

E-PON의 상향 대역전송 성능 향상을 위한 동적대역할당 메커니즘 연구

정회원 이 동 열*, 오 승 업**

A Study on Dynamic Bandwidth Allocation Mechanism for an Enhancement of E-PON's Upstream Throughput

Dong-Yeal Lee* *Regular member*, Seung-Hyeub Oh** *Regular member*

요 약

IEEE는 E-PON에 대한 구현 표준으로 IEEE802.3ah을 제정하였으나 구체적인 상향대역할당 메커니즘에 대해서는 별도로 규정하지 않고 제조업체의 몫으로 남겨 두었다. 이에 관련 전문가들은 E-PON에서의 상향 전송에 대한 성능 개선 및 다양한 서비스 수용을 위해서 여러 방식의 상향대역할당 기법들을 연구하였다. 본 논문에서는 상향 트래픽 전송 성능을 개선하는 동적대역할당 메커니즘을 제안한다. 이 메커니즘은 ONU의 상향전송 큐별로 최소보장 상향대역을 다양하게 설정할 수 있도록 하였으며, 큐에 대기 중인 패킷을 전송하기 위하여 큐별로 가중치를 부여한 DRR(Deficit Round Robin) 기법을 적용하였다. 시뮬레이션에 의해 상향대역 이용률이 기존방식 대비 10% 이상 개선됨을 보여 주었다.

Key Words : E-PON, ONU, OLT, DRR

ABSTRACT

IEEE ratified IEEE802.3ah as the standard of E-PON, while it leaved the specific method of upstream bandwidth allocation as a role of implementation vendors. Many experts have researched the method of enhancing upstream bandwidth throughput and released related papers. This paper presents another novel mechanism to enhance upstream throughput. This mechanism performs the management of upstream queues by giving the minimum bandwidth of different level to each queue. In order to process packets on each queue we adopted a modified weighted DRR technology. By doing so, the transmission throughput of upstream packets can be largely enhanced. The experimental simulation of this mechanism showed an enhancement of bandwidth utilization more than 10% in comparison to legacy method.

I. 서 론

초고속 인터넷 가입자의 증가와 더불어 멀티미디어 응용 서비스의 급속한 보급으로 인하여 가입자망의 품질 개선이 시급하게 되었다. 또한, 초고속 인터넷 시장의 포화로 인하여 ISP는 신규 서비스를

통한 수익원을 발굴할 수밖에 없다. 즉, 주요 ISP들은 고품질의 초고속 인터넷을 제공함으로써 시장 점유율을 확대하고 TPS(Triple Play Service)서비스를 제공하여 가입자당 수익을 제고하여야 한다. 이를 위해서는 FTTH와 같은 광가입자망의 확보가 필수적이다.

* (주)LG데이콤 (ldy@lgdacom.net), ** 충남대학교 전자공학과 (ohseung@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-05-233, 접수일자 : 2007년 5월 28일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 25일

E-PON은 수동형 광가입자망 기술로서 로컬 루프 간 송·수신 데이터를 광케이블을 통해 이더넷 프레임 방식으로 전송한다. 대부분의 가입자망이 이더넷 기반이기 때문에 ATM 기반의 B-PON에 비하여 E-PON은 경제적인 광가입자망 구축 기술로 평가받고 있다.

E-PON은 사업자망에 위치하는 OLT(Optical Line Terminal), 가입자 맥내로 광케이블을 분기·인입하는 원격 노드(수동 광분기)와 맥내에 위치하는 ONUs(Optical Network Units)로 구성된다. IEEE 802.3ah 는 하나의 OLT와 16 개까지의 ONU들로 구성되는 로컬 루프를 E-PON이라 하고 OLT에서 ONU까지의 최대 거리를 20km로 규정한다. E-PON의 전송 속도는 망 구간에서는 1Gbps, 가입자측에는 100Mbps를 제공한다.

