

## 저압 인입선에서의 고속 전력선통신 특성 분석

朴晔哲<sup>\*</sup>, 崔榮林<sup>†</sup>, 劉東憲<sup>\*\*</sup>, 玄德花<sup>\*\*\*</sup>

### Performance Characteristics of Broadband PLC at Out-door Field Test-bed

Byung-Seok Park, Young-Lim Choi, Dong-Hee Yoo, and Duck-Hwa Hyun

#### 요 약

별도의 통신선 없이도 고속 통신채널을 구현할 수 있는 고속 전력선 통신 분야는 활용측면에서 유용성이 매우 높아 기술개발과 발전이 급격히 이루어지고 있다. 그러나 전력선 통신의 특성상 채널의 범용적인 모델의 구성과 해석이 불가능하여 이론적인 성능특성을 파악하기가 힘들다. 따라서 개발된 기술의 평가 및 성능 분석에 있어 정확한 기준이 모호하다. 본 논문에서는 전력선 통신 기술의 특성과 성능을 분석하기 위하여, 실 단독주택 수용가에 인터넷 접속 환경을 구축하고 다양한 시험을 수행하였다. 개발된 전력선 통신 모델과 통신망의 구성을 소개하고 성능 측정을 수행한 결과를 토대로 현 단계에서의 기술을 분석하고, 전력선 통신망에 대한 운영상의 적정 노드 및 가입자망 전송 섹터범위 등의 사항에 대하여 기술하였다.

#### ABSTRACT

Broadband power line communications have been receiving tremendous interest in recent years because this technology enables utilities to deploy a communication network over existing power line infrastructures. Despite the enormous potential, there is some skepticism about the technology and its commercial viability. In this paper, we investigate the performance characteristic of PLC through field test carried out in actual households. Also it addresses major field deployment aspects, such as range, coverage, the number of node for operation and maintenance.

**Key Words** : BPLC, field test, EMI, test bed, performance evaluation

#### 1. 서 론

PLC(Power Line Communication : 전력선 통신) 기술은 오래전부터 전력회사를 중심으로 일부 특성 분야에 사용되어 왔고 최근에는 비약적인 정보통신기술 개발에 힘입어 다시 각광을 받고 있다. 예전부터 전력회

사는 발전소-변전소 간 음성통신 수단으로 전력선반송(Power Line Carrier)방식을 가장 많이 사용하였다. 대개 발전소, 변전소 등은 산간오지에 위치하고 있어서 인구 밀집지역 위주로 건설된 공중통신망을 이용하기가 어려웠다. 또 높은 수준의 회선신뢰도를 얻기 위해서는 공중 통신회선을 사용하는 것이 부적합하여 자가 통신망을 선호하게 되었고, 자가 통신망을 가장 경제적으로 구성하는 방법으로 기존 송전선을 통신용으로 겸용하게 되는데, 이것을 전력선 반송이라고 부른다.

전력선반송은 통신 속도가 수십 kbps이하로 진화 또는 간단한 감시 신호 전송에만 사용되었는데, 1980년대에 접어들어 광통신이 일반화 되어 통신용량이 획

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 한전 전력연구원 위촉연구원

E-mail : ylchoi@kepri.re.kr

<sup>\*</sup>정회원, 한전 전력연구원 선임연구원

<sup>\*\*</sup>정회원, 한전 전력연구원 전자통신처 PLC사업팀장

<sup>\*\*\*</sup>정회원, 한전 전력연구원 전력통신기술그룹 그룹장

접수일자 : 2004. 8. 31 1차 심사 : 2004. 12. 23

2차 심사 : 2005. 3. 7 심사완료 : 2005. 3. 17

기적으로 커지고 나서부터 점차 소멸되었다.

근래의 PLC는 가정에서 가전기기를 on/off 하거나 공장에서 제어분야에 응용하는 것을 목적으로 새롭게 거론되기 시작하였다.

1990년 미국 소비자 가전연합에서 PLC 관련 기준인 CEBus(전력선을 이용하여 가정내 가전기기를 제어하도록 홈네트워크 기능을 구현하는 통신 프로토콜) 프로토콜을 발표하여, 가전연합 회원사에서 관련 제품을 개발하기 시작하였다. 1995년 이후 전 세계적으로 많은 업체들이 PLC를 이용한 홈네트워크 산업의 미래 가치를 내다보고 PLC 기술 개발에 나서게 되었다. 지금까지의 PLC 연구는 저속 데이터(10kbps 이하)의 전송을 이미 실용화 시켰으며, 초고속 인터넷 사용과 홈네트워크를 위한 고속 데이터 전송 모델 및 통신 시스템을 개발·연구 중에 있다<sup>[2]</sup>.

고속 전력선통신 분야에서 아직 인터넷 망과 연동시킨 광역 전력선 통신망의 구축은 초기단계이다. 전력선통신 기술을 이용하여 광역 망을 구성하기 어려운 이유는 전력선통신 모델 이외에 중계기나 기존 인터넷 망과의 연동장치 등이 필요하고, 또한 전력선의 시변적인 부하 상황으로 인한 통신 채널의 왜곡 현상과 잡음에 의한 통신 장애의 문제를 해결하기 힘들기 때문이다. 하지만 급속도로 발전하고 있는 네트워크 기술에 발맞춰, 요구되는 속도를 충족시키기 위해서는 xDSL이나 CATV 망에 버금가는 속도를 제공할 수 있는 전력선통신 시스템의 개발이 시급하다. 이에 대한 연구로서 저압 배전망에 고속 전력선통신 실증시험망을 서울, 대전, 창원, 제주의 약 200여 세대에 구축하여 운영하고 있다<sup>[1]</sup>.

이중에서, 대전 전민동에 구축한 단독주택형인 20여 세대는 다른 구축 현장과 달리, 아파트나 연립주택 형태가 아닌 주변에서 흔히 볼 수 있는 실 계통의 독립가구 형태이다. 그렇기 때문에, 고속 전력선 통신을 위한 모델과 통신 시스템 개발 및 향후 실질적인 사업에 관련하여서는 많은 참고를 대상으로 하는 지역이다.

