

ADSL서비스의 가입자 선로특성에 따른 성능분석

정희원 김 상 국*, 이 경 근**

Performance Analysis of ADSL Services for Access Line Characteristics

Sang-Kook Kim*, Kyung-Geun Lee** *Regular Members*

요 약

ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)은 최근 정보화 시대 변화의 기반이 된 국내 초고속인터넷 서비스를 성장시킨 고속 전송 기술이라 할 수 있다. ADSL을 제공하는 망 구조는 매체가 광(光)인 백본망과 동선기반의 가입자선로가 혼합된 방식인 FTTC(Fiber To The Curb)로, 현재의 가입자 배선을 최대로 활용한 기술이라 할 수 있다. FTTC 구조에서 서비스 품질에 영향을 미치는 주요 원인은 동선에 기반을 둔 가입자 선로라 할 수 있다. 본 논문에서는 ADSL 서비스를 전개하는데 있어 가입자 선로의 여러가지 특성이 ADSL 서비스에 미치는 영향을 살펴보고 효과적인 인터넷 서비스를 만족하기 위한 선로 특성과 성능과의 관계를 분석한다.

ABSTRACT

One of the technologies which accelerate data transmission rate on the Internet is ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), which enables the fast growth of the information age by providing infrastructures for the high speed Internet access. The network architecture of the ADSL service is the FTTC(Fiber To The Curb) which consists of fiber networks and copper based subscriber lines. The ADSL is a technology that utilizes the existing subscriber line efficiently. In the FTTC architecture, the major factors that degrade the quality of the ADSL service are the copper wires in the subscriber loops. This paper examines the characteristics of the subscriber lines that affect the high speed Internet access in deploying the ADSL services and also analyzes the mutual relationships between each line characteristic and its performance.

1. 서 론

ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)은 음성 서비스의 주된 매체로 활용되고 있는 동선(copper line) 기반의 가입자 선로를 통하여 고속의 디지털 데이터를 전송하는 방식으로 1990년대 말부터 동축 케이블 기반의 CATV 초고속인터넷서비스와 함께 국내의 초고속인터넷서비스의 한 축을 이루고 있다. 일반적으로 ADSL기술은 FTTC(Fiber To The Curb)라는 광가입자망과 병행하여 고속의 데이터 서비스를 제공하기 때문에 망 구조방식은

ADSL 기반의 광가입자망(FTTC)으로 분류된다. FTTC를 살펴보면, 인구밀집 지역의 경계면까지는 광으로 포설하고 가입자단은 기 포설된 동선을 이용하는 방법으로^[1], 전기적 특성이 서로 다른 두 가지의 매체가 하나의 서비스를 위해 공존하는 복합 형태라 할 수 있다. 복합 형태의 매체 가운데 광섬유(Fiber)는 서비스 품질 측면에서만은 의심할 여지가 없을 정도의 우수한 특성을 가지고 있는 반면, 동선(Copper line)은 저주파의 음성서비스를 위하여 설계되었기 때문에 ADSL을 이용한 서비스의 품질은 전체 망 구조 중에서 마지막 구간>Last

* 하나로통신(주) (mainjia@hanaro.com)

논문번호 : 020039-0124, 접수일자 : 2002년 1월 24일

** 본 연구는 하나로통신-세종대 정보통신대학원 석사학위과정 연계과제의 지원으로 수행되었습니다.

** 세종대학교 정보통신공학과 (kglee@sejong.ac.kr)

mile)인 동선에 의해 좌우된다는 것은 쉽게 예측이 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 ADSL 서비스를 전개하는데 있어 가입자 선로가 ADSL 서비스에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 국내 서비스에 적용되는 구체적인 내용을 살펴보기에 앞서 가입자 선로와 ADSL과의 관계를 연구한 국내의 자료를 통하여 성능에 미치는 영향 요소가 무엇인지를 검토해 본다.

1998년 2월부터 12월까지 동경 및 오사카 지역 일대에서 일본의 NTT와 12개 ISP 사업자가 공동으로 실시한 현장시험 결과에 따르면 가입자 선로의 길이가 동일하다 할지라도 ADSL의 하향속도(Down stream bit rates)가 다르게 나타나는 것은 케이블의 종류, 바인더 그룹(binder group) 구조를 갖는 케이블 내의 다른 서비스(ISDN 등)로 인한 상호 작용 및 브리지 탭 등과 같은 요소에 의해 영향을 받을 수 있다는 결론을 내리고 있다²¹. 한편, 한국통신의 조사자료에 의하면 동일 케이블일지라도 동선의 심선별로 절연저항, 루프저항, 손실, 잡음값 등이 차이가 나기 때문에, 그 값이 기준에 미치지 못하거나 타회선에 비해 크게 떨어지는 불량회선일 경우 동선로의 대개체를 진행하여야 하는데 대개체의 목적이 ADSL 서비스 제공을 위한 것이라면 음성과는 달리 ADSL의 특성을 감안한 설계기준, 즉 10.9dB/km의 직경 0.5mm 시내케이블, 300kHz의 조건이 적용되어야 한다는 의견을 제시하고 있다¹³. 이상의 연구결과로 볼 때, 가입자 선로와 ADSL과의 관계는 여러 면에서 기존 음성서비스와의 관계와는 다르다는 것을 예측할 수 있다.

다음은 보다 구체적으로 가입자 선로가 ADSL 서비스에 영향을 미치는 경우, 주로 어떤 요소가 영향을 미치는 지를 살펴본다.

일본 NTT가 1996년 12월부터 1997년 6월까지 실시한 ISDN과 ADSL 성능과의 관계를 조사한 결과에 따르면 동일한 바인더 그룹(binder group) 케이블 내에서 ADSL과 ISDN이 혼재되어 있을 때의 ADSL의 하향속도는 ADSL로만 구성되어 있을 때의 성능 보다 약 50%로 감소되는데, 이의 주된 원인은 ISDN과 ADSL간의 누화현상(crosstalk)이라고 한다. 이는 320kHz까지 사용하는 ISDN의 신호 대역과 ISDN의 고조파(harmonics) 성분이 약 1MHz까지 사용하는 ADSL의 주파수 대역과 겹치기 때문이라고 분석하고 있는데²¹, 이외에도 유사한 결론을 도출한 BT(British Telecom)의 경우, 자사의 가입자망에서 ADSL 성능에 영향을 미치는 주된

요인으로 누화 현상을 지적하고 있다⁴¹.

