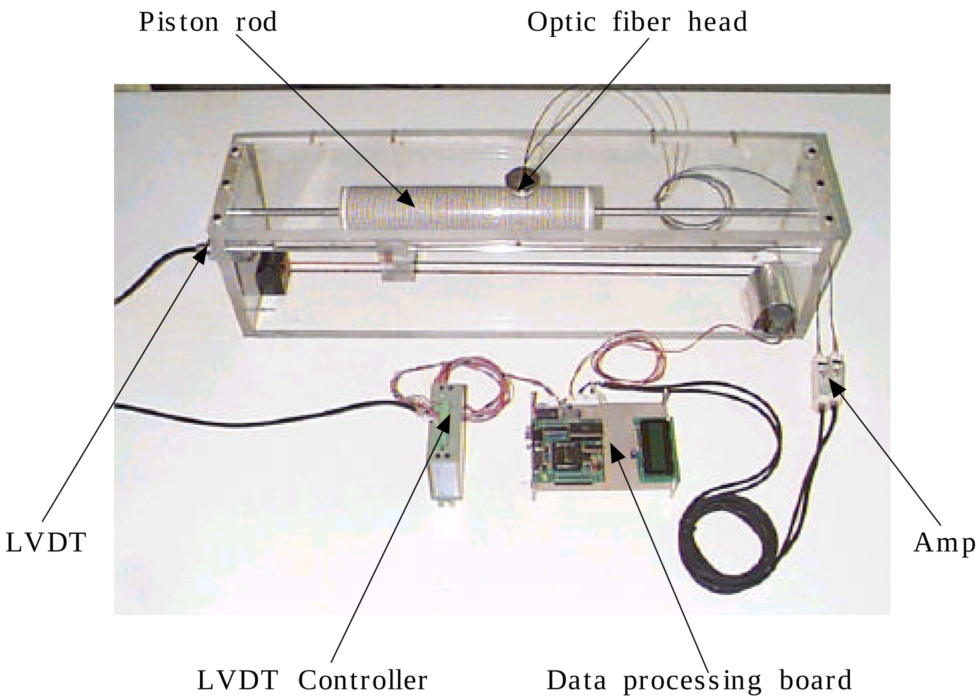


사진 4.1 스트로크 원격검출을 위하여 제작된 prototype

Photo 4.1 Developed prototype for remote detection of stroke

4.3 광파이버헤드의 설치

사진4.2는 피스톤로드 스케일을 1mm간격으로 제작하고, 업/다운 카운팅이 가능하도록 하기 위해 2조의 광파이버헤드 부분을 위상차가 90° 가 되도록 설치한 것을 보여주는 것이다.

