



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

아날로그 선형 센서를 사용한 유압실린더의
스트로크 측정시스템에 관한 연구

A Study on a Stroke Measuring System of Hydraulic
Cylinders Using Analog Linear Sensors

指導教授 金 鍾 和



2010年 2月

韓國海洋大學校 大學院

制御計測工學科

李 聖 九

목 차

Abstract	iii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 해수용 유압실린더 시스템	4
2.1 해수용 유압실린더 시스템	4
2.2 해수용 유압실린더 시스템의 동조제어	5
2.3 해수용 유압실린더 피스톤로드의 내 부식성을 위한 세라믹 플라 즈마 표면처리 방법	8
제 3 장 유압실린더 스트로크 측정에 사용되는 센서	10
3.1 LVDT방식의 스트로크 측정센서	11
3.1.1 LVDT의 측정원리	11
3.1.2 LVDT의 특성	12
3.2 4분할 내삽 증분형 스트로크 센서	13
3.2.1 4분할 내삽 증분형의 측정원리	14
3.2.2 4분할 내삽 증분형의 특성	16
3.3 새로운 스트로크 측정시스템 개발의 개요	16
3.3.1 새로운 스트로크 측정시스템 개발의 필요성	16
3.3.2 내장형 스트로크 측정시스템의 개요	17
제 4 장 아날로그 선형센서를 이용한 스트로크 측정센서	18
4.1 스트로크 측정센서의 외관 및 명칭	19
4.2 아날로그 선형센서의 자성체 검출원리	21
4.3 피스톤 로드 스케일 처리	22

4.4	아날로그 선형센서의 피스톤 로드 스케일 검출원리	24
4.5	신호처리보드 외관 및 입출력	25
4.6	스트로크 값을 얻기 위한 신호처리	26
4.6.1	SINE/COSINE 조정기	28
4.6.2	SINE/COSINE 진폭 변조기	29
4.6.3	Resolver-to-Digital 변환기	30
4.6.4	RS422A 시리얼 통신 드라이버	31
4.6.5	기타 회로요소	32
제 5 장	실제시스템을 대상으로 한 실험	33
5.1	실험환경의 구축	33
5.1.1	스트로크 측정을 위한 카운터 유닛	33
5.1.2	신호파형 확인을 위한 실험환경 구축	35
5.2	스트로크 측정실험	36
5.2.1	스트로크 측정	37
5.3	실험 데이터 수집 및 분석	39
5.3.1	실험 1에 대한 데이터 수집 및 분석	39
5.3.2	실험 2에 대한 데이터 수집 및 분석	43
제 6 장	결론 및 향후과제	46
참 고 문 헌	47

A Study on a Stroke Measuring System of Hydraulic Cylinder Using Analog Linear Sensors

Sung-Gu Lee

*Department of Control and Instrumentation Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University*

ABSTRACT

This paper introduces the development of a position sensor detecting absolute and precise position of piston rod of the cylinder. In order to cope with several problem of former LVDT sensor and 4-partitioning incremental type sensors, a stroke measuring system composed of magnetic linear sensor, mechanical housing part and signal processing part, is suggested by adopting resolving method such that 1 period of sine groove is divided by 1024. By accomplishing several experiments using an implemented prototype stroke measuring system, it is verified that the proposed stroke measuring system can stably measure stroke value of hydraulic cylinder with good performance and accuracy.

This paper is composed as follows. In chapter 1, Several references are surveyed for investigating the technology about stroke measuring sensors for hydraulic cylinders. In chapter 2 the characteristics of

hydraulic cylinders for offshore application. And in chapter 3, two method of stroke measurement such as LVDT and 4-partitioning incremental type sensor are surveyed in view of advantages and disadvantages. In chapter 4, the main contents of this paper, a new composition method using analog linear sensors for stroke measurement is suggested in view of hardware implementation. The method basically uses the 1024 partitioning method named resolver method for the one period of sine wave type piston rod grooves. In chapter 5, several experiments are executed by applying the implemented stroke measuring system to an offshore hydraulic cylinder for operating a water gate and the resultant data are collected and analyzed. And the stroke measurement possibility of the proposed system is addressed based on the experimental data. In chapter 6, conclusions about this paper are synthetically addressed.

제 1 장 서 론

현재 부두시설에 사용되는 로드아웃 시스템이나 리프트 시스템, 해양 및 조선분야에 사용되는 선상 크레인, 항만건설 분야의 항만준설기 뿐만 아니라 댐, 간척지등의 수문 개폐용이나 고 하중 유압프레스 등 일반 산업 분야에서도 고출력 정밀 동작을 요구하는 특수유압실린더의 수요가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다^[1,2].

특히 스트로크가 긴 경우의 특수유압실린더의 경우에는 거친 유압실린더의 동작을 원활하게 제어함으로써 정밀한 동작을 보장할 수 있는 제어 시스템을 구성해야 하는데 이 때 유압실린더 자체에 내장된 전용센서를 부착하여야만 한다^[3~5]. 뿐만 아니라 방조제나 댐의 수문, 선박 승강기 (Ship lifter) 등에서 사용되는 2개 이상 복수개의 해수용 특수유압실린더의 피스톤로드 위치동조에 사용되는 기존의 센서는 사용 환경적 요인에 의해 여러 가지 문제점을 내포하고 있다^[2~8]. 즉 이와 같은 유압실린더는 주로 바닷가나 해수 중에 설치됨으로써 해수와 직간접적으로 노출되어 크롬 도금된 기존의 피스톤로드의 경우에는 부식이 발생되어 피스톤로드의 기능을 상실하게 되는 큰 문제점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위해서는 피스톤로드를 세라믹계열의 분말을 사용하여 플라즈마 코팅 처리하여 방식기능을 부여해야 하며, 이와 동시에 내장된 전용센서를 위한 센서미디어로서의 기능을 갖도록 스케일처리 하여야 한다^[1,2,6,7].

기존에 개발된 전용센서 내장기술 중 국내에서 개발된 기술로는 피스톤로드를 흑색과 백색의 띠는 세라믹 계열을 이용하여 방식처리와 스케일처리를 만족시키고 광파이버를 이용한 광센서를 사용하여 스트로크를 증분형으로 측정하는 기술이 있고, 네덜란드와 독일 등 국외에서 개발되어 상용화된 기술로는 피스톤로드 표면을 단일계열의 세라믹을 이용하여 코팅

처리하고 내부의 로드표면을 흠 가공함으로써 센서미디어의 기능을 갖도록 한 다음 마그네틱센서를 이용하여 증분형으로 스트로크를 측정하는 기술이 있다^[2,6]. 하지만 광파이버 전용센서의 경우에는 코팅된 백색의 세라믹이 흠면지 등에 오염되어 백색을 상실할 때에는 로드에서 반사되는 빛의 양이 적게 되어 스케일의 오검출로 인한 오차가 누적되는 단점을 가지고 있으며, 마그네틱 전용센서의 경우에는 흠의 온-오프 검출방식으로 인하여 요구되는 분해능에 부합되는 흠 간격을 기계적으로 가공하는데 한계가 있어 결국 측정 분해능을 높이기 어려운 한계를 가지고 있다.

한편, 열악한 환경에서 사용되는 유압실린더라 할지라도 정밀한 제어 동작을 필요로 하는 경우에는 제어시스템에서 요구되는 정밀도보다 최소 10배 이상의 측정분해능을 가진 전용센서를 사용하여야 한다. 따라서 열악한 사용 환경 문제를 해결함과 동시에 측정분해능을 높일 수 있는 새로운 형태의 유압실린더 내장형 스트로크 측정 시스템 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다^[9~12].

이에 본 논문에서는 해수용도를 사용하는 유압실린더의 피스톤로드를 세라믹코팅 처리하여 방식기능을 부여함으로써 환경적 요인을 해결하면서도 아날로그 마그네틱 선형 센서를 기본센서로 사용하여 유압실린더 피스톤로드의 스트로크 측정 분해능을 향상시키는 새로운 형태의 스트로크 측정시스템을 제안하고자 한다. 또한 제안된 기술을 하드웨어적으로 구현한 후 실제의 수문개폐용 유압실린더에 적용하고, 반복적인 실험을 통하여 개발된 스트로크 측정시스템이 피스톤로드 스트로크를 설계된 분해능 내에서 안정적으로 검출하는지를 검증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 수문개폐용으로 사용되는

해수용 유압실린더 시스템의 동작원리와 특성을 소개하고, 제3장에서는 수문개폐용 유압실린더에서 사용되어 온 기존의 피스톤로드 스트로크 센서의 방식인 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)방식^[18]과 4분할 내삽 증분방식을 언급한 후, 각각의 특징과 장단점을 살펴본다. 이를 통하여 기존의 센서방식이 가지는 단점을 보완하여 새롭게 제안될 새로운 스트로크 측정 시스템이 가져야 하는 기능과 특성을 제시하고자 한다. 제4장에서는 새로운 측정 시스템으로 아날로그 선형센서를 기본으로 하는 로드 스트로크 1주기의 고 분해능 방식을 가진 스트로크 측정시스템을 제안하고, 제안된 스트로크 측정시스템을 구성하기 위하여 가져야 하는 시스템 구성요소를 포함하는 전체 구성도를 제시한다. 또한 각 구성요소가 가져야 하는 기능과 기능을 갖도록 요소를 설계하는 방법을 제시한다. 제5장에서는 구현한 스트로크 측정시스템을 수문개폐용 유압실린더에 적용하여 반복적인 실험을 수행한다. 실험을 통하여 수집된 데이터를 분석함으로써 제안한 스트로크 측정방식의 가능성을 고찰한다. 마지막으로 6장에서는 고찰결과를 토대로 본 논문에서 제안한 방법에 대한 총체적인 결론을 내리며 향후에 보완하여야 할 연구과제에 대하여 전망한다.

제 2 장 해수용 유압실린더 시스템

2.1 해수용 유압실린더 시스템

유압시스템은 구성이 간단하고, 액추에이터의 크기에 비해 상대적으로 큰 힘을 얻을 수 있으며 또한 전자비례밸브나 서보밸브 등의 유압 제어 요소의 발달로 인해 제어 정밀도가 좋아졌기 때문에 산업분야의 고하중 기계 조작기구나 동력 전달 수단으로서 널리 사용되고 있다.

유압실린더 시스템의 구성요소는 크게 유압동력 발생부, 유압동력 조절부, 유압동력 전달부로 이루어진다. 각 요소들이 가져야 하는 필수기능은 용도에 따라 달라지는데, 본 논문에서 소개할 해수용 유압실린더 시스템은 해수용도로서의 기능과 개별유압실린더의 위치를 동조시키는데 필요한 전용센서를 내장하는 기능도 포함하여야 한다.

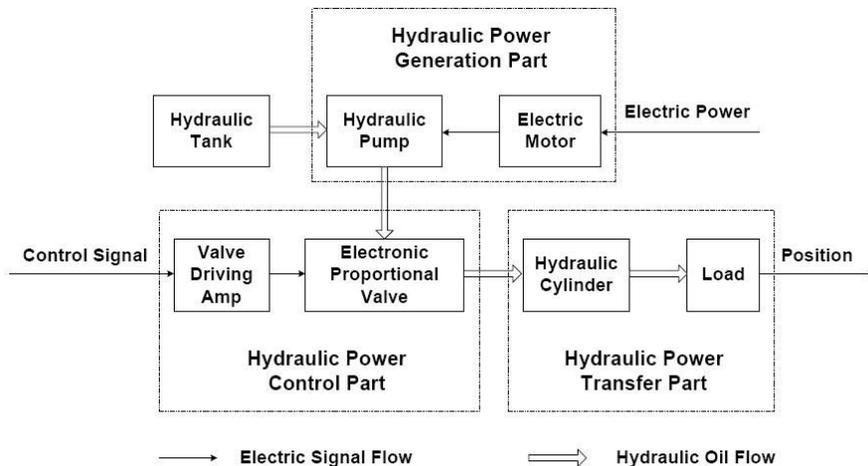


그림 2.1 유압실린더 시스템의 구성도

Figure 2.1 Composition diagram of a hydraulic cylinder system

그림 2.1은 본 논문에서 채용한 유압실린더 시스템의 구성도이며, 주요 구성요소인 해수용 유압 실린더와 제어요소를 나타낸다. 통상적인 유압실린더는 유압에너지를 기계적 에너지로 변환시켜서 선형운동을 하는 유압요소이며 압력과 유량을 제어하여 추력과 속도를 조절할 수 있다.

