

전력선통신(Powerline Communication)

기술 및 응용

임수빈*

(*기인텔레콤 연구소장)

1. 전력선통신 (Powerline Communication: PLC)

전력선통신 PLC는 Power Line Communication의 약자로, 전기가 공급되는 전력선을 활용하여 데이터를 실어 나르는 디지털 데이터 통신기술을 의미한다.

광범위하게 설치되어 있는 전력선을 이용하여 저렴한 비용으로 초고속 인터넷, 디지털 전화, 홈네트워킹, 홈오토메이션, 원격자동제어 등을 가능케 하는 전력선통신 기술은 오랜 역사를 지니고 있지만 특히1990년대 중반에 이르러서 모뎀 기술을 응용한 10kbps (bits per second) 급의 저속용 PLC 기술이 개발되어 상용화 수준에 근접한 제품이 등장하기 시작, 자동원격검침 (AMR: Automatic Meter Reading), 보안(security), 제어(control) 시스템 등에 활용되었다.

이 후 디지털 모뎀 기술의 급속한 발전, 소자 가격의 하락, 통신 기술 발전 등의 영향으로 Mega bps 급의 고속 전력선통신 기술이 개발되었고, 이를 토대로 한 응용 분야가 논의되고 전력회사 및 통신회사의 통신사업 개편 및 민영화가 본격화되면서 고속 전력선통신에 대한 관심이 대두되었다.

본 기고에서는 고속 전력선통신 기술에 대한 기본적인 이해를 돕기 위해 전력선통신 환경, 사용되는 변조 방식 (Modulation)의 비교, 구현 및 응용 분야에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

2. 전력선통신 환경 (PLC Channel and Noise)

예전의 전력선통신의 경우 주로 전력회사에서 특수한

용도로 저속 데이터를 전송하기 위해 450kHz 대역 내에서 구현되었다. 그러나 수 내지 수십 Mbps 급의 데이터를 전송하기 위해서는 450kHz 이상의 높은 주파수에서 광대역의 사용이 필수적이며, 이론적으로 전송이 가능한 데이터 속도는 Shannon Theorem에서 보여준다. 수식으로 표현하면

$$\text{System Capacity} = W \log_2 (1 + S/N) \text{ 와 같다.}$$

여기서, System capacity는 데이터를 신뢰성 있게 전송할 수 있는 속도 (bps)를 의미하며, W인 점유대역폭 (Hz), S인 평균 수신크기, N인 평균 잡음크기로 결정된다. 상기 이론적인 수식으로부터 전력선의 신호 대 잡음 비를 고려할 때 450kHz 대역 내에서 수 Mbps 급 전송은 불가능 함을 알 수 있다.

전력선통신은 옥외장치 (Access network)와 옥내장치 (Home network)로 구분되며, 이는 채널 및 잡음 환경이 옥외와 옥내가 매우 다르기 때문이다. 옥외의 경우에는 서비스 범위가 넓기 때문에 신호의 손실이 매우 크며, 옥내의 경우에는 부하에 영향을 많이 받을 수 있다.

전력선통신 채널특성은 매우 다양하여 서비스 coverage 별 테스트 루프를 결정하기 어렵고,

전력선 길이 및 부하영향을 많이 받는다. 또한 tree 및 branch 구성으로 많은 bridge와 open-stub가 존재하여 전력선 송수신기의 임피던스를 정합 시키는데 어려움이 많다.

전력선통신 잡음특성은 기존 AC power와 공존하기 때문에 전기제품의 부하 변동으로 인해 스파이크성 잡음이 존재하며, 공중 전력선의 경우 각종 고주파 성분의 잡음이 유 기될 수 있다.

그림 1은 옥내 전력선 채널의 측정치로 200meter 거리에서의 응답을 보여주며, 이때 기준 레벨은 0dB 이다. 또한 그림 2는 전력선 잡음의 측정치로 청소기가 동작하는 상황에서 측정된 잡음 값으로 피크치 및 평균치를 보였다.