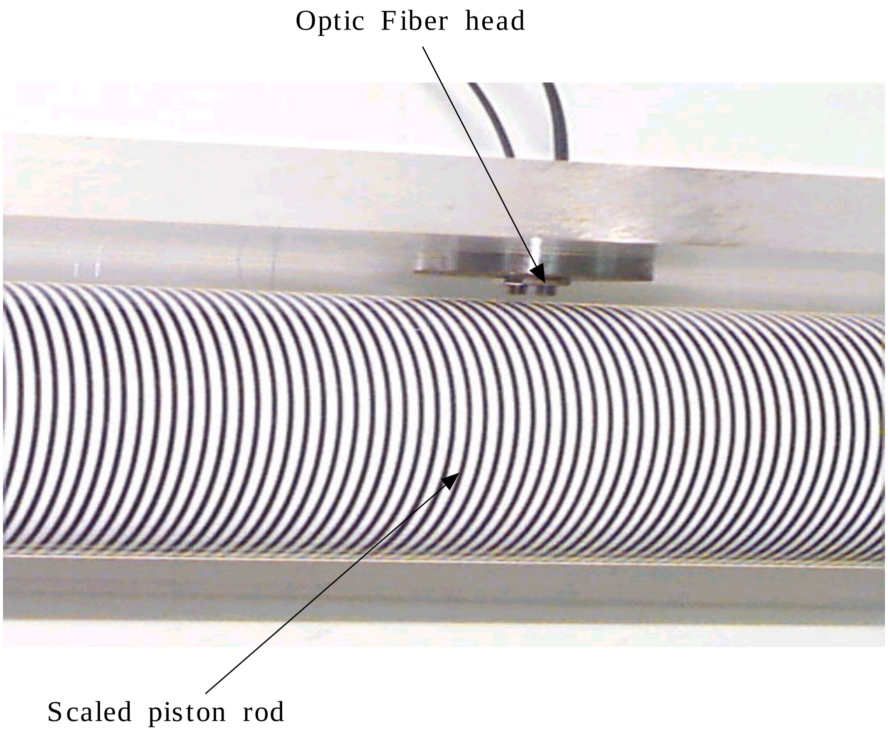


사진 4.2 피스톤로드 스케일과 광파이버헤드의 설치

Photo 4.2 Real setting between scaled piston rod and optic fiber head

4.4 데이터 처리보드

사진4.3은 제작된 80C196KC의 데이터 처리보드와 광파이버앰프, LVDT 컨트롤러를 보여 주는 것이다. LCD 판넬에서 LVDT와 개발한 센서를 비교 검토할 수 있도록 스트로크값을 10진수로 디스플레이 해 준다.

