

수면 모드를 이용하는 EPON에서 QoS 향상을 위한 대역 할당 알고리즘

양 원 혁*, 정 진 효*, 김 영 천^o

Bandwidth Allocation Algorithm for Improving QoS in EPON with Sleep Mode

Won-Hyuk Yang*, Jin-Hyo Jeong*, Young-Chon Kim^o

요 약

최근 가입자 망의 에너지 절감을 위하여 수면 모드를 이용하는 EPON(Ethernet-Passive Optical Network)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 수면모드를 이용하는 EPON은 ONU(Optical Network Unit)의 주기적 수면을 보장하기 위하여 상향 데이터 전송과 하향 데이터 전송을 동시에 수행한다. 그러나 기존 대역 할당 알고리즘은 ONU의 수면 시간 증가를 위하여 상향 대역 요청 중심으로 대역을 할당하므로 OLT(Optical Line Terminal)의 입력 부하가 ONU의 입력 부하보다 클 때 하향 데이터의 QoS를 보장하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 수면 모드를 이용하는 EPON에서 QoS를 보장할 수 있는 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 OLT의 각 하향 데이터 버퍼가 QoS 임계값을 넘었을 때 이를 ONU의 상향 대역 요청과 비교하여 QoS를 만족 시킬 수 있는 대역을 선택적으로 할당한다. 따라서 제안한 알고리즘은 각 ONU의 적절한 수면시간을 통해 에너지를 절감 하면서도 상·하향 데이터의 QoS를 보장 할 수 있다. 제안한 대역 할당 알고리즘의 성능평가를 위하여 ONU의 총 수면시간, OLT와 ONU의 큐잉 지연시간 및 OLT의 할당 대역 이용률 관점에서 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행한다.

Key Words : EPON, Energy efficiency, Sleep mode, Bandwidth allocation

ABSTRACT

Recently, as the interest in Green IT is exponentially increased, EPON with sleep mode has been studied to reduce energy consumption in access network. In order to guarantee cyclic sleep for ONU(Optical Network Units), EPON with sleep mode transmits upstream and downstream data at the same time. However, since conventional algorithms for sleep mode in EPON allocate bandwidth to each ONU according to upstream bandwidth request, the QoS of downstream data is not guaranteed when the offered load of OLT is larger than that of ONU. In this paper, we propose a bandwidth allocation algorithm for improving QoS in EPON with sleep mode. The proposed algorithm compares its size with an upstream request of ONU when a downstream buffer in the OLT exceeds a QoS threshold. And then it allocates selectively a bandwidth that satisfies the required QoS between the bandwidth request of ONU and OLT. Therefore, the proposed algorithm can save energy through cyclic sleep of ONUs while guaranteeing the QoS of up/downstream data. In order to evaluate the proposed algorithm, we perform simulation in terms of total sleep time of ONUs, queuing delay between OLT and ONU, and the utilization of allocated bandwidth at OLT through OPNET.

※본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.2010-0013822, 2011-0000897).

♦ 주저자 : 전북대학교 컴퓨터공학과, whyang@jbnu.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 전북대학교 IT정보공학부 스마트그리드연구센터, yckim@jbnu.ac.kr, 종신회원, * 전북대학교 컴퓨터공학과, 정회원

논문번호 : KICS2011-08-347, 접수일자 : 2011년 8월 12일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 18일

I. 서 론

최근 다양한 응용프로그램과 인터넷 유저수의 증가로 인하여 네트워크 장비에서 요구하는 대역폭이 증가되고 있다. 이러한 높은 대역폭을 만족시키기 위하여 네트워크 장비의 수와 성능도 계속적으로 증가하고 있다. 최근 연구에 따르면 망의 전송용량 증가에 따라 가입자 망에서 발생하는 에너지의 소비는 전체 망에서 발생하는 에너지의 75% 이상으로 보고된다.^[1-3]

가입자 망에서 발생하는 에너지를 감소시키기 위해 가입자 망으로서 널리 사용되고 있는 PON에서 에너지 감소를 위한 에너지 효율적 PON 연구 및 표준화 활동이 활발히 이루어지고 있다. IEEE 802.3av task force^[4]와 ITU-T study group 15^[5]에서는 10G-EPON과 XGPON에서 에너지 절감을 위하여 주기적 수면(Cyclic sleep)과 선잠 모드(Doze mode)를 권장하고 있으며 두 에너지 절감 기법은 모두 ONU에서 발생하는 에너지 절감을 목표로 한다. 선잠 모드는 ONU에서 로컬 및 하향 데이터 수신에 대한 장치들은 항상 활동 상태를 유지하는 반면 상향 전송을 위한 장치들은 트래픽의 입력이 없을 때 수면 상태로 천이되어 에너지 절감을 할 수 있다. 주기적 수면은 ONU가 주기적으로 저전력 대기(Low Power Idle) 상태 혹은 깊은 수면(Deep sleep) 상태로 천이함으로써 PON에서 발생하는 에너지를 절약한다.

이러한 표준안을 기반으로 PON에서 에너지 절감 효율성을 높이기 위한 여러 가지 연구가 수행되고 있다. 논문 [6]은 IEEE 802.3az에서 논의되었던 수면 모드와 적응적 전송률을 적용하여 에너지 절감 성능을 평가 하였으며, 논문 [7]은 10G-PON을 위한 수면 인지 MAC 과 스케줄링에 대한 방법을 제시하였다. 논문 [8]은 ONU의 수면 상태에서 활성 상태로 천이하는데 소비되는 시간을 줄이기 위한 FCDR(Fast Clock and Data Recovery)를 이용한 ONU 구조를 제안하고 이를 활용하기 위한 JIT-SC(Just-In-Time-Sleep Control) 방식을 제안하였다. 논문 [9]에서는 주기적 수면 모드를 위한 고정 대역 할당 방식에서 에너지 절감 성능을 분석하였다. 논문 [10]에서는 EPON에 수면 모드를 적용하여 에너지 소비를 감소시키기 위한 에너지 관리 메커니즘과 이를 수행하기 위한 상향 중심 스케줄링 알고리즘(Upstream Centric Scheme: UCS)을 제안하였다. UCS알고리즘은 ONU의 상향 대역 요청

