

# Ethernet PON에서 서비스 클래스별 우선 순위를 고려한 상향 채널 대역 할당 기법

정희원 이호숙\*, 유태환\*, 문지현\*\*, 이형호\*

## A Design of Bandwidth Allocation Scheme with Priority Consideration for Upstream Channel of Ethernet PON

Ho-Sook Lee\*, Tae-Whan Yoo\*, Ji-Hyun Moon\*\*, Hyung-Ho Lee\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 Ethernet PON에서 서비스 우선 순위를 고려한 상향 채널 대역 할당 기법을 설계하였다. 제안된 대역 할당 기법의 목적은 광 라인 장치인 OLT(Optical Line Termination) 또는 광 단말 장치인 ONU(Optical Network Unit)에서 전송 제어시 서비스의 우선 순위를 고려하도록 하여 차별화된 전송 품질을 제공하는데 있다. 이를 위하여 OLT 측에 이중 스케줄링 기법을 적용하여 전송 지연에 민감한 서비스에 대해서는 고정 대역 할당 기법을, 전송 지연에 덜 민감한 best-effort 서비스에 대해서는 동적 대역 할당 기법을 동시에 제공할 수 있도록 하고, 동적 대역 할당에 의해 허락된 전송 지속 시간 동안 ONU에서 트래픽 특성별로 계층화된 우선 순위를 적용하여 전송을 제어하도록 하였다. 따라서 제안된 전송 제어 알고리즘에 의해 T<sub>1</sub>, E<sub>1</sub> 등의 고정 대역 서비스와 전용선 서비스, best-effort 서비스 내에서 실시간과 비실시간 서비스 등을 서비스 특성에 따라 차별화 된 전송 품질로 제공할 수 있다. 본 논문에서는 OPNET을 이용한 모델링과 시뮬레이션 결과를 통해 기존 대역 할당 기법과 제안된 대역 할당 기법의 성능을 비교하였다.

Key Words : PON, Ethernet PON, SBA, DBA

### ABSTRACT

In this paper, we designed the bandwidth allocation scheme with priority consideration for upstream channel access of EthernetPON. The objective of our scheme is to control the multi services in more effective way according to their CoS(Class of Service) or QoS(Quality of Service). The designed scheme considers transmission priority in the both side of OLT and ONU. In the OLT's view, the Two-step scheduling algorithm is applied with which we can support multiple bandwidth allocation policies simultaneously, i.e. SBA for the time-sensitive, constant rate transmission services and DBA for the best-effort services. This Two-step scheduling algorithm reduces the scheduling complexity by separating the process of transmission start time decision from the process of grant generation. In the ONU's view, the proposed scheme controls 8 priority queues of the 802.1d recommended 8 service classes. Higher priority queue is serviced in prior during the allowed GATE time from OLT. The OPNET modeling and simulation result compares the performance of each bandwidth allocation policy with SBA or DBA only approach.

\* 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광가입자망연구부(hosook@etri.re.kr), \*\* 한국항공우주연구원 유도제어그룹(mjhdust@kari.re.kr)  
 논문번호 : 030369-0822, 접수일자 : 2003년 8월 22일

※ 본 논문은 2003년 4월 JCCI 학술대회에서 우수논문으로 선정되어 게재 추천된 논문입니다.

## I. 서 론

Ethernet PON(이하 EPON)은 수동형 광 분배기를 통해 OLT(Optical Line Termination)와 ONU(Optical Network Unit)들을 트리 모양의 물리적 분기 구조로 연결한 고속 광 가입자망 형태로 최근 Ethernet의 저비용 확장 특성과 망 구성의 효율성 측면에서 활발한 연구 개발이 이루어지고 있는 망 구성 기술이다. EPON은 OLT-ONUs간 트리 모양의 물리적 연결 특성으로 인해 외부망에서 가입자의 하향 전송 흐름은 점대다점(point-to-multi-point) 방식으로 OLT로부터 모든 ONU에 broadcast 되나, 가입자로부터 외부망으로의 상향 전송 흐름은 각 ONU-OLT간 점대점 방식으로 이루어지므로 분산된 각 ONU가 하나의 OLT에 충돌 없이 데이터를 전달하기 위해 효율적인 매체 접근 제어(MAC) 기능을 요구한다.<sup>[1-3]</sup>