표 1. 전력선통신의 채널특성

| | |
|----------------|--|
| 구 성 | Tree / branch 형태로 구성이 매우 복잡함 |
| 임피던스 특성 | 신호의 손실은 전력선 길이보다 부하에 의한 영향이 크며, 이는 부하 임피던스가 변화하기 때문임 |
| 페이딩 특성 | Bridge 및 open-stub로 인해 frequency selective fading 현상이 발생하여 협대역 혹은 광대역의 심한 감쇄특성을 보임 |
| 모델링 | 환경 및 시간에 따라 채널특성이 매우 다르므로 수식적으로 coverage별 test loop를 modeling하기 어렵고, 실제 측정 data를 이용함 |

표 2. 전력선통신의 잡음특성

| | |
|---------------|--|
| 구 성 | 저주파 대역의 고압 AC power를 공급하므로 잡음을 제거하기가 안정성 문제로 어려움 |
| 임펄스 잡음 | 가전제품 등의 모터구동에 따라 발생하는 스파이크성 잡음 크기가 매우 클 수 있음 |
| 고주파 잡음 | 전력선의 경우 pair가 flat 하기 때문에 고주파 잡음에 열악함 |
| 모델링 | 환경 및 시간에 따라 잡음특성이 매우 다르므로 수식적으로 modeling 하기 어렵고, 실제 측정 data를 이용함 |

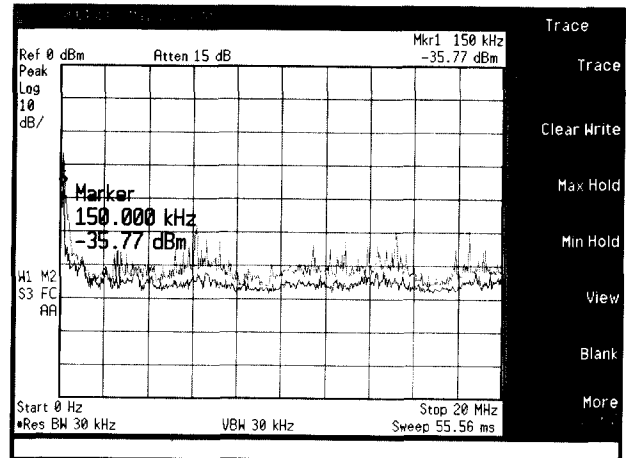


그림 2. 전력선 잡음레벨

3. 전력선통신 변조 및 MAC 방식 (PLC Modulation & MAC Scheme)

전력선을 쌍방향의 고속 데이터 전송로로 사용 가능케 하는 기술은 크게 변복조 및 MAC (Media Access Controller)으로 구분되며, 두 기술에 대한 대표적인 방식을 살펴보면 다음과 같다. 이들 기술은 그 자체가 새로운 것은 아니지만 최적의 조합으로써 고속의 전력선통신 시스템을 실현시킬 수 있다.

3.1 전력선 변조 방식

전력선 변조 방식의 적용 통계에 따르면 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 29%로 가장 많이 쓰이고 있으며, MFSK (M-ary Frequency Shift Keying)와 Spread Spectrum이 각각 17%로 그 뒤를 따르고 있다. 나머지 35%는 OFDM, MFSK, Spread Spectrum을 제외한 기타 주파수 변조 방식을 채택하고 있는 것으로 나타났다.

모든 통신에 이상적인 변조 방식이란 존재하지 않는다. 주어진 통신 환경에 가장 적합한 변조 방법을 연구하고 채택하는 것이 안정적 통신의 실현에 가장 중요한 요소가 된다. 여기서는 저속 전력선에서 주로 채택되고 있는 MFSK, Spread Spectrum과 가장 많이 쓰이는 것으로 나타난 OFDM의 특성 및 장 단점을 살펴보면 다음과 같다.

