

# 디지털 유선방송을 위한 DOCSIS 1.1 프로토콜의 성능분석에 관한 연구

정희원 김 수 희\*, 손 원\*\*, 김 영 수\*\*, 홍 인 기\*\*

## A Study on the Performance Analysis of the DOCSIS 1.1 Protocol for Digital CATV Broadcasting

Soo-Hee Kim\*, Won Sohn\*\*, Young-Soo Kim\*\*, Een-Kee Hong\*\* *Regular Members*

### 요 약

이 논문에서는 디지털 유선방송 시스템에서 대역의 채널을 통한 시스템 메시지 전송과 데이터 서비스를 위하여 DOCSIS 모델을 사용할 때의 성능을 분석하였다. 객관성을 유지하기 위하여 상/하향 채널과 잡음 환경을 고려한 가운데 패킷 크기, 전송스트림 속도, 연결, 단편화, 우선순위 등에 따른 처리율, 평균 접속 지연 및 상향 채널 이용률을 분석하였다. 우선순위를 적용한 경우에 우선순위가 낮은 서비스들은 채널 상에서 계속적으로 기아 상태가 될 수 있는데, 연결과 단편화 기능을 적용하여 이러한 문제를 해결할 수 있었다. 또한 상/하향 채널 상에 잡음을 적용하였을 때, 처리율과 평균 접속 지연의 성능이 잡음이 없을 때와 비교하여 크게 차이 나는 것을 확인하였다.

Key Words : DOCSIS; Upstream; Downstream; OpenCable; DSG; OPNET.

### ABSTRACT

The Data Over Cable System Interface Specification (DOCSIS) protocol enables the delivery of Internet Protocol(IP) traffic over Cable TV networks with significantly higher data rates. In this paper, we assessed the performance of the DOCSIS protocol using the OPNET. The simulation can be used to predict the upstream system throughput, mean access delay and channel utilization on varying packet size and transmission stream and with/without concatenation, and it has shown that maximum system throughput is 4.6 Mbps for channel capacity of 5.12 Mbps and packet size of 1500 bytes. The mean access delay varies depending on the offered load, and it is assumed that the offered load does not exceed the capacity of the channel. Excess offered load causes service starvation according to the assigned priority.

### 1. 서 론

우리나라 디지털 유선방송 표준의 통신채널은 FAT (Forward Application Transport) 채널과 NTSC 아날로그 채널을 포함하는 대역내(In-Band) 채널과, 순방향 데이터 채널과 역방향 데이터 채널을 포함하는 대역외(Out-Of-Band, OOB) 채널로 분류되어 있다<sup>1)</sup>. OOB 채널은 SI (Service

Information), EMM (Entitlement Management Message), EAS (Emergency Alert System) 등을 포함하는 시스템 메시지 전송과 데이터 서비스를 지원하기 위한 OOB 데이터 통신용으로 사용될 수 있다. OOB 데이터 통신 방식은 SCTE DVS-178, SCTE DVS-167 및 DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)를 포함하는 세 가지가 있으며, DOCSIS 방식은 우리나라에 설치된

\* 경희대학교 정보통신망관리공학전공 멀티미디어전송 연구실(shjms.kim@samsung.com), \*\* 경희대학교 전파공학과  
논문번호 : 030128-0324, 접수일자 : 2003년 3월 24일

대부분의 케이블 모뎀에서 사용되고 있을 뿐만 아니라, 다른 방식에 비하여 상당히 높은 데이터 속도를 지원할 수 있기 때문에 매력적인 방식이라고 할 수 있다. 그러므로 이 논문에서는 디지털 유선방송 시스템에서 DOCSIS 모뎀을 OOB 대역 통신용으로 적용할 때의 성능을 분석하고자 한다.

Tzerefos 등은 CATV망에서 고속 디지털 통신을 위한 표준을 소개하였으며, Sdralia 등은 우선순위를 가진 FCFS (First Come First Served) 스케줄링 알고리즘을 사용하는 MCNS DOCSIS 1.0 CATV 프로토콜의 성능을 분석하여, 2560 kbps의 채널용량에 대하여 1500 바이트의 패킷 크기를 사용할 때 최대 유지 시스템 처리율이 1,965 kbps이나, 100 바이트의 패킷 크기에 대해서는 1,550 kbps가 됨을 보였다. 또한 평균 접속 지연시간은 제공 부하가 채널 용량을 초과하지 않는다는 가정 아래, 10 ~ 900 msec의 범위 내에서 제공 부하에 따라 변한다는 것을 보였다<sup>2)</sup>. 또한 Tzerefos 등은 최대 500 노드의 모델과 제한된 QoS 조건하에서 저속 등시성 스트림 전송을 위한 DOCSIS 1.0 CATV 프로토콜의 용량과 성능특성을 평가하였으며, 패킷 연결 기능을 적용하였을 때, 시스템 처리율이 26% 까지, 채널 이용률이 15% 까지 향상되었으나 시간 지연은 거의 향상이 없음을 보여주었다<sup>3)</sup>.