EPON에서 상향 대역 접근을 위한 대역 할당 방식은 크게 비요구형(unsolicited grant) 고정 대역 할당 기법과 요구-허락형(request-and-grant) 동적대역 할당 기법으로 나뉜다. 고정 대역 할당 방식(Static Bandwidth Allocation - 이하 SBA)은 OLT가 미리 정해진 대역만큼 각 ONU에 주기적으로 전송 허락 제어 메시지를 보내어 전송하는 방식으로 TDMA 기반 대역 할당 기법이다. 반대로 동적 대역 할당 방식(Dynamic Bandwidth Allocation - 이하 DBA)은 각 ONU가 자신의 대기큐 상태를 전송 요구 메시지의 형태로 OLT에 전달하면 OLT가 요구된 만큼 전송을 허락하는 방식으로 ONU들이 동적으로 상향 채널을 공유할 수 있어 채널 이용률과 전송 지연 측면에서 다중화 이득을 얻을 수 있다. SBA 방식은 일정한 대역을 보장받기 원하는 전용선 서비스나 E<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> 같은 TDM 기반 서비스에 적합한 방식이고, DBA 방식은 IP 전송 기반의 best-effort 서비스에 적합하다.<sup>[2,3]</sup>

기존에 제시되어 온 대역 할당 기법들은 OLT측 스케줄러의 복잡성으로 인해 SBA방식만을 적용하거나 DBA방식만을 적용하여 각각의 장점을 동시에 취할 수 없었다. 그러나 가입자 망에서 기간망에 전달하기 원하는 전송 서비스와 가입자 측에서 발생하는 트래픽들의 다양성을 고려하면 각 서비스와 트래픽 특성에 맞는 대역 할당 기법을 동시에 적용할 수 있는 대역 할당 기법의 필요성이 절실히 대두된다.

본 논문에서는 Ethernet PON에서 우선 순위를 고려한 상향 채널 대역 할당 기법을 설계하였다. 우선 순위의 적용은 두가지 측면에서 고려된다. 먼저 OLT 측면에서는 서비스 인터페이스를 다중화하여 각 인터페이스 별로 차별화된 대역 할당 정책을 적용할 수 있도록 하였다. 즉, 제안된 OLT스케줄링 알고리즘은 기본적으로 전용선 서비스와 E<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>같은 TDM 전송 서비스 인터페이스에 대하여 SBA 방식을, 순수 Ethernet 전송 인터페이스인 best-effort 서비스에 대해서는 DBA 기법을 동시에 적용한다. 이때 이중화된 채널 할당 정책의 효과적인 적용을 위하여 허락 정보의 발생 과정과 ONU의 전송 시작 시점 결정 과정을 분리하는 이중 스케줄링 기법이 적용되어 스케줄링 처리 과정의 복잡도와 모듈간 발생된 허락 정보의 다중화로 인한 convergence 지연을 줄일 수 있도록 하였다. 그러나 DBA의 경우, OLT로부터 허락된 전송 지속 시간 동안 ONU는 IEEE 802.1d에서 지정하는 8개 서비스 클래스의 Ethernet 트래픽을 전송할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 ONU 측에도 우선 순위 제어 메커니즘을 두어 DBA에 의해 허락된 전송 지속 시간 동안에 각 ONU들이 현재 전송 대기 중인 Ethernet 프레임들의 트래픽 특성별로 계층화된 우선 순위를 적용하여 전송을 제어하도록 하여 서비스 클래스 별로 차별화된 전송 품질로 상향 데이터 흐름을 OLT에 전달할 수 있도록 하였다.

본 논문은 모두 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 EPON을 위한 IEEE 802.3ah의 표준 전송 방식인 MPCP에 대한 소개와 상향 데이터 전송 제어의 필요성을 기술하고, 3장에서는 이중 스케줄링 기법을 사용한 제안된 우선 순위 전송 제어 기법을 기술하고, 4장에서는 본 논문에서 제안된 대역 할당 기법의 성능을 평가하기 위하여 OPNET을 이용한 모델링과 시뮬레이션을 결과를 기술하고, 마지막으로 5장에서 결론을 지었다.

## II. MPCP를 이용한 상향 데이터 전송 제어

MPCP는 EPON 전송 제어 기능을 802.3 MAC 상위인 MAC 제어 계층에 두어 MAC 제어 메시지를 통해 ONU 간 전송을 제어하는 방식으로 트리 구조로 분산된 점-대-다(Point-to-Multipoint) 전송의 제어를 효율적으로 수행하기 위한 프로토콜이다.<sup>[2]</sup> 원래 IEEE 802.3에서는 MAC 제어 프레임으

로서 전송 흐름 제어를 위한 PAUSE 메시지 만을 정의하고 있었으나 제어 프레임의 많은 필드가 추후 정의 가능한 영역으로 남겨져 있어, 대역 요구, 전송 허락, ONU 등록, Ranging 등 EPON 전송 제어를 위한 메시지를 추가로 정의함으로써 MPCP를 구성할 수 있다. MPCP는 현재 IEEE 802.3ah에 의해 PON에서 ONU-OLT 간 전송을 제어하고 광 전송 매체의 공유를 위한 방식으로 권고되고 있으며, MPCP를 위한 추가적인 제어 프레임의 표준 형식이 정의되었다.

