

# IEEE 802.16e 시스템 하향 링크 트래픽 상황을 고려한 Power Saving 메커니즘 성능 분석

양석철\*, 한승우, 유명식, 신요안  
승실대학교 정보통신전자공학부

## Performance Analysis on Power Saving Mechanisms in IEEE 802.16e Systems by Considering Downlink Traffic Conditions

Suckchel Yang\*, Seungwoo Han, Myungsik Yoo, and Yoan Shin  
School of Electronic Engineering, Soongsil University  
E-mail : \*ysc0809@amcs.ssu.ac.kr

### Abstract

The power saving mechanism of IEEE 802.16e operates in two modes; awake mode and sleep mode. While the user terminal transmits and receives packets in awake mode, it sleeps for a given interval to save the power consumption in sleep mode. The IEEE 802.16e specifies that the user terminal increases the sleep interval exponentially unless it has to wake up. In this paper, we analyze the performance of IEEE 802.16e power saving mechanism by considering down link traffic conditions. With the extensive simulations, we observe the trade-off between the power saving performance and the average packet delay. In addition, we observe that various performance parameters of IEEE 802.16e power saving mechanism are affected by the traffic patterns.

### I. 서론

미래형 고속 패킷 데이터 전송망 구축을 위해 최근 가장 유력하게 검토되는 기술로 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 IEEE 802.16e 시스템을 들 수 있다[1]. 이를

기반으로 구축되는 미래형 이동통신망에서는 기존의 유선 망에서만 가능하던 고품질 멀티미디어 데이터 서비스를 무선 및 이동 환경에서도 보다 높은 대역폭을 사용하여 초고속으로 제공할 수 있게 된다. 하지만 사용자 단말기 측면에서 고려했을 때 이는 전력 소모를 급격히 증가시켜 전체적인 Battery Lifetime을 감소시키는 요인이 되며, 효율적인 전력 관리 및 제어가 수행되지 않았을 경우 결국 사용자는 기지국으로부터 공급되는 다양한 서비스를 제대로 수신하기도 전에 전력을 모두 소모하게 된다. 그러므로 단말기 전력 소모를 절감하기 위해 무선통신 링크에 대한 간헐적 사용 또는 미사용시 단말기 전력 공급을 효과적으로 중지 또는 제어하여 전체적인 단말기 Battery Lifetime을 효율적으로 증대시킬 수 있는 Power Saving 메커니즘에 대한 연구가 최근 크게 부각되고 있다. 이를 위해 IEEE 802.16e 시스템에서는 상하향 링크상의 데이터가 존재하지 않는 일정 기간 단말기 전력 공급을 중지시키는 개념의 Power Saving 방식을 도입하고 있으며, 특히 단말기 Battery Lifetime에 보다 민감한 하향 링크 측면에 중점을 두고 있다[1]. 여기에 덧붙여, IEEE 802.16e 시스템 기술 규격에서는 Power Saving을 위해 단말기가 정상적으로 데이터를 송수신하는 Awake Mode와 더불어, 전력이 공급되지 않아 데이터 송수신 기능이 정지되어 전력 절감이 가능한

---

본 논문은 한국전자통신연구원 정보통신연구개발사업 위탁연구과제의 연구결과임.

Sleep Mode를 제공하고 있다[1].

이러한 IEEE 802.16e 시스템에서의 Power Saving 성능 평가를 위해 [2]에서는 패킷 손실이 전혀 없는 이상적인 기지국 큐를 가정하여 CBR (Constant Bit Rate) 및 FTP (File Transfer Protocol)와 같은 특정 트래픽 상황에 국한된 정량적인 분석 결과만을 제시한 바 있다. 또한 [3]에서는 단말기 Sleep Mode 동작을 Markov Chain으로 모델링하여 패킷 도착률, 기지국 큐 용량 등에 따른 이론적인 Power Saving 성능을 정성적으로만 분석한 바 있다. 이에, 본 논문에서는 IEEE 802.16e 시스템 하향 링크에서 실제적인 트래픽 상황 및 제약 조건을 모두 고려했을 경우의 Power Saving 메커니즘 성능을, 다양한 모의실험을 통해 비교 분석하였다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.16e를 위한 TDD (Time Division Duplexing) 기반의 OFDMA 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 단말기 Power Saving을 위해 제시된 Sleep Mode 메커니즘에 대해 설명한다. 4장에서는 실제적인 하향 링크 트래픽 상황을 고려한 Power Saving 모의실험 결과를 제시하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.16e를 위한 TDD 기반의 OFDMA 시스템

