

# 과장분할 EPON 에서 대역폭 할당 및 과장배정 방법

최용도\*, 장용석\*\*, 조정현\*\*\*, 류상률\*\*\*\*, 김승호\*\*

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, \*\*경북대학교 컴퓨터공학과

\*\*\* 영남이공대학 모바일과, \*\*\*\*청운대학교 컴퓨터학과

e-mail : ydchoi@mmlab.knu.ac.kr, ysjangii@gmail.com, petercho@ync.ac.kr, rsr@chungwoon.ac.kr, shkim@knu.ac.kr

## Bandwidth Allocation and Wavelength Assignment Method in Wavelength Division Ethernet-PON

Yong-Do Choi\*, Yong-Suk Jang\*\*, Jeong-Hyun Cho\*\*\*, Sang-Ryul Ryu\*\*\*\*, Sung-Ho Kim\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

\*\*Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

\*\*\* Dept. of mobile, Yeungnam College of Science & Technology

\*\*\*\* Dept. of Computer Science, Chungwoon University

### 요 약

인터넷을 기반의 멀티미디어 정보화 사회에서, 대용량 멀티미디어 데이터 서비스에 대한 요구가 확산되고 있다. 그러나 현재의 가입자 접속망으로는 데이터 전송 속도 및 거리 제약으로 인해 만족스러운 서비스를 사용자들에게 제공해 줄 수 없다. 가입자 접속망에서 현저하게 떨어지는 속도문제를 해결하고, QoS(Quality of Service)를 보장해 줄 수 있는 방안의 하나로 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방식과 대역폭을 분할하여 과장에 배정하는 과장 분할 방식의 EPON(Ethernet Passive Optical Network)을 제안한다. OPNET 으로 구현한 시뮬레이션 모델을 이용하여 고순위 및 저순위 트래픽의 비율에 따라 각 트래픽의 최대 및 평균 지연시간, 제안한 알고리즘의 사용율, 분배율을 구하여 적합성을 검증한다.

### 1. 서론

인터넷을 기반으로 한 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 급격히 증가하고 있는 정보화 사회에서 초고속 통신망을 구축하는 것은 국력을 나타내는 중요한 지표가 되고 있다. 이러한 이유로 세계 많은 선진 국가들은 초고속 통신망을 구축하기 위해 기간망과 가입자 접속망의 전송 속도에 관련된 많은 프로젝트들을 수행하고 있다.

우리나라의 경우는 xDSL 과 FTTC(Fiber-To-The-Curb) 방식의 기술이 현재 주목 받고 있지만 수요 산발 지역에 적합한 방식이 아니라서 향후 대용량의 멀티미디어 서비스를 위한 가입자 접속망으로서는 부적합하다. 그리고 현재의 가입자 접속망에서는 속도 및 거리제약으로 인해 안정적인 멀티미디어 서비스 제공을 보장하지 못한다. 이러한 상황에서 등장한 PON (Passive Optical Network)은 반경 20Km 내에 있는 가입자들을 FTTx 의 형태로 연결할 수 있는 가입자 접속망의 대안 기술이라 할 수 있다[1].

PON 은 가입자 접속망에서 현저하게 떨어지는 속도 문제를 해결하여 안정적인 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다. 전송 방식에 따라 ATM PON 과 EPON(Ethernet PON)으로 나눌 수 있는데, EPON 방식은 ATM PON 방식 보다 전송 능력이 뛰어나며 설치와 관리비용이 저렴하면서, 현재 LAN 의 90%이상이 인터넷으로 되어 있다는 이점이 있어 가입자 접속망으로 적용하기에 적합하다. EPON 은 하나의 OLT (Optical Line Termination)가 여러 개의 ONU(Optical Network Unit)를 광섬유로 공유하는 점 대 다점(Point to Multipoint)구조로 구성되며 음성, 데이터, 비디오 등의 다양한 멀티미

디어 서비스를 제공한다. 그러나 점 대 다점의 구조이기 때문에 상향 트래픽의 경우 ONU 의 개수가 많아짐에 따라 대역폭 부족현상이 발생한다.

