

데이터 서비스용 HFC망에서 셀당 가입자 수용능력 분석

장 태 우

(주)파워콤 연구개발팀

전화 : 02-6250-2342/e-mail : gyver@powercomm.com

The Analysis of the Subscriber Capacity in a Cell of Data Service HFC Network

Tae-woo Chang

Powercomm Co. Research and Development Team

E-mail : gyver@powercomm.com

Abstract

The upstream noise level was measured and analysed for the sample HFC networks to find subscriber capacity in the HFC network that is only for cable modem services. The upstream bands were measured not only in HFC networks that have accommodated only cable modem subscribers but in CATV networks that have accommodated cable modem and CATV subscribers. The study says that C/N of HFC networks be maintained though the networks have more cable modem subscribers than CATV networks do. This results are being expected to be used as a basis of network design and management of HFC network provider.

I. 서론

케이블모뎀 서비스는 케이블TV 사업방송이 시작되면서 구축된 광동축혼합망인 HFC(Hybrid-Fiber Coaxial)망의 상향대역과 광대역의 신호전송이 가능한 하향대역의 일부를 사용하여 양방향 데이터 서비스를 제공하기 시작하였다. 2001년 3월 현재 HFC망을 비롯하여 ADSL, 홈랜 등의 서비스를 이용하는 고속인터넷 가입자는 500만을 넘었으며 이 중에서 170만 이상의 가입자가 케이블모뎀 서비스를 이용하고 있다.

최근 가입자의 급격한 증가와 서비스 지역의 확대를 위해 케이블TV 방송은 수용하지 않고 케이블모뎀만 수용한 데이터 서비스 전용 HFC망이 시설되어 고속 인터넷 서비스를 제공하고 있다. 그런데 케이블모뎀 서비스만 수용한 지역은 케이블TV 방송을 수용한 지역보다 상향신호 전송성능이

우수한 특성을 보이고 있으나 가입자 수용이나 상향대역 신호 운용기준은 케이블TV 방송을 수용한 지역과 동일한 수준으로 운영하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 케이블TV 방송 가입자와 케이블모뎀 가입자를 동시에 수용한 케이블TV 전송망 지역과 케이블모뎀가입자만 수용한 HFC망 지역에서 상향대역 신호전송 성능을 비교하기 위해 표본지역에서 상향대역 잡음레벨을 측정하였다. 측정결과를 분석해 보면 HFC망 지역에서는 케이블TV 전송망 지역보다 잡음유입이 적게 나타났으며 서비스 대역에서 잡음레벨이 낮아 셀당 수용 가입자수를 증가시켜도 상향대역 신호전송 성능이 보장될 것이라는 결론을 얻었다. 이 연구결과는 HFC망 사업자가 경제적으로 망을 설계하고 운용하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

II. HFC망 상향대역 신호 특성

2.1 상향대역 잡음 특성 및 케이블모뎀 신호

HFC망의 하향대역 잡음은 전송로를 따라가므로 가입자측에서 수신되는 신호도 일정한 신호대잡음비를 유지하는데 비해 상향대역 잡음은 상향신호가 수신되는 H/E(Head/End)에 합쳐지는 Noise Funneling이 발생한다. 따라서 가입자가 늘어나면 H/E에서 신호대잡음비가 급격히 나빠지는 결과를 초래하여 HFC망의 문제점으로 지적되고 있다.

HFC망의 잡음은 외부에서 발생한 불필요한 신호가 유입되는 경우와 전송망이나 장치의 불량에 의한 경우로 나눌 수 있다. 외부에서 유입되는 경우 케이블의 차폐나 접속 부위가 불량한 곳을 통해 단파와 같이 침투력이 강한 신호나 디지털 기기로부터 순간적으로 발생한 신호가 유입잡음이나 순간잡음 등으로 관찰된다. 전송망에 사용된 각종 장치나 기기에 연결된 가입자의 장치에서 발생한 이상신호와 망을 구성하는 수동소자의 불량에 공통모드왜곡, 반사신호에 의한

잡음, 불규칙 잡음 등으로 관찰된다. 이중에서 70~80%의 잡음은 가입자 측에서 발생되고 나머지 잡음은 전송망에서 발생하는 것으로 알려져 있다.^{[3][8]}

CableLabs에서 제정한 DOCSIS (Data over Cable System Interface Specification) 규격에서는 상향대역의 잡음원으로 작용할 수 있는 단파방송과 아마추어 무선 주파수대역 등을 제외한 주파수 배분 방안을 제안하고 있다.^[2] 일반적으로 HFC망이 정상적으로 운영되는 경우에도 약 15MHz 이하대역은 단파방송, 아마추어 무선, 가입자측 유입잡음이 자주 관찰되어 케이블모뎀 상향신호의 운용대역으로 사용하지 못하며, 15~42MHz대역 중에서 유입잡음 발생이 적은 대역을 선택해서 상향신호의 운용대역으로 사용하고 있다.

