

## Hybrid Fiber Coaxial망에서 VoIP 서비스 구현

# Implementation of VoIP Service in Hybrid Fiber Coaxial Network

주재한

송호대학교 보건의료전자과

**Jae-han Ju**

Department of Medical Electronics, Songho College, Gangwon-do 25242, Korea

### [요 약]

최근 모바일기기 및 네트워크에 대한 관심이 높아짐에 따라 기존의 IP (internet protocol) 망을 이용하여 음성데이터를 전송하는 기술인 VoIP (voice over internet protocol)서비스가 급속히 확산됨에 따라 무선 인터넷망을 활용하여 언제 어디서나 저렴한 음성 통화 서비스가 가능해졌다. 그리고 디지털방송서비스가 보급되면서 방송과 통신의 융합을 통해 광대역케이블망을 이용하는 HFC (hybrid fiber coaxial)망 기술은 기존의 통신시스템 및 망설비를 활용하여 양방향 방송서비스 및 인터넷, 전화 등 다양한 신규 서비스를 제공하고 있다. 따라서 실제 HFC 인터넷서비스망에서 음성데이터의 품질보장을 위해 VoCM에 UGS-AD를 MTA에는 RTPS를 적용하면 실제 상용 HFC 인터넷서비스망에서 문제가 되는 협소한 상향대역에서의 음성데이터 전송을 원활히 수행할 수 있음을 확인하였으며, HFC 인터넷서비스 망에서 음성데이터의 QoS개선을 통해 기존 대비 개선된 VoIP서비스를 구현하는 방안을 제시하였다.

### [Abstract]

As interest in mobile devices and networks has increased recently, voice over internet protocol (VoIP) service, which is a technology for transmitting voice data using an existing internet protocol (IP) network, has rapidly spread, Cheap voice call service has become possible. As the digital broadcasting service becomes popular, hybrid fiber coaxial (HFC) network technology, which uses broadband cable network through fusion of broadcasting and communication, utilizes existing communication system and network equipment to provide various new services such as interactive broadcasting service. Therefore, if UGS-AD is applied to VoCM and RTPS is applied to MTA in order to guarantee the quality of voice data in actual HFC Internet service network, it is possible to smoothly perform voice data transmission in narrow upstream band which is a problem in actual commercial HFC network We also proposed a method to improve VoIP service by improving QoS of voice data in HFC Internet service network.

**Key word** : Voice over internet protocol, Hybrid fiber coaxial, HFC Internet service network, QoS, Public switched telephone network.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.113>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 19 January 2017; Revised 2 February 2017  
Accepted (Publication) 27 February 2017 (28 February 2017)

\*Corresponding Author ; Jae-han Ju

Tel: +82-10-4937-1913

E-mail: riprofessor@naver.com

## I. 서론

정보화 사회에서 디지털 기술의 발전은 기존의 통신과 방송의 구분을 허물며 데이터, 음성, 영상, 그래픽 등 다양한 미디어를 활용하는 본격적인 멀티미디어 시대를 열었다.

최근 모바일 기기 및 네트워크의 인기가 높아짐에 따라 많은 관심을 받고 있는 VoIP (voice over internet protocol) 서비스는 기존의 IP (internet protocol) 망을 이용하여 음성데이터를 전송하는 기술로, VoIP 서비스가 급속히 확산됨에 따라 무선 인터넷망을 활용하여 언제 어디서나 저렴한 음성 통화 서비스가 가능해졌다.

현재 전화 통신 대신 인터넷이나 다른 IP 기술상의 VoIP가 사용되고, 사용자가 통신 요금을 지불하지 않아도 되는 다양한 장치 및 네트워크 전송을 통해 전화를 걸 수 있는 기능이 포함되고 있다. 모바일 인터넷 및 모바일 기기 사용자의 증가로 많은 사람들이 VoIP를 사용하여 비용을 절감하는 인터넷 전화 인구가 증가하고 있다[1].

VoIP는 지난 몇 년 동안 엄청나게 성장했다. 이처럼 VoIP를 채택한 주된 이유는 VoIP 통화가 저렴하고 때로는 무료라는 것이다. 또한 음성 메일과 같은 음성으로 다른 서비스를 이메일로 전송, 문자 채팅, 비디오 등으로 통합하는 기능이다. 그리고 VoIP가 기존의 PSTN (public switched telephone network) 시스템과 비교했을 때 대역폭 사용을 효율적으로 개선한다는 것이다 [2],[3].