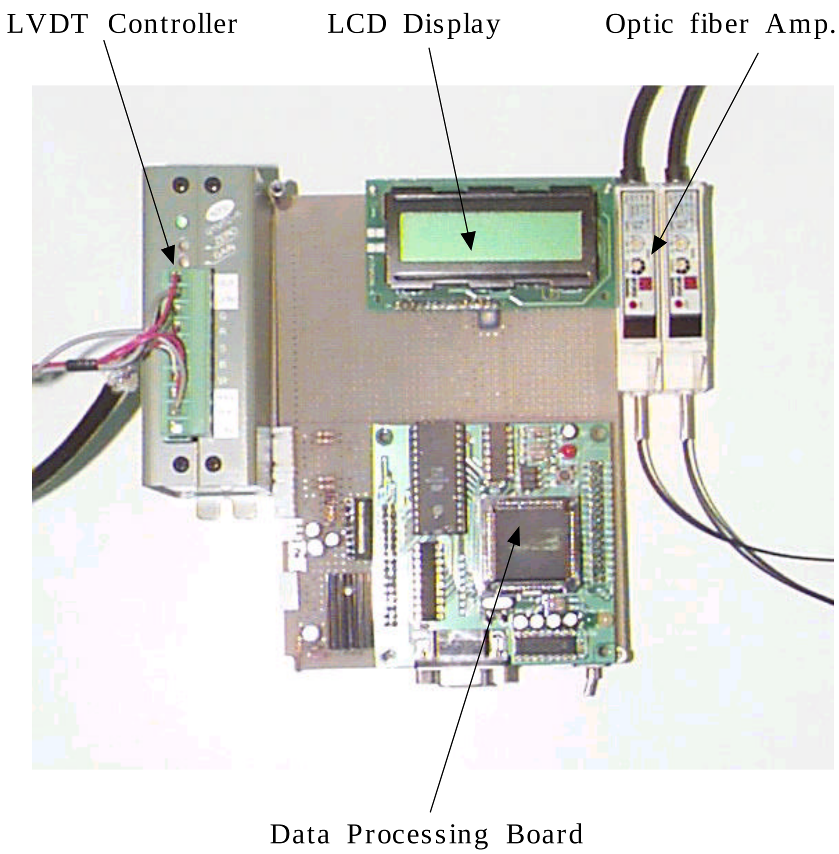


사진 4.3 제작된 80C196KC 중심의 데이터 처리보드

Photo 4.3 Data processing board using 80C196KC

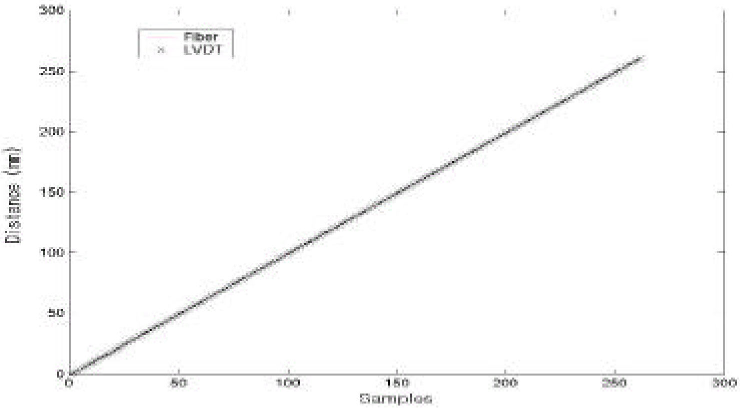
제 5 장 실험 및 결과

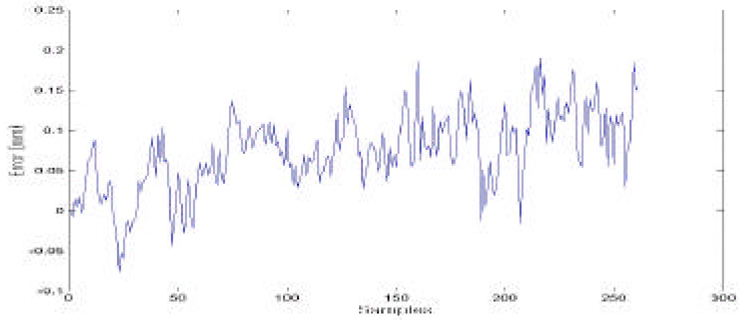
센서의 유효성 검증을 위하여 수행되어야 하는 실험 중에서 중요한 것은 센서의 정확도와 선형성, 반복재현성 검토를 위한 실험이다. 특히 증분형태의 센서에 있어서는 펄스의 정확한 검출 및 인식여부와 반복재현성이다.

본 논문에서는 개발된 센서의 유효성을 검증하기 위해 절대 비교대상으로 선정된 LVDT를 사용하였다.

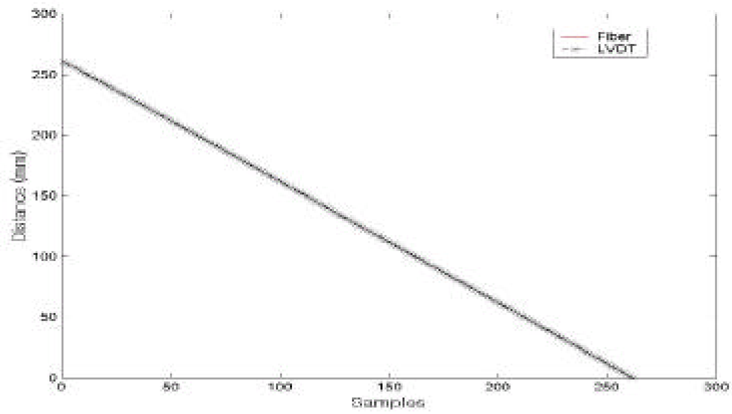
5.1 원격검출 스트로크 센서의 정확도 검토

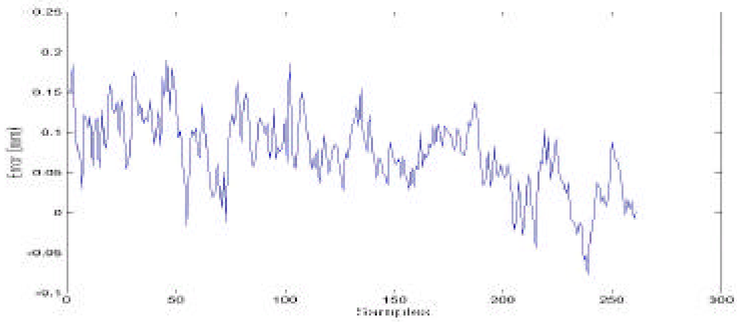
그림5.1은 본 논문에서 제안한 방법의 유효성과 정확성을 입증하기 위하여 원격검출 스트로크센서의 출력과 절대기준으로 채용한 LVDT 출력을 비교한 그림이다. 그림5.1에서 알 수 있듯이 매 샘플링 때마다 두 출력이 잘 일치함을 볼 수 있다. 스트로크센서의 최소검출단위가 0.5mm이내 오차는 최대 0.5mm이내이어야 하며, 그림에서 보는바와 같이 이 범위내에 오차가 존재하므로 제시된 센서는 정확하게 펄스를 검출하고 있음을 알 수 있다.





