

# Ethernet PONs에서 서비스 클래스별 전송 우선순위를 적용한 DBA 스케줄링 방식 및 성능 분석

남 윤 석<sup>†</sup>

## 요 약

EPON 가입자 망은 매체를 공유하고, EPON 가입자의 5트래픽을 통합하여 전송하기 때문에 EPON 대역 할당에 대한 제어 방식이 중요하게 다루어지고 있으며, TDMA에 기반한 DBA 방식은 표준에 포함하지 않아서 다양한 알고리즘이 적용될 수 있다. 본 논문은 최선형 서비스와 지연 우선순위 큐 기반으로 높은 우선순위의 트래픽에 대하여 지연 QoS를 보장하는 DBA 방식에 관한 것으로, 제안된 DBA 방식은 전체 트래픽에 대하여 가상 스케줄링 방식을 사용하고 서비스 클래스의 우선순위에 따라 차례로 각 클래스의 트래픽에 적용하는 방식이며, 표준 규격에 명시된 MAC 메시지를 사용하며 DBA 기능 구성이 간단하면서도 각 클래스에 맞게 QoS를 보장할 수 있다. 모사시험을 통하여 폴링시간간격, 상향 및 하향 트래픽 부하 등에 따른 서비스 클래스 별 트래픽의 지연시간으로 성능을 평가하였으며, 가입자의 상향 트래픽 발생에 따른 실제 전달된 통합 트래픽의 양 등을 분석하였다. 제안된 방식과 같이 간단한 우선순위 적용으로도 지연 우선 순위가 높은 트래픽에 대하여 QoS 보장이 충분히 수행되는 것을 확인하였다.

키워드 : EPON, MPCP, 동적대역할당방식, 트래픽 스케줄링

## Service Class Priority Controlled DBA Scheduling Method and Performance Evaluation in Ethernet PONs

Yoon-Seok Nam<sup>†</sup>

## ABSTRACT

Because EPON access network shares a medium and aggregates the traffic from EPON subscribers, scheduling media access control on EPON bandwidth allocation is very important. Furthermore DBA mechanism of EPON based on TDMA is out of specification and up to implementation. This paper deals with a DBA method to guarantee the QoS of the delay sensitive traffic on the base of best-effort service and delay priority queue management. The proposed method performs virtual scheduling algorithm for the integrated traffic. It uses the same MAC messages and tries to guarantee the QoS of higher priority traffic first with a simple DBA architecture. We evaluate the algorithm for traffic delay according to polling interval and traffic load of upstream and downstream. The results show that the proposed method can guarantee the QoS of the delay sensitive traffic with priority of the service classes.

Key Words : EPON, MPCP, DBA, Traffic Scheduling

## 1. 서 론

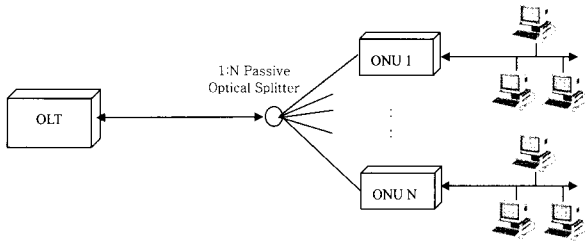
수동형 광 망(PON: Passive Optical Network)은 WWW (World Wide Web) 이후 급격히 증가하고 있는 인터넷 서비스를 비롯한 데이터 서비스 및 고화질의 비디오 서비스 등의 광대역 서비스를 가입자에게 제공하기 위하여 광섬유를 가입자 단까지 직접 연결하는 광 액세스 가입자 망이다. PON 장치로는 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 기반의 B-PON

(Broadband PON) [1, 2]과 Ethernet 프로토콜 기반의 EPON (Ethernet Passive Optical Network) [3, 4, 5, 6]이 있으며, 최근 EPON이 가입자 망의 유력한 기술로 대두되고 있다. EPON은 CATV 망 기술의 하나인 DOCSIS 표준과 ITU-T의 ATM PON 기술을 활용한 기술로 IEEE 802.3ah D1.0에서는 EPON의 데이터 전송을 위해 100 Mbit/s, 1 Gbit/s 및 10 Gbit/s의 링크를 규정하고 있다.

(그림 1)은 EPON 가입자 망 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 EPON은 능동형 요소가 없는 점 대 다(Point-to-Multipoint) 광 네트워크이며, OLT(Optical Line Terminal)와 스플리터(Splitter) 그리고 16개 이상의 ONU(Optical Net-

<sup>†</sup> 중신회원 : 동국대학교 정보통신공학과 교수  
논문접수 : 2005년 6월 8일, 심사완료 : 2005년 7월 19일

work Unit)로 구성되며, 하향 전송(OLT에서 ONU방향)은 점대다로 방송되고 상향 전송은 다대점(Multipoint-to-Point)으로 OLT에서의 제어에 의하여 전송이 이루어진다. OLT는 중앙 기지국의 지역 교환기에 위치하여 IP, ATM 또는 SONET 백본망 등으로 광 액세스 망을 연결하고, ONU는 가입자 단에 위치(FTTC, FTTH, FTTB)하여 광대역 음성, 데이터, 비디오 서비스 등을 제공한다.



