

# RFoG 네트워크를 이용한 케이블 서비스 품질 개선 방법

김 홍 익\*, 박 진 수\*, 김 장 집<sup>o</sup>

## Cable Network Quality Enhance Measure Using RFoG Network

Hong-ik Kim\*, Jin-su Park\*, Jang-jib Kim<sup>o</sup>

요 약

최근 비디오 콘텐츠 및 융합 서비스들을 위한 대역 확보가 관건으로 떠오르고 있는 가운데 기존 케이블 사업자들은 Hybrid Fiber Coaxial(HFC) 네트워크를 통해 방송과 IP 기반 서비스를 수행하고 있다. 하지만 HFC 네트워크는 MPEG 기반의 방송 서비스를 목적으로 하기 때문에, 대역확보에 어려움이 있다. 따라서 네트워크 광대역화를 위한 방법이 필요하며 그 중 Radio Frequency over Glass(RFoG)<sup>[1]</sup>는 HFC 네트워크가 가지는 대역폭의 한계를 극복하고, 구조를 단순화 시키는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 RFoG의 특성과 기준, 서비스 품질 등을 살펴보고, 성능 평가를 통해 HFC 대비 RFoG의 장점을 확인한다.

**Key Words** : HFC, RFoG, Cable, QoS, Bandwidth

ABSTRACT

Recently, cable operators are providing broadcast and IP based services using Hybrid Fiber Coaxial(HFC) networks while securing frequency band for video contents and convergence services are becoming an important issue. But, HFC networks have difficulty of securing frequency band, because they are used for broadcasting service based on MPEG. Therefore, it is necessary to find out a method to go broadband. Radio Frequency over Glass(RFoG), one of the methods to go broadband, is advantageous in the sense that it can overcome bandwidth limit and simplifies the structure. In this paper, we find characteristic and standard of RFoG and services. And we also find advantage of RFoG by evaluating performance.

### I. 서 론

지금까지 HFC 네트워크는 방송, 인터넷, 전화 등 방송통신 서비스를 제공하는 케이블 사업자의 주요 네트워크 중 하나로 사용되고 있다. HFC 네트워크는 주파수 분할을 통한 다중채널 전송이 가능하며 대용량의 방송 콘텐츠 전송에 적합한 구조로 설계되었으나, 방송뿐 아니라 유휴 주파수를 이용하여 인터넷, VoIP(Voice over IP)와 같은 IP기

반의 통신서비스를 제공해 왔다.

HFC 네트워크는 방송과 IP 신호가 주파수 분할을 통해 서로 다른 채널을 이용하여 전송되므로 방송과 IP신호 간 간섭이 거의 없어 광케이블을 통해 방송과 IP신호를 같이 전송하는 PON(Passive Optical Network) 네트워크보다 안정된 방송 서비스를 제공이 가능하다. 반면, 케이블업체는 유휴 방송대역을 활용한 IP서비스를 제공하고 있으나 최근 지속적으로 증가하고 있는 스마트 단말에서의 IP기

\* 주저자 : CJ헬로비전 스마트홈 이노베이션 센터 센터장, hongik@cj.net, 정회원

<sup>o</sup> 교신저자 : CJ헬로비전 기술실 실장, kjangjib@cj.net, 정회원

\* CJ헬로비전 대구 기술팀, teatree01@cj.net, 준회원

논문번호 : KICS2011-10-502, 접수일자 : 2011년 10월 28일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 28일

반 방송 통신융합 서비스의 비디오 콘텐츠 트래픽을 수용하기에는 IP 대역폭이 부족하여 원활한 서비스를 제공하는데 어려움이 있다. 이는 케이블 사업자에게 할당된 5~1002MHz의 주파수 대부분이 이미 상향 및 하향 대역폭으로 사용되고 있기 때문이다. 그리고 하향 대역에 비해 지나치게 작은 상향 대역을 VoIP, 양방향 방송을 위한 상향 신호, 인터넷 신호가 나누어 사용하고 있어 IP기반의 양방향 서비스에 적합하지 않다. 따라서, 양방향성이 중요한 IP기반 서비스에서 광통신을 사용하는 이동통신 사업자에 비해 서비스 경쟁력이 떨어지는 상황이며, 이를 해결하기 위해 HFC의 광대역화가 반드시 필요한 상황이다.

케이블 사업자들의 HFC 네트워크를 광대역화 하는 방안은 크게 주파수 사용효율을 높이는 방법과 주파수대역폭을 확장하는 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 주파수 사용효율을 높이기 위한 방안은 모듈레이션 방식을 변경하는 것이 있으며, 주파수 대역폭 확장은 네트워크의 재구축이나 기존 사용채널의 변경이나 채널 본딩을 통해 실현 가능하다. 주파수 사용효율을 높이는 방안은 네트워크 광대역화애 소모되는 비용이 적다는 장점이 있으며, 네트워크의 재구축은 대역폭확장을 통해 신규서비스 추가에 유리하다는 장점이 있다.

현재 케이블 사업자들의 기존 HFC 네트워크 광대역화는 주로 DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification) 기술을 통해 이루어졌다. DOCSIS3.0<sup>[2]</sup>의 경우 상향 및 하향대역에서 128/

256 QAM(Qadrature Amplitude Modulation) 모듈레이션 및 채널 본딩 기술을 이용해 주파수 사용효율을 높이고 주파수 대역폭을 확장하여 IP기반 서비스를 제공하고 있다<sup>[3]</sup>. 하지만 DOCSIS를 사용할 경우 이미 거의 모든 채널이 방송 및 통신 서비스에 사용되고 있어 채널 본딩을 위한 채널 확보에 어려움이 있다. 또한 모듈레이션 방식을 변경하여 한 번에 많은 신호를 보내면 전송된 신호의 에러율이 높아지기 때문에 모듈레이션 방식의 변경을 통한 주파수 사용효율을 높이는 방안도 한계가 있다. 그리고 HFC 네트워크는 현재 제공하는 방송 통신 서비스 이외의 신규서비스가 필요할 경우 추가적인 대역폭을 할당할 수 있는 자원이 남아있지 않은 상황이다. 따라서, IP기반 방송 통신융합 서비스 및 여러 신규 서비스가 출현할 것으로 기대되는 미래 환경에서 안정적인 서비스 및 사업영역 확장을 위해서는 광 네트워크의 도입을 통한 네트워크 광대

역화가 반드시 필요하다. 하지만, 이동통신 사업자가 사용하는 x-PON(x-Passive Optical Network)은 케이블 사업자가 방송을 제공하기 위해 사용하는 헤드엔드의 교체가 필요하며, 고객의 가정에 보급된 셋톱박스를 교체하는 비용 적 부담이 발생한다. 그리고 기존의 케이블방송에 비해 안정적인 방송제공의 문제가 있어 x-PON 전환 또한 적절한 광대역화 방안이라 생각하기 어렵지만, RFoG 네트워크는 위의 문제점들을 효과적으로 해결 가능하다<sup>[4]</sup>.

