

# 전력선 통신을 이용한 방전등의 조광제어 시스템

\*김 한 수, \*\*박 중 연

강원대학교 전기공학과, \*석사과정, \*\*교수

전화 : 033-250-6292 / 핸드폰 : 019-477-5434

## Lighting Dimming Control system using PLC

1Han-Soo Kim, Chong-Yun Park

Electrical Engineering, Kangwon University

hs7827@popmail.com

### Abstract

We studied about the lighting control system on pc using PLM(Power Line Modem). The PLM is composed of FSK IC-chip and the circuit for the power line communication. We developed the control program using visual c++ language on PC for dimming the lamps. In this paper dimming controller was made with PIC16F874 and its communication speed was 1200 board rates.

### I. 서론

가정 자동화 시스템은 가정내에서 정보의 교환과 가정기기의 제어를 통해 시간과 사람의 수고를 덜어 주고 있다. 가정기기의 제어를 위해선 정보의 전송로가 필요한데 이 전송로는 배어 케이블, 동축 케이블, 기타 통신선 및 전력선을 사용하여 구축할 수 있다. 배어 케이블, 동축 케이블 등과 같은 통신선을 사용할 경우 전송 품질은 고품질을 확보 할 수 있으나 신축 건물의 공사시 각 가정 마다 일일이 전송선을 연결할 수 있도록 배선 공사를 하여야 하는 등 건축시 공사의 까다로움과 시설비 추가 등의 단점이 있고 기존 건물에 설치시 공사하기가 힘들며, 미관상으로도 좋지 않은 문제점이 있다. 그러나 전력을 공급하기 위하여 설치하는 전력선을 정보의 전송로로도 이용할 경우 전송로에 중복 투자를 할 필요가 없고 설치시 공사도 간단히 할 수 있기 때문에 기존 건물에 설치할 경우 뿐만 아니라 신축 건물에 설치시에도 여러 가지 장점이 많다. 일반적으로 전력선 통신은 주변환경에 매우 큰 인덕턴스가 존재하여 매우 낮은 주파수 성분을 제외한 모든

주파수 성분을 감쇄 시킨다. 이러한 이유로 높은 전송 속도를 얻는데는 많은 어려움이 있기 때문에 전력선 통신은 대부분 홈 오토메이션, 원격제어 등의 응용 분야에서 낮은 데이터 전송 속도의 용도에 제한적으로 이용되어 왔다. 본 논문은 먼저 전력선에 대한 일반적인 특징과 통신 주파수 규정에 대해 살펴보고 채널용량과 여러 변조 기법에 대한 장단점을 살펴본다. 이러한 전력선망을 이용하여 가정내에서 사용자가 PC의 window 운영체제 컴퓨터를 통해 조명부하를 제어하고 감시할 수 있도록 구현된 모델에 대해 설명하고 있다.

### II. 본론

#### 1.1 전력선의 특징

전력선은 각종 전기기와 가전제품 및 사무기기로부터 발생하는 잡음들이 직접유입되며, 또한 부하가 전력선에 연결되는 시간과 공간에 따라 전송 특성이 상당히 다른 특성을 가진다. 따라서 전력선의 잡음특성, 임피던스 특성 및 신호감쇠 특성등을 조사하여 전송특성을 고려해야한다.

가정 내 전력선에 존재하는 잡음은 주로 전력선에 연결되어 있는 전기기가 발생한 단자 전압에 의한 것으로, 백색잡음(White Noise), 60Hz 고조파 잡음(Harmonic Noise) 및 임펄스성 잡음(Impulse Noise)등으로 크게 나눌 수 있다. 백색잡음은 전기드림의 모터등과 같이 전원 주파수와 관계없이 동작하는 부하에 의해서 발생되며, 이 잡음의 주파수 특성은 고주파 쪽에서 대체로 작고, 부하변동이 많은 시간대에는 높은 잡음이 발생하는 등 다양한 형태를 나타낸다. 고조파 잡음은 전원전압이 일정한 값에 도달하면 스위칭 되는 SCR을 사용하는 전자식 안정기와 같은 전기 기기에 의해서 주로 발생한다.

