

# EPON 시스템 QoS 지원을 위한 가변 윈도우 MAC 프로토콜

준회원 황 준 호\*, 정회원 유 명 식

## A Variable Transmission Window MAC protocol for QoS Support in EPON System.

Junho Hwang\* Associate Member, Myungsik Yoo Regular Member

### 요 약

높은 대역폭과 이더넷의 저비용 확장성 그리고 망 구성의 효율성 측면에서 장점을 가지고 있는 Ethernet Passive Optical Network (EPON)이 새로운 광 가입자망 기술로써 많은 관심을 받고 있다. EPON 시스템의 상향 링크는 다수의 사용자들에 의하여 공유되기 때문에 사용자들에게 상향 링크의 대역을 효율적으로 할당해 주는 대역할당 방식이 매우 중요한 역할을 하고 있다. 또한 사용자들로부터 요구되는 다양한 서비스 요구사항을 만족시키기 위하여 EPON 시스템에서의 QoS 지원에 대한 연구가 요구되고 있다. 최근 EPON 시스템을 위한 다양한 동적 대역할당 방식들이 제안되었으나 사용자들에게 만족스러운 QoS를 지원하기에는 부족하였다. 본 논문에서는 EPON 시스템에서의 QoS 지원과 동시에 동적으로 대역할당이 가능한 가변 윈도우 방식을 제안한다. 기존 방식들의 가장 높은 우선순위 클래스 위주의 QoS 지원 방식과는 다르게 가변 윈도우 방식은 가장 높은 우선순위 클래스의 QoS를 보장하는 동시에 우선순위가 낮은 클래스들에게도 필요시 동적으로 대역을 할당하여 향상된 QoS 성능을 제공할 수 있는 장점이 있다. 성능평가를 통하여 가변 윈도우 방식의 QoS 성능을 기존에 제안된 방식들과 비교 평가 하여 그 성능의 우수성을 입증하였다.

Key Words : Ethernet PON, Access Network, Dynamic Bandwidth Allocation, QoS

### ABSTRACT

Ethernet passive optical network (EPON) has drawn many attention as a promising access network technology because it can provide a high bandwidth with a low cost. Since the uplink in the EPON system is shared by many users, it is necessary for an EPON system to have an efficient bandwidth allocation mechanism. In addition, as the users demand more QoS-oriented applications, it is necessary for an EPON system to have an efficient mechanism supporting QoS. In this paper, we propose a variable window dynamic bandwidth allocation (DBA) algorithm for the EPON system. Unlike the previously proposed DBA algorithms, the variable window algorithm guarantees the QoS for the highest priority class, and at the same time provides more enhanced QoS for the lower priority classes by dynamically allocating bandwidth if necessary. It is verified through the simulations that the variable window algorithm can provide more enhanced QoS performance than other DBA algorithms.

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (lovemaker1019@hotmail.com, myoo@e.ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-07-112, 접수일자 : 2004년 7월 22일

※ 본 연구는 한국과학재단 광 인터넷 연구센터 (OIRC) 프로젝트 지원으로 수행되었음.

### 1. 서론

가입자망은 기간망 또는 메트로망의 전송용량 증가에 비해 그 증가 속도가 뒤떨어지고 있어 망 성능의 병목구간이 되고 있다. 예로 현재 가입자망의 가장 보편적인 xDSL의 경우 전송 용량이 수 Mbps에 그치고 있어, 급격히 증가하는 멀티미디어 수요에 적절히 대응하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 수요에 적절히 대응하고, 기존 가입자망의 문제점을 해결할 수 있는 가입자망 기술이 PON (Passive Optical Network)이다. 본 논문에서는 높은 대역폭과 이더넷의 저비용 확장성의 장점을 가지고 있으며, 망 구성의 효율성 측면에서 장점을 가지고 있는 EPON에 대해 논의하고자 한다.

EPON 시스템은 그림 1과 같이 OLT(Optical Line Terminal)와 다수의 ONU(Optical Network Unit)가 수동형 광 분배기를 통하여 트리 형태로 구성되어 가입자와 서비스 제공자를 효율적으로 연결할 수 있는 광 가입자망 기술이다. EPON에서의 데이터 전송은 OLT에서 ONU로의 하향 전송과 ONU에서 OLT로의 상향전송으로 이루어진다. 하향 전송은 OLT에서 모든 ONU에게 브로드캐스트 방식으로 수행되고, 상향 전송은 다수의 ONU가 공유 대역폭을 TDMA 방식으로 할당받아 유니캐스트 방식으로 수행된다. 특히, 상향전송에서 OLT는 각 ONU에게 공유된 대역폭 할당에 대한 결정을 수행하는데 이를 동적 대역할당 (DBA : Dynamic Bandwidth Allocation) 방식이라 한다. 동적 대역할당은 각 ONU들이 자신의 큐 상태를 OLT에게 보고하고, 이를 근거로 OLT는 각 ONU에게 대역폭을 할당해주는 폴링(Polling) 방식을 사용한다[1].