RFoG 네트워크는 기존의 HFC 네트워크의 헤드엔드와 셋톱박스 교체 없이 고객의 가정까지 광통신을 이용해 방송 및 통신신호를 전송할 수 있는 네트워크이다. RFoG는 HFC 네트워크의 야외 전송구간의 교체만으로 네트워크를 구성할 수 있으며, 장거리 전송 시 증폭기와 같은 능동소자가 필요 없어 야외 전송구간에서 전원의 인가 없이 장거리 전송이 가능하다. 그 결과 네트워크 구조가 단순화 되며 광전송으로 인해 상향대역과 하향대역의 비대칭성이 해결된다. 또한 전기적 특성을 지닌 노이즈는 광 신호에 간섭을 거의 주지 않기 때문에 서비스품질도 향상된다. RFoG는 위에서 언급한 것과 같이 네트워크 구조 단순화와 노이즈 감소로 인해 네트워크 광대역화를 실행할 때 비용적 측면과 품질적 측면을 동시에 확보할 수 있어 케이블사업자에게 가장 적합한 형태의 광대역화 모델이라 할 수 있다. 하지만, 국내환경은 RFoG 네트워크를 도입하기 위한 네트워크의 구성과 네트워크 장비의 품질 기준이 불명확하여 RFoG 네트워크의 도입이 지연되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 RFoG의 특징과 설계방법 및 설계형태에 따른 적절한 품질기준을 제시하고, RFoG 네트워크 사용 시 기존의 HFC 네트워크보다 향상된 서비스 품질을 실험을 통해 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 HFC 네트워크와 RFoG 네트워크의 구조적 차이에 대하여 서술한다. 3장에서는 RFoG 네트워크 복미표준을 이용하여 RFoG 네트워크 구조에 따른 기준 변화를 알아본다. 4장에서는 기존 HFC와 RFoG의 비교를 통해 네트워크의 노이즈 및 산란특성에 대해 알아보며, 5장에서는 객관적인 품질비교를 위해 4장에서 언급한 네트워크 별 노이즈 특성을 실험을 통해 증명한다. 그리고 마지막으로 6장에서 논문의 결론을 맺는다.

## II. HFC 네트워크의 한계와 RFoG 네트워크를 통한 광대역화

### 2.1 HFC 네트워크의 한계

현재 케이블사업자들은 광케이블과 동축케이블을 사용하는 HFC 네트워크를 통해 방송 및 통신 서비스를 제공하고 있다. HFC 네트워크는 수지형의 구조를 가지고 있으며 크게 헤드엔드, 전송 단, 가입자단의 구조를 가진다. 헤드엔드-Optical Network Unit(ONU)구간은 광케이블을 이용하며, ONU-가입자 구간은 동축케이블을 사용하여 신호를 전송을 한다. HFC 네트워크는 수지형 구조의 특성상 헤드엔드-ONU 구간에서 신호가 집중되며 ONU-가입자단 구간은 신호가 분산되는 구조를 가지고 있다. 일반적으로 신호가 모이는 광케이블 구간은 간선이라 하며, 신호가 분산되는 동축케이블 구간을 분배선이라 한다.

HFC 네트워크는 방송채널에 따라 6MHz단위로 주파수 대역을 할당하는 주파수 분할 방식을 사용하여 대용량의 비디오 콘텐츠를 제공할 때 안정적인 서비스 품질을 확보할 수 있으며, 방송과 통신에 사용되는 대역 간에 간섭이 없다. 이는 방송과 통신 서비스가 한 번에 전송되는 IPTV의 전송방식에 비해 방송서비스에 보다 적합한 네트워크 구조라는 것을 말해준다. 또한, 초기 네트워크 구축비용이 적게 들어 네트워크를 구축하기에 쉬우며, 대역폭확장과 유희대역의 사용 등을 통하여 신규 서비스 확장을 위한 네트워크의 유연성도 높다. 하지만 케이블사업자에게 할당된 주파수 대역은 제한되어 있으며, 방송 및 통신 서비스에 이미 대부분의 대역폭을 사용하고 있어 신규서비스 확장에 어려움이 있다<sup>3)</sup>. 대표적인 예가 바로 최근 꾸준히 증가하고 있는 IP기반의 융합 서비스로의 확장이다.

케이블 사업자는 DOCSIS 3.0을 사용할 경우 5~42/85MHz의 상향 대역과 54/108~1002MHz의 하향대역을 사용하고 있어 헤드엔드에서 가입자단 방향으로 신호가 전송되는 서비스에 유리한 비대칭 구조를 가지고 있으며, 대부분의 주파수 대역은 이미 양방향TV서비스를 위한 상향신호와 인터넷, VoIP등의 용도로 사용하고 있어 꾸준히 증가하고 있는 IP기반의 서비스를 위한 추가적인 상향대역폭의 확보가 쉽지 않은 상황이다. 또한, 5~42/54MHz를 가지는 상향대역은 단파주파수 영역에 자리 잡고 있다. 따라서 단파 노이즈가 침투하기 쉬워 일부 대역을 사용하지 못하는 실정이며 원활한 양방향 서비스를 제공하기에는 무리가 있는 현실이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 케이블 사업자들은 HFC 네트워크를 광대역화 하

고 있다.

현재까지 케이블사업자의 네트워크 광대역화는 HFC 네트워크를 그대로 사용하면서 신호를 보내는 모듈레이션 방법을 변경하여 신호 전송능력을 올리는 방법과 채널 간 본딩 작업을 통한 대역폭 확장의 방법을 통하여 진행되어왔다. 최근 케이블사업자가 사용하고 있는 DOCSIS 3.0의 경우 상향과 하향대역에서 각 4개의 채널을 본딩하고 128QAM/256

QAM 방식으로 신호를 모듈레이션 후 전송하여 100M 이상의 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 하지만 모듈레이션 어려움의 증가 및 제한된 주파수 자원의 한계로 인하여 신규 서비스를 위한 대역폭 할당에 어려움이 따르며, 기존 HFC 네트워크의 구조를 그대로 사용하여 간선에서의 신호집중으로 인한 상향 신호 전송 시 리턴패스 병목현상으로 인한 속도 저하가 발생한다. 리턴패스 병목현상은 양방향 통신이 필수적인 인터넷서비스나 VoIP와 같은 IP 기반 서비스를 제공할 때 서비스 품질을 저하시키는 주요 요인이 된다.

기존의 HFC 네트워크를 그대로 사용하는 네트워크 광대역화는 초기 비용이 적게 든다는 장점이 있으나 위에서 설명한 것과 같은 단점이 존재하여, 증가하는 IP서비스를 위한 대역폭 할당에는 무리가 있다. 또한 부족한 IP대역폭은 IP기반 서비스 품질을 저하시키는 원인이 된다. 따라서 케이블 사업자의 HFC 네트워크 광대역화는 주파수 대역의 제한과 비대칭성으로 인한 IP기반 서비스 품질 저하를 완화하고, 리턴패스 병목현상의 해결 및 비용을 절약하는 방향으로 이루어져야 한다. 이러한 요구사항들은 RFoG 네트워크로 광대역화를 이룸으로써 해결할 수 있다.

### 2.2 RFoG 네트워크

케이블 사업자들이 사용하고 있는 HFC 네트워크는 주파수 분할을 사용하여 채널을 구분함으로써 효율적인 방송 서비스를 제공하고 있다. 하지만 최근 주파수 대역의 한계로 인하여 수요가 증가하고 있는 IP기반 서비스를 제공하기 위한 새로운 채널 할당이 어려워 네트워크 광대역화를 통한 서비스 환경의 개선이 필요한 상황이다. 케이블사업자들이 네트워크를 광대역화 하는 방안은 광케이블을 사용하여 현재의 HFC 네트워크가 가지는 주파수 한계를 극복하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다. 광케이블을 사용하는 대표적인 네트워크로는 이동통신사업자들이 사용하는 PON이 있다. 하지만 PON은 케이블 사업자가 운용하고 있는 HFC 네트워크의 헤드엔드와 호환되지 않아 헤드엔드를 새롭게 구성해야 하며, 기존의 셋톱박스를

교체하거나 IP신호를 MPEG신호로 바꾸어주는 컨버터의 보급이 필요해 높은 초기 구축비용을 요구하여 비용 적 측면을 고려했을 때 적절한 방안이라 생각하기 어렵다. 따라서, 낮은 초기 구축비용으로 HFC 네트워크가 가지는 주파수 대역의 한계를 극복할 수 있는 네트워크가 적절한 광대역화 방안이라 할 수 있다. 이러한 관점에서 RFoG 네트워크는 HFC 네트워크의 헤드엔드 장비와 가입자단 장비를 그대로 사용하여 가장 이상적인 HFC 네트워크 광대역화를 이룰 수 있다.

