

## 전력선을 이용한 ASK통신모뎀에 관한 연구

正會員 司空 石 鎭\* 正會員 宋 文 圭\*\*

### A Study on the ASK Communication Modem over Electrical Power Lines

Sug Chin Sakong\*, Moon Kyou Song\*\* *Regular Members*

#### 要 約

전력선은 동축선이나 광섬유 링크와는 대조적으로 제한된 전송전력, 높은 부하 간섭과 잡음, 가변하는 감쇠 및 임피던스 레벨 등의 문제를 안고 있으나, 별도의 통신선로가 필요없이 신호와 전원을 동시에 제공할 수 있는 잇점이 있으므로 가정 자동화 및 근거리 통신 목적으로 가치있는 채널을 제공한다. 본 논문에서는 이러한 220V의 AC 전력선을 이용하여 1200bps의 디지털 신호를 송수신할 수 있는 OOK BASK 모뎀을 구현하였다. 수신 신호의 복조를 위해 비동기 검파 방식을 택하였으며, 연성판정(soft decision)을 수행하였다. 대부분의 과정을 단일 칩 마이크로 프로세서를 이용하여 하드웨어를 대폭 간소화하였다. 또한 유럽의 표준인 CENELEC의 규격에 적합하도록 설계되었으며, 가정 자동화 시스템으로 적절히 응용될 수 있음을 확인하였다.

#### ABSTRACT

The layout of electrical power distribution networks never involved communications aspects. As a result their transmission properties severely complicate the use as data links. Furthermore bandwidth as well as transmission power is restricted. Nevertheless, power distribution networks represent a most attractive medium for digital communication purposes due to an ever increasing demand, e.g., for environment management of buildings, office automation, and remote meter reading or security monitoring.

In this paper, a power line modem which is capable of transmitting and receiving data at 1200 bps using OOK-BASK through 220V AC power lines is implemented. The receiver includes noncoherent detector and performs soft decision. The PLM circuits can be simplified by use of microprocessor. The PLM also satisfies CENELEC, European standards, and can be applied to home automation system.

\*國民大學校 電子工學科  
Dept. of Electronics Engineering, Kukmin Univ.

\*\*高麗大學校 大學院 電子工學科  
Dept. of Electronic Eng., Korea Univ.  
論文番號 : 92-95 (接受1992. 2. 1)

## I. 서 론

현대에는 사무실과 공장 건물 뿐 아니라 주택 온도, 습도, 전력 소모량, 상수도 및 도시 가스 등의 수많은 센서(sensor)와 계측·계량기 및 각종 가전 제품 등 여러가지 전기·전자 기기가 정착되어 있다<sup>1)</sup>. 적절한 링크(link)가 실제적으로 유용할 경우 각종 기기에 대한 여러가지 제어와 감독 기능은 중앙의 PC(personal computer)나 마이크로 프로세서에 의해 자동적으로 수행될 수 있을 것이다. 이러한 가정 내 각종 기기의 제어 뿐만 아니라 정보 전송을 행하는 home network에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 가정 내의 정보로서는 각종 기기의 사용 상태를 나타내는 on-off 정보, 인터폰 등의 아날로그 음성정보, PC의 데이터 정보 및 계량기의 정보 등이 있으며 최근에는 영상 정보까지도 생각되고 있다<sup>2)</sup>.

이러한 정보전송을 위한 매개체로서 무선을 비롯해 광섬유와 동축선 및 기조의 상용 전원선 등을 생각할 수 있다. 현재 상황에서 영상 정보, 고속 데이터 등은 동축선로나 광섬유를 이용한 network에서 전송하고, on-off 정보, 저속 데이터 등은 비용 등을 고려할 때 기존에 있는 상용전력선을 이용해서 시스템이 고려되어 진다<sup>3)</sup>.

전력선은 동축선이나 광섬유 링크와는 대조적으로 제한된 전송전력, 높은 부하 간섭과 잡음, 가변하는 감쇠 및 임피던스 레벨 등의 문제를 안고 있으나 별도의 통신 선로가 필요없이 신호와 전원을 동시에 공급받을 수 있는 잇점이 있으므로, 가정 자동화(home automation) 및 근거리 통신 목적으로 가치있는 채널을 제공한다. 이러한 전력선의 통신기능은 비단 가정 내에서의 전력선에만 국한되는 것은 아니며, 전기 분야의 응용에서 원거리 계량·계측기 관독(remote meter reading) 및 부하의 제어작업(load control task) 등을 위한 가정 외에서의 정보와 제어 신호의 링크로서도 중요한 역할을 담당하게 될 것이 기대된다<sup>4)</sup>.

본 연구의 주관식 대상인 가정 자동화란 가정내의 각종 부하를 제어하고 각종 센서를 이용하여 화재, 가스누출, 방법 등의 신호를 감지하여 적절한 조치를 하는 시스템으로, 하드웨어에 의한 단순한 가사의 합리화 뿐 아니라 소프트웨어 면을 포함한 생활의 쾌적성, 편리성, 안정성을 도모하는 것이다. 본 논문에서는 이러한 HA 시스템을 위한 통신 선로로 가장 적합한 전력선을 이용하여 디지털 신호를 송수신하기 위

한 전력선 모뎀(power line modem)을 ASK(amplitude shift keying)방식을 이용하여 특히 CENEL EC(Comité Européen de Normalisation Electrotechnique)의 규제에 적합하도록 설계 구현하였으며, 적절한 동작을 확인하였다.

