

# 복합 잡음환경에서 디지털 가입자 회선의 SNR 마진 성능에 관한 연구

정회원 김 용 환\*, 조 평 동\*, 박 상 준\*\*, 강 영 흥\*\*

## A Study on the SNR Margin Performance of Digital Subscriber Line in Complex Noises Environment

Yong-hwan Kim\*, Pyung-dong Cho\*, Sang-jun Park\*\*, Young-heung Kang\*\* *Regular Members*

### 요 약

디지털 가입자 회선(DSL)의 채널 용량에 가장 크게 영향을 미치는 내부 잡음원으로서 근단누화(NEXT) 및 원단누화(FEXT) 잡음을 들 수 있지만, 외부 잡음원인 임펄스 영향에 의해 DSL 성능 열화가 야기되므로 송수신 설계에 있어 이들 잡음원들의 복합적인 성능 분석이 절실히 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 테스트 신호 Cook 펄스를 Middleton의 Class A 임펄스 신호로 모델화 한 후, 가우스 잡음, NEXT 및 FEXT 잡음, 임펄스 잡음의 복합 잡음환경에서 DMT 신호의 SNR 마진을 계산하여 평가를 행하였다. 그 결과 업링크상에서는 루프전송길이에 따른 전송속도의 열화는 크지 않으며, 잡음의 특성에 의해 전송속도가 제한되지만, 다운링크상에서는 루프 전송길이 뿐만 아니라 잡음특성등에 의한 복합적인 열화가 두드러짐을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구의 결과는 임펄스 잡음을 포함한 복합환경에서의 ADSL 성능기준을 설정하는데 주요 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

DSL(digital subscriber line) transceiver designers have concerned the impulsive noise as well as NEXT(near-end crosstalk) and FEXT(far-end crosstalk) immunities known as the strongest sources that limit the DSL channel capacity. In these noise environment the analysis on the performance of DSL should be needed.

Therefore, in this paper we have estimated and simulated the SNR(signal-to-noise ratio) margin of DMT(discrete multi-tone) signal in Gauss, NEXT, FEXT and impulse noise environment by modeling an Middleton's Class A impulse signal with the test Cook pulses. As a result, it is known that the transmission rate of uplink is limited by noise characteristics rather than by loop length, but that of downlink limited complexly by both of noise characteristics and loop length.

In conclusion, these results will be utilized as the threshold of ADSL performance in the complex noise environment including impulse noise.

### I. 서 론

최근 인터넷 등의 보급에 의해 일상적으로 다양한 온라인 서비스에 접할 기회가 증가하고 있으며, 향후 사회활동의 다양한 측면에서 생활 인프라로서

인터넷은 필요 불가결한 서비스로 예상되고 있다. 이와 같은 배경 하에 온라인 서비스를 원활하게 이용하기 위해서는 인터넷에의 고속 상시 접속 환경이 그 무엇보다도 중요한 요구조건이다. 고속 인터넷 접속을 실현하는 대표적인 액세스 시스템으로서

\* 한국전자통신연구원 기술기준 연구팀(yongkim@etri.re.kr)

\*\* 군산대학교 전자정보공학부 위성통신연구실(yhkang@kunsan.ac.kr)  
논문번호 : 010359-1129, 접수일자 : 2001년 11월 29일

디지털 가입자 회선(digital subscriber line ; DSL)을 들 수 있으며, DSL은 기존의 전화용 메탈선을 이용하여 고속 데이터 통신을 실현하는 시스템이다.

DSL에는 ADSL(asymmetrical DSL), SDSL(symmetrical DSL), HDSL(high speed DSL), VDSL(very high bit rate DSL)등의 종류가 있지만, 현재 ITU-T에서는 ADSL 및 HDSL 방식의 표준화가 이루어졌으며, VDSL등에 대한 표준화가 진행중이다. 그 중에서도 ADSL은 업링크(uplink), 다운링크(downlink)의 전송속도를 달리하여 다운로드의 속도를 고속으로 가져갈 수 있어 일반의 인터넷 접속 서비스에 적극적으로 활용되고 있으며, 개인 유저용의 액세스 시스템으로서 주목 받고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

한편, 실제 multi-pair 케이블의 디지털 가입자 회선을 구축하는 데는 내부 및 외부 케이블 환경에 따른 여러 잡음원들에 의해 그 성능열화가 필연적이라 할 수 있다. 예를 들어 내부잡음에는 열잡음, 에코 및 반사, 감쇄 및 누화(crosstalk)뿐만 아니라, 케이블 구조에 따른 서지(surge) 보호기, 무선주파수 간섭 필터, 브리지 탭 및 부하코일 등에 의한 구조적 감쇄가 발생하게 된다. 외부 잡음원으로는 불꽃 방전, 전기 펜스(electric fence), 전력선 및 스위치 등에 의한 임펄스성 잡음 등을 들 수 있다<sup>[3],[4]</sup>.

