

# 단말에 대한 공정성을 고려한 이더넷 PON 시스템의 동적대역할당방법의 성능분석

박지원\*, 윤종호\*\*, 송재연\*\*\*, 임세윤\*\*\*, 김진희\*\*\*

## Performance Evaluation of a Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm with providing the Fairness among Terminals for Ethernet PON Systems

Ji-won Park\*, Chong-ho Yoon\*\*, Jae-yeon Song\*\*\*, Se-youn Lim\*\*\*, Jin-hee Kim\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 Ethernet Passive Optical Network(EPON)시스템에서 단말들에 대한 공정성을 부여하는 동적 대역할당 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하였다.

기존 EPON에서는 Optical Network Unit(ONU)로부터 보고 받는 버퍼의 상태만을 고려하여 Optical Line Termination (OLT)가 상향링크의 대역을 할당한다. 이러한 ONU버퍼상태에 따른 대역할당방법은 ONU들에 대한 공정한 대역할당은 가능하지만 ONU에 연결된 단말들에 대한 공정한 대역할당을 보장하지 않는 문제가 있다.

예를 들어, 어떤 ONU에 연결된 어떤 단말로부터의 전송이 일시적으로 폭증할 경우, 급격하게 증가된 이 ONU의 버퍼상태가 OLT에 보고됨으로써, 이 ONU는 더 많은 상향 대역폭을 할당 받게 된다. 이러한 대역할당의 결과, 상황전송이 많은 단말에 대해서는 많은 대역이 할당되지만, 상대적으로 전송량이 적은 단말들이 접속된 다른 ONU들에는 기존보다 감소된 대역이 할당됨으로써 이러한 ONU들에 접속되어 있는 단말들의 전송지연시간이 증가 되는 불공정성 문제가 발생한다.

이러한 문제점에 착안하여, 본논문에서는 ONU가 보고하는 버퍼상태뿐만 아니라, ONU에 연결된 단말의 개수도 OLT에 보고함으로써, OLT가 단말들에 대한 공정한 대역할당을 할 수 있는 방식을 제안하였다.

제안된 방법의 성능분석을 위해 SIMULA 시뮬레이션 언어를 이용하여 EPON시스템을 모델링하였다. 각 단말과 ONU 관점에서의 수율과 지연시간, 시간에 따른 ONU의 버퍼 변화 등을 비교 분석한 시뮬레이션 결과로부터, 제안된 방법이 각 단말들에 대하여 대역을 공정하게 분배할 수 있음을 보였다. 마지막으로, EPON 시스템을 망 사업자가 운용할 때, 최종단에 위치한 가입자 단말들에 대하여 공정하게 대역을 할당할 경우, 제안된 방법이 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

Key Words : EPON; fairness; bandwidth allocation algorithm.

### ABSTRACT

In this paper, we propose the dynamic bandwidth allocation algorithm for the IEEE802.3ah Ethernet Passive Optical Network(EPON) system to provide the fairness among terminals, and evaluate the delay-throughput performance by simulation.

\* 한국항공대학교 정보통신공학과 응용통신망연구실(parkjji@hau.ac.kr), \*\*한국항공대학교 정보통신공학과(yoonch@hau.ac.kr)

\*\* 삼성전자 TN총괄 통신연구소 표준연구팀(jy\_song@samsung.co.kr,proyoun.lim@samsung.co.kr)

논문번호: #030320-0801, 접수일자: 2003년 7월 31일

※본 연구는 삼성전자의 연구과제 지원 및 관리에 의해 수행되었습니다.

For the conventional EPON systems, an Optical Line Termination (OLT) schedules the upstream bandwidth for each Optical Network Unit (ONU), based on its buffer state. This scheme can provide a fair bandwidth allocation for each ONU. However, it has a critical problem that it does not guarantee the fair bandwidth among terminals which are connected to ONUs.

For an example, we assume that the traffic from a greedy terminal increases at a time. Then, the buffer state of its ONU is instantly reported to the OLT, and finally the ONU can get more bandwidth. As a result, the less bandwidth is allocated to the other ONUs, and thus the transfer delay of terminals connected to the ONUs gets inevitably increased.

Noting that this unfairness problem exists in the conventional EPON systems, we propose a fair bandwidth allocation scheme by OLT with considering the buffer state of ONU as well as the number of terminals connected to it.

For the performance evaluation, we develop the EPON simulation model with SIMULA simulation language. From the result of the throughput-delay performance and the dynamics of buffer state along time for each terminal and ONU, respectively, one can see that the proposed scheme can provide the fairness among not ONUs but terminals.

Finally, it is worthwhile to note that the proposed scheme for the public EPON systems might be an attractive solution for providing the fairness among subscriber terminals.

## I. 서론

최근 기간망은 폭발적인 인터넷사용자의 증가와 화상회의, IP 전화, 주문형비디오, 인터넷 게임과 같은 새로운 서비스와 함께 괄목할 만한 발전을 하였고, 가입자 망을 사용하는 내부통신망 역시 10Gbps 까지 개발되고 있다. 그러나 고속의 기간망과 내부통신망 사이에서 가입자의 데이터흐름을 다중화하여 기간망에 전송하고 기간망으로부터 트래픽을 분배하는 가입자 망의 기술은 매우 낮은 수준의 대역폭만을 제공하고 있다. 이로 인해 가입자망에서 병목현상이 발생하고 있는데, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안 중의 하나로 이더넷 Passive Optical Network(EPON) 기술이 각광받게 되었다.

EPON시스템은 이더넷 프레임을 전송하는 저비용의 점대다점(point-to-multipoint)의 망구조를 채용한 PON 시스템이다. 다른 PON 구조처럼 EPON은 능동전기소자 대신에 수동광 분배기를 사용하기 때문에, 망의중계장비들에는 전원이 공급되지 않아도 되므로 저 비용의 광 인프라를 구축할 수 있다. 또한, 기존 802.3 이더넷 프레임을 사용하기 때문에 기존 망과의 연동이 용이한 장점이 있다<sup>[1][2]</sup>.