ONU는 가입자측에 다수의 가입자 인터페이스를 제공함으로써 인터페이스별로 다양한 서비스를 수용할 수 있다. OLT는 ONU의 특정 인터페이스에 상향 전송대역을 보장함으로써 다양한 등급의 양방향 서비스 제공이 가능하다. 그림 1에서는 ONU가 IP 전화, IP-TV 및 인터넷 등 Triple 서비스를 가입자에게 제공할 수 있음을 보여준다.

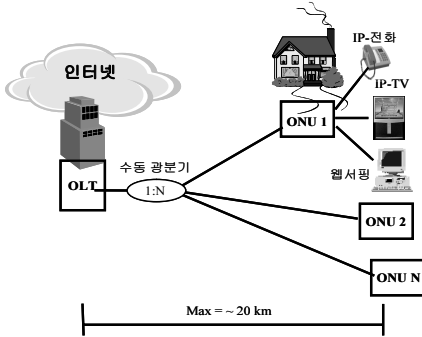


그림 1. E-PON 기반의 FTTH 구성도

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 IEEE802.3ah에 정의된 OLT와 다중 ONU간 MAC 제어 프로토콜인 MPCP를 개략적으로 요약 설명하고, III장에서는 기 제안된 E-PON의 상향 대역할당 알고리즘들을 비교·분석하고 IV장에서는 상향대역 전송 효율을 높이는 메커니즘을 제시·설명하며, V장에서는 IV장에서 제안한 메커니즘에 대한 시뮬레이션 결과를 분석하고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. IEEE802.3ah 의 MPCP

IEEE 802.3ah^[1]은 EFM(Ethernet in the First

Mile) 태스크 포스에 제출되어 IEEE802.3 워킹그룹에서 2004년에 6월에 E-PON 표준으로 승인되었다. MPCP(Multi-Point Control Protocol)는 OLT가 다수의 ONU를 제어하는 프레임으로 주요한 기능블럭은 Discovery, Report 및 Grant이다.

첫째, Discovery 기능은 E-PON망에 ONU가 신규로 참여하는 경우에 OLT가 ONU를 E-PON망에 등록하는 절차이다. OLT는 등록과정에서 각 ONU에 LLID (Logical Link ID)를 할당하며 ONU는 이것을 자신의 MAC 주소와 결합한다. 이때 OLT는 ONU까지의 거리를 측정하여 ONU에 대한 상향대역 스케줄링 시에 반영한다. 그림 2는 OLT와 ONU간의 패킷 왕복시간을 각 시스템의 로컬 시각으로 계산하는 과정을 보여준다.

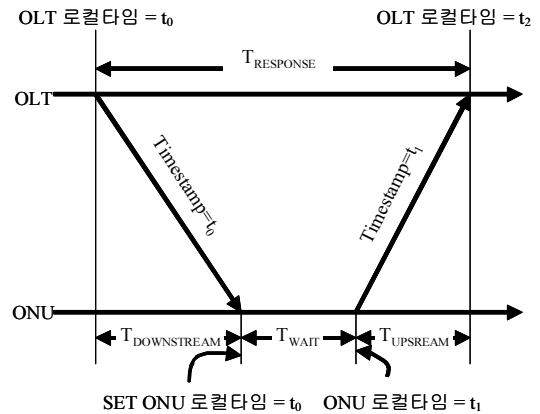


그림 2. OLT, ONU간 왕복시간 개념도

위 그림에서 OLT와 ONU간의 왕복시간(RTT)은 $T_{RESPONSE}$ 에서 T_{WAIT} 를 뺀 값과 같다. 이를 로컬 타임으로 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 RTT &= T_{DOWNSTREAM} + T_{UPSTREAM} \\
 &= T_{RESPONSE} + T_{WAIT} \\
 &= (t_2 - t_0) - (t_1 - t_0) = t_2 - t_1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

따라서 OLT는 ONU의 로컬타임 t_1 을 MPCP 메시지에서 얻으면 패킷의 왕복시간을 알게 된다.

