

工學碩士 學位論文

전력선 통신을 이용한 선박조명의 멀티
원격 제어시스템 구현

Implementation of a Multi-remote Control System
for Ship's Lighting using a Power Line Communication

指導教授 李 成 根

2007 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

電 氣 電 子 工 學 科

林 玗 廷

本 論文을 林玟廷의 工學碩士 學位論文으로 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 ㉠

2006年 12月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

林 玟 廷

목 차

Abstract

제 1 장 서 론	1
제 2 장 전력선 통신을 이용한 선박조명 시스템 구성	
2.1 전력선 통신의 개념	4
2.2 전력선 통신의 기본이론	7
2.2.1 Front End Skill	7
2.2.2 Channel Coding	8
2.2.3 모델	12
2.3 전력선 통신 송·수신 회로 설계	15
2.3.1 라인커플러	15
2.3.2 수신 회로 설계	16
2.3.3 송신 회로 설계	17
2.4 선박조명 구동회로 설계	18
제 3 장 실험 및 고찰	
3.1 전체시스템 구성	23
3.2 신호처리부	25
3.2.1 중앙제어부	25
3.2.2 조명장치전원부	28
3.3 실험과형	31
3.3.1 전력선 통신	31

3.3.2 선박조명 제어	35
3.4 원격제어 프로그램	37
제 4 장 결 론	40
[참고문헌]	41

Implementation of a Multi-remote Control System for Ship's Lighting using a Power Line Communication

by Lim Hyun Jung

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

ABSTRACT

This paper deals with an implementation of the multi-remote control system of ship's lighting using power line communication to monitor failures, currents, voltages and power consumption of lightings facilities away from the main control center. Therefore routine maintenance is necessary to operate efficiently. However crews maintain regularly a long term and they judge it their eyes. Therefore there is some problem that many number of a lighting, it is many possible error of maintenance's data, and it spend much of time. Therefore the monitoring will be implemented in the main control center where can easily be maintained a state of lighting. The method of communication is the serial communication as RS-232 and RS-485, however this paper will be applied to power line communication that is issued in telecommunications market.

In the power line communication, data is modulated and it is carried in power line. The modulation of signal has several methods as amplitude shift keying(ASK), frequency shift keying(FSK), phase shift keying(PSK), however this paper will be using the ASK. The status data of ship's lighting is modulated and demodulated when communication , the circuit is designed not to affect noise.

The design of remote control system is using Visual C++ in order that a crew easily knows the status of ship's lighting. It is displayed monitoring program when a crew selects ID of lighting and selected lighting is sent current, voltage and power. Each of status data is divided and stored by program, and the remote control program is displayed when a crew wants data of it. And the main control center is lighting control as frequency control by controlling input voltage to the range of 30[%] by adjusting pulse frequency of the half bridge(HB) inverter. And communication data is decided an error according to protocol. This paper is confirmed that the status of ship's lighting can be controled by using a power line communication.

제 1 장 서 론

선박은 낮에도 채광이 힘든 폐쇄형 구조로 되어있다. 이를 보완하기 위한 장치인 선박조명은 선원이나 승객들이 편하게 활동하기 위한 필수조건이다. 선박조명의 관리가 필요한 이유는 첫째, 선원노동에 있어 선박은 육상과 달리 조명에 의해 제약을 받는 경우가 많으므로, 주간에도 선창내에 조명을 필요로 할 때가 많다. 따라서 조명의 부족, 조명기구의 손상 등이 있을 경우는 조명기구의 증설과 보수 등이 뒤따라야 한다. 둘째, 화물선박 일 경우 적재화물 종류에 따라 낮은 와트의 조명이라도 화재발생 가능성이 높다^[1]. 셋째, 선박조명은 선박내의 발전기에 의해 가동이 된다. 따라서 효율적인 관리가 필요하다.

위와 같은 이유 중 선박조명의 가장 중요한 점은 선박 구조의 특성상 조명이 없으면 시각이 잘 확보되지 않는다는 점이다. 따라서 선박조명의 안전성 및 상태의 상시 점검이 중요하다. 하지만 선박조명은 선원의 순회점검으로 관리하고 조명의 이상여부를 시각적으로 판단하여 수리 및 교체하게 된다. 이러한 방법으로 조명의 상태를 파악하게 되면, 선박내 조명의 이상시 신속한 대처가 이루어지기 어렵다. 또한 점검 순회시기가 길어지며, 조명의 상태의 정확성이 낮아지게 된다.

따라서 중앙제어부에서 원격제어 시스템으로 관리를 하게 되면, 선박조명의 효율적이고 체계적인 관리가 가능하게 된다. 중앙 집중 관리방법을 사용하게 되면, 이상발생시 신속한 대처가 이루어질 수 있다.

선박조명의 상태데이터를 전송하기 위해, 여러 통신방법 중 현재 각광받고 있는 전력선 통신을 사용하였다. 우리나라는 전력선 인프라가 대단히 잘 구축된 나라이며, 대다수 가정이나 사무실의 구석구석에 전원 콘센트가 시공되어 있기 때문에 가정이나 사무실 내에서 이러한 전원 콘센트에 장치

를 뽑는 것만으로 언제 어디서든 네트워킹이 가능하다. 특히, 가정이나 사무실내에서 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 일부구간에서만 사용하고 있다. 최근에는 일부 기업에서 초고속 데이터 통신용 전력선 통신모뎀을 사용하고 있으며, 고속 전력선통신망 기술을 이용한 인터넷 시범마을을 구축하여 고속 인터넷 시험을 수행하였다. 위의 특징을 가지고 있는 전력선 통신의 가장 큰 장점은 통신케이블 설치를 하지 않고, 기존의 전력선을 이용하기 때문에 비용의 절감과 설치의 간편함을 기대할 수 있다. 전력선 통신은 데이터를 상용전원 60[Hz]주파수와 부딪히지 않도록 변조해야 한다. 디지털 데이터인 0과 1을 아날로그 신호로 변환하는 방식인 디지털 신호 변조 방식에는 ASK(Amplitude Shift Keying), FSK(Frequency Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying)가 있다. 본 논문에서는 회로가 간단하며 경제적인 ASK방식을 사용하여 통신을 하였다.

본 논문에서는 조명의 원거리 실시간 관리가 선박에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 점을 감안하여, 향후에 선박에 적용이 가능할 것으로 예상되는 시험용 선박조명시스템을 제작하였으며, 이들 장치로부터 형광등의 전류, 전압, 전력과 마이크로프로세서 제어장치의 동작 등을 제어실에서 실시간으로 관찰하고, 이상발생시 경고창을 표시하게 하여 조명관리자가 신속하게 대체할 수 있도록 하였다.

그리고 원격제어 시스템의 모니터링 프로그램은 Visual C++를 이용하여 각 선박조명마다 부여된 ID로 조명의 상태데이터를 구분하여 저장하며, 사용자가 특정 선박조명의 상태를 요구할 시 화면에 보여주도록 하였다.

그리고 선박조명의 전력제어 및 자동제어를 위해 전압레벨을 수시로 검출하고 그 결과를 마이크로세서로 전달하여 항상 일정전압 레벨을 유지하도록 충전하며, 주위 환경에 따라 광범위하게 전력이변이 되도록 하는 디지털식 인버터 시스템을 제작하였다.

본 논문은 2장에서는 전력선통신의 개념과 송·수신부 회로 설계, 전력제어를 위한 인버터 설계에 대해 기술하고 3장에서는 실험 및 파형을 나타내었다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

제 2 장 전력선 모델

2.1 전력선 통신의 개념

전력선 통신(Power Line Communication, PLC)은 전력선을 통신 매체로 사용하는 방식으로 전기가 공급되는 전력선을 활용하여 데이터를 실어 나르는 디지털 데이터 통신기술을 의미한다. 전력선 통신은 크게 22[kV]의 고압 송전망을 이용하는 방식과 110[V]/220[V]급의 일반 수용가 전력망을 사용하는 방식으로 구분이 되며, 특히 저압의 수용가 망에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

전력선 통신의 원리는 구리선을 이용한 초고속데이터통신(ADSL)과 유사한데, 즉, 전력은 60[Hz]의 저주파 파형으로 전달이 되고 데이터는 해당 매체가 수용할 수 있는 주파수 대역폭에서 고주파 대역 2~15[MHz]으로 전송하는 원리이다.

전력선 통신의 기원은 1920년부터 시작되는데 X10 표준방식으로 60[Hz]의 주파수 대역을 이용하여 전원이 연결되어 있는 장치를 on/off 할 수 있게 하는 기술에서부터 출발하였다. 이후 1998년까지 저속 데이터를 전송하여 제어 또는 자동화를 위한 특별한 용도로만 사용되어 왔으나 1999년 들어 본격적으로 기술개발이 진행되고 1[Mbps]급의 중·고속데이터 통신에 성공하였으며, 현재 적합성 검증이 진행되고 있다. 전력선통신이 활용될 수 있는 분야로는 음성통신, 고속접속서비스, 홈네트워크, 제어 및 자동화, 원격 검침 등이 있으며, 특히 향후 주력 시장을 홈네트워크 및 홈오토메이션에 초점을 두고 연구 중에 있다^{[2]~[5]}.

각종 통신 및 방송 서비스에 대한 전파의 혼신을 막기 위해서 기존까지 이용 대역이 450[kHz]까지의 저주파만 사용하도록 정해져 있었다. 그러나

정보통신부는 2004년 10월부터는 전력선통신을 허용하겠다고 밝히고, 또 450[kHz]이하의 저주파로만 제한돼왔던 이용주파수 대역도 30[MHz] 이하까지 확장키로 결정함에 따라 전력선통신이 활성화될 것으로 보인다. 전력선 통신은 기존의 전력시설을 활용하기 때문에 비용이 적게 들고 설치기간이 없거나 매우 짧아 새로운 통신망을 구축하는 것보다는 비용측면에서 효율적이다. 또한 전력선 통신은 전 세계 대부분의 가정에는 최소한 하나 이상의 전원 플러그가 설치되어 있어 이를 통해 어떠한 통신기술보다 이용자들이 익숙해져 있어 사용이 용이하다. 그리고 전력선 통신은 단일 인프라를 통해 음성, 영상, 데이터 및 기타 서비스를 보다 용이하게 통합하여 서비스를 제공할 수 있어서 통신, 전력 및 기타 부가서비스를 하나의 사업자로부터 일괄적으로 제공받고자 하는 소비자를 보다 효과적으로 공략할 수 있게 된다. 게다가 통합서비스를 통한 마케팅 및 고객 유지관리를 위한 비용의 절감, 일괄적인 요금청구 및 이용자 보호 등을 동시에 달성하여 규모의 경제를 실현할 수 있다는 장점이 있다.

