

工學碩士 學位論文

전력선 모뎀을 이용한 선박엔진 성능분석기의
신호전달방식의 개선

Improvement of Signal Transmission Method of Ship's
Engine Performance Analyzer(SEPA) using PLM

指導教授 李 成 根

2006年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

權 寧 恬

本 論 文 을 權 寧 佺 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 : 工 學 博 士 金 潤 植 ㉠

委 員 : 工 學 博 士 吉 暻 碩 ㉠

委 員 : 工 學 博 士 李 成 根 ㉠

2005年 12月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 氣 電 子 工 學 科

權 寧 佺

목 차

| | |
|------------------------|----|
| Abstract | |
| 제 1 장 서 론 | 1 |
| 제 2 장 선박엔진성능분석기(SEPA) | 5 |
| 제 3 장 전력선 모델 | 9 |
| 3.1 전력선 통신의 개념 | 9 |
| 3.2 전력선 통신의 기본이론 | 11 |
| 3.2.1 Front End Skill | 12 |
| 3.2.2 Channel Coding | 13 |
| 3.2.3 모델 | 19 |
| 제 4 장 PLM을 이용한 SEPA 제어 | 21 |
| 4.1 제안된 시스템의 구성 | 21 |
| 4.2 PLM의 구성 | 23 |
| 4.2.1 결합회로 | 25 |
| 4.2.2 센서부 | 27 |
| 4.2.3 신호의 송신과 수신 | 30 |
| 4.2.4 신호처리부 | 33 |
| 4.2.5 LCD 부 | 35 |

| | |
|---------------------|----|
| 제 5 장 실험 및 고찰 | 36 |
| 제 6 장 결 론 | 42 |
| [참고문헌] | 43 |

Improvement of Signal Transmission Method of Ship's Engine Performance Analyzer(SEPA) using PLM

by Kwon, Yeong-Gwal

Department of Electrical and Electronics Engineering
Graduate School, Korea Maritime University
Busan, Republic of Korea

Abstract

To prevent these some dangerous situations in advance, it is always important to check the condition of ship's machinery .

Using external equipment for monitoring to check the condition of engine of ship's pivot, because ships haven't the equipment for monitoring internally.

Currently in ship, check the pressure of each cylinder using mechanical or digital pressure gauges for catching something wrong of cylinder, piston, fuel pump and etc.

Mechanical method is connecting mechanical pressure gauge to indicator-cock for checking the pressure of cylinder.

This method have instrumental error that caused by gauge's needle and is impossible to analysis and collect data promptly.

So, it is changing to digital method.

Digital method have low limitations and can indicate the data to LCD promptly by using digital pressure gauge and LCD.

But, this method have a demerit that caused by using data cable for TDC and BDC and RPM from flywheel.

This paper decribed that send some signal from encoder attached to crankshaft of marine-engine to measuring instrument using power line modem(PLM) and display cylinder pressure, rpm, etc. on LCD.

To existing pulse signal occurred from encoder is transmited through wire to directly, but this way take very much time for measure work because bracket which attached encoder is very far distance to ship main engine's top floor.

Power line modem small installation cost because use power line that is established in existing just as it is, and value is thought to be as goods that can very prefer on the spot because modus operandi is very simple.

Experimental works using the proposed method confirmed that pressure waveform and the engine rpm are good in each cylinder whenever send-receive signal of compression beginning point pulse of each piston by PLM is transmitted.

제 1 장 서 론

최근 전력선 통신(Power Line Communication, PLC)이 인터넷이나 각종 네트워크 시스템 쪽에서 많은 관심을 받고 있다. 현재 많이 쓰고 있는 인터넷 또는 다른 네트워크 시스템 등은 추가적인 통신선이 필요하거나 전화선 등을 이용하고 있는데 반해, 전력선 통신은 주위 어디서나 흔히 쓰고 있고, 널리 퍼져 있는 일반 전력선을 이용하여 통신을 한다. 그렇기 때문에 통신선 등의 추가나 확장 없이 기존에 가전제품들을 꽂아 쓰던 전원 콘센트에 플러그를 꽂기만 하면 된다는 편리성 때문에 각종 분야에서 많은 연구가 행해지고 있고, 많은 관련 제품들이 개발되어 선보이고 있다. 그러나 이러한 대부분의 제품들과 기술들이 인터넷 등의 고속 정보 통신을 위한 제품들이 대부분이고, 간단한 데이터 통신을 이용하기 위한 제품들은 많은 분야에 활용할 수 있음에도 불구하고 실제 활용은 미미한 실정이다.

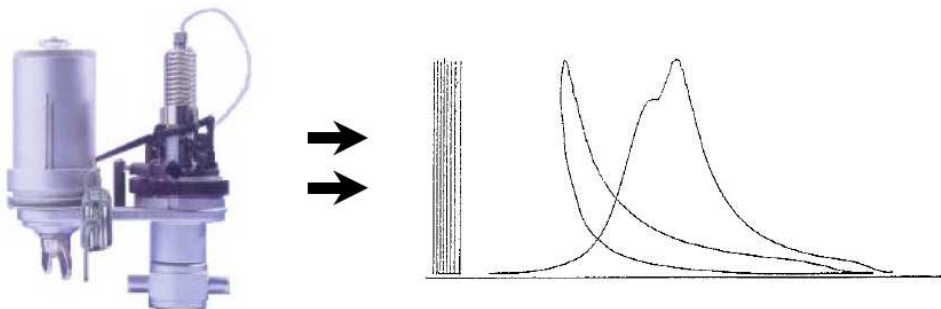
선박에서는 항해 중에 선박 내부의 기계 등에 고장이나 파손 등이 일어나면 육지에 도착하기 전까지 수리나 교체가 불가능하여 매우 위험한 상황에 놓이게 된다. 이러한 상황을 미연에 방지하기 위하여 항상 각종 기기들의 상태를 파악하는 것이 매우 중요하다. 선박의 중추기관인 메인 엔진의 상태를 파악하기 위한 기기들이 선박에 기본적으로 설치되어 있지 않기 때문에 이를 점검하기 위해 별도로 모니터링 장치들을 외부에 연결하여 사용하고 있다.

현재 선박에서는 많은 경우에 있어서 기계식 또는 디지털식 압력계를 사용하여 엔진 각 실린더내의 압력(주로 Top Dead Center(TDC))에서의 최고압력)을 측정하여 실린더와 피스톤의 이상 유무, 연료분사 펌프

의 이상 유무 등의 상태를 파악하는 데 사용하고 있다.



(a) G/E Indicator



(b) M/E Indicator

Fig. 1.1 Ship's engine pressure indicator

기계식 압력측정 방법은 엔진의 캠에 기계식 압력계를 달아서 실린더 내의 압력을 측정하는 방식이다. 기계식 압력측정 방법으로는 실린더 내의 압력의 변화를 게이지로 나타내는 방식과, 압력계에 부착된 바늘이 위·아래로 움직이며 회전통에 부착된 종이에 그래프를 그리는 방식 등을

사용한다.

게이지를 사용하는 방식은 압력을 게이지로만 확인할 수 있고, 압력의 변화에 따라 게이지의 바늘이 떨려 정확한 측정이 어려워 수치 등을 기록하는 경우에 사람에 따라 많은 차이가 있을 수 있다.

압력계에 부착된 바늘이 위·아래로 움직이며 회전통에 부착된 종이에 그래프를 그리는 방식은 분석을 위해 그려진 그래프를 통에서 분리하여 분석을 해야 하므로 계측과 동시에 분석이 불가능하고, 분석도 수작업으로 행해지므로 분석하는 사람이나 도구에 따라 약간의 차이가 발생한다.

이렇듯 기계적 방식은 환경과 관측자에 따라 많은 오차가 발생하여 정확한 상태파악과 데이터의 수집 등이 어렵다. 게다가, 엔진의 발달로 인해 신형 엔진에는 캠이 없이 디지털 방식으로 연료와 공기 등을 공급하는 방식으로 바뀌어 기존의 기계식 계측기가 디지털 계측기로 바뀌어 가고 있는 추세이다.

디지털 방식의 계측기는 엔진의 압력을 디지털 압력센서를 사용하여 환경에 구애받지 않고 정확한 수치로 데이터를 받고, 이를 LCD 등을 이용하여 측정과 동시에 데이터를 관측자가 볼 수 있도록 되어 있는 것들이 많다. 그러나, 디지털식은 피스톤의 TDC와 BDC(Bottom Dead Center) 등의 위치 검출신호를 측정위치인 실린더 최상부로부터 센서가 있는 기관실의 프로펠러 축(Propeller Shaft)까지 연결된 긴 전기 케이블을 이용하여 얻기 때문에 작업시 케이블의 연결이 매우 불편하고, 또한 측정하는 동안에 긴 케이블을 계속 끌고 다녀야 한다는 불편함이 있으며, 단가가 비싸다는 문제점을 갖고 있다.

본 과제에서는 이러한 디지털 계측기의 신호 케이블로 인한 불편함을 줄여 엔진 각 실린더의 압력 측정 작업을 용이하게 하기 위하여 엔진의 최하부에 위치한 엔진의 센서로부터 최상부의 측정위치까지의 신호전달

을 위해 선박 내에 일반적으로 사용하고 있는 전력선을 이용하였다.

전력선 모뎀은 기존에 설치된 전원선을 그대로 사용하기 때문에 설치비가 적게 들고, 작업방식이 매우 간단하여 현장에서 매우 선호할 수 있는 상품적 가치가 있을 것으로 생각되며, 실험을 통하여 전력선 모뎀에 의한 각 피스톤의 압축시작점 펄스의 송수신 신호가 들어올 때마다 각 실린더내의 압력파형과 엔진속도가 양호하게 측정하고 있음을 확인한다.

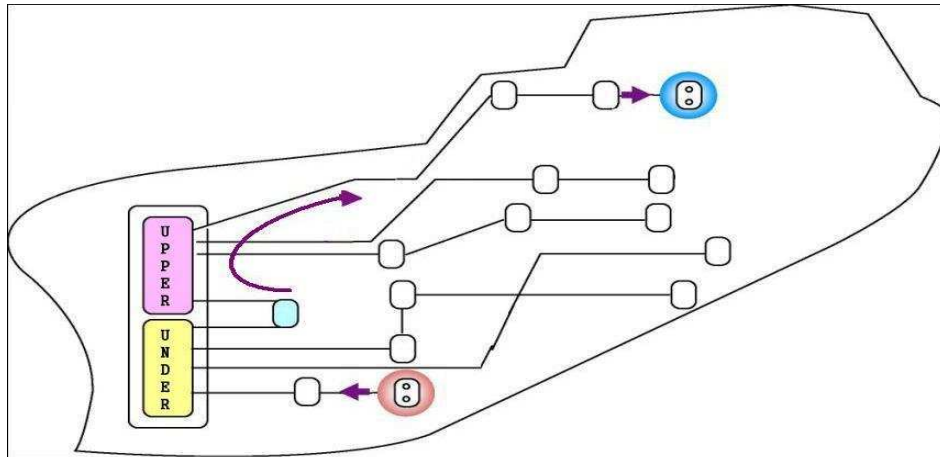
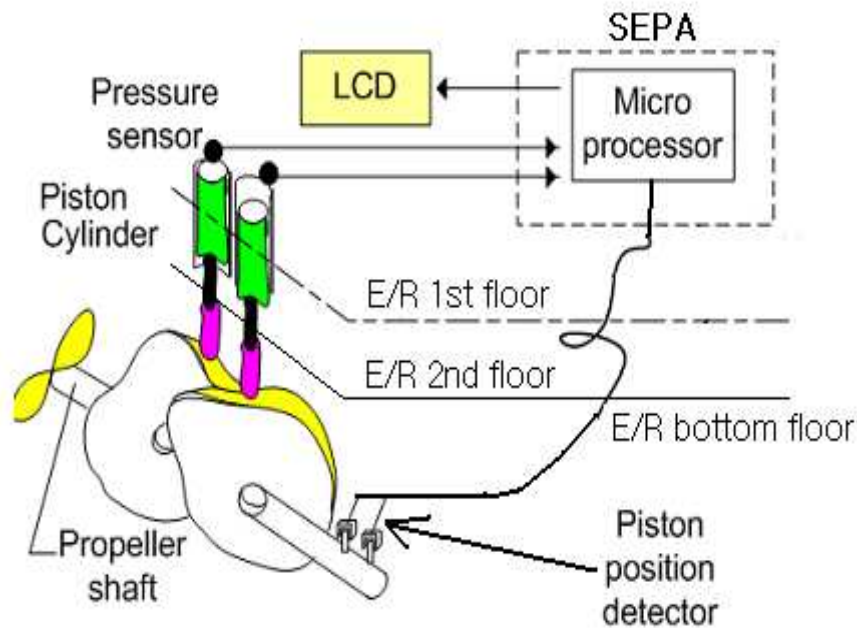