MFSK 방식은 주파수 대역의 효율면에서 성능이 매우 떨어지는 변조방식으로 구현이 간단하고, 전력선 환경에 비교적 알맞은 방식으로 알려져 있다. Single carrier의 대표적인 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 방식과 비교해 보면 다음과 같다. 대역폭 효율에서는 FSK 방식이 나쁘지만 전력선 환경에서 문제가 되고있는 임펄스 잡음

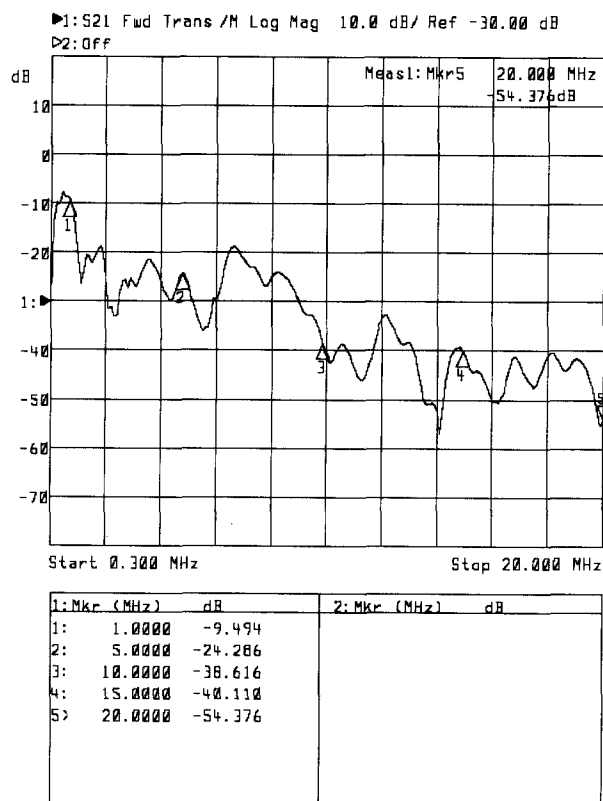


그림 1. 전력선 채널응답

(impulse noise), 위상왜곡 (phase distortion), 주파수 선택 페이딩 (frequency selective fading) 면에서 우수한 성능을 보이고 있다.

Spread spectrum 방식으로는 DSSS(Direct sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), Chirp 등이 있는데 DSSS 방식이 저속 전력선 통신에 주로 이용되고 있다. 대역확산으로 인해 이득을 얻는 것이 가장 큰 장점으로 다른 변조방식보다 낮은 신호 대 잡음 비에서 좋은 성능을 보여 안정적 통신을 제공하고, 비화 특성이 우수하다. 또한 낮은 송신출력으로 통신이 가능하며, 스파이크성 잡음 및 주파수 선택 페이딩에 장점이 있다. 반면 단점은 원하는 이득을 얻기 위해서는 넓은 대역 확산이 필수적인데, 구현이 수월하지 않다는 문제가 있다. 이러한 문제로 인해 고속 데이터 전송을 위한 PLC 변조기 술로는 채택되지 못하고 있는 실정이다.

Spread Spectrum은 각 전송 신호가 전체 주파수 대역에 걸쳐지는 방식으로 spreading factor는 요구되어지는 속도, 가용 스펙트럼 및 채널 조건과 관련이 있으나 OFDM은 데이터의 흐름이 수많은 썬드 밴드 즉 narrow band 채널에 나뉘어 전송되는 방법이다.