디지털방송서비스가 보급되면서 방송과 통신의 융합을 통해 광대역 케이블망을 이용하는 HFC (hybrid fiber coaxial) 망 기술은 기존의 통신시스템 및 망설비를 활용하여 양방향 방송서비스 및 인터넷, 전화 등 다양한 신규서비스를 제공하는 스마트한 통신망기술이다[4].

현재의 cable TV 망으로 사용되고 있는 HFC 망은 기존의 동축 기반 CATV 전송망의 기간 트렁크 부분을 광 케이블로 개선시킨 구조로써 경제성 및 높은 대역폭, 상대적으로 단순하고 용이한 운용 관리 등으로 인해 향상된 양방향 서비스를 보다 빠르게 제공받을 수 있는 환경의 구축을 가능케 한다.

본 논문에서는 HFC 인터넷서비스망에서 음성데이터의 QoS (quality of service) 개선을 통해 기존 대비 개선된 VoIP 서비스를 구현하는 방안을 제시하고자 한다.

## II. HFC 인터넷서비스망

VoIP 시스템은 인터넷서비스망을 이용해 음성통신을 제공하는 네트워크와 서비스를 지칭하고, 음성 데이터를 인터넷 프로토콜의 데이터 패킷으로 전송하는 기술, 네트워크, 음성통화 서비스 등 모든 것을 포괄하는 개념이다[5]. VoIP 시스템을 통해 음성전화 서비스를 제공하기 위해서는 일반 PSTN에 접속해 있는 가입자와의 상호 인터페이스를 지원하고, 전송지연에 민

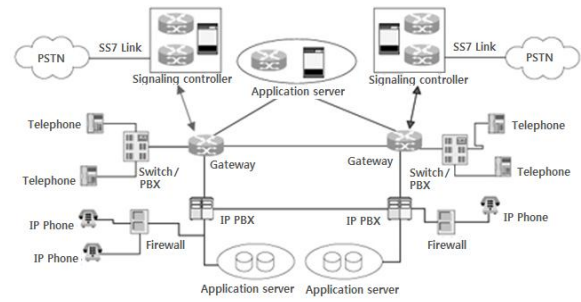


그림 1. VoIP 네트워크 구조  
Fig. 1. Structure of VoIP network.

감한 데이터 스트림의 서비스 품질이 보장돼야 한다.

그림 1에서 상호 인터페이스를 지원하기 위해서는 일반전화망인 PSTN과 인터넷망의 접합점에 게이트웨이 장비가 필요하다. 게이트웨이 장비는 패킷으로 전송된 음성신호를 PSTN망에 적합한 TDM (time division multiplexer) 신호로 변환하고, 그 역변환을 수행한다. 또한 VoIP에서는 IP-PBX가 PSTN의 교환기처럼 콜 셋업, 프로세싱 및 서비스 품질 보장 측면에서 핵심적인 역할을 수행한다. 이때 IP-PBX는 애플리케이션 서버와 연동해 다양한 부가 서비스를 제공할 수 있다.

VoIP 시스템은 파일 전송을 주목적으로 설계된 인터넷망에서 운용되므로 음성통화와 같은 실시간 정보 전송을 위해 특별한 통신규약이 필요하다. 대표적인 프로토콜로는 H.323, SIP, Mgcip 등이 있으며, 각각의 프로토콜은 특성에 따라 다르게 사용되고 있다.

VoIP는 IP네트워크를 통해 음성 통화를 허용하는 기술로 VoIP 품질이 높고, 지연 및 패킷 손실(높은 지연 및 패킷 손실로 인해 VoIP 품질이 저하됨)에 민감하다. 그리고 IP네트워크를 통해 음성은 디지털화되고, 코덱은 디지털화 된 데이터를 압축하여 작은 크기의 프레임으로 변환한다. 각 프레임은 특정 시간대에 생성되고 프레임 크기 확대시간이 늘어나서 종단 간 지연을 증가시킬 것이다. 그 결과 VoIP 품질은 떨어지고 프레임은 특정 작은 크기로 제한된다. 그만큼 프레임 크기 및 시간은 코덱 유형에 따라 다르다.