따라서, 본 논문에서는 실제 수용가 환경인 단독주택에서 수행한 인터넷 시범사업을 통하여 개발된 전력선 통신 모델과 시스템에 대한 성능 측정을 수행한 결과를 토대로 현 단계에서의 기술을 분석하였다. 또한, 기존의 설치된 원격검침 시스템과 연계된 복합통신망을 구성하기 위해서, 전력선 통신망에 대한 운영상의 적정 노드 및 가입자망 전송 섹터범위 등의 종합적인 평가에 대한 내용 등 실증시험망 구축 및 시험에 대한 결과에 대해서 기술하고자 한다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 2장에서 전력선 통신 기술 및 동향에 대해서 간단히 살펴보고, 3장에서는 단독주택형의 실증 시험망 구축 및 운영에 대해서 기술하고, 4장에서는 이러한 실증시험망의 운용 결과에 대해서 논하며, 5장에서 본 논문의 결론을 맺었다.

## 2. 전력선 통신의 기술 및 동향

본 장에서는 PLC 기술에 관한 특징에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2.1 PLC의 원리 및 분류

전력을 공급하는 전력선의 전원 파형(60Hz)에 수십~수백 kHz의 고주파 통신신호를 함께 실어서 전송하는 방식으로 전송된 신호는 고주파 필터를 이용하여 통신신호만을 따로 분리해 통신을 가능하게 한 기술이다. 또한 전력선 통신에서의 고주파 신호는 저 출력의 신호이므로 일반 가전기기 작동에는 어떠한 영향도 미치지 않는다<sup>[7]</sup>.

PLC의 분류는 속도에 따라 저속(10kbps 이하 : 10~450KHz의 주파수 대역 사용)과 고속(1Mbps이상 : 1~30MHz의 주파수 대역 사용) PLC로 나뉘고, 전력선에 흐르는 전압에 따라서는 저압(220V) PLC와 고압(22.9kV) PLC로 나뉜다<sup>[2]</sup>.

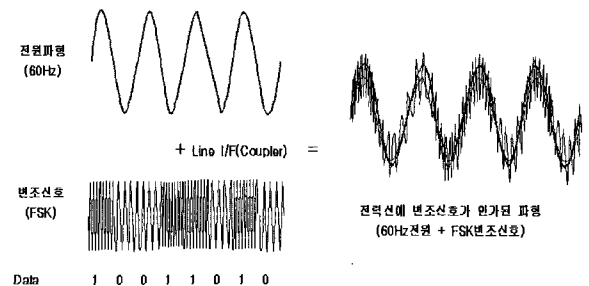


그림 1 전력선 통신의 원리  
Fig. 1 Principal of Power Line Communication

### 2.2 PLC의 장점

PLC는 통신 선로를 별도로 설치할 필요가 없기 때문에 적용에 있어서 다양한 이점이 있다. 통신선을 포설할 때 제일 문제가 되는 것은 기존 건물의 벽, 바닥, 천정 등을 훼손해야 한다는 점이다. 이것을 ‘건물 인입선 문제’라고 한다. 건물 소유자는 건축물 훼손과 미관상의 이유로 추가 선로 작업을 하지 않으려하고, 통신

사업자의 입장에서도 비용이 가장 많이 들고 시간과 인력도 많이 소모하고 있다. 그런데 PLC 기술을 적용하면 통신선을 별도로 포설하지 않기 때문에 이러한 문제점들로부터 자유롭다.

두 번째 이점은, 건물 내의 전기선 배선 구조가 첨단 통신망 구조와 비슷하다는 점이다. 즉 LAN(구내 통신망)과 구조가 닮은 형태이다. PLC 통신이 된다면 노트북 PC를 맥내 어느 위치에서나 전원만 연결하면 인터넷을 자유롭게 사용할 수 있다. 뿐만 아니라, 구내 콘센트는 모두 서로 연결될 수 있는 접점이 되기 때문에 새로운 통신 채널을 구성하기가 쉽다. 즉, 맥내 망을 구성하기가 쉬운 것이다. 이렇게 네트워크의 확장과 재구성이 자유롭다는 것은 통신기술상 중요한 장점이다.

### 2.3 PLC의 핵심 기술 요소

PLC에서 극복해야 할 요소는, 잡음(noise), 감쇄(attenuation), 지연(delay) 등이며, 이 3가지는 전송로에 필연적으로 존재하여 신호를 왜곡하거나 없애버리기도 한다. 전력선 통신의 핵심 기술은 이 세 가지 단점들을 최소화 시키는 것이다. 이러한 기술 요소들을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

첫째로, 전단 처리 기술이 있는데, 이 기술은 전력선과 통신선을 커플링(두 케이블을 연결하는 것)하는 기술, Filtering 기술과 임피던스 매칭 기술로서 통신신호가 최대한 감쇄 없이 전력선에 실리게 하고, 원하는 통신신호만 분리해 낸다. 둘째로, 채널 코딩기법은 디지털 신호를 어떻게 코드화 하느냐에 따라 전송도중의 에러를 검출하기도 하고, 스스로 교정하게도 할 수 있다. 셋째로는 변복조 기술이 있는데, 전력선은 원래 통신용으로 적합하지 않지만 최신 변조기술을 이용하여 감쇄와 잡음의 영향을 최소화 할 수 있다. 열악한 전력선 채널특성을 극복하고, 전송속도의 향상을 도모하기 위한 변조방식으로 FSK, SS, Multi-Carrier 등을 주로 이용한다. 마지막으로, 매체 접속제어 기술은 신호를 일정크기(패킷)로 잘라서 트래픽을 균등히 하고 효율적인 접속이 이루어지도록 절차(프로토콜)를 정한다. 그리고 이러한 절차를 하드웨어 및 소프트웨어적인 방법으로 구현한다. 전력선 통신용 프로토콜은 다자간 통신을 공평하게 하기 위해 긴 데이터를 적절히 분할한다. 다음으로 엄격한 에러탐지 및 수정 기능이 필요하며, 매체 상태 변화에 따른 빠른 적응력을 갖추도록 한다<sup>[5][6]</sup>.