Walter Goralski는 동선의 영향을 구조적인 문제와 전기적(electrical)인 문제로 분류하고 있는데, 구조적인 부분에서는 선로의 길이를 연장하기 위하여 사용하였던 방법인 장하코일(load coil)과 굽기가 다른 심선의 혼용 및 선로의 사용을 극대화 하고자 하였던 브리지 탭(bridge tap)의 사용을 지적한다⁵¹. 이의 사용은 음성서비스에서는 장점이었으나 상향 주파수가 1.1MHz까지인 고주파 대역을 사용하는 ADSL에 있어서는 치명적인 영향을 미치기 때문이다. 그러나, 국내의 경우에는 이러한 구조적인 문제는 대부분 해소되어 ADSL 서비스와 같이 음성에 비해 상대적으로 높은 주파수를 사용하는 서비스에는 큰 문제가 없을 것으로 예측되고 있다. 한편, 전기적인 문제로는 ADSL과 사용 주파수대역이 겹치는 AM 방송국의 주파수 간섭(RFI, Radio Frequency Interference)과 누화현상, 그리고 다양한 배경잡음 등을 주된 요인으로 지적하고 있다⁵¹.

잡음과 관련된 또 다른 연구결과에 따르면 동선에서의 배경잡음이 약 20dB 증가할 경우 하향속도는 약 1-4Mbps 정도 감소된다⁶¹. 즉, 통신회선에서 발생하는 잡음이 고속 데이터 서비스의 전송품질에 영향을 미치게 된다는 결론을 제시하고 있다.

또한, 앞서 언급된 요인과는 달리 케이블의 길이가 성능에 영향을 미친다는 시험결과로, 시내구간(반경 2km)과 시외구간(반경 4km)에 대하여 측정된 결과 잡음전력밀도(Noise PSD, dBm/Hz)는 차이가 없는 반면 수신단에서의 신호 대 잡음비는 약 40dB(@1MHz)의 차이가 나며, 시외구간에서의 하향 전송속도는 시내구간에 비해 약 3.2Mbps정도가 감소된다는 결과가 있다. 이는 케이블 길이와 관련된 특성(전송손실)이 ADSL 성능에 영향을 주는 것으로 분석된다⁷¹. 이와 유사한 결과로 1997년 정보통신부의 연구개발과제인 초고속가입자망의 서비스노드 정합기술개발 보고서에 따르면 ADSL 성능을 제한하는 가장 주요한 요인은 전송거리와 주파수에 비례하는 신호 감쇄이며, 다음으로는 누화현상과 임펄스 잡음이라고 지적하고 있다⁸¹.

지금까지 살펴본 연구결과를 요약하면, ADSL 서비스에 있어 성능에 영향을 미치는 근본적인 원인은 ADSL 서비스를 구현하기 위한 가입자망 구조이며, 더 구체적으로는 가입자망 구조 중에서 마지막 구간(last mile)에서의 동선(copper line)의 여러 가지 특성에 의하여 성능이 좌우된다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 동선기반의 가입자 선로 환경 하에서 선로특성을 나타내는 변수(parameter)를 중심으로 ADSL 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소를 고찰한다. II절에서는 관찰하고자 하는 선로특성이 성능에 미치는 영향 요소를 분석해 보고, III절에서는 ADSL 성능과 선로 특성과의 관계를 분석하기 위한 모의 시험환경을 제시한다. IV절에서는 측정과 모의시험에 따른 결과를 분석하고, 마지막 V절에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

II. 영향요소 분석

전체 가입자 구간의 대부분이 매체 특성이 우수한 광케이블이라 할지라도 동선인 구내선로의 특성이 ADSL서비스에 적합치 않을 경우 전체 품질은 구내선로에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 본 절에서는 보다 구체적으로 선로특성 중에서 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소에 대한 정의 및 시험결과 분석 시 적용기준에 대하여 살펴본다.

1. 루프저항

루프저항은 선로의 단선 여부, 부식 등의 관리 상태 및 노후 정도를 나타내는 기본 변수로 아래의 식(1)에서 알 수 있듯이 케이블 직경에 반비례하는 특성을 갖는다.

$$R_{dc} = \frac{43.87}{d^2} \quad [\Omega/km] \quad (1)$$

- d : 케이블의 직경(mm)

루프저항이 기준치를 초과한다는 것은 전도성이 떨어져 전달매체로서의 효용가치가 감소된다는 것을 의미하며, 특히 선로부식의 경우에는 도체의 외부로부터 부식이 시작되는 관계로 주파수가 높은 신호를 전달하고자 할 때에는 표피작용(skin effect)¹⁰⁾에 의한 영향을 무시할 수 없을 것이다.

주거용 건물에 대한 구내통신선로설비의 기술표준에 따르면 구내배선은 16MHz 이상의 전송대역을 갖는 직경 0.5mm의 트위스티드페어 케이블로 구성되어야 한다¹⁰⁾. 이 케이블은 UTP 카테고리 3급에 해당되는 것으로 국제표준인 ISO/IEC 11801에서는 루프저항에 대한 기준치를 최대 192 Ω/km 로 규정하고 있다¹¹⁾.

2. 특성임피던스 및 반사손실

특성 임피던스는 선로, 회로 또는 시스템의 기준

이 되는 값으로 임피던스값 자체가 어떤 특성을 갖는 것은 아니고 각각의 소자/회로(component/circuit)가 서로 다른 입출력단에서 호환을 유지하려는 기준이 되는 값이다. 특성 임피던스와 정합되지 않는 부정합(mismatching)으로 인한 영향은 반사손실(Return loss)을 증가시켜 ADSL의 성능(throughput)을 저하시킬 것으로 예측된다. 특성 임피던스와 반사손실과의 관계는 식(2)와 같이 표현할 수 있는데, 특성 임피던스와 부하 측 임피던스의 차가 크면 클수록 반사손실의 절대값은 증가하게 된다.

$$Return Loss(dB) = -20 \cdot \log \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| \quad (2)$$

- Z_L : 부하측 임피던스

- Z_0 : 특성 임피던스

특성 임피던스의 기준값은 표1과 같이 KICS.KO-04.0001에 제시된 실내케이블의 전송 성능기준을 적용하였다¹⁰⁾.