(그림 1) EPON 가입자 망 구성도

EPON의 다대점 상향 전송은 다양한 QoS(Quality of Service)를 가진 가입자의 서비스 요구를 보장할 수 있어야 하며, 이러한 요구를 쉽고 간단하게 보장하는 TDMA(Time Division Multiplexing Access) 방식이 있다. TDMA 방식은 가입자의 서비스 요구를 만족시키기 위하여 고정된 대역폭을 가입자 별로 할당하는 방식으로 여분의 대역폭이 다른 가입자에게 사용될 수 없으므로 대역폭의 낭비가 단점이나 ONU 별로 허용된 최대 대역폭 이내에서는 QoS 보장이 용이하고, 제어가 간단하기 때문에 망 장비 업체에서 많이 채택되고 있다. 능동적으로 대역폭을 할당하는 기법인 DBA(Dynamic Bandwidth Allocation) 방식은 TDMA에 비하여 효율적인 대역 사용 및 융통성 있는 대역 할당 측면에서 유리하여 많은 연구가 수행되고 있다. DBA의 기본 개념은 상향 전송로의 대역폭을 사용자의 요구에 따라 능동적으로 할당하는 것으로 이 기능은 네트워크 운영자에게도 여러 사용자에게 하나의 전송로를 공유 시키는 기능을 제공한다. 서로 다른 종류의 통합 트래픽은 QoS가 요구되는 트래픽과 최선형 트래픽으로 다중화되어 유입될 때 최선형 트래픽을 위한 대역폭을 최대한 할당 하면서도 어떻게 서로 다른 QoS 요구 사항들을 보장할 수 있는지의 여부가 이러한 대역폭 할당 기법의 설계에 있어서 핵심 기술이다.

EPON DBA 방식을 더욱 효율적으로 사용하기 위하여 Kramer등은 능동적인 대역폭 할당을 하기 위해 보간 폴링 기법을 기반으로 한 IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time)[6]라는 DBA기법을 사용하였다. 이 기법은 종단 사용자들의 큐 길이 정보에 따라 대역폭을 제공하고, 상향 트래픽의 사용율을 향상시킬 수 있다. IPACT 방식은 QoS를 고려하지 않은 최선형 방식으로 기존 Ethernet 방식과 서비스 개념이 유사하며, 이후 IPACT 방식에 대한 수학적 해석 및 IPACT의 보간폴링 방식을 기본으로 하는 DBA 방식[7~10]이 연구되었다. 특히 DGPS(Dual Generalized Processor Sharing) 스케줄링 방식[10]은 OLT에서 ONU 트래픽의 QoS

에 따라 흐름제어를 수행함으로써 사용자 트래픽의 QoS 제어를 시도하였다. 최근 EPON DBA 연구에서는 사용자 트래픽의 QoS 보장에 대하여 고려되고 있으며, DGPS의 경우 서비스별 지연시간 상한값을 설정하고 서비스함으로써 OLT의 제어가 복잡해지는 단점이 있다. 또한 모든 연구에서 하향 트래픽에 대한 고려가 충분하지 못하여 정상적인 데이터 전송 환경에서의 성능 분석 및 문제점 제시가 부족하였다. 또한 최근에는 하향 트래픽에 대한 연구도 이루어 지고 있으며, ONU의 하향 트래픽 균등 사용에 대한 필요성과 제어 방안이 제시되고 있다[11].

본 논문에서 제안하는 EPON DBA 방식은 각 ONU에서 발생하는 서로 다른 QoS의 트래픽들을 구분하여 서비스하는데 있어서 각 트래픽의 서비스 우선순위에 따라 최선형으로 서비스하고, 가입자별로는 공정한 서비스가 이루어질 수 있도록 가상 스케줄링을 수행하며, 상향 트래픽이 많지 않을 경우 특정 가입자가 여분의 대역폭을 사용할 수 있도록 제한한다. 또한 OLT에서 ONU를 폴링하는 주기와 하향 트래픽을 고찰함으로써 상향 트래픽 전송에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문에서 사용한 스케줄링 방식은 ATM에서 셀 단위로 사용한 VSA(Virtual Scheduling Algorithm)[12] 방식과 바이트 단위로 사용되 주어진 기준시간 단위로 적용한 Frame Relay 트래픽 제어 방식[13]을 혼합한 바이트 단위의 가상 스케줄링 방식을 사용하고, 또한 지연변이 등을 고려한 최대 Burst 허용량 MBS(Maximum Burst Size)는 기준시간(1초) 동안의 트래픽으로 사용하며 시뮬레이션을 수행하였다.

## 2. EPON에서의 트래픽제어 고찰

### 2.1 서비스 클래스의 정의

트래픽제어에서 QoS 파라메타로는 주로 지연시간, 패킷손실, 그리고 지연의 변이 등으로 구분한다. 지연시간 및 지연변이는 실시간 서비스에서 가장 중요하게 다루는 QoS 파라메타이다. 반면에 파일전송 등의 비실시간 서비스에서는 패킷손실이 중요한 파라메타로 다루어진다. 실시간 및 비실시간 데이터가 전송되므로 최근의 EPON 연구는 지연 및 지연변이에 대한 성능이 더욱 중요하게 연구되고 있으며, IEEE802.1Q에서는 8개의 서비스 클래스로 구분하고 있다. (표 1)은 ATM

<표 1> ATM에서의 서비스 클래스

Characteristics	Service Class			
	Type A	Type B	Type C	Type D
End-to-end timing	Real-time		Non-Real-time	
Cell rate	Constant	Variable		
Connection Type	Connection oriented			Connectionless
AAL Type	AAL1	AAL2	AAL3/4, AAL5	AAL3/4, AAL5
Examples	DS1, E1, n x 64kbps Emulation	Compressed video and/or voice	Frame relay, X.25	IP, SMDS

규격에서 서비스 클래스를 구분한 것이다. 표에서와 같이 서비스 클래스는 종단간의 실시간성, 트래픽 발생 특성, 연결지 원 및 AAL 등으로 구분하였다. 표에서 명시된 Type A, B, C 및 D의 서비스 형태는 CBR(Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), UBR(Unspecific Bit Rate) 등의 용어를 사용하고, 또한 가변속도 트래픽의 경우에도 실시간성 및 비 실시간성의 서비스로 구분하여 각각CBR/VBR1/VBR2/ UBR 로 구분하여 일컫는다.

