

主 題

# HFC CATV 망의 전송 및 데이터 통신

황 승 오, 박 종 현, 박 승 권

## 차 례

- I. 서론
- II. Cable TV망의 구조
- III. 전송방식 및 특성
- IV. 매체 접속 제어(Medium Access Control)
- V. 표준화작업
- VI. 결론

## 요 약

본 논문에서는 현재 초고속정보통신망의 하부 가입자망으로 제시되고 있는 HFC CATV망, ADSL, B-WLL 중에서 현실적으로 우리 나라에 가장 타당한 방식으로 떠오르고 있는 HFC CATV 망에 대하여 소개하였다. 다른 망에 비해 HFC CATV망이 갖는 장점은 기존의 가입자망(PSTN)보다 훨씬 넓은 양방향 대역폭을 갖고 있으며, 이미 가입자단까지 포설이 되어 있어 초기 투자비용이 적다는 것이다. 또한 본 논문에서는 HFC CATV망의 구조와 채널 환경의 문제점과 해결책, 데이터 전송방법, 매체접속 제어, IEEE 802.14, MCNS 등의 표준화 동향, 국내외 CATV망을 사용한 부가통신 서비스 동향 등을 살펴보았다. 그리고 기간망과 가입자망으로서 HFC CATV망과의 연동, 국내 HFC CATV망을 이용한 디지털 신호 전송능력 평가를 자세히 소개하였다. 이 전송능력 평가에서 셀당 500 가입자 정도로 셀 재분할이 이

루어진다면 유입잡음이 줄어들게 되어 다양한 부가서비스의 QoS를 만족시킬 수 있다는 것이 확인되었다. 이와 같은 내용을 바탕으로 초고속 정보통신망의 하부 가입자 접속망으로써 HFC CATV망이 제시되어졌다.

## ABSTRACT

In this paper, HFC CATV networks are introduced. HFC CATV networks are currently considered as a most effective and plausible solution for subscriber access networks in the information superhighway, among others such as ADSL and B-WLL. The advantages of HFC CATV networks include its broad upstream and downstream channel bandwidths, much wider than PSTN's and its readiness. The HFC CATV networks are already well spread among the general subscribers in Korea.

This fact will shorten the installation period and significantly reduce its cost. In addition, The structure and channel environment of the HFC CATV networks are introduced. At the same time, in this paper included are major problems in the HFC CATV networks and the solutions for these problems. Also discussed are data transmission, medium access control, IEEE802.14, and MCNS for standardizations. Moreover, additional telecommunications service activities in both Korea and other countries, using HFC CATV networks are also included. The topics which are covered in detail are the ones such as interoperation between HFC CATV networks and trunk line and the digital transmission performance test for the CATV networks. In the performance test, it is concluded that HFC CATV networks can satisfy the QoS for various additional services if the number of the subscribers in a cell is limited to less than 500 and other minor requirements are satisfied. Based on all these discussions and conclusions, HFC CATV networks are suggested in this paper for the subscriber access networks of the so called information superhighway.

## 1. 서론

CATV방송은 미국 오레곤 주에서 1949년에 처음 시작되었고, 한국에서는 1995년 3월 1일부터 시작되었다. 미국에서 처음 시작된 CATV망을 이용한 방송은 초기에는 단순히 공중파의 프로그램을 수신하여 재방송하는 역할에 그쳤다. 그렇지만 점차 CATV방송사들이 프로그램을 자체 개발하여 방송하기 시작하였고, 1990년대에 들어와서는 CATV망을 이용하여 인터넷서비스, 전화서비스, 주문형 비디오 등의 다양한 양방향 서비스를 제공

하려는 연구와 시범서비스가 진행되어왔고, 최근 미국에서는 @home, @work, Roadrunner와 같은 고속 인터넷 사업이 실행되고 있다. 1990년대 들어서 설치된 한국의 CATV망은 이러한 세계 CATV망 추세에 발맞추어 단순한 방송의 분배 목적뿐만 아니라 다양한 양방향 서비스가 가능한 HFC(Hybrid-Fiber Coaxial)-CATV망으로 포설되었다. 1996년 말에 공보처가 발행한 CATV 백서 제 1장의 첫 페이지는 1995년 CATV의 국내 도입 배경을 설명하고 있는데 그중 다음과 같은 내용이 있다[1]. “향후 우리사회는 대량 정보전달수단으로 종합정보통신망 구축이 필요 불가결하며, 케이블 TV는 그 중추 매체로서의 역할수행을 하게 될 것이다.” 이와 같이 한국의 CATV망은 설계단계에서부터 초고속정보통신망의 가입자망으로써의 역할이 기대되었던 것이다.

초고속정보통신망은 국가정보통신기반을 재정립하는 것으로서 전화, CATV망 등과 같은 통신 매체가 하나의 커다란 공중망을 형성하고 국민 생활을 윤곽하게 하는데 공헌하는 것을 목적으로 하고 있다. 우리 나라에서는 1995년 3월 ‘초고속 정보통신 기반구축 종합계획’을 확정했으며 1996년 6월에는 ‘정보화 촉진 기본계획’을, 8월에는 시행 계획을 확정했다. 현재 우리 나라의 초고속통신망의 기간망은 50만 정도의 인구를 가진 중소도시까지 2.5Gbps급 광케이블이 설치되었으며 2년내에 10Gbps급으로 고속화할 예정이다. 이러한 기간망의 광대역화와 고속화로 많은 종류의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 기반이 마련되었지만 기간망에서 제공하는 멀티미디어 서비스를 소비해야 할 소비자들이 주거하는 지역에 포설된 접속망은 낙후되어있으며 그 발전속도가 기간망의 발전속도를 따라가지 못하고 있다. 이로 인해서 초고속 통신 서비스의 조기 정착 및 광범위한 실현에 큰 장애가 되고 있다. 따라서 가입자의 접속망을 고속화, 광대역화 시켜야 하는 필요성에도 불구하고, 가입자 접속망의 광범위한 포설 구간과 광섬유를 이용한 망

으로의 포설시 막대한 투자비용(전체 망관련 예산의 40-60%정도가 가입자 접속망에 사용된다[2].) 때문에 가입자망의 고속화와 광대역화에 가장 이상적인 형태인 FTTH(Fiber To The Home), FTTO(Fiber To The Office)등으로의 발전이 늦어지고 있다.

세계 각국은 가입자 접속망의 낙후로 기간망에서 그 우수성이나 실효성이 검증된 멀티미디어 관련서비스들이 상용화되어서 투자 회수를 가능하게 하는 시장의 형성이 늦어짐에 따라 기간망의 투자 효과도 보지 못하고 있으므로 가입자망에 대한 여러 가지 기술적 대안들을 마련하고 있다. 기존의 가입자구간에 포설되어 있는 전화선을 사용하여 고속의 데이터와 전화서비스를 제공하는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), 유선망 대신 무선기지국을 세워 음성서비스와 데이터 서비스의 제공이 가능한 B-WLL(Broadband-Wireless Local Loop), 기존의 전화망에 비해 대역폭이 넓고, 고속통신이 가능하여 다양한 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 HFC-CATV망 등이 초고속정보통신망의 하부 가입자망으로 제안되고 있다.

ADSL은 ITU(International Telecommunication Unit)에서 표준화를 추진중이며 98년 말에서 99년 초에 완료될 것으로 전망되고 있고, ADSL장비에 관한 표준화는 ADSL업체마다 사용하는 변조방식이 다르고, 변조방식이 같은 경우에도 업체간 장비의 호환성이 결여되어 장비에 관한 표준화는 아직 미약한 실정이다. 우리 나라에서는 한국통신이 98년 하반기부터 소규모 사업자 및 인터넷 고속수요 대상을 대상으로 상용화를 추진할 계획이다[3].

B-WLL은 지하시설물의 포화와 가입자망 구축의 유연성, 경제성 확보 및 유선선로의 시설의 유지보수 한계문제 해결을 위하여 도입되었으며 384Kbps ~ 3E1(3개의 2.048Mbps) 이하 중 소용량

회선에 대하여 경제적인 가입자망을 구축하기 위한 유용한 매체이다. B-WLL은 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standard Institute)와 일본의 MMAC(Multimedia Mobile Access Communication)에서 표준화를 추진중이다. 국내에서는 한국 정보 통신 기술 협회(TTA)를 중심으로 표준화가 진행되고 있다. 국내에서 B-WLL은 시범 사업을 2000년 말까지, 상용서비스를 2001년 이후에 실시하기로 예정되어있다[3].

HFC-CATV망은 광케이블망과 동축케이블망을 혼합한 CATV망이다. 종래의 CATV망이 단방향 아날로그 TV방송의 분배목적으로 사용되었다면 근래의 HFC-CATV망은 통신기술의 발달로 CATV방송뿐만이 아니라 양방향 멀티미디어 서비스의 제공도 가능하게 되었다. HFC-CATV망은 ITU-T 802.14, MCNS(Multimedia Cable Network System)에서 표준화가 진행중인 기술이다. IUT-T 802.14에서는 양방향 CATV전송망의 물리층(PHY)과 매체 접속 제어(MAC)층의 프로토콜의 표준화를 추진하고 있으며 95년에 표준안을 제출하기로 했으나 97년 하반기로 연기했고, 아직도 표준화 작업이 진행중이다. MCNS는 HFC-CATV망을 통하여 멀티미디어 서비스를 이용할 경우 필수 장비인 케이블모뎀에 관한 표준을 담당하고 있으며 98년 6월에 상호호환 모뎀 규격을 완료할 예정이다. 국내에서는 한국 정보통신 기술협회의 전송 기술 분과 위원회 CATV연구위원회의 '98년도 표준안 과제'로 선정되었다. 국내 표준화 추진방향은 관련업체들이 모여 MCNS에서 작성된 표준안을 중심으로 연구하여 국제 표준 제정시기에 맞추어 국내 표준작성을 완료할 계획이다.