반면에 가입자 접속을 위한 통신선로로서 제한된 전송능력으로 인해 통신가능 거리에 대한 제약이 존재한다. 그리고 가변적이고 높은 감쇠현상, 가변 임피던스 레벨잡음, 주파수 선택적 페이딩 채널의 특성, 전력선 배치의 구조적 문제로 인한 가입자 증가시의 신호처리 장애 또는 호 폭주시 문제처리 능력 미비 등 보완이 필요하다는 단점이 있다.

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 [Mbps]로 구분되며, 이에 따라 저속은 홈 네트워킹의 제어용으로, 중속은 홈 네트워킹의 데이터 통신용으로, 고속은 외부망 액세스용으로 통신 목적을 나눌 수 있다.

저속 전력선통신기술은 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 전력선통신과 전력선만을 통해 인터넷 망에 연결해 네트워크 구성의 비용 절감을 꾀하는 고속 전력선통신 액세스 기술도 관심을 받고 있다. 그러나 아직 중속과 고속 전력선통신 기술은 시작 단계로 과부하에 의한 전파방해, 시시각각 변하는 채널 특성, 전기제품의 노이즈와 신호왜곡현상, 기존 무선주파수 대역과의 상충 등의 문제점들이 남아 있다.

2.2 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, 모뎀 등이 있다.

2.2.1 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.

- ① 트랜스포머의 권선에 변화를 주어 커플러의 특성을 가변 할 수 있도록 하는 방식
- ② 밴드패스 필터링과 임피던스 매칭 기능을 별도의 기능 블록으로 구현하여 설계를 용이하게 하고 각각의 성능을 향상시키는 방식
- ③ 송신과 수신 모드별로 서로 다른 임피던스를 갖도록 모드를 바꾸는 방식

④ 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.

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

(i) 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 발생하는 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[Hz]에 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^{[3]~[4]}.

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 수시

로 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.

(ii) 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 (1.1)로 나타낼 수가 있다^{[2]~[4],[6],[7]}.

$$|z| = 0.005 \times f^{0.63} [\Omega] \quad (1.1)$$

식 (1.1)로 1[MHz]와 500[kHz]의 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.

(iii) 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 전송특성과 같이, 주파수가 증가하면 잡음에 대한 전달특성도 감소하는 경향을 보인다. 또한 주파수에 따라 잡음레벨이 변화하는 특성을 보이고 있다 [3],[4],[8]

전력선에서 야기되는 잡음원으로는 벼락, 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 [3],[4],[10]

2.2.3 모뎀

송신측에는 디지털 데이터를 아날로그신호로 변환하는 변조(Modulation)과 수신측에서는 이를 역변환시키는 복조(Demodulation)가 있는데 이를 모뎀(Modem)이라 한다. 디지털 데이터인 0과 1을 아날로그 신호로 변환하는 방식에는 ASK, FSK, PSK가 있다.

신호의 변·복조 기술로 열악한 전력선 채널특성을 극복하고, 전송 속도의 향상을 도모하기 위한 디지털통신 방식으로 ASK, FSK, PSK가 있다.

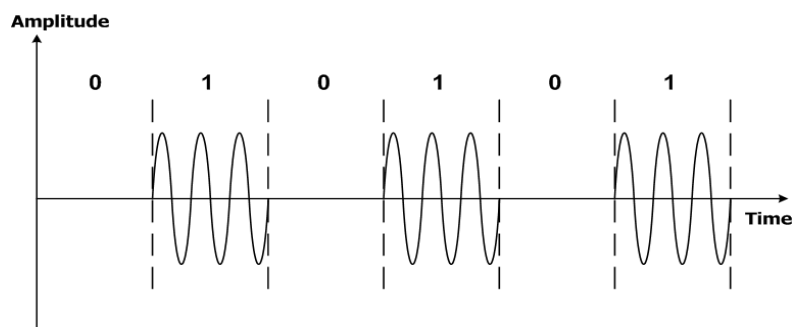


그림 2-1 ASK변조

ASK(Amplitude Shift Keying)방식은 진폭변이변조이다. 일정한 주파수, 진폭의 교류파형을 on/off함으로써 디지털신호를 아날로그신호에 의해 반송하는 방식이다. ASK 방식은 회로가 간단하여 경제적이며, 전송대역을 유효하게 이용할 수 있다. 전송로가 절단되면 수신신호는 0이 되고, 전송로에서 발생한 잡음이나 레벨 변동에 약한 특징이 있다. 그림 2-1에서 볼 수 있듯이 신호가 '0'이면 교류파형이 off가 되고 '1'이면 on이 된다. 이 변조의 특징은 1200[bps] 이하의 저속, 비동기 데이터 전송에 이용되고 변조기술에 거의 사용되지 않으나 복합 변조기술을 이용하는 진폭 위상 변조

에만 사용된다.

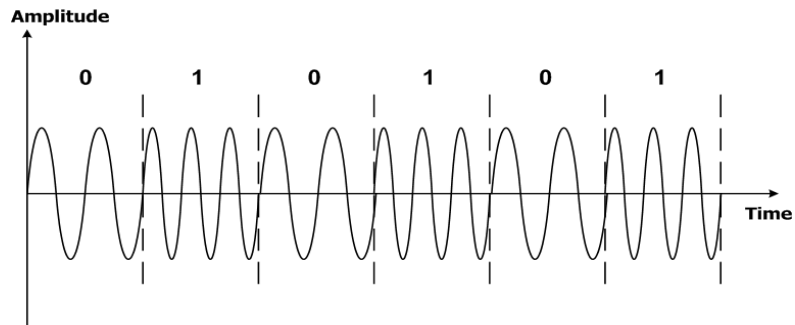


그림 2-2 FSK변조

FSK(Frequency Shift Keying)방식은 주파수편이변조이다. 교류파형의 진폭을 일정하게 유지하고, 높고 낮은 두 가지의 주파수를 사용해 각각의 디지털신호를 대응시키는 방식이다. 보통, 높은쪽 주파수 '0', 낮은쪽 주파수 '1'로 정한다. 그림 2-2에서 확인할 수 있다. 잡음이나 레벨 변동에 대해서도 안정성이 있고, 회로 구성이 비교적 간단하며, 신호의 반복변화가 빠른 고속전송에 한계가 있다. 2400[bps] 이하 저속, 비동기모뎀(asynchronous modem)에 주로 사용한다. 구성이 비교적 간단하며, 신호의 반복변화가 빠른 고속전송에 한계가 있다.

PSK(Phase Shift Keying)방식은 위상편이변조이다. 주파수가 일정한 교류파형을 발생시켜 놓고, 입력신호의 변화에 따라 그림 2-3와 같이 전송할 데이터가 '0'일 경우에는 반송파의 위상을 180도 변화시키고, '1'일 경우 90도 변화시켜 정보를 비트 단위로 하나씩 전송한다. 위상 변이 변조는 절대 위상편이 변조, 상대 위상편이 변조 두가지 기술이 있다. 이 변조 기술은 1200, 2400 및 4800[bps]의 동기모뎀에 주로 사용된다.

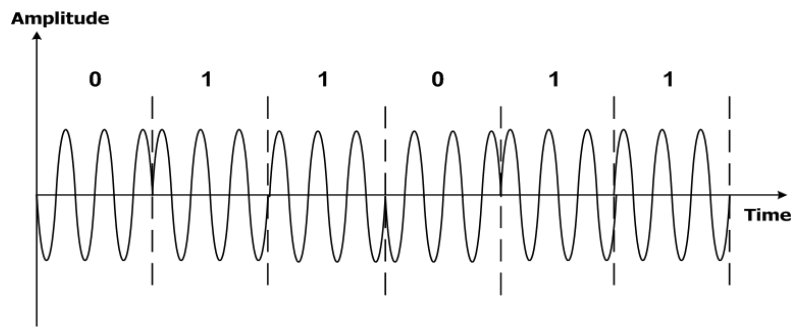


그림 2-3 PSK 변조

2.3. 전력선 통신 송·수신 회로 설계

2.3.1 라인커플러

전력선으로 통신을 하기 위해서는 모뎀과 전력선을 연결시켜주는 신호 결합장치의 역할이 중요하다. 전력선에 실려있는 전원 신호와 데이터 신호 중 데이터 신호만을 필터링하여 통과시키고 전원신호는 차단하는 역할을 해 주어야만 한다. 또한 전력선이 가지는 넓은 대역의 노이즈에 대한 필터링 동작을 고려하여야만 하며 외부로부터의 스파이커나 과전압으로부터 내부 회로를 보호할 수 있어야한다.

변압기 1차측에 연결되어 있는 캐패시터는 전원신호에 대해서는 큰 임피던스로 작용하고 정보신호에 대해서는 작은임피던스로 작용하여 모뎀측으로 전원신호가 들어가지 못하도록 차단하는 역할을 한다. 반면에 변압기 1차측에의 L값은 정보신호에 대해서는 어느정도의 임피던스를 가짐으로써 변압기 2차측에 있는 모뎀으로 신호를 전달하게 된다. 그림 2-4는 라인커플러의 일반적인 형태이다.

인덕턴스와 캐패시터의 직렬연결로 고대역 통과 필터의 형태를 가지게 된다^{[11]~[13]}.

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \quad (2.1)$$

식(2.1)과 같이 인덕턴스와 캐패시터의 값에 의해서 차단주파수가 결정된다. 캐패시터는 0.1[uF]를 사용하였고, 본 논문에서는 250 ~ 300[kHz]의 차단주파수가 사용되도록 하여 변·복조기에 나오는 데이터신호를 전력선으로 실어보내게 하였다.

