

가입자 통신회선에서의 잡음특성 및 ADSL 전송성능에의 영향

*오호석, *홍상기
*한국통신 가입자망연구소

The Noise Environment on Subscriber Loop and it's Effects on the ADSL Services

*H. S. Oh, *S. K. Hong
*Access Network Research Lab., Korea Telecom

요 약

가입자망의 대다수를 차지하는 동케이블(copper cable)을 이용한 고속데이터 서비스가 증가, 발전하고 있는데 전송로상에서의 낙뢰, 전력유도 등 외부 전자기적 환경에 의해 통신회선에 잡음이 발생하고 이러한 잡음은 고속데이터 서비스의 전송품질에 영향을 미치게 된다. 본 고에서는 가입자 통신회선에서 나타나는 잡음분포를 분석하고 ADSL 서비스에 있어 전송속도와의 관계를 보았다. 주로 AM방송주파수가 주요 잡음원으로 나타났으며, 전송속도는 배경잡음 및 방송주파수와 매우 밀접한 관계를 보인다.

1. 서론

정보통신기술의 발달로 xDSL 고속데이터통신이 급속도로 발전하고 있다. 최근 초고속데이터망구축을 위해 점차 광케이블이 증가하고 있으나 xDSL 기술은 가입자선로시설의 대부분을 차지하는 동선로 케이블의 활용을 극대화시키기 위해 개발된 기술로 국내에서도 ADSL등의 고속데이터서비스가 급성장하고 있다. 신규사업자들의 경우 대규모 아파트 단지를 중심으로 광케이블을 구내 통신실까지 인입하여 택내까지는 동선로를 활용하여 고속데이터서비스를 제공하고 있고, 한국통신의 경우 광케이블이나 동케이블을 활용하여 모든 가입자로 인입된 기반시설을 활용하여 현재 고속데이터서비스를 제공하고 있다. 여기서 동케이블은 단말측이나 전구간에 걸쳐 사용될 수 있는데 전송매체가 동(copper)을 이용한 것이므로 외부로부터의 노이즈에 영향을 많이 받게 된다. 이러한 노이즈는 음성급통신에서는 귀에 거슬리는 잡음으로 나타나며 데이터통신에서는 비트에러, 통신두절, 전송속도 등의 성능저하를 유발한다. 본 고에서는 동케

이블을 대상으로 가입자회선에 나타나는 10kHz~1.5MHz 주파수대역 내에서의 잡음 분포와 레벨을 조사 분석하였고, 잡음레벨에 따라 최근 급속도로 보급되고 있는 ADSL 서비스에 있어 전송속도와의 관계를 측정을 통해 분석하였다.

2. 통신회선의 특성

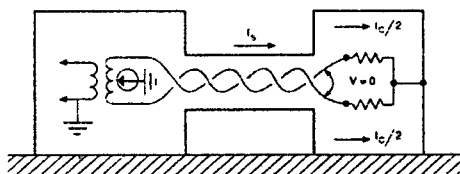
가입자 통신케이블은 수 회선~수 천 회선으로 구성되어 있으며 수백m~수km 까지 지하 또는 가공에 설치되어 있어, 특히 옥외에 설치되어 있는 통신케이블은 낙뢰, 전력선, 전철선 및 기타 다양한 전자파환경에 노출되어 있다. 케이블 내 2가닥으로 구성되어 있는 통신회선은 다양한 외부 전자파환경에 의한 전자기결합 현상으로 단말에서는 유도잡음이 나타나게 되며 결국 통신회선의 전송특성을 저하시키게 된다. 또한 이러한 외부적 영향 외에 한 케이블 내에는 다양한 서비스를 제공하는 통신회선이 존재하므로 통신회선간의 영향 즉, 누화(crosstalk)가 존재한다. 이와 같이 하나의 통신회선에 나타나는 노이즈는 외부

전자파환경에 의해 나타나는 잡음과 케이블 내 인접 회선에 의해 나타나는 누화잡음 그리고 기타 잡음 등이 공존하게 된다.

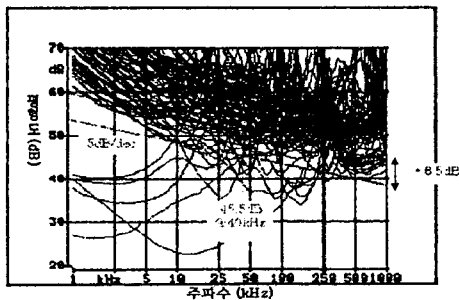
외부의 전자파로 인해 통신회선에 나타나는 잡음은 다음과 같은 다양한 요소에 의해 결정된다.

