소 특 집

# 전력선 통신(PLC) 기술 개요

김 기 두, 이 종 성
국민대학교 전자공학부

## Ⅰ. 전력선 통신의 배경 및 소개

전력선 통신(Power Line Communication, 이하 PLC)은 전력을 공급하는 전력선을 매개체로 음성 및 데이터를 수백 KHz~수십 MHz 이상의 고주파 신호에 실어 나르는 디지털 데이터 통신 기술을 의미한다[1]. 이 기술은 많은 비용이 드는 전용선이나 기간망을 설치할 필요없이 콘센트에 접속함으로써 인터넷 접속 등의 외부망이나 네트워킹에 이용할 수 있는 편리하고 경제적인 통신망이다. 특히 고립된 객체를 연결시킴으로써 새로운 공간과 가치를 창출하는 네트워킹이라는 개념이 사회적 중요성을 갖는 상황에서, 전력선이라는 광범위한 망은 사회 기반의 네트워크화를 촉진하는 매체로서 의미가 있다. 무엇보다도 중요한 것은 광범위하게 설치된 전력선으로 통신 서비스를 이용하는 PLC는 사회적 연결망으로서 중요한 역할을 할 수 있다는 것이다. 〈표 1〉은 PLC 기술의 분류를 나타내고, 〈그림 1〉은 전력선 통신의 개념도를 보여준다.

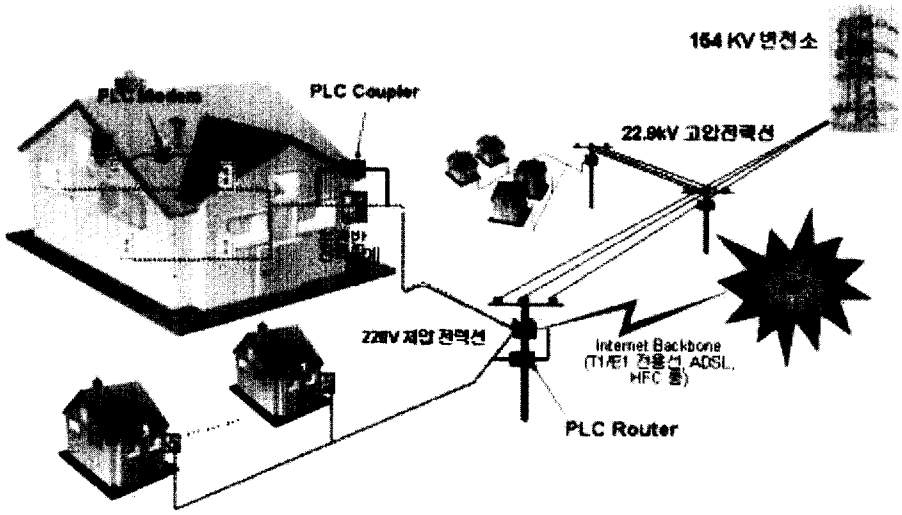
21세기에 이르러서 PLC에 관련된 국가 정보통신 조직의 독점적인 지위가 하락되고, 다양한 응용 분야의 개발로 인해 산업계와 학계의 PLC에 대한 관심이 증대되었다. 전력선을 이용한 통신은 1920년대 유럽에서 시작되었고, 1950년대에는 단방향 통신을 이용하여 가로등, 부하 제어와 요금 변경 등의 관리에 사용되었다. 그 후 1980년대 중반이후 전력선을 데이터 전송의 매개체로 사용하는 실험이 시작되었으며, 신호와 잡음 레벨에 관한 연구가 중점적으로 이루어졌다.

이어서 전력선을 이용한 양방향 통신 기술이 개발되고, 1990년대 후반에 이르러서 PC의 급속한 보급과 네트워크 기술의 발전에 힘입어 고속의 데이터 신호를 전송할 수 있는 전력선 통신 기술이 개발되었으며, 세계 곳곳에서 상용화를 위한 검증이 진행되고 있다. 그동안 PLC 기술은 저속, 저기능, 고비용 등의 문제로 인해 네트워크 사업에서 크게 인기를 얻지 못하였는데, 최근 홈 네트워킹의 발전에 맞물려 'last-mile'의 해법으로 제시되면서 다시금 관심을 끌고 있다. 따라서 먼저 PLC와 연관하여 몇가지 관점을 언급하고자 한다.

PLC는 통신선의 추가적 설치없이 기존에 설치되어있는 전력선을 사용할 수 있어 투자비용이 저렴하고, 전 세계적으로 동일한 표준을 사용할

〈표 1〉 PLC 기술의 분류

| 기술 분야에 따른 분류 | 전송 속도에 따른 분류 |
|---|---|
| • 액세스 기술<br>- 22KV 이상의 고전압 기술<br>- 22KV급의 중전압 기술<br>- 220V, 110V의 저전압 기술<br>• 홈 네트워크를 통한 제어 기술 | • 저속(60Kbps~10Kbps) : 제어용<br>• 중속(10Kbps~1Mbps) : 데이터 통신용<br>• 고속(1Mbps~10Mbps) : 데이터 통신용 |




〈그림 1〉 전력선 통신의 개념도

수 있다는 장점이 있다. 이 이유로 아직 통신 인프라가 취약한 저개발 국가나 저속 통신망을 사용하고 있는 국가에서 PLC 기술을 전략적으로 채택하려 하고 있다. 또한 인터넷의 출현으로 인해 필요성이 제기된 광대역 인프라의 방법으로 PLC를 사용할 수 있다. 인프라 광역화의 방안으로 이전에 제시되었던 ADSL과 케이블 모뎀 등은 전화선이나 동축케이블이 가입자 가정까지 인입되어야 하는 어려움이 있고, point-to-point 방식으로 인한 막대한 투자비의 문제점이 있지만, PLC를 사용하면 적은 비용으로 문제를 해결할 수 있게 된다. 즉, PLC는 사업자와 가입자에게 저비용 고효율의 상승효과를 기대할 수 있는 해결 방안으로 제시될 수 있다.

