

# ATM 기반 HDSL 개발, 동 선로 상의 성능 평가 및 서비스 구현

정희원 양충열\*

## A System Development, Performance Assessment, and Service Implementation of ATM-based High-rate Digital Subscriber Line (HDSL)

Seok Yeul Kang\* *Regular member*

### 요 약

본 논문에서는 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 교환기 시스템에 T1, E1 및 부분적 E1급 속도의 중 저속 HDSL(High-rate digital subscriber line) 정합 기능을 개발하고, 근단누화(NEXT), 임펄스, 선로 전원 잡음(power line noise) 및 접지 임피던스(longitudinal) 잡음 같은 주요 전송 손실이 존재하는 0.4 mm 및 0.5 mm의 기존 전화 가입자 선로(UTP, Unshielded twisted pair)를 사용하는 CSA(Carrier serving areas) 선로 모델을 이용하여  $10^{-7}$ 의 BER(Bit error rates)의 전송 성능을 만족하기 위한 가입자 서비스 전송 거리 성능을 평가하였다. HDSL은 DS1, ISDN 기본 속도 접속 및 DLC 피더에 사용될 것이며 광 케이블과 인터페이스될 것이다. 또한, HDSL 시장 전망을 제시한다.

### ABSTRACT

We, in this paper, have implemented T1, E1 and fractional E1 HDSL(High-bit-rate digital subscriber line) function over an ATM switching system. The maximum loop lengths for subscriber service and cell loss rates to meet the bit error rate of  $10^{-7}$  at transmission of 2B1Q HDSL data of E1 rate over existing telephone copper wires in the presence of the significant impairments such as NEXT(Nearend crosstalk), impulse noise, power line noise and longitudinal over the CSAs environment consisting of 26 gauge and 24 gauge unloaded copper telephone lines has assessed. HDSL will initially be used to serve private-DS1, ISDN-BRA, and DLC feeders, later DS1 extension from optic fiber cable. We also present market provision for the HDSL.

\* 한국전자통신연구원 ATM 기술연구부장(책임연구원)  
論文番號:97239-0721  
接受日字:1997年 7月 21日

## I. 서 론

HDSL은 기존의 음성 전화 동 선로(Unloaded twisted pair, UTP)를 이용하여 전화국사로부터 브리지 탭을 포함하여 약 3.2 km까지로 일컬어 지는 CSA 구역 내에서 가입자 대내까지 T1 또는 E1급의 양 방향 데이터를 별도의 중계기 없이 고속 전송하고, 국내 통신시장의 개방과 HDTV 회사의 경쟁에 따라 비용 효과적인 방법으로 기존 전화 가입자 선로 상에 멀티미디어 서비스를 제공해야 하는 기술적인 도전에 직면한 오늘날 가장 적절한 대안으로 꼽히는 기술이다. HDSL은 현재 국제적으로는 DAVIC(Digital audio/visual council), ANSI(American national standards institute) T1E1 등에서 지속적인 표준화 작업이 추진되고 있으며 국내에서는 ATM 정합 기술과 이를 이용한 방송형 서비스 및 다양한 멀티미디어 응용 서비스가 국가 주도적으로 이루어지고 있다. 통신 시스템에서 사용되는 신호 전송 방식으로서의 입력 신호의 매 2비트 블록을 단일 4 레벨 펄스(quaternary symbol) 신호로 변환하여 전송하는 2B1Q(2 Bit 1 Quaternary) 방식, QAM(Quadrature amplitude modulation)과 거의 같은 스펙트럼과 성능을 가지면서 구현이 용이한 CAP(Carrierless AM/PM) 방식, 및 T1E1.4에서 표준으로 채택한 QAM을 개선한 DMT(Discrete multi-tone) 방식이 있으며 현재 국내에는 단일 채널 변조 방식을 채용하는 2B1Q 또는 CAP 방식이 도입되고 있다. 그림 1에 HDSL 서비스 개념도를 나타내었다. HDSL 시스템은 교환기 측의 HDSL-COT(Central office termination)와 가입자 측 PC 내장 또는 STU(Set-top unit) 형태로 장치되는 HDSL-RT(Remote termination)로 구분되며 접속 회선의 구성 형태에 따라 양방향 통신 방식으로 통신 회선의 효율이 높은 4선식 전이중(full-duplex) 방식 또는 주파수 분할 방식에 의한 2선식 전이중 방식 등으로 구현할 수 있다.

본 논문의 HDSL 장치는 2B1Q HDSL 전송 방식으로 설계되었다. 2B1Q 선로 코드는 4-level PAM (Pulse amplitude modulation) 코드로서 1986년 ISDN-BRI (Integrated subscriber digital network-basic rate interface)를 위해 북미 표준으로 채택되었고 1981년에 벨 코아에서 기본 속도 정합을 제안하였으며 1988년에 ANSI 표준으로 채택되었다. 2B1Q는 기본 대역 신호를 사용하고 모든 전송 심볼을 2비트를 사용하여

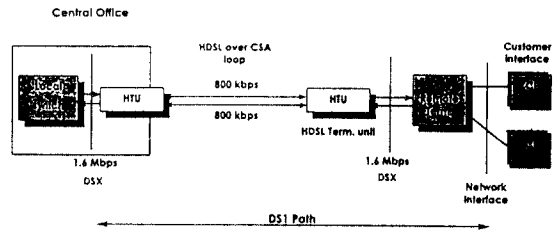


그림 1. HDSL 서비스 개념도  
Fig. 1 Service concept for HDSL

4-level 심볼로 맵핑하고 4-level 심볼(pulse)로 변환하여 전송하므로 "baseband four-level PAM code"라고도 하며 HDSL에서 음성 신호를 처리하기 위해서 PCM 기술을 이용하여 디지털화 하는 전송 방식이다. 즉, 2B1Q는 각 심볼 펄스가 2비트로 전송되기 때문에 2로 나누어 지는 결과가 되며 정보 속도의 절반으로 서비스를 제공할 수 있다. 4선식의 경우 T1은 392 kbaud, E1은 584 kbaud의 데이터 속도를 갖는다. 본 논문의 2B1Q는 다음과 같은 설계 필요조건을 위해 선택되었다[1],[2].

- 2B1Q PAM은 PAM의 나이퀴스트 주파수가 TCM (Trellis coded modulation) 신호의 나이퀴스트 주파수를 초과하기 때문에 우수한 성능을 구현할 수 있으며 NEXT 간섭에 의해 제한되는 거리를 감안할 때 다른 방법보다 더 우수하다.
- 2B1Q는 4-level Decision device(Dlicer)를 사용하여 전송된 2B1Q 심볼의 순서를 구별하므로 복잡도가 낮아지고 HDSL의 관건인 비용 효과적 고성능 등화기의 구현이 가능하다.
- 2B1Q는 전송 손실이 존재하는 선로에서 16-QAM과 전송 전력이 같고 동등한 SNR(signal to noise ratio) 성능을 구현할 수 있다.
- 2B1Q는 간단하고 수렴이 빠른 알고리즘을 사용하여, 소프트웨어적 제어 방법에 의해 가장 적은 계산 요구조건을 가능하게 하는 DMT 방식의 장점을 수용한다.

본 논문은 I장의 서론에 이어 II장에서 HDSL 서비스를 위한 가입자 전송 선로 모델을 결정하고 전송 손실을 모델링[3]하고, III장에서는 ATM 시스템에 HDSL 정합 기능을 구현하는 장치 설계에 관하여 기술하고, IV장에서는 셀 손실율 측정 장비와 선로 시뮬레이터 [4]를 이용한 서비스 전송 거리 성능을 평가한다. V

장에서는 HDSL 망 정합과 시장 전망에 대하여 기술하고, 끝으로 VI장에서는 결론 및 향후 전망에 대하여 기술한다.