을 이용하여 ONU의 수면 및 활성 시간을 결정하므로 단순성과 ONU의 수면 시간을 보장할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 상향 대역폭 요청만을 고려하게 되므로 OLT의 입력 부하량이 증가하면 하향 데이터의 QoS를 보장하지 못하는 단점을 갖는다. 이러한 기존의 연구는 에너지 절감이 가능한 ONU의 구조를 제안하거나 ONU의 수면 시간 등의 에너지 효율 향상만을 고려하여 OLT에서 요구하는 하향 데이터의 QoS를 보장하기 어렵다. 또한 EPON에서 사용하는 주기적 수면 모드는 ONU의 수면을 위하여 하향 데이터와 상향 데이터의 전송이 동시에 수행되므로 대역할당은 상·하향 데이터를 동시에 고려하여 수행되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 문제점을 해결하기 위하여 수면 모드를 이용하는 EPON에서 QoS를 보장할 수 있는 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 OLT의 각 ONU 하향 데이터 버퍼에 임계값을 설정하고 이 임계값이 초과되면 ONU의 상향 데이터 요청과 현재 버퍼 상황을 비교하여 QoS를 만족할 수 있는 대역을 ONU와 OLT에게 할당한다. 따라서 제안한 알고리즘은 각 주기에 OLT와 ONU에게 할당된 대역을 이용하여 ONU의 주기적인 수면시간을 결정하면서도 상·하향 데이터가 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 ONU들의 총 수면시간, OLT 및 ONU 큐잉 지연, OLT에서 할당 대역 이용률 관점에서 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대하여 설명하고 3장에서는 제안한 대역 할당 알고리즘에 대하여 설명한다. 4장에서는 OPNET을 이용하여 제안한 알고리즘의 성능평가를 실시하고 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. Fast Clock and Data Recovery

PON 구조에서 ONU 연산 기능 최소화는 망 구성에 소요되는 비용과 오류를 감소시킨다. 수면 상태 제어 역시 같은 이유로써, OLT에서 수면 및 활성 시간 계산을 통하여 수행되며 OLT가 수면과 활성 시간을 계산하여 이에 대한 정보를 ONU에게 보냄으로써 모든 ONU의 수면을 제어한다. 수면 및 활성 정보를 수신한 ONU는 자신의 데이터 전송 및 수신 후 수면 상태로 천이하게 되며 활성 시간에

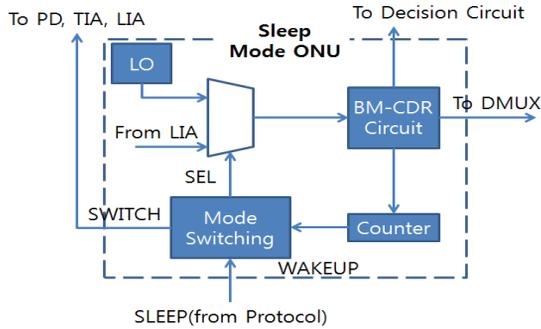


그림 1. 빠른 수면/활성 상태 천이를 위한 BM-CDR 구조
Fig. 1. BM-CDR architecture for fast transition

자신의 상태를 원상태로 복구한다. 하지만 ONU가 수면 상태에서 활성 상태로 천이되는데 수 ms이상 소요되어 PON에서의 한 주기 시간을 초과 할 수 있다. 이는 ONU의 OLT 등록을 취소시킬 수 있으며 이로 인해 QoS 감소에 영향을 미친다. 이를 해결하기 위해 FCDR^[8]을 이용하는 ONU 구조가 제안되었으며 FCDR을 이용할 경우 ONU의 상태 천이시간을 최소 64ns로 감소시킬 수 있다. 그림 1은 FCDR을 구성하기 위한 수면/활성 천이를 위한 BM(Burst Mode)-CDR구조를 보인다.^[11] BM-CDR은 수면 상태와 활성 상태를 조정하는 신호를 생성한다. 또한 수면 상태 중 LO(Local Oscillator)소자를 사용하여 OLT와 동기화하고 카운터를 이용하여 상태 천이 신호를 전달한다.

2.2. JUST-In-Time Sleep Control

PON에서 상향 데이터 전송 시 다수의 ONU가 전송매체를 TDM(Time Division Multiplexer)을 이용하여 공유하며 각 ONU는 상향 전송을 위한

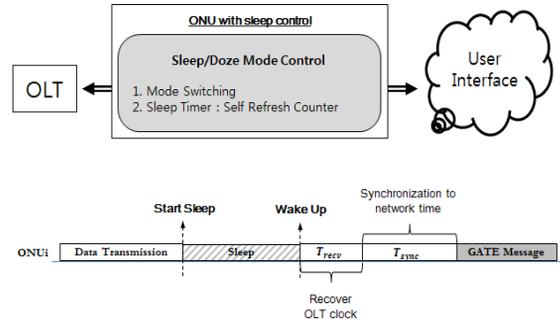


그림 2. ONU의 주기적 수면 및 선잠 모드 제어
Fig. 2. Cyclic sleep and doze mode control of ONU

대역을 할당받아 상향 데이터를 전송한다. 각 ONU는 그림 2처럼 OLT로부터 자신의 수면 시간과 활성 시간 정보를 이용하여 자신의 상태를 천이시키며 수면 타이머를 이용하여 활성 시간에 다시 자신의 상태를 활성 상태로 천이 시킨다. 이러한 주기적 수면 모드 제어는 데이터의 송수신 시간과 수면시간 그리고 ONU와 OLT간의 클럭 복구와 재동기화 시간으로 구성된다. 여기서 수면 시간은 자신이 데이터를 전송하지 않는 시간 즉 자신 외의 다른 ONU가 데이터를 전송하는 시간으로 구성된다. JIC-SC^[8]은 위에서 언급한 점을 이용하여 정해진 시간에 하향 데이터의 수신과 상향 데이터의 전송을 수행하고 할당된 시간외에 자신의 전송 시점이 돌아 올 때 까지 수면상태를 유지하게 된다. 그림 3은 JIC-SC의 대역 할당 및 수면 시간 스케줄의 예를 보인다. GATE 제어 메시지와 하향 데이터를 받은 ONU는 GATE 제어 메시지에서 자신이 할당받은 대역폭의 양의 산출이 끝남과 동시에 상향 데이

