

## 전력선을 이용한 통신기술의 동향

현덕화

한국전력공사 전력연구원 전력통신팀장

유인협 · 박병석

한국전력공사 전력연구원 전력통신팀

### 1. 머리말

최근 전력선을 이용한 통신기술이 매스컴을 통하여 널리 알려지고 있으며 일반인의 관심도 매우 높아지고 있는데, 과거 전력선 반송(PLC: Power Line Carrier) 기술은 장거리 송전선(66kV~345kV)을 통하여 음성통신을 하기 위해 이용되어 왔었다. 그러나 전력계통이 확장되고 복잡해짐에 따라 또, 발·변전소간에 음성 이외의 제어 데이터와 같은 정보 전송의 필요성이 더욱 커짐에 따라 무선과 광 전송기술 등을 이용한 통신망 기술로 발전되어 왔다.

우리 나라에서도 1941년 수풍발전소에서 만주로 나가는 200kV 송전선에 아날로그 통신신호(사용주파수: 50~450kHz)를 중첩시킨 전력선 반송전화를 시설한 후 오랜 동안 전력회사의 음성통신 수단으로 사용해 왔지만 오늘날 송전선에서의 PLC는 거의 사용되지 않고 있다.

전력선이란 원래 전력을 공급하기 위해 시설된 것으로 망 구성이 복잡하고 선로특성이 열악하여 통신망으로 이용하기에는 적합하지 않았으나 반도체 등 정보통신 기술의 급속한 발전으로 인하여 새로운 통신망으로 주목을 받게 되었다. 따라서 이제는 각 가정의 전력소비 감시 제어 및 인터넷통신 등을 위해 배전선을 이용한 통신기술이 증가할 전망이다.

배전선은 모든 수용가에 걸쳐 널리 분포되어 있고 이상적인 가입자망 형태를 유지하고 있어 신규 통신망 구성을 위한 새로운 투자가 필요 없으며 잡음 극복, 임피던스 정합 등의 기술적인 문제점들만 해결된다면 배전선을 이용한 새로운 통신시대도 도래할 수 있을 것이다. 이에 전력선 통신에 관련한 국내외 기술 동향과 전력선을 이용한 응용분야에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 전력선 통신의 요소 기술

### 가. 전력선 통신이란?

방마다 설치되어 있는 전기소켓에 각종 장비를 연결하  
기만 하면 별도의 통신선을 접속하지 않고도 전화뿐만 아  
니라 인터넷, 데이터통신 등 다양한 통신서비스를 이용할  
수 있다면 얼마나 편리할까?

전력선 기반 통신기술은 아직 개발단계에 있으나 이를  
상용화하려는 시도가 지속되고 있고 그 성공여부에 따라  
현재의 통신환경을 획기적으로 변화시킬 수 있으므로, 전  
화선, 케이블TV, 광통신망 등과 경쟁하는 새로운 통신망  
으로 부상할 가능성이 상당히 높다.

최근의 전력선통신(PLC : Power Line Communi-  
cation)이란 의미는 옥내·외에 시설되어 있는 저압 또는  
고압 배전선에 고주파신호를 중첩하여 음성, 데이터신호  
등을 고속으로 전송하는 것을 말한다. 특히 집안의 설비를  
지능적으로 제어하려는 욕구와 함께 정보기기의 발전에  
따라 집안의 TV, 컴퓨터, 캠코더 등 정보 가전기기를 연결  
하려는 욕구가 높아져 HomeNetwork 분야에서 고속의  
PLC 연구가 활발하다.

전력선을 통신에 활용하려는 시도는 수 십년 전부터 있  
었지만 고주파 잡음, 부하 임피던스 변동, 통신 채널의 시  
변특성 등 통신망으로 사용하기에는 기술적 장애요소가  
많아 수백 bps 정도의 저속으로 극히 제한적인 용도로만  
사용되어 왔으나 최근에는 모뎀의 기술이 발전됨에 따라  
수 Mbps급의 고속 전송이 가능하게 되고 전화선을 이용  
한 ADSL이나 동축케이블을 이용한 케이블모뎀과도 경  
쟁할 수 있는 또 하나의 새로운 가입자망으로 부각되고  
있는 것이다. 따라서 이러한 전력선 통신기술 개발이 상  
용화되면 전력회사에서는 원격검침, 배전자동화 등 전력  
정보 고도화를 위하여 망을 직접 활용할 수 있으며 인터  
넷 등 고속정보 전송서비스 제공으로 회선임대 수익을 기

대 할 수 있게 된다.

### 나. 전력선 가입자망

최근 정보통신 사업자의 관심 중의 하나로 "last one  
mile solution"이란 말을 자주 듣는다. 이는 전화국 등의  
집중화 장치로부터 가입자에 이르는 가입자 망(Access  
Network)을 확보하는 것이 얼마나 중요한 지를 나타내  
는 말이다. 따라서 이러한 가입자망을 얼마나 효율적으로  
또한 경제적으로 구축하느냐 하는 것이 정보통신 사업자  
에게는 가장 중요한 문제일 것이다.

가입자망을 구축하는 방법으로는 신규 구축방법과 기  
존 망을 이용하는 방법으로 크게 분류할 수 있으며, 이 중  
신규로 구축하는 것은 많은 투자비와 시일을 요구하게 된  
다. 또한 기존 망을 이용하는 방법 중에는 모든 수용가에  
게 넓게 분포된 전력선 망을 들 수 있는데 이는 통신선로  
로 설계된 것이 아니므로 고속 통신을 지원하기 위해서는  
많은 기술적 문제가 해결되어야 한다. 이들 문제점들은  
점차 해결되어 가고 있는 추세이다.

가입자망은, 우선 망의 이용형태나 서비스의 종류에 따  
라 확장성, 이식성 및 경제성 등을 고려하여 구축하여야  
한다. 이러한 망 구조 및 구성요소에 대한 기준 모델을 보  
면 각 가입자들에 의해 직접 구성이 가능한 태내 망과 이  
를 외부로 연결하는 액세스 망(Access Network)으로  
구분된다.

우리 나라에서 가정에 공급되는 저압 배전망은 단상 2  
선식이며 수용가로부터 변압기를 설치한 전주까지 평균  
50m에서 100m 정도로 분포되어 있다.

#### (1) 가입자 망의 구조

가입자망은 옥내에 위치한 ADSL 모뎀이나 케이블 모  
뎀들을 집중화 장치까지 연결하기 위한 것으로서 분배부  
와 공급부로 나눌 수 있는데, 분배부는 소규모 가입자로

## 기술동향

부터 선로의 1차적인 집중화(Concentration) 기능을 수행하는 액세스 노드까지 연결하게 되며, 공급부는 액세스 노드로부터 지사 및 지점의 교환기나 ATM 스위치 혹은 라우터까지의 연결을 일컫는다. 이러한 공급부는 광대역의 데이터를 효율적으로 전송하기 위하여 무선이나 광케이블을 이용하며 여러 가입자들에 의해 공유되는 형태를 갖지만, 분배부의 경우 각 가입자들의 보안을 위해 스타형 구조를 갖는 것이 일반적이다.