현재 EPON은 IEEE 802.3ah 워킹그룹에서 표준화가 진행중이며, 이 과정에서 여러가지의 대역할당 방식들이 제안되었지만, 표준화 완료단계인 현재 Multipoint MAC Protocol(MPCP)라고 하는 EPON 용 MAC 제어프로토콜로 결정된 상태이다<sup>[3]</sup>.

이 MPCP에 의한 대역할당 방법에서는 Optical Network Unit(ONU)로부터 보고 받는 버퍼의 상태를 고려하여 Optical Line Termination (OLT)가 상향링크의 대역을 할당한다. 이러한 ONU의 버퍼 상태에 따른 대역할당방법은 ONU들에 대한 공정한 대역할당은 가능하지만 ONU에 연결된 단말들에 대한 공정한 대역할당을 보장하지 않는 문제점이 있다.

예를 들어, 어떤 ONU에 연결된 어떤 단말로부터의 전송이 일시적으로 폭증할 경우, 급격하게 증가된 이 ONU의 버퍼상태가 OLT에 보고됨으로써, 이 ONU는 더 많은 상향 대역폭을 할당 받게 된다. 이러한 대역할당의 결과, 상향전송이 많은 단말에 대해서는 많은 대역이 할당되지만, 상대적으로 전송량이 적은 단말들이 접속된 다른 ONU들에는 기존보다 감소된 대역이 할당됨으로써 이러한 ONU들에 접속되어 있는 단말들의 전송지연시간이 증가되는 불공정성 문제가 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제점에 착안하여, ONU는 버퍼상태뿐만 아니라, 자신에게 접속된 단말의 개수도 MPCP에서 정의된 REPORT 메시지를 통해 OLT에 보고하도록 하여, OLT는 각 ONU로부터 보고받은 버퍼상태뿐만 아니라 단말의 개수를 고려하여 각 ONU에 대한 대역을 할당함으로써, 각 ONU에 연결되어 있는 단말들간에 공정한 대역폭이 할당될 수 있도록 하였다.

본 서론에 이어, 제 2 장에서는 EPON 시스템과

동적대역할당방법을 분석하여 문제점을 도출하고, 제 3장에서는 단말에 대한 공정성을 고려한 동적대역할당 알고리즘을 제안하였다. 제 4 장에서는 제안된 알고리즘에 대한 성능분석을 위하여 시뮬레이션 모델을 설정하고 SIMULA 시뮬레이션 언어를 이용하여 각 단말과 ONU 관점에서의 수율과 지연시간, 시간에 따른 ONU의 버퍼 변화 등을 비교 분석한다. 다음, 마지막 제 5 장에서 결론을 맺는다.

## II. EPON의 동적 대역할당 방법

### 1. EPON 시스템의 구조

EPON 시스템은 하나의 OLT에 여러 개의 ONU, 그리고 이들을 연결하는 Optical Distribution Network(ODN)으로 구성된다. EPON에서 데이터는 한 가닥의 광섬유에 상향(1310nm)과 하향(1510nm) 전송의 각기 다른 두 개의 파장을 사용하여 전송된다. 그리고 ODN으로는 수동소자를 사용하므로 전력공급이 필요 없으며, 전자기 간섭에 영향을 적게 받고, 유지보수 비용이 적게 드는 장점이 있다<sup>[2][3]</sup>.

### 2. EPON 망에서의 전송

OLT에서 ONU로의 802.3 이더넷 프레임[9]에 대한 하향전송시, EPON은 브로드캐스트망으로 동작한다. 즉, OLT로부터 전송된 프레임은 1:N 광 분배기의 물리적인 성질 때문에 모든 ONU에 브로드캐스트된다. 이때, 해당 목적지 단말이 접속된 ONU만 이 프레임을 수용하여 해당 단말에게 브리징하는 반면에, 다른 ONU들은 이 프레임을 폐기한다. 이를 위하여, OLT는 전송하는 각 프레임의 프리앰블영역에 해당 ONU를 지시하는 Logical Link ID (LLID)를 명시함으로써, ONU들은 OLT로부터의 전송된 모든 프레임을 수신하게 되지만 LLID가 일치하는 프레임에 대해서만 수신하게 된다.

반면에, 상향전송시에서는 각 ONU들이 상향전송 매체를 공유하므로, ONU들로부터 동시에 전송된 프레임들간에 충돌을 일으킬 수 있다. EPON에서는 이러한 충돌을 회피하기 위하여, OLT가 각 ONU들의 전송순서를 스케줄링한다. 이러한 용도로 규정된 EPON용 MAC프로토콜을 Multipoint MAC Protocol (MPCP)라고 한다<sup>[1-5][7][8]</sup>.

### 3. EPON용 제어메시지의 종류

IEEE802.3ah EPON용 MAC방식으로, OLT가 ONU 각각에 대하여 대역을 고정 할당하는 fixed

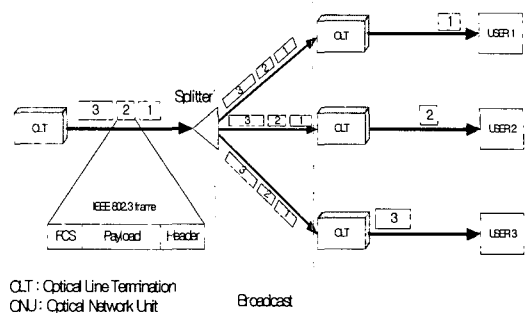


그림 1. 하향전송의 예  
(Fig 1. An example of down-stream transmission)

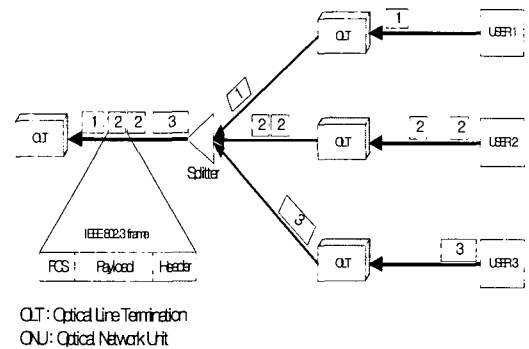


그림 2. 상향전송의 예  
(Fig 2. An example of up-stream transmission)

slot방식, ONU에게 필요한 대역을 보고 받고 상향 채널을 사용할 수 있도록 하는 폴링(polling)방식 등이 다수 제안되었으나, 최근 adaptive two-way polling 방법에 기초한 MPCP프로토콜을 표준으로 사용하도록 확정되었다. MPCP프로토콜에서 사용되는 메시지는 <표 1>과 같이 5가지가 있다.