디지털정보는 패킷화되고 패킷교환 네트워크를 통해 IP 패킷으로 전송된다. 그리고 오디오 및 비디오 코덱을 사용하여 오디오 및 비디오를 인코딩하는 특수 미디어 전달 프로토콜을 사용하여 오디오 스트림을 전송한다. 응용 프로그램의 요구사항 및 네트워크 대역폭을 기반으로 미디어 스트림을 최적화하는 다양한 코덱들이 있으며, 인기 코덱에는  $\mu$ -law 및 a-law 버전의 G.711, G.722, iLBC로 알려진 오픈 소스 음성코덱, G.729라는 각 방식으로 8 kbit/s만 사용하는 코덱 등이 있다[6].

표 1은 일부 음성 코덱이다. 여기에서 G.729코덱은 20 byte 패킷 페이로드(2프레임)를 20 ms 지속하고, 생성된 프레임은 40 byte RTP/UDP/IP 헤더에 첨부되어 하위 계층인 데이터링크 계층(DLL)로 전달된다[7],[8].

표 1. Voice 코덱

Table 1. Voice codecs.

Codec	Frame size	Frame size
LPC	20 ms	14 B
G.726	5 ms	15 B
G.723.1	30 ms	20 B
G.728	5 ms	10 B
G.729	10 ms	10 B

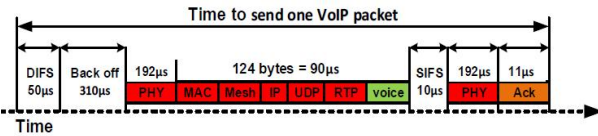


그림 2. VoIP 패킷 전송시간

Fig. 2. VoIP packet send time.

그림 2는 20 byte G.729로 가정한 하나의 VoIP 패킷을 전송하는 오버헤드를 보여준다. VoIP 패킷 다중화는 헤더 오버헤드 문제를 해결하는 기술 중 하나이다[9].

HFC망은 광케이블 (optical fiber)과 동축케이블 (coaxial cable)로 구성된 망으로서 더 많은 대역폭을 제공하기 위해 동축케이블을 이용하는 케이블 TV망에 광케이블을 도입한 양방향 케이블 망이다. 방송국과 광단국까지는 광케이블을 이용하고, 광단국에서 가입자까지는 동축케이블을 이용하여 많은 양의 데이터 (인터넷, 케이블TV, 방범, 방재, 원격검침, 자동제어)를 전송할 수 있는 광대역 전송망이다.

그림 3에서 HFC망은 방송국에서 가입자 중심에 위치한 ONU (optical node unit)까지의 광케이블 구간은 star형으로 구성되고 ONU에서 가입자 댁내까지의 동축케이블 구간은 tree & branch형으로 구성된다. 광케이블 구간은 광 송·수신장치, 광케이블을 이용하여 상·하향 광 전송선로를 별도로 구성하고 동축케이블 구간은 간선증폭기, 수동소자 (splitter, tap-off 등), 동축케이블을 이용하여 동일 동축케이블에 주파수대를 분리하여 상·하향 전송로를 구성한다.

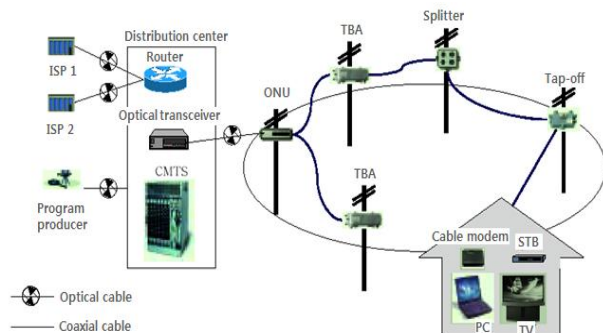


그림 3. HFC망의 구조

Fig. 3. Structure of HFC network.

CMTS (cable modem termination system)는 케이블모뎀 (cable modem) 데이터를 인터넷으로 전송하기 위한 데이터용 패킷으로 바꾸어주는 장비이며, 하향 및 상향 시스템으로 구성한다.

HFC는 방송을 송출하는 서비스 주체인 head end와 송출부, 전송부로 크게 나눌 수 있다. head end는 일반적으로 방송국 국사를 칭하면서, 내부에 구성된 각종 방송설비를 포함한다. 송출부는 방송 및 데이터를 송출하는 부분으로 head end의 한 분야인 광 송수신기를 나타낸다. 마지막으로 전송부는 전송로인 광 케이블에 신호를 각 가입자로 전송하는 역할을 담당하며, 광 전송로를 동축 케이블로 바꾸어주고, 전송신호를 증폭하는 역할을 담당하는 장비인 ONU가 전송부의 핵심이 된다[10].