전력선 가입자망은 대부분 전력회사가 그 사업을 주도적으로 추진하고 있다. 유럽의 전력회사들은 통신사업을 주도할 만한 여력을 보유하고 있어 정보통신 사업으로의 진출을 적극 시도하고 있는 것이다.

유럽의 전력사용 증가율은 매년 1~2% 정도로 크게 증가하지 않기 때문에 자사의 지속적인 성장을 위해서는 사업 다각화를 모색하지 않을 수 없었고 1995년부터는 전력 및 통신 분야에 대한 사업 진출 규제가 철폐 또는 완화됨으로써 정보통신 분야로의 진출을 가능하게 하였다.

전력선 가입자망을 성공적으로 개발, 구축하기 위해서는 국내뿐만 아니라 각 국의 전력선 채널에 대한 상세한 정보 입수 및 조사를 기반으로 하여 전력선 통신에 적합한 통신 알고리즘 및 신호처리 방식을 개발하는 것이 필요하다.

일단 로컬 전력선 가입자망에 대한 기술적 문제만 해결되면 상위 시스템에 대해서는 국내의 정보통신과 관련된 기술이 충분히 축적되어 있으므로 전체적인 망 개발 및 운영은 문제가 없을 것으로 전망된다.

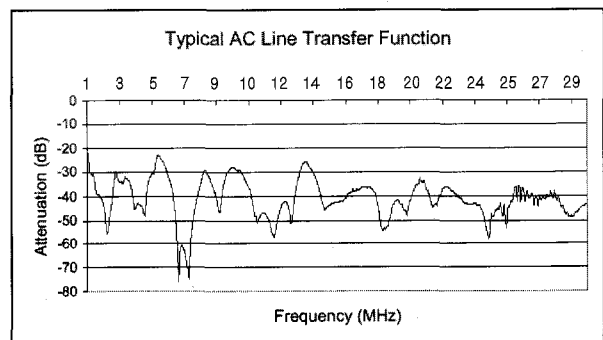
### (2) 전력선 채널특성 분석

전력선 통신기술이 까다로운 것은 전송특성이 다른 어느 매체보다 시간과 전력부하에 따라서 변동이 극심하기 때문이다.

가정내 부하는 드릴이나 에어컨 등의 용량성 모터부하와 고주파 잡음을 유발하는 SMPS(Switching Mode Power Supply)를 내장한 정보기기 등에 의해 수시로 변동되며 이는 곧바로 채널의 전송 특성과 노이즈 특성에 많은 변화를 유발시킨다. 이처럼 수시로 변동되는 채널 특성은 전력선 모뎀의 출력 단에서 임피던스 정합이나 주파수 선택을 정형화할 수 없도록 한다. 아울러, 전력선은 진신주나 맥내에서 필요에 따라 다중 분기를 이루며 배선되어질 뿐만 아니라 수시로 벽 콘센트에 다양한 부하가 부착되거나 탈착되기 때문에 멀티 패스(Multi Path)에 의한 ISI(Inter Symbol Interference) 문제가 필연적으로 발생하게 된다.

전력선에서 신호의 감쇄를 살펴보면, 대용량 전열기기 등의 부하들은 낮은 임피던스 루프를 형성하여 신호의 싱크(Sink)로 작동하게 되어 손실이 커지며, 손실특성은 대략 1km당 10~15dB 정도로 잡고 있다. 이와 같이 정형화되기 어려운 채널특성은 전력선 통신을 고난도의 기술로 만들어 왔다.

앞으로도 전력선 채널을 고속의 신뢰성 있는 통신채널로 이용하기 위해서는 채널특성에 대하여 방대하고도 다양한 분석이 선행되어야 할 것이다. 그림 1은 주파수에 따른 일반적인 전력선의 전달함수의 추세를 나타내고 있다.



〈그림 1〉 주파수에 따른 전력선 전달 특성

(3) 전력선과의 신호결합 방식

현재 사용되고 있는 전력선 이용방식은 회로구성에 따라 장치의 크기나 특성이 달라진다. 회로구성방식으로는 크게 대지귀로방식(Ground Return)과 금속회로방식(Metalic Circuit)이 있는데 대지귀로방식(Ground Return)은 다시 1선대지간 결합전송방식과 2선대지간 결합전송방식이 있으며 금속회로방식(Metalic Circuit)으로는 선간 결합전송방식과 회로간 결합전송방식이 있다.

위의 방식들은 송전선에서 주로 사용되어 왔는데 일반적으로 금속회로는 대지귀로 방식에 비해 통신의 신뢰도는 높으나 결합장치가 많이 필요해서 경제적인 문제가 있으며 대지귀로 방식에서는 타 기기 등에 대한 유도 및 간섭영향이 문제가 된다.

과거 유럽 및 일본지역에서 대표적으로 사용되어 왔던 리플제어방식(Ripple Control)은 배전선을 전송로로 이용하는 금속회로 방식이었고, 미국지역에서 양방향 통신방식으로 활용된 배전선반송방식은 대지귀로 방식이었다. 우리 나라에서의 전력선 통신 결합방식은 국내의 배전선 특성에 따라 대지귀로 방식에 맞는 모뎀기술을 고려해야 할 것이다(표 1 참조).

다. 전력선 모뎀 변복조 기술

전력선 통신에서는 열악한 전력선 채널특성을 극복하

기 위한 여러 가지 변복조 방식들이 검토되고 있다. 그중 잡음특성에 강하고 저속이며 신뢰도가 높은 SSC (Spread Spectrum Carrier) 방식과 고속의 전송 속도를 가능하게 하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 중심으로 변복조방식을 살펴본다.

(1) SSC 방식

SSC 방식의 전력선 신호는 일종의 찹(Chirp) 방식의 대역확산 통신방식으로서 이는 EIA의 표준으로 선정되어 공개되어 있으므로 현존하는 확산 대역 기술을 이용하는 모뎀 제조회사는 대부분이 이 방식을 쓰거나, 수정하여 사용하고 있다. 이 방식은 전통적인 DS-SS, FH-SS 방식의 장점을 융합한 것으로 전송 신뢰도가 높으며 하드웨어 구현시 비용이 타 방식에 비해 경제적이다. 따라서 옥외용 응용으로 적합하나 이 방식을 사용하면 속도가 1Mbps 이하이므로 고속 전송을 위해서는 다른 변조방식이 사용되어야 한다.