PLC는 전력을 공급하기 위해 설치된 전력선을 통신 매체로 사용하기 때문에 일반적인 통신 기술만으로는 쉽게 해결할 수 없는 문제들이 존재한다. 전력선은 전동 모터와 같이 비동기적으로 발생하는 잡음, 60 Hz의 정수배 주파수에서 발생하는 고조파 잡음(Harmonic Noise), 그리고 전자제품들의 스위치 on-off시 발생하는 독립적인 임펄스 잡음 등을 발생하는 채널 특성을 가지고 있다. 따라서 이를 극복하기 위해서는 채널 특성을 정확히 파악하고, 채널상의 잡음을 극복할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 그리고, 최대 1Km의 영역을 커버해야하고, 많은 분기점과 전력량계, Circuit Breaker 등의 통과로 인한 신호 감쇠 현상도 PLC의 사용을 위해 해결해야 하는 문제이다. 또한, 전기선과 선로 말단에 연결되어 있는 전기제품들에 의한 임피던스 부정합 역시 신호의 올바른 전송에 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 기존 통신 기술의 적용 뿐만 아니라, PLC의 특성에 적합한 새로운 기술을 연구 개발하는 것이 중요하다. 따라서 전력선 통신을 위한 핵심 기술 및 문제점, 국내외 기술 개발 동향, 응용 분야, 향후 발전 방향 순서로 기술하고자 한다.

## Ⅱ. 전력선 통신의 핵심기술

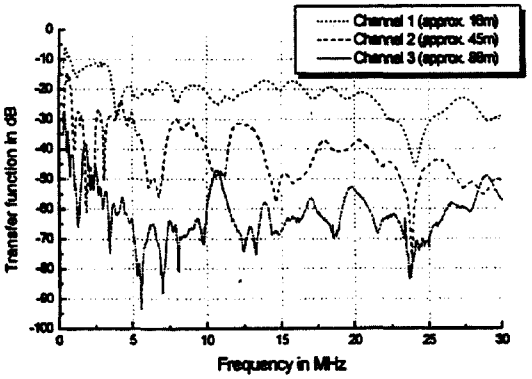
### 1. 채널 특성 및 모델링

PLC는 전력선을 매체로 통신하기 때문에 높은 부하와 잡음 및 간섭 현상, 가변 임피던스와 신호 감쇠 현상 등의 특수한 환경을 극복하고 제한된 전송 전력을 통해 데이터를 전송해야 하는 어려움이 있다. 전력선에서 발생하는 잡음으로는

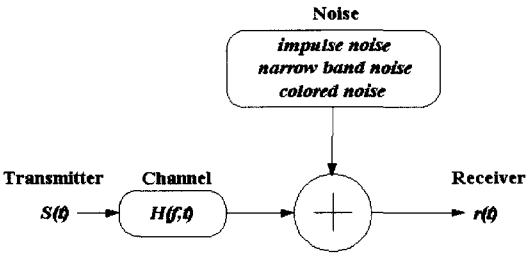
배경 백색 잡음(background white noise), 전력선 기저대역(50 Hz 또는 60 Hz)의 고조파 성분 잡음, 주기성 잡음, 랜덤 임펄스 잡음 등이 있다. 이 중에서 배경 백색 잡음은 전력선 망에 접속되어 있는 범용 모터나 기타 잡음에 의해서 발생하고, 전력선 기저대역의 고조파 성분 잡음은 조명기기의 제광장치(dimmer)에 있는 SCR (Silicon Controlled Rectifier) 등에 의해서 발생한다. 또한 주기성 잡음은 TV나 컴퓨터 모니터 등의 주사 주파수 펄스나 그 고조파 성분에 의해 발생하고, 랜덤 임펄스 잡음은 전력선 망 상에서 높은 주파수에 영향을 미치는 모든 가전기기의 부하 스위칭에 의해 발생한다. 전력선 기저대역의 고조파 성분 잡음과 주기성 잡음은 일정한 주파수 대역에서 높은 전력으로 발생하는 잡음이다. 전력선 통신을 위해서는 열악한 채널 특성을 파악하고 이를 극복하기 위한 변복조, 채널 코딩, 필터링, 프로토콜, 그리고 전력선과 통신 신호를 결합하는 Coupling 기술 등에 대한 연구가 필수적이다.

전력선 망에서는 구조상의 이유 때문에 매칭된 선로와는 다르게 신호가 전파되고, 서로 다른 특성 임피던스를 가지는 선로에 일련의 연결에 의해 수 많은 반사가 발생한다. 신호의 전파는 송신기와 수신기 사이의 직접 경로를 따라 전파되는 신호 뿐만 아니라 임피던스 정합이 되지 않은 선로나 선로에 연결된 부하로 인한 반사파들이 발생하여 간접 경로가 생성되고, 이런 간접 경로를 따라 전파되는 신호도 고려되어야 한다. 이와 같은 전력선 망의 신호 전파에 따른 채널 모델을 다중경로 신호 전파 모델이라 한다. 다중경로 신호 전파 모델에 따른 채널 특성은 주파수 선택적 페이딩이 되는데 그 특성은 시간에 따라 변하고, 송수신단의 거리가 길수록 코히어런스 대역폭이 좁아진다. 〈그림 2〉는 주파수와 거리에 따른 채널의 감쇠 특성을 보여준다[2].