Fig. 1.2 Ship' communication diagram using power line modem

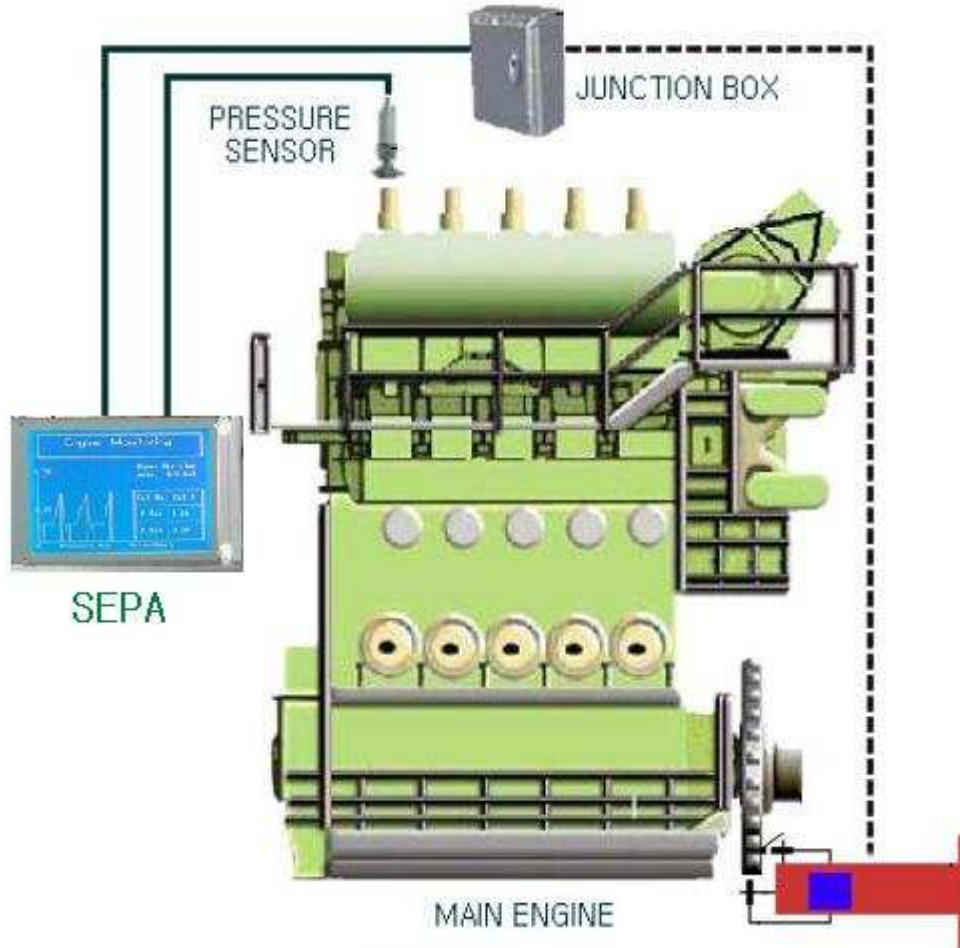
제 2 장 선박엔진성능분석기(SEPA)

Fig. 2.1은 기존에 사용하고 있는 SEPA(Ship's Emergency Performance Analyzer)의 구성도와 현장에 적용된 예를 보여주고 있다.

SEPA는 Fig. 2.1에서 알 수 있는 바와 같이 엔진실(Engine Room(E/R))의 최상층부인 E/R 1st floor에서 관리자가 엔진상부의 압력 센서에 SEPA의 센서의 수신부를 꼽고 측정한다. 그리고 E/R bottom에는 프로펠러 샤프트가 있으며, 프로펠러 축에는 각 실린더 속에서 상·하 운동을 하고 있는 피스톤(Piston)의 위치를 알 수 있도록 피스톤 위치 검출기(Piston Position Detector(PPD))인 피코센서를 장착하였다.



(a) Configuration diagram



(b) Practical picture

Fig. 2.1 Configuration of a conventional SEPA

피코센서는 프로펠러 축이 회전함에 따라 출력단자에서 디지털 펄스 열이 출력되어 E/R의 2nd floor를 거쳐 1st floor에 있는 SEPA의 펄스 수신부로 입력된다.

이 PPD는 피스톤의 위치정보를 알기 위해서는 매우 간편한 장치이다. 그러나 E/R의 bottom에서 1st floor까지 유선을 통해서 펄스를 받아야

하는 번거로움이 있다.

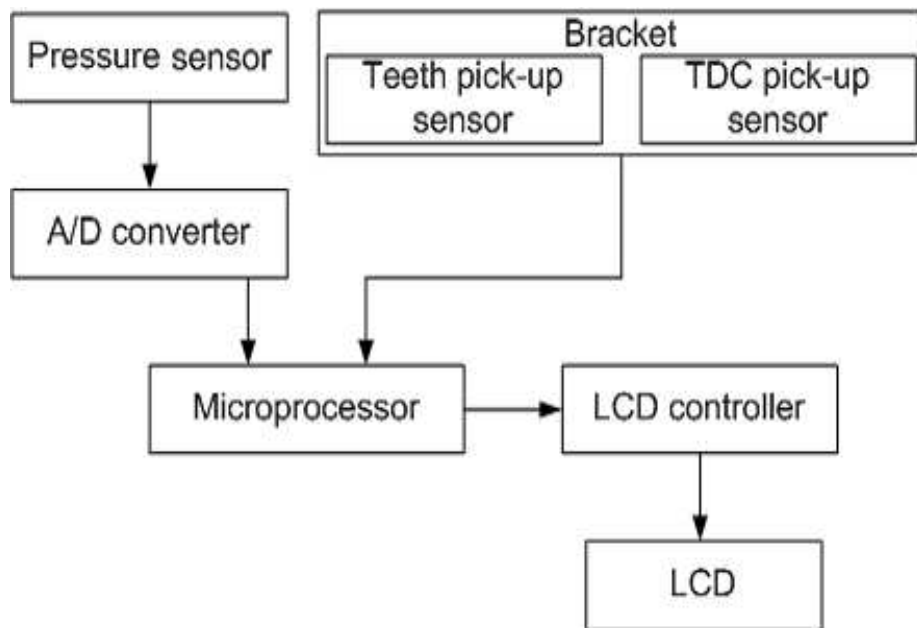


Fig. 2.2 Blockdiagram of SEPA

Fig. 2.2는 SEPA의 내부 구성에 대한 블록도이다.

실린더 내의 압축 및 폭발에 의한 압력을 측정하기 위한 압력센서와 엔진의 RPM과 실린더 내의 피스톤의 위치를 알아내기 위한 근접센서가 달린 Bracket을 엔진 크랭크축에 달린 외부 기어에 설치한다. SEPA에 연결하여 압력센서는 0~250bar까지 측정이 가능하고 출력은 -20 mV/bar로 나온다. bar당 나온 전압은 A/D 컨버터로 입력이 되면 디지털 값으로 변환이 되고 이 변환된 값은 마이크로프로세서에서 처리를 해서 압력변화의 모양을 그래프로 나타내어진다. Bracket에는 Teeth pick-up

sensor와 TDC pick-up sensor로 구분이 된다. Teeth pick-up sensor는 메인엔진의 샤프트 부분에 있는 톱니바퀴의 톱니를 세기 위해 장착이 된다. 분당 회전하는 샤프트의 톱니 수를 마이크로프로세서로 입력받아 마이크로프로세서에서 입력된 톱니수를 계산하여 엔진의 RPM를 나타낸다. TDC pick-up sensor는 Teeth pick-up sensor와 마찬가지로 엔진 샤프트 톱니바퀴에 같이 장착이 되어 피스톤의 위치정보를 알 수가 있다. 원리는 피스톤의 최고점인 위치에 센서를 장착해 신호가 들어올 때 가장 피스톤의 최고점이 된다. Bracket에 달려진 Teeth pick-up sensor와 TDC pick-up sensor의 신호들은 일반 신호선을 통해 SEPA로 들어간다. 중간에 중계기가 들어가긴 하지만 엔진 최하층의 bracket과 엔진 윗부분의 압력센서가 연결되어진 부분까지 거리가 상당히 멀기 때문에 선들이 많이 길어지기 때문에 각 피스톤별로 측정할 때 선이 거추장스럽게 늘어지거나 끌고 다니게 된다.

제 3 장 전력선 모델

3.1. 전력선 통신의 개념

전력선 통신이란 가정이나 사무실에 설치되어있는 교류 100~220V의 전력을 전송하는 라인에 통신 신호를 수십 KHz에서 수십 MHz의 고주파 신호를 중첩하여, 이것을 반송파로 이용하여 음성과 데이터를 전송하는 것을 말한다. 우리나라는 60 Hz로 전력이 공급되고 있는데, 이 주파수 대역외의 고주파 대역에 신호를 반송파를 보냄으로써, 고속 데이터 통신이 가능하게 된다. 이는, 전화 회선에 고주파 신호를 중첩하는 ADSL 과 방식 자체는 동일하다.

각종 통신 및 방송 서비스에 대한 전파의 혼신을 막기 위해서 기존까지 이용 대역이 450 kHz까지의 저주파만 사용하도록 정해져 있었다. 그러나, 정보통신부는 2004년 10월부터는 PLC를 허용하겠다고 밝히고, 또 450 kHz 이하의 저주파로만 제한돼왔던 이용주파수 대역도 30 MHz 이하까지 확장키로 결정함에 따라 PLC가 활성화될 것으로 보인다.

Fig. 2.1은 전력선 통신의 기본 개념을 설명하기 위한 그림이다. 전력선 통신은 별도의 배선이 필요 없이 실생활에 쉽게 적용이 가능하고 전송로가 배전선이므로 안정하며 견고하고 구성비가 저렴하다.

반면에 부하의 간섭과 노이즈의 영향이 많고, 특성임피던스가 가변되어 전송특성이 불안정하며, 전송전력이 제한되는 단점을 가지고 있다 (1)(2)(3).

이 기술은 크게 가정 내의 홈 네트워크 기술과 가정과 외부망의 연결을 위한 액세스 기술로 구분된다. 데이터 전송 속도에 따라 저속은

9600 bps - 10 Kbps, 중속은 10 Kbps - 1 Mbps, 고속은 1 - 10 Mbps로 구분되며, 이에 따라 저속은 홈 네트워킹의 제어용으로, 중속은 홈 네트워킹의 데이터 통신용으로, 고속은 외부망 액세스용으로 통신 목적을 나눌 수 있다.