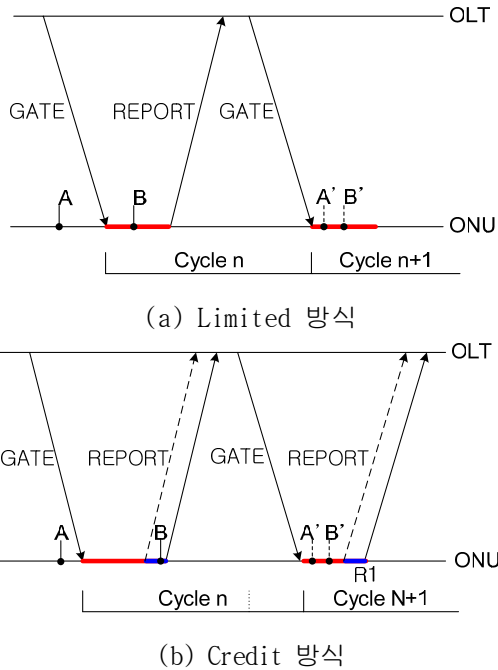
본 논문에서는 EPON 의 상향 트래픽에 대한 QoS 를 보장하기 위해 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방식과 이 대역폭을 기반으로 한 과장 배정 방법을 제안한다. 본 논문의 2 장에서는 기존의 대역폭 할당방법들의 특성과 기존의 방법들을 보완하기 위한 차등 대역폭 할당 방법을 소개하고, 3 장에서는 대역폭 분할 과장 배정 방법에 대해 기술한다. 제안한 차등 대역폭 할당 방식 및 과장 배정 방법을 OPNET 시뮬레이션을 통한 성능평가를 4 장에서 제시하고, 마지막으로 5 장에서는 결론을 맺었다.

### 2. 우선순위 기반 차등 대역폭 할당 방식 및 관련연구

EPON 에서 사용하는 우선순위 큐잉에는 Limited 방식과 Credit 방식이 있다[2]. 그림 1 에서는 Limited 방식과 Credit 방식을 보여준다. Limited 방식은 그림 1(a)와 같이 A 시간에 도착하는 트래픽과 B 시간에 도착하는 트래픽은 동일하게 예약된 다음 사이클의 해당 타임슬롯 A'와 B'에 전송된다. 따라서 Limited 방식에서는 A 시각에 도착하는 트래픽과 B 시각에 도착하는 트래픽은 사이클 시간만큼 큐잉 지연이 발생한다.

이에 반해 Credit 방식은 그림 1(b)에서 보여지는 것처럼 REPORT 메시지를 보내는 시점을 일정 시간 (Credit) 지연 시킨다. 이 방식을 사용하는 이유는 B 시간에 도착한 트래픽은 Limited 방식을 사용할 경우 큐잉 지연시간이 너무 길어지게 되기 때문이다. 그러

나 사이클 시간이 Limited 방식보다 크기 때문에 B 시간에 도착하는 트래픽은 증가한 사이클 시간만큼 큐잉 지연 시간이 증가하여 Credit 방식이 Limited 방식보다 최대 큐잉 지연 시간은 증가할 수 있으나 평균 큐잉 지연 시간이 개선될 수 있음을 의미한다.



(그림 1) Limited 방식과 Credit 방식 비교

Limited 방식과 Credit 방식은 전송 트래픽의 도착 우선순위 관점에서는 우수 하나, 부하율이 증가함에 따라 고순위 트래픽의 큐잉 지연 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 우선순위를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방법을 제안한다.