기존의 연구결과가 고속통신 서비스에 DOCSIS 1.0 프로토콜을 적용하였을 때의 성능분석을 주로 하였으나, 이 논문에서는 디지털 유선방송 서비스의 OOB 데이터 통신에 DOCSIS 1.1 프로토콜을 적용했을 때의 성능분석을 하였으며, 또한 채널상태를 잡음이 있을 때와 없을 때를 모두 고려하였다. DOCSIS 1.0에서는 기본적으로 QoS가 제공되지 않으며, 단지 모뎀의 SID (Service Identifier)를 이용하여 케이블 모뎀을 구분해야하는 서비스 흐름으로 인해 CM (Cable Modem)과 CMTS (Cable Modem Termination System)간의 신뢰성 있는 전송이 불가능 하였으나, DOCSIS 1.1에서는 VoIP 지원과 QoS 보장을 위한 다양한 기술이 도입되고, 상향 서비스 흐름 스케줄링 서비스의 종류가 새롭게 정의됨에 따라 전체적으로 프로토콜의 성능 향상을 가져오게 되었다. 또한 DOCSIS 1.0에서는 연결과 단편화 기능을 제공하지 않았으나, 이 연구에서는 DOCSIS 1.1에 이러한 기능들을 적용함으로써 기존에 연구된 DOCSIS 프로토콜의 성능에 비해 우수한 결과를 확인할 수 있었다. 그리고 선행된 연구에서는 대부분 채널에 오류가 없다고 가정하고 성능분석을 수

행하였으나, 이 논문에서는 실제 정보 전송 환경을 최대한 고려하기 위하여 채널 상에 잡음을 적용한 경우에 대한 DOCSIS의 성능도 분석하였다.

이 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. II장에서는 DOCSIS 프로토콜의 상향 전송에 관해 간략하게 설명하였고, III장에서는 오픈케이블상에서의 DOCSIS 이용을 나타내는 DSG (DOCSIS Set-top Gateway)에 대하여 설명하였다. IV장에서는 모의실험을 위한 시스템 모델링을 나타내었으며, V장에서는 DOCSIS 1.1 프로토콜의 성능을 평가하고 분석하였다.

## II. DOCSIS 프로토콜

### 1. 상향 대역 할당

상향 채널은 미니슬롯의 흐름으로 모델링 될 수 있다. 상향 대역을 할당하는 기본 메카니즘은 CMTS가 하향 채널을 통해서 MAC 관리 메시지인 할당 MAP을 CM으로 전송함으로써 수행된다. 대역 폭 할당은 아래와 같은 기본 요소들을 갖추어 이루어져야하며, 상향 대역 할당 MAP 형식은 그림 1과 같다.

- 1) 각 CM은 48 비트 주소 뿐 아니라 하나 이상의 SID를 가져야 한다.
- 2) 상향 대역은 미니슬롯들의 흐름으로 구분된다. 각 미니슬롯은 CMTS에 의해 순서가 주어지고, CMTS는 이들 슬롯을 구분하기 위한 시간 기준값을 발생시킨다. 시간 정보는 동기 패킷으로써, CM들에게 분배된다.
- 3) CM들은 CMTS에게 상향 대역폭을 요구할 수 있다.
- 4) CMTS는 반드시 각 미니슬롯의 사용 허가를 정의하는 할당 MAP PDU(Packet Data Unit)를 하향 채널 상에 전송해야 한다.

### 2. QoS 제공을 위한 스케줄링 트래픽 흐름 특성

DOCSIS 1.1은 1.0에서는 제공되지 않았던 QoS를 제공하며, 트래픽 흐름에 대해서 아래와 같이 5가지의 서비스로 나뉜다.

- 1) Unsolicited Grant Service(UGS)
- 2) real-time Polling Service(rtPS)
- 3) Unsolicited Grant Service with Activity Detection (UGS-AD)
- 4) non-real time Polling Service (nrtPS)

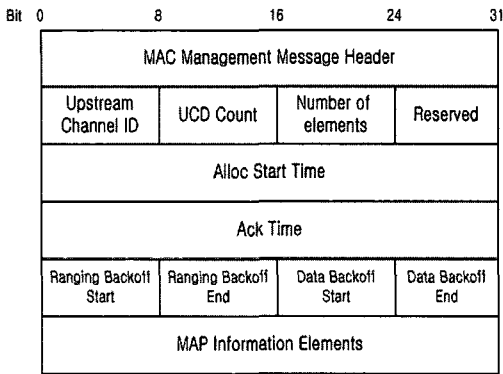


그림 1. MAP 형식  
Fig 1. MAP Format

5) Best Effort Service(BE)

QoS의 요청과 승인은 SID 차원에서 이루어지며, 단일 CM은 필요에 따라 여러 개의 SID를 가질 수 있다. UGS는 특정한 실시간 트래픽 흐름을 위해 상향 전송 기회를 예약하는 방식으로 CBR (Constant Bit Rate)과 같은 형태의 등시성 트래픽을 지원한다. nrtPS는 VoIP와 같은 실시간 트래픽 흐름을 위한 것으로 서비스 흐름은 망의 폭주상태에 관계없이 주기적인 전송 기회를 얻는다. UGS-AD는 DOCSIS 1.1 버전에서 제공되는 새로운 서비스로써, CM activity 검출 기술을 사용하고, 무음 억제 기능을 가진 음성 트래픽을 지원한다. nrtPS는 최소 비트율을 보장하는 비실시간 트래픽 흐름을 위한 것으로 ATM에서 nrt-VBR 서비스와 비슷하다. 마지막으로, BE는 ATM에서 UBR 서비스와 같다고 볼 수 있으며, CM은 모든 요청 기회를 사용하여야 한다.

3. 케이블 모델 소스 트래픽 특성

이 논문에서는 최대 200 CM, 0~7까지 8개의 우선순위를 사용하여 네트워크를 구성하였고, 사용된 네트워크 모델의 우선순위는 모의실험 내용에 따라 변화도록 설정하였다. DOCSIS 1.1 네트워크 구조를 평가하는데 사용된 모의실험은 아래와 같이 크게 두 가지 트래픽 특성으로 나누어 실험하였다.