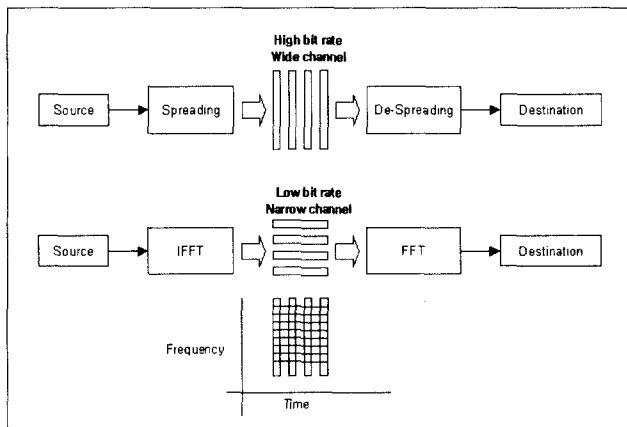


그림 3. OFDM vs. Spread Spectrum

OFDM의 장점은 bit allocation이 사용될 경우 최적의 성능을 보일 수 있다. 이는 전송 주파수의 형성이 IFFT를 통해 최적화될 수 있고, 부분적으로 이루어 질 수 있기 때문에 주파수 선택 페이딩에 강한 특성을 보이고 있다. 또한 심볼 주기가 매우 길기 때문에 임펄스 잡음에 강하다. 반면 단점은 다른 변조방식과 비교하여 PAR (Peak-to-Average Ratio)가 크기 때문에 AFE (Analog Front End)를 구현하는데 높은 비용이 들고, 수신기를 적용하기 위해서는 시간이 요구되기 때문에 빠른 채널 변화에 대처하기가 어렵고, Multiple Access가 필수적인 전력선 통신에 적용하기 어려운 점이 있다.

3.2 전력선 MAC 방식

전력선의 경우 물리적으로 복수의 노드가 접속되어 하나의 전력선을 공유하는 시스템으로 구성되기 때문에, 각 노드가 언제, 어떻게 전력선을 액세스하여 데이터를 보낼 것인가를 제어하는 multiple access가 필수적으로 요구된다. 대표적인 방식으로는 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection), CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance), Token Passing, TDMA (Time Division Multiple Access) 등이 있다.

CSMA/CD방식은 전송하기 전에 채널의 상태를 먼저 검사해서 채널이 비어있는 경우에는 전송하고, 비어있지 않은 경우에는 일정 시간 대기 후 재시도한다(CSMA). 그리고, 데이터 전송 중에는 상대방에서 전송한 데이터와 충돌했는지를 계속적으로 검사하여, 충돌했을 경우는 현재의 데이터 전송을 중지하고 랜덤한 시간 후에 재전송 과정을 수행한다(CD).

CSMA/CA방식은 전송하기 전에 채널 상태를 검사하는 CSMA 과정은 앞의 CSMA/CD방식과 유사하나, 전송 중에 데이터 충돌 여부를 검사하지 않고, 실제 데이터 패킷을 전송하기 전에 짧은 제어패킷 (RTS/CTS)을 주고 받음으로써, 다른 노드들의 전송매체 액세스를 제어하고, 상대방으로부터 ACK(Acknowledge) 신호를 받음으로써 현재 전송한 데이터 패킷이 정확히 전달 되었는지를 확인한다. 이 CSMA/CA 방식은 앞의 CSMA/CD 방식에 비해서 오버헤드가 있기 때문에 전체적인 전송속도는 약간 떨어지지만, 본 전력선채널이나 무선채널과 같이 채널 감쇄가 심해서 데이터 충돌을 감지하기 어려운 환경에서는 유용하게 사용될 수 있는 방식이다.

토큰 패싱(Token Passing) 방식에서는 토큰(Token)이라고 하는 특별한 형태의 패킷을 링형으로 구성된 케이블상에 연결되어져 있는 각 노드에서 노드로 회전시킨다. 링 상에 있는 어떤 노드가 전송매체를 통해 다른 노드에 데이터를 전송하려고 할 때는 프리(Free)토큰을 기다려야 한다. 프리 토큰을 수신하면, 그 노드는 토큰을 제어할 수 있는 권한을 가진다. 프리 토큰을 획득한 노드는 데이터를 전송할 수 있다. 어떤 노드가 토큰을 사용하고 있을 때, 다른 노드들은 데이터를 전송할 수 없다. 한번에 한 개의 노드만이 토큰을 사용할 수 있으므로, 각 노드간의 경합, 데이터 충돌, 전력선 상의 통신량에 따라 토큰을 재 전송하는데 소요되는 시간이 별도로 필요가 없다.

