

# EPON 시스템의 적응적 Limited 동적 대역 할당 방식

준회원 황 준 호\*, 종신회원 유 명 식\*\*

## Adaptive Limited Dynamic Bandwidth Allocation Scheme for EPON

Junho Hwang\* Associate Member, Myungsik Yoo\*\* Lifelong Member

### 요 약

멀티미디어 응용의 발달과 통합형 인터넷 서비스가 등장함에 따라, 광 가입자 망에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, Ethernet Passive Optical Network(EPON)은 경제성과 더불어 높은 대역폭 제공으로 인해 많은 관심을 받고 있다. EPON 시스템에서의 데이터 전송은 OLT(Optical Line Terminal)가 ONU(Optical Networks Units)에게 데이터를 전송하는 하향 전송과 ONU가 OLT에게 데이터를 전송하는 상향 전송, 두 가지 방식으로 이루어져 있다. 하향 전송의 경우 모든 ONU들에게 데이터를 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 반면 상향 전송의 경우 OLT와 ONU가 점대점 형식으로 연결되어 데이터를 전송하는데, 이때 하나의 상향 링크를 다수의 ONU가 TDMA 기반으로 공유하여 사용한다. 이러한 상향 전송에서의 대역 할당 알고리즘은 효율적인 대역폭 관리를 위해 반드시 필요하다.

Limited 방식은 상향 전송에 있어서 효율적인 대역폭 할당을 위해 제안되었다. 본 논문에서는 기존 Limited 방식의 단점을 보완한 적응적 Limited 방식을 제안한다. 적응적 Limited 방식은 보다 탄력적인 대역할당이 가능하고, 패킷 지연 기반의 공평성을 제공한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 적응적 Limited 방식이 기존 Limited 방식보다 더욱 탄력적인 대역폭 할당이 가능함을 확인할 수 있었으며, 패킷 지연 기반의 공평성 유지 및 요구 기반의 대역폭 할당 공평성이 우수하게 유지됨을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : Optical Access Network, Ethernet Passive Optical Network, Dynamic Bandwidth Allocation

### ABSTRACT

Due to advance in multimedia applications and integrated Internet services, the optical access networks have been actively studied. In particular, Ethernet passive optical network (EPON) has received much attention due to high bandwidth provision with low cost. In EPON system, the data transmission is carried out in two directions: downstream (from OLT to ONU) and upstream (from ONU to OLT). The downstream data is broadcasted to every ONUs, while the upstream data is point-to-point transmitted between each ONU and OLT, where the uplink is shared by all ONUs in the form of TDMA. The bandwidth allocation algorithm is required to efficiently manage the bandwidth on the uplink. The limited algorithm was proposed to enhance the capability of dynamic bandwidth allocation. In this paper, we propose the adaptive limited algorithm to enhance the shortcomings of limited algorithm. The adaptive limited algorithm enhances the dynamics on bandwidth allocation, and at the same time controls the fairness on packet delay. Through the computer simulations, it is shown that the adaptive limited algorithm achieves high dynamic on bandwidth allocation, maintains a good fairness on packet delay between ONUs, and keeps the fairness on the bandwidth on the demand basis.

※ 본 연구는 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과입니다(B1220-0501-0145).

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (jhwang, myoo)@ssu.ac.kr

논문번호 : KICS2006-03-150, 접수일자 : 2006년 3월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 18일

## I. 서론

다양한 멀티미디어 응용과 고품질의 통합형 인터넷 서비스가 등장함에 따라 사용자들의 서비스 개선 요구가 급속도로 증가하고 있다. 이러한 서비스 환경은 TPS(Triple Play Services) 등과 같은 서비스의 개발로 현실화 될 것이며,<sup>[1]</sup> 이를 위해 100M bps 이상의 높은 대역폭을 요구할 것으로 기대된다. 이에 따라 높은 대역폭 보장을 위한 새로운 광 가입자망에 대한 관심이 그 어느 때 보다도 높으며, 수동형 광 분배기를 통해 차세대 광 가입자망을 구성할 수 있는 PON (Passive Optical Network) 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[2]</sup> PON은 일반적으로 링크 전송 기술과 결합하여 차세대 광 가입자망을 구성하는데, 이중 Ethernet PON은 현재 링크 전송 기술의 95% 이상을 차지하고, 설치 및 유지비용이 저렴한 Ethernet 기술을 PON에 접목시킨 차세대 광 가입자망이다.<sup>[3, 4]</sup>

EPON은 중앙 국사에 위치하는 하나의 OLT (Optical Line Terminal)와 가입자단에 위치하는 다수의 ONU (Optical Networks Units)들이 수동형 광 분배기를 통해 트리 구조 형태로 연결된다.<sup>[5]</sup> 그림 1은 EPON 시스템의 구성도를 도시하고 있다.

