

## 복수 Node Access 기법에 의한 제어용 전력선 통신망 구축\*

이홍희 · 김관수

울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

### <요약>

전력선을 이용하여 신뢰성 높은 데이터 통신을 하기 위해서는 다양한 변복조 방법 및 채널코딩의 적용이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 변복조 및 채널코딩 가운데 FSK 변복조와 HDLC코딩 방식을 적용하여 전력선 데이터 통신시 발생하는 신호 감쇠와 잡음을 제거하고, 신뢰성 있는 데이터 전송환경을 구축하기 위해 전력선 통신용 모뎀을 CPLD를 바탕으로 한 ASIC으로 구현하고 실제환경에 적용하였다.

## Implementaion of power line network using multiple node access technique

Hong Hee Lee · Gwan Su Kim

School of Electrical Eng & Information System, University of Ulsan

### <Abstract>

When the power line is used for the data communication, it is necessary to adopt the various modulation-demodulation and channel coding methods in order to make the reliable data transmission. In this paper, the FSK modulation and HDLC coding methods are applied to the data communication for the improved transmission condition with no effective noise and signal attenuation. The power line transmission modem that operates with the proposed methods is implemented using ASIC based on CPLD. Finally, the various experimental approaches are carried out to verify the proposed power system.

---

\* 이 논문은 2001년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음

## 1. 서론

전력선은 주위에서 손쉽게 찾아볼수 있는 전력전달 매체로 편리하고 값싼 통신용 매체로서의 잠재력을 가지고 있다. 전력선에 기초한 건물 내부의 통신용 네트워크는 신뢰성을 확보할 경우 홈 오토메이션 및 오피스 오토메이션 분야에 적합한 하드웨어 인프라를 가지고 있다. 전력선 통신은 ADCOM, Simens, Northern Telecom 등의 회사를 중심으로 개발되기 시작했으며, 전력선 전원주파수인 60Hz에 변조된 신호를 실어서 전송하는 방식으로 가정 곳곳에 위치한 전기콘센트에 꼽기만 하면 네트워크 기능을 구축할 수 있어 가장 편리하고 손쉽게 사용될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 기기들 간의 상호간섭으로 인한 잡음 및 신호 감쇠현상이 있고 인터넷 망으로 구성할 경우 전력용 변압기 등을 거쳐 여러 구간을 데이터 손실없이 전송해야 하므로 이를 해결하기 위해서는 고도의 기술과 신뢰성 구축이 필요하다.

전력선 통신은 전송 속도에 따라 60bps~10kbps의 저속 전력선 통신, 10kbps~1Mbps 중속 전력선 통신, 1Mbps~10Mbps 이상의 고속 전력선 통신등 크게 3가지로 분류한다. 전송하기 위한 반송 주파수는 중저속 전력선 통신은 주로 10kHz~450kHz 대역을, 고속 전력선 통신은 450kHz~300MHz 대역을 주로 이용하며, 주요 용도는 중저속의 경우 인터넷 정보가전을 포함해 방범, 방재 등의 홈 네트워킹에 이용되며, 고속의 경우 Access 네트워킹에 이용된다.<sup>[1]</sup>

전력선 통신은 신호감쇠나 임피던스 잡음이 시간에 따라 변하고 주파수 의존적인 특성을 보인다. 전력선 통신을 위해서는 모뎀의 성능이 중요한데 이러한 전력선의 채널 특성을 고려하여 이를 극복할 수 있는 모뎀이 필요하다. 현재연구방향은 전력선 통신 기술 중 신호커플링, 변복조, 에러를 줄이기 위한 채널 코딩 기능을 가진 전력선 통신용 모뎀의 개발에 있다. 본 논문에서는 변복조 및 채널코딩 가운데 FSK변복조와 HDLC코딩 방식을 적용하여 전력선 데이터 통신시 발생하는 신호 감쇠와 잡음을 제거하고, 데이터 전송환경을 구축하기 위해 전력선 통신용 모뎀을 CPLD를 바탕으로 한 ASIC으로 구현하고 실제환경에 적용하였다.

## 2. 전력선의 채널 환경

일반적인 전송선로 모델은 그림1과 같으며 이를 키르히호프 법칙을 사용하여 수학적으로 해석하고, MATLAB의 시뮬링크를 사용하여 시뮬레이션 할 수 있다. 즉, 그림1과 같은 모델에서 라플라스 변환을 이용한 수학적 모델링에 의해 다음과 같은 방정식을 유도할 수 있다.