### 2.4 PLC 동향

국내의 PLC 기술 수준은 일찍부터 정부, 연구기관, 학계, 산업계에서 관심을 가지고 노력하였기 때문에, PLC 기술 수준은 선형 국가들에 비해 뒤지지 않는 편이다. 이와 함께 2000년 설립된 PLC 포럼을 통해 학계, 연구기관, 업체들이 서로 정보를 공유하여 기술개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 학계 및 업체 분위기를 반영하듯, 정보통신부에서는 2002년 현장실험용에 한하여 전파법 규제를 완화하였고, 추가적으로 고속용 주파수대역까지도 2004년 12월 전파법이 개정되어 PLC 기술의 상용화를 가속화시키고 있다.

## 3. 고속 전력선 통신 실증 시험망 설계 및 구축

본 장에서는 대전 전민동에 구축한 단독주택형 실증 시험망에 관한 구축 내용과 단독주택 형태에서의 고속 전력선 통신 특성 및 성능에 대하여 기술한다.

### 3.1 실증 시험망 장비

그림 2는 'X'사의 실증 시험망에 사용된 신 버전 전력선통신 모듈의 실물을 나타낸 것으로서 오른쪽의 전원공급부와 왼쪽의 모듈부로 나뉜다. 현재까지 전체적인 소형화는 하지 않은 단계로서 전원공급부와 모듈부 모두 어렵지 않게 소형화할 수 있어 카드 형태의 내장형도 구현이 가능하다.

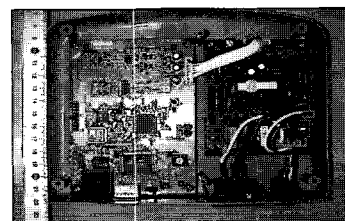


그림 2 전력선통신 모듈

Fig. 2 The PLC Modem

열 문제에 관해서 살펴보면, 이전 구 버전에서는 DSP(Digital Signal Processor) 및 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)에서 발생하는 열이 상당히 높은 원인으로 인하여 외부에 방열판과 팬을 사용하였기 때문에 팬에 의한 소음이 상당히 컸다. 사용자들은 다른 것보다 소음을 가장 큰 불편 사항으로 들었으며, 신 버전의 모듈에서는 이런 문제를 완전히 해결 하였다는데 큰 의미가 있다고 볼 수 있다.

기술 발전 이외에 기능적인 면을 살펴보면, 신 버전 모뎀은 마스터 모뎀, 슬레이브 모뎀, 중계기의 역할을 모두 수행할 수 있도록 설계되었으며, 강력한 채널 평가 알고리즘을 구현하여 시변적인 전력선 채널에 최적화될 수 있도록 하였다.

또한 Hierarchical MAC 프로토콜로 커버리지를 최적화할 수 있었으며, 근접한 물리적 망 내에서 여러 개의 마스터가 동시에 사용될 수 있도록 하였다. 그리고 신 버전 모뎀에서는 DMT(Discrete Multi Tone) 통신방식을 이용하며, 채널 상황에 따라 최대 3비트까지의 adaptive bit loading이 가능하다. 사용 주파수대역은 약 2.1484~약 23.1445 MHz이고, 톤 간격은 97.65625kHz로서 험 밴드를 제외한 188톤을 사용한다. 그리고 HMAC프로토콜을 사용하여 마스터 모뎀 하나당 28개의 슬레이브 모뎀과 3개의 중계기를 연결할 수 있다. 실증 시험망에 사용된 모뎀의 특성은 다음의 표로 간단히 요약하였다.

표 1 실증시험망에 사용된 모뎀의 성능 및 기능  
Table 1 Efficiency and function of the modem which is used in field test network

Performance/Function	Characteristic
Reduced preamble size	9 symbol
Operation speed	50MHz
Reduced HW latency	Support
Encryption	DES
Programmable notch filter	Support
Number of tone map	63
Noise robustness	Strong
Used frequency band	2~23MHz
Payload data rate	24Mbps
Programmable notch filter	Internal
Encryption	DES
Repeater function	included

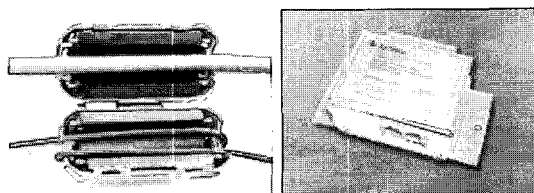


그림 3 비접촉식 커플러와 접촉식 3상 커플러  
Fig. 3 Clamp type coupler and coupling unit

그림 3의 왼쪽은 건물 내부 분전함에 설치되는 비접촉식 커플러이고, 오른쪽의 커플링 유닛은 마스터 모뎀이 설치되는 전주의 함체 내부에 설치되는 접촉식 커플러이다. 실증 시험망에 사용된 커플링 유닛은 최대 4개의 단상 배선에 커플링 할 수 있으며, 그 이상의 결합이 필요한 경우는 추가적인 커플링 유닛의 확장이 필요하다. 확장을 위한 RJ-11 포트가 그림과 같이 커플링 유닛에 준비되어 있다.

PLC 시스템에서 통신 성능을 향상시킬 수 있는 요소 중의 하나로 커플링장치를 들 수 있다. 커플링 장치는 기본적으로 저압 배전망의 경우 AC220V를 차단하면서 통신 신호를 전력선에 실어주는 장치로서 전력선을 바라본 임피던스와 매칭이 되도록 설계되어야 한다. 하지만 광대역의 고속 PLC의 경우 광대역 특성을 만족하는 커플러를 설계하는 것 자체가 어려울 뿐만 아니라 시변적 채널 임피던스 특성 때문에 커플러에 대한 연구는 꾸준히 이루어지고 있다<sup>[8]</sup>.