케이블모뎀 시스템이 동작하기 위해서는 수신단의 C/N비가 일정수준으로 유지되어야 한다. 따라서 송신단에서는 잡음레벨의 변화에 따라 수신단의 C/N비를 고려하여 송신신호 레벨을 자동으로 조절하여 송신하는 구조로 되어있다. 현재 상용화 서비스를 제공하는 대부분의 사업자는 CableLabs에서 제정한 DOCSIS 1.0 규격을 만족하는 케이블모뎀 시스템을 사용하고 있으며, 상향은 1.6MHz대역에서, QPSK신호로 하향은 6MHz대역에서 64QAM으로 RF신호를 운용하고 있다. DOCSIS 1.0 규격의 케이블모뎀 시스템이 동작하기 위한 상향대역 신호운용 기준은 표 1과 같다.

표 1. 케이블모뎀 시스템의 상향대역 신호 기준^[2]

조건	CMTS		케이블모뎀
	수신C/N비	수신신호 범위	송신신호 범위
DOCSIS 1.0 규격 기준	25dB 이상	-7 ~ +23 dBmV (1.6MHz 대역운용)	58dBmV 이하 (QPSK)

2.2 상향대역 RF신호 운용

케이블모뎀 시스템이 동작하기 위해서는 기본적으로 표 1의 상향대역 신호기준에 맞도록 전송망에 설치된 광송수신기, 증폭기의 입출력 신호범위와 증폭도를 조정하여야 한다. 그리고 상향신호 운영중 유입될 수 있는 잡음을 고려하여 C/N비의 여유를 정하고 그 기준에 맞도록 기저잡음레벨을 목표 수준 이하로 낮추어야 한다.

케이블모뎀 동작을 위해 상향대역 목표 C/N비는 25dBmV 이상으로 운용하고 있으며 광수신기 출력단에서 최대 출력레벨은 20dBmV이고, 운용되는 출력레벨은 15dBmV 수준이므로 케이블모뎀이 정상적으로 동작되기 위한 최소 C/N비를 유지하기 위해서는 잡음레벨을 -10dBmV 이하로 유지시켜야 한다.

한편 HFC망의 잡음은 시스템에 의한 기저잡음과 외부에서 유입되는 유입잡음으로 나누어 고려할 수 있으며, 유입잡음에 대한 잡음레벨의 여유를 정하기 위해 H/E에서의 신호레벨과 잡음레벨을 간단화하여 표현하면 식 1과 같다. 식 1에서 Cout는 H/E광수신기의 상향신호출력, Nnet는 망 자체에서 발생한 잡음, Nth는 사용대역의 기저잡음(열잡음), 그리고 Nin는 망과 가입자측에서 유입된 잡음이다.

$$C/N(\text{dB}) = C_{\text{out}} - (N_{\text{net}} + N_{\text{th}} + N_{\text{in}}) \dots (\text{식 } 1)$$

$$= 59.2 + N_{\text{in}}$$

HFC 전송망에서 기저잡음은 케이블 및 시스템의 각종 도체에서 전하운동으로 발생하는 열잡음이 원인이며, 사용 대

역에 따른 열잡음을 계산하면 식 2와 같다.^[4] 식 2에서 k는 Boltzmann's 상수(1.374*10E-23 joules/°K), T는 절대온도 °K, 그리고 B는 대역폭(Hz)이다. 미국 케이블 TV협회인 NCTA(National Cable and Telecommunication Association)의 측정 권고에 따라 4MHz대역에 대한 열잡음은 -59.2dBmV이며, 케이블모뎀이 운용되는 1.6MHz대역에서 -43.2dBmV, 일반적으로 측정되는 8MHz에서 -36.28dBmV이다.