본 논문에서 전용센서를 내장하고 센서의 성능을 테스트하기 위한 수단으로 채용하는 해수용 유압실린더 시스템은 피스톤 양측에 압력을 인가할 수 있어서 양쪽 방향으로 일을 할 수 있게 하는 복동 실린더(Double acting cylinder)를 기본으로 하고, 단위길이 대 행정비가 양 로드 실린더보다 우수하기 때문에 제한된 공간에서 고출력을 낼 수 있는 편 로드 실린더(Single rod cylinder)를 사용한다. 그러나 편 로드 실린더는 피스톤 양면의 수압면적이 다르기 때문에 시스템의 동특성에 많은 비선형성을 포함하고 있고 피스톤의 후진운동 속도가 전진운동의 속도보다 빠른 단점을 가지고 있지만, 제작이 용이하고 가격이 저렴하며 설치공간을 작게 차지하는 장점을 지니고 있다. 또한 해수용 유압실린더의 피스톤로드는 내압축성, 내굽힘성, 내진동성, 내마모성 등 일반적인 유압실린더가 가져야 하는 기능 외에 해수에 대한 내부식성도 갖추고 있어야 한다.

2.2 해수용 유압실린더 시스템의 동조제어

수문 개폐를 위해 사용되는 해수용 유압실린더는 각 수문마다 일반적으로 두 개가 사용되며, 이 때 수문은 두 유압실린더의 스트로크 위치 동조제어에 의해 원활하게 개폐된다. 만약 하나의 유압실린더에 의해서만 수문이 동작되면 수문 동작 시 수문과 수문 벽의 부딪힘 등으로 인해 수문이나 벽은 물론 유압실린더 자체의 파손위험이 있다. 위치 동조제어는 2개 이상 복수개의 유압실린더를 동시에 동일한 속도와 스트로크 위치를

갖고 작동하도록 제어하는 동작을 말하며, 같은 규격으로 제작된 유압실린더라 하더라도 제작에서 발생하는 실린더 튜브나 피스톤로드, 피스톤 등의 기계적 가공오차와 진원도, 직진도 등의 차이로 인해 동특성이 각기 다를 수 있고, 사용되는 각종 패킹이나 시일의 재질 등에 의한 마찰력의 차이 등에 의해서도 동특성에 영향을 미칠 수 있다. 결국 제품의 균일성 문제뿐만 아니라 내부누설의 차이, 배관상태에 따른 배관저항의 차이 등에 기인하여 기계적으로는 위치동조 시키고자 하는 복수개의 유압실린더에 동일한 유량을 공급하기가 매우 어렵다.

그러므로 수문개폐를 위해 사용되는 유압실린더 시스템에는 실시간으로 피스톤로드의 스트로크를 측정하고 이를 이용하여 피스톤로드 스트로크의 가감을 실시간으로 제어할 수 있는 위치동조 제어가 반드시 필요하며 이 위치동조 제어명령이 두 개의 유압실린더에 실시간으로 내려져 결과적으로 유압실린더가 구동되어야 한다.

본 논문에서는 수문의 개폐를 위해 각 수문에 두 개의 유압실린더가 장착된다는 가정 하에, 각각의 유압실린더의 스트로크 위치를 동조제어 하기 위해 필요한 유압실린더 내장형 전용센서의 개발에 대하여 논의한다. 먼저 각각의 유압실린더에는 피스톤로드 상에 전용센서를 위한 측정미디어 기능을 갖도록 사인파형으로 스케일처리하고 아날로그 선형센서를 사용하여 사인파 1주기의 스트로크를 1024 등분으로 분해하는 방식의 전용센서를 내장시켜 기존의 센서보다 높은 정밀도를 가지고 스트로크를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 그림 2.2는 수문개폐용 유압실린더 스트로크 위치 동조제어를 위하여 전용센서로부터의 스트로크데이터가 반드시 필요하다는 것을 부각시키기 위하여 위치동조 제어방법에 대한 한 가지 예를 나타낸 순서도이다.

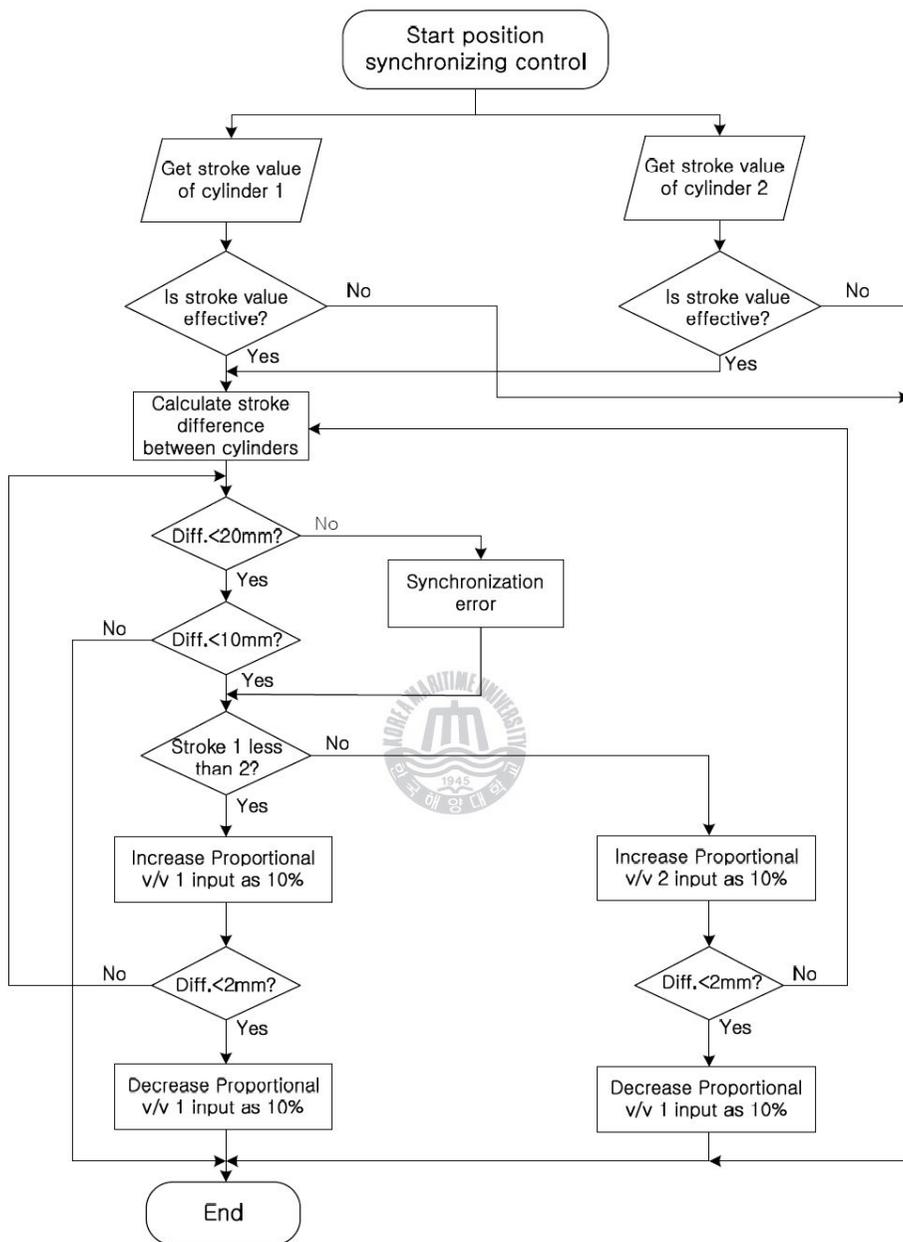


그림 2.2 수문동작용 유압실린더의 위치동조 제어 예

Figure 2.2 An example of position synchronizing control of hydraulic cylinders for operating a water gate

2.3 해수용 유압실린더 피스톤로드의 내 부식성을 위한 세라믹 플라즈마 표면처리 방법

해수용 유압실린더의 피스톤로드는 내압축성, 내굽힘성, 내진동성, 내마모성 등 일반적인 유압실린더가 가져야 하는 기능 외에 해수에 대한 내부식성도 갖추어야 한다. 일반유압실린더의 경우에는 피스톤로드의 표면을 경질크롬으로 도금하여 사용하는데, 경질크롬은 해수에 직접 또는 간접적으로 접촉될 때 부식이 발생되어 박리되기 때문에 피스톤로드로서의 기능을 상실하게 된다. 이를 극복하기 위하여 해수용도의 경우 피스톤로드 표면을 세라믹 분말로써 플라즈마 코팅 처리하는 방법이 개발되어 사용되고 있다^[2]. 그러나 플라즈마 코팅 시에 발생하는 기공(Porosity)으로 인해 피스톤로드의 기본 재질(Fe 화합물)이 부식될 소지가 있는데, 이를 방지하기 위한 대책을 강구하여야 하며, 사용조건 즉 해수와의 접촉정도에 따라 충분히 견딜 수 있는 부식정도를 염수분무테스트(Salt spray test)를 수행함으로써 보장받아야 한다. 그림 2.3은 피스톤로드를 세라믹 분말을 이용하여 내부식 기능을 갖도록 표면처리 하는 한 방법을 그림으로 나타낸 것이다. 내부식성을 높이기 위해서는 먼저 로드표면 위에 1차로 본드 층(Bond layer)을 HVOF 코팅방법을 사용하여 용사 코팅함으로써 기공의 발생률을 최대한 낮추도록 한다. 이 때 재료는 Ni 화합물을 주로 사용된다. 그런 다음, 플라즈마 코팅방법을 사용하여 세라믹분말을 플라즈마 코팅한다. 이 때 주로 사용되는 세라믹 분말재료는 산화알루미늄 Al_2O_3 , 산화티타늄 TiO_2 또는 산화크롬 Cr_2O_3 을 용도에 따라 적당한 비율로 혼합한 분말을 사용한다. 코팅두께는 해수와의 접촉정도에 따라 달라질 수 있으며 통상 200~300 μm 정도이다.

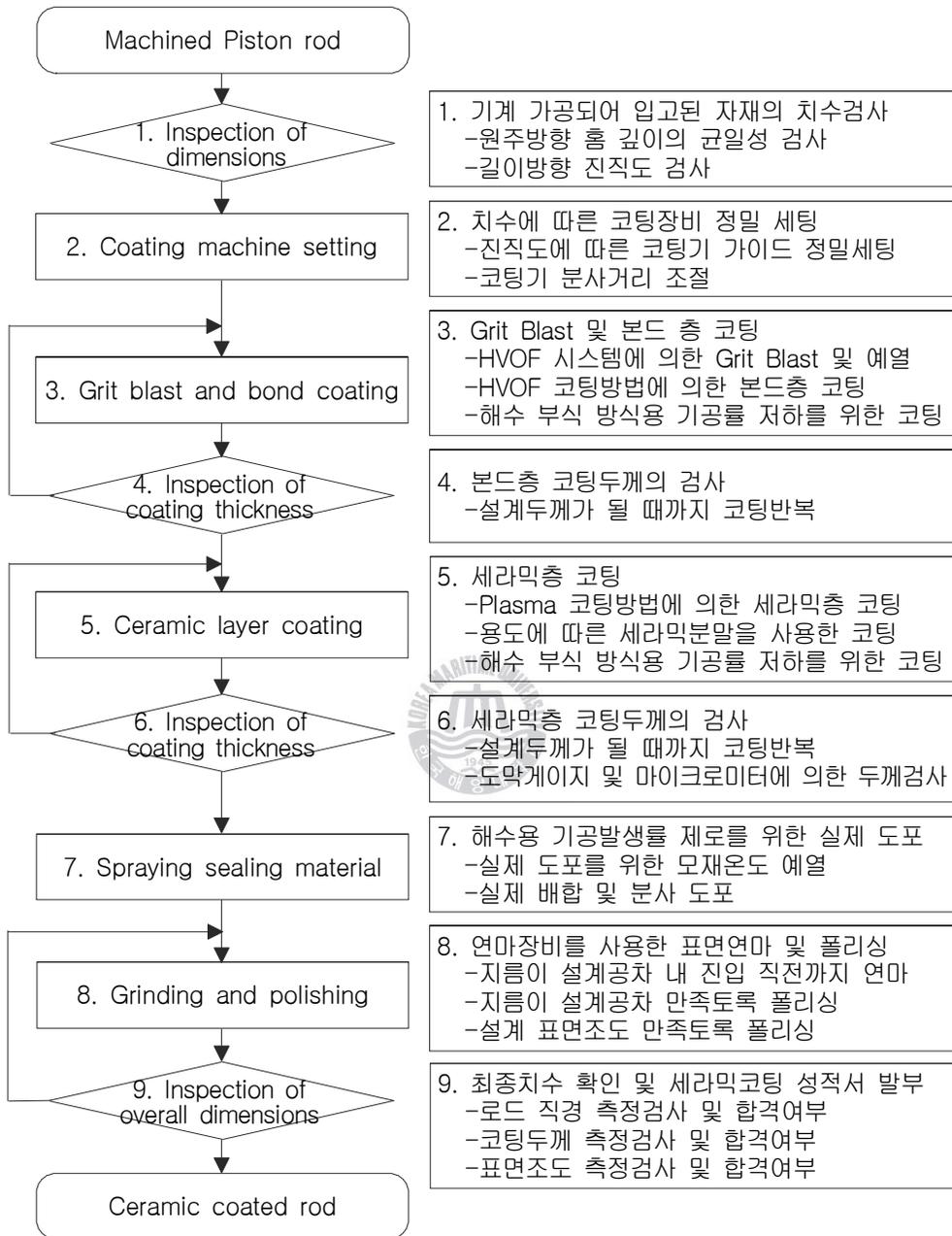


그림 2.3 피스톤로드를 세라믹 코팅 표면처리 하는 프로세스 예

Figure 2.3 An example of ceramic coating treatment process of piston rod

제 3 장 유압실린더 스트로크 측정에 사용되는 센서

온도변화가 심한 사용환경과 과도한 진동과 충격이 발생하는 거친 작업 환경에 사용될 수 있는 맞춤형 사양을 지닌 유압실린더 스트로크 센서는 거의 없으며, 특히 해수용 유압실린더 시스템에 응용하기 위해서는 유압실린더에 내장 가능하고 열악한 환경을 극복할 수 있는 전용의 센서를 개발하여 사용하여야 한다. 유압실린더 피스톤로드의 스트로크를 측정하는데 사용되어 온 기존의 센서방식에는 LVDT 방식^[18]과 4분할 내삽 증분형 방식^[2,11,17]이 있다.