RFoG 네트워크는 기본적으로 방송 및 IP신호를 하나의 광케이블을 사용하여 동시에 전달 가능하도록 설계된 네트워크로 그림 1은 HFC 네트워크와 RFoG 네트워크의 전반적인 구조를 보여준다.

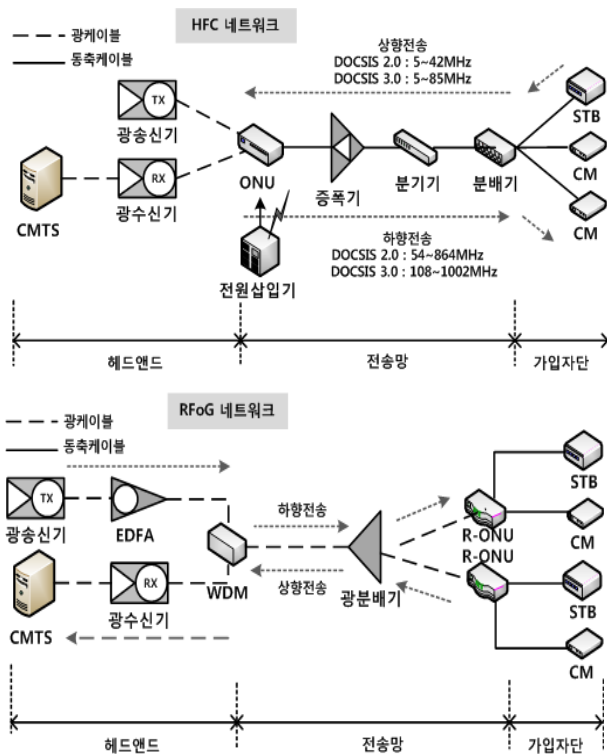


그림 1. HFC와 RFoG 네트워크 구조  
Fig. 1. HFC and RFoG network structure

그림 1의 RFoG 네트워크는 광케이블을 사용하여 전송함으로써 HFC 네트워크에 비하여 많은 부분에서 장점을 가지며 물리적 측면과 논리적 측면의 장점으로 나눌 수 있다. RFoG 네트워크의 물리적인 장점은 다음과 같다.

- 기존의 HFC 네트워크의 헤드엔드와 가입자 장비를 그대로 사용가능 하다.

- EDFA를 사용해 광전송을 기반으로 신호를 송신하여 하나의 광선로를 한번에 32~64개까지 분배가 가능하다.
- ONU, 분기기, 분배기 사용 감소에 따라 네트워크의 구조가 단순화된다.
- WDM을 사용함으로써 하나의 광케이블을 이용하여 방송 서비스에 사용되는 MPEG 신호와 통신서비스에 사용되는 IP신호를 모두 전송할 수 있다.
- 광케이블 사용으로 계절에 따른 온도변화 영향을 거의 받지 않는다.

논리적 장점은 물리적인 장점에 의해 얻어지는 구체적인 네트워크 성능향상을 들 수 있으며 논리적 장점은 다음과 같다.

- 광 신호를 사용하여 HFC 네트워크에서 문제가 되는 주파수 할당 문제를 해결 가능하며, 추후 신규 서비스를 추가하기가 용이해진다.
- 네트워크구조가 단순화됨에 따라 ONU, 분배기, 분기기 등의 장비를 거치면서 손실되는 신호를 줄일 수 있다.
- 네트워크에 전원 인가가 필요 없으며 이로 인하여 전원인가로 인한 잡음유입 및 외부환경으로부터 유입되는 잡음이 줄어들어 서비스 품질을 향상 시킬 수 있다.
- 광케이블구간의 확대로 기존 HFC 네트워크보다 고속으로 신호를 전송 가능하다.
- 계절에 따른 온도변화 영향을 적게 받아 HFC 네트워크에서 이루어지던 계절 간 네트워크 테스트가 불필요하여 네트워크 유지 및 보수비용을 줄일 수 있다.

표 1. RFoG네트워크 기본 필요사항  
Table 1. Basic requirements of RFoG network

구분	항목	value
ODN(Optical Distribute Network)	신호전송거리	0~20Km
	Maximum Link budget	25dB
	Nominal Operating Link budget	20dB
방송신호	상향대역 파장	1550nm
	하향대역 파장	1610nm
통신신호	상향대역 파장	1490nm
	하향대역 파장	1310nm

표 2. RFoG 장비의 역할

Table 2. The roll of RFoG equipment

구분	역할기능	
RFoG-ONU	광신호를 수신하여 RF신호(방송)와 광신호(데이터)로 나누어 출력	
	버스트모드 ON	16dBmV 이상
	버스트모드 OFF	7dBmV 이하
	버스트 모드 타이밍	1.3μs
광송신기	CATV RF신호를 입력 받아 1550nm파장을 가지는 광신호로 변환 후 전송	
광수신기	1100nm~1650nm 파장의 광신호를 입력 받아 5~200MHz의 상향 RF신호로 변환하여 CMTS에 전송	
EDFA	입력된 광신호를 장거리전송 가능한 레벨까지 증폭	
WDM	입력된 광신호를 파장특성에 따라 타파장과 분리 또는 융합시킴	

2.3 RFoG의 구축모델

RFoG네트워크는 구축되는 형태에 따라 기본적으로 Point-to-Point구조와 Point-to-MultiPoint 구조로 나뉜다<sup>5)</sup>.

Point-to-Point형 RFoG 네트워크는 헤드엔드와 RFoG-ONU가 1:1 형태로 통신을 하는 구조를 말한다. RFoG-ONU는 가입자단에 위치하며 헤드로부터 수신한 신호를 광케이블을 통하여 MPEG 또는 인터넷신호로 변환하여 전달한다. 향후 기술 발전에 따른 업그레이드가 유용하며 가장 안정적인 서비스를 제공할 수 있지만, RFoG-ONU가 가정마다 위치해야 하며, 가입자 수에 비례하여 헤드엔드 내의 장비 증설이 필요하여 서비스 사업자의 비용 부담이 큰 단점이 있다.

Point-to-Multipoint형 RFoG 네트워크는 헤드엔드의 전송 신호를 여러 대의 RFoG-ONU가 하나의 광케이블을 통하여 공유하여 사용하는 형태를 뜻한다. 이러한 형태의 RFoG 네트워크는 광케이블의 공유를 위해 광분배기가 필요하고, SCTE 표준에서 주로 32분배가 권장되나, 최대 64분배까지 허용된다. Point-to-Multipoint형의 RFoG네트워크는 Point-to-Point형의 구조처럼 가입자 수의 증가에 따른 헤드엔드 장비의 증설 없이 많은 가입자를 유지할 수 있어, 서비스 사업자들에게 가장 알맞은 형태의 네트워크라 할 수 있다. 하지만, 여러 가입자가 하나의 광신호를 공유하므로 추후에 네트워크의 업그레이드를 통한 대역폭향상에 문제가 될 수 있다. 그림 2는 Point-to-Point와 Point-to-Multipoint형의 RFoG 네트워크를 보여준다.

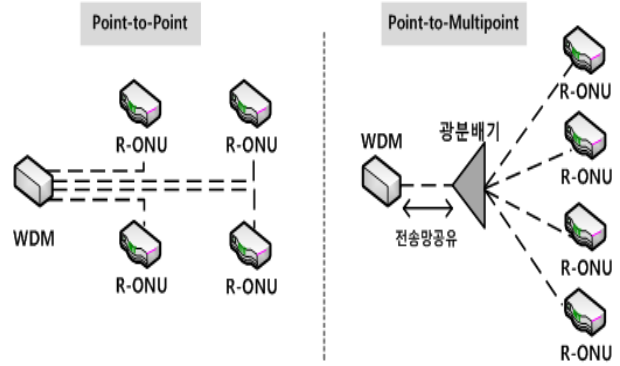


그림 2. Point-to-Point 구조와 Point-to-Multipoint 구조  
Fig. 2. Point-to-Point and Point-to-Multipoint structure

Point-to-Point와 Point-to-Multipoint 두 가지의 구조 중 주로 고려되는 Point-to-Multipoint 모델에서 RFoG 네트워크는 맥내형과 맥외형의 두 가지로 구분 지을 수 있다. 맥내형 RFoG 네트워크와 맥외형 RFoG 네트워크는 RFoG-ONU의 위치를 기준으로 구분된다.