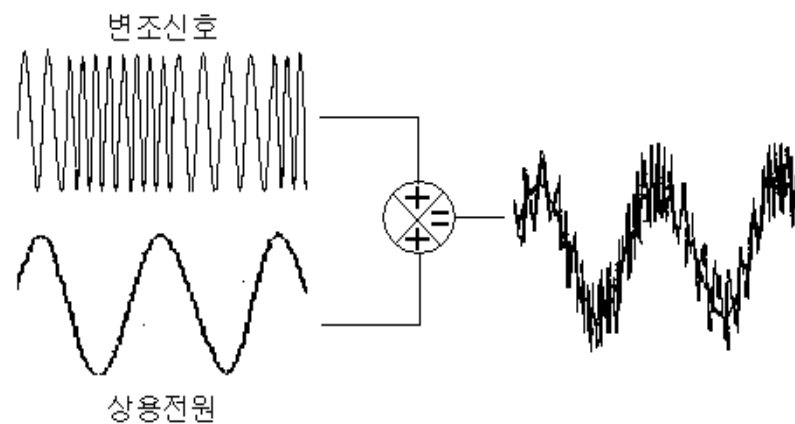


Fig. 2.1 Basic concept of PLC

저속 PLC 기술은 주로 홈 네트워킹 분야의 가전기기 제어를 위해 사용되어 왔다. 이 기술은 집안에 있는 조명기기 또는 가전제품의 스위치를 켜고 끄거나 가스 밸브를 잠그고 집안을 모니터링 하는 등 다양한 가전기기를 제어하는 기술로 발전해 왔을 뿐만 아니라, 오랜 기술적 발전을 통해 안정된 신뢰성을 확보해 현재 홈 네트워킹이나 공장제어 등 많은 분야에서 상용화되어 있다. 반면, 다양한 홈 네트워킹 콘텐츠 분야에 대한 소비자 욕구의 대안으로 중속 PLC와 전력선만을 통해 인터넷 망에 연결해 네트워크 구성의 비용 절감을 꾀하는 고속 PLC 액세스 기술도 관심을 받고 있다. 그러나 아직 중속과 고속 PLC 기술은 시작 단

계로 과부하에 의한 전파방해, 시시각각 변하는 채널 특성, 전기제품의 노이즈와 신호왜곡현상, 기존 무선주파수 대역과의 상충 등의 문제점들이 남아 있다.(1)(2)(3)

한국은 전력선 인프라가 대단히 잘 구축된 나라이며, 대다수 가정이나 사무실의 구석구석에 전원 콘센트가 시공되어 있기 때문에 가정이나 사무실 내에서 이러한 전원 콘센트에 장치를 꼽는 것만으로 언제 어디서든 네트워킹이 가능하도록 해주는 제품이다. 특히, 가정이나 사무실 내에서 케이블을 연장하기 힘든 경우나 주변의 장애물이나 방해 전파가 많아 무선 랜(LAN)의 전파가 도달하지 못하는 경우에 유용하게 사용할 수 있다.

우리나라는 1960년대부터 한국전력공사에서 변전소간 전력선의 유지보수를 위한 나선 반송용으로 전력선통신을 사용하였으나 현재는 일부 구간에서만 사용하고 있으며, 최근에는 일부 기업에서 초고속 데이터 통신용 전력선 통신모뎀을 사용하였으며, 고속 전력선통신망 기술을 이용한 인터넷 시범마을을 구축하여 고속 인터넷 시험을 수행하였다.

3.2 전력선 통신의 기본이론

전력선 통신에서 고주파 대역의 잡음 레벨은 저주파 대역보다 줄어드는 반면 감쇠가 크며, 이러한 감쇠나 임피던스 및 잡음은 시간에 따라 변하고, 연결된 기기들에 의해 전력선 채널특성이 영향을 받아 전송캐리어 주파수의 선택을 어렵게 한다. 따라서 전력선 모뎀을 개발할 때에는 전력선의 특성을 극복할 수 있는 전송방식의 선택이 무엇보다 중요하다. 이러한 기술에는 Front End Skill, Channel Coding, MODEM 등이 있다.

3.2.1 Front End Skill

전력선에 신호를 실어 보내는 기술과 전력선으로부터 신호만을 분리해 내는 기술로서, 크게 대역필터 기술과 임피던스 매칭기술이 있다.

대역 필터(Bandpass Filter) 기술은 원하는 신호만 받아들이고 전력이나 각종 노이즈 신호는 제거하는 기술로서, 커플러(Coupler)가 이를 담당하고 있으며, 트랜스포머와 R, L, C 회로를 이용하여 구성이 가능하다.

또한, 이는 변화가 심한 채널 변화의 상황에 대한 대응이 어렵고, 두 기능을 완벽하게 구현하기가 쉽지 않아 이를 개선하기 위해 다음과 같은 방식들이 제안되고 있다.

- 트랜스포머의 권선에 변화를 주어 커플러의 특성을 가변 할 수 있도록 하는 방식
- 밴드패스 필터링과 임피던스 매칭 기능을 별도의 기능 블록으로 구현하여 설계를 용이하게 하고 각각의 성능을 향상시키는 방식
- 송신과 수신 모드별로 서로 다른 임피던스를 갖도록 모드를 바꾸는 방식
- 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 직렬로 연결하여 각각을 제어함으로써 필터의 특성을 가변할 수 있도록 하는 방식 등이 제안되었다.

임피던스 매칭 기술은 선로의 임피던스와 관계되는 것으로, 최대 신호전력 전달이 될 수 있도록 하는 기술이다.

3.2.2 Channel Coding

전력선으로 전송될 신호를 인코딩 또는 디코딩 하는 기술을 의미하며, 전력선의 노이즈 특성과 감쇠 특성으로 인해 전력선 통신에 있어서 중요한 기술 분야이다. 저속 전력선 통신 모뎀은 변환이 간편한 ASK, FSK, PSK 등이 사용되며, 고속 전력선 통신의 경우는 저속 전력선 통신보다 Noise에 민감하기 때문에 더 많은 노력이 요구된다.

고속 전력선통신 모뎀은 Carrier Chirp, CRC(Intellon, Chelon), Frequency Hop, Optimized FEC, Zero cross bi-phase(X10, Z256) 등을 사용하고 있다.

1) 채널

전력을 공급하는 것이 주요 역할인 전력선을 이용하여 통신을 하는 데에는 많은 애로점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수년간 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

이러한 문제점을 가지고 있는 전력선이라 하더라도 환경이나 외부 충격에 강하며, 별도의 전송선로를 설치하지 않고도 정보 전달의 매체로 이용이 가능하다.

최근에는 건물 안의 저압선로를 통신매체로 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있지만 전력선을 통신선로로 이용하는 경우에는 전용선로를 사용할 때와는 달리 다양한 문제점을 안고 있다.

일반적으로 송전선로는 저전압 망에 비해 임피던스가 더 안정적이지만 통신 케이블에 비해 신호의 감쇠가 더욱 심하다. 전송선로에서 발생

하는 노이즈는 주로 외부 환경, 전송장비, 전송매체, 발전소 혹은 변전소 등에서 발생하는 것과 전압 전송선에 직접적으로 연결된 공장이나 산업체 등이 대부분이다. 그러나 전력선 통신을 하는 경우의 보다 큰 문제는 위와 같은 잡음보다는 거리가 증가함에 따라 생기는 신호의 감쇠에 있다. 또한 고전압 변압기의 경우 50/60 Hz에 디자인이 되어 있기 때문에 그 주파수 대역을 제외한 다른 주파수 대역에서의 감쇠가 심하다. 이러한 상황에서는 원하지 않는 잡음뿐만 아니라 전송하고자 하는 신호까지도 변압기를 통해서 전송을 할 수가 없게 된다. 이러한 장벽을 극복하기 위해 변압기를 통과하는 브리지를 달아 주어야 한다.

저전압망의 경우에는 상황이 좀 더 복잡하다. 이는 저전압망의 경우에는 통신 신호를 전달하기 위해 설계되어진 것이 아닐 뿐 아니라 짧은 거리에 전송을 하도록 설계가 되어있지 않다. 또한 저전압망의 구조와 일반 가정에서 사용하는 모든 부하들이 통신선로로서의 특성을 결정하는데 영향을 미치게 된다. 전력선은 기존의 통신선로와는 달리 전기적 신호와 함께 전송되기 때문에 전기를 에너지원으로 사용하고 있는 여러 주변 전기기기에 쉽게 영향을 받는 특성을 지닌다. 이러한 상황은 시간이나 주파수에 따라서 부하가 변동되는 특이한 성질을 나타내며, 따라서 전송선로의 위상과 시간이나 주파수에 따라서 부하가 변동되는 특이한 성질을 나타내며, 따라서 전송선로의 위상과 잡음의 크기를 예측할 수 없게 만든다(2)~(5).

또한 협대역의 정보를 전송할 경우에 채널에서의 선택적 주파수 페이딩, 스위치에 의한 임펄스성 잡음 및 60Hz 전력신호와 그의 고조파 성분에 의한 간섭 및 선로의 감쇠가 존재하고, 선로 임피던스와 잡음의 레벨이 수시로 변화하는 등 많은 장애요인이 존재한다.

저전압망에서는 다음과 같은 문제점들이 고려되어 진다.

- 물리적으로 동일한 전력 분배망을 가지지 않는다.
- 저전압망은 동일한 전송과 수신특성을 가지지 않는다.
- 저전압망에 연결된 부하들은 시간에 따라서 달라진다.
- 채널을 결정짓는 변수들은 주파수에 따라 변한다.
- 예상하지 못한 현상들이 발생한다.

2) 주파수 특성

높은 주파수에서는 전력선을 이용하여 신호를 전달하는 것이 매우 어렵다. 특히 전송 거리가 멀어지면 멀어질수록 신호의 감쇠는 더욱 심하게 된다. 따라서 지금까지 주로 수 kHz ~ 수백 kHz 정도에서 통신실험이 행하여져 왔다.

전송 성능은 수 MHz 이상에서부터 주파수가 증가할수록 갑자기 감소하는 특성을 나타내며, 잡음의 전송 특성과 신호의 전송은 1 MHz 이하에서는 전송의 감쇠특성이 선형적인 것을 알 수가 있다. 이러한 주파수 영역에서는 전송 선로의 길이가 적당한 경우 대개 1 MHz 이하에서의 전력선의 저항값은 2 ~ 30 Ω 으로 나타나며 이와 같은 전송 선로의 임피던스의 특성은 다음과 같이 식 (1)로 나타낼 수가 있다(2)~(6).

$$|Z|=0.005 \times f^{0.63} \quad [\Omega] \quad (1)$$

식 (1)로 1MHz와 500kHz의 저항을 측정해 보면 각기 30.1 Ω 과 19.5 Ω 이 나온다. 하지만 이러한 수치는 개략적인 수치일 뿐이고, 용량성

임피던스는 알 수가 없다. 또한, 전송 감쇠는 주위의 전기기기가 가지는 공진 주파수와도 깊은 관계가 있다. 따라서 이러한 저항값은 시간에 따라 변화가 많으며 수식화 하기에는 어려움이 있다. 이를 극복하고 전송률을 높이기 위해서 전송전력을 크게 할 수도 있다.

3) 잡음 특성

전력선에 있어서의 잡음들은 각종 전기기기들이 전력선에 접속되어 동작함으로써 야기되는 것이 주가 되며, 그 외에도 여러 가지의 사항을 고려해 볼 수가 있다.

대개의 잡음에 대한 스펙트럼을 주파수적으로 살펴보면 신호의 전송 특성과 같이, 주파수가 증가하면 잡음에 대한 전달특성도 감소하는 경향을 보인다. 또한 주파수에 따라 잡음레벨이 변화하는 특성을 보이고 있다(2)(3)(6).

전력선에서 야기되는 잡음원으로는 벵락, 유도성 부하, 위상제어 부하, 라디오, 텔레비전, 디지털 시계, 스파크, 코로나 방전 등이 있다.