표 1. 특성임피던스 기준값

주파수	권장사항($\Omega \pm 15\%$)
2 kHz	510
8 kHz	225
64 kHz	125
256 kHz	110
772 kHz	102
1 MHz	100

3. 전송손실

선로의 전송손실은 식(3)과 같이 주파수의 제곱근과 선로길이에 비례하는 특성을 갖고 있다. 따라서 가입자망에 사용된 CPEV 및 TIV의 케이블의 길이와 주파수특성이 ADSL 서비스를 위해 적합한지의 여부를 살펴 볼 필요가 있다. 또한 선로길이에 비례하여 손실이 증가하기 때문에 ADSL의 최대전송속도인 8Mbps를 보장하기 위해서는 선로의 길이가 어느정도로 제한하여야 하는지를 결정하는 것은 ADSL의 망 구조인 FTTC를 설계하는데 있어 매우 중요한 요소라 하겠다.

$$Line Loss \propto \sqrt{f} \times L \quad (3)$$

- f : 주파수

- L : 케이블 길이

표 2. UTP 카테고리3 전송손실 기준

주파수	감쇄량(dB/100m, max.)
772 kHz	2.2
1.0 MHz	2.6

ADSL의 사용 주파수대역인 173kHz~1,104 kHz에 대한 CPEV 및 TIV에 대한 전송 손실 기준이 제시되어 있지 않은 관계로, 적용기준은 표2와 같이 구내통신선로설비의 기술 표준에서 가입자 선로로 권고된 UTP 카테고리 3의 전송손실 기준을 참조하였다¹⁰⁾.

4. 신호 대 잡음비

디지털 변조방식에서의 일반적인 성능지표라고 할 수 있는 비트오류율(Bit Error Ratio)과 신호 대 잡음비(전송방식에 따라 E_b/N_0 또는 C/N 을 적용)는 신호 대 잡음비가 크면 클수록 성능은 향상이 되고, 작으면 성능이 떨어지는, 즉 비트 오류율이 커지는 관계에 있다.

신호 대 잡음비 값을 변화시킬 수 있는 요인은 신호레벨의 변화 또는 잡음레벨의 변화에 의한 것으로, 신호 대 잡음비는 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)를 이용하여 손쉽게 측정이 가능한 반면, 측정결과와 판독에 오류가 발생할 가능성이 많기 때문에 결과분석의 오류를 최소화하기 위하여 잡음레벨만의 변화를 가지고 분석을 한다.

분석방법은 하향스트림(downstream)의 최대 전송 성능인 8Mbps를 유지하기 위해 필요한 모의실험 환경 하에서의 선로의 잡음레벨을 계산한 후, 이 값을 측정결과와 비교하는 방식을 이용한다.

4.1 잡음레벨 계산

잡음레벨은 T1.413에 권고된 규격에 따라 계산하였으며, 시험에 사용된 모뎀 역시 T1.413 규격을 만족하는데 하향 스트림(downstream)에 적용되는 기준으로 DMT(Discrete MultiTone) 변조방식의 subcarrier 수를 216 개로 하고 사용주파수 대역은 173kHz~1,104kHz를 적용한다. 잡음레벨을 계산하기에 앞서 8Mbps의 down stream을 전송하는데 필요한 신호 대 잡음비는 아래 식(4)를 이용하여 구할 수 있다¹²⁾.

$$\text{Required } S/N \text{ (for 8Mbps)} = (3 \times N_{down}) + 20 \text{ [dB]} \quad (4)$$

- N_{down} : i 번째 subcarrier에 할당된 bit 수

여기서 각 subcarrier당 할당 bit수인 N_{down} 는 subcarrier당 전송용량($C_{subcarrier}$)과 데이터의 symbol rate($f_{symb}=4kHz$)을 이용하여 다음 식(5)로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{subcarrier} &= (\text{최대하향속도}) / (\text{총 subcarrier 수}) \\ &= 8Mbps / 216 \text{ sub.} = 37kbps \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} N_{down} &= C_{subcarrier} / f_{symb} \\ &= 37kbps / 4kHz \cong 9bits \end{aligned}$$

위 식(4) 및 식(5)로 부터, 8Mbps의 하향스트림을 전송하기 위하여 요구되는 신호 대 잡음비(S/N)는 47dB 임을 알 수 있다.

T1.413에서 규정하는 하향스트림의 전력밀도(PSD, Power Spectral Density)는 -36.5dBm/Hz이며, 이를 하향스트림의 사용 주파수대역에서의 출력으로 환산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (\text{출력 전력}) &= (PSD) + 10 \cdot \log(BW_{downstream}) \\ &= -36.5 + 10 \cdot \log(931kHz) \\ &= 23.2 \text{ dBm} \end{aligned}$$

표5에서와 같이 모의실험 환경인 가입자 선로에서 인위적인 감쇄가 없는 선로 자체의 손실이 19dB 이므로, 8Mbps의 전송성능을 유지하기 위한 잡음레벨은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} (\text{잡음 레벨}) &= (\text{출력 전력}) - (\text{선로 손실}) - (S/N) \\ &= 23.2dBm - 19dB - 47dB \\ &= -42.8dBm \end{aligned}$$

5. 누화현상

누화현상(crosstalk)은 바인더 그룹 구조내에서 각각의 회선(twisted pair)들이 적절하게 절연되어 있다 할지라도 회선들간의 용량성 결합(capacitive coupling) 및 유도성 결합(inductive coupling)에 의해 생기는 것으로, 음성 주파수 대역이상을 사용하는 DSL (Digital Subscriber Line) 시스템에서는 전송성능 (transmission throughput)에 영향을 미치는 하나의 요인이 될 수 있다¹³⁾.

따라서, 누화로 인한 회선간 간섭현상과 성능의 변화를 관찰하고 이에 대한 영향을 도출할 필요가 있다.

III. 모의시험 환경

루프저항의 측정 및 결과분석은 하나로통신의 실

제 가입자 선로를 대상으로 실시하였으며, 특성임피던스, 반사손실, 신호 대 잡음비, 전송손실 및 누화 현상은 실제 가입자 망에 적용된 자재의 특성을 그대로 이용하여 모의실험환경을 구성하도록 하였다.

1. 루프저항

루프저항의 측정은 서울, 부산, 울산, 인천의 4개 지역 265 세대를 대상으로 시험한 측정치를 이용하였으며(신뢰도 90%), 측정방법은 선로의 한쪽 끝단을 단락시킨 후, 반대 쪽 끝단에서 멀티미터(Fluke 83III)를 이용하여 저항을 측정한다.