일반적으로 450kHz이하 대역이나 1MHz이상 대역의 커플러는 모두 저항, 인덕터, 커패시터 소자를 이용한 대역 통과 필터로 설계되며, 모뎀의 전원 공급부와 연결되어 기판에 제작되기 때문에 모뎀의 전원 코드를 뽑음과 동시에 커플링이 이루어지게 된다. 하지만 마스터 모뎀과 같이 가정 내에 설치되는 가입자 모뎀이 아닌 경우 옥외의 주상변압기나 아파트 내부의 분전함에 설치되어 백본 네트워크와 연결된다.

### 3.2 PLC Network 구성

실증시험망 구축에서 모뎀 설치 구성은 전력선 통신 모뎀에 장착된 HMAC(Hierarchical Medium Access Control)에 의한 것으로서, 단독주택형에서의 액세스

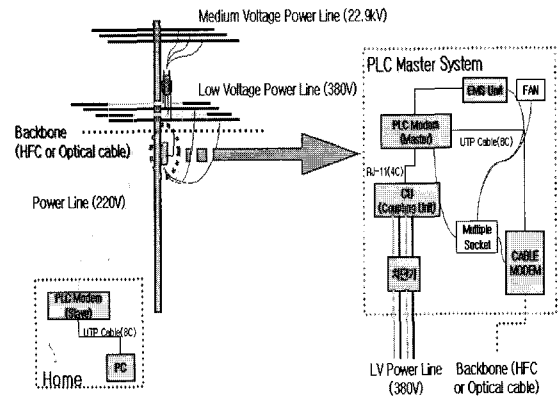


그림 4 단독주택형의 전력선 통신망 구성  
Fig. 4 PLC network composition of detached home type

Control)에 의한 것으로서, 단독주택형에서의 액세스 망 구성은 함체가 설치된 전주(그림 4)에서 각 수용가로 뻗어있는 배전선 자체가 통신선로가 되어, 하나의 논리망 자체로는 트리구조 형태를 보여주고 있다.

세 종류로 구분되는 전력선통신 장치(PTU : PLC Transceiver Unit)는 주상변압기에서 시작되는 저압 배전망의 곳곳에 배치되어 고속 전력선통신에 의한 "last mile solution"을 가능케 한다. PTU는 아래에 설명될 마스터 모뎀, 슬레이브 모뎀, 그리고 중계기의 세 가지로 분류된다.

마스터 모뎀은 백본망으로의 액세스 포인트로서 단독주택형의 주상변압기나 집단주택형에서의 분전함과 같이, 슬레이브 모뎀(또는 중계기)들과 통신이 가능한 곳에 위치한다. 단독주택 형태에서는 주상변압기에서 여러 갈래로 분배된 저압 배전망은 하나의 물리적 망(Physical Network)을 구성하고, 이 망 내에서의 전력선통신을 총괄한다. 또한 마스터 모뎀은 HMAC에서 제공하는 멀티 마스터 기능에 의해 동일한 물리적 망 내에 2대 이상이 공존할 수 있으며, 각 마스터 모뎀은 자신의 논리적 망(Logical Network)을 구성하고, 다른 논리적 망과는 무관하게 자신의 관할 하에 있는 슬레이브 모뎀이나 중계기들과 점대 다점(point-to-multi point) 형태의 통신을 한다. 이러한 마스터 모뎀은 인터넷 백본망에 접속하는 케이블 모뎀과 함께 PLC Master System을 구성하게 된다. 이 PLC Master System에는 PLC 마스터 모뎀과 슬레이브 모뎀 상황을 모니터링하는 EMS장비와 맥내 전력량계의 원격검침 데이터를 수집하는 수집장치, 변압기 감시를 위한 장치 등이 추가로 설치되어, PLC 집중장치로서의 역할을 할 수 있다.

그리고 슬레이브 모뎀은 각 맥내에 위치하여 자신이 속한 논리적 망의 마스터 모뎀을 통해 고속 전력선통신을 수행하며, HMAC에서 슬레이브 모뎀간의 통신은 마스터 모뎀 혹은 중계기를 통한 중계에 의해 가능하다. 중계기는 마스터 모뎀과 슬레이브 모뎀간의 통신 거리에 대한 제약을 극복할 수 있게 해주는 PTU로서 마스터 모뎀에게 보이지 않는 슬레이브 모뎀들의 중간 지점에 위치하여 마스터 모뎀과 슬레이브 모뎀간의 프레임 전송을 중계해주는 역할을 하며, 중계기는 커버리지(coverage)의 증대가 필요할 경우에만 사용된다.

**3.3 실증 시험망 구축 환경**

이 지역에 대한 실증시험망은 2003년 5월경에 현장

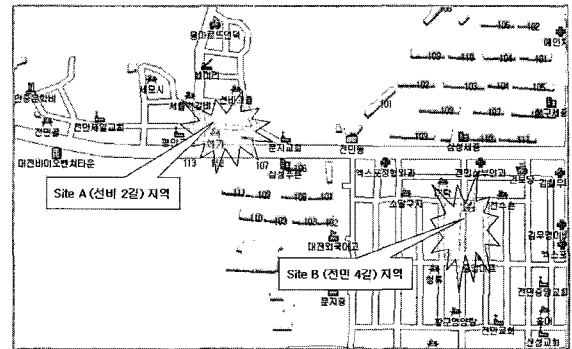


그림 5 실증시험망 구축 지역 - 대전  
Fig. 5 Field test network construction area-Daejeon

답사 및 사전 조사를 시작하여, 6월에 전기연구원과 함께 고속 전력선 채널 특성에 관하여 조사를 하였다. 7월에 시범사업 참여 신청에 대한 모집을 공고하여, 7월 30일에 1차 시범사업을 시작하였다. 시범사업은 그림 5에서와 같이 두 지역으로 나누어 설치하였다.