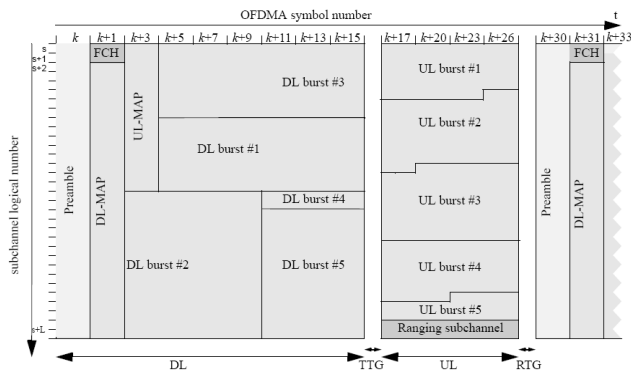


그림 1. IEEE 802.16e OFDMA TDD 시스템 프레임 구조

IEEE 802.16e는 기존 IEEE 802.16[4]에서 이동성을 제공하기 위해 요구되는 핸드오버나 Power Saving 기능을 추가하여 확장된 시스템 기술 규격이다[1]. IEEE 802.16e 시스템 물리계층에서는 TDD 방식 및 다중 사용자 지원을 위한 OFDMA 방식을 적용하고 있다. 그림 1은 이러한 OFDMA TDD 프레임 구조를 도시하고

있는데, 이는 크게 상하향 링크에서의 기지국과 단말기 시스템 동작에 의해 구분될 수 있다. 각 프레임은 프리앰블 (Preamble) 구간을 시작으로 DL (Downlink) 구간과 UL (Uplink) 구간으로 나누어져 있으며, DL 구간과 UL 구간 사이에는 TTG (Transmit/receive Transition Gap), UL 구간과 다음 프레임의 프리앰블 사이에는 RTG (Receive/transmit Transition Gap)이 존재하며, 이를 통해 송수신 모드를 변경할 수 있게 된다.

또한 IEEE 802.16e 시스템에서는 상하향 링크를 통한 데이터 전송을 목적으로 DL-MAP 및 UL-MAP 구간을 통해 사용자 자원 정보를 제공한다. 한편 DL 구간 내에는 하나 또는 여러 개의 DL Burst가 존재하며, 하나의 DL Burst 내에는 단일 또는 다수의 사용자 데이터가 전송될 수 있다. 참고로 DL Burst를 통해 전송되는 사용자 데이터들은 동일한 변조 방식 및 오류정정부호 등을 사용한다.

## III. 단말기 Power Saving을 위해 제시된 Sleep Mode 메커니즘

IEEE 802.16e 시스템에서는 기존 IEEE 802.16[4] 표준에 전력 소모 감소를 통한 단말기 이동성 지원을 추가하기 위해, 상하향 링크상의 데이터가 존재하지 않는 일정 기간 단말기 전력 공급을 중지시키는 개념의 Power Saving 방식을 도입하고 있다. 특정 시점에 대하여 단말기는 정상적으로 데이터를 송수신하는 Awake Mode 또는 전력이 공급되지 않아 데이터 송수신 기능이 정지되어 전력 절감이 가능한 Sleep Mode 중 하나의 모드로 동작하게 되고, 이를 위해 다음과 같은 두 가지의 시간 간격을 운용하게 된다[1].

- Sleep Interval : 단말기가 Sleep Mode로 전환된 이후부터 다시 Awake Mode로 복귀할 때까지의 시간 간격을 의미하며, 적절한 최소 및 최대 시간 제한을 가지고 지속적으로 증가하는 알고리즘을 사용하여 갱신한다.
- Listening Interval : 단말기가 Sleep Mode에서 깨어나 하향 링크와의 동기화 및 수신 신호 복조 등을 통해 Awake Mode로 전향할 것인지, 아니면 다시 Sleep Mode로 복귀할 것인지, 그리고 언제 다시 Awake 상태로 깨어날 것인지 조정하는 시간 간격을 의미하며, 기지국과

단말기간 조정이 가능하다.