이러한 스위칭 작용에 의한 잡음은 60Hz에 동기된 잡음이며 가정 내 전력선 상에는 고조파 잡음이 존재한다. 임펄스 잡음은 돌발성 잡음과 임펄스형 잡음이 있는데 번개, 서모스태이트 및 개폐현상에 의해서 발생한다. 비동기성 잡음은 60Hz

전원주파수에 관계되지 않은 선 스펙트럼 잡음으로써 이러한 형태의 잡음원은 TV등에 의해서 발생된다. 가정에서 사용하는 기기에 대한 전력선 상의 잡음특성은 100kHz 이하에서는 평균 0.1uV의 잡음레벨을 갖고, 100kHz 이상에서는 평균 10nV의 잡음레벨을 갖는 것으로 나타났으며, 측정된 이 대역에서는 잡음이 비교적 낮은 레벨을 갖는 것으로 나타났다.<sup>[1]</sup>

1.2 전력선 통신을 위한 주파수 대역

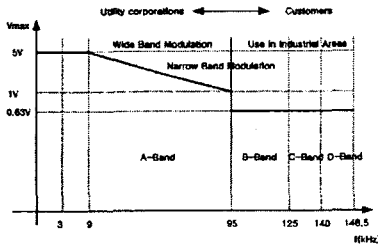


그림 1 유럽 RPLC 통신 대역 규격

그림1은 유럽에서 사용되는 전력선을 이용한 통신 가능한 주파수 범위는 3kHz~148.5kHz 이다. 그리고 통신 가능한 주파수 범위를 5단계로 구별하여 사용 수 있는 권한과 규정을 유럽과 미국등에서 설정해 놓았다. 미국의 경우 주파수와 관련하여 살펴보면 FCC의 Part 15에서 PLC와 관련한 규정을 두고 있는데 사용주파수 범위는 9kHz~490kHz를 규정하고 있다. 우리나라에서는 현행 국내법상으로는 전파법시행령 제46조에서 전력선을 이용한 통신설비에 대해 주파수 9kHz~450kHz, 송신설비의 고주파출력 10mW 이하로 규정하고 있으며, 누설전계강도에 대해서는 무선설비규칙에서 별도의 규정을 두고 있다. 본 논문에서 유럽과 미국의 규정을 근거로 하여 95kHz~450kHz 영역을 통신 주파수 영역으로 사용하였다. 유럽과 미국의 규정에 의하면 이 주파수 영역에서는 소비자가 임의로 사용 가능한 주파수 범위로서 다중 통신이 가능하며, 전력선을 이용한 통신중 비교적 노이즈가 약한 주파수 대역이다. 또한 신호의 감쇠도 적은편이다.<sup>[2][3]</sup>

1.3 채널용량

채널용량은 사논의 채널용량이론을 도입하여 전개하였다. 사논의 채널 용량 이론에 따르면 채널용량은 다음 수식과 같다.<sup>[4]</sup>

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \dots \dots \dots \text{식(1)}$$

- C : 채널 용량
- W : bandwidth
- S : 신호의 평균전력
- N : 잡음의 평균전력

여러 디지털 변조 방식에 따른 채널 용량은 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{ASK} = 2R_b \log_2 \left( 1 + A^2 \frac{10^{\frac{|H(f)|}{10}}}{8N_0 R_b} \right) \dots \dots \dots \text{식(2)}$$

$$C_{FSK} = 2R_b \log_2 \left( 1 + \frac{A^2 10^{\frac{|H(f)|}{10}}}{4N_0 R_b} \right) \dots \dots \dots \text{식(3)}$$

$$C_{FSK} = (2R_b + \Delta f) \log_2 \left( 1 + \frac{A^2 \left( 10^{\frac{|H(f)|}{10}} + 10^{\frac{|H(f)|}{10}} \right)}{4N_0 (2R_b + \Delta f)} \right) \dots \dots \dots \text{식(4)}$$

그림2에서 보듯이 SNR을 20[dB]로 결정한 후 각 통신에 따른 채널용량을 비교해보면 같은 주파수, 데이터 전송률 및 신호의 크기를 갖고 전력선에서 통신을 할 때 FSK 방식이 가장 큰 채널용량을 갖는다는 것을 알 수 있다.

1.4 1.4 전력선 변조 방식

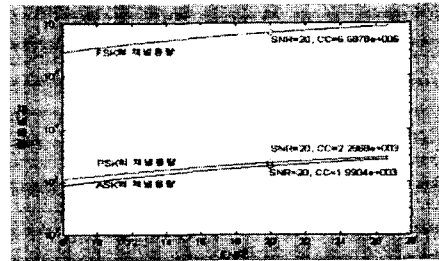


그림 2 채널용량 비교

전력선 변조방식의 적용 통계에 따르면 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 29%로 가장 많이 쓰이고 있으며, MFSK (M-ray Frequency Shift Keying)와 Spread Spectrum이 각각 17%로 그 뒤를 따르고 있다. 나머지 35%는 OFDM, MFSK, Spread Spectrum을 제외한 기타 주파수 변조 방식을 채택하고 있는 것으로 나타났다.