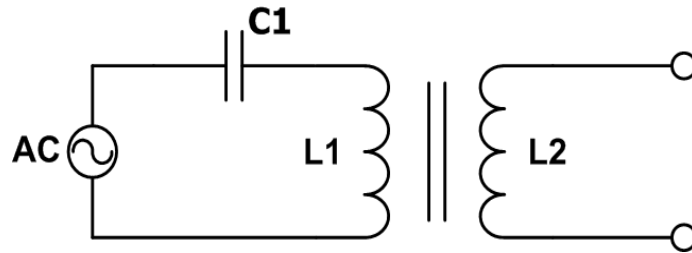


그림 2-4 라인커플러

2.3.2 수신회로 설계

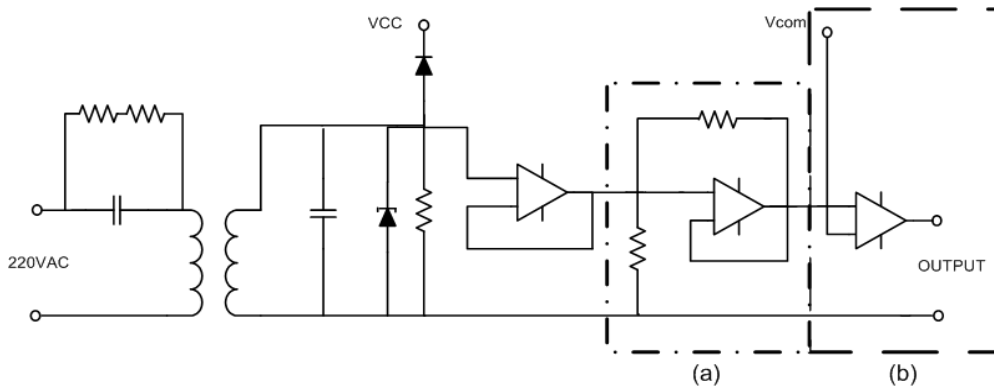


그림 2-5 수신부 회로

그림 2-5은 수신부회로 이다. 수신부에서는 라인커플러를 통해 들어온 데이터 신호의 통신신호로 복조가 이루어진다. 이를 위해 데이터 신호의 잡음제거 및 감쇄된 신호의 증폭의 과정을 통해 안정적인 신호가 되도록 회로를 구성하였다. (a)부분은 OP앰프를 이용하여 선로임피던스에 의해 감쇄된 수신신호를 증폭하였고, (b)부분은 (a)부분의 증폭과정을 지나올 때, 잡음과 함께 증폭이 되었으므로 신호와 잡음을 분리시키는 과정을 한다. 잡음은 신호보다 크기가 작은것을 감안하여 비교기를 사용하였다. 이렇게 복조된 신호는 중앙제어부의 원격제어 프로그램과 전원장치부의 마이크로

프로세서에 전달된다.

2.3.3 송신회로의 설계

송신부회로는 전력선 수신부 회로처럼 고역 통과 필터와 신호를 전력선에 결합시키기 위해 변조하는 회로로 구성되어 있다. 송신 펄스 트랜스는 임피던스를 최소로 하여 감쇠 없이 신호가 전력선에 실리도록 설계되어야 한다. 그림 2-6에서 보는 바와 같이 송신회로를 구현하였다. 통신데이터는 ASK변조방식으로 데이터를 부호화한다. 반송주파수와 데이터를 '0'과 '1'일 때의 아날로그 신호로 변조하게 하였다. 통신데이터는 데이터가 없으면 '1'이고, 데이터가 있으면 '0'이다. 통신을 하지 않을 경우, 기본상태가 '1'이 되어 반송주파수와 결합되어 항상 변조가 된다. 이를 방지 하기위해 데이터를 반전시켜서 데이터가 있을 경우에만 변조를 하여 통신을 하도록 하였다. 트랜지스터를 이용하여 인덕턴스와 캐패시터에 신호를 인가한다. 5[V]의 신호는 감쇄될 경우가 크기 때문에 증폭을 하여 신호가 안정적으로 수신부에 도달할 있도록 송신부를 설계하였다^[10].

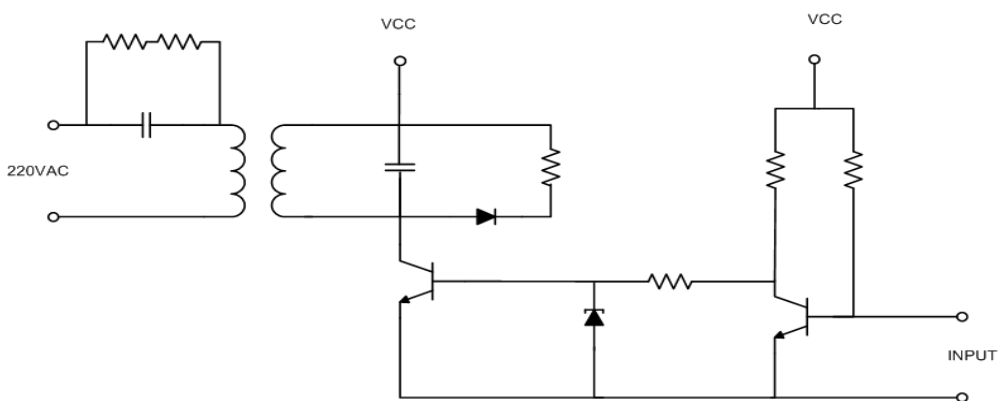
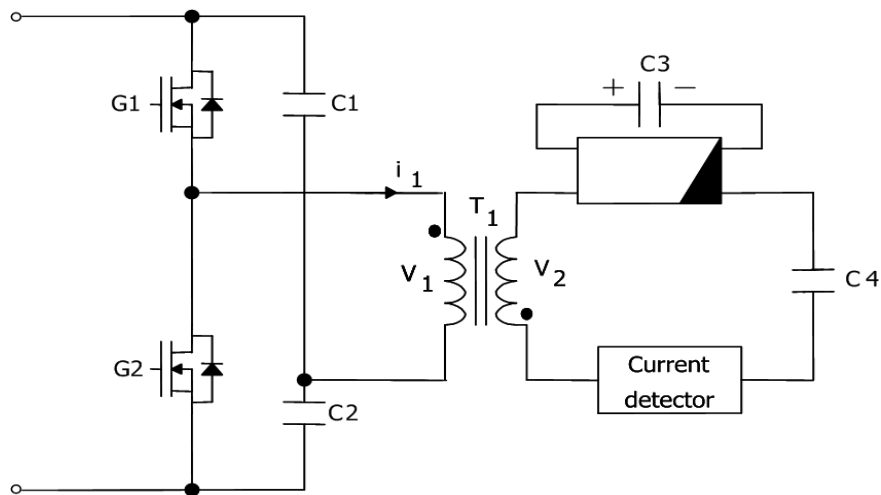


그림 2-6 송신부 회로

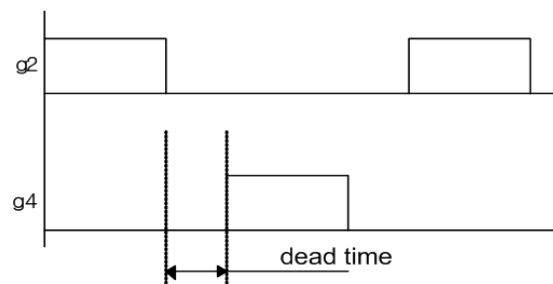
2.4 선박 조명 구동회로 설계

그림 2-7은 선박조명을 구동하기 위해 제안한 HB(Half Bridge) 인버터 회로이다. DC 12[V] 전원을 이용하여 교류 70-80[V]의 램프를 구동한다 [14],[15].

HB 인버터는 입력 전압 분할용 커패시터 C_1 및 C_2 , 구동용 스위칭소자



(a) HB inverter



(b) 게이트 제어파형

그림 2-7 HB 인버터 및 게이트 펄스

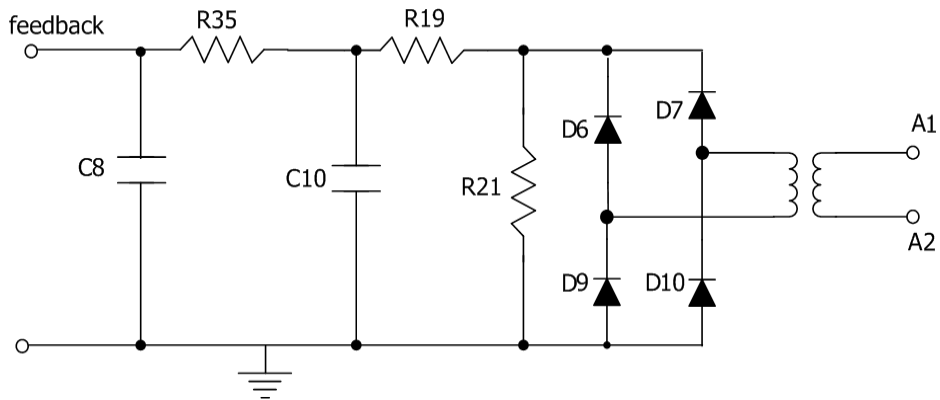


그림 2-8 전류 Feedback 검출용 회로

G1 및 G2, 승압용 변압기 T_1 으로 구성되고, 변압기 2차측에 나타난 그림 2-8과 같은 전류 검출용 필터가 삽입된다.

제안된 HB 인버터 회로를 동작 모드별로 설명하면 아래 그림 2-9와 같다.

1) 모드 1 :

G1의 turn on으로 시작되며, 변압기 주 전류 i_L 이 음의 방향으로 증가하고, 2차측 전압은 음의 방향이 된다. 이때 상하 2개의 커패시터 C1과 C2에는 각각 인버터 입력전압의 절반이 충전되어 평균 6[V]의 전압이 된다.

2) 모드 2 :

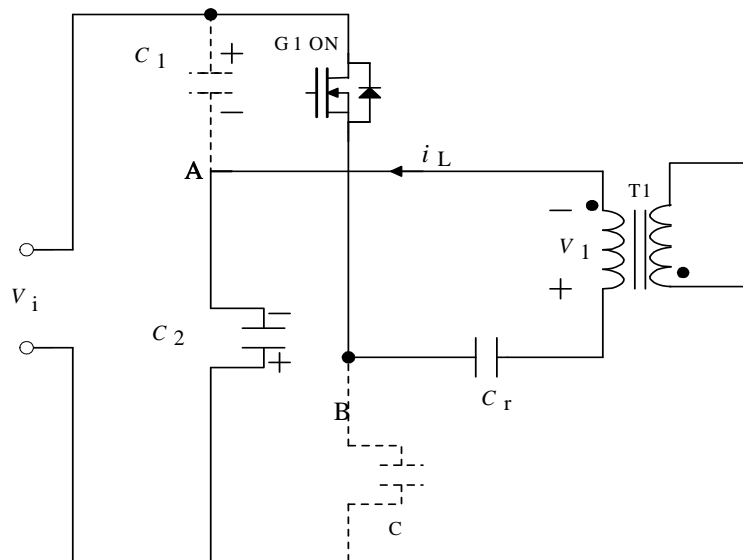
G1가 turn off 되고, C_1 양단전압 V_{C1} 는 전원전압 V_i 까지 충전되며, C_2 양단전압 V_{C2} 는 방전하게 된다. 변압기 1차 전류 i_L 은 0으로 감소하게 되고, 2차 측에 형광램프의 발진전압 이상으로 형성되어 램프가 발진을 시작하게 된다.