- 1) 등시성 트래픽: 이 트래픽에 대한 모의실험은 CM마다 초당 하나의 메시지를 발생시킨다. 여기서 패킷의 크기는 64 ~ 1518 바이트까지 변화 시켰으며, 8개의 우선순위 각각에 동일한 CM의 개수를 할당해 주었다.
- 2) On-Off 트래픽: 패킷의 크기에 대해서 이 트래픽을 가진 모의실험은 패킷의 크기를 일정

하게 유지시켜주며 CM마다 초당 발생된 메시지의 평균 개수는 변화한다. 이 값은 CM이 CMTS로 패킷을 보낼 때, 평균 on time에 할당되며, 평균 중간 도착시간과 평균 off time은 제공된 부하가 변할 수 있도록 설정된다. 이 트래픽 역시, 8개의 우선순위 각각에 동일한 CM의 개수를 할당하여 모의실험하였다.

III. 오픈케이블에서 DSG의 이용

DSG는 동축 케이블 망 뿐만 아니라 HFC (Hybrid Fiber Coax) 케이블 망에서 데이터 서비스의 구현을 용이하게 하기 위하여 설계된 인터페이스 규격 중 하나이며, OOB 메시지 전송을 위한 셋톱 네트워크 컨트롤러와 CPE (Customer Premise Equipment) 사이의 인터페이스 요구사항을 정의한다. 그림 2는 DSG와 케이블 참조구조 상의 데이터와의 관계를 보여주는데, 특히 DSG는 제한 수신을 지원하기 때문에 제한 수신 시스템의 보안 요소들과 충돌하지 않아야 하며, DSG를 지원하는 호스트는 상향 트래픽을 위해서 DOCSIS 전반에 양방향 IP를 사용해야 한다<sup>6)</sup>.

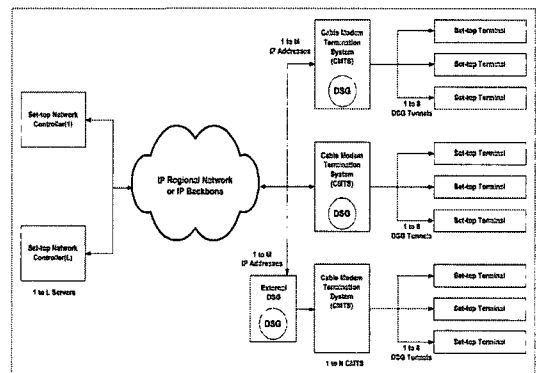


그림 2. DSG 물리적 다이어그램  
Fig 2. DOCSIS Set-top Gateway Physical Diagram

오픈케이블에서 DOCSIS는 단순히 CM과 CMTS 간의 데이터를 전송하는 케이블 모델의 역할 뿐 아니라 제한 수신, 케이블 상에서 전송되는 신호나 데이터와 관련된 시스템 정보(SI)등 다양한 메시지를 제공하는 프로토콜이다. 특히 DOCSIS 1.1에서는 QoS를 지원하기 때문에 케이블 내에서 이러한 DOCSIS의 이용은 CM과 CMTS 사이의 투명한 정보 전송을 보장한다.

#### IV. 시스템 모델링

이 논문에서 모의실험 장치로는 OPNET 8.1을 사용하였으며, DOCSIS 모듈을 중심으로 네트워크를 구성하여 모의실험을 수행하였다. 네트워크 구성은 크게 노드와 링크 모델로 나눌 수 있는데, 노드 모델에는 CM 노드와 CMTS 노드가 있고, 링크 모델에는 DOCSIS 링크 모델이 있다. 가장 기본적인 케이블 네트워크는 그림 3과 같으며 이 네트워크는 DOCSIS를 지원한다<sup>[8][9]</sup>.

인터넷과 연결되는 부분에는 IP 네트워크와 게이트웨이, 원격 서버 등을 구성하였고, 특히 네트워크가 DOCSIS 기능을 할 수 있도록 상/하향 채널 및 변조와 DOCSIS MAP에 관한 내용 등을 설정해주는 DOCSIS 형상, 케이블 네트워크 상에서 동작하는 애플리케이션을 설정해 주는 애플리케이션 특성, 각각의 프로파일을 지정해 주는 프로파일 특성 등을 포함하였다. 인터넷과의 연결 부분은 기본적으로 그림 4와 같이 구성하였으며, 이것은 간단한 DOCSIS 네트워크의 일부분이 된다.

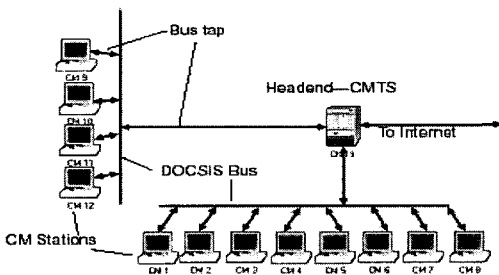


그림 3. 케이블 네트워크 구성  
Fig 3. Cable Network Architecture

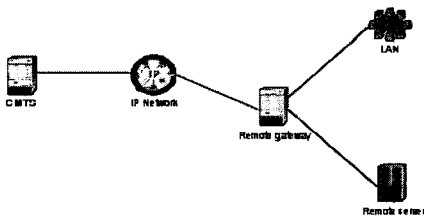


그림 4. CMTS-인터넷간의 모델링  
Fig 4. CMTS-Internet Modeling

DOCSIS 네트워크 구성에 대하여 모의실험에서 사용한 기본적인 파라미터 값들은 일반적으로 실제적인 구현에서 사용된 전형적인 값들을 사용하였다.

표 1은 주로 상향 채널을 고려한 경우로써, 하향 채널은 V장에서 자세히 나타내었다. 상향 채널 용량은 5.12 Mbps를 할당하였고, 변조는 QPSK를 사용하였다. 일정 구간에서 패킷은 64~1518 바이트까지 변화시켜가며 실험하였으나, 이 논문에서는 64, 128 바이트 일 때의 성능만을 도시하였다. CM의 개수는 200개로 한정하였다.

