

# 상향링크의 프레임 크기와 경쟁슬롯에 따른 BWA 프로토콜의 성능평가

준회원 오 성 민\*, 정회원 김 재 현\*\*

## Performance evaluation of BWA protocol according to uplink frame size and contention slot

Sung-Min Oh\* *Associative Member*, Jae-Hyun Kim\*\* *Regular Member*

### 요 약

DOCSIS와 IEEE 802.16 MAC 프로토콜의 MAP 메시지는 CM의 상향 채널 데이터 전송 영역을 할당하므로 프로토콜 성능에 영향을 미치게 된다. 하지만 MAP의 구성요소와 용도에 대한 정의만 표준안에 언급이 되어있고, MAP 메시지의 크기나 MAP 메시지 내의 경쟁슬롯의 수에 대한 정의는 언급되어 있지 않다. 본 논문에서는 MAP의 크기와 경쟁슬롯의 수에 따른 프로토콜의 성능을 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 최적의 MAP 크기와 경쟁슬롯의 수를 구하였다. 실험 결과로 MAP의 크기는 2msec이고 경쟁슬롯의 수는 8개일 때 최적의 프로토콜 성능을 보임을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 네트워크 시스템 파라미터로 사용할 수 있으며 실험에 사용하였던 시뮬레이터는 케이블 네트워크, BWA 및 WiBro 시스템 파라미터의 최적화에 사용할 수 있다.

Key Words : DOCSIS, IEEE 802.16, MAP size, MAC protocol, Contention slot size

### ABSTRACT

DOCSIS and IEEE 802.16 define the usage and element of a MAP which is uplink control message. Standards does not include the details of MAP size and the number of contention slots affecting the performance of MAC protocols for DOCSIS and IEEE 802.16. In this paper, we analyzed the performance of throughput and access delay according to the MAP size and contention slot size. Based on the analytical results, we found the optimal MAP size and the number of contention slots. We found that the protocol shows best performance when the MAP size is 2msec and the number of contention slots is 8. The simulation results can apply to the network system parameters. The simulator can be used to optimize the system parameters in cable network, BWA and WiBro.

### 1. 서 론

근래 고속 통신 방식에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있는데, 그 이유는 여러 가지 응용 기술들의 발전으로 인하여 멀티미디어와 같은 대용량의 서비스를 사용자들이 요구하기 때문이다. 고속 데이터

처리를 위한 연구로서 1999년 케이블 인터페이스를 기반으로 하는 데이터 전송 방식에 관한 표준안 (Date Over Cable System Interface Specification : DOCSIS) 버전 1.0과 1.1이 완성되었고, 2002년 초에 버전 2.0이 소개 되면서 서비스의 질에 대한 연구에 박차를 가하게 되었다[1]. DOCSIS는 광 케이블

\* 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 (smallb01@ajou.ac.kr), \*\* 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 (jkim@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-05-012, 접수일자 : 2004년 5월 17일

※본 연구는 IITA의 해외공동연구 프로젝트 지원에 의하여 수행되었습니다.

블과 동축 케이블 혼합 방식(Hybrid Fiber Coaxial : HFC)에 관한 표준안으로 케이블모뎀(Cable Modem : CM)과 케이블모뎀 종단시스템(Cable Modem Termination System : CMTS) 사이의 중간 인터페이스에 관한 통신규약이다. DOCSIS RFI v1.1 MAC(Media Access Control) 프로토콜은 시분할 다중 접속 방식(Time Division Multiple Access : TDMA)을 기반으로 하며, MAP 메시지를 통하여 CM과 CMTS의 채널 전송 시간을 조정한다.

DOCSIS와 더불어 고속 무선 통신 방식인 IEEE 802.16에 대한 연구 또한 관심 대상이 되었는데, IEEE 802.16 Working Group (WG)은 1999년 3월에 광대역 무선 접속 방식(Broadband Wireless Access : BWA)에 관한 표준화 작업을 시작하였다 [2]. IEEE 802.16은 이동국(Subscriber Station : SS)과 기지국(Base Station : BS)을 기본 망 구성 요소로 두고 있으며, MAP 메시지는 채널을 제어한다.

