

## 고압 배전선로를 이용한 고속 전력선 통신 가입자망 구축 연구

이재조, 오휘명, 박영진, 김관호, 이대영\*  
한국전기연구원, \*경희대학교

### Field Trial of Power Line Communication Access Network over Medium Voltage Power Distribution Grid

Jae-Jo Lee, Hui-Myoung Oh, Young-Jin Park, Kwan-Ho Kim, Dae-Young Lee\*  
Korea Electrotechnology Research Institute, \*Dept. of EE Engineering, Kyung-Hee University

**Abstract** During the last several years, interest in broad-band power line communications (PLC) has been grown over medium voltage(MV) power distribution lines as well as low voltage lines. This paper introduces a medium voltage PLC test field that is set up in the suburbs of Euiwang city in Korea. This test field could be used not only for the measurement of communication channel environment but also for internet service. This paper shows the configuration of medium voltage test field with network devices like MV signal coupler and the results of channel environment like noise and impulse response. It also shows the service performance of PLC access network through network management system.

### 1. 서 론

전력선 통신은 크게 10 - 450kHz를 사용하는 저주파 대역과 1.7 - 30MHz를 이용하는 고주파 대역에서 이루어진다. 전력선 통신 기술은 주로 저주파 대역을 이용한 전력회사의 방송전하나 자동화용으로 사용되었으나, 90년대 중반부터 고주파 대역을 이용한 고속 전력선 통신 기술들이 소개되었다. 고주파 전력선 통신기술은 발전된 디지털 통신기술을 전력선 환경에 맞게 적용함으로써 안정된 통신 속도를 제공하는 수준에 이르게 되었다. 미국의 경우 Homeplug 표준화 단체를 통하여 홈네트워크를 구축하는 기술로 발전되었고, 이제 오디오/비디오 신호를 전송하기 위한 기술표준화가 한창 마무리 중이다. 유럽은 전력회사의 경영다각화 차원에서 고압 및 저압 전력선 네트워크를 활용한 인터넷 서비스에 주력하여 현재 수만 가구에서 유료 서비스 사업화가 진행 중이다.

이러한 기술은 우리나라에서도 저주파 대역 전력선 통신기기를 중심으로 가정자동화에 산업화되기 시작하였고, 고주파 대역에 대한 전파법 개정을 통하여 고주파 대역이용 고속 전력선 통신 기기에 대해서도 산업 활성화 방안이 구체적으로 진행 중이다. 더 나아가 앞으로 이러한 전력선 통신의 커버리지 확대 및 경제성 확보를 위해서 고압 배전선로를 전력선 통신 선로로서 이용하는 방안이 전력회사를 중심으로 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 22.9kV, 3상 4선식 고압 가공지선 배전선로를 이용한 고속 전력선 통신 가입자망 구축에 관한 연구를 수행하고 그 결과를 설명한다.

먼저 고압 배전선로용 신호 결합장치에 대하여 설명하고 이를 이용한 실증망의 네트워크 구조와 전력선 통신 모델을 비롯한 세부 망 구성장치에 대하여 설명한다. 또한 고압 배전선로의 특성으로 노이즈와 임펄스 응답 특성 결과를 나타내었다. 그리고 구성된 가입자망의 관리를 위한 망관리시스템에 대한 개발 사양과 관리 구조를 설명한다. 마지막으로 이러한 망에서의 성능특성을 나타내고 결론을 맺는다.

### 2. 본 론

#### 2.1 가입자망 실증시험망 구축

실증시험망은 그림 1과 같이 경기도 의왕시 소재의 청계사 인근의 약 5km구간에 구축하였다. 이 실증시험망은 잡음의 측정, 감쇄를 포함하는 임펄스 응답 특성 및 EMI특성을 측정하는데 매우 유용하다. 현재 인근의 가구에 인터넷과 음성서비스에 대한 수용가 서비스가 진행 중이다. 본 논문에서는 먼저 고압 배전선로용 신호결합 장치에 대하여 설명하고 채널 특성의 측정 결과를 제시한다.

