

전력선 반송통신을 이용한 전기기기 전원 제어 시스템에 관한 연구

김경엽* · 문복산* · 유영호**

A Study on the Power Control System for Electric Machineries using Power Line Communication

K-Y Kim* · B-S Mun* · Y-H Yu**

Key words : Power line communication, ASK, Noise, Power control of electric machineries

Abstract

Recently, a lot of studies on the power line communication(PLC) are being done by many companies and institutes due to its own merit which can use the power line spread widely as a communication channel. But, there are many serious problems about the harsh and unpredictable characteristics, or noise, signal distortion and attenuation to be overcome for commercialization. In this paper, the power line characteristics as the view point of communication channel are investigated and the technologies of PLC are proposed to control the power of electric machineries by using the combined method of ASK modulation and microprocessor technologies. Also experiments are carried out to ascertain performance in case of applying to electric lights control according to various distances as an example.

1. 서 론

전력선이라는 기존의 네트워크를 이용한다는 장점 때문에 최근에 더욱 부각되고 있는 전력선 통신은 이미 장거리 송전선을 통하여 음성통신에 이용되어 왔다. 국내에서도 1941년 수풍 발전소에서

만주로 나가는 200[kV]송전선에 아날로그 통신신호를 중첩시킨 전력선 반송전화를 시설한 후 오랫동안 전력회사의 음성통신수단으로 사용해 왔지만 오늘날 송전선에서의 PLC는 거의 사용되지 않고 있다.^{[3][6]}

전력선 통신기술이 오랜 역사를 가지고 있지만,

* 정회원 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 2001년 3월)

** 정회원 한국해양대학교 기계·정보공학부

통신전용선에 설치된 통신장비가 전력선에 설치된 것보다 훨씬 많은 것은 전력선의 열악한 통신환경 때문이다. 전력선이란 전력을 공급하기 위한 것이기 때문에 통신을 목적으로 하기에는 불량한 전송매체로서 높은 신뢰도의 통신성능을 보장하기가 어렵다. 하지만 전력선은 모든 수용가에 널리 분포되어 있고 이상적인 가입자망 형태를 유지하고 있어 신규통신망 구성을 위한 새로운 투자가 필요 없으므로, 잡음 극복, 임피던스 정합 등의 기술적인 문제점들만 해결된다면 실용성이 큰 분야라고 하겠다.

미국의 경우에는 전력선이 구내 통신망으로, 유럽에서는 대체가입자망으로, 개발도상국에서는 전화망으로 부각되고 있고 전력회사가 중심이 되어 전력선을 이용한 디지털 전화서비스를 추진하고 있다. 또한 선진국의 전력선 통신망에 대한 기술 개발은 지멘스, 노던텔레콤, 알카텔 등 많은 전자, 통신업체가 주도하여 중점적으로 추진되고 있다.^{[6],[7]}

국내 기술은 선진국과의 유사한 수준에 접근하고 있으나 과거 전력선 통신에 대한 인식 부족 등으로 관련 기술 개발이 활성화되지 못하였고 최근 전력선에 대한 관심이 차츰 고조됨에 따라 국내기술로도 1~10[Mbps]급의 전력선 모뎀을 개발하여 적용시험 등에 주력하고 있는 실정이다.^{[8],[9]}

배전선 반송통신시스템에서 적정의 통신 신뢰도 및 잡음 특성에 의한 영향을 줄이기 위해 사용되는 변조방식은 SK방식으로서 ASK(Amplitude Shift Keying), FSK(Frequency Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying) 등이 있고 대역확산(Spread Spectrum)통신방식으로 Direct Sequence, Chirp, Frequency Hop 방식 등이 있으며 그 외 Bandlimited Orthogonal Signal을 합성하기 위하여 FFT를 이용하여 주파수 영역에서 여러개의 협대역 부반송파들을 동시에 전송하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 있다.^{[2],[5]} 이러한 방식들에 따라 독자적으로 개발되어 상품화되고 있으나, 전력선의 잡음과 부하변동에 따른 통신의 신뢰성과 통신거리 등의 문제로 인하여 실용화되기 어려워 저속통신에 의해 제한적으로 적용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 ASK와 마이크로프로세서 기술을 이용하여 전력선 통신으로 자기번호를 수신할 수 있는 자기번호인식형 전원제어장치와 이 장치에 전력선 통신을 이용하여 고유한 자기번호와 제어신호를 발신 및 수신할 수 있는 마이크로 프로세서장치를 개발하고 1 대 N통신이 가능한 저가의 통신네트워크를 구성함으로써 다수의 전기장치의 전원을 개별적으로 원격 제어하는 시스템을 개발하고 실제 가정용 저전압 배선회로에 동작실험을 통하여 시스템의 유용성을 입증하고자 한다.