(a) In case of increasing the stroke





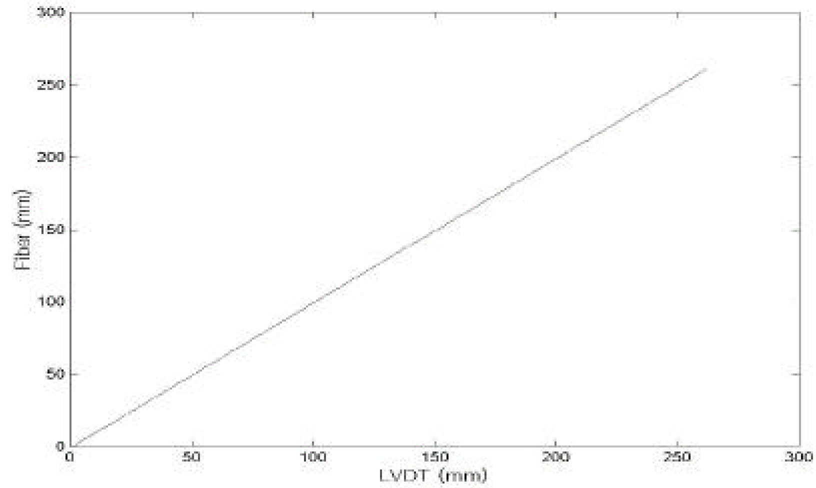
(b) In case of decreasing the stroke

그림5.1 **스트로크센서와** LVDT **출력의 비교**

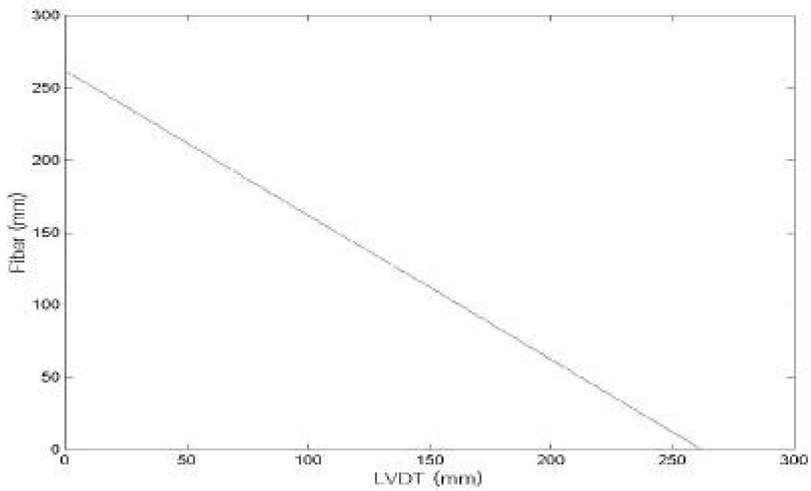
Figure 5.1 Output comparison of the stroke sensor with LVDT

5.2 원격검출 스트로크센서의 선형성 검토

본 눈문에서 제시된 스트로크 센서는 증분형태이기 때문에 정확한 펄스 검출만 이루어진다면 선형성 검토는 의의가 없을 수도 있다. 그러나 펄스의 오검출 가능성 또는 피스톤로드의 스케일처리가 로드의 길이에 따라 정확히 이루어졌는지를 검토하는 측면에서는 큰 의의를 지닐 수 있다. 그림5.2는 선형성을 검증하기 위하여 실험결과를 토대로 스트로크 센서의 출력과 LVDT 출력사이를 함수 관계로 나타낸 것이다. 일부 구간에서 미세한 비선형성을 보이는 것은 LVDT의 아날로그신호를 AD변환 과정에서의 절삭오차에 따른 것으로서 LVDT신호처리오차에 의한 것이다. 그러므로 본 연구에서 제안한 스트로크센서의 선형성은 매우 양호한 것으로 판단된다.