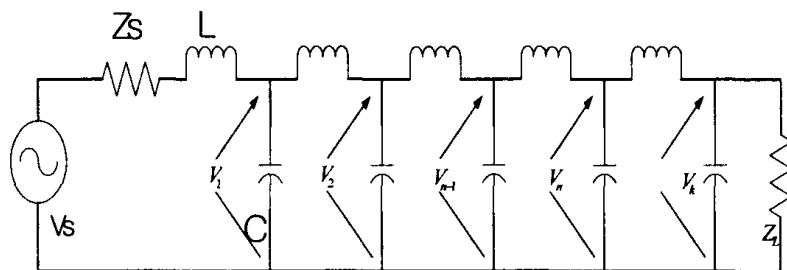


그림 1. 전력선 채널 모델 Fig. 1 Powerline channel model

$$V_1 = \frac{sL}{s^3L^2C + s^2LCZ_s + sL + Z_s} V_s + \frac{sL + Z_s}{s^3L^2C + s^2LCZ_s + sL + Z_s} V_2 \quad (1)$$

$$V_n = \frac{1}{s^2LC + 2} (V_{n-1} + V_{n+1}) \quad (2)$$

$$V_k = \frac{1}{s^2LC + 1} V_{k-1} - \frac{sL}{s^2LC + 1} \frac{V_k}{Z_L} \quad (3)$$

이러한 수학적 모델을 바탕으로 전력선 채널의 신호 감쇠현상을 살펴보기 위해 그림 2 와 같은 모델을 구현하여 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션하였다.

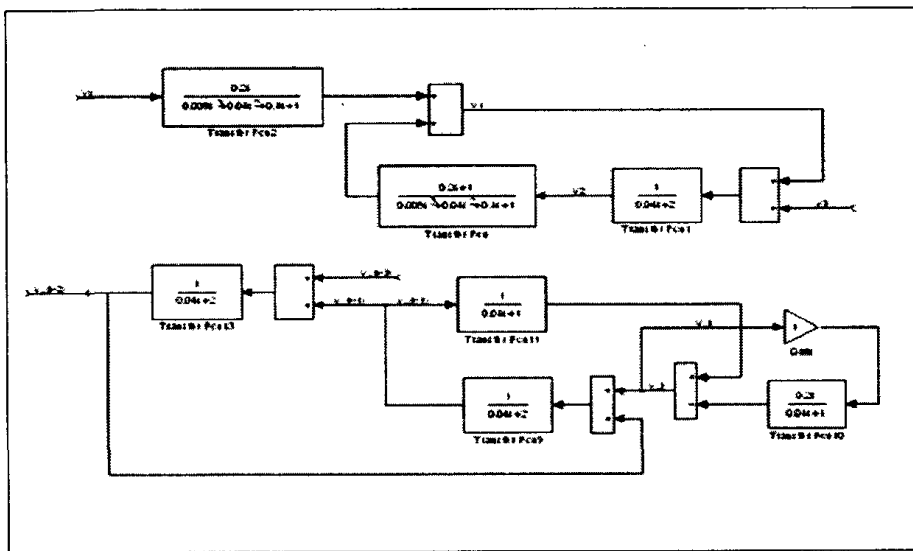


그림 2. 매트랩 시뮬링크 모델  
Fig. 2 Matlab simulink model

시뮬레이션을 통해 그림3과 같은 노드에 따른 파형을 얻을 수 있는데, 거리가 멀어질수록 전력선 채널 자체의 감쇠 현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