우선순위를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방법에서 ONU가 실제로 OLT로 전송하게 되는 큐의 정보에 기반한 요구 대역폭은 식(1)과 같이 표현된다.  $i$ 는 ONU 번호를 나타내고  $H_i^R$ 과  $L_i^R$ 은 각각 고순위 트래픽 요구량과 저순위 트래픽 요구량을 의미한다.

$$B_i^R = H_i^R + L_i^R \quad (1)$$

각 ONU들이 요청한 고순위 트래픽의 총합을  $H_{sum}^R$ , 요청한 저순위 트래픽 총합을  $L_{sum}^R$ 으로 나타낸다. 그리고 요청한 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 합을  $B_{sum}^R$ 으로 정의한다.

제안된 가중치 기반 차등 대역폭 할당방식의 1 단계 과정은 먼저, 식 (2)와 같이 고순위와 저순위 트래픽에 대한 대역폭 요구량의 비율을 계산하고 이 요구 비율에 맞게 고순위와 저순위 트래픽에 대한 대역폭을 식 (3)과 같이 할당한다. 식 (2)에서  $r_h$ 와  $r_l$ 는 고순위, 저순위 트래픽의 비율을 의미한다. 식 (3)은 식 (2)의 비율을 사용해서  $i$ 번째 ONU의 대역폭 할당량  $B_i^G$ 를 계산하는 식을 나타낸다.

$$r_h = \frac{H_{sum}^R}{B_{sum}^R}, \quad r_l = \frac{L_{sum}^R}{B_{sum}^R} = 1 - r_h \quad (2)$$

$$B_i^G(i) = \begin{cases} B_i^R, & B_{max} \geq B_{sum}^R \\ B_i^R, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

where

$$B_i^{R'} = B_{max} \times \frac{H_i^R}{B_{sum}^R} + B_{max} \times \frac{L_i^R}{B_{sum}^R}$$

식(3)은 OLT의 스케줄러가 각 ONU에게 대역폭을 할당하는 방식을 수식으로 표현한 것으로  $B_{sum}^R$  값과  $B_{max}$ 를 비교하여  $B_{sum}^R$  값이  $B_{max}$ 보다 작거나 같으면 ONU가 요청한 대역폭을 모두 수락하고  $B_{sum}^R$  값이  $B_{max}$ 보다 크다면  $B_{sum}^R$ 에서  $B_i^R$ 이 차지하는 비율을 곱하여  $B_{max}$ 의 범위로 정규화시켜 대역폭을 할당한다.

식(3)의 과정이 끝나면 OLT는 트래픽 우선순위에 대한 가중치를 적용시켜 대역폭을 재할당 하는 2 단계 과정을 거친다. 그림 2는 2 단계 과정을 나타내는 알고리즘이다. 그림 2에서  $p$ 는 1 단계 과정에서 할당된 저순위 트래픽에 대한 대역폭에서 고순위 트래픽을 위한 대역폭으로 양보할 비율을 나타내고,  $\alpha$ 는  $p$ 에 할당된 저순위 트래픽의 양을 곱하여 계산된 대역폭 양을 가리킨다.  $T_h$ 와  $T_l$ 는  $p$ 의 비율만큼 재할당되는  $H_i^G$ ,  $L_i^G$ 를 의미하고  $w$ 는 고순위 트래픽을 위한 가중치를 나타낸다.

**Weighted Bandwidth Allocation ( $B_i^G, H_i^G, L_i^G, H_i^R, L_i^R, w$ )**

```

FOR  $p = 0.01 : 1$ 
   $\alpha \leftarrow p \times L_i^G$ 
   $T_h \leftarrow H_i^G + \alpha$ 
   $T_l \leftarrow L_i^G - \alpha$ 

  IF  $T_h > (H_i^R \times w)$  OR  $T_h > (B_i^G \times w)$  THEN
    BREAK
  END IF

  IF  $T_l < (L_i^R \times (1-w))$  OR  $T_l < (B_i^G \times (1-w))$  THEN
    BREAK
  END IF
END FOR

 $H_i^G \leftarrow T_h$ 
 $L_i^G \leftarrow T_l$ 
    
```

