

# 광가입자망의 트래픽 분석에 관한 연구

## A Study on the Traffic Analysis of Optical Subscriber Network

丁海英, 李興宰, 崔眞圭, 李愚燮\*, 柳濟勳\*

Hae-Young Jung, Heung-Jae Lee, Jin-Kyu Choe, Woo-Seop Rhee\*, Jea-Hoon Yu\*

### 요 약

근래의 네트워크에선, 다양하고, 증가된 네트워크의 트래픽을 수용하기 위해 정보의 전달매체는 전기적인 신호에서 보다 빠른 빛으로 그 매개체가 바뀌어 가고 있다. 본 논문에서는 AweSim을 이용하여 성능 분석 프로그램을 개발하고, 초고속 광가입자 분배망으로 EPON에 대해 여러 가지 조건으로 시뮬레이션 하였다. ONU의 개수에 따른 영향, 부하변화에 따른 영향, 슬롯 할당방식에 따른 영향 등을 살펴보았다. 시뮬레이션 결과, 분배망의 트래픽 처리에는 ONU의 개수, 타임 슬롯의 할당 방식이 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 고정길이 슬롯 할당방식 보다는 가변 슬롯 수 할당방식이 트래픽 처리에 효율적인 것으로 분석되었다.

### Abstract

Network of these days, A transmission medium of information is replaced from electric signal to optical signal to accept various and increased network traffic. In this paper, we develop simulation program using AweSim and simulate EPON system as a high-speed optical subscriber network with various conditions. The effects of number of ONUs, effects of network load and effects of slot assignment schemes have been evaluated. The simulation results show that slot assignment schemes and number of ONUs is major factor of network performance. The variable-number slot scheme is more efficient than fixed-length slot scheme in the traffic processing.

*keyword: simulation, EPON, optical network, traffic, slot scheme*

### I. 서 론

21세기 정보통신 환경은 서비스의 복합·다양화와 실시간 멀티미디어 서비스 요구로 인하여 인터넷 통신 트래픽이 급격히 증가할 것으로 예측된다. 또한 서

비스형태가 단순한 인터넷 접속에서 멀티미디어 웹호스팅 등 새로운 통신사업의 출현으로 통신 트래픽의 50~80% 정도가 가입자망 쪽에 집중될 것으로 예상된다[1].

가입자망은 사용자 계층에 따라 다양한 대역폭이 요구될 것이므로, 현재의 가입자망은 사용자의 요구에 따라 수Mbps에서 수Gbps의 대역폭을 제공할 수 있는 가입자망으로 발전되어야 할 것이다. 그러나 백본 네트워크 처리속도 증대에 비하여 가입자망은 고도화가 이루어지지 않아, 초고속 가입자 수와 LAN 트래

韓南大學校 電子情報通信工學部

(School of Info. Tech. & Multimedia Eng., Hannam Univ.)

\* 韓國電子通信研究院

(Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 연구는 2002년도 한국전자통신연구원의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과임.

接受日:2002年 8月31日, 修正完了日:2002年11月13日

픽 증가에 따른 병목현상 발생이 예측되고 있다. 이에 초고속 광가입자망 개발을 위해서 가입자 분배망에서의 트래픽 분석은 매우 중요하다[2].

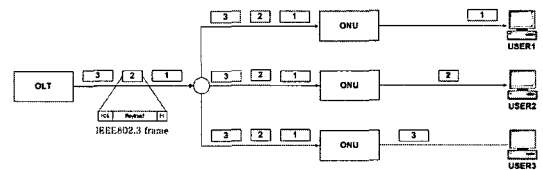
따라서 본 연구에서는 초고속 광가입자 분배망인 EPON(Ethernet Passive Optical Network)에서의 트래픽 분석을 위하여 트래픽에 영향을 미치는 파라미터들을 설정하고 이를 토대로 시뮬레이션언어인 AweSim을 사용한 시뮬레이션 모델 및 프로그램을 개발, 시뮬레이션하고 분석하였다. 본 논문의 구성은 제2장에서 초고속 광가입자 분배망 EPON의 개요와 동작에 대하여 정리하였으며, 제3장에서는 8, 16, 32개의 ONU(Optical Network Unit)로 구성되는 EPON 모델링과 시뮬레이션 결과에 대하여 분석하였다. 마지막으로 제4장에서는 이상의 연구 결과를 정리하고 앞으로의 연구 방향에 대해 기술하였다.