맥내형 RFoG의 경우 가정 내에 RFoG-ONU가 위치하여 셋톱박스과 동축케이블 연결부의 노이즈 유입을 제외하고는 노이즈의 유입이 거의 없으며, 상향대역의 경우 주파수 비대칭의 문제가 있긴 하지만 RFoG-ONU의 버스트모드 지원으로 인하여 리턴패스의 병목현상을 완화하여 서비스 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 맥외형 RFoG 네트워크 구조에 비하여 가정마다 RFoG-ONU의 장착이 필요하며 초기에 구축비용이 많이 든다는 단점이 있다.

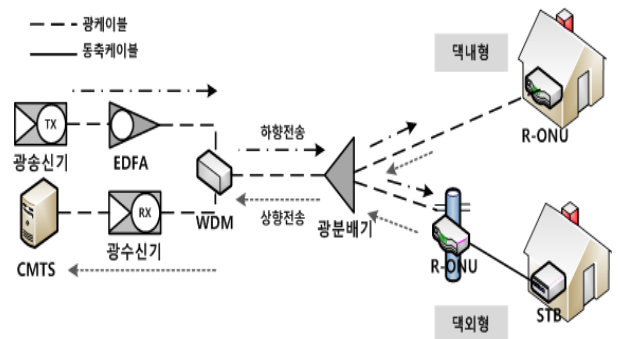


그림 3. RFoG-ONU 위치에 따른 네트워크 구분  
Fig. 3. Network distinction by RFoG-ONU position

맥외형 RFoG 네트워크의 경우 맥내형 RFoG 네트워크보다 초기 구축비용이 적게 든다는 장점이 있으나, 노이즈의 침투나 서비스의 품질면에 있어 맥내형 RFoG보다 떨어진다. 위와 같은 RFoG 네트워크의 기본형 모델은 RFoG-ONU에서 동축을 이용한 IP기반 서비스를 사용하기 때문에 기존의 HFC 네트워크가

가지는 IP기반 서비스를 위한 주파수확장 문제를 해결하기 힘들다. 따라서, 최근에는 기본형 RFOG 네트워크에 PON을 결합한 RFOG+x-PON 네트워크가 대안으로 고려되고 있다.

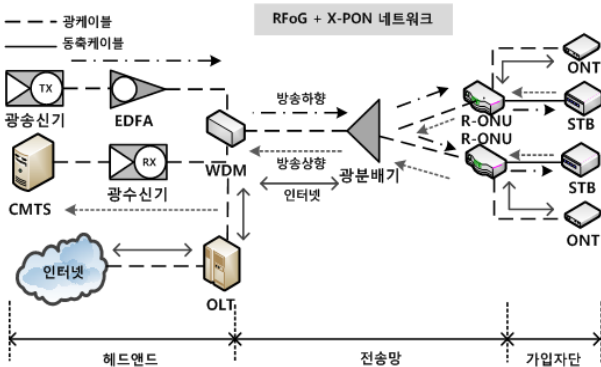


그림 4. RFOG+x-PON 네트워크 구조  
Fig. 4. RFOG+x-PON network structure

RFOG 네트워크+x-PON 네트워크는 위에서 언급한 기존 RFOG 네트워크의 단점을 극복하기 위하여 고안된 네트워크구조로 기존의 RFOG 네트워크와 x-PON 네트워크를 WDM을 사용하여 하나의 광케이블을 통해 동시에 가입자에게 제공하는 형태로 구성된다. 그림 4와 같은 RFOG+x-PON 네트워크에서 방송은 RFOG 네트워크, 데이터통신은 x-PON 네트워크를 이용해 전송된다. 이는 기존 RFOG 네트워크가 가지는 데이터 통신에서의 대역폭 문제를 해결하여 Gigabit Ethernet을 서비스 할 수 있는 환경을 제공한다. 이러한 네트워크 환경을 구성하기 위해서는 x-PON 네트워크를 위한 Optical Line Terminal(OLT)와 Optical Network Terminal(ONT)가 추가적으로 설치되어야 한다. 표 3은 RFOG+x-PON 네트워크의 구조와 사용되는 장비의 역할을 보여 준다

표 3. RFOG+x-PON 네트워크 장비 및 역할  
Table 3. The roll of RFOG+x-PON network equipment

구분	역할
OLT	헤드엔드내에 위치하여 백본 네트워크와 가입자 네트워크를 서로 연결
ONT	가입자택내 또는 사업지구내에 위치하여 PC와 네트워크의 연결을 지원
WDM	입력된 광신호를 파장특성에 따라 타파장과 분리 또는 융합시킴

위에서 설명한 형태를 기초로 RFOG 네트워크는 가입자 환경에 따라 다양한 설계 변경이 가능하며, 그 중 하나가 전진형 RFOG 네트워크다.

전진형 RFOG 네트워크는 기존 HFC 네트워크의 헤드엔드-ONU까지의 광구간을 그대로 활용하여 비용적인 절감과 동시에 가입자에게 FTTH서비스를 제공할 수 있다. 전진형 RFOG 네트워크는 RFOG 네트워크 구성장비들을 가입자 근처의 미니헤드엔드내에 구성함으로써 ONU-가입자단까지의 구간에 RFOG 네트워크+x-PON형태의 네트워크 구축을 가능하게 한다. 기본적으로 RFOG-ONU가 가입자 택내에 위치하는 것이 일반적인 방법이지만, 하나의 대용량 RFOG-ONU를 공유하여 여러 가정에 서비스를 제공하여 택내에 별도의 RFOG 네트워크-ONU없이 네트워크를 구성하는 것도 가능하다. 변형된 전진형 RFOG 네트워크의 경우 미니헤드엔드가 다수의 가정이 모여 있는 지역에 위치하는 것이 유리하며, 이러한 특성상 아파트단지에 적합한 구조라 할 수 있다.

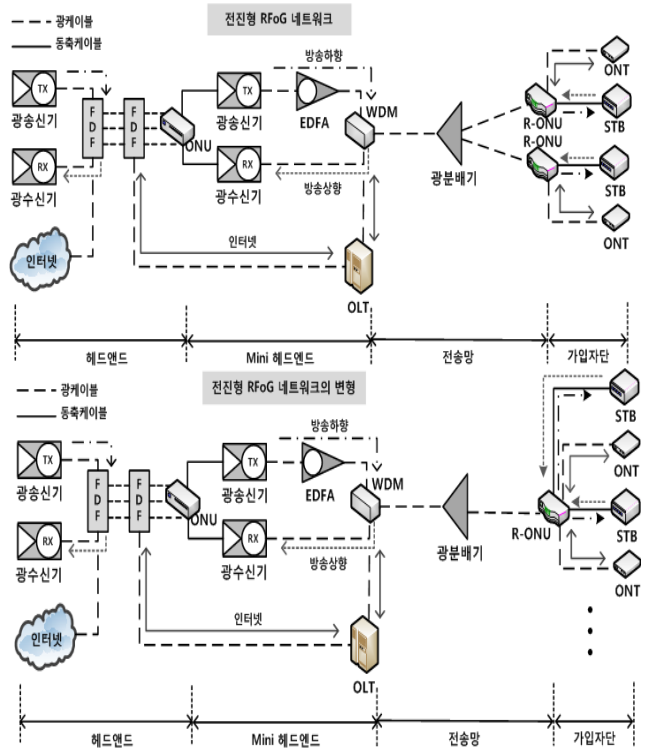


그림 5. 전진형 RFOG 네트워크와 변형 구조  
Fig. 5. Network structure of forward type RFOG and deformation

전진형 RFOG 네트워크 구조는 저렴한 비용으로 네트워크를 구축할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 기존 HFC 네트워크 헤드엔드-미니헤드엔드 구간은 기존 HFC 네트워크에서 사용되는 상향, 하향을 위한 광케이블과 x-PON 네트워크를 위한 광케이블이 따로 존재하여 헤드엔드에서 WDM을 사용하여 신호를 전송하는 RFOG 네트워크구조보다 네트워크의 형태가 복

잡해지고 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 그림 5는 전진형 RFOG 네트워크의 구조와 그 변형을 나타낸다.