2.2 ONU 전송 대역 분석

TDMA 방식의 경우, 전송할 데이터가 없는 ONUs 의 여 분 대역을 다른 ONU에서 사용할 수 없기 때문에 다른 ONU 의 트래픽에 영향이 거의 없다. 그리고 대부분의 EPON DBA 방식에서는 전송할 데이터가 없는 ONUs 의 여분 대역을 전 송할 데이터가 있는 ONUs의 트래픽 특성 개선에 활용하고 있다. EPON DBA 방식에서는 전송할 데이터가 없는 ONUs 의 여분 대역을 다른 ONU에서 사용할 수 있어야 하며, ONU 간에도 공정한 대역 할당이 필요하다.

(그림 2)는 IPACT 방식에서의 패킷 전송 예를 나타낸 것 이다. OLT는 자신의 폴링 테이블에 각 ONU의 버퍼에 남아 있는 데이터 양과 RTT(Round Trip Time) 정보를 유지하고 있다. 그림에서와 같이 OLT는 ONU-1에게 Grant 메시지를 전송하고, ONU-1은 Request 메시지와 Grant 메시지에서 허 용된 데이터 양을 전송한다. OLT는 폴링 테이블 정보를 이 용하여 ONU-1의 데이터 전송이 언제 완료될지 알고 있기 때문에 이 정보를 이용하여 ONU-2에게 Grant 메시지를 전송하고, 마찬가지로 ONU-2는 Request 메시지와 Grant 메세 지에서 허용된 데이터 양을 전송한다. OLT는 폴링 테이블 정보를 이용하여 ONU-2의 데이터 전송이 언제 완료될지 알 고 있기 때문에 이 정보를 이용하여 ONU-3에게 Grant 메세 지를 전송하고, 마찬가지로 ONU-3는 Request 메시지와 Grant 메시지에서 허용된 데이터 양을 전송한다. 각 ONU의 Request 메시지에 포함된 ONU 버퍼에 저장된 데이터의 양 은 OLT의 폴링 테이블을 개선시킴으로써 다음 Grant 메시지에 스케줄링된다. ONU에 저장된 버퍼가 없는 경우, OLT와 ONU 간에는 Grant 메시지와 Request 메시지만 전송된다. 즉, IPACT 방식은 OLT로의 상향 트래픽이 링크 속도에 도 달하도록 전송효율을 향상시키기 위한 Grant 메시지 전송 시 점을 제어하는 방식으로 요약할 수 있다. IPACT의 상향 전송 스케줄링은 다음 수식으로 표현될 수 있다.

$$G[i+1] = G[i] + T_{RTT}[i] - T_{RTT}[i+1] + \frac{L_{grant} + L_{data}}{R} + T_{guard} \quad (식 1)$$

여기에서

$G[i+1], G[i]$  : Grant Time for i-th ONU and (i+1)-th ONU

$T_{RTT}[i], T_{RTT}[i+1]$  : Round Trip Time to i-th ONU and

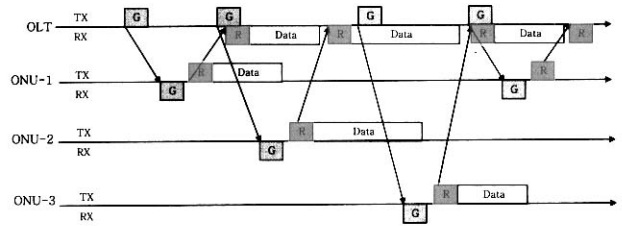
(i+1)-th ONU

$L_{grant}$  : Grant Message Length

$L_{data}$  : Granted Data Length of i-th ONU

$R$  : Link Rate

$T_{guard}$  : Guard Time



(그림 2) IPACT에서의 패킷 전송 예

IEEE802.3ah에서는 MPCP(Multi-Point Control Protocol) 을 제안하고, MPCPDU(MPCP Data Unit)를 통하여 트래픽 제어를 수행한다. (그림 3)은 MPCPDU의 게이트(Gate)와 리포트(Report) 메시지 형식을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Gate 프레임에는 최대 4개의 Grant가 포함될 수 있으며, Report 프레임에는 최대 8개의 Report가 포함될 수 있다. 따라서 Gate/Report 프레임은 빈번하게 전송할수록 종단간 패킷 지연 특성이 향상될 수 있다. 반면에 빈번한 제어 프레임에 의한 하향 및 상향 트래픽이 증가한다. 따라서 적절한 시간간 격으로 Gate/Report 프레임이 제어되어야 한다.

Octets		Octets	
Destination Address	6	Destination Address	6
Source Address	6	Source Address	6
Length/Type=88-08	2	Length/Type=88-08	2
Opcode	2	Opcode	2
Timestamp	4	Timestamp	4
Number of grant/Flags	1	Report hitmap	1
Grant #1 Length	2	Queue #0 Report	0/4
Grant #1 Start time	4	Queue #1 Report	0/4
Grant #2 Length	0/2	Queue #2 Report	0/4
Grant #2 Start time	0/4	Queue #3 Report	0/4
Grant #3 Length	0/2	Queue #4 Report	0/4
Grant #3 Start time	0/4	Queue #5 Report	0/4
Grant #4 Length	0/2	Queue #6 Report	0/4
Grant #4 Start time	0/4	Queue #7 Report	0/4
IDLE sequence counter	0/4	Pad/Reserved	7-39
Pad/Reserved	9-31	FCS	4
FCS	4		

(그림 3) EPON의 주요 제어 패킷 형식

폴링 주기에 따라 전체 ONU에서 전송 가능한 상향 링크 사용율은 매 폴링 마다 모든 ONU가 최대 패킷 수를 전송하는 경우이며 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$U_{link} = \frac{(L_{report} + N_{grant} \times L_{data}) \times 8 \times T_{bit} \times N_{ONU}}{\max(T_{polling}, [(L_{report} + N_{grant} \times L_{data}) \times 8 \times T_{bit} + T_{guard}] N_{ONU})} \quad (식 2)$$