모든 통신에 이상적인 변조 방식이란 존재하지 않는다. 주어진 통신 환경에 가장 적합한 변조 방법을 연구하고 채택하는 것이 안정적 통신의 실현에 가장 중요한 요소가 된다. MFSK 방식은 주파수 대역의 효율면에서 성능이 매우 떨어지는 변조방식으로 구현이 간단하고, 전력선 환경에 비교적 알맞은 방식으로 알려져 있다.

Single carrier의 대표적인 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 방식과 비교해 보면 다음과 같다. 대역폭 효율에서는 FSK 방식이 나쁘지만 전력선 환경에서 문제가 되고 있는 임펄스 잡음(impulse noise), 위상왜곡(phase distortion), 주파수 선택 페이딩 (frequency selective fading) 면에서 우수한 성능을 보이고 있다.

Spread spectrum 방식으로는 DSSS(Direct sequence Spread Spectrum), FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), Chirp 등이 있는데 DSSS 방식이 저속 전력선 통신에 주로 이용되고 있다. 대역확산으로 인해 이득을 얻는 것이 가장 큰 장점으로 다른 변조방식보다 낮은 신호대 잡음 비에서 좋은 성능을 보여 안정적 통신을 제공하고, 비화 특성이 우수하다. 반면 단점은 원하는 이득을 얻기 위해서는 넓은 대역확산이 필수적인데, 구현이 수월하지 않다는 문제가 있다.

OFDM의 장점은 bit allocation이 사용될 경우 최적의 성능을 보일 수 있다. 부분적으로 이루어 질 수 있기 때문에 주파수 선택 페이딩에 강한 특성을 보이고 있다. 반면 단점은 다

## 전력선 통신을 이용한 방전등의 조광제어 시스템

른 변조방식과 비교하여 구현하는데 높은 비용이 들고, 수신기를 적용하기 위한 시간이 요구되기 때문에 빠른 채널 변화에 대처하기가 어렵다.<sup>15)16)17)</sup>

### 2.1 구현시스템의 전체 개요

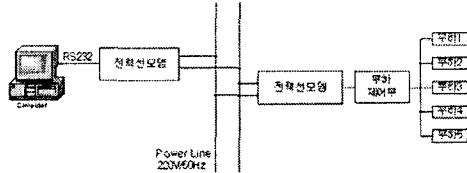


그림 3 시스템 전체 블록 다이어그램

본 시스템은 그림3과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫번째는 전력선 모뎀부 컴퓨터와 부하제어부에서 나온 신호를 FSK로 변조하고 변조되어 들어온 신호를 다시 복조하여 서로간의 통신을 담당하는 부분이다. 두번째는 host 컴퓨터부 사용자 모니터 화면을 통해 부하를 제어하고 감시할 수 있도록 비주얼 C++을 이용하여 만들었다. 세번째는 부하제어부로써 컴퓨터로부터 전달되어지는 명령을 통해 부하를 제어하고 컴퓨터간의 통신을 담당하고 있다.