## II. 가입자 전송 선로 및 선로 전송 손실 모델

### 2.1 가입자 전송 선로 모델

미국의GTE 외곽 플랜트의 평균 가입자 선로 거리 분포는 2.7 km이고 3.65 km 범위 내에 있으며 전체 선로의 80 %가 가입자 대내에 인접한 지점에 브리지 탭을 갖고 있다. 브리지 탭의 70%가 1~3개의 브리지 탭을 갖고 있으며 브리지 탭의 평균 길이는 400 m이다. 이에 비하여 우리나라의 전송 선로는 브리지 탭을 거의 갖지 않고 평균 가입자 선로 거리 분포가 2.2 km이고 75%가 3 km 내에 있어서 HDSL 서비스를 제공하기에 더 적합한 환경이다[5],[6]. 시험에 사용된 선로 모델은 그림 2와 같이 선로 시뮬레이터에서 제공하는 ANSI 표준의 CSA 표준 모델[7]을 선정하고 0.4 mm 가입자 선로에 대해 CSA 표준 선로 모델 # 6, 0.5 mm 가입자 선로에 대해 대표적으로 CSA 표준 선로 모델 # 8을 사용한다.

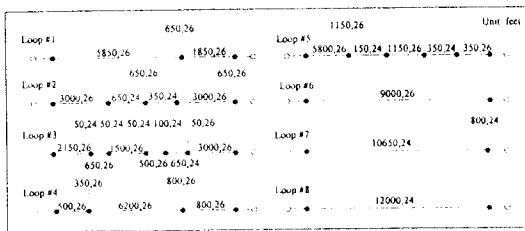


그림 2. HDSL CSA ANSI 표준 선로 모델  
Fig. 2 HDSL CSA ANSI standard loop models

### 2.2 선로 전송손실 모델

UTP에서 CSA 데이터 전송 채널의 전송 손실은 ISI, NEXT, 임펄스 잡음[1],[6],[8],[9] 브리지 탭에서 반사되는 신호와 선로 직경 변화 및 불완전한 하이브리드에 기인하는 반향 잡음 등의 다양한 잡음원이 있으나 본 논문에서는 선로 잡음 모델로서 HDSL 선로 시뮬레이터에서 제공하는 HDSL NEXT, 임펄스, 전원 선로 잡음 및 접지 임피던스 잡음 등 네 종류의 전송 손실 인자가 고려되며, 각각에 대해 HDSL 정합장치의 성능 평가를 위한 전송 손실 수준을 모델링

[10],[11]한다.

NEXT는 인접한 채널의 정보가 선택되어 있는 채널로 누설되는 근단누화이며 케이블 또는 전송 장치에 임피던스 영향을 주지않는 전압 레벨이 적용되어야 한다. HDSL전송은 CSA 구역 안으로 제한되며 대표적인 케이블은 50쌍이고 HDSL 전송장치가 케이블 종단에 위치하므로 49 HDSL disturber가 가장 강력한 NEXT 간섭을 발생하는 것으로 가정하여 HDSL 선로가 서비스에 최대한 용통성을 갖도록 한다. 일반적으로 HDSL 수신 신호는 단방향 전력 스펙트럼으로 -140 dBm/Hz의 AWGN이 감안된다. ECSA(Exchange carrier standards association)에서는 HDSL에2B1Q 코드를 사용할 때 가장 중요한 전송손실 인자로서 NEXT를 고려하고 있다.

임펄스 잡음은 낮은 주파수 대역에서 발생하고 그 영향이 적절한 부호화에 의해 감소될 수 있기 때문에 통과 대역 시스템 성능에 중요한 영향을 미치지 않는 인자로 고려되고 있다. 0.4 mm 선로가 75% 이상인 미국의 경우 실제 가입자 선로에서 측정된 대표적인 임펄스 잡음 특성은 임펄스 잡음의 거의 대부분이 40 kHz 이하 대역에서 집중되고 5~20 mV의 최대 진폭과 30~150 μs의 펄스 지속시간을 갖고 분당 1~5회 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 2B1Q HDSL의 임펄스 잡음 측정 결과에 따르면 2.7 km/0.4 mm 선로에서 약 매 50초마다 1회, 2.4 km/0.4 mm 선로에서 약 매 170초마다 1회 발생하였고, 2.1 km/0.4 mm 선로에서는 임펄스가 발생하지 않았고, 한편 단말기 측에서 측정된 결과에 따르면 교환기 측에서는 분당 10회 주기로 발생하고 가입자 측에서는 분당 2~3회 발생하였다. 본 성능 평가 시험에서는 최악의 선로 전송 손실의 선로 조건을 위해 펄스 발생 율 1 pps, 펄스 주기 30 μs, 첨두 진폭 40 mV의 3 레벨 형태의 임펄스를 인가하였다.

선로 전원 잡음은 높은 임피던스 결합 회로를 통해 선로에 유입되며 단일 톤과 단일 정현파가 dBm로 인가되고, 60 Hz~660 Hz가 사용되고 -15~9 레벨까지 두 신호입력을 변화시킬 수 있다. 만약 기준 레벨을 2로 하면 60 Hz와 600 Hz의 전원 선로 잡음 수준은 각각 49 dBm와 76 dBm가 된다. ANSI 타입 또는 이중 톤은 60 Hz 및 600 Hz(-47 dBm, -74 dBm) 고조파를 기준 레벨로 사용한다.

접지 임피던스 잡음은 전원 선로 잡음과 유사한

고조파 성질을 갖는 잡음으로서 공통 임피던스로 되어있는 접지 선로에 신호 전류와 잡음 전류가 같이 흐르기 때문에 발생하며 전화 회로에 잡음과 누화로 나타난다. 선로에서 텡, 링 정합 시 선로에 대한 전원 유도 잡음류에 속하므로 접지에 대한 텡, 링 전압의 평균으로 측정할 수 있다. 시험은 입력 단에 외부 신호로서 아날로그 신호, 임펄스 트리거 신호 또는 랜덤 신호가 인가되며 벨코야 권고 수준은 60 Hz, 50 V<sub>rms</sub>[7]의 톱니파 전압 파형이다.

브리지 탭의 영향은 펄스의 꼬리 부분(precursor ISI)에만 영향을 끼치므로 적응 전방향 필터(adaptive FFF)를 사용하여 누화 잡음과 precursor ISI를 최소화시키고 적절한 타이밍 기술을 추가함으로써 FEXT(Farend crosstalk), 선로 심선경 변화, 열 잡음, 양자화 잡음, 임피던스 불 평형 및 기타 유도성 잡음은 채널에서 거의 감쇄되거나 무시되는 수준이다.

### III. ATM 기반의 HDSL 정합기능 구현

ATM 기반의 HDSL 정합 기능은 크게 ATM 물리층 정합 기능과, 4 선식 가입자 UTP 선로 방식의 전이중HDSL 2B1Q방식을 지원하는 HDSL 전송 기능으로 분류할 수 있다. ATM 기반의 HDSL 정합 기능은 T1E1 물리적 접속점을 두지않고 단지 ATM 물리층 처리부(ATM Physical layer protocol processor, PLPP)의 비트 속도를 2.048 ± 50ppm Mbps로 수행하므로 DS1 부분은 포함하지 않고, HDSL 정합부와는 접속 분기점에서 전기적 특성, 프레임 구조 등이 E1 권고 규격을 만족하도록 설계하였다. HDSL 정합부는 실질적인 HDSL의 핵심 기술로 일컬어 지는 DSP(Digital signal processor, MtH2410), ASP(Analog signal processor, MtH1241), Frammer(MtH2430) 등 Metalink 사의 세가지 칩셋과 8비트 컨트롤러로 구성된다. ATM 정합부와 HDSL 정합부 간의 정합은 HDSL 프레임 구조상 일반적인 유료부하(payload) 데이터는 PMC7345 S/UNI-PDH(SATURN User-network interface for ATM plesiochronous digital hierarchy)와 6개의 신호선 즉, Tx, Rx의 클럭, 동기 및 데이터 신호의 정합으로 연결된다. ATM 프레임 구조와 HDSL 프레임 구조 사이에는 프레임 모드, 비프레임 모드의 적용으로 E1 신호 레벨 접속에 상관관계(trade-off)가 없도록 설계하였으며 HDSL은 유지보수를 위하여HDSL 정합부

상태, 선로 설정 상태 및 CRC 에러 율 정보를 표시하게 하며 CTS(Clear to set) 신호에 의해 고장 상태를 표시하도록 하였다.

