

工學碩士 學位論文

ADSL 서비스를 위한 동선 케이블에서의 전송 성능 저해 요인 분석

指導教授 鄭 信 一

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2003年 2月

釜慶大學校 産業大學院

情報通信工學科

李 淑 千

이 論文을 李淑千의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2002年 12月 14日

主 審 工學博士 尹 鍾 樂



委 員 工學博士 金 錫 泰



委 員 工學博士 鄭 信 一



목 차

Abstract

I. 서론 -----1

II. ADSL의 시스템 구성 및 특성

1. ADSL 시스템 구성-----4

2. ADSL 전송 방식-----9

3. ADSL 전송 성능 저해 요인-----12

III. 조건에 따른 실험 및 분석

1. 현장 실험 현황-----23

2. 실험 환경-----26

3. 실험 결과-----27

IV.현장 사례 결과 및 고찰

1. 광 ADSL 원단누화 잡음에 의한 동 ADSL 속도 저하
 사례-----34

2. 다양한 원단누화 발생원-----37

3. 고찰-----38

V. 결론-----41

참고문헌-----42

An analysis of the Transmission Performance Degradation of Copper Cable for ADSL services

Suk-Chun Lee

Department of Telematics Engineering Graduate School of Industry
Pukyong National University

Abstract

Recently, as the number of Internet users increases continually, the demand of high-speed data service also increases, various data electrical-transmission technologies using copper cable like ADSL are being applied to subscribers' network. Consequently, the existing xDSL line or the xDSL line newly installed might act on the ADSL line because of a cross-talk interference phenomenon, which might decrease the electrical transmission quality of ADSL system.

In actual, as high-speed data services by exterior communication service enterprises expand, which use the optical electrical-transmission system from the telephone office to inward operating(communications) rooms and use copper cable from inward operating rooms to subscribers' houses, data-service offered by exterior communication service enterprises causes a cross-talk interference phenomenon to ADSL service based on the copper cable system using copper wire only, which causes a serious quality deterioration also.

Therefore, this study examined various factors directly causing a serious service-quality deterioration in offering high-quality ADSL service that uses the copper cable system vastly installed inside this country. Particularly, it focused on the factors that make the optical ADSL system negatively act on copper ADSL system inside the environments of copper cable. On-the-job surveys and real examples were adopted to find out and analyze problems, and achieved the goals of this study, searching for measures to improve service quality based on the copper cable, suggesting more effective investment directions, and preparing optimal measures to improve ADSL service quality based on copper cable system.

I. 서 론

ADSL은 기존의 PSTN(Public Switched Telephone Network)을 이용하여 소규모 사무실이나 가정으로 고속의 인터넷 접속, 멀티미디어 콘텐츠 서비스 등과 같이 높은 대역폭을 요구하는 광대역 멀티미디어 서비스를 전달하는 새로운 기술이다. ADSL 기술의 가장 큰 특징은 기존의 전화망을 이용하여 비디오, 오디오, 데이터 정보 등의 고속 디지털 서비스의 구현이 가능하다는 점이다. 또한, 기존의 전화 서비스에 방해가 주지 않고 데이터를 수 Mbps로 전송할 수 있으므로 새로운 망의 구축에 따른 경제적 손실을 줄일 수 있다. 또한 수신속도가 1.5M~8Mbps, 송신속도가 64k~640kbps인 비대칭 구조로서 클라이언트는 데이터를 전송하기보다는 대용량의 정보를 수신 받는 일반적인 클라이언트 서버 응용 개념에 적합하다.

최근 인터넷 사용자가 지속적으로 증가하고 이에 따른 고속의 데이터 서비스를 받고자 하는 요구가 늘어남에 따라 ADSL을 비롯한 동선을 이용한 다양한 데이터 전송기술(FLC-ADSL, ISDN, HDSL(2B1Q), HDSL(CAP) HDSL2, SDSL, VDSL)들이 가입자망에 적용되고 있는 상황이다. 따라서 기존 혹은 추가로 설치되는 xDSL 선로가 ADSL 선로에게 누화간섭으로 작용하여 ADSL 시스템의 전송품질을 저하시킬 수 있으며, 또한 향후 시행될 가입자망의 연변들렁에 대비할 필요가 있다. 현재 일반 가입자들로부터 고속 인터넷 접속, 화상전화, 화상회의, HDTV, 고속멀티미디어 서비스 등 고속의 망 접속 서비스에 대한 요구가 급증하면서 가입자까지 광선로를 이용하는 FTTH(fiber to the

home), 광선로와 전화선을 활용하는 FTTC(fiber to the curb), 광선로와 기존의 동축 선로 네트워크를 이용하는 HFC(hybrid fiber coax) 등의 가입자 액세스 망 개발이 세계적인 이슈가 되고 있다. 이와 같은 가입자 요구에 맞는 고속의 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공하기 위해서는 가입자 선로를 광선로로 대체하거나 기존의 가입자 전화 선로에 고속 DSL(Digital Subscriber Line) 기술을 적용하여 고속화하는 방법이 있다.

가입자 선로를 광선로로 대체하는 경우 고속의 데이터를 가장 효과적으로 전송할 수 있으나 막대한 신규 포설 비용을 필요로 하는 반면에 고속 DSL 기술을 적용하는 경우에는 기존 시설을 재활용한다는 경제적인 이점을 가지고 있다. 이러한 두 가지 측면에서 광선로와 전화선로를 활용하는 FTTC 가입자 액세스 망이 현재 ADSL 기술을 이용하여 적용되고 있는 상황이다. 이러한 기술을 FLC-ADSL이라 하는데 FLC-ADSL 선로가 추가로 설치될 경우 전화선을 이용한 ADSL 선로가 FLC-ADSL 누화 간섭의 영향을 받아 전송품질이 급격히 저하되고 있다.

전화국에서 구내 통신실까지는 광전송시스템을 사용하고 구내 통신실부터 가입자택까지 동선을 사용하는 타통신사업자의 고속데이터 서비스 보급이 증가함에 따라 타통신사업자가 제공하는 데이터서비스가 동일한 구내동케이블을 사용하는 동선로(Copper cable) 기반의 ADSL 서비스에 누화간섭을 일으켜 심각한 저하를 유발하고 있다.

본 논문에서는 동선기반 가입자선 환경에서 광 ADSL 전송장치가 동 ADSL 전송 선로의 전송성능을 저해하는 여러 가지 요인들을 분석하였

다. 그 중에서 특히 동선로간 있는 누화 간섭에 의해 전송속도에 많은 영향이 있음을 알게 되었다.

실험을 통해 원단 누화에 따른 ADSL의 전송성능을 분석하기 위해 전송속도와 송수신단의 신호전력, 동 ADSL에 수신된 광 ADSL 원단누화 잡음 전력밀도를 측정하여 원단누화가 ADSL 전송성능에 큰 영향을 미치는 것을 알아본 다음 사례를 통해 이를 확인한다.

II. ADSL의 시스템 구성 및 특성

1. ADSL 시스템 구성

가. 기존 모뎀을 이용한 인터넷 연결

그림 2.1과 같이 모뎀을 통해 전달된 데이터는 변조와 표본화를 거쳐 아날로그 신호의 형태로 교환기에 전달되고 교환기는 이 신호를 다시 인터넷 쪽으로 연결시켜 주는데, 4KHz의 음성주파수를 PCM 기법으로 표본화 하여 전송할 경우 얻을 수 있는 최고 속도는 64Kbps 가 되므로 음성교환기를 기반으로 한 모뎀은 56Kbps 속도의 한계를 맞이 하였고, 이 속도 또한 실제 전송을 수행함에 있어 전송거리, 노이즈 등에 의한 손실로 33.6Kbps 정도의 속도를 가질 수 밖에 없어 고속 모뎀으로서의 욕구를 충족시킬 수 없게 되었다.

이러한 한계를 극복하기 위하여 개발된 새로운 모뎀 기술이 바로 ADSL 로써, 이는 음성주파수 대역인 4KHz 의 영역을 벗어난 상위주파수 대역으로 데이터를 분리시킴으로써 보다 고속의 전송속도를 구현할 수 있게 되었다.

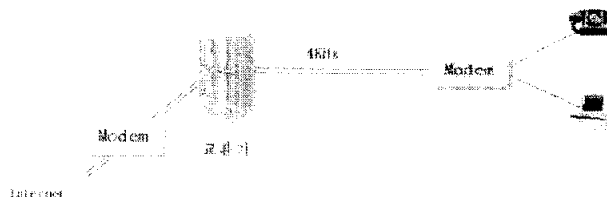


그림 2.1 모뎀을 이용한 인터넷 구성도

나. ADSL을 이용한 인터넷 연결

ADSL이란 기존 2 선식 전화망을 이용하여 네트워크로부터 가입자 측으로 데이터가 전송되는 고속의 하향 데이터 채널과, 가입자 측에서 네트워크로 데이터가 전송되는 저속의 상향 데이터 채널을 제공하는 동시에 기존의 음성 서비스도 가능하게 하는 기술이다.

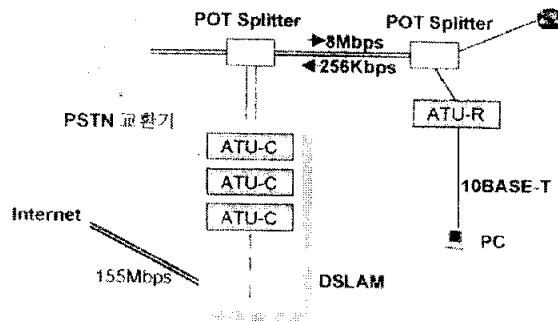


그림 2.2 ADSL을 이용한 Internet 구성

그림 2.2에서와 같이 ADSL에서는 음성교환기를 거치지 않고도 인터넷에 연결되는데, 이는 음성통화 영역과 데이터전송영역 주파수대역을 분리시켜 데이터만을 별도로 인터넷에 연결시키게 되는 것이다.

표 2.1 과 같이 ADSL 전송속도는 거리에 따라 전화국에서 가입자까지의 하향전송속도 1.544Mbps ~ 8Mbps, 가입자에서 전화국으로의 상향 전송속도 16Kbps ~ 640Kbps를 지원하며, 보다 고속의 전송속도 개발을 위한 노력이 진행중이다.

데이터 전송속도는 전화국에서 가입자까지의 선로거리, 사용되는 전화선의 종류, 사용되는 ADSL 장비의 종류에 따라 다르다.

