

## 스마트 그리드 및 홈네트워킹 구현을 위한 고속전력선 통신 표준화 동향 연구

장동원  
ETRI 전자파환경연구팀/책임연구원  
dwjang@etri.re.kr

이영환  
ETRI 전자파환경연구팀/책임연구원

1. 서론
2. 기술기준 동향
3. 표준화 동향
4. 기술 비교
5. 주요 응용 분야
6. 결론

전력선 통신은 현재 전력선 인프라를 사용해서 광대역 통신을 제공할 수 있는 뛰어난 후보 기술 중 하나이다. 이 인프라는 다른 유선 매체들보다 더 넓게 침투해 있으며 전력선에 연결되는 모든 장치는 부가가치 서비스의 목표가 될 수 있다. 그러므로 고속전력선 통신(Powerline Communication: PLC)은 다른 인프라에서는 가능하지 않은 미래의 여러 응용에서 사용할 수 있는 기술로서 검토되고 있다. 주택이나 가정은 공장이나 상업용 빌딩 등과 비교해서 IT 에 의한 네트워크화가 늦어지는 분야이나 홈네트워킹은 성장이 기대되는 분야이다. 또한 최근에는 스마트 그리드에 관심이 고조되고 있으며 전력선 통신의 killer application 으로 부상하면서 도입이 보다 가속화할 가능성이 있다. 최근에 인터넷, 무선 기술 등의 발전과 더불어 이러한 네트워크보다 밀접해지고 있지만 이것들과 관련되는 기술 표준의 제정이 성공적인 전개의 열쇠가 된다. 고속전력선 통신이 광범위하게 채택되기 위한 가장 기본적인 장벽은 신뢰성 있고 글로벌하게 국제적으로 인정된 표준화기구에서 발표된 기술 표준이 있어야 한다. 다행히도 이러한 장벽은 ITU 및 IEEE P1901 국제 표준화 기구의 작업을 통해서 점차 해소될 전망이다. 본 고에서는 여러 국제 표준화 기구에서 글로벌한 전력선 통신기술 국제 표준을 채택하기 위한 표준화 동향을 분석해서 기술하였다.

\* 본 내용과 관련된 사항은 ETRI 전자파환경연구팀 장동원 책임연구원(☎ 042-860-6828)에게 문의하시기 바랍니다.  
 \*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 NIPA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

## 1. 서론[1]-[4]

전력선 통신은 전기를 실어 나르는 도체에 데이터를 전송시키는 통신시스템이다. 최근에 전력선 통신 기술은 매우 발전되어서 200Mbps 이상의 고속통신을 할 수 있게 되었다. 그러나 전력선 통신에 이용되는 전기선은 기본적으로 60Hz의 전기를 전송하도록 설계되었으므로 이보다 높은 고주파 신호를 보내면 표피효과(skin effect)로 인하여 전파가 방사되어 부근에서 사용중인 무선통신 시스템에 간섭 영향을 주게 된다. ITU에서는 이미 80MHz까지 전력선 통신을 사용하기 위한 관련 권고 작성이 진행중이며 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), HPA(HomePlug Powerline Alliance), UPA(Universal Powerline Association), CEPCA(Consumer Electronics Powerline Communications Alliance)와 같은 표준화 기관에서는 국제적인 전력선 통신 표준화를 위해 노력하고 있다. 미국 등 여러 국가들은 이미 기존 무선통신 서비스에 간섭 영향을 최소화할 수 있는 기술 기준을 제정해서 전력선 통신과 주파수 대역을 공유해서 사용할 수 있도록 하고 있다. 국내에서도 30MHz 이하에서 사용되는 무선 서비스(해상/항공 통신, 아마추어무선, 방송 등)와의 간섭 측정 및 분석을 통해서 고속전력선 통신을 사용할 수 있도록 2005년에 관련 규정을 정리하였으며 현재 옥내 및 옥외에서 고속전력선 통신을 사용할 수 있다.

국제적인 기술기준은 ITU-R SG1A에서 작업 중이며 관련 권고 및 보고서를 작성 중이다. 제한적이지만 이미 고속전력선 통신을 허용해서 시행 중인 한국을 비롯한 미국, 독일, 일본, 브라질의 기술기준이 개발 중인 권고안에 2009년 2월에 포함되었다. 또한 ITU-T SG15/Q4에서는 2008년 12월에 G.hn(G.9960) 표준을 채택하였다. 이 표준은 전화망, 동축케이블과 함께 전력선을 매체로 고속 차세대 홈네트워크를 구축할 수 있는 권고이다. IEEE P1901에서는 2008년 12월에 ITU-T에서 G.hn 표준을 채택한 후 며칠 후에 개최된 일본 교토회의에서 표준초안을 통과시켰다.

전력선 통신 표준이 단일화되지 못하는 이유는 여러 회사에서 개발한 서로 다른 기술로 구현된 제품들이 수년간 고유 시장을 점유해 왔기 때문이다. 가장 큰 이유는 전력선 통신의 고유한 문제점인 전파 방사로 인한 공유 대역 무선 서비스에 간섭을 주지 않도록 하기 위한 노치 등의 기술 구현에 대한 접근 방법이 달랐기 때문이다. 초기에는 간섭에 강한 스펙트럼 확산방식도 이용되었으나 노치에 의한 주파수 효율성이 떨어지므로 다중 캐리어 방식인 FFT-OFDM 방식과 Wavelet-OFDM 방식이 주로 사용되고 있다. FFT-OFDM 방식 전력선 모뎀은 미국 중심의 HomePlug Alliance와 유럽의 UPA에서 개발하였다. 특히 HomePlug는 가정용 위주의 국제표준(de facto)이며 UPA는 액세스망 위주로 전개되었다. Wavelet-OFDM 방식 전력선 모뎀은 일

본 업체들을 중심으로 구성된 CEPCA 에서 표준화되었다. 현재 두 방식 모두 비슷한 성능을 갖는 모델로 제조되어 시장에서 경쟁하고 있다.