MAP 메시지는 DOCSIS와 IEEE 802.16의 MAC 프로토콜에서 CM이나 SS가 CMTS나 BS에게 전송 요청을 하거나 채널의 전송 시간을 할당 받을 때 사용되는 제어 메시지이다. MAP 메시지에 의한 프레임의 크기나 프레임을 구성하는 경쟁 슬롯의 크기는 MAC 프로토콜의 성능에 많은 영향을 미친다.

관련 연구로는 MAP 메시지에 의해 정의되는 프레임 내에서 데이터 량과 경쟁슬롯의 크기간의 관계를 Sriram이 분석하였었고, Hawa는 이전 프레임의 데이터 량에 따라 프레임 내의 경쟁슬롯의 크기를 조절하는 알고리즘을 제안하였다[1],[3]. 위의 연구들은 데이터 량에 따른 경쟁슬롯의 크기에 관한 분석만 있을 뿐 최적의 경쟁슬롯의 크기를 제시하지 않았다. 또한 MAC 프로토콜의 성능에 영향을 미치는 MAP 메시지에 따른 MAC 프로토콜 성능을 분석하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 DOCSIS와 IEEE 802.16의 MAC 프로토콜의 MAP 크기와 경쟁슬롯의 수에 따른 처리량과 접속 지연의 분석을 통하여 최적의 MAP 크기와 경쟁 슬롯의 수를 구하고자 한다.

## II. DOCSIS와 IEEE 802.16 MAC 프로토콜

### 1. DOCSIS 버전 1.1 MAC 프로토콜

DOCSIS 버전 1.1 MAC 프로토콜에서는 다중접속방식으로 TDMA를 사용하기 때문에 상향 채널을 시간 단위인 미니슬롯으로 나누어 사용하고, CM과

CMTS는 Ranging과 Registration을 통해 동기를 맞춘다. Ranging과 Registration은 모두 CM이 CMTS의 전송영역에 들어올 경우에 수행한다. DOCSIS MAC 프로토콜에서는 Ranging으로 CM과 CMTS 간의 거리를 측정하여 propagation delay를 계산하고 이를 이용하여 CM과 CMTS간의 동기를 맞출 수 있다. Registration은 초기 CM이 CMTS의 전송영역에 들어왔을 때 CMTS에 연결정보를 등록하는 과정이다. 상향 채널은 MAP의 정보에 의해서 프레임으로 나뉘는데, 그 프레임은 경쟁 슬롯, 데이터 전송 슬롯, Maintenance로 구성된다. DOCSIS MAC 프로토콜은 그림 1에서와 같이 CM이 상향 채널에 있는 경쟁슬롯을 통해 대역폭 요청 메시지를 CMTS로 보내면, CMTS는 스케줄링을 한 후 하향 채널을 통해 MAP 메시지를 CM에게 전송한다. CM은 수신된 MAP 메시지에 명시된 상향채널의 전송 구간동안 데이터를 전송한다[4]. DOCSIS에서 사용하는 경쟁 해결 알고리즘은 binary exponential backoff 방식을 사용하며 piggyback 방식과 fragmentation 방식을 사용하고 있다. Binary exponential backoff 방식은 CM이 initial backoff window라는 초기 선택범위내의 임의의 수를 선택하여 그 수만큼 기다렸다가 상향채널의 경쟁슬롯에 request를 보내는 방식이다. 만약 보낸 request가 충돌이 발생하면 CM은 이전 선택범위의 제공만큼 선택범위를 늘려 그 범위내의 임의의 수를 선택해 다시 request를 보내게 된다.

Piggyback은 데이터를 보내는 패킷에 request를 같이 보내는 방식이고, fragmentation은 CMTS에서 CM에게 할당한 대역폭이 CM의 데이터를 보내기 위해 요청한 대역폭보다 작을 경우, CM에서 보낼 데이터를 분할하는 방식이다.

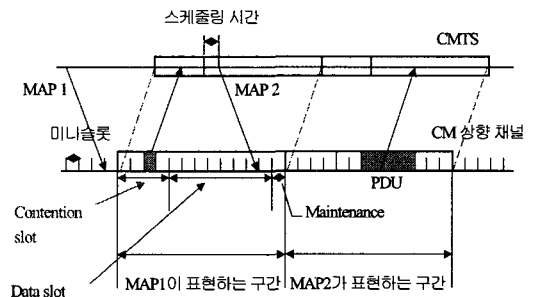


그림 1. DOCSIS MAC 프로토콜의 동작

QoS 서비스 흐름은 서비스 형태에 따라 다음과 같이 다섯 가지로 구분한다[5].