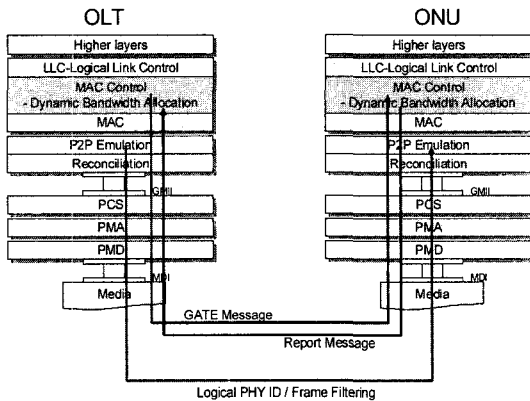


그림1. MPCP 메시지 전송 구조

MAC 제어 계층은 MAC 프레임의 전송을 활성화 또는 비활성화 시키고 전송 상태를 제어할 수 있는 기능을 가지므로 OLT는 한 순간에 하나의 ONU만이 MAC 전송 활성화 될 수 있도록 MPCP 메시지를 전송하여 충돌없이 상향 데이터 전송을 중재한다.

OLT의 MPCP Master는 자동 등록 기능, 상향 대역 할당 기능 등에 의해 MPCP 메시지를 생성하여 MAC 제어 계층을 통해 ONU에 전달하는 기능을 수행하며, 모든 ONU의 전송을 중앙 집중식으로 제어한다. ONU의 MPCP Slave는 OLT로부터 수신된 전송 제어 정보를 기반으로 MAC 프레임 전송을 활성화 또는 비활성화 시키거나 등록 요구 메시지에 반응한다. ONU 사이의 상향 데이터 전송 제어는 ONU의 전송 대기큐 길이를 REPORT 메시지를 통해 전송하고 OLT가 대역 할당 알고리즘에 의해 전송을 허락하는 GATE 메시지를 전송함으로써 이루어진다. ONU는 GATE 메시지를 수신하면 허락된 전송 시간 동안 MAC을 활성화한다. (그림 1) EPON 제어를 위한 MPCP 제어 프레임은 현재 5

종이 정의되어 그 형식에 대한 표준화 작업이 진행 중이다. 그림 2는 802.3ah에서 권고하는 MPCP 제어 프레임의 간략한 형식을 도시하였다.

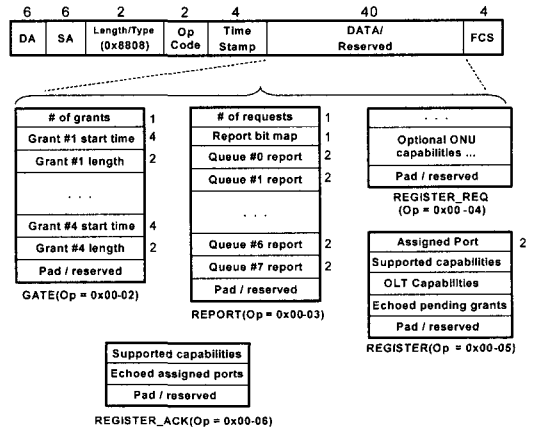


그림 2. 상향 데이터 제어를 위한 MPCP 프레임

MPCP 제어 프레임 중 GATE 메시지와 REPORT 메시지는 여러 ONU 사이의 상향 데이터 전송을 제어하기 위해 사용된다. REPORT 메시지는 각 ONU가 자신의 전송 대기큐 상태를 OLT에 보고하기 위해 사용되는 대역 할당 요구 메시지로 큐의 대기하고 있는 총 데이터 크기를 표시하며, 최대 8개의 전송 대기큐 정보를 전송할 수 있다. GATE 메시지는 OLT에서 대역 할당 알고리즘을 수행하여 ONU에 전송 시작 시간과 전송 지속 시간을 통보하기 위한 메시지이다. OLT는 ONU별로 대역을 할당하며 할당받은 대역에 대한 전송 우선 순위 고려는 ONU측의 알고리즘에 맡긴다. OLT는 한번에 여러 개의 전송 허락 정보를 전송할 수 있다.

REGISTER\_REQUEST, REGISTER, REGISTER\_ACK 메시지는 시스템 운용 중 새로운 ONU가 활성화되어시스템에 추가되었을 때 이를 자동으로 검색하고 OLT에 등록하기 위한 자동 등록(Auto Discovery) 과정에 사용된다.