TDMA 방식은 여러 개의 타임슬롯을 두고, 접속을 요청하는 각 노드에 적절한 방식으로 타임슬롯을 할당함으로써 상호간의 데이터 충돌을 방지하는 방식이다. 이 방식에서는 각 노드간에 정확한 타이밍동기를 맞추는 과정이 필수적으로 수행되어야 하며, 접속 중인 노드 수에 따라 타임슬롯의



할당을 동적으로 제어할 수 있어야 전송매체를 효율적으로 사용할 수 있다.

4. 전력 네트워크 (PLC Network)

전력 네트워크는 최소 장비 비용으로 최다수 고객에게 전력 공급망을 제공하는 형태로 디자인된다. 초기 네트워크는 전력 발생 점을 중심으로 뻗어 나가는 별 Star 형태의 모양을 띠게 된다. 이와 같은 기본 네트워크 형태에 중복되는 선이 교차적으로 연결, 추가 되면서 망 Grid을 형성하게 되는 것이다.

기본적으로 전체적 시스템은 전력 발생 점에서 시작되는 특고압 (450kV-660kV) 전력공급망으로 부터 각 단계로 진행되는 계층 체계를 가지고 있다. 발전된 전력은 변전소까지 보내지고, 여기서 다시 저압으로 바뀌면서 지역 망상조직으로 배포된다. 이러한 공급망은 나라별 또는 활용 표준에 의거, 여러 단계와 Voltage에 따라 이루어 진다. 각 지역 혹은 2차 변전소에서 66kV-750kV의 특고압이 11kV-45kV의 고압으로 변압되고, 다시 110V-240V의 저압으로 변압되어 수용가 댁내에 설치된 전력량계로 연결된다.

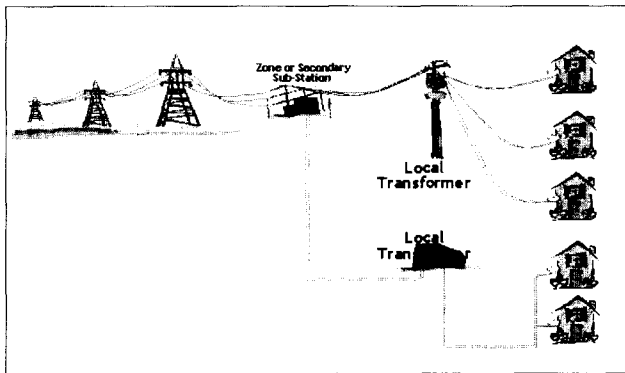


그림 4. 전력 네트워크 아키텍처

이때 전기가 흐르는 케이블은 전신주나 철타pm 위로 설치되거나 혹은 지중 콘크리트 덕트에 매설된다. 그림 4는 다양한 네트워크 망에서 전신주 상이나 전력 캐비닛 내에 설치된 변압기가 케이블 망의 설치를 어떻게 지원하는지 보여 주고 있다.

5. 데이터 전송을 위한 전력선 네트워크 활용

각 지역 변압기 당 연결된 수용가 수는 사용자의 전력 요구량과 지역 변압기의 구성에

따라 결정된다. 유럽에서는 지역 변압기가 평균 100-300 가량의 일반 가정에 연결되어 있는 반면, 북미에서는 약 5-50 정도의 상당히 적은 수의 가구가 연결되어 있다. 이는 주거 voltage, 전력 소비량, 그리고 지역 변압기의 전력/전압 범위에 의하여 결정되는 것이다.

이론적으로, 전력공급망 네트워크는 수용가와 지역 변전소의 고속 네트워크 (broadband network 혹은 backhaul) 연결 사이의 데이터 전송에 사용될 수 있다. 이것은 통신 고객에게 네트워크에 대한 액세스 (access)를 공급하는 last mile을 의미한다.

목적은 결국 지역 변전소와 모든 연결된 수용가 사이의 가설된 인프라를 통하여 안정적인 전송 서비스를 제공하는 것이다.

