

## 전화선 통신 시스템의 전송특성 및 채널용량에 관한 연구

노재성\* 장태화\*\*

### 요약

디지털 통신 네트워크 기술의 발전에서 인터넷 기술과 스마트 홈 가전기기의 확산은 고속/고품질 홈 네트워크에 대한 필요성을 증가시키고 있다. 홈 네트워크에서 가전기와 컴퓨팅 기기가 증가함에 따라 홈 네트워크의 데이터 트래픽은 증가할 것이 명백하다. 다양한 홈 네트워크 기기는 멀티미디어 콘텐츠를 얻기 위하여 인터넷 서버에 접속하길 원한다. 따라서 본 논문에서는 가정내에서 이더넷이나 유무선 기술을 사용하기 위해 네트워크에 연결된 디지털 가전기기를 위한 TLC(Telephone Line Carrier) 시스템을 소개한다. 미래의 홈 네트워크 환경에서 TLC 기반의 스마트 홈 네트워크의 주된 목적은 저가격, 쉬운 설치, 고성능, 넓은 영역을 만드는 것이다. 본 논문에서는 스마트 홈 네트워크를 위한 전화선로 통신시스템의 채널용량을 송신전력, OFDM 반송파의 수, 채널손실, 잡음손실에 따라서 정량적으로 비교, 분석하였다.

## A Study on the Transmission Characteristics and Channel Capacity of Telephone Line Communication System

Jae-Sung Roh\*, Tae-Hwa Chang\*\*

### Abstract

The advances in the digital communication and network technology, Internet technology and the proliferation of smart appliances in home, have dramatically increased the need for a high speed/high quality home network. As consumer electronic devices and computing devices are increasing in the home network, it is obvious that the data traffic of home network increases as well. Various home network devices want to access Internet servers to get multimedia contents. Therefore, we introduce TLC(Telephone Line Carrier) system for networked digital consumer electronic appliances within a house using Ethernet or wire/wireless technology. In the future home network environment, the primary purposes of the smart home network based TLC are to create low-cost, easily deployable, high performance, and wide coverage throughout the home. In this paper, the channel capacity of telephone line communication system is evaluated and compared as a function of transmission power, number of OFDM carrier, channel loss, and noise loss for smart home network.

Keywords : TLC, OFDM, Channel Capacity, Home Network

### 1. 서론

2000년대 이후 정보통신 분야의 기술 고도화, 정보통신 이용자의 욕구 다양화 그리고 다양한 유무선 통신서비스의 도입으로 통신시장은 급격하게 변화하고 있다. 최근 들어 2대 이상의 PC(Personal Computer)를 보유하는 가정의 증가와 맥내 가전기기의 디지털화 등이 가속화 됨에 따라 가정에서의 PC간 파일교환 및 공유, 프린터, 스캐너 등 주변기기의 공유, 인터넷 연결의 공유, 디지털 카메라, IPTV(Internet Protocol Television), 디지털방송 등과 같은 디지털 가전과의 접속 등에 대한 요구가 증대되고 있다. 홈 네트워크는 이러한 요구를 충족시키기 위한 방법이며, 이를 구

※ 제일저자(First Author) : 노재성  
접수일:2009년 03월 17일, 완료일:2009년 06월 02일  
\* 서일대학 정보통신과  
jsroh@seoil.ac.kr  
\*\* (주)메티스커뮤니케이션  
■본 논문은 지식경제부 및 한국정보통신기술협회의 정보통신표준화사업의 일환으로 수행하였음 [과제번호 : 2008-P1-36A-08K12]

축하는 기술로는 Home PNA(Home Phoneline Network Alliance), 전력선 통신 PLC(Power Line Communications), IEEE 1394, Home RF(Home RadioFrequency), Bluetooth 등이 있다. 국내의 업계에서는 블루투스로 대표되는 무선 홈네트워킹 시장과 전력선통신, Home PNA 등 유선 홈네트워킹 시장이 각각 발전하면서 중국에는 통합될 것으로 내다보고 있다. 따라서 홈네트워킹의 주도권을 잡게 될 기술이 무엇인지에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 지금까지 표준 완성도나 상용가능성 등을 고려할 때 가장 가능성이 높은 기술로는 전력선통신, 홈 PNA, 그리고 무선기술인 지그비(Zigbee) 및 블루투스를 꼽을 수 있다 [1]-[4].