LVDT 방식은 차동변압의 원리를 사용하여 코일 내에 도체가 움직일 경우 2차 코일에서 발생하는 전압을 스트로크에 비례하여 얻는 방식으로 일반 센서 메이커에서 범용으로 대량 공급하고 있다. 한편, LVDT를 유압실린더에 내장하기 위해서는 피스톤로드의 단면 중앙을 건드릴로 가공하여야 하는데 긴 스트로크의 경우에는 드릴 홈을 가공하기가 매우 어렵다. 또한 스트로크의 길이에 비례하여 누적되는 센서 자체가 내포하는 선형성 오차로 인하여 정확한 스트로크의 검출이 불가능하게 됨으로써 스트로크가 긴 수문용 유압실린더에 응용하는 데에는 한계가 있다.

독일의 Hunger사와 네덜란드의 Hydraudyne사, Hydrowa사 등의 기업을 중심으로 해수용 유압실린더에 내장될 수 있는 4분할 내삽방식의 센서를 개발하여 제품에 사용하고 있다. 이 때 마그네틱 센서를 스트로크 검출매체로 채용하고 있기 때문에 진동과 충격이 과도한 사용 환경에 있어서는 여전히 내구성 문제를 극복하지 못하고 있다. 또한 4분할 이상의 분할방법과 양방향 스트로크 검출용으로 사용하기 위해서는 최소 2개 이상의 센서를 사용하여야만 하는데, 이 때 센서 사이의 거리를 가깝게 배치하여 센서 전체의 크기를 작게 만들려고 하다 보면 마그네틱 센서 사이에

간섭이 발생하게 되어 측정을 정확하게 할 수 없게 되고 오차가 발생시킨다. 이와 같은 문제점을 피하기 위해서는 불가피하게 센서 자체의 크기를 소형화시키기 어려우며 따라서 소형 실린더에 내장하는 데에는 한계를 가지고 있다.

3.1 LVDT방식의 스트로크 측정센서

오늘날 차동 변압기는 원리상의 총칭으로 가리키는 경우가 많아 일반적으로는 LVDT라 호칭되는 경우가 많다. LVDT는 50년 이상이나 경과된 오늘날에도 거의 당시의 스타일 그대로 널리 쓰이고 있으며 내환경성이나 고도의 신뢰성이 요구되는 현장에서 많이 사용되고 있다. 그 이유는 센서를 구성하는 소재가 매우 간소하여 복잡한 기구나 반도체 등의 액티브 소자를 이용한 센서에 비해 높은 안정성이 확보되기 때문이다.



3.1.1 LVDT의 측정원리

LVDT는 발생하는 변위에 따라 코어가 함께 이동되고 이러한 변위의 결과로 가변 아날로그 전압이 출력되는 변압기이다. 일반적으로 변압기는 전기적 에너지를 같은 형태의 에너지로 변환하는 장치이며 전압 대 전류의 비율로 변환한다. 손실이 없다면 전체 입력에너지는 전체 출력에너지와 같다. 변압기는 코일의 감긴 권선의 횟수에 의해 전압이 증가하고 감소하므로 상당전류는 전압에 반대로 변환되며 이는 두 코일의 권선수가 다르기 때문이다. 전기에너지는 코일을 통해 자속(Flux)을 생성하며 자속은 권선수에 비례하여 2차 코일에서 전압을 유도하게 된다. 2차 코일에 감긴 횟수가 클수록 전압은 더욱 커지거나 전류는 더욱 작아지게 된다. 그

러나 2차 측의 유도된 전압은 자속의 세기에 따라 좌우된다. 만약 철심 코어가 없다면 자기력 선(Flux line)은 분산되고 자기장의 힘이 감소하게 된다. 따라서 2차 측의 유도전압은 간단하게 된다. 철심 코어가 존재한다면 자기력선은 내부로 집중되어 자기장이 강해지며 유도전압도 강해진다. 이러한 방식으로 그림 3.1 에서 나타낸 바와 같이 LVDT에서 가변전압을 생성하게 된다. LVDT의 출력은 코어의 입력위치에 따라서 정확히 선형적인 성격을 띠게 된다^[18].

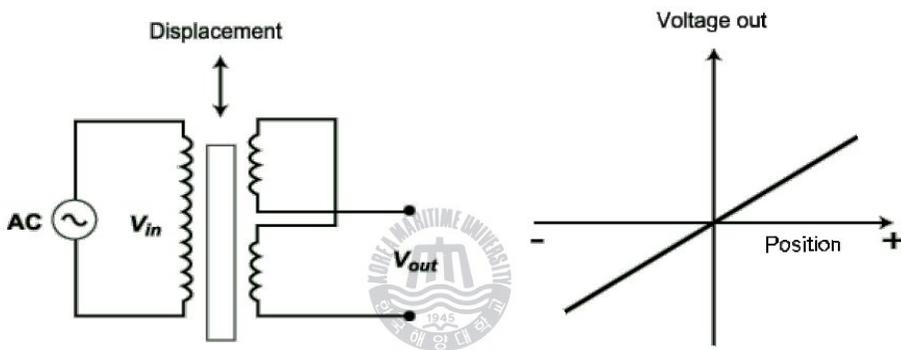


그림 3.1 LVDT의 측정원리

Figure 3.1 The principle of LVDT

3.1.2 LVDT의 특성

해수용 유압실린더 시스템에서 사용되는 LVDT 방식은 피스톤로드 단면 중앙부의 간단한 드릴작업만으로도 센서를 유압실린더에 쉽게 장착할 수 있고, 스트로크의 절대 값을 측정하므로 실린더의 전원 차단 후 복귀 시에도 실린더의 스트로크 값을 유지한다는 장점을 가진다. 하지만 3000mm 이상의 긴 스트로크 측정용으로는 LVDT의 제작 자체가 어렵고,

또한 장착하기 위한 피스톤로드의 건드릴 작업도 매우 어렵다. 또한 긴 스트로크를 측정하는 경우 선형성 오차의 누적에 의한 측정정밀도가 떨어져 정밀한 제어를 요구하는 시스템의 측정센서로 사용하기에는 부적합하다. 이러한 LVDT 방식 센서의 특성은 표 3.1과 같다.

표 3.1 LVDT 센서의 특성

Table 3.1 The characteristics of LVDT sensor

characteristics	specifications
1. High sensitivity	Strong against noise
2. Simple structure	High reliability in anti-vibration and anti-shock
3. Noncontact core part	High reliability in anti-wear
4. Wide operating temperature	-25°C~+90°C range
5. Analog output	High resolution measurement
6. Absolute type sensor	unnecessary to remember measurement data in case of power-off
7. high speed responsibility	1~2kHz measurement speed
8. Influence by transmission cable	variable characteristic by transmission cable on LVDT
9. Accuracy limit	±0.5~±1% accuracy

3.2 4분할 내삽 증분형 스트로크 센서

4분할 내삽 증분형 스트로크 센서는 피스톤로드의 변화에 따른 스트로크를 측정함에 있어서 로드표면에 반복적으로 스케일 처리된 스케일 1주기를 4분할하여 분해능을 1주기에 대하여 1/4로 갖는 것을 특징으로 하며 매우 긴 스트로크 측정에 주로 사용되어진다. 피스톤로드는 강자성체

이고 마그네틱 센서 표면에는 로드가 움직임에 따라 스케일의 깊이에 따른 자기장의 포화상태가 달라진다. 센서에 여기 되는 자기장의 포화상태에 따라 센서는 출력전압을 발생하게 되고 이를 파형정형 함으로써 구형파를 얻게 되며 구형파의 상승에지(Up-going edge)와 하강에지(Down-going edge)를 카운트함으로써 증분형의 4분할 내삽 스트로크를 측정할 수 있게 된다.

3.2.1 4분할 내삽 증분형의 측정원리

그림 3.2에서 보이는 바와 같이 4분할 내삽 증분형 센서의 스트로크 측정 원리는 다음과 같다.

- 1) 직선 운동과 방향을 나타내기 위해 두 개의 센서를 사용한다.
- 2) 센서는 피스톤 로드의 중앙선에 대해 일렬로 배열되며 로드의 반경방향으로 수직으로 위치한다.
- 3) 두 개의 센서는 양방향 검출을 위하여 90°의 위상 차이를 가지도록 떨어져서 위치한다.
- 4) 센서 출력은 하나의 블록 기능을 한다.
- 5) 모든 스트로크 발생에 대한 변화는 펄스(pulse) 파로 나타난다.
- 6) 1주기(360°)동안 4펄스가 발생되며, 이를 카운트하는 장치를 부착한다.
- 7) 스트로크 1주기에 해당하는 간격의 하나의 예는 4mm이다. 그러므로 1 펄스는 1mm와 일치한다.
- 8) 피스톤 로드의 스트로크 방향이 바뀌면, 센서 1은 센서 2의 펄스파 발생도 순서가 바뀌게 되며 여전히 90° 위상 차이를 가지고 나타난다.

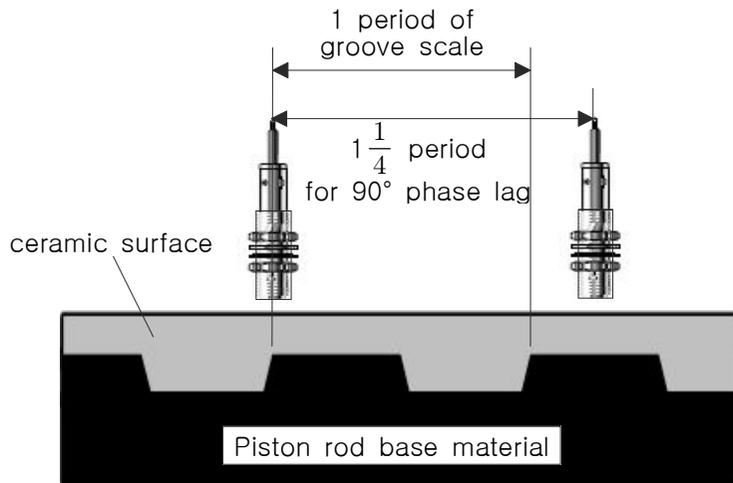


그림 3.2 4분할 증분형 스트로크 측정 원리

Figure 3.2 The principle of 4 partitioning for one stroke period

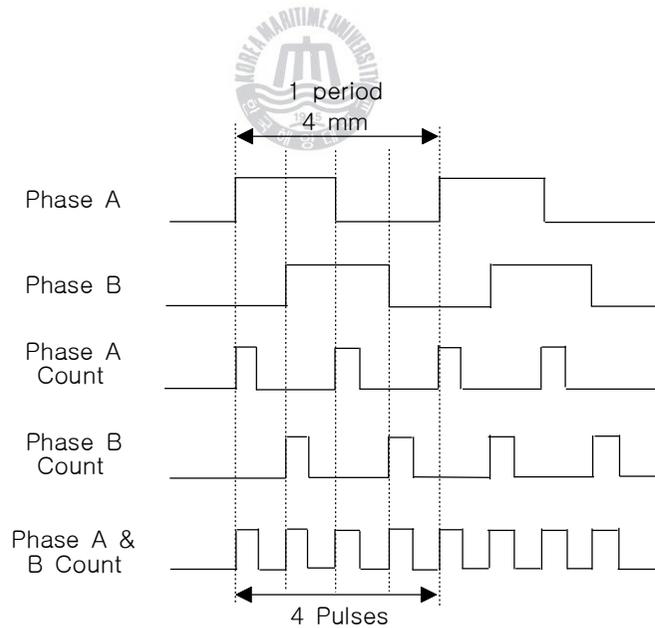


그림 3.3 4분할 펄스신호 카운트 방법

Figure 3.3 Pulse signal counting method for 4 partitioning

그림 3.3은 스트로크의 발생 1주기 4mm 동안 두 센서에서 출력되는 펄스 신호 A상과 B상의 한 주기 동안 각각 상승에지와 하강에지를 카운트함으로써, 총 4번의 카운트를 수행하는 4분할 내삽방법을 설명한 그림이다. 이렇게 함으로써 스트로크의 1주기 4mm에 대하여 1mm 간격으로 스트로크를 검출하는 분해능을 가질 수 있다.