## 2. 기술기준 동향[5]-[7]

기술기준(technical regulation)은 법률에 규정되어 있어서 반드시 지켜야 하는 강제 표준(mandatory standard)이다. 전력선 통신은 전기를 공급하기 위한 전기선에 고주파 통신 신호를 부가해서 전송하므로 물리적으로 표피 효과(skin effect)에 의해서 고주파 신호가 공중으로 누설되어서 동일한 대역에서 운용 중인 무선 서비스에 간섭을 일으키게 된다. 일반적으로 전력선 통신에서 사용하는 80MHz 이하 대역은 항공, 해상, 단파방송, 아마추어 무선 등 여러 무선 서비스에서 오래 전부터 주파수를 할당 받아서 사용해 오고 있다. 그러므로 국제전기통신연합(International Telecommunication Union)에서는 국제법인 무선규칙(Radio Regulation)을 통해서 전력선 통신은 이들 서비스에게 전파 간섭을 주지 않는 범위 내에서 사용해야 하며 이들 서비스로부터 간섭을 받더라도 이를 극복하면서 통신하도록 규정하고 있다. 이 규정에 따라서 ITU 회원국들은 자국의 전파관련 법규에 이러한 사항을 기술기준으로 반영하고 있다. ITU-R SG1A에서는 전력선 통신이 다른 무선 서비스에 간섭을 주지 않도록 기술적인 조건을 구체적으로 기술하고 있다. 이를 위하여 여러 국가에서 제출한 기고서를 바탕으로 관련 권고안 및 보고서안을 작성 중이다. 그러나 현재까지 명확한 해결방법은 도출되고 있지 않고 있으며 한국, 미국, 일본, 독일, 브라질 등은 자국 전파환경에 적합하게 제한적으로 전력선 통신을 허용하고 있다. 이미 많은 국가들에서 가정용 전력선 통신을 이용하고 있다. 이는 가정에서 사용하는 경우에 건물의 차폐 등으로 누설되는 전파가 감쇄되어 간섭 우려가 적기 때문이다. 현재 ITU-R SG1A에서 개발 중인 권고안과 더불어 보고서안에는 전력선 통신에 관련된 많은 기술적 특성에 대한 실험 결과들이 정리되어 있다. 이 보고서의 내용들도 현재까지 간섭 우려에 대한 명확한 해결방법을 제공하지 못하고 있다. 그러나 이 결과들에서 간섭을 최소화하기 위한 기술적인 노력이 가시화되고 있으므로 국제적으로 전력선 통신을 사용할 수 있는 합의가 빠른 시일 내에 이루어질 것으로 예상된다.

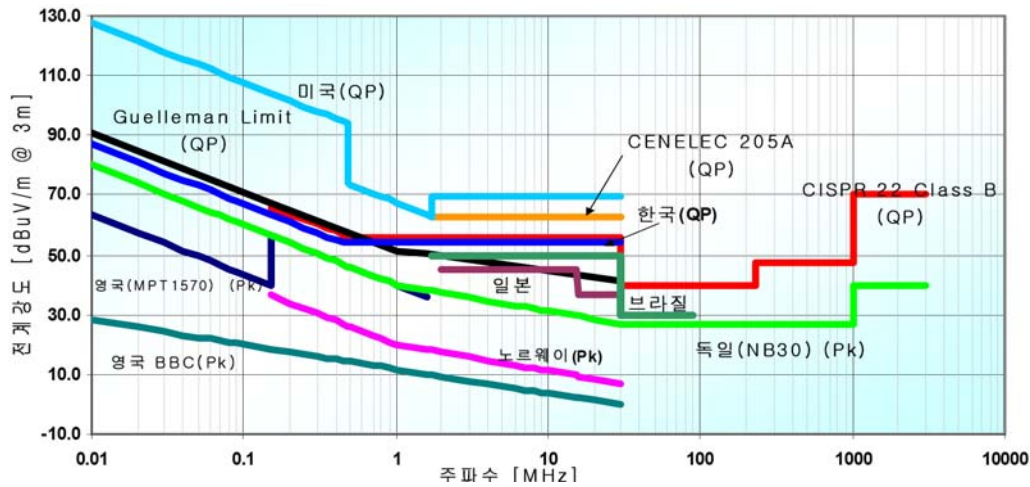
### 가. ITU-R SG1A Preliminary Draft New Recommendation

이 권고안은 2009년 9월 회의에서 기존 무선 서비스 보호를 위한 방법을 4가지로 정리하고 계속해서 논의 중인 선택사항 내용과 이미 기술기준을 제정해서 전력선 통신 서비스를 하고 있는 한국, 미국, 독일, 일본, 브라질의 기술기준이 포함되어 있다.

#### - 무선 서비스 보호기준

- \* 선택사항 1: 방송/아마추어/항공/육상/해상/무선측위/고정/전파천문/표준시보
- \* 선택사항 2: 방송/전파천문
- \* 선택사항 3: 방송/아마추어
- \* 선택사항 4: 방사보호 기준/운용금지대역/운용금지지역

- 국가별 기술기준 예시((그림 1) 참조)