여기에서

$T_{polling}$  : 폴링 Interval

$L_{data}$  : 사용자 데이터 Packet 평균 길이(byte)

$L_{report}$  : Report Packet 길이(byte)

$N_{grant}$  : Gate에 포함된 최대 Grant 수

$T_{guard}$  : Guard Time

$T_{bit}$  : Bit Time

또, 하나의 ONU에서 최대 대역을 사용하기 위한 경우는 다른 모든 ONU에서 전송할 데이터가 없기 때문에 Gate/Report 패킷 전송이 반복되고, 하나의 ONU에서는 매 폴링마다 최대 Grant에 의한 패킷 전송이 수행되는 경우이다. 이 경우 최대 상향 링크 사용율은 다음과 같다.

$$U_{link} = \frac{(L_{report} \times N_{ONU} + N_{grant} \times L_{data}) \times 8 \times T_{bit}}{\max(T_{polling}, (L_{report} \times 8 \times T_{bit} + T_{guard})N_{ONU} + N_{grant} \times L_{data} \times 8 \times T_{bit})} \quad (식 3)$$

(식 2)와 (식 3)에서 폴링 주기가 증가할수록 링크 사용율이 저하되며, 패킷 평균 길이가 증가할수록 링크사용율이 증가할 것으로 예측할 수 있다.

### 2.3 스케줄링 방식 고찰

사용자의 트래픽을 서비스 클래스로 구분하여 서비스 별로 전송용량을 할당하거나 또는 여러 ONU 간에 공정하게 전송용량을 나누어 사용하기 위해서는 QoS를 고려한 스케줄링 방식의 적용이 필요하다. 스케줄링 방식으로는 ATM의 경우 VSA(Virtual Scheduling Algorithm) 또는 CSLB(Continuous State Leaky Bucket) 방식을 사용한다. VSA 방식은 53바이트로 구성된 고정길이의 패킷인 셀을 단위로 시간 경과에 따라 전송 허용량을 나타내는 크레딧이 일정량까지 증가하며, 실제로 셀이 전송되면 크레딧을 감소시키는 방식으로 155Mbps 등의 고속통신에서 트래픽을 제어하는데 적합하다. Frame Relay에서는 기준시간 동안의 시간 구간을 설정하고, 설정된 시간 범위 내에서 전송용량을 점검하여 허용된 양 이상이 되지 않도록 제어하는 방식으로 JW(Jumping Window), TJW(Triggered JW), SW(Sliding Window) 등이 있으며, 창(Window) 경계에서의 특성이 안정적이지 못함 단점이 있다. Frame Relay는 가변길이의 프레임으로 전송되며, 1.5Mbps 등으로 저속이므로 시간구간 설정이 이산적이라든가 가능하지만, 실제 Frame Relay 시스템에서는 JW, TJW 등의 단점을 해결하기 위하여 ATM과 유사한 바이트단위의 VSA 방식을 사용하기도 한다. ATM과 Frame Relay 등에서는 트래픽이 가입자에서 발생하여 망으로 전송되고, 망에서 트래픽 파라메타 준수 여부를 판정하여 수신된 패킷을 준수, Tagging 및 폐기 등으로 처리한다. 반면에 EPON에서는 Report 메시지를 통하여 가입자에서 발생한 데이터 패킷을 망으로 알리고, 망에서는 Gate 메시지를 통하여 해당 패킷에 대한 실제 전송을 허

용한다. 따라서 EPON의 경우 트래픽 제어는 Gate 메시지에 Grant를 허용하는 방식으로 수행된다. 또한 EPON은 ATM보다 고속이고, 또한 가변길이의 패킷이므로 바이트 단위의 가상 스케줄링 방식이 적용될 수 있다. 가상 스케줄링 방식의 기준시간은 대개 1초를 채택하고 있으며, MBS(Maximum Burst Size)는 기준시간 동안 허용하는 최대 버스트 크기를 나타낸다.

크레딧 증가는 OLT에서 ONU를 폴링하는 시점에서 다음과 식과 같이 표현될 수 있다.

$$C[i+1] = C[i] + B \times (T[i+1] - T[i]) \quad (식 4)$$

여기에서

$C[i+1], C[i]$  : (i+1)-th and i-th Credit

$T[i+1], T[i]$  : (i+1)-th and i-th 폴링 Time

B: 해당 ONU의 Bandwidth

크레딧 감소는 크레딧에서 Grant 패킷의 길이 만큼 감소시킴으로서 수행된다. 매 Gate 메시지 전송 마다 잔여 크레딧이 MBS 보다 클 경우, MBS로 유지함으로써 버스트 영향을 제한할 수 있다.

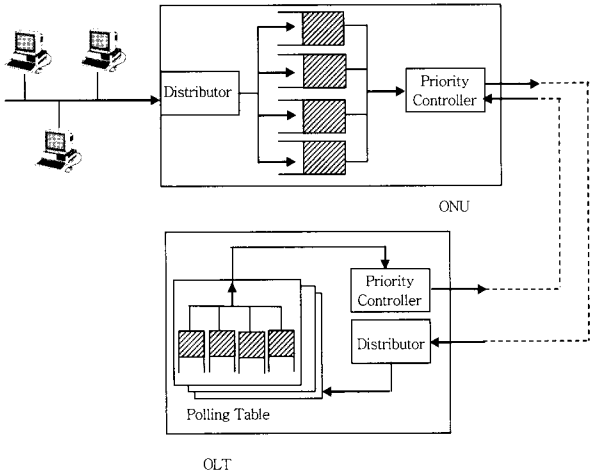
### 3. 제안된 DBA 스케줄링 방식

IEEE802.3ah에서 표준화된 규격에서 최대 Grant 수는 4, 최대 Report 수는 8로 OLT에서 ONU의 정보를 관리하는 방식이 요구된다. 또한 규격에서는 제어패킷 및 포맷은 정의되었지만 사용자 패킷을 전달하는 DBA 방식은 구현에 의존하도록 허용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 ONU에서 OLT로 전송되는 Upstream 트래픽의 QoS에 따라 4개의 서비스 클래스로 구분하고, 서비스 클래스에 따라 전송 우선순위를 달리하여 최선형으로 서비스하는 DBA 스케줄링 방식을 제안한다.