기간망에서 입증된 다양한 멀티미디어 서비스를 가입자단에서 이용하기 위해서는 초고속정보통신망의 하부 구조망이 조속한 시일 내에 구축되어야 한다. ADSL이나 B-WLL은 아직 표준화도 미약하고, 실질적으로 상용화하기 위해서는 약 3~5년 정

도의 기간이 필요하므로 우리 나라에서 초고속 정보통신망의 하부가입자망으로 현실적으로 사용 가능한 방식은 HFC-CATV망이라고 볼 수 있다. HFC-CATV망이 타당한 이유는 두 가지로 설명될 수 있다. 첫번째 기술적 타당성으로 HFC-CATV망이 양방향 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다는 것이 북미를 중심으로 여러 연구 기관, 사업자들에게 의해 검증되었다. 국내에서도 한국전력의 CATV 전송망을 대상으로 하여 디지털 신호전송 성능평가와 부가통신 서비스를 실시한 결과 초고속 정보통신망의 하부구조로서 기술적 타당성이 검증되었다[4][5]. 두 번째 사업적 타당성으로 기존의 CATV방송 분배망은 그 규모가 전국적으로 포설되어 있으며 멀티미디어 서비스의 최종 사용자인 각 가정에까지 이미 그 선로가 구성되어 있다. 따라서 기존의 CATV망에 적정 초기투자를 하여 망상태를 개선시켜 멀티미디어 서비스를 제공한다면 짧은 시간 내에 많은 사용자들을 확보할 수 있을 것이다.

근래에 우리 나라에서 인터넷에 대한 일반인들의 관심은 고조되고 있고, 많은 요구가 있으나 각 가정에서 인터넷을 사용하는 선로 환경은 기존의 전화선을 근간으로 하고 있다. 저속의 음성 통화를 위해 설계된 전화망을 사용하여 인터넷 서비스를 사용하는 일반인들은 저속으로 송수신 되는 데이터에 현실적인 한계를 경험하고 있다. 반면에 CATV망을 이용하여 케이블 모뎀을 통해 인터넷 서비스를 받을 경우 30Mbps에 달하는 고속서비스를 제공받을 수 있다[5]. 미국에서는 케이블모뎀을 이용한 인터넷 서비스를 이미 상용화하였다. 미국의 캘리포니아주에 위치하고 있는 @Home사는 95년 설립된 이래 북아메리카에서 8개의 케이블회사와 제휴협정을 맺었으며 1998년 4월말 현재 인터넷 서비스 회원 가입자수가 10만을 넘어섰다고 공식 발표했다. 이 수치는 1997년 말의 회원 가입자수에 비해 두배 이상 증가한 수치이다. Cable Vision System사에서도 1996년 12월 롱아일랜드지역에서

서비스를 처음 시작한 후 1997년 10월부터 코네티컷에서 'Optimum online'이라는 이름으로 CATV망을 통한 인터넷 서비스를 실시하고 있으며 현재는 뉴욕 등으로 서비스 지역을 확대하고 있다. 이외에도 Adelphia사에서는 'Power Link', 버지니아에 위치한 Jone Intercable사에서는 'Jones Internet Channel', 캐나다의 Halifax Cable사는 'Andara' 이름으로 CATV망을 통한 인터넷 상용서비스를 하고 있다.

CATV망을 이용한 멀티미디어 서비스는 방송과 통신에 걸친 여러 가지 다양한 서비스들이 하나의 기반 시설에서 통합됨을 의미하며 고속의 서비스가 제공되는 것이 특징이므로, 완전한 서비스가 제공되기 위해서는 여러 가지 기술적 문제점을 해결 및 보안해야 한다. 본 논문에서는 CATV망의 구조와 채널 환경, 한국전력의 CATV망의 디지털 신호전송 평가, CATV망에서 사용되는 데이터 전송 장비인 케이블 모뎀의 전송방식, 매체 접속 제어, 기간망(ATM Network)과의 연동, IEEE 802.14, MCNS등의 표준화작업 등에 대하여 알아보고자 한다.

## II. Cable TV망의 구조 및 채널 환경

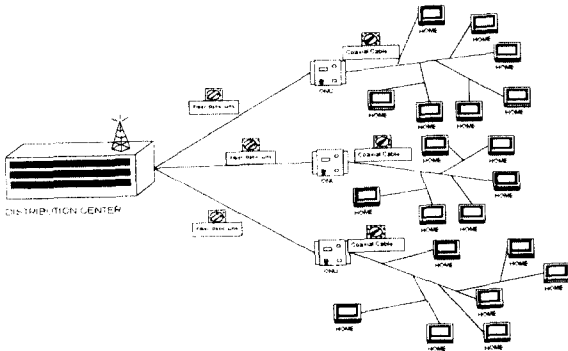
### 2.1 Cable TV망의 구조

방송의 분배를 목적으로 설계된 초기의 CATV망은 수지형 구조를 가진 동축망이었다. 최근에는 이르러서는 디지털 기술의 도입과 정보통신 기술의 발전으로 고품질의 광CATV 시스템이 출현하였으나, 모든 가입자 선로를 광케이블로 교체하는 경우가 가격에 따른 투자비용의 부담으로 경제성이 떨어지므로 기존에 설치된 동축케이블과 광케이블을 결합하는 HFC(Hybrid-Fiber Coaxial) 시스템 방식이 연구되어 현재 국내의 모든 케이블TV망은 이

방식을 사용하고 있다.

HFC 시스템은 광케이블로만 구성된 전송망보다는 신호전송품질이 떨어지지만, 셀의 분할이 용이하고, HFC 시스템 구축에 들어가는 비용이 순수한 광케이블망에 비하여 저렴한 경제적인 이점이 있다. HFC 시스템은 성형(Star)구조를 갖는 광케이블망과 수지형(Tree and Branch)구조의 동축케이블망의 혼합된 형태를 갖는다. <그림1>은 HFC 망의 구성도이다.

그림 1. 하이브리드 시스템 구성도

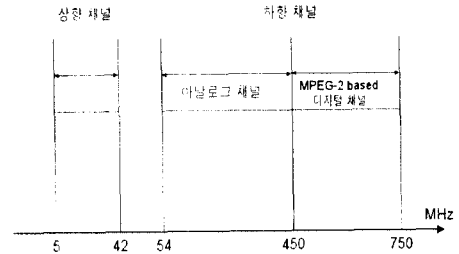


HFC 시스템에서는 디지털 또는 아날로그 데이터를 S/O(System Operator)에 있는 분배센터(Distribution Center)로부터 옥외형 광송수신기(Optical Network Unit)까지는 광케이블을 이용하여 전송한다. 옥외형 광송수신기는 전송된 광신호를 다시 전기신호로 바꾸어 동축케이블을 이용하여 각각의 가입자까지 전송한다. 일반적으로 HFC 시스템에서 사용하는 전체 주파수 대역폭은 750MHz이다. 5-42MHz대역은 가입자에서 방송국까지의 상향 신호를 위해서, 54-450MHz대역은 방송국에서 가입자까지의 하향 신호를 위해서, 450-750MHz대역은 향후 추가될 하향 신호를 위해서 사용된다.

2.2 채널환경

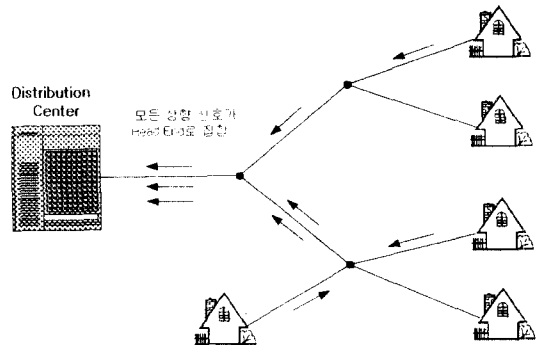
CATV망은 수지형의 구조를 가지므로 분배기

그림 2. CATV 망의 주파수 할당



또는 분기기와 같은 수동소자를 이용하여 분기가 된다. 하향 채널의 경우 신호가 분배기를 통과했을 때 신호가 감소 되는 만큼 잡음도 감소 되므로 분기 후에 신호 대 잡음비는 변함이 없다. 그러나 상향 채널의 경우 하향에서 분기 출력단이었던 것이 입력단이 되므로 정보를 가진 신호는 한곳에서 입력되더라도 잡음은 그 분기기에 연결된 모든 가입자의 잡음이 입력되어 신호 대 잡음비는 감소하게 된다. 이러한 현상을 깔때기 현상(Noise Funneling)이라 한다. <그림 3>은 깔때기 현상을 도식적으로 표현한 것이다.

그림 3. 상향채널에서의 깔때기 현상



깔때기 현상 외에 CATV망에서 존재하는 특이한 현상으로 ONU(Optical Network Unit)에 있는 레이저 다이오드(Laser Diode)의 클리핑(Clipping) 현상과 Common Path Distortion등이 있다. Laser Diode의 Clipping 현상은 CATV망에 있는 증폭기의 이득 조절이 적절하지 못하여 발생하는 것으로서 신호에서 Clipping 현상이 발생하여 신호품질에 악

영향을 주는 현상이다. Common Path Distortion은 접합부분의 커넥터의 부식으로 인해서 커넥터가 마치 다이오드와 같은 역할을 하면서 신호에 클리핑현상이 일어나 잡음이 발생하는 것이다. 따라서 CATV망에서는 증폭기의 이득조정이나 접합부분의 커넥터의 관리가 매우 중요하다.