HFC망에서 하향채널은 point to multipoint 방식으로서 head end에서 다수의 수신단말기, 즉 케이블모뎀으로 연결되어 방송방식으로 통신을 하게 된다. 그런데 상향 채널은 head end에 다수의 송신단말기(케이블모뎀)가 연결된 multipoint to point 방식으로 상향대역을 다수의 케이블 모뎀이 나누어 사용하게 된다.

HFC 인터넷 서비스망에서 음성데이터를 고품질로 전송하기 위해서는 일반데이터와 음성데이터의 구별된 전송이 필요하다. 기존 음성데이터를 보장하는 방법은 초기의 대역을 무작정 늘리는 방법 외에 라우터 및 스위치에서 사용하는 일반적인 방법이 주로 사용되었다. 그러나 이 방법들은 HFC 인터넷 서비스망의 특수한 전송형태에 적합하지 않았고, CMTS와 CM 사이에 해당하는 구간은 보장할 수 없는 단점이 있다. 이런 특수한 환경을 가진 HFC 인터넷서비스망은 일반적인 방법으로는 보장할 수 없다.

상향대역에서 사용하는 주파수는 일반 생활잡음과 혼선가능성이 높은 4~42 MHz대역의 주파수를 사용하므로 대역폭을 늘리거나, 변조방식의 기능을 높일 경우 잡음에 매우 취약해질 수 있기 때문이다.

표 2와 표 3은 HFC 인터넷 서비스망에서 사용할 수 있는 변조방식과 그에 해당하는 속도를 하향과 상향에 대해서 나타낸 것이다. 실제 상향대역은 하향대역보다 상당히 협소한 것을 알 수 있다. 그러므로 HFC 인터넷 서비스망에서의 음성데이터 보장에 대한 기술은 상향대역에 집중 되어 있다고 할 수 있다.

표 2. HFC 인터넷 서비스망의 하향 변조방식 및 전송속도

Table 2. Down-link modulation method and transmission rate of HFC Internet service network.

Modulation format	Channel bandwidth	Symbol rate(sec)	RAW data rate	Nominal data rate
64QAM	6 MHz	5.056941	30.34 Mbps	27 Mbps
256QAM	6 MHz	5.360537	42.88 Mbps	38 Mbps
64QAM	8 MHz	6.952	41.71 Mbps	37 Mbps
256QAM	8 MHz	6.952	55.62 Mbps	50 Mbps

표 3. HFC 인터넷 서비스망의 상향 변조방식 및 전송속도

Table 3. Up-Link modulation method and transmission rate of HFC Internet service network.

Symbol rate	Channel bandwidth	QPSK raw data rate	QPSK nominal data rate	16QAM raw data rate	16QAM nominal data rate
160	0.20	0.32	0.3	0.64	0.6
320	0.40	0.64	0.6	1.28	1.2
640	0.80	1.28	1.2	2.56	2.3
1280	1.60	2.56	2.3	5.12	4.6
2560	3.20	5.12	4.6	10.24	9.0

HFC 인터넷 서비스 망의 1개의 상향포트는 1명의 가입자가 사용하는 것이 아니고 적게는 20 가입자, 많게는 100 가입자 이상이 사용하게 되는 경우도 있다.

표 2와 같이 현재 적용 가능한 변조방식과 대역폭을 적용해도 약 10 Mbps를 상회하는 것을 알 수 있다. HFC 인터넷 서비스망의 음성데이터 보장 정책은 상향대역을 중점으로 적용하여 보장하는 방법을 주로 고려해야 한다.

### III. 성능 평가

실제 HFC 인터넷 서비스 망에서 음성데이터의 품질보장을 위한 모델을 적용하기 위해 그림 4와 같이 시험장비를 구성한다. VoIP 측정 프로그램은 프라이머리넷의 측정서버와 관련 소프트웨어를 사용하였다.