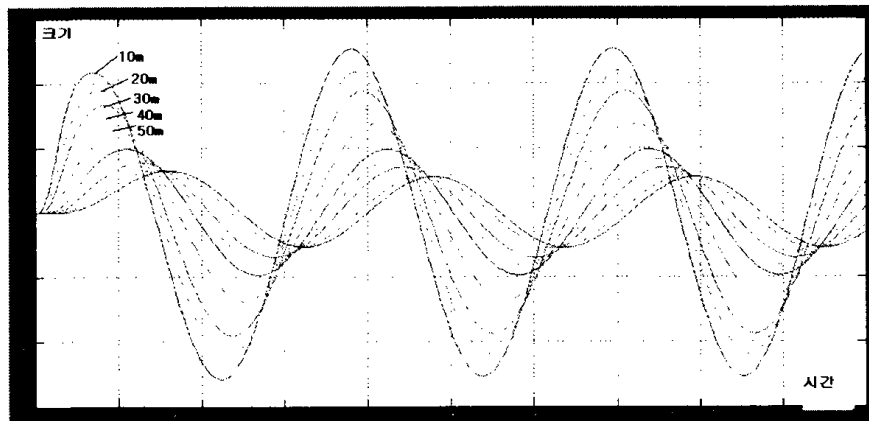


그림 3. 전력선 채널의 신호 감쇠  
Fig. 3 Signal attenuation of powerline channel

신뢰성 있는 전력선 통신을 위해서는 이러한 감쇠현상을 극복하고 잡음으로 인해 발생하는 에러를 정정할 필요가 있다.

### 3. 전력선 통신 모델

#### 3.1 전력선 통신 기술

전력선상에서 통신을 하기 위해 필요한 핵심적인 기술은 다음과 같이 4가지가 있다.

첫째, 전력선에 신호를 실어주거나 전력선으로부터 신호를 분리해 내는 기술로서 크게 Bandpass filtering과 Impedance matching 기술이 있다. 초기에는 변압기와 간단한 RLC회로로 두가지 기능을 동시에 행하였지만, 채널상태 변화에 대한 대응이 어려워 있어 이를 개선하기 위한 여러 가지 방법이 제안되었다. 구체적으로, 변압기의 권선에 변화를 주어 커플러의 특성을 가변시키는 방식, Bandpass filtering과 Impedance matching을 별도의 기능 블록으로 구현하는 방식, 송수신 모드별로 서로 다른 임피던스를 갖도록 모드를 변화하는 방식 및 저역통과필터와 고역통과필터를 직렬로 연결해 필터 특성을 가변시킬 수 있도록 하는 방식 등이 제안되었다.

둘째, 전력선으로 송수신하는 신호의 부호화 또는 복호화 기술로서 내잡음성을 위해 중요한 기술이다. 이러한 기술에는 Reed Solomon(iAd), Carrier Chip, CRC(Intellon, Echelon), Optimized FEC(ITR-AN), Zero Cross Clocked Carrier(X10, ZCCC), Carrier Chirp, Convolution, Viterbi(Planet) 등이 있다.

셋째, 전력선 채널의 전송 속도를 향상시키는데 필요한 기술로 FSK, Chirp-SS, DS-CDMA, OFDM 등이 있다.

넷째, 신호 패킷의 충돌이나 대역폭을 줄여 신호를 안정적으로 빨리 보내기 위한 기술로 전력선 통신의 경우 주로 Ethernet의 액세스 방식인 CSMA/CD 방식이 이용되고 있다.<sup>[2][3]</sup>

#### 3.2 신호 커플링

전력선에 전송할 신호를 실어주거나 송신한 신호를 분리하려면 신호 커플링이 필요하다. 그림 4는 커플링 회로의 예를 나타낸 것으로 전력선에 신호를 실어줄 때는 커플링 캐패시터와 인덕터를 사용하는 용량성 커플링 방식을 주로 사용하고 신호를 수신할 때 60Hz의 전원주파수를 제거하기 위해 RLC 소자들로 구성된 High-Pass 필터를 사용한다.

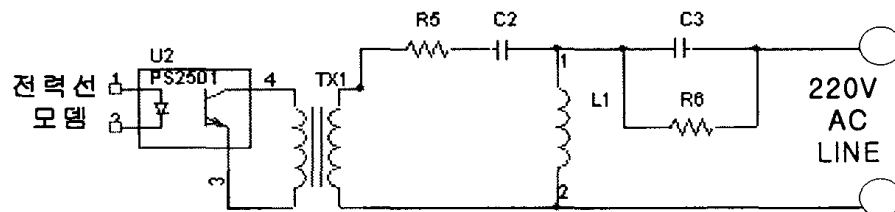


그림 4. 신호 커플링 회로

Fig. 4 Signal coupling circuit

### 3.3 FSK Modem

전력선 통신용 모뎀을 구현하기 위해 변조방법으로 FSK변조 방식을 채택하였다. 이 변조방식은 주파수 대역의 효율은 다소 떨어지는 변조방식이지만 구현이 간단하고 채널특성에 따른 신호감쇠가 작아 전력선 환경에 알맞은 방식으로 전력선 환경에서 문제가 되고있는 임펄스 잡음, 위상왜곡, 주파수 선택 페이딩 면에서 우수한 성능을 가진다. 이 방식에서 데이터는 두 개의 이산 주파수를 Binary 방식으로 연속적인 반송파 주파수(carrier frequency)를 쉬프트시킴으로서 전송된다. 각각의 주파수는 “mark”주파수, “space”주파수로서 이진값 1과 0에 대응된다. 그림5는 데이터와 전송 신호사이의 관계를 나타낸 것이다.