3.2.2 4분할 내삽 증분형의 특성

해수용 유압시스템에서 사용되는 4분할 내삽 증분형은 기본적으로 피스톤로드를 그림 3.2와 같이 스케일처리 함으로써 유압실린더에 내장하는 스트로크 센서의 형태를 가진다. 4분할 내삽방식은 4,000mm이상의 긴 스트로크 측정용으로 사용이 가능하며 로드표면의 스케일만 정확히 가공되어 있다면 측정오차의 누적이 없다는 장점을 가진다. 또한 디지털 증분방식을 사용하므로 측정 분해능 내에서는 정확한 스트로크의 검출이 가능하다. 하지만 분해능을 높여서 센서의 측정 정밀도를 높이기 위해서는 피스톤로드 스케일의 1주기 간격을 좁게 하여야 하지만, 로드의 스케일을 기계적으로 가공하기가 어려우므로 높은 분해능과 측정 정밀도를 요구하는 유압실린더에는 4분할 내삽방법을 적용하기가 어렵다.

3.3 새로운 스트로크 측정시스템 개발의 개요

3.3.1 새로운 스트로크 측정시스템 개발의 필요성

3.1절과 3.2절에서 살펴 본 바와 같이, LVDT방식의 스트로크 측정시스

템은 3000mm 이상의 긴 스트로크 측정용으로는 제작이 어렵고 선형성 오차의 누적으로 측정정밀도가 떨어져 정밀한 제어를 요구하는 시스템에 부적합하며, 4분할 내삽방식의 스트로크 측정시스템은 분해능을 높이기 위한 피스톤 로드와 기계적 가공이 어려우므로 높은 분해능을 요구하는 시스템에 부적합하다. 표 3.2에 정리된 기존의 LVDT 방식과 4분할 내삽방식이 가지는 문제점들을 보완하는 새로운 스트로크 측정시스템은 먼저 4000mm 이상의 긴 스트로크 측정에도 적용이 가능하여야 하며 오차의 누적이 없고 디지털 분해능을 높일 수 있는 시스템이어야 한다. 또한 유압 실린더 내장형으로 일반 유압과 해수용 특수 유압분야 모두에 적용이 가능한 시스템의 개발이 필요하다.

3.3.2 내장형 스트로크 측정시스템의 개요

본 논문에서는 해수용 유압 실린더 스트로크 측정을 위해 아날로그 선형센서를 기본센서로 사용하여 피스톤로드 스케일 1주기 10mm를 대응하는 사인파 1주기로 스케일 처리하는 방법으로 센서 미디어의 기능을 부여하여 유압실린더에 내장시키도록 하며, 또한 Resolver 방식의 신호처리 방법을 도입함으로써 1주기 10mm를 1024등분하는 방식으로 스트로크의 측정분해능을 높이고자 한다. 이 방식은 기존의 스트로크 측정 센서가 갖는 단점들을 보완하면서도 센서의 측정 정밀도를 높임과 동시에 피스톤로드 가공의 용이함도 동시에 달성할 수 있는 새로운 형태의 디지털 증분형 센서방식이다.

제 4 장 아날로그 선형센서를 이용한 스트로크 측정센서

유압실린더 스트로크 검출을 위한 전체시스템은 그림 4.1과 같이 유압실린더의 구동을 위한 유압장치, 스케일 처리된 피스톤로드, 마그네틱 센서가 장착된 센서장착구조로 구성된다. 센서 내부적으로는 센서의 출력과 형을 증폭 및 필터링하는 신호처리부와 위치검출 스트로크 값을 카운트하고 이를 디지털 값으로 디스플레이하는 카운터 유닛 등으로 구성되어 있다. 유압장치는 스트로크를 표출하는 피스톤로드를 장착한 복동 편 로드 유압실린더와 유압펌프로 구성된다. 그림 4.1에서 유압장치는 유압작동유닛과 유압실린더로 구성된다. 유압작동유닛은 유압펌프와 유량제어밸브로 이루어져 있으며 유압펌프에서 토출된 작동유가 유량제어밸브에 의해 제어되어 유압실린더에 인가되고 피스톤을 움직임으로써 그 결과가 피스톤로드의 스트로크로 표출되면 그것을 스트로크 센서를 이용하여 측정하게 된다. 센서 내부에는 스트로크 측정을 위한 마그네틱 소자가 있어 자성체인 피스톤로드와의 거리를 전압의 형태로 출력한다.

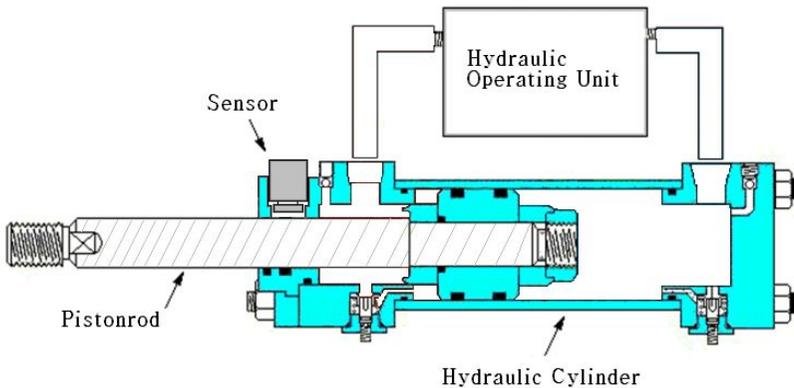


그림 4.1 유압실린더 내장형 스트로크 측정시스템 전체 구성도

Figure 4.1 Overall configuration of embedded stroke measuring system

4.1 스트로크 측정센서의 외관 및 명칭

그림 4.2는 본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 만든 스트로크 측정 센서의 프로토타입 외형이다. 각 부분에 대한 명칭과 설명은 다음과 같다. 먼저 센서 슬라이더의 표면은 피스톤로드의 원주와 동일한 곡률을 가진 곡선형태로 피스톤로드의 표면에 공간 간격 없이 밀착되도록 설계되었으며 센서의 무게와 압축 스프링력에 의해 정확하게 피스톤로드에 밀착된다. 센서 지그는 두 개의 아날로그 선형 센서가 90°의 위상차이를 가지도록 고정시키면서 센서슬라이더와 일체되는 부분이며, 압축 스프링은 피스톤로드가 동작하고 있는 도중에 로드와 직진도 변화나 굽힘에 의한 이격 거리가 발생하더라도 아날로그 선형 센서가 로드표면과 항상 일정한 간격을 유지하도록 하는데 필요한 밀착력을 제공하기 위하여 사용된다. 플러그 체결나사는 센서에 전원을 공급하거나 센서의 출력신호를 워터의 사용처로 제공하기 위하여 필요한 배선을 위한 통로이면서 외부로부터의 방수를 위한 파이프 나사를 고정하기 위한 부분이다. 센서내부로 작동유가 유입되는 것을 막기 위해 O링을 사용하며, 센서하우징 몸체는 해수에 의한 부식을 방지하기 위하여 스테인레스 스틸로 제작되며 아날로그 선형센서 및 스트로크 1주기 1024 분할을 위해 내장된 신호처리보드를 보호하는 역할을 한다. 센서하우징 캡은 스트로크 센서를 실린더에 장착하거나 제거하기에 편리하도록 해 주는 기능을 하며 캡 내부에 신호처리보드가 실장된다. 피스톤로드의 스케일을 검출하는 센서로는 아날로그 선형 센서 두 개를 사용하며 센서지그에 설치되는 두 센서의 거리는 피스톤로드 스케일의 1.25주기이며 본 논문에서는 1주기를 10mm로 가공하였으므로 12.5mm이다.



그림 4.2 스트로크 측정센서의 외관 및 부품명칭
 Figure 4.2 Configuration of stroke measurement sensor
 and its part name

4.2 아날로그 선형센서의 자성체 검출원리

본 논문에서 제안한 새로운 해수용 유압실린더 스트로크 측정 시스템은 아날로그 선형센서 2개를 사용하여 피스톤로드 내부에 사인파 형태로 스케일 처리되어 있는 자성을 가진 로드 모재와 아날로그 선형센서 사이의 절대거리에 비례하는 전압으로 스케일을 검출한다. 아날로그 선형센서는 일반적으로 홀 소자를 사용하여 자기장의 포화상태를 전압형태로 변환하는 기능을 지니고 있으며, 자기장을 매체로 하여 피검출 대상과의 거리변화로 인한 자기 포화상태의 변화를 전압의 변화로 변환한다. 따라서 자기장을 매체로 함으로써 거리의 변화를 비접촉식으로 검출하는 것이 가능하며 신뢰성이 높다는 것이 마그네틱 센서의 특징이다.

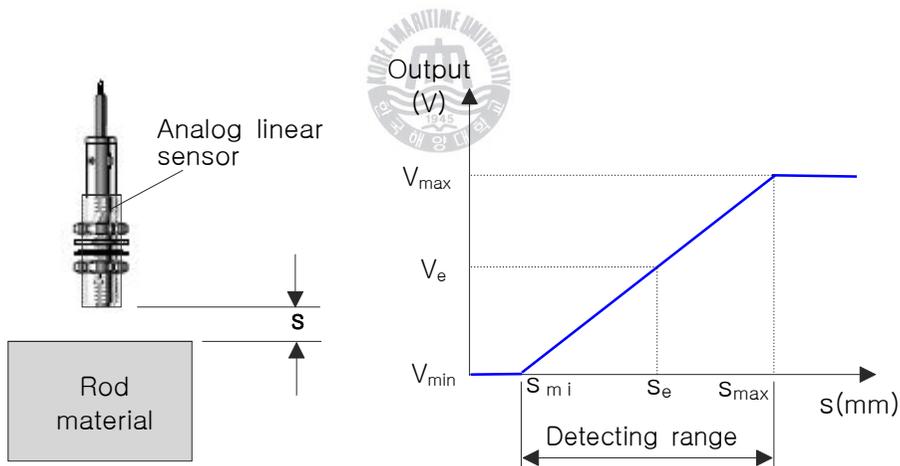


그림 4.3 아날로그 선형센서의 자성체 검출 원리

Figure 4.3 A principle of detecting magnetic material using analog linear sensor

그림 4.3과 같이 아날로그 선형센서의 검출방식은 비접촉식 절대 거리검

출 형식으로 검출가능영역 내에서는 검출거리가 증가함에 따라 출력전압도 선형적으로 증가하는 특징을 지니고 있다. 실제의 경우 아날로그 선형 센서가 검출할 수 없는 거리영역 즉 오프셋(Off-set)은 0.5mm만큼 존재하며, 이 구간동안 출력전압은 발생하지 않는다.

4.3 피스톤 로드 스케일 처리

본 논문에서 논의하는 피스톤 로드의 표면은 그림 4.4와 같이 진폭이 0.15mm, 한 주기가 10mm를 갖는 사인파와 홈 형태로 가공된다. 피스톤로드 1주기에 대한 1024 분할 방법을 사용하고 내장형 센서의 미디어 기능을 수행하기 위해서는 아날로그 선형센서와 로드표면의 절대위치를 사인파와 전압의 형태로 출력하여야 하며 이와 같은 가공처리를 해야만 한다. 그림 4.5는 사인파 형상의 바이트를 이용하여 가공하는 방법의 한 예이다.