2. 특성 임피던스, 반사손실, 전송손실

특성 임피던스, 반사손실, 전송손실을 측정하기 위한 시험은 그림1과 같이 주거용 건물의 선로 구조와 유사한 환경이 되도록 구성하며, 선로의 길이에 따라 결과가 달라질 것으로 예측되기 때문에 표 3과 같이 주 단자합이 위치한 MDF실로부터 각 세대까지의 케이블 길이를 4가지로 구분하여 실시한다.

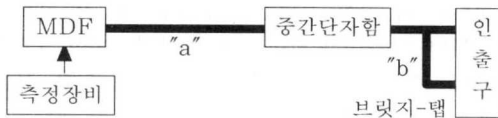


그림 1. 시험구성도

표 3. 케이블 종류/길이에 따른 시험조건

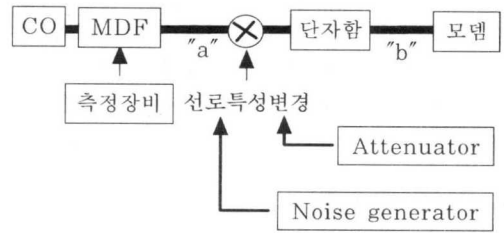
구분	케이블 "a"	케이블 "b"
A	CPEV : 1,200m	TIV :300m
B	CPEV : 200m	TIV :300m
C	CPEV : 1,200m	브릿지-탭(3개)
D	CPEV : 200m	브릿지-탭(3개)

케이블 종류는 국내 주거 건물에서 가장 많이 사용되고 있는 KS-C-3603의 0.5mm CPEV (시내 쌍 케이블)와 세대 내에서 사용되는 KS-C- 3340의 0.8mm TIV (PVC 옥내 전화선)케이블을 채택한다^{[14],[15]}. 표3에서 브릿지-탭의 구조는 주거용 건물의 덕내배선과 유사한 구조를 갖도록 탭간의 간격은 30-50m, 브릿지의 길이는 15-20m가 되도록 구성한다.

3. 신호 대 잡음비

신호 대 잡음비가 변화하기 위해서는 선로의 특

성을 임의로 변경시켜야 한다. 신호(signal)의 변화는 감쇄기(attenuator)를 이용하여 인위적인 손실을 삽입하고, 잡음(noise)의 변화는 잡음발생기(noise generator)를 이용하여 백색잡음(white noise)를 삽입시키는 방법을 사용하여 그림2와 같이 구성한다.



("a"- CPEV 1200m, "b"-TIV 50m)

그림 2. S/N 시험 구성도

4. 누화현상

누화현상은 Near End Crosstalk(NEXT)와 Far End Crosstalk(FEXT)로 구분하는데, T1이상의 고속 전송에서는 NEXT가 미치는 영향이 FEXT보다 크다고 할 수 있다^[16].

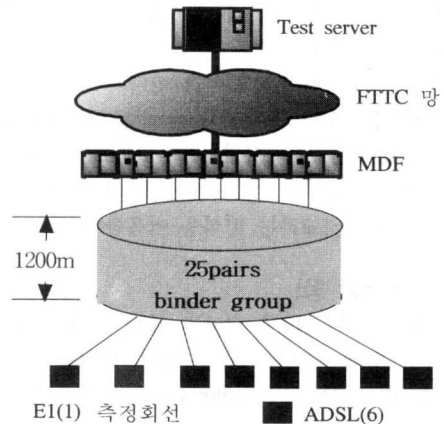


그림 3. NEXT 시험 구성도

따라서, 본 시험에서는 NEXT에 초점을 맞추어 그림3과 같이 25 쌍의 바인더 그룹에서 임의의 회선들을 선택하여 동시에 그리고 연속적으로 데이터를 흐르게 한 후, 나머지 하나의 측정회선에서 성능 및 잡음레벨을 측정함으로써 간섭현상이 야기되었는지를 살펴본다.

IV. 측정 및 결과분석

1. 루프저항 분석

하나로통신의 가입자 중 서울, 부산, 울산, 인천의 4개 지역 265세대를 대상으로 측정한 결과, 관리상태나 건물의 내용년수에 따라 결과의 차이가 심하리라는 우려와는 달리 일부 회선을 제외한 대부분의 회선상태는 표4의 측정결과에서 알 수 있듯이 양호한 것으로 나타났다. 이를 우리나라의 통신 환경에 비추어볼 때 여타 사업자의 선로 특성과 유사할 것으로 예측할 수 있다. 조사 대상 건물 중에서 내용년수가 최고 20년 이상인 경우가 8%이었음에도 불구하고 경우에 따라서는 최근 준공된 건물과 비교할 때 별 차이가 없었음은 관리상태 뿐만 아니라 사용자재 선정 및 시공방법이 적절했음을 알 수 있다. 다시 말해서 구내선로가 건물의 수명과 함께 한다면 전제를 한다면 건축물 시공단계부터 시공자, 사용자 및 감리자의 엄격한 제반규정준수가 뒤따라야 된다고 하겠다.

표 4. 루프저항 측정결과(단위:Ω)

지역	기준	평균	최대	최소
서울	192Ω/km max.	48.9	139.2	7.2
부산		64.8	179	11
울산		40.7	107	20
인천		51.4	90	29

2. 특성 임피던스 및 반사손실

2.1 특성 임피던스 분석

표3의 4가지 시험조건에 따른 결과를 주파수에 따라 나타내면 그림4와 같다.

선로 전체의 특성 임피던스 값은 선로의 배선 구조(브리지-탭 형태)보다는 선로의 길이에 좌우됨

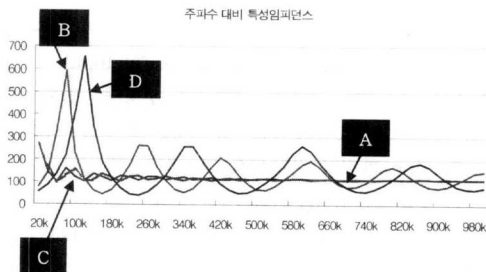


그림 4. 특성 임피던스 측정 결과

을 알 수 있다. 선로의 길이가 긴 A,C의 경우 표1의 기준치에 근접하게 측정되었으나, 길이가 짧은 B,D의 경우, 기준치 대비 편차가 크게 나타나고 있는 결과로 예측해 볼 때 부정합(mismatching)으로 인한 반사손실(return loss)의 증가가 우려되기 때문에 4가지 시험조건에 대한 반사손실을 측정하여 비교해 보았다.