건물 내에서는 사용되는 전기기기가 많고 거리도 가까워서 잡음이 심하며 시간에 따라 그 변화도 크다. 주거지역이나 연구동에서의 주된 잡음원으로는 진공청소기나 TV, 스위치의 on-off, 컴퓨터용 전원공급장치 등이 있으며, 대개 고조파나 스위칭 잡음으로 60 Hz 전력 주파수와 동기된 잡음, 비동기된 주기적 잡음, 배경 잡음, 임펄스성 잡음으로 분류가 가능하다(2)(3)(8).

4) 잡음 환경에서의 적응

일반적으로 전력선에는 특성상 여러 종류의 잡음이 유입된다. 잡음 환경에서 정확한 통신이 이루어지기 위해서는 잡음에 효과적으로 대처할 수 있는 다양한 통신방식이 필요하며, 지금까지의 통신방법을 정리하면 다음과 같다.

(1) Zero Cross Point의 이용

잡음 환경에 적응하기 위해서 저속의 경우에는 Fig. 2.1과 같이 잡음이 최소가 되는 Zero Cross Point에 전력선 신호를 실어 통신을 한다.

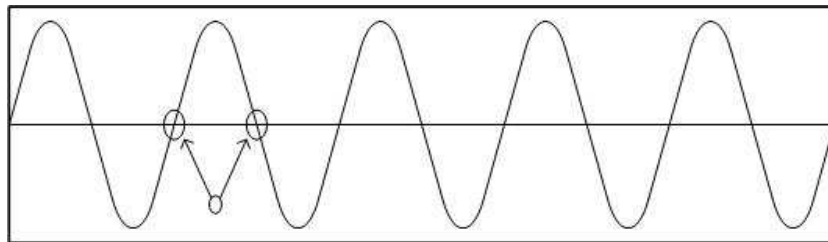


Fig. 2.1 Modulation using Zero Cross Point

(2) 주파수 확산 방식의 이용 (Spread Spectrum)

스펙트럼 확산(Spread Spectrum) 통신이란 전송신호의 주파수 대역을 정보 신호의 주파수 대역보다 훨씬 넓게 확산시켜 정보를 전송하는 통신방식이다. 주파수 대역의 확산은 정보 신호와 독립적인 코드 신호를 사용하여 이루어지며, 수신단에서는 이 코드 신호를 사용하여 역 확산을 수행하고 정보 신호를 복구한다.

스펙트럼 확산 통신의 가장 중요한 목적은 의도적인 방해 신호의 존

채 하에서도 원활한 통신을 하는 것과 비의도적인 방해 신호를 제거하는 것이다. 즉, 제삼자에게 도청되지 않도록 하고 다중 경로 문제를 극복하여, 많은 사용자들에 의한 다중 접근을 가능하게 하는 것이다. 이를 위하여 신호의 주파수 대역을 확장해야 한다.

Fig. 2.2는 주파수 확산방식에 대하여 그린 것이며, 스펙트럼 확산 방식은 코드를 이용해서 대역확산을 하는 방식으로서 확산과 역확산 과정을 거치기 때문에 외부의 협대역 간섭에 매우 강하고 주파수 대역이 넓어 주파수 다이버시티 효과를 얻을 수 있으며, 페이딩에 강한 특징을 가지고 있다.

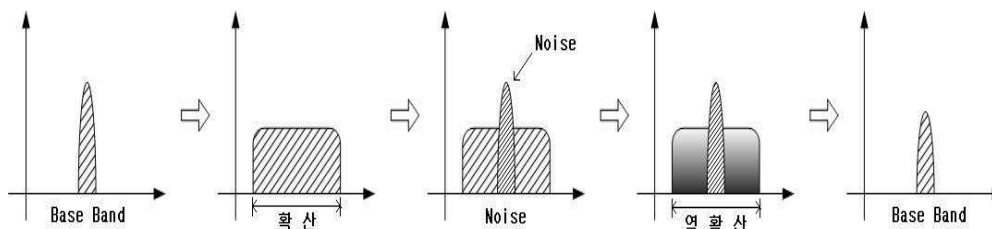


Fig. 2.2 Spread spectrum method

(3) 다중 반송파

OFDM(Orthogonal Frequency Division Modulation) 방식에서는 채널의 대역폭이 여러 개의 서브채널로 구성되어 있다.

OFDM 방식은 각각 다른 전송 주파수를 가진 N개의 독립적으로 변조된 캐리어들로 구성되어 있으며, 각 전송 주파수를 적절하게 선택을 하면 여러 개의 반송파는 서로에게 영향을 주지 않게 된다.

OFDM 방식은 Single Carrier 혹은 Spread Spectrum 방식과 비교해서 다음과 같은 장점과 단점들이 있다.

- OFDM은 Spread Spectrum 방식에 비해 대역 효율면에서 우수하다.
- 각각의 반송파들은 각각 다른 변조방식으로 변조할 수가 있다. 일반적으로 변조에 사용되는 방식들로는 FSK, PSK, QAM 등 각기 심볼당 다른 수의 비트들을 가진다.
- OFDM은 협대역 시스템보다 전송채널에 의해 야기되는 ISI(Inter Symbol Interference), Group delay 등에 강하다.
- 일반적으로 협대역 잡음(Continuous Wave Noise)은 단지 하나의 반송파에게만 영향을 주기 때문에 OFDM은 협대역 잡음에 강한 특성을 가지고 있다.
- 단일 반송파 시스템에 비해 많은 수의 반송파를 전송하기 위해서는 대략 10dB 정도 높은 최대 전력으로 전송해 주어야 한다.
- 간단한 FSK 수신기를 사용하는 것보다 더 복잡하다.
- 복조시에 블록 처리를 수행하기 때문에 고유의 전송지연이 발생할 수 있다.

3.2.3 모뎀

신호의 변·복조 기술로 열악한 전력선 채널특성을 극복하고, 전송 속도의 향상을 도모하기 위한 통신 방식으로 Fig. 2.4와 같이 ASK, FSK, PSK방식과 Fig. 2.5와 같이 Direct Sequence, Chirp, Frequency Hop 등을 이용하고 있다.(2)(3)(6)

FSK 방식의 경우 채널특성이 전송에 충분할 만큼 평탄하지가 못하며, 전송속도가 증가할수록 FSK 방식의 사용이 힘든 단점이 있다.

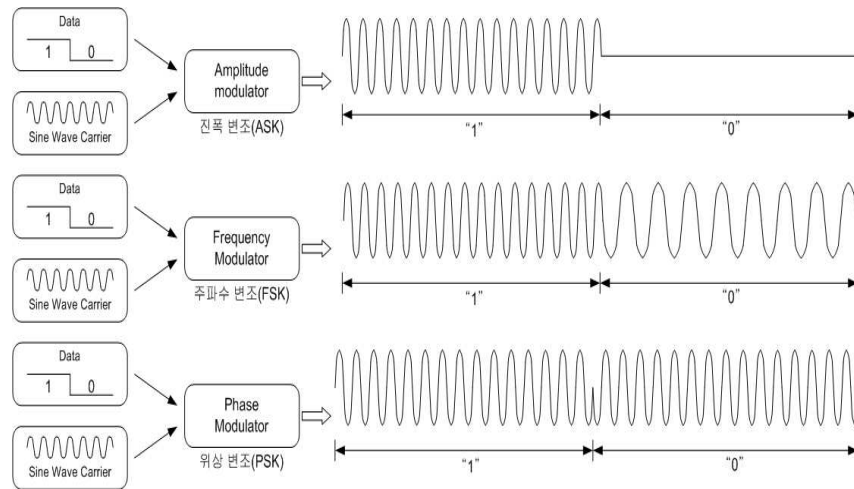


Fig. 2.4 ASK, FSK and PSK modulation method

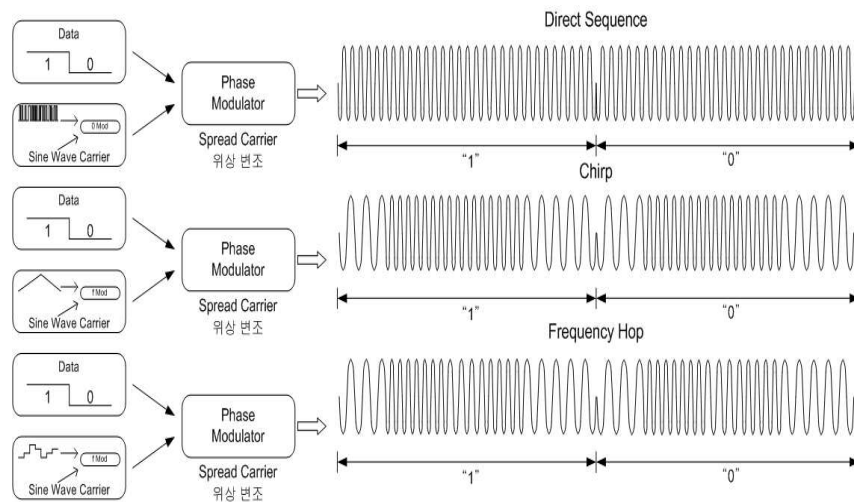
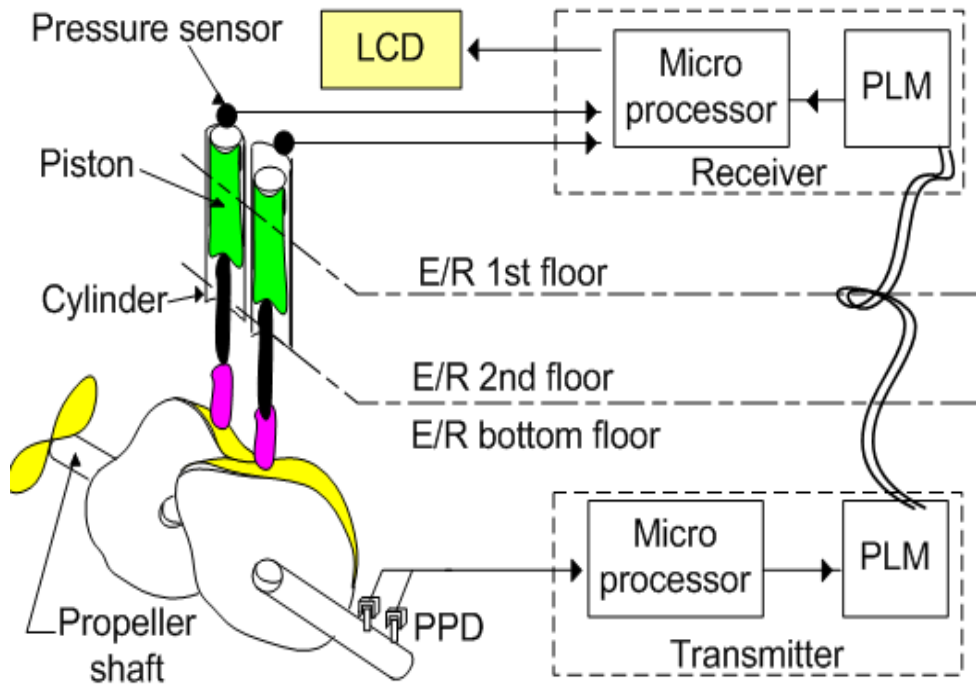