#### 3.1 HDSL에 대한 ATM 정합기능

그림 3은 HDSL에 대한 ATM 정합기능에서 HDSL과 정합되는 ATM 정합부의 기능 블록도이다. ATM 정합부는 저속 EPLD로 구성되는 셀 버스 송신 정합부(Up\_EPLD), 셀 버스 수신 정합부(Down\_EPLD), PLPP와 해당 가입자에게 셀을 전송하기 위하여 일시적으로 셀의 저장을 위한 FIFO 등으로 구성된다. ATM 물리층 정합 기능은 CPU부, 메모리부, PLPP, EPLD와 FIFO로 구성되는 셀 버스 수신 인터페이스부, 셀 버스 송신 인터페이스부, multicast VPI/VCI 변환부, 제어 버스 정합부, 내부 클럭 발생부, 시리얼 포트 정합부로 구성된다.

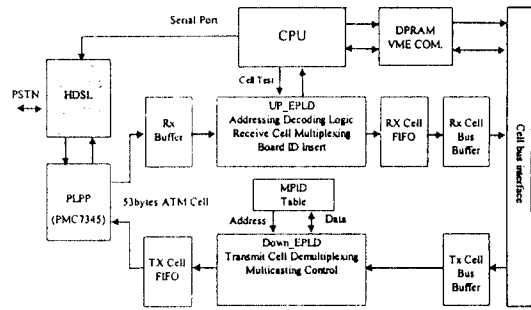


그림 3. HDSL에 대한 ATM 정합 기능 블록도  
Fig. 3 Function block diagram for ATM HDSL

#### 3.2 2B1Q HDSL 장치 구조

그림 4에 2B1Q HDSL 장치 구조를 나타내었다. 기존 음성전화 선로에서의 HDSL 서비스의 성패가 가입자 서비스 거리와 전송 품질이라 할 수 있기 때문에 대부분의 DSL 연구의 초점이 여기에 모아지고 있다. HDSL 채널 용량을 증가시키기 위해서 수신장치에 적응 채널 등화, 2B1Q 선로 코드 및 전이중 방법이 사용되고, 선로 전송 손실을 최소화하기 위해서 반향 제거기, 적응 디지털 필터 및 등화기가 채용되며, 보다 우수한 SNR을 구현하기 위해서 FSE(Fractional spaced equalizer), 잡음 제거 알고리즘, FEC(Forward error correction), 정합 필터(matched filter), 트렐리스 코딩 및 다중음 전송같은 방법 들이 사용 목

적에 적절하게 채용되어 설계되는데 최근에는 복잡도와 경제성 및 상호 운용성 등에 대한 고려가 많이 포함되는 경향을 갖는다. 특히 여러 서비스가 제공되는 UTP 케이블에서 발생하는 반향은 시간과 온도에 대해 매우 서서히 변화하지만 다른 선로에 중요한 영향을 미치므로 이를 위한 보상회로는 선로의 위상과 진폭을 보상하고 보다 높은 데이터 속도를 구현하도록 전송되는 동안 지속적으로 ISI(Inter-symbol interference)를 최소화하도록 적응 등화기가 채용된다. 또한, HDSL의 성공 여부는 칩 복잡도에 달려있다고 할 만큼 칩 크기가 중요한데 DSP 칩 복잡도를 고려하여 DSP의 설계 성능에 따라 서비스 거리를 25 % 까지 개선하고, 이상적인 성능을 갖는 긴 FFF(Feed-forward filter), 신호 정형을 적응적으로 제어, TCM같은 고급 신호 설계 기술 적용, MLE(Maximum likelihood extraction) 같은 복잡한 검출 알고리즘 등의 조합으로 ISI와 NEXT 전송 손실 6 dB 성능과 CSA 신호에서 코딩 이득 3 dB를 개선하게 된다.

HDSL에 심각한 전송 손실 인자로서 ISI와 NEXT 외에 필수적으로 존재하는 것이 반향 잡음이다. 선로를 통해 들어오는 입력 신호 레벨에 비해 상대적으로 반향 레벨이 높으면 타이밍이 어려워 지고 이 때에는 반향 제거의 역효과로 인해 가입자 서비스에 치명적인 문제가 야기될 수 있다. 따라서 선로를 통해 들어오는 신호에 상대적으로 높은 반향 레벨이 예상될 때 필수적으로 타이밍이 사용된다. 본 장치에는 120 탭을 갖는 반향 제거기가 사용되었으며 이에 의해 선로 반향 잡음 수준이 자동적으로 감지되고 그 반향 수준에 따라 타이밍 복구 방법을 다르게 적용하여 선로 반향 특성을 개선한다.

HDSL 구조는 크게 DSP, ASP, Framer의 세 칩셋과 Controller로 구성되며 칩셋의 주요 기능에 대하여 간략하게 기술한다. DSP 구조는 EC(Echo canceller), precursor ISI와 누화 잡음을 제거하는 Adaptive LE (Linear equalizer), postcursor ISI를 제거하기 위한 DFE(Decision feedback equalizer)가 핵심 신호 블록을 구성한다. DSP 구조의 송신부에서 2B1Q 인코딩이 수행되고 수신부에서 수신 신호에 적응 디지털 반향 제거(adaptive digital echo cancellation)가 적용되어 필터에 남아있는 반향이 조정된다. 반향이 제거된 신호는 precursor ISI를 제거하기 위한 적응 선형 등화기에 적용된다. 이 후 수신된 데이터의 최적 디코드

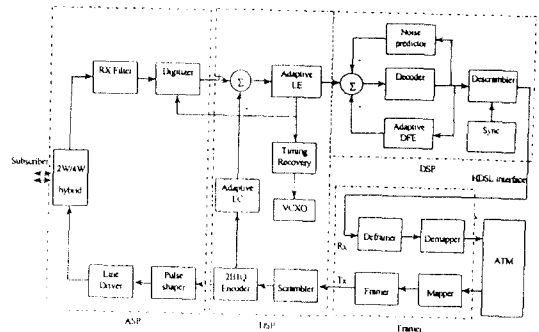


그림 4. 2B1Q HDSL 구조  
Fig. 4 Structure for 2B1Q HDSL

를 위해 여러 개의 잡음 predictor와 비교적 설계가 간단한 DFE로 구성되는 디코더에 적용되고 시각 복구 회로(timing recovery)에 의해 수신 신호 클럭이 재구성된다. noise predictor는 precursor 등화기를 갖는 선형 예측부이다. ISI의 causal하지 못한 부분을 제거 또는 등화하고, 노이즈를 whitening하며 데이터 심볼의 순서를 결정한다. 따라서 precursor는 이산 시간 WMF(Whitening matched filter)이다. 혼화 장치는 이항식을 생성하여 수신 단의 수신 데이터 순서를 다중화하여 메시지 순서를 복구하며 모든 혼화 비트에 오버 헤드, 프레임 동기 및 끼워넣기/삭제 비트가 포함되고 시작 시 자체 모드 동기로 동작하여 전화국 및 가입자 전송장치의 혼화 장치 출력에서 이항식을 발생하여 전송 방향을 구별하게 된다. 이상적인 무한장 적응 선형 등화기와 DFE를 갖는 2B1Q 시스템에서 10<sup>-7</sup>의 BER을 구하기 위해서 21.5 dB의 SNR이 필요하고 2.7km, 0.4 mm 선로에서 이상적인 무한장 등화기는 Decision device 입력에서 최대로 구현 가능한 SNR은 29.7 dB수준이므로 이론적으로 약 8.2 dB의 잡음 여유가 필요하며 이는 실제로 만족스런 부호화하지 않은 2B1Q 전송장치를 수행하기 위해서는 무한장 등화기(IIR filter)와 DFE가 필요하다는 것을 의미한다. 일반적으로 2B1Q 코드를 사용할 때 최소 위상을 얻기 위해서 40탭 이상을 필요로 한다.