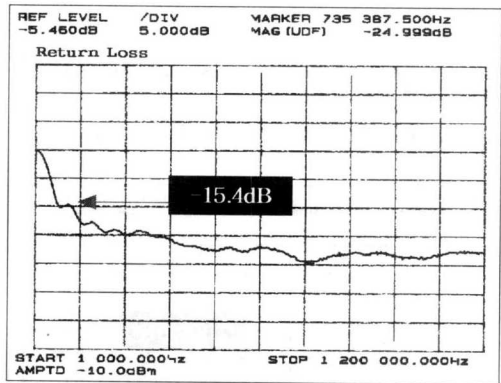


그림 5. A. CPEV(1200)+TIV(300)

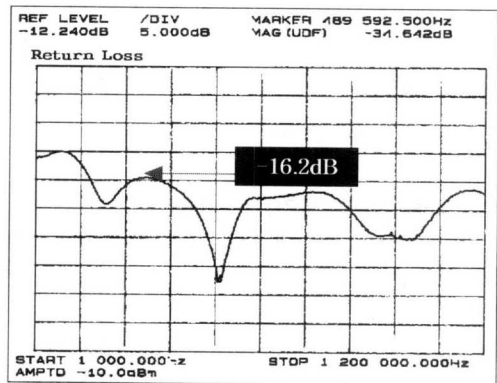


그림 6. B. CPEV(200)+TIV(300)

2.2 반사손실 분석

표3의 4가지 시험조건에 대한 반사손실을 측정한 결과는 그림5,6,7,8과 같다.

배선구조와 관계없이 선로의 길이가 짧은 경우 기준치와 특성 임피던스의 측정값 사이의 편차가 심하기 때문에 반사손실 또한 증가할 것으로 예측되었으나 그림5-8의 측정결과에서 알 수 있듯이 선로 길이가 긴 A, C에서는 주파수가 증가할수록 반사손실이 작게 나타났으며, 길이가 짧은 B, D에서는 A, C보다는 상대적으로 높은 주파수 대역에서 반사손실이 증가하였으나 전체적으로는 일정한 값

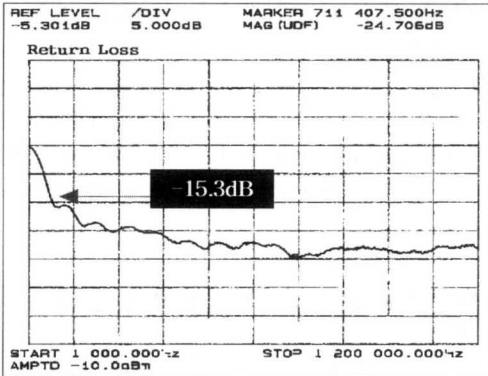


그림 7. C. CPEV(1200)+3 Bridge-Tap

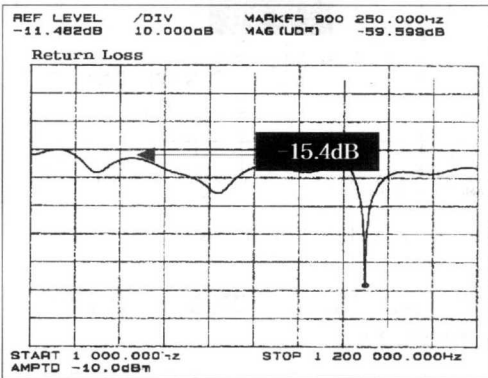


그림 8. D. CPEV(200)+3 Bridge-Tap

(약 -16dB)이하로 유지되고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과로 볼 때 내릴 수 있는 결론은 구내 선로의 동선에서의 특성 임피던스의 변화가 반사손실에 미치는 영향은 미미한 것으로 보이며, 따라서 일정 범위내의 특성 임피던스 변화는 ADSL의 성능에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 예측된다.

3. 전송손실

3.1. 전송손실 특성

그림9,10의 측정결과와 표2의 전송손실 기준을 비교해 보면, 현재 주거용 건물에 사용되고 있는 CPEV 및 TIV의 케이블 특성이 UTP 카테고리3의 특성과 차이가 없음을 보여주는데, 이러한 사실은 전송손실의 특성만을 놓고 볼 때, ADSL서비스를 함에 있어 CPEV 및 TIV 케이블이 성능 저하의 요인이 되지 않는다는 것을 나타낸다. 그러나 선로의 길이가 길어지게 될 경우 전송손실의 누적량이 증가하기 때문에 ADSL의 성능에 미치는 영향은 무시할 수 없을 것으로 보인다.

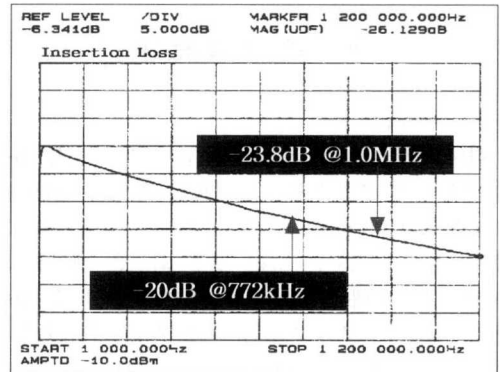


그림 9. A. CPEV(1200)+TIV(300) 선로길이 : 1,500m
이므로 1.33dB/100m@772kHz, 1.59dB/100m@1.0MHz

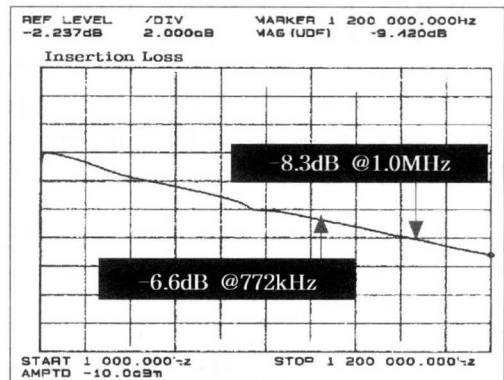


그림 10. B. CPEV(200)+TIV(300)선로길이 : 500m 이
므로 1.32dB/100m@772kHz, 1.66dB/100m@1.0MHz

3.2. 전송손실과 성능과의 상관관계

앞서 전송손실 특성을 분석한 결과, 선로길이의 증가는 성능에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예측됨에 따라, 본 분석에서는 8Mbps의 하향스트림(downstream)을 전송하기 위한 전송손실 및 길이와의 관계를 알아보기로 한다.