### 2.2 전력선 모뎀(Power Line Modem)

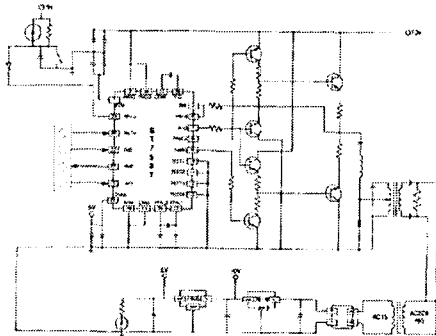


그림 4 전력선 모뎀 회로도

전력선모뎀(PLM: power line modem)의 전체회로도는 그림 4에서 나타내었다. 전력선모뎀칩인 S17537은 FSK(Frequency shift keying) 디지털 복변조를 하며 carrier 주파수는 132.45kHz로서 유럽의 통신대역 내에서 동작한다. 컴퓨터 또는 부하제어 콘트롤러(pic16F874)로 부터 들어오는 디지털 신호는 먼저 FSK 디지털 변조되어 전류증폭기를 거쳐 라인커플러를 통해 전력선에 삽입지게 되며 수신부측에서는 라인커플러를 통해 전력선의 잡음과 여러 신호중에 원하는 주파수 대역의 신호를 라인커플러를 통해 다시 받게 된다. 이렇게 해서 들어온 신호는 모뎀칩에 의해 복조되어 원래의 디지털 신호로 복원되는 과정을 거치게 된다. 이때 서로 half duplex방식으로 통신되므로 한쪽이 전송할때는 반드시 다른 한쪽은 받기만해야 한다. 따라서 이러한 전송방식을 위해 rx/tx단자의 선택비트를 통해 서로의 현재 통신 송수신 모

드를 결정지어지게 된다. 본 시스템에서 사용된 모뎀의 Bit error rate test에서 노이즈가 심한 오후 2시에 측정된 결과는 1.0E-005의 결과가 나왔다.

Basic BERT		
Errored Secs	10	
Err Free Secs	80:13:42	98.9%
Block Count	1357	
Block Errors	10	
Bit Count	1.0004E+006	
BR Errors	10	
Bit Error Rate	1.0E-005	

그림 5 Bit error rate 측정

### 2.3.1 주파수 제어 방식

부하 제어부는 조명제어를 목적으로 구현되었으며 마이크로 컨트롤러(pic16F873)은 전력선 모뎀으로부터 들어온 신호를 받아 그에 알맞은 동작을 한다. 또한 콘트롤러는 전력선 모뎀에 watchdog 신호와 rx/tx 비트 선택신호를 전달하고 있다. 모뎀으로부터 들어온 신호를 가지고 5개의 조명부하를 개별적으로 제어하며 주파수 변환 방식으로 형광등의 dimming을 조절하도록 설계하였다. dimming 주파수는 18kHz~25kHz로 16단계로 조절할 수 있으며 이러한 주파수는 마이크로 콘트롤러에서 직접 생성해서 op-amp를 통해 증폭한 뒤 안정기에 공급하게 된다.

### 2.3.2 위상제어 방식

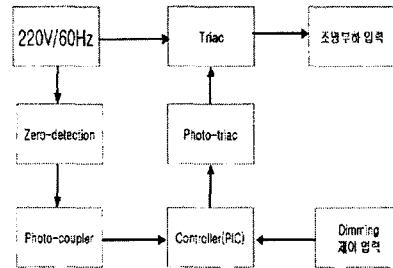


그림 6 위상 제어방식 블록도

위상제어 방식은 안정기에 들어가는 전압을 Triac 사용하여 제어함으로써 dimming을 할 수 있는 원리이다. 콘트롤러는 입력전압의 zero 지점을 검출하여 일정시간후 triac의 gate 신호를 출력하게 된다. 이러한 시간  $T_o$  에 따라 방전등의 불 밝기는 조절되게 된다. dimming 단계는 주파수 조절 방식과 마찬가지로 16단계까지 설정하여 프로그래밍 했으며 불 밝기는 100%~10%까지 조절 가능하다. 위상제어에서 나오는 노이즈로 인해 controller가 리셋되는 것을 방지하기 위해 콘트롤러와 Triac은 제어부는 전기적으로 절연되어 있다. 그림7은 gate 신호에 따른 출력전압을 나타낸다.

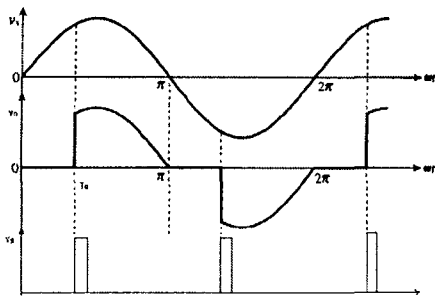


그림 7 입력전압과 출력전압

2.4.1 컴퓨터와 전력선 모뎀 인터페이스

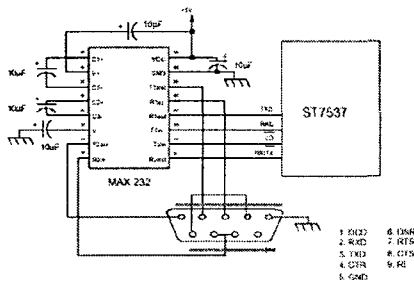


그림 8 컴퓨터와 모뎀간의 인터페이스 회로도

전력선 모뎀과 컴퓨터를 연결하기 위해 RS232 포트를 이용하였다. 기본적으로 컴퓨터의 COM 포트와 전력선 모뎀이 서로 통신을 하기 위해서는 전압레벨을 맞추어주어야 하는데 이를 위해서 max232를 사용하여 서로의 전압 레벨을 맞추어 주고 watch dog 신호를 계속해서 모뎀측에 주기 위해 555타이머를 사용하여 모뎀이 슬립상태로 가지 않도록 설계하였다. 그림7은 컴퓨터와 모뎀 인터페이스 부분의 회로도도 나타내었다.