(a) In case of increasing the stroke



(b) In case of decreasing the stroke

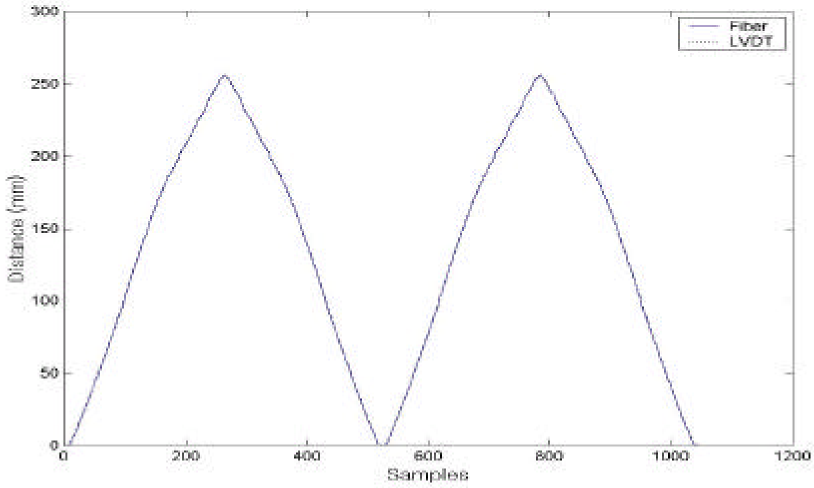
그림5.2 선형성 검토를 위한 스트로크센서와 LVDT와의 관계

Figure 5.2 Relation between the stroke sensor and LVDT for verifying the linearity

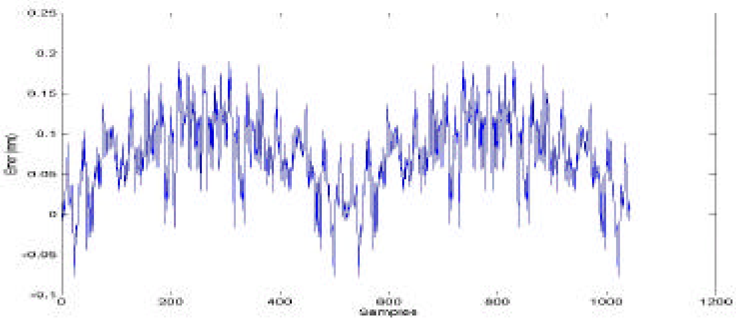
5.3 양방향 반복정확도 검토

증분방식 센서의 단점은 펄스의 오검출로 인한 오차라고 할 수 있다. 특히 장시간 동작시킬 경우 미검출된 펄스로 인한 오차가 누적되어 정확도에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

그림5.3의 (a)는 스트로크센서의 반복정확도를 분석하기 위하여 피스톤로드를 수없이 왕복 운동시켜 측정한 스트로크센서와 LVDT출력의 일부분을 비교한 것이다. 그림5.3의 (b)는 스트로크센서와 LVDT의 출력값 차이를 표시한 것이다. 여기에서 오차의 범위가 ±0.2mm의 범위 안에 있는 것을 알 수 있다. 그런데 스트로크센서가 0.5mm의 분해능을 가지고 동작하므로 이 오차는 펄스의 오검출로 인한 것이 아니라 LVDT신호의 AD변환 과정에서 유발되는 오차와 LVDT에서 발생되는 잡음을 포함한 비선형성 때문에 발생하는 오차라고 할 수 있다. (a)와 (b)에서 알 수 있듯이 스트로크센서는 펄스의 오검출 없이 정확히 스트로크를 측정하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 본 논문에서 제안하는 스트로크 센서는 피스톤로드 스케일에 대응하는 펄스를 정확히 검출함으로써 증분방식 센서가 가질 수 있는 펄스의 오검출로 인한 오차누적 요인을 배제할 수 있기 때문에 우수한 반복정확도를 갖고 있음을 알 수 있다.



(a) Output of the stroke sensor with LVDT for verifying the bidirectional repeatability



(b) Error of stroke sensor and LVDT

그림5.3 양방향 반복정확도 검토

Figure 5.3 Output comparison of the stroke sensor with LVDT for verifying the bidirectional repeatability

6. 결　　론

본 논문에서는 발광 및 수광센서와 광파이버를 이용한 유압실린더 피스톤로드 스트로크의 원격검출방법을 제안하였고, prototype을 구현한 후 실험을 수행함으로써 원격검출의 가능성을 확인하고자 하였다.