시험 방법은 먼저 상향 대역폭의 폭주를 위해서 부하생성 PC에서 FTP서버와 파일전송을 수행한다. 이렇게 되면 CM 2대와 VoCM 1대가 연결된 상향의 대역폭은 거의 여유가 없게 된다. 실험에 적용된 상향대역폭은 변조방식 QPSK (quadrature phase shift keying)에 채널대역폭 1.6 MHz를 적용하여 1.2 Mbps이다. 먼저 CM에 개선된 보장방법을 비롯한 어떤 보장정책도 적용하지 않은 option-file을 CM에게 할당한다.

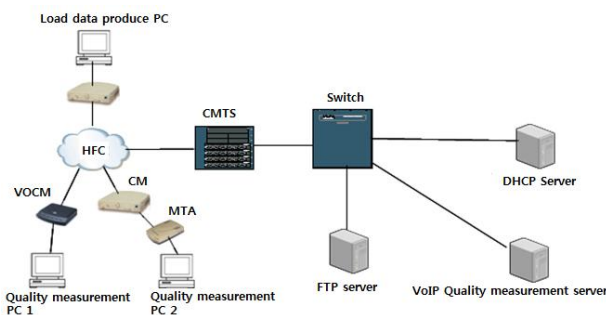


그림 4. VoIP 데이터 품질 측정 망 구성도

Fig. 4. VoIP data quality measurement network configuration diagram.

표 4. VoIP 품질 측정 항목

Table 4. VoIP quality measurement item.

No	Measurement item
01	Designate voice codec[G.711(64K), G.729(8K)]
02	Measurements for one way delay time
03	RTT and loss rate
04	Jitter : The difference between the speed of the initially transmitted packet and the speed of the next packet
05	R-Value: Comprehensive voice quality score (calculated based on delay time, packet loss rate, etc., closer to 100, higher quality)
06	MOS: The satisfaction level of the call quality(consisting of 1~5, the closer to 5, the higher the quality)

이때 VoCM (voice over cable modem)과 MTA (message transfer agent) 에 연결된 품질 측정PC에서 VoIP 품질측정 서버와 측정을 하여 음성데이터가 어떤 영향을 받게 되는 지 측정한다.

다음으로 VoCM에 UGS-AD 기능을 활성화 시키고, MTA가 연결된 CM에는 RTPS (real time Polling Service)가 적용된 option-file을 적용하여 품질측정을 실시한다. 이때 음성데이터가 어떤 영향을 받게 되는지 측정한다.

시험데이터의 결과 값에 대한 측정 파라미터의 의미와 기능은 표 4와 같다.

기존 음성데이터에 대한 실험결과는 그림 4의 시험 방법에서 설명한 바와 같이 부하생성 PC에서 FTP서버와 데이터 교환을 지속적으로 수행하여 1.2 Mbps로 설정된 상향대역을 과점유하여 정상적인 통신이 어렵도록 설정하고, VoCM과 MTA에 연결된 측정 PC에서 품질측정 서버와 통화 품질을 측정하였다.

그림 5는 VoCM에 연결된 PC에서 측정한 결과로 상향대역에 폭주가 발생 하였을 때 음성데이터의 품질이 현저히 저하되는 것을 알 수 있다. 패킷로스율, 통화품질 측정지수인 MOS, Rvalue의 값이 현저하게 낮다. 이 정도의 품질이면 정상적인 통화는 불가능 할 것이다.

그림 6은 MTA에 연결된 품질 측정 PC에 대한 측정 결과이다. MTA의 경우는 상향대역을 조금 여유 있게 설정하여 실험을 하였다. 그림 6과 같이 MTA의 경우 상향대역의 부하를 조금 낮게 설정하여 테스트 하였다. 패킷로스 및 MOS 수치는 상향대역의 여유가 거의 없는 상태의 VoCM결과보다는 조금 더 좋은 상태를 나타나고 있다. 하지만 음성데이터는 일반 데이터

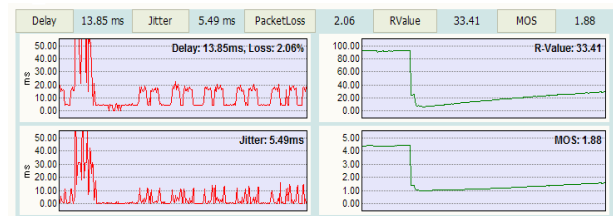


그림 5. 기존 음성데이터에 대한 VoCM 측정 결과

Fig. 5. VoCM measurement results for existing voice data.