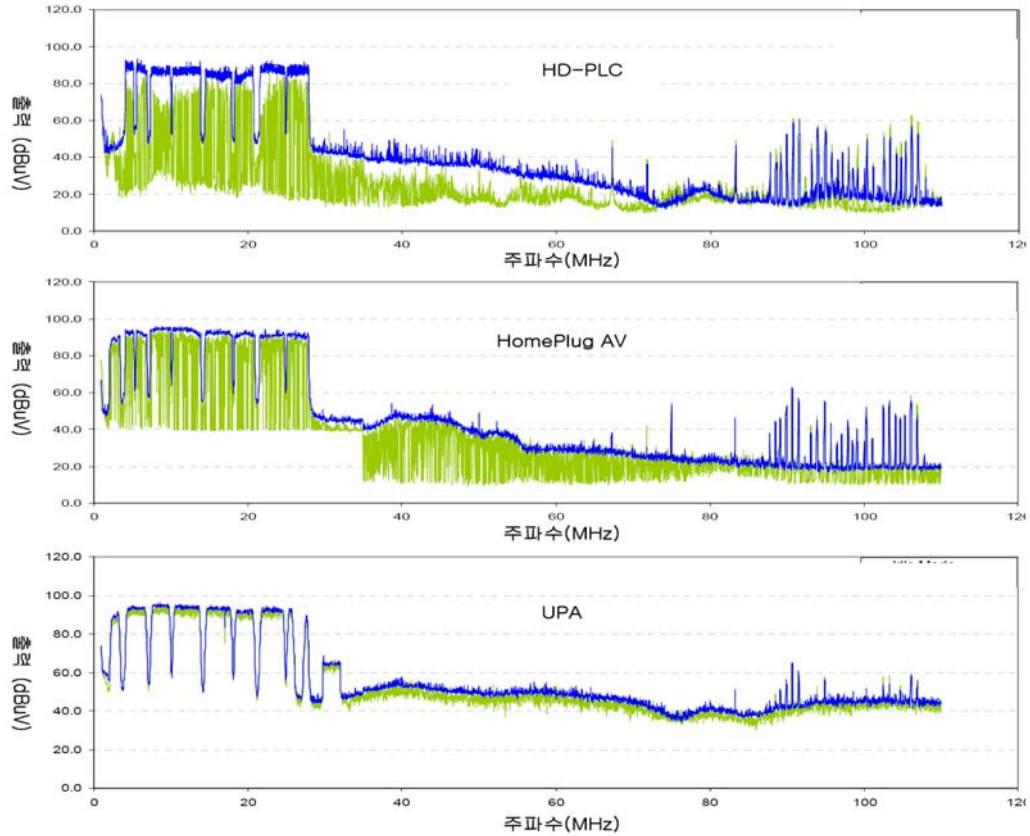
<자료>: CENELEC/ETSIJWG 07(02)23, 2002

(그림 1) 외국의 전계강도 허용 기준 비교

### 나. ITU-R SG1A Draft New Report

이 보고서안은 전력선 통신의 전파 방사 특성, 기존 무선시스템의 특성 및 보호기준, 간섭 완화 및 방지 기술 등에 대한 기술적인 내용이 정리되어 있으며 각국에서 시험한 결과들이 부록으로 첨부되어 있다. 대부분의 자료들은 권고안에 포함된 미국, 독일, 일본, 브라질 등에서 자국의 기술기준을 만들기 위해서 수행했던 시험 결과를 정리한 내용을 포함한다.

2009년 9월 회의에 NABA(North American Broadcasters Association)가 제출한 기고서에는 캐나다의 CRC(Communications Research Center)에서 최근 시판되고 있는 전력선 모뎀을 대상으로 실내에서 사용할 경우에 건물 외부로 누설된 전파 방사를 측정된 결과가 첨부되었다. (그림 2)는 최근 ITU-R 과 IEEE P1901 에서 국제 표준화를 위해 논의 중인 후보 기술을 채택한 전력선 모뎀의 출력 특성을 측정된 결과이다. 이 결과에서는 각 방식의 기술이 전파방사로 인한 다른 무선 서비스에 전파 간섭을 주지 않도록 최소의 출력으로 특정 무선 서비스 대역을 노치해서 보호하고 있음을 알 수 있다. 이러한 기술적인 특성 이외에도 전력선 통신 운용 및 관



<자료>: Communications Research Center Canada, Field Test Report, March 24, 2009.

(그림 2) 표준별 전력선 통신 모델 출력 특성

리를 통해서 간섭을 완화하거나 보호하기 위한 방법들을 아래와 같이 채택하고 있다. 각국은 전력선 통신 활성화 및 기존 무선 서비스 보호를 위해서 이러한 방법들을 자국의 전파환경에 맞게 선택해서 기술기준으로 채택하고 있다.

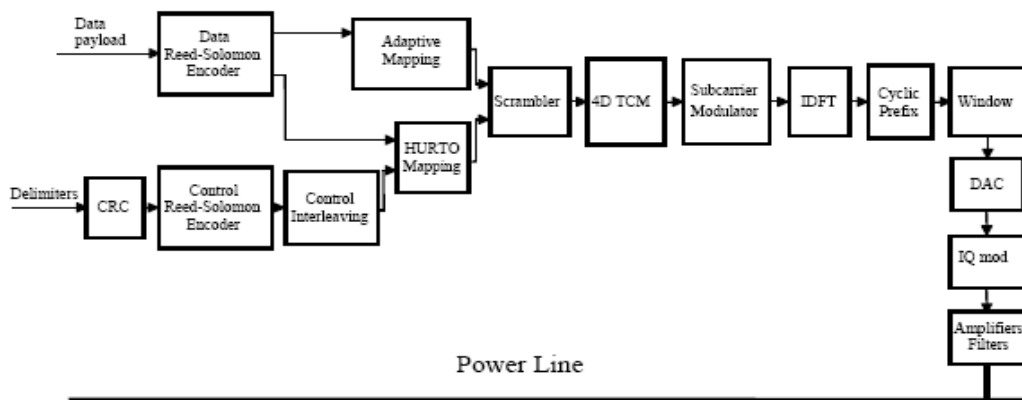
- Attenuation of Conducted Signals(출력신호 감소)
- Frequency Band Exclusions(운용 금지대역)
- Geographical Exclusion Zones(운용 금지지역)
- Consultation Area Requirements(설치 사전 보고)
- Adaptive Interference Techniques(적응형 간섭회피 기술사용)
- Interference Complaint Procedures(사후 처리 절차)
- PLC Operator Database(전력선 관련 데이터베이스 운영)