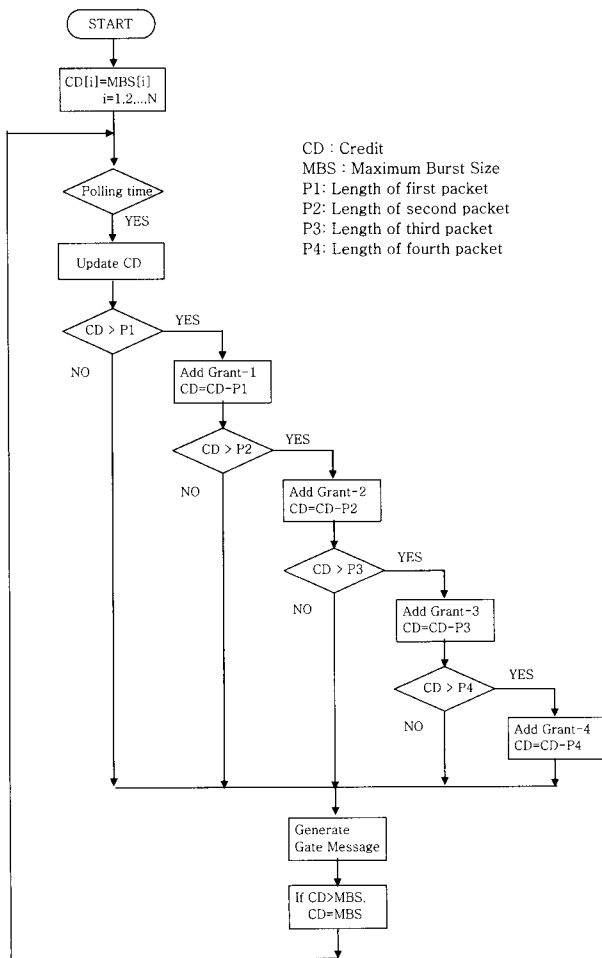
(그림 4)는 제안된 방식에 대한 제어 기능 블록을 간략히 나타낸 것이다. 하나의 OLT는 여러 개의 ONU를 제어하여 다음 순서와 같이 제어 및 데이터 패킷 흐름을 제어한다.

- (1) 하나의 ONU는 여러 단말기에서 생성된 데이터 패킷을 수신하며, 데이터 패킷의 QoS에 따라 각각의 버퍼에 별도로 저장한다.
- (2) OLT에서 ONU로 Gate 메시지를 전송하면, ONU는 저장된 트래픽 정보를 Report 메시지에 실어 OLT로 전달한다. 이때 전달할 패킷은 서비스 우선순위에 따라 Report 메시지에 실는다. 만약 최우선 순위의 패킷이 충분히 많다면 이들 패킷 정보만 전달된다.
- (3) OLT는 Report 메시지에 실린 정보를 해당 ONU의 폴링 표에 저장한다. 폴링 표는 서비스 클래스에 따라 트래픽 정보를 별도로 관리한다.

(4) OLT에서 Gate 메시지를 생성하여 ONU를 차례로 폴링한다. 이때 Gate 메시지에 포함하는 Grant 패키트는 폴링 표에서 서비스 우선순위에 따라 전달 허용 패킷을 선정한다. 만약 최우선 순위의 패킷이 충분히 많다면 이들 패킷 정보만 전달이 허용된다.



(그림 4) 제안된 DBA 방식의 기능 블록도



(그림 5) 제안된 가상 스케줄링 방식

(그림 5)는 본 논문에서 적용한 EPON 가상 스케줄링 방식을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Gate 메시지는 크레딧 크기 및 OLT의 폴링 테이블에 등록된 패킷의 길이에 따라 허용 가능한 수의 Grant를 포함한다. Gate 메시지를 생성한 다음 CD 값을 최대 MBS로 제한함으로써 이전에 생성되지 않은 트래픽에 대한 영향을 없애고, 또한 이후의 버스트 트래픽의 허용 값을 MBS로 제한하는 것이다. (그림 6)에서 ONU의 허용전송용량이 증가하면 이후 크레딧이 생성되는 비율이 증가함으로써 결국 더 많은 트래픽 전송이 가능해진다.

#### 4. 시뮬레이션 및 결과

제안된 DBA 스케줄링 방식을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 PC에서 SMPL과 Visual Studio 환경에서 C 언어를 사용하여 수행하였다.

Laser Diode의 On/Off에 따른 시간 지연과 OLT 수신부에서의 Slot-start delimiter로 부터의 클럭 복원시간, Dynamic Range에 따른 OLT의 자동수신이득 조정부의 지연시간 등을 고려하여 보호시간을 1us로 가정하였다. ONU는 16개, 그리고 OLT와 ONU간의 등가거리는 20Km로 가정하였다.