REGISTER\_REQUEST 메시지는 ONU가 OLT에 등록을 요청하기 위한 메시지이고, REGISTER 메시지는 OLT가 등록을 승인하여 할당된 등록 정보를 ONU에 전송하는 메시지이고, REGISTER\_ACK 메시지는 등록이 정상적으로 완료되었음을 확인하기 위해 ONU가 OLT에 전송하는 메시지이다.

### III. EPON을 위한 상향 채널 대역 할당 기법

#### 1. 이중 스케줄러를 이용한 SBA 와 DBA 혼합 방식

본 논문에서 제안된 대역 할당 기법은 MPCP를 이용한 상향 데이터 전송 제어 방식을 기반으로 하여 설계되었다. 본 논문에서 제안된 대역 할당 기능은 먼저 전용선 또는 TDM 전송 서비스를 위한 고정 대역 할당 방식(Static Bandwidth Allocation 이하 SBA)과 대역의 효율적 사용을 위한 동적 대역 할당 방식(Dynamic Bandwidth Allocation 이하 DBA)을 혼합하여 각 전송 서비스 인터페이스에 적용할 수 있도록 하였다. 모든 MPCP 메시지와 MAC 제어 메시지들은 DBA 구간에서만 전송이 허락되며 SBA는 Ethernet으로 에뮬레이션된 고정 대역 전송만을 허락한다.

이 중 각 대역 할당 정책에 의해 발생한 허락 정보들을 병합하여 스케줄링하기 위하여, 본 논문에서는 본 연구진에 의해 개념이 정립된<sup>[5]</sup> 이중 스케줄링 기법을 적용하였다. 이중 스케줄링 기법이란, OLT에서 ONU에 대한 전송 허락 정보를 발생시킬 때 ONU의 전송 시작 시간 결정 과정을 GATE 프레임 발생 과정으로부터 분리하는 기법으로, GATE 발생 과정에서는 GATE 메시지에 대한 전송 허락 시간만을 결정하고, ONU에서의 전송 시작 시점은 하위 계층인 MAC 제어 계층에서 GATE 메시지가 전송되기 직전 결정하여 비로소 완전한 GATE 프레임 정보를 완성하는 방법이다.

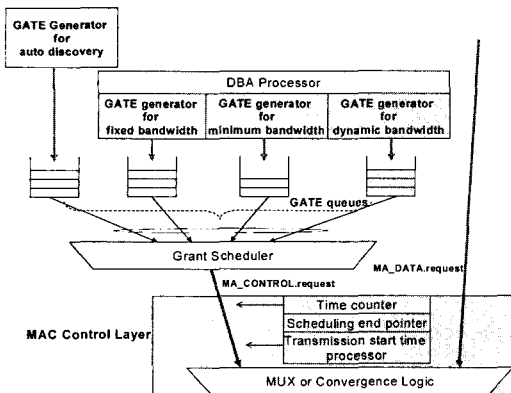


그림 3. OLT의 상향 데이터 전송 제어를 위한 기능 블록도

이중 스케줄러에서 GATE 메시지는 SBA 모듈, DBA 모듈, ONU 자동 등록 과정을 위한 모듈, DBA 대역 요구를 위한 최소 대역 할당 모듈 등 각기 독립된 몇 개의 대역 할당 실행 모듈에 의해 생성되며, 생성된 GATE 메시지는 그림 3과 같이 각 모듈별 큐에 입력되고, 각 기능 블록별 큐에 입력된 MPCP GATE 메시지들을 하향 데이터 스트림과 병합하기 위해 Grant 스케줄러를 둔다.

Grant 스케줄러는 GATE 메시지 큐의 종류에 따라 우선 순위를 부여하여 MPCP 제어 프레임의 전송 순위를 결정한다. 전송 지연에 민감한 서비스를 수행하는 고정 대역 할당 큐가 최우선 순위로 전송되며 고정 대역 할당을 위한 큐가 비어있는 경우에만 다른 제어 메시지의 전송이 이루어진다. 우선 순위는 최소 대역 할당 GATE 메시지 동적 대역 할당 GATE 메시지 ONU 자동 등록을 위한 GATE 메시지 순으로 전송되며 그 외의 등록 관련 MPCP 메시지들의 처리는 최하위 우선순위로 배정된다.

이중 스케줄링의 전송 과정을 그림 4에 순서도로 표시하였으며, 이 중 전송 시작 시간의 결정 알고리즘은 다음 절에 기술하기로 한다.