둘째, Report 기능은 ONU의 전송 큐에 대기 중인 패킷들의 바이트 수를 REPORT메시지에 실어서 OLT에게 전달하는 것이다. 즉, ONU가 OLT에게 바이트를 전송할 상향 타임슬롯의 크기를 요청하는 것이다. 하나의 REPORT 메시지에 최대 8개까지 큐 정보를 담을 수 있다. ONU는 전송할 패킷이 없는 경우에도 메시지를 주기적으로 OLT에 전달함으

로써 왕복시간 값을 갱신하고, E-PON망의 ONU들에 대한 감지 기능을 수행하게 된다.

셋째, Grant 기능은 OLT가 ONU에게 상향 전송 타임슬롯을 할당하기 위해 GATE 메시지를 전달하는 과정이다. 이 메시지에는 ONU가 상향트래픽을 송신해야하는 시작시각과 전송 타임슬롯의 크기 정보가 표시되어 있다. OLT는 하나의 GATE 메시지에 최대 4개의 타임슬롯 정보를 ONU에게 전달할 수 있다.

MPCP 메시지의 크기는 64바이트이지만 실제 전송 시에는 6바이트의 이더넷 프리앰블과 12바이트의 IFG(inter-frame gap)을 고려하여 20바이트의 오버헤드를 가산한다. IEEE802.3ah 의 MPCP 파트에는 상향 대역의 최적 전송에 대한 메커니즘을 규정하지 않는다. 그러나 사용자의 상향 대역전송 효율성 제고를 위한 메커니즘에 대해서는 많은 연구 결과들이 제안되고 있다.

III. E-PON의 상향대역할당 관련 연구 리뷰

G.Kramer^[2]는 상향 타임슬롯의 미사용 영역을 최소화하기 위하여 IPACT(Interleaved Polling Adaptive Cycle Time) 메커니즘을 제안하였다. 이 메커니즘의 특징은 OLT가 round robin 방식으로 각 ONU를 polling하는데 ONU_i 로부터의 트래픽이 도달하기 전에 OLT는 다음 ONU(i+1)에 대한 polling을 수행한다. 이렇게 함으로써 대역 polling에 의한 미사용 상향 대역 손실을 방지할 수 있다.

또 다른 특징으로는 cycle time(T)의 동적 변화와 best effort 방식에 의한 대역할당이다. 이 메커니즘은 ONU들의 상향 전송 요구량에 따라 cycle time이 적용하도록 되어 있기 때문에 상향 전송 요구 트래픽이 under-load인 경우에는 cycle shrinkage가 발생하고 빈번한 REPORT, GATE 메시지 교환에 의해 타임슬롯의 손실을 초래할 수 있다. 또한 high-load ONU에 의한 상향 대역 독점으로 인하여 light-load ONUs의 패킷 전송지연을 심화시킬 수 있다. 그러나 모든 ONU들이 해당 T에서 한 번에 전송할 수 있는 최대 윈도우 크기를 제한함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다.

IPACT메커니즘은 ONU들의 대역 요구량에 따라 사이클 길이(T)가 동적으로 변화하므로 지터에 민감한 서비스에 부적합하다. 이 메커니즘은 상향 트래픽이 많은 경우에는 대역 전송 효율을 극대화하는 장점이 있으나, 저부하(under-load)인 경우에는 OLT

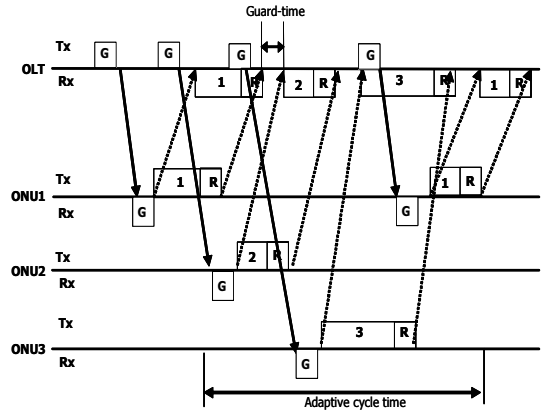


그림 3. Adaptive cycle time으로 동작하는 E-PON

와 ONU들 간에 빈번한 MPCPDU(REPORT, GATE) 교환으로 상향, 하향 전송 대역의 낭비를 초래한다. 또한 ONU의 상향대역을 보장하지 않는 best effort 방식이다. 그림 3은 IPACT 메커니즘 동작 시나리오를 보여준다.