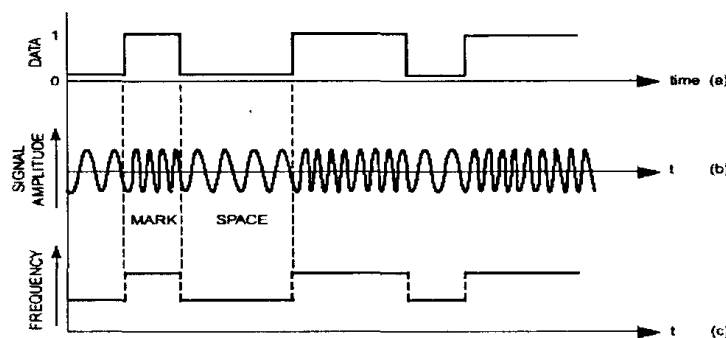


그림 5. FSK 변조(a) 이진 데이터 (b) 주파수 변조된 반송파 (c) 주파수 특성

Fig. 5 (a) binary data (b) frequency modulated carrier wave (c) frequency characteristic

그림6은 일반적으로 사용되는 FSK 신호 파라미터로서 Keying speed(Element length의 역수), 중심주파수 주파수 편이 등을 나타낸다.<sup>[6]</sup>

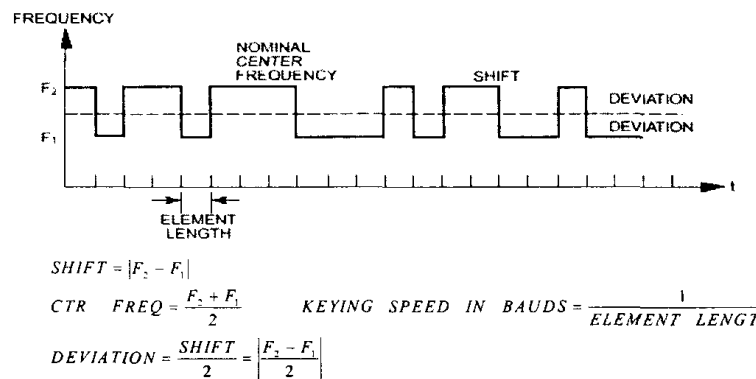


그림 6. FSK 신호 파라미터  
Fig. 6 FSK signal parameter

이러한 FSK변조방식을 적용해 본 논문에서 제안한 모뎀의 전체 블록 다이어그램은 그림 7과 같다.

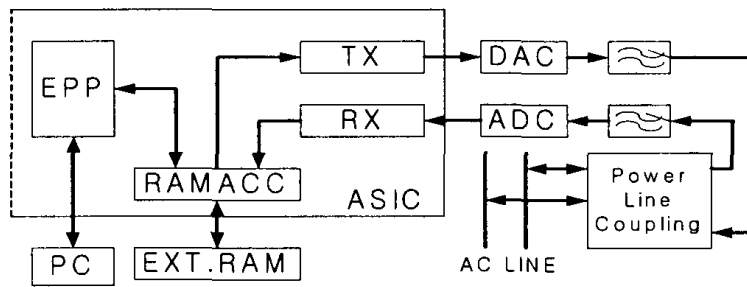


그림 7. 전체 전력선 모뎀 블록다이어그램  
Fig. 7 Overall block diagram of powerline modem

그림 7에서 ASIC은 ALTERA사의 CPLD소자를 사용하여VHDL로 구현하였다. VHDL코드는 ALTERA에서 제공하는 Quartus II를 사용해 구문을 합성하고 검증하였다. DAC와 ADC는 AD767과AD7891을 사용하였다.<sup>[7]</sup>

ASIC 블록내의 TX와 RX는 송신부 및 수신부를 나타낸 것으로 그림8, 9와 같은 내부블록으로 표현된다.