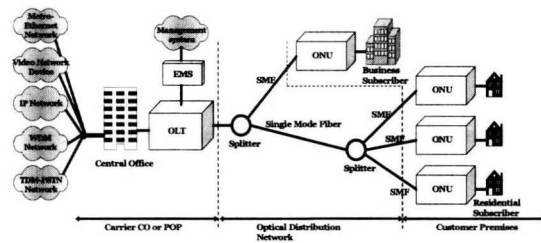


그림 1. 일반적인 EPON 시스템의 구성도

한편, IEEE 802.3ah EFM[2]에서는 최종 사용자들이 사용하는 응용 서비스들의 다양한 요구조건을

충족시키기 위하여 IEEE 802.1D MAC Bridge 프로토콜을 채택하였으며, DiffServ와 유사하게 7단계의 트래픽 클래스를 정의하고 있다[3]. 이를 기반으로 EPON 시스템에서 QoS 지원을 위하여 각 ONU에 트래픽 클래스별로 별도의 전송 큐를 두고 관리를 하며, 전송 큐들에 대한 서비스는 우선순위가 높은 전송 큐에 우선적으로 서비스를 제공하는 Strict Priority Queuing(SPQ)을 채택하고 있다. 따라서 EPON 시스템에서 QoS 지원이 가능하기 위해서는 그림 2에 도시한 바와 같이 Inter-ONU 스케줄링과 Intra-ONU 스케줄링 두 기능의 상호 연동이 반드시 필요하다. 즉, 사용자에게 제공되는 QoS는 Inter-ONU 스케줄링에서 결정된 각 ONU별 할당 대역폭과 Intra-ONU 스케줄링에서 트래픽 클래스별 우선순위에 의한 전송 큐 서비스와의 결합에 의하여 결정된다.

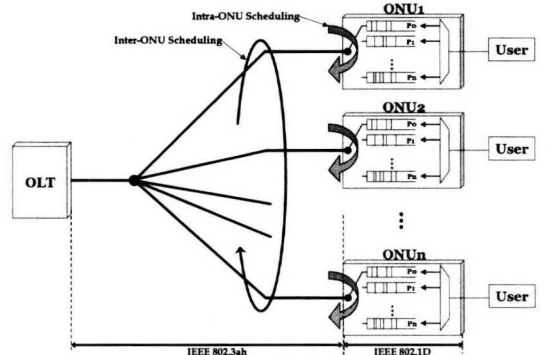


그림 2. Inter-ONU 스케줄링과 Intra-ONU 스케줄링

기존에 연구되었던 EPON 시스템을 위한 동적 대역할당 방식들은 QoS 지원을 위하여 Intra-ONU 스케줄링으로 단순한 SPQ만을 적용하고 Inter-ONU 스케줄링에만 의존하였다[1][4]. 그러나 SPQ는 우선순위가 높은 트래픽 클래스에게 대역폭을 우선적으로 할당을 하기 때문에 우선순위가 낮은 트래픽 클래스는 QoS 성능이 현저히 저하되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 EPON 시스템의 QoS 성능 향상을 위하여 Inter-ONU 스케줄링과 Intra-ONU 스케줄링의 두 기능을 효율적으로 결합한 새로운 동적 대역할당 방식인 가변 윈도우 방식을 제안하고 그 성능을 기존에 제안되었던 동적 대역할당 방식들과 비교함으로써 가변 윈도우의 QoS 성능에 대한 우수성을 입증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II에서는 관련 연

구로서 MPCP(Multi-Point Control Protocol)와 기존에 제안되었던 동적 대역할당 방식의 알고리즘을 소개하고, III에서는 본 논문에서 제안하는 가변 윈도우 방식 알고리즘과 그 특성에 대하여 설명한다. IV에서는 가변 윈도우 방식의 성능을 분석해 보고 기존에 제안되었던 동적 대역할당 방식들의 성능과 비교를 통하여 QoS 성능에 대한 우수성을 입증한다. 마지막으로 V에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 과제에 대하여 기술한다.

## II. 관련 연구

### 1. MPCP(Multi-Point Control Protocol)

MPCP[5]는 PON 및 EPON 전송 제어 기능을 802.3 MAC 제어 계층에 두어 MAC 제어 메시지를 통해 ONU간 전송을 제어하는 방식으로 트리 구조로 분산된 점대다점(Point-to-Multipoint) 전송의 제어를 효율적으로 수행하기 위한 프로토콜이다. MPCP의 기본기능은 ONU간 대역할당을 위해 대역 요구, 전송 허락, ONU등록, Ranging 기능 등이 포함되며 이를 위해 GATE, REQUEST, REGISTER, REGISTER\_REQ, REGISTER\_ACK 등 5종의 제어 프레임이 추가로 정의 되어있다. MAC Control 계층은 MAC 프레임의 전송을 활성화 또는 비활성화 시키고 전송 상태를 제어할 수 있는 기능을 가지므로 OLT는 ONU가 충돌 없이 전송할 수 있도록 MPCP 메시지를 보내 데이터 전송을 조절한다.

OLT의 MPCP는 자동 등록 기능(Auto-Discovery), 동적 대역할당 기능 등에 의해 MPCP 메시지를 생성하여 MAC 제어계층을 통해 ONU에 전달하는 기능을 수행한다.