본 시범사업 지역은 집단주택형태의 실증시험망과는 달리 전국 어디에서는 볼 수 없는 단독주택 형태의 실계통으로서 보다 다양한 주변 환경에서 실험을 할 수 있도록 두 지역으로 나누어 구축하였다. 편의상 A, B 지역으로 명명하였다. A(선비 2길)지역은 주변 환경이 주택위주인 곳을 선택하였으며, B(전민 4길)지역은 주변 환경이 상가 지역인 곳을 선택하여 설치하였다.

A지역은 비교적 건물의 밀집도가 낮으며, 주상변압기 망에는 건물 8채(원룸형태 2개, 3층이하 6개)가 50kV급 주상변압기 3개로부터 전원을 공급받고 있다. 그리고 A 지역의 모든 건물들은 3상 전원을 공급받아서 주 차단기에 연결되며, 그 차단기로부터 각각의 단상용 차단기를 통하여 단상 전원을 사용하고 있다. B 지역의 경우 A 지역에 비해 밀집도가 높으며, 실증시험이 이루어진 주상변압기 망에는 건물이 14채(원룸형태 4개, 3층 이하 10개)가 100kV급 주상변압기로부터 전원을 공급받고 있으며, 3상 전원을 사용하는 건물도 있었다. 그리고 A, B지역 모두 1층은 대부분 음식점 같은 상가로 쓰이고 있으며, 2층 이상은 주거용으로 사용되고 있다. 또한 A지역은 밀집도가 낮음과 동시에 각각의 수용가는 면적이 넓었으며, 반면 B지역은 면적인 A지역에 비해 좁은 환경이었다. B 지역의 경우 사전답사 당시에는 지금보다 넓은 범위의 주상 변압기망을 가지고 있었지만, 새로이 변대주가 추가 설치되어 구축시에는 보다 작아진 지금의 망 크기를 갖게 되었다.

3.4 실증 시험망 구축

그림 6의 왼쪽 그림은 마스터 모뎀이 들어있는 함체가 전주에 설치되어 있는 모습이고, 함체 내부는 오른쪽 그림에서 보는바와 같이 AC220V의 3상 전원이 차단기를 통해 커플링 유닛과 콘센트에 연결되어 원하는 상(Phase)에 통신 신호를 주입하기 위하여 커플링을 할 수 있을 뿐만 아니라, 전력선 통신 모뎀과 케이블 모뎀 등, 함체 내부에 설치된 AC220V 전원이 필요한 기기들에게 전원을 공급할 수 있도록 하였다. 그리고 커플링 유닛을 사용한 커플링은 집단주택형에서의 비 접촉식 커플링 방식이 아닌 직접 커플링 방식으로 결선하였다.

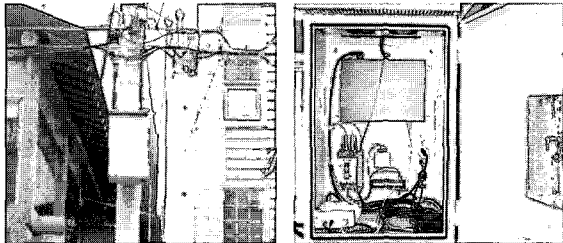


그림 6 전주에 설치된 마스터 모뎀의 함체 및 내부  
Fig. 6 The box body and the inside of the PLC master modem established in an electric pole

1차 시범사업 시에는 모뎀 성능에 관한 여러 문제점이 도출되어 인터넷 서비스 사용시 많은 장애가 발생하였으나, 이러한 문제점 해결 방안의 하나로 'I'사의 칩을 사용한 모뎀을 설치하여 테스트를 하기도 하였으며, 칩 성능이 개선된 신 버전의 모뎀으로 전부 교체하여 테스트를 하였다. 모뎀 교체 초기 시에는 많은 성능 개선을 통하여 보다 안정적인 서비스를 제공하였지만, 신호 레벨을 높이기 위하여 회로 구성으로 인하여 모뎀 작동이 다운되는 결함이 발생하였다. 이러한 모뎀 결함을 해결하기 위하여 추가 설치할 때에는 서지 보호회로를 추가한 모뎀을 설치하였다.

백본망은 HFC 망을 이용하여 인터넷 서비스를 제공하였다. 각 지역의 설치 현황은 상기 그림 7과 그림 8에 나타낸 바와 같이 A지역 7가구와 B 지역 9가구 등, 총 16가구에서 시범 운영중이다. 각 수용가의 개인적 사정으로 탈퇴한 가구 및 채널 상황이 좋지 않아 인터넷 서비스를 제공하지 못한 가구는 그림에서 배제하였다. A 지역의 경우에는 서비스 지역 추가 시에 광케이블로 교체하여 설치하였으며, 지금은 A지역 전체를 광케이블로 교체하여 인터넷 서비스를 제공하고 있다. 그러나 백본망의 교체와 달리 전력선 모뎀의 성능

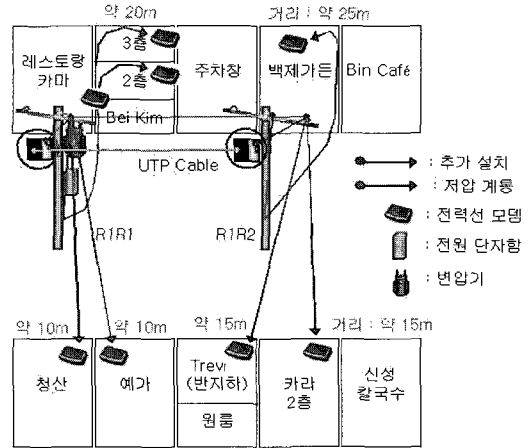


그림 7 PLC 모뎀 설치 현황(A 지역)  
Fig. 7 Establishment present condition of the PLC modem-A area