(2) OFDM 방식

OFDM 방식은 다중채널 전송을 위하여 Band-limited Orthogonal Signal을 합성하기 위하여 최초로 개발된 기법으로 기술의 핵심은 FFT(Fast Fourier Transform)을 이용하여 주파수 영역에서 여러 개의 협대역 부반송파(Subcarrier)들을 동시에 전송하는 기술

<표 1> 전력선과의 결합방식 비교

| 구 분   | 구성방식       | 구 성 방 법                           | 비 고          |
|-------|------------|-----------------------------------|--------------|
| 송전선방식 | 1선대지간 결합방식 | 송전선의 3상중 1선과 대지를 왕복도체로 사용         | 가장 경제적       |
|       | 2선대지간 결합방식 | 송전선 2가닥과 대지를 왕복도체로 사용             | 비경제적         |
|       | 상간 결합방식    | 동일 송전선의 3상중 2상만을 왕복도체로 사용         | 비경제적, 안정도 양호 |
|       | 회선간 결합방식   | 동일루트의 2회선 송전선중 각 1상을 선택, 왕복도체로 사용 | 안정도 양호       |
| 배전선방식 | 고압배전선방식    | 22.9kV 고압배전선을 전송로로 사용             | 신호주입, 추출 곤란  |
|       | 저압배전선방식    | 110/220V 저압배전선을 전송로로 사용           | 잡음 및 임피던스 복잡 |

〈표 2〉 제조회사별 전력선 Modem 제원

| 항목<br>회사명         | 통신 프로토콜                                      | 통신속도                | 제어기기수  | MAC                       | 가격 | 전송거리                    | Carrier Frequency           |
|-------------------|--|---------------------|--------|---------------------------|----|-------------------------|-----------------------------|
| x10               | x-10   | 60bps               | 256    | 없음                        | 저가 |                         |                             |
| Intellon          | CEBus  | 9.6kbps,<br>~11Mbps | 64node | CSMA/CDCR                 | 고가 | —                       | 3.5~16.5MHz                 |
| Echelon           | Lon Works                                    | 2kbps~<br>1.25Mbps  | 32,258 | LonTalk<br>CSMD/CA        | 고가 | power line<br>상태에 따라(?) | 100~450kHz<br>(115, 132kHz) |
| Intelogis         | Link layer:<br>Plugin PLX<br>Phy. layer: DPL | 350kbps             |        | DSMA, CTP                 |    | 800m                    | —                           |
| Adaptive Networks | —  | 100kbps<br>10Mbps   |        | Token Pass                | 중가 | Transformer<br>내의 모든 거리 | 450kHz 이하                   |
| DataLinc          | —  | 9.6kbaud            |        | point-to-point<br>polling |    | 1,500m                  | 100, 150kHz<br>대역폭 10kHz    |
| 기인                |  | 1Mbps               | —      | MAC-chip<br>IEEE 802.3    | 저가 |                         |                             |
| PLANet            |  | 1Mbps               | 65,536 | CDMA/CDCR                 | 저가 |                         |                             |

\* SS : Spread Spectrum      \* DSMA : Datagram Sensing Multiple Access  
\* CTP : Centralized Token Passing      \* — : 미공개 부분

이다. 이들 각 부반송파들이 가지는 데이터의 양은 적지만 부반송파 수가 많아지면 전체의 전송량은 크게 증가하여 고속 전송이 가능하게 된다. OFDM은 제한된 대역폭으로 최대한의 전송효과를 내며, 다중경로에 의한 간섭현상 등을 현저히 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 이외에도 FSK(Frequency Shift Keying)나 기존의 디지털 변조방식을 응용한 여러 가지 변복조방식들이 있으나 아직도 지속적인 개발이 필요한 실정이다(표 2 참조).

### 라. 전력선 통신에서 고려되어야 할 사항

배전선은 매우 열악한 통신 채널특성(다양한 종류의 잡음, 시변주파수 선택적 페이딩 채널특성, 제한된 주파수 대역폭 등)을 가지고 있다. 배전선의 높은 전압에 의한 코로나 잡음과 수용가의 가전기기에 의한 잡음 등, 신호감쇄, 누설 등의 현상으로 통신 장애가 나타나며 또 전력선에 중첩되는 고주파로 인한 영향에 대한 사용 규제도 선결해야 할 문제로 남아있다.

그러나 이러한 사항을 극복할 수 있는 높은 신뢰도의 통신방식은 아직 미흡한 실정이며 전력회사, 산업체, 학계 등의 유관 기관들이 독자적으로 개발을 추진함으로써 표준화된 규격 및 프로토콜이 없는 실정이다. 이러한 문제점들에 대한 해결 방향으로 전력선 통신의 활성화 방안을 살펴본다.

#### (1) 고신뢰도의 통신방식 개발 연구

전력선 통신에 있어서 신뢰도를 높이기 위해서는 통신 채널로 이용되는 전력선의 전송특성을 분석하고 이에 대한 여러 가지 전송방식을 고려하여 최적의 변조 및 전송 기술을 개발하여야 한다.

세계적으로 협대역 디지털변조방식 혹은 DS-CDMA 방식 뿐만 아니라, OFDM, 멀티코드 CDMA방식 등의 수 Mbps급 고속 디지털 통신방식들을 전력선 통신에 응용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 전력회사를 주체로 하여 통신 및 전력분야, 학계, 산업체와의 협동체계를 구축하여 공동연구 조성, 컨소시엄의 결성 등을 통해 이 분야의 연구개발을 활성화하여야 할 것이다.

(2) 표준화된 모뎀 규격 및 네트워크 프로토콜 개발

미국의 경우 전력선통신 시스템을 위해 대역확산 방식과 EIA CEBus 프로토콜을 채택하였으며, 전력선통신 방식의 경쟁기술인 2Mbps급 무선LAN의 경우 전세계적으로 IEEE 802.11 프로토콜을 채택하고 있다. 이와 같이 전력선통신 시스템 개발을 활성화하고 보급하기 위해서는 유관 산업체 및 연구 기관들의 합의에 의하여 결정된 일관된 모뎀규격 및 네트워크 프로토콜을 개발하여 전력선 통신시스템의 활성화를 도모하여야 한다.

(3) EMC(Electromagnetic Compatability)와 ESD(Electrostatic Discharge)

전력선을 통신채널로 이용할 경우 고속의 디지털 신호들은 EMI(Electromagnetic Interference)를 유발시킬 수 있기 때문에 타 통신기기에 미치는 장애를 방지하기 위하여 EMC 규제가 필요하게 된다.

미국의 경우 FCC(Federal Communications Commission)에서 산업용 제품, 소비자 및 주택용 등에 대하여 규정을 준수하도록 요구하고 있고 대부분의 유럽 국가들은 CENELEC의 규정 준수를 위하여 각국에서 사용주파수를 제한하고 있다.