## II. 전력선의 통신 조건과 규제

전력선 모뎀(이하 PLM)은 전력선을 통신선로로 사용하여 각종 데이터를 송수신하지만, 전력선은 본래 상용 전력을 전송하기 위해 설치되었고 또한 설치시에 통신의 측면에서 고려된 바가 전혀 없으므로 전력선을 통한 전송 특성은 데이터 링크로서의 사용을 매우 어렵게 하며, 특히 고주파수대의 전송 품질에 관한 보증은 없다. 즉, 전력선은 각종 전자 기기와 연결되어 있으므로 각종 기기에서 발생하는 잡음과 간섭의 영향이 상당히 크고, 전력선의 인덕턴스와 부하에서 형성되는 커패시턴스에서 공진회로가 형성되어 특정 주파수에서의 손실이 발생할 수도 있다.<sup>13)</sup> 통신 신호와 잡음의 레벨은 매우 변하기 쉽고 예측이 곤란하며 신호의 감쇠는 주파수에 의존적이며 시변한다.

더욱이 전송 신호가 기타 기기에 미치는 악영향을 고려해 전송전력과 대역폭이 규제되고 있는데, 유럽 지역의 표준인 CENELEC에 의하면, 95~148.5KHz의 주파수 범위가 통신용으로 허용되고 있으며 최대 전송전력은 일반 통신인 B급의 경우 116 dB $\mu$ V<sub>rms</sub>로 제한되어 있다. 또한 상호 간섭을 방지하기 위해 고조파의 레벨에 대한 규제가 존재하며 이는 9~150 KHz 대역에서는 주파수축을 대수로 취하였을 경우 신호의 quasi peak 값이 89 dB $\mu$ V에서 66 dB $\mu$ V까지 선형적으로 감소하며 150KHz와 30MHz 사이에서는 표1과 같은 규제가 존재한다<sup>14)</sup>. 이러한 제한에 대한 곡선을 그리면 그림 1과 같다.

표 1. 150KHz와 30MHz사이의 주파수 영역에 대한 교란 전압의 제한<sup>14)</sup>

Table 1. Limits of mains terminal disturbance voltage in the frequency range 0.15 MHz to 30 MHz

주파수 범위(MHz)	제한 전압[dB( $\mu$ V)]	
	Quasi-peak	Average
0.15~0.50	66~56	56~46
0.5 ~5.0	56	46
5.0 ~3.0	60	50

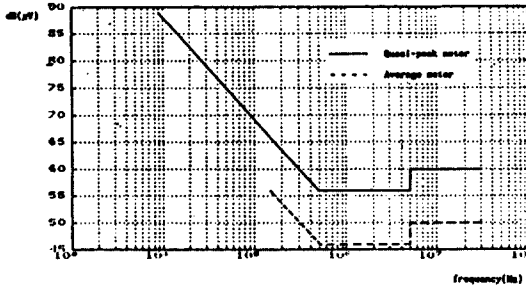


그림 1. 잡신호에 대한 전압의 제한  
Fig. 1. Voltage limits for spurious outputs in other bands

이상의 고찰에서 PLM은 전력선에 접속된 기기 등에 의해 신호의 크기가 작아도 충분히 감지할 수 있어야 하며, PLM의 반송파에 의해 발생하는 고조파 성분이 다른 기기에 영향을 주지 않도록 고조파 성분을 최소화하여야 한다. 또한 PLM은 각종 데이터를 주고 받아야 하므로 전송속도가 가능한한 빠를수록 좋다. 이상의 요건을 적절히 절충(trade-off)하여 본 PLM시스템은 1200 bps가 가능하도록 설계하였다.

### III. 이론적인 고찰 및 시스템 설계

ASK방식의 전송 신호  $s(t)$ 의 파형은 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = d(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (1)$$

여기에서  $f_c$ 는 반송주파수로서 본 연구에서는 110 KHz를 사용하며,  $\phi$ 는 위상,  $d(t)$ 는 기본대역(base-band) 신호이다. 기본대역 신호가 반드시 구형파일 필요는 없다. 본 연구에서 사용된 기본대역 신호는 단극 NRZ펄스로서 Intel사의 마이크로 프로세서 8051을 사용하여 발생하며, 기타의 제어도 역시 담당하도록 하였다. CENELEC에 의한 대역폭 규제로 다소의 지연이 발생하지만, 전송신호  $s(t)$ 는 근사적으로 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi) : \text{"1"인 경우} \\ = 0 : \text{"0"인 경우} \quad (2)$$

이러한 방식을 특별히 OOK(on-off keying)라고 부르기도 한다. OOK에 대한 최적 수신기와 오류확

률을 살펴보기 위해 우선 2진 신호 "1"과 "0"의 발생 확률은 동일한 것으로 가정하자.

우선 그림 2와 같이 정합 필터(matched filter) 등의 방식으로 구현될 수 있는 동기검파(coherent detection)에서의 비트 당 평균에너지  $E_b$ 에 대한 OOK의 비트 오류확률은

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \quad (3)$$

과 같다[5][7].

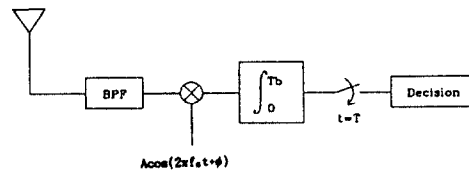


그림 2. 동기 검파기  
Fig. 2. Coherent detector for OOK

한편 그림 3과 같은 구조의 비동기 검파기(noncoherent detector)를 사용할 경우의 비트 오류확률은 근사적으로

$$P_b = \frac{1}{2} \exp \left[ -\frac{E_b}{2N_0} \right] \quad (4)$$

가 된다[5][7].