이용된 검출 수단은 광이므로 유압작동유의 서지압등으로 인해 발생하는 피스톤로드의 고속 순간속도에도 지연 없이 반응할 수가 있기 때문에 펄스의 오검출이나 검출지연으로 생기는 오차의 누적을 배제시킬 수 있는 것이 장점이며, 광파이버 헤드만을 검출부위에 설치함으로써 중장비등의 작업도중에 발생하는 과도한 충격과 진동이나 온도변화가 심한 열악한 환경에서도 영향을 전혀 받지 않고 안정적으로 스트로크를 검출할 수 있는 강인성을 가진다는 것이 장점이다. 또한 피스톤로드 처리과정에서 세라믹 코팅을 기본으로 하기 때문에 내부식성을 높여 해수와 같은 가혹한 환경에서도 사용이 가능하도록 하였다. 이를 통하여 유압실린더 스트로크 센서에 관련된 신기술을 확보할 수 있었고 이를 토대로 유압장비의 자동화 및 무인화에 기여할 것으로 기대된다.

실험결과에서 보는 바와 같이 제시된 원격검출 방법은 센서가 갖추어야 하는 정확성과 선형성, 반복 재현성면에서 우수함이 입증되었으며, 피스톤로드 스케일을 1mm단위로 가공함으로써 측정단위를 0.5mm로 하였으나 스케일을 더욱 정밀 가공한다면 이보다 더 좋은 분해능을 가질 것으로 생각된다. 또한 prototype에서는 광파이버앰프로서 상용화된 제품을 사용하였지만, 원격검출 전용의 앰프를 사

용한다면 응답속도면도 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 실제 유압실린더에 개발한 메카니즘을 적용하지 못해서 진동 및 충격이 인가된 경우의 실험은 하지 못하였으나 발견적으로 진동이나 충격에도 강인할 것으로 여겨진다.

앞으로의 연구에서는 실제 유압실린더에 개발한 스트로크 센서를 장착하여 진동과 충격에 대한 실험을 수행함으로써 이 센서의 효용성을 검증하는 단계가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

[1] **김종화, 배건성, *굴삭기 작업장치의 위치검출 센서개발*, 삼성중공업(주) 연구보고서**, 1992.

[2] S. Y. Yang, M. C. Lee, M. H. Lee, "Measuring System for Development of Stroke-Sensing Cylinder for Automatic Excavator," IEEE Trans on Industrial Electronics, vol. 45, no. 3, pp. 379-384, June 1998.

[3] **梅地 正 外 著, 全在昇 譯, *센서 인터페이싱* *no. 4* *光센서徹低活用篇*, 機電研究社**, pp. 30-36, 1989.

[4] **박선호 著**, *FA* ***센서 응용백과*** *2,* **永進出版社**, PP. 36-53, 1995.

[5] **尾關方隆 外 著, 全在昇 譯, *센서 인터페이싱* *no. 3* *메카트로닉스 센서活用篇* *PART-II*, 機電研究社**, pp. 16-21, 1989.

[6] **차영배 著**, *MICRO CONTROLLER 80196,* **다다미디어**, 1997.

[7] **김종화, 류길수, "굴삭기 전용 위치검출 센서의 개발에 관한 연구," 한국해양대 부설 산업기술연구소 논문집, 제10집**, pp.61-76, 1992.