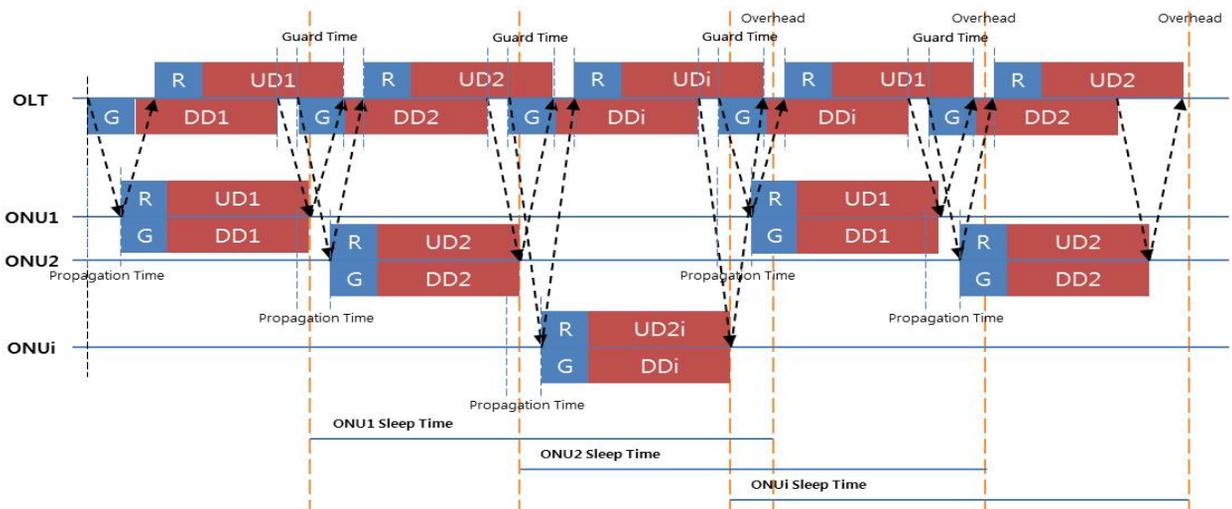


그림 3. JIC-SC를 이용한 수면 및 활성 시간 스케줄링
Fig. 3. Sleep and active time scheduling with JIC-SC

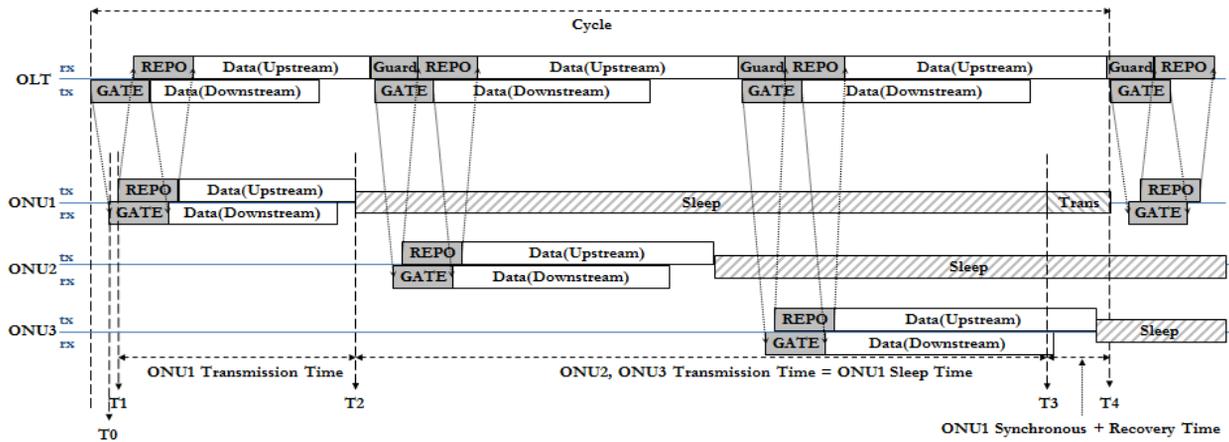


그림 4. UCS 알고리즘 기반의 수면 모드 스케줄링
 Fig. 4. Sleep mode scheduling based on UCS algorithm

터를 전송하게 된다. 이 때 GATE 제어 메시지는 ONU의 수면 시점 정보와 활성 시점 정보를 ONU에게 알린다. 상향 데이터의 전송 혹은 하향 데이터의 수신이 끝나는 시점으로부터 ONU는 수면 상태로 천이하게 되며 클럭과 데이터 복구에 소모되는 시간 전에 활성 상태로 천이하게 된다. JIT-SC 방식은 주기적으로 ONU를 수면시킴으로써 ONU의 수면 시간을 보장할 수 있고 상향 및 하향 전송을 위하여 ONU를 빠른 시간 내로 복구함으로써 상태 천이에서 발생하는 오버헤드를 줄일 수 있다. 하지만 JIT-SC를 이용하는 대역 할당 알고리즘 혹은 기법이 제안되지 않아 정확한 성능 평가가 어렵다.

2.3. 상향 중심 대역 할당 기법(UCS)

주기적 수면 모드를 이용하는 EPON에서 각 ONU에게 대역을 할당하고 그 대역을 기반으로 수면 시간과 활성 시간을 계산하고 이를 통하여 에너지 절감을 할 수 있어야한다. 논문 [9]에서는 각 ONU의 상향 대역폭 요청을 IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time)^[12]를 기반으로 대역을 할당하고 이를 이용하여 수면 시간과 활성 시간을 계산하는 UCS 알고리즘을 제안하였다. 그림 4는 UCS의 수면모드 동작을 보인다. JIT-SC와 유사하게 OLT는 ONU1에게 GATE 메시지와 하향 데이터를 전송한다. GATE 메시지를 수신한 ONU1은 상향 전송을 위한 대역 할당 정보를 수신함과 동시에 상향 데이터를 전송한다. 여기서 상향 대역폭의 결정은 REPORT 메시지의 ONU의 버퍼 정보를 기반으로 할당하며 상향 대역 할당 임계값을 넘을 수 없다. 또한 주기적 수면 모드를 사용하는 특성상 상향과 하향 데이터 전송이 동일한 주기에서

이루어진다. 이때 하향 데이터의 전송량은 상향 전송을 위해 할당된 대역의 크기보다 클 수 없다. 이러한 대역 할당을 기반으로 UCS는 수면시간과 활성 시간을 결정한다. 그림 4에서 ONU1의 수면 시작 시점은 상향 데이터 전송이 끝나는 T2에서 시작하여 T3에 활성 상태로 천이한다. T3와 T4 사이 시간은 클럭과 데이터 복구에 걸리는 시간이며 T4에 ONU1은 자신의 전송 시간이 된다.