### 3. 표준화 동향

현재까지 전력선 통신은 국제적으로 통일된 표준 규격이 없으며 전력선 통신 제조업체는 칩 개발 중심으로 만들어진 HPA, UPA, CEPCA 3 개의 업계 표준화 단체를 구성하고 있다. 각 표준화 단체별 주요 전력선 모뎀 칩 제조업체는 HPA 가 미국의 Intellon 사, UPA 는 스페인의 DS2 사, CEPCA 는 마쓰시타전기이다. 칩 규격은 HPA 에서 2001 년에 HomePlug 1.0(최대 전송 속도: 14Mbps)을 공개하였으며 2005 년에는 고속의 HomePlug AV(최대 전송속도: 200Mbps) 규격도 공개하였다. 반면 UPA 는 2005 년에 공준 규격을 공개하였지만 칩 자체의 규격은 미공개되어 있으며 또한 CEPCA 도 공준 규격을 목표로 하고 있지만 칩의 규격은 미공개하고 있다. 국제적인 표준이 없으므로 현시점에서 이러한 칩간에 상호 호환성이 없기 때문에 서로 통신할 수 없다. 동일한 전력선상에서 서로 다른 기술의 전력선 모뎀이 혼재하면 통신 자체가 방해되는 현상이 일어난다. 서로를 인식할 수 없는 전력선 신호는 양방의 모뎀에서 잡음으로 인식되기 때문에 통신 속도가 현저하게 떨어진다. 이를 회피하기 위해서 IEEE P1901 프로젝트에서 서로 다른 칩을 탑재한 제품의 공존을 위한 표준화를 진행해 오고 있다. 이미 450kHz 이하의 저속전력선 통신에서 경험한 바와 같이 추후 가정 내에서 고속전력선 통신 기능을 가진 가전 기기가 도입될 경우에 각 업체의 규격이 통일되지 않는다면 혼란이 일어나고 전력선 통신이 보급된 후에는 표준화가 큰 쟁점이 될 것이다.

#### 가. UPA[8],[9]

2005 년 1 월에 스페인의 DS2 사를 비롯한 전력선 통신 산업의 비전을 공유하는 회사들이



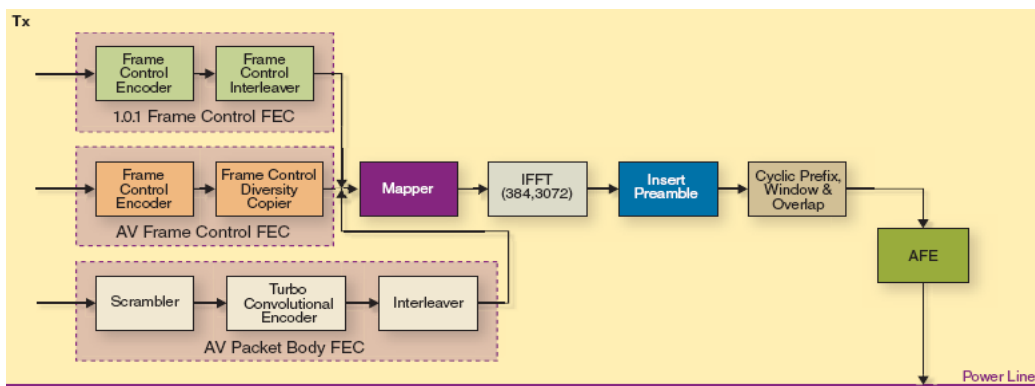
<자료>: OPERA Report, D27 : First Draft of the OPERA Specification Version 2, June, 2007.

(그림 3) UPA 전력선 통신 모뎀 구성

UPA 를 설립하였다. UPA 의 목적은 고속전력선산업에서 필요한 종합적인 비전을 반영하는 것이다. 즉 가정용 통신망과 고속 액세스망 두 응용에서 모두 잘 동작하는 단일화된 전력선 통신 기술이다. 이 기술에 의해서 동일한 전력선을 공유하는 다수의 서비스가 공존하고 화상, 음성, 데이터 응용을 위해 뛰어난 성능을 제공한다. UPA 는 전력선 통신 산업 개발의 선두주자로 UPA 호환 제품은 제일 먼저 200Mbps 전송 기술을 개발하였다. 오늘날 대부분의 가전 회사, 통신 서비스 제공자, 전력회사들은 자사의 제품에 200Mbps 를 선택규격으로 채택하고 있다.

#### 나. HomePlug Powerline Alliance[10]

HomePlug 은 전력선상에 이더넷과 같은 수준의 통신 속도를 갖는 통신망을 실현하기 위해서 HPA 가 만든 통신 규격이다. 처음으로 개발된 HomePlug 1.0 은 변조 방식이 OFDM 이며 사용 주파수대는 4.3~20.9MHz 이다. 0~25MHz 대역을 동일하게 128 개로 분할하고 23~106 번째의 84 개의 서브 캐리어를 사용하며 아마추어무선 대역을 피하기 위해서 8 개의 서브 캐리어를 고정적으로 마스크를 하고 있으므로 실제로 사용하는 서브 캐리어수는 76 개이다. 마스크 하는 서브 캐리어는 국가마다 기술기준에 맞게 변경할 수 있다. 부호간 간섭(Inter Symbol Interference: ISI) 및 반송파간 간섭(Inter Channel Interference: ICI)을 피하기 위해서 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 변환 포인트의 256 샘플 중에서 뒷부분의 172 샘플을 앞쪽에 추가해서 GI(Guard Interval)로 하고 있다. 따라서 OFDM 1 심볼당 샘플 수는 428 이 된다. 클럭 주파수는 50MHz 이며 롤 오프 영역은 8 샘플이다. 결과적으로 OFDM 의 심볼 시간은  $8.4\mu\text{sec}$  이므로 OFDM 신호는  $5.12\mu\text{sec}$ , GI 가  $3.28\mu\text{sec}$  이다. 또한 2005 년에는 성능을 향상 시킨 200Mbps 의 HomePlug AV 규격을 발표하였으며 HDTV 나 VoIP 등 고속의 멀티미디어



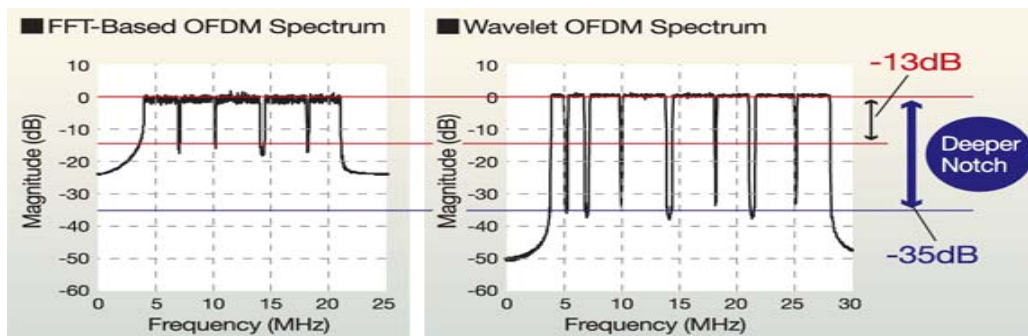
<자료>:www.rfdesign.com, Harnessing the potential of powerline communications using the HomePlug AV standard, AUGUST 2006.