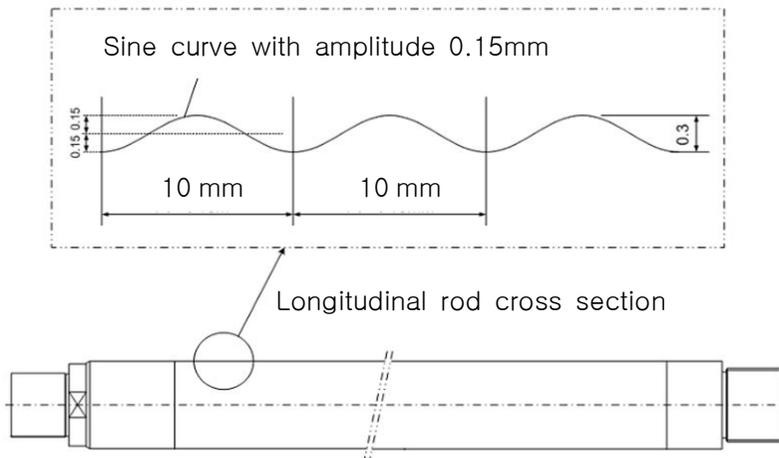
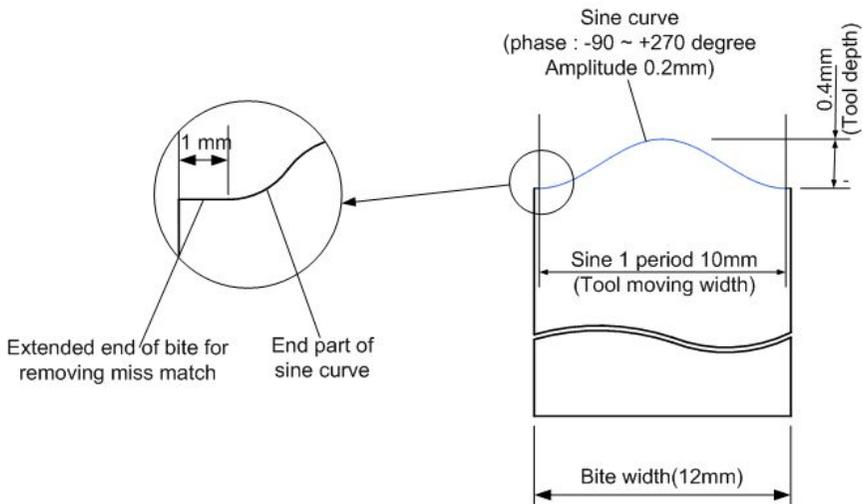
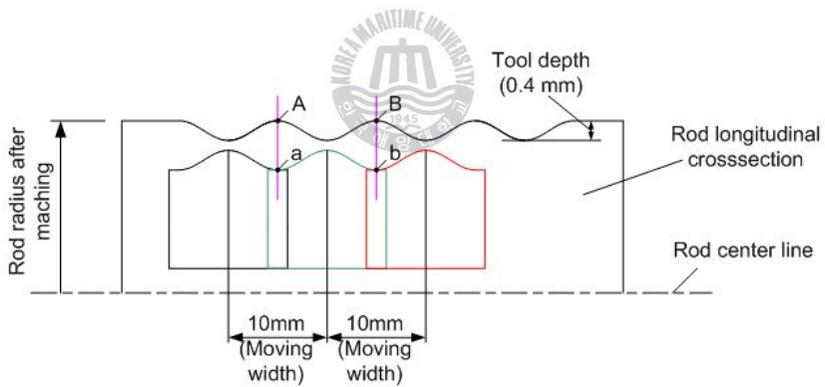


그림 4.4 로드표면의 스케일 처리

Figure 4.4 Scale treatment of piston rod surface



(a) An example of bite shape



(b) A machining method of a series of sine grooves on piston rod

그림 4.5 피스톤로드의 사인파 형상 홈 가공방법의 예

Figure 4.5 A machining method of sine wave groove on piston rod

4.4 아날로그 선형센서의 피스톤 로드 스케일 검출원리

그림 4.6과 같이 센서로부터 출력되는 신호를 사인파 전압으로 얻기 위해서 피스톤 로드 역시 그림 4.4와 같이 사인파 홈을 가지도록 가공되었다. 우측의 파형 그림으로부터 출력전압이 사인파의 형태를 지니는 것을 알 수 있다.

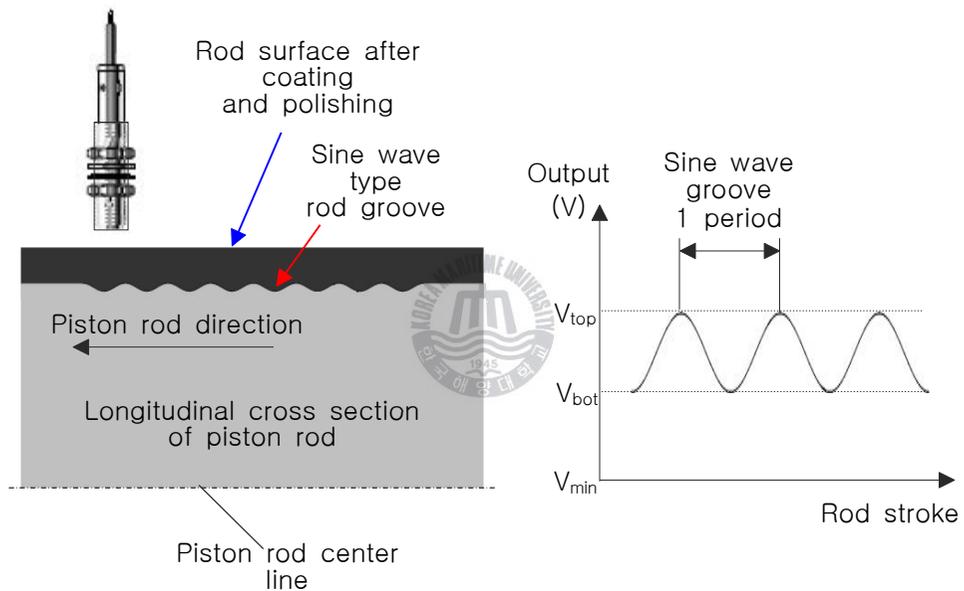


그림 4.6 아날로그 선형센서에 의한 피스톤 로드 홈 검출 원리

Figure 4.6 Principle of piston rod groove detection using an analog linear sensor

자성체인 로드 소재의 사인파 홈과 센서 사이의 거리에 비례하는 출력 특성으로 인하여, 홈 자체가 사인파로 가공되어 있기 때문에 사인파 출력전압이 아날로그 선형센서에서 발생한다. 이 때 출력전압 사인파 1주기는

로드 사인과 홈의 1주기에 해당한다. 이 출력을 센서신호처리보드에 입력시키면 사인과 홈 1주기 사이의 분해능을 높이기 위하여 센서신호처리보드에서는 다양한 기능을 수행한다.

4.5 신호처리보드 외관 및 입출력

그림 4.7은 센서하우징 캡 내부에 실장된 센서 신호처리보드의 상부를 나타낸 것이고 각 부분의 명칭과 센서의 입출력 및 신호처리 보드의 입출력을 설명한 것을 표 4.1에 나타내었다.



그림 4.7 센서 신호처리 보드의 외관

그림 4.7 An appearance of a sensor signal processing Board

표 4.1 센서 신호처리 보드의 각 부분 명칭, 기능 및 입출력
 Table 4.1 Part names, functions, and I/O signals of a sensor
 signal processing board

No.	Part names		Functions and I/O signals
①	I/O connector of sensor A	A	Output signal port of sensor A
		V	Input voltage to sensor A +24V
		G	Input voltage to sensor A GND
②	I/O connector of sensor B	B	Output signal port of sensor B
		V	Input voltage to sensor B +24V
		G	Input voltage to sensor B GND
③	I/O connector of sensor board	A	422A signal port for counter A input
		/A	422A signal port for counter /A input
		B	422A signal port for counter B input
		/B	422A signal port for counter /B input
		V	Input voltage to system 15~32VDC
		G	Input voltage to system GND
④	DC/DC converter		DC/DC converter for $\pm 15V$
⑤	DC/DC converter		DC/DC converter for $\pm 5V$
⑥	Sensitivity adjuster of sensor A		Adjusting sensitivity of sensor A
⑦	Sensitivity adjuster of sensor A		Adjusting sensitivity of sensor B

4.6 스트로크 값을 얻기 위한 신호처리

그림 4.8은 센서에서 출력되는 피스톤로드 홈의 감도 출력을 입력으로 받아 피스톤로드 홈 1주기를 1024 등분하여 높은 분해능의 구형파를 발생시켜 RS422A 시리얼 통신을 이용함으로써 상위의 카운터 유닛에 입력시

켜 주는 신호처리보드의 기능을 나타낸 선도이다.

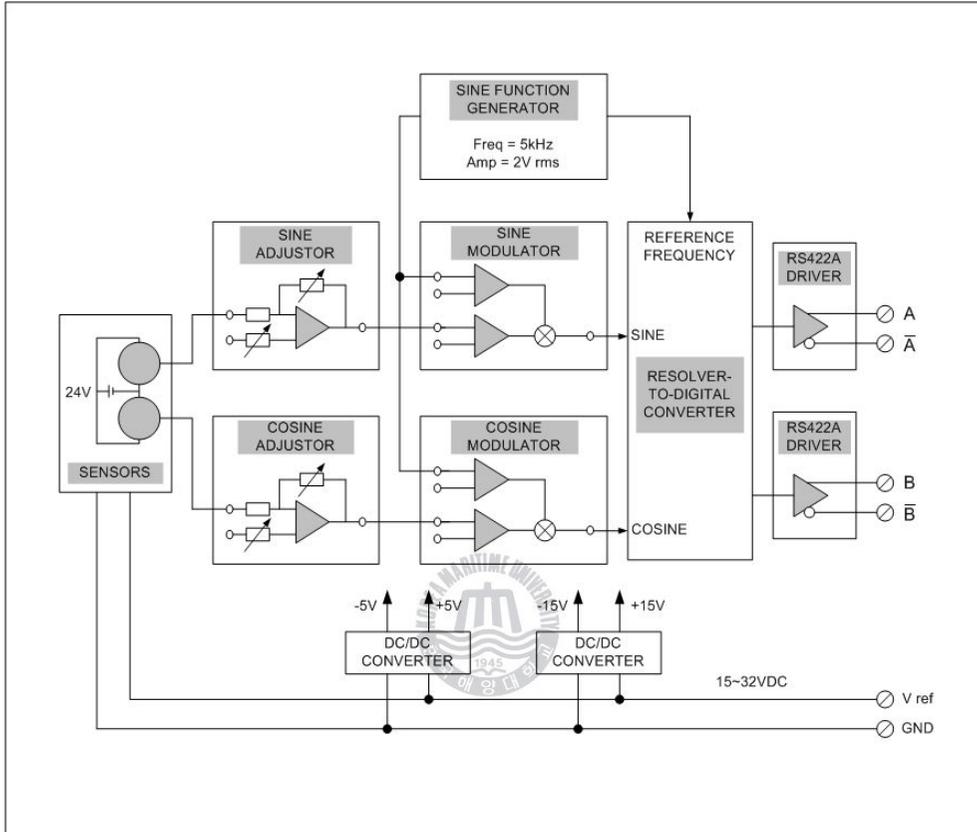


그림 4.8 센서 신호처리 보드의 기능선도

Figure 4.8 A Function diagram of a sensor signal processing board

그림 4.8에서 아날로그 선형센서로부터의 감도출력은 사인파 및 코사인파와 유사한 형태를 가진 신호가 서로 90°의 위상차를 가지고 출력된다. 이 때 출력은 모두 플러스 전압을 갖고 있다. 두 개의 각 신호는 차동 OP-Amp를 이용한 제로 오프셋을 주어 사인파와 코사인파로 제로 크로싱 (Zero crossing)되고 후단에서 요구되는 신호의 크기로 약 3.3배 증폭된다.

그렇게 처리된 신호는 5 kHz의 고주파와 진폭변조 회로를 통해 진폭변조 (Amplitude modulation)되어 리졸버 칩(Resolver-to-digital chip)을 거침으로써 90°의 위상차를 가진 두 개의 구형펄스 형태로 출력된다. 두 펄스는 피스톤로드 사인파 홈의 한 주기인 10mm동안 1024개로 분할되어 발생되며 이를 카운터 유닛을 이용하여 엇다운 카운트함으로써 피스톤로드의 스트로크 값이 LCD상에 디스플레이 된다. 이와 같이 센서 신호처리보드를 구성하는 주요 요소들과 그것들에 의한 신호처리과정을 상세히 설명하면 다음과 같다.

4.6.1 SINE/COSINE 조정기

SINE과 COSINE 조정기(Adjuster)는 제로 크로싱을 시키는 밸런스 (Balance)회로와 진폭을 증폭시키는 증폭(Gain) 회로로 구성된다. 아날로그 선형센서로부터 피스톤로드의 홈에 대응하는 스트로크의 감도출력 (Sensitivity output)을 넘겨받아 제로 크로싱 시킴으로써 90° 위상차를 갖는 사인파와 코사인파를 형성한다. 사인파 즉 A상의 위상이 먼저 발생하면 피스톤로드의 스트로크가 정방향으로 발생하고 있음을 나타내고 코사인파 즉 B상의 위상이 먼저 발생하면 역방향으로 발생하고 있음을 나타냄으로써 양방향 측정이 가능하다. 그림 4.9에서 알 수 있듯이, 먼저 진폭 2.5V 정도의 플러스 극성을 가진 감도신호가 센서를 통해 출력된다. 이 신호는 먼저 밸런스 회로에서 제로 크로싱 되고 게인 회로에서 증폭되는데 일련의 신호처리 과정을 그림 4.9에 나타내었다. 피스톤로드의 홈을 기계 가공할 때 가공오차가 필연적으로 수반되므로 그 오차의 영향을 최대한 줄이기 위해서 되도록 큰 게인으로 증폭하는 것이 좋지만 Op-Amp 회로에서의 포화범위를 벗어나지 않도록 신호는 약 3.2배 증폭된다.