ONU의 MPCP는 OLT로부터 수신된 전송 제어 정보를 기반으로 하여 MAC 프레임 전송을 활성화 또는 비활성화 시키거나 등록 요구 메시지에 반응한다.

### 2. EPON 동적 대역할당 방식

EPON 시스템에서 사용자 트래픽은 ONU의 전송 큐에 대기하였다가 OLT로부터의 Gate 메시지에 따라 할당된 대역폭을 이용하여 전송된다. EPON 시스템의 대역할당 방식은 크게 고정 대역할당 방식(Static Bandwidth Allocation)과 동적 대역할당(Dynamic Bandwidth Allocation)으로 구분된다. 고정 대역할당 방식은 ONU에 대기하는 사용자 트래픽의 상황에 관계없이 모든 ONU에게 항상 동일한

대역폭을 할당해주는 방식이고, 동적 대역할당 방식은 ONU에 대기하는 사용자의 트래픽 상황에 따라 각 ONU에 할당해주는 대역폭이 탄력적으로 변동되는 방식이다. 본 절에서는 고정 대역할당 방식인 Fixed 방식[6]과 동적 대역할당 방식인 Gated, Limited, Credit 방식[6]의 특성에 대하여 소개한다.

#### 2.1 Fixed 방식

Fixed 방식은 ONU에 대기하는 사용자 트래픽 상황에 관계없이 항상 고정된 전송 윈도우(대역폭)를 할당하는 방식이다.

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

따라서 각 ONU들은 고정된 사이클 시간과 고정 대역폭을 할당 받을 수 있는 장점이 있다. 그러나 고정된 대역폭 할당으로 인해 가입자 수의 제한을 가져오고 급격하게 변화하는 트래픽에 탄력적으로 대처하지 못한다.

#### 2.2 Gated 방식

Gated 방식은 각 ONU의 전송 큐에 대기하고 있는 사용자 트래픽의 양을 계산하여 OLT에게 전송 윈도우를 요청하여, 그에 해당하는 전송 윈도우를 할당받게 된다.

$$W^{[i]} = W_{req} \text{ (ONU's 큐 크기의 의존)}$$

Gated 방식은 ONU에서 원하는 만큼의 전송 윈도우를 할당해 주기 때문에 채널 이용률, 평균 패킷 지연, 평균 큐 대기 시간에서 우수한 성능 보인다. 그러나 각 ONU에서 요청하는 전송 윈도우 크기가 매우 불규칙하기 때문에 사이클 시간의 분포가 매우 불규칙하다. 이러한 문제는 망사업자 측면에서는 효율의 극대화를 가지고 옳수 있지만 가입자 측면에서는 서비스의 QoS를 원활히 지원받지 못하게 된다. 특히 지연에 민감한 실시간 서비스에는 적절하지 못하다.

#### 2.3 Limited 방식

Limited 방식에서는 각 ONU가 할당 받을 수 있는 최대 전송 윈도우 크기를  $W_{max}$ 로 제한한다. 따라서 ONU가 최대 전송 윈도우 크기보다 작은 윈도우 크기를 요청한다면, Gated 방식과 마찬가지로 요청한 윈도우 크기를 할당한다. 그러나 ONU가 요

청한 윈도우 크기가 최대 전송 윈도우 크기보다 크다면 ONU에게 부여하는 전송 윈도우의 크기는 최대 전송 윈도우 크기가 된다.

$$W^{[i]} = \min(W_{Max}, W_{Req})$$

따라서 Limited 방식은 최대 전송윈도우 크기가 작을수록 Fixed방식과 유사하게 되고, 최대 전송윈도우 크기가 클수록 Gated 방식과 유사한 특성을 보인다.

2.4 Credit 방식

Credit 방식은 Constant Credit 방식과 Linear Credit방식이 있다. Constant Credit 방식은 ONU에서 요청한 윈도우 크기에 정해진 여분의 윈도우를 합해서 전송 윈도우를 할당해 주는 방식이다.

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

Linear Credit 방식은 요청한 윈도우 크기에 비례하여 여분의 윈도우를 정하여 ONU에게 할당해 주는 방식이다.

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

Credit방식은 Gated와 Limited방식의 문제점인 우선순위가 낮은 트래픽의 전송기회가 줄어드는 것을 방지 할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 단순히 여분의 전송 윈도우를 부여함으로써 불필요한 대역폭 낭비와 사이클 시간이 길어진다는 단점을 가지고 있다.

III. 가변 윈도우

본 논문에서 제안하는 가변 윈도우(Variable Transmission Window)방식은 기존에 제안되었던 동적 대역할당 방식들이 단순히 Strict Priority Queuing(SPQ)과 결합되어 우선순위가 높은 클래스는 서비스에서 요구하는 이상의 높은 서비스 품질을 제공 받지만 우선순위가 낮은 클래스의 서비스 품질은 현저히 낮은 서비스 품질을 제공받는 단점을 보완하고자 하는데 목적이 있다.

가변 윈도우 방식은 DiffServ에서 정의하는 다양한 등급의 서비스 품질에 대한 차별화가 가능하다.