(그림 4) HomePlug 전력선 통신 모델 구성

통신을 위한 것이다.

#### 다. HD-PLC[11]

HD-PLC는 주파수 이용 효율이 높고 고속의 데이터 통신을 실현할 수 있는 일본의 독자 기술로 고속인 동시에 안정된 통신을 가능하게 한다. 2007년 9월에 HD-PLC의 보급 및 확대와 각사 제품 간의 상호 호환성 향상을 목표로 HD-PLC Alliance를 설립하였으며 이 전력선 모뎀을 채용한 기기의 성능이나 상호 호환성 등을 검증하기 위한 HD-PLC 검증 하우스를 2008년 2월에 공개하였다. 이로 인하여 HD-PLC의 대응 제품 개발을 가속화함과 동시에 본격적인 실용화를 위한 다양한 제품의 등장이 기대되고 있다. HD-PLC는 HPA나 UPA와는 다른 Wavelet-OFDM 방식을 채택하고 있다. 일반적으로 Wavelet-OFDM 방식은 기존 OFDM 방식에 비해서 주파수 효율성이 높지만 알고리즘이 복잡해서 경제적인 문제가 있는 것으로 알려져 있다. 이 모뎀은 최고 전송속도가 210Mbps이며 전력선 통신에서 가장 중요한 노치 필터링 성능은 구형 윈도를 사용하는 FFT-OFDM보다 22dB 정도 더 좋다.



<자료>: <http://www.hd-plc.org/modules/about/original.html>

(그림 5) HD-PLC 전력선 통신 모뎀 노치 특성

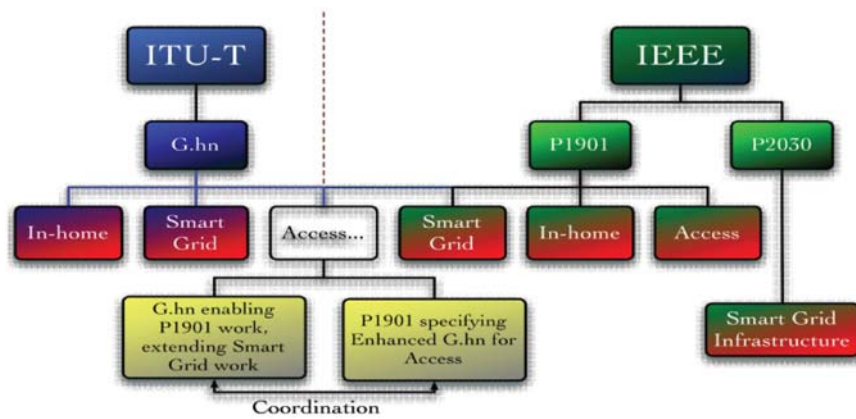
#### 라. ITU-T G.hn(G.9960)[12]

G.hn은 ITU에서 개발 중인 차세대 홈네트워킹 기술표준의 일반적인 이름이며 HomeGrid 포름이나 다른 여러 단체에 의해서 지원받고 있다. 이 표준은 전력선, 전화선 그리고 동축케이블에 의해서 1Gbps 정도의 데이터 속도로 통신하기 위한 통신망을 지원하기 때문에 G.hn은 홈네트워킹을 위한 범용의 표준을 목표로 개발중에 있다. 구조와 물리 계층에 초점을 맞춰서 만들어진 1차 권고가 G.9960이며 2008년 12월 12일에 승인되었다. 이 작업은 ITU-T/SG15/Q.4에서 20여 업체가 참여해서 진행중이며 참여 단체들은 세계적인 전화회사, 주요 통신장비 제조



업체 그리고 홈네트워킹의 선두업체 등을 모두 포함해서 통신 전반에 걸친 논의를 정기적으로 하고 있다.

G.hn 은 현재 유선 홈네트워킹을 위한 차세대 표준이다. G.hn 은 기존 가정에 설치된 유선 즉 전화망, 동축케이블, 전력선에서 초당 수 기가 비트 전송을 목표로 하고 있다. G.hn 이 텔레비전, 셋탑박스, 가정용 게이트웨이, 개인용 컴퓨터 네트워킹 저장장치에 내장되는 수 많은 장치들은 AC 로 전원을 공급받기 때문에 최소한 한 개의 전력선 통신망 인터페이스를 기본적으로 갖는다. 이것은 AC 로부터 전원을 공급받는 가정 제어나 수요 관리를 위한 응용과 융합되어 활용될 것이다. G.hn 찬성론자들은 전세계적인 미래 범용 유선 홈네트워킹 표준으로 G.hn 을 만들어가고 있다. G.hn 은 Multimedia over Coax Alliance over coax, HomePNA 3.1 over coax 및 전화선(이미 ITU 에서 표준화된 G.9954) 그리고 Homeplug AV, UPA 및 HD-PLC over powerline 을 포함하는 오늘날의 비호환 유선 홈네트워킹 기술로부터 발전적인 진로를 제공하게 될 것이다.



<자료>: UPA Plug into Profit '09 Conference, The global powerline standards landscape for all applications, September 1st, 2009.

(그림 6) 전력선 통신 국제 표준화 동향

마. IEEE P1901[13]

IEEE P1901 은 2005 년부터 고속전력선을 위한 규격을 만들기 위해 연구해 왔다. ITU-T G.hn 은 홈네트워킹을 위한 표준이라는 단점이 있으나 P1901 은 연구 범위가 광대역 액세스와 전력시설 응용을 포함하는 유일한 전력선 표준화를 위해 노력하고 있으며 이들 산업계에서는 중요한 역할을 하게 될 것이라는 잠재성이 있다. 2007 년 10 월부터 P1901 그룹은 두 개의 비호환 PHY 와 MAC 규격을 포함한 제안서에 대해서 격론을 벌이고 있다. 한 규격은 FFT-OFDM 기술을 사용하고 다른 규격은 Wavelet-OFDM 기술을 사용한다. 이 규격 중 한 PHY/MAC 규

격에 기초한 P1901 제품은 다른 규격에 의해 만들어진 제품과 상호운용되지 않는다. 2-PHY/2-MAC 접근은 산업체를 혼동시키며 소비자의 기대를 벗어나고 시장에서 효율적인 경쟁을 감소시킨다. 이러한 P1901의 2-PHY/2-MAC 접근방법은 세번(2008년 7월, 2008년 9월, 2008년 11월)의 합의에 실패하였으나 2008년 12월에 기본초안이 투표에 통과되어 표준초안이 작성되었다. 이 표준 초안은 G.hn 과의 호환 버전을 지원할 계획이며 HomeGrid 포럼도 이러한 노력을 지원할 것을 발표하였다.