단말기는 Sleep Mode로 전환하기 전에 반드시 기지국에 통보를 해야 하며, 또한 그에 따른 승인을 받은 후에야 비로소 Sleep Mode로 들어갈 수 있게 된다. 기지국은 Sleep Mode에 있는 단말기로 보낼 데이터를 버퍼링한 뒤, 해당 단말기의 주기적인 Awake 기간을 통하여 전송해야 할 데이터가 있는지를 단말기에게 통보하게 된다. 즉, 단말기는 Sleep Interval마다 주기적으로 깨어나서 자신에게 수신될 데이터의 유무를 체크해야 하고 만약 데이터가 존재하게 되면 Awake Mode로 전환하게 된다. 이러한 Power Saving 관련 메시지는 다음과 같은 세 종류로 정의한다[1].

- Sleep-Request (단말기→기지국) : Sleep Mode로 전환하기 위한 단말기의 요청 메시지로, 최소 및 최대 Sleep Interval과 Listening Interval 정보에 대한 파라미터가 포함되어 있다.
- Sleep-Response (기지국→단말기) : Sleep Mode를 위한 기지국의 승인 메시지로써, 단말기로부터의 Sleep-Request에 대한 응답이거나 또는 기지국의 일방적인 지시 수단으로도 사용될 수 있으며, 앞서의 Sleep-Request에 포함된 정보뿐만 아니라 최초 Sleep Mode를 시작하기 위한 기준 시간까지 포함하고 있다.
- Traffic-Indication (기지국→단말기) : Sleep Mode 단말기의 Listening Interval 내에 보내야 하는 기지국 메시지를 의미하며, 기지국에서 해당 단말기로의 데이터 유무에 대한 통보를 수행한다.

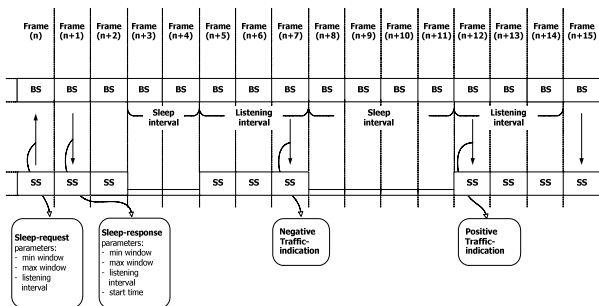


그림 2. IEEE 802.16e 시스템 하향 링크에서의 Power Saving을 위한 단말기 Sleep Mode 동작 예

IEEE 802.16e에서는 그림 2에서와 같이 최초 Sleep Interval에서는 최소 Sleep Interval 정보를 이용하고, Listening Interval 기간에 기지국으로부터의 데이터 수신 요청이 없을 경우 다시 Sleep Mode로 전환하면서 다음 Sleep Interval을 두 배로 증가시키는 갱신 알고리즘을 제안하고 있으며, 시간 증가의 상한선은 최대 Sleep Interval 정보가 된다[1]. 특히, IEEE 802.16e 시스템 하향 링크를 위한 Power Saving 기술 규격에서는 단말기 자체의 요청 또는 기지국에 의한 지시에 따른 Sleep Mode 통보 방식을 모두 지원하고 있다[1].

#### IV. 모의실험 결과

Power Saving 메커니즘에 대한 모의실험 수행을 위해 네트워크 내 기지국은 단말기 각각에 대해 제한된 용량의 큐를 가지고 있다고 가정하였으며, Power Saving 모의실험 관련 파라미터 정의는 다음과 같다[2,3].

- (1) 시간 관련 파라미터
  - ① Frame Duration ( $T_F$ ) : OFDMA TDD 시스템에서 DL과 UL을 모두 포함한 한 프레임 구간
  - ② Sleep Mode Threshold ( $T_{thr}$ ) : 단말기가 Sleep Mode 진입을 시도하기 위해 기다리는 시간
  - ③ Minimum Sleep Window ( $T_{min}$ ) : 단말기가 Sleep Mode로 전환된 이후 전력 공급이 중지된 상태가 유지되는 최초 시간
  - ④ Maximum Sleep Window ( $T_{max}$ ) : 지수적으로 증가 되는 Sleep Window에 대한 Upper Bound
  - ⑤ Listening Window ( $T_L$ ) : Sleep Window 이후 트래픽 유무를 확인하기 위해 깨어나는 시간
  - ⑥ Start Time ( $T_0$ ) : 단말기의 Sleep Mode 진입 시기 결정을 위해 기지국에서 부여하는 시간 정보
  - ⑦ Packet Interval ( $T_{arr}$ ) : 기지국으로부터 DL을 통해 단말기로 전송되는 프레임들 간의 시간 간격
  - ⑧ Downlink Burst Time ( $T_B$ ) : 기지국으로부터 단말기로 전송되는 트래픽이 지속되는 시간