이러한 전송 서비스 구현을 위하여 현재까지 여러 개발이 진행 중에 있으며, 세계 각국에서 여러 업체가 시범 사업 및 테스트를 실시 중에 있다. 그림 5인 전력선통신 Last mile은 현재 독일에서 구현 중이고 가장 많이 제시되고 있는 전력선통신 아키텍처를 보여 준다.

일반적으로 고속 네트워크망이 변압기까지 설치되어 있고, 여기에 전력선통신 모듈과 라우터가 연결, 설치되어 헤드엔드 네트워크를 구성하게 된다. 실제로, 전체 네트워크의 여러 분기나 계층이 전력선 네트워크의 다른 상을 사용하면서 이곳에서 시작되는 것이다.

전력선통신 라우터 장비가 변압기 당 한 대씩 설치되어 변압기에 연결된 다수의 수용가를 상위 레벨의 인터넷 백본과 연결하여, 공중망의 데이터 신호를 저압 전력선으로 전송한다.

저압 전력선망에 실린 인터넷 데이터 신호는 전력선을 통해 수용가 전력량계 근처에 설치된 중계 장비로 전송되며, 이 후 옥내 신호로 전환되어 댁내에 포설된 전선을 타고 가입자용 단말 장치인 전력선통신 모듈로 전달되어 통신이 이루어 지게 된다.

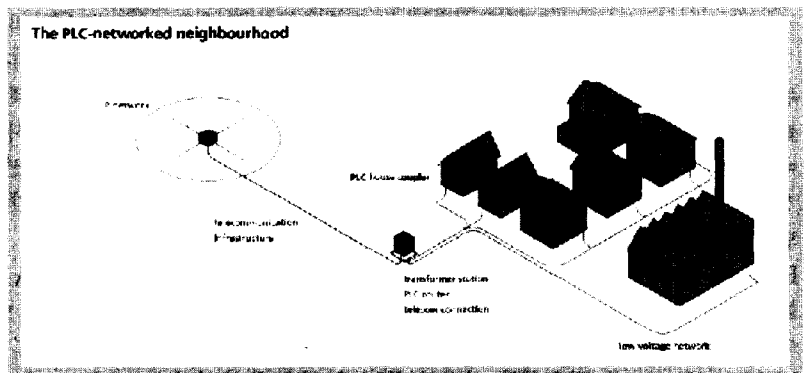


그림 5. Last Mile 전력선통신

6. 전력선통신의 응용 분야

전력선통신기술은 다음과 같이 다양한 분야에서의 응용이 가능하다.

- 인터넷가입자망 솔루션

(Internet Access Last-mile solution)

한국의 경우, 최근 들어 1Mbps 급 이상의 초 고속 인터넷 접속 망 시장이 폭발적으로 증가하면서 단순한 일반 전화모뎀이 사양화 되고 있는 현상이 빠르게 나타나고 있다. 일반 가정에서도 한 달에 약 20~30\$ 정도만 지불하면, T1급(1.544M) 보다도 더 빠른 고속 인터넷 접속 서비스를 즐길 수가 있다. 오히려 회사에서 사용하는 256K급이나, 512K급 보다도 훨씬 빠른 전용선을 그것도 혼자서만 사용할 수가 있게 된 것이다. 이것을 가능하게 한 것은 ADSL, Cable modem, WLL 등의 신기술인데 여기에 최근 PLC를 활용하여 고속 인터넷 접속 서비스를 시도해 보려는 움직임이 시작되었다. 현재, 이 분야의 선두 주자는 기인텔레콤이며 내년 초 상용화를 목표로 매우 활발하게 사업을 진행하고 있다.

- 가정용 PC 간 Home Networking

일반적인 10Mbps 급의 Ethernet과 필적할 만한 속도를 내기 위한 시도가 현재 이루어지고 있고, 조만간 그러한 제품이 시장에 등장할 것이다. 주로 인터넷을 공유하거나 프린터 및 파일의 공유에 사용된다.