위에서 살펴본 것과 같이 RFOG+x-PON 네트워크는 기존의 HFC 네트워크와 비교하여 여러 가지 장점을 가지고 있으며, 현재 HFC 네트워크사업자들의 네트워크 광대역화를 위한 가장 적합한 방안이라 할 수 있다. 표 4는 기존의 HFC 네트워크와 RFOG 네트워크의 특징을 보여준다.

RFOG+x-PON 네트워크는 RFOG 네트워크는 방송 신호를 전송하는데 사용되며, PON 네트워크는 IP 신호를 전달하는데 사용하여 기존의 HFC 네트워크의 문제인 상향대역과 하향대역의 주파수대역 제한 및 비대칭성을 완전히 해결하고, IP기반의 융합서비스로의 확장을 용이하게 해준다. RFOG+x-PON 네트워크는 기존의 헤드엔드를 그대로 사용하여 방송 상향 신호 수신을 위한 CMTS가 여전히 사용되어 방송신호와 IP가 완전히 분리되었다고 할 수는 없다. 그러나 추후 헤드엔드 내의 CMTS를 사용하지 않고 x-PON 네트워크에서 방송상향 신호 전송을 통해 방송신호와 IP 신호를 완전히 분리하는 것이 가능하며, 이러한 형태의 네트워크를 RFOverlay + x-PON 네트워크라 한다.

표 4. HFC 네트워크와 RFOG+x-PON 네트워크 비교  
Table 4. Comparison of HFC and RFOG+x-PON network

항목	HFC 네트워크	RFOG+x-PON 네트워크
리턴패스 병목현상	많음	적음
IP기반 서비스 확장	어려움	쉬움
평균 전송 거리	1.5~2Km	20Km
연간 성능 테스트	필요	필요 없음
노이즈 간섭	높음	낮음
전송네트워크 전원공급	필요	불필요
초기 구축비용	낮음	높음

RFOverlay+x-PON 네트워크는 기존의 방송신호와 IP신호의 완전한 분리가 이루어져 하향대역의 방송의 품질이 안정화되고 고화질의 비디오 콘텐츠 전송에 최적화된 구조를 가지게 된다. 따라서 케이블 사업자는 최종적으로 RFOG+x-PON 네트워크 구축을 진행 후 RFOverlay+x-PON 형태로 확장하는 것이 바람직한 방향이다.

### III. RFOG 네트워크 장비기준

RFOG 네트워크를 구축하기 위해서는 적절한 기준

이 필요하며, 이 기준이 잘 설정된 상태에서 네트워크를 구성해야 원활한 서비스와 양호한 품질을 고객에게 제공할 수 있다. 하지만 국내에는 RFOG 네트워크가 많이 알려져 있지 않은 상황이며, 네트워크 설치와 운용에 필요한 기준 또한 찾아볼 수 없는 실정이다. 북미에서는 SCTE-174문서를 통해 R-ONU를 기준으로 RFOG 네트워크에 필요한 표준을 정의하고 있다. 그러나 국내형 RFOG 네트워크를 기본으로 하여 기준을 정하고 있기 때문에 해외형 RFOG 네트워크나 전진형 RFOG 네트워크 환경에서 알맞지 않은 부분이 있어, 초기 네트워크 설계 단계에서 이러한 사항을 고려하여 네트워크 장비들이 조정할 필요가 있다. 따라서, SCTE표준을 기본적으로 참고하여 네트워크 구축 기준을 설정하되 RFOG 네트워크 형태에 따른 네트워크 장비의 기준차이를 반영하여 기준을 정하는 것이 바람직하다. 이 비교를 위해서 본 논문에서는 SCTE-174와 CJ헬로비전의 장비평가 기준을 비교하여 그 차이를 명확히 하고자 한다. CJ헬로비전의 장비평가 기준과 SCTE의 기준을 살펴보면 표 5와 같다.

표 5. SCTE-174와 CJ헬로비전의 기준 비교  
Table 5. Comparison of SCTE-174 and CJ Hellowision standards

구분	항목	SCTE-174	CJ헬로비전 평가기준
상향	RF입력	33dBmV	20dBmV
	광출력	3±1dBm	0~6dBm
	레벨 안정도	*	±0.5dB
하향	반사손실	*	16dB이상
	RF출력	17±3dBmV	43dBmV이상
	주파수응답	±2dB	±0.75dB이내
	반사손실	*	16dB이상

표 5를 보면 SCTE-174의 기준과 CJ헬로비전의 장비평가 기준은 RFOG 네트워크-ONU의 RF입출력 값에서 상당한 차이를 보여주고 있다. 그 이유는 앞서 설명한 네트워크 구조의 차이 때문에 발생하는 것으로 설명할 수 있다. 실제로 CJ헬로비전은 해외형 RFOG 네트워크와 전진형 RFOG 네트워크를 설치할 목적으로 기준을 세웠다. 따라서 SCTE가 기준으로 정한 국내형 RFOG 네트워크 구조보다 헤드엔드부터 RFOG 네트워크-ONU까지의 거리가 짧아져 상향 신호는 낮은 레벨의 신호로도 전송이 가능하여 기준 값이 낮아 졌으며, 반대로 RFOG-ONU부터 가입자단의 거리는 증가하여 높은 레벨을 가지는 신호로 전송되어야 한다. 특히, 방송신호의 경우 RFOG-ONU에서 가입자단까지의 거리는 동축케이블을 사용하여 전송

되며, 5C 케이블을 사용할 경우 5m마다 신호레벨이 1dB 감소되므로 가정 내 서비스 품질을 보장하기 위하여 RFoG-ONU에서 출력되는 신호의 기준 값을 크게 설정한 것이다. SCTE의 기준을 그대로 써도 네트워크는 구성이 가능하지만, 거리에 따른 신호세기 때문에 추가적인 EDFA, 증폭기, 감쇄기 등의 소자들이 필요하게 되어 네트워크가 복잡해지고, 추가적인 비용 발생 및 네트워크 효율성이 저하된다. 따라서, 사업자들은 네트워크에 따라 다른 RFoG-ONU의 기준을 설정하고 적용하여 네트워크 구축 시 효율성을 높이는 것이 바람직하다.

#### IV. HFC 네트워크와 RFoG 네트워크 품질 비교요소

HFC와 RFoG 네트워크를 비교하기 위해서는 구조의 차이를 아우르는 요소를 가지고 비교해야 한다. 따라서 HFC와 RFoG 모두 방송 신호 전송을 한다는 점과 그것의 기반이 되는 RF 시스템을 이용한다는 점을 바탕으로 몇 가지 비교요소를 사용할 수 있게 된다. 다음은 HFC와 RFoG 네트워크 비교를 위한 요소들의 설명이다.

##### 4.1 CNR

CNR은 Carrier to Noise Ratio의 약자로 반송파 대 잡음비를 나타낸다. CNR은 일반적으로 25dB 이상을 정상으로 판단하며, 정보신호가 RF 반송파에 실리는 경우 성능평가에 좋은 매개변수가 된다. CNR은 수신측에서 잡음이 첨가되기 직전인 안테나 단에서 주로 측정을 하게 된다. CNR은 다음 식에 의해 결정된다.

$$CNR = Input\ Level\ (dBm\ V) + 59 - NF \quad (1)$$

NF는 Noise Floor의 약자이며, ONU의 경우 CNR 값을 자동 제공하나 증폭기의 경우는 위의 식을 대입하여 CNR 값을 환산한다.