$$N_{\text{th}}(\text{dBmV}) = kTB \dots (\text{식 } 2)$$

$$= -59.2\text{dBmV}@4\text{MHz}, 20^\circ\text{C}$$

HFC망 자체에서 발생하는 잡음은 각 증폭기의 잡음지수, 증폭기 수, 그리고 연결방법에 의해 결정되며 각 증폭기의 잡음지수와 동일한 증폭기가 직렬로 연결된 경우로 간단화하여 표현하면 식 3과 같다. 식 3에서 NF는 증폭기 잡음지수로 각 제조사의 규격에 따라 다르며 약 7~10dB이고, N은 셀내 연결된 증폭기 단수이다. 잡음지수를 8dB, 셀내에 직렬로 연결된 증폭기 단수를 5단으로 가정하면 약 15dB가 된다.

$$N_{\text{net}} = NF + 10\log(N) \dots (\text{식 } 3)$$

식 2, 3의 결과를 식 1에 대입하여 인입잡음의 여유를 계산하면 광수신기 출력레벨은 일반적으로 사용되는 15dB에 대해 약 35dB이상의 C/N비를 얻을 수 있고, 측정대역을 8MHz에서 볼 때 유입잡음레벨 여유는 10dBmV이며 케이블모뎀의 상향 출력신호가 광수신기 최대 출력레벨인 20dBmV까지 증가되면 유입잡음레벨 여유는 15dBmV가 된다.

2.3 상향신호 전송성능 향상을 위한 조치

상향 RF신호 전송 성능을 유지하기 위해서는 우선 전송망 구간의 시공품질이 중요하므로 간선(분기)증폭기, 각종 수동 소자류의 접속점 시공을 철저히 시행하여야 한다. 또한 상향대역 잡음유입의 대부분을 차지하는 인입선 유입 잡음을 최소화하기 위해 차폐특성이 우수한 3중 이상의 차폐 케이블을 사용하고 있다. 한편 HFC망의 구조로 나누어보면 전송망과 가입자 태내와 연결되는 인입선으로 나눌 수 있으며 인입선에서의 잡음 유입이 70~80%이상으로 알려져 있다. 그리고 15MHz이하 대역은 강한 단파방송이 많고 태내 전기기기의 영향 등에 따른 잡음레벨이 높아 케이블모뎀 시스템이 요구하는 C/N비의 확보가 어렵다는 것을 알 수 있다. 이를 최소화하기 위한 방법으로 각 탭오프 단자에 필요하지 않은 상향대역 신호가 올라가지 못하도록 고주파대역통과필터(High pass Filter)를 부착하여 시설하고 있다.

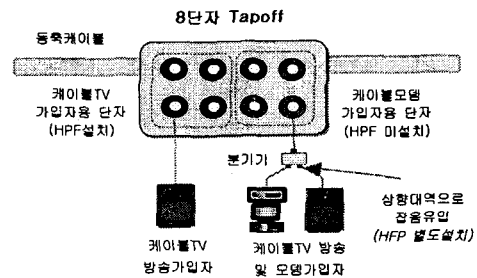


그림 1. 인입선의 상향대역 잡음유입 차단

케이블TV 방송 가입자에게는 42MHz이상의 고주파대역통과필터를 사용하여 모든 상향대역 신호가 올라가지 못하게 막고 있으며, 케이블모뎀 가입자는 필터를 사용하지 않거나 15MHz 이상의 상향신호가 전송되는 고주파대역통과필터를 사용하고 있다. 그림 1은 인입선에서 상향대역 잡음 유입 경로와 잡음 유입을 최소화하기 위한 탭오프에 고주파대역통과필터가 시설된 곳을 표시하였다.⁽⁸⁾

한편 가입자가 증가하면 상향대역을 사용하는 가입자 장비의 열잡음, 불규칙잡음 등의 잡음원이 증가하며, 정량적 분석은 어렵지만 이에 대한 상호영향 등의 증가로 기저잡음레벨도 같이 증가한다. 현재 케이블모뎀 가입자가 급격한 증가추세에 있어 한 셀 상향서비스를 제공받는 가입자가 많거나 기저잡음레벨이 증가하면 셀분할을 통해 상향대역의 신호전송 성능을 유지하려고 노력하고 있다.

이 때 케이블TV 방송가입자에게는 분리도가 40dB이상의 42MHz대역 고주파대역통과필터가 설치되어 있으므로 기저잡음레벨에 전혀 영향을 주지 않을 것으로 고려하여 케이블TV 전송망 지역과 케이블모뎀 서비스만 적용된 HFC망 지역에서 같은 기준을 적용하여 운용하고 있다.