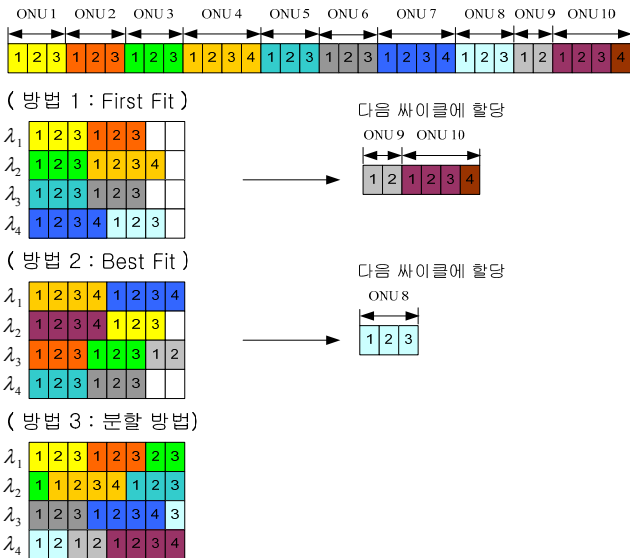
(그림 2) 가중치 기반 차등 대역폭 할당 방법

그림 2의 동작은 1 단계 과정을 통해서 계산된  $H_i^G$ ,  $L_i^G$ 를 고순위 트래픽에 대한 대역폭이 요구한 대역폭  $H_i^R$  혹은  $B_i^G$ 의  $w$  비율까지 증가하거나 저순위 트래픽에 대한 대역폭이 요구한 대역폭  $L_i^R$  혹은  $B_i^G$ 의  $(1-w)$ 비율이 될 때까지 감소하면서 대역폭을 조정한다. 즉, 저순위 트래픽을 위한 대역폭을 가중치만큼 감소 시키면서 발생한 여유 대역폭을 고순위 트래픽을 위해 할당한다. 따라서, 저순위 트래픽의 큐잉 지연 문제를 해결하고 고순위 트래픽의 우선순위 전송을 보장을 제안 한다.

### 3. EPON에서의 파장 배정 방법 제안 및 관련연구

EPON의 점 대 다점 구조에서 상향 트래픽의 경우 대역폭 부족현상을 보완하기 위해 파장 분할 EPON의 개발은 필수적이다. 파장 분할 방식은 하나의 광섬유 내에 다중의 파장을 전송함으로써 제한된 광섬유의 용량을 증가시킨 진화된 광섬유 전송기술이다. 그림

3에서는 파장 배정 방법 3 가지를 보여준다. 방법 1은 현재 고속의 백본 망에서 가장 많이 사용하는 First Fit 방법이다[3]. 이 방법을 파장 분할 EPON에 적용시킨다면, 대역폭 내에 여분의 대역폭이 존재해도 외부 단편화로 인해 ONU9, 10이 다음 사이클로 연기되는 문제점을 가진다. 방법 2는 한 사이클 안에서 대역폭을 최대한 활용하는 Best fit 방법이다[4]. 이것 역시 ONU8이 외부단편화로 인해 다음 사이클로 연기되어 전체적으로 delay가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 배정될 파장에 대해서 대역폭을 분할 할 수 있는 방법 3을 제안한다.



(그림 3) 기존의 파장배정 방법(방법 1,2)와 제안한 파장 배정 방법(방법 3)

제안한 알고리즘은 먼저, 각 ONU가 할당 받은 대역폭을 사용 가능한 파장의 여분대역폭에 배정한다. 현재 배정중인 파장에 여분대역폭이 부족할 시에는 사용 가능한 다음 파장에 배정받지 못한 나머지 대역폭을 배정한다. 단, 다음 파장에 배정시에는 나머지 대역폭을 타임슬롯 단위로 분할해서 순서를 재정렬한 다음 파장의 대역폭에 배정한다. 이런 식으로 모든 ONU가 할당 받은 대역폭을 사용 가능한 파장에 배정하였을 때, 주어진 대역폭을 가장 효율적으로 사용하게 된다.