표 1. 모의실험을 위한 파라미터 값  
Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Upstream channel capacity (QPSK)	2.56 or 5.12 Mbps
Downstream channel capacity (64 QAM)	27 Mbps
Number of CMs	200
User data packet (bytes)	64, 128, 1500 bytes
Number of contention minislots per MAP	32
Maximum number of minislots in MAP	4096
Simulated time for each run	1(hour)

상향 전송의 경우에는, CM에서 CMTS로 데이터를 전송할 때 CMTS가 하향 채널을 통해서 MAC 관리 메시지만 할당 MAP을 CM으로 전송함으로써 CM과 CMTS간의 전송이 이루어진다. 그러므로 CM은 CMTS로부터 MAP 메시지를 받지 못하면 전송 요청에 대한 허가를 받지 못한 것이므로 자신이 보내고자 하는 정보를 재전송 해야 한다. 그러나 하향 전송인 경우에는, CM측으로 SI, EMM등과 같은 방송 데이터와 데이터 서비스를 위한 일반 데이터를 모두 전송하기 때문에 CM이 정보를 제대로 수신하지 못했을 때 CMTS는 방송 데이터와 일반 데이터를 구분하여, 방송 데이터를 전송하는 경우에는 재전송을 하지 않으며, 일반 데이터에 대해서는 경우에 따라 재전송을 수행하게 된다. 이 때 CM에서는 방송 데이터와 일반 데이터를 모두 수신할 수 있지만 여기서는 각 CM에 우선순위를 적용하여 우선순위가 높은 것만 서비스 될 수 있도록 하였다.

시스템 내에서 CM과 CMTS간에 좀 더 신뢰성 있는 전송이 이루어지기 위해서는 네트워크상의 QoS 보장이 반드시 이루어져야 하는데, DOCSIS 1.0에서는 QoS가 지원되지 않기 때문에 서비스에

대하여 고품질을 지원할 수 없을 뿐만 아니라, 지연 또한 증가하게 된다<sup>4)</sup>. 그러나 DOCSIS 1.1 버전 이후로는 광범위한 QoS와 향상된 보안성을 지원함으로써 특정 애플리케이션에 대한 전용 서비스 제공이 가능해졌다. QoS를 제공하는 방법으로는 자원 예약과 우선순위 적용의 두 가지가 있는데, 이 논문에서는 이 중 우선순위 적용에 대하여 논하였고, 여기에 DOCSIS 1.1에서 제공하는 연결과 단편화 기능을 적용시킴으로써, 기존의 DOCSIS 1.0에서 제공하였던 우선순위에 따른 처리율의 성능을 개선하였다.

DOCSIS에서 연결이란 데이터 처리율을 높이기 위하여 여러 개의 작은 패킷들을 묶어서 전송할 수 있는 기능을 말하는데, 이 기능을 통해 CM은 한번의 전송 기회에서 다중 MAC 프레임을 송신할 수 있게 되고 QoS에 대한 보장이 가능해진다. 또한 CM이 큰 MAC PDU를 작은 조각으로 나누어 개별적으로 상향 전송을 하고 CMTS에서 재조립하는 단편화 기능을 적용함으로써, 시스템 내에서 불필요한 오버헤드를 줄일 수 있게 된다. 특히 이 단편화 기능은 여러 CM이 한꺼번에 CMTS로 데이터를 전송하여 케이블 네트워크의 어떤 지점에서 폭주가 발생했을 경우, 폭주가 예상되는 지역에 이 기능을 적용하여 지연을 줄임으로써 QoS를 보장할 수 있는 장점이 있다. 그리고 각각의 상/하향 채널 상에 오류를 적용하여, 오류를 적용하지 않았을 때와 비교 실험을 하였다.

이 논문에서는 위와 같은 사항들을 고려하여 모의실험에 필요한 여러 가지 파라미터들을 설정하였으며, 이를 통해 DOCSIS 1.1 프로토콜의 성능을 비교, 분석하였다.

### V. 모의실험 결과

상향 전송에 대한 각 모의실험은 패킷 크기와 전송스트림 속도를 다르게 하면서 수행하였는데, 패킷은 64와 128 바이트를 사용하였고, 전송스트림은 8, 64 kbps를 적용하였다. 그리고 채널 상에 BER을 적용한 경우에는 64 바이트 패킷 크기와 384 kbps 전송스트림 속도를 적용하여 모의실험 하였다<sup>5)</sup>.

#### 1. 우선순위를 고려하지 않은 경우의 성능분석

그림 5와 그림 6은 상향 채널 용량이 5.12 Mbps 이고 패킷 크기가 64와 128 바이트, 전송스트림 속도가 각각 8 kbps와 64 kbps일 때 연결 기능 적용

유/무에 따라 처리율 성능이 어떻게 달라지는가를 나타낸 그래프이다. 64 바이트 패킷을 예로 든 경우, 8 kbps 전송스트림에서 연결 기능을 적용했을 때와 하지 않았을 때 최대 처리율이 약 34%정도 증가한 것에 반하여, 64 kbps에서는 연결을 적용하지 않았을 때 약 2.6 Mbps의 처리율에서 연결을 적용했을 때 처리율은 약 3.9 Mbps로 50%정도의 처리율 성능 향상을 가져온 것을 알 수 있는데, 이를 통해 전송스트림 속도가 증가함에 따라 연결 기능을 적용한 경우에 대하여 작은 패킷 크기에 대한 처리율 성능이 많이 향상됨을 알 수 있다. 결과적으로, 연결 기능의 적용 유/무에 따라 각 패킷 크기와 전송스트림에 따라 큰 차이를 보인다.