Fig. 2.5 Spread spectrum transmission method

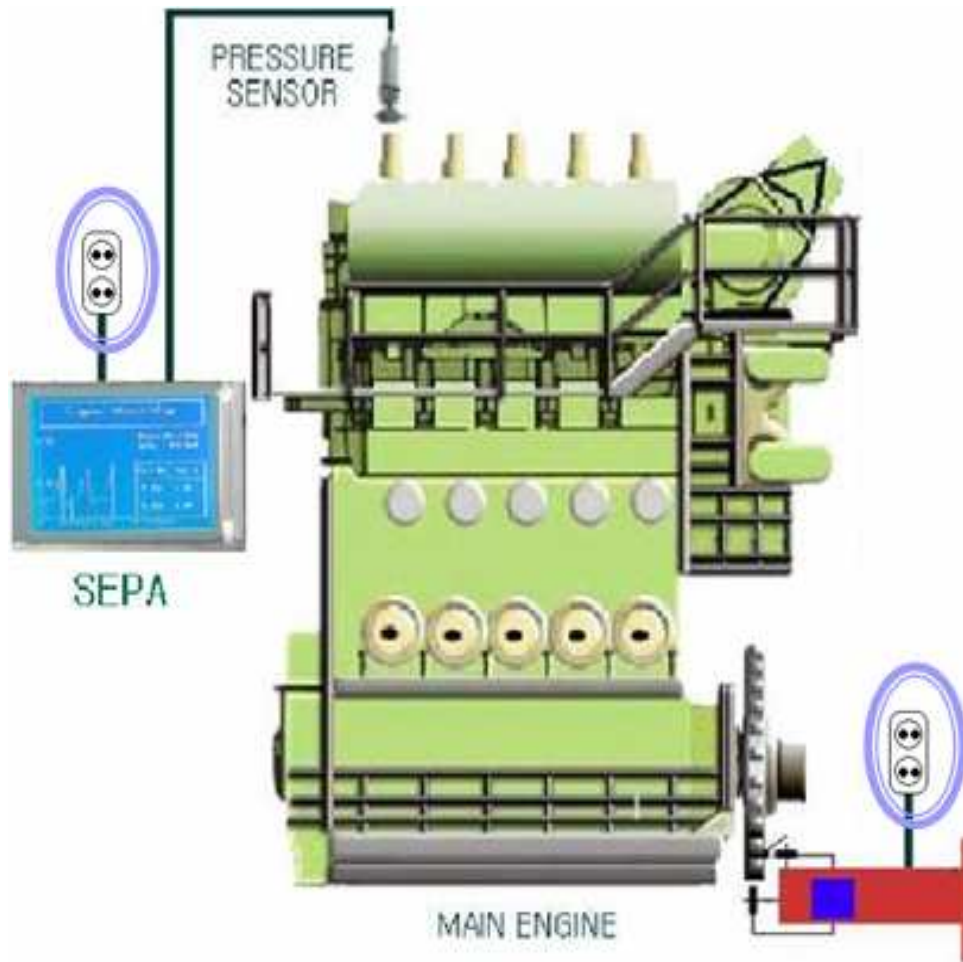
제 4 장 PLM을 이용한 SEPA 제어

4.1. 제안된 시스템의 구성

Fig. 4.1은 선박엔진성능분석기(SEPA)로 입력되는 각 피스톤 위치검출 펄스신호를 선내에 매설된 기존의 전력선 모뎀(Power Line Modem, PLM)을 통하여 송·수신하는 블록도와 실제 장착될 사진을 보여주고 있다.



(a) Configuration diagram



(b) Practical picture

Fig. 4.1 Engine monitoring system using PLM

PPD는 포토커플러를 이용하여 기관실 밑바닥에 있는 프로펠러축에 장착하였으며, 센서가 위치한 지점은 피스톤이 상부로 압축하는 시작시점에 일치시켰으며 프로펠러축이 1 회전하게 되면 피스톤이 1 행정(압축

→폭발→배기→흡입)을 완료하게 된다.

PPD로부터 신호가 검출되어 마이크로프로세서로 입력되면 마이크로프로세서로부터 159 kHz의 반송신호가 송신용 전력선 모뎀을 거쳐 선내에 매설된 기존의 전력선을 통하여 수신용 PLM으로 입력된다.

수신용 PLM을 거쳐 입력된 반송신호는 구형과 펄스신호로 변경되어 마이크로프로세서에서 해독된다.

각 피스톤의 위치에 알맞은 구형과 펄스가 입력되는 시점이 피스톤의 상승시점이 되고 그 순간부터 피스톤의 1 행정사이의 실린더 압력을 LCD에 그리게 된다.

4.2. PLM의 구성

Fig. 4.2는 본 논문에서 사용한 전력선 모뎀의 전체적인 구성도이다.

전체적으로 크게 전력선 모뎀의 송신부와 수신부의 두 부분으로 나누어지는데, 전력선 모뎀의 송신부측에서는 엔진의 하단부인 샤프트에 부착된 포토센서를 통해 압력의 최대·최소지점의 위치 신호를 마이크로프로세서로 받아서 각각에 맞는 시간동안 캐리어 주파수를 생성시켜 커플링 회로를 통해 상용전원에 실어주었다.

모뎀의 수신부측에서는 마이크로프로세서를 통해 엔진의 압력을 실시간으로 받는 동시에 송신부측으로부터 상용전원에 실려온 신호에서 60Hz의 저주파는 커플링회로를 통해 차단시키고 반송주파수인 159kHz의 고주파만 걸러내어 증폭기를 통해 감쇠된 신호를 증폭시킨 후 비교기를 통해 복조한 신호를 마이크로프로세서로 받아 압력의 실시간 그래프에 따른 최대·최소값을 LCD에 수치 및 그래프로 나타내도록 하였다.

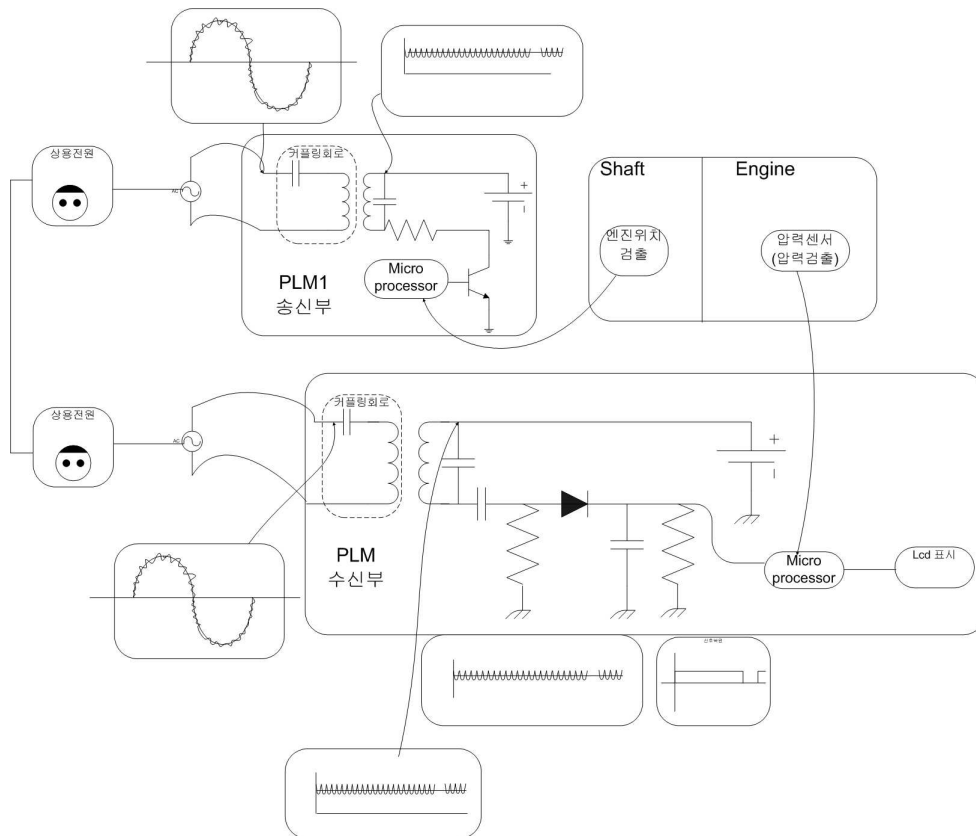


Fig. 4.2 Configuration diagram of PLM

4.2.1 결합회로

전력선과 신호의 결합은 용량성 결합을 주로 사용하며 인덕터와 함께 사용된다. 상용전력선을 통하여 데이터를 송·수신하기 위해서는 전력선에 모뎀을 직접 연결하면 모뎀이 파손될 우려가 있으므로 상용전원의 영향을 막기 위하여 저주파는 차단하고 고주파만 통과시키도록 Fig. 4.3과 같이 전력선 결합 캐패시터를 전력라인과 반송파 전달용 트랜스 사이에 직렬로 삽입한다.

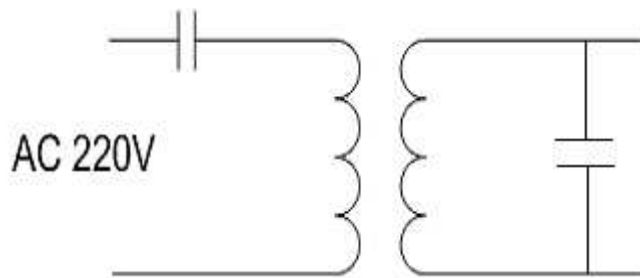


Fig. 4.3 Coupling circuit

반송파가 전송이 잘될 수 있도록 비교적 용량이 큰 인덕턴스를 삽입하여 전력선 커플링회로를 구성한다. 변압기 1차측에 연결되어 있는 캐패시터는 주파수가 낮은 220 V 상용전원에 대해서는 큰 임피던스로 작용하고 수백 kHz의 통신용 반송파에 대해서는 작은 임피던스로 작용하여 모뎀 측으로 상용전원이 유입되지 못하도록 차단한다.

전력선 통신용 반송파(159 kHz)는 결합 캐패시터를 통과하여 대부분 트랜스의 1차측 양단에 인가되는데 인덕터 양단에서 보는 입력 임피던스는 낮게 보이므로 버퍼 없이 인터페이스 하기가 쉬워진다(2)(3)(6).

※인덕턴스 L계산

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

의 수식에서 반송주파수 $f_0 = 156 \text{ kHz}$, Capacitor의 용량은 103/680 VAC를 사용하였으므로 나머지 인덕턴스 L값은

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad [\text{H}] \quad (3)$$

f_0 : 반송 주파수

C : 커플링 회로에 접속된 Capacitor

이다. 이때

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times (156 \times 10^3)^2 \times 10^{-8}} \quad [\text{H}] \quad (4)$$

를 계산하여 $L = 104 \text{ } \mu\text{H}$ 이다.

※권선수 결정

$$N = \frac{V_e \times dA (= D \times T)}{A_e \times \Delta B} \quad [\text{T}] \quad (5)$$

A_e : EI28 코어의 단면적(0.86 mm^2)

ΔB : 자속밀도(2700 Wb/m^2)

D : 듀티비

T : 주기

의 수식에서

$$N = \frac{15 \times 0.5 \times 0.63 \times 10^{-5}}{0.86 \times 2700} \times 10^8 \text{ [T]} \quad (6)$$

을 계산하면 약 3[turn]이 된다.(L값을 맞추기 위해 설계시 6 turn으로 바꿈)

※가닥 및 권선의 굵기

$$\pi r^2 \times x(\text{가닥수}) = A_e(\text{mm}^2) \quad (7)$$

(단면적은 AWG표를 통해 허용전류를 1.16A로 잡아 0.39 mm²로 선정했고, 권선 굵기는 지름 0.4 mm로 설계)

$$\pi \times 0.2^2 \times x = 0.39 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (8)$$

$x(\text{가닥수}) \doteq 4\text{가닥}(7)$

4.2.2 센서부

(1) 포토센서

포토센서는 광을 매체로 응용한 센서로서 비접촉식 검출방식으로 물체의 유무여부를 검출할 수 있으며, 그 특징은 다음과 같다.