EPON 시스템에서 데이터의 전송은 하향 전송과 상향 전송으로 이루어지는데, 하향 전송의 경우 OLT가 1,510nm 파장을 이용하여 모든 ONU에게 브로드캐스트 방식으로 데이터를 전송한다. 반면 상향 전송의 경우 다수의 ONU가 1,310nm 파장을 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식으로 공유하여 유니캐스트 방식으로 OLT에게 데이터를 전송한다.<sup>[6]</sup> 특히 상향 전송 방식에 있어서 OLT는 다수의 ONU가 충돌 없이 데이터를 전송할 수 있도록 대역폭을 할당해주는 중요한 역할을 수행하는

데, 이 기능을 대역 할당 방식이라 한다. 이러한 대역 할당 방식은 상향 전송에 있어서 EPON 시스템의 효율성을 결정하는 가장 중요한 요소이다.

EPON의 대역 할당 방식은 크게 고정된 대역폭을 할당해주는 고정 대역 할당 방식(SBA: Static Bandwidth Allocation)과 트래픽 환경에 따라 유동적으로 대역폭을 할당해 주는 동적 대역 할당 방식(DBA: Dynamic Bandwidth Allocation)으로 구분된다.

고정 대역 할당 방식은 각 ONU에게 동일한 크기의 대역폭을 할당하는 방식이다. 반면 동적 대역 할당 방식은 ONU의 요구에 따라 유동적으로 대역폭을 할당해 주는 방식이다. 대표적인 동적 대역 할당 방식에는 요청 대역폭을 모두 할당해 주는 Gated 방식과 최대 할당 대역폭 이하로 대역폭을 할당하는 Limited 방식 등이 있다.<sup>[7]</sup> Gated 방식의 경우 사이클 시간의 제한이 없어 특정 ONU가 대역폭을 독점하는 문제가 발생하고, 이에 따라 높은 전송 지연의 문제가 야기된다. Limited 방식의 경우 트래픽 변화에 따라 탄력적으로 대역폭을 할당해 주기 위해 제안되었으나 동적 대역 할당 능력에 한계가 있다.

본 논문에서는 ONU측의 급격한 요구 대역폭 변화에도 이를 탄력적으로 수용하면서, 각 ONU의 패킷 전송 지연의 공평성을 보장하는 적응적 Limited 방식을 제안한다. 적응적 Limited 방식은 기존 Limited 방식보다 더욱 탄력적인 대역할당이 가능하며, ONU간 패킷 지연 기반의 공평성이 제공되며, 동시에 요구기반의 대역 할당 공평성을 제공한다는 장점을 가지고 있다.

본 논문은 구성은 2장에서 기존에 연구되었던 동적 대역 할당 방식의 특징과 장·단점을 분석하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적응적 Limited 방식을 설명한다. 4장에서는 적응적 Limited 방식의 성능평가를 위해 기존 Limited 동적 대역 할당 방식의 성능과 비교 분석하였다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 과제에 대해 기술한다.

## II. 동적 대역 할당 방식

EPON의 상향 전송을 위한 대역폭 할당 방법은 고정 대역 할당 방식과 동적 대역 할당 방식으로 나눌 수 있다. 고정 대역 할당 방식은 ONU 큐에 대기하는 사용자 트래픽의 상황에 관계없이 모든 ONU에게 고정된 대역폭을 할당해 준다. 반면 동적 대역 할당 방식은 ONU에 대기하는 사용자의 트래