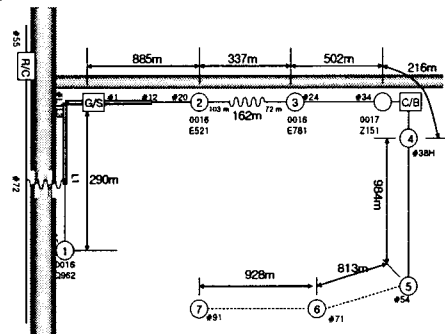


그림 1 고압 배전선로 전력선 통신 가입자망

#### 2.1.1 고압 배전선로용 신호결합 장치

본 논문에서는 3상 4선식 가공 배전선로를 사용하는 우리나라에 적합한 고주파 전력선 통신 신호 결합장치를 개발하였으며, 고압 고주파 신호결합장치의 내부구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 전력선 연결부위인 전력선연결부와 통신신호대역의 커플링을 담당하는 커플링 커패시터부, 전력신호를 포함한 저주파대역을 통과시키는 드레인 코일부, 통과된 신호에 대하여 접지로 연결시켜주는 접지부, 고압배전선로와 전력선 모델신호의 임피던스 매칭을 위한 임피던스 매칭부[1], 선별된 통신신호를 다음 트랜스포머로 연결시켜주는 통신신호 연결부로 구성 되어진다.

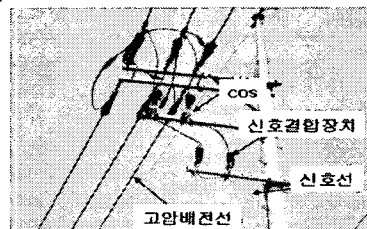


그림 2. 신호결합 장치 설치

## 2.1.2 고압 배전선로 임펄스 응답 특성

PN 시퀀스의 자기 상관(Auto Correlation) 특성이 단사적으로 Impulse 형태임을 이용하여 송신측에서 연속적으로 입력되는 PN 시퀀스에 대해 수신측에서 상관도분 측정함으로써 임펄스 응답을 얻는다[4].

### 가. 측정 대상

실제 고압 배전선로 상에서 임펄스 응답을 측정하기 위해 고압 실증 시험장을 구성하고 그림 3에서 보는 바와 같이 2번 지점에서부터 5번 지점까지를 측정대상으로 하여 측정하였다. 전력선 채널의 전달 특성은 신호의 송수신 위치가 반대로 될 경우 달라질 수 있으므로 양방향 측정을 기본으로 수행하였다[5].

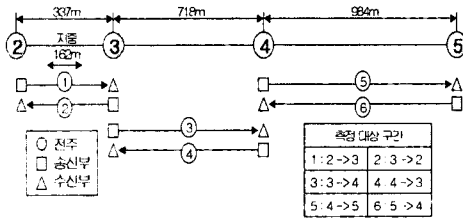


그림 3. 고압 배전선로 측정 대상

### 나. 측정 결과

그림 4는 실제 측정 결과로부터 얻은 임펄스 응답의 크기 결과 예를 나타낸 것이다. 표 1은 이 구간에서 얻어진 임펄스 응답특성의 파라미터를 계산한 예이다.

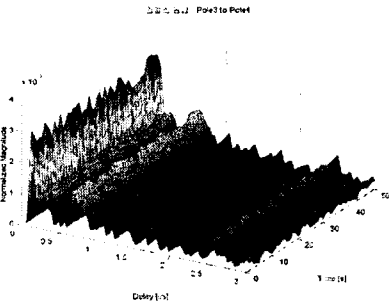


그림 4. 임펄스 응답 Amplitude 결과

표 1. 측정 구간 파라미터 예

구 간	$\bar{N}$ [개]	$\bar{\tau}$ [ns]	$\bar{\sigma}$ [ns]	다중경로	1st*	2nd
3지점 4지점	5.36	0.303	0.358	$\bar{\tau}_n$ [ns]	0.090	0.189
				$\alpha_n$ (dB)	0.0030 (50.46)	0.0011 (59.17)
				$\bar{\theta}_n$ [rad]	0.980	2.623

## 2.2 고압 배전선로 전력선 통신 네트워크 구축

### 2.2.1 전력선 통신 모델

가입자망 구축에 사용된 전력선 모델은 켈라인 단임 칩 솔루션인 'XPLC21'을 사용한다. 적용된 모델 칩은 전력선 통신용 고압/저압용 마스터 모뎀, 슬레이브 모뎀, 리피터 등의 개발에 이용되었다.

XPLC21A는 표 2에서 보는 바와 같이 DMT(Discrete Multi-Tone) 변조 방식과 복수개의 마스터와 리피터를 제공하여, 서비스 영역을 쉽게 확장할 수 있는 계층적(Hierarchical) MAC 알고리즘을 사용했다. 또한 XPLC 21A는 Channel Scanning function, Automated Routing Procedure, Co-existence of multiple master, Program

mable notch filter 등의 많은 기능을 보유하고 있다.