2. 전력선 반송채널의 특성 및 해석

2.1 전력선의 잡음

전원에 연결된 전기장비들은 전원에 상당한 잡음을 발생시킨다. 이러한 장비로부터 발생하는 잡음특성은 다양하며 여러 가지 가전제품으로부터 발생하는 잡음은 다음과 같이 3가지 범주로 구분할 수 있다.

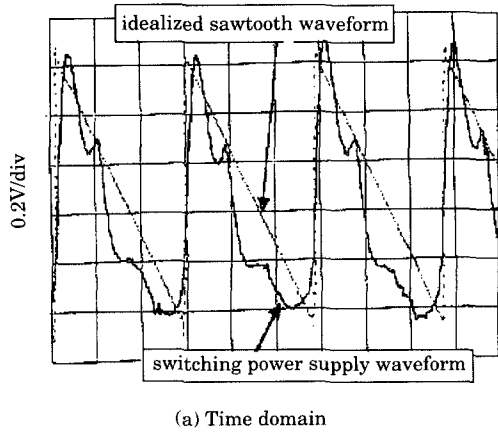
(1) 임펄스 잡음

대부분의 임펄스 잡음원은 트라이악을 사용하여 램프의 밝기를 제어하는 조광기이다. 이러한 트라이악 장치는 램프를 AC전원 반 사이클마다 AC전원선에 연결시키며 잡음을 발생시킨다. 램프가 중간정도의 밝기로 설정되었을 때 돌입전류는 최대가 되며 수십 볼트의 전압이 전력선에 주입된다.

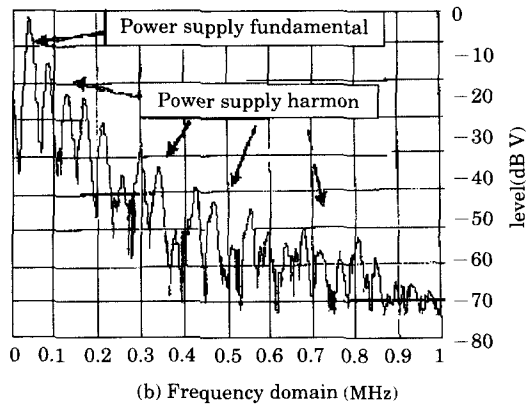
(2) 토널 잡음(tonal noise)

일반적으로 토널 잡음은 스위칭 전원공급기(SMPS ; Switching Mode Power Supplier)로부터 발생한다. 이 전원 공급기는 개인용 컴퓨터나 형광등 안정기와 같은 대부분의 전자 장비에 설치된다. 이러한 잡음의 기본주 파수는 20[KHz]에서 1[MHz]사이의 전 범위에 걸쳐 분포되어 있다. Fig. 1은 전기 치술을 충전할 때 생기는 잡음을 나타낸다. 미국이나 일본 등지에서 사용하는 베이비 모니터(baby monitor)와 같은 장비는 일반적으로 150[KHz]에서 400[KHz]사이의 주파수에서 동작하는데 그 때 7-8볼트의 피크전압이 전력선에 유입된다고 한다. Fig. 2는 전력선통신을 사용하는

인터폰에서 발생하는 잡음의 스펙트럼 선도로서 1[MHz]까지 넓게 분포된 잡음이 있음을 보여준다.^[11]



(a) Time domain



(b) Frequency domain (MHz)

Fig. 1 Noise from charge of electric tooth brush

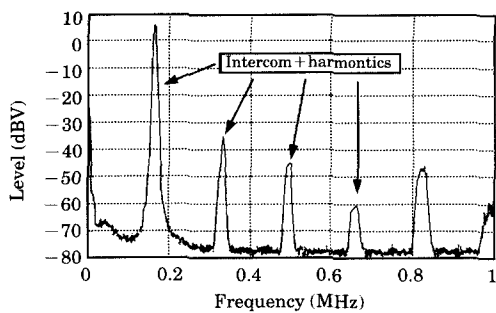


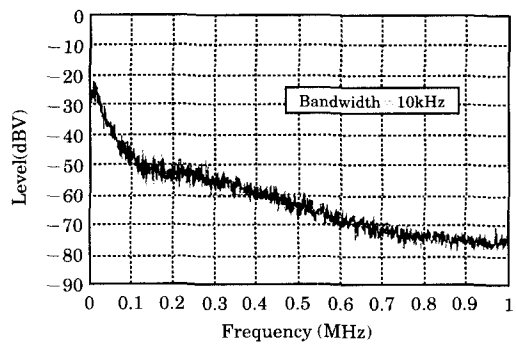
Fig. 2 Spectrum of noise from an interphone using PLC