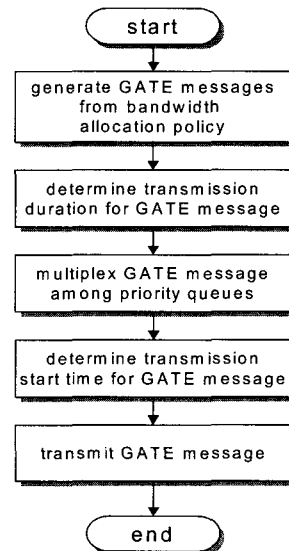


그림 4. 이중 스케줄링의 순서도

제안된 이중 스케줄링 방식을 사용할 경우 제어 프레임과 가변 길이 데이터 프레임 간 convergence 지연과 Grant 스케줄러에 의한 큐잉 지연 시간을 감안하지 않고 전송 시작 시간을 결정할 수 있어 MPCP 스케줄링 알고리즘을 간단하게 할 뿐 아니

라 RTT(Round Trip Time)의 측정이 보다 명료해지는 장점을 가진다.

### 2. 전송 시작 시간의 결정

Grant 스케줄러에 의해 전송이 결정된 GATE 메시지에 대한 전송 시작 시점은 타임 카운터를 운영하는 MAC 제어 층에서 전송되기 직전, 현재 타임 카운터와 Grant 하고자 하는 ONU의 RTT, 최종적으로 스케줄링된 GATE로 인한 상향 프레임 전송 종료 시점 등에 의해 결정된다. 즉, OLT 측의 프레임 수신 시작을 기대하는 시점에서 Grant 하고자 하는 ONU의 RTT 값을 뺀 값으로 전송 시작 시간을 결정하면 ONU는 최단 시간 내에 전송을 시작할 수 있도록 스케줄링 된다.

이를 위하여 OLT는 GATE 동작 특성을 가지는 제어 프레임을 전송할 때마다 해당 GATE로 인한 상향 데이터 전송이 끝나는 시점을 SEI(Scheduling End-Point Indicator) 레지스터에 기록한다. MAC 제어 계층은 GATE 메시지 전송 시 SEI의 내용과 해당 ONU의 RTT 그리고 현재의 타임 카운터 값을 기반으로 전송될 GATE 메시지의 전송 시작 시간을 결정한다. 가장 최근에 스케줄 된 GATE로 인한 상향 프레임 전송 종료 시점(OLT SEI 레지스터의 내용)을  $E_s$  라 하고, 현재 타임 카운터를  $T_c$ , OLT-ONU간 전파 지연을  $D_{prop}$  라 하자. 자동 등록 과정을 통하여 OLT가 각 ONU의 RTT를 알고 있다고 가정하면, 다음과 같은 시간 관계가 성립한다.

$$ONU\text{'s } T_c = OLT\text{'s } T_c + D_{prop}$$

이 때 새로운 GATE 메시지에 대한 전송 시작 시점은 다음과 같이 결정되어 GATE 메시지의 내용에 포함된다. 먼저 OLT의 SEI 레지스터 값이 현재의 시간에 RTT를 더한 값보다 큰 경우로 다음과 같은 알고리즘이 적용된다.

*If  $E_s > T_c + RTT$  then*

*Transmission Start Time =  $E_s - RTT$ ;*

$$E_s = E_s + T_{dur}$$

위 경우는 GATE가 전송될 ONU가 전송할 준비가 되어있을 시점까지 이전 GATE 들에 의해 상향 채널의 전송 스케줄이 잠혀있는 상태이므로 이 경우 ONU의 전송 시작 시점은 상향 프레임 전송 종료 시점인  $(E_s - RTT)$ 로 결정되어야 한다. 이 때 ONU는 GATE를 받은 시점인  $T_c$ 에서  $(E_s - RTT - T_c)$ 만큼의 시간을 기다린 후에 상향 전송을 시작한다.(그림 5)

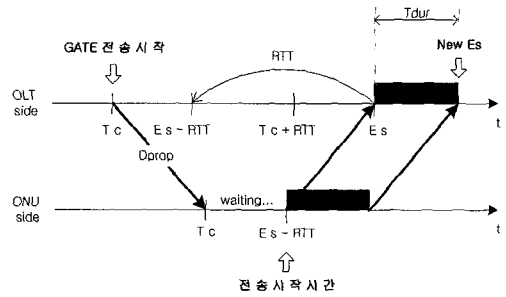


그림 5.  $E_s > T_c + RTT$  일 때의 전송 시작 시간 결정

두번째 경우는 OLT의 현재 시간보다 과거에 전송 스케줄이 완료되어 있는 상태로 트래픽이 한산하여 최근 스케줄된 프레임이 존재하지 않는 경우로 다음과 같은 알고리즘이 적용된다.