표 1. MPCP 메시지의 종류와 기능  
(Table 1. Kinds of MPCP message and function)

메시지종류	기능
GATE	Discovery Gate : ONU 등록 Normal Gate : 대역폭 할당 및 전송시간 조정
REPORT	ONU 큐의 정보를 OLT에 보고(대역폭요구)
REGISTER	ONU가 요구하는 LLID 할당, 반납
REGISTER_REQUEST	OLT에게 등록요청, 추가 LLID 요구, 반납
REGISTER_ACK	REGISTER에 대한응답

GATE와 REPORT 메시지는 ONU와 OLT간의 대역폭 할당과 요구를 위한 메시지로 사용되며, REGISTER, REGISTER\_REQUEST, 그리고 REGISTER\_ACK들은 모두 시스템 부팅과정에서 ONU의 등록절차를 위해 사용된다.

특히, GATE 메시지는 용도에 따라 Discovery GATE와 Normal GATE 메시지로 나뉜다. Discovery GATE 메시지는 ONU가 처음 EPON시스템에 참여하거나ONU가 LLID를 추가 요청하거나 할당된 LLID를 반납하려 할 때 사용된다. 반면에, Normal GATE 메시지는 ONU에게 대역폭을 할당할 때 사용 된다.

<그림 3>은 MPCP프로토콜의 GATE 메시지의 상세구조를 도시한 것으로서, 주로 대역할당을 위한 시간정보들을 포함한다. 즉, 이 GATE 메시지에는 ONU에게 데이터를 전송하는 시점과 전송지속 시간을 통보하여 각 ONU들이 OLT로 데이터를 상향채널을 겹치지 않고 전송할 수 있도록 한다<sup>[1][7][8]</sup>.

ONU는 <그림 4>와 같은 REPORT 메시지를 사용하여 자신의 송신버퍼 상태정보를 OLT에게 알리게 된다. 이 REPORT 메시지는 클래스별로 구분되는 8개의 개별적인 버퍼정보를 전송할 수 있으며, 향후 필요에따라 사용될 39Byte의 예약된 영역(reserved field)을 제공한다<sup>[7]</sup>. OLT는 ONU로부터 이러한 REPORT 메시지를 수신하여, 각 ONU들의 버퍼상태를 참조하여 각 ONU들에게 필요한 대역을 할당하게 된다.

Destination Address	6
Source Address	6
Length/Type=88-08	2
Opcode=00-02	2
Timestamp	4
Number of grants/Flag	1
Grant #1 Start time	0/4
Grant #1 Length	0/2
Grant #2 Start time	0/4
Grant #2 Length	0/2
Grant #3 Start time	0/4
Grant #3 Length	0/2
Grant #4 Start time	0/4
Grant #4 Length	0/2
AGC Setting Time	0/2
CDR Lock Time	0/2
Reserved	11~39
FCS	4

그림 3. GATE 메시지의 형식  
(Fig 3. The form of GATE message)

Destination Address	6
Source Address	6
Length/Type=88-08	2
Opcode=00-03	2
Timestamp	4
Number of requests	1
Report Bitmap	1
Queue #0 Report	0/2
Queue #1 Report	0/2
Queue #2 Report	0/2
Queue #3 Report	0/2
Queue #4 Report	0/2
Queue #5 Report	0/2
Queue #6 Report	0/2
Queue #7 Report	0/2
Reserved	0~39
FCS	4

그림 4. REPORT 메시지의 형식  
(Fig 4. The form of REPORT message)

#### 4. EPON 망에서의 대역할당방법

MPCP는 ONU가 필요로 하는 대역을 동적으로 할당하는 방식이다. 이를 위하여, OLT는 GATE 메시지를 사용하여, 해당 ONU들에 대하여 차례로 폴링한다<sup>[1][7][8]</sup>. 이GATE 메시지를 수신한 ONU는 REPORT 메시지에 자신의 버퍼상태를 보고하여 필요한 대역을 요구하면, OLT는 각 ONU로부터 요구 받은 대역에 대해 적절한 대역할당 알고리즘을 사용하여대역을 할당하고, 이 결과를 GATE 메시지에 전송시점과 전송지속시간을 명시하여 ONU에게 알려 줌으로써, 해당 ONU들이 상향채널을 겹치지 않고 자신의 패킷들을 송신할 수 있도록 한다.

<그림 5>는 이러한 MPCP에 의한 동작의 예를 도시한 것으로서, 전파지연시간은 0이며, 단위시간을 1 usec로 가정한 것이다.

먼저, OLT는 각 ONU에게 GATE(G0) 메시지를 ONU1번부터 차례로 송신한다. 이때의 GATE(G0)는 해당 ONU에 대하여, '너 보낼 것이 있는가?' 라고 물어보는 의미이다. 만일 ONU1이 GATE(G0)를 받고 OLT로 전송할 데이터가 300K비트가 있는 경우, 300K 비트가 대기하고 있음을 OLT에 REPORT(R3)메시지로 보고한다. 연속해서 송신되는 ONU2에 해당하는 GATE(G0)에 대하여, ONU2는 400K 비트가 현재 버퍼링되어 있음을 REPORT(R4)메시지로 보고한다. 결과적으로, OLT는 각 ONU에 송신대기 중인 버퍼의 크기를 모두 알게 된다.