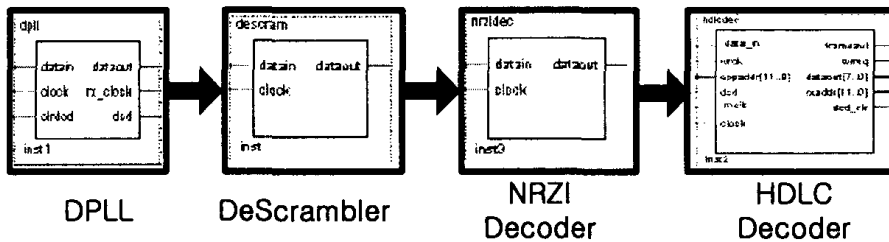


그림 8. 수신부  
Fig. 8 Receiver

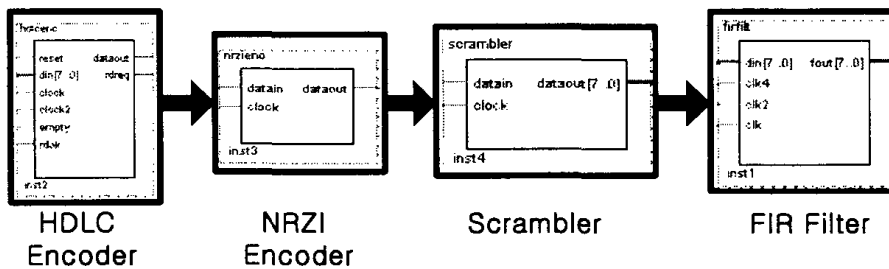


그림 9. 송신부  
Fig. 9 Transmitter

여기서 사용된 HDLC는 케이블 모뎀에서 주로 사용되는 전이중(Full-duplex)방식의 ARQ 채널 코딩이다. 이 방식은 양방향으로 동시에 메시지를 어떤 범위까지는 응답없이 연속적으로 전송할 수 있게 함으로써 전송효율을 향상시키고, 에러검출부호를 첨가하여 신뢰성을 높여준다.

NRZI(Non-return-to-zero inverted)는 신호변화가 없이 일정한 전압수준을 유지하지만 비트 간격의 시작 위치에 데이터가 있으면 신호 변화로 해석하고 데이터가 없으면 변화 없음으로 해석한다. Scrambler는 데이터 순서를 바꾸는 작업, 즉, 암호화를 위해 사용되며,



그림 12는 커플링 보드를 나타낸 것인데 두 개의 인덕터와 캐패시터로 구성했다.

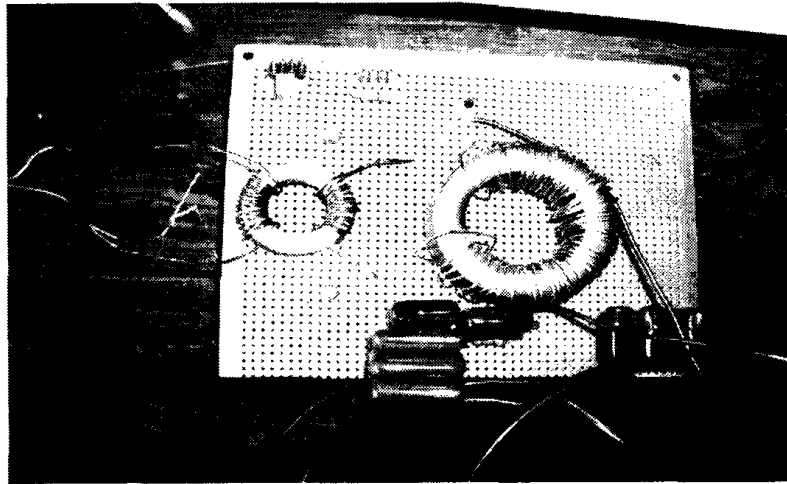


그림 12. 커플링 보드  
Fig. 12 Coupling board

그림 13은 ALTERA사의 MAX9000 시리즈 FPGA를 사용하여 그림 7과 같은 기능을 갖도록 구현한 모뎀을 나타낸 것이다.