표 2.1 ADSL 전송속도

하향 속도	거 리	선 굵기
1.5 또는 2Mbps	5.5km	0.5mm
1.5 또는 2Mbps	4.6km	0.4mm
6.1Mbps	3.7km	0.5mm
6.1Mbps	2.7km	0.4mm

ADSL에서 데이터를 위한 할애하는 주파수 대역은 그림 2.3 과 같으며 이는 기존의 동선을 이용하면서 음성주파수 대역이 쓰고 남은 상위의 대역을 점유함으로써 음성과 데이터를 완전히 분리하여 전송 시킬수 있는 것이다.

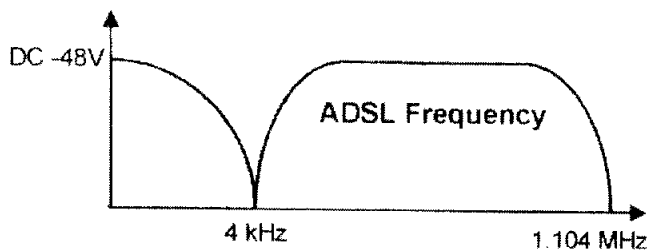


그림 2.3 ADSL 주파수 대역

이렇게 음성과 데이터를 다른 주파수 대역으로 분리시키는 기능을 POT(Plain Old Telephone) 스플리터에서 수행하는데 기존의 음성급 전화서비스를 말하며 스플리터란 말 그대로 분리시켜 준다는 뜻으로 동선에서 가질 수 있는 주파수 대역 1MHz를 음성과 데이터의 영역으로 분리시킨다는 뜻이다.

ADSL을 비대칭형 전송이라 하는데 이는 그림 2.4에서와 같이 하향 속도(8Mbps)와 상향속도(256Kbps)가 서로 다른 데서 기인한 것으로 인터넷 사용자들 대부분이 호스트에 데이터를 올리는 경우보다 내려받

는 경우가 많기 때문으로 이를 위해 ADSL 의 주파수 대역을 다시 한번 분할하였기 때문이다.

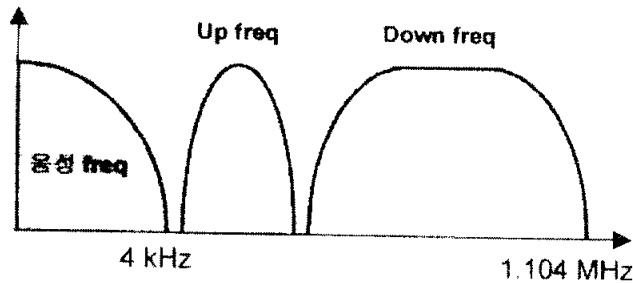


그림 2.4 ADSL 상, 하위 주파수 대역

하향 속도와 상향 속도를 구분하기 위해 주파수 분할 다중화 기법을 쓰는데 이는 전송하고자 하는 신호를 주파수 대역별로 분류하여 전송하는 기법으로서 1MHz의 주파수 대역을 구분하여 전송하는 ADSL 에 있어서는 매우 효율적인 방법이다. 이외에도 EC(Echo Cancellation) 기법이 있으나 이는 주파수 분할 다중화 기법에 비해 신호간 간섭의 영향을 많이 받으므로 실용적이지 못하다.

데이터를 전송하는데 있어서 필수적인 과정이 변조인데 ADSL에서는 변조를 위해 DMT(Discrete Multi-Tone)변조를 쓰고 있다. 여기서는 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 기법을 사용하는데 여러 종류의 QAM 중에서도 QAM4096을 사용하고 주파수 대역을 256 개의 톤으로 이산시켜 쓸 것을 ANSI는 T1.413에서 권고하고 있다. 이때 QAM 이란 하나의 데이터 파형이 표현할 수 있는 데이터비트 수로서 회선상태, 대역의 위치에 따라 사이즈를 변경하여 사용할 수 있으며 임펄스 잡음 및 기존 서비스와의 간섭을 최소화 할 수 있도록 주파수 배

치를 자유롭게 할 수 있다. 그러므로 QAM4096 의 경우는 $2^{12} = 4096$ 이므로 한 파형 당 12 비트의 정보를 전송할 수 있다. 또한 DMT에서는 이러한 QAM4096을 256 톤에 각각 적용하여 1개 파형을 전송하므로 한 개 심볼 당 표현할 수 있는 수는 3,072 비트가 된다.

이때 그림 2.5에서와 같이 톤 간의 간격은 4.3125KHz 로서 이를 256 톤에 곱해보면 ADSL 의 최대 주파수인 1.104 MHz 가 나옴을 알 수 있다.

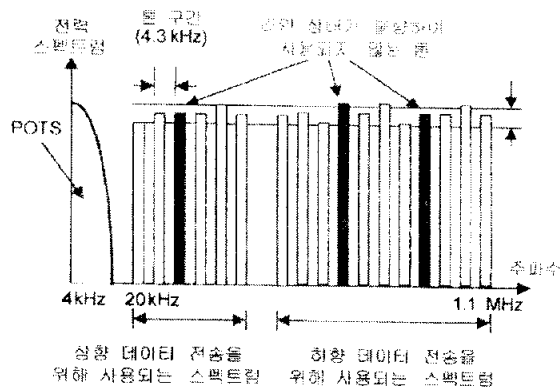


그림 2.5 ADSL 주파수 스펙트럼

DMT에서는 12.28Mbps가 최대 전송속도로 구현이 되고 이를 상, 하향 대역으로 구분을 하자면 위 그림 2.6에서와 같이 상향 대역을 위해 32 톤을 부여하고 하향 대역을 위해 192 톤을 부여하는데 이때 음성대역과 상향대역, 하향대역 사이에는 대략 30KHz 정도의 보호 주파수대를 줌으로써 상호간 간섭과 잡음으로부터의 영향을 벗어나게 된다.

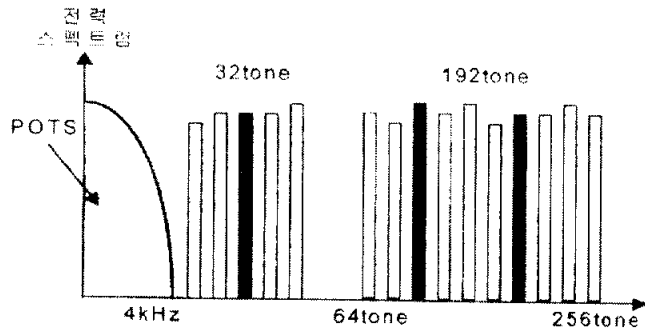


그림 2.6 ADSL 톤 스펙트럼

2. ADSL 전송방식

가. 동 ADSL

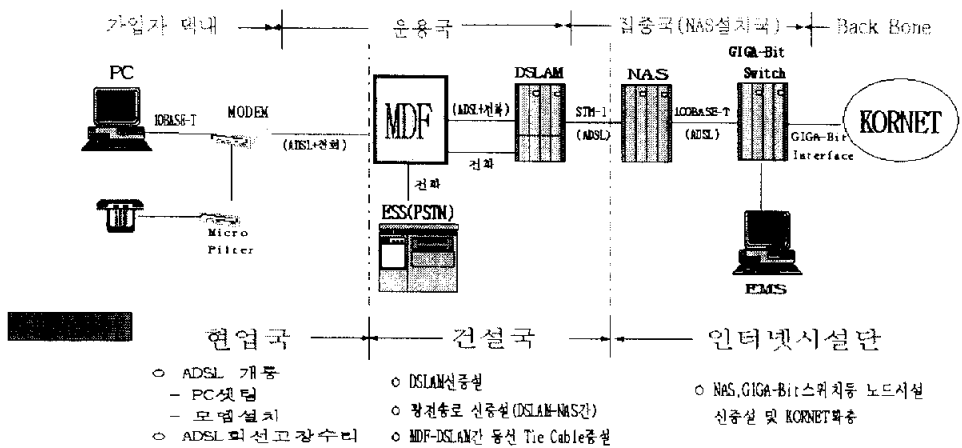


그림 2.7 동 ADSL의 구성

ADSL망 구성은 그림 2.7에 예시한 바와 같이 운용국에 해당하는 중앙서비스 부분과 가입자 댁내에 해당하는 가입자 서비스 부분 그리고

백본망에 연결되는 중앙 서비스 부분으로 크게 나눌수 있다.

중앙 서비스 부분은 ATU-C(ADSL Terminal Unit-Center)가 있으며 이 장비는 가입자 장비인 ATU-R(ADSL Terminal Unit-Remote)와 연결된 ADSL 서비스가 이뤄지는 실제 ADSL 서비스 장비이다. ATU-C 장비로는 DSLAM(DSL Access Multiplexer)이 대표적이며, DSLAM은 전화선상의 ADSL 데이터 서킷을 멀티플렉싱하여 전송하는 일종의 다중화 장비다. 하나의 DSLAM 장비는 집중국에 있는 NAS 장비와 STM-1급의 전송로로 연결되어 있다.

가입자택내에 해당하는 가입자 서비스 부분에는 ATU-R이 있으며 ATU-R은 ATU-C의 모뎀과 연결하기 위한 ADSL 모뎀을 내장한 가입자 장치이다. 보통 CPE(Customer Premise Equipment)로 불리며 이 CPE 장비는 보통 모뎀 기능 뿐만 아니라 라우터, 브릿지 등의 기능을 지원해 원격지 네트워크를 연결할 수 있게 해 준다. 끝으로 중앙 서비스 부분을 인터넷 백본망에 연결하는 부분이 있는데 백본 라우터와 DSLAM간의 유연하고 확장성 있는 연결을 제공하기 위한 NAS 장비가 설치되어 있다. NAS국에서는 DSLAM 망 제어와 가입자 설정 및 고정, 유동 IP 설정 등의 업무를 집중해서 수행한다.

