# ATM망에서 ADSL 정합장치 기능 구현

소 운 섭† · 양 성 모† · 김 진 태† · 강 석 열††


## 요 약

본 논문에서는 ATM 망에서의 ADSL 정합장치 기능 구현에 대하여 기술한다. ADSL 정합장치 기능은 ADSL 모뎀에 연결되어 비대칭으로 송수신 되는 데이터의 ATM 물리 계층을 처리하는 ATM 교환기 표준 보드로 구현되었다. 기능 구현을 위해 기존 연구 결과로 부터 최악의 선로 조건에서 가입자 선로의 누화, 임펄스 잡음 및 기타 가입자 선로에 가해지는 중요 전송 손실을 모델링하고, 시험 환경을 구성하여 성능 평가 시험을 하였다. 선로 시뮬레이터를 이용한 다양한 루프 및 최악의 선로 조건 시험에서 표준 규격을 만족한 것으로 나타났으며, ATM 교환기 및 ADSL 가입자 선로를 통한 고속 멀티미디어 서비스가 양호하게 수행됨을 확인하였고, 따라서 개발된 ADSL 정합장치는 ATM 망에서 기존 동선 가입자 선로를 통하여 양호한 ADSL 서비스를 제공할 수 있는 것으로 평가되었다


# The Implementation of the Asymmertic Digital Subscriber Lines(ADSL) Interface Function in ATM Networks

Woon-Seob So† · S.M. Yang† · J.T. Kim† · S. R. Kang††


## ABSTRACT

This paper describes the implementation of the asymmetric digital subscriber lines(ADSL) interface device function in ATM networks. The function of the ADSL interface devices has been achieved within a type of the ATM switch standard board. The board connected with the ADSL modem process the ATM physical layer function of data transfering asymmetrically. For the implementation of the board, we have modeled a worst case of the subscriber line conditions from the existing investigated results on the impairments such as crosstalk, impulse noise, and some important noises loaded to subscrber line. Also we have performed assessment tests in the full test environments. We have found that the board is met to the standard specification in condition with various test loops and the worst line conditions using an ADSL line simulator. And we confirmed that high-speed multimedia services are performed well with the ATM switch and the ADSL subscriber line. It is evaluted that this board can be used for high quality ADSL services through existed copper subscriber line.


## 1. 서 론

최근 정보통신의 급속적인 발전으로 일반 전화 가입자에게 제공되는 서비스가 단순한 전화 위주의 통신 서비스에서 고속이면서 다양한 초고속 멀티미디어 통신서비스로 진행되고 있다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서 미국 및 유럽과 일본 등을 비롯한 세계 각국에서 초고속 통신망을 구축해 왔고, 국내에서도 단계적으로 2015년까지 전국에 광 선로를 포설하여 국내 기존 동선의 가입자 선로를 광섬유로 대체해서 초고속 정보통신망을 구축할 예정이다. 그러나 기존 동선 가입자 선

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 신호서비스연구실
†† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 ATM교환연구부
논문접수 : 1997년 10월 28일, 심사완료 : 1998년 2월 19일

로의 광케이블화는 막대한 비용과 기간이 소요되므로, 가입자에게 광케이블 설치가 완료될 때까지 현재 PSTN(Public Switched Telephone Network) 망에서 사용중인 기존 동선 가입자 선로를 활용하여 각 가정, 학교, 공장 및 중소규모 사무실에 초고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Lines) 기술이 개발되었다.

ADSL은 90년대 초에 제안되었으며[1], 그동안 계속적인 연구와 고집적, 저전력, 초소형 반도체 기술, 디지털 신호처리 기술, 변복조 기술 및 비디오 압축 기술의 발달로 실현 가능하게 되었고, 고화질의 비디오 영상 및 고음질의 오디오 음악이 기존 전화선을 통해 제공될 수 있게 되었다. 이와 같은 ADSL은 기존 전화 가입자에게 음성 전화서비스는 그대로 제공하면서, 가입자 선로의 양단에 현재 사용하고 있는 다이얼 업 모뎀과 유사한 형태의 ADSL 모뎀을 설치하여 별도의 고속 데이터 전송 채널을 제공해 준다. 그리고 ADSL은 송수신 방향의 전송 속도가 서로 다른 비대칭 전송 방식으로 교환기에서 가입자측으로 전달되는 하향 데이터는 1Mbps ~ 8Mbps의 고속이며, 반대 방향의 상향 데이터는 16kbps ~ 1Mbps의 저속이다. 이와 같은 상향 데이터의 저속 특성 때문에 가입자 단에서 누화의 영향이 대칭 전송시스템에 비해서 상당히 적어 장거리 전송이 가능하다.

ADSL의 주요 핵심 기술은 ADSL 모뎀을 구성하는 ADSL 칩셋인데 국내에서는 아직 ADSL 칩셋이 개발되지 않고 있으며, 외국에서는 개발된 칩셋을 개발에 참여한 국내 일부 기업체에게만 제한적으로 공급하는 회사가 있고, 제조회사에 따라 다수의 칩으로구성된 칩셋을 버전 별로 개발 중이며, 칩셋 구성 형태가 서로 다르므로 상호 호환성이 없다. 부가적 핵심 기술은 교환기 및 단말기에 접속되어 서비스를 구현하는 정합 기술인데 외국으로부터 칩셋과 소요 기술을 도입하여 ADSL 모뎀을 개발하거나 개발된 완제품을 도입하고 있으며, 서울과 대전 등 국내의 시범 사업에서 일부 지역에 설치되어 서비스 되고 있다. 전송 방식으로서 일반적으로 CAP(Carrierless AM/PM) 방식 및 DMT(Discrete Multi-Tone) 방식이 실용화 되어 있으며, CAP 방식은 GlobeSpan사로부터 ADSL 칩셋을 공급 받아 현재 국내에서 ADSL 모뎀이 제작되고 있고, DMT 방식은 아직 칩셋이 보편화되지 못하여 국내에서 제작되지 못하고 일부 완성 제품을 도입하여 사용하고 있다.