3) 모드 3 :

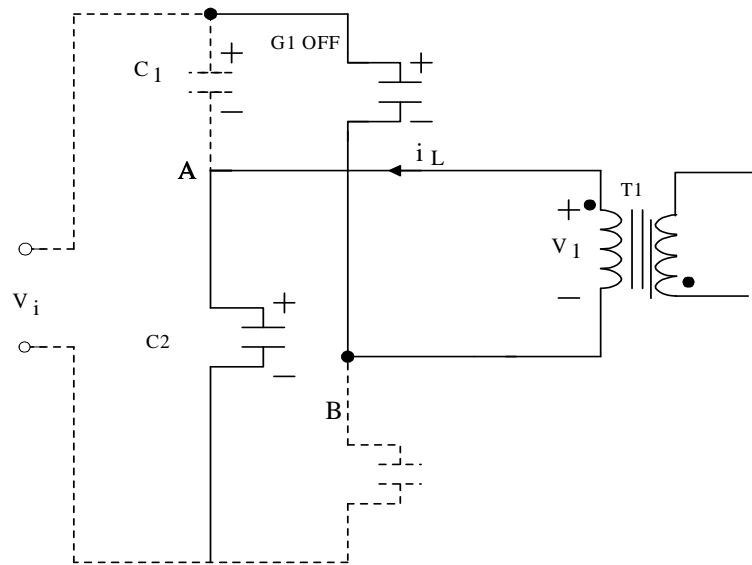
다이오드 D_2 를 통해 전류 i_L 이 환류 하는 구간이며, 다음 G2 스위칭 소자가 영 전압 하에서 turn on이 될 수 있는 조건을 만들어 준다.

4) 모드 4 :

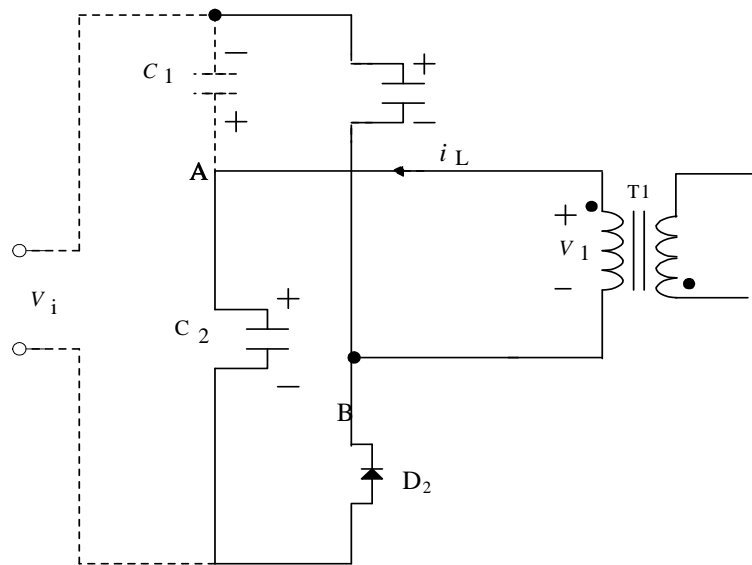
G2가 turn on되고, 변압기 1차 전류는 양의 방향으로 상승하게 되고, 2차측 부하전류는 계속하여 흐르게 된다.



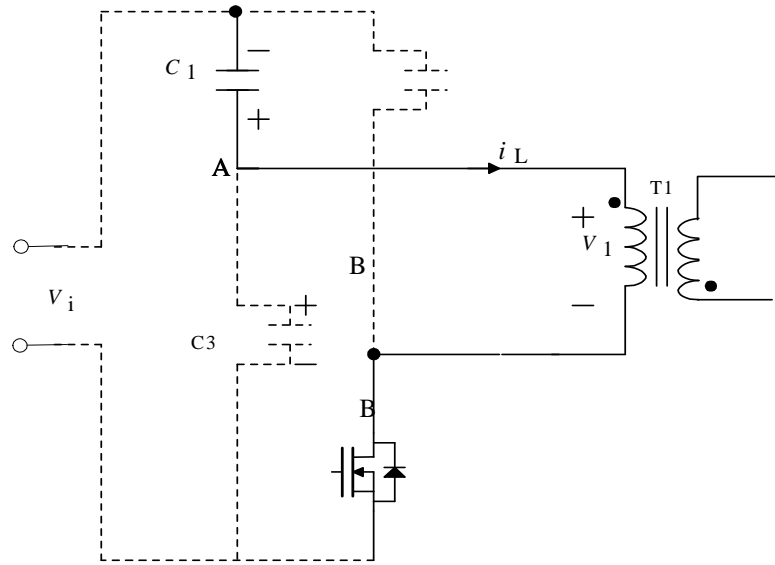
(a) 모드 1



(b) 모드 2



(c) 모드 3



(d) 모드 4

그림 2-9 HB 인버터의 모드별 동작제어

제 3 장 실험 및 고찰

3.1 전체 시스템 구성

그림 3-1은 원격제어시스템의 전체 블록도이다. 중앙제어부와 조명장치부로 이루어져 있다. 중앙제어부는 선박내 조명장치를 관리하는 Visual C++으로 작성한 원격제어 프로그램과 ASK방식으로 구성된 전력선 모뎀으로 이루어져 있다. 그리고 조명장치부는 HB inverter로 구성된 조명전원장치부, 전력선 모뎀으로 이루어져 있다. 중앙제어부에서는 주기적으로 각각의 조명장치부의 상태데이터를 받아서 원격제어 프로그램에 표시하고, 비상시 경고창을 띄어 조명 관리자가 알기 쉽도록 하였다. 조명장치부에서는 중앙제어부에서 보낸 명령에 상태데이터를 전송하거나 전력제어를 한다.

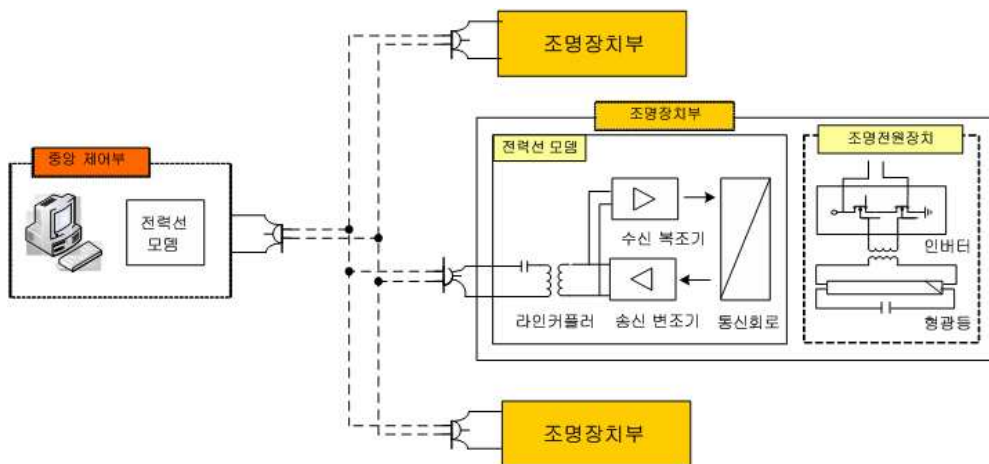


그림 3-1 전체시스템 블록도

그림 3-2는 본 논문에서 사용한 실험장치이다. 실험용 부하는 20[W]용

형광등, 전력선 통신 실험 거리는 100[m]이다. 사용한 장비로는 전류 측정장치(TM503A, Tektronics), 오실로스코프(LT344, Lecroy) 등이 있다. 전력선통신부 라인커플러에는 페라이트 코어를 이용한 변압기가 사용되었다. 페라이트 코어의 경우 낮은 와전류손실 때문에 고주파(10[kHz] 이상)에서 사용되어지는 코어이다.

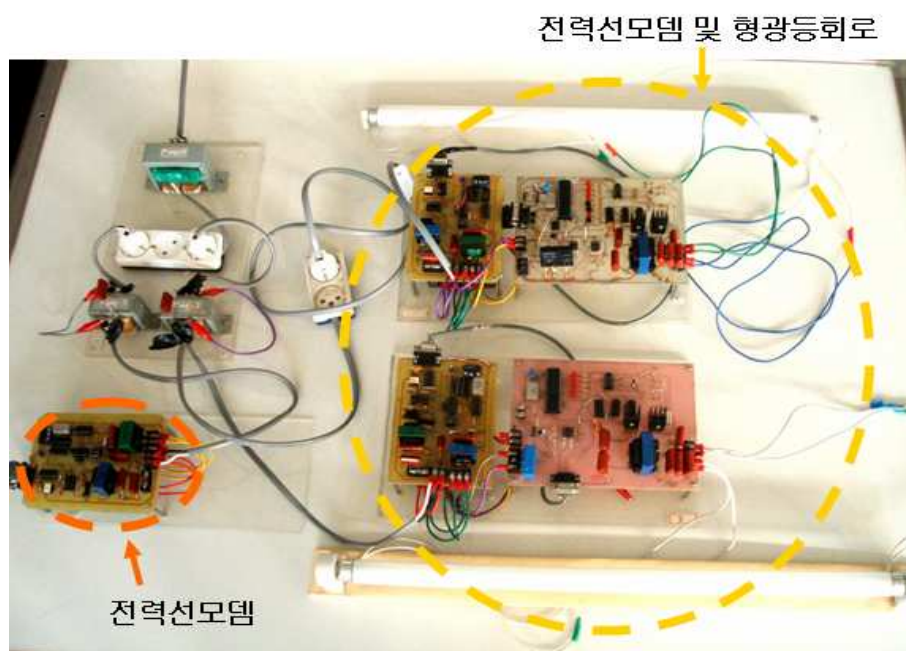


그림 3-2 실험장치

3.2 신호처리부

3.2.1 중앙제어부

중앙제어부에서는 선박내의 조명을 통합적으로 관리하는 역할을 한다. 전력선 통신을 이용해 중앙제어부에서 요청이 있을 때에 할당된 시간 안에 선박조명시스템에서 정보를 전송하는 방식을 채택 하였고, 조명의 상태이상 보고는 기본적인 데이터전송보다 우선순위를 두었다.