ASP는 전송 선로 상의 신호가 2선/4선 브리지를 통해 2선으로 신호를 송수신하며 수신 신호의 아날로그 반향을 제거하고 제어 이득 증폭기에서 출력이 증폭된다. 수신 신호는 LPF를 거치고 Digitizer에서 샘플된 후 수신 장치를 통해 DSP에 전달되며 송신 장

치를 통해 ASP로 부터 디지털 형태의 전송 신호를 받아 전송 펄스가 정형되고 VCXO(Voltage-controlled crystal oscillator)에 의해 클럭이 복구된다.

Framer는 데이터의 혼화, 역혼화, 주기적 리던던시 검사, 프레임 동기, stuffing bit, eoc(embedded operation channel) 및 표시 비트 같은 데이터 유효부하로 그림5와 같은 HDSL 프레임 구조를 만든다. E1 또는 T1 데이터가 선로를 통해 HDSL 프레임으로 들어오고, Framer에서 HDSL의 E1 변환 및 E1의 HDSL 변환이 수행된 다음, stuffing bit 삽입 및 E1 클럭 복구로 주파수 변환을 한다. T1 HDSL 프레임은 평균 3,504 비트, 6 ms이며 784 Kbps(3,504 bit/6 ms)의 HDSL 주파수를 제공하고, E1 HDSL 프레임은 T1 채널에 2 채널의 64 Kbps와 16 Kbps의 오버 헤드가 추가되어 1,168 Kbps(64 kbps×18+16 kbps)의 HDSL 주파수 (7,008 bits/6 ms)를 제공한다.

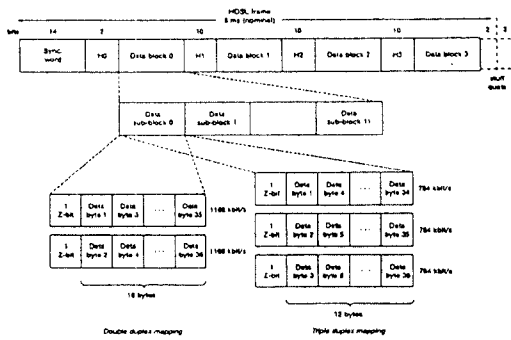


그림 5. 2B1Q HDSL Frame 구조  
Fig. 5 Frame structure of 2B1Q HDSL

### 3.3 2B1Q HDSL 장치의 동작원리

HDSL 정합부는 표준 ATM E1 포맷을 HDSL 포맷으로 바꾸는 기능을 한다. HDSL 선로로 부터 입력되는 신호로부터 데이터와 클럭을 추출하여 프레임을 생성하고, 프레임의 오버 헤드에 포함된 유지 보수 신호를 처리하여 ATM 셀을 추출하고 셀 비스 인터페이스부를 통해 ATM 계층 처리부로 전달한다. 그리고 ATM 계층 처리부로 부터 수신한 ATM 셀을 유지 보수 신호와 함께 프레임을 구성하여 HDSL 가입자 선로로 전송한다. HDSL 정합부는 송신부와 수신부로 한 가입자를 구성한다. 송신부는 기본 속도 채널을 HDSL 4 선로 채널로 바꾸고, Framer에 의해

공급되는 기본 속도 프레임 정보를 이용하여 오버 헤드 비트와 선로 데이터로 채널을 다중화한 다음, 선로 데이터는 혼화(scramble)되고 2B1Q 코드에 의해 인코드된다. 수신부는 선로 데이터를 역혼화(descramble)하고 HDSL 선로 채널을 기본 속도 채널로 역다중화 한다.

## IV. HDSL 정합장치의 성능 평가

### 4.1 HDSL 장치 성능 평가를 위한 전송 성능 측정

본 장에서는 50쌍 UTP 케이블 다발에 수용된 다양한 종류의 다른 가입자 서비스와 함께 HDSL 서비스를 제공할 때 케이블에 잡음이 존재하는 조건에서 BER 및 서비스 거리 성능을 평가하였다. 시험 구성은 그림 6과 같이 HDSL-COT와 선로 시뮬레이터, 외장형 HDSL-RT 모델, LAN B-TA, E1 셀 발생/분석 장비(Addtech, AXE4000) 및 노트북 PC으로 구성되었다. 2.048 Mbps의 ATM 셀은 선로 1, 선로 2의 두 선로에 각각 1.024 bps씩 나뉘어 HDSL-RT, HDSL-COT를 거쳐 ATM 교환기에 인가되고 루프 백되어 같은 경로로 되돌아 오며 HDSL-COT와 가입자측 HDSL-RT 모델 사이의 양방향 2선식 선로 가운데 한 선로에 HDSL 선로 시뮬레이터(HDSL DLS 200H)가 연결되었다. 전송 거리 성능은 가입자 선로에 HDSL 선로 시뮬레이터를 연결한 후 실제 가입자 선로 조건을 위한 전송 손실을 인가하여 측정하였다.

HDSL 유효부하 데이터의 신뢰성있는 전송을 위하여 모든 전송 계수는 충분히 안정된 후 전송됨에도 불구하고 개발된 HDSL 정합장치의 전송 거리 성능 평가는 먼저 선로 전송 손실이 인가되지 않은 조건에서 장시간 시험을 거쳐 장치 기능이 충분히 안정된 조건에서 0.4 mm의 25쌍 및 50쌍 케이블, 0.5 mm의 25쌍 및 50쌍 케이블에 대해 누화, 임펄스 등의 전송손실 수준을 점차 증가시키면서 측정하였다. 인가되는 전송 손실은 선로 시뮬레이터 장비에서 제공 가능한 HDSL NEXT, 임펄스 잡음, 전원 선로 잡음 및 접지 임피던스 잡음의 4종류로 제한되었다. 이 때 선로 모델은 대표적인 시험 선로로서 0.4 mm/2.8 km 및 0.5 mm/3.7km 단일 선로를 제공하는 # 6, # 8이 사용되었고 전체 8개의 CSA 선로에 대해 요구되는 시간동안 안정된 데이터의 송수신이 이루어지는지 확인하였다. HDSL 각 선로의 비트 속도는 1,024 kbps

이고 이 셀 데이터를 시험 선로에 인가하였다. 측정 방법은, HDSL 장치를 초기화(속도, 선로 루프 경로 등)시키고 루프 백 시킨 다음, 지속적으로 ATM 셀 데이터를 송신하고 그 응답을 모니터링하는 방법으로 20분(1,255회) 에러 발생 율을 측정하고 속도를 변화시키면서 같은 방법으로 에러 발생 율을 측정하였다. 에러 발생 율은 1,255 샘플로 평가할 때 95% 신뢰도를 갖는 에러 통계는  $2\sqrt{p(1-p)}/1,255$  이하고  $p \approx 0.5$ 이므로 에러 율  $\pm 3\%$  이내에서 평가하였다. 측정 후 장시간 동안 안정된 데이터의 송신 및 수신 이 이루어지는지 확인하였다.