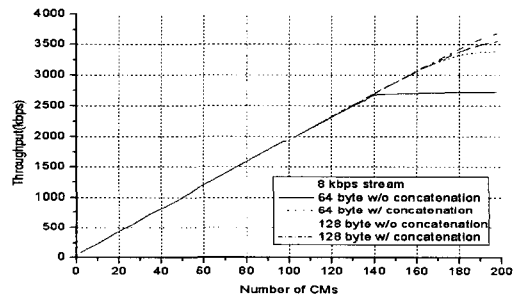


그림 5. CM의 개수에 따른 처리율(8 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)

Fig 5. Throughput vs. Number of CMs(8 kbps stream with/without concatenation)

평균 접속 지연에 대한 성능 분석에서도 64, 128 바이트 패킷에 8, 64 kbps 전송스트림 속도를 사용하였는데 그림 7과 그림 8은 각각 전송스트림이 8, 64 kbps일 때의 평균 접속 지연을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 패킷의 크기가 작을수록 최대 지연이 증가하게 되는데 두 경우의 전송스트림 속도에 대하여, 연결을 적용했을 때 지연이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 64 바이트 패킷에서 8 kbps 전송스트림의 경우에 연결을 적용하지 않았을 때는 80 ms였던 지연이, 연결을 적용하면 약 22 ms로 감소하게 된다. 또한 64 kbps 전송스트림 속도에서는 연결 기능을 적용하지 않았을 때 지연이 115 ms 이지만 적용한 후 29 ms 정도로 감소하게 되는데, 이렇게 큰 성능 차이를 나타냄으로써 연결을 적용한 경우가 그렇지 않을 때보다 시스템의 전체적인 성능도 향상되게 된다. 그러나 패킷의 크기가 작고 전송스트림 속도가 높을 때에는 CM의 개수가 적어도 지연이 빠르게 증가함으로 시스템에서 적당

한 파라미터 선택이 필요하다.

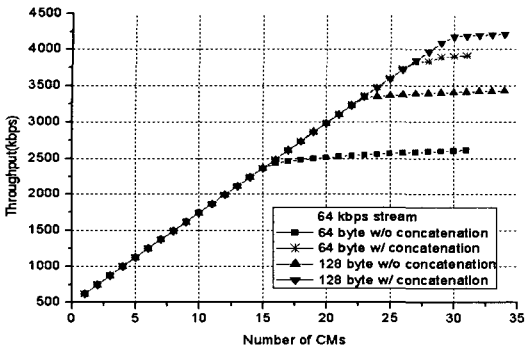


그림 6. CM의 개수에 따른 처리율(64 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)  
Fig 6. Throughput vs. Number of CM (64kbps stream, with/without concatenation)

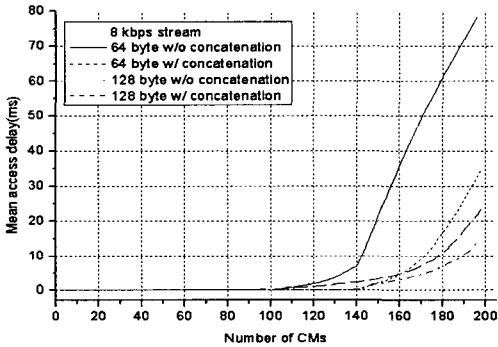


그림 7. CM의 개수에 따른 평균 접속 지연(8 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)  
Fig 7. Mean access delay vs. Number of CMs(8 kbps stream, with/without concatenation)

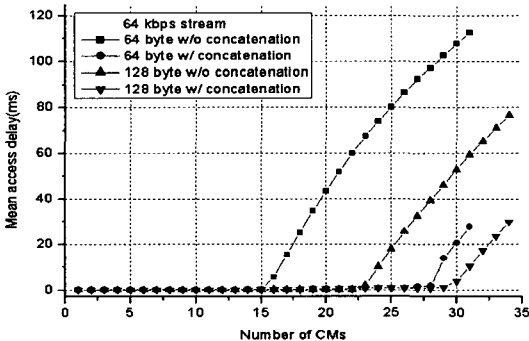


그림 8. CM의 개수에 따른 평균 접속 지연 (64 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)  
Fig 8. Mean access delay vs. Number of CMs (64kbps stream, with/without concatenation)

그림 9는 패킷 크기가 64와 128 바이트이고 전송

스트림 속도가 8 kbps 일 때 CM의 개수에 따른 상향 채널 이용률을 나타낸 것이다. 또한 그림 10은 동일한 패킷의 크기에 대해 전송 스트림이 64 kbps 일 때의 성능이다.

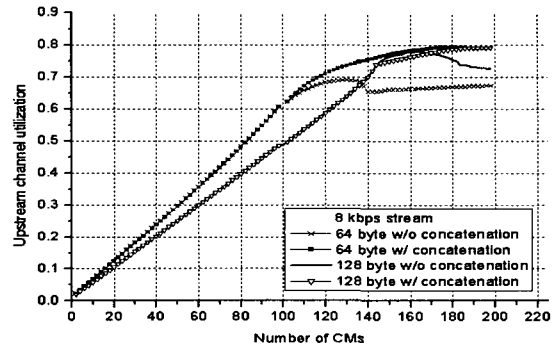


그림 9. CM의 개수에 따른 상향 채널 이용률(8 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)  
Fig 9. Upstream channel utilization vs. number of CMs(8 kbps stream, with/without concatenation)