(2) Message Signaling 관련 파라미터

- ① Sleep-Request (SLP-REQ) : 단말기에서 기지국으로 의 Sleep Mode 요청 메시지
- ② Sleep-Response (SLP-RSP) : 기지국에서 단말기로 의 Sleep Mode 승인 메시지
- ③ Traffic-Indication (TRF-IND) : 기지국에서 단말기로 의 트래픽 유무 통보 메시지

(3) 전력 소모 관련 파라미터

- ①  $P_A$  : Awake Mode 및 Listening Window에서 프레임 구간당 전력 소모량
- ②  $P_S$  : Sleep Window에서 프레임 구간당 전력 소모량

(4) 기지국 큐 용량 및 기타 파라미터

- ① Queue Size of BS ( $C_B$ ) : 기지국에서 버퍼링할 수 있는 최대 트래픽 수용 용량
- ② Number of Packets ( $N_p$ ) : 패킷 전송 횟수

여기서 특히, Burst Duration 및 Packet Interval의 경우 VBR (Variable Bit Rate) 트래픽 상황에서의 모의실험을 위해 주어진 평균 값을 중심으로  $\pm 50$  패킷 범위에서 균일 분포 (Uniform Distribution)를 따른다고 가정하였다. 본 모의실험에서는 아래 표 2에서와 같은 파라미터 조합을 고려하였으며, 이를 통해 Packet Interval 및 기지국 큐 용량, Minimum Sleep Window, Maximum Sleep Window의 변화에 따른 IEEE 802.16e 시스템의 Power Saving 메커니즘 성능 평가를 위해 평균 패킷 전송 지연, 평균 전력 소모량, 패킷 손실률을 비교 분석하였다.

표 2. 실제적인 VBR 트래픽 상황을 위한 Power Saving 메커니즘 모의실험 파라미터 조합

Timing Parameters	
Parameter	Value
Frame Duration : $T_F$	5 [msec]
Listening Window : $T_L$	5 [msec]
Sleep Start Time : $T_O$	5 [msec]
Burst Duration : $T_B$	50 [msec]
Threshold Time : $T_{thr}$	5 [msec]
Minimum Window : $T_{min}$	5~80 [msec]
Maximum Window : $T_{max}$	20~320 [msec]
Packet Interval : $T_{arr}$	10~10000 [msec]
Power Consumption Parameters	
Parameter	Value
Awake State Power : $P_A$	750 [mW]
Sleep State Power : $P_S$	50 [mW]
Message Signaling Parameters	
Parameter	Value

SLP-REQ Message	5 [msec]
SLP-RSP Message	5 [msec]
TRF-IND Message	5 [msec]
Buffering Capability Parameters	
Parameter	Value
BS's Queue Size : $C_B$	5~20 [Packets]
Number of Packets : $N_p$	10000 [Packets]

그림 3~5에서는 Minimum 및 Maximum Sleep Window가 각각 5 msec, 160 msec인 경우 Packet Interval 및 기지국 큐 용량에 따른 평균 패킷 전송 지연, 평균 전력 소모량, 패킷 손실률을 비교 도시하고 있다. 그림들에서 알 수 있듯이, 기지국 큐 용량이 증가 할수록 평균 패킷 전송 지연 및 전력 소모량은 증가 하나 패킷 손실률은 감소됨을 알 수 있다. 한편, 그림 6~8에서는 기지국 큐 용량이 20 패킷이고 Sleep Window 갱신 횟수가 2인 경우 Packet Interval 및 Minimum Sleep Window의 변화에 따른 평균 패킷 전송 지연, 평균 전력 소모량, 패킷 손실률을 비교 도시하고 있다. 이 경우에는 Minimum Sleep Window가 증가할수록 평균 패킷 전송 지연은 증가하고 평균 전력 소모량은 감소하게 되지만 패킷 손실률의 경우에는 거의 격차가 없게 된다. 또한, 그림 9~11에서는 Minimum Sleep Window가 5 msec이고 기지국 큐 용량이 20 패킷인 경우, Packet Interval 및 Maximum Sleep Window의 변화에 따른 평균 패킷 전송 지연, 평균 전력 소모량, 패킷 손실률을 비교 도시하고 있다. 여기서는 Maximum Sleep Window가 증가할수록 평균 패킷 전송 지연은 증가하게 되고, 반대로 평균 전력 소모량은 감소하게 되며, 패킷 손실률의 경우는 거의 격차가 없음을 볼 수 있다.