- UGS (Unsolicited Grant Service) : 일정한 시간 간격으로 고정된 길이의 데이터 패킷을 전송하는 실시간 전송 서비스 예) Voice over IP
- rt-PS (real-time Polling Service) : 가변 길이의 데이터 패킷을 전송하는 실시간 전송 서비스 예) MPEG streaming
- UGS-AD (UGS-Activity Detection) : 능동 검색을 통하여 UGS가 할당받은 대역폭을 사용하지 않을 경우 대역폭을 rt-PS에게 사용하게 하는 UGS, rt-PS혼합 전송 서비스
- nrt-PS (non-real-time Polling Service) : 지연에 덜 민감하고, 가변 길이의 데이터 패킷을 전송하는 서비스 예) FTP
- BE (Best Effort) : 지연에 제일 민감하지 않은 서비스

## 2. IEEE 802.16 MAC 프로토콜

IEEE 802.16은 10~66GHz의 대역폭을 사용하며 전송 방식으로는 주파수 분할 양방향 전송 방식(Frequency Division Duplex : FDD)과 시분할 양방향 전송 방식(Time Division Duplex : TDD)을 사용하고, 상향 채널 접속 모드는 TDMA를 사용한다. IEEE 802.16에서는 경쟁 해결 알고리즘으로 binary truncated exponential backoff 방식을 사용하고, DOCSIS와 유사하게 대역폭을 할당하기 위하여 MAP메시지를 사용하며, fragmentation과 piggyback 역시 프로토콜 구성방식으로 채택하고 있다. SS가 대역폭을 요청하면 BS에서 스케줄링을 한 후 하향 채널로 전송하고, MAP 메시지를 수신한 SS는 다음 상향 링크 프레임내의 데이터 전송 구간에 데이터를 전송한다. IEEE 802.16 MAC 프로토콜은 QoS 파라미터에 따라서 4가지의 서비스 흐름(UGS, rt-PS, nrt-PS, BE)으로 나누고 있으며 각 서비스 흐름의 속성은 DOCSIS MAC 프로토콜의 QoS 서비스 흐름과 동일하다[6].

표 1은 DOCSIS와 IEEE 802.16의 MAC 프로토콜의 특성을 정리해 놓은 것이다. 표 1과 같이 DOCSIS와 IEEE 802.16 MAC 프로토콜이 매우 유사하기 때문에 DOCSIS MAC 프로토콜의 성능을 분석함으로써 IEEE 802.16 MAC 프로토콜의 성능을 예측할 수 있다.

표 1. DOCSIS 와 IEEE 802.16 MAC 프로토콜

구분	DOCSIS	IEEE 802.16
전송방식	FDD	TDD, FDD
다중 접속방식	TDMA	TDMA
채널단위	Minislot	Minislot
경쟁해결 알고리즘	Binary exponential-backoff	Binary exponential-backoff
기본 망 구성요소	CMTS, CM	BS, SS
Service flow	UGS, rt-PS, nrt-PS, UGS-AD, BE	UGS, rt-PS, nrt-PS, BE
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• piggyback</li> <li>• fragmentation</li> <li>• ranging</li> <li>• registration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• piggyback</li> <li>• fragmentation</li> <li>• ranging</li> <li>• registration</li> </ul>

## III . 모의실험 모델

### 1. 프로토콜 모델 및 파라미터

본 논문에서는 MAP 메시지의 크기에 따른 프로토콜의 처리율과 접속 지연에 관한 성능을 분석하기 위하여 OPNET의 DOCSIS CSF 13모델을 사용한다. CMTS는 CM에게 'SYNC', 'UCD' 그리고 'MAP' 메시지를 주기적으로 전송한다. 'SYNC' 메시지는 CMTS와 CM간의 동기를 맞추기 위하여 reference time을 전송하고, 'UCD' 메시지는 상향 채널에 대한 정보를 전송한다. 마지막으로 'MAP' 메시지는 CM의 상향 채널 데이터 전송 영역을 할당하며 IE(Information Element)의 수에 따라 MAP의 길이를 변경할 수 있다.