전력선 통신에서 수신된 신호는 필터링된 전송신호와 간섭 신호들(서로 다른 종류의 잡음)의 합으로 모델링 된다[3]. 〈그림 3〉은 일반적인 통신 채널 모델을 나타낸다. 전력선 환경이기 때문




〈그림 2〉 주파수와 거리에 따른 채널의 감쇠 특성



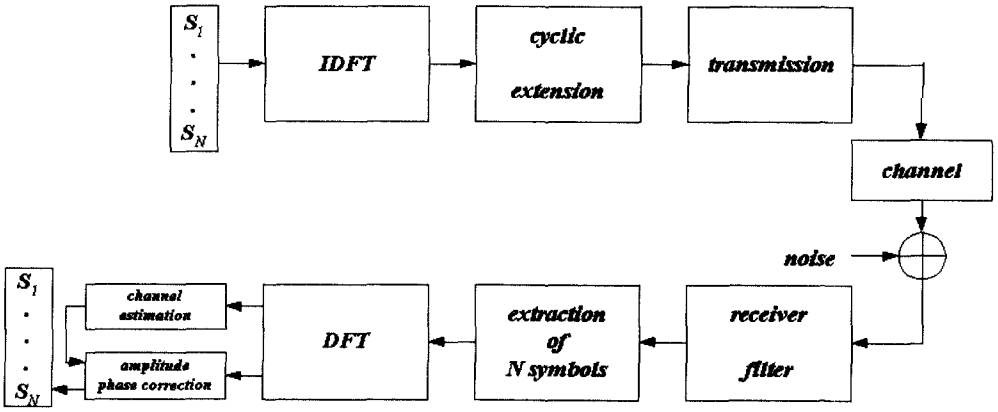

〈그림 3〉 일반적인 통신 채널 모델

에, 채널 특성은 시간과 주파수에 따라 변화할 뿐만 아니라 특정한 전력선 기반 시설에서는 송신기와 수신기의 위치에 종속될 수 있다.

정보 전송 수단으로서 전력선의 기본 설비를 효과적으로 이용하기 위해서는 네트워크 내에서 신호들이 어떻게 전달되는지 이해해야 한다. 이것은 네트워크를 구성하고 있는 케이블의 특성, 네트워크 토폴로지, 그리고 연결된 부하 등과 같은 몇가지 중요한 요소에 의존한다. 케이블과 네트워크의 특성과 모델링에 초점을 맞추어 많은 연구 개발이 진행되고 있다.

## 2. 코딩 및 변조 기술

전력선 채널 상에서의 통신을 위한 코딩과 변조 기술들은 현재(또는 미래)의 규정을 준수하면서 이용가능한 주파수 대역내에서 신호를 이용하여 신뢰성 있는 정보를 전송하는 것을 목표로 한다. 구체적인 기술을 택할 때 고려하여야 할 사항에는 전달함수, 잡음/간섭 특성, 채널의 임펄스




〈그림 4〉 일반적인 OFDM 전송 모델

응답, 채널의 시변정도, 요구되는 비트 전송율과 수신기의 복잡도 등이 있다. 그러므로 우수한 성능을 갖는 PLC 시스템을 설계하기 위해서는 전력선 채널에 적합한 채널 코딩과 변복조 방식이 요구된다[4]. 전력선의 잡음 특성과 감쇠 특성 등에 대비해 사용되는 채널 코딩 방식으로는 Convolution/Viterbi, Reed-Solomin, Optimized FEC, CRC, Carrier chirp, Zero-crossing clocked carrier 등이 존재한다.

모뎀 설계 및 실제적인 테스트는 전력선 통신 시스템 개발에 있어서 매우 중요한 부분이다. 수년에 걸쳐 더욱 진보되고 발전된 기술적 해법들이 제시되었으며, 몇몇 회사들은 상용 제품을 내놓고 있다. 모뎀 개발에 적용된 변조 기법으로는 FSK, SFSK, CSK, OFDM, DS/SS, DMT (Discrete Multi-Tone) 등이 있으며[5,6,7,8], 이 중 OFDM (Orthogonal Frequency Divission Multiplexing) 기법을 간단히 기술하면 다음과 같다.

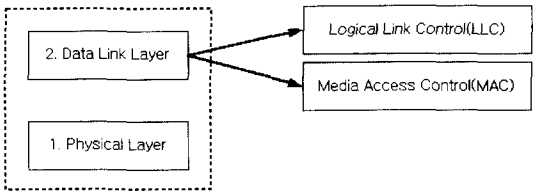
OFDM은 전력선 채널에서 고속의 데이터 전송을 성취하기 위한 좋은 변조 방식이다. 더욱이 OFDM은 디지털 오디오 방송(DAB : Digital Audio Broadcasting)에 대한 표준이고 미국 표준협회(ANSI : American National Standards Institute)는 ADSL에 OFDM 방식을 채택했다. 따라서 구현의 복잡성을 비롯한 PLC의 열악한 채널 환경에 대한 많은 연구 결과가 발표되고 있다. 성능에 영향을 미치는 요인으로는 캐리어 전력 조절, 주파수 선택적 페이딩, 임펄스 노이즈 등이 존재한다. 성능을 저하시키는 또다른 주된 요인은 동일 주파수 대역에 위치한 단·중파이다. 〈그림 4〉는 일반적인 OFDM 전송 모델을 보여준다.

한편 대역확산(DS/SS) 기술은 전송, 확인(identification), 추정과 같은 현대의 정보 기술의 여러 영역에서 우수성을 발휘하고 있다. 특히, 주파수 영역에서의 협대역 잡음 또는 시간 영역에서의 임펄스 잡음을 극복하기 위해 확산 기술이 사용된다. 대역확산 기술은 다이버시티 기법과 결합되어 더욱 효과를 발휘한다. PLC에서 종종 예상되는 간섭문제를 해결하기 위해 대역확산을 통해 광대역에서 매우 낮은 전력 밀도 스펙트럼을 갖게 하며, 다중 사용자 환경에서도 장점을 가진다.

