

# 전력선 통신을 이용한 난방용 솔레노이드밸브 제어에 관한 연구

## A Study on the Control of Solenoid Valve for Heating by using Power Line Communication (PLC)

신관우, 김용태, 이윤섭

(Kwan-Woo Shin, Yong-Tae Kim, and Youn-Seop Lee)

**Abstract :** PLC (Power Line Communication) is the communication method using the existing power line installed in houses and offices to convert and transmit high frequency communication signal from tens of KHz to tens of MHz, and receive the filtered signal using high frequency filter. The advantage of PLC is that PLC uses the existing power line installed in houses and offices so it does not require separate power line. Easy and convenient access using electric outlets is another advantage of PLC. However, PLC has some disadvantages such as limited transmission power, high load interference and noise, variable signal attenuation, characteristic of impedance, and selective possibility of frequency property.

We designed the boiler temperature control system unit by using the PLC modem. We can avoid unnecessary heating of separate temperature control unit, and save the cost accordingly control stability of the proposed system is proven through the experiment.

**Keywords :** PLC(power line communication)

### I. 서론

전력선 통신(PLC : Power Line Communication)이란 가정이나 사무실 등에 포설되어 있는 전력선을 이용하여 통신신호를 수십kHz에서 수십MHz의 고주파 신호로 바꾸어 실어 보내고 이를 고주파 필터를 이용하여 따로 분리해낸 신호를 수신하는 통신방식을 말한다. 국내에서 사용되는 전력은 60Hz의 교류신호로서 가전제품은 이를 전력변환기(트랜스포머)를 통해 직류로 바꾸어 사용하며, 전력선통신에서의 고주파 신호는 저전력의 출력 신호이므로 일반 가전기기 작동에는 영향을 미치지 않는다. 전력선 통신의 장점은 가정이나 사무실에 이미 포설되어 있는 전력선을 사용할 수 있으므로 별도의 통신선로가 필요하지 않으며, 많은 콘센트를 이용하여 쉽고 간편하게 접근할 수 있다는 점이다. 반면 제한된 전송 전력, 높은 부하간섭과 잡음, 가변하는 신호의 감쇄 및 임피던스의 특성, 주파수의 선택적 특성 가능이라는 단점을 가지고 있다. 전력선 통신 기술은 가정이나 사무실 내에 있는 가전기기의 제어를 가능하게 해주며 조명제어, 침입탐지와 같은 방범, 가스밸브원격제어와 같은 방재, 냉난방 기기의 제어와 같은 흠토메이션, 자동원격검침, 원격모니터링에 적합한 기술로 주목 받고 있다. 특히 최근 들어 사이버 아파트 설립 붐을 타고 고가의 아파트에 기본설비로 장착되는 등 그 쓰임새가 날로 증가하고 있는 추세이다.[1,2]

본 연구에서는 전력선을 이용한 제어 신호 전송을 위한 전력선 모뎀을 개발하고 쌍방향 통신을 확인하기 위해 가정의 각방 온도 조절을 위한 솔레노이드 밸브를 제어하는 실험으로 각방의 설정된 온도에 따라 각방에 해당하는 온

도 조절용 솔레노이드 밸브의 on/off제어를 통하여 전력선 통신 모뎀을 실험한다.

### II. 시스템 설계

#### 1. 하드웨어 설계

전력선에는 AC 220V/60Hz의 교류 전력이 끊임없이 흐른다. 전력선에 원하는 신호를 싣고 수신측에서 필요한 신호만을 골라낼 수 있다면 전력선을 통한 데이터 전송이 가능해 진다.

본 연구에서는 설계한 PLC 모뎀을 기반으로 온도 조절기를 각방에 설치하고 각방에 설치된 온도조절기의 동작 여부에 따라 신호를 전력선을 이용하여 송신하고 수신단 측에서는 원하는 신호를 필터링하여 각방의 난방용 솔레노이드 밸브를 on/off 제어를 할 수 있는 시스템을 설계하였다. 그럼 1은 시스템의 블록도로서 송신부측에서 보면 온도 조절기의 동작 여부에 따라 신호를 ASK 변조를 하여 전력선에 실는

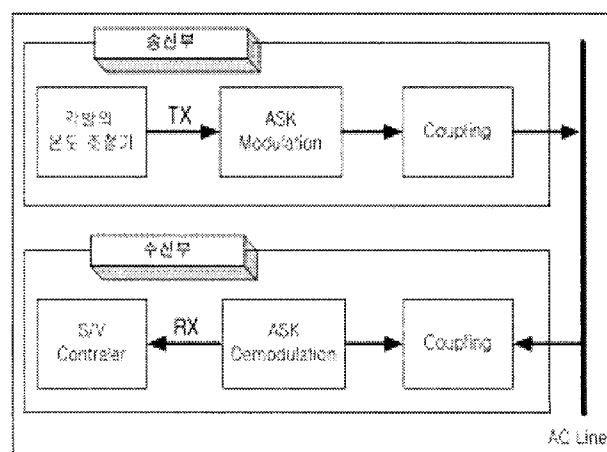


그림 1. 시스템 블록도.