#### 4. 기술 비교[14],[15]

전력선 통신은 최악의 경우에서 배경 잡음보다 강도가 수십 dB 큰 협대역 간섭을 받을 가능성이 있다. 따라서 전력선 통신에 이용하는 변조 방식이나 코딩 방식은 협대역 간섭에 대한 강한 내성을 가져야 한다. 멀티 캐리어 변조 방식은 전력선 통신의 물리층에 있어서 가장 유망한 변조 방식이다. 그 중에서도 FFT-OFDM 방식이 넓게 이용되고 있으며 전력선 통신의 표준 규격인 HomePlug, UPA 에서도 채용하고 있다. 또한 DSL 분야에서도 FFT-OFDM 과 거의 비슷한 DMT(Discrete MultiTone) 방식이 사용되고 있다. FFT-OFDM 의 기본 개념은 전송 대역 전체를 서브 캐리어로 분할해서 전송한다. 협대역 간섭 대책으로는 간섭을 받는 대역의 서브 캐리어를 마스크해서 사용하지 않는 방법이다. 그러나 FFT-OFDM 의 서브 캐리어를 마스크해도 서브 캐리어의 감쇠량은 최소 13dB 정도이기 때문에 협대역 간섭의 영향을 완화하는 것이 효율적이지 않다. 일본에서는 이러한 감쇠량을 최대화할 수 있는 멀티 캐리어 방식의 일종인 Wavelet

<표 1> FFT OFDM 전력선 모델 물리계층 파라미터

Communication Method	FFT(Fast Fourier Transform) OFDM
FFT points	3072,6144
Sampling Frequency[MHz]	75,150
Symbol Length[μsec]	40.96
Guard Interval[μsec]	Variable according to line conditions: 5.56(12%), 7.56(16%), 47.12(53%)
Primary modulation(per subcarrier)	2, 4, 8, 16, 64, 256, 1024, 4096 QAM
Frequency Band[MHz]	2~30 [Optional Bands: 2~48 and 2~60]
Error Correction	Turbo Convolutional Coding
Maximum Transmission Speed{Mbps} (2~60MHz band and FEC)	545(8/9 CTC)
Diversity Modes	Normal ROBO, Mini ROBO, High Speed ROBO, and Frame Control

<자료>: IISPLC 2009 Keynote Talk, PLC Standardization Progress and Some PHY Considerations, 30 Mar., 2009.

OFDM 을 제안하였다. Wavelet OFDM 는 원래 VDSL(Very high bit rate DSL)을 위해서 제안된 기술이며 DWMT(Discrete Wavelet MultiTone) 방식을 사용한다. Wavelet-OFDM 는 완전 복구 CMFB(Perfect Reconstruction Cosine Modulated Filter Bank: PR-CMFB)를 이용해서 구현한다. 그러나 일부에서는 협대역 간섭 대책으로는 FFT-OFDM 에 윈도 함수를 취하는 것이 더 효과적이라는 주장이 있다. 이 두 방식의 협대역 간섭 효율성에 대한 정량적인 평가는 의견이 분분하므로 단일 방식의 국제 표준화에 걸림돌이 되고 있다.

<표 2> Wavelet OFDM 전력선 모델 물리계층 파라미터

Communication Method	Wavelet OFDM
Discrete Wavelet Transform points	512, 1024, 1536
Sampling Frequency[MHz]	62.5, 125, 187.5
Symbol Length[μsec]	8,192
Guard Interval	-
Primary modulation(per subcarrier)	BPSK, 4, 8, 16, 32 PAM
Frequency Band[MHz]	2~28 [Optional Bands: 2~60]
Error Correction	RS-CC; LDPC(optional)
Maximum Transmission Speed{Mbps} (2~60MHz band and FEC)	544(239/255 RS)
Diversity Modes	MAC header, TMI/FL, Payload

<자료>: IISPLC 2009 Keynote Talk, PLC Standardization Progress and Some PHY Considerations, 30 Mar., 2009.

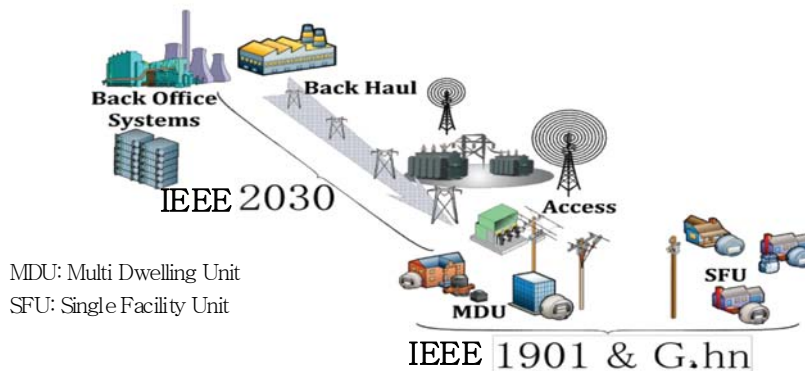
G.hn 은 FFT-OFDM 변조와 LDPC(Low-Density Parity-Check) FEC(Forward Error Correction) 코드에 기초한 단일 물리계층을 규정하고 있다. G.hn 은 아마추어 무선 대역과 다른 허가 받은 무선 서비스와 간섭을 회피하기 위한 특성 주파수 대역에서의 노치할 수 있는 기능을 포함하고 있다. G.hn 은 기존 홈네트워킹 기술에 의해 간섭을 회피하는 구조를 포함하며 홈을 액세스하기 위한 VDSL2 나 다른 형태의 DSL 과 같은 다른 유선 시스템과도 간섭을 회피하는 구조를 포함하고 있다. G.hn 에서 서브 캐리어의 각 신호는 QAM 으로 변조되며 지원되는 최대 QAM 컨스텔레이션(constellation)은 4096 QAM(12 비트 QAM)이다.