특히, 본 논문에서는 EF(Expediated Forwarding) 클래스, AF(Assured Forwarding) 클래스, BE(Best Effort) 클래스의 세 가지 서비스 등급을 가정하고, EF 클래스에는 음성과 같은 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을, AF 클래스에는 압축 동영상 데이터와 같은 VBR(Variable Bit Rate) 트래픽을, BE(Best Effort) 클래스에는 일반적인 데이터 트래픽이 사용된다는 가정을 한다. 또한 EF 클래스, AF 클래스, BE 클래스의 요청 크기를 각각  $W_{req}^{EF}$ ,  $W_{req}^{AF}$ ,  $W_{req}^{BE}$ 라 정의한다.

가변 윈도우 방식의 특징은 우선 OLT에서 각 ONU에 최대 할당할 수 있는 전송 윈도우 크기가 최대 전송 윈도우 (또는 Window\_Max)로 제한되어있다. 또한 Window\_Max는 다시 두 개의 전송 윈도우로 나뉘는데 하나는 Window\_Limited이고 다른 하나는 Window\_Extra이다. Window\_Limited는 앞서 설명한 Limited 방식에서 도입된 개념으로 ONU에서 요청한 전송 윈도우 크기에 의하여 결정되고, 최대 허용 전송 윈도우 값은 Window\_Limited에 의하여 제한된다. 특히, Window\_Limited는 EF 클래스에게 할당될 수 있는 최대 전송 윈도우 값을 제한한다.

Window\_Extra는 ONU의 요청 전송 윈도우 크기가 Window\_Limited 이하인 경우에는 할당되지 않는다. 다만, ONU의 요청 전송 윈도우 크기가 Window\_Limited를 초과한 경우  $W_{req}^{AF}$ 와  $W_{req}^{BE}$ 의 합이 Window\_Limited를 초과한 부분에 대해서 Window\_Extra를 할당한다. 즉, EF 클래스는 Window\_Extra에 대한 사용 권한이 없고, 다만 하위 클래스인 AF 클래스와 BE 클래스에게만 권한이 있다. Window\_Extra는 VBR 클래스와 BE 클래스에게 할당될 수 있는 최대 전송 윈도우로 정의된다. 이때 Window\_Extra의 값은 Window\_Limited 값의  $K(>0)$ 배를 취한다.

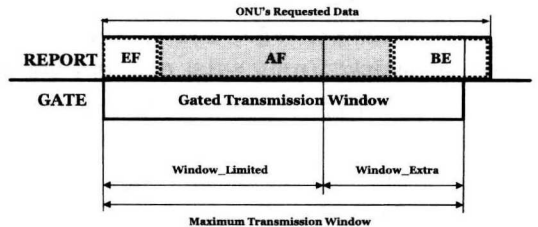


그림 3. 가변 윈도우 방식에서의 전송 윈도우 할당

가변 윈도우 방식에서의 ONU에 할당될 수 있는 최대 전송 윈도우 Window\_Max는 Window\_Limited와 Window\_Extra의 합이고 Window\_Extra는 우선순위가 낮은 AF 클래스와 BE 클래스에 의하여 결정된다. 가변 윈도우 방식에서의 전송 윈도우 결정과정의 예를 그림 3에 나타내었다.

가변 윈도우 방식에서 결정되는 각 전송 윈도우 값을 정리하면 다음과 같다.

$$W^{[i]} = \min((W_{Limited}^{[i]} + W_{Extra}^{[i]}), W_{Variable}^{Max})$$

$$W_{Limited}^{[i]} = \min(W_{req}, W_{Limited}^{Max})$$

$$W_{Extra}^{[i]} = \begin{cases} 0, & \text{if } (W_{req} - W_{Limited}^{Max}) < 0 \\ \min((W_{req} - W_{Limited}^{Max} - W_{EF}^{Over}), W_{Extra}^{Max}), & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W_{Variable}^{Max} = W_{Limited}^{Max} + W_{Extra}^{Max}$$

$$W_{Extra}^{Max} = K \times W_{Limited}^{Max}, K > 0$$

$W^{[i]}$ : 특정 ONU에 할당되는 전송 윈도우 크기

$W_{EF}^{Over}$ :  $W_{req}^{EF}$ 가 Window\_Limited를 초과한 값

$W_{Limited}^{Max}$ : Window\_Limited 값

$W_{Extra}^{Max}$ : Window\_Extra 값

$W_{Variable}^{Max}$ : OLT에서 할당 가능한 최대 전송윈도우 크기

OLT에서 결정된 전송 윈도우 값을 할당 받은 ONU는 EF, AF, BE 클래스 큐에 대기하고 있는 패킷을 해당하는 양만큼 전송하게 되는데, 각 클래스별 큐 서비스는 EF, AF, BE 클래스 순으로 서비스를 받게 된다. 즉, EF 클래스는 가장 우선적으로 서비스를 받는데 최대 Window\_Limited 값까지 대기하고 있는 패킷을 전송할 수 있다. 그 다음으로 AF 클래스가 큐에 대기하고 있는 패킷을 전송하는데 다음과 같은 두 가지 경우가 발생한다. 첫 번째 경우 잔여 전송 윈도우가 AF 클래스 큐에 대기하고 있는 총 패킷의 크기보다 큰 경우, 모든 대기 패킷을 전송하고, 그 후 잔여 전송 윈도우는 BE 클래스에 의하여 사용된다. 두 번째 경우 잔여 전송 윈도우가 AF 클래스 큐에 대기하고 있는 총 패킷의 크기보다 작은 경우, 전송 윈도우가 허용하는 만큼의 패킷을 전송한다. 두 번째 경우 BE 클래스 큐는 서비스를 받지 못한다. 마지막으로 BE 클래스 큐가 서비스를 받는데 EF, AF 클래스 큐의 서비스 후에

