

# 휴대인터넷 무선자원 할당 연구

Study of the radio resource allocation method of the Wireless Broadband Internet System

국광호\* 김경희\*\* 백장현\*\*

서울산업대학교 산업공학과(khkook@snu.ac.kr)\*, 전북대학교 산업정보시스템공학과 • 공업기술연구소  
(sofree@chonbuk.ac.kr, jbaek@chonbuk.ac.kr)\*\*

## Abstract

WiBro (Wireless Broadband Internet) system is going to be commercialized before long. The high portable internet system is able to be connected to the high-speed internet using 2.3 GHz frequency bandwidth, anytime and anywhere. An effective scheduling for UGS, rtPS, nrtPS and BE requiring different QoS, which are service types of the WiBro, is necessary to increase the efficiency of radio channels that are the limiting resource. This paper researches an uplink scheduling that plays a role in assignment for the radio channels from subscribers to base stations. The suggested scheduling provides priorities with each service type considering QoS of them but reserves some bandwidth for lower priority services. After deciding effective amount of bandwidth for reservation, we suggest analytical result on mean delayed time of packet transmission for each terminal, transmission rate for the data, and capacity for uplink. This research can be used as basic data for the standard in the high portable internet system and as data to predict the capacity of base stations. Keyword: Wireless Broadband Internet System, Uplink Packet Scheduling

## 1. 서론

휴대폰처럼 언제 어디서나 이동하면서 초고속 인터넷을 이용하는 것을 목표로 하는 와이브로(WiBro)는 Wireless Broadband Internet의 약자로 시속 60km 이상 달리는 차량 등 이동 환경에서도 노트북 PC나 휴대폰 등을 이용해 고속으로 무선인터넷에 접속할 수 있는 휴대 인터넷 서비스를 뜻한다. 현재 유선에서 제공되고 있는 인터넷 서비스를 이동중인 단말들에게도 원활히 제공하기 위해서 IEEE 802.16을 근간으로 하는 휴대인터넷 시스템이 개발 중에 있고 2006년부터 상용화를 시작할 예정이다.

공유되는 무선매체의 특성으로 휴대 인터넷 시스템의 서로 다른 QoS를 요구하는 4가지 서비스 그룹인 UGS(Unsolicited Grant Service), rtPS(realtime

Polling Service), nrtPS(non-real time Polling Service), BE(Best Effort)의 효과적인 스케줄링은 필수적이다. 본 연구는 휴대인터넷 시스템을 효율적으로 구현할 수 있는 IEEE 802.16 BWA (Broadband Wireless Access) 시스템이 각 서비스들에게 이들이 요구하는 QoS (Quality of Service)를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 MAC(Medium Access Control) 계층의 패킷 스케줄링 방법에 대해 연구하고 이의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다.

MAC 계층의 패킷 스케줄링은 가입자에서 기지국으로의 상향링크 스케줄링과 기지국에서 가입자로의 하향링크 스케줄링으로 구분할 수 있으며, 하향링크에서는 기지국에서 각 단말로 전송되기를 기다리는 MAC-PDU(protocol data unit), 각 MAC-PDU가 기지국에서 기다린 시간등의 상세한 정보를 알고 있기 때문에 VC(virtual clock)[7], WFQ(weighted fair queueing)[1], SCFQ(self clocked fair queueing)[9], Delay\_EDD(earliest due date)[2] 등의 표준 스케줄링 기법이 사용될 수 있다.

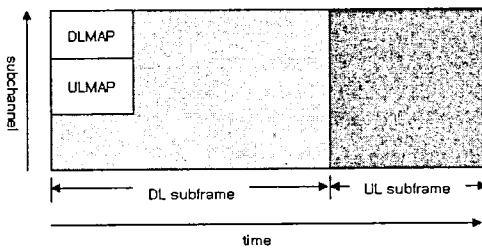
이에 반해 본 연구에서 목표로 하는 상향링크 스케줄링의 경우에는 각 단말에서 기지국으로 전송되기를 기다리는 MAC-PDU들이 단말에 도착한 시간 등의 상세한 정보를 가지지 못한다. 따라서 대부분의 하향링크 스케줄링에서 사용하는 FFQ(fluid fair queueing) 기법들이 상향링크 스케줄링에는 적용될 수 없다. 또한 휴대 인터넷 시스템은 UGS, rtPS, nrtPS, BE 서비스와 같이 상이한 QoS를 요구하는 서비스들을 제공하여야 하므로 이를 고려한 스케줄링 기법을 필요로 한다. 휴대 인터넷 시스템이 기반으로 두고 있는 BWA 시스템의 상향링크 스케줄링을 위해 VWRR(virtual weighted round robin)[6]과 VVT(virtual virtual time)[6] 기법이 동일한 서비스 그룹 내의 스케줄링 기법으로 제안되었으며, UGS, rtPS, nrtPS, BE 서비스들이 함께 존재할 때 트래픽 특성과 QoS를 고려하여 스케줄링 하는 기법이 Hawa[8]에 의해 제안되었다.