그림2의 S/N 시험 구성도에서 감쇄기를 이용하여 선로손실을 증가시키면서 모뎀의 상향스트림(upstream) 및 하향스트림의 성능(throughput)을 측정하였다. ADSL 모뎀은 현재의 성능을 변화시킬 수 있는 요인이 발생하는 경우, 순간 순간 초기화(initialization)과정을 통하여 최적의 성능을 유지하려는 특성을 갖고 있기 때문에 감쇄기의 값을 변화시킨 후, 관찰한 ADSL모뎀의 성능값은 현재의 선로상태가 반영된 결과로 해석할 수 있다. 표5의 측정결과에서 알 수 있듯이 성능과 전송손실은 반비

표 5. 전송손실 변화에 따른 성능결과

감쇄량 (dB)	Upstream		Downstream	
	Loss(dB)	성능(kbps)	Loss(dB)	성능(kbps)
0	11 ⁽¹⁾	832	19 ⁽¹⁾	8,000
6	16	864	25	8,000
7	18	864	26	7,712
20	30	736	39	6,944
26	36	640	45	5,824
28	38	576	47	5,056
31	41	480	50	4,416
36	46	352	55	3,008
40	50	224	59	2,496
44	54	160	- ⁽²⁾	2,048

- (1) 인위적인 감쇄가 없는 선로의 자체 손실량
- (2) 측정장비의 out of range

레 관계에 있으며, 손실(Loss)이 발생하더라도 일정 한계값(25dB)까지는 ADSL의 하향스트림(downstream)이 8Mbps를 유지하고 있음을 알 수 있다.

시험환경의 선로길이가 1,200m이고 인위적인 감쇄가 없을 때(감쇄량=0dB), 선로의 자체 손실량인 19dB와 8Mbps의 한계값인 25dB와는 6dB의 차가 발생하는데, 표2의 UTP 카테고리 3 전송손실 기준을 참조하여 6 dB을 길이로 환산하면 약 250m의 길이에 해당된다.

따라서, 모의시험 환경하에서 ADSL의 최대 하향 스트림(downstream) 속도인 8Mbps의 성능을 유지시킬 수 있는 선로길이는 최대 1.45km이며, 일반 주거환경이 모의시험환경 보다 다소 열악함을 고려하더라도 최대 전송속도가 보장될 수 있는 동선의 길이는 약 1.45km를 초과할 수 없을 것으로 예측할 수 있다.

4. 신호 대 잡음비

4.1. 신호 대 잡음비와 성능과의 상관관계

II 절에서 8Mbps의 하향스트림을 보장하기 위한 잡음레벨은 -42.8dBm임을 알 수 있었다. 본 시험 분석에서는 그림2의 모의시험 환경 하에서의 가입자 선로 잡음을 측정된 후, 이론적인 잡음레벨과 비교하여 보았다.

그림11은 모의시험 환경에서의 선로 잡음을 보여주고 있는데, 선로의 잡음레벨중 최대값과 8Mbps의 성능을 보장하기 위한 잡음레벨인 -42.8dBm과는 약 23dB의 차이가 발생함을 알 수 있다. 이는 외부에서 잡음이 유입되더라도 8Mbps의 전송성능을 보장

하기 위한 잡음레벨과는 상당한 여유가 있음을 의미하며, 아울러 유입되는 잡음의 정도에 따라 성능에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예측된다.

잡음은 측정 당시의 환경 또는 잡음원의 변화에 따라 크기가 달라지므로 정확한 측정에 따른 성능의 비교 분석에는 어려움이 있기 때문에 다음 항에서는 동일한 모의시험 환경하에서 잡음의 종류에 따른 크기를 측정해 보고 성능에 미치는 영향 정도를 분석해 본다.

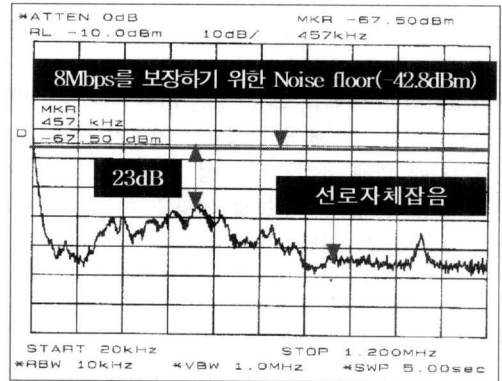


그림 11. 가입자선로 잡음 측정결과

4.2. 잡음이 성능에 미치는 영향

잡음에는 여러 가지 원인이 있을 수 있겠으나, 측정결과 가입자 선로에 나타나는 잡음으로는 선로를 통해 유입되는 자연 발생적인 잡음과 인위적으로 발생된 전자기 신호에 의한 인공 잡음으로 분류할 수 있다. 여기에서는 각각의 잡음을 관찰해 보고 잡음의 크기가 어느 정도인지를 이론적인 잡음레벨과 비교, 분석함으로써 성능에 미치는 영향여부를 판단하였다.

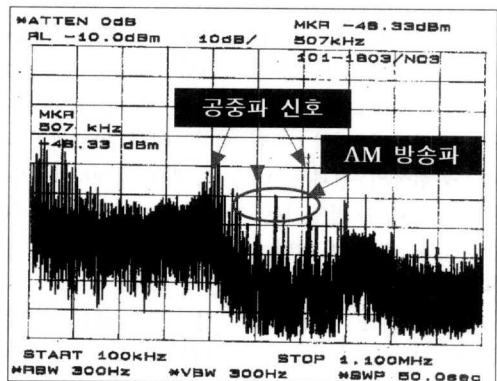


그림 12. 공중파 유입에 따른 잡음

시험방법은 그림2의 모의시험 환경인 바인더그룹 구조 케이블을 이용하여, 임의의 회선 양단에 스펙트럼 분석기 및 중단저항(100Ω)을 연결한 후, 나타나는 잡음을 관찰하였다.

첫번째, 실 가입자 환경에서 많이 볼 수 있는 자연잡음으로 그림12와 같이 방송 등의 외부신호가 유입되는 경우로, 본 실험에서 측정된 잡음세기는 8Mbps의 하향스트림을 보장하기 위한 이론적인 잡음레벨인 -42.8dBm에 근접하고 있음을 알 수 있다. 이는 가입자 환경에 따라 잡음의 크기가 증가할 수 있음을 의미 하고 이에 따라 성능이 감소될 수 있을 것으로 예측된다.