Su-il^[3]은 고정된 cycle time(T) 기반의 차등 서비스를 제공하는 알고리즘을 제시하였다. 이 메커니즘에 의하면 E-PON에서 서비스 특성에 따른 서비스 차등화가 가능하다.

먼저 서비스 특성에 따라 다음과 같이 서비스를 분류할 수 있다.

- high priority 서비스 : 고정대역과 low delay를 요구하는 서비스(예; T1/E1 등 전용회선)
- medium priority 서비스 : delay는 어느 정도 허용하나 최소 대역보장을 요구하는 서비스(예; VoD, MoD 등)
- low priority 서비스 : best-effort 서비스(예, 인터넷 다운로드 등)

OLT는 ONU에게 제공되는 서비스 특성에 따라 각 ONU의 상향 대역을 결정하며, high, medium, low priority 서비스의 상향 대역을 각각 결정 한 다음에 합산한다. ONU_i에 대해서 B_{total}은 ONU_i가 속한 E-PON 망의 전체 가용 상향 대역이고, B_i^H는 high priority 예약 대역, R_i^M은 medium priority 예약 대역, R_i^L은 low priority 예약 대역이라고 하면, ONU_i의 high priority 배정 대역 G_i^H은

$$G_i^H = B_i^H \tag{2}$$

이 되고, medium priority의 배정 대역 G_i^M은

$$G_i^M = \min(R_i^M, (B_{total} - \sum_{i=1}^n G_i^H) \frac{R_i^M}{\sum_{i=1}^n R_i^M}) \quad (3)$$

이며, 마지막으로 low priority에 배정한 대역 G_i^L 은,

$$G_i^L = (B_{total} - \sum_{i=1}^n (G_i^H + G_i^M)) \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (4)$$

이 된다. 따라서 OLT에서 ONU_i에게 허용하는 상향 대역 G_i 는,

$$G_i = G_i^H + G_i^M + G_i^L \quad (5)$$

로 주어진다. 이 메커니즘에 따르면 우선 순위가 높은 서비스 트래픽(high, medium priority)에는 최소 대역이 보장되고, 고정된 T(cycle time)를 사용하므로 지터가 최소화된다. 또한, 우선 순위가 낮은 트래픽(low priority)에 대해서는 best-effort가 적용되므로 상향 대역 이용 효율도 최대한 유지된다.

Xie^[9]는 먼저 class별 대역 할당을 한 다음에, ONU별로 할당하는 두 단계 할당 메커니즘(TLBA)을 제안하였다. Class 별 할당 시에는 각 class 별 가중치에 비례하는 최소 대역이 할당되도록 하여 특정 class가 대역을 독점하지 않도록 하였고 ONU 별 할당 시에는 각 ONU가 요청한 대역량을 기반으로 max-min fairness 원칙에 따라 할당한다.

이러한 동적 대역할당기법은 공통적으로 통계적 다중화 개념을 도입함으로써 각 ONU에게 가능한 최대의 상향 대역을 할당하고 결과적으로 E-PON 시스템의 대역 이용률을 극대화 한다.

IV. Modified DRR을 이용한 상향대역 전송 개선 알고리즘 제안

ONU의 사용자 큐에 대기 중인 패킷은 최소 64에서 최대 1,513바이트의 랜덤한 크기를 가질 뿐만 아니라, OLT는 사용자 큐별로 큐의 가중치에 비례하는 추가 타임슬롯을 할당하기 때문에 ONU의 사용자 큐에 대기 중인 패킷들의 타임슬롯(바이트)과 OLT로부터 수신된 큐별 허용 타임슬롯이 일치하지 않는다. 이러한 타임슬롯 크기의 상이함으로 인하여 기존의 사용자 큐별 일괄 전송 방식은 미사용 상향 타임슬롯 문제가 발생한다. 이로 인하여 E-PON 시스템의 상향 대역 이용률을 감소시키는 결과를 발생시킨다. 그림 4는 사용자 큐가 3개인 경우 미사용 타임슬롯 문제에 대한 예를 보여준다.