- 잡음원의 세기
- 잡음원과의 거리
- 케이블의 길이
- 케이블 차폐층의 차폐성능
- 통신회선의 평형도(balance)

여기에서 평형도는 통신회선의 고유 특성으로 내부적으로 발생하는 공통모드(common mode)의 노이즈를 차동모드(differential mode)로 변환시키는 변수가 된다. 실제 장구간의 케이블이 설치되면 회선(L1, L2)과 대지간의 전기적 특성이 변화하게 되며 이로 인해 평형도 저하가 나타난다. <그림 1>과 같이 공통모드로 발생된 전류는 단말에서 회선의 평형도에 따라 차동모드의 전류가 존재하게 된다. <그림 2>는 1kHz ~ 1MHz 까지 실제 여러 가입자회선의 평형도를 측정 한 것으로 주파수가 증가함에 따라 감소하고 회선에 따라 매우 다양함을 알 수 있다. 측정된 일부 회선의 경우 저주파수측에서 낮은 평형도를 갖는데 평형도가 낮은 주파수대역에서의 잡음이 상대적으로 높게 나타난다. 평형도가 매우 양호하다면 단말에서는 거의 잡음이 발생하지 않지만 실제로는 그렇지 못하다.



<그림 1> 평형회로에서 공통모드의 제거



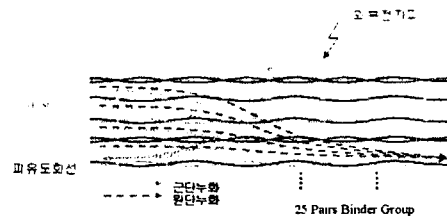
<그림 2> 가입자회선의 평형도

3. 가입자회선에서의 잡음환경

앞서 언급한 것처럼 통신회선에 나타나는 잡음 발생요인을 내부적인 것과 외부적인 것으로 구분하였는데 이를 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다.

가. 내부적 요인

케이블 내에는 <그림 3>과 같이 여러 회선이 존재하게 되는데 인접회선간의 전자기결합을 통하여 누화(crosstalk)가 발생하게 된다. 최근에는 동케이블을 이용한 다양한 고속데이터서비스가 등장하여 누화영향을 고려한 서비스간 spectrum management가 매우 중요한 기술로 등장하고 있다. 특히 근단누화(NEXT, Near End Crosstalk)는 송출신호가 인접회선의 수신신호에 영향을 끼치는 것으로 동일 주파수 대역을 사용하는 다른 서비스간에 전송품질에 매우 중요한 요소이다. 인접회선에 ISDN, ADSL, HDSL 등의 다양한 서비스가 존재할 때 여러 서비스 중 ADSL과 HDSL의 주파수대역이 가장 많이 중첩되어 있으므로 서로간의 누화간섭 영향을 신중히 고려해야 한다.

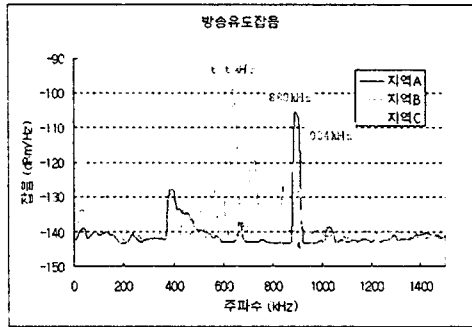


<그림 3> 동일케이블 내에서의 누화 현상

나. 외부적 요인

가입자회선에서 나타날 수 있는 외부적 요인으로 는 낙뢰, 전력선, 전철시설, 방송송신탑, 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. 특히 방송송신탑에 의한 영향을 살펴보면 AM 방송은 535kHz ~ 1605kHz 대역에 존재하는데 이는 ADSL 주파수대역과 거의 일치하여 가장 큰 장애 요소로 나타난다. <그림 4>는 AM방송송신탑 인근에 위치한 가입자회선에서 측정된 결과로 특정 방송주

파수의 전력밀도가 매우 크게 나타나게 됨을 알 수 있다.