표 2. PLC 모뎀 사양

Data Rate	Up to 24Mbps
Modulation Type	DMT based on PSK
The Number of Sub carriers	256
Frequency Band	2~23MHz
Bit Loading	0/1/2/3 bits, adaptively
Forward Error Correction Codes	Concatenated with Convolutional RS Code
Multiple Access	CSMA/CA
Topology	Master/Slave
CMOS Technology	0.18um
Special Features	Hierarchical MAC
	Channel Scanning function
	Automated Routing Procedure
	Co existence of multiple master
	Programmable notch filter
	Adaptive Power allocation
	Changeable network configuration
Package	56 bit DES encryption
	Half duplex by time division
	100 pin TQFP package (14x14mm)

### 2.2.2 고압 전력선 통신 네트워크 장치 구성

고압 전력선 통신 가입자망은 그림 5와 같이 구성하였으며, 13개 전주에 통신장치 합체를 설치하였다. 통신장치 합체는 그림 6과 같이 전력선통신 모델과 통신기기 보호회로로 구성되어 있다. 그리고 주상의 저압전력선에서 인입하여 합체 내부에 전원을 공급하였다.

지상 2m 높이에 설치된 합체는 고압선에 근접하여 설치된 신호결합장치와 10m 이상의 거리가 생긴다. 이들은 신호결합장치의 2차측 임피던스와 근사한 값을 갖는 50Ω 동축 케이블로 연결하였다.

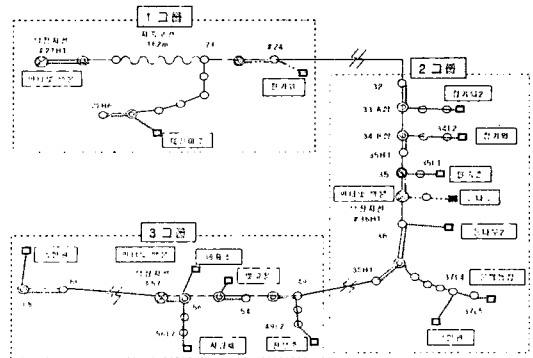


그림 5. 전력선 통신 가입자망 구성

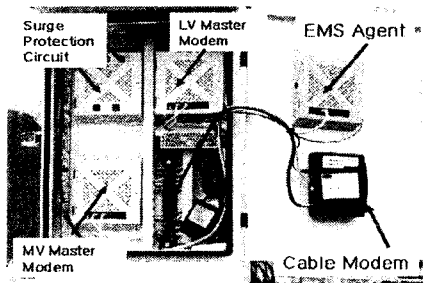


그림 6. 가입자망 전력선 통신 장치 구성

## 2.3 고압 전력선 통신 망관리 시스템 개발

### 2.3.1 고저압 가입자망 연계 관리 방안

아래의 그림 7은 망관리 시스템의 관리 매니저가 어떻게 고압과 저압의 전력선모뎀 관리정보를 수집하는지 보여준다. 대부분의 NMS에서 관리정보의 객체는 SNMP 에이전트를 내장하고 있지만 전력선통신 모뎀은 그렇지 못하다. 따라서 별도의 SNMP 에이전트를 전력선 모뎀의 네트워크에 추가하여 모뎀의 관리정보를 저장한다.

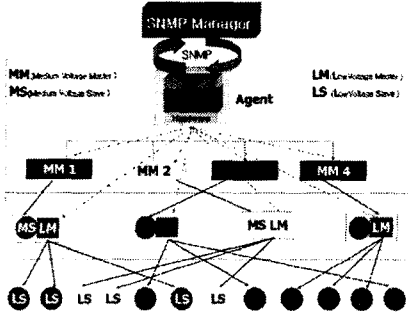


그림 7. 관리정보 처리 방안

먼저 에이전트에는 운영체제로 Embedded Linux가 존재하고 그 위에 SNMP 에이전트가 존재한다. 에이전트가 전력선 네트워크에 추가되면 마스터 모뎀을 찾기 위해 Broadcasting Message(MAC Level)를 뿌린다. 그 메시지를 받은 마스터 모뎀은 자신의 위치를 응답메세지로 에이전트에게 전달한다. 이때 변경된 MAC 계층을 가진 전력선 모뎀은 고압 마스터 전력선 모뎀 뿐만 아니라 저압 마스터 전력선 모뎀과도 통신이 가능하게 되고 이를 이용하여 고압과 저압의 모든 전력선 모뎀의 관리정보를 저장할 수 있게 된다.