##### 4.2 CSO

CSO는 Composite Second Beat의 약자로 여러 개의 채널이 동시에 전송되는 상황에서 두 개의 서로 다른 주파수를 가지는 신호들이 서로 영향을 미쳐 두 주파수의 합 주파수나 차 주파수를 생성하여, 생성된 주파수 성분이 기존의 사용채널의 중심주파수와 일치할 경우 공명현상을 일으켜 신호를 변조시키는 현상을 말한다. CSO는 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$CSO = f_1 \pm f_2 \quad (2)$$

$f_1$ 과  $f_2$ 는 각각의 서로 다른 주파수를 뜻한다.

##### 4.3 CTB

CTB는 Composite Triple Beat의 약자로 세 개의 주파수 성분이 합 주파수나 차 주파수를 발생시켜 간섭을 일으키는 것 외에 기본적인 발생이유는 CSO와 같다. CTB를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$CTB = f_1 \pm f_2 \pm f_3 \quad (3)$$

이러한 상호 간섭 성분은 CNR이 1dB증가하면 CSO, CTB는 각 1dB, 2dB증가하는 특징을 보이며, CNR의 값은 EDFA에 입력으로 전해지는 신호세기에 의해서 결정 된다. CSO, CTB의 영향이 크면 클수록 방송으로 출력되는 영상은 일그러짐 현상이나 깨짐 현상이 많이 발생되어 방송신호 품질을 저하시키는 주요원인이 된다.

##### 4.4 품질 비교

RFoG 네트워크는 HFC 네트워크에 비해 상대적으로 전송신호의 품질이 좋다. 이는 RFoG 네트워크가 상대적으로 HFC 네트워크보다 적은 노이즈를 갖기 때문이다. RFoG 네트워크의 노이즈가 HFC 네트워크보다 적은 이유는 다음과 같다.

첫째로 전송되는 신호의 차이가 노이즈의 양에 영향을 주는데 HFC 네트워크는 동축을 통해 MPEG 신호로 전송되기 때문에 3~30MHz사이의 단파대역에서 많은 노이즈가 유입된다. 그에 반해 RFoG 네트워크는 광신호로 전송이 일어나기 때문에 전기적인 특성을 가지는 단파대역 노이즈의 영향을 받지 않는다.

두 번째는 네트워크 구조의 차이 때문이다. HFC 네트워크는 신호의 장거리 전송을 위해서 증폭기가 필요하며 증폭기와 동축케이블의 연결부위가 노이즈 유입 경로가 되며, 증폭기는 신호 내에서 존재하는 채널 간 상호 간섭 노이즈인 CSO와 CTB도 동시에 증폭시켜 영상품질의 저하를 일으키는 원인이 된다. 하지만, RFoG 네트워크는 장거리 전송에 있어 헤드엔드 이외에 증폭기의 연결이 거의 필요 없기 때문에 네트워크에 유입되는 노이즈의 양이 적어지며 CSO, CTB와 같은 채널 간 상호 간섭성분 또한 증폭되지 않아 서비스품질을 향상시킬 수 있다.

마지막으로 ONU의 상향신호 전송 동작에 따른 차이가 상향 노이즈의 양을 결정하게 한다. 기존 HFC



네트워크의 경우 ONU는 노이즈와 신호를 구별하지 못하여, 노이즈와 신호에 상관없이 임의의 입력 값이 들어오게 되면 헤드엔드로 신호를 전송하게 된다. 반면 RFoG 네트워크에서 사용하는 RFoG-ONU의 경우 데이터가 있는 경우에만 상향신호를 전송하는 버스트 모드 동작으로 인해 노이즈로 인한 신호전송이 일어나는 빈도가 줄어들게 되며, 상향 노이즈의 양이 줄어들게 되어 결과적으로 HFC 네트워크 보다 양호한 서비스 품질을 가질 수 있다. 또한 RFoG는 기존 HFC 망과 같이 Point-to-

Multipoint 구조로 상향이 구성되지만, 실제 동작은 Point-to-Point 방식으로 동작하여 HFC 망과는 다르게 상향 시 잡음이 누적되지 않는다.

본 논문에서는 네트워크의 품질을 측정하기 위해 HFC 네트워크와 RFoG 네트워크의 데이터 전송 시 상향대역 노이즈 및 CSO, CTB를 통하여 HFC 네트워크와 RFoG 네트워크의 품질 차이를 알아본다.

## V. 네트워크 실험

### 5.1 실험 환경

HFC 네트워크와 RFoG 네트워크의 품질을 비교하기 위해 동일한 조건의 테스트 환경을 구축하여 상향 노이즈 및 CSO, CTB, SBS, 상향 노이즈를 측정하였다. 테스트환경에서 상향 송신기, 하향 송신기, ONU, 구내중복기는 동일한 모델을 사용하였으며, 다른 부분의 장비들은 각 네트워크의 필요장비에 따라 테스트 베드를 구축하였다. 구축한 테스트 베드의 구조는 그림 6과 같다.

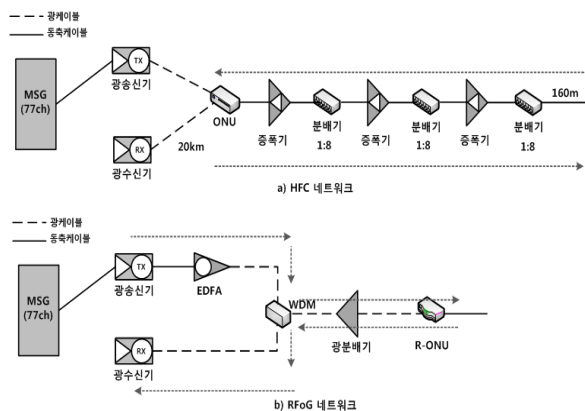


그림 6. 테스트베드 구축 환경  
Fig. 6. Testbed environment

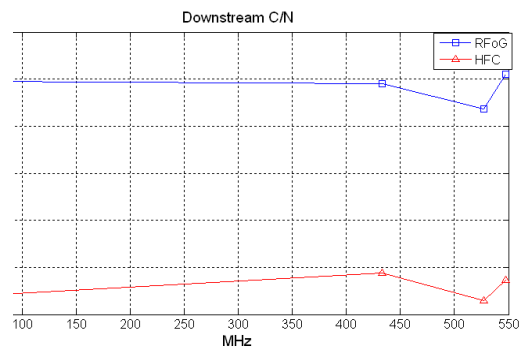
네트워크 테스트에 사용된 신호는 CSO, CTB의 측정을 위해 현재 국내 BMT에 사용되는 77개의 채널을 가지는 신호를 사용하였다. 테스트 신호는

시뮬레이션에 사용된 ONU의 입력에 맞도록 조정되었으며, 각 네트워크의 측정거리는 광 구간 10Km, 동축 구간 1Km로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 과정 중 별도의 노이즈는 인가하지 않은 환경으로 실험을 진행하였다.

### 5.2 실험 결과

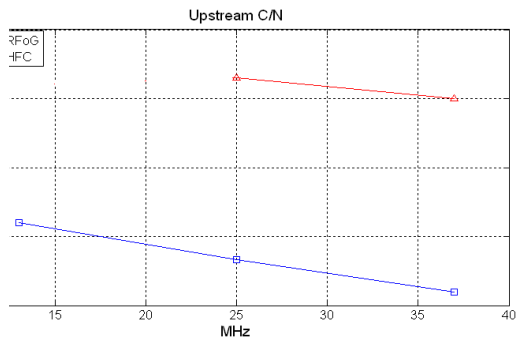
#### 5.2.1 CNR

RFoG 네트워크와 HFC 네트워크의 성능을 측정하기 위해서 상/하향의 CNR값을 측정하여 비교하였다. CNR 값이 높을수록 노이즈에 강한 특성을 가지고 있다고 볼 수 있으며, CNR 값은 외부 유입 노이즈와 네트워크의 전송단에서 사용되는 다양한 능동소자의 비선형성에 따라 그 값이 변할 수 있다. 그림 7은 상/하향에서의 CNR값을 보여준다.