HFC망 유지보수 측면에서 실시간으로 케이블모뎀 시스템이 요구하는 C/N비를 유지하고 있는지 등의 상향신호 전송 성능을 감시할 수 있는 감시시스템을 통해 상향대역에 잡음 유입시 잡음의 형태를 분석하고 이를 해결하기 위한 조치를 행할 수 있다

III. 셀당 상향가입자 수용능력

3.1 현장조사, 측정 및 분석

서비스 수용에 따라 파워콤의 HFC망을 구분할 때 케이블TV전송망 지역과 HFC망 지역으로 나눌 수 있으며 현장 운용결과 HFC망의 상향대역 신호전송 성능이 우수한 것으로 관찰되었다. 이에 대한 정확한 원인을 분석하고자 현장 조사와 측정을 실시하였다.

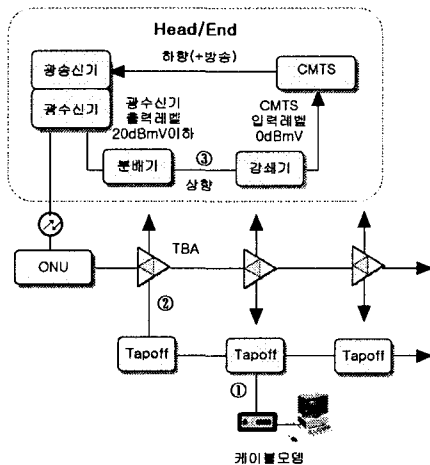


그림 2. 상향 신호레벨 운용기준 및 측정점

현장측정은 그림 2에서 표시한 것과 같이 한 가입자의 신호

인 탭오프 단자인 ① 측정점, 수동소자로만 합쳐진 가입자들의 신호인 간선증폭기 입력단인 ② 측정점, 그리고 H/E의 광수신기 출력단인 ③ 측정점으로 나누어 기저잡음레벨을 측정하고 케이블모뎀의 상향신호를 관찰하였다.

측정점 ①과 ②에서 측정값과 계측기 해상도간의 차이가 별로 없어서 기저잡음레벨의 측정값의 정량적 의미는 크지 않은 것으로 판단하여 가입자로부터 유입되는 유입잡음의 발생 빈도 수나 유입잡음 레벨에 중점을 두고 관찰하였다. 케이블TV 전송망 지역인 서초와 HFC망 지역인 구로에서 각각 탭오프의 한 단자를 측정한 결과 케이블TV 전송망 지역인 서초의 경우 가입자측에서 유입잡음이 여러 번 관찰되었다. 그리고 케이블TV 전송망 지역인 대전과 HFC망 지역인 청주에서 각각 간선증폭기 입력단을 측정한 결과 역시 기저잡음레벨은 두 망사이에 큰차이가 없었으며 케이블TV 전송망 지역인 대전에서만 유입잡음이 여러 번 관찰되었다.

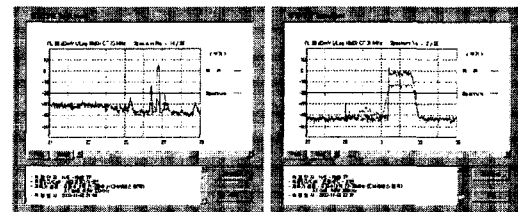
위의 인입구간 측정결과, 케이블TV 전송망 지역에서 관찰되는 유입잡음은 고주파통과대역필터가 설치되지 않은 것으로 예상되며 H/E에서 측정하면 기저잡음레벨에 상당히 큰 영향을 줄 것으로 판단되어 측정점 ③인 H/E의 광수신기 출력단에서 한 개 셀의 상향신호에 대해 측정을 실시하였다.

측정결과와 비교를 쉽게 하기 위해 동일한 광수신 시스템을 사용하는 서대문 케이블TV 전송망과 은평 HFC망 지역을 측정 대상지역으로 선정하였다. 측정은 광수신기 출력단에 신호분배를 위해 연결된 -10dB 시험단자에서 상향대역 전체의 스펙트럼, 상향신호가 없는 대역에서의 기저잡음레벨, 그리고 케이블모뎀 신호가 있는 대역에서의 상향신호와 잡음레벨을 각각 측정하였다.