본 논문에서는 휴대인터넷의 4가지 서비스 타입인 UGS, rtPS, nrtPS, BE 각각의 QoS를 고려한 상향링크 스케줄링 방법에 대하여 연구하고자 한다. 서론에 이어 2장에서는 IEEE 802.16 BWA 시스템에 대하여 기술하고, 3장은 본 논문이 채택한 트래픽 모델에 대해서 설명한다. 그리고, 4장에서는 시스템과 트래픽 모델을 적용한 스케줄링 방법을 제안한 후, 5장에서 이의 시뮬레이션 결과를 제시하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. IEEE 802.16 BWA 시스템

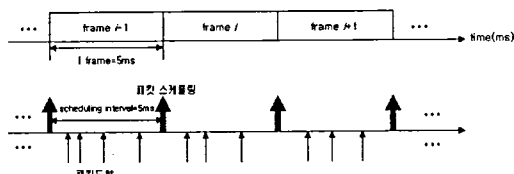
IEEE 802.16 BWA 시스템에서 가입자와 기지국 사이의 통신 방향은 가입자에서 기지국으로의 상향링크(uplink)와 기지국에서 가입자로의 하향링크(downlink)가 있으며, 본 논문은 가입자에서 기지국으로의 자원 할당을 담당하는 상향링크 스케줄링 방법에 대하여 연구한다.

휴대인터넷 시스템은 802.16/16a 규격을 기본으로 하고 있고, 상향링크 스케줄링 (uplink scheduling) 서비스와 대역 요구 및 할당 메커니즘은 802.16/16a와 동일하다. 특히, 802.16a에서는 물리계층에 따라 3가지 규격이 따로 작성되어 있는데, 휴대인터넷 시스템은 그중 [그림 1]과 같이 다수의 가입자가 각기 다른 부반송파를 사용함으로써 가입자전력을 최대한 사용할 수 있기 때문에 접속변경 확보에 유리하며 주파수분배 측면에서도 편리한 구조를 가지고 있는 OFDMA(orthogonal frequency division modulation/multiplexing access) 방식을 따른다. 따라서 휴대 인터넷 시스템에서 사용하는 프레임 구조는 [그림 1]과 같이 크게 DL(downlink) subframe과 UL(uplink) subframe으로 나뉘어 진다. [그림 1]에서 가로축은 시간축을 OFDM 심볼구간단위로 표시하고, 세로축은 주파수영역을 부채널단위로 나타낸다. 그리고, DL subframe은 각 영역의 복조 및 위치정보를 가지고 있는 DL\_MAP과 UL\_MAP을 포함한다.



[그림 1] OFDMA 구조

또한 휴대 인터넷 시스템은 [그림 2]와 같이 5ms의 고정된 프레임의 구조를 가지며, 해당 프레임의 구성 정보는 프레임 상부에 MAP메시지를 통해 방송된다. 스케줄링 해야하는 패킷의 정보는 임의의 시점에 기지국에 도착하게 되지만, 스케줄러는 프레임의 구조상 5ms 프레임 단위로 한번씩 스케줄링이 수행되어야 한다. 다시 말하면,  $i$ 번째 프레임에 대역을 할당하기 위해  $i-1$ 번째 프레임 시점까지 수집된 패킷 정보를 이용해야 한다.



[그림 2] 휴대 인터넷 시스템 프레임 구조

IEEE 802.16 MAC에서 제안하는 4가지 서비스는 다음과 같다.