현재는 무선통신 및 데이터 통신시장이 매년 큰 폭으로 성장하고 있으며, 향후에는 무선에서 데이터를 주고받는 무선데이터 통신이 주요 통신서비스로 부상하게 될 것이다. 특히 무선 데이터통신은 최근 급부상하고 있는 새로운 근무형태인 Mobile-office 실현에 가장 적합한 통신서비스로서 향후 재택근무, 자유시간제 근무 등 새로운 개념의 근무형태를 가능케 할 것이다 [5]-[8].

IPTV 및 VoIP(Voice over IP) 서비스 도입 등에 따라 가정 내에 IP를 기반으로 하는 장치가 증가하고 이를 효율적으로 연결하기 위해서 통신사업자는 전력선통신, Home PNA, 무선랜 등을 신중하게 검토하고 있으며 이중 일부의 기술을 도입하고 있다. 가정 내에 이미 배선된 전화선을 이용하여 홈 네트워크를 구성하는 방식은 전력선 통신에 비해서 가격이 저렴하고, 전원을 이용하는 다른 기기에 대한 영향이 적으므로 이에 대한 검토가 적극적으로 진행되고 있다. 이러한 검토가 진행되면서 Home PNA가 전화선을 이용한 홈 네트워크의 가장 확실한 방안으로 떠올랐으나, 국내 기술 자립도가 낮다는 측면이 통신사업자 사이에서 우려가 되었다. 이러한 우려를 해소하기 위해서 국내에서는 독자적인 홈네트워크 기술을 개발하게 되었고 이러한 노력의 결과가 전화선로 반송과 통신 (TLC: Telephone Line Carrier) 기술이다.

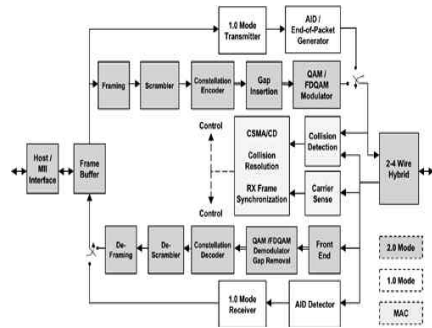
본 논문에서는 전화선 통신 시스템 기반의 전송특성 및 채널용량을 분석하고 송신전력, 채널대역폭, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 채널의 수, 채널 손실, 가정내 배선손실 등의 파라미터에 따른 영향을 정량적으로 평가한다.

## 2. 전화선/전력선 통신 시스템 기반의 홈 네트워크

### 2.1 Home PNA 기술

홈 네트워크는 일반가정의 디지털TV, PC 및 주변기기, 정보기기, 디지털 가전기기 등을 단일 프로토콜로 제어해 가정내 각종 디지털 기기간에 정보전달과 정보공유를 자유롭게 한다는 개념이다. 홈 네트워크의 구축기술에서는 전력선 통신, IEEE1394, 블루투스, 무선적외선통신(IrDA), 홈 RF 등 다양한 유무선통신 기술이 개발돼 치열한 선점경쟁을 벌이고 있지만 뚜렷한 주도세가 형성되지 못하고 있는 상황이다. 그러나 국내업체는 물론 전세계 PC 관련업체들이 최근 들어 Home PNA 기술을 대거 채택할 예정으로 있다 [5]-[7].

Home PNA 기술의 기능 측면에서는 가정에서 전화선을 이용하여 2대 이상의 컴퓨터 자원들을 서로 공유할 수 있도록 하는 전화선로 네트워크 솔루션으로 인터넷 사용은 전화 선로가 하나일 경우 전화와 동시에 사용할 수 없지만 케이블모뎀이나 전용선을 이용하면 사용이 가능하다. 또한, 네트워크에 연결된 각 컴퓨터의 하드디스크, CD-ROM, 프린터 등의 자원을 서로 공유할수 있다. 현대 컴퓨터의 인터넷 연결만으로 네트워크의 모든 컴퓨터가 인터넷을 통한 공유가 가능하며 동시에 전화통화 또한 가능하다. (그림 1)에서는 Home PNA 시스템의 기능 블럭도를 나타낸다.