H/E에서 상향대역 전체에 대한 스펙트럼을 측정한 결과 케이블TV 전송망 지역의 기저잡음레벨이 HFC망 지역보다 훨씬 높게 나타났으며 케이블TV 전송망 지역의 15MHz이하 대역에서 많은 유입잡음이 관찰되었다. 이는 인입선의 측정결과를 분석한 것과 같이 케이블TV 방송가입자에 대한 고주파대역통과필터 설치가 완전히 되지 않은 것으로 판단된다.

상향신호가 없는 대역중에서 비교적 품질이 좋지 못할 것으로 예상되는 13~21MHz 대역에 대해 기저잡음레벨을 측정한 결과 예상한 것과 같이 케이블TV 전송망 지역의 기저잡음레벨이 HFC망 지역의 기저잡음레벨보다 약 10dB이상 높게 측정되었다.

그리고 두 망에서 케이블모뎀의 신호가 있는 상향대역의 케이블모뎀 상향신호와 잡음레벨도 측정하였다. 이 경우에도 앞의 측정결과와 마찬가지로 케이블TV 전송망 지역의 잡음레벨이 HFC망 지역보다 3~5dB이상 높게 측정되었다. 그림 3은 서대문 케이블TV 전송망 지역과 은평 HFC망 지역에서 케이블모뎀 신호가 있는 대역의 스펙트럼이다.



(서대문 케이블TV) (은평 HFC)

그림 3. 케이블모뎀 신호가 있는 대역 상향신호/잡음레벨

위의 측정결과를 분석해보면 케이블TV 전송망 지역에 케이

블TV방송 가입자로부터 유입될 수 있는 상향잡음을 막기 위해 고주파대역통과필터를 지속적으로 시설하였으나 완벽하게 시설되지 않은 것으로 판단되며 이에 따라 잡음유입이 많아져 H/B에서는 결과적으로 잡음레벨이 높게 측정되어 케이블 TV 방송가입자를 수용한 지역과 케이블 모뎀만 수용한 HFC망 지역의 가입자의 수용능력에도 차이가 있을 것으로 예상된다.

3.2 HFC망 지역 셀당 가입자 산정

HFC망 지역에서 케이블모뎀 가입자의 수용한계를 정하기 위해서는 상향신호의 C/N비를 유지할 수 있는 기저잡음레벨 유지, 외부 잡음의 유입에 대한 영향을 최소화하고 상향서비스를 제공할 수 있는 상향 주파수 대역 확보, CMTS 상향포트의 전송능력을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 위에서 언급한 세가지 고려사항 중에서 상향대역의 RF신호 전송성능과 직접적으로 관계 있는 잡음레벨의 차이에 따른 셀당 가입자 수용한계를 분석하였다.

케이블TV 전송망 지역은 약 2000명의 방송가입자를 기준으로 망이 설계되어 있으나, 상향대역을 이용하는 케이블모뎀 가입자의 수용능력에 대한 기준은 명확하게 정의되어 있지 않다. 외국의 경우 케이블모뎀 가입자 수용한계를 셀 당 500~2000 가입자로 제한하고 있으나 명확한 근거는 제시하고 있지 않다.⁽⁷⁾⁽⁹⁾ '98년부터 국내에서 케이블모뎀 서비스를 제공하면서 상향대역을 운용한 결과 케이블TV 방송 가입자는 제외하고 케이블모뎀 가입자를 약 500가입자 수준으로 운용하면서, 상향신호 전송성능을 보장하는 기저잡음레벨과 C/N비를 유지하고 있다.

서대문 케이블TV 전송망과 은평 HFC망에서 셀 당 케이블모뎀 가입자 수가 비슷한 셀의 기저잡음레벨의 측정결과를 비교하면 케이블TV 전송망 지역이 HFC망 지역보다 최소 3dB이상 높게 나타난다. 이는 케이블TV 전송망 지역에서 케이블TV 방송에 수용된 가입자에 고주파대역통과필터가 설치되지 않아 상향대역 잡음레벨에 영향을 준 것으로 해석할 수 있다.

HFC망에서 동일 수준의 신호가 합해질 때 잡음의 증가치는 가입자수에 따라 $10\log(n)$ 의 비로 증가하므로 각 가입자에서 유입된 잡음이 일정하다고 가정하면 가입자 수가 두 배 이상 수용된 것으로 판단할 수 있으며, 케이블TV 전송망에서 고주파대역통과필터가 설치되지 않은 케이블TV 방송 가입자의 수가 케이블모뎀 가입자 수만큼 있다고 볼 수 있다.