임펄스 잡음에 의한 간섭영향은 여러 누화 잡음과 마찬가지로 DSL 속도급의 넓은 대역폭을 사용하는 ADSL등의 시스템 에러 성능을 열화시키므로 송수신기 설계에 있어 중요한 문제이지만, ADSL 성능평가 연구에서는 가우스 잡음, 근단누화(NEXT : near-end crosstalk) 및 원단누화(FEXT : far-end crosstalk)에 의한 성능 열화분석이 대부분으로<sup>[3],[5]</sup>, 디지털 가입자 회선에 있어 임펄스 잡음 영향에 대한 분석은 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 디지털 가입자 회선의 해석을 위한 twisted-pair 회선특성<sup>[5]</sup>을 모델로 복합 잡음환경에서의 디지털 가입자 회선의 성능 파라미터로서 DMT(discrete multi-tone)-based 신호(즉, T1.413-1998 ADSL)의 SNR 마진(Signal-to-Noise Ratio margin)을 계산하여 그 평가를 행한다. 이를 위해 임펄스 신호로서는 'Cook Pulse' 테스트 신호<sup>[6]</sup>를 이용하여 Middleton의 Class A 임펄스 모델로 가정하기 위한 파라미터, 가우스 성분비와 중복지수 A를 시뮬레이션을 통해 구한후, 임펄스 신호의 전력스펙트럼밀도(power spectrum density ; PSD)를 구해 가우스 잡음, 원단누화(FEXT) 및 근단누화(NEXT)와 함께 임펄스 잡음의 복합적인 영향을 분

석한다.

## II. 임펄스 특성

### 1. 테스트 임펄스 신호

임펄스 잡음은 전화선 부근에서 일시적 전자기적 영향에 의한 불규칙 누화특성을 보인다. 여러 그룹들이 100,000 임펄스 샘플들에 대한 통계적 해석모델을 개발해 왔으며, 그 중에서 가장 널리 이용되고 있는 해석 모델이 Cook 펄스이며, 이 테스트 임펄스 잡음 파형은 식(1)과 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.

$$V(t) = \begin{cases} +kt t^{-3/4} & (t > 0) \\ 0 & (t = 0) \\ -kt t^{-3/4} & (t < 0) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 t는 시간[sec]이며 k는 표 1에 주어지는 상수값이다.

표 1. k 파라미터 값

2M samples/s로 샘플된 테스트펄스의 피크-피크진폭(Vpp)	k
320mV(0dB level)	1.775 × 10 <sup>-6</sup>
160mV(-6dB level)	8.875 × 10 <sup>-6</sup>
80mV(-12dB level)	4.375 × 10 <sup>-6</sup>

테스트 임펄스의 샘플들은 t=(2n-1)T/2 에서의 샘플된 값을 이용해야 하며 t=0에서는 샘플값이 존재하지 않는다. 샘플된 테스트 임펄스상의 윈도우는 그림 1과 같다.

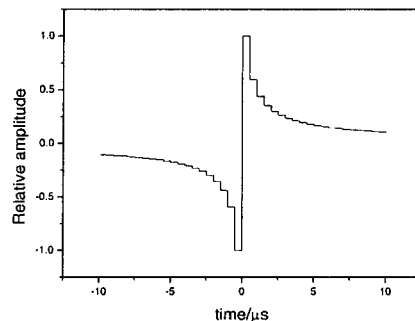


그림 1. 테스트 임펄스 파형

### 2. Class A 임펄스성 잡음모델

무선 주파수대에 있어서 관측되는 인공잡음(방해

파)의 통계모델로서 Middleton의 Class A 임펄스성 잡음모델이 잘 알려져 있으며, 그 확률밀도함수는 식(2)로 표현된다<sup>[7]</sup>.