그러나 UCS 알고리즘의 경우 상향 데이터 전송에 할당된 대역만큼만 하향 데이터도 전송되므로 하향 데이터의 입력 부하량이 높은 경우에는 하향 데이터의 QoS를 만족시키지 못 할 수 있다. 따라서 하향 데이터의 입력 부하량과 ONU의 상향 전송 대역 요청의 QoS를 만족 하면서도 에너지 절감을 할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

III. QoS 향상을 위한 대역 할당 알고리즘

위에서 언급한 UCS 알고리즘의 문제점을 해결하기 위하여 본 장에서는 주기적 수면 모드를 이용하는 EPON에서 QoS 향상을 위한 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 알고리즘 개발을 위한 시스템 환경은 EPON 구조를 사용하며 주기적 수면 모드를 위하여 OLT는 각 ONU에게 하향 데이터를 전송하기 위한 개별 큐를 가지고 있다고 가정한다. 또한 제안한 알고리즘은 EPON의 MAC(Media Access Control) 프로토콜인 MPCP(Multi Point Control Protocol)와 함께 사용이 가능하며 이에 기존의 EPON과 동일하게 GATE, REPORT 메시지는 대역의 할당과 요청이 가능하다. 여기에 추가적으로 GATE 메시지는 대역 할당 이후 계산된 수면 시간

과 활성 시간 정보를 추가하여 해당 ONU에게 전송된다. 또한 원활한 대역 할당과 주기적 수면 모드의 제어를 위한 Polling table을 관리한다. 이에 OLT와 ONU에서 수행되는 동작은 다음과 같다.

◎ OLT 동작

- ▶ 각 ONU에서 전송하는 REPORT 메시지의 수신
- ▶ 상·하향 대역 요청 정보를 이용한 대역할당
- ▶ 대역할당 정보를 이용한 한 수면 시간 및 활성 시간 계산(T_{cycle})
- ▶ 대역할당 및 수면·활성 관리를 위한 Polling table 관리
- ▶ 대역할당 정보, 수면 시간 및 활성 시간 정보를 GATE 메시지를 통해 전송

◎ ONU 동작

- ▶ GATE 메시지에서부터 대역 할당 정보, 수면 시간 및 활성 시간 정보 처리
- ▶ 할당 받은 대역을 이용한 상향 데이터 및 대역폭 요청을 위한 REPORT 메시지 전송
- ▶ 에너지 절감을 위한 상태 천이(상향 데이터 전송 후 수면 상태로 전환 및 일정 시간 후 활성 상태로 전환)

에너지 절감을 고려하지 않은 EPON의 대역할당은 여러 ONU가 상향 대역을 공유하므로 REPORT 메시지에 각 ONU의 대역 요청 정보를 이용하여 OLT에서 각 ONU에게 필요한 대역을 할당한다. 하향 데이터는 대역 할당 혹은 그 외의 다른 작업 없이 각 ONU에게 전송되고 자신에 해당하는 하향 데이터만을 수신한다. 그러나 에너지 절감을 위하여 수면 모드를 적용한 EPON은 ONU의 수면 시간을 보장하고 단순한 동작 제어를 위해 주기적 수면 모드 방법을 사용한다. ONU의 주기적 수면 모드에서 상향 데이터의 전송과 하향 데이터의 전송은 동시에 수행되며 각 ONU에게 주기적으로 대역 할당이 수행된다. 따라서 n번째 ONU의 i번째 대역 할당 주기 $T_{cycle}^{n,i}$ 은 다음과 같이 결정된다.

$$T_{cycle}^{n,i} = \sum_{n=1}^k (T_{frame}^{n,i} + T_{guard}) \quad (1)$$

여기서 $T_{frame}^{n,i}$ 은 n번째 ONU의 i번째 대역 할당량이며, T_{guard} 는 guard 밴드의 시간, k는 ONU의 수이다. 이에 UCS 방식에서 $T_{frame}^{n,i}$ 은 다음 식 (2)처럼 결정된다.

$$T_{frame}^{n,i} = \frac{BW_{up}^{n,i}}{R} \quad (2)$$

여기서 $BW_{up}^{n,i}$ 은 n번째 ONU의 i번째 상향 대역 요청 그리고 R은 상향 전송용량을 의미한다.

그러나 상향 대역 할당 요청을 기반으로 대역 할당 및 수면, 활성 시간을 계산하게 되면 하향 데이터 전송의 QoS를 만족시키지 못하는 결과를 보인다. 예를 들어 각 ONU의 상향 대역 할당 요청보다 하향 데이터의 입력 부하량이 클 때, UCS의 경우 ONU의 대역 할당 요청을 기반으로 대역 할당 및 수면 사이클을 결정하게 된다. 따라서 전송되지 못한 하향 데이터는 다음 사이클까지 OLT의 해당 큐에서 대기하므로 하향 데이터의 큐잉지연을 증가시킨다. 이로 인하여 UCS는 상향 데이터의 QoS는 만족시킬 수 있으나 하향 데이터의 QoS는 만족시키기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 상·하향 데이터의 QoS를 향상시키면서도 에너지 절감이 가능한 대역 할당 알고리즘을 제안한다.

제안한 알고리즘은 하향 데이터 전송의 QoS를 만족시키기 위하여 ONU 별로 하향 데이터 큐를 사용하며 각 큐에 임계값을 설정한다. OLT에서 대역 할당 시 만일 해당 하향 데이터 큐의 임계값이 초과 되었다면 해당 큐의 크기와 ONU에서 요청한 상향 대역 할당 요청을 비교하여 상향 및 하향 데이터의 QoS를 만족시킬 수 있는 값에 맞춰 대역을 할당하게 된다. 그 외의 경우에는 에너지 절감을 위한 ONU의 수면시간을 보장하기 위하여 ONU의 대역 요청에 맞춰 대역을 할당한다. 이에 수식 (2)는 수식 (3)과 같이 변경된다.

$$T_{frame}^{n,i} = \begin{cases} \frac{BW_{dn}^{n,i}}{R} & \text{if } BW_{dn}^{n,i} > BW_{th} \text{ and } BW_{dn}^{n,i} > BW_{up}^{n,i} \\ \frac{BW_{up}^{n,i}}{R} & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $BW_{dn}^{n,i}$ 은 OLT의 n번째 ONU의 i번째 주기 하향 데이터 큐의 양을 나타내며, BW_{th} 는 하향 데이터 큐의 QoS 임계값을 나타낸다. 이 수식에서 만일 n번째 ONU의 하향 데이터가 QoS 임계값을 넘어 선다면 상향 대역 할당 요청과 비교하여 조건을 만족할 시에는 하향 데이터 요청에 우선권을 둔다. 그러나 그 외의 경우에는 상향 대역 요청에 우선권을 두는 방식이다. 이렇듯 제안한 알고리즘은 상향과 하향 대역 요청을 선택함으로써 QoS를 만족시킬 수 있다.