Fig. 1. System block diagram.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2002. 5. 30., 채택확정 : 2003. 5. 9.

신관우, 김용태, 이윤섭 : 공주대학교 전기공학과  
(skw@kongju.ac.kr/dublebat@hanmail.net/yalee@kongju.ac.kr)

Coupling 회로, 수신부측으로는 전력선을 통해 수신된 데이터를 판별하는 부분으로 전력과 데이터 신호를 분리하는 Coupling 회로 ASK 복조를 통해 데이터를 판별하여 솔레노이드 벨브를 제어한다.

### 1.1 Coupling 회로

전력선에 데이터를 실어 보내기 위해서는 전력은 차단하고 AC 라인에 신호만 실어주는 커플링회로와 필요한 신호만을 골라내는 필터링회로가 필요하다. 220V/60Hz 상용전원에 회로를 직접 연결하면 회로가 파손될 우려가 있기 때문에 220V/60Hz의 영향을 막기 위해 저주파는 차단하고 고주파만 통과시키도록 전력선 Coupling Capacitor를 전력라인과 반송파 전달용 트랜스 사이에 직렬로 삽입한다. 트랜스는 1:1페라이트 드럼코어로 1mH의 인덕턴스를 갖는다. 220V/60Hz가 보는 입력 임피던스는

$$Z = \frac{1}{j\omega C \cdot j\omega L} \quad (1)$$

에 의해 약 27kΩ이 됨을 알 수 있다. 반대로 전력선 통신용 반송파(165kHz)는 coupling capacitor를 통과하여 대부분 트랜스의 1차측 양단에 인가되는데 인덕터 양단에서 보는 입력 임피던스는 낮게 보이므로 버퍼 없이 인터페이스 하기가 쉬워진다. 그림 2에 커플링회로를 나타내었다.

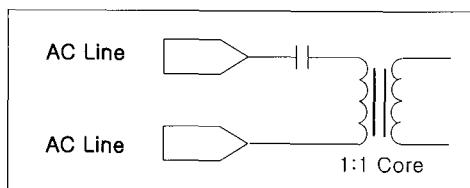


그림 2. 커플링 회로.

Fig. 2. Circuit of coupling.

### 1.2 ASK Modulation

전력선에 실린 데이터를 판별하는 일반적인 방법은 전압의 검출이다. 전압이 있을 때를 1 없을 때를 0으로 정하고 통신을 수행한다. 하지만 전력선에는 커플링회로를 통해서 데이터 전달이 이루어지게 되므로 데이터를 직접적인 방법으로 전달할 수 없고 고주파의 펄스형태로 변조한 후 전송해야 커플링회로를 통해 데이터를 전달할 수 있게 된다. 펄스파로 변조해서 데이터를 전송하는 방법으로 그림 3과 같이 ASK 변조방식을 사용하여 구현하였다. ASK 변조방식은

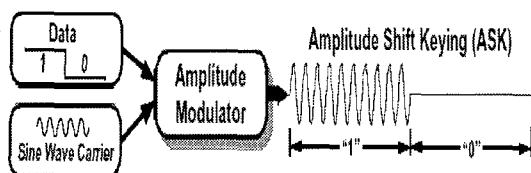


그림 3. ASK 변조방식.

Fig. 3. Modulation of ASK.

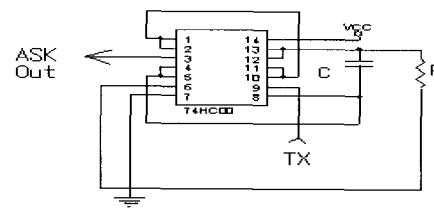


그림 4. ASK Modulation 회로.

Fig. 4. Circuit of ASK modulation.

잡음에 대한 대비가 되어있지 않기 때문에 잡음의 영향을 많이 받는다. 본 논문에서 제작되어진 모뎀 역시 잡음의 영향을 많이 받았지만 비트 전송을 기반으로 한 패킷 전송방식을 채택함으로써 여러발생에 대한 유연한 데이터 판별을 하고 있기 때문에 실험결과 약간의 에러가 발생하여도 시스템이 안정적으로 동작하였다. 그림 4의 회로는 데이터를 ASK로 변조하는 회로이다.[3,4]

그림 4의 회로에서 RC 병렬 공진 회로에 의해 140kHz의 구형파를 생성하고 입력신호에 따라 ASK 변조를 수행하도록 하였다.