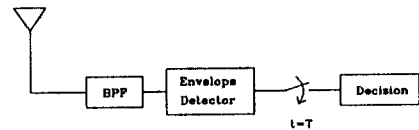


그림 3. 비동기 검파기  
Fig. 3. Noncoherent detector for OOK BASK

위의 두 식을 비교할 때 높은 SNR인 경우 동일 오류확률에 대해 동기검파기가 비동기 검파기보다 1dB 향상될 뿐이므로(그림 4 참조), 본 연구에서는 회로 구성이 간단한 비동기 검파방식을 채택한다.

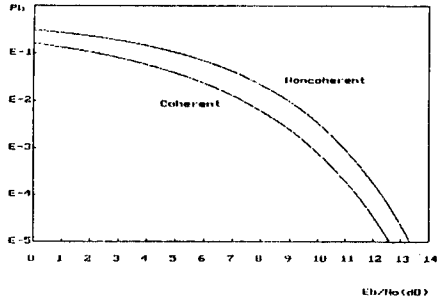


그림 4. BASK 검파기의 성능 비교  
Fig. 4. Performance of BASK detectors

IV. 시스템 설계 및 구현

[1] PLM 송신부

그림 5는 PLM의 송신 시의 구성도를 나타낸다.

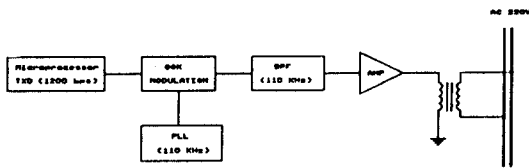


그림 5. PLM 송신부  
Fig. 5. Transmitting section of the PLM

전송 데이터는 키보드의 선정에 따라 마이크로 프로세서에 의해 TXD단자에 실리게된다. 송신 시 110 KHz의 반송파 신호는 TXD 구형파 신호에 의해 ASK 변조된다. 실제의 구현에서 110 KHz의 반송파는 NE567 PLL IC를 이용하였고, 믹서의 역할은 4053 아날로그 스위치로 수행하도록 하였다.

변조된 신호는 110 KHz의 BPF를 거친 후 증폭되어 전력선에 인가된다.

[2] PLM 수신부

PLM의 수신시 동작에 대한 구성은 그림 6과 같다.

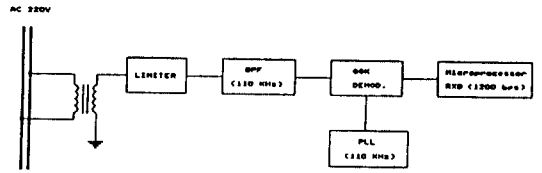


그림 6. PLM의 수신부  
Fig. 6. Receiving section of the PLM

전력선을 통해 전달된 신호는 HF 변압기(transformer)를 거쳐서 PLM에 인가된다. 60Hz의 전력신호에 대한 절연을 위해 사용한 변압기는 TOKO사 제품을 이용하였다. 변압기를 거친 신호는 각종 부하 등 전력선 통신 조건에 따라 레벨의 변동이 심하므로, 이 영향을 제거하기 위해 연산증폭기와 다이오드 회로로써 그 레벨을 증폭 제한한다.

레벨 제한된 신호는 4053 아날로그 스위치와 BPF를 거쳐 NE567 PLL IC를 이용하여 포락선을 검파하게 되며 이 신호를 마이크로 프로세서가 받아서 연성 판정(soft decision)을 수행하게 된다.

[3] 제어부의 설계

본 PLM 시스템은 1200 bps로 시리얼 통신(serial communication)을 하며 이때의 데이터 포맷(format)은 그림 7과 같으며, 시작 비트(0)와 8비트의 데이터 및 정지 비트(1)를 포함하는 10 비트로 구성된다.



그림 7. 데이터 포맷  
Fig. 7. Data format

제어부에서는 그림 7과 같은 전송 데이터의 발생 외에도 수신데이터의 soft decision 및 응답확인 신호 발생, 영교차(zero-crossing) 검파 및 부하의 접속 제어 등의 기능을 수행한다. CPU로는 Intel사의 단일칩 마이크로프로세서인 8751을 이용하여 설계하였다. 데이터율(Data rate)은 1200 bps로 하였다.

[4] +5V, +15V 전원회로

LM7805 및 LM7815를 사용하여 마이크로 프로세

서와 PLL IC 및 연산증폭기 등의 전원을 AC 전력선으로부터 직접 공급하도록 설계하였다.

[5]110KHz 대역통과 필터(BPF)

본 연구의 PLM 시스템이 유럽의 통신규격인 CE NELEC을 만족하는 BPF의 특성을 구하기 위해서 우선 PLL의 대역폭을 결정한다. 측정결과 PLL의 depection range를 105KHz에서 115KHz(BW=10 KHz)로 하면, PLL의 최소 입력전압은 200 mV<sub>pp</sub>이다. 따라서 BPF의 입력신호가 105-115KHz를 벗어날 경우, PLL이 동작하지 않기 위하여 BPF의 출력 신호 레벨은 200 mV<sub>pp</sub> 이하가 되어야 한다. 따라서 BPF 입력신호의 최대 레벨을 0.7 V<sub>pp</sub>로 할 경우 200mV<sub>pp</sub>은 -10.8 dBV이므로 그림 8의 BPF 특성이 요구된다.