전력선 채널은 가전 제품과 간섭을 일으키지 않게 하기 위해 전력과 주파수 대역이 제한되어 있다. 이것은 DS/SS 통신 시스템의 처리 이득을 제한시킨다. 그러므로 낮은 BER을 얻기 위한 기술 뿐만 아니라 간섭을 완화하기 위한 기술에 대해서도 함께 연구되어야 한다.

## 3. 프로토콜

OSI 데이터 링크 계층은 〈그림 5〉와 같이 LLC (Logical Link Control)과 MAC(Media




〈그림 5〉 데이터 링크 계층 프로토콜

Access Control) 2개의 서브계층으로 구분될 수 있다. LLC는 상위 네트워크 계층에 대한 신뢰성 있는 비트 파이프를 제공하며, MAC 서브계층은 적합한 미디어 논쟁 기법을 제공한다. MAC을 위한 방법으로는 이더넷의 CSCD(Carrier Sense with Collision Detection)과 토큰 링 제어 등이 있다. 선택된 프로토콜의 성능은 물리적 계층 채널의 조건에 좌우되며, 프로토콜은 심사숙고하여 결정해야 한다[9].

1978년 Pico Electronics사가 'X10'이란 전력선 통신 프로토콜을 처음 발표한 이래 전력선이라는 매체를 이용해 가전 기기를 액세스하고 제어하기 위한 통신 프로토콜을 중심으로 PLC 기술 개발이 본격화되기 시작하였다. 유럽의 홈 시스템 컨소시움(www.ehsa.com)은 옥내에서 중앙연산 유닛과 가정용 전기설비간의 통신을 위한 Bus와 통신 프로토콜을 정의했다. EHS 규격-EHS1.3-은 LLC 하위 계층을 공유하고 있는 전력과 정보, 제어 데이터를 전송하기 위한 여러 가지 미디엄 타입을 다루고 있다. 현재 제일 많이 지원되는 미디엄 타입으로는 토폴로지가 불필요한 전력선 캐리어(230 $V_{ac}$+data, 3.4Kbps, CSMA/ack)와 저속 Twisted Pair(15 $V_{DC}$, 48Kbps, CSMA/CA)가 있다.

현재까지 논의되고 있는 프로토콜로는 'X10', 세계적으로 가장 많은 PLC 솔루션을 보유하고 있는 Echelon의 'LONWORKS', 국내 PLC 업체인 플래넷이 주창한 'Z-256'과 EIA가 1992년 발표한 'CE-Bus'와 인텔로직스의 'DPL' 등이 있다. 이 가운데 X10은 전등을 켜거나 끄는 조명 응용 시장의 2/3 정도를 점유하고 있는 프로토콜로, 역사가 오래된 기술이다. X10은 60 bps 정도의 전송 속도를 낼 수 있으며 속도가 느리기 때문에 주로 단말 기기들을 제어하는 용도로 쓰인다. 하지만, 단방향 통신만을 지원하기 때문에 가전기기를 제어할 경우 제어 여부를 확인할 수 없다는 점과 중앙에서 최대로 제어가 가능한 가전기기의 수가 256개에 불과하다는 점이 단점으로 지적되고 있다. 그러나 최근에는 양방향 통신을 지원하는 업그레이드 버전이 출시된 바 있다. 한편 9.6Kbps의 양방향 전송 속도를 지원하는 CE-Bus 프로토콜은 어떤 종류의 기기든 연결하기만 하면 바로 인식할 수 있는 플러그 앤 플레이 기능을 지원한다.

## Ⅲ. PLC 기술 개발의 문제점

### 1. 표준화 작업

전세계적으로 표준화된 기준을 갖는 것은 생산 제품간의 상호 호환성과 적은 생산 비용을 투자하여 대규모의 시장에 뛰어들 수 있는 기회를 준다는 점에서 중요한 문제이다. PLC 기술의 사용 용도에 따라 표준화가 다르게 이루어져 있으며, 크게 저속 PLC 기술과 중고속 PLC 기술로 구분지을 수 있다.

60bps에서 9.6Kbps의 저속 PLC는 이미 기술 사용이 활성화된 제어 부분에 주로 이용되며, 조명기기, 방범기기, 방재기기, 정보가전기기 등 많은 기기가 집안이라는 밀집지역에서 산재해 있다는 것과, 컴퓨터 등 다른 운용 체계 없이 즉시 운용되어야 한다는 것 등 때문에 자체적인 운용 프로토콜을 보유하고 있어야 한다. 저속 PLC 기술에 이용되고 있는 프로토콜은 X10, CE-Bus, Z-256, LON 등이 있으며, CE-Bus 9.6Kbps PLC 기술을 기반으로 MS 윈도우즈 2000 SCP (Simple Control Protocol)을 이용하여 정보가전의 네트워크 상에서 X10 디바이스를 제어할 수 있어야 한다.

홈 네트워크를 위한 중고속 PLC 기술은 주로 미국을 중심으로 표준화 작업이 이루어지고 있

으며, 가정 내 컴퓨터 네트워크와 액세스 네트워크의 연동에 초점이 맞춰져 있다. 미국 내 전력선 통신 표준화 단체인 HPA(Home Plug Alliance)는 Intellon의 10 Mbps PLC 기술을 근간으로 하여 표준화 작업 중에 있다. 홈 네트워크를 위한 중고속 PLC 기술은 저속 PLC용 프로토콜을 지원해야 하는 과제를 안고 있어, Multi protocol MAC(CE-Bus, X10, SCP MAC) 기능이 있는 쪽으로 표준화가 진행될 것으로 예상된다. 액세스 네트워크용 고속 PLC 기술은 고속의 데이터 통신을 목적으로 하고 있어 기존의 통신용 장비 등과의 호환성을 위해 기존의 TCP/IP를 바로 이용함으로써 표준화에 대한 특별한 이슈는 없으나 캐리어 주파수를 어느 대역으로 이용할 것인가에 대한 논의가 진행 중에 있다.