표 2. 모의실험 파라미터

Parameter	Value
상향 채널 용량	2.56 Msps(QPSK)
하향 채널 용량	26.97 Mbps(64QAM)
Backoff limit	1 - 8
미니슬롯	16 bytes/minislot 25 sec/minislot 4 ticks/minislot
MAP의 크기	1 - 20 msec
경쟁슬롯의 수	4 - 80
최대 IE의 수	240
CM의 수	10 - 100

모의실험에 사용한 파라미터들은 표 2와 같으며 DOCSIS 표준안을 참조하였다[5].

본 논문에서는 모의 실험의 정확도를 높이기 위해서 각 메시지를 모델링하였으며 아래의 5가지 가정하에서 모의실험을 행하였다.

- CM이 대역폭 요청 메시지를 보내고 MAP 메시지를 기다리고 있을 때, 그 CM은 다른 경쟁 회선을 사용할 수 없다.
- 처리율은 CMTS에서 수신한 시간당 데이터량 (kbit/sec)이다.
- 접속 지연은 CM이 요청 메시지를 보내고 그 요청에 해당하는 패킷을 보낼 때까지의 지연시간 (msec)이다.
- UGS와 rt-PS 트래픽은 발생하지 않는다고 가정한다.
- 본 논문에서는 평균 패킷의 크기를 420bytes로 가정한다.

## 2. MAP의 크기에 따른 경쟁슬롯의 수

그림 2는 MAP의 구조를 나타내고 있으며 전체 MAP의 크기( $T$ )는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$T = r + d + c \tag{1}$$

이 때  $r$ 은 하나의 MAP에 있는 UGS와 rt-PS 트래픽이 차지하는 미니슬롯의 수이며,  $d$ 는 nrt-PS와 BE 트래픽이 차지하는 미니슬롯의 수이다. 또한  $c$ 는 하나의 MAP에 있는 경쟁슬롯의 수이고,  $t_m$ 은 한 시간슬롯에 있는 미니슬롯의 수이다. 본 논문에서는 UGS와 rt-PS 트래픽은 발생하지 않는다고 가정하였으므로  $r = 0$  이다. [3]에 의하면 오버헤드를 제외한 slotted ALOHA의 처리율이 대략 33%이므로 식(2)와 같이 정의 할 수 있다. 이 때  $d_t$ 는 한 패킷이 차지하는 시간슬롯의 수이다.

$$3 : 1 = c : \frac{T - c}{t_m \times d_t} \tag{2}$$

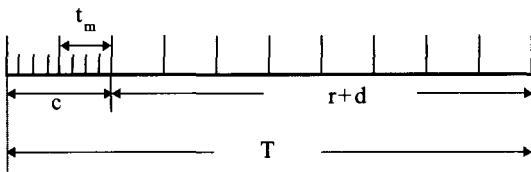


그림 2. MAP 구조

식 (2)를 경쟁슬롯에 관하여 정리를 하면

$$c = \frac{3 \times T}{3 + t_m \times d_t} \tag{3}$$

이다.

평균 사용자 패킷의 크기를 420bytes로 가정하였고 하나의 미니슬롯 당 전송 가능한 바이트 수는 16bytes라는 조건에 의하여 사용자 패킷 당 차지하는 미니슬롯의 수는 27개이다. 사용자 패킷 당 차지하는 미니슬롯의 수를 식(3)에 대입하면 표 3과 같이 MAP의 크기에 따른 경쟁슬롯의 수를 얻을 수 있다.

표 3. MAP의 크기에 따른 경쟁슬롯의 수

MAP(msec)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
경쟁슬롯	4	8	11	15	19	22	26	30	33	37

## IV. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서는 MAP의 크기와 경쟁슬롯의 수에 따른 MAC 프로토콜의 처리율과 접속 지연에 관한 성능을 분석하였다.

그림 3은 MAP의 크기를 1msec에서 10msec까지 1msec씩 증가시켜가며 측정된 처리율과 CM의 접속 지연이다. 단, CM은 10개이고, 각 CM들은 70kbps의 평균 트래픽을 생성한다. 그리고,  $x$  축은 모의실험 시간이다. MAP의 크기에 따른 처리율을 분석해 보면 MAP의 크기가 변하더라도 처리율의 차이가 거의 없지만, MAP의 크기가 증가할수록 접속 지연은 증가함을 알 수 있다. 즉, MAP의 크기가 작을수록 MAC 프로토콜 성능이 좋다는 사실을 알 수 있었다.