*If  $E_s \leq T_c + RTT$  then*

*Transmission Start Time =  $T_c$*

$$E_s = T_c + RTT + T_{dur}$$

즉, 위 경우는 ONU가 전송을 시작할 수 있는 시점보다 앞서 다른 ONU 들에 대한 상향 프레임 전송 스케줄이 종료되어 있는 경우이다. 위 경우는 상향 채널의 사용 가능 영역이 많을 때 발생할 수 있는 경우로 ONU의 RTT를 고려하여 OLT의 현재 시간인  $T_c$ 로 Grant를 함으로써 ONU가 GATE를 받은 즉시 전송을 시작할 수 있도록 한다. OLT는 RTT 후에 즉시 수신을 시작할 수 있다.(그림 6)

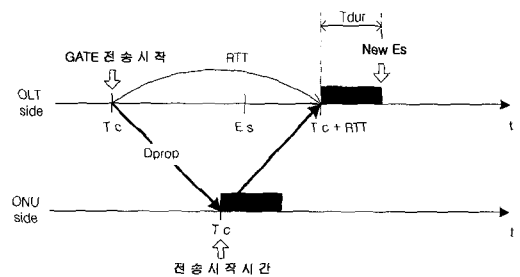


그림 6.  $E_s < T_c + RTT$  일 때의 전송 시작 시간 결정

상기 전송 시작 시간 결정 알고리즘은 SBA에 대해서 회선 교환 방식 같은 엄격한 타이밍을 제공하지는 않으나 SBA, DBA 등 다수의 대역 할당 정책을 동시에 적용하였을 때 최단 시간 내에 허락 정보들을 병합하여 스케줄링 할 수 있다. 또한 따로 경계 시간(Guard Time)을 두지 않으므로 다수의 허락 정보 병합에 따른 채널 단편화 현상을 제거할 수 있는 장점을 보인다.

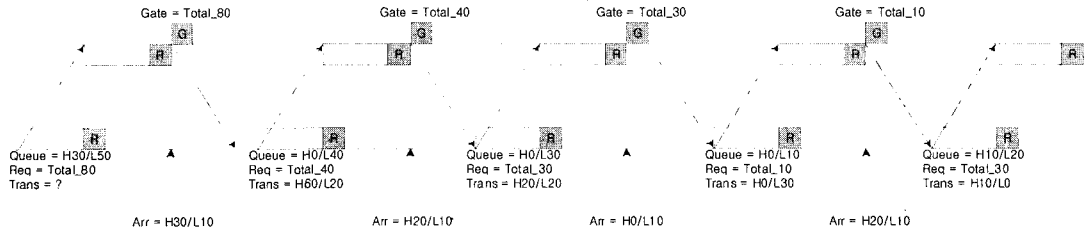


그림 7. ONU의 우선 순위 제어에 의한 전송 예

### 3. 트래픽 클래스별 우선 순위를 고려한 DBA 전송 기법

앞 절에서 소개한 이중 스케줄링 방식이 OLT에서의 우선 순위 전송 제어 방식이라고 하면, 본 절에서 소개하는 우선 순위 큐잉 기법은 ONU에 의한 우선 순위 제어 기법이라고 할 수 있다. ONU는 OLT로부터 허락된 전송 시간 내에 현재 전송을 기다리는 대기큐들의 서비스 우선 순위와 따라 차별화된 전송을 시도할 수 있다. 이와 같이 ONU 내의 서비스 클래스에 대한 우선 순위 제어를 OLT에서 전송 허락 알고리즘에 반영하지 않고 ONU에서 적용해야 하는 이유는 각 ONU별로 우선 순위 정책이 다르고, 활성화 되어있는 우선 순위 클래스의 개수에도 차이가 있으므로 OLT에서 전송 스케줄을 할 때 모든 ONU의 우선 순위 큐 상태를 적용하여 각 큐별로 스케줄하는 방법이 OLT의 처리 알고리즘을 복잡하게 하고 ONU간의 상향 대역 할당의 공정성 문제를 야기시킬 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 *Interleaved polling* 방식<sup>[4]</sup>을 채택한 DBA 알고리즘에 ONU 제어형 우선 순위를 고려한 전송 제어 기법을 제시하였다.

먼저 본 논문에서는 Ethernet 전송 서비스에서 IEEE 802.1d<sup>[6]</sup>의 8개 서비스 우선 순위를 수용하기 위하여 ONU의 DBA 모듈 내에 8개의 전송큐를 정의하고 각 서비스 클래스별 전송 대기큐로 매핑하였다. ONU는 인터페이스 되는 1G Ethernet 스위치의 우선 순위 정책에 따라 8개의 전송 큐 중 일부를 활성화하거나 비활성화 시키며, 각 전송 대기큐의 상태는 ONU에서 OLT에 대역을 요구하는 REPORT 메시지의 해당 큐 정보 영역에 기록되어 OLT에 전달된다.

제한된 전송 제어 기법에서 OLT는 요구된 각 우선 순위별 큐의 상태를 취합하여 일정 임계치를 넘지 않는 범위 내에서 ONU에 전송 대역을 할당한다.