<그림 4> AM 방송송신탑 인근 가입자회선의 PSD

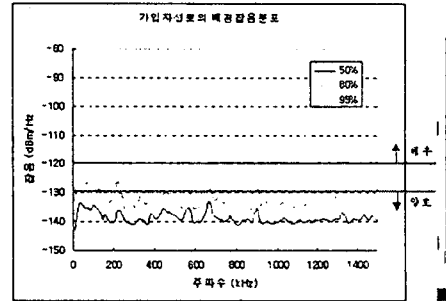
다. 배경잡음(Background Noise)

디지털 전송장치의 평형 일력단에 나타나는 노이즈는 앞에서 설명한 내부적 요인과 외부적 요인이 결합하여 나타나며 이를 배경잡음이라 한다[1]. 이 배경잡음의 레벨은 전송장치의 설계에 있어 신호대잡음비를 결정하는 중요한 요소이다. 가입자선로의 특성에서 설명하였듯이 단말에 나타나는 잡음레벨은 여러 가지 요인들에 의해 결정되는 것이므로 여기서는 잡음원 종류와 레벨을 고려하지 않고 가입자회선 단말에 나타나는 분포를 보였다.

통계적 데이터를 추출하기 위해 농어촌, 중소도시, 대도시를 구분하여 9개 지역 약 600회선을 측정하였다(신뢰도 90%). <그림 5>에서 주파수별 배경잡음을 살펴보면 가장 아래의 실선은 가입자 회선 약 50%를 차지하는 통계적 평균값(median)으로 -140 dBm/Hz의 값을 갖는다(표준편차 6dBm). 그 위의 실선은 전체회선의 약 80%를 차지하는 레벨로서 비교적 양호한 회선에 나타나는 분포이다. 가장 위의 실선은 불량한 경우로 전체 5% 이내가 이 값을 차지한다. 이 경우는 외부잡음에 의한 경우보다는 회선의 평형도 불량에 따른 결과로 나타난다. 여기서 측정된 주파수는 10kHz ~ 1.5MHz 대역으로 ADSL 이하의 디지털통신 주파수대역을 포함한다. 이러한 측정결과로부터 고속데이터서비스를 제공하는데 있어 레벨분포가 -130dBm/Hz 이하를 양호회선으로, -120dBm/Hz 이상을 불량회선으로 구분할 수 있다.

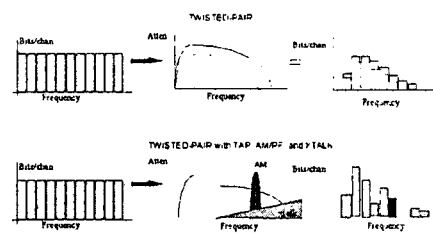
4. ADSL 전송속도와 잡음과의 관계

가. ADSL 전송방식의 특징



<그림 5> 가입자회선의 주파수별 PSD

국내에서 사용되는 ADSL은 DMT(Discrete Multitone)방식을 사용하는데 이는 다중 반송파 변조(Multicarrier Modulation)의 일종이다. 이 방식의 특징은 선형왜곡을 가진 채널, 즉 가입자회선의 ADSL 전송대역을 256개의 협대역 서브채널로 나누어 각각의 서브채널에서 QAM을 동시에 수행한다. SNR(신호대잡음비)이 큰 서브채널에서는 고밀도 QAM constellation을 사용하여 많은 비트를 할당하고 SNR이 작은 채널에서는 적은 수의 비트를 할당하거나 전혀 할당하지 않는 특징을 가지고 있다[2]. 따라서 <그림 6>과 같이 선로손실이나 외부 잡음에 적절하게 비트할당을 하기 때문에 RADSL(Rate Adaptive ADSL)이라고도 한다. 이러한 특징은 외부로부터 잡음이 발생하는 경우 그 주파수에 해당하는 채널에서 비트를 할당하지 않으므로 전송속도는 저하되지만 통신은 가능하다.



<그림 6> 서브채널의 비트할당[3]

나. 배경잡음에 따른 전송속도

이러한 특징을 갖는 ADSL 시스템에 대해 실제 케이블을 가지고 현장에서 측정된 잡음환경을 바탕으로 잡음을 인가하여 ADSL 전송속도와의 관계를 확인하였다. 배경잡음의 크기는 회선마다 다르게 나타나므로 실제 단말에 잡음을 인가하여 잡음레벨에 따른 전송속도를 측정하였다. 미국표준에서는 ADSL

가입자회선의 신호 및 노이즈를 측정하는데 G-필터를 사용한다. 이는 20kHz~1100kHz의 대역통과 필터의 특성을 갖는다[4]. 그러나 이 때의 측정값과 전송성능과의 관계는 언급되어 있지 않다.