- UGS(Unsolicited Grant Service): 정해진 크기의 패킷들을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스
- rtPS(realtime Polling Service): MPEG 비디오와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스
- nrtPS(non-real time Polling Service): 높은 대역폭을 요구하는 FTP와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 비실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스
- BE(Best Effort): TCP와 유사한 최선형 서비스(Best Effort Service)를 효율적으로 제공하기 위한 서비스

휴대 인터넷 시스템은 연결지향형 MAC 프로토콜을 사용하며 가입자들은 상향링크상의 전송기회를 할당 받기 위해서 unicast 폴링(polling), 경쟁(contention) 또는 피기백(piggy-back) 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다. Unicast 폴링은 rtPS 서비스들에게 실시간 서비스를 제공하기 위해서 특정 rtPS 가입자에게만 대역폭을 요청할 수 있는 기회를 제공한다. 경쟁방식은 데이터 전송을 원하는 가입자들이 주어진 경쟁구간 동안에만 대역폭 요청을 하도록 하는 방식으로서 경쟁 해결 기법으로는 binary truncated exponential backoff 기법을 사용한다. 피기백 방식은 데이터 전송시 필요한 대역폭을 함께 요청하는 방식으로서 nrtPS 서비스와 BE 서비스들은 경쟁 또는 피기백 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다.

이러한 서비스들에게 효율적으로 서비스를 제공하기 위해서는 각 서비스들이 요구하는 QoS를 정의하는 것이 필요하다. [5]는 UGS의 경우 전송시간이 짧아야 하며, 정보요소간의 전송시간 분산이 작아야 한다는 QoS를 제안하고 있다. 그러나, rtPS는 전송 지연시간은 큰 제약이 없으나 정보요소간의 전송시간 분산이 작아야 하며, BE의 경우에는 전송 지연시간에는 민감하지 않지만 낮은 에러율을 필요로 하는 서비스이다.

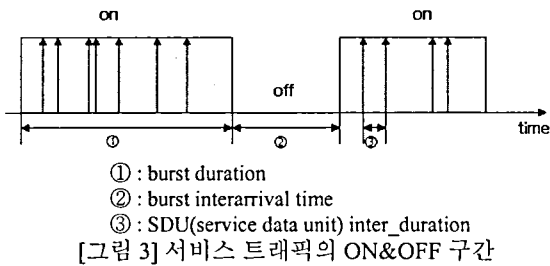
## 3. 트래픽 모델

휴대 인터넷 시스템은 변조방식으로서 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용하고 있으면 각 단말이 사용하는 변조방식은 무선채널의 상태에 따라 결정된다. 사용자가 셀의 중심으로부터 멀리 있으면 QPSK 방식을 사용하고 상대적으로 중심에 가까이 있으면 16QAM, 64QAM 방식을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 WiBro 물리계층 분석결과를 토대로 하나의 셀에서 사용되는 변조방식이 <표 1>과 같은 분포를 따른다고 가정하여, 하나의 셀에서의 전송용량은 비율을 고려한 평균인 12 바이트라고 가정한다.

<표 1> 변조방식 분포

변조방식	전송바이트	비율 (%)
64QAM-5/6	30	7.4
64QAM-2/3	24	10.7
QAM-2/3	16	14.8
QAM-1/2	12	20.8
QPSK-2/3	8	10.9
QPSK-1/2	6	35.4

각 서비스 트래픽은 [그림 3]과 같이 ON&OFF 형태로 도착한다. 각 서비스 그룹을 스케줄링 하기 위해서는 ON 구간의 길이인 burst duration과 OFF 구간의 길이인 burst interarrival time, ON 구간 내에서 SDU(service data unit)의 도착 간격인 SDU inter\_duration, 그리고 SDU의 크기인 mean\_SDU\_size가 필요하다.



이러한 서비스 트래픽의 시간변수를 계산하기 위해서 본 논문에서는 UGS, rtPS, nrtPS, BE의 각 서비스들이 IEEE 802.16 TG3에서 MAC/PHY 계층의 시뮬레이션 수행시 사용하도록 권고한 다음의 트래픽 모델[4]을 따른다고 가정한다.

UGS는 IDP(Interrupted Deterministic Process)에 기반을 두고 있다. 한 IDP는 한 패킷 음성원을 나타내며 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. IDP 모델은 ON time 동안 패킷 도착 간격이 고정되어 있다. 즉, 말을 하는 동안에는 매 20ms 간격으로 66byte의 패킷이 도착하고 침묵하는 동안에는 패킷이 발생하지 않게 되어 8kbps의 데이터 전송율을 갖는다. 기본 모델은 참고문헌 [11]에서 유도되었다.