표준화와 상호 호환성 및 관련 기술 개발을 추진하기 위해 현재까지 미국의 홈플러그, 유럽의 PLC 포럼과 ETSI(European Telecommunications Standards Institute), CENELEC (Commit Europeen de Normalization Electrotechnique), 일본의 에코넷 컨소시엄 등 세계 각국에서 지역별로 표준화 단체가 구성되어 있다. 국내에서도 전력선 통신 관련 업체와 기관으로 구성된 PLC 포럼을 중심으로 표준화 활동이 추진되고 있다. 표준화 기구에서는 설계된 시스템이 표준에 맞는가를 검토하고, 주파수 대역, 방사의 문제 및 PLC에 사용될 모뎀 방식의 선택 등을 중요하게 다루고 있다.

## 2. 관계 법령의 정비

전송 속도의 향상을 위해서는 높은 주파수를 사용하여야 하는데, 현행 국내 전파법은 450 KHz 이하의 주파수만을 사용하도록 명시하고 있기 때문에 PLC 개발 업체들이 초고속 인터넷이나 데이터 통신 등 PLC 상용화 기술 개발에 어려움을 겪고 있다. 따라서 저속의 홈 네트워킹 분야뿐만 아니라 고속의 통신을 위해서는 관계 법령을 정비하여 주파수 사용의 제한을 완화시켜야 할 것이다. 전송 속도는 주파수에 비례하기 때문에 현재 450 KHz로 묶어놓은 주파수 규제가 풀릴 경우 20~30 Mbps대의 고속 전송도 가능해질 것으로 내다보고 있다. 이와 관련되어 최근 정보통신부는 이러한 법규상의 문제점을 해결하기 위하여 9~450 KHz로 제한되어 있는 현행 전력선 통신 주파수 대역을 1~30 MHz로 확대할 방침을 밝혔다. 이를 위해 정보통신부 산하 연

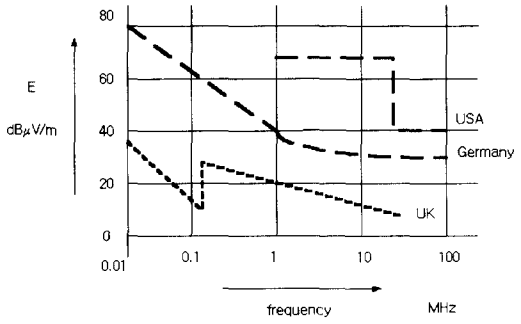
〈표 2〉 외국의 전력선 통신 주파수 정책 현황

| 국가 | 정 책 |
|---|---|
| 독일 | · 30MHz까지 고주파 대역을 허용하는 법령 제정·공표(2001. 3)<br>- 해양경찰, 안전구조용 등 인명 안전과 관련된 전파를 방해하지 않고 라디오 방송 및 아마추어 무선국과 주파수를 공동 이용<br>· NB30의 기술적 조건(3m 거리에서 측정시 약 40 dBμV/m 이하)를 만족하는 경우 사용 가능 |
| 일본 | · 저주파대역(10 KHz~450 KHz)에 대해서는 국내 규제와 거의 유사함<br>- 다만, 속도(1,200 bps 이하) 및 출력(100mW 이하)이 낮은 경우 국내의 경우는 허가를 받아야 하나, 일본에서는 형식등록 만으로도 사용이 가 능함<br>· 고주파대역(450 KHz 이상)에 대해서는 일본도 우리나라와 마찬가지로 허용 여부 등에 대한 검토가 진행중에 있으며, 2002년 6월경에 전파법령 개정 등을 추진할 예정인 것으로 알려지고 있음 |
| 미국 | · 저주파대역(9 KHz~450 KHz)은 전력회사가 검침 등 전력 시스템 감시용으로 사용할 수 있도록 허용<br>· 고주파대역(450 KHz~25 MHz)은 FCC가 규정한 전계강도만을 만족하는 경우 사용이 가능한 상태이고 인텔, 시스코 등이 중심이 된 표준화 단체에서 고주 파 대역 표준화를 추진중에 있음 |
| 유럽 | · 저주파대역(10 KHz~150 KHz)은 유럽전자 기술 표준위원회에서 원격검침용으 로 전력회사 등에서 이용할 수 있도록 허용<br>· 고주파대역(150 KHz~30 MHz) 허용 여부 및 기술기준 제정을 위원회 및 표준 기구에서 검토중에 있음 |

구기관인 전파연구소를 중심으로 연구전담반을 구성하여 국제포럼 연구 결과 및 해외 규격, 기술 기준 분석을 마치고, 각종 자료와 국내 전파환경을 토대로 작성한 시험 기준을 적용하여, 필드테스트를 실시한 후 연구 결과에 따라 전력선 통신용 주파수를 확정할 계획이다. 이미 독일은 지난 3월 전력선 통신용으로 고주파 대역을 허용하는 법령을 공표하였으며, 일본은 내년 6월경 법령을 개정할 것으로 알려져 있으므로, 국내 업체의 해외 진출에 불편함이 없도록 조속한 법 개정이 요구된다. 〈표 2〉는 외국의 PLC 주파수 정책 현황을 요약한 것이다.