(a) RFoG / HFC 네트워크 하향 CNR

(a) RFoG/HFC 네트워크 하향 CNR



(b) RFoG / HFC 네트워크 상향 CNR

(b) RFoG/HFC 네트워크 상향 CNR

그림 7. 상/하향 대역에서의 각 네트워크 CNR  
Fig 7. Network CNR of RFoG/HFC at upstream/downstream band

그림 7의 (a)는 RFoG 네트워크와 HFC 네트워크의

하향 CNR값을 나타낸다. 그림에서 보이듯이 4개의 채널에서 CNR 신호를 측정할 결과 RFoG 네트워크가 HFC 네트워크보다 좋은 하향 CNR 특성을 보여준다. RFoG 네트워크의 CNR이 평균적으로 약 9dB 정도 높은 것을 알 수 있다. 이는 HFC 네트워크는 동축 케이블 구간과 증폭기, 분배기를 거치면서 각 소자의 비선형적인 특성과 각 장비의 연결부위를 통한 유입 잡음의 영향으로 테스트 신호가 열화 되었기 때문이다. 반면 RFoG 네트워크는 전송구간에서 RFoG-ONU외의 능동소자가 사용되지 않으며, 광케이블로 가정까지 연결되어 외부잡음의 영향을 많이 받지 않기 때문이다. 이러한 네트워크 특성에 따라 하향에서의 CNR값은 RFoG 네트워크가 HFC 네트워크보다 월등히 좋은 값을 보여준다.

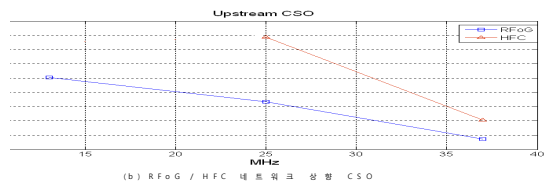
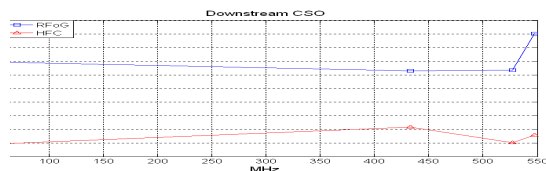
반면 그림 7 (b)가 나타내는 상향은 HFC 네트워크가 RFoG 네트워크보다 좋은 특성을 보여주고 있으며, HFC네트워크는 RFoG 네트워크보다 14dB정도 높은 수치를 보여준다. 이러한 결과는 실제 이론상 예상했던 결과와는 분명 다를 수 있다. 상향에 관한 결과가 그림과 같이 나오게 된 이유는 우선 실험실 상에서 별도의 외부 노이즈를 인가하지 않았기 때문이다. 실제 필드처럼 외부 노이즈를 강제로 인가하는 것이 쉬운 과정이 아니기 때문에 실험은 외부 노이즈가 발생하지 않는 깨끗한 환경에서 진행되었다. 또한 HFC와 RFoG를 구성한 네트워크 구조를 보게 되면 HFC는 증폭기와 분배기를 최대 4단 정도를 거쳐 구성이 되어 최상의 성능을 낼 수 있는 구조라 할 수 있고, RFoG의 경우는 가입자단에 1:32 구조를 채택하여 구성하였기 때문에 최소한의 성능을 만족할 만한 구조를 택한 것이라 할 수 있다. 따라서 HFC 구조의 증폭기가 노이즈를 배가하여 성능 저하를 일으킨다 하여도 외부 노이즈가 존재하지 않는 상황에서 그 영향이 매우 적은 반면, RFoG는 가입자단의 1:32구조에 의해 상대적으로 상향으로 올라오는 신호가 HFC 대비 작거나 가입자단의 잡음이 더욱 강할 수 있게 된다. 따라서 결과적으로 상향 CNR값은 그림과 같이 HFC가 더 우수하게 나타났다.

하지만 외부 노이즈가 인가되는 실제 필드의 경우 RFoG가 상향에서도 HFC보다 뛰어난 성능을 보이게 된다. 이는 HFC와 RFoG 네트워크 비교 부분에서 설명 하였듯이 실제 필드에서 발생하는 외부 노이즈의 인가로 인해 HFC 구조에서는 누적잡음이 발생하여 상향 부분에 큰 성능 저하를 야기한다. 이와 더불어 추가적으로 대역폭 활용 측면에서도 RFoG가 HFC 대비 뛰어난 성능을 보여주는데, 이 역시 앞선 품질 비

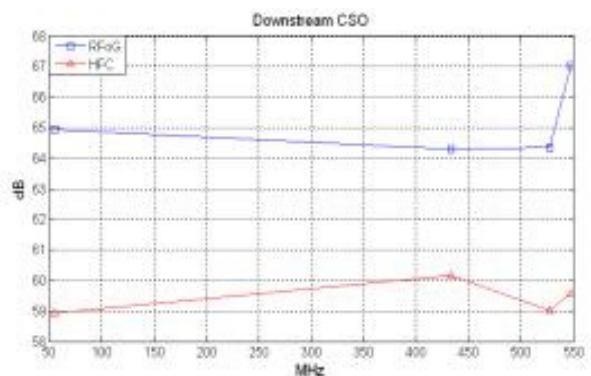
교부분에서 설명한대로 HFC는 노이즈와 데이터 구분 없이 상향 신호가 발생되면 모두 전송하는 반면, RFoG는 버스트모드 동작을 통해 일정 임계치 이상의 신호만 구분하여 전송하게 되므로 상향 대역폭의 효율적인 사용이 가능하다.

### 5.2.2 CSO

CSO는 방송서비스를 제공함에 있어 화면의 물결현상을 일으키는 주요 원인으로 주변 채널간의 간섭에 의해서 발생하는 특성이다. 이 특성은 RF주파수의 합성과정에서 일어나는 주파수의 합과 차에 의해서 발생하는 간섭현상으로 채널의 중심주파수와 1.25MHz 떨어진 영역에서 일어나는 것이 주요특성이다. 주로 RF주파수 관점에서 이야기되어 왔지만 HFC 네트워크와 RFoG 네트워크와 같은 광케이블을 사용하는 네트워크에서는 광 송신기의 레이저 다이오드의 광전변환 시에 발생하는 비선형성 특성이 큰 비중을 차지하며, 동축케이블 구간의 증폭기와 분배기를 거치면서 발생하는 왜곡은 큰 비중을 차지하지 않는다.



(a) RFoG/HFC 네트워크 하향 CSO



b) RFoG/HFC 네트워크 상향 CSO

그림 8 상/하향 대역에서의 각 네트워크 CSO  
Fig 8. Network CSO of RFoG/HFC at upstream/downstream band

그림 8의 (a)는 RFoG 네트워크와 HFC 네트워크의 CSO 값을 보여준다.

HFC네트워크의 상향 CSO 값은 13MHz대역이 계측기의 측정기 탭에서의 필터링으로 인하여 제외 하였다. 그림 8 (a)에서 나타나는 것처럼 RFoG 네트워크가 HFC네트워크 보다 하향대역에서 2~4dB정도 좋은 성능을 보여준다. 이는 광케이블과 동축케이블 모두를 경로로 하는 HFC 네트워크가, 광케이블 구간만을 가지는 RFoG 네트워크보다 전송단에서의 증폭기 사용으로 인한 비선형성분이 많아 나타나는 현상이다. 그림 8은 RFoG 네트워크와 HFC 네트워크의 CSO 값을 보여준다. 예상한 결과대로 RFoG 네트워크가 증폭기가 많이 쓰이는 HFC 네트워크보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 8 (b)는 상향에서의 각 네트워크의 CSO 값을 보여준다. 그림 8 (b)에 따르면 상향에서는 이전의 하향에서와 반대로 HFC가 좋은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 앞 5.2.1의 CNR에서 서술한 것과 같이 외부 노이즈가 없는 실험실과 네트워크 구조로 인해 나타나게 되는 현상으로, 실제 필드에서는 RFoG의 성능이 좋게 나오는 것이 정상적이라 할 수 있다.