나. 광 ADSL

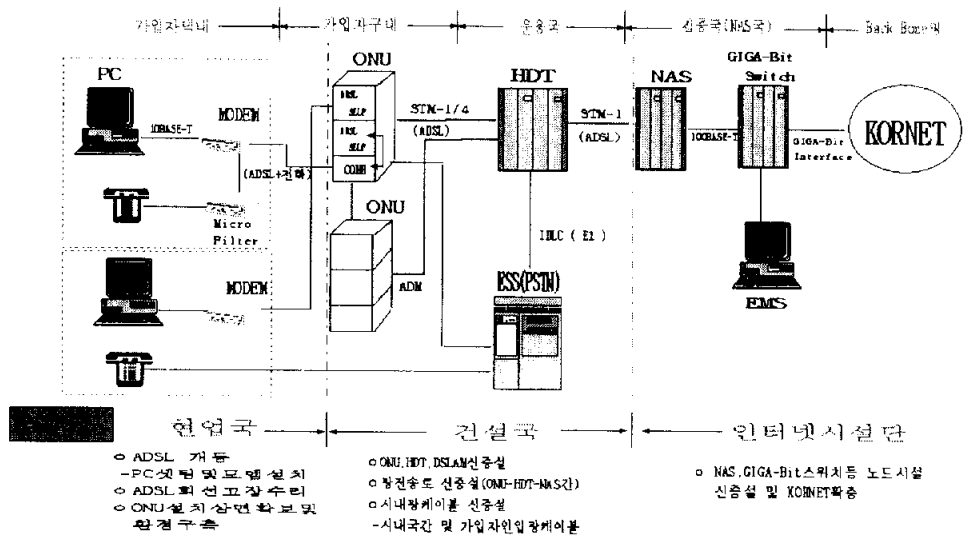


그림 2.8 광 ADSL의 구성

FLC-ADSL(광-ADSL)망 구성은 그림 2.8에서와 같이 전체적인 구성 방식에 있어서는 동 ADSL과 큰 차이점은 없다. 다만 동 ADSL의 중앙 서비스 부분인 ATU-C 역할을 하는 FLC-C 광단국 장치가 가입자 구내에 위치한다는 것이다. 물론 운용국에서는 동 선로 대신 광 선로를 통해 가입자 구내까지 연결된다. DSLAM이 가입자측 구내에서 운용국으로 광선로로 연결됨으로 거리가 멀어서 동 ADSL을 제공하지 못하는 대단위 아파트나 큰 건물에 서비스를 제공하는데 유리한 구성을 가진다.

가입자 서비스 부분은 동 ADSL과 마찬가지로 똑같은 ATU-R이 있으며 ATU-R은 ATU-C의 모뎀과 연결하기 위한 ADSL 모뎀을 내장한 가입자 장치다.

중앙 서비스 부분을 인터넷 백본망에 연결하는 부분도 동 ADSL과

마찬가지로 NAS 장비가 설치되어 인터넷 백본망과 FLC-C 광단국 장비와 직접 연결되어 있다.

3. ADSL 선로의 전송 성능 저해 요인

가장 효율적인 전송은 전송 속도를 최대로 하며, 동시에 오류 발생을 최소화하는 것이다. 환경 변수의 값들의 증가는 전원 소모, 장비의 복잡성 등을 발생시키게 된다. 고속 디지털 전송 서비스 제공을 위해서는 먼저 동선로에 존재하는 전송성능 저해 요인에 대한 이해가 선행되어야 한다. 기존의 음성급 전송을 위한 동선로 시설에 고속 디지털 전송기술을 적용할 때 전제할 수 있는 전송 성능 저해 요인은 그림 2.9과 같이 물리적 요인, 전기적 요인으로 구분할 수 있다.

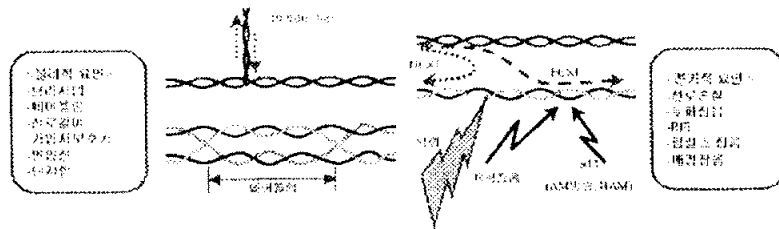


그림 2.9 ADSL 전송성능 저해요인

3.1 물리적 전송 성능 저해 요인

먼저 물리적인 전송 성능 저해 요인은 장하선륜>Loading coil), 브리지 탭, 페어 틀림(splite), 이중 심선 접속, 선로의 물리적인 길이, 가입자 보호기 불량, 인입선 불량, 케이블 침수에 따른 전송 성능 저하를 들 수 있다.

가. 장하 선륜(Loadin coil)과 브리지 탭(Bridge-Tap)

음성급으로 설계한 선로에서 고속 디지털 전송 시 가장 큰 장애를 발생시키는 것은 장하 선륜과 브리지 탭의 사용이다. 장하 선륜은 선로에 직렬로 인덕턴스를 추가하여 주파수4[kHz]이하의 신호를 먼 거리까지 전송 가능하도록 한 것인데, 국내에서는 거의 사용하지 않는다.

한편 국내에서는 가입자 케이블의 경제성과 활용성을 높이기 위한 방법으로 중복 배선법이 과거에 많이 사용되었는데 이로 인해 선로에 많은 브리지 탭이 존재하고 있다. 브리지 탭이란 선로의 중간지점에서 심선이 병렬로 분기되어 종단 처리되지 않은 것으로 배선의 설계 당시 향후 추가적으로 발생할 수 있는 서비스 요청이나 가입자 수의 변동에 유연하게 대처할 수 있도록 한 것이다. 이 방법은 기존 음성급 회선에서는 시설의 활용도 증가 측면에서 매우 유용하게 사용되어 왔으나 넓은 주파수 대역을 사용하여 신호를 전송할 때 브리지 탭이 반사손실을 야기하기 때문에 전송 성능을 저하시키는 요인이 된다. 브리지 탭에 의한 전송 성능 저하는 전송에 사용하는 신호의 주파수 대역과 브리지 탭 길이와 밀접한 관계를 가지며 서비스마다 영향을 받는 브리지 탭 길이가 다르다. 그림2.10은 브리지 탭의 길이 변화에 따른 선로 손실 변화를 나타낸다.

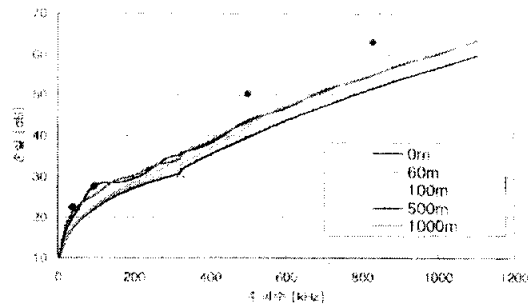


그림 2.10 브리지 탭 길이에 따른 선로의 손실 특성 변화

나. 페어 틀림(Split)

페어 틀림은 심선의 접속점에서 인접 회선과 심선바뀔이 발생하는 것을 말하며, 이때 심선이 바뀐 회선 간의 누화 간섭이 증가되어 전송 성능이 현저하게 저하된다. 이 현상은 기존 음성 전화 서비스에서도 고장 유형의 한가지이었으나 고속 디지털 전송에서는 서비스의 링크가 연결되지 않는 치명적인 장애를 일으키기 때문에 초기 회선 시험으로 페어 틀림 회선임이 확인되면 사용하지 않도록 해야 한다.

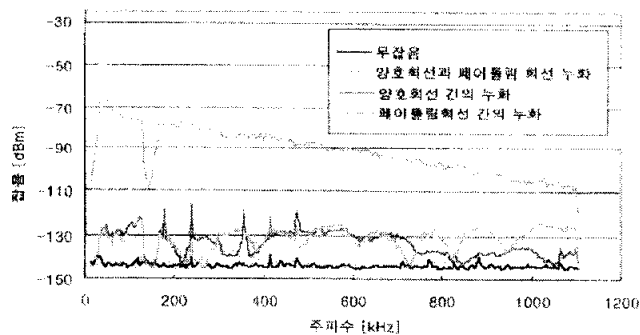


그림 2.11 페어 틀림에 의한 ADSL 누화 잡음

다. 선로 길이 및 이중 심선 접속

선로의 길이가 길어지면 전송 매체를 통한 신호 전력 감쇠로 신호대 잡음비(S/N)가 감소하여 전송 성능이 제한된다. 따라서 고속 전송을 위해서는 각 서비스마다 적절한 전송 거리의 제한이 이루어져야 한다. 그러나 실제의 가입자 선로는 주파수에 따른 삽입 손실 특성이 다른 여러 심선경들의 조합으로 구성되기 때문에 일률적인 선로거리 제한은 회선의 적합성 판단기준으로 적합하지 않을 수 있다. 따라서 회선의 적합성 판단 기준으로서 선로 길이 제한 대신 심선경에 따른 영향이 포함된 선로의 삽입 손실을 제한하는 방법으로 접근되어야 한다. 가입자 선로는 서로 다른 도체경을 갖는 심선들이 접속되어 전송로가 구성되는 사례가 빈번하다. 그러나 이중 심선 접속에 따른 반사 손실은 무시할 수 있을 만큼 작은 값이며 고속 디지털 전송에 거의 영향을 주지 않는다. 그림 2.12는 0.4mm 케이블 2km와 0.65mm 케이블 2km를 심선경이 서로 상이하게 접속되는 경우의 이중 심선 횡수와 선로 손실과의 관계를 나타낸 것으로 이중 심선 접속 횡수가 선로 손실에 크게 영향을 미치지 않고 있으며 이중심선 접속 횡수에 따른 ADSL 전송 속도 측정 변화 실험 결과 표 2.2와 같이 전송 속도가 거의 유사함을 알 수 있다.

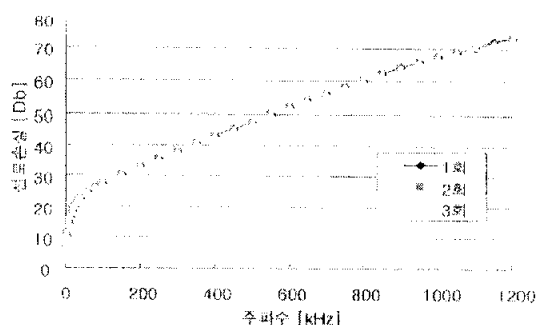


그림 2.12 이중 심선 접속 횡수와 선로 손실

표 2.2 이중 심선 접속 횟수에 따른 ADSL 전송 속도 변화

전송속도 접속회수	케이블 조합	하향속도 (kbps)	상향속도 (kbps)
1회	0.4mm,2km+0.65mm,2km	6240	896
2회	0.4mm,1km+0.65mm,2km +0.4mm,1km	6264	896
3회	0.4mm,1km+0.65mm,1km +0.4mm,1km+0.65mm,1km	6272	896

라. 기타

그 외에 전화국의 본 배선반(Main Distribution Frame)이나 가입자 구내 본 배선반에 설치하는 가입자 보호기에서 보호소자로 히트코일을 사용한 경우 접점의 산화 및 접속 불량으로 고주파에서 삽입 손실이 증가하고 이로 인해 전송 성능이 저하되는 경우가 있다. 또한 가공 케이블용으로 전주에 설치된 단자함의 뚜껑 닫힘 불량으로 이물질이 달라 붙고 부식이 발생하였거나, 외부진동에 의한 나사 풀림으로 전송 중 오류를 발생하는 경우가 존재한다. 마지막으로 단자함에서 가입자 덕내까지를 연결하는 인입선은 대부분 꼬임쌍선(Twist Pair)을 사용하지 않기 때문에 고주파에서 불안정한 전기적 특성을 보인다.