### 2.3.2 망관리 시스템 구성

망관리 시스템은 웹 기반의 망관리 시스템으로 개발하여 관리자의 편의성을 도모하고자 하였다. 망관리시스템은 SNMP기반의 EMS에서 데이터를 수집하는 매니저 프로그램을 개발하였으며 그 세부 구성은 구성관리, 장애관리, 성능관리, 보안관리로 이루어져 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 각 전력선통신망 구성장치의 MIB (Management Information Base)를 설계하고 이를 구현하였다. 그림 8은 망관리 시스템의 구성관리 화면을 예로 나타내었다.

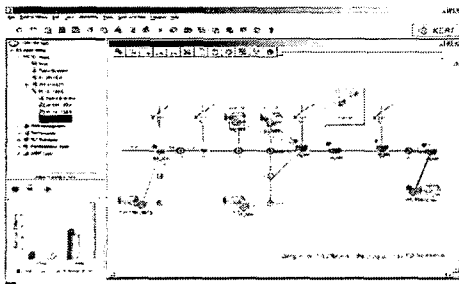


그림 8. 구성관리 화면

### 2.4 가입자망 성능 시험

가입자망의 구성 이후 가입자망의 네트워크 성능을 측

정하기 위하여 네트워크 성능 측정 장비인 IXIA 400을 사용하여 RFC 2544에 의거하여 Frame Loss Rate, Latency, Throughput을 측정하였다.

#### 2.4.1 처리율(Throughput)

처리율은 장치가 Frame loss 없이 수신한 최대값을 나타내고 측정은 10Mbyte로 binary search algorithm을 이용해서 측정한다. Throughput 측정은 one-to-one으로 구성된다. 테스트의 결과는 각각의 프레임 크기에 대해 초당 프레임 처리율을 나타낸다. 평균 약 2-3Mbps의 처리율을 측정하였다.

#### 2.4.2 지연시간(Latency)

프레임은 특정기간 동안 송신 측과 수신 측에 전송된다. 프레임이 송신 될 때 시간이 기록되고 그 프레임이 도착하면 도착시간이 기록된다. 지연시간은 이러한 프레임 송수신 시간 차이를 의미한다.

Latency 측정은 one-to-one으로 구성된다. Latency의 결과는 각각의 프레임 크기에 대한 모든 시도 횟수의 전송지연 평균값을 보여준다. 평균 180 - 510ms의 지연시간이 측정되었다.

#### 2.4.3 프레임 손실 (Frame Loss)

Frame loss는 각각 다른 전송율(Frame rate)에 대한 손실된 프레임의 비율을 나타낸다. 먼저 특정한 전송 프레임 개수를 정하고 Frame rate을 단계적으로 줄여 나가면서 전송된 모든 Frame을 받을 때까지 측정한다. 이 테스트는 one-to-one으로 구성된다. Frame Loss의 결과는 각각의 프레임 사이즈에 대해 퍼센트 단위로 측정된다. 측정된 결과는 0.58-5.29 사이의 값으로 양호한 특성을 나타내었다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 고속 전력선 통신기술을 이용한 고압 배전선로 기반 전력선 통신 가입자망 구축에 관한 기술을 소개하였다. 본 논문은 가입자망 구축에 필요한 신호 결합장치를 개발하고 이를 이용한 신호 경로를 구성하였다. 또한 고주파 전력선 통신 모뎀을 이용한 망구성 장치와 이를 관리하기위한 망 관리 시스템에 대해서도 설명하였다. 앞으로 구축된 가입자망은 전력선 기반의 통신 시험을 위하여 중요한 테스트베드로 활용될 전망이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Yu Jung-Hun, et al., "Impedance Measurement and Matching Technique for Medium-Voltage Power line Communcation", ICEE-188, 2003.
- [2] Hui-Myoung Oh, Kwan-Ho Kim, Won-Tae Lee, and Jae-Jo Lee, "A Fundamental Study for Establishment of Channel Data Base in Power Line Communications," *Trans. on KIEE*, Vol. 52D, No. 2, pp.107-111, Feb. 2003.
- [3] M. Zimmerman and K. Dostert, "Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band power line communications," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 44, No. 1, pp. 249 - 258, Feb. 2002.
- [4] Yong-Hwa Kim, Hak-Hoon Song, Jong-Ho Lee, and Seong-Cheol Kim, "Wideband Channel Measurements and Modeling for In-House Power Line Communication, " *Proc. of International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications*, March 2002.
- [5] Jae-Jo Lee, et al. "Measurement of the communications environment in medium voltage power distribution lines for wide-band power line communications", *ISPLC 2004*, March, 2004.