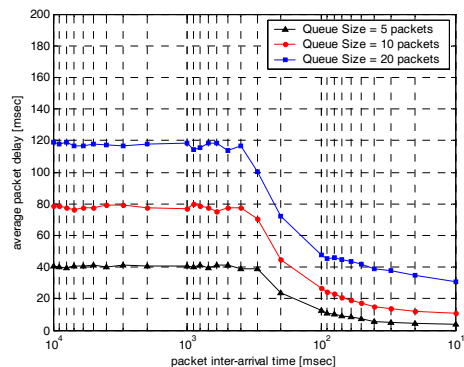


그림 3. Packet Interval 및 기지국 큐 용량에 따른 평균 패킷 전송 지연 비교

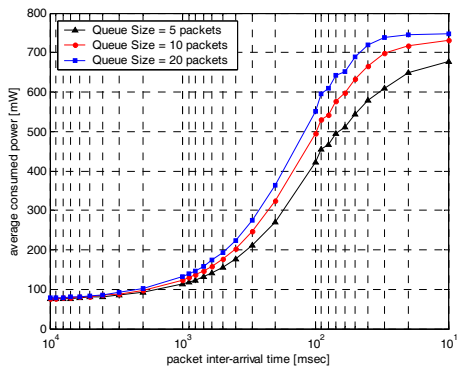


그림 4. Packet Interval 및 기지국 큐 용량에 따른 평균 전력 소모량 비교

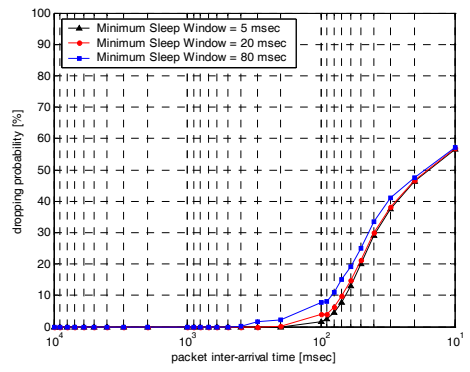


그림 8. Packet Interval 및 Minimum Sleep Window에 따른 패킷 손실률 비교

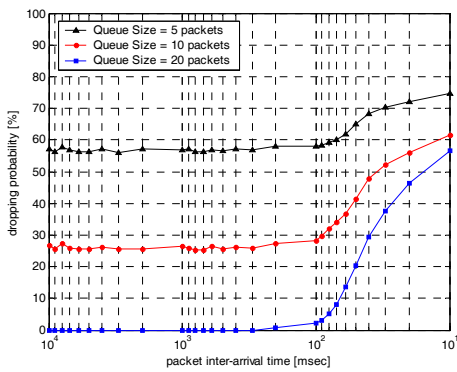


그림 5. Packet Interval 및 기지국 큐 용량에 따른 패킷 손실률 비교

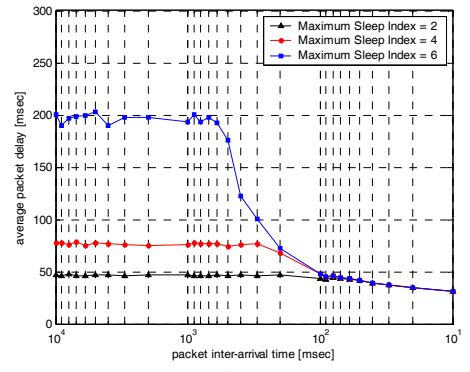


그림 9. Packet Interval 및 Maximum Sleep Window에 따른 평균 패킷 전송 지연 비교

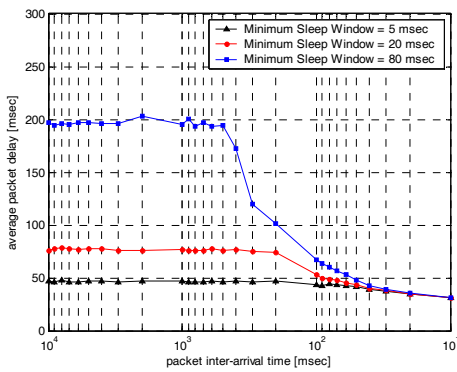


그림 6. Packet Interval 및 Minimum Sleep Window에 따른 평균 패킷 전송 지연 비교

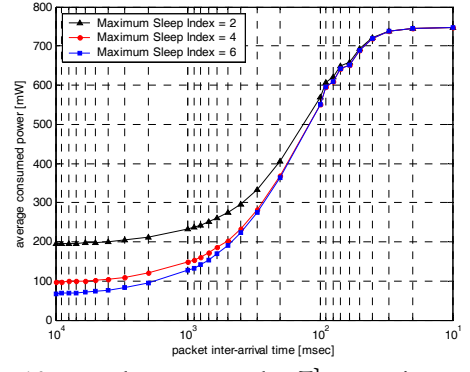


그림 10. Packet Interval 및 Maximum Sleep Window에 따른 평균 전력 소모량 비교

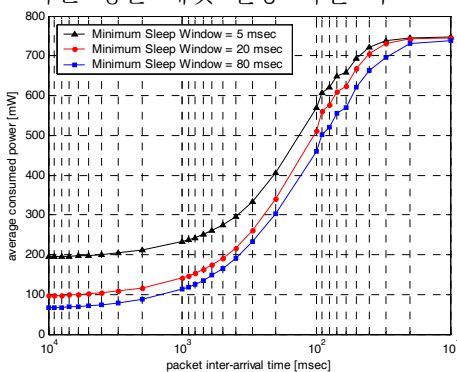


그림 7. Packet Interval 및 Minimum Sleep Window에 따른 평균 전력 소모량 비교

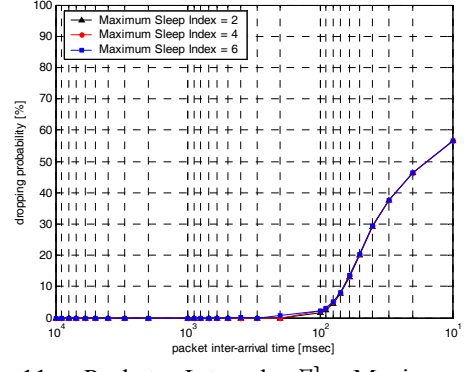


그림 11. Packet Interval 및 Maximum Sleep Window에 따른 패킷 손실률 비교