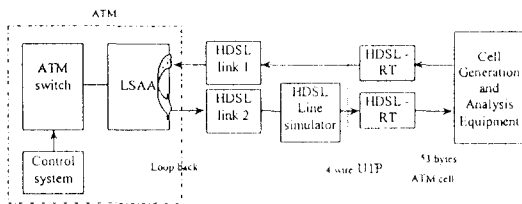


그림 6. HDSL 성능 평가를 위한 구성  
Fig. 6 Set up measuring the performance of HDSL

#### 4.2 HDSL 거리 성능 측정 및 결과 고찰

2B1Q 전송 방식을 지원하는 ATM 기반의 E1 HDSL 정합장치에 대해  $10^{-7}$ 의 셀 손실 성능 규격을 만족하는지 시험을 통하여 평가하였다. 대역 폭은 2.048 Mbps(4,500 cells), 시험 선로 모델은 8개의 ANSI CSA 선로 모델 가운데 대표적으로 CSA # 6, # 7을 만족하는 경우 나머지 선로 모델도 만족하였다. 따라서 0.4 mm 가입자 선로에 대해 CSA 표준

선로 모델 # 6, 0.5 mm 가입자 선로에 대해 대표적으로 CSA 표준 선로 모델 # 8이 사용되었다. CSA 선로 모델에서  $10^{-7}$  비트 에러 목표를 충분히 만족시키면서 필요 데이터 전송 속도를 구현할 수 있는지를 0.4 mm 및 0.5 mm 선로에 HDSL NEXT, 임펄스 잡음, 전원 선로 잡음 및 접지 임피던스 잡음이 없는 양호한 상태와, 대표적인 전송 손실 및 최악의 전송 손실이 인가된 상태에 대하여 측정하였다.

DSL 시스템 성능 요구 조건으로서 벨코아, ANSI에서는 최악의 조건에서 시스템 내부의 예측할 수 없는 선로특성 및 임펄스 잡음과 같은 많은 성능 감쇄가 있을 수 있고 이상적인 시뮬레이션과 실제 하드웨어 사이의 차이를 감안하여야 하므로  $10^{-7}$ 의 BER을 보증하기 위해서는 추가적으로 6 dB NEXT 여유를 권고하고 있으며 이 6 dB 여유는 0.5 mm 선로에서 약 520 m, 0.4 mm 선로에서 약 365 m에 해당된다. 이를 위해 HDSL NEXT는 전력 스펙트럼이 거의 392 kHz내에 포함되는 것으로 볼 때 50쌍 케이블에 대해  $-41.05 \pm 3$  dBm, 25쌍 케이블에 대해  $-43.37 \pm 3$  dBm가 적용되었다. 0.4 및 0.5 mm 선로에 대해 전송손실 수준을 점차 증가시키면서 전송 거리에서의 셀 손실 율을 측정할 결과를 표 1에 나타내었으며 그림 7 및 8에 이를 도시하였다. HDSL NEXT는 ETSI 규격에 따라 0~392 kHz를 사용하는 HDSL에서 50쌍 케이블에 대해 42.3 dBm, 25쌍 케이블에 대해 44.2 dBm를 적용하였고, 임펄스 잡음 수준은 20~80 mV의 초당 1 펄스(1 pps), 전원 선로 잡음은 0~6 dBm, 60 Hz, 600 Hz, 그리고 접지 임피던스 잡음은 10~50 V<sub>rms</sub>, 60 Hz를 각각 적용하였다. 대표적인 가입자 선로 잡음 조건인 0.4 mm 케이블 감쇄로서 HDSL NEXT

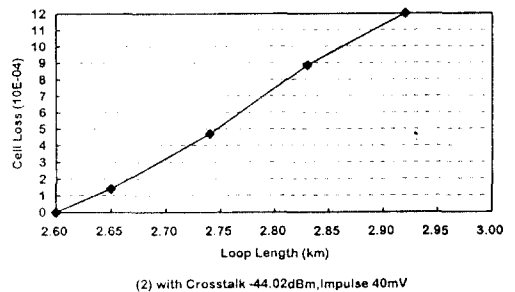
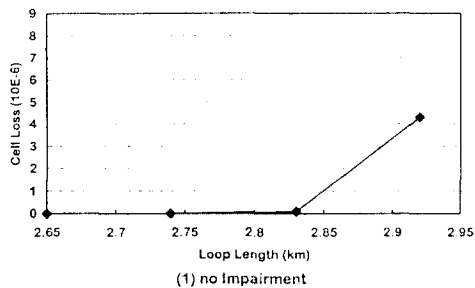


그림 7. 0.4 mm 선로에서 전송 손실에 따른 전송 거리 성능  
Fig. 7 Loop length vs. impairments on length 26 gauge cable

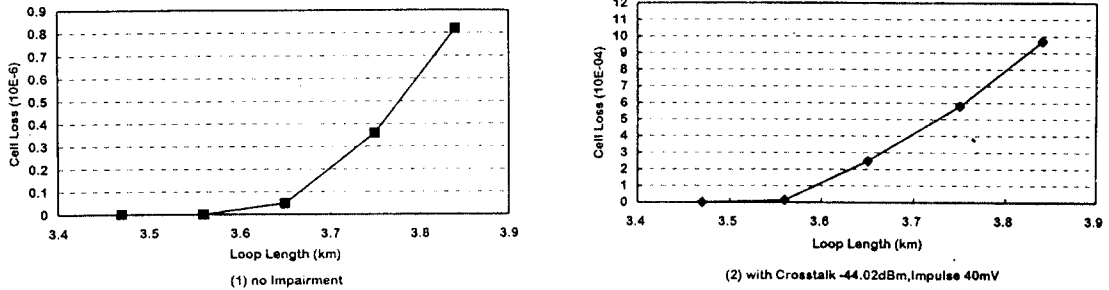


그림 8. 0.5 mm 선로에서 전송 손실에 따른 전송 거리 성능  
 Fig. 8 Loop length versus impairments on length 24 gauge cable

-42 dBm와 임펄스 잡음 -40 mV가 인가된 조건에서 시험한 결과, 거리 변화에 따른 에러 발생율이 2.5 km에서 3.0 km까지 거의 선형에 가깝게 증가하여 임펄스 잡음이 전송 거리 성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 0 dB, 60 Hz, 600 Hz의 전원 선로 잡음과 50 V<sub>rms</sub>, 60 Hz의 접지 임피던스 잡음을 인가하였을 때와 이들 두 잡음을 인가하지 않았을 때 전송 거리에 대한 영향은 30 m 이하 수준으로 대단히 적은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결과적으로 전송거리는 대표적인 선로 전송 손실 수준에서 0.5 mm 선로에 의해 3.5 km, 0.4 mm 선로에

대해 2.7 km까지 가능한 것으로 나타났고, 선로 임펄스가 1 pps, 80 mV 이상이 인가되는 최악의 조건에서 전송거리는 각각 2.6 km와 3.4 km 이하로 급격히 감소하였다. 표 2에 이를 요약하였다.