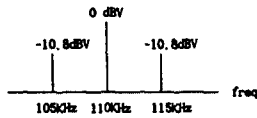


그림 8. 요구되는 BPF의 특성  
Fig. 8. Required characteristics for BPF

한편 CENELEC에서는 반송파 신호의 레벨을 116 dBμV<sub>rms</sub>로 제한하므로, 본 연구에서는 110KHz의 반송파 신호의 레벨을 106 dBμV<sub>rms</sub>로 정한다. 이제 그림 1과 그림 8의 조건을 만족하기 위해서 PLM의 BPF는 그림 9에 나타난 규격을 만족하여야 한다.

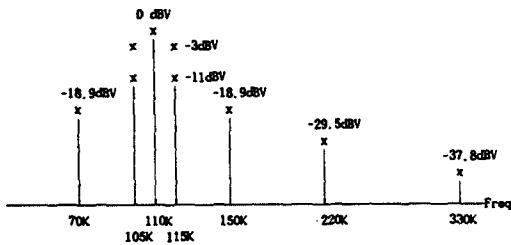


그림 9. PLM의 BPF의 설계 기준  
Fig. 9. Design criteria for BPF

위의 주파수 특성을 만족하기 위해서 우선 2차의 BPF를 그림 10과 같이 3개의 연산 증폭기를 사용하

여 구성한다.

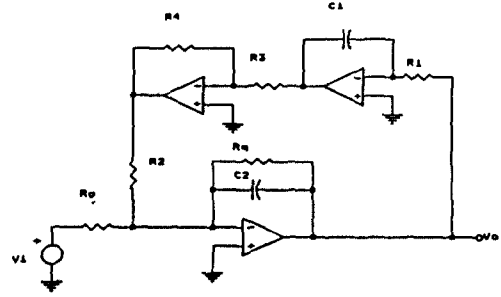


그림 10. 2차원의 능동 BPF 회로  
Fig. 10. 2nd BPF circuit with three OP amplifiers.

이 회로의 전달함수는 다음의 식으로 주어진다<sup>[4]</sup>.

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{R_o C_2} \frac{s}{s^2 + s \frac{1}{R_4 C_2} + \frac{R_1/R_3}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (5)$$

R<sub>q</sub>를 제외한 모든 저항은 R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>=R<sub>3</sub>=R<sub>4</sub>=R 로 하고, 모든 커패시터는 C<sub>1</sub>=C<sub>2</sub>=C로 취할 경우 그림 10의 능동 BPF 필터의 중심주파수와 Q(quality factor)는 다음의 식과 같이 주어진다.

$$\omega_o = \frac{1}{RC} \quad (6)$$

$$Q = \frac{R_q}{R} \quad (7)$$

이렇게 설계한 2차 BPF를 종속연결하여 그림 11과 같은 4차의 BPF를 구성하였다.

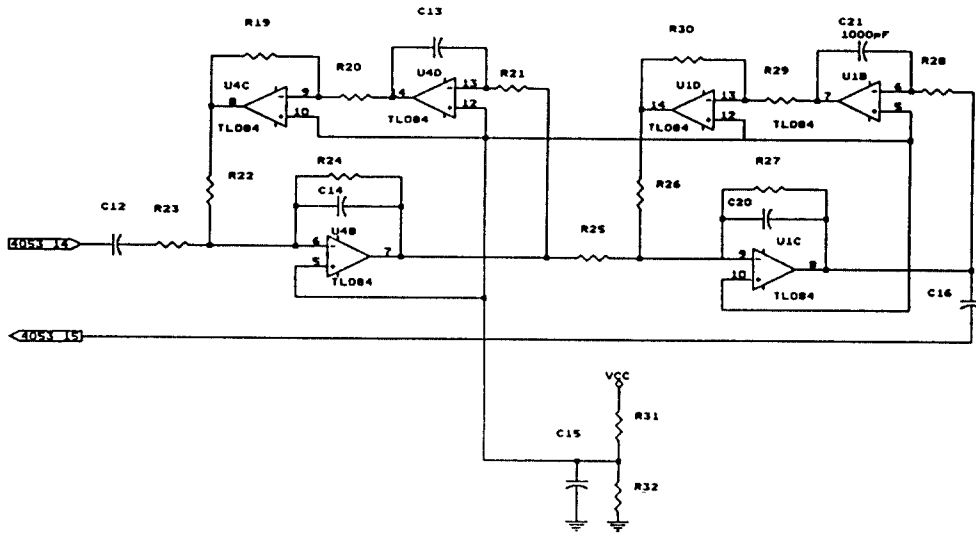


그림 11. 110 KHz BPF 회로  
Fig. 11. 110 KHz BPF circuit

V. 측정 결과 및 검토

다음은 그림 11의 BPF의 특성을 측정한 결과이다. 이상 설계된 회로를 이용하여 구성된 전체 PLM 시스템의 실제도 및 회로도(는 각각 그림 13, 14와 같다.