Polling Table						Request BW		OLT Queue State		
ONU	RTT	Start Tx	Granted BW	Sleep	Wakeup	ONU	Request	Buffer	State	Threshold
1	$T_{rtt,1}$	$T_c^{1,i}$	$BW_{up}^{1,i}$	$T_s^{1,i}$	$T_{wakeup}^{1,i}$	1	$BW_{up}^{1,i}$	1	$BW_{dn}^{1,i}$	Not over
2	$T_{rtt,2}$	$T_c^{2,i}$	$BW_{dn}^{2,i}$	$T_s^{2,i}$	$T_{wakeup}^{2,i}$	2	$BW_{up}^{2,i}$	2	$BW_{dn}^{2,i}$	Over
3	$T_{rtt,3}$	$T_c^{3,i}$	$BW_{up}^{3,i}$	$T_s^{3,i}$	$T_{wakeup}^{3,i}$	3	$BW_{up}^{3,i}$	3	$BW_{dn}^{3,i}$	Not over

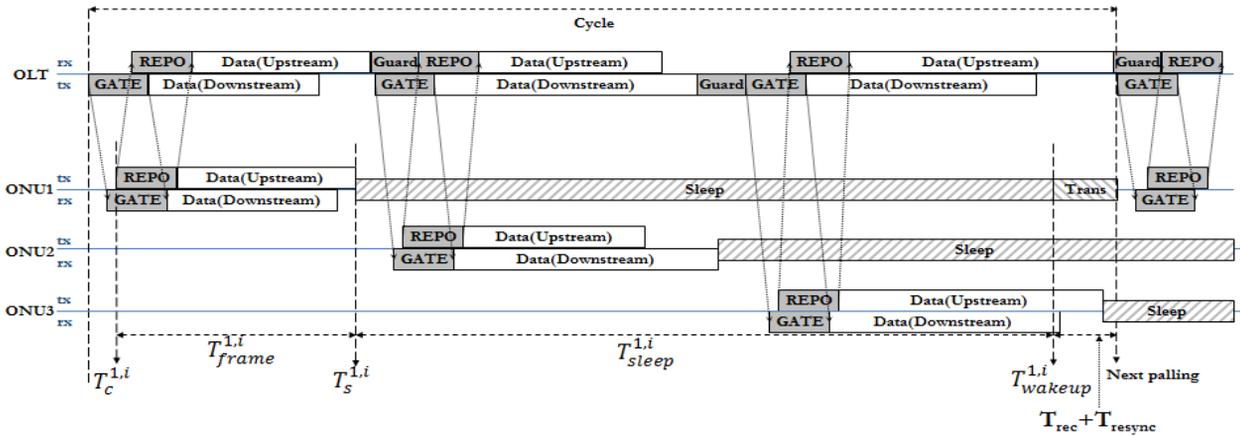


그림 5. 상·하향 요청 선택 기반 대역 할당 알고리즘의 Polling table 과 예
 Fig. 5. Polling table and example for bandwidth allocation algorithm based on selection

주기적인 수면 모드 방법을 이용하기 위해서는 자신의 대역 할당 정보뿐만 아니라 자신을 제외한 모든 ONU의 대역 할당 정보를 가져야 $T_{cycle}^{m,i}$ 의 계산이 가능하다. UCS의 경우 상향 대역 할당 요청만을 이용하여 $T_{cycle}^{m,i}$ 를 결정하므로 REPORT 메시지 수신 후 대역 할당 요청 정보를 Polling table에 기록하여 $T_{cycle}^{m,i}$ 를 결정할 수 있다. 그러나 제안한 상·하향 요청 선택 기반의 대역 할당 알고리즘은 OLT에서 REPORT를 수신하고 하향 데이터의 전송이 완료된 후에 현재 큐의 크기인 $BW_{dn}^{m,i}$ 의 정보를 식 (3)에 이용하여 Polling table의 대역 할당 정보를 업데이트한다.

이러한 각 ONU의 대역 할당을 이용하여 각 ONU의 수면 상태 시작 시간과 활성화 시작 시간을 계산할 수 있다. 또한 이 계산 결과를 GATE 메시지에 삽입하여 ONU에게 수면 시작 시간 정보와 활성화 상태 시작 정보를 알려야한다. 이를 위한 수면 시작 시간 $T_s^{n,i}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_s^{n,i} = T_c^{n,i} + T_{frame}^{n,i} \quad (4)$$

여기서 $T_c^{n,i}$ 는 n번 ONU가 i 주기 때 전송 시

작 시점을 나타낸다.

또한 주기적 수면 기법에서는 ONU가 활성화되기 위한 클럭 복구 시간, T_{rec} 와 데이터 재동기화 시간, T_{resync} 이 필요하다. 이를 이용하여 n번 ONU의 i 주기 수면시간 $T_{sleep}^{n,i}$ 과 활성화 시작 시간 $T_{wakeup}^{n,i}$ 은 식 (5)와(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$T_{sleep}^{n,i} = T_{cycle}^{n,i} - T_{frame}^{n,i} - T_{rec} - T_{resync} \quad (5)$$

$$T_{wakeup}^{n,i} = T_s^{n,i} + T_{sleep}^{n,i} \quad (6)$$

따라서 n번 ONU의 총 수면시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T_{sleep}^n = \sum_{i=1}^k T_{sleep}^{n,i} \quad (7)$$

그림 5는 제안한 알고리즘의 예를 보인다. 여기서 Polling table은 각 ONU에서의 데이터 전송 시점과 할당된 대역 수면 시작 시간, 활성화 시작 시간 요청 대역 및 하향 데이터 큐의 현재 크기를 관리한다. 현재 i번째 사이클이 수행 중이며 Polling table의 정보는 i-1 번째 사이클에서 얻어진 결과이다. 이를 이용하여 ONU1의 전송 시작 시점

$T_c^{n,i}$ 과 수면 시작 시점 $T_s^{n,i}$, 활성 시작 시점 $T_{wake up}^{n,i}$ 이 그림과 같이 계산된다. ONU2의 경우 i 번째 주기에서 하향 데이터 전송 후 계산 결과 $T_{frame}^{n,i}$ 이 하향 요청에 맞게 계산되어 상향 전송보다 더 긴 하향 데이터 전송이 됨을 보인다. 그림 6은 제안한 알고리즘을 수행하기 위한 흐름도를 보인다.