$$p(x) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! \sqrt{2\pi\sigma_m^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (2)$$

여기서,

$$\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma'}{1 + \Gamma'}$$

$\Gamma'$  : 가우스 성분비(가우스 잡음전력과 임펄스 잡음전력의 비)

$A$  : 중복지수(단위시간당 임펄스 잡음의 평균갯수와 평균지속시간과의 곱)

중복지수  $A$ 는 잡음의 임펄스성을 규정하는 것으로  $A$ 의 값이 작으면 잡음의 임펄스성이 보다 강하고  $A$ 값이 크면 임펄스의 시간연속성이 강해 잡음의 임펄스성이 약한 경우에 대응한다.

한편, Class A 모델에 있어 파라메타  $A$ ,  $\Gamma'$ 은 잡음의 포락선의 2차, 4차, 6차 모멘트로부터 다음과 같은 계산식에 의해 추정되고 있다<sup>[7]</sup>.

$$A = \frac{9(e_4 - 2e_2^2)^2}{2(e_6 + 12e_2^3 - 9e_2e_4)^2}, \quad \Gamma' = \frac{2e_2(e_6 + 12e_2^3 - 9e_2e_4)}{3(e_4 - 2e_2^2)^2} - 1 \quad (3)$$

$$e_2 = E[\varepsilon^2], \quad e_4 = E[\varepsilon^4], \quad e_6 = E[\varepsilon^6]$$

(단  $\varepsilon$ 은 잡음의 포락선)

식(3)의 파라메타를 구하기 위해 식(1)로 주어지는 테스트 임펄스 신호의 샘플들을 컴퓨터 시뮬레이션으로  $A$ ,  $\Gamma'$ 의 값을 추정하여 표 2와 같이 얻었다

표 2.  $A$ ,  $\Gamma'$  파라메타값

$A$	$\Gamma'$
$1.031 \times 10^{-5}$	$2.53 \times 10^{-2}$

### 3. 전력스펙트럼

본 연구에서 임펄스 잡음환경하의 DSL 성능열화를 분석하기 위해 임펄스 신호의 전력스펙트럼은 먼저 식(2)로 주어지는 그림 1과 같이 일정구간으로 샘플링된 테스트 임펄스 신호의 자기상관함수를 구하고 이 상관함수에 의해 전력스펙트럼을 쉽게 구할 수 있다. 따라서 식(2)의 임펄스신호의 자기상관

함수는 다음과 같이 구해진다.

$$\Psi_{11}(\tau) = \begin{cases} e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{4m! \sigma_m^4} (1 - |\tau|) & (|\tau| < T) \\ 0 & (|\tau| > T) \end{cases} \quad (4)$$

따라서 전력스펙트럼  $G(w)$ 는 식 (4)로부터 다음 식에 의해 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} G(w) &= 2 \int_0^T \Psi_{11}(\tau) \cos w\tau d\tau \\ &= T e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{4m! \sigma_m^4} \left( \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T} \right)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

## III. SNR 마진 계산

### 1. DMT 마진 계산

DMT 시스템의 마진은 Shannon-용량(적절한 SNR gap을 빼주고 코딩이득을 더해줌)에 의해 용량이 희망 데이터 레이트와 같을 때까지 모든 주파수에서 SNR 을 열화시킴으로서 결정될 수 있다.

각각의 주파수에서 Hz당 용량은 다음과 같이 주어진다<sup>[8]</sup>.

$$C(f) = \log_2 \left[ 1 + \frac{S(f) \times |H(f)|^2}{N(f) \times 10^{\Gamma/10}} \right] \quad (6)$$

여기서  $S(f)$ 는 희망신호의 송신전력 스펙트럼 밀도,  $|H(f)|$ 은 루프 이득 전달함수의 진폭특성,  $N(f)$ 는 총 잡음전력 밀도로서 본 연구에서는 배경잡음, 누화잡음 외에 2차 3절에서 구해진 임펄스 잡음을 고려하였으며, 그리고  $\Gamma$ 는 실효 SNR gap을 나타낸다.