잔여 전송 윈도우만큼 BE 클래스 큐의 패킷들을 전송하게 된다.

가변 윈도우 방식의 특징은 크게 두 가지로 하나는 Window\_Extra에 의한 우선순위가 낮은 AF, BE 클래스의 QoS 성능 개선과 또 다른 하나는 우선순위가 높은 EF 클래스의 연결 호 제어 (Call Admission Control) 기능이다. 가변 윈도우 방식의 Window\_Extra 값은 Window\_Limited 값의 K배를 취하는데, K 값이 0에 근접할수록 Limited 방식의 성능과 유사하게 되고 K 값이 증가 할수록 AF, BE 클래스가 사용할 수 있는 전송 윈도우가 증가하게 되어 AF, BE 클래스의 QoS 성능이 향상된다. 그러나 K 값이 증가하게 되면 사이클 시간의 변동 폭이 증가하게 되어 CBR 특성을 갖는 EF 클래스의 QoS 성능이 저하될 수 있다. 따라서 AF, BE 클래스의 QoS 성능 향상과 동시에 EF 클래스의 QoS 성능이 유지될 수 있는 K 값에 대한 최적화 과정이 중요하다.

EF 클래스의 연결 호 제어 (Call Admission Control) 기능은 각 ONU의 Window\_Limited 값은 EF 클래스 큐의 최대 전송 용량을 규정하기 때문에, 만약 ONU에 EF 클래스 트래픽이 Window\_Limited 값보다 훨씬 초과하게 되어 발생 되면 EF 클래스의 서비스 품질이 현저히 저하되게 된다. 이를 방지하기 위해서 각 ONU에서는 EF 클래스 큐의 길이를 감시하다가 서비스 품질의 저하가 예상될 정도의 EF 클래스 트래픽이 증가하면 더 이상의 Call 요청을 거절하는 연결 호 제어 (Call Admission Control) 기능을 수행하게 된다. EF 클래스의 성능 향상을 위하여 Window\_Limited 값은 EPON 시스템 설계 시 예상 EF 클래스 트래픽을 기초로 적절한 값으로 설정되어야 하고, 경우에 따라서 Window\_Limited 값을 트래픽 상황에 적응적으로 변화 시키는 것도 가능하다.

#### IV. 성능 평가

##### 1. 시뮬레이션 모델과 파라미터

가변 윈도우 방식의 성능평가를 위하여 C++언어를 사용하여 시뮬레이션 프로그램을 구현하였으며, 표 1과 같은 시뮬레이션 파라미터 값들을 가정하였다. 세 QoS 클래스에 대한 입력 트래픽은 EF 클래스에 CBR 특성을 갖는 VoIP 트래픽을, AF 클래스에 VBR 특성을 갖는 실시간 동영상 스트리밍 트래픽을, BE 클래스에는 일반적인 인터넷 데이터 트래

픽을 가정하였다. 또한 EF 클래스 트래픽은 T1 over Ethernet을 고려하여 4.48Mbps CBR 트래픽이 발생되고, AF 클래스와 BE 클래스는 전체 트래픽에서 EF 클래스를 제외하고 각각 50% 비율을 차지한다고 가정하였다. 예로, 트래픽 부하가 1.0인 경우 발생되어야 하는 전체 트래픽은 1Gbps이고 그중에 EF 클래스는 16개의 ONU에서 각각 4.48Mbps를 생성하여 총 71.68Mbps으로 발생되고, EF 클래스를 제외한 928.32Mbps에서 AF 클래스와 BE 클래스는 각각 50%씩 차지하여 각각 464.16Mbps으로 트래픽을 발생한다. EF 클래스의 평균 패킷 길이는 70Byte를 가정하였고, AF 클래스와 BE 클래스의 패킷은 평균 100Byte를 중심으로 지수분포에 따라 발생된다.

가변 윈도우 방식의 QoS 성능을 비교 분석하기 위하여 기존에 제안된 Fixed 방식, Gated 방식, Limited 방식의 성능과 비교하였다. Fixed 방식의 경우 각 ONU 별 할당 전송 윈도우 크기를 200K Byte로, Limited 방식의 경우 최대 전송 윈도우를 300K Byte로, 가변 윈도우 방식의 경우 Window\_Extra를 300K Byte의 K배로 설정하였다. 각 방식들의 QoS 성능 지표로는 EF 클래스 평균 패킷 지연시간, AF 클래스 평균 패킷 지연시간, AF 클래스의 수율(Throughput), BE 클래스의 수율, 그리고 상향 링크에 대한 효율성(Utilization)을 고려하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
Number of ONUs	16
Number of Priority Classes	3
EPON Line Rate	1G bps
Buffer Size	10Mbyte
Distance between OLT and ONU	10Km
Propagation Delay	50µs
Guard Time	10ns

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

가변 윈도우 방식의 QoS 성능을 타 방식들의 성능과 QoS 클래스별로 비교 분석한다.