(3) 고주파 임펄스잡음

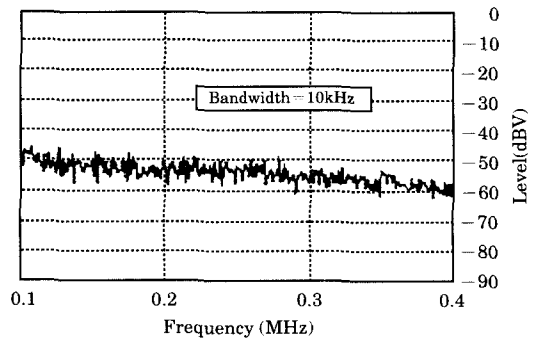
고주파 임펄스잡음은 다양한 직권 AC 전동기로부터 발생된다. 이러한 타입의 전동기는 진공청소기, 전기 면도기, 여러 가지 일상부속용품 등의 가전제품에서 볼 수 있는데 전동기의 정류기로부터 발생하는 아크는 수 [KHz] 범위의 임펄스 잡음을 발생시킨다. Fig. 3은 진공청소기로부터 발생하는 잡음을 주파수 영역에서 보여주는 것으로서 (a)는 광역 스펙트럼을 (b)는 전력선통신에서 일반적으로 사용되는 영역으로 확대한 그래프로 약 -40~-60[dB] 정도의 크기를 가지고 있음을 알 수 있다.

2.2 선로 임피던스

전력선은 전력사용의 상태에 따라 폭넓은 임피던스 변화폭을 가지고 있다. 그러나 송신측과 전력선간의 가장 효율적인 결합을 위해서는 예상되는 임피던스 변화폭의 가장 낮은 임피던스를 평가하

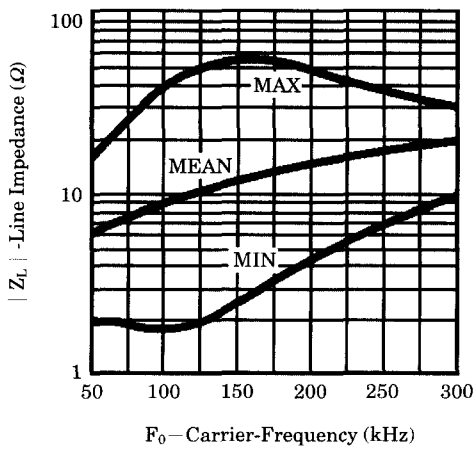


(a) Broad band

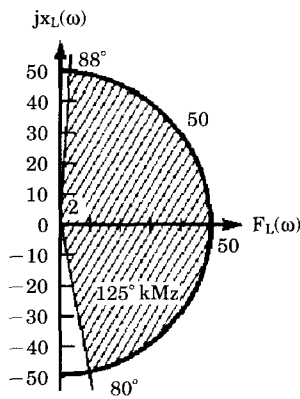


(b) PLC band

Fig. 3 Noise spectrum from a vacuum cleaner



(a)According to carrier Frequency



(b) Imaginary plane

Fig. 4 Line impedance of low voltage distributed power line 115V 60Hz

여야 하며 적절한 통신신호 레벨을 유지하기 위해서는 반드시 선로임피던스를 측정하여야만 한다. Fig. 4 (a)는 거주지역과 상업지역에서의 115[V] 60[Hz] 전력선의 임피던스를 Nicholson-Malack Research에서 측정한 데이터이며 (b)는 복소수평면에서 선로 임피던스를 도시한 것이다.

Fig. 4에서와 같이 임피던스의 변화폭은 200[KHz]까지는 부하의 변화에 따라 상당한 차이가 있으나 200[KHz] 부터는 변화폭이 작아져 설계가 용이하여 짐을 알 수 있다.

대부분의 컴퓨터나 텔레비전에서 사용되는 전자기 방사조절용 콘텐츠와 대용량 전열기기는 낮

은 임피던스 루프를 형성하여 전력선 반송통신 신호의 싱크(sink)로 작동하게 되므로 손실이 커지며 10~15[dB]정도의 감쇠원인이 된다.