(그림 1) Home PNA 시스템의 기능 블럭도

### 2.2 PLC 기술

전력선통신은 통신을 위한 별도의 케이블 설치 없이 기존 전력선을 통신망으로 활용하는 기술이다. 전력선통신은 집안으로 50~60 Hz 주파수의 교류전기를 공급하는 전력선에 수백 kHz에서 수십 MHz의 고주파 통신신호를 함께 보내 전용 접속장비로 이 통신신호만을 수신해 통신을 하게 된다. 이 기술은 많은 비용이 드는 전용선이나 기간망을 설치할 필요없이 콘센트에

접속함으로써 인터넷 접속 등의 외부 네트워크이나 홈 LAN 등 근거리 통신 네트워크를 이용할 수 있다는 점에서 편리하고 경제적이다. 하지만 전력선통신은 제한된 전송전력, 높은 부하간섭과 잡음 등이 아직 해결해야 할 난제로 남아있다. 짧은 전송거리와 저속의 전송속도 또한 한계로 지적되고 있다. 품질보다는 상용화될 경우 보급률이 높다는 게 전력선통신의 강점으로 홈 네트워크 분야에서 전력선통신은 초고속통신용보다는 간단한 데이터전송이나 기본적인 통신만을 제공하게 될 백색가전에서 주로 사용될 전망이다 [1]-[3].

### 2.3 TLC 기술

최근 유비쿼터스가 곳곳에 적용되고 가정 내에 네트워크 기기가 증가함에 따라서 다양한 방식의 홈 네트워크 방식이 도입되고 있다. 홈 네트워크 방식에는 유선 방식과 무선 방식이 있으며, 유선 홈 네트워크 방식에는 전력선 통신, Home PNA 등이 있고, 무선 홈 네트워크 방식에는 무선랜이 대표적이라고 할 수 있다. 전력선 통신은 전력선을 통하여 100 Mbps 이상의 데이터를 전송하는 방식이며, Home PNA는 기존의 전화선을 이용하여 데이터를 전송하는 방식이다. TLC 기술은 전화선을 통하여 수십 Mbps의 데이터를 전송할 수 있으며, 1번에 최소 7개에서 최대 255개까지의 네트워크 장비가 동시에 접속할 수 있다. 또한 TLC 기술은 국내 기술로 개발되었기 때문에 해외 로열티 지급의 부담도 경감할 수 있다. 표 1에서는 전화선 기반 솔루션인 Home PNA와 TLC의 기술 규격을 비교하고 있다.

<표 1> 전화선 기반 솔루션 기술 규격 비교

기술	Home PNA	TLC
변조 방식	DMT	OFDM
사용 주파수 대역	4 ~ 52 MHz	4 ~ 22 MHz
전송 거리	200 m	30 ~ 50 m
최대 전송 속도	100 Mbps	70 ~ 80 Mbps
동시 접속 노드 수	7개	7개
출력 전력	0 dBm 이상	-40 ~ -65 dBm

TLC 기술은 홈 네트워크를 위해 별도의 배선공사

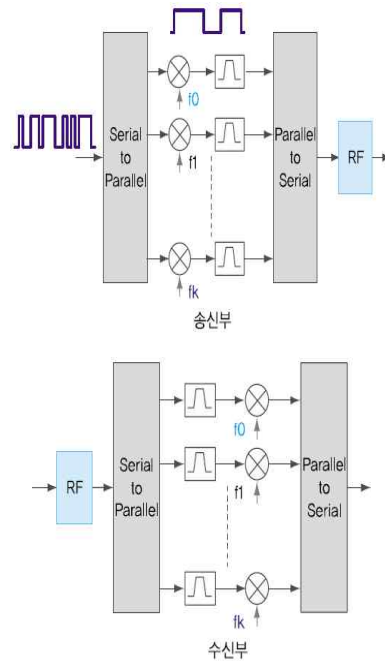
비용이 거의 들지 않는다는 장점이 있으므로 투자자들과 관련 사업자들의 관심을 끌기에 충분하며 홈 네트워크 시대에 전화선을 이용한 가장 강력한 솔루션으로 부상하고 있다.