그림 9는 0.4 mm 선로에 임펄스 잡음 수준이 점차 증가할 때 전송거리 성능을 측정한 결과를 보여준다. 임펄스 잡음이 선로에 미치는 영향은 미국의 NYNEX에서 수집된 대표적인 임펄스 수준으로서 발생 빈도 1~5회/분, 진폭 5~20 mV 및 지속시간 30~150 μs 범위를 본 시험의 기준으로 채택하고 선로 거리에 미치

표 1. 전송 손실 인가 정도에 따른 선로 셀 손실  
 Table 1. Cell loss vs. impairments level for 24/26 gauge cable

선로	전송 거리 km	전송 손실		셀 손실 BER
		NEXT(dBm)	Impulse(mV)	
0.4 mm, 50 쌍 케이블	2.7	-	-	0
	2.8	-	-	$0.10 \times 10^0$
	2.7	-4.2	1pps, 40 mV	$4.69 \times 10^4$
	2.8	-4.2	1pps, 40 mV	$8.85 \times 10^4$
0.5 mm, 50 쌍 케이블	3.6	-	-	0
	3.7	-	-	$3.60 \times 10^1$
	3.5	-42	-	$2.09 \times 10^8$
	3.6	-42	-	$4.98 \times 10^1$
	3.7	-42	-	$1.05 \times 10^0$
	3.6	-42	1pps, 40 mV	$1.19 \times 10^3$
	3.6	-42	1pps, 40 mV	$2.70 \times 10^4$
	3.7	-42	1pps, 40 mV	$5.90 \times 10^4$

표 2. 선로에서의 전송 손실 정도에 따른 서비스 거리 평가  
 Table 2. Loop length versus impairments level for 24/26 gauge cables

선로	전송 손실				전송 거리, km
	NEXT	Impulse	Power line	Longitudinal	
0.4 mm, 50 쌍 케이블	-42 dBm	1 pps, 40 mV	0	0	2.74
		1 pps, 40 mV	3 dB, 60 Hz, 660 Hz	-	2.72
		1 pps, 40 mV	0 dB, 60 Hz, 660 Hz	50 V <sub>rms</sub>	2.65
		1 pps, 80 mV	0 dB, 60 Hz, 660 Hz	50 V <sub>rms</sub>	2.47
0.5 mm, 50 쌍 케이블	-42 dBm	0	0	0	3.50
		1 pps, 40 mV	0 dB, 60 Hz, 660 Hz	50 V <sub>rms</sub> , 60Hz	3.47
		1 pps, 80 mV	0 dB, 60 Hz, 660 Hz	50 V <sub>rms</sub> , 60Hz	3.35



는 영향을 측정하기 위하여 초당 1 펄스, 10~20 mV, 70 μs를 인가하였다. 측정 결과에 의하면 15 mV까지의 진폭에 대해서는 그다지 큰 영향을 미치지 않았으나 15 mV 이상에서는 오율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 그림은 2.7 km의 선로 루프 거리에서 임펄스 잡음 수준의 점진적 증가에 따른 비트 전송 오류 측정 결과를 도시한 것이다. 이 측정 결과에서는 다른 간섭이 없이 허용될 수 있는 대표적인 임펄스를 적용하였을 때 200 kHz에서 43 dB와 10 dBm 전송 전력을 갖는 표준 펄스의 임펄스 잡음 허용 범위가 20 mV<sub>p</sub> 수준으로 나타났다.

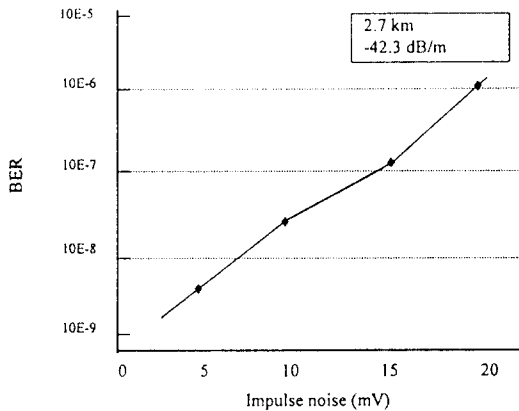


그림 9. 임펄스 인가 수준에 따른 0.4 mm 선로의 전송거리  
Fig. 9 26 gauge loop length vs. impuse noise level

앞에서는 벨코아에서 권고하는 0.4 mm 50쌍 케이블 선로의 대표적인 HDSL NEXT 수준으로 -42.3 dBm를 적용하였으나, 그림 10은 HDSL NEXT 수준을 점차 증가시키면서 10<sup>-7</sup>의 BER 성능을 만족하는 거리 성능을 측정된 결과로서 -46 dBm 이상에서는 전송거리에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

그림 11에 0.4 mm 및 0.5 mm 각각의 선로에 대해 선로 잡음 조건을 점차 증가시키면서 10<sup>-7</sup>의 BER 성능을 만족하는 거리 성능 측정 결과를 나타내었다. 0.4 mm 선로는 잡음이 없는 이상적인 선로 조건에서 2.84 km이던 것이 NEXT, 임펄스, 선로 전원 잡음, 접지 임피던스 잡음에 이르기 까지 점차 잡음 수준을 증가시킬 때 거리 성능이 2.65 km 까지 점차 감소하였다. 또한, 0.5 mm 선로는 잡음이 없는 이상적인 선로 조건에서 3.7 km이던 것이 NEXT, 임펄스, 선로

전원 잡음, 접지 임피던스 잡음에 이르기 까지 점차 잡음 수준을 증가시킬 때 거리 성능이 3.4 km 까지 점차 감소하였다.

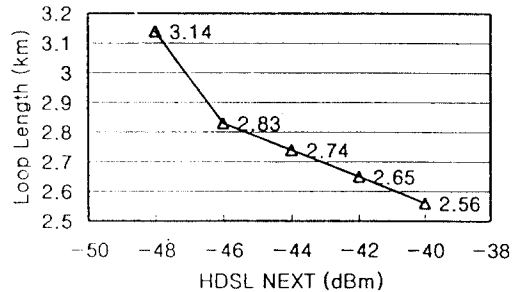


그림 10. 선로에 인가하는 HDSL NEXT 수준에 따른 전송거리  
Fig. 10 Loop length vs. HDSL NEXT as a function of impairment

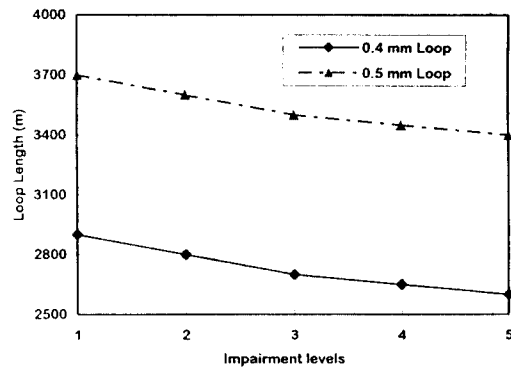


그림 11. 가입자 단말에서 BER 측정에 의한 전송거리 성능  
Fig. 11 Loop length assessed with BER measured at HDSL-RT

이 시험 결과에 따르면 10<sup>-7</sup>의 전송 손실 규격을 만족하는 전송 거리는 먼저 선로에 전송 손실이 없을 때 0.4 mm 선로에서 3.1 km 까지, 그리고 0.5 mm 선로에서 3.6 km 까지 서비스 가능한 것으로 나타났다. 이는 가입자 맥내 부근의 예측할 수 없는 전송 손실을 위하여 6 dB 여유를 감안[1],[11]하기 위하여 50 쌍 선로 케이블의 벨코아 권고 감쇄 수준인 -42.3 dBm의 49 HDSL NEXT를 인가하였을 때 양호한 E1