## II. Ethernet PON

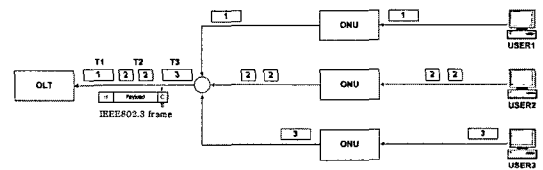
PON(Passive Optical Network) 액세스 네트워크의 토폴로지는 트리, 링, 버스 구조가 있다. EPON은 더블 링과 더블 트리와 같은 다른 형태도 있다. PON에 있어서의 모든 전송은 OLT(Optical Line Terminal)와 ONU간 이루어진다. 그러므로, 하향 전송에서, PON은 점대다점 네트워크이고, 상향전송의 경우에는 다점대점(multipoint-to-point) 네트워크이다. 다중화에 적합한 솔루션으로는 WDM, TDM, 그리고 CDM등이 있다[3-4].

그림 1은 OLT와 ONU 간 전송방식이다. OLT로부터 ONU로 이더넷 프레임을 송신하는 경우, 모든 ONU에 전달되는 브로드캐스팅 형태의 전송방식을 사용하며 하향채널은 기존 이더넷 방식과 동일한 방송형태로 OLT로부터 ONU로 전송되며, 각 ONU에는 MAC주소로 판별되어 수신된다. 따라서 매체를 공유하는 이더넷 LAN과 다른 점이 없다. 반대로 ONU가 OLT로 이더넷 프레임을 송신하는 경우, 여러 ONU들이 겹치게 송신할 수 있으므로, 소위 충돌이 발생한다. 이러한 충돌을 회피하기 위하여, 현재 여러 가지

의 EPON용 멀티플 액세스방식이 제안되고 있다. 그 중에서 가장 간단한 방법은 각 ONU에 해당 TDM 슬롯을 할당하여, ONU들은 해당 슬롯에 자신의 이더넷 프레임들을 송신하는 방법이다. ONU는 단말장치로부터 송신 요구된 이더넷 프레임들을 버퍼링하고 있다가, 해당 슬롯시점에서 저장된 프레임들을 송신한다. 해당 ONU에 할당되는 슬롯의 개수를 조정함으로써, ONU마다의 차등 대역을 할당할 수도 있다[5].



(a) 하향 전송 채널



(b) 상향 전송 채널

그림 1. OLT와 ONU 간 전송방식

## III. 시뮬레이션 모델링 및 성능 분석

### 3.1 시뮬레이션 모델링

광가입자망 액세스시스템의 성능을 분석하기위하여 우선 액세스노드에 입력될 트래픽에 대해 분석하였다. 입력될 트래픽은 가입자 분배망으로 EPON을 사용하는 것으로 설정하고, ONU 수를 달리 하면서 OLT에 입력될 트래픽 변화를 시뮬레이션하였다. 대상 시스템은 크게 ONU들과 광선로, OLT로 구성된다. ONU로 입력되는 패킷들을 슬롯에 할당할 때 고정 할당하거나, 슬롯 수를 입력되는 트래픽에 따라 가변 할당하여 광선로를 통해 OLT로 전송한다.