ATM 망에서 가입자에게 ADSL 서비스를 제공하기 위해서는 ADSL 정합장치 기능이 구현되어야 하고, 실제 서비스 가능한 루프 거리 성능이 평가되어야 하며, 다양한 멀티미디어 서비스 기능이 제공되어야 한다. 제공되는 서비스로는 최근 폭발적으로 증가하고 있는 고속 인터넷 접속시에 하향과 상향의 데이터 전송 속도의 비율이 약 10:1 ~ 15:1인[2] 비대칭 특성으로 최적의 서비스를 제공할 수 있으며, 주문형 비디오, 방송, 원격 교육, 원격 진료 및 영상회의 등의 다양한 서비스가 가능하고, 향후 가입자 망이 광대역으로 발전함에 따라 보다 높은 고속 데이터 속도의 VDSL(Very high rate DSL) 서비스가 쉽게 구현될 수 있다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어 II장에서 ADSL 선로부호 및 변조 방식과 전송 손실에 대한 전송 기술을 살펴보았고, III장에서 ATM 교환기에 접속되는 ADSL 정합장치의 설계에 대하여 기술하였다. IV장에서 성능평가를 위한 시험환경 구성과 선로 시뮬레이터[3]를 이용한 성능 및 서비스 루프 거리를 평가 분석하였고 V장에 결론을 맺었다.

## 2. ADSL 전송 기술

### 1. ADSL 선로 부호 및 변조 방식[4]

ADSL에서 사용되는 선로 부호 기술은 Bellcore에서 제안한 QAM(Quadrature Amlpitude Modulation), AT&T사에서 제안한 CAP, Amati사에서 제안한 DMT, Aware사에서 제안한 DWMT(Discrete Wavelet Multi-Tone) 방식이 있는데[5], [6] 현재 미국 ANSI의 T1E1.4 위원회에서 ADSL을 위한 표준으로 DMT 방식을 선정하였다. 그러나 ATM 포럼의 UTP-3를 활용한 51.84Mbps 전송을 위한 표준으로는 16-CAP 방식의 사용이 결정되었고, 일본의 NTT에서는 16-QAM 방식을 사용하고 있다[7].

QAM 방식은 음성대역 모뎀과 마이크로웨이브 무선 시스템에 사용되고 있는 잘 알려진 변조 기술이다. 소스 데이터는 두개의 반속 스트림(half-rate stream)으로 나눠지고, 전송하기 위해 한 쌍의 직교 반송파로 변조되며, 사인과 코사인 혼합 기능을 갖는 변조기에 공급된다. 송신기는 혼화기, 비트/심볼 인코더, 송신 저역 필터 및 D/A변조기로 구성된다. 수신기에서는 이 직교성(orthogonality)을 이용하여 연속된 데이터 검

출을 위해 역변조하여 두 개의 비트 스트림으로 나눠지게 한다. 검출 기능은 2차원 복합 심벌의 구분과 이것을 이진수(binary)에 맵핑하고, 비트 스트림을 역혼화(descrambling)하는 것을 포함한다. 또 채널 때문에 발생한 분산을 보상하기 위한 등화(equalisation) 기능도 포함된다. D/A 변환시의 왜곡을 보상하기 위해 수신기의 전단에서는 심볼당 3또는 4 샘플 비율로 동작한다. 선형등화기는 데이터 전송에서 노이즈 증폭을 일으키므로 DFE(decision feedback equalisation)를 사용하여 노이즈를 줄인다. 이 기술은 하드웨어 복잡성을 줄이고 보내고자 하는 주파수 스펙트럼 위치에 할당할 수 있는 유연성이 있다.

CAP방식은 QAM방식과 유사한 2차원 전송 구조이며 QAM과 동일한 스펙트럼 형상과 성능을 갖는다. 하지만 사인과 코사인 혼합기에서 생성되는 직교성 캐리어 대신 두개의 반송 비트 스트림의 변조가 위상은 /2만큼 다르지만 동일한 진폭을 갖는 한 쌍(hilbert pair)의 디지털 대역통과필터에서 생성되고, 송신 신호가 두개의 디지털 필터 출력의 조합으로 이뤄진다. 수신기에서는 QAM에서와 같은 등화기를 사용하며, 전단부분 탭 필터는 입력 선로 신호를 두개의 분리된 직교성분으로 분리하는 기능도 수행한다. 이 방식은 주파수 대역이 적절히 설정되었을 경우 선로상의 임펄스 노이즈 및 기존 서비스와의 간섭이 최소화 되도록 주파수 배치를 자유로이 할 수 있다는 장점이 있다.

DMT 방식은 다중 반송파 변조방식이고, 시간을 고정된 수의 비트를 운반하는 일정한 심볼 주기로 나눈다. 비트는 다른 주파수의 신호 톤에 그룹으로 할당되며, 주파수 영역에서 DMT는 많은 부채널(sub-channel)로 나눈다. 선로 용량은 주파수와 많은 비트가 할당된 채널이 더 큰 용량을 가지는 부채널에 따라 변한다. 각 톤이나 부채널의 비트들은 심볼 주기 내에서 톤의 진폭과 위상을 세트하는 복소수로 변환된다. 따라서 DMT는 동시에 같이 연속적으로 동작하는 QAM 시스템의 뱅크로 생각할 수 있다. ANSI ADSL 표준에서는 사용대역에 따라 최대 256개의 부채널로 구성되도록 하였다. 각 부채널에 보내지는 데이터의 비트 수는 각 부채널의 신호 및 노이즈 수준에 따라 적응적으로 변화하고, CRC, Reed-Solomon 코딩, 인터리빙 버퍼를 적용하여 전송 에러를 줄일 수 있다. 이 방식은 임펄스 노이즈 및 기타 잡음에 대하여 강한 장점을 갖고 있어 널리 사용되고 있다.

DWMT 방식은 DMT 방식과 유사한 다중 반송파 변조방식이며, DMT 방식에서 사용하는 변복조 기술에 DFT(Discrete Fourier Transform) 대신 DWT(Discrete Wavelet Transform) 기술을 사용한다. 부채널 파형을 감소시키지 않고 높은 수준의 부채널 스펙트럼을 얻기 위해 섬세하게 설계므로, 후단 검출 처리는 DMT에 비해 복잡하지만 노이즈 손실이 있는 실제 선로 환경과 수신기 구조 한계에 대해 잘 견디어 낸다. DWMT 처리 특성 때문에 심볼사이간섭과 협대역 채널 노이즈에 대해 강한 장점을 갖고 있으나 아직 널리 사용되고 있지 않다.

### 2. ADSL 전송 손실[8],[9]

전송 선로에서 신호는 주로 감쇄(attenuation), 왜곡(distortion), 반사(reflections)로 인해 약해 지고, 백색잡음(white noise), 근단누화(Near End Cross-talk : NEXT), 원단누화(Far End Crosstalk : FEXT), 무선 주파수 간섭(radio frequency interference), 임펄스 잡음(impulse noise)에 의해 에러가 발생되고 성능이 저하된다.