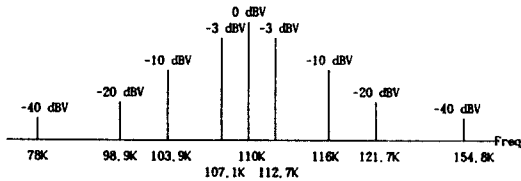


그림 12. 구현된 BPF의 특성  
Fig. 12. Characteristics of the implemented BPF

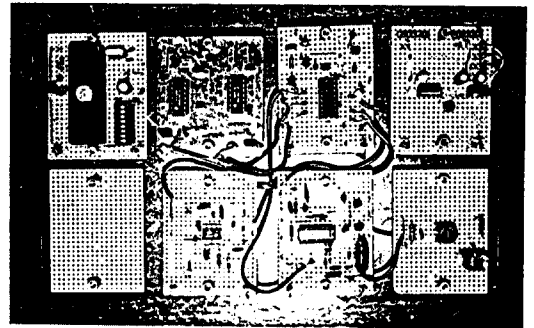


그림 13. 구현된 PLM 시스템의 실제도  
Fig. 13. Photograph of the PLM system

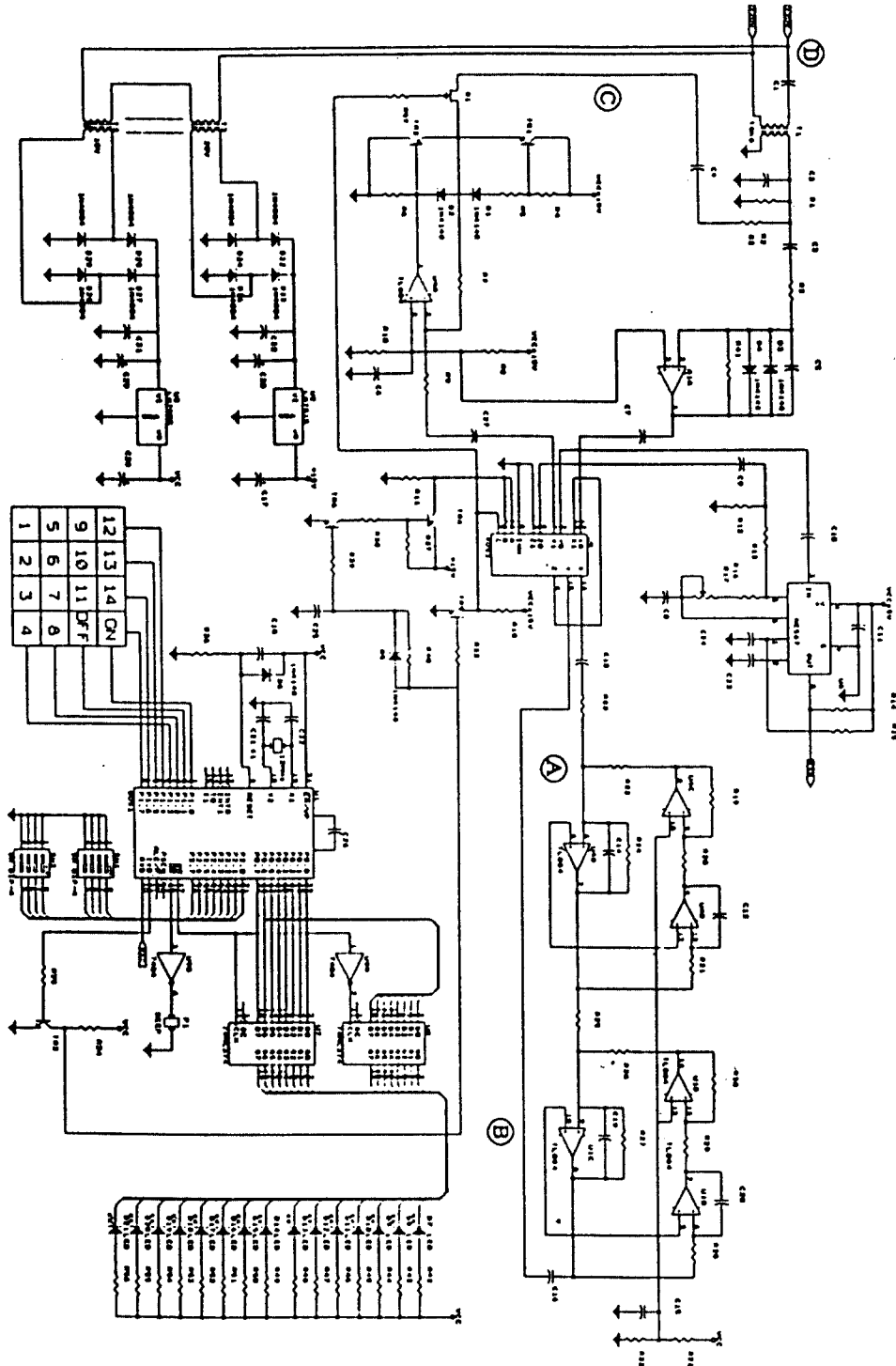
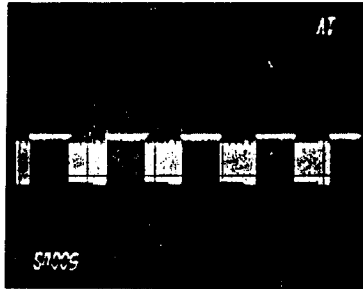


그림 14. 전체 PLM의 회로  
Fig. 14. Overall PLM circuits

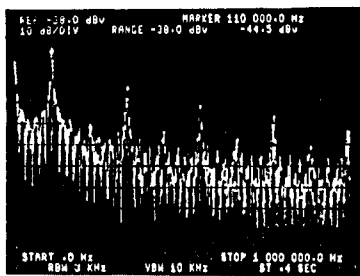
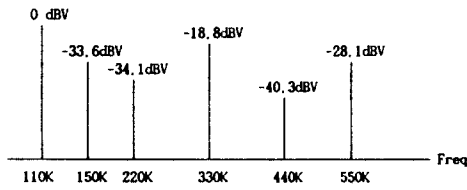
PLM 시스템을 이용하여 600Hz(1200bps)의 전송 신호에 대해 그림 14의 회로도에 표시된 각 지점에서 의 시간영역의 신호와 스펙트럼을 관찰하였다. 측정

장비로는 HP3585A를 사용하였으며, 측정 결과는 그림 15, 16, 17, 18에 나타내었다.