이후, OLT는 ONU1과 ONU2에게 각각 GATE(start=100, length=300)와 GATE(start=400,

length=400)을 전송하면 ONU1은 자신이 사용허가 받은 300K 비트를 송신개시시간 100에서 300usec 동안 자신의 데이터를 송신한다. ONU2는 OLT로부터 GATE메시지로 지시 받은 400단위시간 뒤에 400usec시간 동안 자신의 데이터를 전송한다. 이와 같이 OLT와 ONU사이에는 인터리브드 폴링(interleaved polling) 방식으로 GATE와 REPORT 메시지를 반복하여 사용함으로써 미리 전송될 순서와 시간을 예측하여 충돌을 피할 수 있을 뿐 아니라 대역폭의 낭비가 없다.

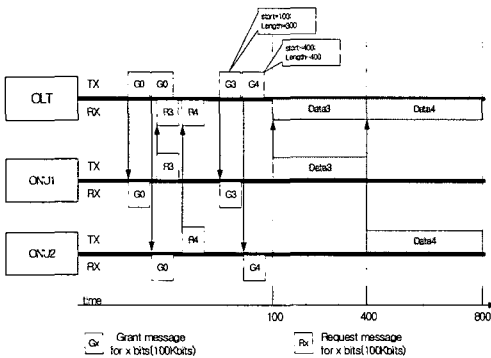


그림 5. MPCP에 의한 상향채널의 대역할당 절차 (Fig 5. Bandwidth allocation step of up-stream channel with MPCP)

5. 기존 대역할당방법의 문제점

기존 EPON의 대역 할당 방법에서는 OLT와 ONU간의 GATE 메시지와 REPORT 메시지를 교환함으로써 대역의 손실이 없는 대역할당 방식을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 ONU에 접속되어 있는 단말들간에 공정한 대역을 할당할 수 없는 문제점이 있다. 예를 들어, <그림 6>에서 ONU A는 3대의 단말들이 연결되어 있는 반면, ONU B는 1대의 단말이 연결되어 있다고 가정하고, OLT가 처리할 수 있는 전체 대역이 1Gbps라고 가정할 때 가장 이상적인 대역할당 방법은 ONU A에 750Mbps의 대역을, ONU B에 250Mbps의 대역을 할당하는 것이다. 하지만, ONU B에 연결된 단말이 900Mbps를 사용하고자 패킷을 ONU B에 송신하면, 현재의 EPON에서는 단순히 ONU의 버퍼상태만 OLT에 보고하기 때문에 ONU A와 ONU B에 동일한 크기의 버퍼상태가 보고되므로, OLT는 각 ONU에게 500Mbps의 대역을 균등하게 할당할 것이다. 이렇게 되면, ONU B에 연결된 단말은 혼자 500Mbps를 사용하게 되는 반면에, ONU A에 연결

된 3개의 단말들은  $500/3(=166)$ Mbps의 대역을 각각 사용하게 되어 이들간에 불공평한 대역할당과정이 발생하는 문제점이 발생한다.

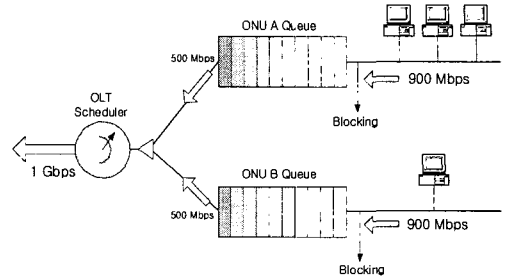


그림 6. 기존 EPON 대역할당방법의 문제점 (Fig 6. Problems of legacy EPON's bandwidth allocation)

III. 제안된 동적대역할당 방식

1. 호스트별 공정한 대역할당 방법

각 ONU가 자신에게 접속된 단말의 개수 정보도 REPORT 메시지로 OLT에 보고할 수 있다면, 앞의

Destination Address	6
Source Address	6
Length/Type=88-08	2
Opcode=00-03	2
~~~~~	
Queue #0 Report	0/2
Queue #1 Report	0/2
~~~~~	
Queue #7 Report	0/2
Number of Hosts	1
Reserved	0~38
FCS	4

그림 8. 확장된 REPORT 메시지의 형식 (Fig 8. The form of extended REPORT message)

<그림 6>과 동일한 환경에서, ONU B에 연결된 단말이 900Mbps를 사용하고자 하더라도, OLT는 이 ONU B에 단말이 1개만 접속되어 있고, 이 시스템에 접속된 전체 단말의 개수가 4인 것을 알 수 있다. 따라서, OLT는 <그림 7>과 같이, ONU B에는 250Mbps의 대역만 할당하고, 다른 ONU A에는 750Mbps를 할당할 수 있으므로, 각 단말들에게 모두 동일한 250Mbps의 대역을 할당하여, 각 단말별 공정성이 보장될 수 있다.

제안된 방법에 대한 구현적합성으로는 각 ONU

가 현재 자신에게 접속된 단말의 개수를 알아야 하며, 이것을 OLT로 보고할 수 있는 기능이 추가되어야 한다. 이를 위하여, 먼저, ONU가 브리징기능을 수행하는 것에 착안한다면 ONU의 filtering data base(FDB)에 활성화되어 있는 단말들의 주소항목의 개수를 OLT에 보고하면 된다. 이 방법을 사용하면 FDB에 최초로 등록된 단말의 주소정보가 적어도 300sec동안 남아있는 문제가 있기는 하지만, 구현이 간단하다는 장점이 있다.

또한, ONU가 OLT에게 단말의 개수를 보고하기 위하여, <그림 8>과 같이, 표준안에 명시된 REPORT 메시지의 예약된 영역의 1 바이트를 사용하면 최대 255개까지 ONU에 연결된 단말의 수를 OLT에 보고할 수 있다.

## 2. 제안된 알고리즘

제안된 알고리즘을 위해 정의한 파라미터들은 <표 2>와 같다.