신호의 감쇄는 선로의 크기에는 한계가 있으므로 수신단에서의 신호는 약해지는데 일반적으로 ADSL에서 손실은 300kHz 주파수에서 0.5mm 동선 쌍으로 5km를 전송하면 55dB의 손실이 발생한다. 이러한 손실을 보상하기 위해서는 약해지는 신호를 감지할 수 있어야 하고, 동적으로 범위를 조절할 수 있어야 하며, 이를 위해 자동이득조절 기능을 사용하여 구현할 수 있다.

왜곡은 초기 신호가 대체적으로 2s후부터 케이블 길이 및 시간에 따라 변형되고 분산되는 것으로서 주로 심볼사이간섭(Inter-Symbol Interference)에 의한 영향이 크다. 수신단에서는 등화 기능을 사용하여 보상해야 하는데 케이블 게이지의 변화와 브리지 탭이 추가로 왜곡을 일으키므로 ADSL과 같은 고속신호 설계시 특히 주의 하여야 한다.

반사는 주로 결합 부분이나 케이블 게이지의 변화부분 또는 송수신기의 복합 임피던스가 맞지 않는 곳에서 발생한다. 이것을 보상하기 위해서는 각 전송 방향에서 주파수분할 다중화를하든지 반향 제거 기능를 사용한다.

백색 잡음은 불연속 전압 스텝에 의한 양자화 잡음, 일시적인 전류에 의한 쇼트 잡음, 전자의 동적 흐름으로 인한 열 잡음이 있으나 레벨이 낮으므로 무시해도

되지만 시스템 설계시 성능 저하가 일어나지 않도록 충분하게 설계해야 한다.

근단누화(NEXT)는 인접한 다른 송신기로 부터의 신호가 누설되어 수신기로 흘러 들어오는 것을 말한다. ADSL에서는 주파수가 서로 다른 단중 전송이고 주파수분할 다중화를 사용하므로 근단누화가 크게 문제되지 않으나, 서로 다른 쌍에서 동일한 종류의 신호가 간섭을 받을 수 있는데 이것은 self-NEXT라 한다. 일반적으로 시험을 위한 간섭 요소는 전력 스펙트럼 밀도가 140dBm/Hz 를 가진 AWGN(Additive White Ground Noise)으로서 DSL, HDSL, ADSL은 같은 묶음 내에 있는 것이고, T1 선로는 이웃 묶음에 있는 것으로 가정한다. 근단누화 결합은 일반적으로 다수 쌍의 간섭으로 인한 전력의 합으로 표시되며 다음 식으로 구해진다.

$$C_f = -55 + \log\left[\frac{f}{100}\ kHz\right] dB$$

여기서, f는 사용되는 주파수 이다.

ANSI 규격의 ADSL 시스템 성능 요구조건에 의하면 최악의 조건에서 시스템 내부의 예측할 수 없는 선로 특성 및 많은 잡음에 의해 성능 감쇄가 있을 수 있고 10-6 의 비트 에러율을 보증하기 위해서 추가적으로 6dB 마진이 필요하다고 규정하고 있다. NEXT는 케이블 또는 송수신장치에 임피던스 영향을 주지 않는 전압 레벨이 적용되며 최대 데이터 속도는 적정 입력 전원을 사용하는 한 모든 CSA(Carrier Serving Area) 범위에서 균일한 전달 전력 스펙트럼을 적용한다.

원단누화(FEXT)는 송신기로 부터의 신호가 누설되어 인접한 다른 수신기로 흘러 들어가는 것을 말한다. 선로가 긴 ADSL에서는 직접적인 신호보다 더 감쇄되므로 문제가 되지 않으나, 짧은 거리에서 높은 속도로 전송시에는 중요한 문제가 되므로 반향 제거와 주파수 분할 다중화를 사용하여 보상해 주어야 한다.

모든 액세스 망은 넓은 범위의 무선 주파수 간섭(RFI)에 노출되어 있다. 그러므로 망 전송 시스템은 근본적으로 이 간섭을 배제할 수 있는 능력을 가져야 하는데 대개 액세스 망은 균형을 잘 유지하므로 무선 주파수 간섭에 쉽게 영향을 받지는 않는다.

임펄스 잡음은 가정의 전기 스위치나, 콘센트 또는 낙뢰에 의한 방전에 의해 발생하는 것으로서 시험에서는 초당 15번 임펄스를 인가하도록 되어 있다. 보고에 의하면 실제 임펄스의 발생은 15분당 1번 발생하며 최악의 조건에서 첨두 전압은 80mV~100mV로 측정되었으며, 500s 마다 10-1 배의 확률로 발생 빈도가 감소했다.

ADSL 선로에 연결되는 POTS(Plain Old Telephone Services) 루프 전류는 0~100mA이어야 하고, POTS 스플리터(splitter)는 0V~105V의 직류 전압과 이 직류 전압에서 15.3Hz~68Hz를 가진 40V~150Vrms 링 신호를 통과 시킬 수 있어야 한다. POTS 간섭을 시험하기 위한 조건은 가입자측에서 25번 링이 울리도록 전화를 걸고, 링이 울리는 전화를 25번 픽업해야 하며, 25번 훅 온과 훅 오프를 수행해 보고 펄스와 톤 다이얼링을 수행해야 한다.

이상과 같은 고찰에 따라 현재 국내에서 실현 가능한 CAP 방식 ADSL 모뎀을 사용하고, 전송 손실에 대한 특성을 관찰하기 위해 선로 시뮬레이터를 사용하여 구현된 ADSL 정합장치의 성능을 평가한다.

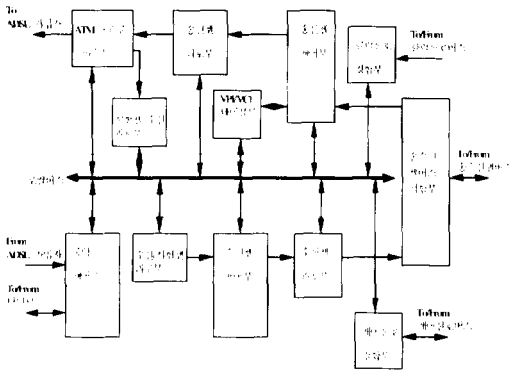
## 3. ADSL 정합장치 설계

### 1. 설계 개념

가입자에게 고속의 ATM 서비스를 제공하기 위해서는 서버와 클라이언트 간에 투명한 ATM 전송이 보장되어야 하지만 ATM 단말기의 개발이 늦어져 가입자 단말에서 ATM 셀을 종단하기는 어렵다. 한편 기존에 개발된 ADSL 정합장치들은 ATM 망에서 사용되는 것이 아니고, 저속의 T1이나 E1 속도의 전송 선로에서 사용되는 장치들이다. 그러므로 ATM 망에서 ADSL을 이용한 서비스를 실현하기 위해서는 가입자 선로상에 교환기측 ADSL 장치(ADSL-CO)와 가입자측 ADSL 장치(ADSL-RT)를 설치하고, 가입자 단말 PC와 ADSL-RT사이에 E1/T2-LAN 변환장치(ADSL E1/T2 MSAD)를 사용하여 ATM 셀을 종단 시키며, 가입자 단말 PC에는 이더넷 카드를 설치하여 E1/T2-LAN 변환장치와 정합되도록 구성 한다. ATM 교환기와 ADSL-CO를 연결하기 위해서는 E1/T2 하향 데이터 스트림과 64/640kbps 상향 데이터 스트림을 처리할 수 있는 ADSL정합장치(ASIA)를 사용한다. ADSL 정합장치는 ATM 물리 계층 처리를 수행하고, ATM 계층 처리를 위해 가입자 스위치 망과 연결되는