2.4.2 컴퓨터부의 프로그램(visual C++)

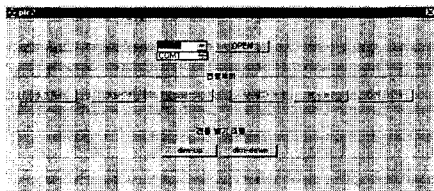


그림 9 제작된 프로그램을 실행시킨 화면

제작된 소프트웨어는 window 95/98/2000 환경하에서 구동 되도록 비주얼 C++로 제작되었다. 그림 8은 프로그램을 인스톨 시킨후 실행시킨 화면이다. 위 그림은 초기 상태로 형광등 on/off 버튼이 비활성화 되어 있는 상태이다. 사용자는 먼저 연결된 포트를 선택한뒤 OPEN 버튼을 누르면 연결된 모뎀을

통해 초기 상태 체크 데이터를 보내게 된다. 이때 부하쪽에 연결된 모뎀에서 신호를 받으면 관련된 부하의 상태를 체크하여 다시 컴퓨터쪽으로 송신한다. 이 송신된 데이터를 받아서 비활성화 되어있는 형광등1~형광등5까지의 상태(꺼짐/켜짐)를 표시하며 활성화 된다. 일단 활성화 되면 사용자는 원격으로 형광등을 ON/OFF 시킬수 있으며 DIM\_UM 버튼과 DIM\_DOWN 버튼을 이용해 조도 또한 제어할 수 있게 된다.

III. 결론

본 시스템은상용된 모뎀은 FSK변조 방식을 사용하며 1200 baud rate라는 저속 통신을 기반으로 된것이다. 전력선 상에 부하가 많이 걸리는 오후2시 대에 측정에 BERT에서 1.0E-005라는 결과를 실측했다. 모뎀과 모뎀 사이의 통신거리 또한 300m 이하이기 때문에 장소와 거리에 대한 한계를 가지고 있다. 하지만 단순히 가정내 또는 빌딩내에서의 단순제어를 목적으로 할 경우 전력선은 그 나름대로 경제적 가치가 있다고 판단되어진다. 주파수 제어방식으로 방전등을 제어할 경우 각각의 방전등 안정기와 전력선 통신을 하기위한 modem이 들어가므로 시스템 구성 가격이 상승하게 된다. 위 상제어 방식을 이용하였을 경우 시스템 구성 비용은 낮출수 있으나 220V의 전압을 위상제어 할 때 나오는 높은 레벨의 노이즈는 전력선 통신상의 장애 요소로 작용하다. 따라서 이에 대한 대책 마련으로 EMI필터 설계가 필요하다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] David L. Waring, Kenneth J. Kerpez and Steven G. Ungar, "A newly emerging customer premises paradigm for delivery of network-basedservices", Journal of Computer Networks, vol.3, No.4, pp.411-424, 1999.
- [2] Powerline Communication, 'The Second World Congress, Brussels, Oct. 1999
- [3] A. Cucos and P. M. Cocoran "Real Time ATM for Remote Access to Home Automation and Digital A/V networks," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp.482-488, Aug. 1998.
- [4] EIA Home Automation System (CEBus) Standard IS-60. "Common Application Language Specifications," EIA, Part 8,Jun. 29th 1992.
- [5] J.A. DiGirolamo, "HOME NETWORKS - FROM TOASTERS TO HDTV", International Conference on Consumer Electronics, pp.82-83, Jun. 1996
- [6] P. Warriner and K. Z. Karan "NUDAN - a Multifunctional Home Automation Network," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No.2, pp.360-369, May, 1998
- [7] Gunter Leeb, Ratko Posta, Gerhard H. Schildt, "A configuration tool for homenet", IEEE Transaction on Consumer Electronics, vol.42, No. 3, pp.387-394, Aug. 1996.