TLC 전송기술에서 사용하고 있는 OFDM 신호는 다음과 같다 [8]-[10].

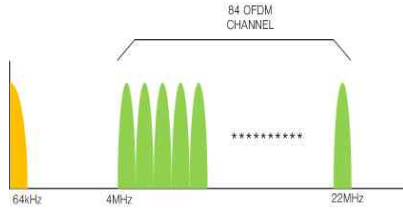
$$S(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi \frac{k}{T} t} \tag{1}$$

여기서,  $N$ 은 반송파의 수,  $T$ 는 서브 채널 신호간격,  $c_k$ 는 서브 반송파  $k$ 에서의 심볼을 나타낸다.

OFDM 전송의 원리는 고속의 데이터를 저속의 데이터로 쪼개어 병렬 전송하고 수신측에서는 수신된 병렬 저속 데이터들을 합쳐서 고속의 직렬 데이터로 복원하면 된다. 각기 다른 주파수로 병렬 전송되는 저속의 데이터들은 심볼의 폭(즉, 심볼 주기)이 크기 때문에 다중반사파에 의한 영향에서 상당히 자유로워지게 된다. (그림 2)와 (그림 3)에서는 OFDM 송수신 구조와 OFDM 전송방식을 사용한 TLC 주파수 대역 및 채널 스펙트럼을 나타낸다.



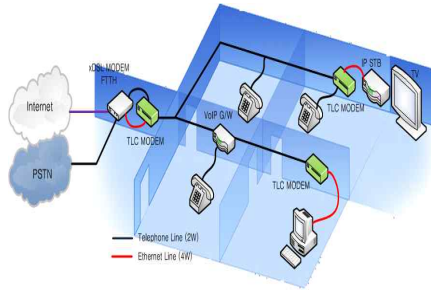
(그림 2) OFDM 송신/수신기 구조



(그림 3) TLC 주파수 대역 및 채널 스펙트럼

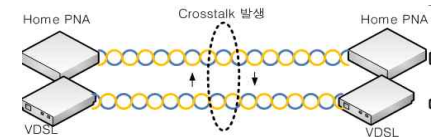
TLC 기술과 경쟁하는 기술은 Home PNA 3.0 기술이다. Home PNA 3.0 기술 역시 전화선을 통하여 100 Mbps 이상의 데이터를 전송하며, 변조 방식은 DMT(Discrete Multi-Tone) 및 OFDM을 이용하고 있다. Home PNA 3.0은 4 MHz에서 52 MHz의 대역을 이용하고 있으며 100 Mbps 이상의 데이터를 전송하기 위해서는 12 ~ 52MHz의 대역을 이용하여야 한다.

(그림 4)는 TLC를 이용한 홈 네트워크 구성의 예를 나타낸다.

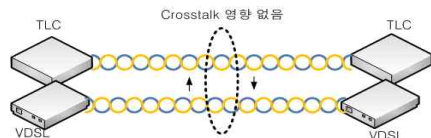


(그림 4) TLC 기술을 이용한 홈 네트워크 구성

(그림 5)는 사용대역이 중복됨에 따라서 Home PNA와 VDSL 사이의 상호 간섭 Crosstalk이 발생함을 나타내며 (그림 6)은 TLC와 VDSL(Very high-data rate Digital Subscriber Line) 사이에는 상호 간섭 Crosstalk이 존재하지 않음을 나타내고 있다.

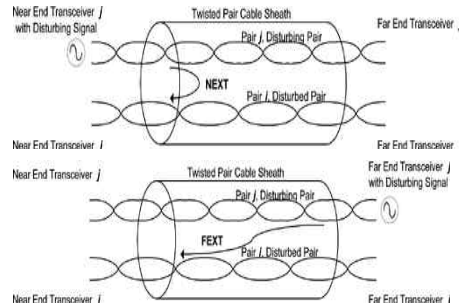


(그림 5) Home PNA와 VDSL의 상호 간섭



(그림 6) TLC와 VDSL의 상호 간섭

(그림 7)은 Crosstalk의 2종류인 NEXT(Near End Crosstalk)와 FEXT(Far End Crosstalk) 발생을 그림으로 나타내고 있다.