3.2 전기적 전송 성능 저해 요인

전기적인 전송 성능 저해 요인은 전송 신호의 신호대 잡음비를 결정하는 전송 매체를 통한 신호의 삽입 손실과 잡음 요인인 배경 잡음, 누화 잡음, 임펄스 잡음, 그리고 전자파 간섭 등이 있다.

가. 선로의 삽입 손실

전송매체를 통해 신호가 전송될 때 전송 성능을 제한하는 가장 큰 요소는 삽입 손실이다. 따라서 특정 서비스를 제공하고자 할 때 서비스를 수용할 회선의 삽입 손실을 점검하여 해당 회선이 만족할만한 성능을 제공할 수 있음을 확인한 다음 서비스를 수용하여야 한다.

현대 표준화 기관에서는 서비스에 따라 각 서비스를 안정적으로 수용할 수 있는 기준 주파수에서의 삽입손실 기준을 마련하기 위한 노력이 진행되고 있으며, 표 2.3와 표 2.4은 ADSL 서비스의 선로 손실 기준과 ADSL 서비스 등급별 선로 손실 기준을 나타내고 있다.

표 2.3 ADSL 서비스의 선로 손실 기준

300kHz 선로 손실 (Db)	0.4mm 동기 선로 거리 (km)	전송속도(kbps)	
		기준 (-130dBm/Hz)	양호한 선로 (-140dBm/Hz)
26	1.8	8000	8000
30	2.1	7400	7700
35	2.4	5900	6700
40	2.7	4600	5800
45	3.1	3500	4900
50	3.4	2500	4100
55	3.8	1700	3300
60	4.1	1100	2500
65	4.5	700	1700
70	4.8	400	1000

표 2.4 ADSL 서비스 등급별 선로 손실 기준

서비스 등급	하향속도	300kHz 선로손실 (dB)	등가길이 (km)		
			0.4mm	0.5mm	0.65mm
C1	8Mbps	26	1.8	2.7	3.3
C2	6Mbps	35	2.4	3.5	4.3
C3	4Mbps	43	3.0	4.3	5.2
C4	2Mbps	54	3.7	5.2	6.4
C5	1.5Mbps	57	3.9	5.6	6.8

나. 전자파 간섭(RFI : Radio Frequency Interference)

500[kHz] 이상의 주파수 영역이 신호의 전송대역에 포함되는 ADSL과 VDSL 서비스는 공중파 방송신호인 AM(Amplitude Modulation) 라디오 방송신호 및 아마추어 무선(HAM) 신호에 의한 잡음도 중용한 전송 성능 저해 요인으로 등장하고 있다. 특히 지하 매설 케이블보다는 가공 케이블에서 전자파 유도에 의한 전송 성능 저하가 더욱 심하다. 가입자 회선에서 나타날 수 있는 요인으로서는 낙뢰, 전력선, 전철시설, 방송 송신탑, 기타 인접된 전기장치에 의한 영향으로 구분할 수 있다.

잡음의 형태는 낙뢰와 같이 임펄스 형태로 나타날 수 있으나 AWGN(additive White Gaussian Noise)의 형태로 전 주파수 대역에 거의 상시로 나타나는 경향이 많다. 방송 송신탑에 의한 영향을 살펴보면 AM방송은 535~1605[kHz] 대역에 존재하는데 이는 ADSL주파수 대역과 거의 일치하여 가장 큰 장애 요소로 나타난다.

국내에서 사용되는 ADSL은 DMT(Discrete Modulation)방식을 사용하는데 이는 다중 반송파 변조(Multicarrier Modulation)의 일종이다.

이 방식의 특징은 선형 왜곡을 가진 채널, 즉 가입자 회선의 ADSL 전송 대역을 256개의 협대역 부채널로 나누어 각각의 부 채널에서 QAM을 동시에 수행한다. 신호대 잡음비가 큰 부 채널에서는 고밀도 QAM Constellation을 사용하여 많은 비트를 할당하고 SNR이 작은 채널에서는 적은 수의 비트를 할당하거나 전혀 할당하지 않는 특징을 가지고 있다. 따라서 선로 손실이나 외부 잡음에 적절하게 비트 할당을 하기 때문에 R-ADSL(Rate Adaptive ADSL)이라고도 한다. 이러한 특징은 외부로부터 잡음이 발생하는 경우 그 주파수에 해당하는 채널에서 비트를 할당하지 않으므로 전송 속도는 저하되지만 통신은 가능하다.

다. 배경 잡음(Background Noise)

배경 잡음은 디지털 전송장치의 평형 입력단에 나타나는 잡음으로 누화와 같은 선로의 내부적 요인과 낙뢰, 전력선, 전철시설, 방송 송신탑, 기타 인접된 전기장치에 의한 외부적 요인이 결합하여 나타나며, 이 배경잡음의 레벨은 전송장치의 설계에 있어 신호대 잡음비를 결정하는 중요한 요소이다. 이와 같이 가입자 선로의 ADSL은 넓은 주파수 대역을 전송하기 때문에 다양한 잡음원에 노출된다. 따라서 고속 디지털 전송 서비스를 제공하고자 하는 회선은 외부 잡음의 영향에 덜 민감하도록 하는 것이 중요하다.

외부 잡음에 강하게 하는 방법으로는 케이블의 완벽한 차폐와 접지를 통해 외부 전자파 잡음의 유도를 줄이는 방법과 대지에 대한 평형도가 양호한 화선을 사용하여 선간잡음으로 변환되는 양이 적도록 하는 즉 외부 잡음의 영향에 덜 민감하도록 하는 방법이 있다.

여기서 대지에 대한 평형도란 선대지 간에 존재하는 잡음이 회선을 구성하는 두 심선 도체와 대지간의 전기적 특성 차이로 선간 잡음으로 변환 될 때의 잡음 전압비(LCL : Longitudinal Conversion Loss)를 말한다. LCL이 큰 값일수록 배경잡음, 누화잡음, 전자파 간섭 등 주변 잡음에 대한 영향을 덜 받게 되어 양호한 잡음특성을 갖는다.

그림 2.13은 회선에 존재하는 잡음의 주파수별 분포를 나타내었다. 측정결과 회선에 존재하는 주파수별 잡음은 주파수에 상관없이 평균 -140dBm/Hz 정도였다.

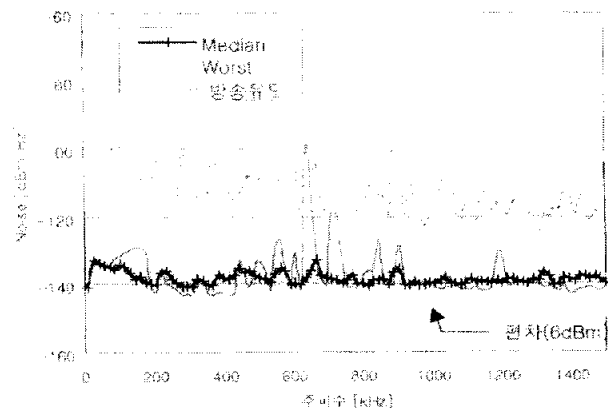


그림 2.13 잡음의 주파수별 분포

라. 누화

일반적으로 전송 선로는 많은 회선이 같은 케이블내에 존재하므로 하나의 회선에 전송되는 신호는 전자기적 결합에 의하여 다른 회선에 영향을 준다. 이러한 현상을 누화라 하며 전송 품질을 저해시키는 커다란 원인이 된다. 그림 2.14와 같이 한 회선이 다른 회선에 누화를 발생시키는 원인이 될 때 그 회선을 유도 회선, 누화를 받는 회선을 피유도회

선이라 한다. 또한 두 회선간의 직접 결합에 의한 누화를 직접 누화, 제3의 회선을 통한 누화를 간접 누화라 한다.

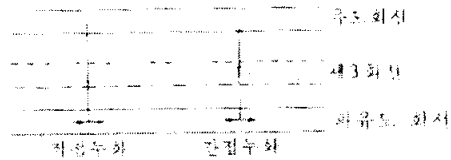


그림 2.14 누화의 경로

서로 다른 방향으로 신호를 전송하는 두 개의 회선 사이에서 유도회선의 송신단측 신호가 피유도회선의 수신단측에 유도되는 누화를 근단 누화(NEXT:Near End Crosstalk)라 하며, 같은 방향으로 신호를 전송하는 두 개의 회선 사이에서 유도회선의 송신단측 신호가 피유도회선의 수신단측에 유도되는 누화를 원단 누화(FEXT:Far End Crosstalk)라 한다.

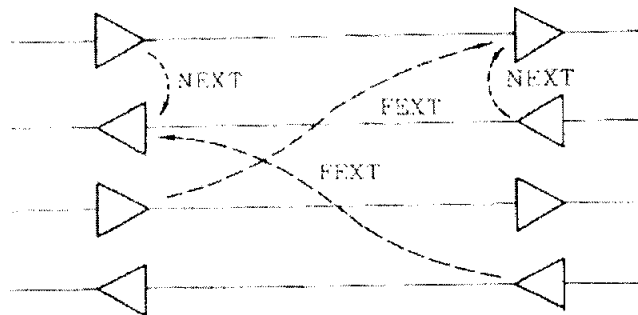


그림 2.15 누화의 종류

근단 누화의 경우에 송신신호 레벨이 수신신호 레벨에 비해 상당히 크므로 많은 양의 누화가 피유도회선에 나타나며, 따라서 일반적으로 원단누화 보다 더욱 심각한 양이 된다. 근단 누화의 감소량은 케이블 구조, 두 회선간의 근접도 등에 따라 좌우되며 대체로 50~85dB의 값을 갖는다. 중계기간의 선로 손실이 40dB라 가정할 경우 피유도 회선 수

신단에서의 신호대 잡음비는 10~45dB가 되며, 디지털 시스템에서 15dB 이하가 될 경우 에러가 발생할 확률이 급격히 증가한다. 예를 들어 단극성 펄스의 전송에서 가우시안 잡음(Gaussian noise)이 존재할 경우 신호대 잡음비에 대한 에러 발생확률은 그림 2.16과 같다.