앞서 제안한 파장 배정 방법을 수행하기 위해 OLT는 요청된 고순위/저순위 트래픽량을 합한 상향 스트림( $B_{sum}^R$ )과 상향 전송 트래픽의 최대 대역폭( $B_{max}$ )에 대한 가용비율( $\psi = B_{max} / B_{sum}^R$ )을 구한다. 최대 대역폭의 가용 비율을 참조하여, 파장 배정을 위해 필요한 파장 변경 기준값( $\tau$ )을 식(4)와 같이 설정한다.

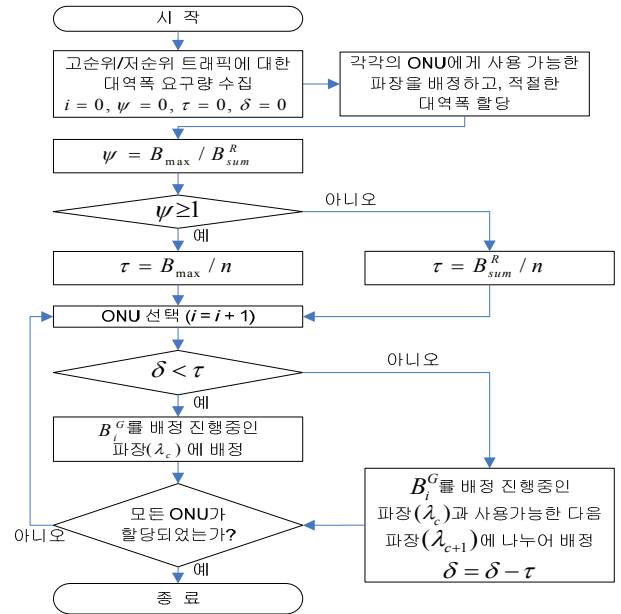
$$\tau = \begin{cases} B_{\mu}^R, & \psi \geq 1 \\ B_{\mu}, & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

where

$$B_{\mu}^R = \frac{B_{sum}^R}{n}, \quad B_{\mu} = \frac{B_{max}}{n}$$

최대 대역폭의 가용비율이 1보다 크거나 같으면, ONU로부터 요청된 고순위/저순위 트래픽에 대한 모든 대역폭을 할당하여도 대역폭이 남으므로, 모든 ONU들이 요청한 고순위 트래픽에 대한 대역폭( $H_{sum}^R$ )

과 저순위 트래픽에 대한 대역폭( $L_{sum}^R$ )의 합( $B_{sum}^R$ )을 파장 수( $n$ )로 나누어 파장 변경 기준 값으로, 최대 대역폭의 가용비율이 1보다 작으면, 상향 스트림의 최대 대역폭을 파장 수로 나누어 파장 변경 기준 값을 구한다. 이렇게 함으로써 최대 대역폭 전체가 사용 가능한 파장으로 구별되어 배정되도록 한다.



(그림 4) 파장 배정 방법

식(4)와 같이 파장 변경 기준 값에 대한 설정단계가 끝나면, ONU를 하나씩 선택하여 대역폭을 할당하고 파장을 배정하게 된다. 먼저 선택된 ONU가 요청하는 대역폭 요구량( $B_i^G$ )과 이전까지 누적 할당된 대역폭의 합( $\delta$ )이, 최대 대역폭의 용량을 넘어서는지 판단한다.  $\delta$ 는 이전까지 누적 할당된 대역폭에 현재 할당되어야 할 ONU의 대역폭 요구량을 합하여 누적 계산된다. 판단하는 식(5)은 아래와 같다.

$$\delta = \begin{cases} \delta + B_i^G, & \delta + B_i^G < \tau \\ \delta + B_i^G - \tau, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