대표적인 인공잡음으로는 그림13과 같이 가입자 선로 인근 주변에서 발생하는 전동기 모터 등의 전자기파에 의해 유입된 유도성 잡음으로 시험에서 관찰한 결과로는 성능에 영향을 미치는 정도는 아닌 것으로 분석되었다.

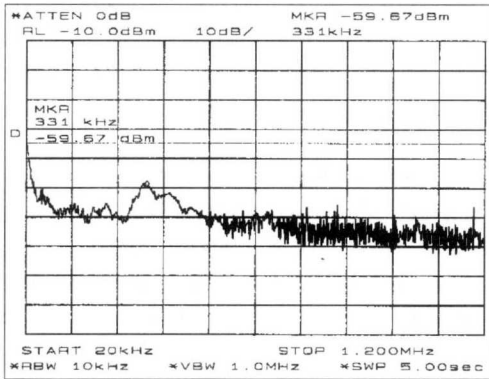


그림 13. 유도성 잡음

여러 가지 환경에서 관찰된 인공잡음을 나타내는 그림14는 xDSL, T1, E1, ISDN 등 인접회선의 신호가 유입되어 생긴 간섭 잡음으로 그림11의 잡음 세기와 비교시, 상당히 증가하였음을 알 수 있고 이는 성능에 영향을 미칠 것으로 예측된다. 이러한 현상은 바인더 그룹 구조 케이블에서 발생하기 쉬운 누화현상의 결과로 다음 항에서 자세하게 기술한다. 이외에도 발생하는 잡음에는 천둥 및 번개에 의한 잡음, 진동에 의한 충격성 잡음 등이 있을 수 있다.

ADSL모뎀은 일반적으로 선로의 상태를 반영하여 초기화 과정을 실시하기 때문에 잡음의 영향이 이미 선로에 반영되어 있는 경우는 전송성능의 상태변화 관찰이 용이하지 않을 것이다. 그러나 인위

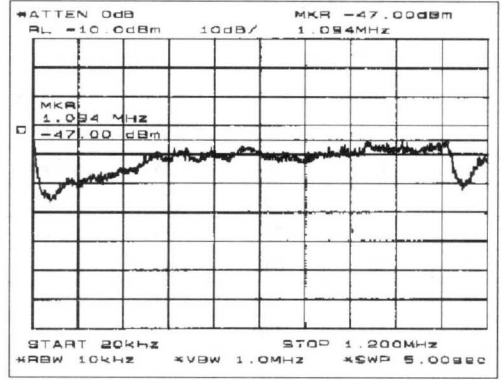


그림 14. 바인더 그룹(binder group)의 간섭잡음

적 또는 자연적으로 발생하는 유도성 및 충격성 잡음이 유입되는 경우, 순간적으로 선로의 잡음레벨이 급격히 상승하기 때문에 모뎀은 선로상태가 변한 것으로 인식하여 초기화 과정을 다시 실시하게 되는데, 이때 데이터의 흐름이 순간적으로 멈추게 되고, 초기화 과정이 완료된 후 데이터의 흐름이 재개되는 것을 관찰할 수 있었다.

결과적으로 신호 대 잡음비에서 잡음의 증가는 성능을 저하시키는 현상을 야기 시키는데, 상기 측정결과에서 알 수 있듯이 이미 유입된 잡음의 세기는 초기화 과정에 이미 반영된 상태이기 때문에 전송용량(capacity)의 변화는 있을지라도 진행중인 데이터의 흐름을 방해하는 요소는 아니다. 보다 중요한 것은 통신이 행하여지는 가운데 외부로부터의 갑작스런 잡음이 유입되므로 인해 데이터의 흐름을 중지시킬 수 있다는 것이라고 지적할 수 있다.

5. 누화현상 분석

그림3의 Near End Crosstalk(NEXT) 시험 구성도와 같이 구성한 후, 측정회선에 대한 성능(Throughput) 측정 결과, 간섭원, 즉 누화현상을 야기 시키는 동일 그룹 바인더 내에서 인접회선에서 데이터를 전송하는 신호원의 종류 및 속성에 따라 정도의 차이는 있으나 간섭원의 수가 많으면 많을수록 누화현상으로 인한 성능에 미치는 영향이 커짐을 알 수 있다.

표6에서 간섭원이 1개일 경우의 잡음레벨은 8Mbps의 하향스트림을 유지하기 위한 적정 잡음레벨인 -42.8dBm과는 상당한 차이를 보이고 있으나, 간섭원이 많을수록 누화현상으로 인한 잡음 레벨은 성능에 영향을 미칠 수 있는 정도까지로 상승했음을 볼 수 있다.

그림15는 측정대상인 회선과 인접하여 있는 회선에 ADSL:6, E1:1를 동시에 잡음원으로 가정하였을 때의 잡음레벨로 하향스트림의 성능은 여전히 8Mbps를 유지하고 있었으나, 측정결과 8Mbps의 하향스트림을 유지하기 위한 적정 잡음레벨인 -42.8dBm에 근접하고 있음을 알 수 있다. 이는 간섭현상을 발생시키지는 않았으나 여유 마진이 3.2dB인 관계로 추가적인 잡음이 유입 시에는 성능에 간섭을 일으킬 수 있는 개연성이 있는 것으로 예측된다.

또한 표6에서 간섭원의 속성 및 수가 동일할지라도 측정대상인 회선과 인접한 정도(거리)에 따라 측정된 잡음레벨의 세기가 달라진다는 것을 알 수 있는데, 이러한 측정결과는 누화현상을 받는 대상과 간섭원은 바인더 그룹내에서의 심선 구조, 즉 어떤 위치에 있는 회선을 사용하느냐에 따라 간섭의 정도가 달라질 수 있음을 의미한다.