### 2. ADSL 전력제한

ADSL에 관련된 전력제한은 스펙트럼 관리 (spectrum management ; SM) Class 5로 규정되고 있으며 다운스트림 및 업스트림 전송 전력제한은 표 3과 표 4, 그림 2와 그림 3에 각각 나타낸다<sup>[8]</sup>.

### 3. DSL의 채널특성

Twisted-pair 전화루프 전송채널 모델링은 디지털 가입자 회선 시스템 기술에 중요한 역할을 하며, 이 전부터 twisted-pair 케이블의 주요 및 보조 파라미터들에 대한 정의가 이루어져 왔다. 즉, twisted-pair 케이블의 전송특성은 전송 회선의 분산등가회로에서 정의된 주요 파라미터에 의해 정확히 규정될 수 있

표 3. SM class 5의 다운스트림 전송을 위한 PDS

Frequency Band(kHz)	PSD(dBm/Hz)
0<f≤6	-101, with max power in the in 0-4kHz band of +15dBm
4<f≤25.875	-95+21 × log2(f/4)
25.875<f≤81	-40
81<f≤92.1	-40-70 × log2(f/81)
92.1<f≤121.4	-53
121.4<f≤138	-53+70 × log2(f/121.4)
138<f≤1104	-40
1104<f≤3093	-40-36 × log2(f/1104)
3093<f≤4545	min(-36.5-36 × log2(f/11044), -93.5)
4545<f≤11040	-110

표 4. SM class 5의 업스트림 전송을 위한 PSD

Frequency Band(kHz)	PSD(dBm/Hz)
0<f≤4	-101, with max power in the in 0-4kHz band of +15dBm
4<f≤25.875	-96+21.5 × log2(f/4)
25.875<f≤138	-38
138<f≤307	-38-48 × log2(f/138)
307<f≤1221	-93.5
1221<f≤1630	min(-90-48 × log2(f/1211), -93.5)
1630<f≤11040	-110

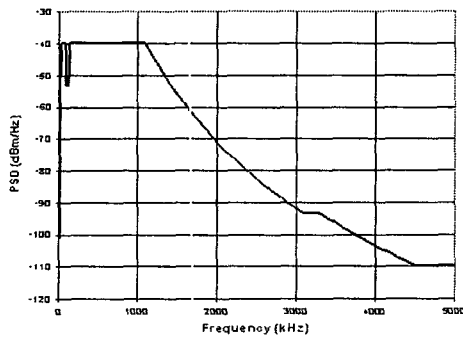


그림 2. SM class 5 다운스트림 전송을 위한 PSD

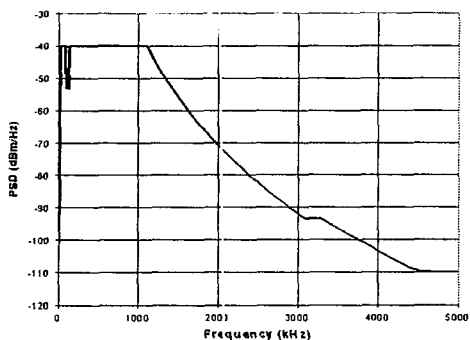


그림 3. SM class 5 업스트림 전송을 위한 PSD

표 5. 단순케이블 모델에 관련된 상수값

Gauge	k <sub>1</sub> ( × 10 <sup>-3</sup> )	k <sub>2</sub> ( × 10 <sup>-3</sup> )	k <sub>3</sub> ( × 10 <sup>-3</sup> )
22	3.0	0.035	4.865
24	3.8	-0.541	4.883
26	4.8	-1.709	4.907

으며, 보조 파라미터는 이상 전송 회선의 성능 해석을 위해 사용된다. 그러나 twisted-pair 케이블의 주요 및 보조 파라미터들은 모두 주파수 함수이다.

만일 루프가 특성 임피던스로 완전히 종단되었다고 하면, 길이  $d$ 의 종단루프에서 그 전달특성은 다음과 같이 주어진다<sup>5)</sup>.

$$H_T(d, f) = e^{-d(k_1\sqrt{f}+k_2f)} \cdot e^{-jk_3f} \quad (7)$$

여기서  $d$ 의 단위는 mile 이고,  $f$ 는 Hertz이다. 상수 및  $k_3$ 는 다음 표 5와 같이 주어진다<sup>5)</sup>.