2.4 시스템의 설계

반송주파수가 높으면 잡음특성이 우수하지만 관계법에 의해 10~450[KHz]의 범위로 제한되어 있어 본 시스템에서는 320[KHz]로 선정하였다. 전송속도는 높을수록 좋지만 부하의 종류와 변동을 감안하여 본 연구에서는 9600[bps]를 목표로 하였다. 선로임피던스 결합회로의 설계에 있어 첨예도 Q는^{[4],[5]}

$$Q = \frac{R}{X_L} \tag{1}$$

단, Q; 병렬공진회로의 첨예도

R; 코일의 저항

X_L ; 펄스트랜스의 코일 임피던스

이므로 위 식에서 부하가 걸렸을 때 선로임피던스를 1차측으로 합산하여 펄스트랜스의 코일의 인덕턴스 L_1 을 구하면

$$L_1 = \frac{Rq // |Z_{LN}|'}{2 \times \pi \times F_o \times Q_L} \tag{2}$$

단, F_o ; 반송주파수

Q_L ; 부하가 걸렸을 때의 병렬공진회로의 첨예도

Rq ; 펄스트랜스 손실을 모델화한 병렬저항

Z_{LN} ; 전력선 선로 임피던스

$|Z_{LN}|'$; 선로 임피던스 Z_{LN} 의 반사 임피던스

이 된다. 또 Q_L 과 대역폭 BW와의 관계는

$$Q_L = \frac{1}{BW_{allow}} \tag{3}$$

가 된다. 여기서 BW_{allow} 는 대역폭의 변동을 합한 값으로서, 반송주파수의 편차를 ± 2.2 [%]로 온도 변화에 따른 반송주파수 변동을 4.3%로 가정하면 BW_{allow} 는 8.7[%]가 되어, 식(3)에서 Q_L 은 11.5가 된다. Fig. 4에서 반송주파수 320[KHz]에서의 선로임피던스를 20[Ω]으로 하여 Table 1과 같은 사양을 만족하는 펄스트랜스를 설계한다. 펄스트랜스에서 소비되는 최대전력 P_o 는

Table 1. Design specifications of the system using PLC

항목	내용	항목	내용
반송주파수	320[KHz]	전송속도	9600[bps]
전송제어방식	플링방식	회선구성형태	multidrop
변조방식	ASK	네트워크구성	서버크라이언트
통신프로토콜	전용	접속유닛수	최대1024
선로임피던스	20 [Ω]	콜렉터전압	12[V]
출력전류(I _{opp}) (peak to peak)	200 [mA]	필스트랜스의 출력	0.6[W]

$$P_o = I_o \times V_o = \frac{I_{opp}}{2\sqrt{2}} \times \frac{2V_{cc}}{2\sqrt{2}} \quad (4)$$

이때 Table 2의 사양값을 대입하면 P_o는 0.6[W]가 되며

$$Rq // |Z_{LN}|' = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (5)$$

이므로 V_o와 P_o의 값을 대입하면 Rq // |Z_{LN}|'은 481[Ω]이 된다. 이것을 식(2)에 대입하여 필스트랜스의 인덕턴스 L₁을 구하면 20[μH]가 된다. 또한 병렬공진을 위해 필요한 공진 콘덴서 C₁은

$$C_1 = \frac{1}{(2 \times \pi \times F_o)^2 \times L_1} \quad (6)$$

이므로 C₁은 12[nF]가 된다.

3. 시스템의 구성

앞장에서 설명한 전력선통신의 유용성을 입증하기 위하여 전기장치에 탑재된 제어장치를 전력선통신을 이용하여 전자적으로 원격제어하는 전원제어시스템을 Fig. 5와 같이 구성하였다. Fig. 5에서 ID_U는 전력선통신으로 수신한 제어신호에 의해 전기기기의 전원을 제어하는 자기번호인식형 전원제어장치이며 ID_GC2는 전기기기의 전원을 제어하기 위하여 제어신호를 발신하는 두 개의 전용 스위치를 장치한 제어신호발신스위치이고 ID_GC12는 12개의 스위치를 장치한 제어신호발신스위치이다. ID_GC2와 ID_GC12의 각 스위치는 스위치에 해당하는 자기번호가 각각 할당되어 있어 스위치를 동작하면 그 스위치에 해당하는 자