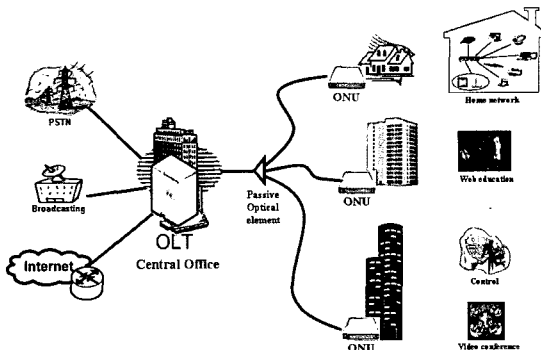


그림 1. EPON 시스템 구성도

픽에 따라 대역폭을 요청하고, 요청 대역폭에 따라 각 ONU에 할당해주는 대역폭이 탄력적으로 변화하는 방식이다.<sup>[7]</sup>

### 2.1 Fixed 방식

Fixed 방식은 ONU 큐를 고려하지 않고 고정된 대역폭을 할당하는 방식이다.

$$W^{[i]} = W_{fixed}$$

- $W^{[i]}$ : 사용자  $i$ 에 할당되는 대역폭
- $W_{fixed}$ : 고정 할당 대역폭

Fixed 방식은 고정된 대역폭을 할당하기 때문에 고정된 사이클 시간과 일정한 대역폭을 할당 받을 수 있다는 장점을 지닌다. 하지만 사용자로부터 발생하는 트래픽을 전혀 고려하지 않기 때문에 트래픽의 급격한 변화에 탄력적인 대처가 불가능하다. 또한 한정된 대역폭을 다수의 ONU가 고정된 대역폭을 할당 받기 때문에 대역폭 사용의 낭비를 초래함과 동시에 가입자 수의 제한을 야기한다.

### 2.2 Gated 방식

Gated 방식은 ONU가 요청한 대역폭에 대한 어떠한 제한도 없이 요청한 양 모두를 할당해 주는 방식이다.

$$W^{[i]} = W_{req}^{[i]}$$

- $W_{req}^{[i]}$ : 사용자  $i$ 의 큐 크기에 따른 요청 대역폭

Gated 방식은 대역폭 할당 방식의 특성상 높은 채널 이용률 유지할 뿐만 아니라 평균 패킷 지연 등에서도 우수한 성능 보인다. 그러나 다수의 ONU가 요청하는 대역폭의 크기가 매우 불규칙하기 때문에 사이클 시간의 분포가 매우 불규칙하다. 또한 특정 ONU가 대역폭을 독점하는 문제가 발생할 수 있다.

### 2.3 Credit 방식

Credit 방식은 ONU가 요청한 대역폭에 여분의 대역폭을 추가로 할당하는 방식이다. Credit 방식의 경우 여분의 대역폭을 추가하는 방식에 따라 Constant Credit 방식과 Linear Credit 방식으로 나뉜다. Constant Credit 방식의 경우 ONU에서 요청한 대역폭에 여분의 윈도우를 더하여 대역폭을 할당하는 방식이다.

$$W^{[i]} = \min((W_{req}^{[i]} + const), W_{max})$$

- $W_{max}$ : 최대 할당 대역폭
- $const$ : 여분의 대역폭

반면, Linear Credit 방식의 경우 요청 대역폭의 크기에 비례한 여분의 대역폭을 할당해 주는 방식이다.

$$W^{[i]} = \min((W_{req}^{[i]} \times const), W_{max})$$

Credit 방식은 여분의 대역폭을 더 할당하며 좀 더 탄력적인 대역폭 할당을 가능하게 하지만, 단순히 여분의 대역폭을 부여함으로써 불필요한 대역폭 낭비와 사이클 시간 증가 등의 문제점을 야기시킨다.

### 2.4 Limited 방식

Limited 방식은 ONU가 요청한 대역폭을 최대 할당 대역폭 ( $W_{max}$ ) 이하로 할당하는 방식이다.

$$W^{[i]} = \min(W_{max}, W_{req}^{[i]})$$

Limited 방식은 타 동적 대역 할당 방식보다 향상된 동적 대역 할당 능력을 가지고 있다. 하지만 트래픽의 급격한 변화에 대해서 다음과 같은 근본적인 문제점을 가지고 있다.

#### 2.4.1 급격하게 변화하는 트래픽에 대한 제한적인 동적 대역 할당 능력

Limited 방식은 모든 ONU에게 동일한 크기의 최대 할당 대역폭 ( $W_{max}$ )을 설정한다. 이는 각 ONU에게 할당할 수 있는 대역폭의 크기를 제한하여 효율적으로 대역을 할당하고자 한 것이다. 하지만 급격히 높은 대역폭을 요구할 경우 할당 대역폭은 최대 할당 대역폭 이하로 제한되어 탄력적으로 요청 대역폭을 수용할 수 없다. 이는 EPON 시스템의 전송 효율을 감소시킬 수 요인이 된다.