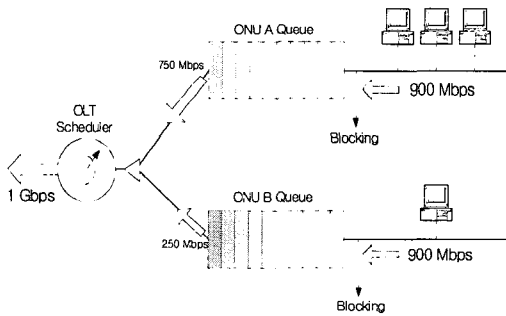


그림 7. 제안된 EPON 대역할당방법  
(Fig 7. Bandwidth allocation mechanism of proposed scheme)

표 2. 제안된 공정한 대역할당 알고리즘용 파라미터  
(Table 2. Parameters with proposed fair bandwidth allocation algorithm)

N	ONU의 개수
hi	ONU i에 접속되어 있는 활성화된 단말의 수
H	ONU들에 연결된 단말들의 총 개수 (Sum(h1, hN))
BWu	상향채널의 최대 대역폭
BWperHost	BWu / H의 값
Hp	BWperHost < Gi/hi 를 만족하는 polite한 ONU들의 단말의 총 개수
Gi	ONU i에 유입되는 단말로부터의 트래픽 부하
BWp	BWperHost = Gi/hi 를 만족하는 polite한 ONU들에 할당되는 대역폭
BWg	BWperHost = Gi/hi 를 만족하지 못하는 greedy한 ONU i들에게 할당 가능한 나머지 총 대역폭 (=BWu - BWp)
BWforced	ONU i에 접속된 greedy한 단말들에 대해 공정하게 강제 할당 되는 대역폭 (=BWg / (H-Hp))
BWi	ONU i에 할당된 대역폭

< 알고리즘의 동작 >

Step 1: OLT는 REPORT 메시지로 보고되는 각 ONU들에 유입되는 트래픽부하와 활성화된 호스트의 개수로부터 각 호스트에 공정하게 할당가능한 대역인  $BW_{perHost} (= BW_u / H)$ 를 구한다.

Step 2: ONU i가 요구하는 대역폭( $G_i$ )을 해당 ONU의 단말의 수( $h_i$ )로 나눈 값이  $BW_{perHost}$ 보다 작은 polite한 단말들이 접속된 ONU경우에만 요구하는 대역폭을 모두 할당한다. 그리고, 이러한 polite한 단말이 접속된 ONU의 개수인  $H_p$ 를 계산한다.

Step 3: 그렇지 못한 greedy한 단말들이 접속된 ONU들에 대해서는 step 2에서 할당된 대역폭의 나머지( $BW_u - BW_p$ )로부터 이러한 ONU들에 접속된 단말의 총 합인 ( $H-H_p$ )로 나눈 대역폭인  $BW_{forced} = (BW_u - BW_p)/(H-H_p)$ 을 구한 다음, 해당 ONU의 활성화된 단말의 수를 곱한 만큼의 대역폭을 할당한다.

예를 들면, 다음과 같다.

총 8대의 단말이 설치된 EPON시스템에서, 각 단말에 공정하게 할당 가능한  $BW_{perHost}$ 의 값은  $1Gbps / 8 = 125 Mbps$ 이다. 2대의 단말이 접속된 ONU 1에 할당 가능한 총 대역은  $125 \times 2 = 250Mbps$ 이지만, 이 ONU 1에 유입되는 부하는 겨우  $200Mbps$ 이므로, 요구한 만큼의 대역폭인  $BW_p = 200Mbps$ 를 모두 할당할 수 있으며, 이때 polite한 단말의 개수  $H_p = 2$ 이다. 그 외의 ONU들은 각 단말별로 할당 가능한 대역을 초과 요구하므로, 이들에 대하여 다음과 같이 대역을 강제로 할당한다. 이미 ONU 1에 대한 대역할당이 끝났으므로, 현재 남아있는 대역은  $BW_g = 800Mbps$ 이고, ONU 2와 3의 단말의 개수의 총합은 ( $H-H_p = 6$ )이다. 그러므로 이러한 ONU에 접속된 각 단말들에게 할당가능한 대역은  $BW_{forced} = 800 / 6 = 133.33 Mbps$ 이므로, ONU 2와 3에는 각각  $BW_2 = BW_{forced} \times h_2 = 400Mbps$ ,  $BW_3 = BW_{forced} \times h_3 = 400Mbps$ 의 대역이 할당된다. 참고로, 요구하는 대역이 서로 다르지만 단말의 수가 같은 ONU 2와 ONU 3에는 같은 대역폭이 할당되었다.

## IV. 성능분석

단말별로 공정한 대역할당방법에 대한 성능분석을 위하여 <그림 10>와 같은 시뮬레이션 모델을 설정하였다.

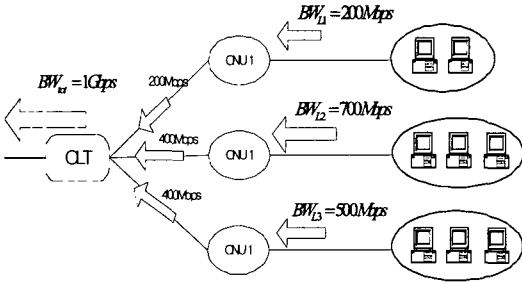


그림 9. 제안된 알고리즘의 예  
(Fig 9. An example of proposed algorithm)

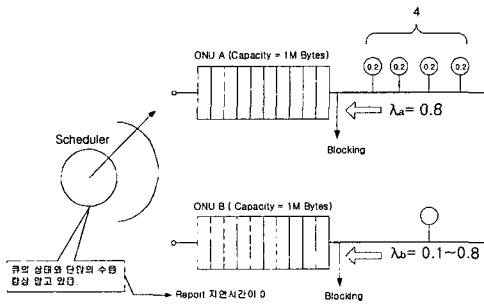


그림 10. 시뮬레이션 모델  
(Fig 10. Simulation model)

이 시뮬레이션 모델에서, ONU A에 접속된 4개의 단말들로부터는 각각 0.2의 트래픽부하가 고정적으로 발생되도록 하여, ONU A에는 결과적으로 0.8의 트래픽부하가 유입되도록 하였다. 반면에, ONU B에는 한 개의 단말만 접속시키고, 이 단말로부터 발생하는 트래픽의 부하를 가변시키면서, 각 단말들이 겪는 지연시간을 비교하였다. 성능비교를 위한 시뮬레이션에서는 전파지연 시간을 무시하고, 패킷의 길이는 지수(exponential) 분포를 가지며, 각 단말에서의 패킷 발생분포는 포아송(Poisson) 분포를 가진다고 가정하였다. 또한, ONU에 연결된 단말의 수는 REPORT 메시지에 의해 OLT가 이미 알고 있으며, OLT에 의한 대역할당용 스케줄링 처리시간도 무시하였고, 각 ONU에는 1M바이트의 버퍼가 있다고 가정하였다.

