

# VDSL 시스템의 상호 누화 영향에 관한 연구

\*이종훈°, \*한기훈, \*박 준, \*\*이재진, \*송상섭  
\*전북대학교 전자공학과, \*\*KT

## Study on crosstalk effect of VDSL systems

\*Jong-Hoon Lee°, \*Ki-Hoon Han, June Park, \*\*Jae-Jin Lee, \*Sang-Seob Song  
\*Department of Electronics Engineering, Chonbuk National University, \*\*KT  
jhlee@codelab.chonbuk.ac.kr

### Abstract

Crosstalk among telephone lines in the same bundles is a major impairment in current VDSL systems. In this paper, we analysis the crosstalk effect of DSL using different frequency band upon ANSI standard VDSL systems. Simulation results show that data rate of ANSI VDSL decrease by crosstalk from another VDSL using different frequency. This study has the potential implication and benefit for ANSI standard DMT VDSL energy distribution in subchannel

### 1. 서 론

인터넷을 비롯한 다양한 정보통신망을 기반으로 하는 서비스에 대한 수요가 빠른 속도로 증가하고 있다. 국내에서는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 기술이 널리 사용되고 있었지만 최근에는 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 사용자의 욕구가 증가함에 따라 보다 빠른 속도를 제공하는 VDSL(Very-high-bit-rate DSL) 서비스 가입자가 급속하게 증가하고 있다.

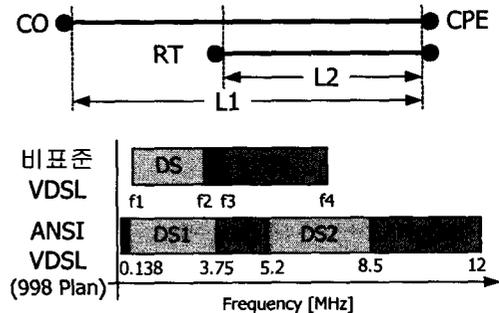
2003년 여름 ANSI에서 DMT(Discrete Multi Tone) 방식을 사용하고 상향과 하향 대역을 2개씩 사용하는 ANSI 표준 VDSL을 표준화하였다. 그러나 ANSI 표준에 따르는 VDSL이 아니라 주파수 대역을 다르게 사용하거나 또는 상하향 대역의 개수가 다른 VDSL이 존재할 수 있다.

본 논문에서는 비표준 VDSL과 ANSI 표준의 VDSL이 동일한 케이블 번들 내에서 같이 서비스 될 경우 각각의 성능에 대해서 논의한다. 대역이 서로 다른 두 시스템이 같은 케이블 번들 내에서 서비스 되면서 발생하는 누화(crosstalk) 영향을 분석하여 전송 성능에 미치는 영향을 분석한다.

### 2. ANSI 표준 VDSL

#### 2.1 VDSL의 주파수 대역

VDSL은 ADSL보다 높은 주파수 대역까지 사용하는 방식이다. 따라서 높은 전송률을 얻을 수 있지만 상대적으로 서비스 거리는 ADSL에 비해서 짧다. 따라서 일반적으로 ADSL이 CO(Central Office) 기반으로 서비스 되는 반면에 VDSL은 RT(Remote Terminal) 기반으로 서비스 된다. 다음 그림 1은 VDSL 서비스 거리와 사용 주파수를 보여준다.

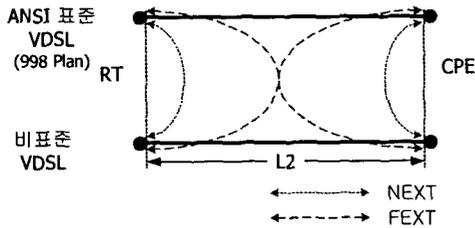


[그림 1] VDSL 주파수 대역 및 서비스 거리

그림 1에서 L1은 기존의 CO 기반의 ADSL 서비스 거리이고 L2는 RT 기반의 VDSL 서비스 거리이다. 비표준 VDSL의 경우 ANSI 표준의 VDSL(998 plan)과 상하향의 주파수 대역이 다르게 사용될 수 있다. [1]. L1의 경우 통상 최대 18kft(약 5.5km)까지 사용할 수 있으며 L2의 경우 최대 3kft(약 1km) 전후로 범위는 갖는다. 본 논문에서는 비표준 VDSL의 경우 선로의 감쇠 현상이 심한 DS2와 US2 대역을 사용하지 않고 상향과 하향을 각각 한 개씩 사용한 경우를 예로 들기로 한다. (f1=1MHz, f2=3.5MHz, f3=7MHz, f4=9MHz)