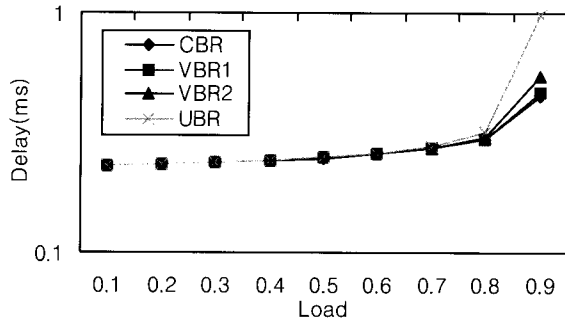
트래픽은 CBR, VBR1, VBR2 및 UBR 등의 차례로 서비스 우선순위를 갖는 4개의 서비스 클래스로 구분하였다. CBR은 300바이트의 고정길이 패킷을 일정한 간격으로 발생하였고, 그 외 트래픽은 64에서 1500바이트의 가변 길이 패킷을 평균 300바이트의 2-state MMPP(Markov Modulated Poisson Process)로 트래픽을 발생시켜 시뮬레이션에 사용하였다. 또한 CBR 및 VBR1은 VBR2와 UBR 트래픽의 1/2이 발생하는 것으로 가정하였다. 각 ONU에서의 버퍼는 서비스 클래스에 따라 각각 데이터 패킷 수를 32, 64, 128 및 256으로 제한하여 트래픽 폭주에 대한 폐기 기준으로 사용하였다.

시뮬레이션은 하향 트래픽의 부하, 상향 트래픽의 부하, OLT의 폴링 주기 등에 따른 영향을 고찰할 수 있도록 수행하였다. 시뮬레이션에서 ONU의 트래픽 요구에 따른 대역 할당 제어는 수행하지 않고, 고정된 대역이 이미 할당된 상태로 가정하였으며, 제안된 스케줄링 방식을 적용하여 상향 및 하향 트래픽에 따른 서비스 클래스 별 지연시간 변화를 분석하였다.

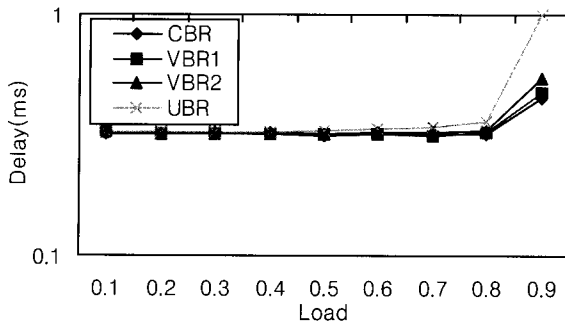
##### 4.1 폴링 간격에 따른 서비스 클래스별 지연시간

(그림 6)은 하향트래픽이 없는 경우의 상향 트래픽과 폴링 간격에 대한 지연시간을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 폴링간격이 0ms일 경우, Gate/Report 메시지 전송이 빈번하게 발생하며, 트래픽 발생이 증가함에 따라 지연이 증가하며, 트래픽 발생이 링크 용량의 0.9를 차지할 때 우선순위가 낮은 UBR 트래픽의 지연이 특히 나빠지고, CBR등의 서비스 특성은 우선적으로 유지되는 것을 알 수 있다. 폴링간격이 0.1 ms 인 경우, Gate/Report 메시지 전송이 주기적으로 발생하며, 부하가 0.8까지는 0ms 폴링때 보다 크고 거의 일정한 지연 특성을 나타내었으며, 부하 0.9에서도 0ms 폴링때 특성과 유

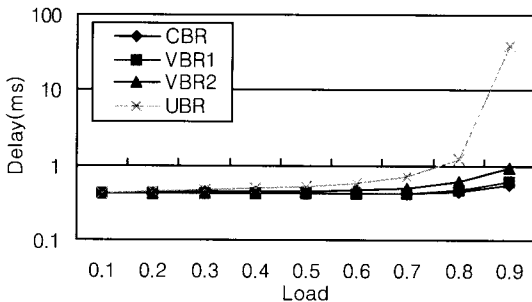
사하게 나타났다. 폴링간격이 0.2 ms인 경우, 전체적으로 지연이 증가하며, 특히 부하 0.5이상 부터는 UBR 트래픽의 지연이 급격히 증가하였다.



(a) 폴링 간격=0.0 ms



(b) 폴링 간격=0.1 ms



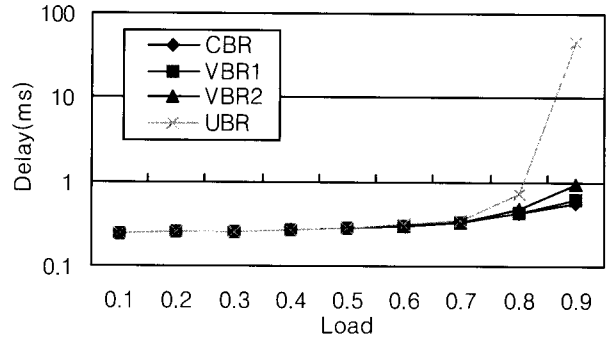
(c) 폴링 간격=0.2 ms

(그림 6) 폴링간격 고정, 상향 트래픽 가변에 따른 상향 트래픽의 서비스 클래스별 지연시간

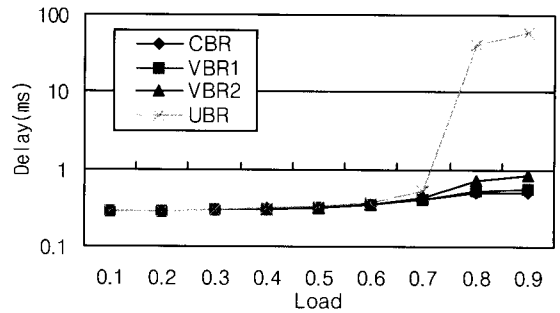
4.2 상향 및 하향 트래픽 부하에 따른 서비스 클래스별 지연시간

(그림 7)은 폴링간격이 0ms이고, 상향 트래픽에 따른 서비스 클래스별 지연시간을 나타낸 것으로 하향 트래픽은 부하 0.5 및 0.8에 대하여 분석한 것이다. 그림에서와 같이 하향 트래픽이 0.5일 때, 상향 트래픽이 증가하더라도 서비스 클래스별 지연특성이 별로 변화가 없으며, 0.8이상 부터는 우선 순위 별로 분명한 지연특성을 나타내었다. 하향 트래픽이 0.8일 때, 상향 트래픽이 0.8 이상으로 증가할수록 UBR 트래픽의 지연이 급격히 증가하였다. 특히 상향 트래픽 0.9에서는 UBR

트래픽 버퍼가 Overflow 되면서 트래픽이 감소함으로써 CBR 등의 클래스 트래픽의 특성이 도리어 향상되는 것으로 나타났다.