중앙제어부의 역할은 선박조명의 상태데이터를 주기적으로 받아들여 표시를 하고, 이상시 경고창을 띄운다. 그림 3-3은 중앙제어부의 감시 프로그램 순서도이다. 각 조명장치는 설계당시 관리자가 부여한 ID와 설치장소에 따른 중요도를 설정하게 된다. 각 조명장치부는 할당된 ID에 요청이 있을시, 자신의 전류, 전압, 전력의 상태정보를 전송하게 된다. 파일에 저장된 정보로 얻어진 ID를 통해, 원격제어 어플리케이션에 추가된 타이머에 설정된 주기 마다 한번씩, 정보를 요청하게 된다. 만약 정보 요청이 있었으나 조명장치부에서 정보가 없을 경우, 중앙제어부에서는 일정시간이 지나면 다시 해당 조명장치부에 상태데이터를 요청한다. 조명장치부에서 상태데이터를 보내면 어플리케이션에 표시를 하고, 만약 정보가 수신되지 않으면 위와 같은 단계를 2번 반복한 후, 정보 응답이 있으면 이상 없음으로 간주되고, 응답이 없으면 전력선 통신 모듈 및 라인의 이상으로 예상하여 원격제어 어플리케이션에 조명 관리자의 수리를 요청하는 경고창이 뜨게 된다.

그림 3-4은 선박조명의 현재 정보나, 지난 상황에 대한 전체 정보를 얻기 위한 정보 처리 순서도이다. 전력선의 송신·수신의 선이 따로 되어 있지 않기 때문에 같은 통신선에서 데이터의 충돌로 인해 전송오류가 생길

가능성이 많다. 중앙제어부에서 주기적으로 명령을 보내 조명장치부에서 지정된 조명장치부에서 순차적으로 정보를 받게 되는 경우 외에, 중앙제어부의 원격 제어프로그램에서 특정 선박조명의 상태데이터를 지속적으로 받게 되는 경우 해당 조명의 조명장치부에 정보 전송불가 명령을 보내 만약의 데이터 충돌을 방지하였다. 그리고 조명장치부에 정보를 저장하여 관리자가 원할시 해당 조명의 정보만을 보여주도록 하였다. 관리자가 조명의 상태를 지속적이고 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다.

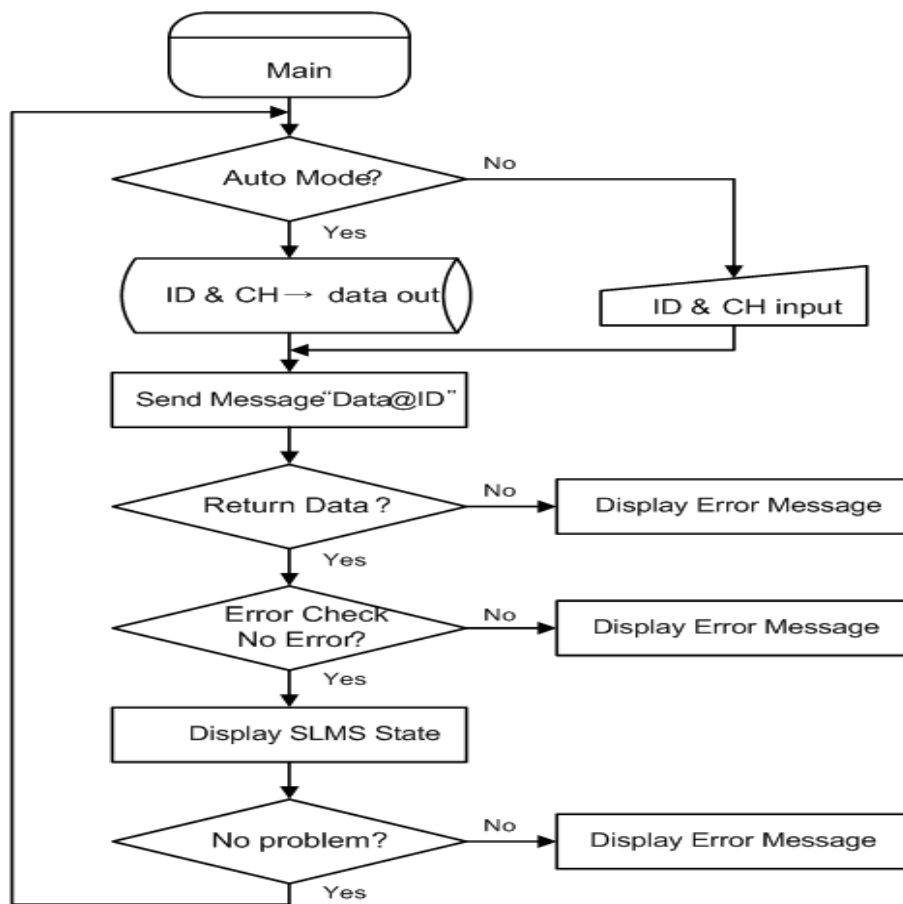


그림 3-3 중앙제어부 순서도

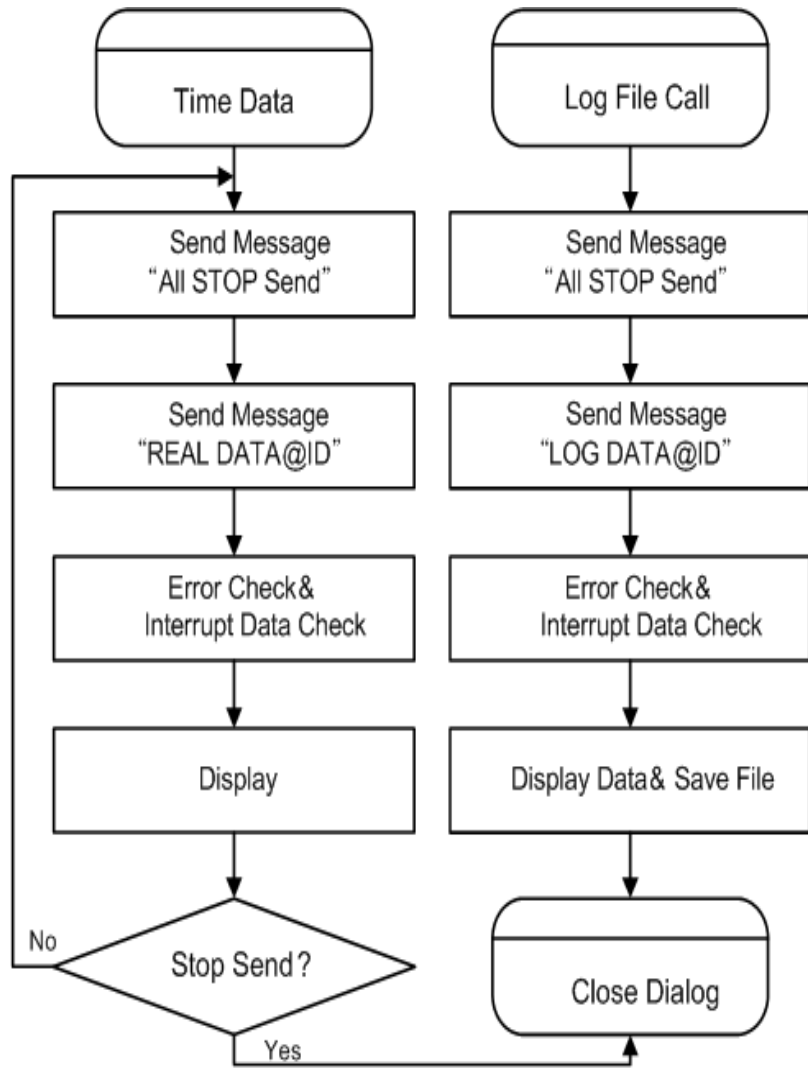


그림 3-4 정보 처리 순서도

3.2.2 조명장치전원부

조명장치부는 중앙 제어부인 원격 제어프로그램에서 보내온 명령에 따라 조명을 제어하고 상태를 전송한다. 그리고 만약 조명의 이상시 다른 정보 중요도를 우위에 두어 중앙제어부에서 알 수 있도록 하였다.

그림 3-5는 조명장치부에서 조명의 전력제어 및 이상시 데이터를 보내는 순서도이다. 조명을 제어하는 명령에 따라 ON/OFF 및 조광제어가 이루어진다. 조광제어는 전력을 10[W], 15[W], 20[W]의 3종류로 정하여 밝기 조정이 되도록 하였다. 전력제어가 이루어지지 않으면 이상상태 데이터를 보내도록 하였다. 상태데이터는 전송명령에 따라 전압, 전류, 전력으로 이루어져 있다. 그림 3-6은 데이터 오류 검사 순서도이다. 중앙제어부에서 각각의 조명장치부에 명령을 보내었을 때, 조명장치부에 있는 마이크로프로세서가 해당 ID와 전송된 ID를 비교하여 일치하는 경우에 명령을 수행하는 순서도이다. 데이터는 잡음 등 여러 가지 요인에 의해 오류가 생길 가능성이 많으므로 데이터의 Header의 Start bit를 먼저 하고, ID를 비교하도록 하였다. 만약 Start bit가 다른 경우 오류데이터로 간주하여 명령을 실행하지 않도록 하였다. ID를 비교한 후, 정해진 프로토콜의 순서대로 명령을 해석하여 선박조명의 전력제어 및 데이터 전송을 하도록 하였다.