### 5.2.3 CTB

CTB는 화면의 방송에서 화면의 수평줄무늬 왜곡을 일으키는 주요 성분으로 CSO와 마찬가지로 RF주파수의 합성과정에서 일어나는 채널 간 상호변조 현상이다. 원리는 CSO와 다르지 않으나 주파수 f1과 f2의 합과 차의 차수의 합이 3차일 때 발생한다. 이 성분 또한 각 소자의 비선형적인 특성에 의한 왜곡현상으로 나타나며, RF적인 특성보다 광 송신기의 광전변환의 영향을 크게 받는다.

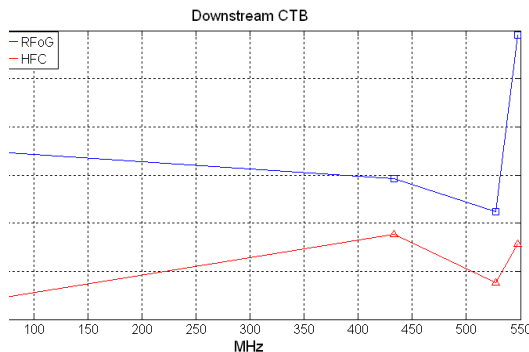


그림9. RFoG / HFC 네트워크 하향 CTB

그림 9 하향 대역에서의 각 네트워크 CTB  
Fig 9. Network CTB of RFoG/HFC at downstream band

따라서 이 성분 또한 RFoG 네트워크가 HFC 네트워크보다 좋은 성능을 보일 것을 예측할 수 있다.

그림 9는 RFoG 네트워크와 HFC 네트워크의 하향 CTB성분을 보여준다. 앞의 CSO와 마찬가지로 RFoG 네트워크가 2~6dB정도 우수한 성능을 보이며, 증폭기가 많이 쓰이는 HFC 네트워크보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 케이블사업자들의 주력 네트워크인 HFC 네트워크가 가지는 IP기반의 미래 네트워크 환경에서의 한계를 알아보고 HFC 네트워크를 광 대역화 하는 방안에 대하여 살펴보았다.

HFC 네트워크는 단방향 방송 서비스를 제공하는데 최적화된 환경을 제공하지만 IP기반의 양방향 정보통신 서비스를 제공하기에는 제한된 주파수로 인한 할당문제와 여러 환경에서 유입되는 노이즈, 좁은 상향대역폭의 제한으로 인하여 접합하지 않은 구조임을 알았다.

이러한 HFC 네트워크를 IP기반의 서비스가 주를 이루는 미래 환경에 맞게 광대역화 하기 위해서는 현재 HFC 네트워크가 가지는 주파수의 한계를 극복해야 할 필요성이 있으며, 이는 최소한의 비용과 최대의 효과를 얻을 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 접근했을 때 기존의 HFC 네트워크의 헤드엔드를 그대로 유지하면서 FTTH 서비스를 수용할 수 있는 RFoG 네트워크야말로 현재 케이블 사업자들이 할 수 있는 최선의 광대역화 방안이며, 이를 증명해 보이도록 CNR, CSO, CTB를 기준으로 상/하향에서의 네트워크 성능을 비교하였다.

외부 잡음이 없는 환경과 실험에 사용된 네트워크 구조에 의하여 상향 성능평가에 있어 완벽한 결과를 얻지 못하였지만, 하향 성능평가의 결과를 토대로 상향 또한 실제 필드에서는 RFoG의 HFC 대비 우수한 성능을 예상해 볼 수 있었다. 이를 통해 RFoG가 향후 강인한 노이즈 특성과 대역폭 확장 능력을 통해 HFC를 대체할 네트워크 구조로 널리 사용될 것이라 예상된다.

## 참 고 문 헌

[1] Radio Frequency over Glass Fiber-to-the-Home Specification, Society of Cable Telecommunications Engineers, 2010.

[2] Data Over Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0 Physical Layer Specification, *Cable Television Laboratories*, Jan.2009.

[3] Emmendorfer, Michael J., "Compelling Alternatives: DOCSIS 3.0 over HFC or RFoG for Business", *Services, Communications Technology*, Vol. 24 Issue 12, p30, Dec.2007.

[4] Mark Conner, "Passive Optical Design for RFoG and Beyond", *Broadband Properties*, Apr.2009.

[5] Peter Saglietti, "Is Radio Frequency over Glass (RFoG) the Solution for CATV Operators?," *PBN White paper*, Aug.2009.

[6] Dean Stoneback, "The Evolution of Hybrid Fiber-Coaxial Cable Networks to an All-Fiber Network", *National Fiber Optic Engineers Conference*, Mar.2011.

[7] Hutcheson, L., "FTTX: Current Status and the future", *Communications Magazine, IEEE*, VOL 46, Jul.2008.

[8] Batagelj, B., "FTTH Networks Deployment in Slovenia", *Transparent Optical Networks*, 2009. ICTON '09. 11th International Conference, Jul.2009.

[9] R.Yadav, "FiOS Cost Efficiency", *Optical Fiber Communication (OFC)*, collocated National Fiber Optic Engineers Conference(NFOEC), Mar.2010.

[10] Victor Blake, "DOCSIS over PON", *OpticalFiber communication/National Fiber Optic Engineers Conference*, 2008. OFC/NFOEC 2008. Conference, Feb.2008.

[11] R.B. Ellis, F. Weiss and O.M. Anton, "HFC and PON-FTTH networks using higher SBS threshold singlemode optical fibre", *Electronics Letters*, Volume: 43 , Issue: 7, Mar.2007.

[12] George E Bodeep, "Changes in the HFC Architecture", *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*, Distribution Techniques for Access (OWB), Mar.2011.

[13] T.-Y. Kim and S.-K. Han, "Reflective SOA-based bidirectional WDM-PON sharing optical source for up/downlink data and broadcasting transmission," *IEEE Photon.*

Technol. Lett., vol. 18, pp. 2350-2352, Nov.2006.

[14] Chun-Ting Lin, Jason (Jyehong) Chen, Peng-Chun Peng, Cheng-Feng Peng, Wei-Ren Peng, Bi-Shiou Chiou, and Sien Chi "Hybrid Optical Access Network Integrating Fiber-to-the-Home and Radio-Over-Fiber Systems", *IEEE Photonics Technology letter*, VOL.19, NO.8, Apr.2007.

김 흥 익 (Hong-ik Kim)



1996년 2월 한국항공대학교  
전자공학과 공학사  
2003년 2월 한양대학교 전자통  
신전파공학과 공학석사  
2007년 2월 한양대학교 전자통  
신전파공학과 공학박사  
1996년 3월~2000년 8월 삼성

항공 전산팀

2007년 1월~현재 CJ헬로비전 스마트폰 이노베이션  
센터 센터장

<관심분야> Digital Signal Processing, CATV  
Multimedia Systems, Intelligence Broadcasting

박 진 수 (Jin-su Park)



2008년 8월 계명대학교 전자  
공학과 졸업  
2011년 2월 경북대학교 전자  
전기컴퓨터공학석사  
2010년 12월~현재 CJ 헬로비  
전 대구 기술팀  
<관심분야> 전자공학, 통신공

학, 무선 통신

김 장 집 (Jang-jib Kim)



1987년 2월 아주대학교 학사졸  
업

1991년 3월 KT 종합유선방송  
시범사업단

1994년 12월 강서 케이블TV  
기술국

2000년 8월 드림씨티 방송

2010년 4월 CJ헬로비전 운영통제 센터장

2011년 8월~현재 CJ헬로비전 기술실장

<관심분야> CATV Multimedia Systems, Digital  
Signal Processing, Broadband Communication  
Systems