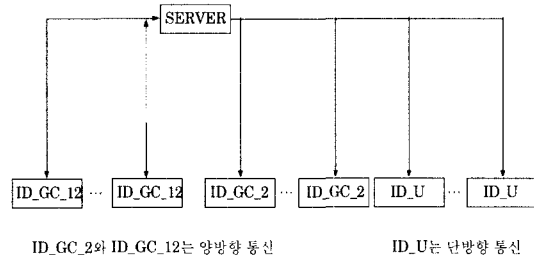


Fig. 5 Configuration of an overall system

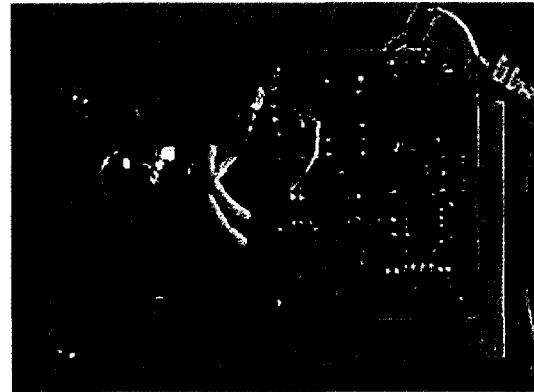


Photo.1 ID recognizable control unit(ID_U)

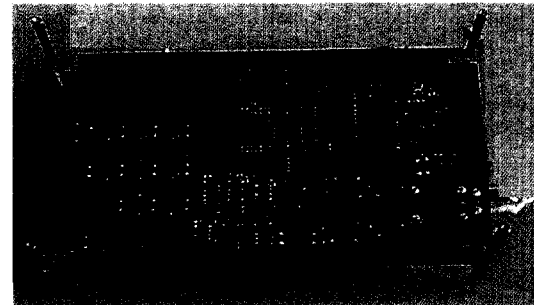


Photo.2 ID transmissible server(ID_server)

기번호와 동작상태를 발신한다.

Photo. 1은 개발된 전력선통신을 이용한 자기번호인식형 전원제어장치이고 Photo. 2는 시스템을 관장하는 서버이며 Photo. 3은 ID_U에 자기번호를 발신하는 2스위치와 12스위치이다. 스위치 장치가 두 개 이상 설치되면 제어신호가 동시에 발생되어 제어신호는 충돌할 우려가 있어 이를 방지하기 위하여 이더넷(ethernet) 프로토콜과 같은 오버

헤드가 많은 충돌감지 및 회피가 가능한 통신 프로토콜을 사용하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 서버 클라이언트 구조의 네트워크를 구성함으로써 오버헤드가 적은 통신프로토콜을 사용하여 시스템을 구성한다. Fig. 6은 통신패킷의 구조로 2바이트로 구성되어 있다. 수신제어비트는 유닛사이의 통신흐름을 제어하는 비트로서 값에 따라 수신할 유닛을 지정할 수 있으며 BYTE_NO는 패킷바이트의 번호이며 Priority는 명령수행상태를 나타낸다. ID 비트는 9비트로 512개의 유닛을 제어할 수 있으나 유닛의 수가 많으면 한 비트 확장하여 최대 1024개의 유닛을 제어할 수 있다. Fig. 7은 서버 소프트웨어 흐름도로서, 서버에서는 ID를 소프트웨어로 지정하고 ID_U에서는 서버에서 지정한 ID를 덤스위치로 조정한다. ID입력이 완료되고 시스템이 시작되면 서버는 순차적으로 ID_GC에 스위치동작 변동데이터를 요구한다. 스위치변동이 있

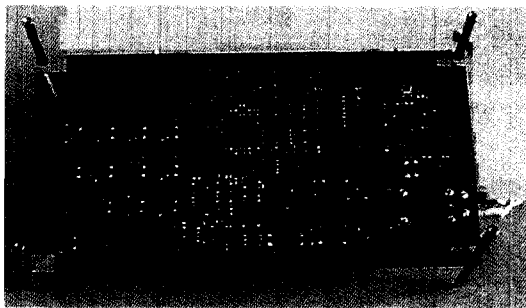
는 ID_GC는 변동된 스위치의 ID와 명령상태로부터 Fig. 6과 같이 통신패킷을 만들어 서버에 응답하고 서버는 ID_U에 스위치동작 명령통신을 시작한다. Fig. 8은 ID_U 소프트웨어 흐름도로서 수신된 데이터가 ID_U가 받아야 할 정보이면 수신하여 자신의 ID이면 명령비트에 따라 트라이악 스위치를 동작시킨다.