원단누화 감쇠는 대체로 38~70dB가 되지만 원단 누화량은 신호와 마찬가지로 선로에 의해 감쇠되므로 (40dB 가정) 실제로 중계기 입력단에 나타나는 원단누화 감쇠량은 78~110dB가 된다. 따라서 디지털 시스템에서 근단 누화는 원단누화에 비해 더욱 큰 영향을 주며 이는 케이블내에 차폐막을 두어 송신회선과 수신회선을 전기적으로 분리시키거나, 서로 다른 케이블을 사용하여 물리적으로 분리시킴으로써 제거할 수 있다. 또한 근단 누화는 주파수 증가에 따라 옥타브당 4.5dB 증가하고, 원단누화는 6dB 가량 증가하므로 주파수가 증가함에 따라 누화량도 증가한다.

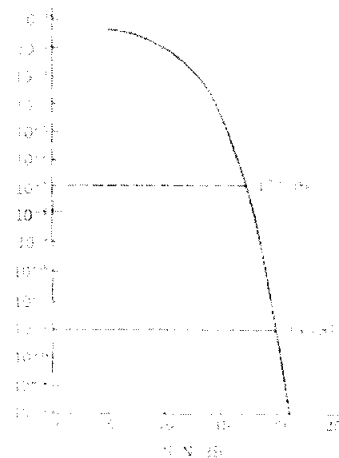


그림 2.16 에러발생 확률

III. 조건에 따른 실험 및 분석

1. 현장 실험 현황

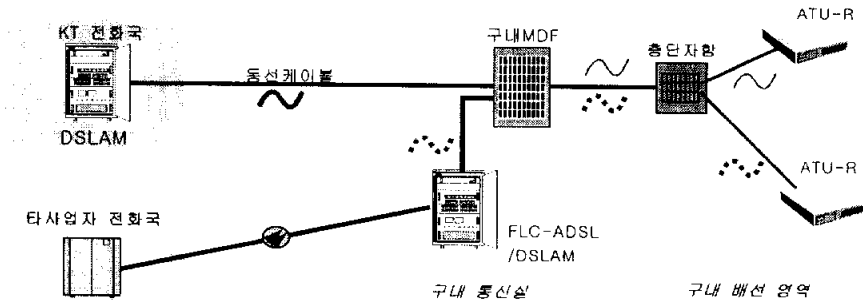


그림 3.1 통신사업자의 ADSL 서비스 망 구성도

동선로를 이용하여 고속 데이터 서비스를 제공하는 ADSL 서비스의 경우 케이블 거리에 따라 신호 전력이 감쇠되어 단말에서는 매우 작은 신호가 도달한다. 타 사업자의 경우 구내 통신실까지 광선로를 이용하고 있어 가입자 단말에 도달하는 신호 전력은 한국통신 회선의 신호전력보다 상대적으로 크게 나타난다. 따라서 아파트와 같이 구내 통신실부터 댁내까지는 동일한 구내 케이블을 사용하기 때문에 타 사업자의 큰 신호 전력으로 인해 한국통신 가입자측에서 원단 누화 간섭이 발생하며 이러한 원단누화 간섭 현상으로 인해 가입자의 고속 데이터 서비스 전송 성능이 심각하게 저하된다.

가. 문제점

동일케이블 내에서 전송되는 신호는 케이블을 구성하는 심선 간의 전자기적 유도 결합에 의해 타 회선에 누화(Crosstalk) 발생한다.

누화의 종류의 종류는 다음과 같다.

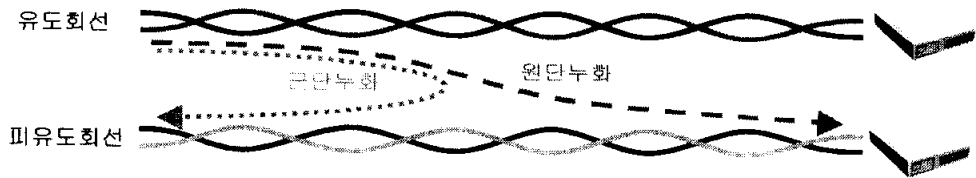


그림 3.2 누화의 종류

1) 근단 누화(NEXT)

유도회선에서 송신된 신호전력이 송신점에서 피유도 회선에 수신되는 누화이며 상하향 신호가 동일한 주파수대역을 사용하는 경우 근단 누화가 서비스에 영향을 끼친다

국내에서 사용되는 FDM 방식의 ADSL(상하향 신호의 주파수를 분리하여 전송) 신호에서는 거의 문제되지 않고 있다.

그림 3.3은 근단 누화 간섭의 예로 송수신 위치가 동일한 경우를 나타낸다.

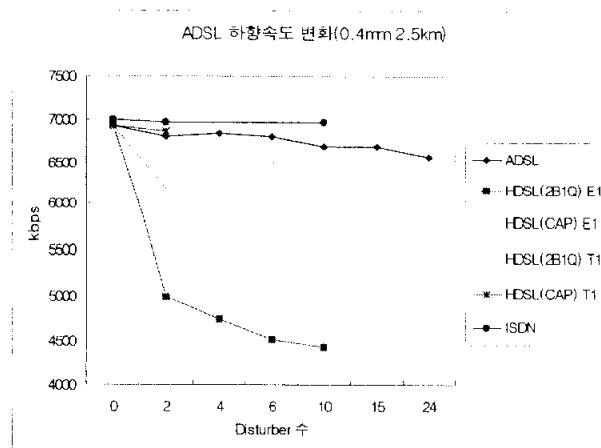


그림 3.3 근단 누화에 의한 서비스별 전송성능 변화(HDSL & ADSL)

2) 원단 누화(FEXT)

유도회선에서 송신된 신호가 송신점에서 떨어져있는 피유도 회선에 수신점에 전달되는 누화로서 전송거리가 긴 경우(1km 이상) 누화 신호 전력이 감쇠되어 거의 문제되지 않고 있으며 전송거리가 짧고, 피유도 회선 신호전력에 비해 유도회선의 신호전력이 상대적으로 높은 경우 누화간섭이 크게 발생한다. 그림 3.4은 광 ADSL에 의한 동 ADSL 누화 간섭의 원리를 나타낸다.

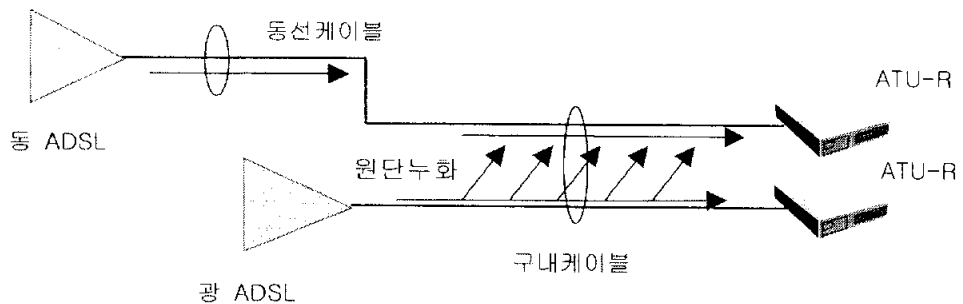


그림 3.4 광 ADSL에 의한 동 ADSL의 원단 누화 간섭 원리

3. 실험 결과

가. ADSL 전송 성능 분석

그림 3.6는 광 ADSL 원단 누화 유무에 따른 동 ADSL의 하향 전송 속도를 나타낸다.

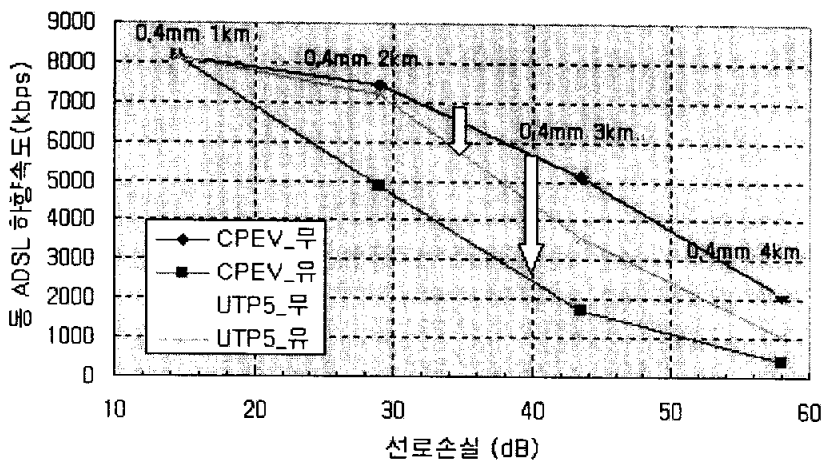


그림 3.6 광 ADSL 원단 누화에 의한 동 ADSL의 하향 전송 속도

표 3.1 광 ADSL 원단 누화에 의한 동 ADSL의 하향 전송 속도

구내케이블 구성 시내케이블길이	300kHz 선로손실 (dB)	CPEV 0.5mm, 300m			UTP Cat5 0.5mm, 300m		
		ADSL 속도(kbps)		속도저하율	ADSL 속도(kbps)		속도저하율
		잡음 무	잡음 유		잡음 무	잡음 유	
1km	18	8128	8128	0%	8128	8128	0%
2km	32	7456	4896	34%	7744	7200	7%
3km	47	5120	1728	66%	5568	3552	36%
4km	61	2112	384	82%	2336	1056	55%

표 3.1에서 보는 바와 같이 1km에서는 원단 누화의 잡음에 상관없이 같은 속도를 유지하고, 2km에서는 원단 누화의 잡음이 없을 경우에 비해 잡음이 있을 경우 약 34%의 속도 저하율을 보이고 있다. 3km,

4km에서는 그 비율이 더 커서 66%, 82%의 속도 저하율을 보이고 있다. 또한 시내 케이블 길이가 길어짐에 따라 동 ADSL 서비스의 전송 속도가 심각하게 저하됨을 알 수 있다.

그러나 고속 데이터 전송에 적합하도록 설계된 UTP cat5 케이블을 사용할 경우 CPEV 케이블보다 2km, 3km, 4km에서 잡음 유무에 따른 속도 저하율이 30% 개선됨을 볼 수 있다.