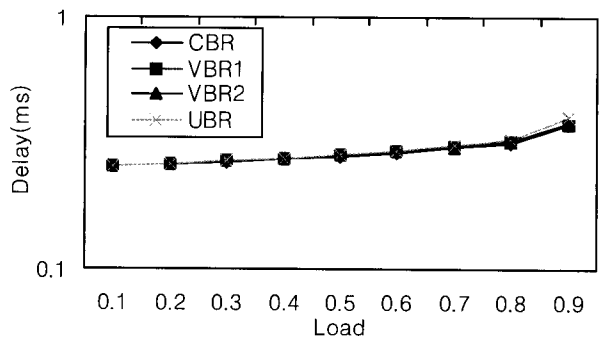
(a) 하향 트래픽 부하=0.5



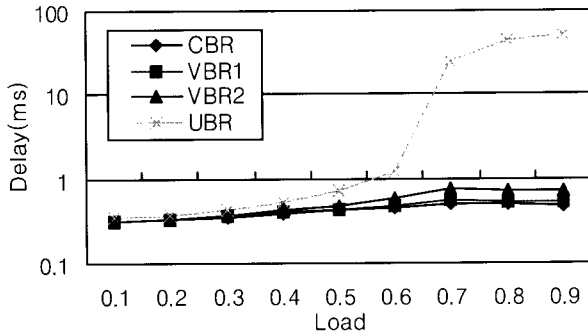
(b) 하향 트래픽 부하=0.8

(그림 7) 하향 고정, 상향 가변에 따른 상향 트래픽의 서비스 클래스별 지연시간

(그림 8)은 폴링간격이 0ms이고, 하향 트래픽에 따른 상향 트래픽의 서비스 클래스별 지연시간을 나타낸 것으로 상향 트래픽은 부하 0.5 및 0.8에 대하여 분석한 것이다. 그림에서와 같이 상향 트래픽이 0.5일 때, 하향 트래픽이 증가함에 따라 모든 서비스 클래스별 지연이 비슷하게 증가하였다. 상향 트래픽이 0.8일 때, 하향 트래픽이 증가할수록 UBR 트래픽의 지연이 급격히 증가하였으며, 특히 하향 트래픽 0.7 이상부터는 UBR 트래픽 버퍼가 Overflow 되는 현상이 발생하였다.



(b) 상향 트래픽 부하=0.5



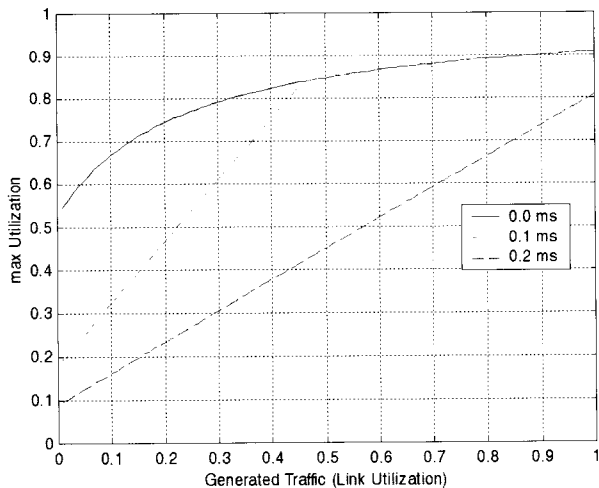
(b) 상향 트래픽 부하=0.8

(그림 8) 상향 고정, 하향 가변에 따른 상향 트래픽의 서비스 클래스별 지연시간

4.3 통합 트래픽 전달 특성

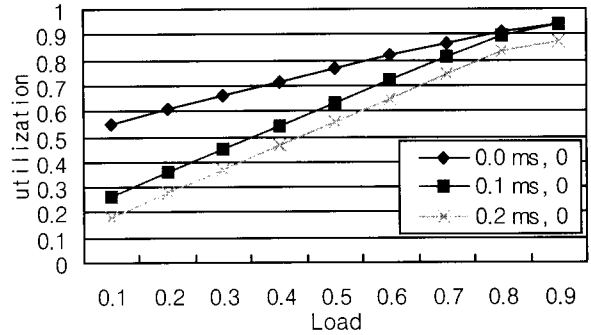
하나의 ONU를 제외한 나머지 ONU들은 전송할 트래픽 부하를 공정하게 나누어서 트래픽을 발생시키고, 특정한 하나의 ONU는 나머지 대역을 점유할 수 있는 양의 트래픽을 발생시키도록 하여 통합 발생한 트래픽은 0.9가 되도록 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

(그림 9)는 (식 3)에 300바이트의 상향 트래픽 사용자 패킷 평균 길이를 적용하여 폴링 간격 및 상향 트래픽 발생량에 따른 실제 통합 트래픽의 최대 부하를 나타낸 것이다. 여기에서 하향 트래픽은 무시하였다. 그림에서와 같이 폴링간격이 0ms 일 때 하나의 ONU가 많은 트래픽을 발생할 수 있으나 폴링간격이 증가할수록 하나의 ONU가 발생할 수 있는 트래픽은 감소하여 폴링간격 0.2ms의 경우 통합트래픽이 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 특정한 하나의 ONU에서 트래픽을 많이 발생시키더라도 Round Robin 방식의 폴링을 사용할 경우 폴링간격에 따른 상향트래픽 서비스가 제한되는 것을 알 수 있다. 따라서 트래픽을 예측하여 많은 트래픽을 발생하는 ONU에 대하여 폴링에 대한 가중치를 줄으로써 링크 사용율을 향상시킬 수 있을 것이다.