IV. 성능평가 및 분석

본 장에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 실시한다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여

OPNET을 이용하여 EPON 시뮬레이터를 작성하고 그 결과를 UCS 알고리즘과 고정 대역 할당 알고리즘(Fixed Bandwidth Allocation: FBA)^[10]과 총 수면시간, 각 ONU의 상향 및 하향 대역 용량, OLT 큐잉 지연과 ONU 큐잉 지연 관점에서 비교 분석하였다. UCS 알고리즘은 관련연구에서 설명한 것과 같이 상향 대역 요청 정보를 이용하여 대역 할당 및 수면 및 활성 시간을 계산하고 제어한다.

고정 대역 할당 방식은 각 ONU에게 일정한 대역을 할당해주는 TDM 방식을 기반으로 하는 대역

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Simulation Time	10 sec
Link Capacity	1Gbps
Data Packet (Exponential Distribution)	6328 bit
MPCP Packet	512 bit
Guard Time	5 ms
Transition Overhead	64 ns
Number of ONU	8
Offered Load	0.1-0.9
Maximum Bandwidth for each ONU	2 ms
Maximum Threshold For each OLT Queue	2 ms

할당 방식이며 각 ONU는 자신이 할당 받은 대역에 상향 데이터 전송과 하향 데이터 수신을 동시에 수행한다. 시뮬레이션을 위한 파라미터는 다음 표 1과 같다.

그림 7은 ONU의 총 수면 시간을 보인다. 고정 대역할당의 총 수면 시간은 OLT의 부하량과 상관없이 일정하다. 이는 고정 대역 할당이 항상 일정한 대역을 ONU와 OLT에게 할당하므로 항상 일정한 수면 주기를 갖기 때문이다. UCS의 경우 상향 대역 요청을 기반으로 대역을 할당하게 되므로 수면 시간은 ONU의 부하량에 영향을 받게 된다. 따라서

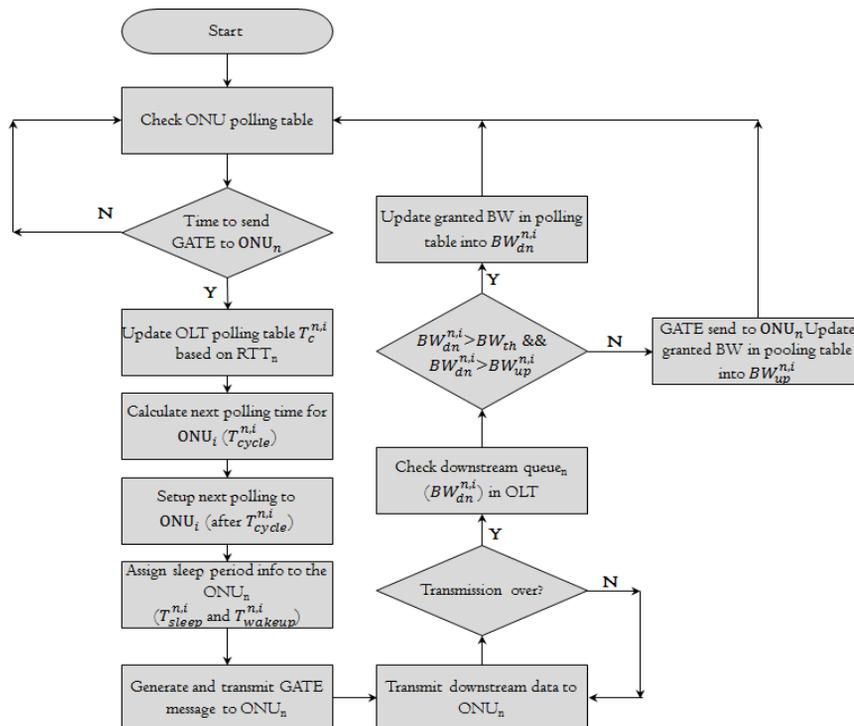
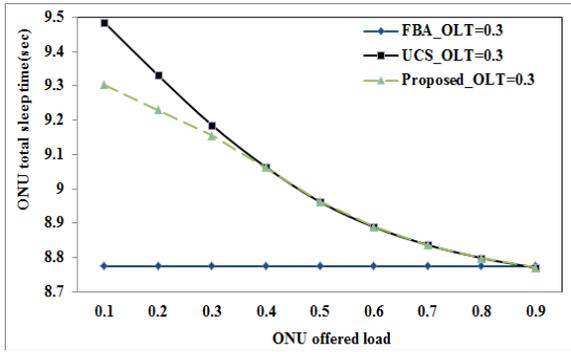
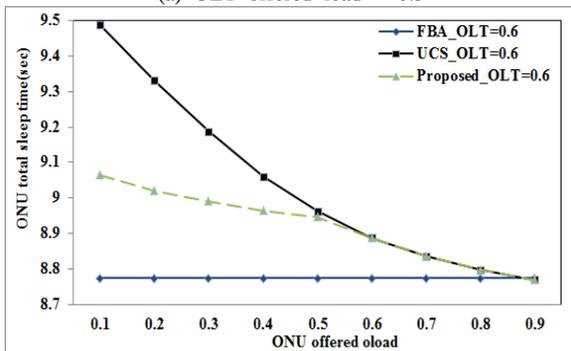


그림 6. OLT에서 상·하향 요청 선택 기반 대역 할당 알고리즘의 흐름도
Fig. 6. Flow chart of proposed algorithm in OLT

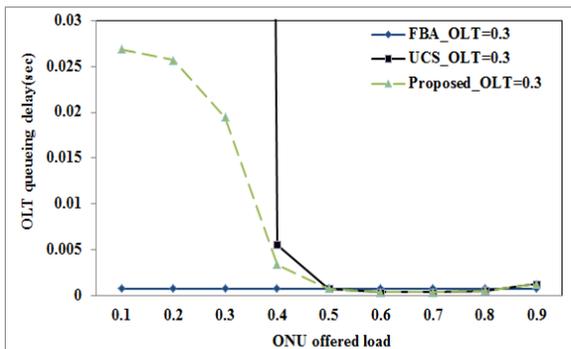


(a) OLT offered load = 0.3

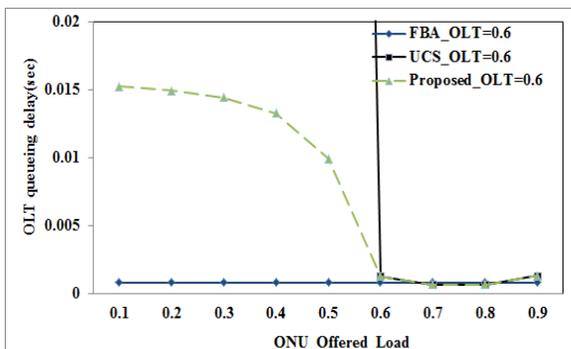


(b) OLT offered load= 0.6

그림 7. ONU의 총 수면시간
Fig. 7. Total sleep time of ONU



(a) OLT offered load = 0.3



(b) OLT offered load= 0.6

그림 8. 부하에 따른 큐잉 지연
Fig. 8. Queuing delay of OLT

ONU의 부하량이 낮은 경우는 최대 95%까지의 수면이 가능함을 보인다. 또한 UCS방식 역시 OLT의 부하량과 관계없이 대역을 할당하므로 OLT의 부하량이 증가하더라도 동일한 수면 성능을 보인다.