다음 <표 2>에 있는 파라미터들은 IDP 모델을 정의한다. 이 파라미터들은 352ms와 650ms의 ON과 OFF 구간을 갖는 음성모델과 잘 일치하도록 선정되었다. ON 구간 동안에 패킷은 매 일정 구간마다 발생되고 ON과 OFF 시간은 지수분포를 따른다.

<표 2> 기본 IDP 모델

source_i	$\lambda_i$ (pkts/unit-of-time)	C1	C2	Average (pkts/unit-of-time)
IDP#1	1.000	0.05682	0.03076	0.351

rtPS와 nrtPS 모델은 2개의 IRP(Interrupted Renewal Process)에 기초를 두고 있다. 2IRP가 하나의 패킷 비디오 원을 나타내고 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. 2IRP 모델은 체류시간이 파레토 분포를 따른다. 제안된 모델은 참고문헌 [10]과 star wars의 17100 MPEG 프레임으로부터 유도되었다.

<표 3>에 있는 파라미터들이 기본 2IRP 모델을 정의한다. 이 파라미터들은 과거 10년 사이에 가장 많이 이용된 비디오, 2시간 분의 Star wars 영화와 일치하도록 선정되었다.

<표 3> 비디오 사용자에게 대한 기본 IRP 모델

source_i	$\lambda_i$ (pkts/unit-of-time)	a1i	a2i	Average (pkts/unit-of-time)
IRP#1	44.95	1.14	1.22	26.74
IRP#2	61.90	1.54	1.28	23.78
2IRP Average				50.52

체류시간은 파레토 분포를 따르며 평균 체류시간은  $a_{ji} / (\lambda_{ji} - 1)$ 이다. On 시간동안 패킷 도착 시간간격은 IDP의 경우와 마찬가지로 지수분포를 따른다.

BE 모델은 IPP(Interrupted Poisson Process)에 기초를 두고 있다. IPP는 한 사용자의 Internet Source를 나타내며 각 IPP는 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. 기본적인 가정은 개별적인 사용자가 상향링크 트래픽 보다 훨씬 많은 하향링크 트래픽이 있는 여러가지의 인터넷 응용기법과 통신할 수 있다는 것이다.

다음 <표 4>는 기본 IPP 모델과 모델의 파라미터 등을 나타낸다.

<표 4> 기본 IPP 모델

source_i	$\lambda_i$ (pkts/unit-of-time)	c1i	c2i	Averaged (pkts/unit-of-time)
IPP#1	1.698	0.01445	0.01084	0.7278

$\lambda_i$ : IPP in ON Timet  
 c1i: transition probability rate from ON to OFF (transitions/unit-of-time)  
 c2i: transition probability rate from OFF to ON (transitions/unit-of-time)

하나의 셀에 존재하는 여러 서비스 단말들의 비율을 정하기 위해 ETSI 트래픽 모델[3]을 참조하여 본 연구에서는 셀에 존재하는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 단말의 비율이 7.43 : 1 : 1.89 : 7.55가 된다고 가정한다.

#### 4. 스케줄링 방법

BWA 시스템이 각 서비스 유형들에게 이들이 요구하는 QoS를 효율적으로 만족시키면서 패킷을 제공하기 위해서는 효율적인 MAC/패킷 스케줄링을 필요로 한다. 휴대인터넷의 상향링크 스케줄링시 각 서비스별 QoS를 고려하여 UGS, rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순서로 절대적 우선권을 주는 것을 생각할 수 있다. 그러나 무조건적으로 이와 같이 우선권을 부여하면 상위의 우선 순위 트래픽이 상대적으로 많이 존재하는 경우에는 하위의 우선 순위 서비스들에게는 요구하는 QoS를 제공하기 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 패킷하위의 우선 순위 서비스들에게 패킷 손실확률, 데이터 전송률, 패킷 지연 등을 고려하여 미리 적절한 대역폭을 할당하는 방법을 제안하였다. 제안하는 스케줄링 방법은 다음과 같다.