<그림 11>은 ONU A에는 단말로부터 800Mbps의 고정된 전송률로 데이터가 유입될 때, ONU B에 접속된 단말의 전송률을 증가시킬 때, 시간에 따른 각 ONU의 버퍼크기에 대한 변화를 분석한 것으로서, ONU B의 단말은 100msec에서 100Mbps의 전송률로 전송하기 시작했다가 500msec에서 400Mbps로 전송율을 증가시켰다가 이후 800msec

에서 전송을 중지하였다.

이 결과에서, 기존방법에 의한 대역할당의 경우, 버퍼의 크기에 비례해서 대역이 할당된다. 따라서, 두 ONU에 유입되는 트래픽 부하에 따라 500msec 이후 각 ONU에는 800/(800+400)과 400/(800+400)의 비율로 ONU A와 B에 대역이 할당되므로, ONU A에 유입되는 800Mbps의 트래픽부하에 대하여 할당된 대역폭은 666Mbps에 불과하여 ONU A의 버퍼는 가득 차게 된다.

또한, ONU B도 ONU A와 마찬가지로 유입되는 트래픽부하에 비해 할당된 대역폭이 작기 때문에 버퍼의 크기가 증가하게 되지만, ONU A의 제한된 버퍼 크기와 ONU B의 버퍼 크기의 차이가 감소되면서 ONU B에 대역이 추가로 할당된다. 따라서, 일정시간 이후에는 ONU B에 유입되는 트래픽부하와 ONU B가 할당 받은 대역폭이 균형을 이뤄 ONU B는 일정한 버퍼크기를 유지하게 된다. 이와는 반대로 ONU A는 할당 받을 수 있는 대역폭의 크기가 점점 줄어들게 되어 버퍼는 항상 가득 차있게 된다.

반면에 제안된 방법에서는 4:1의 단말수의 비율에 의한 대역할당과정에 의해, ONU B에는 200Mbps만 대역이 할당되므로, 이 ONU의 버퍼크기가 급격히 증가하게 되어, 많은 패킷들이 손실된다. 이현상은 ONU B에 연결된 단말이 혼자 400Mbps라는 대량의 트래픽을 발생시키는 단말에 대하여 불리한 조건을 부과한 결과이다. 반면에, ONU A는 800Mbps의 대역을 할당 받으므로, 버퍼의 증가율이 낮으며, 이 ONU에 연결된 4대의 단말들은 ONU B에 연결된 단말에 의한 영향을 많이 받지 않음을 알 수 있다.

그리고 <그림 12>는 같은 조건하에서의 시스템 지연시간을 도시한 것이다. 시간 500msec 부터, 기존 방법에서는 각 ONU의 큐 크기에 비례하여 대역을 할당하기 때문에, 각 ONU의 패킷들이 겪는 지연시간이 비슷하게 나타난다. 다시 말해서, 할당되는 대역폭이 두 ONU의 버퍼크기에 따라 유동적으로 변하게 되어, 두 ONU의 패킷들이 버퍼에서 대기하는 시간은 거의 유사하게 된다. 반면에, 제안된 방법에서는 두 ONU의 버퍼크기가 같더라도 접속된 단말의 개수에 따른 4:1 비율에 따라 스케줄링을 하기 때문에 단말의 수가 하나뿐인 ONU B에 유입되는 패킷들은 처리되기까지 버퍼에서 대기하는 시간이 늘어나 시스템 지연시간이 상대적으로 높게 나타나는 반면, ONU A는 충분한 대역할당을

받게 되어, ONU A에 도달하는 패킷이 겪는 지연 시간은 기존 방법에 의해 스케줄링하는 것보다 더 낮은 지연시간을 겪게 된다.

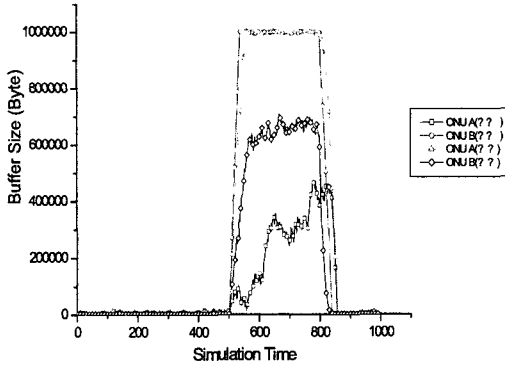


그림 11. 시간 변화에 따른 버퍼크기의 변화  
(Fig 11. Variance of buffer size with time varying)

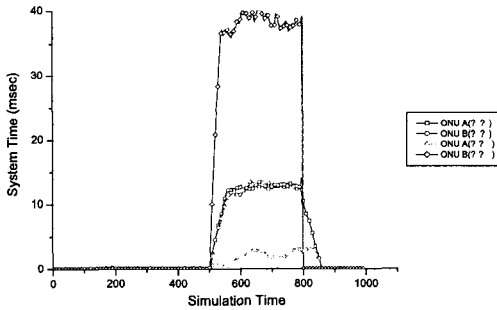
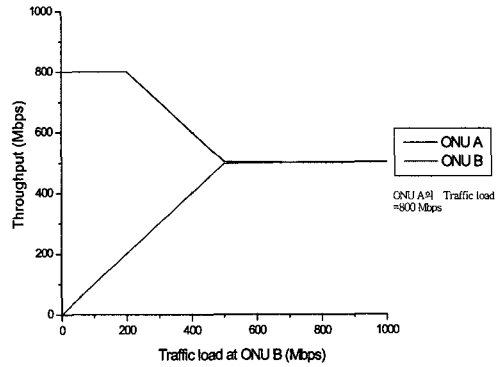