그림 3.3은 광 ADSL 원단 누화 잡음 유무에 따른 동 ADSL의 상향 전송 속도를 나타낸다.

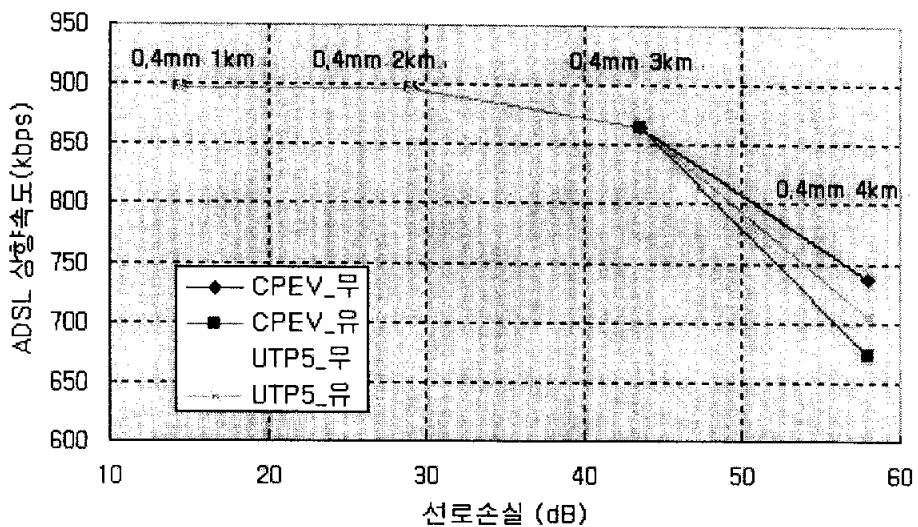


그림 3.7 광 ADSL 원단 잡음에 의한 동 ADSL 전송 속도(상향)

표 3.2 광 ADSL 원단잡음에 의한 동 ADSL의 상향 전송 속도

구내케이블 구성 시내케이블길이	CPEV 0.5mm, 300m			UTP Cat5 0.5mm, 300m		
	ADSL 속도 (kbps)		속도저하율	ADSL 속도 (kbps)		속도저하율
	잡음 무	잡음 유		잡음 무	잡음 유	
1km	896	896	0%	896	896	0%
2km	896	896	0%	896	896	0%
3km	864	864	0%	896	864	3.6%
4km	736	672	8.7%	768	704	8.3%

표 3.2 에서는 광 ADSL 원단 누화는 동 ADSL 상향 전송 성능에 거의 영향을 주지 않고 있음을 나타내고 있다.

나. 신호 전력 PSD 분석

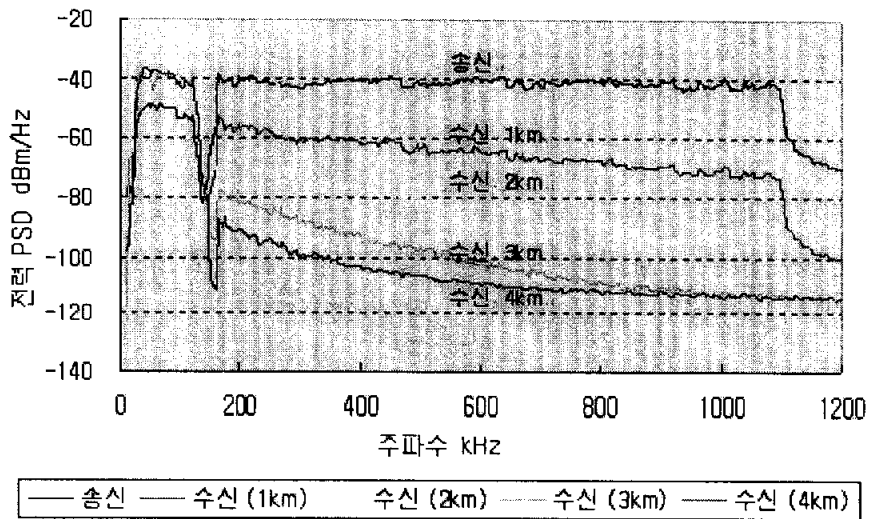


그림 3.8 동 ADSL 전송 장치의 송수신 PSD

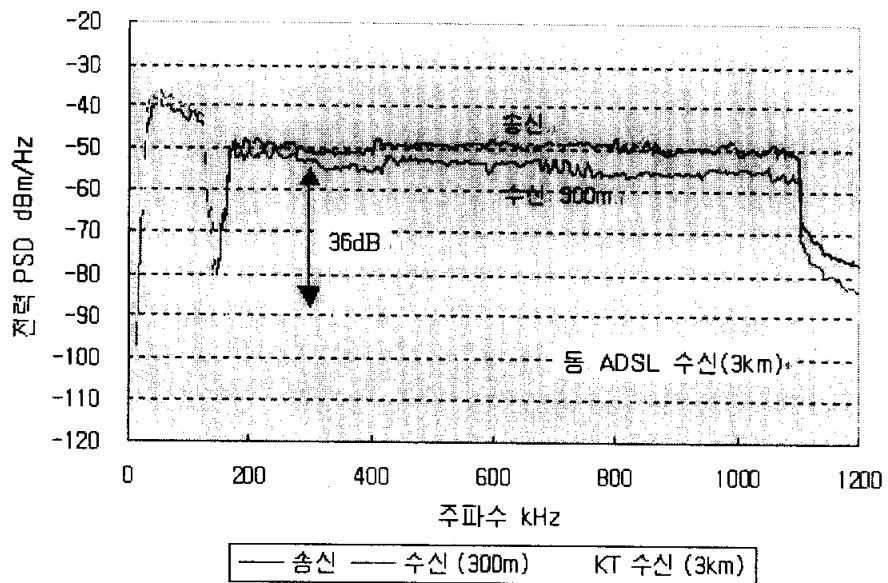


그림 3.9 광 ADSL 전송 장치의 송수신 PSD

그림 3.8 와 그림 3.9의 실험결과 에서 나타나듯이 동일한 수신점에
서 광 ADSL의 수신 전력 세기가 동 ADSL에 비해 훨씬 높음을 알 수
있다.

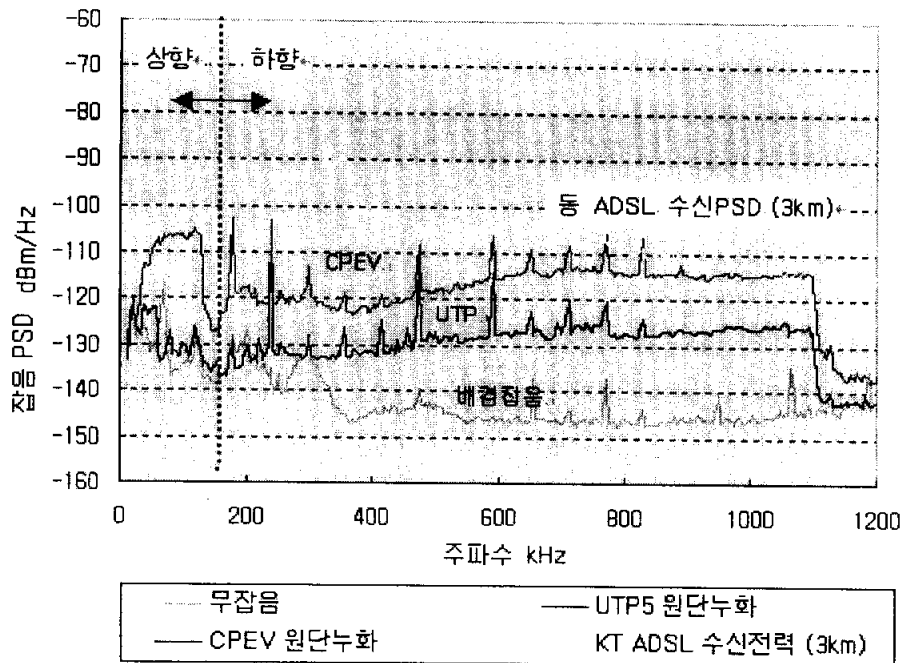


그림 3.10 광 ADSL 에 의한 원단 누화 잡음 전력 PSD

그림 3.10 에서는 전송 대역별 신호 대 잡음비가 하향 전송에서 심각하게 저하됨을 알수 있다 따라서 하향 전송에 심각한 전송 장애를 일으키며 상향 전송에는 거의 영향을 주지 않고 있음을 알 수 있고 CPEV 케이블의 누화 잡음 전력이 UTP Cat5 케이블 보다 8dB~10dB 가량 높게 나타난다.

다. 케이블 특성

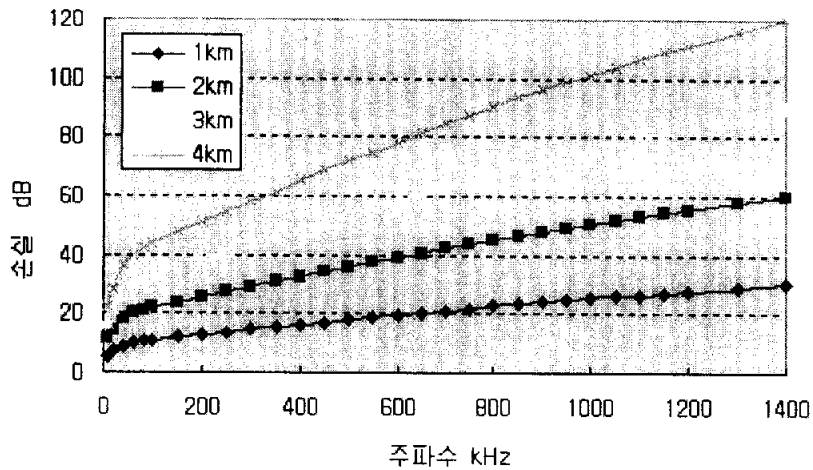


그림 3.11 선로 길이에 따른 시내 케이블 손실

그림 3.11은 선로 길이가 길어짐에 따라 시내 케이블 (0.4mm F/S) 손실이 증가함을 알 수 있다.