- i) 기본적으로는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 순서로 패킷을 할당한다.
- ii) 그러나, rtPS가 nrtPS와 BE에 절대적인 우선권을 갖지 않고 nrtPS와 BE를 위해 일정량의 대역폭을 보장한 후 rtPS에 대역폭을 할당한다.
- iii) UGS에는 <표 2>의 입력트래픽을 고려하여, 평균 요구전송량에 해당하는 대역폭을 매 프레임마다 할당하고, rtPS, nrtPS, BE는 라운드 로빈(round robin) 기준에 의해 대역폭을 할당한다.

#### 5. 시뮬레이션 모델

##### 5.1 시뮬레이션 수행환경

- 본 연구에서는 하나의 고정된 셀만을 가정한다.
- 단말로부터 기지국으로 전송되는 상향링크만을 고려한다.
- 각 상향링크 프레임에서 1536 OFDM 심볼이 데이터 전송을 위해 사용된다.
- 전송 중에 에러는 발생하지 않는다.
- rtPS 단말은 unicast 풀링에 의해서 대역폭을 요청한다.
- nrtPS 단말과 BE 단말을 경쟁구간(contention interval) 동안 binary truncated exponential backoff 기법의 경쟁요구(contention request) 방식에 의해 대역폭을 요청한다.
- rtPS, nrtPS, BE 단말들은 MAC-PDU(protocol data unit)를 전송할 때 큐에 남아 있는 MAC-PDU의 개수만큼 피기백 방식에 의해 대역폭을 요청한다.
- MAC-SDU(service data unit)는 108 바이트의 MAC-

PDU로 나뉘어 전송된다. 각 MAC-PDU들은 6바이트의 Generic MAC 헤더를 가지며 여러개의 MAC-PDU로 나뉘어지는 경우 1바이트의 Fragmentation 헤더가 첨가되고 피기백 방식의 대역폭을 요청하는 경우 2바이트의 Grant Management 헤더가 첨가된다. 108바이트보다 적은 경우에는 108바이트에 맞게 패딩된다.

##### 5.2 성능평가척도

HPI 시스템의 성능평가를 위해서는 다음과 같은 항목들을 고려한다.

- 지연시간: 사용자의 단말에 데이터 패킷의 첫번째 바이트가 도착한 시간으로부터 기지국으로 데이터 패킷의 마지막 바이트가 전송될 때까지의 시간을 말한다.
- 데이터 전송율: 단위시간 동안 기지국으로 전송되는 총 데이터의 양을 말한다.
- 패킷 손실확률: 실시간 서비스를 요구하는 rtPS 단말의 경우 지연시간이 200msec를 초과하여 데이터 패킷이 손실될 확률을 말한다[5].
- BE 트래픽의 지연확률: BE 단말의 SDU 지연시간이 1초 이상이 될 확률을 말한다. BE 트래픽의 지연시간은 페이지당 4초 이내가 되는 것이 바람직하므로 이를 고려하기 위해서 BE 단말의 SDU 지연시간이 1-2초, 2-3초, 3초 이상이 될 확률을 고려한다[5].
- 최대 가입자수: nrtPS 단말의 (N+1)번째 가입자가 다음 부등식을 처음으로 만족하는 시점으로 정의되는 가입자 수용용량[4].  
 $(N+1) \text{ 가입자들의 평균 지연시간} > 4 * (N \text{ 가입자들의 평균지연시간}),$   
 또는  $\text{평균지연시간} > 100 \text{ msec}$

##### 5.3 uplink 용량평가방법

HPI 시스템의 uplink 대역이 수용할 수 있는 가입자의 수는 각 가입자들에게 그들이 요구하는 QoS를 만족시켜 주면서 서비스할 수 있는 최대 가입자의 수로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 uplink의 용량을 다음과 같은 관점에서 평가하고자 한다.

- [4]에서 제시한 바와 같이 nrtPS 단말의 (N+1)번째 가입자의 지연시간이 다음 부등식을 만족시키기 시작할 때의 가입자의 수로 시스템 용량을 평가한다.  
 $(N+1) \text{ 가입자들의 평균 지연시간} > 4 * (N \text{ 가입자들의 평균지연시간}),$
- 다음과 같이 각 서비스별 QoS를 만족시키지 못하게 될 때의 가입자의 수로 시스템 용량을 평가한다.  
 - [5]에서 비디오 서비스의 FER(frame error rate)은 1% 이내가 되어야 하므로 rtPS 단말의 데이터 패킷이 200msec 이상 지연되어 패킷이 손실될 확률이 0.5% 이상이 될 때의 가입자 수로 시스템 용량을 평가한다.  
 - [4]로부터 nrtPS의 최대지연시간이 150 msec를 초

과할 확률이 5% 이상이 될 때의 가입자 수로 시스템 용량을 평가한다.