수신제어	BYTE_NO	ID(5 Bit)	Priority
------	---------	-----------	----------

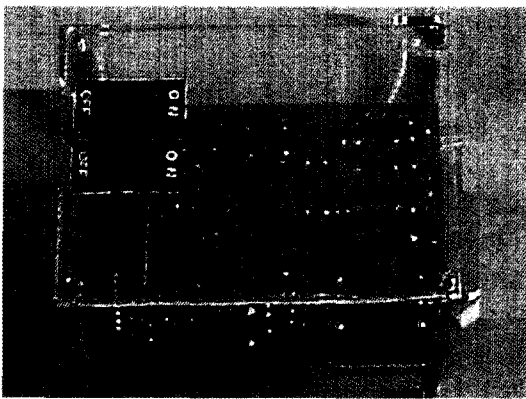
수신제어	BYTE_NO	ID(4 Bit)	Don't care	Priority
------	---------	-----------	------------	----------

수신제어비트 :
 00 ; Server→ID_U, 01 ; Server→ID_GC
 10 ; Don't care, 11 ; ID_GC→Server

Fig. 6 Configuration of communication packet



(a) ID transmissible 12 switch(ID_GC12)



(b) ID transmissible 2 switch(ID_GC2)

Photo. 3 ID transmissible switch

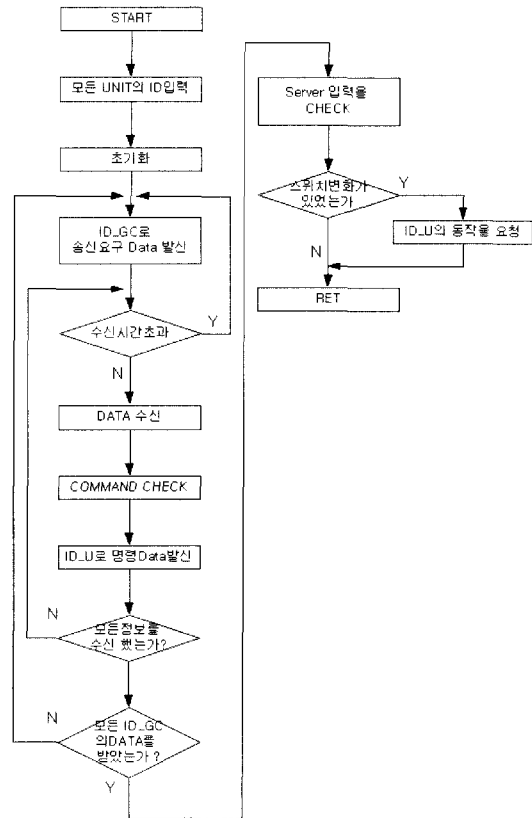


Fig. 7 Software flow diagram for server system

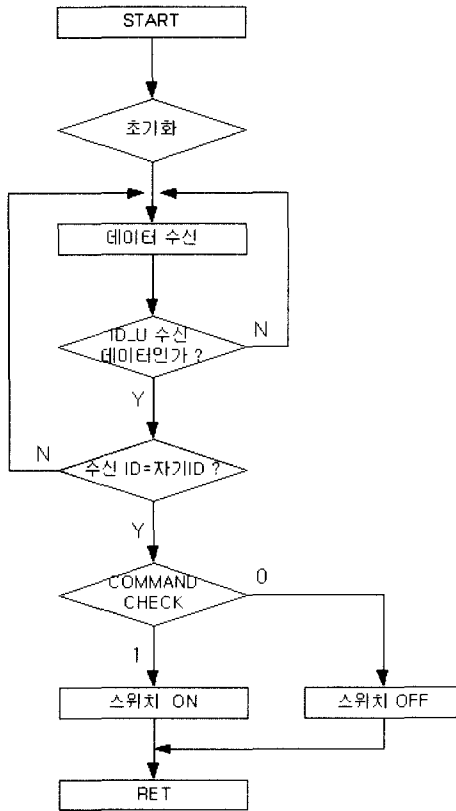


Fig. 8 Software flow diagram for ID_U

4. 실험 및 고찰

5대의 컴퓨터를 사용하고 있는 실험실환경에서 동일한 선로상의 서로 다른 콘센트에 발신유닛과 수신유닛을 연결하여 송수신 실험을 행하였다. Fig. 9는 발신유닛에서 보내는 9600[bps]에 해당하는 데이터이며, Fig. 10은 발신데이터가 320[KHz]의 반송파로 변조된 파형이다. Fig 11은 반송파로 변조된 데이터가 실험실 220[V] AC 전력선에 데이터신호로 결합되기 위하여 펄스트랜스의 코일에 인가되었을 때의 파형이며, Fig. 12는 펄스트랜스 1차측을 지나 AC 전력선에 결합된 파형이다. Fig. 13은 AC 전력선에 결합된 신호가 수신유닛에서 전력선으로부터 분리된 파형이고, 분리된 데이터신호가 하이패스 필터와 증폭기를 거쳐 복원된 신호를 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 9에