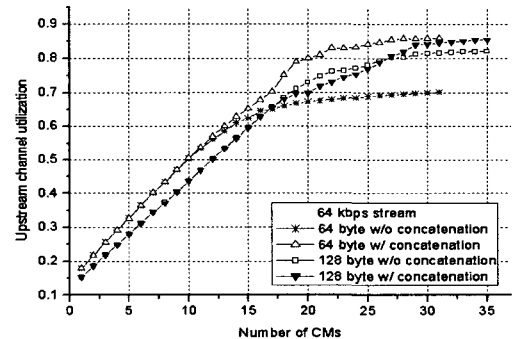


그림 10. CM의 개수에 따른 상향 채널 이용률 (64 kbps 스트림, 연결 기능 적용 유/무)  
Fig 10. Upstream channel utilization vs. No of CMs(64 kbps stream, with/without concatenation)

패킷의 크기가 작을수록 전송 스트림의 증가에 따라 더 낮은 채널 이용률을 나타내게 되는데, 처리율이나 평균 접속 지연과 같이 환경의 변화에 크게 민감하지는 않다. 전체적으로, 연결 기능을 적용한 후의 성능이 훨씬 뛰어남을 알 수 있으나 패킷의 크기에 따른 성능 면에서 그다지 큰 차이를 보이지는 않는다.

## 2. 우선순위를 고려한 경우의 성능분석

이 논문에서는 주어진 채널 용량을 초과하는 어떠한 서비스들이 제공될 경우, 서비스의 중요도에 따라 CMTS에서 임의로 선택할 수 있도록 각 CM에 우선순위를 부여하였을 때의 제공될 부하에 따

른 처리율을 분석하였다. 모의실험을 위하여 등시성 트래픽과 On-Off 트래픽을 사용하였고, 0~7까지 8개의 우선순위를 적용하였다. On-Off 트래픽의 경우에는 연결 기능을 적용하지 않았고, 등시성 트래픽의 경우에만 연결 기능을 적용하여 두 경우의 성능을 비교하였다. On-Off 트래픽에서는 패킷의 크기를 1500 바이트로 고정시켰으며 상향 채널 용량은 2.56 Mbps를 사용하였다. CM은 각 우선순위당 20개씩 전체 160 CM을 할당하였다.

그림 11은 각 우선순위에 따라 처리율이 어떻게 달라지는지를 보여주는데, 우선순위 2부터는 처리율이 조금씩 저하되어, 우선순위 5이상의 경우에는 거의 서비스되지 않는다고 볼 수 있다. 이처럼 우선순위가 낮은 서비스는 채널 상에서 계속적으로 기아 상태가 될 수 있다<sup>7)</sup>.

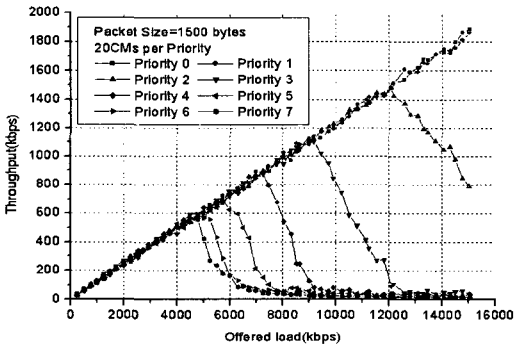


그림 11. 제공된 부하에 따른 처리율(On-Off 트래픽)  
Fig 11. Throughput vs. Offered load(On-Off Traffic)

이러한 문제를 간헐적으로 해결하기 위하여 그림 12에 나타난 등시성 트래픽에서는 패킷 크기를 64~1518 바이트 까지 변화시키고, 상향 채널 용량을 On-Off 트래픽과 동일하게 할당한 상태에서 연결과 단편화 기능을 추가하였다. 이 기능을 적용함으로써 QoS가 제공됨과 동시에 낮은 우선순위로 어느 정도까지는 서비스 될 수 있음을 보여준다.

그림 11과 그림 12에서 나타내었듯이, CM에서 CMTS로 데이터를 전송할 때, CM측에서는 패킷 크기와 CM의 개수를 적절히 조절하는 것이 필요함을 알 수 있다. 또한 연결과 단편화 기능이 처리율을 증가시키는데 중요한 요소임을 알 수 있으며, 이러한 기능을 통하여 상향 대역폭의 효율적인 사용이 가능하게 되고 시스템의 효율도 향상되게 된다.

3. 채널 오류를 고려한 경우의 성능분석

정보를 전송함에 있어서 채널 오류는 항상 발생

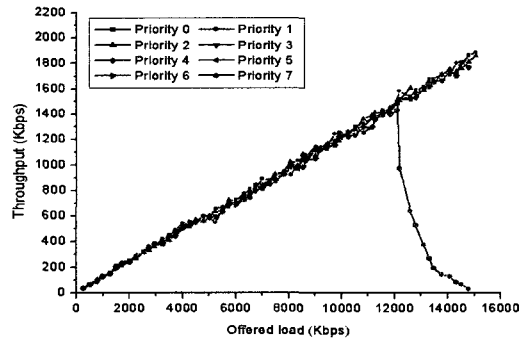


그림 12. 제공된 부하에 따른 처리율(등시성 트래픽)  
Fig 12. Throughput vs. Offered load(Isochronous Traffic)

할 수 있으므로 이 논문에서는 BER을 통해 오류를 적용시켰을 때의 처리율과 평균 접속 지연 성능을 분석하였다. 또한 케이블 망에서 SI, EMM등을 전송하는데 중요한 역할을 하는 하향 채널에 대한 기본적인 성능을 분석하였다. 하향은 상향 쪽 보다 더 많은 정보가 전송되기 때문에, 이 때 채널에서의 오류는 DOCSIS 프로토콜 성능을 좌우하는 중요한 요소가 될 수 있다.