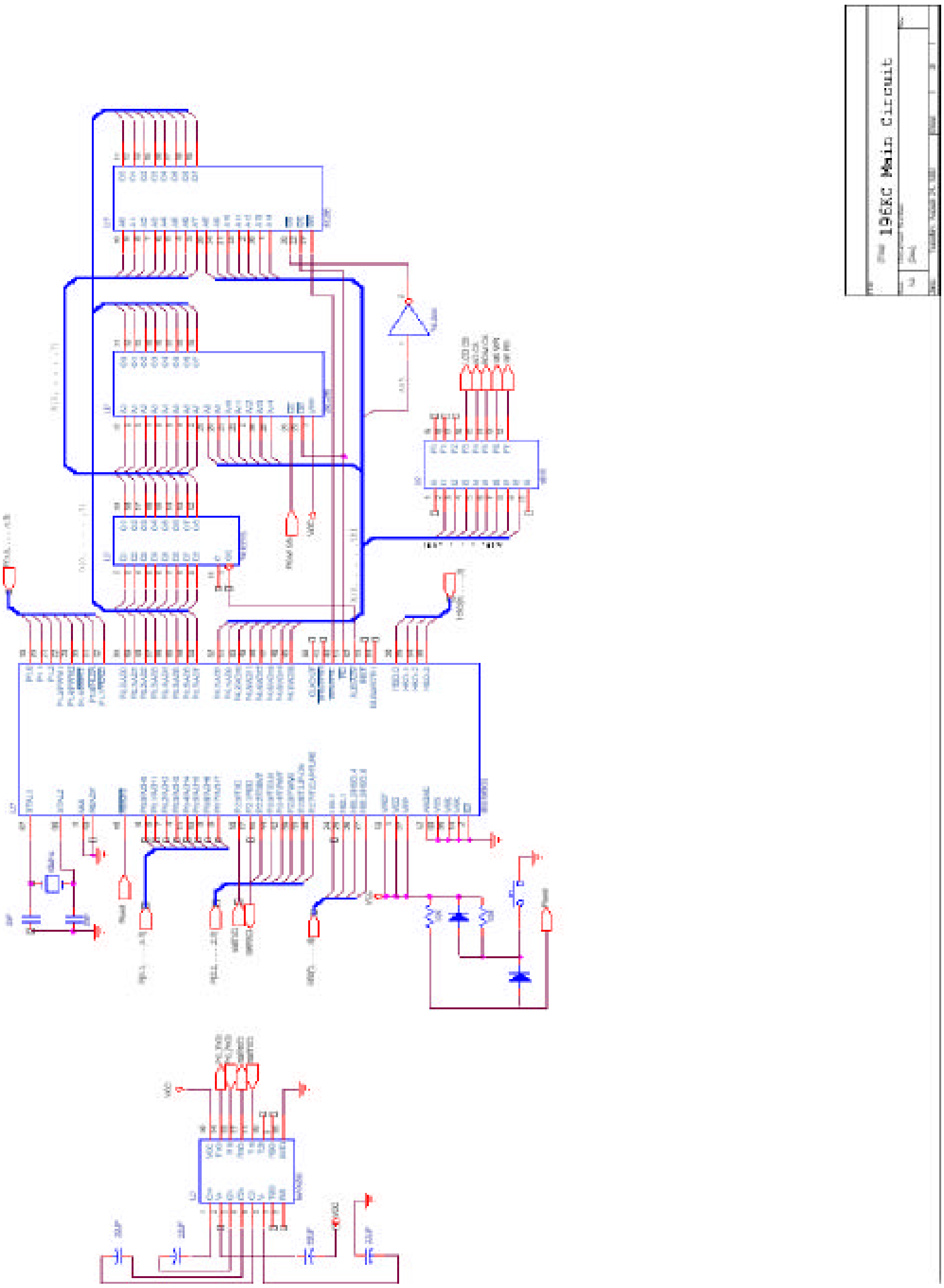
[8] S. Y. Yang, M. C. Lee, M. H. Lee, and S. Arimoto, "Development of digital stroke sensing cylinder and its performance evaluation," Robotica, vol. 14, pt. 6, pp. 687-694, 1996.

[9] 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, pp. 363-368, 1995.