현재 누적된  $\delta$  값과 선택된 ONU가 요청하는 대역폭 요구량의 합( $B_i^G$ )이 최대 대역폭의 용량을 넘어서지 않는다면 요청한 대역폭에 배정될 수 있다는 것을 의미한다. 이 경우엔 현재 ONU에서 요청하는 대역폭을 배정 진행중인 파장( $\lambda_c$ )에 배정한다. 반면에  $\delta$ 가 파장 변경 기준 값보다 크면, 현재 ONU에서 요청하는 트래픽에 대한 대역폭을 파장 변경 기준 값까지 배정하고 나머지 요구 대역폭을 사용 가능한 다음 파장( $\lambda_{c+1}$ )에 배정한다. 이러한 파장 배정이 끝난 후  $\delta$ 는 사용 가능한 다음 파장( $\lambda_{c+1}$ )에 배정된 대역폭 값으로 초기화 한다. 그림 4는 식(3) ~ (5)에서 기술한 파장 배정 방법을 순서대로 나타낸 것이다.

#### 4. 성능평가

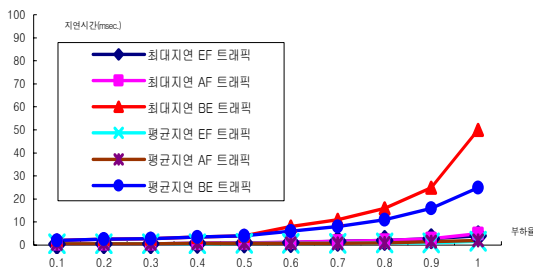
제안한 모델의 성능을 분석하기 위해 상용화된 성능분석 도구인 OPNET을 이용했다. 2장에서 제안한 방법을 검증하기 위하여 단대단 최대지연과 평균지연

에 대한 성능을 분석하였고, 2 장에서 정해진 대역폭 바탕으로 3 장의 파장 배정 방법에 대해서 실험하였다. 제안한 파장 배정 방법에 대하여 처리율, 사용율 그리고 파장 배정 방법에 대한 성능을 분석한다. OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 구현한 EPON 모델의 구성은 아래 표1 과 같다.

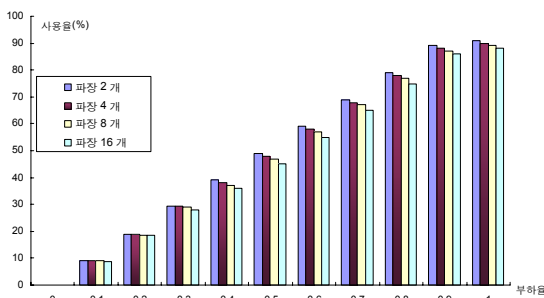
<표 1> OPNET 시뮬레이션에서의 EPON 환경 구성

파라미터	값
OLT : ONU	1 : 16
채널 속도	1Gb/s
파장 수	하향 스트림 : 1개 상향 스트림 : 4개
OLT와 ONU간의 거리	20km
고순위 : 저순위 트래픽	1:1

본 논문에서는 보다 현실성 있는 트래픽 생성을 위하여 EF(Expedited Forwarding), AF(Assured Forwarding) 그리고 BE(Best Effort) 트래픽을 도입한다[5]. 그림 5 는 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1 (EF:AF:BE=1:1:2)인 경우 가중치 방식의 단대단 지연 최대 및 평균 시간을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 우선순위를 고려한 차등 대역폭 할당방식을 이용했을 경우, 고순위 트래픽에 대해서 QoS 를 보장할 뿐만 아니라, 저순위 트래픽의 단대단 지연 시간이 부하율이 증가함에 따라 급속하게 증가하지는 않는 것을 알 수 있다.