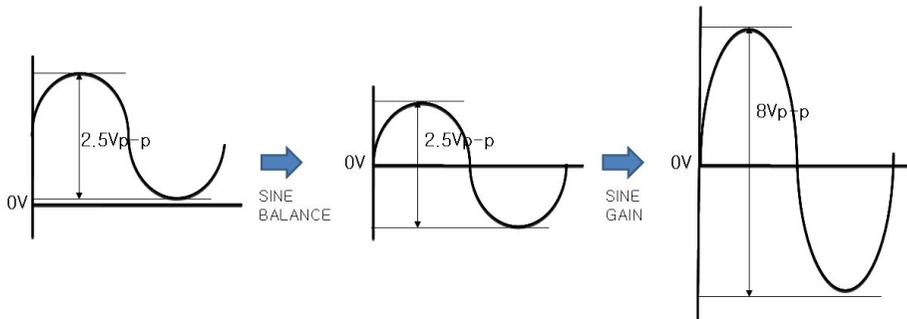


그림 4.9 SINE 조정기 회로에서의 신호처리과정

Figure 4.9 A signal processing process in SINE ADJUSTER circuit

4.6.2 SINE/COSINE 진폭 변조기

아날로그 선형센서 A와 센서 B에서 발생하는 감도출력을 제로 크로싱하고 증폭시킨 사인파/코사인파 신호를, 상대적으로 높은 변조용 사인 고주파를 이용하여 변조시키는 기능을 한다.

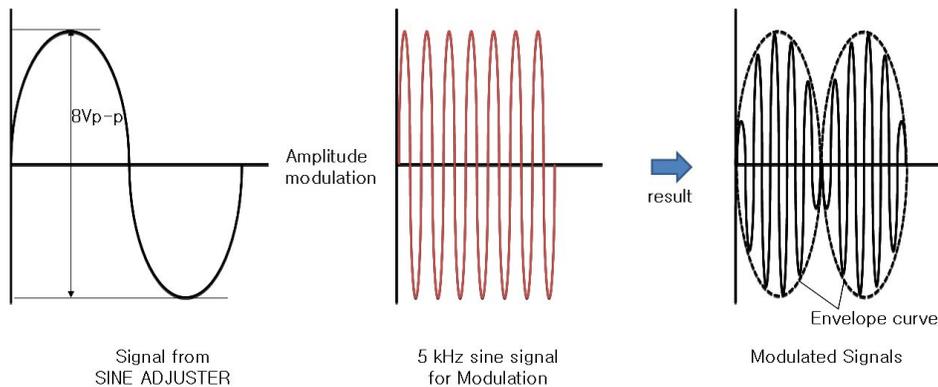


그림 4.10 사인파에 대한 진폭 변조기의 신호처리 과정

Figure 4.10 A Signal processing process of amplitude modulation circuit for sine wave

이 때 출력되는 신호는, 위상은 변조고주파의 위상을 가지면서 진폭은 감도출력의 크기를 가지면서 위상이 180° 바뀌는 곡선과 함께 형성되는 포락선의 진폭을 갖는다. 본 논문에서 사용한 고주파는 사인파 발생기를 이용하여 만든 5 kHz 사인파를 사용하였다. 그림 4.10은 신호의 진폭변조 과정을 나타낸다.

4.6.3 Resolver-to Digital 변환기

변조고주파 위상과 포락선의 진폭을 가진 파형을 리졸버 회로에 입력하면, 변조고주파 발생기의 기준주파수에 따라 리졸버는 아날로그 선형센서 출력의 1주기를 1024 펄스의 디지털 구형파로 변환하여 출력한다. 이 디지털 출력은 피스톤로드의 스트로크를 계산하기 위한 카운터 유닛의 입력 단자에 RS422A 시리얼 통신을 통해 인가된다.

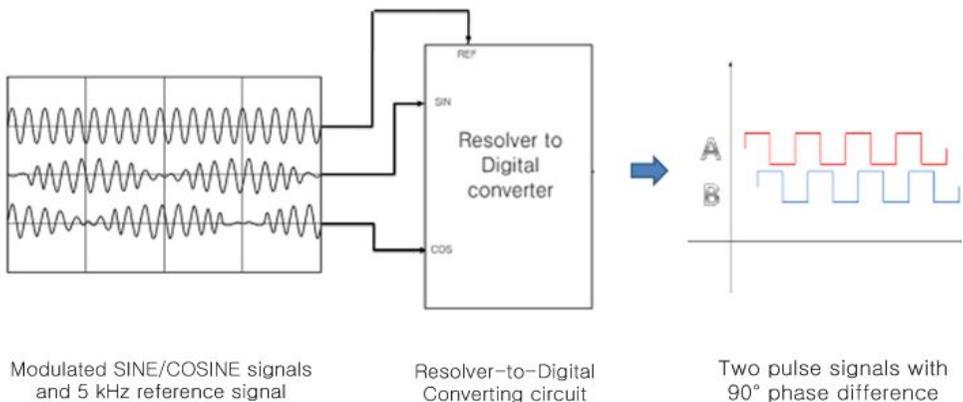


그림 4.11 Resolver-to-Digital 변환회로의 기능

Figure 4.11 Function of resolver-to-digital converting circuit

그림 4.11은 진폭 변조된 사인파와 코사인파 두 신호 및 5 kHz의 기준신호를 이용하여 리졸버 입력신호의 1주기를 1024 등분으로 분해하는 과정을 나타낸 그림이다.

4.6.4 RS422A 시리얼 통신 드라이버

센서 신호처리 회로에서 결과적으로 구한 구형 펄스를 카운트 유닛 등 상위의 사용처까지 원거리 통신하기 위해서는 중간에 전송매체가 필요하게 된다. 산업현장에서는 여러 가지 통신방식이 사용되고 있는데 본 논문에서는 가장 많이 사용되고 있는 통신방식 중의 하나인 RS422A 드라이버를 이용하여 신호를 PLC 모듈 중 하나인 카운트 유닛까지 전송한다. 표 4.2는 산업현장에서 쓰이는 여러 가지 통신방식의 특징을 나타내고 있다.

표 4.2 여러 가지 시리얼 통신 방식의 특징

Table 4.2 Characteristics of several serial communication methods

Specification	RS232C	RS423	RS422	RS485
Operating Mode	Single-Ended	Single-Ended	Differential	Differential
Driver/receiver No.	1 Driver 1 Receiver	1 Driver 1 Receiver	1 Driver 32 Receiver/256	32 Driver 32 Receiver/256
Transmission distance	15m	1.2 km	1.2 km	1.2 km
Transmission rate	20 Kbps	100 Kbps	10 Mbps	10 Mbps
Transmission type	Full Duplex	Full Duplex	Full Duplex	Full Duplex
Max. output	± 25V	± 6V	-0.25V to +6V	-7V to +12V
Max. input	± 15V	± 12V	-7V to +7V	-7V to +12V

RS422A 시리얼 통신 드라이버는 리졸버에서 생성된 디지털 펄스를 PLC의 카운터 모듈까지 전송하는 역할을 하며, 실드된 트위스트 페어 케이블을 이용하여 센서A와 센서B에 해당하는 펄스를 500m 이상 원거리까지 전송한다.

4.6.5 기타 회로요소

센서 신호처리 보드에는 이상에서 설명한 주요요소 회로 외에도 요소간에 흐르는 신호의 잡음을 제거하기 위한 필터회로 등 부가적인 회로가 실장 된다. 한편, 피스톤로드 사인파 홈의 가공깊이 오차나 세라믹 코팅두께의 편차로 인한 제로 오프셋의 흔들림 때문에, 사인파 양극에서의 진폭 크기가 계속 변하게 됨으로써 스트로크의 카운트 값 오차를 유발하게 된다. 이를 보완하기 위하여 제로 크로싱 된 아날로그 선형센서 신호의 상하 진폭을 항상 일정한 크기로 조정하도록 아주 중요한 기능을 하는 자동게인 조정회로 즉 AGC(Automatic Gain Control)회로도 실제의 응용에서는 실장 된다.

제 5 장 실제시스템을 대상으로 한 실험

5.1 실험환경의 구축

제안한 아날로그 선형 센서를 사용한 스트로크 측정 시스템을 실제 유압실린더에 장착하여 실험을 실시하기 위한 환경을 구축하여야 한다. 이를 위하여 먼저 리졸버 회로에서 출력되는 구형 펄스를 받아 스트로크 값을 디지털 수치로 확인할 수 있는 카운터 유닛을 제작하여야 한다. 또한 스트로크 측정 시스템을 실험대상 유압실린더에 내장시켜 피스톤로드의 상태에 따라 센서 신호처리보드의 기능을 최적으로 조정하기 위하여 각종 신호를 측정할 수 있는 실험환경을 구축해야 한다.

본 논문에서는 스트로크를 디지털 데이터로 측정하기 위한 카운터 유닛을 설계 제작하여 사용하였으며, 오실로스코프 기반의 신호 측정 환경을 구축하여 실험을 수행하였다.

5.1.1 스트로크 측정을 위한 카운터 유닛

본 논문에서 발생한 유압실린더 피스톤로드의 스트로크를 측정하기 위하여 제작한 카운터 유닛의 기능선도는 그림 5.1이고 실제 제작되어 사용된 카운트 유닛의 실물은 그림 5.2와 같다..

32비트 업다운 카운터는 측정된 센서데이터를 양방향으로 읽어 들이는 역할을 하고 있다. 스트로크 데이터 처리용 마이크로프로세서는 32비트 업다운 카운터에서 데이터를 획득한 후 카운트 값 자체 및 길이 단위로 환산한 스트로크 데이터를 LCD에 디스플레이 되도록 처리하는 역할을 한다. LCD는 첫줄에서 현재 실린더 로드 길이를 mm단위로 표시하고,

두 번째 줄에서는 카운트 값 자체를 디스플레이 해 준다.

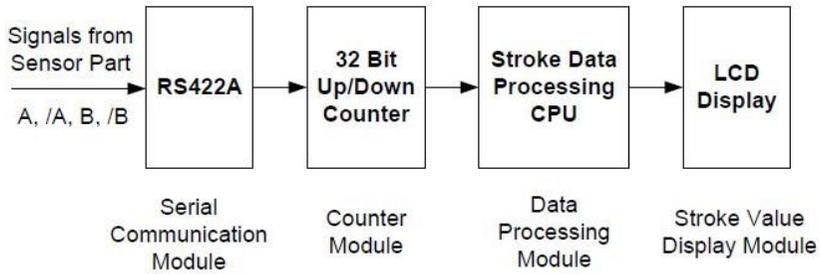


그림 5.1 스트로크 카운트를 위한 카운트 유닛의 기능선도

Figure 5.1 A function diagram of counter unit for counting stroke value

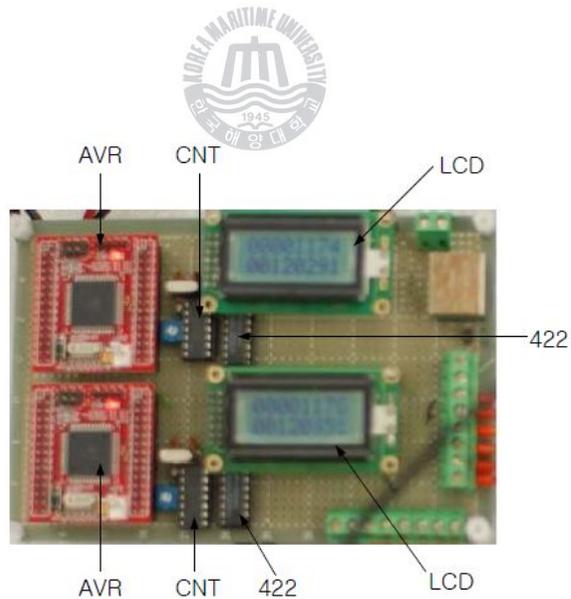


그림 5.2 실제 제작된 카운트 유닛의 외관

Figure 5.2 An Appearance of counter unit practically implemented

5.1.2 신호파형 확인을 위한 실험환경 구축

전체 실험환경은 그림 5.3과 같이 구축된다. 일반적으로, 긴 스트로크를 가진 피스톤로드를 가공할 경우에는 기계가공오차로 인한 측정오차가 필연적으로 수반 때문에 하나의 유압실린더에는 세 개의 스트로크 측정 센서가 부착되고, 센서 사이의 스트로크 값을 서로 비교하여 가장 근접한 두 개의 스트로크 데이터를 평균함으로써 그 시간에서의 스트로크 데이터로 사용하는 방식을 취한다. 따라서 세 개의 스트로크 센서의 신호처리보드 상태를 세팅하기 위하여 3대의 오실로스코프를 사용하여야 하고, 따라서 3개의 카운트 유닛이 스트로크 측정센서의 스트로크 값을 측정한다.