## 2.2 VDSL의 누화

만약 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL의 상향 및 하향의 주파수 대역이 일치한다면 FDD(Frequency Division Duplex)를 이용하여 NEXT의 영향을 거의 제거할 수 있지만 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL 밴드의 상하향 주파수 대역은 일치하지 않는다면 두 시스템 사이에서 NEXT와 FEXT가 존재하게 되고 이것은 VDSL 전송 성능에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 VDSL 전송 성능은 서비스 거리인 L2의 길이뿐만 아니라 NEXT와 FEXT의 영향을 받게 된다. 다음 그림 2는 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL 사이에서 누화 영향을 나타낸 것이다.



[그림 2] VDSL의 NEXT 및 FEXT

L2는 RT에서 가입자까지의 거리를 의미하며 보통 3kft이내이다. 일반적으로 NEXT는 주파수의 1.5승에 비례하므로 거리가 가까울수록 NEXT의 영향은 매우 커진다. FEXT의 경우는 주파수와 선로길이에 따라 다르게 영향을 받는다. 다음 식은 각각 NEXT와 FEXT를 정의하는 식이다[1].

$$|H_1(f, L)|^2 = K_{next}(n/49)^{0.6} f^{1.5} [1 - H(f, L)] \quad (1)$$

$$|H_2(f, L)|^2 = |H(f, L)|^2 K_{fext}(n/49)^{0.6} L f^2 \quad (2)$$

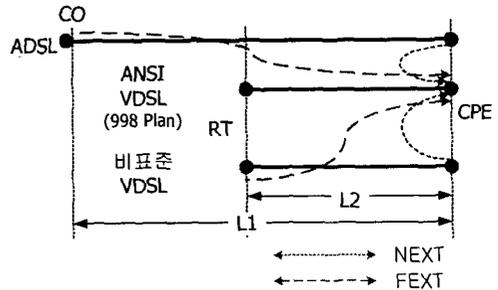
$H_1$ 은 NEXT,  $H_2$ 는 FEXT를 의미한다.  $H(f, L)$ 은 삽입손실 전달함수의 크기이고,  $n$ 은 disturber의 개수,  $L$ 은 선로의 길이,  $f$ 는 주파수,  $K_{next}$  및  $K_{fext}$ 는 선로의 종류에 따른 crosstalk coupling 상수로서 선로의 종류가 UTP-3, UTP-5일 경우 각각 다음과 같다.

$$K_{next} = 8.818 \times 10^{-14} \quad K_{next-cat5} = 3.30 \times 10^{-16}$$

$$K_{fext} = 7.999 \times 10^{-20} \quad K_{fext-cat5} = 2.44 \times 10^{-22}$$

## 2.3 VDSL 및 ADSL의 누화 환경

실제로 VDSL 가입자의 위치에서 보면 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL 사이에서 발생하는 누화에 더해서 CO 기반에서 서비스되는 ADSL에서 발생하는 누화의 영향도 받게 된다. 다음 그림 3은 ANSI 표준 VDSL의 가입자의 하향방향에서 CO 기반의 ADSL과 RT 기반의 VDSL 사이에서 발생하는 누화의 영향을 종합하여 나타낸 것이다.