즉, 한국이나 일본은 10~450kHz 대역을, 미국은 50~500kHz 대역을 지정하였으며 유럽의 경우는 3kHz에서 최고 140.5kHz 대역을 할당하고 있다.

국내의 전파법 고주파 이용설비 항목에서는 전력선을 통해 10kHz에서 450kHz 대역에서의 고주파신호에 대하여 최대출력 10W의 제한을 두고 있고, 무선국 항목에서는 322MHz 미만의 경우 3m법으로 500μW/m 이하일 것이 규정되어 있다.

ESD는 전자시스템에서 자주 제기되는 문제로서, EC(European Community)에서는 EMI와 비슷하게 ESD도 규제를 하고 있어 신뢰도가 있는 제품을 개발하

려면 민감한 부품에 정전하가 도달하는 것을 방지하기 위하여 봉합(Seal)하거나 우회할 수 있도록 접지를 구성하는 것 등을 고려하여야 한다. 즉, 전력선 통신을 위해서는 통신시스템 제작, 운영에 관련된 전자계, 정전계 규제에 대한 대비를 고려하여야 한다.

(4) 응용분야의 확대

전력회사에서 고려할 수 있는 전력선 통신기술의 응용은 배전자동화, 자동검침 등과 같은 저속서비스 뿐만 아니라, 점차 고속 서비스가 요구되는 추세에 있다. 즉, 인입 전력선을 이용하여 신뢰도가 높은 원격 검침시스템이 구현되면 다른 통신방식에 비하여 높은 경쟁력을 가지게 되고, 배전자동화와 더불어 가장 유용한 응용분야가 될 것이다. 또한 에너지 절약과 수요관리 방안으로 부각되고 있는 전전화(全電化) 주택의 보급에 따라 수용가내의 각종 기기를 제어하는 Home Automation 구성에도 맥내 배선망을 이용할 수 있다.

앞으로 세계적인 전기자동차의 보급 추세와 더불어 자동차의 충전과 관련된 주전(注電)시스템도 하나의 응용분야로 될 수 있을 것이며, 전력선 매체의 전송속도가 고속화 될수록 배전선이 경쟁력이 있는 대체 가입자망으로 부각되어 이를 전송선로로 임대할 수 있는 응용성을 가지게 된다.

전력선 통신은 이외에도 여러 분야에 적용 가능하며 표 3은 전송속도별 응용분야를 표시한 것이다.

〈표 3〉 전력선 통신의 응용 분야

| 전송 속도                   | 응용 명   |
|-------------------------|--|
| 저 속<br>(수백 bps—수십 kbps) | 배전자동화, 원격검침, 쌍방향 전력정보서비스, 注電 시스템, 건물자동화 제어, Home Automation, |
| 고 속<br>(수백 kbps—수 Mbps) | Home Security, 고속 LAN, 컴퓨터 주변기기 Interface, A/V 시스템 네트워크      |

### 3. 전력선 통신 기술 동향

미국의 경우에는 전력선이 구내통신망으로, 유럽에서는 대체가입자망으로, 개발도상국에서는 전화망으로 부각되고 있고 전력회사가 중심이 되어 전력선을 이용한 디지털 전화서비스를 추진하고 있다. 또한 선진국의 전력선 통신망에 대한 기술 개발은 지멘스, 노던텔레콤, 알카텔 등 많은 전자, 통신업체가 주도하여 중점적으로 추진하고 있다.

국내기술은 선진국과 유사한 수준에 접근하고 있으나 과거 전력선통신에 대한 인식부족 등으로 관련 기술개발이 활성화되지 못하였고 최근 전력선에 대한 관심이 차츰 고조됨에 따라 국내기술로도 1~10Mbps급의 전력선 모뎀을 개발하여 적용시험 등에 주력하고 있는 실정이다.

#### 가. 국내 기술개발 동향

외국의 경우와는 달리 국내에서는 전력선 통신에 대해서는 기술적 자립도가 그리 좋은 편은 못된다.

고속은 말할 것도 없고 저속의 전력선 통신의 경우에도 외국의 시스템을 도입하거나, 벤치마킹하는 수준에 머물러 있었다.

전력선 통신은 말 그대로 전력선에 고주파신호를 결합해야 하므로 기존의 통신선과는 달리 매우 열악한 채널환경을 갖고 있어 기존의 통신방식을 그대로 적용하는 것은

불가능하며, 전력선 채널에 대한 대응기술이 요구된다. 따라서 전력선 채널에 대하여 다양한 실험을 통하여 채널 특성에 관한 자료의 수집이 중요하며, 이를 이용한 채널 모델링을 기본으로 모뎀 설계 및 네트워크의 운영에 사용할 필요가 있다.

과거 국내에서의 전력선 통신기술은 대학을 중심으로 한 기초성 연구로서 BPSK 및 확산대역방식의 변복조기법을 중심으로 수행되었으나 응용을 위한 시스템 개발은 극히 드문 실정이었다(표 4 참조).

또 한국전력공사에서는 송전선을 이용한 전력선반송전화, 배전선을 이용한 배전자동화('87), 원격검침('89) 등을 추진한 사례는 있으나, 현안문제 해결에 치중하는 환경에서 더 나아가 지속적인 연구가 추진되지 못하였고, 외국제품을 현장에 적용하기 위한 시도도 있었으나 경제성과 국내기술 미흡으로 지속적인 연구가 이루어지지 못했으며, 인입 전력선에 확산대역 통신기술을 적용한 전력선 통신 모뎀을 개발하여 실증시험을 하였으나('91) 실용성이 미흡하여 후속연구를 추진하지 못했다.

그리고 금성계전, 현대중전기, 효성중전기, 광명전기, 이천전기, 금성전선 등에서도 저압선을 이용한 원격검침시스템과 한국형 배전자동화시스템 개발 등 다수의 연구개발과 상용화를 추진했었다.