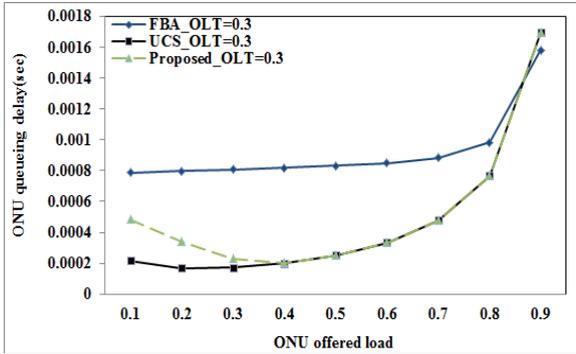
그러나 제안한 방식의 경우는 OLT의 대역 요청을 고려하므로 OLT의 부하량에 따라 다른 수면 성능을 보인다. 특히 OLT의 부하량보다 ONU의 부하량이 낮을 때 하향 트래픽을 수용하기 위하여 UCS보다 낮은 수면시간을 보인다. 그러나 ONU의 부하량이 OLT의 부하량보다 클 때는 UCS와 동일한 성능을 보인다. 따라서 그림 7(a)와 (b)의 경우 OLT의 부하량 0.3과 0.6 지점에서 성능이 동일해 짐을 보인다.

그림 8은 OLT의 큐잉 지연 그래프를 보인다. 고정 대역 할당의 경우는 계속적으로 일정한 대역을 할당 받게 되므로 가장 작은 큐잉 지연을 보인다. 그러나 위의 수면 시간 그래프에서 볼 수 있듯이 수면시간 성능을 향상 시키는 것은 한계가 있다. UCS의 경우 ONU의 부하량을 기준으로 상향 대역 할당 요청을 기반으로 대역을 할당하고 수면 주기를 설정하게 되므로 OLT의 부하량보다 낮은 ONU 부하량을 보이는 구간에서는 QoS를 만족시키지 못하는 지연 성능을 보인다. 따라서 UCS의 경우 수면 시간을 향상 시킬 수는 있으나 QoS에 문제점을 보인다.

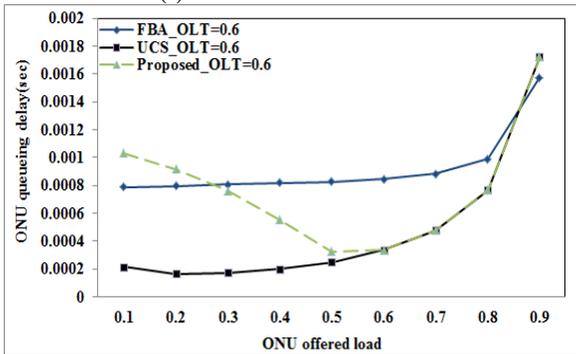
제안한 알고리즘의 경우 이러한 문제점을 개선하여 OLT의 부하량이 ONU의 부하량보다 높은 경우는 OLT의 요청에 따라 대역을 할당하고 수면 주기를 설정하게 되므로 QoS를 만족할 수 있을 수준으로 큐잉지연이 낮아짐을 보인다. 또한 큐잉 지연 임계값을 설정한다면 그에 합당한 경계로 QoS를 만족 시킬 수 있을 것이다.

그림 9는 ONU의 큐잉 지연을 보인다. 고정대역 할당의 경우 일정한 대역 할당으로 인하여 일정 수준의 큐잉 지연을 보인다. UCS의 경우 ONU의 부하량에 의하여 대역할당 및 수면시간이 결정되므로 가장 낮은 수준의 지연시간을 보임을 알 수 있다. 그러나 제안한 알고리즘은 OLT의 부하량이 ONU의 부하량 보다 높은 경우 ONU의 QoS를 약간 저하시키고 OLT의 QoS를 만족시킨다. 따라서 OLT의 부하량이 0.3인 경우 0.3까지 ONU의 큐잉 지연이 다소 높음을 알 수 있다. 또한 0.6의 경우는 ONU 부하량 0.6까지 ONU의 QoS를 저하시킨다.

그러나 제안한 알고리즘의 경우 QoS의 저하 수

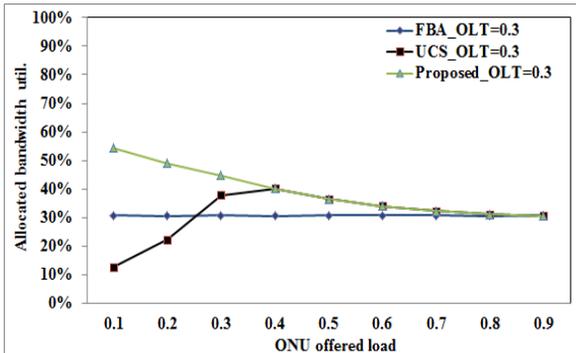


(a) OLT offered load = 0.3

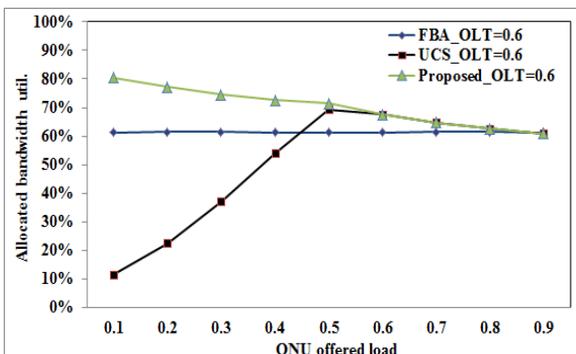


(b) OLT offered load= 0.6

그림 9. ONU의 큐잉 지연
Fig. 9. Queuing delay of ONU



(a) OLT offered load = 0.3



(b) OLT offered load= 0.6

그림 10. OLT의 할당 대역 이용률
Fig. 10. Allocated bandwidth utilization of OLT

준이 높지 않음을 알 수 있다.