현재 500 가입자 수준으로 운영되고 있는 케이블TV 전송망의 케이블모뎀 가입자수에 대비하여, HFC망에서 수용 가능한 최대 가입자수는 케이블TV 전송망 지역보다 두 배 많은 1000 가입자를 수용해도 상향신호 전송과 C/N비 유지에 무리가 없을 것으로 판단된다.

서대문 케이블TV 전송망 지역과 은평 HFC망 지역의 측정결과를 비교한 셀에서 케이블TV 방송가입자는 케이블모뎀 가입자의 2~5배 수준이므로 위의 분석결과를 적용하여 보면 케이블TV 방송가입자의 약 50~20%가 고주파대역통과필터가 설치되지 않은 것을 알 수 있다.

IV. 결론

케이블TV 전송망을 이용한 케이블모뎀 서비스 초기에 케이

블TV 방송 서비스와 케이블모뎀 서비스를 동시에 제공하기 위한 상향신호의 신호대잡음비 유지에 중점을 두고 상향대역 신호전송성능에 대한 연구가 진행되었다.

그러나 최근에는 가입자의 증가에 따라 각 셀내에 수용된 가입자가 급격한 증가추세에 있고 가입자의 수용을 늘리기 위해서는 CMTS 등의 장비증설과 함께 상향신호 전송성능을 향상시키기 위한 셀분할이 요구된다. 그러나 셀분할에는 공사에 따른 경제적인 부담이 증가하며 가입자의 증가추세를 따라가기가 쉽지 않아 time to market을 실현하기 어려운 상황이다. 따라서 망 사업자 측면에서는 일정수준의 서비스를 보장하면서 최대 가입자를 수용할 수 있는 기준이 절실히 요구되고 있다.

최근 폭발적인 케이블모뎀 가입자 증가와 함께 케이블TV 방송 서비스는 제공하지 않고 케이블모뎀 서비스만 제공하는 데이터 서비스 전용 HFC망이 많은 지역에 시설되어 운영되고 있다. 그런데 데이터 서비스 전용 HFC망은 케이블TV 전송망보다 기저잡음레벨이 낮고 상향신호 전송성능도 우수한 것으로 관찰되고 있으나 신호운용기준이나 가입자 수용규모는 기존 케이블TV 전송망을 그대로 적용하고 있어 경제성이 저하되고 있는 현실이다.

본 논문에서는 케이블TV 방송 가입자와 케이블모뎀 가입자를 동시에 수용한 케이블TV 전송망 지역과 케이블모뎀가입자만 수용한 HFC망 지역에서 상향대역 신호전송 성능을 비교하기 위해 표본지역을 선정하여 상향대역 잡음레벨을 측정하였다. 측정결과를 분석해 보면 HFC망 지역에서는 케이블TV 전송망 지역보다 잡음유입이 적게 나타났으며, 서비스 대역에서 잡음레벨이 낮아 셀당 수용 가입자수를 두 배정도 증가시켜도 상향대역 신호전송 성능이 보장될 것이라는 결론을 얻었다. 이 결과는 케이블모뎀 서비스 및 HFC망 사업자가 경제적으로 데이터 서비스를 제공할 수 있도록 HFC망을 설계하고 운영하는데 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] NCTA, "Recommended Practices for Measurements on CATV Systems 2ed Supplement on Upstream Transport Issues", Oct., 1997
- [2] MCNS, "Data-Over-Cable Service Interface Specifications", CableLab, 1997
- [3] Ron Hranac, "Impulse noise in two-way systems", Communications Technology, 1996.7
- [4] W. Ciciora, J. Farmer, D. Large, "Modern Cable Television Technology", Morgan Kaufmann, 1999
- [5] D. Raskin, D. Stoneback, "Return System for Hybrid Fiber/Coax Cable TV Networks", Prentice-Hall, Inc, New York, 1997
- [6] 전력연구원 정보통신그룹, "초고속 가입자망 구축기술연구 (최종 보고서)", 전력연구원, 2000.4
- [7] 박승권, "케이블TV 전송망의 디지털 신호전송 성능평가", 한양대학교 정보통신기술연구소, 1996
- [8] 한전정보네트웍(주) CATV기술팀, "CATV 가입자 전송망 상향 품질측정 실무", Jan., 1998
- [9] <http://www.cabledatcomnews.com/>, "Return Path Multi-plexer Low Cost Noise Management for HFC Network Deployment" prepared by Com21