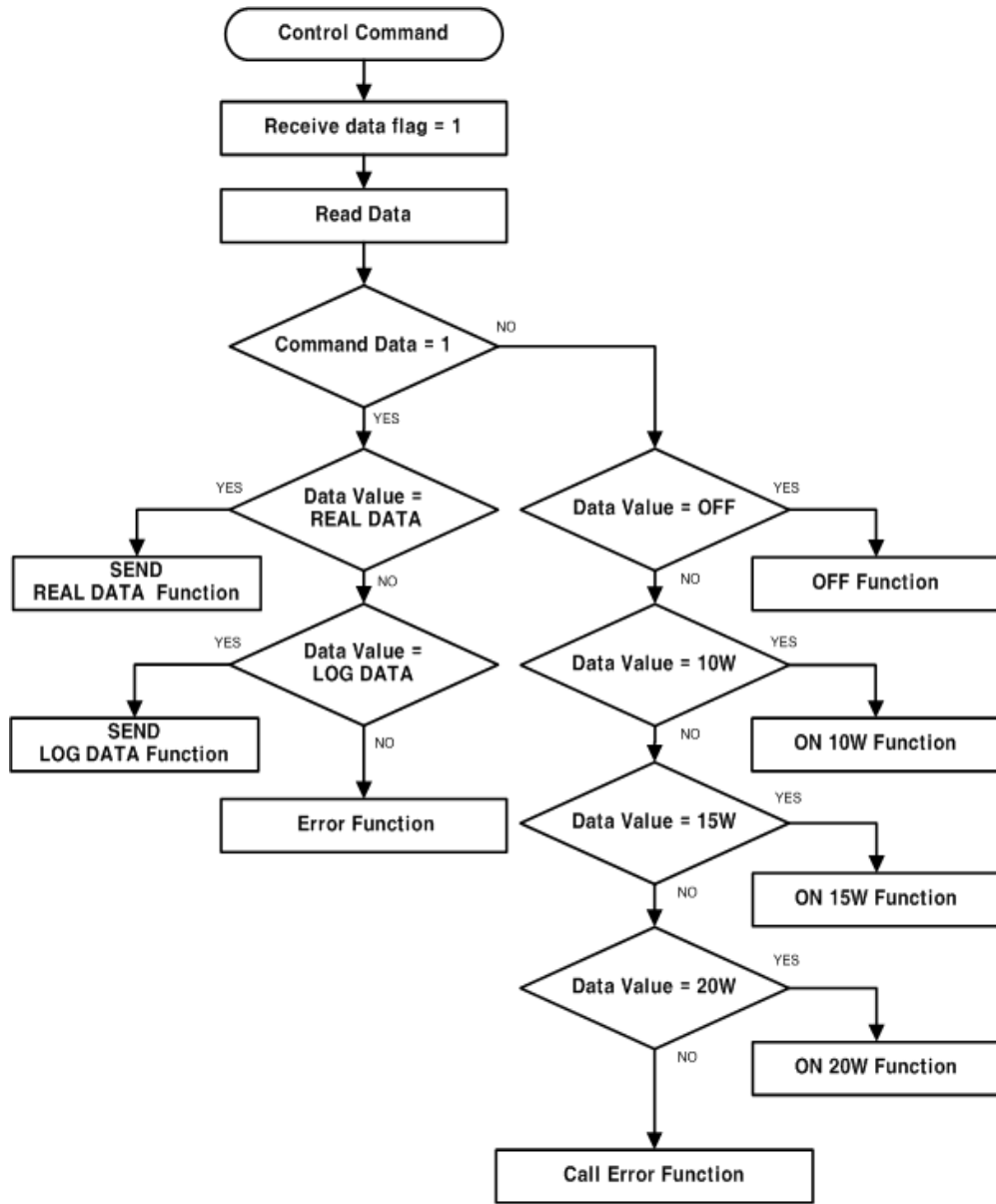


그림 3-5 원격제어 프로그램 순서도

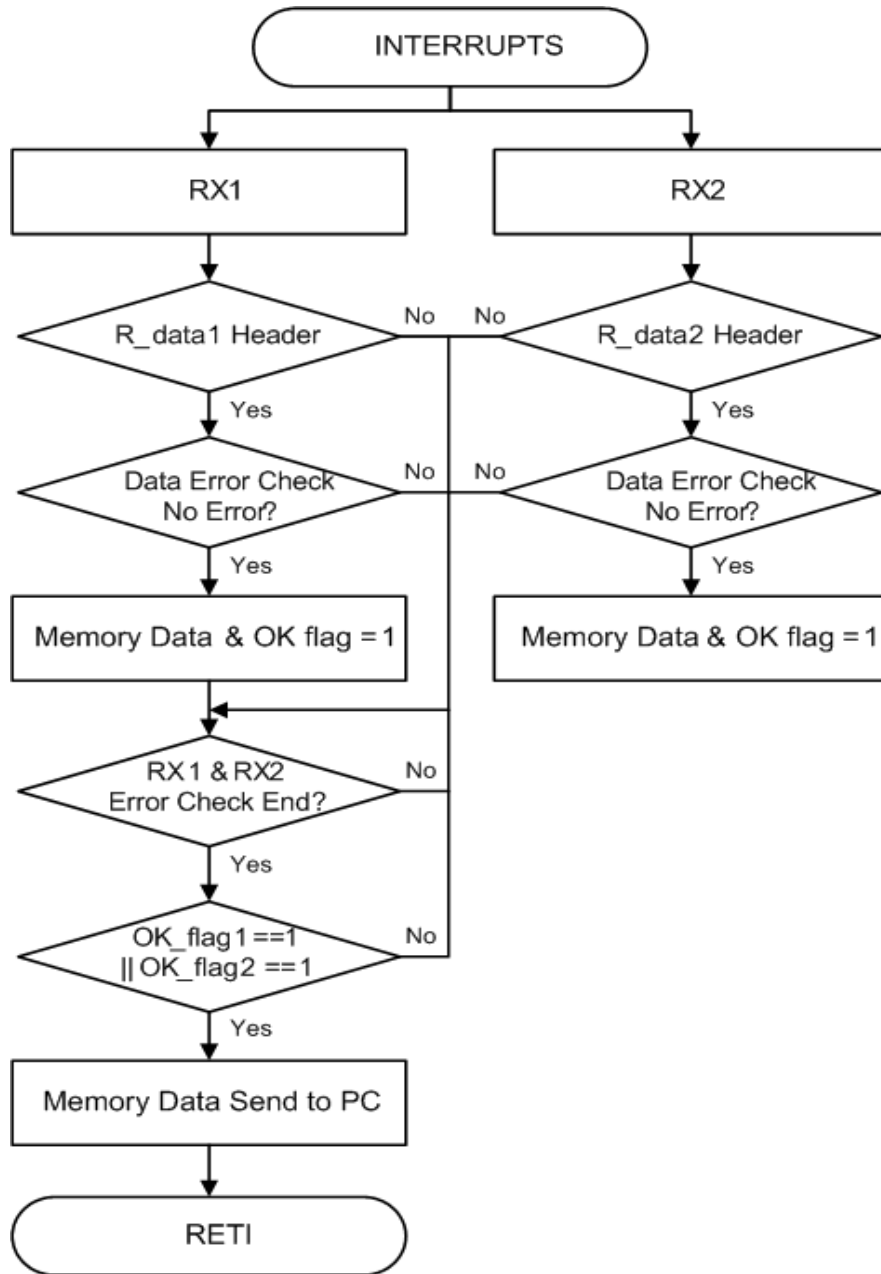
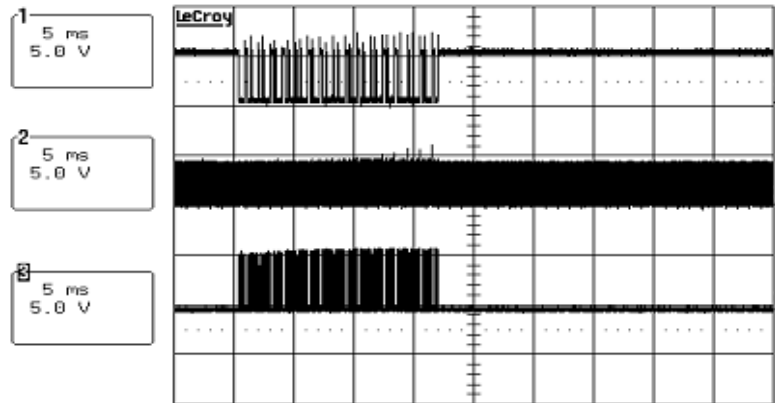


그림 3-6 데이터 오류 검사 순서도

3.3 실험 파형

3.3.1 전력선 통신

전력선 통신 실험은 250[kHz]의 반송주파수로 데이터가 송신 및 수신
이 가능한지 확인하였다.



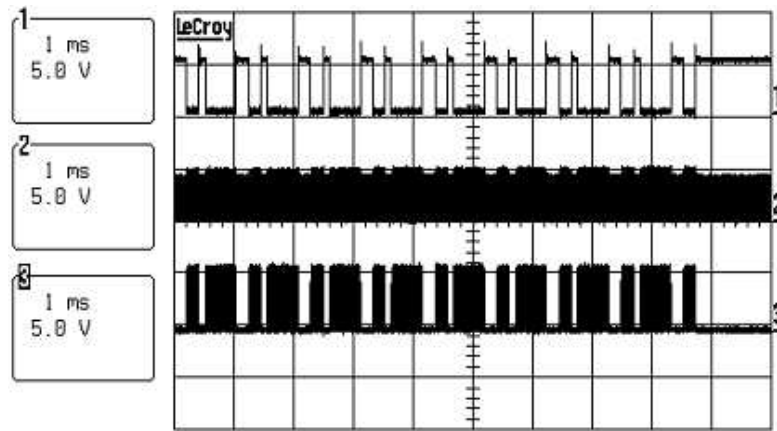
Ch1 : 데이터 파형 [5V/div, 5ms/div]

Ch2 : 반송주파수 [5V/div, 5ms/div]

Ch3 : 변조된 데이터 파형 [5V/div, 5ms/div]

(a)

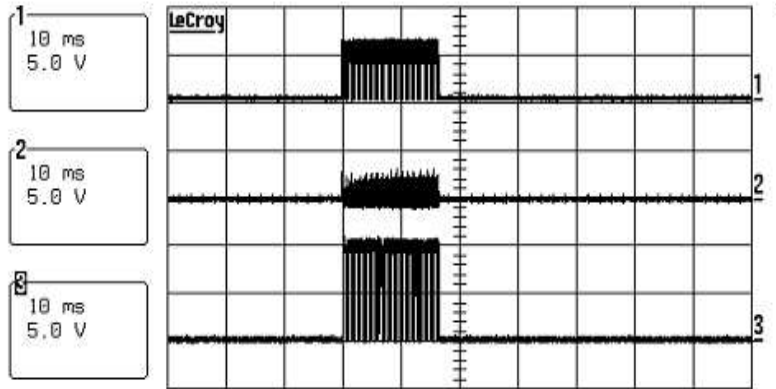
그림 3-7 (a)는 Ch1은 데이터 파형, Ch2는 반송주파수 파형, Ch3는 데
이터 변조 파형이다. 형광등의 상태 데이터나 원격제어 프로그램에서의 제
어 데이터가 송신부에 입력되면, ASK방식에 의해 데이터는 변조가 된다.
데이터가 없을 때 '1'이 되어 변조를 하게 되므로 데이터를 반전시켜서 변
조하였다. (a)는 [5ms], (b)는 [1ms]일 때 파형이다. (b)에서 데이터가 '0'
일 때 반송주파수와 결합하여 변조가 되는 것을 볼 수 있다.