#### 4. NEXT 및 FEXT

단순화된 NEXT 모델은 80kHz 주파수에서 49, 10 및 1 disturber에 있어 각각 57dB, 61.1dB 및 67.1dB의 손실값을 갖는다. 단순화된 NEXT 모델은 다음과 같이 표현된다<sup>8)</sup>.

$$NEXT[f, n] = S(f) \cdot X_N \cdot \eta^{0.6} \cdot f^{3/2} \quad (8)$$

여기서,  $X_N$ 은  $8.536 \times 10^{-15}$ ,  $n$ 은 disturbers의 수,  $f$ 는 주파수[Hz]  $S(f)$ 는 간섭시스템의 전력스펙트럼이다.

한편, FEXT의 모델은 다음식으로 표현된다<sup>8)</sup>.

$$FEXT[f, n] = S(f) \cdot |H(f)|^2 \cdot X_F \cdot \eta^{0.6} \cdot l \cdot f^2 \quad (9)$$

여기서,  $X_F$ 는  $7.74 \times 10^{-21}$ ,  $l$ 은 결합 경로길이 [feet] 이다. 본 논문에서는 disturber의 수를 49로 가정한다.

#### IV. SNR 마진 평가

ANSI의 T1.417<sup>18)</sup> 관련 표준에서는 ADSL의 3가지 성능레벨을 다음과 같이 정의하고 있다. 첫번째, 성능레벨 A는 26-AWG, 9-kft(1000feet)길이를 갖고 4850 kbps 다운스트림 속도와 645 kbps 업스트림 속도를 갖으며, 루프길이는 업스트림과 다운스

트림의 희망 데이터 레이트가 6dB가 될 때 까지 감소한다. 두번째, 성능레벨 B는 26-AWG, 11.5-kft 길이를 갖고 3095 kbps 다운스트림 속도와 415 kbps 업스트림 속도를 갖고, 루프길이는 업스트림과 다운스트림의 희망 데이터 레이트가 6dB가 될 때 까지 9-kft 이상으로 증가한다. 세번째, 성능레벨 C는 26-AWG, 15.5-kft 길이를 갖고 425 kbps 다운스트림 속도와 105 kbps 업스트림 속도를 갖고, 루프길이는 업스트림과 다운스트림의 희망 데이터 레이트가 6dB가 될 때 까지 11.5-kft 이상으로 증가한다.

이와 같이 디지털가입자라인에 따른 ADSL 전송 속도 표준이 제공되고 있으므로 본 연구에서는 T1.417 표준을 확장하여 임펄스 잡음환경에서의 ADSL 성능표준을 설정하고자 이에 대한 이론적 해석방법으로 임펄스 신호의 모델화를 통한 ADSL의 SNR 마진을 계산한 후, 그 결과를 그림 4 ~ 그림 8에 나타내었다.

그림 4에 가우스 잡음만의 환경에서 ADSL 업링크와 다운링크상의 루프길이에 따른 SNR 마진을 구하여 그 결과를 비교하였다. SNR 마진의 threshold를 6dB로 가정하면<sup>8)</sup> 업링크상에서는 1.4M(bits/sec) 이하의 성능을 보인 반면, 다운링크상에서는 루프길이에 따라 10,000feet에서 약 7.4Mbits/sec, 8,000feet에서는 약 10.4Mbits/sec, 5,000feet에서는 12Mbits/sec이상의 성능을 보인다. 즉, 업링크상에서는 루프길이에 관계없이 1.4Mbits/sec 이하로 제한되나 다운링크상에서는 루프길이에 따라 전송능력이 크게 다르다는 점을 알 수 있다.

그림 5은 가우스잡음과 NEXT 및 FEXT 잡음이 공존하는 경우의 SNR 마진을 루프길이에 따라 비교한 결과이다. 마찬가지로 threshold를 6dB로 가정하면 업링크상에서는 루프길이가 5,000feet일때 약 1.1Mbits/sec에 비해, 루프길이가 8,000 feet 및 10,000feet로 증가함에 따라 그 전송능력도 850kbits/sec 및 730kbits/sec로 그 열화폭이 크지 않다. 이와는 달리 다운링크상에서는 5000feet일때 약 1.3Mbits/sec이던 전송능력이 루프길이가 8000feet 및 10,000feet로 증가함에 따라 300kbits/sec 및 100kbits/sec로 그 열화폭은 상당히 크다 할 수 있다.