트래픽 소스들로부터 인가되는 모든 패킷들은 ONU에 있는 버퍼에 저장되며 버퍼는 FIFO로 동작하

도록 모델링하였다. 버퍼에 저장된 패킷은 해당 ONU에 할당된 슬롯시간 동안에 광선로를 통해 OLT로 전송된다. 이때 스케줄링 방식에 따라 전송되는 양이 달라진다. 고정할당방식은 매 프레임마다 각 ONU별로 하나씩의 슬롯이 배정되는 방식이며, 가변 할당 방식은 각 ONU의 전송해야할 패킷합의 크기에 따라 OLT가 비례에 의해 슬롯 수를 가변 할당하는 방식으로 보낼 패킷이 없는 경우에는 슬롯이 배당되지 않는다.

각 ONU들은 cyclic 방식으로 슬롯을 배정받는다. 따라서 ONU로부터 OLT로 보내지는 패킷들은 자신의 서비스 차례가 될 때 실질적으로 OLT로 보내지게 된다.

이와 같은 모델링을 토대로 실제 시뮬레이션을 위해 설계된 네트워크 모델을 그림 2에 나타내었다. 이 모델은 AweSim에서 입력한 그래픽 모델이다. AweSim은 시뮬레이션 전용 언어인 SLAM II의 그래픽 모델을 직접 입력하고 시뮬레이션할 수 있는 프로그램이다. 그림으로 나타낸 모델은 ONU가 16개이며 TREE구조인 경우이다. 각 ONU의 패킷 입력은 지수 분포를 갖는다. 패킷의 길이는 64-1518바이트 사이의 크기를 가지며, 그 크기는 임의로 발생시키며 그 분포는 일양분포가 되도록 하였다.

16개 타임 슬롯으로 이루어진 1프레임의 길이는 2ms이며, 각 슬롯의 크기는  $0.125ms(=2ms/16)$ 이 된다. 단, 전송을 위해 레이저 ON에 걸리는 시간 40ns와 전송 종료를 위한 OFF 시간 40ns를 고려하면 하나의 슬롯은 0.12492ms가 된다. 또한 프레임과 프레임 사이는 보호 시간(guard time)을 96ns로 설정한다. OLT의 대역폭은 1Gbps이며, ONU의 대역폭은 100Mbps이다.

전송은 버퍼에서 패킷이 출력되는 시간을 포함한다. ONU와 OLT 사이는 20km로 가정했으며, 이 경우 광선로 전파시간은 1초에 20만km이므로 전송지연은 0.1ms로 가정했다. 전송하고자 한 패킷의 크기가 할당된 슬롯의 크기를 넘어 패킷의 일부가 전송되지 않는 경우 해당 패킷은 전부 다시 재전송한다. 일정시간마다 광선로의 대역폭을 측정하여 출력한다.