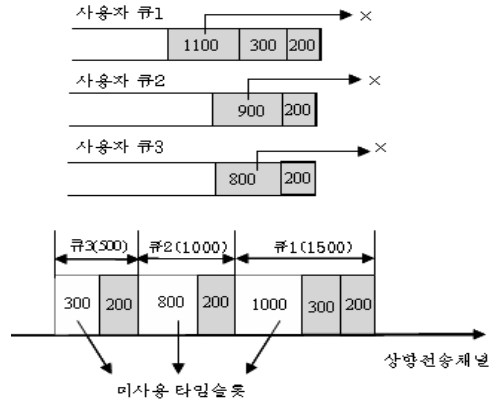


그림 4. 기존방식(큐별 일괄 전송)에 따른 미사용 타임슬롯 발생 예

그림 4에서 사용자 큐 1, 2, 3은 각각 OLT로부터 1500, 1000, 500바이트의 허용 타임슬롯을 할당 받았으나 각 큐에 대기 중인 타임슬롯과의 상이함으로 인하여 각각 1000, 800, 300바이트의 미사용 타임슬롯이 발생한다. 이 논문에서는 이러한 미사용 타임슬롯 문제를 해결하기 위하여 DRR(deficit round robin)^[8]을 변형한 제안 메커니즘을 이용한다. ONU는 OLT로부터 허용된 타임슬롯 동안에만 패킷을 전송하여야 하므로 제안 메커니즘이 필요하다.

o DRR 메커니즘과 제안 메커니즘 비교

- 1) DRR 메커니즘은 DC(deficit counter)와 가중치가 반영된 쿼터 파라미터를 사용하여 매 라운드마다 큐에서 관리하는 DC에 쿼터를 추가하고 DC 값과 대기 패킷 크기를 비교하여 전송 여부를 결정한다. DRR에서는 큐에 대기 패킷이 없는 경우에 DC를 리셋한다. 망 노드의 모든 큐에 DRR 메커니즘을 적용하면 노드 내의 여러 큐에 대기 중인 가변 길이의 패킷들에게 공평한 전송기회를 주게 되고, 이렇게 함으로써 노드에게 할당된 대역손실을 최소화한다.
- 2) 변형된 DRR 메커니즘은 ‘ONU 타임슬롯’ 파라미터를 도입한다. ‘ONU 타임슬롯’의 초기 값은 OLT가 해당 ONU에 허용한 타임슬롯(바이트)이며, 매 라운드 시에 큐의 DC에 추가되는 쿼터분량(바이트) 만큼 ‘ONU 타임슬롯’ 값은 감소한다. 매 라운드에서 큐에 전송할 패킷이 없으면 해당 큐의 DC 값은 리셋되지 않고 ‘ONU 타임슬롯’에 반환된다. 이 메커니즘은 ‘ONU 타임슬롯’의 잔여 크기가 대기 패킷의 크기보다 작으면 동작을 중지한다.

- o 제안 메커니즘의 세부 동작 기술
 - 1) 프로세싱을 위한 큐의 방문 순서는 가중치가 높은 큐부터 시작하여 round robin 방식으로 반복한다.
 - 2) DC값은 해당 큐가 프로세싱될 때, 가중치 쿼터 값 만큼 증가한다. 이 때, ONU 타임슬롯은 쿼터 값만큼 감소한다.
 - 3) 가중치 쿼터만큼 증가된 DC 값이 큐의 선두 패킷 크기와 같거나 크면 DC 값 이내에서 선두 패킷을 포함한 패킷들을 상향 채널로 전송하고 DC 값은 전송된 패킷 크기만큼 감소한다. 그렇지 않으면 다음 큐로 이동한다.
 - 4) 큐에 대기중인 패킷이 없거나, ONU 타임슬롯 값이 다음 방문 큐의 가중치 쿼터값보다 작으면, 해당 큐의 DC 값을 ONU 타임슬롯에 반환한다. 이때 큐는 '반환' 모드가 된다.
 - 5) '반환' 모드의 큐에 전송할 패킷이 없거나 DC 값이 대기 중인 선두 패킷보다 작으면 프로세싱은 종료된다.