그림 6은 가우스잡음과 NEXT 및 FEXT, 그리고 임펄스 잡음이 공존하는 경우의 SNR 마진을 루프길이에 따라 구한 결과이다. 업링크 상에서는 루프길이에 관계없이 6dB threshold에서 약 300kbits/sec의 전송능력을 보인 반면, 다운링크상에서는 루프길

이가 5000feet에서 600kbits/sec에 비해, 루프길이가 8,000feet 및 10,000feet 길어짐에 따라 그 전송능력도 100kbits/sec 이하로 급격히 열화함을 알 수 있다.

그림 7에 다운링크상에서 임펄스잡음의 영향을 평가하기 위해 가우스잡음만의 환경, NEXT 및 FEXT 잡음환경에서의 SNR 마진을 비교하였다. 1.4Mbits/sec의 전송속도를 기준으로 루프길이가 5,000feet일때 가우스 잡음환경에서는 SNR 마진이 약 65dB인 반면, NEXT 및 FEXT 잡음에서는 약 6dB, 임펄스 잡음에서는 0dB정도로 급격히 열화하고 있다. 한편 루프길이가 10,000feet로 증가하면 NEXT 및 FEXT 잡음환경과 임펄스 잡음환경의 SNR 마진 열화정도는 거의 동일함을 알 수 있다.

그림 8에 업링크상에서 임펄스 잡음의 영향을 평가하기 위해 가우스 잡음만의 경우, NEXT 및 FEXT 잡음의 경우와 SNR 마진을 각각 비교하였다. 1.4Mbits/sec의 전송속도를 기준으로 할 때 루프길이가 5,000feet인 경우 가우스 잡음환경에서는 SNR 마진이 약 45dB인 반면, NEXT 및 FEXT 잡음에서는 약 5dB, 임펄스잡음에서는 20dB로 급격히 열화함을 알 수 있다. 한편, 루프길이가 10,000feet일 경우는 5,000feet일때 보다 가우스 잡음에서나 NEXT 및 FEXT 잡음에서 약 10dB 정도 열화하지만, 임펄스 잡음에서는 루프길이에 상관없이 동일한 성능을 나타낸다.

이상을 종합하여 가우스잡음, NEXT 및 FEXT, 임펄스 잡음환경에서의 전송속도 제한은 표 6와 같다. 본 연구의 결과와 T1.417 ADSL 성능 기준을 비교해보면 가우스 환경 하에서는 10 kft일 때 다운스트림 속도와 업스트림 속도가 각각 7.4 Mbps 및 1.4 Mbps로 T1.417의 9 kft 성능 4.85 Mbps 및 645 kbps를 만족하고 있지만, FEXT 및 NEXT 잡음환경이나 임펄스 잡음환경에서는 만족하지 못함을 알 수 있다.

표 6. 잡음환경에 따른 전송속도 제한 (bits/sec)

잡음환경 \ 루프길이	업 링크			다운 링크		
	5,000 feet	8,000 feet	10,000 feet	5,000 feet	8,000 feet	10,000 feet
가우스	1.4M	1.4M	1.4M	13M	10.4M	7.4M
NEXT&FEXT	1.1M	850K	730K	1.3M	300K	100K
임펄스	300K	300K	300K	600K	100K	50K