### 1.3 ASK Demodulation

커플링회로를 통하여 들어온 신호는 비교기를 통해 복조가 된다. 입력된 신호가 펄스의 형태이기 때문에 직류의 영향을 막기 위해 그림 5와 같이 비교기 입력 앞단에 캐패시터를 삽입하여 신호성분만 통과하도록 하였다. 비교기의 반전 입력단으로 들어온 ASK 신호는 구형파의 신호로 복원이 된다. 하지만 OP앰프의 특성으로 정확하게 복원이 되지 않고 약간 경사진 구형파 출력이 나오게 되는데 버퍼역할을 하는 74HC00을 통해 정확한 값으로 복구하게 된다.

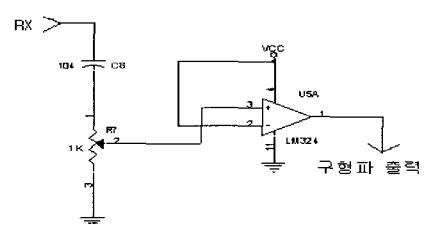


그림 5. 비교기 회로.

Fig. 5. Circuit of comparator.

## 2. 제어 프로그램 설계

### 2.1 제어 프로토콜(Protocol)

데이터를 주고받기 위해서는 우선 프로토콜을 설정해야 한다.

본 논문에서 제작된 모뎀은 반이중(Half Duplex) 방식으로 통신을 수행하도록 되어있다. 전력선 라인에 다수의 모뎀이 연결되어 있기 때문에 동시에 여러 개의 모뎀이 통신을 하게 되면 신호에 대한 노이즈 등으로 한번에 하나의 모뎀만이 라인에 신호를 실어 보내야만 한다. 그렇지 않으면 데이터의 충돌이 일어나 정확한 데이터의 전송이 이루어

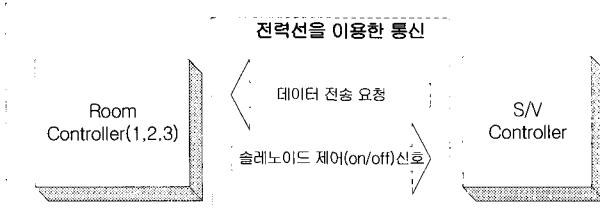


그림 6. 데이터 전송 구조.

Fig. 6. Structure of data transmission.

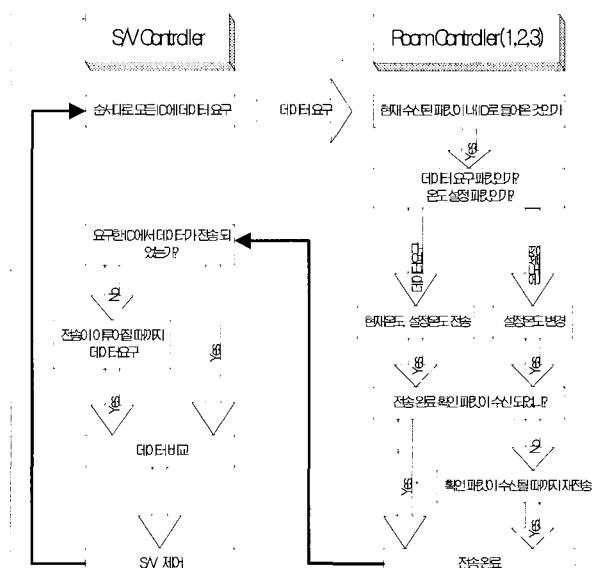


그림 7. 제어 프로그램의 흐름도.

Fig. 7. Flow chart of control program.

질 수 없다. 따라서 여러 개의 모뎀이 신호를 주고받기 위해서는 멀티드롭 방식을 이용하여 순차적으로 통신하여야 하며 이에 맞는 프로토콜이 필요하다. 그림 6은 시스템의 데이터 전송 구조로써 모든 데이터의 송·수신은 전력선을 통하여 이루어진다. [5]

전송하고자 하는 데이터의 형태는 패킷 형태로 되어있으며 미리 예약해둔 패킷에 따라 응답하도록 프로그래밍을 하였다. 전력선에는 상당한 노이즈가 발생한다. 본 논문에서 제작한 모뎀은 노이즈에 대한 대책이 없기 때문에 전송된 데이터의 값이 올바르게 전송되는지를 확인하기가 곤란하다. 그래서 각 단위모듈별로 고유 ID를 부여해서 자신의 ID로 들어온 데이터만을 추출하고 데이터 전송이 올바르게 이루어졌을 경우 예약된 데이터 신호를 보내 서로 확인을 해야만 다음 패킷을 전송하도록 하여 데이터 전송이 확실히 이루어지도록 하였다.