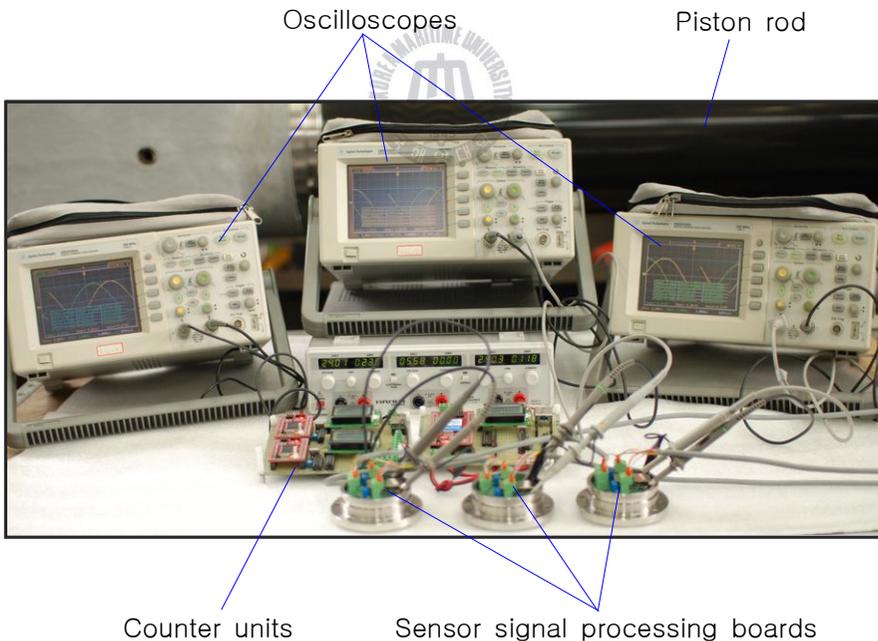


그림 5.3 실험을 위하여 실제 구축된 환경

Figure 5.3 An experimental circumstance practically set up

5.2 스트로크 측정실험

본 논문에서 제안하는 유압실린더 피스톤로드 스트로크 측정 시스템의 성능을 테스트하기 위해서 사용된 실험대상 시스템은 스트로크 8,400mm를 가진 해수용 유압실린더 시스템이다. 그림 5.4는 세라믹코팅 피스톤로드가 장착되어 있는 해수용 유압실린더 시스템을 보여 주고 있다. 피스톤로드의 홈은 진폭 0.15mm, 10mm 주기의 사인파로 가공되어 있다. 또한 피스톤로드 스트로크를 측정하기 위하여 스트로크 센서 3개가 120° 간격으로 설치되어 있다.

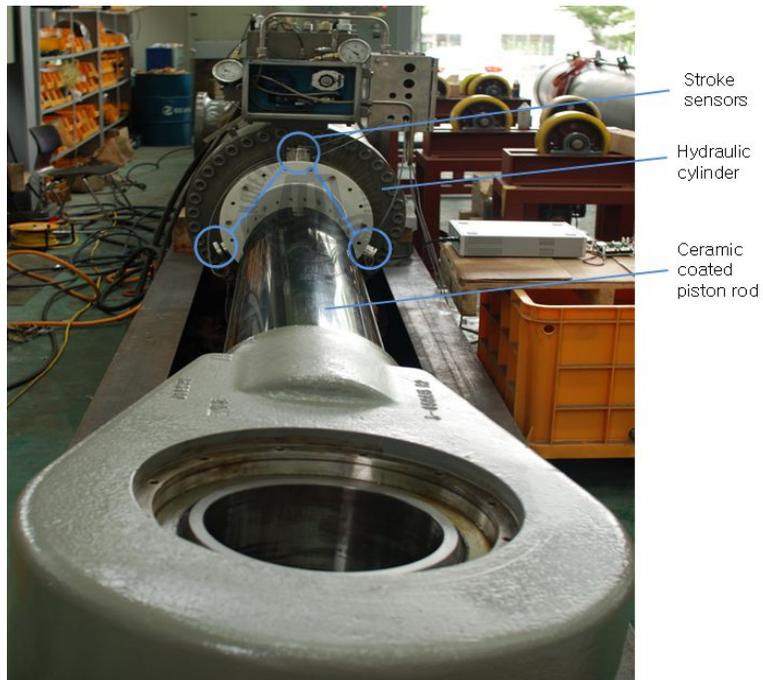


그림 5.4 피스톤로드 스트로크 측정시스템이 내장된 세라믹코팅 유압실린더
Figure 5.4 A ceramic coated hydraulic cylinder embedded piston rod stroke measuring system

5.2.1 스트로크 측정 실험

그림 5.4에 보인 유압실린더 시스템을 3mm/sec 스트로크 속도 즉 약 0.33Hz 사인과 생성 주파수로 동작시키면서 실험을 수행하였다. 실제 제작된 스트로크 측정시스템은 최대 100mm/sec 10Hz 주파수로 동작할 수 있지만 대상 유압실린더 시스템의 설계속도에 맞춰 실험을 수행하였다. 실험은 유압실린더를 구동하면서 오실로스코프에서 발생하는 신호를 관찰하여 스트로크 측정센서의 신호처리 회로를 먼저 보정한 다음, 정상적으로 스트로크를 발생시키면서 카운터 유닛의 디스플레이 데이터를 취득하는 방식으로 수행되었다.

(1) 신호의 측정

먼저 오실로스코프를 통해서 출력되는 신호 파형은 그림 5.5와 같이 나타난다. 그림 5.5에서 신호의 한 주기는 피스톤로드의 사인과 흡의 주기인 10mm를 뜻하며 출력되는 신호는 제로 크로싱 되고 증폭된 신호이다.

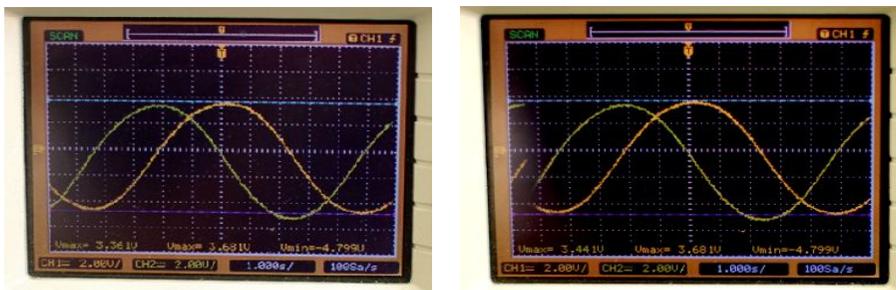


그림 5.5 오실로스코프를 사용한 스트로크 센서 신호의 측정

Figure 5.5 Measurement of stroke sensor signals using oscilloscope

또한 사인과 코사인 파형의 두 신호는 90°의 위상차를 가지면서 출력되고 있고 출력신호의 피크-피크 전압은 약 8.5V_{pp} 정도임을 알 수 있다.

(2) 카운터 유닛으로부터 스트로크 데이터의 측정

그림 5.6은 피스톤로드 스트로크가 1,000mm 발생했을 때 유압실린더의 동작을 멈추고 카운터 유닛의 LCD 디스플레이에 표시된 스트로크 값과 카운트 값을 보여주는 실제 실험 사진이다. 세 개의 스트로크 측정센서로부터 출력되는 구형 펄스를 카운트함으로써 얻은 데이터들이다. LCD의 상단 데이터는 스트로크를 mm 단위로 환산한 것이고, 하단의 데이터는 스트로크 10mm를 1024로 카운트한 값 자체를 나타낸 것이다. 이와 같은 방법으로 전체 스트로크에 대하여 실험을 수행함으로써 센서의 측정가능성과 유효성을 입증하기 위한 데이터를 수집하였다.



그림 5.6 카운터 유닛으로부터 스트로크 데이터 측정

Figure 5.6 Stroke data measurement method using counter unit

5.3 실험 데이터 수집 및 분석

본 논문에서 제안한 스트로크 측정 시스템이 유압실린더 내장형 스트로크 센서로서의 정밀성과 우수성을 검증하기 위하여 스트로크 측정을 실시하고 데이터를 수집하였다.

5.3.1 실험 1에 대한 데이터 수집 및 분석

표 5.1은 첫 번째 실험을 통해서 측정된 데이터이다. 유압실린더 피스톤로드가 전진, 또는 후진 동작할 때 스트로크가 1000mm 발생할 때마다 동작을 정지시키고 스트로크를 측정하였다. 스트로크의 전진동작과 후진동작을 비교하여 동일구간에서 동일한 스트로크 특성을 가지는지를 확인한다. LCD상에 나타나는 mm단위 스트로크 데이터는 카운트 측정 데이터를 값을 102.4로 나눔으로서 간단히 구한다.

표 5.1의 mm단위 측정데이터를 비교해보면 3000, 7000, 8000mm에서 세 개의 센서 측정값 사이에 1mm의 오차가 발생했음을 확인할 수 있다. 나머지 구간에서는 세 센서의 mm 단위 측정값이 동일하다. 표 5.2를 통해서 카운트 값을 비교해보면 3000mm 구간에서 센서 1과 센서 3의 측정값의 차이가 113으로 가장 크다는 것을 알 수 있다. 그런데 최대 스트로크 8400 근방에서는 카운트 값의 차이가 19 밖에 나지 않음을 관찰할 수 있다. 그 이유는 피스톤로드의 기계가공오차의 누적으로 임의의 스트로크에서는 센서 1과 센서 2가 설치된 위치의 차이로 인하여 사인파형의 제로 오프셋이 차이가 나게 되고 그 차이만큼 스트로크가 가감되었기 때문이다. 최종적으로는 8400mm의 스트로크에 대하여 840개의 사인파 홈의 주기가 지나가게 되어 있고 그 때의 스트로크 카운트 값은 큰 차이가 없게 다시 수렴되는 것이다.

표 5.1 실험 1에서 수집한 센서 데이터

Table 5.1 Sensor data acquired from an experiment 1

(a) When piston rod moves to forward direction

Forward (about)	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	mm	counter	mm	counter	mm	counter
1000	999	102361	999	102398	999	102360
2000	2005	205405	2005	205395	2005	205389
3000	3001	307325	3002	307438	3002	307445
4000	4003	409905	4003	409931	4003	409930
5000	5004	512418	5004	512460	5004	512426
6000	6003	614740	6003	614786	6003	614729
7000	7002	717102	7003	717141	7002	717090
8000	8002	819490	8003	819550	8002	819495
8400	8399	860134	8399	860140	8399	860115

(b) when piston rod moves to backward direction

Backward (about)	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	mm	counter	mm	counter	mm	counter
1000	1002	102641	1002	102613	1002	102630
2000	2004	205237	2004	205218	2004	205219
3000	3012	308495	3012	308477	3012	308501
4000	4004	410067	4004	410076	4004	410070
5000	5005	512594	5006	512618	5005	512588
6000	6011	615610	6011	615531	6011	615575
7000	7001	716952	7001	716907	7001	716941
8000	8002	819454	8002	819453	8002	819448
8400	8399	860147	8399	860152	8399	860137

표 5.2 실험 1에서 센서 사이의 카운트 측정값 오차 비교

Table 5.2 Comparison of count data error between sensors in experiment 1

Stroke (mm)	Sensor1-Sensor2	Sensor2-Sensor3	Sensor3-sensor1
1000	37	38	1
2000	10	6	16
3000	113	7	120
4000	26	1	25
5000	42	34	8
6000	46	57	11
7000	39	51	12
8000	60	55	5
8400	6	25	19

이것이 개발된 스트로크 측정시스템이 LVDT나 증분형 센서보다 우수하다는 것을 입증하는 것이다. 센서 3개 사이의 측정된 데이터를 그래프로 표현한 것을 그림 5.7에 나타내었다. 가로축은 mm의 길이단위이고, 세로축은 각 센서들 사이의 카운트 값 오차이다. 실제 현장에서 유압실린더 피스톤로드 동작 시 각 센서들 간의 카운트 오차 값의 허용범위는 보통 300이하이다. 카운트 오차 300의 의미는 피스톤 로드 8400mm 동작 시에 센서간의 측정값 차이가 3mm의 오차까지를 허용한다는 것을 뜻한다. 그림 5.7에서는 각 센서 사이의 오차가 허용치인 카운트 값 300을 넘지 않는 것을 알 수 있고 본 논문에서 제안한 스트로크 측정센서의 검출성능이 우수하다는 것을 입증한다.

최고 오차를 가지는 구간은 3000mm이며 카운트 값으로 120의 오차는 mm단위로 환산하면 1.17mm의 오차를 의미하는 것이다. 스트로크 3000mm구간에서는 센서 2와 센서 3과의 오차는 카운트 값으로 7이고, 센서1과 센서2와의 오차는 113이고, 센서 3과 센서 1과의 오차는 120의 차

이가 나게 된다.