그림 4의 미사용 타임슬롯을 최소화하기 위하여 본 논문에서 제안한 변형된 DRR 메커니즘을 적용하여 보자. 관련 파라미터 값은 아래 표 1과 같다.

표 1. 제안 메커니즘 예시를 위한 파라미터

큐 가중치	$w_1 = 3, w_2 = 2, w_3 = 1$
기본 쿼터값 (가중치 쿼터값)	100바이트 ($Q_1 = 300, Q_2 = 200, Q_3 = 100$)
ONU타임슬롯 초기값	3,000바이트
초기 DC 값	$DC_1 = DC_2 = DC_3 = 0$

다음 표 2는 큐의 내부 상태 천이를 설명하며, 셀 내의 x/y/z의 의미는 x는 프로세싱 전 DC 값, y는 프로세싱 후 DC 값, z는 프로세싱 후 타임슬롯 바이트 값이다.

표 2. 큐의 상태 천이표

구분	사용자 큐1	사용자 큐2	사용자 큐3
1라운드	300/100/2700	200/0/2500	100/100/2400
2라운드	400/100/2100	200/200/1900	200/0/1800
3라운드	400/400/1500	400/400/1300	100/100/1200
4라운드	700/700/900	600/600/700	200/200/600
5라운드	1000/1000/300	800/800/100	300/0/300[반환]
6라운드	1300/0/200[반환]	1000/0/100[반환]	100/100/0[종료]

사용자 큐상에서 프로세싱이 진행됨에 따라 표 2의 녹색 부분에서 패킷이 전송됨을 알 수 있다. 제안 메커니즘에 의하여 ONU 패킷을 스케줄링 한 결과 미사용 타임슬롯은 겨우 100바이트이며 이는 기존 방식의 2,100바이트에 비하여 뛰어난 개선 효과를 보여준다.

V. 시뮬레이션

시뮬레이션은 사용자 큐가 4개인 경우에 대하여 수행하였다. E-PON 시스템의 상향대역이 1Gbps 이고 OLT가 16개의 ONU를 관리한다. 오버헤드를 제외한 시스템 전체의 상향 대역은 960Mbps이다. 이때, 하나의 ONU는 사이클(2ms)당 15,000바이트(60Mbps)의 최소 보장 대역을 가진다.

시뮬레이션 툴은 마이크로소프트비주얼 C++ .NET2003에서 제공하는 DESL(discrete event simulation library)를 사용하였다. 입력 소스의 패킷은 64바이트에서 1,513바이트가 실트래픽으로 분산되어 있는 BroadCom 측정치를 사용하였다. BroadCom 측정치는 케이블망의 CATV HE에서 장시간 실제 상향 트래픽의 패킷 크기를 측정한 분포 값이다. 시뮬레이션에 적용한 파라미터 값은 다음 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터

큐 가중치	$w_1 = 2.5, w_2 = 2, w_3 = 1.5, w_4 = 1$
기본 쿼터값 (가중치 쿼터값)	64바이트 ($Q_1 = 160, Q_2 = 128, Q_3 = 96, Q_4 = 64$)
ONU타임슬롯 초기값	15,000바이트
초기 DC 값	$DC_1 = DC_2 = DC_3 = DC_4 = 0$
시뮬레이션 타임	100초