### 3. 방사(Radiated emission)

방사는 *'electromagnetically open'* 구조로 인하여 PLC 개발에 있어서 가장 큰 장애 요인이다. 이것은 PLC 시스템이 원치 않는 간섭에 대해서 보호받아야 할 뿐만 아니라 PLC 시스템 자체가 다른 서비스에 영향을 미치지 않도록 방사를 감소 시켜야만 하기 때문이다. 현재 여러 규정들이 존재하며, 〈그림 6〉에 미국, 독일, 영국에서의 방사 규정을 제시한다[10]. 전력선에 의해 흡수된 무선 광대역 신호는 PLC 신호가 사용되었을 때 통신상의 문제를 야기시킬 수 있다. 만약 1 MHz가 넘는 고주파의 협대역 간섭이 너무 강하면 일반적으로 몇가지 counter-action이 요구되며, 이를 위해 유사한 간섭의 발생 및 결과를 예견하고 모델링할 수 있는 방식이 필요하다. 이




〈그림 6〉 미국, 독일, 영국에서의 방사에 대한 전기장의 제한

런 종류의 문제들은 "the other way around"로 알려져 있으며, 만약 PLC 신호의 방사 레벨이 너무 강하면 EMC와 관련된 문제로 말하곤 한다.

## Ⅳ. 국내외 개발 동향

고속 전력선통신의 경우 옥내와 옥외로 구분되는데, 옥내 전력선통신의 경우 현재까지는 미국의 HomePlug에서 채택된 10 Mbps급의 Intellon사 기술이 가장 앞서 있다고 할 수 있지만, 모든 면에서 절대우위를 보이는 것은 아니다. 또한 옥외 전력선통신의 경우 유럽시장이 매우 적극적이며 유럽의 Ascom사가 대외적으로 알려져 있지만, 그들의 전력선통신 기술이 앞서있다고 보기에는 힘들며 지리적, 마케팅 면에서 우위를 보인 것으로 생각된다. 유럽의 경우 전력선이 지중으로 포설되어 있고, 이와 같은 환경은 전력선 통신을 위해 여러측면에서 유리하며 독일의 경우 7월부터 상용서비스를 시작했다. 〈표 3〉은 해외에서 개발되는 전력선 기술의 사양을 해당 회사가 발표한 자료를 토대로 정리한 것이다.

국내의 경우 고압선을 이용한 전송 기술은 한국전기연구원에서 개발을 추진하고 있으며, 중전압과 저전압 기술 개발은 국내 PLC 업체들을 통해 진행되고 있다. 특히 이 가운데 저전압 수준의 액세스 기술 분야가 최근 많은 관심을 끌며, 참여 업체들이 늘고 있다. 젤라인(구 기인텔레콤)은 고속 PLC 기술을 응용한 액세스 분야를 개발하여 최근 전화선을 이용한 모뎀의 통신 속도(56 Kbps급)보다 약 20배 빠른 1~2 Mbps급 필드테스트를 마친 상태로, 올해 말까지 10 Mbps의 전송 속도를 지원할 것으로 발표하였다. 또한 서초구에 구축된 PLC Test Bed와 독일 하노버 CeBIT 전시장을 연결하여 인터넷 가입자 네트워크 통합 시스템을 실제 환경에서 구성하는 테스트를 실시하기도 하였다.

젤라인과 한국전력, 한국전기연구원 등은 산자

〈표 3〉 해외의 전력선 개발 기술 사양(기술 개발 추세)

| 회사 | 국가 | Modulation | Data Rate | | Field Trial | 비 교 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Current(1) | Future(2) | | |
| Ascom | 스위스 | Multichannel | 2.5Mbps | 10Mbps | ○ | RWE와 2001년 7월 서비스 개시 |
| Alcatel | 프랑스 | FSK | 2Mbps | | △ | Medium Voltage 용 |
| Intellon | 미국 | OFDM | | 10Mbps | ○ | HomePlug 통해 500 가구 F/T 실시 |
| Itran | 이스라엘 | DCSK<br>DCSK<br>DCSK | 7Kbps<br>50Kbps<br>2.5Mbps | <br><br>25Mbps | △ | |
| Enikia | 미국 | OFDM | | 10Mbps | × | |
| DS2 | 스페인 | OFDM | | 27Mbps | △ | |
| Inari | 미국 | FSK | 250Kbps | | ○ | 상품명 Passport |
| | | Multichannel | 2Mbps | | ○ | RCA와 계약 |
| | | OFDM | | 10Mbps | | |
| Polytrax | 독일 | OFDM | 155Kbps<br>1.2Mbps | 2.5Mbps | × | |
| Nams | 이스라엘 | | 48Kbps | | × | System integration |
| Power Tec | 독일 | | 100Kbps | 300Kbps | × | System integration |
| Phonex | 미국 | | 34-68Kbps | 10Mbps | × | System integration |
| 三菱 | 일본 | OFDM | 100Kbps | 3Mbps | ○ | |
| 松下 | 일본 | Spread Spectrum | 9.6Kbps | 9.6Kbps | ○ | |

(1) Current data rate : 최대 전송속도
(2) Future data rate : 최대 전송속도로 올해말 혹은 내년도에 개발을 목표로 함

부 중기거점 과제(2000~2004년)를 통해 고속/광대역 PLC 기술 개발을 진행중에 있다. 중기거점 과제에서는 2002년 32Mbps, 2004년 52 Mbps, 그 후에는 100Mbps까지 가능한 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 이미 금년 하반기 개발이 완료된 1~2Mbps급에서부터 시작하여 추후 30Mbps~50Mbps급에 이르는 초고속 전력선 통신 기술을 개발 중에 있다. 또한, 국내 PLC 관련업체들은 본격적인 국내외 시장 공략에 나서고 있는 상황이다. 젤라인의 경우 Europe, Australia, Asia 등에서 현장 테스트를 수행하고 있으며, 특히 가공지선 형태의 전력선을 사용하여 세계 최초로 현장 테스트를 성공적으로 수행하였다. 국내의 전력선 통신 관련 법규가 450KHz 이하의 대역에서 30MHz로의 완화를 검토하고 있고, 전력선 통신의 설치 및 사용의 편리성을 고려할 때 하나의 광대역 전송수단이 될 것으로 예상된다. 그리고, 피엘콤도 최근 주파수 대역과 상관없이 10Mbps의 속도로 데이터 전송이 가능한 PLC 칩을 개발, 성능 테스트를 마치고 본격적인 시장 진출을 하였으며, 또한 콘트롤디바이스는 최근 자체 개발한 세계 최소형 크기의 PLC 칩과 모뎀에 대한 국내외 업체들의 샘플 테스트를 마치고 본격적인 시장 진출을 모색하고 있다고 발표하였다. 또한 네트워크 장비 업체인 넷링스 역시 OFDM 기술을 적용한 14Mbps급 PLC 모