#### 2.4.2 ONU간 지연 공평성 유지 능력 부족

Limited 방식의 동일한 최대 할당 대역폭은 순간적으로 높은 대역폭을 요청한 ONU의 요구를 수용하지 못해 해당 ONU에 높은 패킷 전송 지연 및 높은 지터를 야기시킨다.

위와 같은 제한적인 동적 대역 할당 능력과 공평성 유지 능력의 부재는 EPON 시스템의 성능에 큰 악영향을 미치는 동시에 사용자로부터 요구되는 다양한 멀티미디어 서비스를 적절히 지원하지 못하는 결과를 초래한다.

### Ⅲ. 적응적 Limited 방식

적응적 Limited 방식은 Limited 방식에서 사용되는 최대 할당 대역폭의 개념을 사용하되, Limited 방식과는 다르게 각 ONU의 요구 대역폭 상황에 따라 유동적인 최대 할당 대역폭 ( $W_{max}$ )을 사용한다. 이때 하나의 ONU에 최대로 할당할 수 있는 최대 할당 대역폭  $W_{Amaz\_total}$ 는  $N \times W_{max}$ 로 계산된다. 앞서 설명한 바와 같이 Limited 방식은 제한적인 동적 대역 할당 능력 및 ONU 패킷 지연 공평성 유지 능력 부재 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 적응적 Limited 방식에서는 다음과 같은 알고리즘을 통해 Limited 방식의 문제점을 해결하였다.

먼저 OLT와 ONU<sup>[i]</sup>간 대역폭 할당 과정 및 데이터 전송 과정을 살펴보면, ONU<sup>[i]</sup>측의 경우

- OLT로부터 GATE<sup>[i]</sup> 메시지 수신
- GATE<sup>[i]</sup> 메시지 내 할당 대역폭의 크기만큼 대역폭을 사용
- 대기 큐의 크기에 의해 요청 대역폭 결정 및 REPORT<sup>[i]</sup> 메시지 송신

의 세 단계로 대역폭 할당 및 데이터 전송 과정을 수행하고, OLT측의 경우 ONU<sup>[i]</sup>로부터

- REPORT<sup>[i]</sup> 메시지 수신
- 이전 사이클 ( $t-1$ )에 계산된 최대 할당 대역폭  $W_{Amaz}^{[i]}$ 를 사용하여 GATE<sup>[i]</sup> 메시지 송신

의 두 단계를 통해 각 ONU<sup>[i]</sup>에게 대역폭을 할당하게 된다. 이러한 대역폭 할당 과정에서 사이클  $[t-1]$ 에 계산되는 최대 할당 대역폭을 구하는 방법은 다음과 같다.

- $I_f$ (ONU<sup>[i]</sup>로부터 REPORT<sup>[i]</sup> 메시지 수신)
  - 가중치 평균에 의한 평균 패킷 전송 지연 계산
$$avg\_delay^{[i]}[t-1] = (1-\alpha) \times avg\_delay^{[i]}[t-2] + \alpha \times delay^{[i]}[t-1]$$
  - ※  $delay^{[i]}[t-1]$  = 사이클  $[t-1]$ 에서  $i$ 번째 ONU의 평균 패킷 지연
- $I_f$ (ONU<sup>[N]</sup>으로부터 REPORT<sup>[N]</sup> 메시지 수신) (ONU<sup>[N]</sup> = 마지막 ONU)
  - 전체 ONU의 가중치 평균 패킷 전송 지연 계산
$$total\_avg\_delay[t-1] = \sum_{i=1}^N avg\_delay^{[i]}[t-1]$$

-각 ONU별 최대 할당 대역폭 계산

$$W_{Amaz}^{[i]} = \frac{avg\_delay^{[i]}[t-1]}{total\_avg\_delay[t-1]} \times W_{Amaz\_total}$$