(그림 7) NEXT와 FEXT Crosstalk 원리

TLC 기술은 전화선을 통하여 수십 Mbps의 데이터 전송이 가능하며 다수의 네트워크 장비가 동시에 접속할 수 있다. 국내 기술로 개발된 TLC 방식은 홈 네트워크를 위해 별도의 배선공사 비용이 거의 들지 않는다는 장점이 있으므로 투자자들과 관련 사업자들의 관심을 끌기에 충분하며 홈 네트워크 시대에 전환을 이용한 가장 강력한 솔루션으로 부상하고 있다. 현재 개발중인 저속 및 고속 TLC 기술 규격은 다음과 같다.

<표 2> 저속 및 고속 TLC 기술 규격

기술	저속 TLC	고속 TLC
변조 방식	OFDM	OFDM
사용 주파수 대역	4 ~ 22 MHz	4 ~ 22 MHz
Sub-carrier	84개	512개
전송 거리	30 ~ 50 m	30 ~ 50 m
최대 전송 속도	20 Mbps	70 Mbps
동시 접속 노드 수	7개	7개
출력 전력	-40 ~ -65 dBm	-40 ~ -65 dBm
음성 접속 손실	-0.7 dBm at 1004 Hz	-0.7 dBm at 1004 Hz
음성 대역 손실	-4.0 dBm 이하	-4.0 dBm 이하
잡음 내량 (0dBm@1004Hz)	71 dB	71 dB
입출력 임피던스	600 ohm	600 ohm
Ring Pulse	적합	적합
DC current Loop	적합	적합
Ring/Tip	적합	적합

### 3. 전화선 통신 시스템의 채널용량

#### 3.1 채널용량

홈 네트워크 채널을 통해 데이터를 전송하는 경우 전송로가 수용할 수 있는 정보율에는 한계가 있으며 이를 채널용량이라고 한다. 만약 전송로가 감당할 수 있는 이상으로 정보율을 높이게 되면 전송 도중 비트 오류가 일어날 확률이 높아지게 되며 채널용량은 감소하게 된다.

전화선 통신 시스템 기반의 홈 네트워크 구축 환경에서 수신 신호대 잡음 전력비(SNR:Signal-to-Noise Ratio)과 채널대역폭(B)에 따른 채널용량은 다음과 같다.

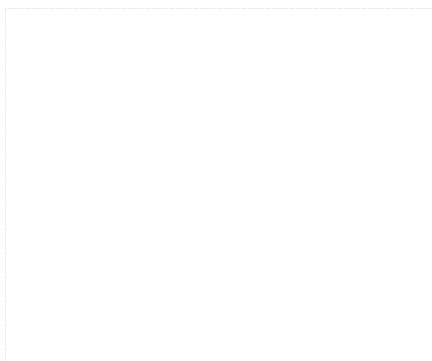
$$C_{TLC} = B \cdot \log_2(1 + SNR) \quad (2)$$

$$SNR = P_{tx} - L_{ch} - N_{floor} \quad (3)$$

위 식에서  $P_{tx}$ 는 송신 전력,  $L_{ch}$ 는 채널손실,  $N_{floor}$ 는 잡음손실을 나타낸다.