표 6. 간섭원에 따른 잡음레벨

간섭원	잡음레벨	비고
ADSL(1)	-65.1dBm	①
ADSL(1)	-55.5dBm	②
SDSL(1)	-63.7dBm	
ADSL(6)	-47.3dBm	
ADSL(6), SDSL(1)	-47.0dBm	

- ① 측정회선과 가장 원거리에 위치
- ② 측정회선과 가장 근거리에 위치

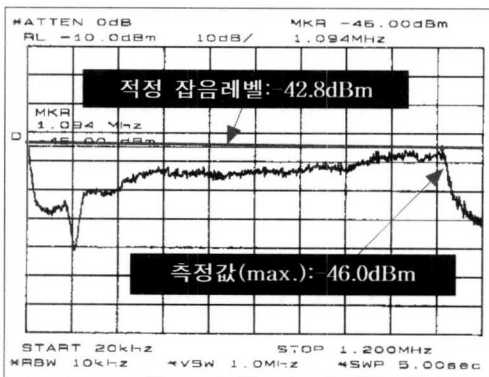


그림 15. NEXT에 의한 잡음레벨

V. 결론

본 논문에서는 구내통신선로설비의 선로특성이

초고속인터넷을 대표하는 ADSL 서비스에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각의 선로특성별로 예상 문제점을 지적하고 이에 대한 검증용 시험을 통하여 살펴보았다. 또한 본 시험에서는 선로특성과 성능(throughput)과의 상관관계 및 바인더 그룹 구조를 갖는 구내선로의 회선간 간섭현상을 시험을 통하여 관찰하였다.

현재 주거용 건물에 사용되고 있는 구내케이블은 UTP 카테고리 3급의 품질을 갖고 있는 것으로 보이며, 성능에 가장 큰 영향을 미치는 선로특성은 전송손실을 알 수 있다. 전송손실을 관찰한 결과 동선을 이용한 ADSL서비스의 성능은 동선의 길이가 1.45km까지는 최대 전송용량인 8Mbps가 유지될 것으로 예측된다. 구내선로에 있어서 잡음이 성능에 미치는 영향은 잡음의 불규칙적인 특성으로 인하여 정확한 측정이 곤란하며, 중요한 것은 이미 내재되어 있는 잡음의 크기보다는 외부로부터 갑작스런 잡음의 유입으로 인한 문제가 서비스의 품질에 영향을 미칠 것으로 보인다.

한편, 간섭현상으로 인한 품질저하 문제는 시험 환경의 제약으로 인하여 다양한 결과를 도출하기는 어려웠으나 간섭원이 많을수록 잡음레벨이 증가하는 것으로 미루어 볼 때, 바인더 그룹(binder group) 구조의 회선간 간섭현상과 품질은 충분히 개연성이 있을 것으로 보인다.

시험과 실사를 통하여 현재 서비스 중인 ADSL 서비스의 품질과 구내선로와의 상관관계를 관찰한 결과 품질저하의 요인이 있기는 하나 전반적인 문제는 없을 것으로 예측된다. 그러나 향후 급속히 보급될 것으로 예측되는 ADSL과 유사하지만 최대 52Mbps의 성능과 확장된 주파수 대역을 사용하는 VDSL(Very high data rate Digital Subscriber Line)이 현재의 동선 기반인 구내선로에서 서비스 품질이 보장될 것인가에 대해서는 보다 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다.

참고 문헌

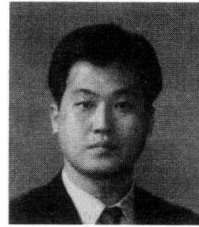
- [1] 세종대학교, 최종연구보고서 : 시내 전화가입자망 기술 비교 연구, 하나로통신, 1998.9.30.
- [2] Ken'ichi Narumiya, "A Consideration of ADSL Service under NTT's Network," *IEEE Communication Magazine*, May 1999.
- [3] 오준석, 이용구, 이현영, "ADSL 서비스를 위한 동선로 설계기준연구", *정보통신연구*, 제14권, 제

4호, 2000.12.

- [4] John W. Cook, Rob H. Kirkby, Martin G. Booth, Kevin T. Foster, Don E. A. Clarke, and Gavin Young, "The Noise and Crosstalk Environment for ADSL and VDSL Systems", *IEEE Communication Magazine*, May 1999.
- [5] Walter Goralski, "xDSL Loop Qualification and Testing", *IEEE Communication Magazine*, May 1999.
- [6] 오호석, 홍상기, "가입자 통신회선에서의 잡음특성 및 ADSL 전송성능에의 영향", *한국전자과학기술 논문집*, vol.10, no. 1, 2000.11.4.
- [7] Gaetano Vespasiano and Maria S. Iacobucci, "Simulation of Asymmetric Digital Subscriber Line : Impact of line characteristics in system performances", *The Journal of The Institution of British Telecommunications Engineers*, vol.18, part 2, pp.151-153, August 1999.
- [8] 한국전자통신연구원, *초고속가입자망의 서비스 노드 정합기술 개발*, 정보통신부, pp. 23-31, 1997.12.
- [9] W. Sinnema and T. McGovern, *Digital, Analog, and Data Communications*, Prentice -Hall, pp. 181-182, 1986.
- [10] 한국정보통신표준 KICS.KO-04.0001, *주거용 건물에 대한 구내통신선로설비의 기술표준*, 1997.9.8.
- [11] ISO/IEC 11801, *Information technology- Generic cabling for customer premises*, 1995.
- [12] T1.413 Issue2, *Network and Customer Installation Interfaces-Asymmetric Digital Subscriber Line(ADSL) Metallic Interface*, June 12, 1998.
- [13] Walter Y. Chen, *Simulation Techniques and Standards Development for Digital Subscriber line Systems*, Macmillan Technical Publishing, pp. 60-61, 1998.
- [14] 한국공업규격 KSC 3603, *폴리에틸렌 절연 비닐 시스 시내 쌍 선로*
- [15] 한국공업규격 KSC-3340, *PVC 옥내전화선*
- [16] S.H.LIN, "Statistical Behavior of Crosstalk Power Sum with Dominant Components", *Bell Systems Technical Journal*, vol. 60, no. 7, pp. 1363-1374, September 1981.

김 상 국(Sang-Kook Kim)

정회원



1986년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
2002년 2월 : 세종대 정보통신
대학원 석사졸업
1990년 1월~1997년 12월 :
(주)데이콤 근무

1998년 1월~현재 : (주)하나로통신
<주관심 분야> 유,무선 가입자망 기술, 통신망관리
체계.

이 경 근(Kyung-Geun Lee)

정회원



1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 졸업
1983년 2월 : 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
석사 졸업
1992년 6월 : Cornell
University, 전자공학
박사 (Ph.D.) 졸업

1983년 2월~1986년 8월, 1992년 7월~1998년 2월 :
삼성전자 정보통신본부 수석연구원
1998년 3월~현재 : 세종대학교 정보통신공학과 교수,
정보통신대학원 교학부장.
<주관심 분야> 네트워크, 고속통신망, 차세대 인터
넷, 통신망 설계, 트래픽 엔지니어링.