뎀을 개발하였고, 전력선 게이트웨이 기능을 가진 전용 외장형 모뎀과 25 Mbps급 제품을 연말까지 개발한다는 계획을 언론매체에 발표한 바 있다.

## V. 응용 분야 및 발전 방향

PLC의 응용분야로는 PC, TV 등 가전기기 간의 홈 네트워킹 관련 분야와 초고속 인터넷 가입자망 구축(1~10 Mbps), 그리고, 전기, 가스, 수도 등의 원격 검침 분야 등으로 구분할 수 있다.

먼저 홈 네트워킹 기술은 크게 유선과 무선으로 나뉜다. 업계에서는 블루투스로 대표되는 무선 홈 네트워킹 시장과 전력선·홈 PNA 등 유선 홈 네트워킹 시장이 각각 발전하면서 결국에서는 통합될 것으로 내다보고 있다. 전력선 통신이나 홈 PNA, 블루투스는 주파수 대역폭이나 기술적 특성이 각기 다르기 때문에 동일한 기준으로 우열을 가리기는 어렵다. 다만 시장의 요구를 누가 가장 먼저, 그리고 저렴하게 제공하느냐에 성패가 달렸다.

전력선 통신은 통신 인프라가 취약한 지역에서의 차세대 인터넷 통신의 대안으로 제시되고 있다. 기존 통신시장에서 PLC는 다른 통신 기술의 보완 기술로서 경제성과 편이성을 바탕으로 경쟁력을 확대시킬 수 있으므로, 초고속 인터넷 가입자망 서비스의 보다 빠른 확산에 기여할 수 있다. 전력선 통신은 인터넷 가입자망 서비스에 국한되지 않고, 인터넷과 정보가전의 결합을 가능하게 해준다는 점에서 정보통신 시장에 새로운 패러다임이 될 것이다. 〈표 4〉는 차세대 인터넷 통신 기술들을 비교한 것이다.

1세대 1PC에서 1인 1PC로 PC 보급의 확대 및 가전제품의 인터넷 연동 등 홈 네트워크 시장이 성장할 수 있는 기반이 조성되어 가고 있는 시점에서 경제성·편의성이 있는 PLC는 경쟁력이 있을 것으로 예상되고, 저속 데이터 통신이 주류인 전기, 가스, 수도 등의 원격검침 시장에서도 PLC는 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 전망된다. 그러나, 이미 국내의 ADSL, CATV 등 초고속가입자망 시장이 600만 가입자를 넘어선 시점에서 2002년 이후에나 상용화가 가능한 PLC가 국내의 초고속가입자망 시장에서 경쟁력을 확

〈표 4〉 차세대 인터넷 통신 기술들의 비교

| 기술 | 속도 | 전화 음성 | 장 점 | 단 점 |
|---|---|---|---|---|
| ADSL | 상향 2 Mbps 하향 8 Mbps | ○ | · 고속지원<br>· 선진국에서는 전화선 보급률이 높음<br>· 선이 공유되지 않아 보안성이 좋음 | · 통신 인프라의 질이 좋아야함<br>· ATM 디지털 장비 설치 필요<br>· 고객과 전화국 사이의 거리 제한<br>· 인프라 미비로 높은 구축 비용 |
| CATV | 10 Mbps | × | · 기존 CATV망 사용<br>· 단말장치가 저렴<br>· 설치가 간편 | · Shared media로 가입자/이용자의 수에 따라 속도 급격히 저하<br>· CATV망이 없는 경우 선로공사 필요<br>· 보안성이 낮음 |
| PLC | 2~8 Mbps | 가능 | · 전력선은 보편적으로 보급돼 있음<br>· 기설된 전력선의 이용 : 저렴한 설치비용<br>· 설치가 쉽고, 고속 지원<br>· 홈 네트워킹 시장 지원<br>· 전력망 관리, 정보가전 등 다양한 응용시장 | · 열악한 통신채널 : 잡음, 부하 등 극복 과제<br>· 통신법 규제 |
| Fixed Radio | 8 Mbps | ○ | · 선을 따로 설치할 필요가 없음 | · 전파 법규 제약<br>· 전파 수신기에 시야 확보 필요 |

보하기는 쉽지 않을 것으로 예상된다. 하지만, 전력선 통신은 기술 발전과 더불어 활용 분야의 확대가 예상된다.

우선 인터넷 가입자망 솔루션은 1Mbps급 이상의 초고속 인터넷 접속망 시장이 폭발적으로 확대되면서 일반 전화 모뎀이 사양화되고 있는 현상이 빠르게 나타나고 있다. PLC를 활용한 고속 인터넷 접속 서비스가 개발된다면 일반 가정에서도 회사에서 사용하는 전용선보다 훨씬 빠른 전용선을 사용할 수 있게 될 것이다. 또한 10 Mbps급 이더넷과 필적할 만한 속도를 내기 위한 시도가 이루어지고 있는 가정용 PC간 홈 네트워킹 역시 PLC의 활용을 통해 가능하게 될 것이고, 가전 제품들의 컨트롤에 PLC를 적용하고 인터넷으로 확장시켜, 외부에서 인터넷망을 이용한 가전제품을 통제하게 될 것이다. 그리고, 이미 많은 나라에서 도입, 사용하고 있는 원격 검침 등의 기술도 더욱 발전하게 될 것이다. 〈표 5〉는 전력 제어 분야의 PLC 응용를 나타낸다.