그림 4는 각 방식별 EF 클래스의 평균 패킷 지연을 상향 링크의 트래픽 부하에 대한 함수로 나타내고 있다. Gated방식은 트래픽 부하가 증가함에 따라 사이클 시간이 증가하게 되어 EF 클래스의 평균 패킷 지연이 크게 증가함을 볼 수 있다. 따라서 Gated방식은 실시간 음성 서비스와 같은 CBR 클레

스 트래픽을 지원하기에는 적절하지 않다. 반면 Limited방식은 트래픽 부하가 적은 부분에서는 Gated와 유사한 성능을 보이지만 트래픽 부하가 증가하게 되면 최대 전송윈도우 크기의 제한으로 인하여 일정한 사이클 시간이 유지되어 평균 패킷 지연이 Gated 방식에 비하여 향상된 것을 볼 수 있다. Fixed방식은 고정된 전송윈도우 할당으로 항상 사이클 시간이 일정하게 되고, 따라서 트래픽 부하에 영향을 받지 않고 일정한 패킷 지연을 보인다. 가변 윈도우 방식의 평균 패킷지연 성능은 Gated 방식과 Limited 방식의 중간 정도를 나타내고 있다. K값이 증가함에 따라 Gated 방식에 근접하게 되고, K값이 감소함에 따라 Limited 방식에 근접하게 된다. 이는 AF 클래스와 BE 클래스 큐 전송 지원을 위한 Window\_Extra 때문이다. 그림 4와 같이 가변 윈도우 방식은 K값에 의해 EF 클래스의 평균 패킷 지연 제어가 가능하다. 따라서 EPON 시스템의 트래픽 부하가 높은 경우 (0.6 이상) 가변 윈도우 방식의 K값은 EF 클래스의 평균 패킷 지연시간이 허용

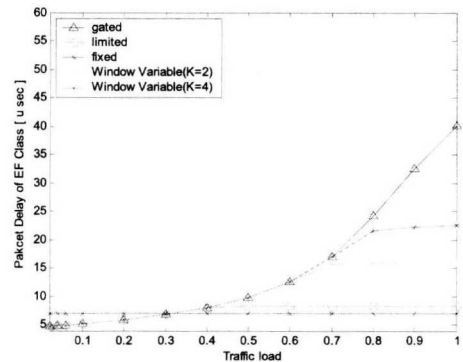


그림 4. EF 클래스의 평균 패킷 지연시간

되는 범위에서 내에서 결정되어야 한다. 그림 5는 AF 클래스의 평균 패킷 지연을 상향링크의 트래픽 부하에 대한 함수로 나타내고 있다. 우선 Fixed 방식은 고정된 전송 윈도우를 할당하기 때문에 트래픽양이 증가하게 되면 SPQ의 우선순위에 따라 EF 클래스 트래픽이 우선적으로 전송 윈도우를 사용하기 때문에 AF 클래스의 패킷 지연이 급격히 증가하는 현상을 보인다. Limited방식 또한 최대 전송 윈도우가 제한되었기 때문에 트래픽 부하가 높은 경우 AF 클래스의 평균 지연이 증가하는 것을 볼 수 있다.

반면 가변윈도우 방식은 AF 클래스에게 우선적으로 할당되는 Window\_Extra로 인하여 타 방식들

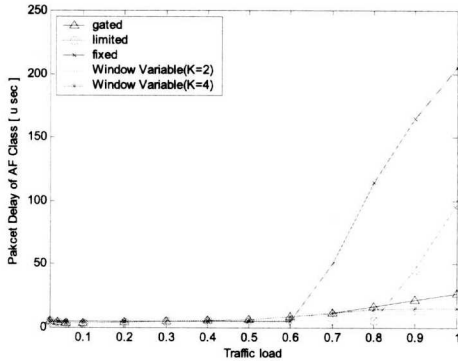


그림 5. AF 클래스의 평균 패킷 지연시간

에 비해 패킷 지연시간 (트래픽 부하가 높은 경우) 이 현저히 낮고, 심지어 요청된 전송 윈도우를 전부 할당해주는 Gated 방식 보다 더 낮은 지연을 보이고 있다. 또한 그림 6에서와 같이 Limited 방식, Fixed 방식의 경우 트래픽 부하가 아주 낮은 경우 EF 클래스가 AF 클래스와 BE 클래스의 전송 윈도우를 모두 점유하여 Light Load Penalty[6] 문제가 발생하는 반면, 가변 윈도우 방식에서는 AF 클래스 및 BE 클래스에 대한 Light Load Penalty 현상이 현격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