(a)

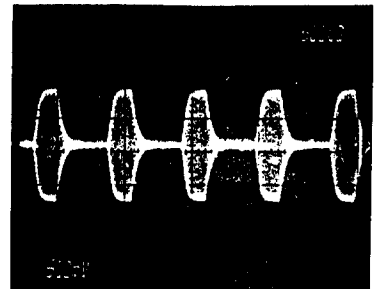
A 점 :



(b)

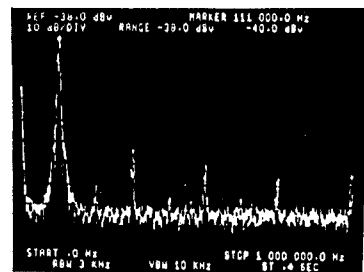
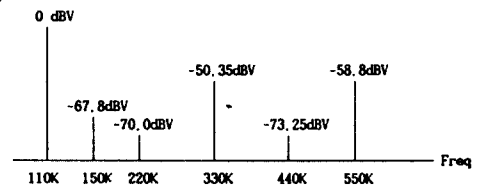
그림 15. 점 A의 신호 파형과 스펙트럼

Fig. 15. Signal waveform and its spectrum at point A



(a)

B 점 :

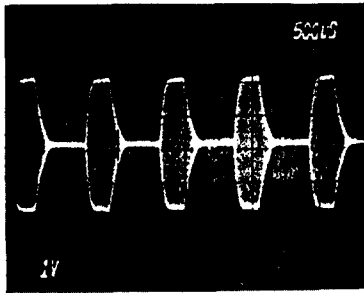


(b)

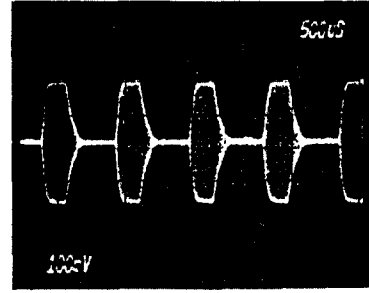
그림 16. 점 B의 신호 파형과 스펙트럼

Fig. 16. Signal waveform and its spectrum at point B



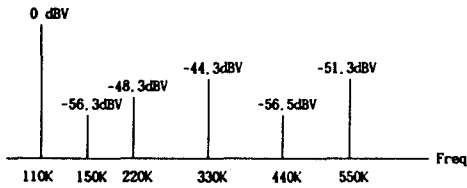


(a)



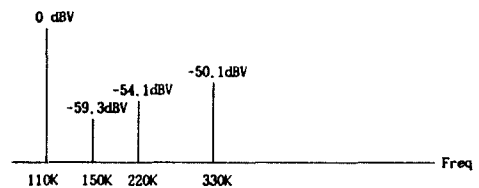
(a)

C 점 :



(b)

D 점 :



(b)

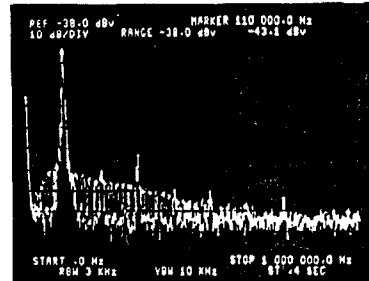
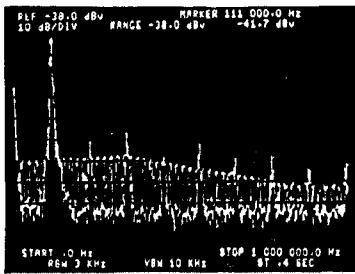


그림 17. 점 C의 신호 파형과 스펙트럼  
Fig. 17. Signal waveform and its spectrum at point C

그림 18. 점 D의 신호 파형과 스펙트럼  
Fig. 18. Signal waveform and its spectrum at point D

위의 그림 15부터 그림 18에서 알 수 있듯이 본 논문에서 구현된 PLM은 110KHz의 반송파를 이용하여 전력선 상에 고조파 성분을 최소화 하여 직렬통신이 가능함을 알 수 있다. 1200 bps 이상의 전송 속도로 데이터를 전송할 경우에는 고조파로 인하여 CENELEC의 규정에 위배되므로 본 시스템은 제 II장에서 설명한 바와 같이 1200 bps의 전송 속도를 규정하였다.

실제의 AC 전력선 상에서 1200 bps의 시퀀스의 전

송을 관찰하여 그 파형을 그림 19 및 20에 나타내었다. 그림 19에서 첫 번째 파형은 1200 bps의 전송 데이터이며 두 번째 파형은 전력선 상에 실리기 전에 OOK 변조된 파형이다. 그림 20에서 첫 번째 파형은 약 5m의 ac 전력선을 통해 수신된 파형으로 전력선 상의 잡음의 영향을 받은 모습이 보이며, 두 번째 파형은 복구된 데이터 파형으로 수신기 내부에서의 잡음으로 인한 지연이 있음을 알 수 있다.