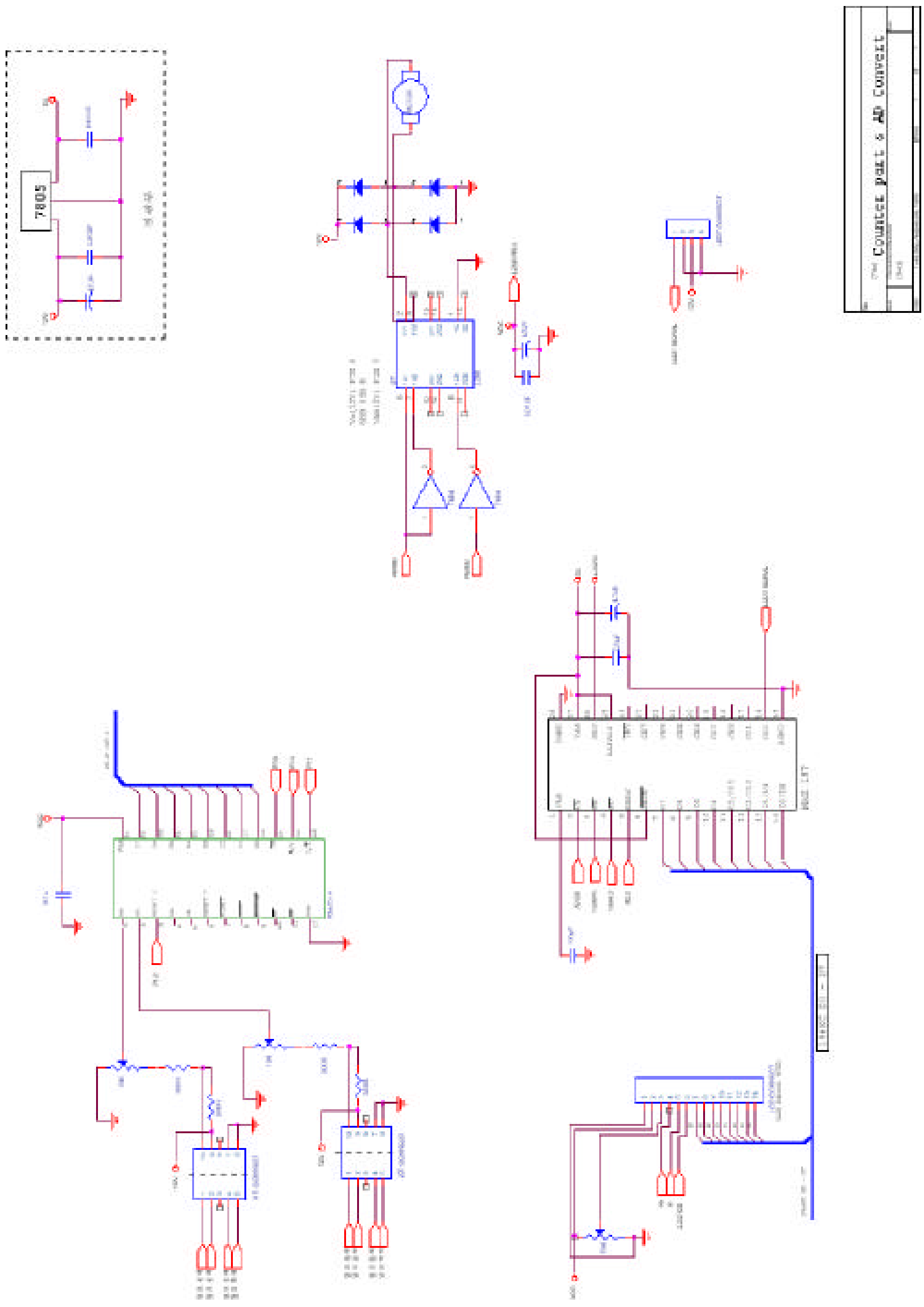
[10] **김진근**, **박민규**, **이민철**, "**절대위치 검출형 유압 실린더 개발 및 성능 평가**," '98**한국정밀공학회지**, pp. 329-333, 1998.

Appendix 센서 prototype 회로도

A.1 설계한 80C196KC 회로도



A.2 설계한 카운트부분과 A/D컨버터의 회로도



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 저를 헌신적인 지도와 격려로 학문의 길을 이끌어 주신 김종화 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 자상한 관심과 열의로 세밀한 검토를 해 주신 유영호 교수님, 하윤수 교수님께 깊은 감사를 드리며, 늘 관심 깊게 지켜 봐주신 제어계측공학과 여러 교수님께 머리 숙여 감사 드립니다.

지능제어연구실에서 항상 배움의 길을 이끌어 주신 김인환 교수님 그리고 이병결 선배님, 2년동안 연구실에서 동고동락하며 힘들게 같이 공부한 승원이 선배, 대영이 그리고 태훈이, 정훈이, 진규, 장호, 기석이 모두에게 심심한 감사의 뜻을 전하고 싶습니다. 또한 항상 저의 곁에서 도움을 준 철균이, 군호선배, 제어계측 동기와 선후배 여러분께 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

어려울 때 항상 옆에서 힘이 되어준 친구 상범이와 미정이에게도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

마지막으로 항상 부족한 저를 옆에서 물심양면 도와준 누나와 매형들 그리고 동생, 항상 어려운 생활 속에서도 저를 뒤바라지 하시며 용기를 잃지 않고 살아 올 수 있게 도와주신 아버님 어머님께 이 작은 글을 바칩니다.