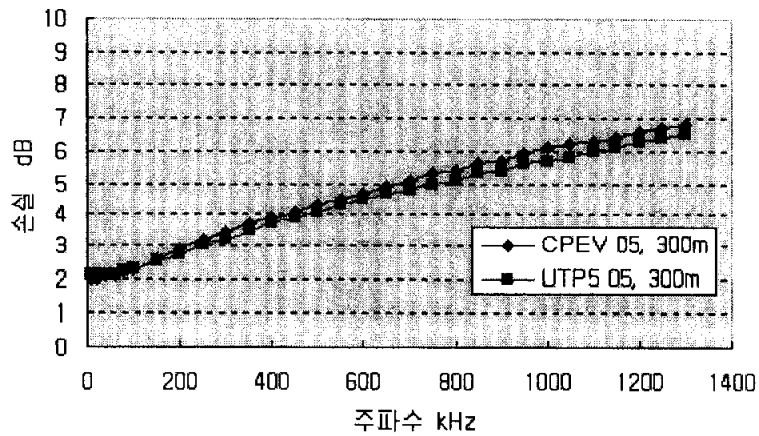


그림 3.12 구내 케이블 손실 특성

그림 3.12 케이블 특성 시험에서 나타나듯이 CPEV, UTP 케이블 중

류에 따른 구내 케이블 손실 특성 차이가 거의 없음을 알 수 있다

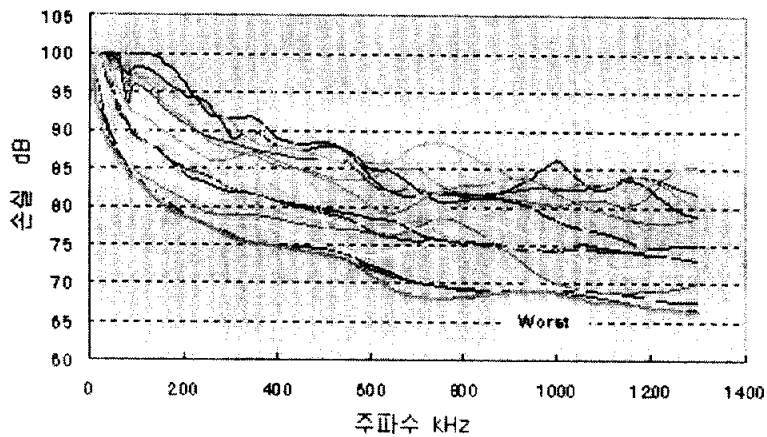


그림 3.13 CPEV 케이블의 원단 누화 특성(0.5mm, 300m)

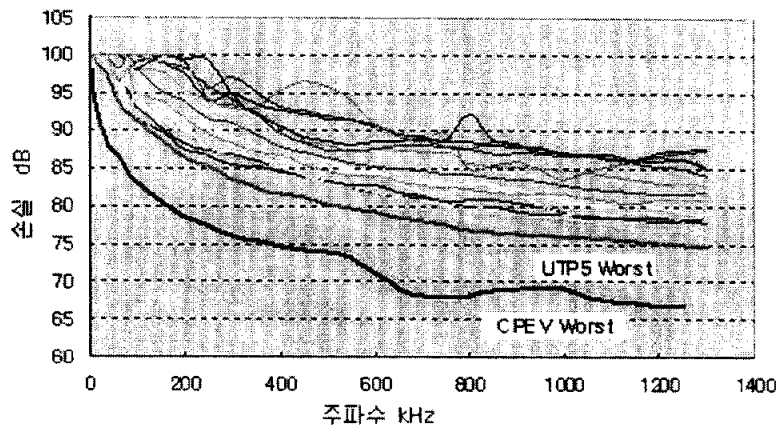


그림 3.14 UTP Cat5 케이블의 원단 누화 특성(0.5mm, 300m)

그림 3.13 과 그림 3.14의 실험 결과치로 CPEV 케이블 특성이 UTP Cat5 케이블 특성에 비해 원단 누화의 측정 주파수 영역에서 8dB~10dB 불량한 것으로 나타난다.

IV. 현장 사례 결과 및 고찰

1. 광 ADSL 원단 누화 잡음에 의한 동 ADSL 속도 저하 사례

앞에서 살펴본 실험 결과치 등을 바탕으로 현장에서 직접 광 ADSL 원단 누화 잡음에 의한 동 ADSL 속도저하를 2가지 사례를 들어 측정하여 보았다.

가. 사례 1

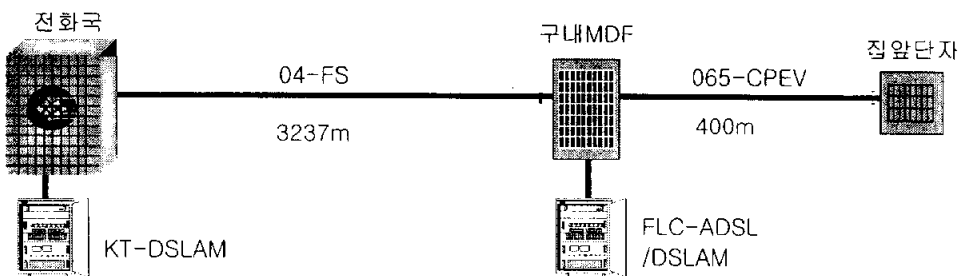


그림 4.1 현장 선로구성도(사례1)

표 4.1 측정 위치별 전송속도 (사례1)

측정 위치			구내 MDF	집앞단자
측정 항목				
전송속도 (Kbps)	Down	실측	3808	960
		예측	3300	2500
	up	실측	736	704
		예측	892	954
루프저항 (ohm)		실측	900	962
		예측	51.7	55.5
300kHz 손실 (dB)		실측	50.1	55.4
		예측		
가입자측 잡음 (dBm) (20kHz~1.1MHz)		실측	-71.4	-56.8

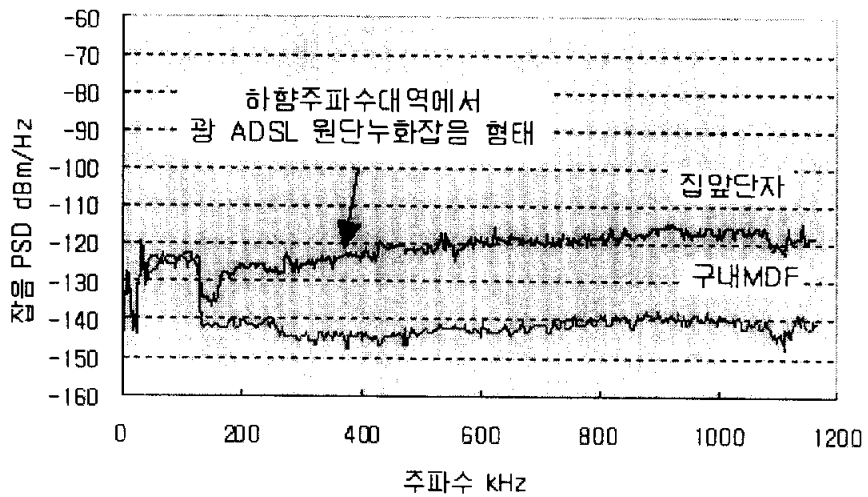


그림 4.2 현장 선로 잡음 분포(사례1)

사례1에서 측정 위치별 전송 속도 차이를 살펴 볼 때 구내 MDF에서 측정한 속도에 비해 집앞 단자에서 속도가 크게 저하되므로 구내 배선 영역에 불량요소 존재하고 있음을 알 수 있고 또 한 현장의 잡음 전력 분포를 고려할 때 동일한 구내 MDF에 수용된 타사업자 ADSL 서비스 원단 누화 영향에 의한 것으로 판단할 수 있다.

나. 사례 2

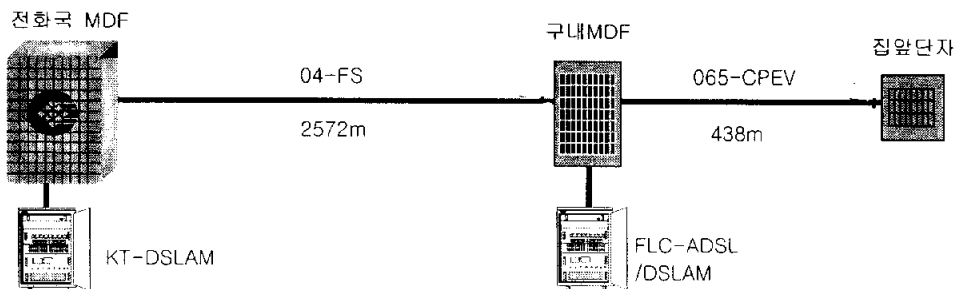


그림 4.3 현장 선로 구성도 (사례2)

표 4.2 측정위치별 전송속도(사례2)

측정 항목	측정 위치		구내 MDF	집앞단자
	Down	실측		
전송속도 (Kbps)		예측	5824	1696
	up	실측	5300	4100
루프저항 (ohm)		예측	896	864
		실측	715	781
300kHz 손실 (dB)		예측	715	781
		실측	39.9	43.2
가입자측 잡음 (dBm) (20kHz~1.1MHz)		예측	39.9	45.5
		실측	-75.7	-51.2

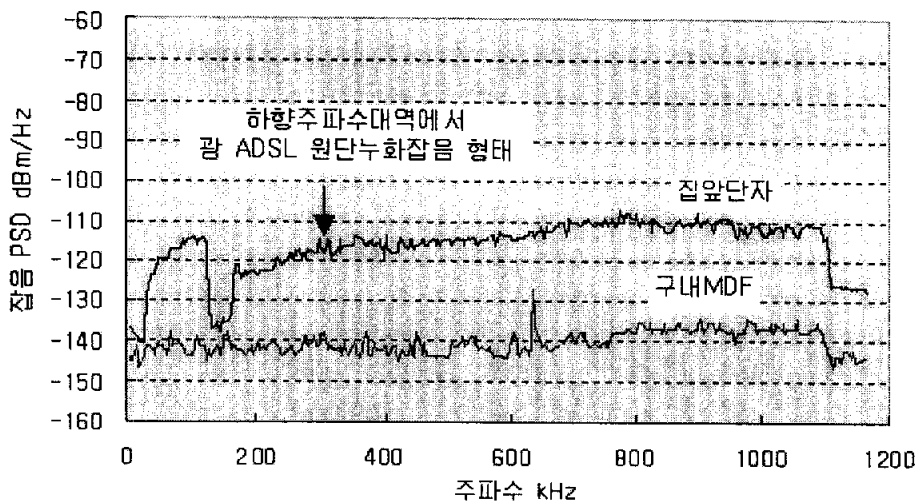


그림 4.4 현장 선로 잡음 분포 (사례2)

사례2는 사례1과 동일하게 현장의 잡음전력 분포를 고려할 때 동일한 구내 MDF에 수용된 타사업자 ADSL 서비스에 의한 원단 누화 영향으로 ADSL 전송속도가 저하됨을 알 수 있다.