이와 같은 경우에 있어서 동조 제어에서 사용하는 스트로크 값을 계산하는 방식은, 큰 차이가 나는 센서 1의 값은 버리고 센서2와 센서3의 값이 신뢰할 수 있다고 판단한 후 그 값들을 평균한 것을 당시의 스트로크 값으로 결정하는 방식이다. 표 5.2에서 음영색을 넣어 강조한 오차에 해당하는 센서들의 카운트 값들이 그 당시의 실제 스트로크 값을 계산하기 위하여 사용되는 값들임을 나타낸 것이다.

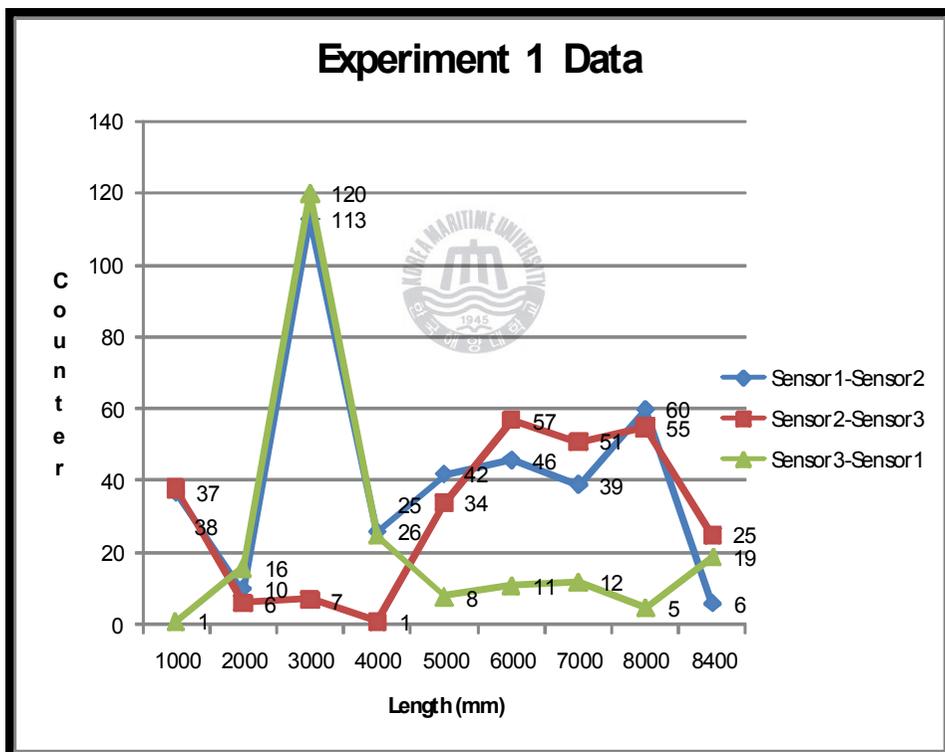


그림 5.7 실험 1에서 센서 사이의 카운트 측정값 오차 비교

Figure 5.7 Comparison of count data error between sensors in experiment 1

5.3.2 실험 2에 대한 데이터 수집 및 분석

같은 방법으로 다른 유압실린더 시스템을 사용하여 데이터 2를 수집한다. 실험 1과 같은 방법으로 각 센서간의 카운트 값의 차이를 계산하여 이를 표 5.3에 나타내었다. 이를 통해 카운트 값 오차는 전체 동작 중에 100을 넘지 않는 것을 볼 수가 있다. 이 오차 값을 mm단위로 환산하면 전체 8400mm의 동작 중에 1mm의 오차도 발생하지 않았다는 것을 의미하는 것이다. 카운트 값 오차를 그래프로 나타내면 그림 5.8과 같다.

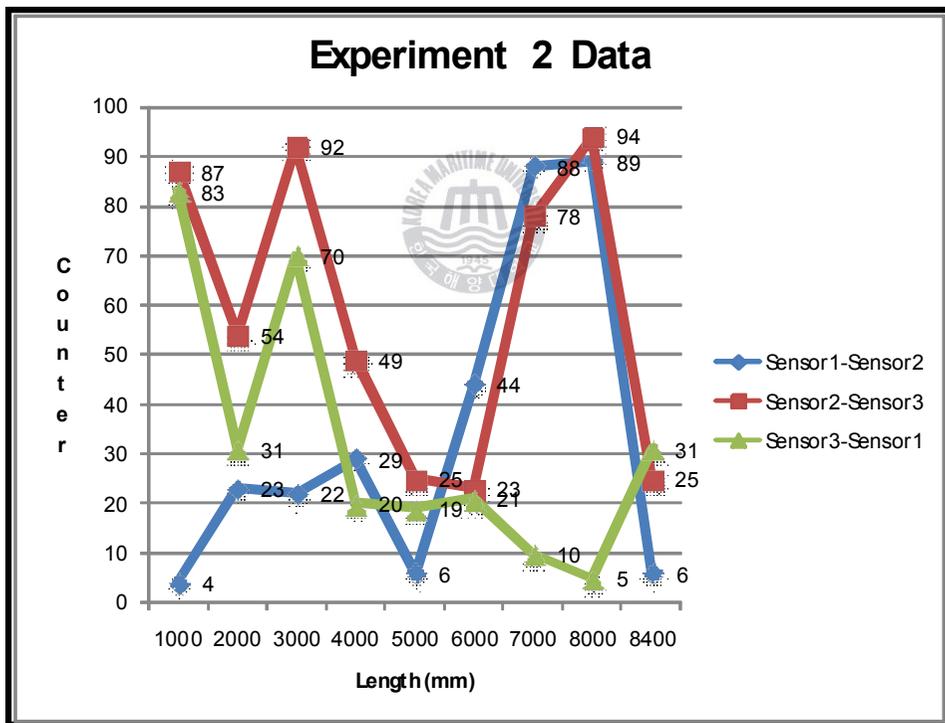


그림 5.8 실험 2에서 센서 사이의 카운트 측정값 오차 비교

Figure 5.8 Comparison of count data error between sensors in experiment 2

표 5.3 실험 2에서 수집한 센서 데이터

Table 5.3 Sensor data acquired from an experiment 2

(a) When piston rod moves to forward direction

Forward (about)	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	mm	counter	mm	counter	mm	counter
1000	1000	102436	1000	102440	999	102353
2000	2002	205028	2002	205051	2001	204997
3000	3000	307260	3000	307282	2999	307190
4000	4002	409835	4002	409864	4002	409815
5000	4999	511979	4999	511985	4999	511960
6000	6010	615434	6010	615478	6010	615455
7000	7000	716901	7001	716989	7001	716911
8000	8000	819250	8001	819339	8000	819245
8400	8399	860061	8398	860055	8398	860030

(b) When piston rod moves to backward direction

Backward (about)	sensor 1		sensor 2		sensor 3	
	mm	counter	mm	counter	mm	counter
1000	1000	102484	1001	102503	1000	102495
2000	2002	205087	2002	205049	2002	205097
3000	3002	307366	3001	307343	3002	307409
4000	4000	409664	4000	409664	4000	409672
5000	5001	512195	5000	512136	5002	512113
6000	6002	614656	6001	614554	6002	614615
7000	7001	716988	7001	716946	7002	717005
8000	8001	819386	8001	819402	8002	819443
8400	8399	860069	8399	860060	8398	860034

표 5.4 실험 2에서 센서 사이의 카운트 측정값 오차 비교

Table 5.4 Comparison of count data error between sensors in experiment 2

Counter (mm)	Sensor1-Sensor2	Sensor2-Sensor3	Sensor3-Sensor1
1000	4	87	83
2000	23	54	31
3000	22	92	70
4000	29	49	20
5000	6	25	19
6000	44	23	21
7000	88	78	10
8000	89	94	5
8400	6	25	31



제 6 장 결론 및 향후과제

본 논문에서는 해수용으로 사용되는 유압실린더의 피스톤로드를 세라믹 코팅 처리하여 방식기능을 부여함으로써 환경적 요인을 해결하면서도 아날로그 마그네틱 선형 센서를 기본센서로 사용하여 유압실린더 피스톤로드의 스트로크 측정 분해능을 향상시키는 새로운 형태의 스트로크 측정시스템을 제안하였다. 또한 제안된 기술을 하드웨어적으로 구현하여 아날로그 선형 센서를 사용한 유압실린더 내장형 스트로크 측정시스템의 프로토타입을 제작하였고 이를 8400mm의 스트로크를 가진 유압실린더에 적용하였다.

실제의 시스템을 대상으로 반복적인 실험을 수행함으로써 개발된 스트로크 측정시스템이 피스톤로드 스트로크를 설계된 분해능 내에서 안정적으로 검출하는지를 검증하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제안된 스트로크 측정시스템은 10mm 사인과 홈의 1주기를 1024 등분으로 분해함으로써, 기계적인 가공이 정확하게 이루어진다면 0.01mm까지의 측정분해능을 얻을 수 있다.
- (2) 피스톤로드 사인과 가공의 1주기를 항상 1024등분 분해하기 때문에 기계적 가공오차가 존재하더라도 홈의 1주기가 지나는 스트로크가 발생할 때마다 정확하게 1024의 카운트 값을 얻을 수 있다.
- (3) 피스톤로드 사인과 가공의 1주기 내에서는 기계적 가공오차로 인하여 검출된 센서출력 파형의 제로 오프셋 변화 때문에 센서 사이에 카운트 오차가 발생하더라도 발생한 오차는 누적오차가 아니며 최종적인 스트로크에 대해서는 큰 오차 없이 스트로크를 신뢰성 있게 측정할 수 있다.

향후의 해결과제는 기계적 가공오차로 인한 제로 오프셋의 변화를 해결할 수 있도록 센서 신호처리 보드의 성능을 보완하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김진규, “해수용 센서내장형 유압실린더와 다중실린더의 위치동조 제어에 관한 연구,” 한국해양대학교 碩士論文, 2001
- [2] 한스오토메이션, “항만건설 및 준설장비, 항만시설에 사용되는 위치센서 내장형 특수유압실린더와 컨트롤러의 개발,” 해양수산부 해양수산중소벤처기업 기술개발지원사업 사업결과보고서, 2003
- [3] 김인환, 임재권, 임종욱, 김종화, “가변 설계 파라미터 퍼지 PID 제어를 이용한 비선형 유압시스템의 위치 제어,” 한국박용기관학회지, 제28권(집), 제1호, pp.136~144, 한국박용기관학회, 2004.
- [4] 김종화, 박장호, “An Implementation of Mutual Tuning Controller for Position Control of Multiple Hydraulic Cylinders,” 「ICCAS 2001」, 제1권(집), pp.2649~2652, 제어.자동화.시스템공학회, 2001.
- [5] 이한, 김종화, “A Design of Nonlinear Time-varying Fuzzy PID Controller for Position Control system using Embedded-sensor-type Hydraulic Cylinder,” 「ICCAS 2001」, 제1권(집), pp.2665~2668, 제어.자동화.시스템공학회, 2001.
- [6] 김진규, 김인환, 김종화, “광파이버센서를 이용한 유압실린더 스트로크의 원격 검출에 관한 연구,” 한국박용기관학회지, 제25권(집), 제1호, pp.191~198, 한국박용기관학회, 2001.

[7] 이한, 김종화, “유압실린더 스트로크 검출을 위한 전용센서 개발에 관한 연구,” 한국해양대학교 해사산업연구소 논문집, 제9권(집), pp.131~142, 1999.

[8] 김종화, “굴삭기 전용 위치검출 센서의 개발에 관한 연구,” 한국해양대학교 산업기술연구소 논문집, 제10권(집), pp.61~76, 한국해양대학교 부설 산업기술연구소, 1992.

[9] 김종화, 양순용, “Development of an Exclusive Sensor for Detecting Positions of Field Robot Arms,” 「ICCAS 2001」, 제1권(집), pp.1628~1631, 제어.자동화.시스템공학회, 2001.

[10] 김종화, 김진규, : “해수용 특수유압실린더의 변위 센싱시스템 개발,” 한국해양대학교 조선.해양기자재연구센터 연구보고서, 국내, 2000.

[11] 박민규, 이민철, 이만형, 양순용 "자기센서를 이용한 절대위치 검출형 고정도 유압 실린더 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회 97년도 춘계학술대회논문집 pp. 156-160, 1997

[12] 이 한, “유압실린더 스트로크 검출을 위한 전용센서 개발에 관한 연구,” 한국해양대학교 석사논문, 2000

[13] 임재권, “다중 유압 실린더 동조제어시스템을 위한 원격제어 및 모니터링,” 한국해양대학교 碩士論文, 2004

[14] 정재욱, 전혁수, 배연숙 "가변 오리피스를 이용한 대용량 유압시스템의 구동제어," 2001 Korea ADAMS User Conference, 2001

[15] 김정하, 염영일 역, 로봇공학, 사이텍미디어, 2002

[16] Saeed B. Niku, Introduction to Robotics : Analysis, Systems, and Applications, Prentice Hall, 2001

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

[18] "리니어 센서로서 차세대 LVDT에 요구되는 것," 월간 전자기술 2000년 1월호 pp. 135-139, 2000