CATV망에서 신호의 전송 시 여러 가지 종류의 잡음이 존재하여 통신의 품질을 저하시킨다. CATV망에 나타날 수 있는 잡음으로는 망 자체에서 발생하는 열 잡음, 증폭기 잡음, 임펄스 잡음, 그리고 유입잡음 등이 있다.

열 잡음(Thermal Noise) 전자의 자유로운 운동에 의하여 발생되며 동축케이블과 여러 가지 망 장치 등에서 발생된다. 볼츠만 잡음 방정식을 케이블 TV망에 적용하여 보면 상온에서 4MHz의 대역에서 발생하는 열 잡음은 오픈 서킷 전압으로  $2.2\mu\text{V}$ 이다. 말단에 정확한 임피던스 매칭이 이루어지면 열 잡음은 반으로 줄어든  $1.1\mu\text{V}$ 가된다. CATV망에서 기본적으로 쓰이는 단위는 dBmV로서  $75\Omega$ 의 저항이 있을 경우 1mV에 대한 상대적인 dB이다. 완벽한 케이블TV망의 상온에서의 최소 잡음을 dBmV단위로 바꾸어 주면 59.17dBmV이다[6].

증폭기 잡음(Amplifier Noise)은 CATV망에 연결된 증폭기에서 발생하는 것으로서 증폭기는 신호를 증폭시키고 또한 내부적으로 잡음을 발생시킨다. 증폭기가 내부적으로 발생시키는 잡음은 잡음지수(Noise Figure)로 정의되는데 다음과 같이 나타낸다.

$$NF = \frac{S_i}{N_i} \div \frac{S_o}{N_o} \quad (1)$$

여기서  $\frac{S_i}{N_i}$ 는 각각 증폭기의 입력단과 출력단의 신호 대 잡음비이다. 잡음지수는 보통 dB로 표시하며 일반적인 증폭기의 잡음지수는 6dB에서 10dB사이이고, 낮은 값을 가진 증폭기가 성능이 더

좋은 것이다[7].

열 잡음과 증폭기 잡음은 광대역 잡음이므로 이 두 종류의 잡음을 더하면 케이블TV망에서 생성되는 최저 잡음이 되는데 이를 노이즈 플로어(Noise Floor)라 한다. 어떤 채널에서 통신을 하려면 신호의 크기는 최소한 노이즈 플로어보다 커야한다. 잡음지수가 같은 증폭기가 직렬로 N개 연결된 케이블TV망의 노이즈 플로어는 식(2)를 이용하여 구할 수 있다 [8],[9].

$$N_o = 59.17 + Nf + 10 \log N \text{ (dBmV)} \quad (2)$$

따라서, 연결된 증폭기의 수가 배로 증가할 경우 마다 노이즈플로어는 약 3dB씩 증가하게 된다.

임펄스 잡음(Impulse Noise)은 교류모터가 동작할 때 또는 번개 등이 칠 때 발생하는 짧은 순간의 광대역 잡음이다. 케이블TV망의 연결이 불량한 커넥터 등에서 바람이 불거나 온도가 급격히 변화할 때에도 임펄스 잡음이 발생한다. 임펄스 잡음은 광대역 잡음으로 신호통과대역 전체에 나타나 노이즈 플로어를 증가시키지만, 보통 3초 이내에 사라진다. 임펄스 잡음은 신호의 특성을 알기 힘들고 짧은 시간에 사라지기 때문에 원인을 찾아내기가 힘들다.

상향 채널에서의 유입 잡음(Ingress Noise)은 잡음원의 본질에 따라 다르므로 그 특성을 규정하기 어렵다. 그러나 보통 노이즈플로어에 영향을 미치는 광대역 잡음인 열 잡음, 증폭기 잡음, 그리고 임펄스 잡음 등과 구별하여 협대역 잡음을 유입 잡음이라 한다.

유입 잡음의 주요한 원인으로는 공기 중에 전파되어 동축케이블을 통해 상향 채널에 결합되는 협대역 단파 신호와 가입자택내의 여러 가지 가전기

기에서 발생되어 유입되는 잡음 등이 있다. 5~42MHz의 상향 채널은 단파대역으로서 동축케이블 망 내부까지 침투력이 강한 주파수 특성을 가진다. 아마추어무선, 항공무선, 시티즌밴드, 그리고, 단파 방송 등이 케이블TV망으로 유입되어 통신에 영향을 미친다. 동축케이블의 차폐(Shield)성능은 주파수의 제공근에 반비례하기 때문에 낮은 대역일수록 침투가 용이하다. 가입자대내의 여러 가지 가전 기기 등으로부터 발생되어 인입선에 유입되는 잡음은 상향 통신에 가장 큰 영향을 주는 요소이고, 이에 대한 대응도 가장 어렵다[4].

### 2.3 한국전력 CATV 전송망의 디지털 신호전송 성능 평가

#### 2.3.1 ITU-T G.821 권고안

1995년 미국 Cablelabs에 의하여 수정된 ITU-T G.821 권고안을 CATV 상향 디지털 신호전송 표준안으로 채택하여 한전의 CATV전송망에 대한 성능평가를 하였다. 이는 국내 CATV망이 다양한 디지털 서비스에 적합한지를 평가하기 위한 것이었다. 이를 위하여 상향전송 가능여부를 점검하였으며, 전송속도는 1,544Mbps를 사용하였다. 하향전송은 잡음유입이 상향전송에 비해 무시할 정도이며, 1,544Mbps의 전송속도는 MPEG-II를 이용하여 완전 동영상전송이 가능한 속도이다.

디지털 통신 링크를 특성화하기 위하여 1초 간격으로 수신된 비트 에러 수와 비트 수로부터 얻어진 통계적 자료를 바탕으로 하여 IUT-T G.821 권고안은 다음과 같이 디지털 전송 성능을 나타내는 항목들을 정의하였다[4].

- Available Time : 10초 동안 연속해서 BER  $10^{-3}$ 이하이면 그 해당 10초가 처음 시작하는 순간이 available time의 시작이다.
- Error Free Seconds : 비트 에러가 발생하지 않은 available seconds의 수

- Errored Seconds : 전체 시간 - 에러가 발생하지 않은 seconds
- Severely Errored Seconds : BER이  $10^{-3}$  이상인 seconds
- Degraded Minute : 전체 시간에서 unavailable time과 severely errored seconds를 제외하 BER이  $10^{-6}$ 이상인 시간

표1. ITU-T G.821 권고안의 전구간에 걸친 성능표준

Table 1. Performance Standard over the entire network recommended by ITU-T G.821

파라미터	목표
Degraded Minutes(D.M)	10% 미만
Severely Errored Seconds(S.E.S)	0.2% 미만
Errored Seconds(E.S)	8%미만

〈표2〉는 〈표1〉의 파라미터를 구간별로 나누어 할

표 2. ITU-T G.821 권고안의 구간별로 할당된 성능 표준

Table 2. Performance Standard over sections recommended by ITU-T G.821

파라미터	Local Grade	Medium Grade	High Grade
%Error Seconds	1.2	1.2	3.2
% Severely Seconds	0.015	0.015	0.04
% Degraded Minited	1.5	1.5	4.0

당한 성능 표준이다.

G.821의 표준안은 서비스 제공자가 Local Exchange(LE)나 Inter-Exchange(IXC)에 연결된 것을 바탕으로 적용되므로 만일 Local Grade만으로 구성된 LE에 연결할 경우 위에서 제시된 목표보다 더 낮아야 한다. 또한 서비스 제공자가 IXC에 직접 연결하고자 할 경우에는 망의 Local Grade와 Medium Grade 구간을 지나게 된다. 이 경우 〈표2〉에 나타난 Local Grade와 Minimum Grade항의 합을 표준으로 한다. 기존의 CATV사업자가 디지털

서비스를 제공하려 한다면 적어도 LE접속을 위한 권고안을 만족시켜야 한다.

〈표3〉의 각각의 파라미터들은 ITU-T G.821 권고안에서 정의한 것이고, 각 파라미터에 해당하는 값들은 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)방식으로 변조된 T1 디지털 반송파와 하향의 디지털 반송파 레벨에 관해서 -10dBc(반송파 기준으로 -10dB를 나타냄)의 RF 반송파 레벨을 사용하여 실험한 대표값들이며, FEC(Forward Error Correction)는 사용하지 않았다. 〈표3〉은 ITU-T G.821 권고안에서 정의한 파라미터들을 사용하여 미국의 CableLabs에서 자체적으로 만든 RF Channel 성능 평가 권고안이다. CableLabs에서 정식으로 채택하여 기준으로 사용하고 있으므로, 그 공신력을 인정할 수 있다. 따라서 본 측정에서는 CableLabs에서 제시한 〈표3〉의 상향 전송 성능 평가 권고안을 기준으로 하여 한국 전력의 CATV망에 대한 디지털 신호 전송 평가를 하고자 한다.

표 3. 디지털 전송 성능 평가 권고안

Table 3. Performance Recommendation for Digital Transmission

파라미터	하 향	상 향
% Unavailable Seconds	0.1	0.5
% Errored Seconds	0.5	2.0
% Severely Errored Seconds	0.01	0.05
% Degraded Minutes	1.0	5.0

### 2.3.2 표본지역과 측정장비

표본 지역의 선정은 배선의 구조적 문제, 컨버터의 사용여부, 가입자 수를 차별화 하여 시행하였다. 〈표4〉는 표본지역에 관해 정리해 놓은 것이다.