## 5. 주요 응용 분야(Killer Applications)

### 가. 스마트 그리드[16]

스마트 그리드에서 통신은 효율적이어야 하며 완전한 통합 시스템(스마트 그리드) 내에서 존재해야 한다. 또한 완전 통합되기 위해서는 글로벌한 표준이 적용되어야 한다. 비록 수많은 표준

들이 오늘날 존재하고 있지만 사용자, 제조업자, 운용자에 의해서 글로벌한 표준으로 개발되어 채택된 것은 적기 때문에 더 많이 요구되고 있다. 한 가지 예외는 변전소 자동화(Substation Automation: SA) 분야로 국제표준화기구인 IEC 에서 SA 를 위한 IEC 61850 표준을 개발하였다. 이 표준은 SA 를 위한 국제적인 표준으로 채택되었다. 부가적으로 IEC 는 고급 자동 검침(Advanced Meter Reading: AMR), 수요 대응(Demand Response; DR), 스마트 그리드 부가 기능 등에 대한 표준을 개발해서 채택할 예정이다. 하지만 현재 채택된 범용 표준 중에는 사용자에게 가장 필요한 AMR 이나 DR 분야 표준은 없다. 공통 표준을 연구하는 IEEE 는 현재 BPL 기술을 연구하고 있다. 하지만 고급 검침 및 수요 대응과 같은 사용자 표준은 아직 개발되고 있지 않다. 이러한 표준의 개발, 시험, 채택이 되기까지는 5년 내지 10년이 소요될 것이다.



<자료>: UPA Plug into Profit '09 Conference, The global powerline standards landscape for all applications, September 1st, 2009.

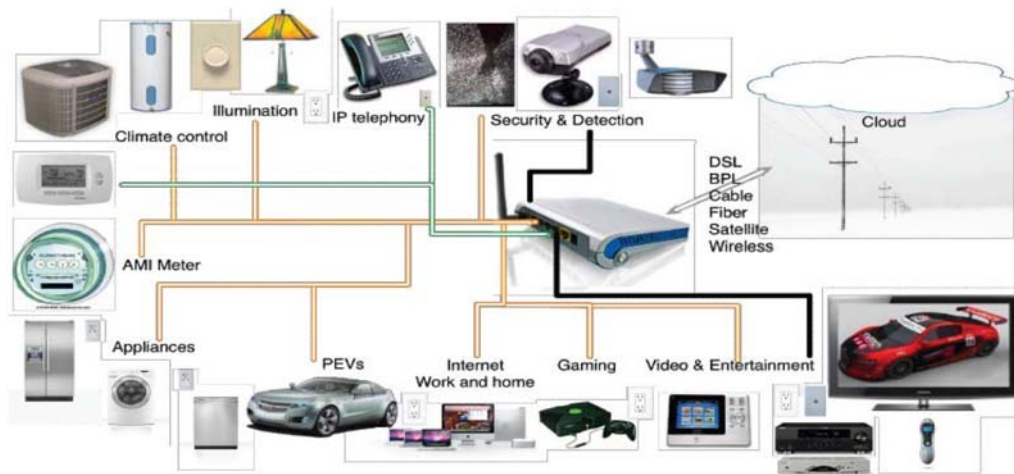
(그림 7) 전력선 통신에 의한 스마트 그리드 구현

구리선, 광섬유, 전력선, 무선 등 다양한 통신 매체가 오늘날 전력망에서 사용되고 있다. 이러한 매체를 사용해서 많은 미국의 전력시설은 SA 를 전개하였다. 하지만 SA 는 전력망을 현대화할 수 있는 다른 기능들을 완전하게 통합하고 있지 않으며 분산 자동화에는 전개가 제한되어 있다. 저속의 전송 감시 제어 및 데이터 수집(SCADA)과 에너지 관리 시스템(EMS) 분야의 응용은 지역 송전기관, 발전소, 송전 제공자들 간에는 성공적으로 통합되었다. 그러나 이러한 응용은 스마트 그리드에서 요구되는 통합된 고속 통신시스템으로 완전하게 활용하기에는 부족하다. 전력선 통신기술은 전력산업에서 오랜 동안 사용되어 왔으며 최근에는 고속전력선 통신기술의 도입을 고려하고 있다. 또한 무선기술은 시스템이나 사용자측면에서 전력선 통신 인프라에는 거의 사용되고 있지 않다.

### 나. 홈네트워킹[17]

최근에 인터넷, 무선 기술 등의 발전에 따라서 홈네트워킹이 보다 친밀해지고 있지만 이에 관련된 기술 표준 유무가 중요한 열쇠가 된다. 홈네트워킹을 제어계(가정 자동화)와 콘텐츠계(엔터테인먼트 목적)로 분류할 때 콘텐츠계는 인터넷이나 각종 정보 기기의 도입 및 보급과 함께 기술 표준을 둘러싸고 경쟁이 심화되고 있다. 세계적으로도 정보 가전에 강한 일본 기업들이 많이 참여하고 있지만 원천 기술을 많이 보유하고 있는 미국 같은 경우에는 반도체 산업, 벤처 등이 적극적으로 관여하고 있기 때문에 미국을 중심으로 이러한 표준의 제정 및 De Facto(사실상 표준), De Jure(문서상 표준) 표준의 획득 경쟁이 심화되고 있으며 제어계까지 선도하기 위한 방향으로 확대하고 있다. 제어계에서는 지금까지 도입이 일부분에 머물고 있지만 최근의 무선 기술 발전과 함께 경쟁이 치열해지고 있으며 특히 스마트 그리드에 관심이 고조되면서 killer application 으로서 도입이 가속화될 가능성이 있다.