그림 10은 각 대역 할당 방식에서 OLT의 할당 대역 이용률을 보인다. OLT의 할당 대역 이용률은 다음과 같이 계산된다.

$$Allocated\ BW\ UTIL = \frac{Total\ trans.\ data}{Total\ allocated\ BW} \times 100 \quad (8)$$

그림 10에서 고정대역 방식의 경우 OLT의 요청량 만큼 할당된 대역을 사용하고 있음을 보인다. 이는 OLT와 ONU의 부하량과 관계없이 일정한 양의 대역을 할당받아 상향 및 하향 데이터를 전송하므로 전체 할당된 대역 중 하향 데이터 부하량과 동일한 양을 사용하게 된다. UCS의 경우 ONU의 대역 요청을 기반으로 대역을 할당하지만 할당된 대역을 OLT가 이용할 수 없는 작은 대역만을 할당하게 되므로 대역을 이용하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이에 OLT의 할당 대역 이용률은 OLT의 부하량과 ONU의 부하량이 같아 지기 전까지는 낮은 수준을 보인다. 그러나 제안한 알고리즘의 경우 QoS의 향상을 위하여 ONU의 부하량이 낮은 경우 OLT의 대역 요청을 사용하여 대역을 할당하게 되므로 OLT의 할당 대역 이용률이 높음을 알 수 있다. 특히 OLT의 부하량이 높은 경우는 최대 80%까지 할당된 대역을 사용하여 하향 트래픽을 전송하므로 채널의 이용률이 높음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 수면 모드를 이용하는 EPON에서 하향 데이터의 QoS를 향상시키기 위한 대역 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 FBA 및 UCS와 달리 OLT의 해당 주기의 ONU와 상응하는 하향 데이터 버퍼의 임계값이 초과되면 하향 데이터 버퍼의 크기와 ONU의 상향 대역 요청을 비교하여 QoS를 만족할 수 있는 대역을 할당함으로써 OLT 및 ONU의 QoS를 보장할 수 있었다. 따라서 제안한 알고리즘은 모든 ONU에게 할당된 대역 정보를 기반으로 각 ONU의 수면 시간과 활성 시간을 결정하여 각 ONU가 주기적으로 수면하면서도 QoS를 보장할 수 있었다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 주기적 수면 FBA와 UCS 알고리즘을 ONU들의 총 수면시간, OLT 및 ONU 큐잉 지연, 그리고 OLT에서 할당 대역 이용률 관점에서

OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 알고리즘은 ONU의 수면시간 측면에서 OLT의 부하량이 0.3일 때 최대 3%, 0.6일 때 최대 5%의 수면 시간 감소를 보인다. 그러나 OLT 큐잉 지연 관점에서 QoS를 만족시키지 못하고 허용하지 못할 수준의 큐잉 지연을 보이는 UCS와 달리 제안된 알고리즘은 OLT 입력 부하를 고려하여 0.025msec 이하의 큐잉 지연을 보임으로써 QoS를 만족시킬 수 있었다. 또한 OLT의 할당 대역 이용률 관점에서 제안된 알고리즘이 OLT의 할당 대역을 OLT의 부하량에 따라 약 60%, 80%를 사용함으로써 할당된 대역을 효율적으로 사용할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] C. Lange and A. Gladisch, "Energy consumption of telecommunication networks: A network operator's view," in Work shop on Optical Fiber Communication Confence(OFC) "Energy Footprint of ICT: Forecasts and network solutions", 2009.
- [2] C. Lange, D. Kosiankowski, C. Gerlach, F. Westphal, and A. Gladisch, "Energy consumption of telecommunication networks," in 35th European Conference on Optical Communication(ECOC), 2009, pp. 1 - 2.
- [3] B. Nordman and K. Christensen, "Reducing the Energy Consumption of Networked Devices", Tutorial presented at the July 2005 IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee Plenary Session, available at: http://www.ieee802.org/802_tutorials/05-July/Tutorial%20July%20Nordman.pdf
- [4] IEEE 802.3av Task Force, Available at: <http://www.ieee802.org/3/av>
- [5] ITU-T G.987.x Series of Recs, Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>
- [6] R. Kubo, J. Kani, H. Ujikawa, T. Sakamoto, Y. Fujimoto, N. Yoshimoto, and H. Hadama, "Study and Demonstration of Sleep and Adaptive Link Rate Control Mechanisms for Energy Efficient 10G-EPON," IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 2, no. 9, pp. 716.729, 2010
- [7] J. Zhang and N. Ansari, "Towards energy-efficient 1G-EPON and 10GEAPON with sleep-aware MAC control and scheduling," in IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 2, February 2011
- [8] Shing-Wa Wong, She-Hwa Yen, P. Afshar, S. Yamashita, L.G. Kazovsky, "Demonstration of energy conserving TDM-PON with sleep mode ONU using fast clock recovery circuit", Proceedings of OFC/NFOEC, pp. 1-3, 21-25 March, 2010.
- [9] Jin-Hyo Jeong, Wonhyuk Yang, Young-Chon Kim, "Analysis on Sleep Time of Fixed Bandwidth Allocation in EPON with JIT-SC", Proceedings of JCCI, Apr. 2011.
- [10] Y. Yan, and L. Dittmann, "Energy Efficiency in Ethernet Passive Optical Networks (EPONs): Protocol Design and Performance Evaluation," in ACM Journal of Communications, vol 6, no 3, pp. 249-261, May 2011.
- [11] S. Wong, L. Valcarenghi, S. Yen, D. Campelo, S. Yamashita, and L. Kazovsky, "Sleep Mode for Energy Saving PONs: Advantages and Drawbacks," in IEEE GLOBECOM Workshops, 2009, pp. 1-6.
- [12] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT : A Dynamic Protocol For An Ethernet PON (EPON)," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 2, pp. 74 - 80, February 2002..

양 원 혁 (Won-Hyuk Yang)

한국통신학회 논문지 제35권 제7호 참조
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

정 진 효 (Jin-Hyo Jung)

한국통신학회 논문지 제37권 제2호 참조
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정

김 영 천 (Young-Chon Kim)

한국통신학회 논문지 제35권 제7호 참조
현재 전북대학교 IT정보공학부 교수