그러나 최근 들어 벤처기업을 중심으로 전력선 통신의 핵심인 모뎀 기술을 각자 독자적인 방법으로 개발을 시도

〈표 4〉 학계의 전력선 통신 연구 개발 현황

| 연 도  | 변조방식        | 반송주파수         | 전송속도              | 학 교        | 시스템 특징  |
|------|-------------|---------------|-------------------|------------|---|
| 1991 | BPSK, DS-SS | 12kHz, 125kHz | 333.3bps, 2400bps | 연세대        | -실속 고조파 잡음의 A/D 변환 모의실험<br>-송전선, 저압배전선 등에 적용실험(Gp=13dB)     |
| 1993 | BASK, DS-SS | 110kHz        | 60bps-1,200bps    | 국민대<br>고려대 | -CENELEC 규격을 만족하는 모뎀 제작<br>-Half-duplex 시스템 제작(Gp=15dB)     |
| 1998 | BFSK        | 133kHz        | 50~200bps         | 강원대        | -부호율 1/2 Convolutional Code를 이용하는 경우와 DS-SS를 이용하는 경우의 성능 비교 |

하고 상용화를 추진하고 있다. 기인시스템은 1Mbps급 모뎀 개발에 성공하여 현재 독일 등지에서 현장 시험 준비중에 있고 상용화를 추진하고 있으나 홈네트워크 환경에서 개발된 상태이기 때문에 전력선 가입자망으로 활용하기 위해서는 옥외 환경에서도 동일한 신뢰도와 속도를 유지하기 위한 연구 개발이 필요하다.

그리고 다른 벤처기업인 PL-Com은 PC 내장형의 전력선 모뎀을 개발하여 시연을 하고 상용화를 추진중이나 번복조 방식 및 인터페이스 등을 공개하지 않고 있어 기술에 대한 평가가 어려운 실정이다.

또 벤처기업인 PLANet에서는 '97년부터 웹 기반의 홈 오토메이션을 위한 모뎀을 개발하여 사이버 아파트 등에 제어 시스템을 제공하는 등 기술 개발을 활발하게 진행하고 있으며 최근에는 Mbps급 모뎀을 개발하여 시험 중이다. 그리고 부산 소재의 대양전기에서도 ANI사의 모뎀 칩셋을 도입하여 냉동선의 컨테이너 제어 등 옥외 네트워크의 응용 시스템 개발에 주력하고 있다.

### 나. 국외 기술개발 동향

국외에서는 미국과 유럽을 중심으로 여러 업체들이 수년 전부터 전력선 통신의 잠재성을 인식하고 지속적인 연구 개발을 해 왔다.

전력선 통신은 전력 회사들과 밀접하게 연관되어 있으며, 독일, 영국, 프랑스, 노르웨이, 스웨덴, 핀란드 등 선진 유럽의 유틸리티 회사들이 큰 관심을 표명하고 있고 가정, SOHO 및 중소규모 기업을 주요대상으로 2~10Mbps 서비스 제공을 목표로 추진하고 있다. 또한 고속 전력선 가입자망에 대한 기술개발은 미국과 서유럽 국가들이 주도적으로 추진하고 있으며 이들이 주도하여 만든 IPF(International Powerline Forum)와 PTF(Powerline Transmission Forum)에는 전력선 통신에 관심을 가지고 있는 전 세계 업체들이 가입하여 정보를 공

유하고 있다. 주요국가들의 개발현황을 보면 다음과 같다.

#### (1) 미국

미국의 전력선을 이용한 통신기술 개발은 1978년 경 RadioShack이 X-10 제품을 판매하기 시작한 이후 계속되었다. 이 X-10 제품은 한 개의 제어 박스와 몇 개의 모듈들로 이루어져 있으며 각 모듈들은 2개의 16단 회로를 사용하여 각자의 코드를 입력할 수 있고, 이 모듈에 제어 대상의 전력기기들을 연결하게 된다. 그리고 제어박스는 벽 콘센트에 부착하여 가정 내에 연결된 모든 모듈들을 제어하기 위해 사용된다. 사전에 각 모듈들의 코드와 제어용 명령어가 이 제어 박스에 입력되어야 한다. X-10 제품은 현재까지 1억개 이상이 출고되었다고 발표하고 있으나 X-10은 수십 bps 이하의 전송속도를 가지고 있어 고속 데이터 전송에는 사용할 수가 없다.

전력선을 데이터전송을 위한 통신채널로 사용할 경우에는 극복해야 할 기술적 문제점들이 있는데 이 중 대표적인 것들로 잡음, 신호간섭 및 감쇄, 임피던스 변화, 반향에너지 등이 있다. 이들을 해결하였다고 주장하는 기술들 중 LonWorks와 CEBus를 소개한다.

LONWORKS는 Echelon에 의해 개발되고, Motorola의 neuron 칩을 이용하여 구동되는 제어용 네트워크 기술이다. 네트워크에 소요되는 통신 프로토콜은 LonTalk이라고 하며 OSI의 7계층 모델에 따라 개발되었다. 이 프로토콜은 물리계층에서 전화선, 무선, 전력선 등의 통신을 지원한다. 네트워크 계층은 데이터 트래픽의 예측 기능 및 충돌회피 알고리즘을 보유하고 있다. 이 프로토콜은 1999년경 ANSI/EIA로부터 709.1A로 표준 기술로 인증을 받았다. 이 기술을 이용한 대표적인 모델들은 Dual Frequency Carrier와 BPSK를 사용한 PLT22과 DS-SS 방식을 사용한 PLT-10A가 있다. 이들의 전송속도는 각각 5.4kbps 및 10kbps 이다. 따라서



이 방식을 이용한 전력선 통신은 제어용에는 적합하나 고속 데이터 전송에는 부적합하다.

CEBus는 미국의 Intellon이 개발하여 현재는 EIA600이라는 명칭으로 공개적인 표준기술로 되어 있다. 이 규격의 물리계층도 전력선, 전화선, 동축케이블, 적외선, 무선 등의 다양한 전송매체를 지원한다. MAC 프로토콜은 CSMA/CD CR을 채택하고 있다. 따라서 이 프로토콜은 IEEE 802.3에서 지원하는 LAN Protocol과 아주 유사하며 네트워크상의 어떤 노드라도 전송이 가능하다. 단 전송시 어떤 Packet도 채널 상에 없어야 하며, 전송라인 상태가 양호하여야 한다. 이 규격은 각 노드들 사이에 인식 또는 명령 수행을 위해 Common Application Language(CAL)을 사용한다. CAL은 context와 object로 분류되며 이는 CEBus Industry Council에서 정보를 제공하고 있다.

주요 모뎀 개발 회사들의 현황을 살펴보면 Intellon은 무선통신에서 사용하는 확산대역 방식과 유사한 SSC 방식을 이용하여 전력선 통신 모뎀을 개발하였고, 최근에는 MCM 방식의 OFDM을 채택하여 고속 모뎀을 개발하여 미국내의 전력선 컨소시엄인 Home Plug의 기본 기술로 선정되었다. 이 방식의 사용은 전력선 통신의 주요 간섭의 원인인 다중 반사문제를 해결하고자 함이다. Intellon에 의하면 이 방식은 이론적으로 100Mbps까지 전송속도를 높일 수 있다고 한다.