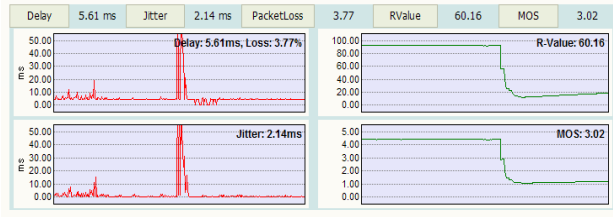


그림 6. 기존 음성데이터에 대한 MTA 측정 결과  
Fig. 6. MTA measurement results for existing voice data.

와 틀려서 사용자가 육감적으로 바로 느끼는 데이터므로 MTA의 결과값이 조금 더 좋다고 할지라도 실제 사용자가 느끼는 통화품질은 거의 동일하다고 할 수 있기 때문에, 통화품질을 개선할 수 있는 방법으로는 대역폭만 늘리는 것은 한계가 있는 것을 알 수 있다.

기존 음성데이터에 대해 개선된 방안을 적용하여 다시 실험을 실시하였다. 마찬가지로 상향대역에 부하생성 PC와 FTP 서버 간 데이터를 발생시켜, 1.2 Mbps로 설정된 상향대역을 거의 점유하도록 한 후 실험을 하였다. 실험 방법에서 설명한 바와 같이 VoCM에 UGS-AD 기능을 활성화시키고, MTA가 연결된 CM에는 RTPS가 적용된 option-file을 할당하였다. 이 상태를 지속시키고, VoCM과 MTA에 연결된 품질측정 PC에서 음성데이터 품질 측정을 하였다.

그림 7은 UGS-AD 기능을 활성화 시킨 VoCM에 연결된 측정 PC의 결과값이다. 패킷로스가 없고, MOS 값이 5에 가까워 매우 좋은 품질을 나타내고 있다. 실제 상용 HFC망에서 상향데이터의 폭주는 실제 발생하고 있으며, 이런 경우 VoCM에 UGS-AD 기능을 활성화시키는 개선된 방법으로 음성데이터의 품질을 향상시킬 수 있다. 다음은 개선된 방안을 적용 후 MTA의 측정 결과이다.

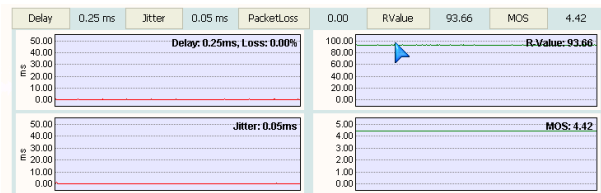


그림 7. UGS-AD를 적용 시 VoCM 결과  
Fig. 7. VoCM results when applying UGS-AD.

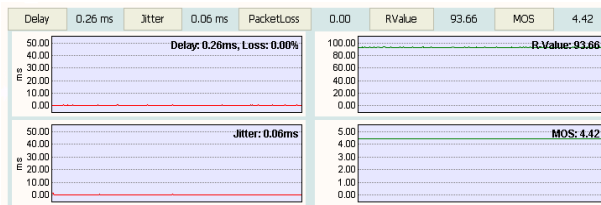


그림 8. RTPS를 적용 시 MTA 결과  
Fig. 8. MTA results when applying RTPS.

그림 8은 RTPS를 적용 후 MTA에 연결된 품질 측정 서버에서 측정한 결과이다. UGS-AD를 적용한 VoCM의 결과와 마찬가지로 패킷로스 및 MOS이 값이 매우 정상적으로 측정되었다. 상용 HFC망에서 MTA의 경우는 VoCM과 다른 프로토콜을 사용하고, 구성형태도 틀리지만 음성데이터를 전송한다는 관점에서는 동일하다고 할 수 있다. 위와 같이 VoCM에는 UGS-AD, MTA에는 RTPS를 적용한다면 실제 상용 HFC망에서 문제가 되는 협소한 상향대역에서의 음성데이터 전송을 원활히 수행할 수 있음을 확인하였다.

#### IV. 결 론

HFC 서비스망은 가입자에 공급되는 단말장치인 CM과 센터에 위치하는 CMTS로 이루어진다. CM은 가입자의 PC와 연결되어 인터넷을 사용 가능하도록 하게한다. CM은 수동형 장치로서 DHCP (dynamic host control protocol) 서버의 제어에 따라 동작한다. CM에 적용되는 정책은 option-file이라고 하는 DOCSIS (data over cable system interface specification) 국제 규격파일에 의해 결정된다.