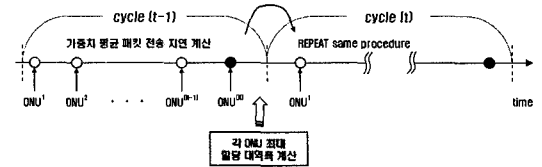


그림 2. 적응적 Limited 방식의 개념도

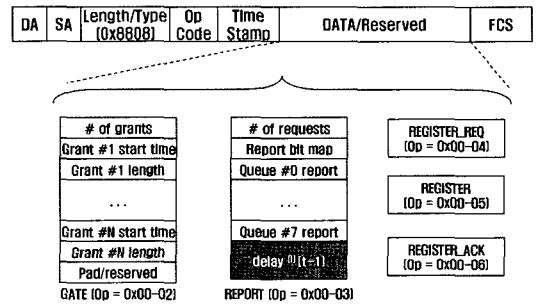


그림 3. 적응적 Limited 방식에서의 REPORT 메시지

상기의 계산과정을 거쳐 사이클  $t$ 에 사용될 최대 할당 대역폭 ( $W_{Amaz}^{[i]}$ )를 계산한다. 그림 2는 적응적 Limited 방식의 대역폭 할당 과정 및 최대 할당 대역폭 계산 과정을 도시하고 있다.

한편, 사이클  $t-1$ 의 ONU별 평균 패킷 전송 지연은 그림 3과 같이 REPORT 메시지 내에 저장되어 전송된다.

이러한 적응적 Limited 방식은 기존 Limited 방식의 단점을 보완하여 다음과 같은 성능 향상을 얻을 수 있다.

#### 3.1 동적 대역 할당 능력 향상

적응적 Limited 방식에서는 고정된 최대 할당 대역폭 ( $W_{max}$ )을 사용하는 Limited 방식과는 달리 트래픽 상황과 ONU 평균 패킷 지연을 반영한 동적 변화하는 최대 할당 대역폭 ( $W_{Amaz}$ )을 사용한다. 적응적 Limited 에서는 한 사이클 시간에 전송할 수 있는 대역폭은  $N$ 개의 최대 할당 대역폭의 합이다. 따라서 하나의 ONU는 트래픽의 상황과 ONU의 평균 패킷 지연을 고려하여 최대한 사이클 시간 동안 전송 가능한 대역폭을 모두 사용할 수 있다. 이러한 특성을 기반으로 적응적 Limited 방식

에서의 ONU는 Limited 방식 보다 우수하고 보다 탄력적인 동적 대역 할당을 가능하게 한다.

### 3.2 요구 기반 할당 대역폭 및 패킷 전송 지연의 공정성 유지 능력 향상

적응적 Limited 방식에서는 특정 ONU가 대역폭을 독점하는 현상을 방지하기 위해 ONU별 평균 전송 지연에 따라 요구 기반의 대역폭을 할당한다. 따라서 모든 ONU는 자신이 요청한 대역폭과 평균 패킷 전송 지연에 비례하여 동적으로 변화하는 최대 할당 대역폭 ( $W_{Amax}$ )을 부여받고, 이에 따라 트래픽을 전송하기 때문에 ONU간 지연 공정성 유지 능력 또한 향상 될 수 있다.

## IV. 성능평가

### 4.1 모의실험 모델 및 파라미터

본 논문에서는 적응적 Limited방식의 성능을 평가하기 위해 C++ 언어를 사용하여 이벤트 기반의 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 그림 4는 모의실험 토폴로지를 도시하고 있다. 모의실험 환경은 하나의 OLT와 16개의 ONU로 구성되어 있고, ONU와 OLT를 연결하는 상향 링크는 1Gbps의 대역폭을 가지고 있다. OLT와 ONU 사이의 거리는 10Km로 설정하였고, 각 ONU는 다수의 사용자 트래픽에 대한 하나의 전송 큐를 가지고 있으며, 해당 전송 큐의 용량은 10Mbytes이다. 사용자로부터 발생하는 패킷은 70bytes의 고정된 크기를 가지고 있으며, 발생 트래픽은 인터넷 트래픽의 버스트 특성을 유지하고자 Pareto 분포 기반의 ON/OFF 모델링<sup>[8]</sup>을 사용하였다. ON 구간은 동일한 시간 간격으로 발생하고, 구간 내 하나의 패킷을 생성한다. 반면 OFF 구간에서는 패킷이 발생되지 않으며, OFF 구간의 시간 간격은 Pareto 분포를 따른다.