하지만 트래픽량을 1000kbps로 증가시키면 MAP의 크기가 1msec일 때의 접속 지연에 관한 MAC 프로토콜 성능이 떨어진다는 것을 그림 4에 의하여 알 수 있다.

트래픽이 1700kbps까지 증가하면 MAP의 크기가 1msec일 때의 처리율은 다른 MAP의 크기보다 두 배나 성능이 떨어지고, 접속지연에서는 지연이 급상승함을 알 수 있다. 따라서 MAP의 크기는 작을수록 프로토콜의 성능이 우수하지만 1msec일 때는 트래픽량이 증가하면 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 따라서 MAP의 크기가 2msec일 때 MAC 프로토콜 성능이 가장 우수하다는 결론을 내릴 수 있

다.

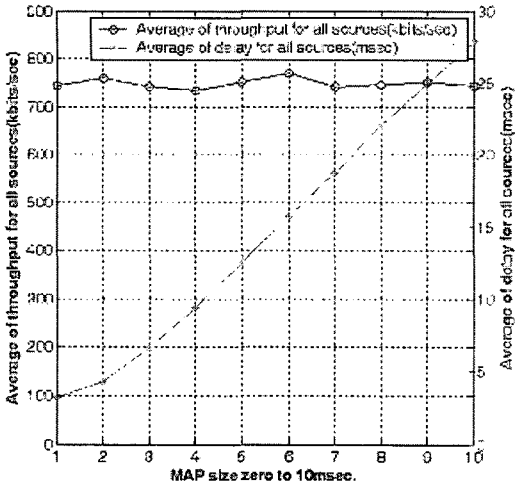
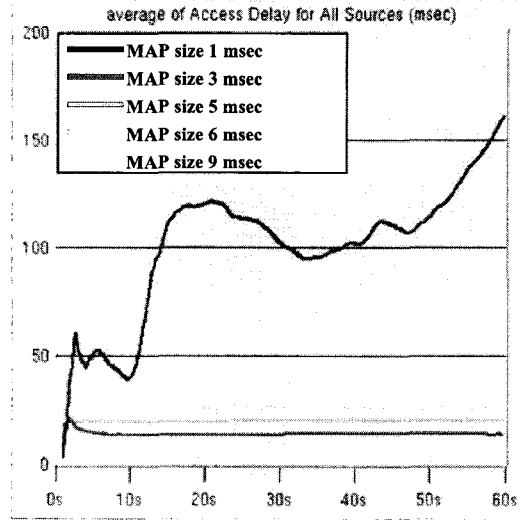


그림 3.. MAP의 크기가 1msec-10msec일 때의 처리율과 접속지연(load:700kbps,10CM)

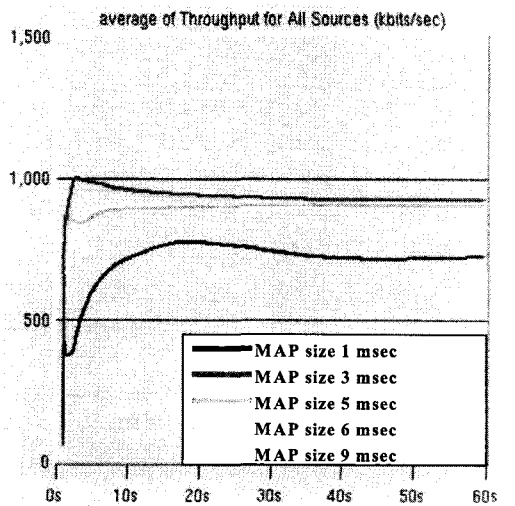
그림 4와 5에서 MAP의 크기가 1msec일 때 MAC 프로토콜의 성능이 저하된 이유는 fragmentation에 기인하는데, fragmentation이 발생하면 똑같은 정보의 데이터를 보내더라도 나누어진 프레임의 크기는 원래의 프레임 크기보다 10bytes 더 크다. 그 이유는 fragmentation 된 프레임에 6bytes의 헤더와 4bytes의 CRC를 포함하고 있기 때문이다. 따라서 오버헤드에 의하여 MAC 프로토콜의 처리율이 떨어지게 되고, 접속지연도 길어지게 된다.