- [5]에서 web page의 전송 지연시간이 4초 이내가 되는 것이 바람직함을 알 수 있으므로 BE 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 될 때의 가입자 수로 시스템 용량을 평가한다.

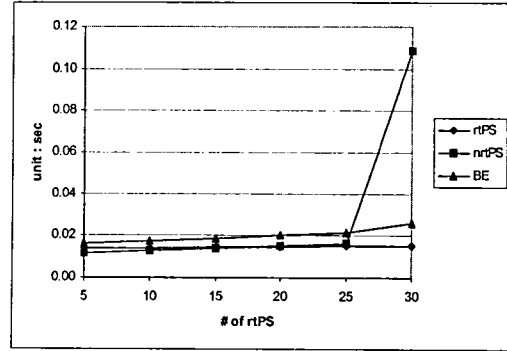
#### 5.4 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 모두 트래픽이 발생하는 경우를 시뮬레이션 하기 전에 rtPS에 단말들에게 대역폭을 할당해 줄때, nrtPS와 BE 단말들에게 어느 정도의 대역폭을 미리 할당해 주는 것이 성능에 좋은 지를 결정하기 위하여, rtPS 단말과 nrtPS의 단말만 트래픽을 발생하는 경우와 rtPS 단말과 BE 단말만 트래픽을 발생하는 경우를 먼저 시뮬레이션 하였다. 각 트래픽의 패킷 손실확률, 데이터 전송률, 패킷 지연을 고려한 결과 nrtPS 단말들에게 평균 전송률을 보장해 줄 수 있는 때 프레임마다 1개의 PDU(protocol data unit)를 각 nrtPS 단말들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주고, BE 단말들에게도 평균 트래픽 보다 약간 많은 전송률을 보장해 줄 수 있는 때 프레임마다 4개의 PDU를 전체 BE 단말들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주었다. 모든 서비스 유형의 단말이 존재하는 경우에 시스템의 uplink 용량을 연구하고자 셀에 존재하는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 단말의 비율을 7.43 : 1 : 1.89 : 7.55로 유지하면서 단말의 수가 증가될 때의 성능을 평가하였다.

단말의 수가 변화할 때 위 스케줄링 방법을 적용할 때의 rtPS 단말과 nrtPS 단말, 그리고 BE 단말의 평균 지연시간을 분석하면 <표 5>와 [그림 4]에서 보는 바와 같다. [그림 4]로부터 rtPS 단말과 BE 단말의 평균 지연시간은 별로 증가하지 않으나 nrtPS 단말의 평균 지연시간은 UGS, rtPS, nrtPS, BE 단말의 수가 (223, 30, 57, 227) 이상이 되면 다소 급격하게 증가하기 시작함을 알 수 있다.

<표 5> 각 단말의 평균 지연시간(모든 단말의 경우)

Average Transmission Delay of rtPS, nrtPS, and BE(unit : sec)			
	rtPS	nrtPS	BE
(37, 5, 9, 38)	0.0136	0.0117	0.0164
(74, 10, 19, 76)	0.0139	0.0126	0.0175
(111, 15, 23, 113)	0.0142	0.0137	0.0187
(149, 20, 38, 151)	0.0145	0.0147	0.0199
(186, 25, 37, 189)	0.0148	0.0161	0.0215
(193, 26, 49, 196)	0.0149	0.0166	0.0221
(201, 27, 51, 204)	0.0149	0.0174	0.0228
(208, 28, 53, 219)	0.0150	0.0185	0.0231
(215, 29, 55, 219)	0.0150	0.0327	0.0251
(223, 30, 57, 227)	0.0151	0.0641	0.0258
(230, 31, 59, 234)	0.0152	1.0758	0.0283
(238, 32, 60, 242)	0.0154	4.4864	0.0303