ATM 계층 처리장치와 접속되며, 시스템 클럭을 공급받기 위해 시스템 클럭을 받아서 공급해 주는 로컬 클럭 분배장치와 접속된다. 음성 신호 서비스를 위한 POTS 스플리터는 ADSL-CO와 ADSL-RT에 각각 내장되도록 하며, ADSL-CO에는 PSTN 가입자 선로가 연결되고 ADSL-RT에는 가입자 전화기가 접속되도록 한다. 이러한 설계 개념에 따른 실제 ADSL 정합장치의 설계 요구조건은 다음과 같다.

- ATM계층 처리장치와의 접속은 송수신 셀버스 및 제어신호 버스를 통하여 접속되도록 하고, 로컬 클럭 분배장치와의 접속은 클럭신호 버스를 통하여 접속되도록 한다.
- 하향 전송 스트림은 E1(2.048Mbps)과 T2(6.312Mbps) 속도의 ITU-T 규격 프레임을 사용하고, 상향 전송 스트림은 64kbps 속도의 EIA-232C 와 640kbps 속도의 EIA-422 접속 규격을 사용한다.
- 제어 채널인 상향 전송 스트림은 EIA-232C 접속 규격일 경우 수신 데이터 신호(RxD)만 사용하고, EIA-422 접속 규격일 경우는 차동 수신 데이터 신호(RxD)와 차동 수신 클럭 신호(RxCLK)를 사용한다.
- 64kbps 정합에서는 범용 비동기 전송 표준인 UART(Universal Asynchronous Receive and Transmit) 프로토콜을 사용하고, 셀 경계를 위해서 특수 캐릭터(character)를 한 바이트 사용하며, 캐릭터 단위로 53바이트의 유효 데이터 셀을 전송한다.
- 640kbps 정합에서는 고속 데이터 동기 전송 표준인 HDLC(High-speed Data Link Control) 프로토콜을 사용하고, 프레임 단위로 53 바이트의 유효 데이터 셀을 전송한다.
- 전원 고장시의 영향을 최소화 하기 위해 온보드 전원 모듈을 사용하며, 보드의 실/탈장 및 전원 스위치 온/오프시에도 안정적인 전원을 공급하기 위해 전원 입/출력부에 전원 필터를 사용한다.
- 보드 구성은 ATM 교환기 PBA(Printed Board Assembly) 규격 표준인 Type-II(288W 265H 2.0t mm) 크기로 하고, 보드 당 E1 또는 T2 속도의 4가입자를 수용하며, ADSL 가입자 정합 모듈당 가입자 구성은 64가입자를 수용하도록 한다.



(그림 1) ADSL 정합장치 기능 블록도
(Fig. 1) Functional block diagram of the ADSL interface board

2. ADSL 정합장치 구성

ADSL 정합장치는 ATM 계층 처리장치로부터 받은 하향 데이터인 송신셀을 처리하여 ADSL 가입자측으로 전달해 주고, ADSL 가입자측으로부터 수신한 상향 데이터인 수신셀을 처리하여 ATM 계층 처리장치로 전달해 주는 기능을 수행하며, (그림 1)과 같이 중앙제어부, 송신셀 제어부, VPI/VCI 테이블부, 송신셀 피포부, ATM 물리층 처리부, 시험셀 수신 피포부, 수신/시험셀 피포부, 수신셀 제어부, 수신셀 피포부, 송수신 셀버스 정합부, 제어신호 정합부, 클럭신호 정합부로 구성된다.

중앙제어부는 32비트 프로세서인 MC68360을 사용하여 32비트 데이터 신호, 32비트 주소 신호 및 각종 제어 신호를 발생시켜 버퍼링 한 후 로컬 버스에 공급해 주고, 이들 신호들을 조합하여 보드 내의 각부에 속한 디바이스 및 레지스터들에 대한 주소를 지정해 준다. 보드 기능을 제어하는 펌웨어는 64kB 롬 2개에 저장되고, 각종 데이터 및 응용 프로그램을 저장하기 위한 128kB 램 4개를 구성하여 ADSL 정합장치 전체를 제어하는 기능을 갖는다. 또 24.576MHz와 6.312MHz의 클럭 발생기를 두어 이들을 버퍼링 및 분주하여 로컬 버스를 통해 각부에 공급한다. CPU는 24.576MHz 클럭을 입력 받아 자체 내부 클럭으로 사용하고, 640kHz를 생성하여 ATM 물리층 처리부에 공급해 준다. 6.312MHz는 T2 속도의 하향 데이터 전

송시 사용되는 기본 클럭으로 ATM 물리층 처리부에 인가된다. 리셋 신호는 전원 공급시 및 리셋 스위치에 의한 수동 리셋시에 발생하여 로컬 버스에 공급된다. ADSL 가입자로 부터 상향 데이터 스트림인 64kbps 비동기 제어 데이터 또는 640kbps 고속 동기 제어 데이터를 수신하여 ATM 셀로 변환한 후 로컬 버스를 통하여 수신/시험셀 피포부에 전달해 주며 디버깅을 위한 EIA-232C 통신 포트를 통하여 터미널 과 연결된다.

송신셀 제어부는 송수신셀 정합부로 부터 (그림 2)와 같이 56바이트로구성된 28워드 길이의 16비트 송신셀을 송신셀 시작신호와 함께 수신하여 처음 16비트에 표시된 보드 비트 맵(Board Bit Map)을 검사하고, 자신이 가지고 있는 보드 번호의 비트가 세트되어 있으면 셀을 수신하여 8비트 송신셀로 변환 후 M 비트를 검사한다. 이 비트가 리셋되어 있으면 점대점 송신이므로 선로 번호(LN)에 따라 바로 각 가입자 별로 4개의 송신셀 피포부 중에서 한 개로 전달해주고, 세트되어 있으면 점대 다중점 송신이므로 MPID(Multi Point Identification)를 참조하여 VPI/VCI 테이블부의 내용을 읽어서 미리 정해진 값으로 VPI 와 VCI를 변환시켜서 4개의 송신셀 피포부 중 해당되는 다수 가입자로 전달해 준다.