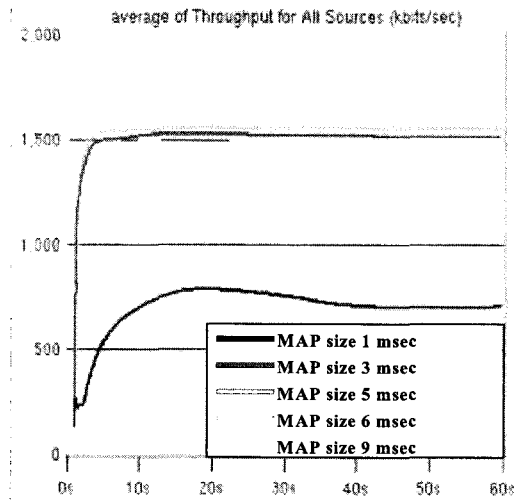
(b) 접속지연

그림 4. MAP의 크기가 1,3,5,6,9msec일 때의 처리율과 접속지연(load:1000kbps,10CM)

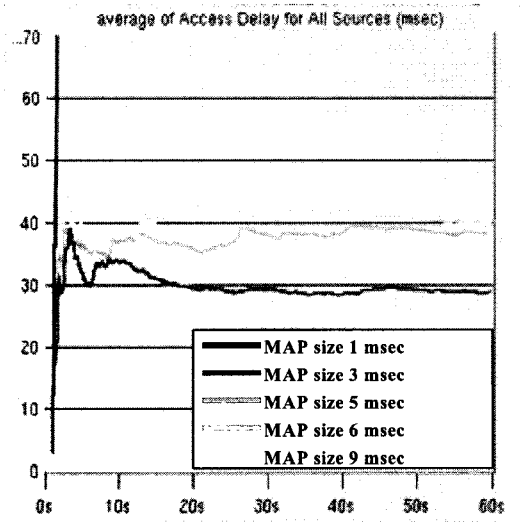
그림 6은 MAP의 크기를 2msec으로 고정하고 CM의 수를 100개로 지정하며, 경쟁슬롯의 개수를 2개에서 16개까지 2개씩 증가시키면서 CM이 보낸 데이터의 처리율과 CM의 접속 지연에 대한 모의실험을 하여 얻은 결과이다. y 축의 좌측은 모든 CM들에 관한 평균 처리율이고, 우측은 모든 CM들에 관한 접속지연이다.



(a) 처리율



(a) 처리율



(b) 접속지연

그림 5. MAP의 크기가 1,3,5,6,9msec일 때의 처리율과 접속 지연(load:1700kbps,10CM)

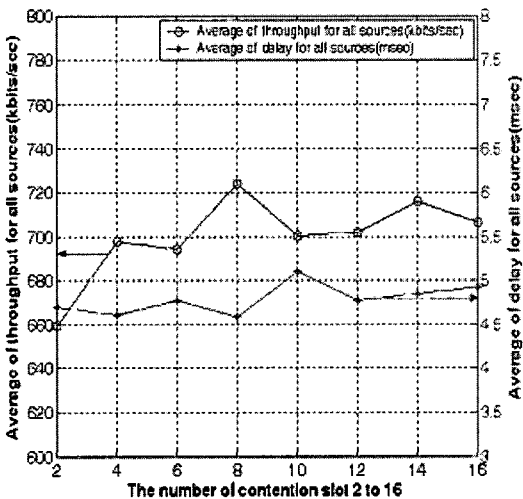


그림 6. 경쟁슬롯의 수에 따른 성능 분석

그림 6에서 CM이 보낸 데이터의 처리율과 접속 지연에서 가장 프로토콜의 성능이 우수하게 나오는 경쟁슬롯의 수는 8개이다. 즉, MAP의 크기가 2msec일 때 경쟁슬롯의 수는 8개가 가장 적당하다는 것을 알 수 있고, 식 (3)을 통하여 경쟁슬롯의 수를 계산했던 전제도 타당하다.