[그림 3] ADSL 및 VDSL에서 발생하는 누화

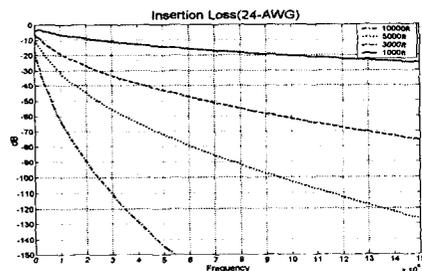
ANSI 표준 VDSL 사용자의 하향에서 보면 모두 4 종류의 누화영향을 받는다. RT에서 서비스되는 VDSL의 상향에서 발생하는 NEXT와 하향에서 발생하는 FEXT가 영향을 주게 되고 CO에서 서비스되는 ADSL의 하향에서 발생하는 FEXT와 상향에서 발생하는 NEXT 또한 영향을 미치게 된다. 여기서 ADSL에 의해 발생하는 FEXT의 경우 (L1-L2)의 길이에서 발생하는 감쇄 영향을 고려해야한다. 그리고 ADSL의 누화와 VDSL의 누화의 합은 다음과 같은 식 이용한다 [1].

$$Total \ xtalk = (ADSL^{1/0.6} + VDSL^{1/0.6})^{0.6} \quad (3)$$

## 3. 누화 영향 분석

### 3.1 선로의 환경

L1 및 L2에 사용되는 선로는 24-AWG를 사용하였으며 삽입 손실(insertion loss)의 전달함수는 24-AWG의 R,L,C,G 파라미터들을 이용해서 모델링 하였다. 다음 그림 4는 24-AWG(0.5mm) 선로의 거리에 따른 삽입 손실을 나타낸 것이다.

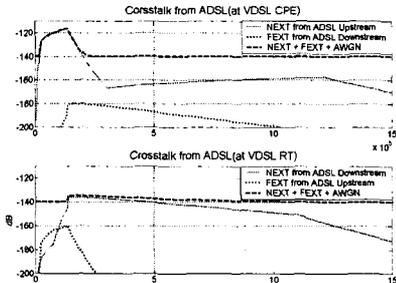


[그림 4] 24-AWG의 삽입 손실

### 3.2 ADSL의 누화 영향

ADSL은 먼 거리에서 서비스되고 있어서 감쇄가 적은 부분인 저주파수 영역에서만 영향을 미친다. 다음 그림 5는 L1은 10kft이고 L2가 3kft일 때의 ADSL에 의해 발생하는 누화의 영향을 나타낸다. VDSL의 가입자 측(그림 5의 상단)에서는 ADSL 하향 FEXT와 ADSL 상향 NEXT의 영향을 받게 되고, VDSL의

RT(그림 5의 하단) 측에서는 ADSL 상향 FEXT와 ADSL 하향 NEXT의 영향을 받는다. 그림 5에서 AWGN은 -140[dBm/Hz]를 적용하였고 ADSL은 케이블 번들 내에서 총 50쌍의 선로 중에서 10개가 서비스 되는 경우를 가정하였다.



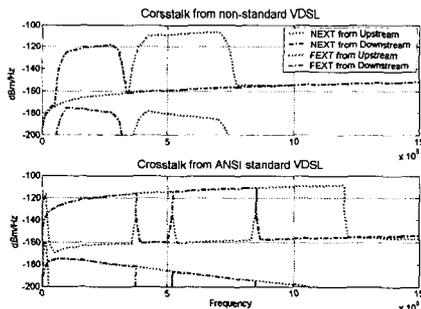
[그림 5] ADSL이 VDSL에 미치는 누화영향

위 그림 5에서 보면 VDSL의 가입자(CPE) 측에서나 VDSL의 RT 모두 NEXT의 영향이 FEXT의 영향보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. VDSL의 가입자 측에서 보면 1MHz 이내의 대역에서 ADSL의 상향에서 발생하는 NEXT의 영향을 받게 된다. 또한 ADSL의 하향에서 발생하는 누화의 영향은 AWGN과 비슷하여 결과적으로 VDSL의 RT에 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

### 3.3 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL의 누화영향

앞에서 언급한 것처럼 본 논문에서는 비표준 VDSL의 경우 상향과 하향 대역을 각각 하나씩 사용하는 것으로 가정하였다. 비표준 VDSL은 ANSI 표준 VDSL의 RT에는 하향에 의한 NEXT와 상향에 의한 FEXT가 영향을 주게 되고, ANSI 표준 VDSL의 가입자에는 상향에 의한 NEXT와 하향에 의한 FEXT가 영향을 준다.