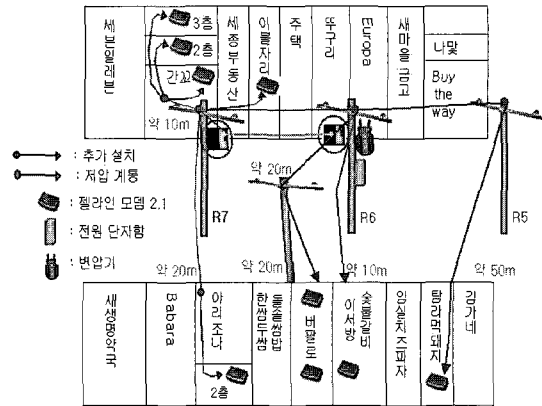


그림 8 PLC 모뎀 설치 현황(B 지역)  
Fig. 8 Establishment present condition of the PLC modem-B area

은 10Mbps급의 제 성능을 보여주지 못하였고, 인터넷 속도 향상에는 별 차이가 없었다. 주변의 채널 상황과 노이즈 원인도 문제이지만, 할로젠램프와 같은 맥내 노이즈와 분기가 많은 맥내 전기 배선도 그 원인으로 볼 수 있다. 향후 이러한 문제를 타개한 개선된 모뎀으로 교체된다면 더 나은 속도를 보장할 수 있으리라 본다. 이러한 운용 결과 및 인터넷 속도 측정 결과에 대해서는 다음 장에서 살펴보겠다.

4. 실증 시험장 운용 및 결과

4.1 인터넷 속도 측정

실증 시험망에 대한 인터넷 속도 측정은 한국전산원

의 인터넷 속도 측정 사이트에서 측정하였다. 전력선 통신 장비와 같은 시스템 구성 요소들을 집중적으로 모니터링하고 관리하기 위한 시스템인 EMS(Element Management System)을 구축한 후에도, 현장방문 때는 이 사이트를 통하여 인터넷 속도를 측정하고 EMS와 병행으로 수행하여 그 성능을 분석하였다.

다음의 표 2는 A지역과 B지역에서 측정된 하향 전송 속도를 나타낸 것으로서, 현재 운용중인 모뎀이 설치시점의 속도와 약 3개월간의 평균속도, 최근의 오후 시간 때의 속도 등을 표에 나타내었다. 이곳 단독주택형은 집단주택형의 결과와 비교해서 성능 차이가 많이 나는데 특히, A지역에서는 하향 전송 속도의 변화가 많이 생기는 것을 알 수 있었다.

표 2 하향전송 속도 측정(평균속도 - 3개월 평균)  
Table 2 Internet download speed measurement  
(Average speed - 3 month average)

설치 장소	EMS ID	설치시 (Mbps)	평균 (Mbps)	최근속도 (Mbps)
A지역	G1C4	1.7	1.11	1.43
	G1C5	1.7	1.26	0.89
	G1C6	1.1	1.21	1.19
	G1C7	1.3	1.01	0.60
	G5C4	2.6	1.70	1.24
	G5C5	0.422	0.96	1.13
	G5C6	1.8	1.37	1.0
B지역	G5C4	2.3	1.18	1.3
	G5C5	3.0	1.22	1.41
	G5C6	3.4	1.29	1.26
	G5C7	1.7	1.20	1.85
	G5C8	1.2	-	-
	G1C4	2.05	1.39	1.19
	G1C5	1.73	1.62	1.28
	G1C6	1.8	1.15	0.87
G1C7	1.8	1.27	0.91	

2층 이상의 장소에 모뎀을 설치한 경우가 A지역의 G1C7과 B지역 5곳이 있는데, B지역의 G5C6에서는 문제없이 인터넷 서비스를 받을 수 있었으나, A지역의 G1C7의 경우 1층의 주 차단기까지는 통신 신호가 양호하게 도달하나 2층으로의 전송이 미약하게 이루어져 2층에 중계기를 설치하여 원하는 전송 속도를 얻을 수 있었다. 그러나 그후, 다시 인터넷 속도가 현저히 떨어졌으며, 전기 부하가 많아지는 저녁 시간에는 인터넷 단절 현상이 자주 발생하였다. 또한 1차 시범사업시 A지역의 G5C4의 경우에는 전원 공급을 받는 주상변압

기로부터 인입구사이에 전주 하나를 더 거치면서 마스터 모뎀으로부터 거리가 멀어져 신호의 감쇠가 많았으며, 역시 중계기를 설치하여 전송 속도를 확보하도록 하였고, 향후에는 원활한 서비스 제공을 위하여 추가 합체를 설치하였다.

이처럼 A지역은 중계기를 사용해야 하는 등 전체적으로 B지역보다 전송 속도의 신뢰성이 비교적 낮았다. A지역이 B지역에 비해 밀집도가 떨어져 잡음의 영향이 적어 통신 속도가 높게 나타날 것이라는 기대와 다른 결론으로서, A지역이 밀집도가 떨어짐에 따라 전원 공급을 받는 주상변압기로부터 거리가 B지역보다 멀어 신호의 감쇠가 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 단독주택형은 주상변압기로부터 멀리 떨어져 있는데다가 그 분기도 상당히 많기 때문에 다중 경로 현상이 크게 나타남으로서 집단주택형태에서보다 신호의 감쇠 및 잡음의 영향이 더 크게 작용하는 것으로 판단된다.

#### 4.2 맥내 인터넷 속도 측정

전력선 통신의 가장 큰 장점 중에 하나는 추가 케이블 가설 작업이 필요 없이 집안 어느 콘센트에나 꼽기만 하면 된다는 것이다. 그러나 아직 현재의 기술 수준으로는 맥내 분전반에 가까운 위치의 콘센트에서 통신이 잘 이루어지며, 맥내 분기 사항이나, 집안 가전기기에 대한 잡음 때문에 통신 레벨이 많이 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 이에 대한 결과를 표 3에 나타내었다.