1990년대에는 X10 등 저속전력선 통신을 이용한 표준 기술의 도입과 함께 각 기기를 구입해서 소비자가 설치하는 것이 가능하게 되어서 가격도 저하되어 일부분 주택을 중심으로 홈오트메이션 분야의 도입이 확대되어 왔다. HomePlug 는 가정용 전력선과 콘센트를 이용한 인터넷 접속 등을 위한 가정 내 고속 데이터 통신 기술이다. 2005년 8월에 발표한 HomePlug AV 는 HDTV 나 VoIP 등의 데이터를 전송 하는 기술로 최대 통신 속도는 200Mbps 이며 IPTV 등의 엔터테인먼트용 통신 네트워크로 이용이 가능하다. 또한 2007년 9월에 발표한 HomePlug



<자료>:UPA Plug into Profit '09 Conference, The global powerline standards landscape for all applications, September 1st, 2009.

(그림 8) 전력선 통신에 의한 홈네트워킹 구현

Command & Control은 제어계 응용을 위한 저속, 저비용의 규격이다. 일본에서도 홈네트워킹을 위한 HD-PLC(High Definition PLC)를 개발하였으며 적은 전력으로 최대 200Mbps 이상의 데이터 통신이 가능하다. 이러한 기술들은 현재 ITU-T와 IEEE P1901에서 국제 표준화가 진행중에 있다.

## 6. 결론

본 고에서는 스마트 그리드나 홈네트워킹과 같은 응용분야에서 고속통신망 인프라의 필요성이 대두됨에 따라서 최근에 IEEE나 ITU와 같은 국제적인 표준화 기구에서 매우 활발하게 논의되고 있는 고속전력선 통신에 대한 국제 표준화 및 규제 동향을 분석하였으며 논쟁의 핵심인 전파 간섭을 회피하거나 완화하기 위한 관점의 전력선 통신 기술개발 동향에 대해서도 분석하였다. 전력선에 고주파 통신 신호를 보내면 신호 누설로 동일 주파수 대역에서 사용중인 무선 서비스에 간섭을 주기 때문에 각국은 전파 방사 관련 기술기준을 규정하고 그 범위 내에서 사용하도록 제한하고 있다. 또한 기술적으로 간섭을 줄이기 위한 간섭 완화 및 회피 기술을 개발해서 채택할 것을 권고하고 있다. 이러한 기술기준은 ITU-R SG1A에서 계속적으로 연구되고 있다. 여러 업체 표준화 단체(UPA, HomePlug, CEPCA 등)에서는 무선 서비스에 대한 간섭을 보호할 수 있는 기술을 개발해서 구현한 제품을 판매하고 있으며 각 단체의 기술을 국제적인 표준으로 만들기 위해 노력하고 있다. ITU-T는 이미 차세대 홈네트워킹 권고인 G.hn(G.9960)을 제정해서 승인하였으며 IEEE P1901에서도 FFT-OFDM 방식과 Wavelet OFDM 방식을 모두 포함하는 표준 초안을 승인하였다.

스마트 그리드나 홈네트워킹은 국제적인 표준화가 매우 요구되는 서비스들이다. 스마트 그리드의 경우에는 국제적인 표준화가 이루어지지 않은 통신 인프라에서 구축될 수 없다. 현재 스마트 그리드를 강력하게 전개하고 있는 미국에서도 통신 인프라 표준화의 중요성을 인식해서 NIST(National Institute of Standards and Technology)를 통해서 표준화를 추진하고 있다. 홈네트워킹의 경우에도 매우 다양한 가전 기기 등에 표준화가 이루어지지 않은 통신 기술을 사용하면 홈 네트워크를 효율적으로 활용할 수 없다.

현재 전력선 통신의 기술 및 운용 환경은 매우 발전해서 전파 간섭 등에 대한 우려를 줄이고 있으며 이러한 전파 간섭을 줄이기 위한 여러 기술들이 국제 표준화 채택을 위해 성능 경쟁을 하고 있다. 또한 스마트 그리드와 홈네트워킹은 고속전력선 통신 인프라를 가장 필요로 하는 killer application 들이다. 이러한 주변 환경을 반영해서 지난 수 년간 지지부진했던 ITU 및 IEEE의 전력선 통신 관련 연구 그룹들이 활동이 최근에 매우 활발하게 진행되고 있어서 가

운 시일 내에 국제적인 합의가 이루어질 전망이다.

### <참 고 문 헌>

- [1] 장동원 외, “전력선을 이용한 유비쿼터스 고속 데이터 통신 연구”, 정보통신연구진흥원, Oct. 2008.
- [2] 장동원 외, “스마트 그리드 표준화 동향 연구”, 정보통신산업진흥원, Oct. 2009.
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_line\\_communication](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication)
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_1901](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1901)
- [5] ITU-R Document 1A/TEMP/68-E, FURTHER work on the PDNR “Power Line High Data Rate Telecommunication Systems”, 22 September 2009.
- [6] ITU-R Document 1A/TEMP/47-E, PRELIMINARY DRAFT NEW REPORT “Impact of power line telecommunications systems on radio-communication systems operating in the LF, MF, HF and VHF bands below 80 MHz”, 3 March 2009.
- [7] CRC Field Test Report, Measurements of EM radiation from in-house Power Line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment, March 24, 2009.
- [8] The Universal Powerline Association; <http://www.upapl.org>
- [9] OPERA, OPERA Technology Specification – Part 1, Jan., 2006.
- [10] The HomePlug Powerline Alliance; <http://www.homeplug.org>
- [11] The HD-PLC Alliance; <http://www.hd-plc.org/>
- [12] ITU-T Draft New Recommendation G.9960 (for approval), “Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – Foundation”, 28 September 2009.
- [13] Stefano Galli, Oleg Logvinov, “Recent Developments in the Standardization of Power Line Communications within the IEEE”, IEEE Communications Magazine, July 2008.
- [14] J. Abad, L.M. Torres, J.C. Riveiro, “OFDM and wavelets performance comparison in power line channels,” IEEE ISPLC'05, April 6–8, 2005.
- [15] Galli, S. Koga, H. Kodama, N.Panasonic, San Jose, CA, “Advanced signal processing for PLCs: Wavelet-OFDM”, ISPLC 2008. 2-4 April 2008.
- [16] National Energy Technology Laboratory, A Systems View of the Modern Grid Appendix B1: Integrated Communications, February 2007.
- [17] 市川類, ニューヨークだより(IPA) 「ホームネットワーキングに係る技術標準と産業構造を巡る動向」, 2009年7月