VPI/VCI 테이블부는 로컬 버스를 통하여 중앙제어부에서 써 넣는 점대 다중점용 송신셀의 4개선로에 대한 VPI와 VCI 변환 테이블을 저장하고 있으며, 점대 다중점 송신일 경우는 송신셀 제어부에서 참조하여 VPI와 VCI를 변환한다. 양포트램(DPRAM)을 사용하여 양쪽에서 액세스 할 수 있도록 중앙제어부와는 주소 신호 11비트 및 데이터 신호 8비트가 연결되고, 송신셀 제어부와는 주소 신호에 해당하는 다중점 식별자(MPID) 11비트 및 데이터 신호에 해당하는 변환테이블 8비트가 연결된다.

송신셀 피포부는 각 가입자 별로 한 개씩 4개로 구성되어 송신셀 제어부에서 입력된 송신셀을 일시 저장하였다가 4개의 ATM 물리층 처리부로 전달해 준다. 1kB 피포 4개를 사용하였으며 32kB 피포 4개 까지 확장이 가능하다.

ATM 물리층 처리부는 각 가입자 별로 한 개씩 4개로 구성되어 송신셀 피포부에서 받은 병렬 송신셀을 직렬로 변환하고 선택된 가입자의 속도에 따라 E1 또는 T2의 프레임을 형성하여 ADSL 가입자에게 송신한다. 또한 ATM 셀에 대한 셀 스크램블링, HCS(Header Control Sequence) 생성/삽입, 내부의 4셀 피포, 외부의 8비트 피포 정합 기능을 갖는 순수한 ATM 물리층 기능과 프레임 생성과 선로 코딩 및 트랜스포머를 통한 선로 정합 기능을 제공해 준다. 사용자 셀이 없을 때에는 자동으로 휴지 셀을 송신하여 항상 ADSL 가입자와의 연결을 유지한다.

시험셀 수신피포부는 자체 루프백 시험을 할 경우에 ATM 물리층 처리부에서 루프백되어 돌아온 시험셀을 수신하여, 중앙제어부에서 셀 분석을 하기 위해 로컬 버스를 통하여 읽어 갈 수 있도록 일시 저장해 둔다. 1kB 피포 1개를 사용하였으며 32kB 피포까지 확장이 가능하다.

수신/시험셀 피포부는 중앙제어부에서 생성된 자체 루프백 시험용 시험셀을 일시 저장하였다가 수신셀 제어부로 전달하거나, 가입자로부터 입력되어 중앙제어부에서 처리된 가입자용 수신셀을 일시 저장하였다가 수신셀 제어부로 전달해 준다. 1kB 피포 1개를 사용하였으며 32kB 피포까지 확장이 가능하다.

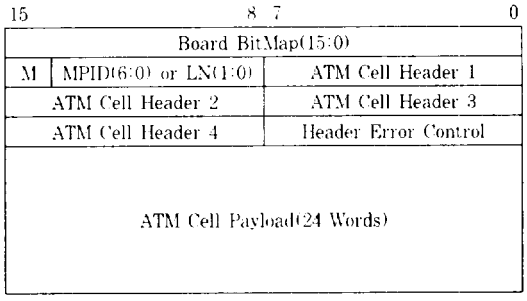
수신셀 제어부는 수신/시험셀 피포부에서 입력된 8비트의 수신셀을 분석하고, 보드 번호(BDID)와 가입자 선로 번호(LN)를 부가한 56바이트의 수신셀을 28워드 길이의 16비트 수신셀로 (그림 3)과 같이 만들어 수신셀 피포부에 전달하고, 전달할 수신셀이 있음을 알리는 셀수신 요청신호를 ATM 계층 처리장치로 출력하며, ATM 계층 처리장치로부터 셀수신 허락신호를 수신하면 수신셀 시작신호 함께 수신셀을 수신셀 피포부에서 출력한다.

수신셀 피포부는 수신셀 제어부로 부터 수신된 16비트 수신셀을 일시 저장하였다가 셀버스 클럭에 동기하여 송수신 셀버스 정합부로 보내 준다. 1kB 피포 2개를 사용하여 2kB 16비트 피포를 구성하였으며 32kB 피포 2개를 사용한 32kB 16비트 피포까지 확장이 가능하다.

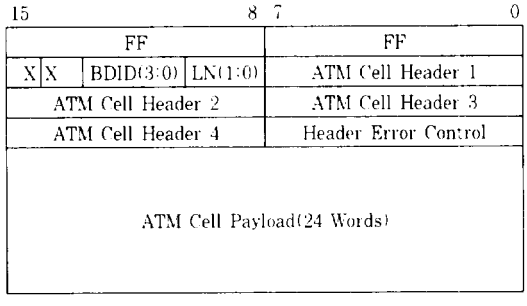
송수신 셀버스 정합부는 수신셀 제어부의 제어를 받아 자체 루프백 시험을 할 때는 수신셀 피포부에서 받은 시험셀을 송신셀 제어부로 보내도록 루프백 경로를 형성해 주며, 루프백 시험이 아닐 경우에는 송수신 셀버스를 통하여 ATM 계층 처리장치로부터 송신셀을 받아서 버퍼링 한 후 송신셀 제어부로 전달해 주고, 수신셀 피포부로부터 수신셀을 받아서 버퍼링 한 후 ATM층 처리장치로 전달해 준다. 셀버스 상의 모든 데이터는 셀버스 클럭(11.7373MHz)에 동기되어 송수신 된다.

제어신호 정합부는 로컬 버스와 제어 신호 버스에 연결되어 11비트 주소 및 각종 제어 신호를 수신하고, 8비트 데이터를 주고 받으며 ATM 계층 처리장치와 통신한다. 2kB의 양포트램을 구성하여 PBA 실장상태, 루프백 제어상태, 경보 발생상태, VPI/VCI 테이블 등의 정보를 교환하며, 기능 경보 신호와 탈장 경보 신호는 직접 ATM 계층 처리장치로 전달해 준다.