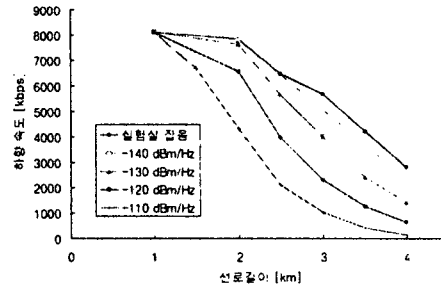
사용된 통신회선은 0.4mm 직경의 JF-FS(Jelly Filled Foam Skin)케이블을 사용하였고 가입자케이블 거리의 90% 누적분포를 갖는 4km까지 측정하였다. 배경잡음은 noise generator를 이용하여 -140dBm/Hz~-110dBm/Hz 까지 인가하였으며, AM 방송 잡음의 영향을 알아보기 위해 반송주파수 600kHz, 최대전력레벨이 -24.7dBm, -21.2dBm, -18.7dBm인 AM 신호를 실험실에서 waveform generator를 이용하여 인가하였다.

<그림 7>과 <그림 8>은 배경잡음에 따른 ADSL 전송속도 변화이다. 상향은 하향보다 속도 저하가 작게 나타났으며 배경잡음이 -120dBm/Hz 이상인 경우는 평균적인 배경잡음(-140dBm/Hz)에 비해 하향속도가 1~4Mbps 정도 저하되었다.

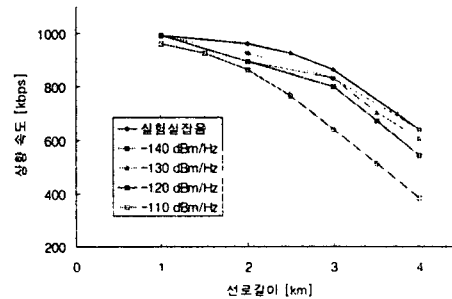
<그림 9>는 AM방송잡음을 인가한 것으로 반송주파수에서 비트 할당이 이루어지지 않으므로 속도저하가 발생하며 최대전력레벨이 증가할수록 영향을 받는 서브채널이 증가하여 속도가 저하됨을 알 수 있다. 4km의 선로에 최대전력레벨이 -18.7dBm의 AM 방송잡음을 주입한 경우는 링크를 잡지 못하였다. 이것은 DMT 기반의 xDSL에서 수신단의 FFT(Fast Fourier Transform)에 의해 잡음이 확산되어 많은 서브채널에 영향을 주기 때문이라고 분석된다[5].

또한 각각의 잡음환경에서의 G-필터 잡음값은 <표 1>과 같다. AM 방송잡음의 경우 반송주파수에 해당하는 전력레벨이 상대적으로 매우 커서 G-filter 잡음값은 반송주파수의 최대전력레벨값과 거의 동일하게 나타난다. AM 방송잡음을 인가한 경우의 G-필터 잡음값은 배경잡음(white noise)의 경우보다 매우 컸지만 속도저하는 큰 차이를 보이지 않았다. 실제로 최대전력레벨이 -24.7dBm의 AM 방송잡음과 배경잡음 -130dBm/Hz의 G-필터 잡음값은 각각 -24.7dBm, -68dBm이지만 ADSL 하향속도는 유사한 값을 나타내었다. 따라서 G-필터 잡음값만으로 ADSL 속도 예측을 하는 것은 곤란하므로 잡음 PSD도 함께 고려하는 것이 필요하다. <그림 10>은 선로거리가 2km인 경우의 AM 방송잡음 유무에 따른 서브채널에 할당되는 비트 수를 나타낸 것이다. 600kHz 부근의 서브채널에서 AM 방송잡음으로 비트가 할당되지 않으므로 전송속도를 저하시킨다.

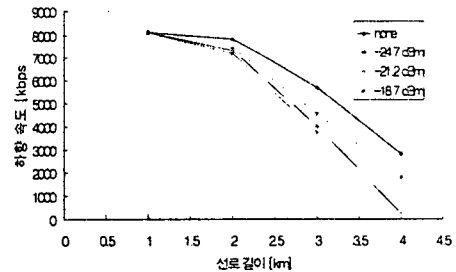
<그림 11>은 현장에서 G-필터를 사용하여 측정된 값과 ADSL 전송속도와의 관계를 나타낸 것으로 대부