그림 13. 구현한 FPGA 모뎀  
Fig. 13 Implementation of FPGA modem

제안한 ASIC의 모뎀의 동작특성을 알아보기 위해 임의의 8비트 데이터를 모뎀을 통해 전력선 통신을 수행한 결과는 그림 14 -그림 17에 나타내었다.



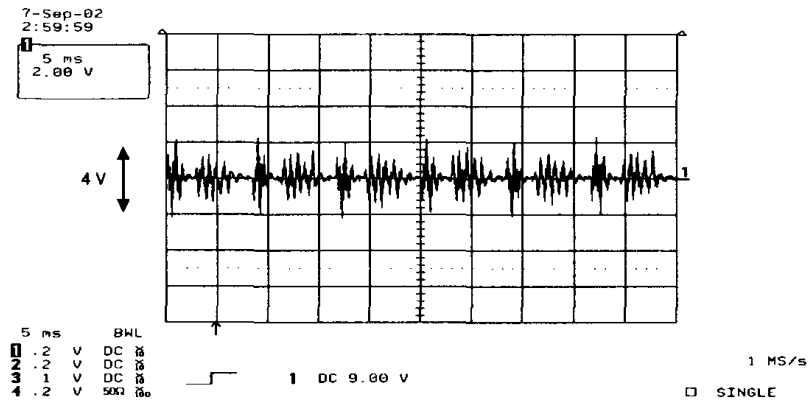


그림 14. 채널상의 전력선 잡음  
Fig. 14 Powerline noise on the channel

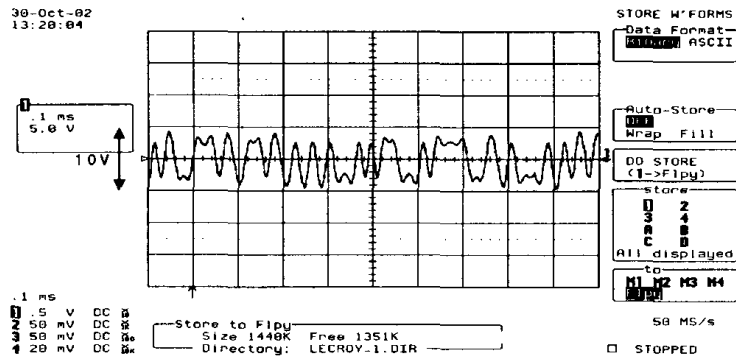


그림 15. 변조 및 채널코딩 후의 전송신호  
Fig. 15 Transmit signal after modulation and channel coding

그림 14는 데이터 신호가 없을 경우 채널상에 존재하는 잡음을 측정된 것이다. 전력선에는 그림 14와 같은 배경잡음 및 임펄스 잡음이 항상 존재한다. 따라서 이러한 잡음을 극복하기 위해 FSK 변조 방식을 적용하여 신호를 전송하였다. 그림 15는 송신단에서 변압기를 거치기 전의 DAC출력으로 FSK 변조 및 채널코딩(HDLC)된 신호이다.