상기 측정에 대한 측정 위치는 그림 9에 나타냈었다. 표 3에 나타낸 것처럼, 이 측정은 음식점의 주 영업시간 이전에 측정한 결과이며, 만일 손님 많은 저녁 시간에 측정하면 그 결과가 더 낮을 것이라고 판단된다. 이러한 신호 레벨을 높이고자, 시범사업 참여 맥내에 전자파 제거기인 '세파'를 부하가 많은 가전기기 인입선에 설치하여 변화를 살펴보았지만 그리 큰 변화는 있지 않았다.

#### 4.3 전자파 환경 조사

국내의 경우 전력선 통신 시스템을 구축 및 운용하기 위해서는 정보통신부가 정한 "전파이용설비"로서의 "미약전파법" 요건을 만족하여야 하는데, 그나마 이전의 "전파이용설비"에 관한 법규는 9kHz이상부터 450kHz이하의 대역을 사용하는 통신 기기에 대해서만 허가되었었으며, 최근 고속 통신 시스템에 대한 요구가 커지면서 근래에 450kHz를 초과하는 통신 기기도 실험용 전파이용설비로서 허가를 받아 기기를 운용할

표 3 각 콘센트 별 속도 측정 결과  
Table 3 The internet speed measurement of an each wall outlet of a household

장소	평균 속도(bps)		측정회 수	패킷 손실율(%)
	Download	Upload		
0A	1.25M	755k	3회	0.015
1A	46.6K	접속 불능	3회	99
1B	접속 불능	접속 불능	3회	
1C	접속 불능	접속 불능	3회	95
1D	접속 불능	접속 불능	3회	95
1E	702K	494K	3회	
1F	접속 불능	접속 불능	3회	91
2A	접속 불능	접속 불능	3회	100
2B	접속 불능	접속 불능	3회	100
2C	접속 불능	접속 불능	3회	
2D	접속 불능	접속 불능	3회	92
2E	접속 불능	접속 불능	3회	61
2F	509K	78.6K	3회	
2G	접속 불능	접속 불능	3회	91
2H	접속 불능	접속 불능	3회	100
2I	1.05M	547K	3회	64
2J	접속 불능	접속 불능	2회	97
2K	85.8K	접속 불능	2회	64
2L	접속 불능	접속 불능	2회	41
2M	접속 불능	접속 불능	2회	94

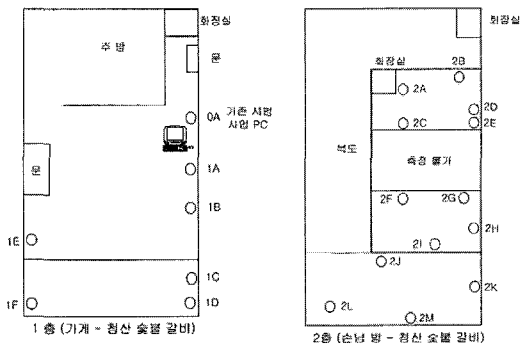


그림 9 대내 인터넷 속도 측정 위치  
Fig. 9 The internet speed measurement location of household(indoor)

수 있게 되었다. 이에 본 실증시험장에서도 체신청에 2~28MHz까지 사용주파수 허가를 받아서 운용하고 있다. 또한, 정통부 산하 전파연구소 주관으로 실증 시험장의 누설 전계강도에 대한 실증시험을 2회에 걸쳐 다른 기관과 함께 실시하였다.(그림 10)



그림 10 누설전계강도 측정 및 군통신과 단파방송 측정  
Fig. 10 Leakage electric field burglar measurement and army communication and shortwave broadcasting measurement

그림 11은 누설 전계강도에 관한 측정을 위한 구성도로써 모뎀간의 통신 on/off 상태에서 EMI 분석기에 루프 안테나를 연결하여 데이터를 수집하였다.

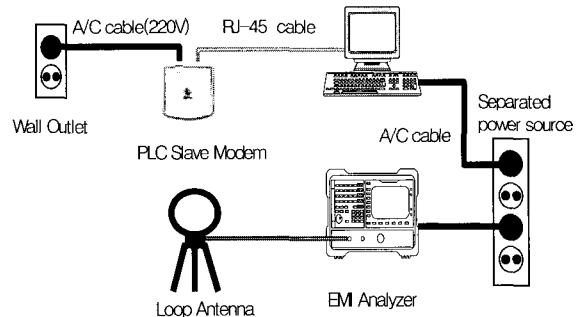


그림 11 누설 전계강도 측정 시스템 구성도  
Fig. 11 System block diagram of Leakage electric field burglar measurement

측정 방법은 실증 시험장 A 지역의 두 마스터 모뎀 사이(그림 12)와 전력선 아래(그림 13) 및 마스터 함체가 설치된 전주 아래 부분에서 시작하여 3m, 5m, 10m, 20m, 30m, 50m, 100m, 200m의 거리를 두고 전력선 모뎀을 on/off 상황에 따라서 스펙트럼을 측정하고, 옥내에서는 슬레이브 모뎀과 3m거리에서 측정하였다. 또한 같은 포인트에서 군부대에서 사용하는 무전기과 단파방송을 수신하여 전력선 통신이 각 통신에 영향을 미치지 여부를 측정하였다. 이러한 측정은 고속 PLC의 주파수 대역이 각 통신과 서로 중첩되는 부분이 존재하기 때문에 보호대역으로 설정된 부분이



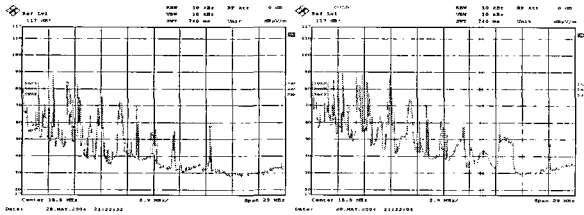


그림 12 마스터 모뎀사이 측정(좌:모뎀 off, 우:모뎀 on)  
Fig. 12 Measurement between two master modems