2. 다양한 원단누화 발생원

ITU-T의 광ADSL 송신PSD를 기준으로 하여 다양한 원단 누화 발생 원인을 타사와 비교하여 살펴보았다.

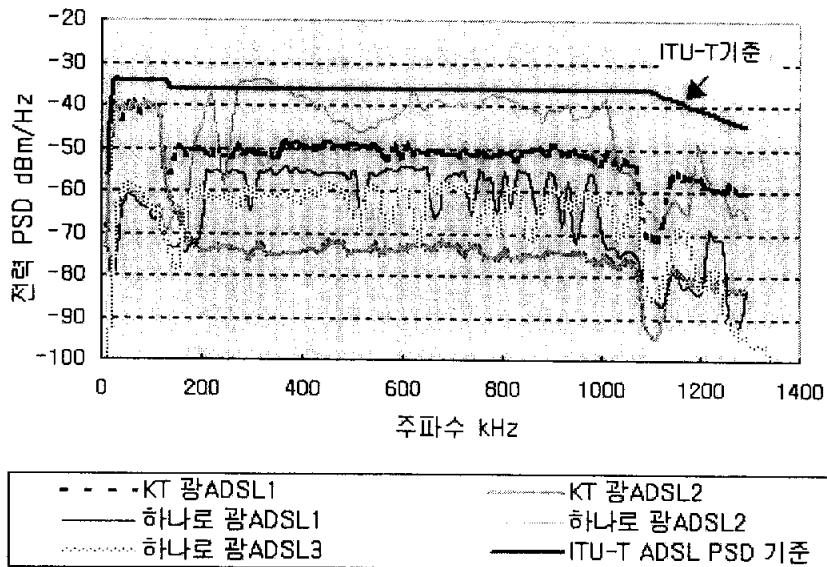


그림 4.5 현장의 원단 누화 발생원-(측정 위치 : 구내MDF)

그림 4.5에서 동일한 기종의 전송 장치로부터 송출되는 전력 레벨이 회선마다 서로 다르게 분포함 ($-40\text{dBm/Hz} \sim -73\text{dBm/Hz}$)을 알 수 있고 이것은 장치의 소비전력을 줄이기 위해 전송 장치가 구내배선 환경에 따라 다른 신호 전력을 송출하기 때문인 것으로 분석된다.

또한 신호 송출 전력의 높을수록 심한 간섭을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

3. 고찰

ADSL 전송 성능 분석에 의하면 0.5M/M CPEV 케이블로 구내선로 구성시 대표적인 선로인 0.4M/M F/S 케이블 1km에서는 광 ADSL 원단 누화의 잡음에 상관없이 같은 속도를 유지하고 2km에서는 원단 누화 잡음이 있을 경우 약 34%의 속도 저하율을 3km, 4km에서의 하향 속도 저하율이 60%~82% 까지 보이고 있어 시내 케이블 길이가 길어질수록 광 ADSL의 원단 누화 잡음에 의한 동 ADSL의 전송 속도가 저하됨을 알 수 있다.

그러나 상향 전송 성능에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났고 전송 대역별 신호대 잡음비 또한 하향 전송에 심각한 전송장애를 일으키고 있음을 알 수 있다.

또한 앞에서 살펴본 실험 결과를 바탕으로 현장에서 직접 측정하여 본 결과 표에서 보는바와 같이 하향 속도에서 예상 결과치와 실제 결과치는 75%와 71%, 상향속도에서 5%와 4%의 속도 저하율을 나타낸다.

표 4.1 측정위치별 전송속도(사례1)

측정항목 \ 측정위치		구내 MDF	집앞단자	속도저하율
300kHz 손실(dB)		50.1	55.4	
전송속도 (kbps)	하향	3800	2549	75%
	상향	736	704	5%

표 4.2 측정위치별 전송속도(사례2)

측정위치 측정항목		구내 MDF	집앞단자 (②)	속도저하율
300kHz 손실(dB)		39.9	43.2	
전송속도 (kbps)	하향			
	상향	896	864	4%

위의 결과치로보아 구내 MDF에 비해 집앞 단자에서의 속도가 크게 저하되므로 구내 배선 영역에 불량요소가 존재함을 알 수 있고 현장의 잡음 전력등을 고려할 때 동일한 구내 MDF에서 수용된 타사 ADSL 서비스에 의한 원단누화 영향으로 ADSL 저하됨을 알 수 있다.

위와 같은 분석 결과를 바탕으로 다음과 같은 대응 방안을 제시한다.

첫째, 광가입자망 구축과 관련하여 타 사업자와의 핵심 경쟁지역에 우선적으로 배치하여야 하며 광 전송장치 또는 Remote DSLAM을 구축하여야 한다.

둘째, 구내 케이블을 UTP Category 5 이상의 케이블로 대체하므로 약 30%의 속도 개선 효과가 있다.

셋째, 속도 등급 분류를 통한 다음과 같은 차별적 서비스를 제공한다.

- ① 0.4mm, 1.5km 이하 : ADSL 프리미엄 제공 가능
- ② 0.4mm, 3km 이하 : ADSL 라이트 제공 가능
- ③ 0.4mm, 3km 초과 : 품질저하로 서비스 불가

구분	ADSL Premium 급 (6.4Mbps 이상)	ADSL Lite 급 (6.4M ~ 1.2Mbps)
300kHz 손실	≤22dB	≤44dB
0.4mm 등가길이	≤1.5km	≤3km

그 외에, 광 전송장치의 송신 전력 조정을 생각해 볼 수 있으나, 전송거리가 짧은 경우 자동으로 레벨을 낮추어 송신하므로 효과를 기대할 수 없으며, 임의로 낮추고자 할 경우 타사업자와의 협조 필요하다. 또한 타사업자와 구내 배선 경로 분리를 고려해 볼 수 있으나 아파트나 빌딩의 경우 고정배선 되어 있으므로 인위적인 변경 곤란하고, 심선번호 이격 또 한가지의 방법이나 고정 배선되어 있고 심선간의 누화특성이 균일하지 않으므로 효과가 없을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

최근 인터넷 서비스의 급속한 성장으로 동선 케이블내 고속 데이터 회선 수용이 급증하고 있으나 회선 상호간 간섭, 누화 등으로 ADSL의 품질 저하가 발생되고 있어 ADSL 시험기인 ATU-R을 이용하여 성능 시험후 분석하여 보았다.

실험에 의하여 광 ADSL 원단 누화에 의한 동 ADSL의 전송 속도는 시내 케이블 길이가 길어짐에 따라 동 ADSL 서비스의 전송속도가 예측치보다 약 50%정도 더 저하됨을 알 수 있다. 그리고, ADSL 전송 장치의 송수신 전력 PSD를 비교한 결과 동일한 수신점에서 광 ADSL의 수신 전력세기가 동 ADSL에 비해 36dB 높으며, 동 ADSL의 하향 전송에 장애를 일으킴을 알 수 있다.

또한, 현장 사례를 통해 동일한 구내 MDF에 수용된 타 사업자 ADSL 서비스에 의한 원단 누화 영향으로 ADSL 전송 속도가 저하됨을 볼 수 있다.

위 분석을 통해 근거리에서는 케이블의 특성 및 종류에 관계없이 타 회선의 영향을 덜 받으나 원거리에서는 타회선의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 우리나라 가입자 선로 환경은 대부분 FS 케이블로 상당히 양호한 편이나 구내 선로는 대부분 CPEV 평형케이블로 구성되어 있어서 초고속 인터넷 시대에 인입 선로와 구내 선로가 상당히 취약한 편이다.

그러므로 ADSL의 전송 성능을 극대화하기 위해서는 기존의 구내선로를 현재의 환경조건에 적합하도록 개선, 활용하고 점차적으로 특성이 우수한 광 ADSL등으로 대체하여 나가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김영식, “ADSL 서비스를 위한 동선로의 전송품질 연구”, 부경대학교 산업대학원 학위논문, 2001
- [2] Jhon W.C, "The Noise and Crosstalk Environment for ADSL and VDSL Systems", BT Vab IEEE Communication Magazine, May 1999
- [3] 이용구, “케이블 거리별 ADSL 전송속도”, 한국통신, 2000
- [4] 오호석, 오준석, 정경희, “광ADSL 시스템 누화에 의한 동 ADSL의 성능분석”, 한국통신, 2001
- [5] 정유찬, “초고속통신망 가입자선로의 상호간섭에 관한 연구”, 경상대학교 산업대학원 학위논문, 2001
- [6] 박인정, “유무선 멀티미디어통신망”, 진한도서, 2002
- [7] 강민호, 강철희, 이영규, “전기통신 기술 개론”, 청문각, 1998
- [8] 오준석, “ADSL 선로 측정사례 및 ADSL 서비스를 위한 권고 모델”, 한국통신, 2001
- [9] 조훈, “ADSL 기술 정리”, 한국통신, 2000
- [10] “ADSL 동선로 품질기준”, 한국통신, 2001

감사의 글

엣그제 시작인 듯 했는데 어느덧 결실을 맺게 되었습니다.

알차고 바쁘게 보낸 2년 동안의 노력과 시간이 좋은 결실을 맺게 되어 기쁘고 이렇게 뜻깊은 결실을 맺게 해주신 여러 고마우신 분들께 미흡하나마 지면으로 머 리속여 감사의 마음을 전하고저 합니다.

본 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 가르침을 주신 정신일 지도 교수님께 먼저 진심으로 감사드립니다.

또한 대학원 2년 과정동안 많은 배움을 주신 정보통신공학과 하덕호 교수님, 김석 태 교수님, 윤종락 교수님, 장주석 교수님께 감사의 말씀을 올립니다.

그리고 논문을 준비하는 동안 많은 도움을 주셨던 연구실 가족들께 감사드리고 늘 저에게 많은 힘이 되어 주셨던 KT 부산진지점 오연호 지점장님, 김의석 과장님, 민궁식 실장님, 주판룡 팀장님께 감사드립니다.

대학원 과정을 무사히 마칠수 있도록 많은 격려와 편의를 봐주신 선로기술과 직원 여러분들과 케이블 응용실 동료 여러분께 진심으로 감사드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 묵묵히 마음속으로 뒷바라지 해준 아내 차경미 사랑하는 아들 민혁, 태양이 그리고 힘들고 어려울 때 포기하지 않도록 도움과 격려를 주신 주위에 모든 분들께 감사드립니다.

2002년 12월

이 수 천