그림 12. 시간 변화에 따른 시스템 지연시간의 변화  
(Fig 12. Vairance of system time with time varying)

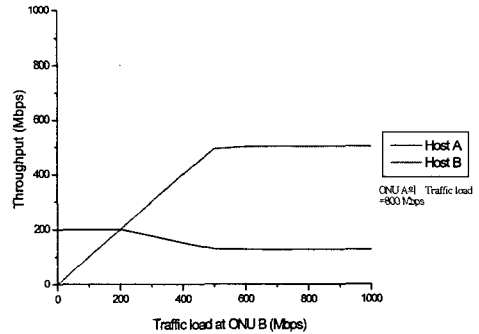
<그림13(a)>와 <그림 13(b)>는 각각 ONU B에 도달하는 트래픽의 증가에 따른 ONU 별 throughput과 단말별 throughput을 도시한 것이다. 먼저, 전체 트래픽 부하가 1GBps를 초과될 경우, ONU B의 트래픽이 증가할수록 ONU B에 할당되는 대역은 증가하는 반면, ONU A의 대역은 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, ONU B에 도달하는 트래픽의 양이 500MBps에 가까워지면 두 ONU 모두 같은 양의 서비스를 받게 되는 것도 확인할 수 있다.

반면에, 각 단말의 throughput은 <그림 12(b)>에서 알 수 있듯이, ONU A에 연결된 단말들은 각각 200MBps로 전송을 하지만 실제 가능한 대역폭은

125MBps에 그치는 것을 볼 수 있다. 반면에, ONU B에 접속된 한 개의 단말은 500MBps까지 전송할 수 있으므로, 각 단말들간에 불공정한 대역할당이 발생함을 알 수 있다.



(a) ONU별 Throughput  
(Each ONU's Throughput)



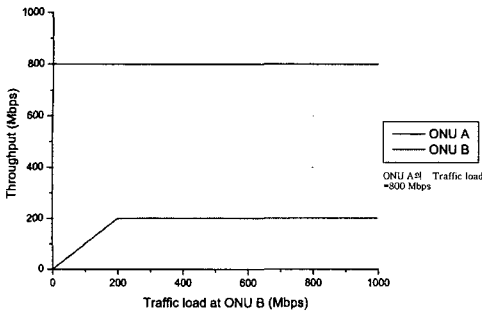
(b) 단말별 Throughput  
(Each Station's Throughput)

그림 13. 기존 방법의 Throughput  
(Fig 13.Throughput in legacy scheme)

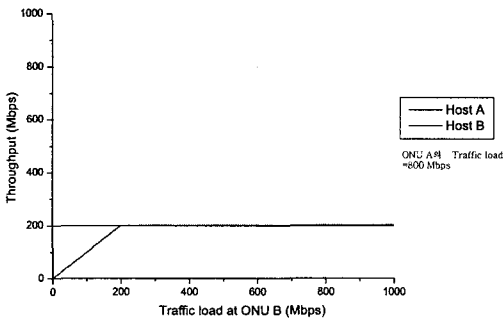
<그림14(a)>와 <그림 14(b)>는 각각 제안된 대역할당 방법에 따른 ONU별 throughput과 단말별 throughput을 도시한 것이다.

ONU A와ONU B는 각각 단말의 수에 비례하여 대역폭이 할당되며, 이를 단말의 입장에서 보았을 때, <그림 14(b)>로 나타내어 진다. <그림 14(b)>의 그래프와 같이 이를 단말 입장에서 보았을 때 각 단말 모두 200MBps로 공정하게 대역폭이 할당됨을 볼 수 있다.





(a) ONU별 Throughput (Each ONU's Throughput)



(b) 단말별 Throughput (Each Station's Throughput)

그림 14. 제안된 방법의 Throughput (Fig 14. Throughput in proposed scheme)

마지막으로, <그림 15>는 기존 동적대역할당 알고리즘을 통해 대역을 할당했을 때와 제안된 방법에 의한 대역할당을 하였을 때, 각 ONU를 거치는 프레임들이 겪는 평균지연시간을 도시한 것이다.

기존 방법이나 제안된 방법에 상관없이 ONU들에 유입되는 총 트래픽부하가 상향링크의 대역폭에 가까워지면 버퍼의 크기는 급격히 증가하게 되며, 이에 따라 패킷의 지연시간도 버퍼의 크기에 비례하여 증가하게 된다. <그림 15>에서 ONU B에 유입되는 트래픽 부하가 200Mbps에 근접할수록 지연시간이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

또한, ONU B에 도달하는 트래픽의 양이 200Mbps를 초과하면, OLT가 처리할 수 있는 대역폭보다 ONU들에 유입되는 트래픽부하가 더 크게 되어 두 ONU의 버퍼는 모두 가득 차게 되며, 이를 기존방법으로 스케줄링했을 때에는 각 ONU에 동일한 대역을 할당하기 때문에 각 ONU의 버퍼에서

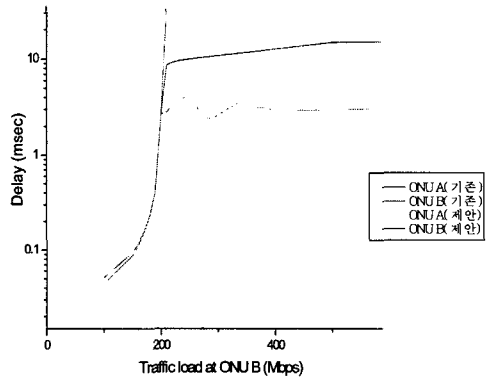


그림 15. 시스템 지연시간 비교 (Fig 15. comparison of system time)

대기하는 패킷들은 동일한 지연시간을 갖게 된다.