클럭 신호 정합부는 클럭 신호 버스를 통하여 로컬 클럭 분배장치로 부터 주클럭(23.4747MHz)과 셀버스 클럭(11.7373MHz) 및 프레임 동기 클럭(16.384MHz)을 ECL(Emitter Coupled Logic) 레벨로 공급 받아 TTL(Transistor Transistor Logic) 레벨로 변환하여 로컬 버스를 통하여 송신셀 제어부와 수신셀 제어부에 공급해 준다.




(그림 2) 셀버스 송신셀 포맷
(Fig. 2) Cellbus transmit cell format




(그림 3) 셀버스 수신셀 포맷
(Fig. 3) Cellbus receive cell format

ADSL 정합장치의 시험 및 제어를 위해 디버깅 포트를 통해 명령을 입력하면 자체 기능 시험 및 각종 제어 기능을 수행한다. 루프백 시험의 경우 중앙 제어부에서 생성된 53바이트의 시험용 셀은 수신/시험셀 피포부에 전달되고, 다시 수신셀 제어부에 입력되어 보드 번호와 링크 번호를 추가한 56바이트의 셀로 변환된 다음 수신셀 피포부를 거쳐 송수신 셀버스 정합부에 전달된다. 이 셀은 ATM 계층 처리부로 전달되지 않고 송수신 셀버스 정합부에서 루프백 되어 송신셀 제어부에 입력된다. 송신셀 제어부에서는 루프백 셀임을 판단하고 처음 3바이트를 제거한 53바이트 셀로 만들어 송신셀 피포부를 통하여 ATM 물리층 처리부로 전달해 준다. 여기서 다시 루프백하여 시험셀 수신 피포부로 전달해 주면, 중앙제어부에서 수신 피포부의 셀을 읽어서 생성한 시험셀과 비교하여 에러 유무를 판단하고 모니터에 결과를 표시해 준다.

### 3. ADSL 가입자 정합모듈 구성

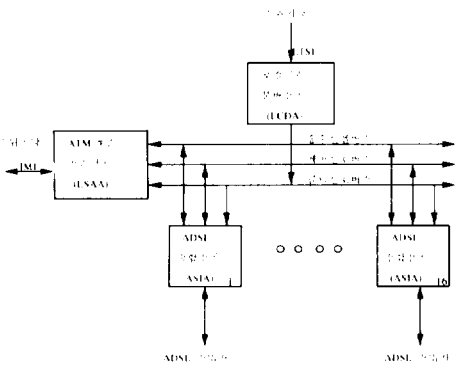
ADSL 가입자 정합모듈은 16매의 ADSL 정합장치로부터 받은 상향 데이터인 수신셀을 다중화하고 ATM 계층 프로토콜을 처리하여 스위치망으로 전달해 주고, 스위치 망으로부터 받은 하향 데이터인 송신셀을 ATM 계층 프로토콜 처리 및 역다중화하여 ADSL 정합장치로 전달해 주는 ATM 계층 처리장치와 스위치 망으로부터 시스템 클럭을 수신하여 모듈 내에 공급해 주는 로컬 클럭 분배장치 및 16매의 ADSL 정합장치로 구성되어 64개의 ADSL 가입자를 접속해 주는 기능을 갖는 것으로서 (그림 4)와 같이 구성되어 있다.

ATM 계층 처리장치는 187.79Mbps의 차동직렬 신호인 내부 모듈 접속(IMI)을 통해 스위치망과 접속되어, 가입자들간의 사용자 셀과 시스템 유지 보수 센터간의 IPC(Inter Processor Communication) 셀을 송수신 한다. ADSL 정합장치와는 송수신 셀버스를 통하여 16비트 송신셀, 송신셀 시작 신호를 ADSL 정합장치로 보내고, 16비트 수신셀, 수신셀 시작 신호를 ADSL 정합장치로 부터 받는다. 또한 16매의 ADSL 정합장치로부터 셀수신 요청 신호를 받으면, 폴링해서 일정한 순서가 될 때 셀의 수신을 요청한 ADSL 정합장치에게 셀수신 허락 신호를 보내 준다. 가입자로부터 수신한 셀이OAM(Operation, Administration and Maintenance) 셀이면 운용 유지 보수 기능을 처리하고 응답 OAM 셀을 ADSL 가입자에게 보내 준다.

ADSL 정합장치와 ATM 계층 처리장치 간의 제어 메시지 통신을 위하여 ADSL 정합장치 내에 양포트램(DPRAM)을 두고 제어 신호 버스를 통해서 주소 신호, 데이터 신호, 주소 유효 신호, 데이터 유효 신호 및

데이터 읽기/쓰기 신호가 연결되어 있다. 또한 ADSL 정합장치의 기능 경보신호 및 탈장 경보신호를 ADSL 정합장치로부터 입력 받아서 가입자의 상태를 파악한다. 모듈 내의 클럭 동기를 맞추기 위한 주클럭(23.4747MHz)과 송수신 셀버스의 동기를 맞추기 위한 셀버스 클럭(11.7373MHz)은 클럭 신호 버스를 통하여 로컬 클럭 분배장치로부터 공급 받는다.

로컬 클럭 분배장치는 스위치망으로부터 시스템 동기 신호인 LTSI(46.9494MHz)를 ECL(Emitter Coupled Logic) 레벨로 수신하여 클럭 합성 및 분주한 다음 ATM 계층 처리장치에는 주클럭과 셀버스 클럭을 공급해 주고, 16매의 ADSL 가입자 정합장치에는 주클럭과 셀버스 클럭 및 프레임 동기 클럭(16.386MHz)을 공급해 준다.

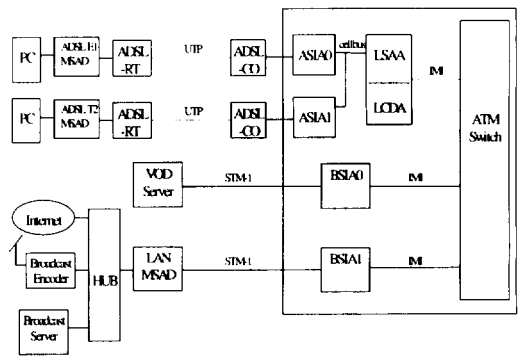


(그림 4) ADSL 가입자 정합모듈 블록도
(Fig. 4) Functional block diagram of ADSL interface module