표4. 표본지역들의 환경 조건

Table 4. Various Statistics of Sampling Areas

구 분	표본지역1	표본지역2	표본지역3
가입자수(상향 가입자수)	1200여	1000여(400)	432(1)
컨버터	설치	설치	미설치
거리	약 0.8Km	약 1.5Km	약 0.6Km
배선	단독배선	단독배선	단독배선
지역특성	단독주택 지역	상가지역	공동주택 지역
증폭기수	TBA 2, EA 1	TBA 4	TBA 2, AMP 1

〈표4〉에서 TBA(Trunk Bridge Amplifier)는 간선 분기 증폭기이며, EA(Extender Amplifier)는 연장 증폭기이다. 표본지역 1은 가입자에서 헤드엔드로 데이터를 전송하는 상향 가입자수를 1200여명 확보한 단독주택지역이다. 표본지역 2는 1000여명의 가입자중에서 600여 가입자에게 고역 여파기(High-Pass Filter)를 설치하여 상향가입자수를 400명으로 제한하였으며 상가지역이다. 표본지역 3은 컨버터 미설치 지역이며 상향 가입자수를 1명으로 하고 다른 가입자에게는 고역 여파기를 설치하였으며 공동주택지역이다.

측정장비는 가입자 측과 헤드엔드에 설치하였으며 측정장비의 구성은 다음과 같다.

- P446 케이블 모뎀(P446 Cable Modem)[10]
- P4200 트랜스버터(P4200 Transverter)
- HP 3781B 패턴 발생기(Pattern Generator)
- HP 3784A 디지털 전송 분석기(Digital Transmission Analyzer)
- HP 8590 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)

P446 케이블 모뎀은 T1급 1.544Mbps의 데이터 전송속도와 QPSK 변조 방식을 사용한다. T1급의



속도를 지원하는 케이블모뎀을 사용하여 측정하는 이유는 CATV망을 이용한 여러 가지 멀티미디어 서비스의 요구 속도를 충족시킬 수 있기 때문이다. 케이블 전화의 요구속도는 64Kbps, 전력회사에서 실시하고자 하는 원격검침의 요구속도는 한전의 경우 19.2Kbps, MPEG-Ⅰ(Moving Picture Expert Group-Ⅰ) 압축기술을 이용하면 384Kbps의 속도로 일반 화상회의에서 자연스러운 영상을 볼 수 있다[1]. 따라서 T1급의 전송속도가 가능한 케이블모뎀으로 디지털 신호 전송 성능 측정을 하여 측정치가 CableLabs의 성능 평가 권고안을 만족한다면 HFC-CATV망에서 저속의 부가서비스 및 화상회의와 같은 높은 전송속도를 요구하는 부가 서비스가 가능하다는 것을 의미한다.

### 2.3.3. 측정결과

서울지역 3개소의 표본지역에서 총 49일 동안 이루어진 상향 디지털 신호전송 측정은 CATV망의 상향 채널에 관련된 여러 가지 성질을 보여주었다. 측정 결과는 상향 채널이 개방된 가입자 수, 주파수상의 임펄스성 유입 잡음과 증폭기의 비선형 왜곡, 그리고 커넥터의 연결 불량 등이 상향 신호전송에 심각한 영향을 미친다는 것을 보여주었다. 특히 가입자단에서 유입되는 것으로 추정되는 주파수상의 임펄스성 잡음은 비트 오류에 심각한 영향을 미쳤다. <표5>는 표본지역 3개소의 측정결과이다.

표본지역 1에서 측정된 ITU-T G.821 권고안의 항목은 모두 목표치를 만족하지 못하였다. C/N비는 약 50dB로 양호한 편이다. 표본지역 1에서 측정된 ITU-T 권고안 G.821의 측정항목에 대하여 목표치를 만족하지 못한 가장 주된 원인은 신호에 대한 유입잡음의 영향이다. 셀 안의 1200여 가입자들이 모두 상향 전송로가 개방되어 있는 상태이므로 1200여 가입자로부터 오는 유입잡음으로 인하여 CableLabs에서 제시한 목표치를 만족하지 못하였

표 5. 표본지역 3개소의 측정결과

Table 5. Evaluation Results of the three Sampling Areas

구 분	C/N비(dB)	Availability(%)	D.M(%)
목표치	·	99.5	5
표본지역 1	50	99.9	17.1
표본지역 2	60	100.00	0.00
표본지역 3 세 1차 측정	40	59.78	17.11
표본지역 3 세 2차 측정	70	100.00	0.02
구 분	E.S(%)	S.E.S(%)	L.T.Mean Error Ratio
목표치	2.0	0.05	·
표본지역 1	12.96	0.69	$1.013 \times 10^{-4}$
표본지역 2	0.002	0.00	$3.616 \times 10^{-11}$
표본지역 3 세 1차 측정	10.54	2.46	$2.469 \times 10^{-3}$
표본지역 3 세 2차 측정	0.03	0.00	$1.575 \times 10^{-9}$

다. 따라서 1200여 개의 개방된 상향 전송로부터의 유입잡음에 대한 대책이 요구된다고 하겠다.

표본지역 2에서 측정된 ITU-T 권고안 G.821의 항목은 모두 목표치를 만족하였다. C/N비는 약 60dB로 양호하다. 표본지역 2에서는 표본지역 1에서와 같이 유입잡음이 존재하기는 하지만 그 전력은 표본지역 1에 비하여 상대적으로 미약한 수준이다. 표본지역 2에서는 표본지역 1과 달리 전체 가입자중에서 400 가입자를 제외한 다른 가입자단에 고역 여파기(High Pass Filter)를 설치하여 상향 채널을 400가입자로 국한시켰다. 표본지역 2의 ITU-T G.821 권고안의 측정항목에 대한 결과의 분석은 다음과 같다. Availability 100.00%, Errored Seconds 0.002%, Degraded Minutes와 Severely Errored Seconds가 0.00%의 평균을 나타냄으로서 거의 오 전송이 발생하지 않은 것으로 나타났다. L.T. Mean Error Ratio의 평균도  $3.616 \times 10^{-11}$ 으로 약 3

백억 비트 중 1비트의 오전송이 이루어졌다는 결과  
를 보인다.

표본지역 3에서 2차에 걸쳐 측정된 ITU-T G.821 권고안의 항목은 제 1차 측정에서는 그 목표치를 만족하지 못하였고, 제 2차 측정에서는 목표치를 모두 만족하였다. 제 1차 측정에서 C/N비는 약 40dB로 낮은 편이었다. 표본지역의 제 1차 측정에서 ITU-T G.821 권고안의 항목을 모두 만족시키지 못한 이유는 한전에서 설치한 간선분기증폭기 2대 외에 종합유선방송국에서 설치한 증폭기의 불량에 원인이 있었다. 종합유선방송국에서 설치한 증폭기는 한전에서 사용한 증폭기와는 별도로 설치된 것으로서 상향전송에 대한 정비가 이루어지지 않은 장비이다. 표본지역 3의 제 1차 측정의 ITU-T G.821 권고안의 항목을 살펴보면 증폭기 1개의 불량이 상향 디지털 신호 전송에 어느 정도 악영향을 끼치는지 알 수 있다. 총 5일 동안 실시된 1차 측정에서는 모든 항목이 목표치를 만족하지 못하였다. Availability의 평균이 59.78%로 1시간 중 36분 정도만이 통신을 할 수 있다는 결과가 나왔으며, DM의 평균도 17.11%로 목표치인 5.00%이하를 3배 이상 상회하는 결과가 나왔다. ES와 SES항목이 목표치에 미달하였으며 전반적으로 증폭기 1대의 불량으로 인하여 디지털 신호 전송이 불가능한 상태가 되었다.

제 2차 측정에서는 방송국에서 임의로 설치한 증폭기를 규격의 간선분기증폭기로 교체한 후 측정하였다. 제 1차 측정과 달리 제 2차 측정에서 C/N비는 약 70dB정도를 유지하면서 과도하게 증폭된 신호가 수신되었다. C/N비가 우수할 경우, 신호가 잡음에 의하여 영향을 받는 정도는 약해지게 된다. 따라서 절대 수치상으로는 전송로의 상태가 매우 우수하게 된다. 그러나 디지털 신호의 전송품질이 우수하게 나타났다고 할지라도 이와 같이 과도하게 증폭이 된 신호는 전송로상의 각 증폭기에서 포화될 수 있으며, 포화된 신호는 비선형 왜곡현상을

일으켜 디지털 신호의 수신 불가능이라는 상태에 이르게 된다.

표본지역 3에 대한 2차에 걸친 측정은 전송망 설계단계에서부터 증폭기 조정 문제에 대한 고려와 전송망상의 증폭기의 유지, 보수에 대한 문제성의 중요성을 보여주었다.

### Ⅲ. 전송방식 및 특성

CATV망에서 사용하는 케이블모뎀의 데이터의 전송방식에는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), QAM(Quadrature Amplitude Modulation), S-CDMA(Synchronous-Code Division Multiple Access), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 등이 있다.

CATV망에서 사용하는 변복조방식을 결정하기 위해서는 여러 가지 요소들을 고려해야 한다. 전송로의 대역폭(Bandwidth), 데이터의 전송률(Data Rate), 잡음오울(Noise Performance), 변조방식의 하드웨어 구현의 복잡성(Complexity), 데이터 손실에 대한 민감성(Sensitivity of Impairments)등이 고려되어야 한다.

CATV망의 고주파 대역 54MHz에서 750MHz대역을 사용하는 하향 전송시에는 깔대기 현상이 없고, 유입잡음의 영향이 적어 변조방식의 선택에 별다른 어려움이 없지만 유입잡음과 깔대기 현상이 존재하는 상향 전송시에는 위에서 말한 여러 가지 요소들을 고려하여 변조 방식을 결정해야 한다. 상향 전송대역 중에서 고주파 대역인 15-42MHz 대역은 유입잡음이 발생할 확률이 낮은 대역이어서 신뢰성 있는 데이터 통신이 가능하다. 그렇지만 상향채널의 저주파 대역인 5-15MHz 대역은 여러 가지 원인으로 유입잡음이 빈번하게 발생한다[4][5].