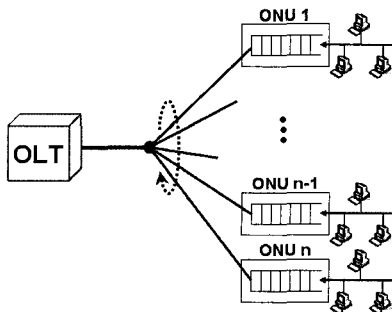


그림 4. 모의실험 토폴로지

표 1. 모의실험 파라미터

| 파라미터                         | 값                   |
|------------------------------|---------------------|
| Number of ONUs               | 16                  |
| Number of Priority Classes   | 1                   |
| EPON Line Rate               | 1G bps              |
| Packet Size                  | 70bytes             |
| Buffer Size                  | 10Mbytes            |
| Distance between OLT and ONU | 10Km (=RTT 100μs)   |
| Guard Time                   | 1μs                 |
| Hurst Parameter              | 0.5 ~ 0.9           |
| $W_{max}$                    | 5000 bits           |
| $W_{Amax}$                   | $16 \times W_{max}$ |

또한 트래픽의 버스트 정도를 나타내는 Hurst Parameter (=H)는 0.5부터 0.1 단위로 증가시켰으며, 최고 0.9의 값을 갖는다. 표 1은 적응적 Limited 방식의 성능 분석을 위해 사용된 모의실험의 관련 파라미터를 나타내고 있다. 본 논문의 모의 실험에서 적용한 트래픽 환경은 상향 링크의 대역폭을 N개의 ONU가 공유하는 균형적인 (Balanced) 트래픽 환경과 소수의 ONU들이 상향 링크의 대역폭 80% 정도를 사용하는 불균형적인 (Unbalanced) 환경으로 구성되었다. 이때 불균형적인 트래픽 환경에서는 H를 0.5로 고정하였다. 모의실험을 통해 도출된 결과는 Limited 방식과 적응적 Limited 방식의 전송량 (Throughput) 및 ONU별 지연 공정성 측면에서 비교 분석 하였다.

그림 5는 트래픽 부하가 0.7이고 Hurst 파라미터를 0.8로 설정한 균형적인 트래픽 환경에서 각 ONU별 전송량을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 각 ONU의 데이터 전송량은 Limited 방식보다 적응적 Limited 방식이 높은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 적응적 Limited 방식을 사용할 경우 트래픽 버스트의 발생 정도가 증가하여도 효율적인 대역폭 할당이 가능하다는 것을 의미한다.

그림 6은 그림 5와 동일한 균형적인 트래픽 환경에서의 Hurst 파라미터에 따른 ONU 평균 패킷 전송 지연에 대한 분산을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 Limited 방식은 트래픽의 버스트 정도가 높아질수록 ONU의 전송 지연에 대한 분산이 매우 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 ONU별 패킷 전송 지연이 일정하게 유지 되지 않음을 나타낸다. 반면, 적응적 Limited 방식의 경우 트래픽의 버스트 정도가 높아지더라도 미미한 분산의 증가로 보일뿐 거의 일정한 패킷 지연 분포로 보임을 알 수 있다. 따라서 적응적 Limited 방식은 각 ONU의 패킷 전