Utah에 소재하는 Intelogis는 이와는 다른 방법으로 모뎀을 개발하고 있다. 이 회사가 개발하는 방식은 데이터 전송을 위한 주파수 대역을 대부분의 잡음이 존재하는 대역보다 높은 주파수를 선택하는 방법이다. Plug-in PLX라고 불리는 이 기술은 Datagram Sensing Multiple Access(DSMA)와 Centralized Token Passing(CTS)를 복합하여 사용한다. DSMA는 Ethernet의 충돌 해소 작용을 한다. 그리고 일단 네트워크내의 모든 노드들이

인식되면 중앙 통제방식의 Token Passing 시스템이 작동되어 다중 노드들의 전송시 충돌을 방지한다. 이 방식은 CEBus의 CAL을 지원하고 있다. '99년도에 350kbps급의 모뎀을 개발하였고 현재 2Mbps급의 모뎀을 개발중이다. ANI는 SS방식의 변조방식을 사용하여 옥외용 전력선모뎀인 19.2Kbps급의 AN192와 115kbps급의 AN1000을 개발하여 상용화한 후 옥내용 10Mbps 칩을 개발중이다.

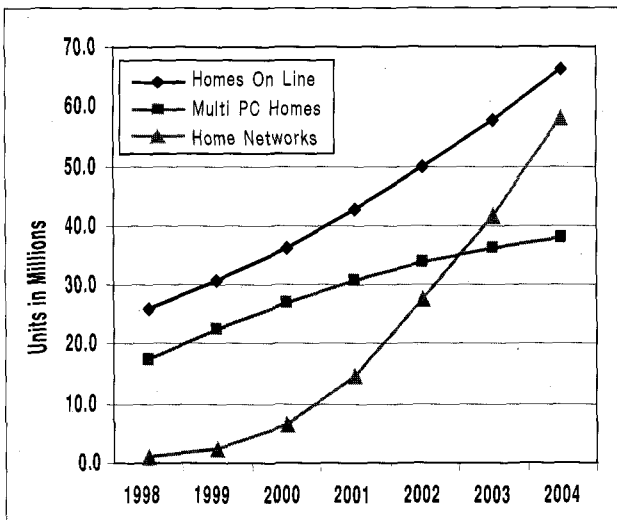
그리고 Media Fusion사는 전력선통신에 대한 새로운 이론을 제시하였다. 이 회사는 현재 개발중인 기술을 이용하면 수년 이내에 전력선 기반 통신환경의 구현이 가능하여 궁극적으로 초당 엑소비트(1의 18승, 즉 100만 Tera bits) 수준의 데이터 전송속도 실현이 가능하고 일반 사용자의 경우에도 2.5Gbps 정도의 전송속도를 이용할 수 있을 것이라고 한다. Media Fusion사의 기술은 전력선을 타고 움직이는 자기장 윗부분에 신호를 실으면 전기가 흐르면서 이 신호도 자동으로 전력선을 타고 빛의 속도로 전달이 가능하다는 것이다. 또한 이 정보는 전력선 어느 지점에서나 액세스할 수 있어 변압기 등의 영향도 받지 않고 통신이 가능하다는 것이다. Media Fusion사는 이 방식의 전력선 통신 기술에 대한 US 특허를 받았으며, 이 특허는 회장이며 연구소장인 William Stewart에 의해 발명되었고, Advanced Sub-carrier Modulation에 소요되는 46 항목을 포함하고 있다고 하나 아직 검증되어 있지 않은 것으로서 앞으로 지켜보아야 할 기술이다.

현재까지는 일반 수요자들이 고속 전력선 통신을 이용한 데이터의 전송 기회가 없으며, 가입자망에 대한 수요 예측도 2002년부터 전력선 통신이 전체 네트워크의 5% 정도만을 차지할 것으로 전망하고 있다. 따라서 미국내의 기술 표준화도 유럽에 비하여 진전이 미미하였다. 그러나 최근 들어 여러 회사들이 고속의 모뎀을 개발하고 필드시

협도 거쳐 상용화를 발표하고 있다.

그림 2에 미국내의 Home Networking에 대한 시장규모를 예측하여 나타내었다. 이에 따라 2000년 3월경에 미국내 굴지의 컴퓨터, 통신, 반도체, 전자기기, 전력선 기술 분야의 업체들이 참가하여 Home Plug Power Alliance라는 컨소시엄을 구성하여 전력선 통신의 응용 분야로 Home Networking을 지목하고 이에 관한 서비스 및 기술 개발로 지향하고 있다.

Home Plug Power Alliance의 창립 회원사는 3Com, AMD, Cisco Systems, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, S3's Diamond Multimedia, Tandy/RadioShack and Texas Instruments으로 구성되어 있다. 이 컨소시엄의 목표는 2000년도 상반기까지 Home Powerline Networking의 기본 기술을 10Mbps급으로 설정하고 하반기에 Home Powerline Networking V 1.0의 규격을 발표하는 것이다. 또한 2000년도 말까지 전력선 통신이 가능한 인터넷 접속장치 및 스마트 가전제품을 선보일



〈그림 2〉 홈 네트워크의 시장 수요 예측

계획을 가지고 있다. 이 컨소시엄이 정한 10Mbps급의 전력선 통신 기술과 더불어 프로토콜 및 변복조 방식을 선정하였는데 이를 살펴보면 다음과 같다. 물리계층은 MCM 방식의 하나인 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)으로 하고 Link 계층의 MAC 프로토콜은 Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoid (CSMA/CA)를 채택하고 있다. OFDM의 각 Subcarrier들에 지원하는 변조방식은 BPSK, QPSK, QAM이다.

## (2) 유럽

고속 전력선 가입자 망에 대한 기술 개발은 영국, 독일 등을 중심으로 한 서유럽 국가들이 주도적으로 추진하고 있고 지멘스, ASCOM, 노던텔레콤, 알카텔 등에서 본격적으로 개발, 발표하고 있는 실정이다. 전력선 가입자망의 경우에는 전력 회사들과 밀접하게 연관되어 있으므로 이들의 입장이 매우 중요한데, 이점에 있어서는 독일, 영국, 프랑스, 노르웨이, 스웨덴, 핀란드 등 선진 유럽 여러 나라의 유틸리티 회사들이 큰 관심을 표명하고 있으며, 특히 독일의 경우에는 사업화를 위해 매우 구체적으로 움직이고 있는 것으로 알려져 있다.

### ○ 영국

이미 1997년 중반에 노던텔레콤과 영국의 United Utility사가 공동으로 1Mbps급의 전력선 가입자 망을 발표한 바가 있으나 네트워크 설비의 경제성이 문제가 되어 상용화를 위한 추진이 보류되고 있다.

1999년을 기점으로 다른 유수의 회사에서 1~2Mbps급의 전력선 가입자망을 위한 제품들을 발표하고 있으나 상품화된 것은 350kbps급에 불과하고 대부분 저압전력선이나 홈 네트워크에 적용 가능한 실정이다.