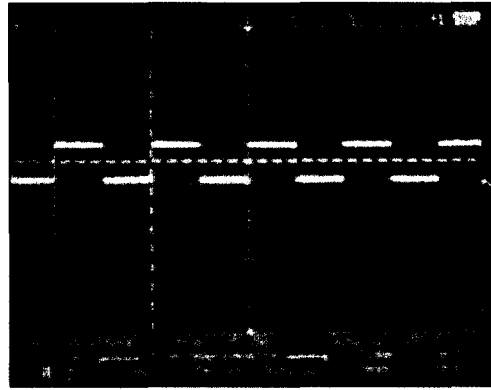


Fig. 9 Data signal of 9600[bps]

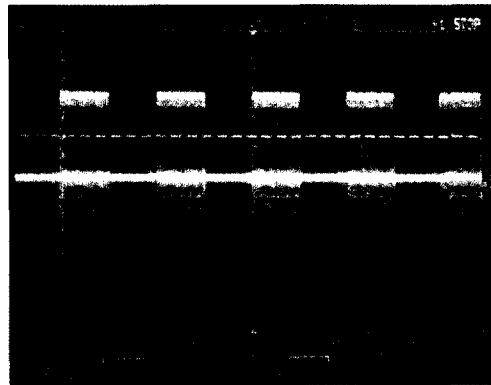


Fig. 10 Modulated signal with carrier frequency

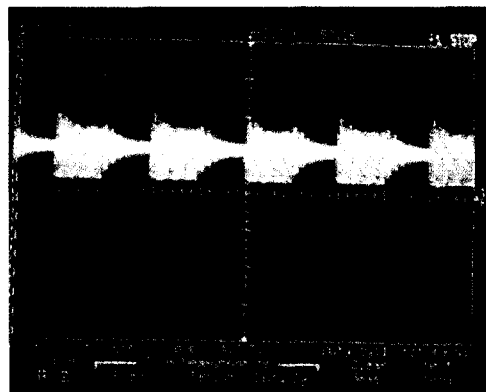


Fig. 11 signal of transmission side of coupling transformer

서 Fig. 14까지의 파형을 분석하여 볼 때 9600 [bps]로 발신된 제어신호가 전력선을 통과하여 수

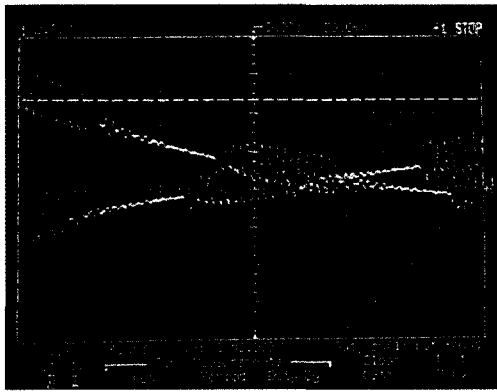


Fig. 12 Signal coupled on power line

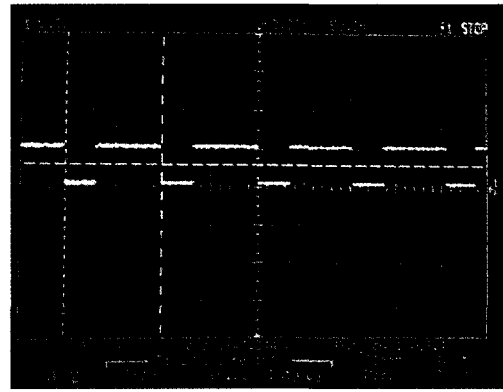


Fig. 14 Demodulated signal by receiver

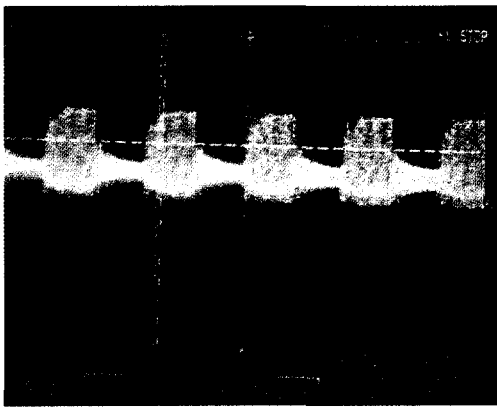


Fig. 13 Received signal after being decoupled by coupling transformer

신유닛에서 잘 복조됨을 알 수가 있다. Table 2는 송신거리를 측정하기 위하여 발신유닛과 수신유닛사이의 거리를 50[m] 간격으로 하여 수신유닛의 결합트랜스 출력단의 전압을 측정한 데이터이다. KSC3328 600V HIV 2.0[mm²]의 옥내배전선 300[m]를 둘레 25[m]되는 직사각형 실내에 배선하여 측정한 결과 전선 100[m]당 인덕턴스는 45[μH], 저항은 0.74[Ω]이었으며 220[V] 단상전압을 가하여 실험을 행하였다. 실험결과 300[m]까지 피크사이의 전압이 5[V]로 충분히 데이터신호를 수신할 수 있었으며 수신기유닛은 피크사이 전압 1.5[V]까지 수신 가능하도록 설계되어 있으므로 수신가능거리는 300[m]이상이 됨을 확인할 수 있었다. Table 2에서 100[m]의 거리에서 보다

Table 2 Transmissible distance test line inductance : 45μH/100m line resistor 0.74Ω/100m

Distance between units [m]	Receiver voltage at coupling trans. (peak to peak)	Distance between units [m]	Receiver voltage at coupling trans. (peak to peak)
0	42.3	200	9.3
50	5.2	250	5.2
100	4.5	300	5.1
150	4.5		

200[m] 거리에서의 수신전압이 높은 것은 이 거리가 반송주파수 파형길이의 1/4되는 지점이기 때문으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 320[KHz] 반송주파수로 데이터 신호를 ASK방식, 9600[bps]의 속도로 전력선을 이용하여 통신할 수 있는 모델을 설계제작하고 서버 클라이언트의 구조로 네트워크를 구성하여 다수의 제어신호발신기에 의한 다수 전기기기의 전원을 제어하고자 하였다.