채널 상에 오류가 있는 상황 전송에 대한 DOCSIS 성능을 분석하기 위하여 상향 채널 용량은 5.12 Mbps를 적용하였다. 상향 채널은 QPSK 변조를 사용하는데, 이 때 BER은  $3 \times 10^{-6}$  일 때와 0일 때를 적용하였으며 연결 기능 적용 유/무에 따른 성능을 분석하였다.

그림 13은 앞에서 나타난 상향 채널 성능에서 패킷 크기를 64 바이트로 고정하고 전송 스트림 속도가 384 kbps일 때를 적용한 경우이다. 연결 기능을 적용한 경우에는 오류에 대하여 그다지 민감하지 않지만 그렇지 않을 때는 오류 정도에 따라 성능에 많은 변화가 생길 수 있다.

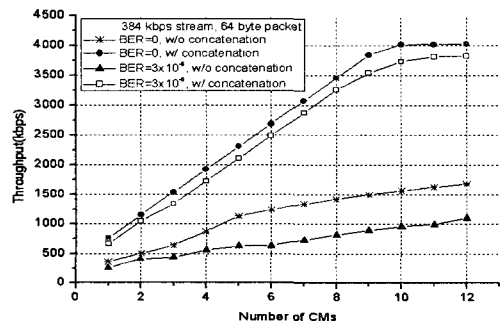


그림 13. CM의 개수에 따른 처리율  
Fig 13. Throughput vs. Offered load

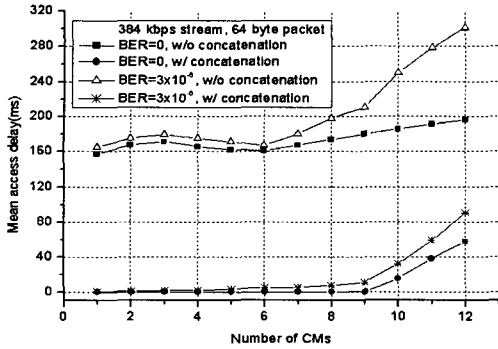


그림 14. CM의 개수에 따른 평균 접속 지연  
Fig 14. Mean access delay vs. Number of CMs

그림 14는 BER이  $3 \times 10^{-6}$  일 때, CM의 개수에 따른 평균 접속 지연 성능을 나타낸 것이다.

처리율 성과와 비슷한 양상을 보이지만 연결 기능 적용 유/무에 따라 성능 면에서 좀 더 차이가 난다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 채널 상에 오류가 있을

때 연결 기능을 사용하면 시스템 성능을 어느 정도 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있는데 만약 이보다 더 큰 오류가 발생한다면 좋지 않은 성능이 야기될 수 있다.

하향 채널상의 오류는 경우에 따라 상향 쪽 보다 더 중요할 수 있다. 그 이유는 CMTS에서 CM으로 보내는 데이터에는 일반적인 음성이나 영상과 같은 데이터들도 있지만 방송 데이터까지 고려될 수 있기 때문이다. 하향 전송을 통한 방송 데이터의 경우에는 각 CM에서 모두 수신한다고 가정하였고, 일반 데이터들은 우선순위에 따라 다르다고 가정하였다.

표 2는 하향 채널을 위한 모의실험 파라미터이다. DOCSIS 1.1 규격에서는 하향 채널에 64 QAM을 사용하였을 경우  $E_s/N_0$ 가 23.5 dB 보다 크거나 같을 때 BER은  $10^{-8}$  이하여야 한다고 규정되어 있는데, 이 경우 DOCSIS 성능 면에서 거의 차이가 나지 않는다. 그러므로 이 논문에서는 상향 채널에서와 같이 BER이  $3 \times 10^{-6}$  일 때를 적용하여 각각 오류가 있을 때와 없을 때 제공된 부하에 따른 처리율과 평균 접속 지연에 대하여 모의실험 하였다.

그림 15와 그림 16은 각각 DOCSIS 하향 채널에서의 처리율과 평균 접속 지연 성능이다. 상향 채널과 마찬가지로 BER이  $3 \times 10^{-6}$  일 때, 그다지 큰 성능 차이를 보이지 않으나 만약 CMTS에서 전송하려는 데이터가 오류에 민감한 경우에는 특히 평균

표 2. DOCSIS 하향 채널  
Table 2. DOCSIS Downstream Channel

Property	Description
Modulation	64 QAM
Data Rate	27 Mbps
Center Frequency	500 MHz
Channel Width	6 MHz
Framing	MPEG-2
FEC	RS(128, 122)
Symbol Rate (64 QAM)	5.056941 Msym/sec

접속 지연에 대하여 시스템 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.