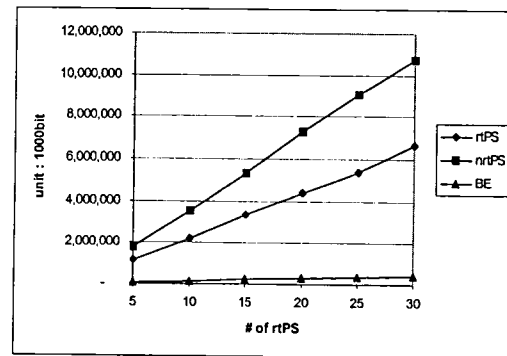


[그림 4] rtPS 단말의 평균 지연시간

단말의 수가 변화할 때 총rtPS 단말과 총 nrtPS 단말, 총BE 단말의 데이터 전송율을 분석하면 <표 6>과 [그림 5]에서 보는 바와 같다. [그림 5]로부터 각 서비스 유형별 발생하는 전체 트래픽이 각 단말의 수에 비례함을 알 수 있다. 즉 시뮬레이션 입력 트래픽이 제대로 발생하고 있음을 알 수 있다.

<표 6> 데이터 전송률

Transmission Rate of rtPS, nrtPS, and BE (unit: 1000 bit)			
	rtPS	nrtPS	BE
(37, 5, 9, 38)	1,140,698	1,811,909	71,614
(74, 10, 19, 76)	2,213,844	3,602,540	141,093
(111, 15, 23, 113)	3,442,002	5,428,149	210,508
(149, 20, 38, 151)	4,262,233	7,234,033	277,284
(186, 25, 37, 189)	5,512,838	8,999,446	352,046
(193, 26, 49, 196)	5,770,709	9,414,495	368,933
(201, 27, 51, 204)	6,068,222	9,819,256	377,409
(208, 28, 53, 219)	6,039,869	10,011,906	388,599
(215, 29, 55, 219)	6,447,349	10,701,380	409,685
(223, 30, 57, 227)	6,533,743	10,800,185	422,829
(230, 31, 59, 234)	6,984,469	11,367,184	429,875
(238, 32, 60, 242)	7,090,902	11,381,650	452,667



[그림 5] 전체 rtPS 단말의 데이터 전송율

단말의 수가 변화할 때 rtPS PDU의 지연시간이 200msec를 초과하여 손실이 발생할 확률과 nrtPS PDU의 지연시간이 150 ms를 초과할 확률, BE의 지연시간이 1초를 초과할 확률을 시뮬레이션 한 결과 nrtPS의 경우 단말의 수가 <표 7>과 같이 UGS, rtPS, nrtPS, BE의 단말의 수가 (208, 28, 53, 219)부터 지연시간이 150ms를 초과하는 PDU가 발생하기 시작했으면 (230, 31, 59, 234)부터는 150ms를 초과하는 PDU가 50%를 넘어 급격하게 증가함을 알 수 있다. 그러나, rtPS의 지연시간이 200msec를 초과하는 경우와 BE의 지연이 1초를 초과하는 경우는 (238, 32, 60, 242)까지는 발생하지 않았다.

<표 7> nrtPS PDU의 지연시간이 150 msec를 초과할 확률

Proportion of Delayed nrtPS (over 150ms)	
⋮	⋮
(193, 26, 49, 196)	0.0000
(201, 27, 51, 204)	0.0001
(208, 28, 53, 219)	0.0016
(215, 29, 55, 219)	0.0268
(223, 30, 57, 227)	0.0826
(230, 31, 59, 234)	0.5969
(238, 32, 60, 242)	0.8763

상향링크의 용량을 rtPS PDU의 지연시간이 200msec를 초과하여 손실이 발생할 확률이 0.5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수, nrtPS의 평균 지연시간이 100msec를 초과할 때의 가입자 수, nrtPS PDU의 지연시간이 150 msec를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수와 BE의 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수로 평가할 때 uplink의 용량은 다음 <표 8>과 같이 됨을 알 수 있다. 즉, 상향링크의 용량은 UGS, rtPS, nrtPS, BE 단말의 수가 (215,29,55,219)로 평가될 수 있다.