유입잡음의 원인은 아마추어 무선(Narrow Band HAM), 생활무선(Citizen Band), 단파방송(Short Wave Audio Broadcasts) 등이 있어, 이러한 유입 잡음원들은 일반적으로 5-20MHz 대역을 사용한다. 단파방송은 전체 CATV 망에 영향을 끼칠 수 있고, 아마추어 무선과 생활무선은 지역적으로 서로 다른 유입잡음을 발생시킨다.

### 3.1 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)

식(3)은 일반적인 MPSK(Multi Phase Shift Keying)의 신호의 수식이다.

$$S_c(t) = \sqrt{E} \cos\left(\frac{2\pi}{M}\right) \psi_1(t) + \sqrt{E} \sin\left(\frac{2\pi}{M}\right) \psi_2(t) \quad (3)$$

는 반송파(Carrier Frequency)의 신호전력이며 M은 전송 가능한 심볼의 개수, 와 는 좌표함수이다. M=4일 경우가 QPSK이다. M은 변조방식에서 보낼 수 있는 심볼의 개수이며 전송 비트와 M과의 관계는 식 (4)와 같다.

$$k = \log_2 M \quad (4)$$

QPSK에서 2비트가 한 심볼이 되며 1Hz당 2bit를 전송한다. QPSK는 디지털 변복조의 가장 간단한 형태인 BPSK(Binary Phase Shift Keying)와 동일한 SNR에서 BER은 같지만 BPSK와 같은 크기를 가지는 대역폭을 사용해서 4개의 심볼을 전송할 수 있으므로 BPSK에 비해 대역폭 효율은 두배가 되는 이점이 있다.[11]

QPSK는 HFC-CATV망에서는 주로 주파수 분할 다중접속방식(FDMA)과 시분할 다중접속방식(TDMA)을 사용하여 케이블 TV전화와 케이블모뎀에 많이 쓰이는 변조방식이다. QPSK를 사용하는 케이블 TV 전화 시스템은 보통 64Kbps, 24회선을 가지며 속도는 T1급(1.544Mbps)이고, 2MHz의 대역폭을 사용한다. 케이블모뎀에서 QPSK는 16-

QAM과 같이 상향 전송대역에 많이 쓰인다. 유입 잡음이나 기타 다른 원인으로 C/N(Carrier-to-Noise)가 낮아져 16-QAM으로 데이터의 올바른 전송이 불가능 할 경우에 QPSK가 사용된다. QPSK의 데이터 전송률은 16-QAM보다 떨어지지만 16-QAM보다 잡음에 강하므로 잡음이 많이 존재하는 환경에서는 QPSK가 사용된다[12]

### 3.2 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

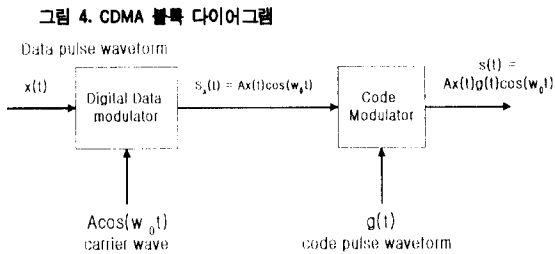
MPSK(M-ary Phase Shift Keying)는 PSK보다 채널의 대역폭을 줄일 수 있는 변조 방법이다. CATV망에서는 대역폭이 제한되어 있기 때문에 MPSK의 이러한 장점은 유용하게 쓰여질 수 있다. MPSK에서는 채널 심볼 주기 동안 데이터의 1비트를 전송하는 대신 M개의 심볼이 전송되므로 같은 전송대역을 사용하는 상황이라면 더 많은 데이터를 전송할 수 있다.

QAM은 CATV망에서 헤드엔드에서 가입자로 전송되는 데이터의 하향 전송에 주로 쓰인다. 지금까지 상용화된 대부분의 케이블모뎀은 QAM 변조방식을 하향 전송에 사용하고 있다. QAM이 하향 전송에 많이 쓰이는 이유는 헤드엔드에서 가입자까지는 지속적으로 많은 데이터들이 송신되기 때문에 대역폭의 제한이 있는 CATV망의 전송에서 보다 많은 데이터를 전송하기 위해서이다. 또한 CATV의 하향채널에는 상향채널에 비하여 잡음이 적고, 깔대기 현상 등의 신호품질을 저하시키는 현상이 없으므로 잡음에 약한 QAM방식이 사용되어도 신호의 전송에 무리가 없기 때문이다. 하향 전송에서는 64-QAM이나 256-QAM방식이 많이 쓰이며 상향 전송에서는 16-QAM 변조 방식이 사용된다.

### 3.3 S-CDMA (Synchronous Code Division Multiple Access)

CATV망의 5-42MHz 상향 채널에서 신호 전송

의 문제점은 가입자 단으로부터의 유입잡음(Impulse Noise)과 협대역 간섭신호(Narrow-band Interference)이다. 이러한 유입 잡음과 협대역 간섭신호에 강인한 변조 방식으로 S-CDMA(Synchronous CDMA)가 사용되기도 한다. <그림 4>에 CDMA의 블록 다이어그램을 나타내었다.



속 방식의 하나로서, CDMA 방식의 핵심기술은 확산대역(Spread Spectrum) 통신기법이다. 확산대역 기법은 전송신호의 대역폭을 잡음과 유사한 신호 대역으로 넓혀 전송하는 방법이다. 이처럼 신호대역이 넓게 퍼지면서 파워레벨이 낮아지게 되어 같은 대역으로 여러 가입자를 수용할 수 있다.

CDMA에서 모든 데이터 채널들은 동일한 전송 대역폭을 공유한다. 그렇지만 각각의 데이터 채널들은 주기적인 의사잡음코드(Pseudo-Noise Code)로 확산되어 있다. CDMA방식에서 수신기는 확산된 모든 데이터 채널을 받아들여 그 수신기에 할당된 Code를 이용하여 원하는 데이터 채널만 역확산시켜 사용한다. Code의 Auto-Correlation이 크기 때문에 동일한 Code가 곱해진 데이터 채널만 역확산되어 신호 레벨이 크게 나타나고 기타 다른 채널들은 확산되어 넓게 퍼지게 된다. CDMA방식에서 협대역 유입잡음은 역확산 과정에서 일반적인 잡음으로 되어 역파기를 통하여 제거되어 진다.

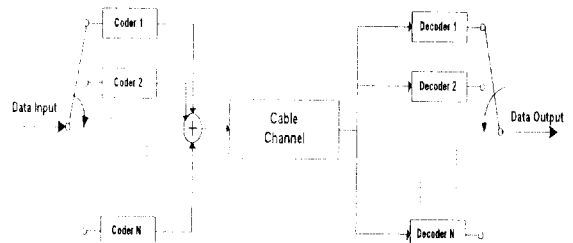
현재 무선통신을 비롯해서 널리 쓰이고 있는 CDMA 방식은 비동기(Asynchronous) 방식의 CDMA이다. 비동기 방식의 CDMA의 경우 모든

사용자가 정확히 같은 시간에 사용하지 않기 때문에 가입자 상호간 간섭(Mutual Interference)이 발생된다. 이러한 인접사용자의 간섭에 의해서 시스템 용량이 제한된다. 즉, 특정 사용자의 신호를 복조할 때 다른 사용자의 신호는 단지 다원접속 간섭(MAI : Multiple Access Interference)으로 작용하여 노이즈 플로어를 상승시킨다.

CATV망에서는 무선망과는 달리 가입자의 위치가 고정되어 있고, 페이딩이 적다. 따라서 CA TV 망에서 CDMA 기법을 이용한다면 완벽한 전력제어가 가능하고, 확산코드간의 직교성을 유지시킬 수 있어 S-CDMA방식이 가능하다.

S-CDMA는 확산코드간의 직교성이 수신단에서도 유지되기 때문에 다원접속 간섭의 제거가 가능하여 비동기 CDMA에 비하여 시스템 용량이 증가한다. S-CDMA에서는 Ranging과 Equalization 과정을 통하여 Code의 직교성을 유지하게 된다. Ranging은 온도 변화로 인한 케이블의 수축/이완을 고려하여 헤드엔드와 가입자간에 계속적인 거리 측정을 통해 항상 헤드엔드에 모든 Code가 동시에 도착할 수 있도록 한다. Equalization은 각각의 가입자에서 채널 특성을 파악하여 모뎀의 Precoder의 특성을 채널 특성의 역수에 맞게 조정해 준다.

그림 5. S-CDMA 전송 시스템



S-CDMA방식을 사용하여 상용화된 케이블모뎀은 이스라엘 Terayon사 등에서 제작되고 있다[13]. Terayon사의 케이블모뎀의 사양을 보면 6MHz 대역폭을 사용하여 144개의 code를 발생시켜 128개의

Code는 데이터 전송용으로 사용하며 16개의 code는 제어용으로 사용한다. 128개의 코드는 가변적으로 가입자들에게 할당되어지며 한 Code당 상향 전송 속도는 64Kbps 이다. 사용하는 Code의 길이는  $2^{15} - 1$ 이고, 1 비트 당 144개의 Chip이 곱해져서 전송되며, 확산이득(Spreading Gain)은 21.4dB이다.

S-CDMA 방식은 데이터를 QPSK나 QAM과 같은 방식으로 변조한 후에 확산과정을 거쳐야 하므로 전체 시스템의 복잡성을 가져오지만 단파방송이나 생활 대역 등의 유입잡음의 극심한 영향으로 지금까지 사용하지 않았던 상향 채널의 저주파 대역인 5-11MHz까지 사용할 수 있어 한정된 상향 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있다. 그리고 S-CDMA 방식 자체가 사용자 개인에게 Code를 할당하여 데이터를 전송시키는 방식이므로 매체 접속 제어(Medium Access Control)가 간편하다는 장점도 있다. 잡음이 극심한 5-11MHz대역에서는 S-CDMA를 적용한 변조 방식이 적용하지 않은 변조 방식보다 성능이 우수함이 제시되었다[14].