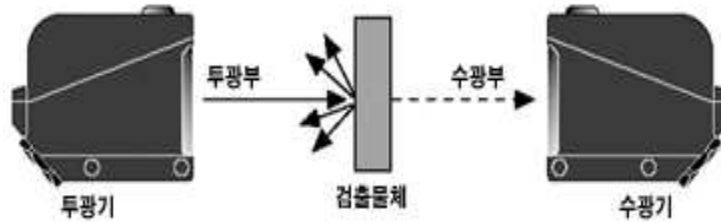


Fig. 4.4 Photo sensor

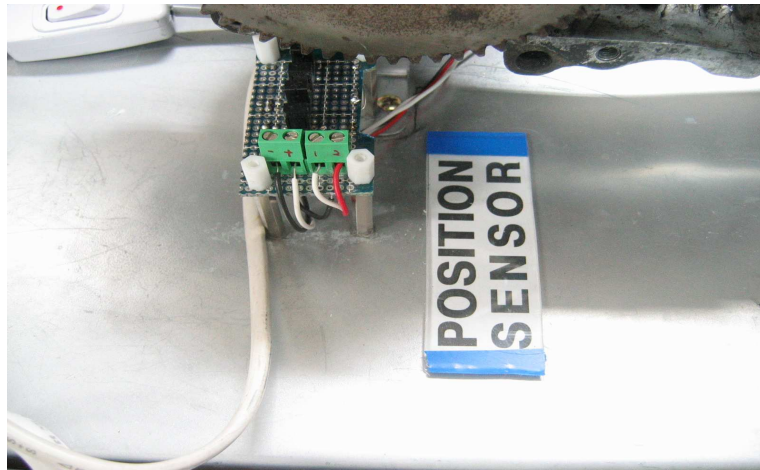


Fig. 4.5 Photo sensor which detect piston position

1. 비접촉식 방식으로 물체를 검출하기 때문에 검출물체에는 손상이나 영향을 주지 않으며, 고속의 물체이동도 검출이 가능
2. 광을 매체로 물체를 검출하기 때문에 자기와 진동 등의 영향과는 무관하게 물체 검출 가능

이 과제에서는 포토센서의 특성 이용하여 엔진의 플라이휠에 달린 톱니바퀴를 부착한 센서로 카운트하여 피스톤의 위치와 엔진의 RPM을 파악하였으며 파악된 데이터는 전력선 모뎀을 통하여 주 제어부의 마이크로프로세서로 입력된다.

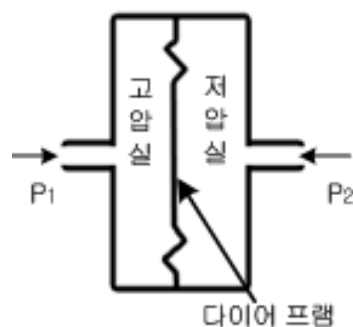
(2) 압력센서

실린더의 압력을 측정하기 위해 반도체식 압력센서를 이용하였다. 반도체압력센서는 최근에 실용화가 가속되고 있는 센서로 크리프현상이 없고 직선성이 우수하며 소형·경량으로 진동에도 매우 강한 것이 특징이다. 또한, 기계식보다 고감도, 고신뢰성이며 양산성이 좋다. 이것은 압력을 왜(歪)응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에서 발생하는 동력을 전기신호로 변환하는 두 부분으로 구성되어 있다.

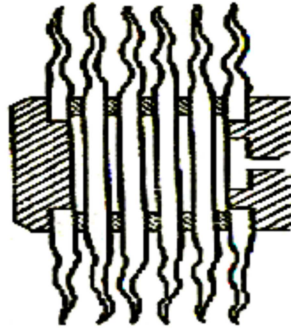
다이어프램은 Fig. 4.6(a)와 같이 한 장으로 된 금속막의 휨을 이용하는 것, 또 이 Fig. 4.6(b)와 같이 과형으로 한 금속 다이어프램을 여러장 세로로 접속한 것이며, 다이어프램의 한쪽 압력에 의해서 축방향으로 변위하고 다이어프램의 탄성 항력과 평형한다.

다이어프램의 재질은 Ni, Mn의 합금 스프링 재료가 사용된다. 감도가 좋으므로 미압용으로서도 사용된다.

이 반도체식 압력센서를 이용하여 압력의 값을 아날로그 값 0 V - 5 V까지로 변환하여 A/D 컨버터를 이용해 마이크로프로세서로 입력된다.(8)



(a) Principle of a diaphragm



(b) Structure of a diaphragm

Fig. 4.6 Principle and structure of diaphragm

4.2.3 신호의 송신과 수신

신호선에 실린 데이터를 판별하는 일반적인 방법은 전압의 검출이다. 전압이 있을 때를 1, 없을 때를 0으로 정하고 통신을 수행한다. 하지만 전력선에는 커플링회로를 통해서 데이터 전달이 이루어지게 되므로 데이터를 직접적인 방법으로 전달할 수 없고 고주파의 펄스형태로 변조한 후 전송해야 커플링회로를 통해 데이터를 전달할 수 있게 된다. 펄스파로 변조해서 데이터를 전송하는 방법에는 ASK, FSK, PSK 등 여러 가지가 있다.

본 연구에 사용된 모뎀은 비교적 간단하게 구현할 수 있는 ASK 변조방식을 사용하여 구현하였다. ASK 반송파는 별도의 주파수 발생기를 사용하지 않고 마이크로컨트롤러를 통해 직접 생성하는 방법을 사용하였다. 반송파는 증폭용 트랜지스터를 통해 커플링회로에 실리게 되고 전력선에 전송된다.

ASK(Amplitude Shift Keying)는 구형파의 신호로 복원이 된다.

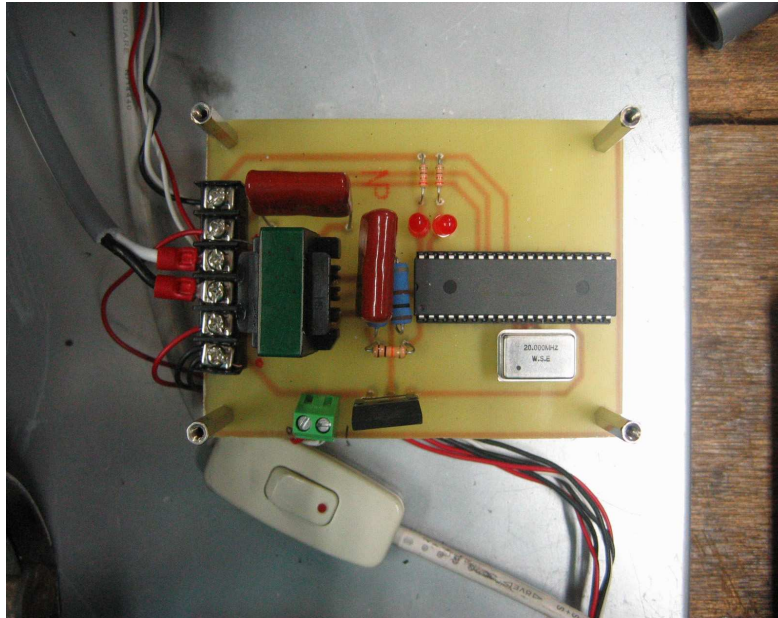


Fig. 4.7 Transmission part of the PLM

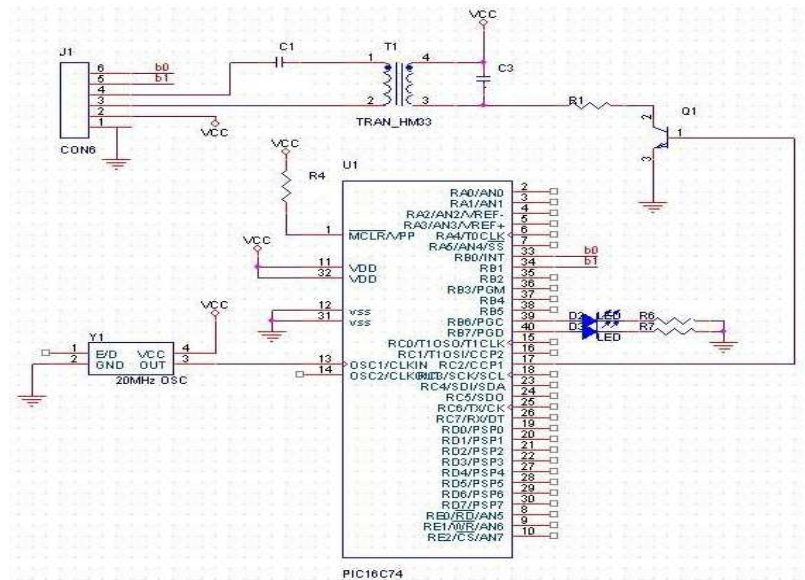


Fig. 4.8 Transmission circuit of the PLM

전력선에 의해 송신된 신호는 커플링회로를 통과해 고대역의 주파수만 남고 저주파는 캐패시터에 의해 제거된다.

Fig. 4.10에서 캐패시터 C2를 삽입하여 직류의 영향을 막고 신호성분만 통과하도록 하였다. 이때 수신부로 전달된 신호의 감쇠를 보완하기 위해 증폭기를 사용하여 전압을 상승시켰고 상승된 전압이 비교기를 통해 구형파의 출력으로 복조된다(2)(3).