이상의 실험과 관찰을 통해 본 논문에서 구현된

PLM 시스템은 실제의 전력선 상에서 1200 bps의 데이터를 전송할 수 있었으며, CENELEC의 규정을 만족함을 알 수 있다. 이타를 성공적으로 전송하고 수신할 수 있음을 확인 할 수 있다.

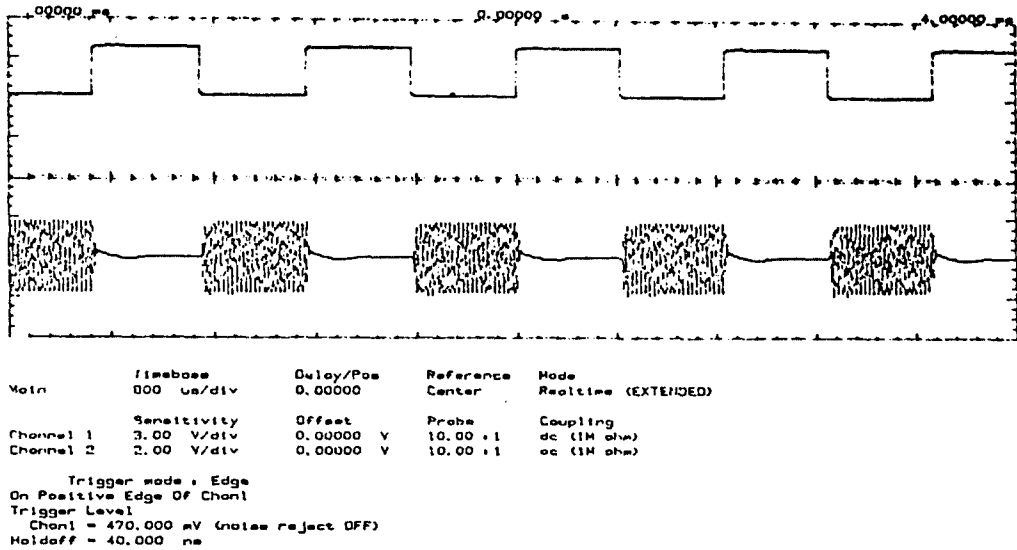


그림 19. 전송 데이터 및 송신파형  
Fig. 19. Transmitted data and transmitted signal waveform

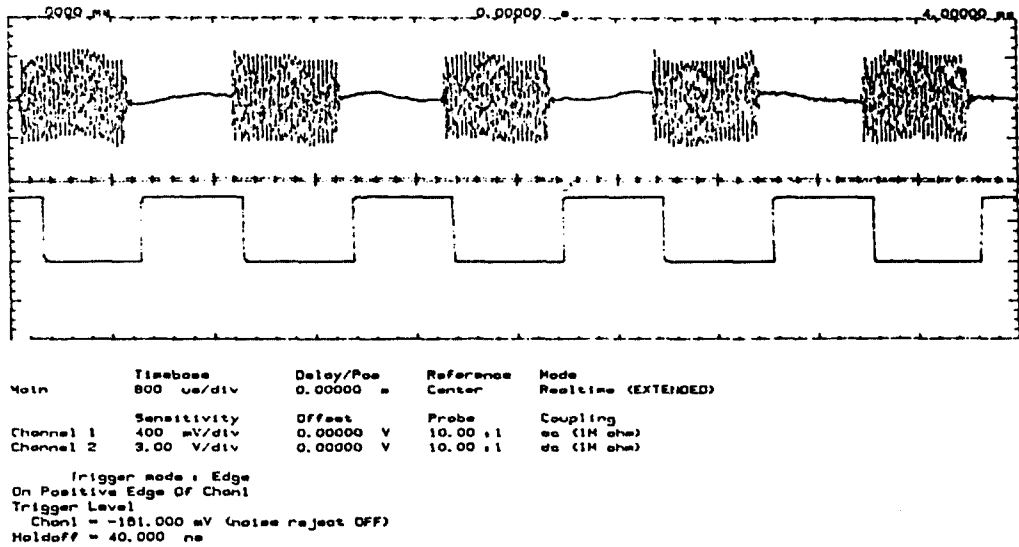


그림 20. 수신 파형과 복구된 데이터  
Fig. 20. Received signal waveform and recovered data

## VI. 결 론

본 논문에서는 220V AC전력선을 이용하여 1200 bps의 신호를 송수신하는 모델을 구현하였다. 변조 방식은 ASK방식이며, 수신 신호의 복조를 위해 비동기 검파방식을 택하였고, 연성판정(soft decision)을 수행하였다. 대부분의 과정은 단일칩 마이크로 프로세서를 이용하여 하드웨어를 대폭 감소화할 수 있었다. 한편 유럽의 전력선 통신에 대한 표준인 CENELEC의 규격에 적합하도록 설계되었으며, 가정 자동화 시스템으로 적절히 응용될 수 있음을 확인하였다.

앞으로 전력선 통신에 대한 수요가 국내에서도 점차 증가하리라 예상되어지며, 따라서 국내에서도 관련 법규나 표준 규격의 설정이 시급히 요청된다고 할 수 있다. 또한 본 연구의 결과도 차후 전력선 통신에 대한 수요가 증가할 경우 간섭과 잡음에 대한 성능이 보다 우수한 시스템으로 보완되어질 필요가 예상되며, 이를 위해 특수통신기법의 적용을 고려하고 있으며 현재 연구를 추진하고 있다.