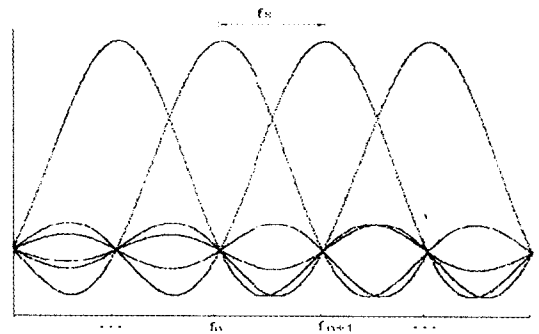
### 3.4 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 지난 수십 년 동안 연구 대상이 되어왔지만, 근래 디지털 신호 처리 기술의 발달에 힘입어 본격적으로 실용화되었다. 현재 유럽이나 일본에서는 HDTV방송에 활용하고자 계획 중이고, DAB(Digital Audio Broadcasting)와 일반 전화선으로 비디오 데이터 전송을 가능하게 하는 ADSL(Asymmetrical Digital Subscriber Line)에 사용되고 있다.

〈그림6〉은 심볼들이 구형파일 경우를 예로 하여, 변조된 각각의 반송파에 대한 스펙트럼을 나타낸 것이다. 〈그림6〉에서와 같이 OFDM에서는 반송파들 상호간에 직교성을 갖도록 주파수 간격을 각 심볼 주기의 역수로 정하여 반송파 신호의 스펙트럼

최대값을 갖고 나머지 반송파 신호들은 널(null)값을 갖는다. 그러므로 서로 다른 하위채널과 스펙트럼이 중복되어도 다른 반송파의 영향을 받지 않고 신호를 수신할 수 있으며 스펙트럼 효율을 최대화할 수 있어서 주파수 낭용을 막을 수 있다.

그림6. 하위반송파들의 스펙트럼(The Spectrum of Sub-carrier Frequencies)



OFDM은 다중 반송파 변조 방식의 일종으로 채널에 할당된 대역폭을 여러 개의 하위채널로 나누어서 하나의 반송파 대신에 여러 개의 RF 반송파나 하위 반송파(sub-carrier)를 이용하여 데이터를 병렬로 전송한다. 이처럼 OFDM은 데이터 전송에 여러 개의 반송파를 사용함으로써 신호레벨이 낮아지는 대신 각각의 심볼 주기가 하위채널 수만큼 길어져서 시공간에서 임펄스 잡음에 강한 특성을 갖는다. 그러므로 시간자연에 의한 채널 환경, 예로써 유선인 경우 반향(echo), 무선인 경우 페이딩에서 유리하다. 그러나 심볼 주기  $T_s$ 마다 정확한 동기가 이루어지지 않으면 〈그림6〉의 스펙트럼 상에서  $(\sin f/f)^2$ 의 누쇄(leakage) 성분이 생긴다.

위에서 언급한 바와 같이 전력이 낮은 하위 반송파는 높은 전력을 사용하는 단일 반송파 변조 방식의 신호보다 불연속적인 반송파 재밍(jamming)에 강하다. 그렇지만 각각의 하위 반송파들은 잡음이 없는 채널을 사용해야 하므로, 잡음이 존재하는 대역이 감지되면 개개의 하위 반송파들의 주파수가 재할당 되어 진다. 불연속적인 반송파 재밍

(jamming)은 상당히 오랜 시간동안 일정한 주파수 대역에서 존재하기 때문에 하위 반송파에게 주파수 재할당을 하는 것은 효과적인 방법이다. 또한 신호 제거(cancellation)기술을 사용하여 헤드엔드에서 협대역 재머(jammer)를 제거할 수 있다.

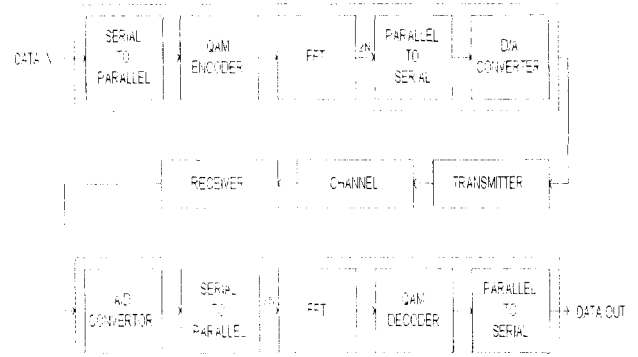
OFDM이 가지는 또 하나의 장점은 1Hz당 전송할 수 있는 비트의 수이다. OFDM의 개개의 하위 반송파는 N이라는 이진 단어를 표현하는 진폭과 위상을 가진 정현파이다. 이 정현파들의 벡터는 N을  $2N$ 의 길이를 가진 이진 단어로 표현한다. 이러한 능력으로 인해 OFDM은  $2N$ -QAM (Quadrature Amplitude Modulation)으로 불리기도 한다. N은 수신되는 가우시안 잡음, 튜너 위상 잡음, 심볼간 간섭에 의해 제한된다. 이상적인 상황에서라면 나이키스트 필터를 사용하는 QAM은 1Hz당 N Bit를 전송할 수 있고, OFDM도 같은 성능을 지닌다.

<그림 7>은 OFDM방식을 이용하여 신호를 전송하기 위한 시스템의 블록도이다. <그림 7>을 보면 OFDM 방식을 사용하는 모델은 FFT(Fast Fourier Transform)에 사용될 하드웨어를 장치해야 한다. 하지만 FFT 하드웨어의 필요성으로 인해 OFDM을 사용하는 케이블 모델의 구조가 복잡해지거나 모델을 제작하는데 초과 비용이 필요하지는 않다. 단일 반송파 변조 방식을 사용하는 모델이 고성능을 얻기 위해 사용하는 등화기(Equalizer)가 다중 반송파 변조방식인 OFDM에서는 필요하지 않기 때문이다. OFDM에서는 등화기 대신에 심볼간에 시간 보호 대역을 사용함으로써 등화기와 같은 효과를 낼 수 있다.

#### IV. 매체 접속 제어(Medium Access Control)

통신망이 구성되면 그 통신망을 유용하고 안전하게 이용하기 위하여 MAC이 필요하다. HFC에서

그림 7. OFDM 시스템 블록도



MAC은 실제적인 정보 전송과 수신을 총괄하는 역할을 한다. MAC은 각 데이터 형태가 요구하는 QoS(Quality of Service)를 보장하면서, HFC망의 독특한 물리적 구성(topology)을 고려해야 한다. 망은 헤드엔드로부터 각 가입자까지는 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 방식인 ‘하향 채널(down-stream)’을 구성하고, ‘상향 채널(up-stream)’은 각 가입자로부터의 데이터에 대한 자원 할당과 이를 위한 경쟁 방식이 요구된다. HFC망에 있어서 MAC은 아직 표준화되지 못하였으며 IEEE 802.14에서 연구되고 있다. HFC망에서의 MAC이 충족시켜야 할 요구 조건은 다음과 같다[15].

- 1) 연결 확립형(connection-oriented service), 비연결형(connectionless) 서비스를 지원해야 한다.
- 2) 지정된 QoS(Quality of Service)를 만족해야 한다.
- 3) CBR, VBR, ABR 서비스를 모두 지원할 수 있어야 한다.
- 4) 유니캐스트(unicast), 멀티캐스트(multicast), 브로드캐스트(broadcast) 서비스를 모두 만족해야 한다.
- 5) ATM과 연동 가능해야 한다.
- 6) 망의 처리율을 손상하지 않는 범위 내에서 매체에 접속하는 평균 지연이 작아야 한다.

CATV망의 논리적 토폴로지는 프로토콜 설계에 중요한 제약을 가하고 있다. 물리적으로는 수지(Tree and Branch)구조를 가지고 있으나 상향과

하향의 전송 주파수 대역이 다른 특성 때문에 논리적으로 양방향 이중버스구조(Bidirectional Dual Bus)로 해석한다. 기존의 충돌 감지식의 MAC은 CATV망에서는 신뢰성이 없는데 이는 한 가입자 단이 다른 가입자 단의 신호를 직접 들을 수 없고 헤드엔드를 통해서만 감지할 수 있기 때문이다.

지금까지 공중망이나 사설망에서 여러 가지 종류의 MAC이 제안되고 연구되었으나 간단하고 제일 많이 쓰이는 두 종류의 MAC은 예약방식(Reservation Method)과 경쟁방식(Contention Method)이다. HFC에서도 이 두 방식을 비교하여 그 중의 하나의 방식을 기반으로 하여 MAC의 표준화를 추진하고 있다.

이 두 방식은 각각 장단점이 있다. 예약방식은 TDMA를 사용하며 장점은 매체에 접속해 있을 경우 개개의 사용자가 지정된 타임 슬롯을 사용하므로 다른 사용자와 충돌이 없고, 전화나 화상 전화와 같은 고정 비트율 서비스에 있어서 언제나 고정된 시간 슬롯을 사용하므로 음성 정보나 화상 정보 등의 지연현상이 없다. TDMA방식을 사용하는 예약 방식 MAC의 단점은 인터넷 서비스나 주문형 비디오 등과 같은 대부분의 양방향 멀티미디어 서비스들은 가변적으로 데이터가 발생하므로 전송할 데이터가 없는 시간에는 타임 슬롯이 낭비되고, 전송할 데이터가 많은 시간에는 타임 슬롯이 모자라는 경우가 발생한다.