HDSL 서비스가 가능한 거리 성능이다. 이 측정은 E1 HDSL 선로에 전송 손실이 없을 때, 3.1 km의 거리에 대해  $10^{-7}$ 의 오율을 만족하였고, -42.3 dBm의 49 HDSL NEXT를 인가하였을 때 2.7 km에서  $1.18 \times 10^{-7}$  오율을 각각 얻었다. 또한, 이 측정은 T1 HDSL 선로에 전송 손실이 없을 때, T1 속도에서 4.4 km의 거리에 대해  $10^{-7}$ 의 오율을 만족하였고, 49 HDSL NEXT를 인가하였을 때 T1 데이터 속도에서 3.7 km에서  $1.1 \times 10^{-7}$  오율을 얻었다. 그리고 이들 시험 측정된 거리 성능 데이터를 토대로 하는 HDSL 시스템 SNR 평가는 0.4 mm 심선을 사용하는 선로의 경우 200 kHz에서 300 m 당 3.92 dB로 선로 감쇄를 평가하고, 0.5 mm 심선은 200 kHz에서 300 m 당 2.87 dB로 평가 한다[12]. 그림 12는 이를 주파수에 대해서 감쇄 특성을 평가한 것을 나타낸 것이다. 이를 dB로 환산하면 48 dB와 33.5 dB가 되고 손실 차는 14.5 dB로서 이는 주파수에 대해 15 dB/decade (4.5 dB/octave) 범위의 벨코아 권고 수준을 만족한다.

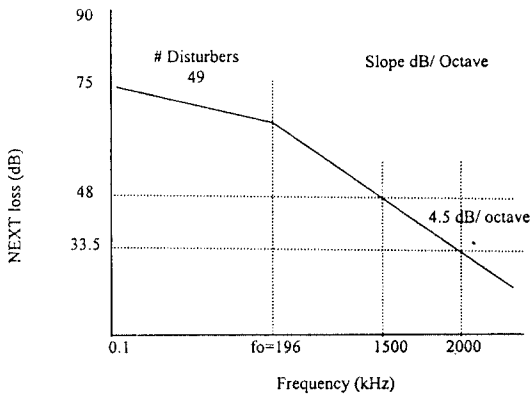


그림 12. 0.4 mm, 49 HDSL에서 2B1Q HDSL의 SNR 성능  
Fig. 12 SNR performance of 2B1Q HDSL under 0.4 mm, 49 HDSL

### 4.3 ATM기반의 HDSL 서비스 시스템 구성 및 프로토콜

그림 12는 VOD 서비스, 영상회의 서비스 및 고속 인터넷 접속을 위한 ATM 기반의 HDSL 시스템 서비스 구성이다. 서비스 접속 장치로는 IP(Internet protocol) 데이터그램을 ATM 셀로 변환해 주는 정합장치로서 LAN-BTA(Local area network-broadband terminal adapter)가 사용되며 장차 가입자 단말에 그 기

능이 수용된다. 그림 13은 ATM 기반의 HDSL 서비스를 위한 VOD서비스 프로토콜 구조이다.

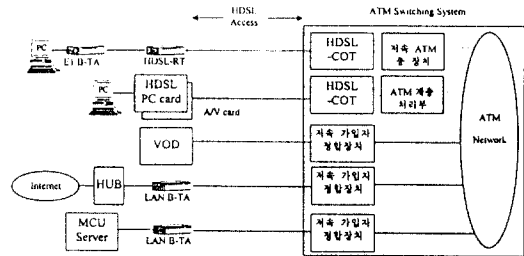


그림 13. ATM에 정합된 HDSL 서비스 데모 구성도  
Fig. 13 Configuration to demonstrate HDSL service under ATM

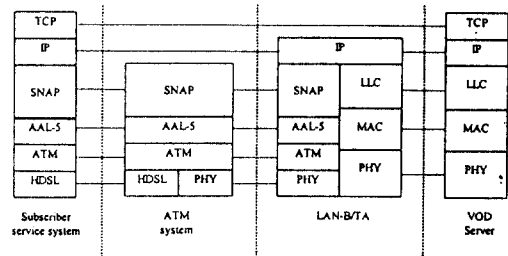


그림 14. HDSL VOD 서비스 프로토콜 스택 구조  
Fig. 14 Protocol stack structure for HDSL VOD service

## V. HDSL 망 정합 및 시장 전망

### 5.1 HDSL 망 정합

그림 15는 전화국 측과 가입자 측간 DS1 접속점 사이에 HDSL 망을 구성하고 DS1을 통하여 ISDN 망을 접속한다. 그림 16은 전화국 측에서 가입자 측 원격 단말까지 광 케이블이 포설되고, HDSL 망은 원격

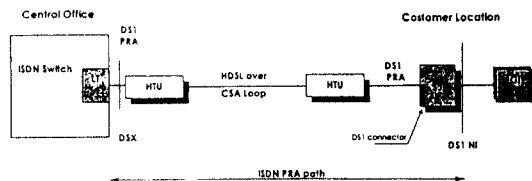


그림 15. ISDN 가입자 접속  
Fig. 15 ISDN access via HDSL

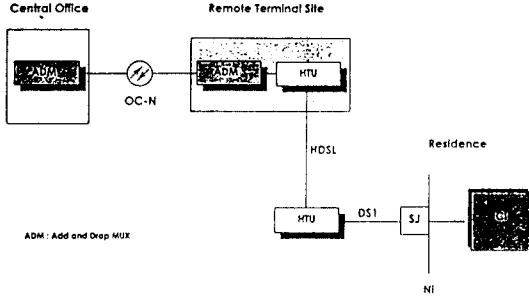


그림 16. 광 케이블 망을 통한 DS1서비스  
Fig. 16 DS1 extension from fiber

·단말에서 가입자 접속점(SJ)을 통해 가입자 댁내에 정착된다. 그림 17은 전화국사에서 가입자 측 원격 단말까지 동기식 광 망(SDH)이 구축되고, HDSL 망은 허브 단말에서 가입자 접속점(SJ)을 통해 가입자 댁내에 정착된다. 그림 18은 광 망이 국간 접속에 도입될 때 CO 또는 V3 접속점으로부터 ONU 또는 HDSL이 접속되고 망 단말에서 가입자를 접속한다.

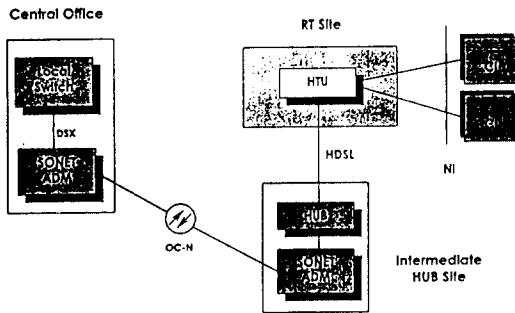


그림 17. 장 거리 전송  
Fig. 17 Extended transport

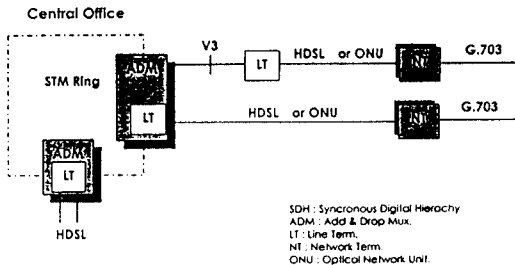


그림 18. 동 선로에서 광 선로까지 SDH 접속  
Fig. 18 SDH from copper to fiber

5.2 HDSL 시장 전망

2015년 까지 FTTH로 국가 초고속망을 완성하려는 계획이 수정되어 xDSL망도 초고속망의 부분으로 받아들여지고 있다. HDSL은 국내에 17,000여 회선이 시험 서비스되고 있고 중소기업과 SOHO(Small office home office) 근무자를 대상으로 수요가 예상되나 국제 표준화 문제가 추진 중이고 HDSL-RT 또는 셋탑박스 같은 가입자 단말 가격이 고가이어서 주거용 가입자나 SOHO 근무자에게는 부담이 되므로 시장성에 대한 저해 요인이 되고 있다. 2002년 말의 세계 시장 전망에 의하면 xDSL 가입자 회선이 거의 1천만 회선에 이를 것으로 전망하고 있으며 이 가운데 HDSL은 30%인 300만 회선을 차지한다. 서비스 수입은 북미, 서유럽 및 아/태 지역에서 2001년 말에 10억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 현재 외국의 HDSL 시험 서비스 제공 현황은 다음과 같다. 시장 전문 업체인 CIR에 의하면, 아/태 지역에서의 xDSL 단말 및 서비스 시장의 잠재력은 매우 크며, 특히 중국과 일본에서의 xDSL 이용은 기타 극동 국가에 큰 영향을 미칠 것으로 전망된다[13]. 표 3에는 최근 북미의 HDSL 시험 서비스 현황을 나타내었고, 그림 19에는 세계의 xDSL 가입자 수요 예측을 나타내었다.