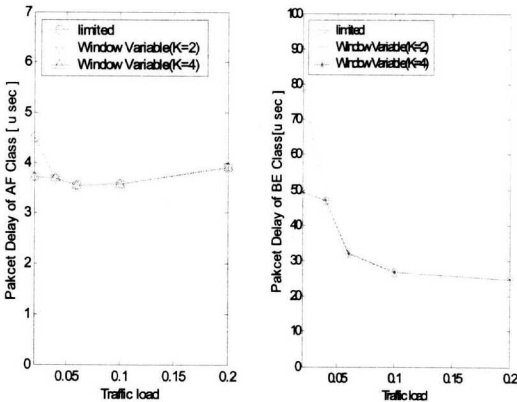


그림 6. AF 클래스에서의 Light Load Penalty 현상

그림 7은 AF 클래스 수율의 성능을 보여주고 있다. 예상되는 바와 같이 가변 윈도우 방식이 Fixed 방식, Limited 방식, 심지어 Gated 방식보다 높은 수율을 보이고 있음을 알 수 있다.

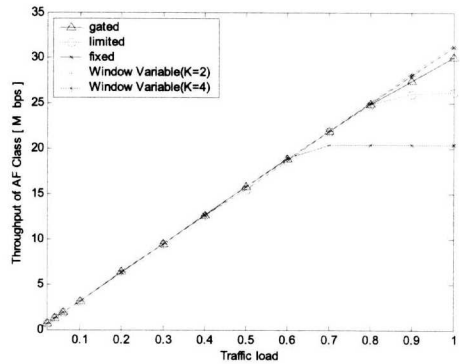


그림 7. AF 클래스 수율(Throughput)

BE 클래스에 대한 각 방식별 수율을 그림 8에 나타내었다. 기존 방식들에 대한 수율은 Gated 방식, Limited 방식, Fixed 방식 순이고, 가변윈도우 방식은 K 값에 따라 Gated 방식과 Limited 방식의 사이의 수율을 보이고 있다. 현재 가변 윈도우 방식에는 Window\_Extra 사용에 대해 AF 클래스가 BE 클래스에 우선하는 SPQ가 적용되고 있다. 그러

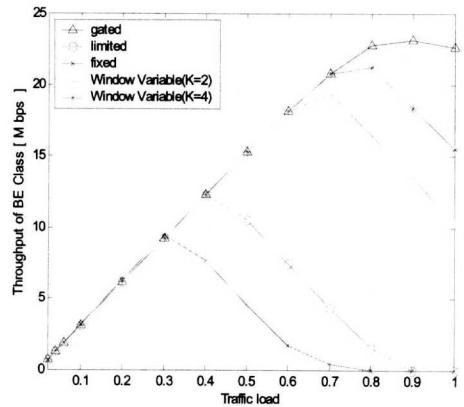


그림 8. BE 클래스 수율(Throughput)

나 AF 클래스와 BE 클래스 간의 서비스 비율을 정하면 (예, 8:2 비율) BE 클래스의 최소한 보장된 성능을 얻을 수 있다. 다음으로 각 방식별 상향 링크 수율을 그림 9에 나타내었다. Gated 방식은 요청하는 윈도우만큼 할당해 주기 때문에 링크 효율성이 가장 높다. 반면 Fixed 방식과 Limited 방식의 경우 제한된 전송윈도우로 인해 트래픽의 증가에 따라 효율성 또한 다른 방식에 비해 떨어짐을 볼 수 있다. 가변윈도우 방식은 K값의 설정에 따라 Gated 방식과 Limited 방식 사이의 링크 효율성 갖는다.

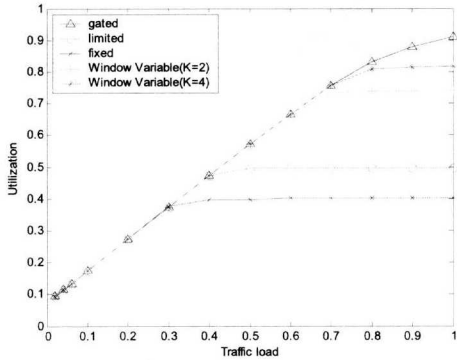


그림 9. 상향 링크 효율성(Utilization)

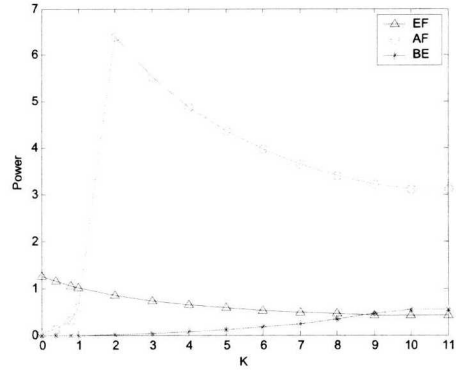


그림 10. 최적의 K 값

### 3. 가변 윈도우 방식 성능 최적화

가변윈도우 방식의 QoS 성능 최적화를 위하여 각 클래스별 QoS 성능에 대한 Power를 계산하였다. 클래스별 QoS Power는 다음과 같이 정의된다 [7].

$$Qos\ Power = \frac{Throughput}{\nabla ay}$$

즉, QoS Power란 각 클래스별로 최소의 지연으로 최대의 Throughput을 가지는 최적의 K 값을 결정하는 기준이다.