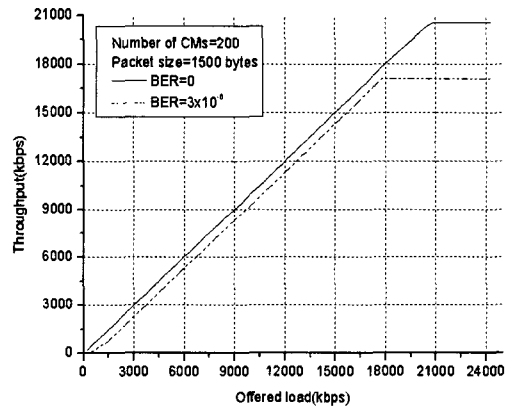


그림 15. 제공된 부하에 따른 처리율  
Fig 15. Throughput vs. Offered load

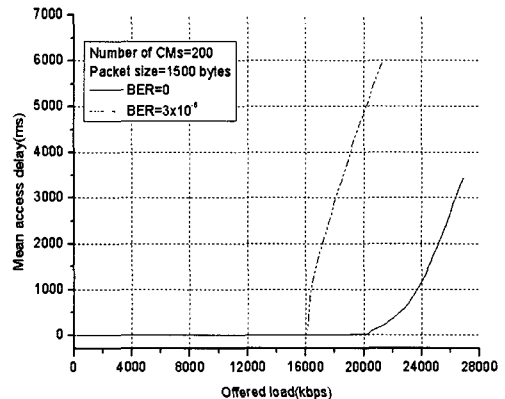


그림 16. 제공된 부하에 따른 평균 접속 지연  
Fig 16. Mean access delay vs. Offered load



## VI. 결론

이 논문에서는 디지털 유선방송 시스템에서 동작하는 DOCSIS 1.1 프로토콜에 대해 살펴보고, 그것을 디지털 유선방송 데이터 서비스에 적용할 때의 전송 성능을 분석하여 그에 따른 문제점을 개선하기 위한 방안을 논하였다. 모의실험 결과, 사용자 데이터 패킷 크기, 전송스트림 속도, 연결과 단편화의 유무, 우선순위의 높고 낮음에 따라 처리율과 평균 접속 지연, 상향 채널 이용률에서 많은 차이가 있음을 알 수 있었다. 패킷 크기가 64 바이트, 전송 스트림 속도가 64 kbps 일 경우, 연결 기능 적용 유무에 따라서 약 50% 정도의 처리율 향상이 나타났으며, 평균 접속 지연 역시 115 ms에서 29 ms로 낮아짐을 확인하였다.

또한 채널 상에 오류가 없을 때는 하향 채널의 처리율이 제공된 부하에 따라 21 Mbps까지 증가했지만,  $3 \times 10^{-6}$ 의 BER을 적용했을 때는 약 23% 정도의 성능 저하가 나타났으며, 평균 접속 지연의 경우에는 BER의 유무에 따라 약 71%의 성능 향상을 가져왔다.

이 논문에서 수행한 연구결과를 바탕으로 DOCSIS 1.1 프로토콜의 성능 향상을 위해서는 연결과 단편화 기능이 필요하며, 이 기능을 통해 기존의 시스템보다 높은 데이터 속도 전송이 가능함을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

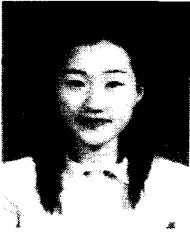
- [1] TTAS.K0-07.0020, 디지털 유선방송 송수신 정합 표준, 한국정보통신기술협회, 2002년 9월.
- [2] P. Tzerefos, C. Smythe, I. Stergiou, S. Cvetkovic, "Standards for high speed digital communications over cable TV networks", *Proceedings of the 6th IEE Conference on Telecommunications*, no. 451, pp. 224-229, April 1998.
- [3] P. Tzerefos, V. Sdralia, C. Smythe, S. Cvetkovic, "Delivery of low bit rate isochronous streams over the DOCSIS 1.0 cable television protocol", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 45, Issue 2, pp. 206-214, June 1999.
- [4] Data-Over-Cable Service Interface

Specifications Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIV2.0-I02-020617, *CableLabs*, June 2002.

- [5] V. Sdralia, C. Smythe, P. Tzerefos, S. Cvetkovic, "Performance Characterisation of the MCNS DOCSIS 1.0 CATV Protocol with Prioritised First Come First Served scheduling", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 45, Issue 2, pp. 196-205, June 1999.
- [6] DOCSIS Set-top Gateway(DSG) Interface Specification, SP-DSG-I01-020228, *CableLabs*, February 2002.
- [7] P. Tzerefos, "On the Performance and Scalability of digital upstream DOCSIS 1.0 conformant CATV channels", *The University of Sheffield*, October 1999.
- [8] DOCSIS Model Description, *OPNET*, February 2002.
- [9] Configuring Application and Profiles, *OPNET*, February 2002

김 수 희(Soo-Hee Kim)

정회원



2001년 2월 : 인제대학교 정보통신공학과 졸업  
2003년 2월 : 경희대학교 정보통신대학원 석사  
2003년 2월~현재 : 삼성전기 Digital Module 사업부 디지털튜너 연구그룹

<관심분야> 디지털 방송, MPEG, 전파통신공학

손 원(Won Sohn)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사  
1990년 5월 : 텍사스 A&M대 전기공학과 공학석사  
1993년 8월 : 텍사스 A&M대 전기 공학과 공학박사  
1982년 1월 ~ 1987년 6월 :

국방과학연구소

1993년 9월 ~ 1999년 2월 : 한국전자통신연구원

1994년 2월 ~ 1995년 11월 : MPR Teltech, Canada

1999년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보학부 부교수

<관심분야> 디지털방송, 신호처리

김 영 수(Yeong-Soo Kim)

정회원



1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 12월 : Arizona State University 전기공학과 (공학박사)

1985년 5월 ~ 1986년 5월 : Consultant, Signal-System Technology Inc., U.S.A.

1986년 6월 ~ 1988년 12월 : Research Associate, Arizona State University

1989년 2월 ~ 1992년 8월 : ETRI 전파기술부, 전파응용연구실 실장

2002년 1월 ~ 2003년 2월 : Visiting Faculty, MPRG, Virginia Tech., U.S.A.

1992년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보대학 전파통신공학 교수

<관심분야> 4G, OFDM, SDR, RFID, 스마트 안테나, MIMO system, 전파감시

홍 인 기(Een-Kee Hong)

정회원



1989, 91, 95년 연세대학교 전기 공학과 공학학사, 공학석사, 공학박사

1995년~1999년 : SK Telecom 중앙연구원

1997년 ~ 1998년 : NTT DoCoMo Mobile Network

Lab.

1999년~현재 : 경희대학교 전자정보학부 조교수

<관심분야> MC-CDMA, 이동통신