<그림 7> 배경잡음에 따른 ADSL 하향속도



<그림 8> 배경잡음에 따른 ADSL 상향속도

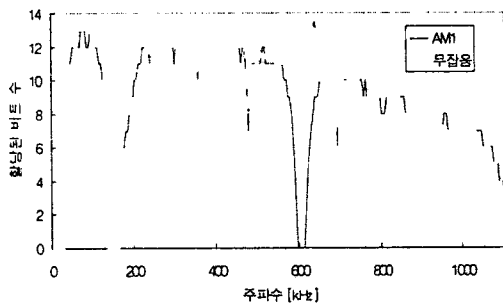


<그림 9> AM 방송잡음과 ADSL 하향속도

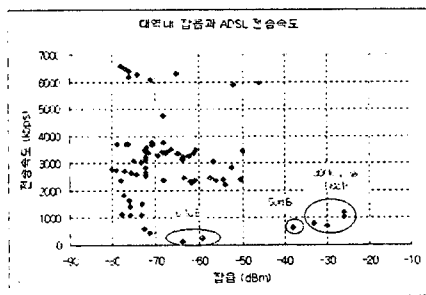
<표 1> 잡음 종류와 G-filter 잡음

잡음 종류	G-filter 잡음 [dBm]
실험실 배경잡음	-73
-140 dBm/Hz	-71
-130 dBm/Hz	-68
-120 dBm/Hz	-58
-110 dBm/Hz	-48
AM1 (peak=-24.7dBm)	-24.7
AM2 (peak=-21.2dBm)	-21.2
AM3 (peak=-18.7dBm)	-18.7

분 -50dBm 이하의 값에 분포하고 있으며 그 이상의 경우에는 회선의 평형도가 불량한 경우에 나타난 결과이다. 이로부터 앞에서 시험한 전력레벨은 현장 상황보다는 매우 높은 레벨을 인가한 것이다. 또한 잡음에 따라 전송속도가 매우 다양하게 분포되어 있는 것은 가입자회선의 거리, 즉 손실과 관련되어 나타나기 때문이다. 손실이 작은 경우에는 유사한 잡음크기라 하더라도 높은 전송속도를 갖는다.



<그림 10> AM 방송잡음 주입에 따른 비트 할당



<그림 11> G필터 측정값과 전송속도

지금까지 배경잡음과 AM 방송잡음으로 인한 ADSL 전송성능과의 관계를 살펴보았는데 동일 선로 거리에 대해 배경잡음의 변화에 따라 속도변화가 크게 나타남을 알 수 있고, AM 방송잡음이 나타나는 경우 해당 주파수에 비트할당을 하지 않으므로 인해 전송속도가 저하됨을 알 수 있다. 실제 가입자 통신 회선에서 나타나는 잡음에서 특정주파수에 의한 간섭은 주로 AM 방송잡음이며 위의 예는 하나의 주파수만을 고려하여 측정하였으나 지역에 따라 여러개의 주파수가 동시에 나타날 수 있으며 이러한 경우의 속도저하는 더욱 크다 할 수 있다.

5. 결론

고속데이터서비스를 제공하는 가입자 통신회선의

전송매체는 대부분 동케이블인데 현장측정을 통하여 가입자회선에 나타나는 잡음의 경향을 살펴보고 이를 근거로 하여 잡음레벨에 따른 ADSL 전송성능에의 영향을 살펴보았다. 가입자통신회선에서 나타나는 주요 전자파장해는 AM방송이었으며 이것은 추가적인 성능저하를 초래하게 된다. 이외에 전력선/전철선에서 발생할 수 있는 아크방전에 의한 직접적인 영향도 검토되어야 할 것이다. 이러한 잡음에의 영향을 최소화시키기 위해서는 케이블 평형도 증가, 케이블 차폐 및 지하와 등 몇 가지 대책이 있을 수 있으나 케이블 평형도를 개선시키는 것은 매우 어렵고, 차폐효과를 상승시키기 위해서는 케이블의 구조 및 재질을 개선해야 하므로 매우 어려운 실정이다. 이러한 이유로 광케이블로 대체하는 것이 효과적이라고 하는 주장[6]도 있으나 비용이 급증하는 단점이 있다. 본 고의 결과는 선로손실과 잡음영향으로부터 고속디지털서비스의 전송성능 및 장치성능 개선 그리고 전송속도 예측 등에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] Reeve, W. *Subscriber Loop Signaling and Transmission Handbook* : Digital. IEEE Press, 1992
- [2] J. M. Cioffi, "A Multicarrier Primer". Amati Communications Corporation and Stanford University, T1E1.4/91-157, Nov., 1991
- [3] T. Starr, J. M. Cioffi and P. J. Silverman. *Understanding digital subscriber line technology*, Prentice hall, 1999
- [4] IEEE Std 743-1995. IEEE Standard Equipment Requirements and Measurement Techniques for Analog Transmission parameters for Telecommunications
- [5] B. J. Jeong, K. H. Yoo, "Digital RFI canceller for DMT based VDSL", *Electronics Letters*, Vol. 34, No. 17, pp.1640-1641, 1998
- [6] John W.C., "The Noise and Crosstalk Environment for ADSL and VDSL Systems", BT Lab. IEEE Communication Magazine, May 1999