### V. 결론

본 논문에서는 DOCSIS와 IEEE 802.16 MAC

프로토콜의 MAP에 따른 성능을 분석하기 위하여 DOCSIS RFI v1.1에서 제시한 파라미터 값들을 기반으로 OPNET을 사용하여 실험을 하였다. MAP의 최적의 크기를 찾기 위하여 MAP의 크기를 1msec에서 10msec까지 증가시키면서 실험을 했고, 경쟁슬롯의 수를 2개에서 16개까지 2개씩 증가시키면서 실험을 하였다. 모의실험의 결과에 의하면 MAP의 크기가 2msec일 때 MAC 프로토콜의 처리율과 지연 시간에 있어서 가장 우수한 성능을 보였고, 이때 경쟁 슬롯의 수는 8개가 가장 적절하였다. MAP의 크기가 2msec일 때, MAP 하나 당 크기는 1280bytes이고 경쟁슬롯의 크기는 128bytes이므로 하나의 MAP을 통하여 전송할 수 있는 평균 크기가 420bytes인 패킷은 하나 또는 두개가 된다.

본 논문에 의한 주요 기여도는 다음 두 가지와 같다.

- MAC 프로토콜 성능 향상을 위한 최적의 MAP 크기를 제시하였다.
- MAP 안에서의 경쟁슬롯의 수에 따른 프로토콜의 성능을 실험해 봄으로써 최적의 경쟁슬롯의 수를 제시하였다.

본 연구의 결과는 현재 케이블 네트워크 시스템 파라미터에 적용 될 수 있으며, IEEE 802.16에 중요한 시스템 파라미터로 제시할 수 있다. 또한 실험에 사용하였던 시뮬레이터는 케이블 네트워크나 국내 휴대인터넷(Wireless Broadband Internet : WiBro)의 시스템 파라미터 최적화에 사용될 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] M. Hawa and D. W. Petr, "Quality of Service Scheduling in Cable and Broadband Wireless Access System," *Tenth International Workshop on Quality of Service (IWQoS 2002)*, pp.247-255, May 2002.
- [2] G. Chu, D. Wang, and S. Mei, "A QoS Architecture for the MAC Protocol of IEEE 802.16 BWA System," *Comm., Circuits and Systems and West Sino Expositions, IEEE 2002 International Conference on*, Vol. 1,29, June-1, pp.435-439, July 2002.
- [3] K. Sriram, "HFC MAC Protocols with Dynamically Variable vs. Fixed Number of Request Mini-Slots: Performance and Capacity

Comparisons,” Contribution to IEEE 802.14 WG, Document no. 802.14-96/120, May 1996.

- [4] W. Yin, C. Wu, and Y. Lin, “Two-Phase Minislot Scheduling Algorithm for HFC QoS Services Provisioning,” *IEICE Trans. Commun.* Vol. E85-B, no.3, pp.582-593, March 2002.
- [5] “Data Over Cable Service Interface Specification : Radio Frequency Interface Specification,” SP-RFI v1.1-I04-000407, April 2000.
- [6] “Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems,” IEEE 802.16, December 2001.

오 성 민(Sung-Min Oh)

준회원



2004년 2월 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 졸업  
2004년 3월 ~ 현재 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 석사과정

주관심분야 : MAC 프로토콜, Sensor Network, IEEE802.11/15/16/20

김 재 현(Jae-Hyun Kim)

정회원



1991년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업  
1993년 2월 한양대학교 전자계산학과 공학석사  
1996년 8월 한양대학교 전자계산학과 공학박사  
1996년 8월 ~ 1997년 4월 :

한양대학교 공학기술 연구소 연구원  
1997년 7월 ~ 1998년 6월 : UCLA 전기과 Postdoc 연구원  
1998년 7월 ~ 1998년 9월 : IRI Corp. CA, USA  
1998년 11월 ~ 2003년 2월 : Bell Labs, Lucent Tech.  
2003년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 조교수  
주관심분야 : 무선 인터넷 QoS, MAC 프로토콜, RFID, IEEE 802.11/15/16/20