모든 패킷의 첫 번째 바이트는 명령 코드이다. 각 모듈은 명령 코드에 따라 데이터의 송·수신을 결정하게 된다. 두 번째 바이트는 각 모듈에 할당된 고유 ID로 이 ID를 분석하여 수신된 패킷이 자기 고유 ID로 들어오는 것인지 아닌지를 판단하게 된다.

## 2.2 제어 프로그램

모든 데이터 전송의 시작은 수신부 즉, 솔레노이드 밸브 제어기로부터 시작 되도록 한다. 각 온도 조절기에는 고유 ID가 부여되어 있으므로 이 ID를 통해 각 모듈을 액세스하게 된다. 밸브 제어기는 순서대로 각 ID를 호출해 데이터를 요구하고 호출을 받은 모듈은 자신의 데이터를 전송하게 된다. 밸브 제어기는 각 온도 조절기로부터 들어온 데이터를 비교해 밸브의 개·폐 상태를 결정한다. 설정온도가 현재 온도 값보다 높을 때는 밸브를 열어 온수가 공급되도록 하고 설정온도가 현재 온도보다 낮을 때는 밸브를 닫아 온수의 공급을 차단한다. 그림 7에 제어 프로그램 흐름도를 나타내었다.

## III. 실험 및 결과고찰

시스템의 동작실험은 데이터의 전송 효율과 솔레노이드 밸브의 안정적인 동작 제어실험을 하였다.

실험 방법은 온도 조절기와 밸브 제어기를 전력선으로 연결한 후 주고받는 데이터를 PC에 연결된 전력선 모뎀을 통해 디스플레이 되는 데이터를 화면 캡처하여 BER을 계산하였다. 이때 PC에 연결되는 전력선 모뎀은 각각의 온도 조절기와 밸브 제어기가 연결되는 콘센트에 하나씩 접속하였다. 실험을 한 장소는 연구실이며 주변 환경은 연구실내의 모든 전기기가 평상시와 같은 상태 즉, 콘센트에 접속되어 작동하고 있는 상태 그대로 실험을 수행하였다.

### 1. 데이터 전송 효율 실험

본 논문에서 데이터의 전송효율은 전력선 모뎀을 통해 마이크로프로세서나 PC로 전송된 데이터의 전송속도가 아니라 전송된 데이터의 정확성으로 정의한다. 일반적인 통신에서는 전송 비트에 대한 에러발생비율 BER(Bit Error Rate)로 나타낸다. 본 논문에 사용된 시스템의 전송효율은 전력선 모뎀 자체의 전송효율로 나타내도록 하겠지만 시스템의 구성이 BER에 의한 데이터 의존이 아니라 마이크로프로세서를 통한 전송패킷의 확실성에 기반 하기 때문에 전송효율이 좋지 않아도 되는 특징이 있다. 이는 비트전송에 기반한 데이터 전송시스템의 데이터 의존성을 낮추고 비트를 확장한 패킷 전송방식을 채택함으로써 에러발생에 대한 유연한 데이터 판별을 하고 있기 때문이다.

### 2. 시스템 동작 실험

시스템의 전반적인 동작 실험으로 조건은 모든 전기기기의 작동이 평상시와 같게 하였고, 각방의 온도 조절기에 의한 난방용 솔레노이드 밸브의 동작 여부를 실험하였다.

그림 8은 전력선 모뎀의 각 모듈별 측정파형으로 ①은 원래의 데이터 신호, ②는 변조용 기준 주파수에 실린 데이터 신호, ③은 ASK 변조신호, ④는 복조된 신호 파형이다. 그림 9는 220V/60Hz 상용전원에 실린 신호 파형을 확대한 그림이다.

## IV. 결론

본 연구에서는 전력선 통신을 이용한 난방용 솔레노이드 밸브 제어 시스템을 구성하기 위해 전력선 통신용 모뎀을 개발하였다.