전력선 통신은 그 동안 10Kbps 미만의 속도로 가정자동화, 원격검침 등의 사업분야에 한정되어 왔는데, 이제

Mbps급의 고속 통신망을 지원할 수 있게 됨에 따라 기존 가입자망인 유선 또는 무선 가입자망과 경쟁할 수 있는 환경이 조성되고 있다.

1998년에는 전력선 통신기술 교류를 위해 PLC Forum을 결성('98)하였고, 영국의 전력회사가 중심이 되고 Nortel과 Ericsson, Phillips, CISCO 등과 같은 개발 업체 등이 참여하여 활동하고 있다.

○ 독일

현재의 기술개발 추세 및 관련 법안 정비 등의 일정에 따르면 1999년 PLC 서비스 관련 규정 제정을 완료하고 2000년부터 상용서비스에 들어갈 예정이었으며 이것이 성공할 경우 독일과 인접 국가 등으로 크게 확산될 것이다.

독일은 1997년 PLC Forum인 PTF를 결성(50개 회원사)하여 활동중에 있으며 Siemens, KE 등에서도 전력선 통신 시스템을 실증 시험하였다.

독일은 4000만 전력수용가 중 약 25%인 1000만 수용가에 대해서 고속 전력선 가입자망을 이용하여 전화 및 멀티미디어 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 전력선 가입자망의 주요 대상은 가정, SOHO 및 중소기업 기업을 대상으로 하고 있으며, 서비스 제공 속도는 2~10Mbps를 목표로 하고 있다.

○ 이스라엘

이스라엘의 Itran Communications는 SS 방식과 OFDM 방식을 이용하여 Home Networking용 1.5Mbps 칩을 개발한 후 최근에는 12Mbps급의 칩을 개발하였다고 발표하였다.

(3) 일본

일본은 1965년부터 배전선로의 감시 제어를 위하여 리플 제어방식을 시작으로 여러 가지 통신방식을 적용하는 단계를 거치고 있다. 전력회사에서의 큰 관심사는 피크

(Peak) 제어를 통한 수요관리와 배전선 감시 제어로서의 실현을 위한 기술의 하나가 전력선 통신기술이었다.

최근 SS(Spread Spectrum)기술을 이용하여 저압선에서 9,600bps 전송에 성공하였고 1997년에 미쓰비시(三菱) 주도로 PLC Forum을 형성(10개 전력회사 및 통신회사 등 60개 회원사로 구성)하여 활동중에 있다.

일본에서 가정에 공급되는 저압 배전망은 단상 3선식이며 수용가로부터 변압기를 설치한 전주까지 평균 100m에서 200m 정도의 배전망으로 분포되어 있다. 또한 전파법에서는 배전선을 통해 10kHz에서 450kHz 대역 고주파신호에 대하여 최대출력이 10mW/10kHz이고, 송신기의 방사잡음의 크기는 중파방송 대역의 30μW/m(30dB)를 제외하고는 10kHz 이상 모든 대역에서 100μW/m(40dB)의 제한을 두고 있다.

전력회사의 적용사례를 보면, 도쿄전력은 저속의 데이터를 배전선을 통해 보내는 PLC 기술을 사용하고 있는데 사고나 선로보수 작업시 감시제어 데이터를 6,600V의 고압선을 통해 200bps 속도로 10km까지 전송하고, 수용가는 저압선(100/200V)을 통해 100bps의 속도로 500m까지 전송한다. 또 최근에는 중성선과 접지를 통해 직접확산 방식(Direct Sequence Spread Spectrum) 모델에 의해 9,600bps 속도로 200m 정도 신호를 보내는 실험 결과 전송은 양호하였으나 수용가 부하가 많아질 때는 전송이 불안한 것으로 나타났다. 규슈(九州)전력은 작년년부터 인터넷 접속계획을 검토한 이래 미쓰비시(三菱)가 개발한 잡음회피 기술을 활용한 3Mbps급 전력선 모델을 이용하여 후쿠오카시에 있는 300호의 수용가를 대상으로 저압 배전선으로 구성된 네트워크를 통하여 금년 10월부터 6개월간 인터넷통신의 실증시험을 추진한다고 발표하였다.

다. 전력선 통신을 이용한 원격 자동화시스템

한전은 원격 검침, 배전 자동화, 수요관리 등의 전력 자

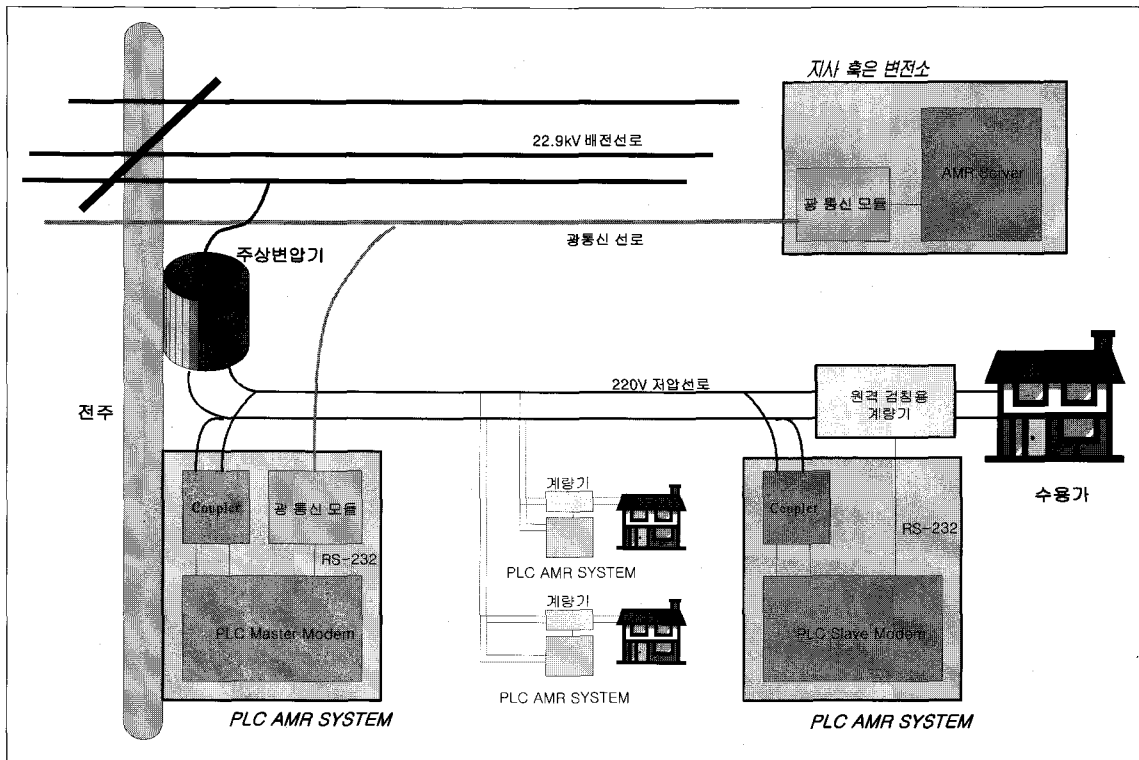
동화 시스템 구축을 위해 일반 전화선, CATV망, 무선 등 다양한 통신매체를 사용하여 현장시험과 사업을 수행해 오므로써 최적의 통신망 구성에 대한 연구를 지속하고 있다.