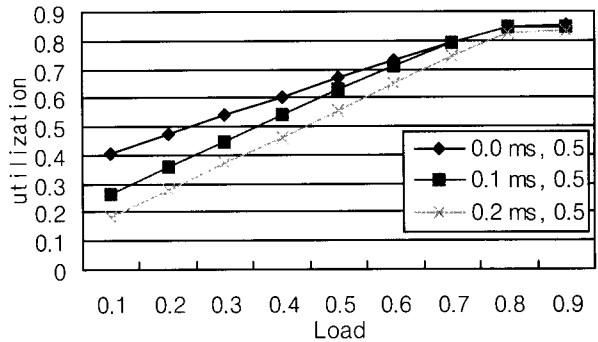


(그림 9) 폴링간격 고정, 상향트래픽 부하 가변에 따른 통합트래픽의 최대 링크 사용율

(그림 10)은 하향 트래픽에 대한 영향을 포함하여 시뮬레이션을 수행한 것이다. 패킷은 가변길이 MMPP로 발생하였다.



(a) 하향 링크사용율=0.0



(b) 하향 링크사용율=0.5

(그림 10) 폴링간격 고정, 하향트래픽 고정, 상향트래픽 부하 가변에 따른 통합트래픽의 링크 사용율

5. 결 론

서비스 클래스별로 전송 우선순위를 달리하는 방식의 DBA 스케줄링 제어를 EPON에 적용하고, 시뮬레이션을 통하여 지연특성을 분석하였다. 제안된 방식은 ONU 별로 공정하게 링크 전송용량 공유를 전제로 각 ONU에서 발생한 트래픽을 전송하는데 있어서 OLT와 ONU가 트래픽의 서비스 클래스에 따라 전송우선 순위를 적용하는 등의 간단한 제어 만으로 EPON에서 지연에 민감한 서비스의 품질을 보장할 수 있음을 시뮬레이션으로 확인하였다. 폴링간격, 상향 트래픽의 부하, 그리고 하향 트래픽의 부하에 따른 지연 특성 등을 분석하였으며, 하나의 ONU가 특별히 많은 트래픽을 생성할 경우의 상향 링크 사용율에 대해서도 분석하였다.

본 논문의 결과로부터 하나의 ONU가 특별히 많은 트래픽을 생성할 경우, 각 ONU를 폴링하는 가중치를 달리 주어야만 링크 용량을 충분히 활용할 수 있을 것으로 예측할 수 있었다. 또한 상향트래픽의 전달은 하향 트래픽이 증가함에 따라 전달 지연이 증가되고, 결국 사용할 수 있는 대역의 감소로 나타난다. 이는 ADSL, VDSL, 그리고 ATM PON에서의 비대칭 대역과 유사한 것으로 일반적인 인터넷 사용자의 트

래픽 요구량이 상향과 하향이 비대칭으로 발생하는 현실을 고려하면 EPON은 오히려 더 좋은 서비스 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로 EPON의 하향 트래픽에 따른 상향 트래픽의 영향을 수식적 분석과 각 ONU의 트래픽 예측 및 폴링의 가중치 등에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband optical access systems based on passive optical networks (PON)", October, 1998

[2] ITU-T Recommendation G.983.4, "A broadband optical access system with increased service capability using dynamic bandwidth assignment", November, 2001

[3] IEEE 802.3 "Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications", March, 2002.

[4] IEEE 802.3ah/D1.0, "Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for subscriber access networks", August, 2002.

[5] 송재연, 김영균, "IEEE802.3ah EPON 표준화 기술동향", 대한전자공학회지, 제30권 제3호, pp.48-56, 2003, 3.

[6] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee, and Gerry Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for Ethernet PON," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.2, pp.74- 80, Feb., 2002.

[7] 임종훈, 장용석, 김성호, "Ethernet PON의 MAC 프로토콜의 대역폭 할당 및 성능분석", 대한전자공학회논문지, 제40권 TC편 제7호, pp.1-12, 2003, 7.

[8] 신지혜, 이재용, 김병철, "Ethernet PON을 위한 Gated Service 스케줄링의 성능 분석", 대한전자공학회논문지, 제41권 TC편 제7호, pp.31-40, 2004, 7.

[9] 최은영, 이재용, 김병철, 권영미, "Ethernet PON에서 가입자간 가중치 공평성을 보장하는 매체접근 제어 알고리즘의 설계 및 성능분석", 대한전자공학회논문지, 제41권 TC편 제8호, pp.45-54, 2004, 8.

[10] Lin Zhang, Eung-Suk An, Chan-Hyun Youn, Hwan-Geun Yeo, and Sunhee Yang, "Dual DEB-GPS Scheduler for Delay-Constraint Applications in Ethernet Passive Optical Networks", IEICE TRANS. Commu., Vol. E86-B, No.5, pp.1575-1584, May, 2003.

[11] 구자환, "EPON에서 하향 데이터 트래픽의 대역폭 제한", 대한전자공학회논문지, 제42권 TC 제5호, pp.1-4, 2005, 5.

[12] ITU-T Recommendation I.371, "Traffic control and congestion control in B-ISDN", Mar. 2000.

[13] ITU-T Recommendation I.372, "Frame relaying bearer service network-to-network interface requirements", Mar., 1993.



### 남 윤 석

e-mail : ysnam@dongguk.ac.kr

1984년 경북대학교 전자공학과(학사)

1987년 경북대학교 전자공학과(공학석사)

1995년 경북대학교 전자공학과(공학박사)

1987년~2000년 한국전자통신연구원 연구

원/선임연구원/책임연구원

2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 전임강사/조교수

관심분야: 초고속정보통신망, EPON, VoIP, WPAN, 트래픽제어

등