<표 8> 상향링크의 용량

	UGS	rtPS	nrtPS	BE
rtPS PDU지연시간>200 msec	238	32	60	242
nrtPS 지연시간 > 100 msec	223	30	57	227
Pr(nrtPS 지연시간 > 150 msec)	215	29	55	219
Pr(BE 지연시간 > 1초)	238	32	55	219
상향링크 용량	215	219	55	219

## 6. 결과

본 연구는 휴대인터넷 시스템을 효율적으로 구현할 수 있는 IEEE 802.16 BWA (Broadband Wireless Access) 시스템이 각 서비스들에게 이들이 요구하는 QoS

(Quality of Service)를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 MAC(Medium Access Control) 계층의 패킷 스케줄링 방법에 대해 연구하고 이의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 상향링크 스케줄링 시 QoS를 고려하여 UGS, rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순으로 우선순위를 주는 방법이 일반적이나 본 연구에서는 상위의 우선순위 트래픽이 상대적으로 많이 존재하는 경우에는 하위의 우선순위 서비스들에게는 요구하는 QoS를 제공하기 어렵게 되는 점을 감안하여 하위의 우선순위의 트래픽인 nrtPS와 BE에도 적절한 대역폭을 보장하는 스케줄링 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 분석 결과 nrtPS 단말들에게 평균 전송률 만큼 대역폭을 미리 할당해 주는 것이 좋고, BE 단말들에게는 평균 트래픽 보다 약간 많은 전송율을 보장해 줄 수 있는 맵 프레임마다 4개의 PDU를 전체 BE 단말들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주는 방법이 효율적으로 MAC 스케줄러의 성능을 향상시킬 수 있음을 이용하여 UGS, rtPS, nrtPS, BE 트래픽이 모두 발생하는 경우에 대하여 nrtPS와 BE에 적절한 대역폭을 보장하는 스케줄링 방법을 시뮬레이션 하였다. 일정 비율로 각 서비스 트래픽을 증가시키면서 각 단말의 평균 지연시간, 데이터 전송률을 분석하고 다양한 상향링크 용량 평가방법을 따라 상향링크 용량을 분석하였다.

본 연구에서는 각 서비스에 대역폭을 할당할 때, 같은 서비스 클래스에 속하는 단말들은 동일하게 취급하여 라운드 로빈 방식을 이용하여 대역폭을 할당하였으나, 무선채널의 상태정보, 우선 순위 정보등을 고려하여 스케줄링 하는 방법을 추후 고려할 예정이며, 각 변조방식에 따른 채널 전송률을 평균개념을 적용하여 각 채널이 항상 동일한 전송률을 갖는 것으로 가정하였으나, 시간에 따라 변화하는 무선채널의 상태정보를 이용하여 보다 효율적인 스케줄링 방법을 제안할 수 있을 것이다. 본 연구는 휴대 인터넷 이동통신에서의 규격 제안을 위한 기초자료와 기지국 용량 예측자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R05-2004-000-11569-0)

## 참고문헌

1. C. Chang, "Stability, queue length, and delay of deterministic and stochastic queuing networks", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.39, NO.5(1994), pp.913-931.
2. C. Liu and J. Layland. "Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment", *Journal of ACM*, Vol.20, No.1(1973), pp.46-61.
3. ETSI, TR101 112 V.3.1.0, 11, 1997.
4. IEEE 802.16.3C-01/30r1, "Traffic Models for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations", 2001.

5. IEEE Std 802.16sc-99/28, "Quality of Service(QoS) classed for BWA", July 22, 1999.
6. J. Bostic, G. Kandus, "MAC scheduling for Fixed Broadband Wireless Access Systems", *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research*, 2001
7. L. Zhang, "Virtual clock: A new traffic control algorithm for packet switching networks", in *Proc. ACM SIGCOMM'90*, 1989, pp.19-29.
8. M. Hawa and D. W. Petr, "Quality of service scheduling in cable and broadband wireless access system", *10th International Workshop on Quality of Service*, 2002, pp.247-255.
9. S. Golestani. "A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications", *In proceedings of IEEE INFOCOM'94*, Toronto, CA, 1994. pp. 636-646.
10. S. N. Subramanian and T. Le-Ngoc, "Traffic Modeling in a Multi-Media Environment", *CCECE'95*, Motreal, Sept. 1995.
11. W. E. Leland and D. V. Wilson, "High Time-Resolution Measurement and Analysis of LAN Traffic: Implications for LAN Interconnection", *IEEE Infocom'91*, Vol.3(1991), pp. 1360-1366.