그림 10은 트래픽 부하를 0.7로 고정 하였을 때 최적의 K 값 결정을 위한 각 클래스별 QoS Power를 나타내고 있다. 우선 EF 클래스의 파워값은 K 값이 증가함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보인다. 이는 EF 클래스의 수율은 일정하나 K 값의 증가에 따라 패킷 지연이 증가하기 트래픽 때문이다. 다음으로 BE 클래스의 파워값은 K 값에 따라 조금씩 증가하는 경향을 보이는데, 이는 K 값의 증가에 따라 BE 클래스의 수율 증가분이 패킷 지연의 증가분 보다 조금 높기 때문이다. 마지막으로 AF 클래스의 파워값은 K값에 따라 증가를 하다 2에서 최대값을 갖고 점차 감소하는 형태를 갖는다. 그림 10으로부터 가변 윈도우 방식의 최적화된 K 값은 다음과 같이 결정된다. 우선 K 값 결정을 위하여 EF 클래스의 QoS 성능을 만족 시키는 허용 패킷 지연을 고려하여야 한다. 즉, 그림 4에서와 같이 최대 허용 패킷 지연에 따라 허용 K 값의 범위를 정한다. 예로, 그림 4에서 최대 허용 패킷 지연이 30 usec인 경우 최대 K 값은 4.0을 초과해서는 안 된다. 다음으로 AF 클래스의 QoS 성능을 극대화하는

K 값을 EF 클래스가 허용하는 범위에서 결정한다. 그림 10에 의하면 K가 4를 초과하지 않는 범위에서 최적의 K 값은 2임을 알 수 있다. 따라서 가변 윈도우 방식을 사용하여 동적 대역 할당을 할 경우 K값이 2일때 가장 좋은 QoS 지원 성능을 보일 것이라 예상 할 수 있다. 하지만 트래픽 부하에 따라 그림 10의 QoS 파워값은 변화되기 때문에 EPON 시스템에 부과 되는 트래픽 부하의 절적인 예측과 이에 따른 최적의 K 값 설정이 요구된다.

## V. 결론

현재 가입자망이 전체 통신망 성능의 병목구간인 점을 고려할 때, 새로운 가입자망을 위한 핵심 기술로 EPON 기술이 많은 관심을 받고 있다. EPON 시스템의 상향 링크를 위한 많은 동적 대역할당 방식이 제안되었지만 QoS 지원을 고려한 방식에 대한 연구는 매우 미비한 상태이다. 본 논문에서는 EPON 시스템에서의 QoS 지원을 위한 새로운 동적 대역할당 방식으로 가변 윈도우 방식을 제안하였다. 가변 윈도우 방식의 특징은 EF 클래스의 QoS는 Window\_Limited로 보장을 하고, 하위 클래스인 AF 클래스와 BE 클래스에게 Window\_Extra를 할당할 수 있도록 하여 QoS를 향상 시킨다는 점이다. 성능 평가를 통하여 가변 윈도우 방식의 QoS 성능이 타 방식에 비하여 우수한 점을 확인하였고, 또한 가변 윈도우 방식의 중요한 성능 파라미터인 K 값의 최적화 과정을 기술하였다. 향후 과제로 Inter-ONU 스케줄링을 통한 ONU 간의 통계적공평성(Fairness) 문제와 좀더 향상된 Intra-ONU 스케줄링 문제에 대한 연구가 필요하다.



### 참 고 문 헌

[1] HoSook Lee, TaeWhan Yoo, "A Design of MPCP Master Function for Ethernet PON," pp.317-321, KICS' COMSW'2002, Jul. 2002.

[2] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force Baseline Technical Proposals, Jul. 2002.

[3] ANSI/IEEE Standard 802.1D, "IEEE standard for information technology -telecommunication and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-common specifications. Part 3: media access control (MAC) bridges (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998)

[4] G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye and R. Hirth, "Supporting differentiated class of service in Ethernet passive optical networks," Journal of optical networking, Vol. 1, 280-298, 2002.

[5] IEEE Draft P802.3ah/D1.414, "Draft amendment to carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specification-Media access control parameters, physical layers and management parameters for subscriber access network", May. 2003.

[6] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 2, 74-80, Feb. 2002.

[7] 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, 307-319, Jul. 2001.

황 준 호(Junho Hwang)

준회원

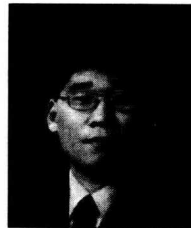


2004년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2004년 3월~현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

<관심분야> Optical Network , OBS , EPON

유 명 식(Myungsik Yoo)

정회원



1989년 2월 : 고려대학교 전자전산공학과 학사  
 1991년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사  
 2000년 1월~8월 : Dept. of Electrical Engineering, SUNY at Buffalo 박사

2000년 9월~현재 : 숭실대학교 정보통신전자 학부 조교수

<관심분야> 광네트워크, OBS, 무선 네트워크, 네트워크 QoS