## 5. 성능평가 시험

### 1. 시험 환경 구성

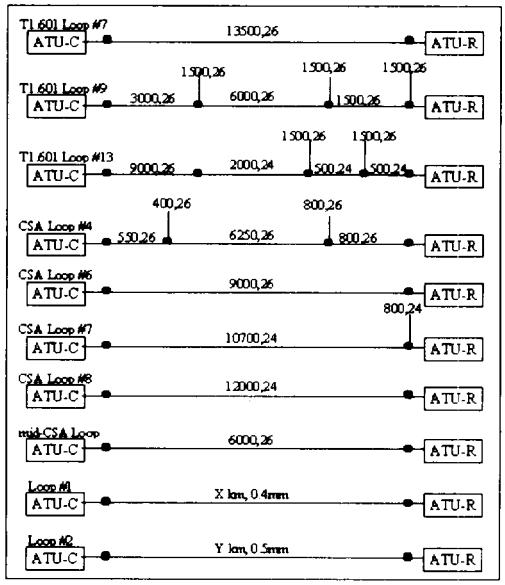
ATM 기반으로 개발된 ADSL 정합장치의 성능평가 시험은 ATM 교환기에 접속하여 기존의 전화 가입자에게 VOD, 방송 및 인터넷 접속 서비스를 제공하기 위하여 다양한 시험 루프의 선로조건에서 장시간 동안 지속적으로 정상적인 서비스를 할 수 있는지 알아보기 위해 실시되었다. 시험 환경 구성은 ATM 교환기, ADSL-CO, ADSL-RT, ADSL-E1/T2 MSAD 및 오디오/비디오 카드와 MPEG 카드를 포함한 멀티미디어 PC를 이용하여 (그림 5)와 같이 구성한 ADSL 시험환경에서 수행되었다. 선로 시뮬레이터는 ADSL-CO와 ADSL-RT 사이에 연결하고 실제 가입자 선로 조건을 위한 전송 손실을 인가하여 루프 거리 성능을 시험하였다. 시험에 사용된 가입자 선로 루프는 (그림 6)과 같다. ANSI 및 Bellcore 규격[10]에 따르면 1.536Mbps ADSL전송에서는 T1.601 Loop #7, #9, #13이 사용되고, 6.144Mbps ADSL 전송에서는 CSA #4, #6, #7, #8, mid-CSA 루프가 사용된다. 2.048Mbps 전송에서는 ANSI의 부록으로 권고되어 있는 시험 루프가 Loop #0 부터Loop #8까지 있으나 현재의 시뮬레이터 장비로는 Loop #1, #2, #8만 시험할 수 있도록 되어 있다. 그림에서 X, Y km는 300kHz에서 루프 삽입 손실 및 잡음 모델 A, B에 따른 거리를 나타내며, 잡음 모델 A에 대해서 손실이 49dB일 경우는 X=3.45km, Y=4.55km이고, 잡음 모델 B에 대해서 손실이 35dB일 경우는 X=2.45km, Y=3.2km이다.




(그림 5) ADSL 시험환경 구성
(Fig. 5) ADSL test environment configuration

### 2. 시험 결과 및 분석

개발된 ADSL 정합장치의 시험은 먼저 기본적인 자체 시험을 거친 후 접속된 주변 장치의 기능이 충분히 안정되고 성능이 확인된 상태에서 실시되었다. 루프 거리 성능 평가 시험은 〈표 1〉과 같이 26AWG(0.4mm) 및 24AWG(0.5mm)의 케이블에 대해 누화, 임펄스 등의 전송 손실을 단계별로 증가 시키면서 시험하였다. 대표적인 시험 루프로서 Loop #1, Loop #2가 사용되었고, 나머지의 루프에 대해서도 요구되는 시간 동안




(그림 6) ADSL 표준 시험 루프
(Fig. 6) ADSL standard test loops

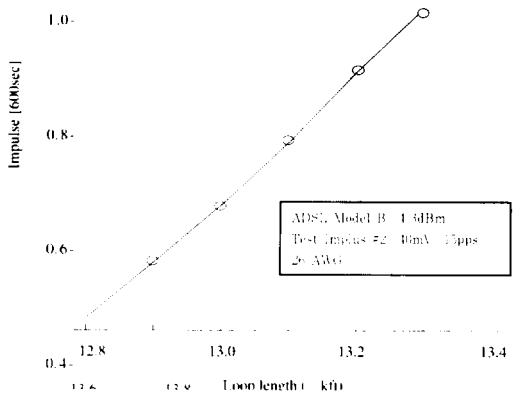
안정된 데이터의 전송이 이루어지는지를 확인하였다. 시험에서 인가되는 전송 손실은 누화, 임펄스 잡음, 백색 잡음 및 접지 임피던스(longitudinal)의 4종류이다.

〈표 1〉은 대표적인 두가지 케이블의 전송 손실에 대한 루프 거리를 나타낸 것이며, (그림 7)은 대표적인 가입자 루프의 26AWG 케이블 감쇄로서 ADSL Model A 및 ADSL Model B의 누화와 임펄스 잡음 -40mV가 인가된 조건에서 거리 변화에 따른 에러 발생율이 12,800kft에서 13,800kft 까지 거의 선형적으로 증가하는 것을 보여 준다. (그림 8)은 〈표 1〉의 전송 손실 수준별 루프 거리 성능을 시험한 결과로 부터 ADSL Model A/B 누화와 임펄스 잡음을 기준으로 한 손실(dBm) 영향을 나타낸 것이다.

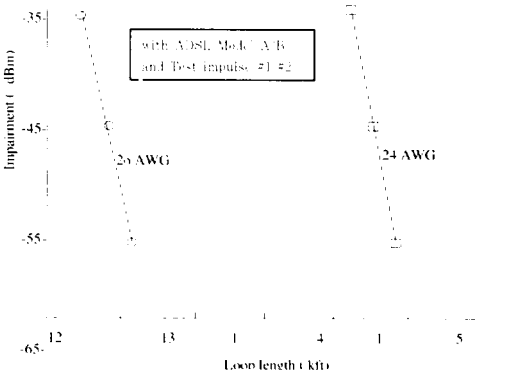
성능평가 시험 결과 E1 속도에서 전송 손실이 없는 선로 조건에서는 26AWG에 대해 4.27km, 24AWG에 대해 5.12km 까지 서비스가 가능한 것으로 나타났고, 대표적 전송 손실이 존재하는 선로 조건에서는 각각 3.99km, 4.99km 까지 서비스 가능한 것으로 나타났으며, 선로 누화 및 임펄스가 최악 조건인 경우에는 각각 3.90km, 4.91km 까지 서비스 가능한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 살펴보면 임펄스 잡음이 인가되면 루프 거리에 영향을 끼치며 심선이 가는 선로일수록 심하며, 누화가 증가함에 따라서도 루프 거리가 약 30m 정도 감소함을 알 수 있었고, 대표적 임펄스 잡음 수준인 15pulses/sec, 23mV에서 부터 30pulses/sec, 100mV까지 상승 시킬 때 에러 발생 빈도가 점차 높아져 루프 거리가 60m 정도 감소함을 알 수 있었다. 이 시험 결과로부터 대표적인 ADSL 입자 선로에 대해 제시된 가입자 서비스 거리는 실제 서비스할 때 예측할 수 없는 전송 손실을 위한 6dB 마진을 감안 하면 각각 4km와 5km 까지 양호한 서비스가 가능할 것으로 판단된다. T2 속도에 대해서도 CSA Loop #6, #8에 대해 유사한 시험을 거쳐 각각 2.7km와 3.6km까지 서비스 가능한 것으로 나타났다.