## V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.16e 시스템 하향 링크 트래픽 상황을 고려한 Power Saving 메커니즘의 성능을 분석하였다. 제한된 기지국 큐 용량 및 실제적인 VBR 트래픽 상황을 가정한 모의실험 결과, IEEE 802.16e 시스템을 위한 Power Saving 메커니즘 성능 분석 결과는 다음 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 기지국 큐 용량이 증가할수록 평균 패킷 전송 지연 및 전력 소모량은 증가하나 패킷 손실률은 오히려 감소하게 된다. 둘째, Minimum/Maximum Sleep Window가 증가할수록 평균 패킷 전송 지연은 증가하게 되지만 반대로 전력 소모량은 감소하게 되며, 패킷 손실률의 경우에는 거의 격차가 없음을 확인할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] IEEE 802.16e/D5-2004, "Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems - Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands", Sep. 2004.
- [2] 장재혁, 최성현, "Adaptive power saving strategies for IEEE 802.16e mobile broadband wireless access", 제15회 통신정보 합동학술대회 (JCCI 2005) 논문집, 2005년 4월.
- [3] J. B. Seo, S. Q. Lee, N. H. Park, H. W. Lee, and C. H. Cho, "Performance analysis of sleep mode operation in IEEE 802.16e", *Proc. VTC 2004-Fall*, vol. 2, pp. 1169-1173, Los Angeles, USA, Sep. 2004.
- [4] IEEE 802.16-2004, "Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems, standard for local and metropolitan area networks", Oct. 2004.