HFC 인터넷서비스망에서 음성데이터를 보장하기 위해서 첫째, 다양한 단말장치를 서비스하고, 이를 보장하기 위한 확장성이 필요하며, 특화된 기능에 맞게 최적화된 설정을 적용하여야 한다. 둘째, 기본적인 HFC망의 최소대역폭이 보장되어야 한다. 셋째, VoCM과 같이 일체형 장비에는 UGS-AD라는 개선된 보장방법을 적용하는데, option-file을 사용하는 것이 아닌 VoCM 자체에 적용하여 상향대역을 효율적으로 사용하는 기법을 적용해야 한다. 넷째, MTA 및 IP Phone 등과 같은 단독형 VoIP 단말기에는 RTPS가 적용된 option-file을 전달하는 방식으로 사용해야 한다.

따라서 음성데이터 보장의 궁극적인 목표는 end-to-end이다. 본 논문에서 제안한 HFC망에서 음성데이터의 개선된 보장방법은 HFC망의 핵심요소인 CMTS와 케이블 모뎀사이의 구간에 적용할 수 있는 방법을 연구하였다. 향후 음성데이터가 CMTS를 벗어나 IP-core 및 기간망에서 전송될 때 보장될 수 있는 방법이 필요하며, 이에 대한 스케줄링 및 능동적 대역폭 사용기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

현재 HFC망은 타 서비스망과 속도경쟁으로 지속적으로 서비스 속도가 향상되고 있으며, 앞으로 화상통신까지 적용이 가능하고, 좀 더 발전된 VoIP 서비스를 적용할 수 있을 거라 예상된다.

#### 참고 문헌

[1] S. H. Shin, and H. Schulzrinne, "Measurement and analysis of the VoIP capacity in IEEE 802.11 WLAN," *IEEE Transactions*

- on *Mobile Computing*, Vol. 8, No. 9, pp.1265-1279, 2009.
- [2] G. U. Devi, K. V. Kaushik, B. Sreeveer, and K. S. Prasad, "VoIP over mobile Wi-Fi hotspot," *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 8(S2), pp.195-199, 2015.
- [3] M. Avula, S. G. Lee, and S. M. Yoo, "Security framework for hybrid wireless mesh protocol in wireless mesh networks," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Vol. 8, No.6, pp.1982-2004, 2014.
- [4] Z. Zhu, "Design green hybrid fiber-coaxial networks: a trafficware and cooperative approach," in *2012 IEEE International Conference on Communications(ICC)*, Ottawa: Canada, pp. 3165-3169, 2012.
- [5] F. Idrees, and U. A. Khan, "A generic technique for voice over internet protocol(VoIP) traffic detection," *International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL. 8 No. 2, pp52-59, 2008.
- [6] C. Booth, "Chapter 2: IP phones, software VoIP, and integrated and mobile VoIP," *Library Technology Reports*, pp.11-19, 2010.
- [7] A. Alhaj, M. Mosleh, M. S. Kolhar, L. V. Chandra, O. Abouabdalla, and A. M. Manasrah, "Delta-multiplexing: A novel technique to improve VoIP bandwidth utilization between VoIP gateways," in *2010 IEEE 10th International Conference on Computer and Information Technology(CIT)*, Bradford: United Kingdom, pp. 329-335. 2010.
- [8] S. Jose, D. Wing, F. N. Julian, R. M. Jose, M. A. Perumal, and G. Camarillo, "Widening the scope of a standard: Real time flows tunneling, compressing and multiplexing," in *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Ottawa: Canada, pp.6906- 6910. 2012.
- [9] A. Alhaj, and M. Mosleh, "ITTP-MUX: An efficient multiplexing mechanism to improve VoIP applications bandwidth utilization," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol 11, No. 6, pp.2063-2073, 2015.
- [10] R. H. Yang, "Noise analysis and inhibition of uplink channel for HFC based on broadband access network," *Radio & TV Broadcast Engineering*, pp.116-118, 2007.



**주 재 한(Jae Han Ju)**

1989년 2월 : 조선대학교 전자공학과 (공학사)  
1991년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1999년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
2000년 3월 ~ 현재 : 송호대학교 보건의료전자과  
※ 관심분야 : 디지털이동통신, 임베디드시스템, 의공학