Fig. 4.9 Receiving part of the PLM

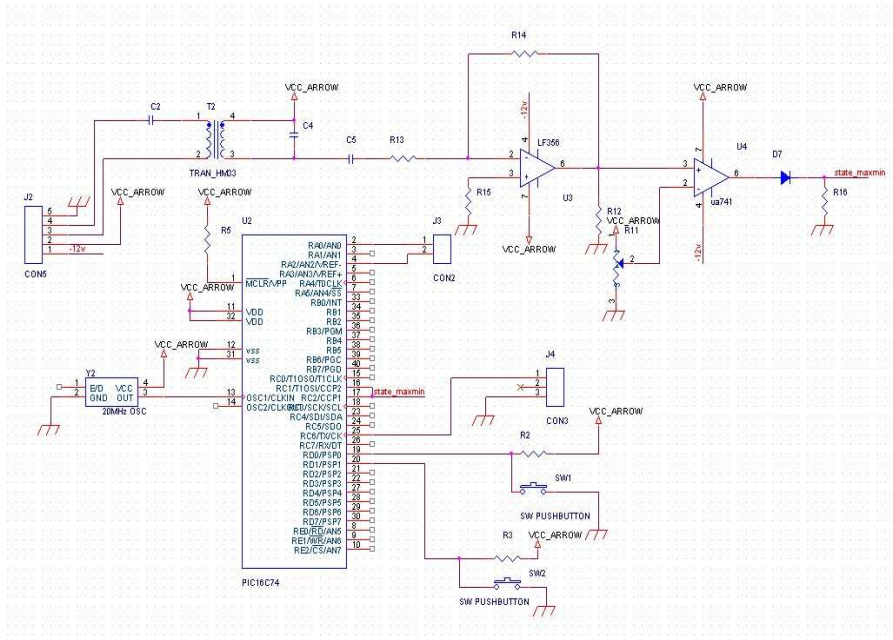


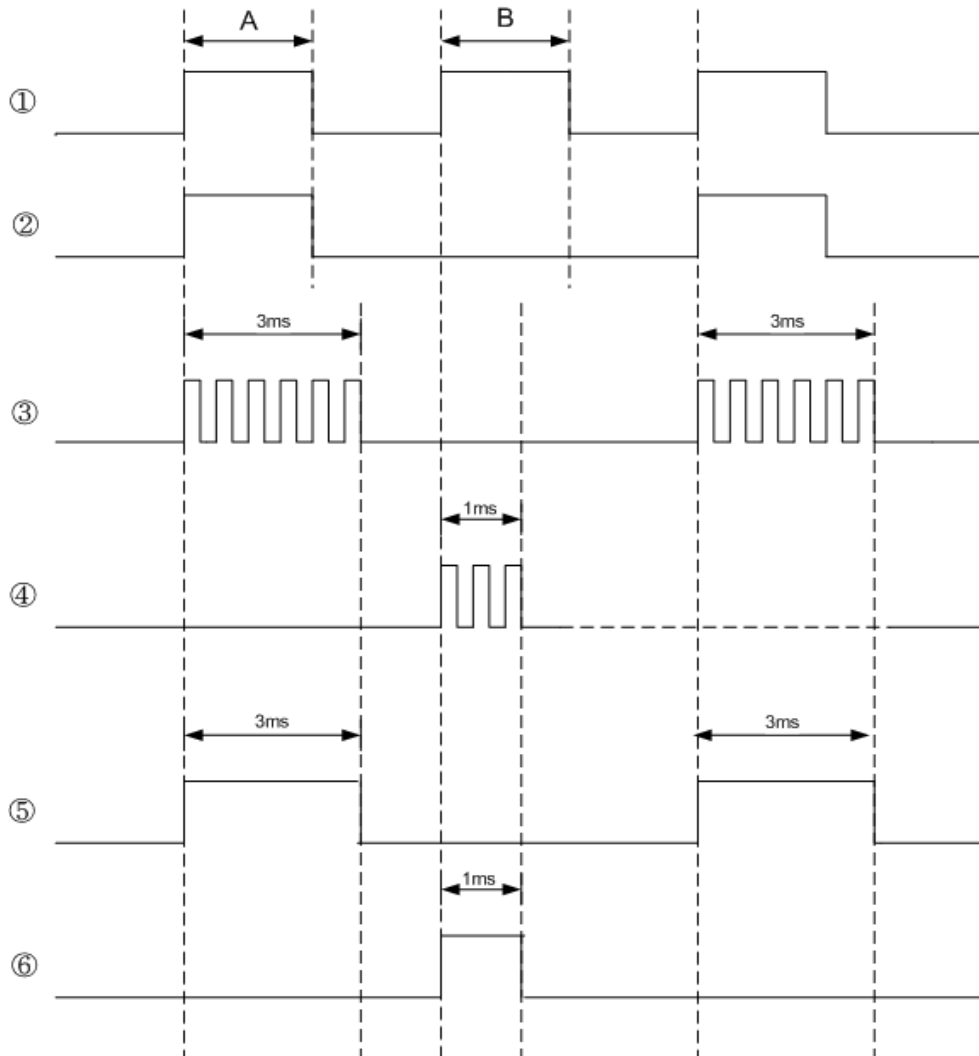
Fig. 4.10 Receiving circuit of the PLM

4.2.4 신호처리부

신호처리부는 CPU, LED, 포토센서로 구성되며 전력선 통신 신호를 발생시키고 전송하는 역할을 담당한다. 이미 상품화 되어있는 전력선통신 기술 적용 제품들에 PLC칩을 사용하지 않고 독자적인 기술로 PIC16F874A를 사용하여 저가격화를 실현하였다.(6)

선박의 프로펠러축에 부착된 포토센서에 의해 엔진 내부의 피스톤 위치를 파악하고 파악된 위치정보는 마이크로프로세서로 입력되어 전력선 통신을 통해 수신 제어부로 전달되며 LED로 그 위치를 파악할 수 있다.

Fig.4.11은 송신부 PIC에 들어가서 제어되어 나오는 신호와 제어된 신호가 수신부 PIC에 들어가는 신호들을 나타낸다.



- ① 위치 포토센서로부터 전송된 압력의 최대, 최소지점 신호
- ② 위치 포토센서로부터 전송된 압력의 최대지점 신호
- ③ 송신부 PIC에서 3ms동안 발생한 캐리어주파수
- ④ 송신부 PIC에서 1ms동안 발생한 캐리어주파수
- ⑤ 수신부 PIC로 3ms동안 들어가는 복조된 신호
- ⑥ 수신부 PIC로 1ms동안 들어가는 복조된 신호

Fig. 4.11 Time chart of the PLM

위치 포토센서로부터 전송된 ①과 ②의 신호가 동시에 High일때(A구간) 최대 압력지점을 나타내고 이때 송신부 PIC에서 3ms동안 ③에 나타나 있는 것과 같은 캐리어주파수를 발생하며 발생된 캐리어주파수는 전력선 모뎀을 통해 수신부로 전달되어 복조된 ⑤와 같은 출력신호가 수신부의 PIC로 들어가 최대 압력지점을 LCD모니터에 나타낸다.

반대로 위치 포토센서로부터 전송된 ①과 ②의 신호가 서로 다를때(B구간) 최소 압력지점을 나타내고 이때 송신부 PIC에서 1ms동안 ④에 나타나 있는 것과 같은 캐리어주파수를 발생하며 발생된 캐리어주파수는 전력선 모뎀을 통해 수신부로 전달되어 복조된 ⑥과 같은 신호가 수신부의 PIC로 들어가 최소 압력지점을 LCD모니터에 나타낸다.

4.2.5 LCD부

변화되는 1 행정상의 압력변화를 수신부측의 A/D 컨버터를 사용하여 아날로그 값을 디지털 값으로 변화하여 마이크로프로세서로 그 값들을 그래프 또는 수치로 표시하였다(9).

제 5 장 실험 및 고찰

Fig. 5.1은 본 실험에 사용하기 위하여 직접 제작한 전력선 모뎀의 전체적인 모습이다. 선박엔진을 직접 실험에 사용하기에 크기와 가격 등 많은 어려움이 있으므로 오토바이용 소형 엔진으로 대체하여 실험하였다. 선박처럼 압력을 잴 수 있는 부분이 따로 있지 않아서 점화플러그를 뽑아내고 그 자리에 압력센서를 연결하였다. 실린더의 압력의 변화는 크랭크축에 손잡이를 연결하여 손으로 돌려 엔진의 압력을 만들어 내어 실험하였다. LCD는 일반적인 320x240 크기의 그래픽 LCD를 사용하여 그래프와 수치들을 쉽게 표현하였다.

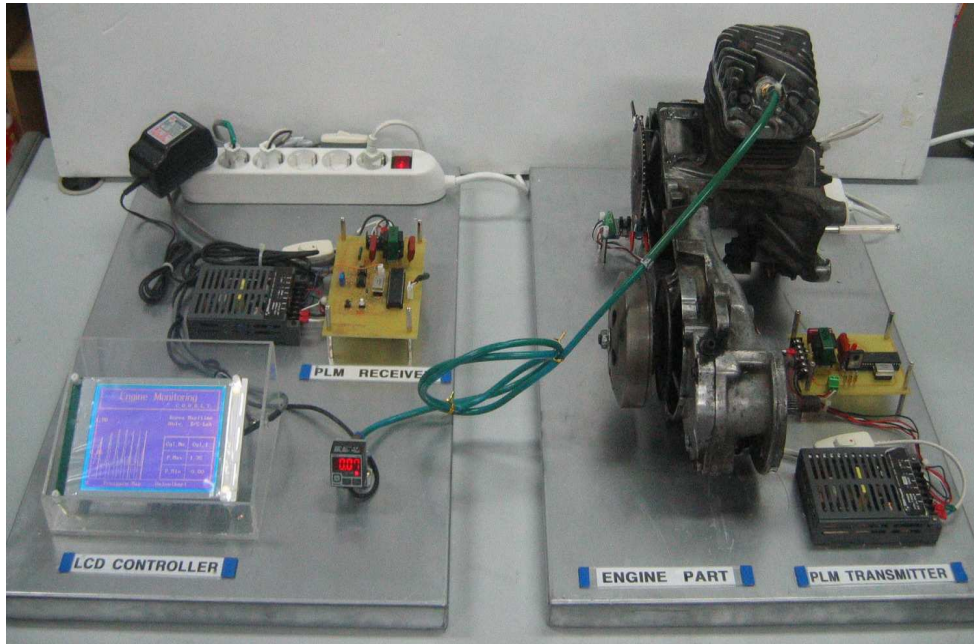


Fig. 5.1 Experimental set-up

Fig.5.2는 마이크로프로세서의 프로그램 순서도를 나타낸다.(9)

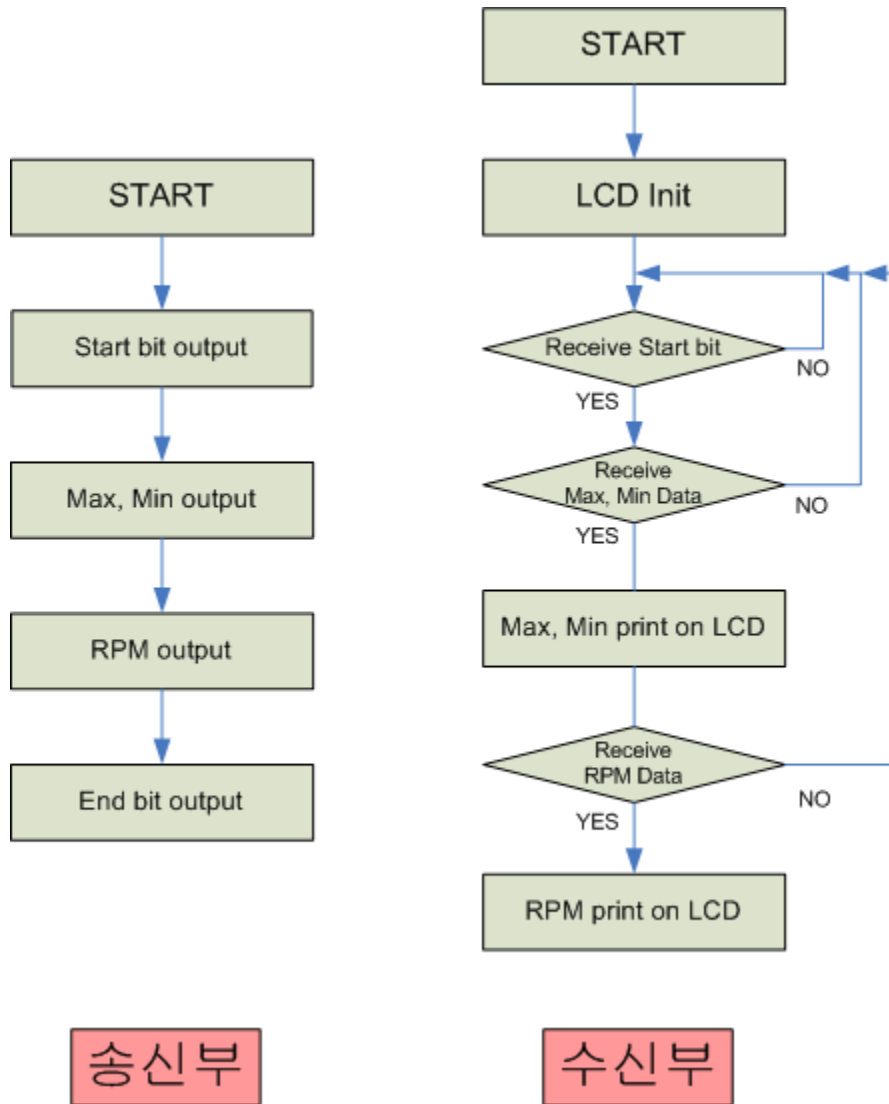
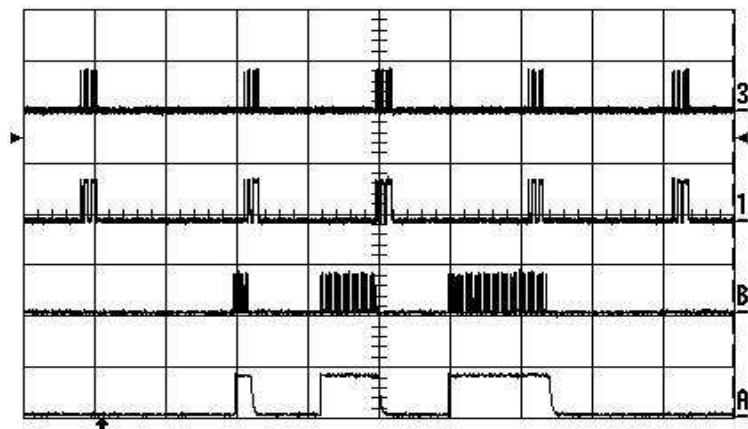