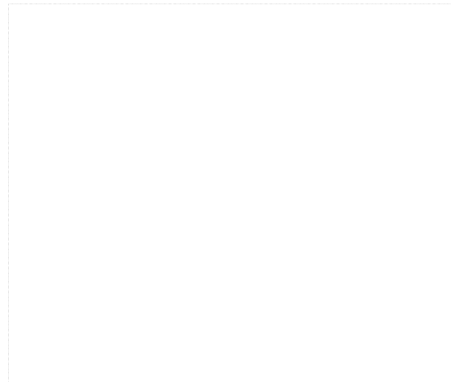
(그림 8)은 OFDM 채널수=8, 유선환경 잡음손실=-140 dBm/Hz인 환경에서 채널손실에 따른 TLC 시스템의 채널용량을 나타낸다. 송신전력이 -65 dBm에서 -40 dBm로 증가함에 따라 TLC 시스템의 채널용량은 증가하며 채널손실이 증가할수록 채널용량은 감소함을 알 수 있다. TLC 시스템의 송신전력이 -40 dBm인 경우에는 채널손실에 따라서 38 Mbps에서 50 Mbps까지 채널용량을 얻을 수 있었다.

(그림 9)는 OFDM 채널수=8, 채널손실=10 dB인 환경에서 유선환경 잡음손실에 따른 TLC 시스템의 채널용량을 나타낸다. 유선환경 잡음손실이 -140 dBm/Hz에서 -100 dBm/Hz로 증가함에 따라 TLC 시스템의 채널용량은 감소함을 알 수 있다.



(그림 8) 채널손실에 따른 TLC 시스템의 채널용량

(OFDM 채널수=8, 유선환경 잡음손실=-140 dBm/Hz)



(그림 9) 유선환경 잡음손실에 따른 TLC 시스템의 채널용량 (OFDM 채널수=8, 채널손실=10 dB)

### 4. 결론

최근 유비쿼터스가 곳곳에 적용되고 가정 내에 네트워크 기기가 증가함에 따라서 다양한 방식의 홈 네트워크 방식이 도입되고 있다. 홈 네트워크 채널을 통해 데이터를 전송하는 경우 전송로가 수용할 수 있는 최대의 정보율을 채널용량이라고 하며 전송로가 감당할 수 있는 이상으로 정보율이 높아지면 전송 도중 비트오류가 일어나 채널용량은 감소하게 된다. 본 논문에서는 전화선 통신 시스템 기반의 홈 네트워크 구축 환경에서 수신 신호대 잡음 전력비, 채널대역폭, OFDM 채널수, 유선환경 잡음손실, 채널손실, 송신전력에 따른 TLC 시스템의 채널용량을 분석하였다. 송신전력이 -65 dBm에서 -40 dBm로 증가함에 따라 TLC 시스템의 채널용량은 증가하였으며 채널손실이 증가할수록 채널용량은 감소함을 알 수 있었다. 그리고 유선환경 잡음손실이 -140 dBm/Hz에서 -100 dBm/Hz로 증가함에 따라 TLC 시스템의 채널용량은 감소함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

[1] 표철식 외 7인, 흔히 보이는 RFID/USN, 전자신문사, 2008.  
 [2] 한중수, 배성수, 김경목, 유비쿼터스 기술, 세화, 2005.  
 [3] B. Rose, "Home Networks: A Standards Perspective," IEEE Commun. Mag., Dec. 2001.  
 [4] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technolog

ies, McGraw-Hill, 1999.

[5] W. Y. Chen, Home Networking Basis, Prentice Hall, 2003.

[6] HomePNA, "Interface specification for HomePNA 2.0 6 10M8 technology," Mar. 2000.

[7] International Telecommunication Union, ITU-T, G.989.2, "Phone line networking transceivers - payload format and line link layer requirements," Nov. 2001.

[8] D. Ginsburg, Implementing ADSL, Reading, MA: Addison-Wesley, 1999.

[9] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communications Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.

[10] R. Prasad, Universal wireless personal communications, Artech House Publishers, 1998.



### 노재성

1990년 : 한국항공대학교 정보통신  
공학과 (공학사)

1992년 : 한국항공대학교 정보통신  
공학과 (공학석사)

2000년 : 한국항공대학교 정보통신  
공학과 (공학박사)

2000년~현재 : 서일대학 정보통신과 부교수

관심분야 : 모바일 임베디드, 휴대인터넷, 멀티미디어  
콘텐츠, USN/RFID 통신시스템

### 장태화



2001년 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)

2003년~현재 : (주)메티스커뮤니케이션 대표

관심분야 : 디지털 중계기, 휴대인터넷, 이동통신시스템