하지만, PLC 시장과 업체들의 사업 확장에 맞물려 함께 나타나는 문제점이 몇가지 존재한다. 현재 실용가능한 데이터의 전송속도는 1~2 Mbps이고, 전송거리는 수백 m밖에 되지 않아 홈 네트워킹에 한정된 솔루션으로 인식되고 있다는 것과 전력선 통신이 변압기를 거쳐 갈 때 해결해야 할 문제점 등이다. 그 중 가장 큰 문제점은 각 업체마다 자사의 기술을 보유하고 있어 표준화의 어려움이 있다는 점이다. 올해 초 산업자원부는 PLC의 표준화, 정보 교류 등을 목적으로 한 포럼 구성을 지속적으로 추진해 왔으나, 아직까지는 그 뚜렷한 결과물을 보이지 못하고 있다. 이런 국내 상황을 심각히 봐야 하는 이유는 미국에서 구성된 PLC 포럼과 유럽의 포럼들이 국제 표준에 대한 주도권을 잡게 되면 모든 솔루션과 장비들이 그 표준에 맞게 생산되고 진행될 것이기 때문이다. 오는 2004년을 목표로 10Mbps급 고속 전력선 통신기술 개발을 목표로 하고 있는 산업자원부는 PLC 산업표준을 민간 자율로 만들어가는 것이 바람직하다고 말하고 있다.

〈표 5〉 전력 제어 분야의 PLC 응용

| 운영 관련 서비스 | 사용자 관련 서비스 |
|---|---|
| · 정전 감지 및 제어<br>· 원격 전환<br>· 전력 품질 모니터링과 관리<br>· 멀티-전력 제어<br>· 원격 검침<br>· 보안 관리 | · 통합 청구서<br>· 마케팅 정보 방송<br>· 부하 제어<br>· 네트워크 가전<br>· 전력 사용 관리<br>· 인터넷 서비스 |

근래에 들어 전력선 통신이 빠른 속도로 발전하고 있다는 것은 의심할 여지가 없다. 그리고, 앞으로 전력선 통신의 발전 범위는 우리가 예측하기 힘들 것이다. 하지만, 확실하게 인식되는 것은, 이러한 기술의 진보는 통신 사용자와 서비스 공급자의 더 많은 필요성에 의해 추진되어진다는 것이다.

## 참 고 문 헌


〔1〕 H. C. Ferreira, H. M. Grove, O. Hooijen, and A. J. Han Vinck, "Power Line Communications : Overview," IEEE 4th AFRICON'96, Stellenbosch, vol. 2, pp. 558~563, Sept. 1996.

〔2〕 H. Philipps, "Development of a Statistical Model for Powerline Communication Channel," ISPLC2000, pp. 153~160, April 2000.

〔3〕 M. Zimmermann and K. Dostert, "A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range," ISPLC'99, pp. 45~51, March 1999.

〔4〕 A. J. Han Vinck and Jrgen Hring, "Coding and Modulation for Power-Line Communications", ISPLC2000, pp. 265~272, April 2000.

〔5〕 Sang-Jun Lee, Min-Gul Kim, Jung-Hun Oh, Ki-Doo Kim, Gi-Won Lee,

"On the Digital Design with FPGA for Power Line Voice-Modem Using the MC DS-CDMA," ISPLC2001, pp. 211~218, Sweden, April 2001.

〔6〕 D. Raphaeli and E. Bassin, "A Comparison between OFDM, Single Carrier and Spread Spectrum for High Data Rate PLC," ISPLC'99, March 1999, pp. 162~167.

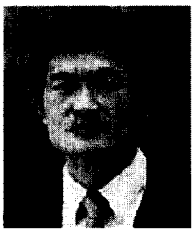
〔7〕 Su-Nam Kim, Ki-Doo Kim, "A Study on Implementation of Power Line Modem for Remote Control with CSK Method," CEIC2001, Nov. 2001.

〔8〕 Dan Raphaeli, "Spread Spectrum Communication System Utilizing Differential Code Shift Keying," United States Patent Number 6,064,695, May 2000.

〔9〕 M. Mufti, J. Yazdani, P. Brown, B. Honary, "Data Link Layer Protocol for a Powerline Local Area Network," ISPLC2001, pp. 105~108, April 2001.

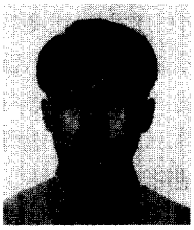
〔10〕 Klaus Dostert, "New PLC Approaches for High Speed Indoor Digital Network," ISPLC2001, pp. 253~258, April 2001.

## 저 자 소 개



**金 基 斗**

1957년 12월 17일생, 1980년 2월 서강대학교 전자공학과 학사, 1988년 8월 Pennsylvania State Univ., Electrical Eng., M. S., 1990년 12월 Pennsylvania State Univ., Electrical Eng., Ph. D., 1980년 3월~1985년 12월 : 국방과학연구소, 연구원 1998년 2월~1999년 2월 : UCSD, USA, 연구교수 1991년 3월~현재 국민대학교 전자공학부, 교수, 〈주관심 분야 : 디지털 통신, 디지털 신호처리〉



**李 鍾 成**

1975년 1월 5일생, 2000년 2월 국민대학교 전자공학과 학사, 2000년 3월~현재 : 국민대학교 전자공학과, 석사과정 재학중, 〈주관심 분야 : 디지털 통신, 디지털 신호처리〉