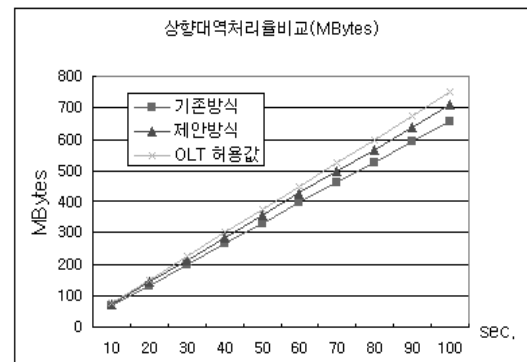


그림 5. 상향 대역 처리율 시뮬레이션 결과

상향대역 처리율에 대한 시뮬레이션 결과, 제안 방식이 큐별 일괄 전송 방식을 적용한 기존 방식에 비하여 패킷 전송 처리율이 10% 이상 개선되었음을 알 수 있었다. 그림 5에서는 이 개선 효과를 보여준다.

VI. 결론

ISP가 E-PON기반의 광가입자 망을 이용하여 홈 네트워크 서비스를 제공할 때에, 홈 유저는 음성, 방송, 인터넷 등 다양한 서비스를 요구한다. 이를 위해서는 서비스별 대역 보장이 가능해야 하고 대역 처리율을 향상시켜야 한다.

본 논문에서는 하나의 ONU내에서 서비스별 차등화가 가능하고 ONU 내부에서 서비스별 대기 패킷을 전송하는 새로운 메커니즘을 제안하였다. 이 메커니즘을 적용한 시뮬레이션 결과 기존 방식에 비하여 10%이상의 상향 대역 이용률이 개선됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.3ah draft at <http://www.ieee802.org/3/efm>
- [2] Glen Kramer, "Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time(IPACT): A Dynamic Bandwidth Distribution Scheme in an Optical Access Network", Photonic Network Communications. 4:1,89-107, 2002
- [3] Su-il Choi,"Cyclic Polling-Based Dynamic Bandwidth Allocation for Differentiated Classes of Service in EPON Networks", Photonic Network Communications.7:1, 87-97, 2004
- [4] Jun Zheng and Hussein T.Mouftah, "An Adaptive MAC Polling Protocol EPON", 2005, ICC
- [5] Kyuho Son, Hyungkeun Ryu, "Dynamic Bandwidth Allocation Schemes to Improve Utilization under Non-Uniform Traffic in EPONs", 2004 ICC
- [6] Glen Kramer and Biswanath Mukherjee, "Supporting differentiated classes of service in EPONs", August&September 2002/Vol. 1, Nos. 8&9/JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING
- [7] Yeon-Mo Yang, Sang-Ook Lee, Hae-Won Jung, Kiseon Kim, and ByungHa Ahn, "Inter-ONU Bandwidth Scheduling by Using Threshold

Reporting and Adaptive Polling for Qos in EPONs", ETRI Journal, Volume 27, Number 6, December 2005

- [8] M. Shreedhar, et. al., "Efficient Fair Queuing Using Deficit Round Robin," June 1996, IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING
- [9] Jing Xie, Shengming Jiang, "A DBA Scheme for Differentiated Services in EPONs", IEEE Optical Communications, August 2004

이 동 열 (Dong-Yeal Lee)

정회원



1987년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업

1991년 2월 : KAIST 전기전자공학과 석사

1997년3월~현재 : 충남대학교 전자공학과 박사과정

1987년~1989년: 한국전자통신연구원

구소(ETRI) 연구원

1991년~1993년: KT 통신시스템연구원

1993년~현재 : (주)LG데이콤 기술연구원

<관심분야> HFC, FTTH, u-홈 서비스

오 승 열 (Seung-Hyeub Oh)

정회원



1971년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)

1973년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)

1982년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학박사)

1981년~1982년: 일본 Tohku 대학교

학교

1985년~1986년: 미국 Pennsylvania 주립대학교 교환교수

1988년~현재: 충남대학교 전자공학과 교수

<관심분야> RF 시스템 및 소자, 안테나, 전파전파 등