〈표 1〉 케이블의 전송 손실에 대한 루프 거리
〈Table 1〉 Loop length for impairments of two different cable

| Cables | Impairments | | | | Loop length, kft/(km) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Crosstalk | Impulse noise | White noise | Longitudinal | |
| 26AWG (0.4mm) | Model A : -49.4dBm<br>Model B : -43.0dBm | 0 | 0 | 0 | 14,000(4.27) |
| | | Test impulse #1, #2 40mV, 15pps | -140dBm/Hz | 60Hz, 60Vrms | 13,100(3.99) |
| | | Test impulse #1, #2 80mV, 30pps | -140dBm/Hz | 60Hz, 60Vrms | 12,800(3.90) |
| 24AWG (0.5mm) | Model A : -49.4dBm<br>Model B : -43.0dBm | 0 | 0 | 0 | 16,800(5.12) |
| | | Test impulse #1, #2 40mV, 15pps | -140dBm/Hz | 60Hz, 60Vrms | 16,400(4.99) |
| | | Test impulse #1, #2 80mV, 30pps | -140dBm/Hz | 60Hz, 60Vrms | 16,100(4.91) |




(그림 7) 루프 거리 함수로서 시험 임펄스의 손실률
(Fig. 7) Cell loss rate of the test impulse as a function of the loop length




(그림 8) ADSL Model A/B 임펄스 잡음에 대한 루프 거리 성능
(Fig. 8) ADSL Model A/B and the test impulse #1/#2 vs. the loop length

## 5. 결 론

정보화 사회의 발달로 ATM 망을 근간으로 고속 멀티미디어 서비스가 가능하고, 추가의 시설 투자 없이 기존 동선 가입자 선로를 이용하여 일반 가입자에게 음성 전화 서비스는 물론 고속 데이터 서비스를 할 수 있는 ADSL 정합장치의 기능 구현에 대해 살펴보았다. ATM 교환기에 ADSL 정합장치를 구현하고, 가입자 선로에 ADSL-CO, ADSL-RT및 E1/T2-LAN 변환장치를 연결하며, 가입자측에 가입자 단말 기능을 구현하여, 표준 규격에서 정의된 시험 루프 및 최악의 선로 조건에서 루프 거리 성능을 평가하였다. 선로 시뮬레이터를 이용하여 대표적인 전송 손실 및 최악의 조건을 가했을 때 E1/64kbps 전송에서는 26AWG(0.4mm) 가입자 선로에서는 4km까지, 24AWG(0.5mm) 가입자 선로에서 5km까지, 그리고 T2/640kbps 전송에서는 각각 2.7km, 3.6km까지 서비스가 가능한 것을 확인하였다. 그리고 실제 ATM 교환기를 통한 클라이언트 서버 시험 환경에서 MPEG-I/II급 주문형 비디오, 방송 및 인터넷 접속 서비스 등의 고속 멀티미디어 서비스 시험을 성공적으로 수행하였다. 앞으로 교환기측 모뎀 기능을 포함한 ADSL 정합장치와 가입자측 모뎀 기능을 포함한 PC 내장 카드형 ADSL 정합장치를 속도 적응형으로 개발하여 시험 평가 할 계획이다.

## 참 고 문 헌

[1] T. Russell Hsing, Video Communications and Service in the Copper Loop, IEEE Comm. Magazine, pp. 62~68, Jan. 1993.

[2] S. Deng, Performance and Design Issues of ADSL Data Services, T1E1.4/95-095, Oct. 1995.

[3] Consultronics, DLS400E ADSL Wireline Simulator, Operating and Reference Manual Rev.5, Aug. 1996.

[4] Young, Broadband Multimedia Delivery over Cooper, ECE Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 25~36, Feb. 1996.

[5] D. Sandberg, Overlapped Discrete Multitone Modulation for High Speed Cooper Wire Communications, IEEE JSAC, Vol. 13, No. 9, pp. 1571~1585, Dec. 1995.

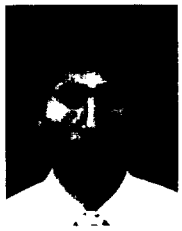
[6] Mihael A. Tzannes, DMT Systems, DWMT Systems and Digital Fiter Banks, IEEE SUPERCOMM/ICC94, pp. 456~460, 1994.

[7] Seiichi Yamano, The Range of Passand QAM-Based ADSLs in NTTs Local Networks, IEICE, Vol. E78-B, No. 9, pp. 1301~1321, Sep. 1995.

[8] Walter Y. Chen, ADSL Noise Environment and Potential System Performance, IEEE SUPERCOMM/ICC94, pp. 451~455, 1994.

[9] Alan Cameron, Access Network Environment for ADSL, HDSL and VDSL, IIR Conference, Nov. 1995.

[10] Bellcore SR-TSZ-002275, BOC Notes on the LEC Networks-1990, Issue 2, Apr. 1994.



**소 운 섭**

1988년 대전공업대학교 전자공학과(학사)

1994년 충남대학교 전자공학과(석사)

1982년 현재 한국전자통신연구원 신호서비스연구실 선임기술원

관심분야 : 디지털통신, B-ISDN

**양 성 모**

1991년 인하대학교 전자공학과(학사)

1994년 인하대학교 전자공학과(석사)

1994년 2월~현재 한국전자통신연구원 신호서비스연구실 연구원

관심분야 : ATM트래픽 관리

**김 진 태**

1980년 인하대학교 전자공학과(학사)

1982년 인하대학교 전자공학과(석사)

1996년 인하대학교 전자공학과(박사)

1979년 12월~현재 한국전자통신연구원 신호서비스연구실 실장

관심분야 : ATB교환시스템, 멀티미디어 서비스

**강 석 열**

1973년 2월 부산대학교 전자공학과(학사)

1987년 KAIST 전산학과(석사)

1997년~현재 KAIST 전산학과(박사과정)

1980년 8월~현재 한국전자통신연구원 ATM기술 연구부장

관심분야 : B-ISDN/ATM교환분야