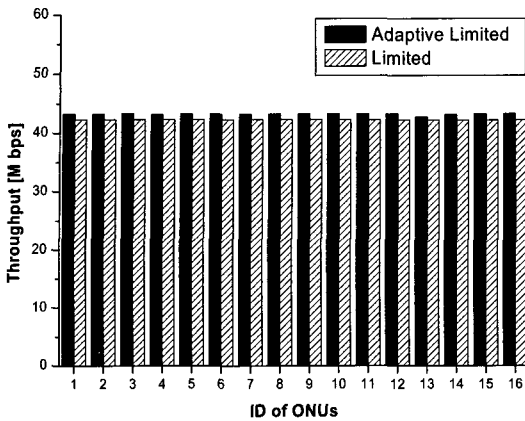


그림 5. 균형적인 트래픽 환경에서의 ONU별 전송량

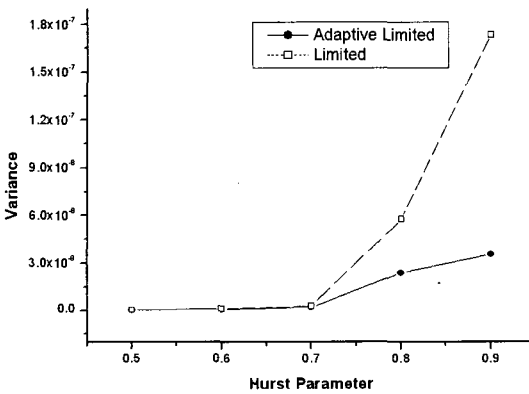


그림 6. 균형적인 트래픽 환경에서 평균 패킷 전송 지연에 대한 분산

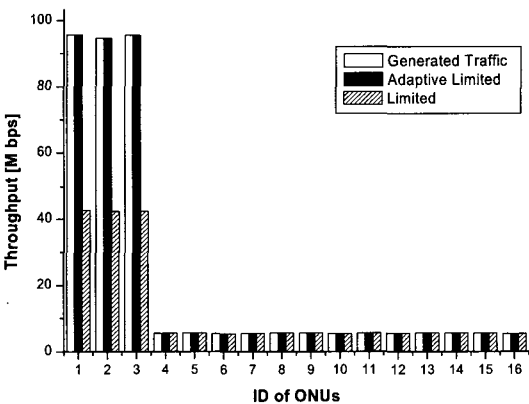


그림 7. 불균형적인 트래픽 환경에서의 ONU별 전송량

송 지연의 공평성 유지 능력이 Limited 방식보다 월등히 우수함을 알 수 있다.

그림 7은 불균형적인 트래픽 환경에서의 ONU별 전송량을 나타내고 있다. 적응적 Limited 방식은 패킷 전송 지연에 따라 유동적인 최대 할당 대역폭을

적용하여 대역폭을 할당하기 때문에 트래픽 생성이 많은 (이에 따른 평균 전송 지연이 높은) ONU 1~ONU 3에게 높은 최대 할당 대역폭을 제공한다.

따라서 ONU 1~ONU 3은 발생하는 트래픽에 대부분을 전송할 수 있게 된다. 하지만 Limited 방식의 경우 고정된 최대 할당 대역폭의 한계로 인하여 한정된 데이터만을 전송할 수 있게 된다. 따라서 적응적 Limited 방식이 Limited 방식보다 더 높은 전송량을 보이게 된다. 또한 적응적 Limited 방식은 불균형적인 트래픽 환경에서 ONU별 요청 대역폭을 기반으로 대역폭 할당 조절하는 능력이 우수하기 때문에 기존 Limited 방식의 단점으로 제시된 요구 기반 대역폭 공평성 능력이 우수하게 보장됨을 볼 수 있다.

그림 8은 그림 7의 불균형적인 트래픽 환경에서 Hurst 파라미터에 따른 ONU 평균 패킷 전송 지연에 대한 분산을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 적응적 Limited 방식은 매우 낮은 분산값을 갖는 반면 Limited 방식에서는 매우 높은 분산값을 나타내고 있는데, 이러한 결과는 그림 9를 통해 다시 확인할 수 있다.

그림 9는 불균형적인 트래픽 환경에서의 ONU별 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. Limited 방식의 경우 트래픽의 변화에 따라 ONU별 패킷 전송 지연이 매우 불규칙하게 분포하는 것을 알 수 있다. 하지만 적응적 Limited 방식은 ONU의 트래픽 생성량에 관계없이 매우 일정한 패킷 전송 지연 분포도를 보이고 있다. 이러한 ONU의 전송 지연 공평성 유지 능력은 트래픽 환경의 변화가 매우 급격하더라도 각 ONU에게 트래픽 상황에 적합한 대역 할당이 가능하다는 것을 의미한다. 또한 그림 7에