- 정보 가전 (Internet Appliance)

PC뿐이 아니고, TV, 냉장고, 에어컨, 전자레인지, 세탁기 등 일반 가전 제품들의 컨트롤에 활용하는 응용 제품이다. 이러한 컨트롤을 인터넷으로 확장시켜서 외부에서도 인터넷망을 활용하여 통제가 가능하다.

- 원격검침 (Automatic Meter Reading)

전기, Gas, 수도 등 utility에 해당하는 meter 자료를 전력선통신 기술을 활용하여 자동으로 읽어 내어 집산, 처리하는 시스템으로 이미 많은 나라에서 도입, 사용하고 있는 기술이다.

표 3. 전력선통신의 응용 분야

| 운영 중심 서비스 | 사용자 중심 서비스 |
|----------------|--------------|
| 정전 방지 및 조치 | 통합 청구 솔루션 |
| 원격 전원 연결 및 분리 | 마케팅 정보 제공 |
| 전력 품질 감시 및 관리 | 고객 전력부하 관리 |
| 멀티 유틸리티 서비스 | 정보 가전 |
| 원격 검침 | 인터넷 가입자망 솔루션 |
| 예방 관리 및 현장 자동화 | 전력 사용 관리 |

7. 전력선통신의 과제

전력선통신을 실현하기 위해서 다음과 같은 기술적, 전파법적, 사업적 난점이 해결 과제로 남아 있다.

나라 별로는 전력선통신을 할 때 높은 주파수 대역에 대한 규제로 고속 데이터 통신으로의 활용이 제한되거나, 전력선통신의 사업주체가 되는 전력회사의 통신사업이 규제되고 있기도 하다.

기술적 측면에서, 전력선을 통신에 이용하는 데는 일반적인 통신 기술 만으로는 쉽게 해결할 수 없는 다음과 같은 전력선 특유의 문제가 존재한다. 전기선 자체는 통신을 하기 위하여 설치된 것이 아니므로, 통신에 가장 큰 장애가 되는 잡음 (Noise)에 매우 취약한 구조를 갖고 있다. 최대 1KM을 전송해야 하는 부담과 분기가 많이 되고, 전력량계, 차단기 등의 통과로 인하여 신호가 점점 감쇄 (Attenuation)되며, 또한 임피던스 (Impedance)가 전기제품의 on/off등의 영향으로 시간에 따라 변한다. 또한 전력망은 고속 데이터 신호 전송을 전제로 설계된 네트워크가 아니기 때문에, 기설된 네트워크 디자인상에 고속 데이터 네트워크 응용 부가 서비스를 지원하는 것에 무리가 따를 가능성이 있다.

8. 전력선통신의 미래

전력선통신의 문제점과 치열해지고 있는 경쟁 기술 (무선, ADSL, Cable 등)의 발전에도 불구하고, 유럽, 미주 지역에서 주파수 대역 규제 완화가 가시화 되면서 전력선통신은 차별화된 전송 기술로 각광 받고 있으며 가입자망 시장이나 홈네트워크 시장에서 충분한 기회를 가지고 있다고 인식되고 있다.

전력사업 규제 완화 및 자유 경쟁 체제의 도래로 에너지 산업 성장이 한계에 다다른 여러 선진국 전력회사 들은 새로운 비즈니스 모델을 모색하면서 기존의 자산을 이용, 매출을 창출할 수 있는 전력선통신 사업을 21세기 신규 사업으로 채택하고 있다. 초고속가입자망 인프라의 대량 시장 가능성 제공으로 네트워크 사업자 사업모델의 구체적 제시, 전력선통신의 특화된 기술이 제공하는 혁신적 응용 시장 창출 및 가입자망과 홈네트워킹의 동시 솔루션 제공으로 전력선통신 기술은 경쟁력을 갖추면서 미래 가능성을 밝게 하고 있다.

저 자 소개



임수빈 (任秀彬)

1963년 11월 30일생. 1987년 한양대 전자공학과 졸업. 1987년 대영전자 입사. 1989년 삼성종합기술원 입사. 2000년 기인텔레콤 입사. 현재 기인텔레콤 연구소장.