Ch1 : 데이터 파형 [5V/div, 1ms/div]
 Ch2 : 반송주파수 [5V/div, 1ms/div]
 Ch3 : 변조된 데이터 파형 [5V/div, 1ms/div]
 (b)

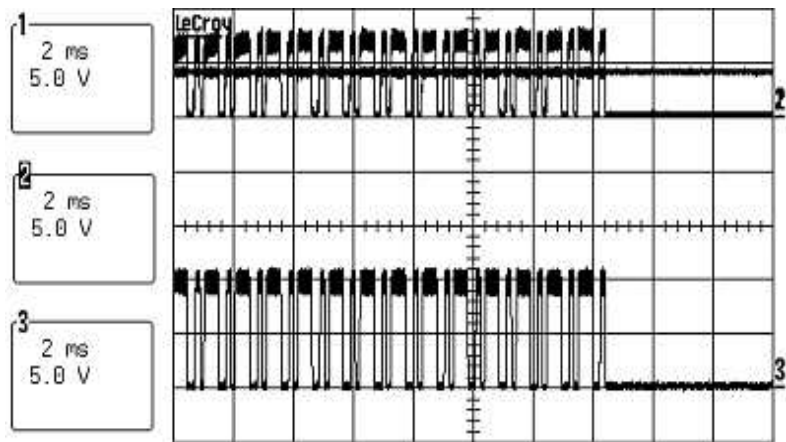
그림 3-7 송신부 파형

그림 3-8은 수신부 파형이다. Ch2는 상용전원을 지나 고역통과 필터를 지난 수신부 파형이다. Ch3는 수신파형의 크기가 선로 임피던스에 의해 감쇄되어 5[V]미만일 가능성이 있으므로 복조회로에 OP앰프를 이용한 증폭기를 넣어 데이터의 크기가 5[V]이상 되게 한다. Ch1은 송신파형으로 수신된 파형과 비교하여 신호의 감쇄상태를 알 수 있다. 그림 3-8에서 송신 데이터가 전력선을 통과해 수신부의 고역통과필터를 지나 복조과정을 거치는 것을 볼 수 있다.



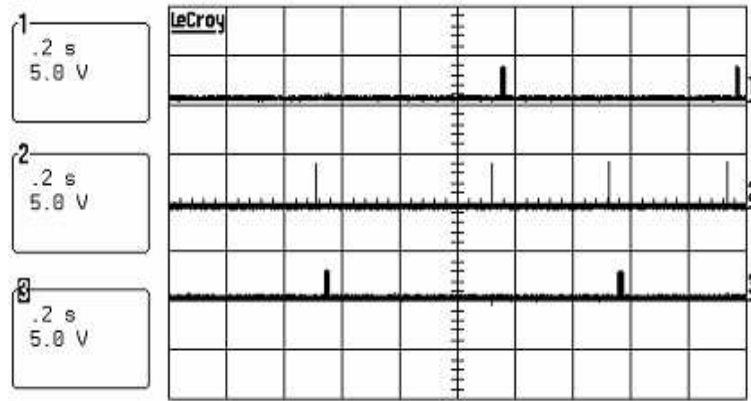
Ch1 : 송신 파형 [5V/div, 10ms/div]
 Ch2 : 수신파형 [5V/div, 10ms/div]
 Ch3 : 수신데이터 증폭파형 [5V/div, 10ms/div]

그림 3-8 수신부 파형



Ch1 : 복조된 파형 [5V/div, 10ms/div]
 Ch2 : 수신파형 [5V/div, 10ms/div]
 Ch3 : 수신데이터 증폭파형 [5V/div, 10ms/div]

그림 3-9 수신부 파형



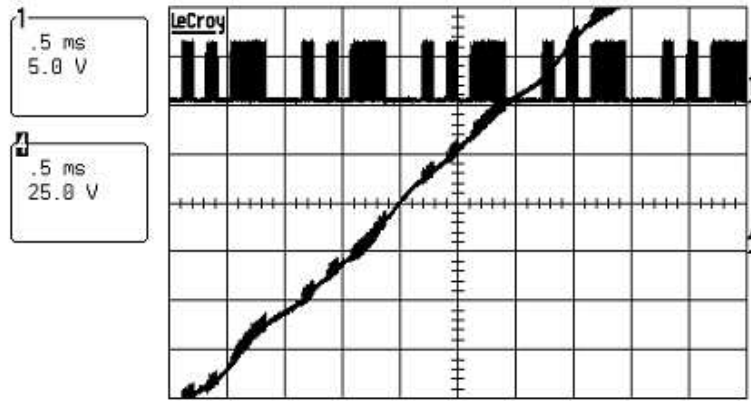
Ch1, Ch3 : 응답파형 [5V/div,200ms/div]
 Ch2 : 중앙제어부 명령파형 [5V/div,200ms/div]

그림 3-10 수신부 파형

그림 3-9은 복조회로에서 잡음제거를 위해 비교기를 지나는 파형을 2[ms]으로 확대하였다. 송신부와 수신부가 거리가 멀어질수록 신호의 감쇄현상이 많이 일어나게 된다. 따라서 작아진 신호를 증폭하여 디지털 신호에 맞게 조정하는 과정이 필요하다. 이 때 증폭의 비율이 커질수록 잡음의 증폭도 커져 데이터 오류가 생길 가능성이 크다. 그림 3-9의 파형과 같은 과정을 지나면 데이터 오류 가능성이 줄게 된다.

그림 3-10은 중앙관리부에서 특정한 조명에 명령을 보냈을 때, 응답을 측정한 파형이다. 선박조명 2개 각각 자신의 ID가 부여된 신호에만 반응하는 것을 볼 수 있다. 응답시간이 80[ms]정도 걸리는 것을 파형을 통해 알 수 있다.

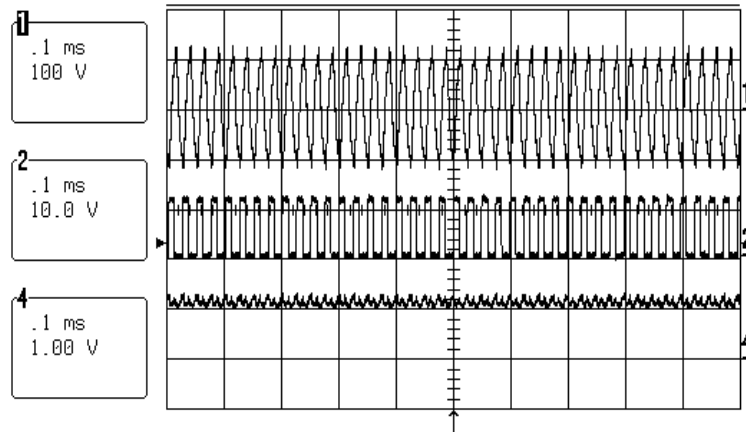
그림 3-11는 디지털 신호를 데이터 전송가능하게 ASK방식을 사용하여 변조한 다음, 220[V]에 실는 파형이다. Ch1의 변조신호에 따라 Ch2의 60[Hz]의 전원에 실리는 것을 확인할 수 있다.



Ch1 : 변조 파형 [5V/div, 500us/div]
 Ch4 : 상용전원선에 실리는 파형 [5V/div, 500us/div]

그림 3-11 상용전원 데이터 송신 파형

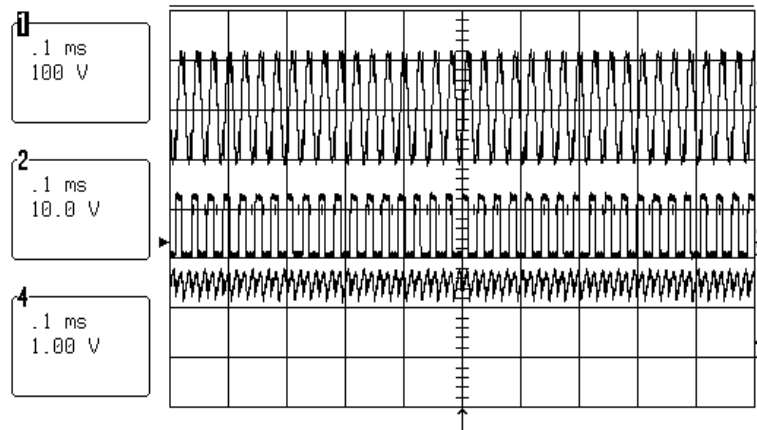
3.3.2 선박조명 제어



(a) $f=40.9[\text{kHz}]$

그림 3-12는 듀티비 40[%]에서 Inverter의 주파수 제어에 의한 전력제

어 특성을 알아보기 위한 실험파형이며, 위로부터 선박조명의 양극전압, 게이트 펄스, Inverter의 입력전류를 나타낸다.



(b) $f=38$ [kHz]

- Ch1 : 조명양극전압 [100V/div,500us/div]
- Ch2 : 게이트 펄스 [10V/div,500us/div]
- Ch4 : Inverter 입력전류 [1.0A/div,500us/div]

그림 3-12 전력제어 파형

그림 3-12 (a)는 주파수 40.9[kHz], 전력 13[W]일 때의 파형으로서 양극전압은 약 74[V]이며, Inverter의 입력전류는 1.1[A]이다.

그림 3-12 (b)는 주파수 38.0[kHz], 20[W]일 때의 파형으로서 양극전압은 약 74[V]이며, Inverter의 입력전류는 1.67[A]이다. 전력제어 범위는 그림3-12(b)의 20[W]에서 그림 3-12(a)의 13[W]까지 7[W]의 범위로 제어될 수 있어 최대전력 20[W]를 기준으로 35[%]까지 조명제어가 가능함을 알 수 있다. 여기서, 38[kHz]보다 낮은 주파수에서는 전류가 과도하게 흐르고, 40.9[kHz]를 넘을 때는 전류연속성이 떨어져 조명의 깜빡

임 현상이 발생하여 주파수 제어범위를 40.9[kHz]~38[kHz]로 선택하였다.