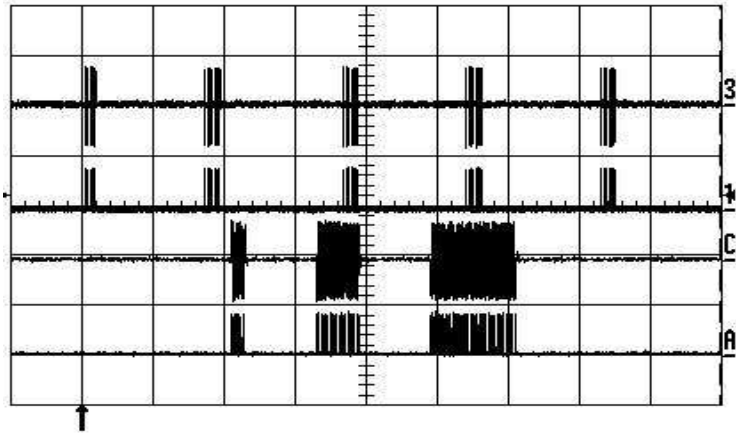
Fig. 5.2 Flowchart of the PLM

먼저 LCD를 초기화하고, 여러 실린더 중 압력을 측정하고자 하는 실린더 하나를 선택하면 선택된 실린더의 압력센서가 실린더의 압력을 측정하여 AD컨버터를 통해 마이크로프로세서로 값을 전달한다. 마이크로프로세서에서 받은 압력값은 그래프로 나타내어지고 전력선 송신부측에서 수신부로 받은 실린더의 위치 최대점 신호와 최소점 위치 신호를 비교하여 그래프에 실린더 최대·최소점을 표시하고 그 때의 압력 최대·최소값을 수치로 표시한다. 그 다음 전달받은 RPM 값을 수치로 나타낸다.



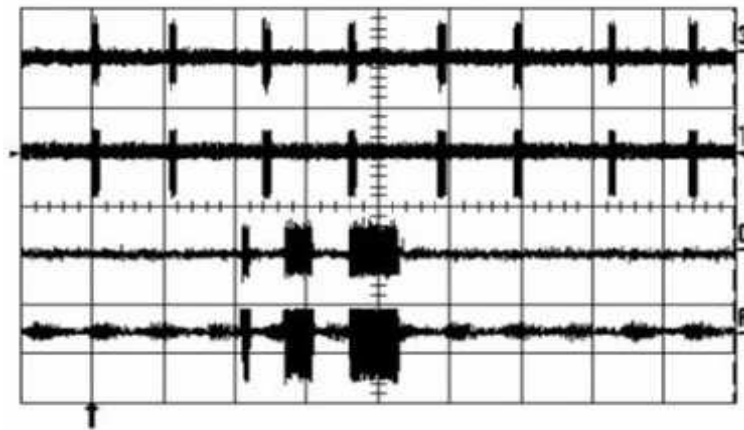
Ch3 : output signal(transmission)
 Ch1 : demodulated signal(receiving part)
 ChB : extension waveform of Ch3
 ChA : extension waveform of Ch1

(a)



Ch3 : LC resonant signal
 Ch1 : microprocessor output waveform
 ChC : extension waveform of Ch3
 ChA : extension waveform of Ch4

(b)



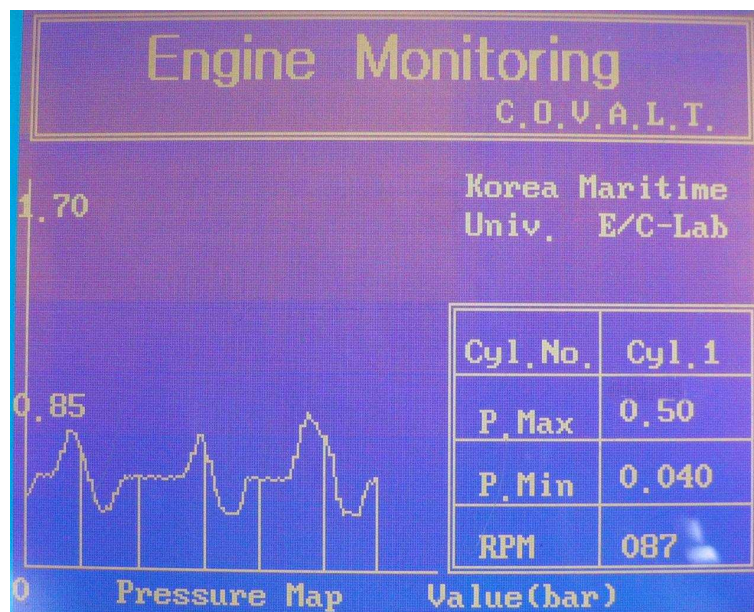
Ch3 : receiving signal(1v/div)
 Ch1 : amplified signal(10v/div)
 ChC : extension waveforms of Ch3
 ChA : extension waveform of Ch1

(c)

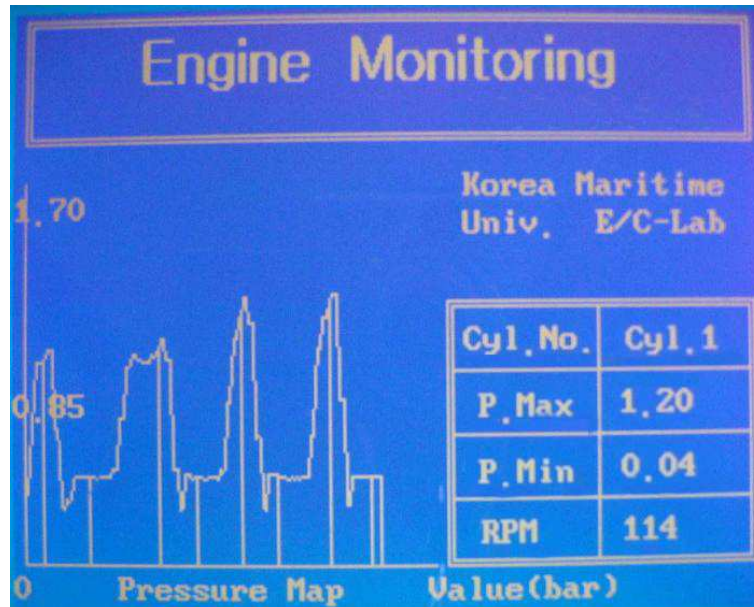
Fig. 5.3 Typical waveforms

Fig. 5.3 (a)의 Ch3은 위치 포토센서로부터 압력의 최대, 최소 지점에 따른 마이크로프로세서에서 생성한 159kHz의 캐리어주파수이고 Ch1은 수신부로 반송주파수가 전달되어 비교기를 통해 구형파로 복조된 파형이다. ChA와 ChB는 각각 Ch1과 Ch3의 파형을 확대한 파형이다.

(b)의 Ch3은 마이크로프로세서에서 생성한 캐리어주파수에 의해 L, C 공진으로 만들어진 전력선 통신용 반송주파수이다. Ch1은 마이크로프로세서에의 캐리어주파수 출력파형이다. ChC와 ChA는 각각 Ch3과 Ch1의 파형을 확대한 파형이다. (c)의 Ch3은 수신부에 전달된 반송주파수 신호이고 Ch1은 수신부로 전달되면서 감쇠된 반송주파수를 증폭시킨 출력 파형이다. ChC와 ChA는 각각 Ch3과 Ch1의 파형을 확대한 파형이다.



(a) Display for low pressure



(b) Display for high pressure

Fig. 5.4 Example of the LCD screen

Fig. 5.4는 실린더 압력과 PLM을 통해 전송된 TDC와 BDC의 값을 보여주는 그래프이다. 실험에 쓰인 엔진의 압력을 임의로 조절해가며 실험하였을 때, 압력에 따라 그래프가 변하며 TDC와 BDC의 그래프상의 위치와 그 값을 보여주는 것을 알 수 있다.

제 6 장 결 론

본 연구에서는 전력선 모뎀을 이용한 선박엔진 모니터 시스템용 모의 실험 장치를 개발하여 선박의 엔진부에 있는 피스톤의 압축 시작점을 검출하는 긴 통신케이블을 사용하지 않고, 선내에 있는 전력선을 이용하여 엔진의 압축 시작점을 측정 가능하도록 하였다. 실제 대형선박의 경우 피스톤의 압축 시작점을 검출하는 지점과 압력을 측정하는 지점간의 높이가 수 미터 정도가 된다. 기존의 방식으로는 TDC와 BDC를 측정하는 엔진의 밑바닥부터 압력을 측정하는 엔진의 윗부분까지 신호선을 연결하여 측정함으로써 인한 케이블의 길이가 10미터 이상이 되어 측정시 케이블의 연결과 이동시 케이블을 끌고 다님으로 인한 불편들이 많이 제기되어 왔었다. 이에 전력선 모뎀을 적용함으로써 10미터 이상씩 되던 신호선을 엔진의 밑바닥 근처에 설치된 콘센트와 엔진의 윗부분에 설치된 콘센트로 대체하여 케이블의 길이가 훨씬 짧아지고 설치하기도 용이하여 기존에 제기되었던 불편함이 줄어들음을 확인할 수 있었다.

앞으로 이 장치의 상용화를 위해서는 상용전원에 실리는 반송주파수의 감쇠를 줄이는 방법과 다양한 잡음의 제거에 대한 연구가 더 진행된다면 더 먼 거리까지 신뢰성 있는 통신이 가능해질 것으로 생각된다. 여기에 콘센트의 전력선 모뎀과 측정장치간에 무선통신 방식을 적용한다면 불편함이 좀 더 사라지고 측정이 훨씬 용이해질 것으로 예상되므로 지속적인 연구와 개선으로 좀 더 편한 계측장치가 만들어질 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) 박종윤, 장목순, “주파수 직접확산(DS-SS) 기술을 이용한 전력선 통신 모델의 개발”, 대한전기학회논문지, Vol.47, No. 7, pp.1023-1030, 1998.7.
- (2) 김용태, “전력선 통신(PLC)을 이용한 난방기기 제어 및 인터넷을 이용한 원격제어 시스템의 개발”, 공주대학교 대학원석사학위논문, pp.3-18, 2002.
- (3) 임재용, “전력선 통신을 이용한 전력 절약기기 시스템 개발에 관한 연구”, 공주대학교 대학원석사학위논문, pp.10-33, 2003. 6.
- (4) H. C. Ferreira, H. M. Grove, O. Hooijen and A. J. Han Vinck, “Power line communications: an overview”, 1996 IEEE AFRICON 4th Vol.2, pp.558-563, 1996.
- (5) Shay William A, 정화자 역, 김영천 공역, “데이터 통신 및 네트워크”, 시그마프레스, pp.133-140, 1999.9.
- (6) 박종현, 주병훈, “전력선 통신용 라인커플러의 개발”, 정보통신 논문집, pp.430-432, 2001.5.
- (7) 전자기술연구회, “전원회로설계마스터”, 「기문사」, pp.138-156, 2003.5.
- (8) 竹内寿太郎 原著, 원종수 역, “電機設計學”, 「동일출판사」, pp237-288, 1996.8.
- (9) "그래픽 한글 LCD-GHLCD 사용설명서", Comfile Technology, pp1-14, 2004.8