(그림 5) 가중치 방식에 대한 각 트래픽의 최대지연과 평균지연 (고순위 트래픽:저순위 트래픽 = 1:1)

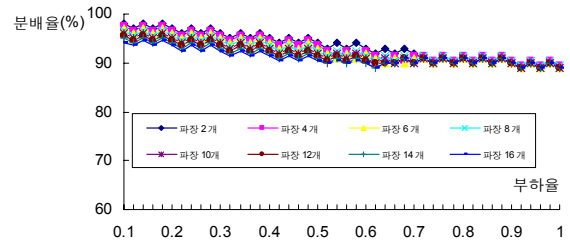


(그림 6) 파장 사용율

제안한 파장 배정 방법에 대한 사용율과 분배율 실험을 통하여 제안된 파장 분할 EPON 의 우수성을 검증한다. 그림 6 은 제안된 파장 배정 방법에 대한 파장 사용율을 나타낸다. 여기서 볼 수 있듯이 파장 분할 EPON 에서 사용하는 파장 수와 부하율이 증가할수록 사용율은 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 사용율 측면에서 볼 때 부하율 1 에서 90% 정도 사용율을 보이는 것은 우수한 망이라는 판단을 할 수

있다. 따라서 제안된 파장 배정 방법은 사용율 측면에서 있어서 우수하다고 할 수 있다.

그림 7 은 제안한 파장 배정 방법에 대한 파장 분배율을 나타낸다. 파장 분배율이란 파장 분할 EPON 망에서 사용 가능한 모든 파장이 고르게 분배되는가에 대한 척도이다. 파장이 고르게 할당된다는 것은 상향 스트림 주기가 짧아 질 수 있다는 것을 의미하고 이것은 더 많은 트래픽을 상향으로 보낼 수 있다는 것을 나타낸다. 그림 7 에서는 파장의 수에 관계없이 90% 이상의 분배율을 나타낸다. 이것은 본 논문에서 제안한 파장 배정 알고리즘이 사용 가능한 파장을 고르게 할당하는 것을 의미한다.



(그림 7) 파장 분배율

### 5. 결론

EPON 기술은 차세대 가입자 접속망의 방안이라 할 수 있다. 그러나 EPON 은 하향으로 최대 전송 대역폭을 사용할 수 있지만 상향으로는 각각의 ONU 가 대역폭을 나누어 사용함으로써 대역폭 부족현상이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 EPON 의 상향 대역폭 부족현상을 개선하고 기존에 EPON 의 상향 트래픽에 대한 QoS 를 보장하기 위해 사용된 우선순위를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방식과, 파장 분할 방식으로 확장한 모델을 설계하고 이에 적합한 파장 배정 방법을 제안하였다.

OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 파장 분할 EPON 모델을 설계하고 구현하였다. 망의 성능 분석을 위해 먼저 가중치를 실험을 통해 선정하여 단대단 지연 시간에 대해 각 ONU 의 트래픽 부하를 변화시키면서 시뮬레이션 하였고 이를 바탕으로 제안한 파장 배정 방법의 성능분석을 위해 파장 사용율, 분배율을 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 파장 분할 EPON 의 우수성을 보였으며, 이러한 시뮬레이션 결과는 제안한 파장 분할 EPON 모델을 실제 망에 설치할 때 적합한 파라미터로 이용할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- [1] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local loop," *Lightwave*, Vol. 16, No. 10, pp. 68-74, Sep. 1999
- [2] G. Kramer and B. Mukherjee, "Interleaved polling with adaptive cycle time (IPACT): a dynamic bandwidth distribution scheme in an optical access network," *Photonic Network Communication*, Vol. 4, No. 1, pp. 89-107, Aug. 2002.
- [3] Xuehong Sun, Yunhao Li, Ioannis Lambadaris and Yiqiang Q. Zhao, "Performance Analysis of First-Fit Wavelength Assignment Algorithm in Optical Networks," *IEEE Telecommunications*, pp 403-409, June 2003.
- [4] Aura Ganz, Weibo Gong and Xudong Wang, "Wavelength Assignment in Multihop Lightwave Networks," *IEEE Communications*, pp 2460-2469, July 1994.
- [5] Jan Beran, *Statistics for long-memory process Monographs on Statistics and Applied Probability*, Chapman and Hall, New York, 1994.