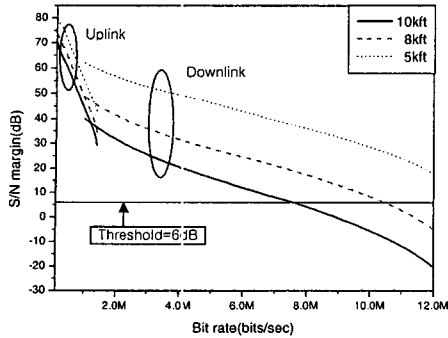


그림 4. 가우스 잡음환경에서의 SNR 마진

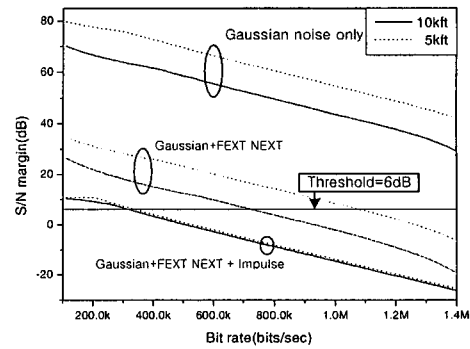


그림 8. 업링크상의 가우스, NEXT 및 FEXT, 임펄스 잡음의 영향 비교

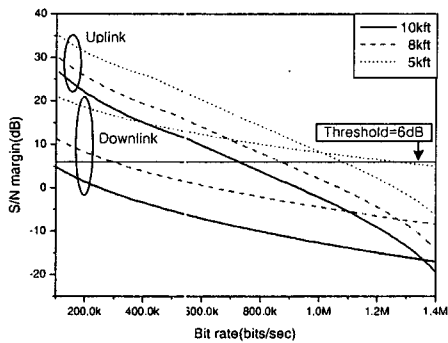


그림 5. NEXT\_FEXT 잡음환경에서의 SNR 마진

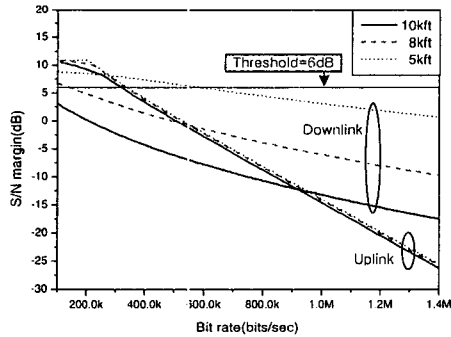


그림 6. 임펄스 잡음환경에서의 SNR 마진

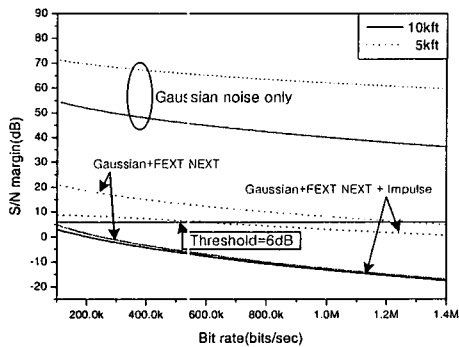


그림 7. 다운링크상의 가우스, NEXT 및 FEXT, 임펄스 잡음의 영향 비교

### V. 결론

본 논문에서는 디지털 가입자 회선에서 임펄스 잡음의 영향을 분석하기 위해 Cook pulse로 알려진 테스트 임펄스 파형의 Class A 모델화에 의한 전력 스펙트럼을 구한 후, SM Class 5의 ADSL 전력제한 특성을 이용하여 SNR 마진을 평가하였다.

그 결과 업링크상에서의 전송성능은 루프전송길이에 따른 열화는 거의 없으며, 잡음의 특성에 의해 전송속도가 제한된다. 한편, 다운링크상에서는 루프전송길이가 증가함에 따라 전송속도의 성능이 상당히 열화하며, 특히 NEXT 및 FEXT 잡음환경이나 임펄스 잡음환경에서 그 전송성능 열화는 더욱 두드러져 8,000feet 이상에서는 업링크 전송속도보다도 낮은 전송속도를 보이고 있다. 또한, 본 연구의 ADSL 성능 분석 결과는 가우스 잡음환경에서는 ANSI T1.417 표준 성능을 만족하지만 NEXT 및 FEXT, 그리고 임펄스 잡음환경에서는 T1.417 표준을 만족하지 않을 뿐만 아니라, ADSL 등은 비대칭 전송에 의한 다운스트림의 전송속도를 보다 빠르게 가져가야 하므로 NEXT 및 FEXT, 임펄스 잡음 등에 대한 적극적인 대책마련이 무엇보다도 중요하다 하겠다. 그 예로서 NEXT와 FEXT의 간섭을 줄이기 위해 타 디지털 가입자라인의 제한된 거리내의 설치를 규제해야 하며, 임펄스 잡음의 영향을 줄이기 위한 convolution 부호의 적극적인 도입 등이 필요하다. 따라서 향후 임펄스 잡음 등의 대책 연구 등이 이루어져야 할 것이다. 결론적으로 본 연구의 결과는 ADSL의 임펄스 잡음을 포함한 복합 잡음환경에서의 ADSL 성능 표준을 설정하는데 그 기본 자료로 활용될 수 있을 것이다.