ONU는 허락된 전송 시간 내에서 어느 우선 순위 큐에서 프레임이 빠져나갈지를 스케줄링하게 된다. 이 기법은 OLT의 스케줄링은 오직 SBA와 DBA 인터페이스 별 대역 할당에만 적용되며, ONU의 우선 순위 정책에 관여하지 않는다. 모든 서비스 클래스별 전송 우선 순위의 결정은 ONU에 의해 결정되므로 OLT 관점에서 보면 각 ONU들이 동일한 다중화 이득을 취할 수 있으며, ONU 관점에서 보면 허락된 대역 내에서 전송 품질을 차별화 할 수 있다.

그림 7에서 보는 바와 같이 ONU는 연속적으로 도착하는 우선 순위별 트래픽 발생 상황에 따라 전송 요구 시점의 큐 상황과 전송 허락 시점의 큐 상황이 달라질 수 있다. 이 경우 우선 순위가 높은 큐에 먼저 전송권이 주어지고 고순위 큐에서 프레임이 모두 전송된 후에 저순위 큐에서 프레임 전송이 시작된다. 따라서 고순위 큐의 프레임들은 항상 일정 전송 지연 시간을 보장받으나 저순위 큐에 대기중인 프레임들의 전송 지연을 보장할 수 없으며 망 내 트래픽 상황이 밀집될 경우 큐 오버플로우로 인한 손실이 발생하는 등 전송 품질에서의 차별을 보이게 된다.

## IV. 성능 평가

본 논문에서는 제안한 대역 할당 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 OPNET을 이용한 시뮬레이터를 구성하고, 기존의 대역 할당 알고리즘과 큐잉 지연에 대한 성능을 비교 분석하였다.

OLT와 모든 ONU간 거리는 동일하다는 가정 하에서, 1:16 분기 구조로 망을 구성하였고, 모든 ONU는 OLT와 전이중 (Full-duplex) 1Gbps 링크로 연결하였다. 또한 ONU-OLT간 거리는 10km로 모델링하였다. SBA 인터페이스의 트래픽을 위하여 총 상향 링크 용량의 10%를 할당하고 CBR (constant bit rate) 트래픽 모델을 사용하였으며, DBA 인터페

이상의 트래픽을 위하여 나머지 90%의 상향 링크 용량을 할당하고 Poisson 트래픽 모델을 사용하였다.

그림 8은 SBA 인터페이스 큐의 큐잉 지연 비교를 보여준다. 제안된 혼합형 SBA 알고리즘은 기존의 SBA만을 사용한 경우와 비슷한 큐잉 지연 성능을 나타낸다. ONU측의 평균 큐잉 지연은 두 가지 방법 모두 네트워크 부하가 0.7이 될 때까지 1ms 정도로 충분히 TDM 트래픽의 의 지연 성능을 보장해 줄 수 있다.

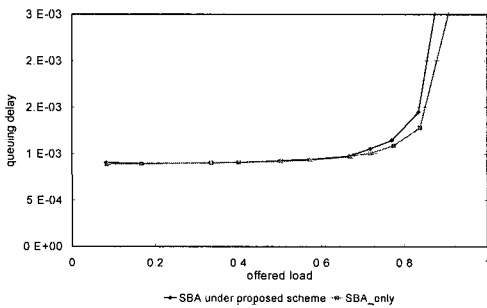


그림 8. SBA 와 제안된 알고리즘의 큐잉 지연 비교

그림 9는 제안된 혼합형 DBA 큐의 큐잉 지연 비교를 보여준다. 이것은 ONU측에서 우선 순위 제어를 적용하지 않았을 경우의 성능이다. DBA 역시 기존 DBA 단일 알고리즘과 비교하여 비슷한 성능을 나타내나, 제안된 알고리즘의 큐잉 지연이 근소하게 더 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 기존 DBA 알고리즘이 상향 링크 용량의 100%를 모두 사용하는데 비해, 제안된 알고리즘은 90%의 링크 용량을 사용함으로써 나타나는 트래픽 발생시의 random 특성의 차이에 기인한다. 네트워크 부하가 0.7이 될 때까지 0.1ms 이내의 큐잉 지연을 보여주고 있다. 즉 제안한 이중 스케줄링 기법이 DBA 정책의 특성을 유지하면서 다중 대역 할당 정책을 지원함을 알 수 있다.