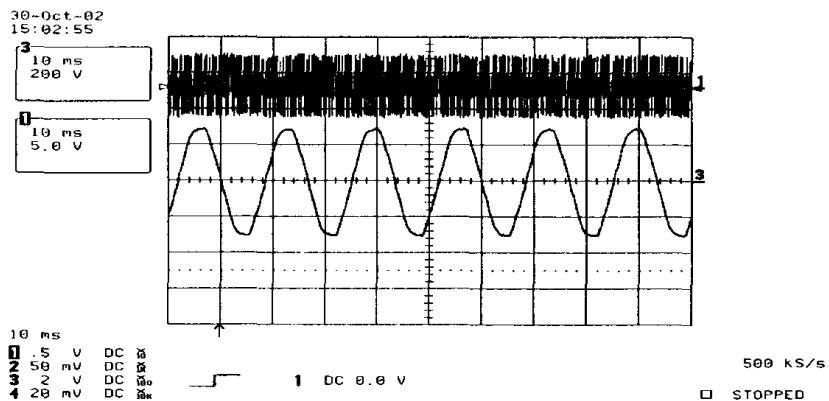


그림 16. 전력선 상의 신호  
Fig. 16 Signal on the channel

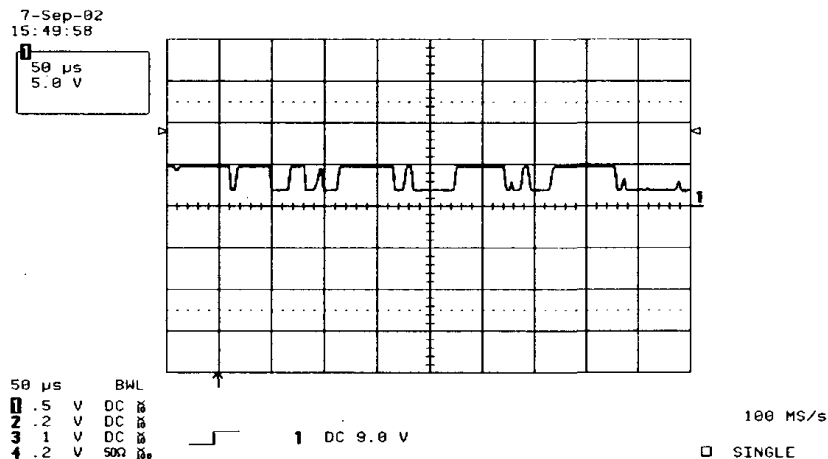


그림 17. 복조후의 수신 신호  
Fig. 17 Receive signal after demodulation

그림 16의 하단 파형은 변압기를 거친 후 전력선 상에서 전송되는 신호를 나타낸 것인데, 마치 60Hz 고주파 신호처럼 보이는 것은 그림 16의 상단과 같은 데이터 신호가 교류 전압에 비해 상대적으로 너무 작기 때문이다. 데이터 전송 속도는 안정적인 통신을 위해 9600bps로 제한하였다.

그림 17은 수신단에서 복조 및 디코딩 한 후의 신호로서 송신한 신호와 같은 데이터 구조를 가지고 있다. 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 채널 코딩을 통해 전력선 채널에서 송수신간의 데이터 전송이 잡음이 발생하더라도 전력선을 통해 안정적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

PC상에서 8비트 데이터를 생성하여 모뎀을 통해 전력선상에서 신호를 전송한 결과 그림 14 - 그림 17과 같은 파형의 데이터가 전송됨을 알 수 있다. 또한 임펄스 잡음 등에 우수한 데이터 전송을 확인 할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 신뢰성 있는 전력선 통신을 위해 필요한 모뎀 설계를 위해 기존의 전력선 통신의 핵심 기술을 살펴보고 전력선 채널 특성과 전력선 채널 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 결과를 바탕으로 전력선 모뎀의 신뢰성 향상을 위해 FSK변조 방식을 적용하여 전력선 통신시에 발생하는 신호의 감쇠를 줄이고 HDLC코딩 기법을 사용해 잡음으로 인한 에러 정정이 용이한 모뎀을 CPLD를 바탕으로 한 ASIC으로 구현하고 실제 환경에 적용하였다. 제안된 방식은 기존의 중저속 통신에 사용된 복잡한 구조의 모뎀에 비해 구조가 간단하면서도 신호감쇠와 에러 정정 능력면에 있어서는 비슷한 성능을 가진다.

전력선 통신용 모뎀은 그 속도에 따라 여러 용도로 사용될 수 있는데 본 연구에서는 인터넷 정보가전, 방범 및 방재에 적용할 수 있도록 중저속 형태로 구현했다. 제안된 모뎀은 설계가 간편하고 유연성이 좋아 설치비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 설계 변경이 용이하기 때문에 여러 분야에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 한국 전기 연구소, “고속 전력선 통신망 개발”, <http://plc.keri.re.kr>
2. T. Esmailian, “A Discrete Multitone Power Line Communications System.” IEEE, Vol. 5 pp.2953-2956, 2000.
3. 한경희, 이영철, “안전관리를 위한 전력선반송 FSK 통신 시스템”, Thesis collection, 경남대, Vol.11, pp.177-183, 1993.
4. Gen Marubayashi, Shinichi Tachikawa “Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line”, IEEE, 1999.
5. Masaoki Tanaka “High Frequency noise power spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line In Japan On Intrabuilding Power Line Communications”, IEEE, 1988.
6. A. J Han Vinck “CODED M-FSK for Power Line Communications.”, IEEE, 2000.
7. K.M Dostert “A Signal Processing ASIC for an All Digital Spread Spectrum Modem for Power Line Communications”, IEEE, pp357-361, 1994.