최근 들어 전력선 통신 기술이 자동화용 네트워크 구성의 대안으로 대두됨에 따라 이에 대한 중요성을 재인식하게 되었다. 그러나 이러한 기술을 전력 서비스에 적용하기 위해서는 전력선 망 구성 및 채널특성 분석 연구가 필요하고, 시범적으로 자동화 시스템을 구축하여 제반 문제점을 도출하여 보완하는 연구도 필요하다.

현재 한국전력공사 전력연구원은 산업자원부의 중기거점 기술개발사업 과제인 “고속 전력선 가입자망 개발” 과제 중 원격 자동화 기술 부문의 연구에 참여하고 있다.

원격 자동화기술 개발을 위하여 전력선 모뎀을 이용한 검침시스템의 구성을 추진하고 있으며, 인입 전력선의 채널특성 분석, 전자식 전력량계 프로토콜 적용, 통신 간선망 설계를 통하여 원격 검침 시스템을 구축할 예정이다. 채널특성 분석은 전력선에서의 잡음레벨 및 임피던스를 측정하여 이를 검토할 예정이며, 그 결과는 모뎀 개발 및 전력선 통신 시스템 운영을 위한 자료로 활용 될 것이다.

그림 3은 한전 전력연구원에서 수행하고 있는 전력선통신을 이용한 원격자동화 기술의 개념도이다. 변압기 2차측인 저압배전선과 수용가군을 전력선 모뎀으로 구성하고 지사나 전력소에 위치하는 원격검침 서버(Server)와 광 전송망과 연계 되도록 하였는데, 향후 기술이 진보됨에 따라 고압배전선까지 PLC로 구성되는 완전한 전력



〈그림 3〉 전력선 통신을 이용한 원격 검침 시스템 구성도

선 통신망이 구성될 수 있을 것이다. 시스템을 보면 수용가 측에 있는 전자식 전력량계의 직렬(Serial) 포트를 전력선 모뎀과 연결하고 전력선 모뎀의 결합기(Line Coupler)를 통하여 변조된 신호가 인입 전력선으로 주입된다. 그리고 주상변압기에 위치한 주(Master) 전력선 모뎀은 이 신호들을 디지털 데이터로 변환 후 기간망을 통하여 검침서버에 전송한다. 그림 3은 기간망을 광선로로 이용하고 있으나 무선망을 이용하는 방안도 검토중이다.

현재 대역확산방식(Spread Spectrum)을 사용하는 ANI사의 모뎀과 국내에서 개발된 모뎀을 이용한 옥외 시스템을 구축하여 데이터 전송을 시험중에 있다.

#### 4. 맺음말

전력선 가입자망 사업은 그 잠재적인 활용도가 매우 높아 국내외 전력회사들의 사업 시도가 매우 활발하게 진행되고 있다. 전력선 통신망을 이용하여 정보 가전기기, 컴퓨터 기기 등의 홈 네트워크, 홈 오토메이션 및 인터넷 통신이 가능하게 됨으로써 관련 업종의 경쟁력이 높아질 수 있고, 전력사용 기기를 최적제어 함으로써 가정의 편리성

과 에너지 효율을 극대화시킬 수 있다.

또한 전력선망을 보유한 전력회사에서는 원격 수요관리, 검침 및 자동화 개념을 통하여 보다 효율적인 전력운영과 수용가 이익을 증대시킬 수 있게 되는 것이다.

디지털 변복조기술을 이용한 전력선 통신 분야는 시작한지 얼마 되지 않았으며, DMT나 CDMA 등의 관련 기술 분야에 상당한 수준의 기술을 확보하고 있어 국내의 기술도 경쟁력이 있는 것으로 판단된다.

그러나 전력선을 통신채널로 이용할 때 전송품질을 결정하는 신뢰도 향상은 지속적인 연구과제로 남아 있으며 이는 배전선로의 채널특성 분석을 통하여 모뎀 개발 기술과 상호 보완하는 관계로 이어져야 할 것이다. 또한 가입자망으로서의 확장성을 보장받기 위해 저압 지중선 및 가공선 가입자에 대한 망 기술 개발과 더불어 고압 배전망과의 연계기술이 시급히 개발되어야 하고 성능도 현재의 세계적 수준인 10Mbps급으로 향상되어야 할 것이다.

전력선 통신기술을 여러 분야에 적극 활용토록 기술의 개방을 지속적으로 유도해야 하며 홈네트워크와의 연계 및 고기능 저가격화(수용가 단말장치의 경우 100\$ 이하)를 위해서도 노력하여야 하겠다.

#### [참 고 문 헌]

- (1) D Radford, "New Spread Spectrum Technologies enable Low cost Control Applications for residential and Commercial Use," Intellon, 1997
- (2) D Radford, "Spread Spectrum Data Leap through AC Power Wiring," IEEE Spectrum, pp 48~53, Nov. 1996
- (3) R. W. Chang, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing," US Patent 3, 488, 445, Jan 6. 1970
- (4) W. Stallings, "Networking Standards", Addison Wesley, 1993
- (5) 현 덕화 외, "배전계통자동화를 위한 원방감시 제어 연구(2단계)," 한국전력공사 기술연구원, 1988
- (6) 현 덕화 외, "스펙트럼 확산 전력선 통신시스템의 적용에 관한 연구," 한국전력공사 기술연구원, 1991
- (7) 유인철 외, "고속 전력선 통신을 이용한 원격 자동화 기술 연구," 대한 전기학회 하계학술 대회, 2000
- (8) A. D. Roy, "Networks for Homes," IEEE Spectrum, pp 26~39, Dec. 1999
- (9) J. M Cioffi, "MMSE Decision-Feedback Equalizer and Coding," IEEE Tr. on Comm. Vol 43. No.10, pp 2582~2594, Oct. 1995.
- (10) M. M. Forti, L. M. Millanta, "Poqwe-Line Impedance and the Origin of the Low-frequency Oscillatory Transients," IEEE Tr. onEMC. Vol 32. No.2, pp 87~97, May. 1990