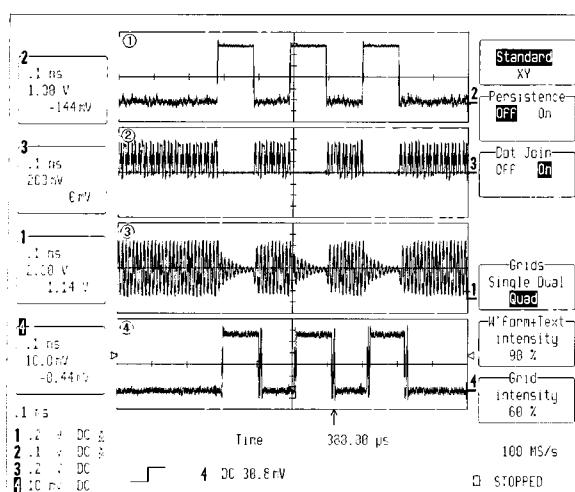


그림 8. 전력선 모뎀의 각 모듈별 측정파형.

Fig. 8. Measurement waveform of each module in power line modem.

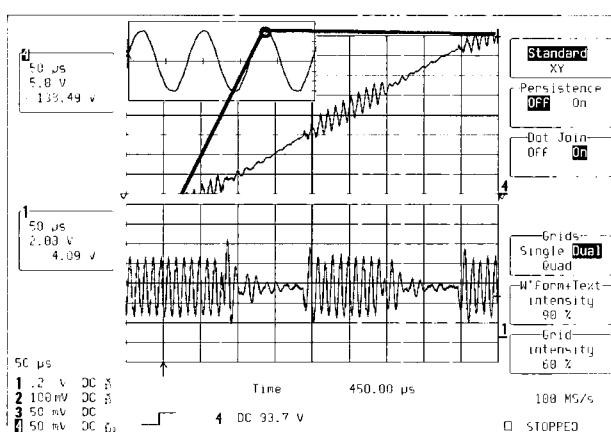


그림 9. 전력선에 실린 신호 파형.

Fig. 9. Signal wave on power line.

본 연구에서 개발한 전력선 모뎀을 이용하여 보일러의 단위별(각방) 온도제어를 위해 설계한 시스템을 사용할 경우 솔레노이드 밸브를 on/off 하기 위한 제어용 신호선이 별도로 필요 없게 되었다. 하지만 개발된 모뎀은 신호전력의 소모가 많아 다수의 모뎀이 연결될 경우 데이터 전송 문제가 발생하는 것을 발견하였다. 향후 커플링회로를 보완하여 정확한 필터링이 필요하리라 판단된다. 데이터 전송은 비트 전송을 기반으로 한 패킷 전송방식을 채택함으로써 여러발생에 대한 유연한 데이터 판별을 하고 있기 때문에 실험결과 약간의 에러가 발생하여도 시스템이 안정적으로 동작하였다. 본 논문에서 제안한 시스템을 사용한 결과 단위별 온도 제어에 따른 난방을 하게 되므로 불필요한 에너지를 줄일 수 있어 에너지 절감 효과에 큰 효과를 가져오리라 판단된다.

향후 각 가정의 방범, 난방, 냉방 등의 홈오토메이션을 전력선 모뎀을 이용하여 구성하면 별도의 신호선이 필요 없게 되어 서비스가 간편해지고, 인터넷 환경을 통해 원격제어를 병행한다면 생활이 매우 편리할 것이다.

### 참고문헌

- [1] S. Ramseier, M. Arzberger, and A. Hauser, "MV and LV powerline communications: New proposed IEC standards", *Proceedings of the 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference*, vol. 1, pp. 235-239, April 1999.
- [2] 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.
- [3] Razavi, and Behzad., "RF MICROELECTRONICS", Prentice Hall, 1998.
- [4] 유호상, "무선 데이터 통신 입문 해설", 성안당, 1996.
- [5] 정화자, 김영천, "데이터 통신 및 네트워크", 시그마프레스, 1999.

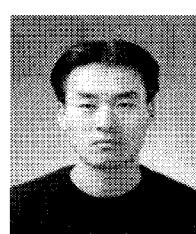
### 신관우

1971년 1월 4일생. 1996년 호원대 전기공학과 졸업. 공주대학교 전기공학과 대학원 석사(1998), 동대학원 박사(2003). 2000년~현재 공주대학교 정보통신공학부 BK 교수. 관심분야는 신경회로망, 퍼지 응용제어 및 로보틱스.



### 김용태

1976년 9월 5일생. 2000년 공주대학교 전기공학과 졸업, 동대학원 석사(2002), 현재 공주대학교 전기공학과 박사과정. 관심분야는 로보틱스, 제어응용.



### 이윤섭

1955년 5월 16일생. 1979년 연세대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1981), 동대학원 박사(1991). 1991년~현재 공주대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 신경회로망, 퍼지응용 및 자동제어.