표 3. 북미의 HDSL 시험 서비스 현황  
Table 3. Trial HDSL service in North America

년도	사업자	지역	공급자	지원속도	이용공급자
'97	People's Rep. Of China	21개 도시	Orkit	1.5 Mbps	Westell
'96	MCI	Sergeants Bluff	20	972 or 768 kbps	PairGain
'97	GTE 정보 서비스	전세계 미군기지	-	-	Westell

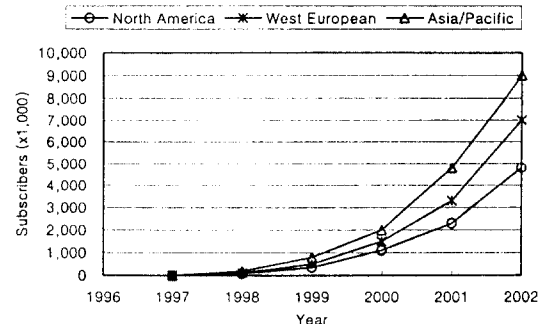


그림 19. 세계의 xDSL 가입자 예측  
Fig. 19 Forecast of xDSL subscriber in world

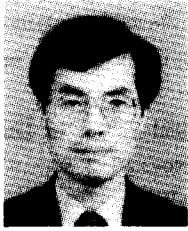
## VI. 결론 및 향후 전망

ATM 교환기에 4선식의 동 선로 상에서 T1, E1 및 부분적 E1 속도의 HDSL 서비스를 적용적으로 제공하기 위한 HDSL 정합 기능의 구현, 가입자 서비스 전송 거리 평가, ATM 기반의 서비스에 관하여는 선행연구[14],[15]에서 기술하였고, 본 논문에서는 2B1Q HDSL의 관점에서 상세한 고찰과 추가 분석 결과를 제시하였고 아울러 망 접속 서비스 및 시장 전망을 기술하였다. 개발된 HDSL은 선로에 잡음이 없는 양호한 조건에서 6 dB SNR 여유를 가질 때  $10^{-7}$ 의 셀 손실 규격을 만족하는 0.4 mm 선로의 최대 전송 거리는 E1 선로에서 3.1 km, T1 선로에서 4.4 km 까지로 평가되었고, 대표적인 선로 전송 손실 조건에서는 각각 2.7 km와 3.7 km 까지 양호한 서비스가 가능한 것으로 평가되었다. 임펄스가 고려된 최악의 선로 전송 손실 조건에서도 0.4 mm 선로에서 2.65 km까지 서비스 가능한 것으로 평가되었다. 보드당 4채널을 수용하는 하드웨어 구현 과정에서 ATM 정합부에서 인접 채널에 대해 미세한 셀 누설이 발생하였고 HDSL 아날로그와 디지털 회로 간의 정합에서 약 400 m의 전송거리 손실이 발생하였으며 이를 간과할 때 설계 상의 성능을 만족하지 못하게 된다. 향후, 국내 서비스 보급을 위해서는 보다 장거리 전송이 가능한 장치 설계와 장치 가격에 경제성을 제공하는 연구가 더 필요하다.

본 논문에 이어서 우리나라 UTP 가입자 전송 선로 특성을 고찰하고, 각종 NEXT 잡음과 AWGN으로 구성되는 잡음 전송 전력 스펙트럼 모델링을 수행하며, 이를 근거로 하는 채널 데이터를 구하여 우리나라에 선로 환경에 적합한 2B1Q HDSL 전송장치를 설계하고 구현할 계획이다. xDSL의 필요성, 장치 구현의 경제성 및 세계적인 xDSL 시장 전망으로 볼 때 관련 기초 연구와 국제 기반의 핵심 칩셋의 국내 개발이 시급하다.

## 참고 문헌

1. Karman Sistanizadeh, "A Comparison of Passband and Baseband Transmission Schemes for HDSL," IEEE JSAC, VOL. 9, No.6, pp. 881~894, Aug. 1981.
2. Rolf Matzner, "HDSL Design Issues-Optimization and Architecture Gain," IEEE GLOBECOM, pp. 1314~1318, 1993.
3. T1E1.4/93-201R1, "High-rate Digital Subscriber Line (HDSL):CAP Interoperability," Nov. 10, 1993.
4. Consultronics, DLS200H-HDSL Wireline Simulator, Operating and Reference Manual Rev.4, Jan. 1996.
5. Jean. J. Werner, "The HDSL Environment," IEEE JSAC, Vol. 9, No.6, pp. 785-800, Aug. 1991.
6. Jean-Jacques, "The HDSL Environment," IEEE JSAC, Vol. 9, No.6, pp.785-800, Aug. 1991.
7. T1E1.4/96-006, "ANSI Standard Test Loop," April 22, 1996.
8. Bellcore, "Generic Requirements for High-Bit-Rate Digital Subscriber Lines," TA-NWT-001210, Issue 1, Oct. 1991.
9. K. J. Kerpez and A. M. Gottlieb, "The Error Performance of Digital Subscriber Lines in the Presence Of Impulse Noise," IEEE trans. On Commun. Vol. 43, No. 5, pp. 1902~1905, May 1995.
10. James W. et al., Modeling and Analysis of Error Probability Performance for Digital Transmission Over the Two-Wire Loop Plant," IEEE JSAC, Vol. 4, No.8, pp.1317-1330, Nov. 1986.
11. Jacky S. Chow, "A Discrete Multitone Transceiver System for HDSL Applications," IEEE JSAC, Vol. 9, No. 6, pp. 895-907, Aug. 1991.
12. Josech W. Lechelider, "Line Code for Digital Subscriber Lines", IEEE Communications Mag., pp. 25-2, Sep. 1989.
13. 한국전자통신연구원, "고속 데이터 통신을 위한 xDSL과 시장 전망," pp. 31-36, .TIS-98-17, 845호, 주간기술동향, 1998.5.8.
14. 양충열 외3, "ATM 기반의 HDSL 정합 기능 구현 및 성능평가," 통신학회논문지, 제22권 5호, 1997.5.31.
15. 양충열 외3, "ATM에 HDSL 정합 기능 및 서비스 구현," 정보처리학회논문지, 제4권 9호, pp. 2378-2390, 1997.5.31.



양 충 열(Choong Reol Yang) 정회원

1983년:건국대학교 전자공학과(공학사)

1989년:미국 General Dynamics  
Landing System Co.

1986년~1992년:(주)현대정공 기술연구소

1998년 9월:충남대학교 전자공학과(공학석사)

1992년~현재:ETRI 광교원연구실 선임연구원

※주관심분야:A/HDSL, ATM/Photonic System cryang@etri.re.kr