전기기기의 전원제어를 위한 신호발신 유닛의 수가 다수일 경우 통신신호의 충돌을 회피하기 위하여 시스템을 서버 클라이언트 구조로 하여 서버가 순차적으로 제어신호발신유닛에 신호를 보내 스위치변동 데이터의 발신을 요구하여 제어함으로써 복잡한 프로토콜 사용을 방지하였다. 시스템

을 구현한 후, 제어신호의 감쇠에 가장 많은 영향을 주는 개인용 컴퓨터, 전열기와 잡음원이 될 수 있는 진공청소기 및 각종 계측기가 연결되어있는 실험실환경에서 전력선통신실험을 행한 결과 300[m]이상 까지 원활하게 제어가 되는 것을 확인하였다. 실용화를 위하여서는 통신거리와 신뢰성 향상을 위한 여러 가지 부속장치를 개발하고 다양한 실제 환경에서 장시간의 실험이 필요할 것이지만, 이상의 실험으로 인텔리전트 아파트의 조명 제어 시스템 등 광범위한 분야에 활용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Phil Sutterlin and Walter Downey, "A Power Line Communication Tutorial Challenges and Technologies", Echelon Corporation
2. 오상기, "마이크로프로세서를 이용한 배전 선 반송 채널용 FSK 통신제어시스템 구현 에 관한 연구", 원광대학교, 1994
3. 현덕화, 유인협, 박병석, "전력선을 이용한 통신기술의 동향", 전기저널, 2000. 9.
4. National Semiconductor, LM1893/LM2893 Carrier-Current Transceiver, 1995
5. Intellon, Intellon SSCP200 and SSCP300 HardWare Design Reference, 1998
6. 유영호, "전력선통신의 현황과 전망", 한국박용기관 학회지, 제25권, 제2호, 2001. 3
7. "고속 전력선통신망 기술개발에 관한 연구과제"

1999. 6, 산업자원부
8. 김대회, "전력선통신망산업의 현황(제1부)",주간전자정보, 2000. 12. 27
 9. 김대회, "전력선통신망산업의 현황(제2부)",주간전자정보, 2001. 1. 25

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

저 자 소 개



김경엽(金瓊燦)
 1973년 2월 생. 1999년 동아대학교 전기공학과 졸업. 2000~현재 한국해양대학교 제어계측공학과 석사과정



문복산(文福山)
 1974년 6월 생. 2000년 한국해양대학교 자동차·정보 공학부 졸업 2000~현재 동대학원 석사과정



유영호(劉永昊)
 1951년 10월 10일생. 1974년 한국해양대학교 기관학과졸업. 1990년 한국해양대학교 대학원(공학박사), 당 학회 재무이사, 1991년~현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 부교수