다음 그림 6은 비표준 VDSL 및 ANSI 표준 VDSL의 NEXT와 FEXT를 나타낸 것이다. 그림 6에서는 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL 모두 49개의 disturber가 존재할 경우를 가정한 것이다.(L2=3kft)



[그림 6] VDSL의 NEXT 및 FEXT

그림 6에서 알 수 있듯이 VDSL의 NEXT의 성분이 FEXT보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. FEXT의 크기는

대부분의 대역에서 AWGN의 크기인 -140dBm보다 작다. 따라서 FEXT의 경우 VDSL 시스템의 전송용량에 거의 영향을 주지 않는다. 그러나 NEXT의 경우 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL의 상향 또는 하향의 대역이 중첩될 경우에는 많은 영향을 미칠 수 있다.

## 4. VDSL의 전송 용량

ANSI T1E1.4에서는 VDSL 신호가 138kHz에서 12 MHz까지의 주파수 대역에서 100Ω의 임피던스로 측정했을 때 광대역 신호의 평균 전력을 아래 표와 같이 제한하고 있다[1]

[표 1] VDSL의 최대 전송 전력

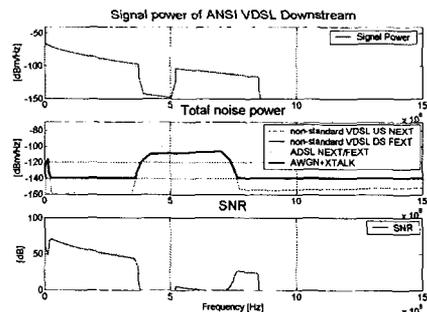
Central office deployment scenario		Cabinet deployment scenario	
하향[dBm]	상향[dBm]	하향[dBm]	상향[dBm]
14.5	14.5	11.5	14.5

DMT 방식의 VDSL 시스템의 전송용량을 구하기 위한 식은 다음과 같다[3].

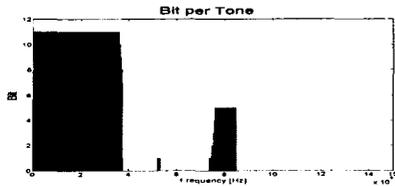
$$\sum_{n=1}^N \log_2 \left( 1 + \frac{SNR_n}{F} \right) \times \frac{1}{T} \quad (4)$$

여기서  $N$ 은 부채널의 개수이고,  $n$ 은 부채널 번호이고  $1/T$ 는 심볼율을 의미한다.  $F$ 는 SNR gap이다.  $F$ 는 10dB를 적용하였고, 심볼율을 4kHz를 사용하였다[4].

아래 그림 7은 10개의 ADSL과 24개의 비표준 VDSL의 영향을 받고 있는 표준 ANSI 표준 VDSL의 하향의 신호의 전력, 잡음 전력, SNR을 나타낸 것이다. 각 부채널에 할당할 수 있는 최대 비트 수는 8비트에서 15비트까지 가능하다[2]. 본 논문에서는 최대 11비트까지 할당하여 시뮬레이션 하였다. 그림 8에서는 부채널별로 할당된 비트수를 나타내었다. 그림 7에서 보면 비표준 VDSL의 상향에서 발생하는 NEXT의 영향으로 ANSI 표준 VDSL DS2 밴드에 많은 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다.



[그림 7] ANSI 표준 VDSL 하향의 SNR



[그림 8] ANSI 표준 VDSL 하향의 비트할당

표 2와 표3에서는 VDSL 시스템의 전송용량을 누화의 영향이 있을 때와 없을 때로 구분하여 정리하였다. D는 하향, U는 상향의 속도를 의미한다. ANSI 표준 VDSL의 U\*는 상향의 2번째 밴드인 US2 밴드를 사용하지 않았을 경우의 전송 속도를 나타낸다.