반면에, 제안된 방법에서는 단말의 수가 많은 ONU에 전달된 프레임들이 단말의 수가 적은 ONU에 전달된 프레임들에 비해, 적은 지연시간을 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 ONU에 연결되어 있는 단말의 수의 비율이 4대 1일 때, 제안된 방법으로 스케줄링을 하면, ONU B의 전송률이 200Mbps 이상이 되어도, ONU B가 실제 할당 받는 대역폭은 200Mbps로 한정되게 된다. 그러므로 ONU A와 ONU B의 버퍼크기가 같다 하더라도, 4:1비율로 스케줄링하기 때문에 단위시간 동안 ONU A에 유입되는 패킷보다 ONU B에 유입되는 패킷이 처리되는 기회가 더 적게 되어 ONU B에 유입되는 패킷이 겪는 지연시간이 더 오래 걸리게 된다. 결과적으로, EPON시스템에 접속된 단말들은 각 단말들에게 공정하게 분배된 대역을 초과하여 트래픽을 발생시키는 단말들에 대해서는 더 많은 불리한 조건을 추가하게 된다. 이러한 단말들은 ONU의 버퍼에서 많은 폐기율을 겪게 될 것이며, TCP와 같은 재전송 프로토콜에 의해 자신의 유효 전송속도를 감소시켜 EPON시스템 전체적으로 각 단말들은 전체대역을 공정하게 활용하게 된다.

## VI. 결론

본 논문에서는 기존의 Ethernet Passive Optical Network(EPON)시스템의 문제점인 단말들에 대한 불공정한 대역할당방법을 개선하기 위하여, ONU가 보고하는 버퍼상태뿐만 아니라, ONU에 연결된 단

말의 개수도 OLT에 보고함으로써, OLT가 단말들에 대한 공정한 대역할당을 할 수 있는 방식을 제안하고 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하였다. 각 단말과 ONU 관점에서의 수율과 지연시간, 시간에 따른 ONU의 버퍼 변화 등을 비교 분석한 시뮬레이션 결과로부터, 제안된 방법이 각 단말들에 대하여 상향채널의 대역을 공정하게 분배할 수 있음을 보였다.

본 논문에서 제안된 대역할당 알고리즘은 브리징 기능을 수행하는 ONU의 Filtering Database에 등록된 활성화된 단말들에 대한 정보를 참조하면 비교적 용이하게 구현될 수 있는 특징이 있다.

마지막으로, EPON 시스템을 망 사업자가 운용할 때, 최종단에 위치한 가입자 단말들에 대하여 공정하게 대역을 할당할 필요가 있을 경우, 실제 상용 시스템에도 제안된 방법이 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] G Klammer and B. Mukherjee, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON (EPON)," *IEEE Communication Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 74-80, Feb. 2002.

[2] Glen Kramer, Gerry Pesavento "Ethernet Passive Optical Network(EPON) :Building a Next-Generation Optical Access Network," vol.40, no.2, pp.66-73 *IEEE Communication Magazine*, Feb.2002.

[3] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Ethernet PON (ePON): Design and Analysis of an Optical Access Network," *Photonic Network Communications*, vol. 3, no. 3, pp. 307-319, July 2001.

[4] EPON upstream multiple access scheme Tang Shan; Ji Yang; Cheng Sheng; *Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001 - Beijing. 2001 International Conferences*, vol.2, pp.273-278, 29 Oct.-1 Nov. 2001.

[5] Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON) architecture for broadband access," *Optical Networks Magazine*, January/February 2003.

[6] IEEE P802.3ah task force home page: <http://www.ieee802.org/3/efm>.

[7] IEEE Draft P802.3ah D1.732 Clause. 64.4 June 2,

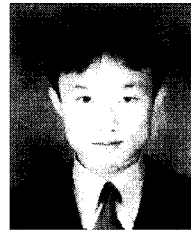
2003.

[8] 이호숙, 문지현, 유태환, 이형호, "EPON에서 우선순위를 고려한 상향 채널대역 할당기법," JCCI 2003, session IV-B 통신망(3), May. 2003.

[9] IEEE Std 802.3, "Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications", 1998 Edition.

박 지 원(Ji-won Park)

준회원



2002년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 학사  
2004년 2월: 한국항공대학교 정보통신공학과 석사

<주관심 분야> DMB, WIPI

윤 중 호(Chong-ho Yoon)

정회원



1984년: 한양대학교 전자공학과 학사  
1986년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
1990년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
1991년-현재: 한국항공대학교

전자정보통신컴퓨터공학부 재직(교수)

<주관심 분야> 동기식이더넷, BCN, WPAN

송 재 연(Jae-yoen Song)

단체회원



1995년 2월:홍익대학교 전자공  
학과 학사

1997년 2월:홍익대학교 전자공  
학과 석사

2001년 8월:홍익대학교 전자공  
학과 박사

2001년 9월:현재 삼성전자 정  
보통신총괄 통신연구소 표준연구팀 책임연구원

<주관심 분야> WDM 네트워크 설계, 광가입자망  
표준화, FTTH

임 세 윤(Se-young Lim)

단체회원



2000년 2월 : 한국항공대학교  
통신정보공학과 학사

2002년 2월 : 항공대학교 통신  
정보공학과 석사

2002년 1월~ 현재:삼성전자  
TN총괄 통신연구소 표준연  
구팀 연구원

<주관심 분야> 광가입자망 표준화, FTTH

김 진 희 (Jin H. Kim )

단체회원

MSEE in University of Texas At Arlington

1997년~1999년 : Texas Instruments: New Product  
Development Leader in ADSL Group

2000년~2001년 : Texas Instruments: S/W System  
Designer in Optical Networking Group

2002년~현재 : Samsung Electronics: Architectural  
and System Development in Telecommunication  
R&D Group

<주관심분야> Optical Networking