3.4 원격제어 프로그램

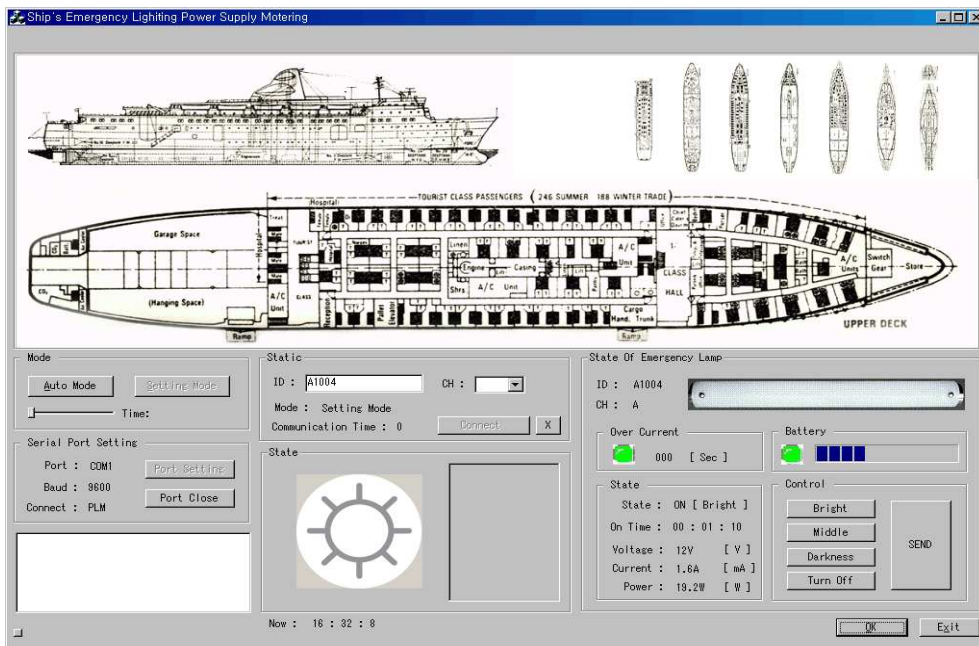


그림 3-13 원격 제어 어플리케이션

그림 3-13은 원격 제어 어플리케이션의 메인화면을 보여준다. Visual C++를 이용하여 프로그램을 작성하였다. 다수의 선박조명을 보이기 위해 선박 내부의 상태를 평면도 형식으로 작성하였으며 선택된 선박조명의 현재 상태와 전압, 전류, 전력 등이 표시되고 상세 버튼을 선택하면 입력되는 전압을 실시간 그래프로 나타내어 준다. 오른쪽하단에 선택된 조명의 전류, 전압 및 전력을 표시하여 준다. 그리고 사용자가 선박조명의 전력제

어를 하여 선박조명의 밝기를 선택할 수 있게 하였다.

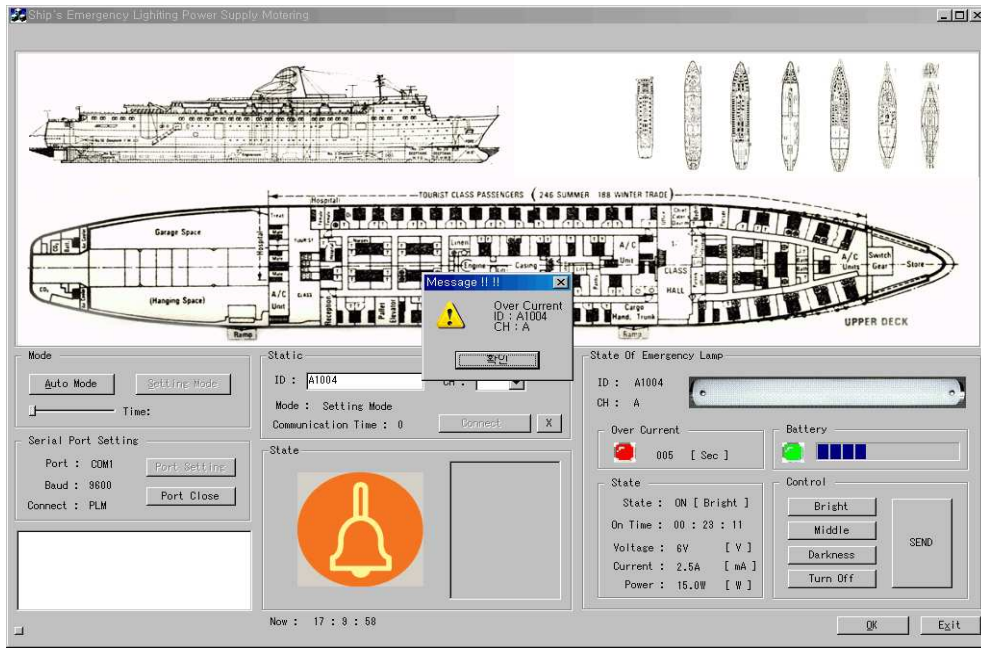


그림 3-14 오류 요청 어플리케이션

사용자가 선택한 밝기나 현재 선택된 선박조명의 밝기를 쉽게 볼 수 있도록 나타내었다. 원격 제어 어플리케이션의 중앙부에는 사용자가 선박조명을 선택할 수 있도록 하였고, 선택된 조명이 통신과 연결되어 있는지 확인이 되도록 하였으며, 조명의 셋팅된 모드를 나타내도록 하였다. 왼쪽 하단부는 현재 어플리케이션의 통신상태를 보여주는 것으로 통신의 연결 상황을 바로 보여준다^{[15],[16]}.

그림 3-14은 오류상황을 나타낸다. 선박조명의 오류가 생기면 현재 상태 데이터보다 우선적으로 오류데이터가 나타난다. 사용자가 확인이 쉽도록 오류데이터가 입력이 되면 메시지 창이 뜨게 하였고, 오류상태 전류,

전압 및 전력의 값이 바로 나타나게 하였다.

Date	Voltage	Current	Battery	ETC
2006.04.11 , 09:14:10	12	0.1	36 %	.
2006.04.11 , 09:34:11	12	1.6	41 %	ON [Bright]
2006.04.11 , 09:54:14	12	1.6	44 %	.
2006.04.11 , 10:14:12	12	1.6	48 %	.
2006.04.11 , 10:34:13	12	1.6	53 %	.
2006.04.11 , 10:54:10	12	1.6	56 %	.
2006.04.11 , 11:14:17	12	1.6	59 %	.
2006.04.11 , 11:24:15	12	1.6	63 %	.
2006.04.11 , 11:44:12	12	1.6	65 %	.
2006.04.11 , 12:04:15	12	1.6	69 %	.
2006.04.11 , 12:24:16	12	1.6	72 %	.
2006.04.11 , 12:44:13	12	1.6	76 %	.

그림 3-15 저장 데이터 어플리케이션

그림 3-15은 저장된 데이터를 보여주는 화면이다. 지난 정보를 요청하게 되면, 선박조명시스템에 정보요청 명령을 내리게 되고, 보내온 정보를 시간 순으로 정렬하여 보여주는 저장 데이터 어플리케이션이다. 자료는 전압, 전류, 상태, 배터리의 잔량을 보여주며, 각 정보는 Tab 컨트롤로 나누어, 선택되어진 정보가 보이게 되어있다. 이는 사용자가 특정 선박조명의 고장빈도나 현재까지 상태를 보고 선박조명의 상황을 판단하기 위해 필요하다.

제 4 장 결 론

본 논문에서는 제작된 멀티 원격조명제어 시스템을 대상으로 전력선을 사용하여 송·수신 시험 및 실시간 모니터링, 원거리 전력제어 등을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. ASK방식과 반송주파수 250~300[kHz]대역을 이용하여 100[m] 거리까지 전력선통신을 가능하게 하였다.
2. 이상 전류, 전력상태, 주파수 제어에 의한 조명등의 전류, 전압 및 전력 표시 등을 파악하여 이를 시각적으로 확인 가능하도록 모니터링 하여, 이상 유무를 조기진단 할 수 있으며, 효과적관리가 가능하도록 하였다.
3. 주파수 변화에 따른 입력전력을 30[%]까지 광범위하게 전력제어를 할 수 있어 주변환경에 따른 조명제어를 기할 수 있을 것으로 사료된다.
4. 원격제어 프로그램의 화면 구성을 사용자가 확인하기 쉽도록 구성하여 조명의 상태 점검 및 제어가 쉽도록 하였고, 선박조명에 ID를 부여하여 중앙제어부에서 원거리에 위치하고 있는 다수의 조명을 제어할 수 있도록 하여 체계적인 관리가 가능하도록 하였다.

입·출력 전압비와 변압기 출력전압과형에 있어서 시험용 전력라인과 선박이 다소 차이가 있을 수 있으며, 기기들이 많은 좁은 공간속에서 상대적으로 긴 전력선을 보유하고 있는 선박의 특수한 환경에서의 다양한 적용 실험이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 한국선주상호보험조합, <http://kpiclub.or.kr>
- [2] 박종윤, 장목순, 주피수 직접확산(DS-SS) 기술을 이용한 전력선 통신 모델의 개발, 대한전기학회논문지, Vol.47, No. 7, pp.1023-1030, 1998.
- [3] 김용태, 전력선 통신(PLC)을 이용한 난방기기 제어 및 인터넷을 이용한 원격제어 시스템의 개발, 공주대학교 대학원 석사학위논문, pp.3-18, 2002.
- [4] 임재용, 전력선 통신을 이용한 전력 절약기기 시스템 개발에 관한 연구, 공주대학교 대학원 석사학위논문, pp.10-33, 2003.
- [5] 김용규, 강인수, “통신사업의 경제력 강화방안 연구”, 정보통신정책연구원, pp.55-56, 2001.
- [6] 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.
- [7] Shay William A, 정화자 역, 김영천 공역, 데이터 통신 및 네트워크, 시그마프레스, pp.133-140, 1999.
- [8] 박종현, 주병훈, 전력선 통신용 라인커플러의 개발, 정보통신 논문지, 제5집, pp.126-130, 2001.
- [9] 竹内寿太郎 原著, 원종수 역, 電機設計學, 동일출판사, pp237-288, 1996.
- [10] 신일식, 전력선 통신을 이용한 가정용 원격 검침 시스템에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, pp.8-13, 2004.
- [11] 한진수, 전력선 통신을 이용한 분산제어 시스템의 개발, 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp22-25, 2002.
- [12] 주병훈, 전력선통신용 라인커플러의 개발 강원대학교 대학원 석사학위논문, pp.8-9, 2001.

- [13] 戸川治朗, 전원회로 설계 마스터, 문운당, pp.320 ~ 330, 2003.
- [14] 노의철, 정규범, 최남섭, 전력전자공학, 문운당, pp.325~ 360, 2000.
- [15] 김용섭, Visual C++6 완벽가이드 2nd Edition, 영진닷컴, pp.619-714, 2004.
- [16] 이현장, 생각하며 배우는 C++ , 한빛미디어, pp.190-247, 2005.