[표 2] VDSL 전송용량(No crosstalk) [Mbps]

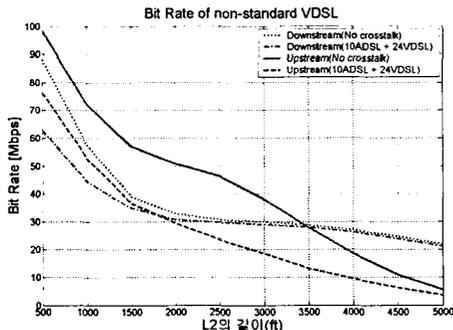
거리		500ft	1kft	2kft	3kft	5kft
ANSI 표준 VDSL	D	106.3	86.54	74.36	58.36	28.42
	U	105.7	85.77	61.68	31.68	6.90
	U*	47.61	41.66	31.72	22.50	6.90
비표준 VDSL	D	88.27	57.37	32.90	29.92	21.92
	U	98.18	72.16	50.88	38.16	5.5

[표 3] VDSL 전송용량(10ADSL + 24VDSL)[Mbps]

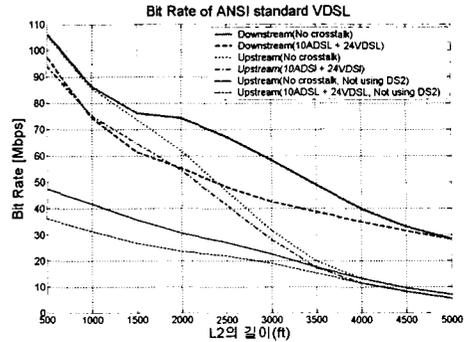
거리		500ft	1kft	2kft	3kft	5kft
ANSI 표준 VDSL	D	97.42	74.56	55.23	42.66	28.16
	U	94.32	75.27	54.45	28.14	5.61
	U*	36.32	31.32	23.62	19.05	5.61
비표준 VDSL	D	62.72	44.34	30.79	29.02	21.16
	U	76.40	52.81	29.44	18.60	3.60

표 2와 표3의 내용을 비교해 보면 3kft의 거리에서 누화의 영향이 없을 때 ANSI 표준 VDSL의 하향은 약 58Mbps에서 누화의 영향을 받게 되면 약 42Mbps로 감소하고 있다.

다음 그림 9와 그림 10은 2밴드 및 ANSI 표준 VDSL의 전송속도를 L2의 길이(VDSL의 서비스 길이)의 변화에 따라 보여주고 있다.



[그림 9] 비표준 VDSL 전송 속도



[그림 10] ANSI 표준 VDSL의 전송속도

L2의 거리가 증가함에 따라 VDSL의 전송 속도는 감소한다. 특히 하향의 속도보다 상향의 속도가 거리에 따라 더 민감하게 감소하는 것을 알 수 있다. 비표준 VDSL의 하향의 경우 2kft에서 4kft의 거리에서는 큰 감소 없이 30Mbps 정도의 값을 유지하는 것도 알 수 있다.

그리고 ANSI 표준 VDSL에서 L2의 거리가 1km 이상일 경우 US2(8.5MHz~12MHz)의 사용이 불필요하다고 판단할 수 있다.

## 5. 결 론

ANSI에서 상향과 하향 대역이 각각 2개로 4개 밴드를 사용하는 DMT 방식의 VDSL을 표준화하였다. 그러나 ANSI의 표준을 따르지 않는 주파수 대역을 사용하는 VDSL이 존재한다면 ANSI 표준 VDSL에 누화 영향을 크게 미칠 수 있다.

본 논문에서는 비표준 VDSL과 ANSI 표준 VDSL이 동일한 케이블 번들 안에서 서비스 될 경우에 두 시스템에서 발생하는 누화의 영향을 분석하였다. 향후 DMT 방식의 ANSI 표준 VDSL이 서비스 될 경우 본 논문에서 분석한 누화 영향의 결과를 토대로 각 부채널에 할당하는 에너지를 적절히 조정 분배함으로써 비표준 VDSL과 동시에 서비스될 때에도 그 성능 열화를 최소화 하는데 적용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Qi Wang, "Very-high-bit-rate Digital subscriber Line(VDSL) Metallic Interface," T1E1.4/2001-009R5, Feb. 2001.
- [2] J. M Cioffi, "Very-high-speed Digital Subscriber Line-System Requirements," T1E1.4/98 -R043R8, Nov. 1998.
- [3] J. M. Cioffi, Lecture Notes for Advanced Digital Communications, Stanford, Fall 1997.
- [4] J. M. Cioffi, "Dynamic Spectrum management Report," T1E1.4/2003-018R5, Aug. 2003.