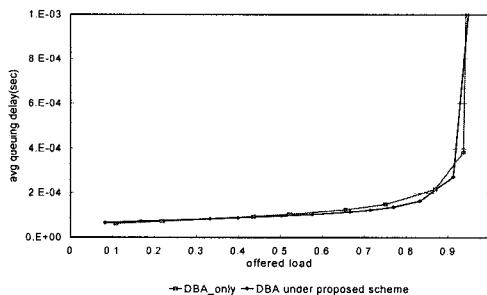


그림 9. DBA와 제안된 알고리즘의 큐잉 지연 비교

그림 10은 ONU측에 이단계 우선 순위를 적용했을 경우의 큐잉 지연 비교 그래프이다. 앞에서 설명한 우선 순위를 적용하지 않은 DBA모델의 큐잉 지연과 비교해 본 결과, 고순위 큐의 큐잉 지연의 성능은 좋아진 반면, 저순위 큐의 큐잉 지연이 증가하여 우선 순위별로 전송 성능의 차이를 보임을 할 수 있다.

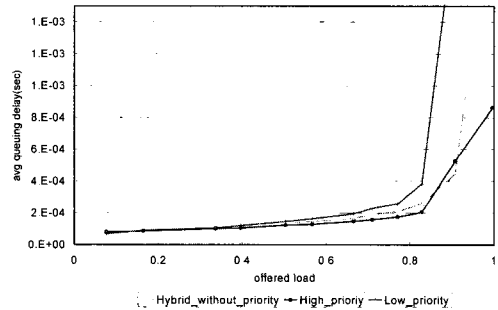


그림 10. 우선 순위를 적용했을 경우 큐잉 지연 비교

## V. 결론

본 논문에서는 Ethernet PON에서 우선 순위를 고려한 상향 채널 대역 할당 기법을 설계하였다. 제안된 스케줄링 알고리즘은 지연에 민감한 서비스에 대해서는 SBA기법을, 지연에 덜 민감한 best-effort 서비스에 대해서는 DBA기법을 동시에 적용하고, 동적 대역 할당에 의해 허락된 전송 지속 시간 동안 ONU에서 트래픽 특성 별로 계층화된 우선 순위를 적용하여 전송을 제어하도록 하였다. OPNET을 이용한 모델링과 성능 평가 결과, 혼합되어 적용된 SBA/DBA 정책 모두 각각의 성능 특성을 유지하고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 우선 순위를 고려한 DBA의 경우 서비스 클래스별로 차별화된 전송 지연 특성을 보임을 알 수 있다. 제안된 대역 할당 기법은  $T_1$ ,  $E_1$  등의 고정 대역 서비스와 전송선 서비스, 다중화 이득을 고려한 best-effort 서비스 내에서 실시간과 비실시간 서비스 등의 서비스 특성에 따른 차별화된 전송 품질을 OLT와 ONU 각각의 전송 제어 알고리즘에 의해 제공할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE 802.3ah Draft Document for P802.3ah/D1.414, May. 2003.

- [2] *IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force Baseline Technical Proposals.*, Jul. 2002
- [3] Glen Kramer, Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network(EPON) : Building a Next-Generation Optical Access Network", pp.66-73, *IEEE Communication Magazine*, Feb. 2002.
- [4] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee, Gerry Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON(EPON)", pp.74-80, *IEEE Communication Magazine*, Feb. 2002.
- [5] HoSook Lee, TaeWhan Yoo, "A Design of MPCP Master Function for Ethernet PON," pp.317-321, *KICS COMSW'2002*, Jul. 2002.
- [6] *IEEE 802.1d Draft Document for 802.1d*, May. 2001.

이 호 숙 (Ho-Sook Lee)

정회원



1994년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 1996년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2000년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사  
 2000년 2월 ~ 현재

한국전자통신연구원 네트워크 연구소 선임연구원

<주관심분야> WDM 망, 광가입자 망, 네트워크 프로토콜

유 태 환 (Tae-Whan Yoo)

정회원



1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광가입자 망 연구부 EPON기술팀장  
 1993년 Texas A&M Univ. Dept. of EE (박사)  
 1983년 한국과학기술원 물리학과 (석사)

1981년 서울대학교 공과대학 원자핵공학과 (학사)

<주관심분야> 광가입자망

문 지 현 (Ji-Hyun Moon)

정회원



2001년 2월: 전북대학교 정보통신공학과 졸업  
 2003년 2월: 한국정보통신대학원 석사  
 2002년 5월-12월 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 위촉연구원

2003년 3월 ~ 현재: 한국항공우주연구원 유도제어 그룹 연구원

<주관심분야> 광가입자망, 위성발사체용 GPS 수신기

이 형 호 (Hyung-Ho Lee)

정회원



1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광가입자망 연구부장  
 1983년 한국과학기술원 전기전자공학과 (박사)  
 1979년 한국과학기술원 물리학과 (석사)

1977년 서울대학교 공과대학 전자공학과 (학사)

<주관심분야> 광가입자망, 통신망