## 참 고 문 헌

1. Kraus M. Dostert, "Frequency-hopping spread-spectrum modulation for digital communications over electrical power lines," IEEE Journal on selected areas in comm., Vol. 8, No.4, MAY 1990.
2. Satoshi HASEGAWA, Kenji KOBAYASHI, Bataro HIROSAKI, "Power line data transmission using spread-spectrum communication techniques," IN83-67.
3. Yasumitsu MIYAZAKI, Akira IIDA, "Statistical propagation characteristics of spread spectrum signal in power transmission parallel pair line," CS85-98.
4. CENELEC, *Signalling on low-voltage electrical installations*, European standard, MARCH 1989.
5. Martin S. Roden, *Analog and digital communication systems, 3rd Ed.*, Prentice-Hall, Inc., 1991.
6. Aram Budak, *Passive and active network analysis and synthesis*, Boston:Houghton Mifflin Co., 1974.
7. Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice

Hall Inc., 1988.

## 부 록. 프로토콜

본 논문에서 구현된 시스템의 실제 적용을 위한 프로토콜에 대해 간략히 기술하고자 한다. 전력선 상의 별구조의 통신망에서 적절한 응답시간으로 신뢰성 있는 데이터 통신을 이루기 위해 전송 데이터의 패키지 포맷을 그림 A.1과 같이 한다. 그림에서 A는 주소, C는 제어 필드, I는 정보 필드이며 FCS는 frame check sequence로서 CRC(cyclic redundancy check)기법으로 구성한다.

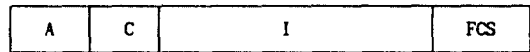


그림 A.1 전송데이터의 패키지 포맷  
Fig. A.1 Data package format

시작 비트로서 데이터 스트림(패키지)의 시작을 인식시키고 이후 첫번째 바이트에 기기(수신기)의 주소(address)를 전송한다. 따라서 256개의 외부기기를 어드레스할 수 있으며, 따라서 기기 간의 데이터 충돌을 막을 수 있다. 제어필드(control field)는 정보 필드의 길이(LI)를 정의하기 위해 3 비트(비트 3,6,7)를 할당하고, 제어(BC)를 위해 3 비트(비트 1,2)를 할당한다(그림 A.2 참조).

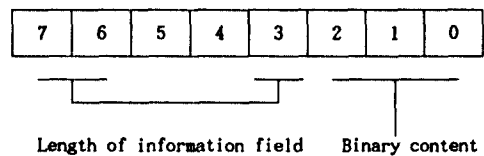


그림 A.2 제어 필드의 포맷  
Fig. A.2 Control field format

따라서 정보 필드의 길이는 최대 7 바이트 까지 확장가능하며, BC의 값에 따라 데이터 패키지의 내용이 정해진다. 즉 BC=1이면 ACK 신호를, BC=2이면 NACK 신호를, BC=4이면 정보재전송 요구를, BC=6이면 정보 필드의 지시를 실행하고 재전송할 것을 의미하게 된다.

제어장치(송신기)에서는 그림 A.1과 같은 데이터

패키지를 전송하고 수신기에서는 FCS를 검사하여 오류가 검파되면, A,C 및 FCS 필드로 구성된 패키지를 송신기에 3번 재전송하며, 오류가 없을 시에는 수신된 패키지 전체를 다시 재전송하여 송신기에서 통신의 성공여부를 판단하도록 한다. 통신오류의 검파를 위해 FCS 필드를 구성하여 CRC기법을 적용할 수 있으나, 이에 대해서는 본 논문에서는 상세히 다루지 않기로 한다. 그림 A.3은 위에서 간략히 설명한 프로토콜에 따른 폴링(polling) 절차에 대한 개략도이다.

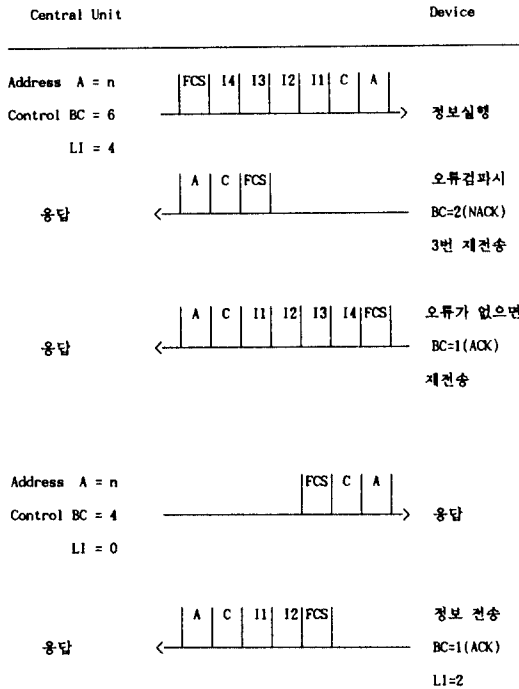


그림 A.3 폴링 절차  
 Fig. A.3 Polling sequence



司空石鑣 (Sug Chin Sakong) 정회원  
 1951년 3월 23일생  
 1976년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1981년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득(공학석사)  
 1985년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사학위 취득(공학박사)

1976년 ~ 1980년 : Motorola 연구원  
 1981년 ~ 1982년 : 서울 공업전문대 전자과 교수  
 1982년 ~ 현재 : 국민대학교 전자공학과 부교수



宋文圭 (Moon Kyou Song) 정회원  
 1965년 6월 8일생  
 1988년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1990년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득(공학석사)  
 1990년 2월 ~ 현재 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중