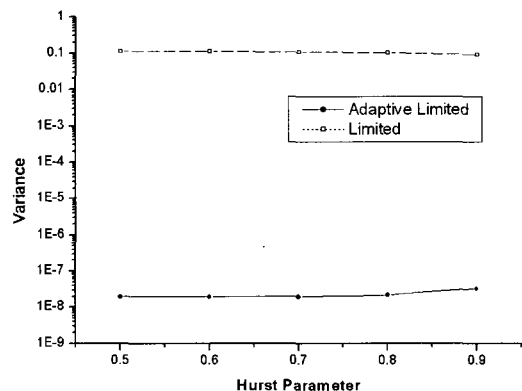


그림 8. 불균형적인 트래픽 환경에서 평균 패킷 전송 지연에 대한 분산

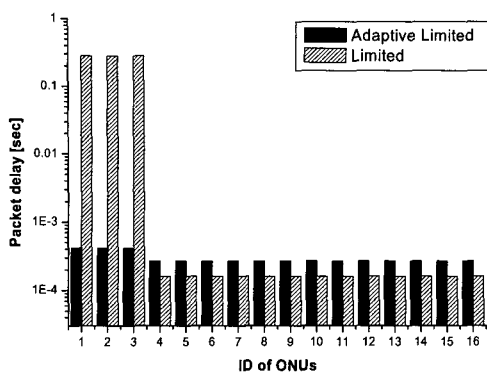


그림 9. 불균형적인 트래픽 환경에서의 각 ONU별 평균 패킷 전송 지연

서도 살펴보았듯이 불균형적인 트래픽 환경에서 적응적 Limited 방식은 Limited 방식에 비해 높은 데이터 전송과 더불어 일정한 전송 지연을 유지함으로 더욱 효율적인 대역할당이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 차세대 광 가입자망 구현을 위한 EPON의 상향 전송 시 효율적으로 자원을 분배하는 동적 대역 할당 방식에 대한 연구를 수행하였고, 이에 따라 적응적 Limited 동적 대역 할당 방식을 제안하였다. 적응적 Limited 방식은 균형적인 트래픽 환경이나 불균형적인 트래픽 환경에서 기존 Limited 방식보다 더욱 탄력적인 동적 대역 할당이 가능하였고, 보다 우수한 요구 기반 할당 대역폭의 공평성 유지 능력을 보였으며, 이와 더불어 ONU의 패킷 전송 지연 기반의 공평성 유지 능력의 우수성 등을 컴퓨터 모의실험 결과를 통해 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 적응적 Limited 방식의 성능은 단일 트래픽 환경에서의 결과를 바탕으로 우수성을 증명하였지만, 서비스 클래스별 QoS 보장 능력에 대한 검증은 아직 미비한 상태이다. 따라서 QoS 제공에 적합한 적응적 Limited 방식을 연구하는 것이 향후 과제로 진행 되어야 할 것이다. 또한 지연 시간을 측정하는 중요 모수인 “ $\alpha$ ” 값의 설정 기준, 그리고 ONU의 수가 동적으로 변화하는 상황 등을 추가적으로 고려하여야 할 것이다.

### 참고 문헌

[1] FTTH 기술 및 시장 동향, ETRI 전자통신동향 분석, 2004년 12월호, <http://ettrends.etri.re.kr>

[2] G. Pesavento and M. Kelsey, “PONs for the Broadband Local Loop,” *Lightwave*, Vol.16, No.10, pp.68-74, Sept. 1999.

[3] K. Richards, “Is Ethernet the ticket for trial and wait PON customers?” *Lightwave*, April, 2002. <http://www.pennnet.com>

[4] Alloptic, “Ethernet Passive Optical Networks,” The International Engineering Consortium, <http://www.iec.org>

[5] G. Kramer and G. Pesavento, “Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network,” *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 40, No.2, pp. 66-73, Feb. 2002.

[6] 심재찬, 허재두, 이형호, “Ethernet PON 기술 개발 동향,” ETRI 주간기술동향, 1051호, pp. 1-15, Jun. 2002.

[7] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, “IPACT: A dynamic protocol for an ethernet PON (EPON),” *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 40, No.2, pp.74-80, Feb. 2002.

[8] 김동일, 김창호, “Etherent 트래픽의 장기간 의존성 및 Self-Similar 트래픽 소스 모델링에 관한 연구,” *Telecommunications Review*, 제11권, 6호, pp. 868-885, Nov-Dec. 2001.

황 준 호 (Junho Hwang)

준회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사

2006년 2월 숭실대학교 정보통신공학 석사

2006년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정  
<관심분야> Optical Network,

OBS, EPON, WDM -PON, Network QoS

유 명 식 (Myungsik Yoo)

중신회원



1989년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사

1991년 2월 고려대학교 전자공학 석사

2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사

2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수

<관심분야> Optical Network, EPON, WDM-PON, OBS, Wireless Network, Ad-hoc Network QoS