경쟁방식은 전송할 데이터가 있는 사용자가 매체의 사용가능 여부를 탐지하여 사용가능상태이면 데이터를 송신하는 방식이다. 경쟁방식은 전송할 데이터가 있는 사용자만이 매체를 이용하므로 매체의 사용율이 높아지는 장점이 있다. 하지만 매체의 사용 여부를 탐지하는 과정에서 시간지연이 있으므로 다른 사용자가 매체를 동시에 사용할 확률이 있다. 즉 A라는 사용자가 매체 사용 여부를 탐지하는 동안 B라는 사용자는 매체를 사용하는 사

용자가 없다는 것을 감지하고 데이터를 전송하면 A 사용자도 매체를 사용하는 다른 사용자가 없다고 여기고 데이터를 전송하므로 데이터의 충돌이 일어나는 단점이 있다.

IEEE 802.14의 연구에 의하면 일반적으로 다수의 단말국이 단 하나의 헤드엔드에 데이터 전송을 시도하는 HFC CATV망에서는 예약 방식보다 경쟁방식이 상대적으로 효율적일 것이고, 예약 방식과 경쟁 방식을 혼용하는 경우에도 상당 부분은 경쟁방식을 이용하여 상향 경로를 통해서 데이터 전송이 이루어질 것으로 예상되고 있다[16].

## V. 기간망과의 연동(ATM over HFC)

### 5.1 ATM over HFC 기술 적용 배경

SONET(Synchronous Optical Network)으로 구성되는 ATM 기간망은 음성 전화와 같은 고정 비트율 응용 서비스(Guaranteed bit rate application)에서부터 가변 비트율 응용 서비스(Elastic bit rate application)를 통합한 베어러 서비스(bearer service)로 제공할 수 있는 기능을 가질 것이다. 서비스들의 각각은 CATV망의 정해진 공통적인 채널은 통하여 CATV망 가입자들에게 전송될 것이다.

위와 같은 시스템 구성에는 가입자 구간에서 다음과 같은 두 가지 형태로 구현될 것이다. 첫 번째는 각 가입자 댁내까지 ATM 트래픽을 제공하는 'ATM in the home'이라는 방안으로 각 가입자 단말의 인터페이스로부터 가입자 전 구간에 걸쳐 ATM 인터페이스를 가진 장비로 구간을 구성하는 것이다. 두 번째 ATM 장비 구축에 따른 경제적인 부담을 고려한 방안으로 ATM 트래픽을 아파트의 경우에는 공통 집선 장치까지, 단독 주택이면 인근 배선장치까지만 전달하는 'ATM to the side of

Home'이다.

두 번째 방안의 경우 각 가입자들이 현재 구비하고 있는 기존의 인터페이스, 장비 - 전화(POTS), 이더넷(Ethernet)등 -를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있고, IEEE에서 가정용 장비 인터페이스로 새롭게 소개되고 있는 가입자 망 구성인 IEEE 1394 Firewire나 다른 망 기술과도 쉽게 접목될 수 있을 것이다. 그리고 향후 ATM망의 고도화 혹은 서비스 가입자 수 조정 등에 보다 유연하게 대처할 수 있을 것이다.

또한 CATV 가입자 구간에서 데이터 링크 계층 프로토콜 데이터 유닛(data link layer protocol data unit)으로 ATM 셀을 이용하게 되면 전화와 같은 고정 비트율 서비스와 인터넷 서비스와 같은 가변 비트율 서비스 등을 헤드엔드에서 다중화하여 트래픽을 가입자에게 전송할 수 있는 장점을 가진다.

ATM의 특성상 미래에 새로운 멀티미디어 서비스가 등장하여도 기본적인 ATM 프로토콜의 변화 없이 새로운 서비스를 수용할 수 있는 유연성을 가질 것이다.

## 5.2 ATM over HFC 참조 모델

HFC망을 이용하여 ATM 트래픽을 가입자 댁내 구간까지 전송하려는 기술적 검토는 관련 단체들에서 계속 연구, 검토중이며 이를 위하여 ITU-T와 ETSI는 각각 I.413, I.414와 DTR/TM-3024를, DAVIC에서는 DAVIC 1.0( part 4.0), 그리고 IEEE P802.14 Working Group과 ATM Forum RBB Working Group은 ATM/95-1416R2 참조 구조(Reference Model)를 발표하였다.

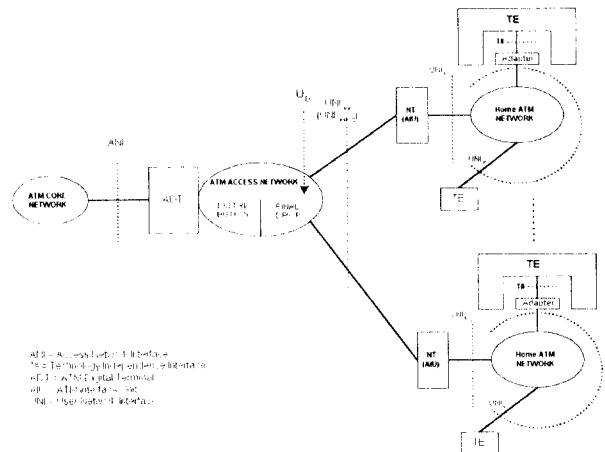
본 논문에서는 IEEE 802.14와 ATM forum에서 제안한 참조 구조를 고려하여 ATM over HFC를 설명하고자 한다.

IEEE 802.14와 ATM Forum은 <그림 7>에서와 같이 ATM 근간망(ATM Core Network)의 하부구조로서 HFC가 이용되기 위해서는 기존의 광선로 확대 포설과 더불어 CATV 헤드엔드 측에서는 'ATM 디지털 터미널'(ATM Digital Terminal, ADT)을, 가입자 측에서는 '망 종단장치'(Network Terminal, 혹은 ATM Interface unit, AIU)를 도입하는 방안을 제시하였다. 가정 혹은 사무실 환경에서 댁내 ATM망(Home ATM Network)이 구축될 것이며, 각 ATM 단말기(ATM Terminal Endpoint, TE)들은 댁내 ATM망에 접속된다고 가정하였다.

참고 구조내의 각 장치들 사이의 인터페이스로 ATM Core Network와 헤드엔드의 ADT사이에는 ANI(Access Network Interface)를 정의하였다. ANI는 HFC를 비롯하여 PSTN, Leased Line, NISDN, BISDN, PSPDN, Frame Relay등 ATM 기간망과 연동될 수 있는 모든 종류의 망이 접속할 수 있는 노드일 것이고, 다변적 서비스 속성을 분별하고, 이에 대응하는 최적 자원할당 및 설정을 가능하게 하는 기능을 수행할 것으로 예상된다.

P802.14 하부 구조망은 헤드엔드와 헤드엔드에

그림 8. ATM Forum / IEEE 802.14 ATM over HFC 참조구조



속해있는 모든 TE까지 ATM셀로 전송되는 데이



터, 음성, 영상 등의 통합적인 서비스를 넓은 지역에 걸쳐 제공하는데 있다. 물리적 구조로서 P802.14 하부 구조망의 역할은 ADT, AIU, TE 사이에 ATM peer-to-peer 전송에 필요한 대역폭을 제공한다. P802.14 하부 구조망은 ATM 트래픽을 수용할 수 있는 대역폭 할당이 필요하다. 즉, 상향 및 하향 채널에서 ATM 가상 연결(Virtual Connection)이 확립되기 위한 ATM 서비스 요구사항을 만족시킬만한 채널 용량을 가진 대역 할당이 이루어져야 한다.

P802.14 하부 구조망에서 확립되는 가상 연결은 ADT가 관장한다. ATM 근간망과 P802.14 하부 구조망을 연결시키는 ADT는 CATV 헤드엔드에 위치하며, P802.14 하부 구조망의 모든 주파수 대역 관리를 담당한다. 또한 ADT는 ATM 근간망과 P802.14 하부구조 헤드엔드의 인터페이스인 ANI와 P802.14 파이널 드랍(Final Drop)과 AIU간의 인터페이스인 UNIHFC의 변환을 담당한다.

P802.14의 ATM계층에서 ANI와 UNIHFC의 매핑을 구현하고, ATM 및 ADT 관리 기능을 제공한다. ANI와 UNIHFC의 매핑 기능에 의해서 HFC망과 ANI간의 양방향 ATM 전송이 가능하다.

## Ⅵ. 표준화작업

현재 HFC CATV망에 관한 국제 표준화는 크게 IEEE 802.14 위원회와 MCNS에서 주도하고 있다. IEEE 802.14 위원회는 OSI 7 layer 중 전송매체와 관련된 Physical layer와 MAC layer를 중심으로 서비스의 종류, 프로토콜의 평가 기준, 망 구조 등에 관한 표준을 정하고 있다. MCNS는 Multimedia Cable Network System의 약자로서 미국 내에서 Cable 관련 업체들이 모여 추진하는 표준화로 97년 8월 케이블모뎀에 관한 표준안이 채택되었다.

MCNS의 결성목적은 HFC-CATV 시스템 상의 데이터 통신 표준 제정에 있고, Comcast Cable Communication과 Cox Communications, TCI(Telecommunications), TWC(Time-Warner Cable)등이 MCNS를 구성하고 있다. MCNS의 구성업체들이 전체 Cable 시장의 80% 이상을 차지하고 있는 만큼 MCNS의 미국 내 영향력은 상당하다. 또한 MCNS를 ITU-T의 규격으로 승격시키려는 움직임이 나타나고 있다. 또한 이 구성업체 외에 Baynetworks, Cysco systems등의 네트워크 업체와 모토롤라, 소니, 인텔 등의 우수한 통신업체들이 참여하고 있다.