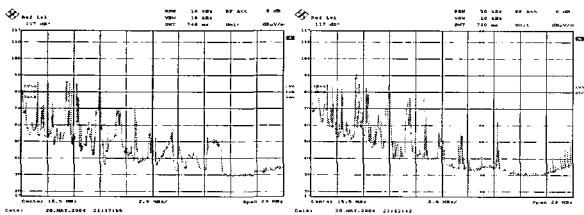


그림 13 전력선 아래 측정(좌:모뎀 off, 우:모뎀 on)  
Fig. 13 Measurement under the power line

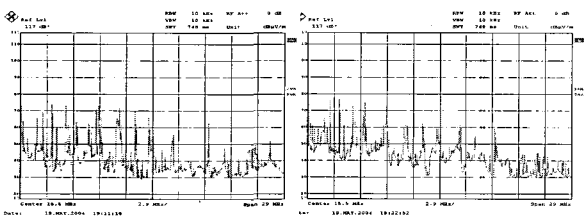


그림 14 옥외 3m에서의 측정(좌:모뎀 off, 우:모뎀 on)  
Fig. 14 Measurement at 3 meters apart from the PLC modem(outdoor)

잘 이루어졌는가의 여부를 측정하고 다른 방해 요소가 없는지를 측정하는 것이다. PLC 모뎀은 아마추어 무선에 대한 대책으로 6군데의 주파수 대역을 notch filter를 통하여 아마추어 햄 대역으로 설정하였고, AM 방송대역은 1.7MHz 이하의 대역에 존재하고 고속 PLC 대역은 2MHz 이상의 대역을 사용하기 때문에, filter를 사용하여 2MHz 이하의 대역을 추가로 감쇄시킴으로써 영향을 주지 않도록 하고 있다. 분석기를 통한 측정시험결과를 살펴보면, 3m 거리(그림 14)에서만 임계치(※법규상 허가치는 모뎀과 전계강도 측정기까지 3미터 거리에서 준 침투치로 측정 500μV/m(약 54dBμV/m)이하로 정해져 있다)값에 근사한 값을 보일뿐 기타 거리에서는 별 영향을 주지 않았다. 군통신과 단파방송과의 측정에서도 별다른 영향을 주지 않았지만 모뎀과의 거리가 가까운 3m 이내에서는 잡음의 영향이 다소 있음을 발견할 수 있었다. 이에 방송국 관계자는 2MHz 이하 주파수 대역에 대한

침투치의 값을 좀 더 낮게 나타낼 수 있는 필터링을 원하였고, 향후 모뎀 개선 사항에 반영될 예정이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 단독주택 형태의 저압선 망에서 전력선 채널특성을 연구하였으며, 전파 환경에 대하여 조사하고 분석하였다. 그리고 고속 전력선통신 인터넷 망을 실제 거주자들에게 사용하도록 하여 전력선 모뎀의 문제점을 발견하고, 보완하기 위한 실증 시험망을 구축하고 운영하였다. 본 논문의 운영 결과를 살펴보면, 아직까지 고속 PLC 모뎀을 상용화 기술 수준에는 아직까지 그 기술의 미비한 점과 해결해야 할 문제점들이 많이 남아 있다. 총 20건의 장애 신고 중에서도 모뎀 및 장비 불량외의 발생건수가 11건으로 55%의 비율을 차지하고 있다. 이에 대한 모뎀 및 장비에 대한 성능 개선 또한 꼭 필요한 요소 중의 하나이다. 향후에도 실증시험망의 관리 및 전력선 통신 시스템에 대한 지속적인 개선 등의 다양한 연구 활동을 통하여 우리나라의 전력선통신 사업의 국제 경쟁력을 키우고 제품의 신뢰성과 상용화에 대한 가속화를 가져오기 위한 연구를 계속 수행할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전기연구원, "저압선을 이용한 고속통신 실증시험망 구축 및 운영평가기술 확립", 산업자원부 최종보고서, 2004. 1.
- [2] 유동희, "전력선을 이용한 통신 기술(PLC)", *KEPRI journal*, pp. 21, 2004. 7.
- [3] Byungseok Park, et. al., "Development of AMR System using Hybrid Communication Network", *ICEE 2004/APCOT MNT 2004 : The International Conference on Electrical Engineering*, 2004. 8.
- [4] 김영현, 박병석, "복합 통신망을 이용한 AMR 시스템 개발", *전력전자학술대회 논문집(II)*, pp. 718-722, 2004. 7.
- [5] 이흥희, 김관수, "전력선 통신 환경에서의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 잡음제거에 관한 연구", *전력전자학술대회 논문집*, 2001. 7.
- [6] 이흥희, 김관수, "변복조 및 채널코딩 기능을 가진 전력선 통신용 ASIC 구현", *전력전자학술대회 논문집*, 2002. 7.
- [7] Klaus Dostert, "powerline Communications", Prentice-Hall, 2001.
- [8] Halid Hrasnica, et. al "Broadband Powerline Communications Networks", John Wiley & Sons, 2004.

저 자 소 개



**박병석(朴炳哲)**

1971년 5월 3일생. 1993년 한남대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 한전 전력연구원 입사. 2002년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.



**최영림(崔榮林)**

1975년 3월 21일생. 2001년 명지대 정보통신공학과 졸업. 2003년 동 대학원 정보통신공학과 졸업(석사). 2003년~현재 한전 전력연구원 위촉연구원.



**유동희(劉東熹)**

1955년 4월 1일생. 1980년 한양대 전자통신공학과 졸업. 1988년 연세대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979년 한국전력공사 입사. 2005년~현재 한전 전자통신처 PLC사업팀장.



**현덕화(玄德花)**

1952년 9월 22일생. 1983년 단국대 전기공학과 졸업. 1989년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1976년 한국전력공사 입사. 2004년~현재 한전 전력연구원 전력통신기술그룹 그룹장.