이외에 DAVIC(Digital Audio-Visual Council)은 1994년 설립되어 현재 25개국, 200여개 이상의 기업이 참여하고 있고, 컴퓨터, 통신 장비, CATV등에 관련된 표준화를 진행중이며 정부 정책과 연구를 담당하는 조직을 갖고 있다. 이러한 일련의 표준화 단체들은 보다 나은 표준안을 만들기 위하여 서로 간의 모임을 가지며 상호 협력하고 있다.

국내에서도 표준화작업을 위하여 1997년 1월부터 종합유선방송협회를 중심으로 국내 표준화작업 움직임이 시작되었다. 데이콤의 10여개 회사가 케이블 모뎀 기술 협의회를 구성하였으며, 정보통신부 형식 승인용 기술적 조건(안)도 수립되어 제어장치와 케이블 모뎀간의 전기적 특성을 규정하려 하고 있다. 1998년에는 HFC-CATV망의 표준화작업이 한국 정보통신 기술협회의 전송 기술 분과 위원회 CATV연구위원회의 '98년도 표준안 과제'로 선정되었다. 국내 표준화 작업중에 보안해야 할 사항은 장비의 호환성 확보를 위한 기술적 검토와 국산 기기 보호를 위한 고유 사항을 반영하는 것이 바람직할 것이다.

## Ⅶ. 결론

본 논문에서는 HFC-CATV망의 역사, 채널환경,

국내 CATV망을 이용한 디지털 신호전송 성능분석, HFC-CATV망에서 사용되는 전송방식, 매체 접속 제어(Medium Access Control), 기간망과의 연동, HFC-CATV망의 표준화 동향에 대하여 알아보았다. 초고속정보통신망의 하부구조로서 HFC-CATV망이 가지고 있는 장점은 기간망과 가입자망까지 광섬유로 이루어진 망보다 초기 투자비가 적으며 유지 보수가 쉽고, 기존의 가입자망(PSTN)보다 넓은 대역폭을 가지고 있으며, 이미 가입자단까지 포설이 되어있다는 것이다. 반면에 HFC-CATV망이 가지고 있는 문제점은 CATV망에 존재하는 여러 종류의 잡음과 특히 가입자단에서 오는 유입잡음으로 인한 신호 품질의 저하에 있다.

국내 CATV망의 디지털 신호전송 성능분석에서 상향가입자수가 1200여명에 이르는 표본지역에서 실시한 측정결과는 CableLabs에서 정한 상향 신호의 전송 목표치를 만족하지 못하였고, 400~500 정도의 상향 가입자가 있는 표본지역에서는 CableLabs의 상향 신호 전송 목표치를 만족하였다. 측정결과에 따르면 셀 당 상향 가입자수가 400~500명 정도 되어야 원만한 통신환경이 되어 개개의 부가서비스의 QoS(Quality of Service)를 만족시킬 수 있다는 결론이 나왔다.

셀당 상향 가입자수가 400~500명 정도가 되어야 하는 이유는 상향 가입자수에서 유입되는 잡음으로 인해 상향신호의 전송품질이 저하되기 때문이다. 지금 현재 국내의 CATV망은 셀 당 500 가입자가 넘는 셀이 많지만 상당히 많은 지역에서 셀의 재분할 작업이 이루어져 완성단계에 있다. 또한 멀티미디어 통신의 초기단계에서는 가입자가 그리 많지 않을 것으로 기대되므로, 멀티미디어 통신을 사용하지 않는 가입자에게는 고역통과필터를 사용하여 상향잡음 유입을 최소화 할 수도 있을 것이다.

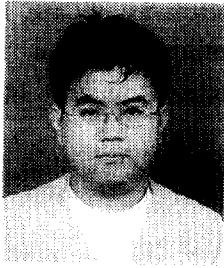
CATV망 유입잡음의 영향을 최소화하는 방안으

로 셀의 분할 외에 잡음에 강인한 변조 방식을 사용하는 방법이 있다. 이러한 변조 방식을 사용하는 것은 상향주파수 대역 중에 사용가능 대역폭을 넓히는 이점도 있다. CATV 가입자로부터 헤드엔드로 신호를 전송하는 상향대역 중 5~15MHz 대역은 유입 잡음이 많아 일반 변조방식으로는 사용하기가 어려운 대역폭이므로, S-CDMA와 같은 잡음에 특히 강인한 방식의 사용을 적극 고려해야 할 것이다. 현재 국내에서는 상향전송표준으로 QPSK의 채택이 고려되고 있는데, 이 경우 5~15MHz 대역의 사용을 현실적으로 포기해야 할 것이다.

HFC-CATV망은 ADSL, B-WLL등과 더불어 가장 유력한 초고속 가입자망중의 하나로 부각되고 있다. HFC망을 통한 ATM 셀 전송을 위한 표준화 작업인 IEEE 802.14는 1998년 말 완료될 것으로 기대되고 있고, ATM RBB, ATM Forum등의 표준화작업과 부합되는 방향으로 진행되고 있다. 1997년 8월 14일 완료된 MCNS 표준화는 HFC망을 통한 Ethernet 전송을 위한 것이고, 특히 전송 및 물리적 환경에 대한 표준화를 규정하고 있다. 미국에서는 1998년 6월 상호 연동 가능한 케이블모뎀의 규격이 발표될 예정이다. 국내에서도 한국 정보통신 기술 협의회(TTA)를 중심으로 MCNS 표준을 근거로 표준화가 진행중이며 머지않아 완료될 것으로 예상되고 있다. 이처럼 HFC-CATV망에 대한 표준화 작업은 완료되었거나 올해 안으로 전세계적인 표준안이 완료될 예정이므로, HFC-CATV망을 이용한 초고속 가입자망은 표준화작업이 진행중인 ADSL이나 국내에서 2001년 상용화 예정인 B-WLL보다 빠른 시간 내에 사용 가능할 것이다. HFC-CATV망은 가입자단까지 포설되어 있고, 셀 분할이 대부분 이루어져 있으며, 망관리 시스템 등의 적절한 초기 투자를 한다면 적어도 향후 5년 동안은 가장 경제적으로 가입자에게 고속의 서비스를 제공할 수 있는 현실적인 망으로 생각되어진다. 그러므로 HFC-CATV망에 대한 관련연구와 장비 개발 등이 활발히 수행되어져야 한다고 생각한다.

## 참고문헌

1. 박승권, "정보초고속도로망으로서의 케이블 TV", 종합유선방송위원회 제5차 정책 세미나-한국 케이블TV의 발전방향, 종합유선방송위원회, pp.47 65, 1997
2. 윤경록, "KT의 초고속 가입자망 구축전략", 대한 전자공학회 초고속 가입자망 심포지움, pp 1 5~39, 1998.5
3. 초고속 가입자망 심포지움, 대한전자공학회, 1998.5.12~1998.5.13
4. 박승권, 신민영, 김형준, 노상영, 최규태, 황철훈, "케이블TV전송망의 디지털 신호전송 평가", 한양대학교 정보통신연구소, 1996
5. 박승권, 김형준, 노상영, 허성현, 황승오, 박종현, 김남수, "케이블TV전송망을 이용한 부가통신 서비스", 한양대학교 정보통신연구소, 1997
6. Walter S. Ciciora, "Cable Television in The United States-An Overview", Cablelabs, Inc. May, 1995
7. FPN, "White Paper-Noise vs. Bandwidth", First Pacific Network, 1995
8. Eugene R. Bartlett, "Cable Television Technology and Operations", McGraw-Hill, 1990
9. Archer S. Taylor, "Characterization of Cable TV Networks as the Transmission Media for Data", IEEE J. selected Commun, volsac-3, No.2, Mar. 1985
10. Internet URL([HTTP://www.speed-demon.com](http://www.speed-demon.com))
11. Bernard Sklar, "Digital Communications", Prentice Hall, 1988
12. Albert A. Azzam, "High-Speed Cable Modems", McGraw-Hill, 1997
13. Internet URL([HTTP://www.Terayon.com](http://www.Terayon.com))
14. 김형준, "CATV 상향채널의 디지털 신호 전송 성능분석", 한양대학교 대학원, 1997
15. IEEE 802.14 Standard, Internet URL([HTTP://www.IEEE.org](http://www.IEEE.org))
16. 황철훈, "HFC CATV망에서의 다중접속제어 알고리즘에 관한 연구", 한양대학교 대학원, 1997



황 승 오  
(Sung-Oh Hwang)

- 1997년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
- 1997년 3월 : 현재 한양대학교 전자통신공학과 석사3기
- 주관심분야 : HFC-CATV망을 통한 디지털전송,  
Signal Processing Medium Access Control



박 종 헌  
(Jong-Hun Park)

- 1997년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
- 1997년 3월 현재 한양대학교 전자통신공학과 석사3기
- 주관심분야 : S-CDMA, OFDM, Signal Processing  
Coding



박 승 권  
(Seung-Kwon Park)

- 공학박사 : Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, 1987
- 공학석사 : Stevens Institute of Technology, Hoboken NJ, 1983
- 공 학 사 : Hanyang University, Seoul, 1982
- 주요 경력:
- 한양대학교, 전자통신공학과
- 1995년 3월 - 현재, 부교수
- 1993년 3월 - 1995년 2월, 조교수
- Tennessee Technological University, Electrical Engineering Dept.
- 1992년 9월 - 1993년 1월, 부교수 (Tenured)
- 1987년 9월 - 1992년 8월, 조교수,
- 주 관심 분야:
- Data Communication System
- CATV Multimedia Systems
- Digital Signal Processing
- Artificial Neural Networks
- Speech Synthesis and Recognition
- Radar and Sonar Signal Processing