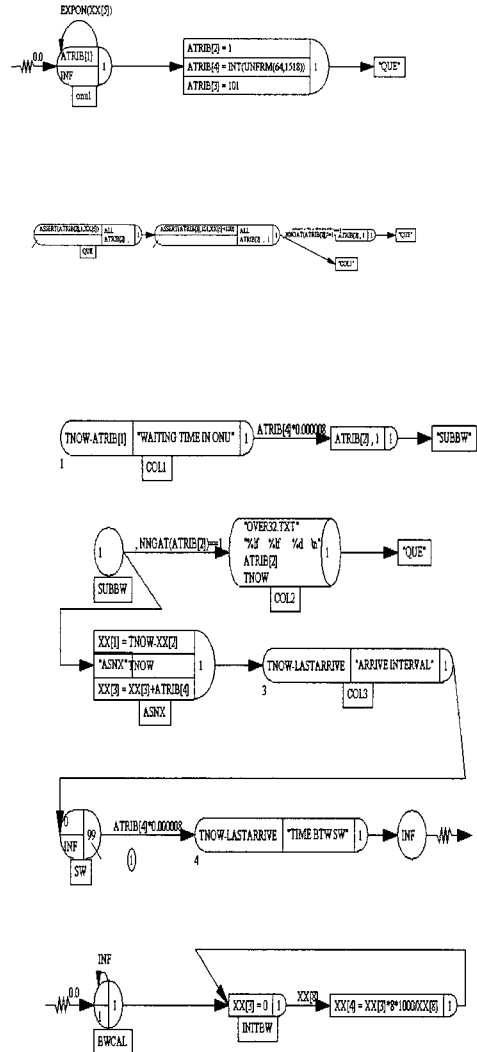


그림 2. 시뮬레이션을 위한 네트워크모델

### 3.2 성능 분석

이상과 같은 기본 시뮬레이션 모델링에 의하여 입력 트래픽에 따른 ONU에서의 패킷 대기시간, 버퍼 내 패킷 길이(평균, 최대), OLT측 패킷 도착시간, 이용율, 오버플로우 비율과 트래픽 변화 등을 시뮬레이션하였다. 또한 분배망 트래픽에 영향을 주는 요소에 대해 알아보기 위해 다음과 같이 ONU의 개수, 트래

픽의 양, 슬롯의 할당 방식, 트래픽의 종류 등을 바꾸어 가면서 시뮬레이션하였다.

(1) 8, 16, 32 ONU에 대하여 ONU 입력 트래픽을 전체 트래픽 부하의 10%에서부터 100%까지 변화시키면서 다음 슬롯방식을 적용하여 시뮬레이션한 경우

가. 고정길이 슬롯방식 적용

나. 가변길이 슬롯방식 적용

다. 가변 슬롯 수 할당 방식

(2) 입력되는 트래픽이 비대칭으로 일부 ONU에 과도하게 입력되는 경우

가. 1 또는 2개의 ONU에 최고 5배의 입력이 들어올 때 - 16 ONU 경우

나. 입력 트래픽이 10%에서 80%로 증가되며 입력되는 경우 - 16 ONU 경우

(3) 입력되는 트래픽이 정해진 부하량이 아닌 임의의 입력으로 시간에 따라 부하량이 변화하도록 한 경우

가. 고정길이 슬롯방식 적용 8, 16, 32 ONUs

나. 가변 슬롯 수 할당 방식 8, 16, 32 ONUs

**1. 8, 16, 32 ONU에 대하여 ONU 입력 트래픽을 전체 트래픽 부하의 10%에서부터 100%까지 변화시키면서 시뮬레이션한 경우**

이 경우 시뮬레이션에서 트래픽 분석을 위한 비교를 위해 슬롯 할당방식으로 고정길이 슬롯방식, 가변길이 슬롯방식, 가변 슬롯 수 할당 방식을 사용하였다. 고정길이 슬롯방식은 각 ONU당 1 프레임에 1슬롯이 할당되는 방식으로 대역폭에 대한 협상은 없는 것으로 한다. 가변길이 슬롯방식은 각 ONU에서 대기하고 있는 패킷의 길이에 따라 슬롯 시간을 배정하는 방식으로 패킷이 없다면 슬롯 시간 할당이 없다. 가변 슬롯 수 할당 방식은 각 ONU에서 OLT에 보고한 ONU 버퍼 내 대기하고 있는 패킷의 길이에 비례하여 슬롯 수를 배정하는 방식으로 패킷이 없다면 슬롯 할당이 없다.

OLT에 도착하는 트래픽 분석을 위하여 overflow 개수 비교, ONU 버퍼 대기 시간, 버퍼 내 패킷 평균 수, 버퍼 내 패킷 최대 수 등을 분석하였다. 그림 3은

고정길이 슬롯방식의 패킷도착 간격, 그림 5는 가변길이 슬롯방식의 버퍼 대기 시간, 그림 4과 그림 5은 가변 슬롯 수 할당 방식의 overflow 비율과 버퍼 내 평균 패킷 수에 대한 것이다.

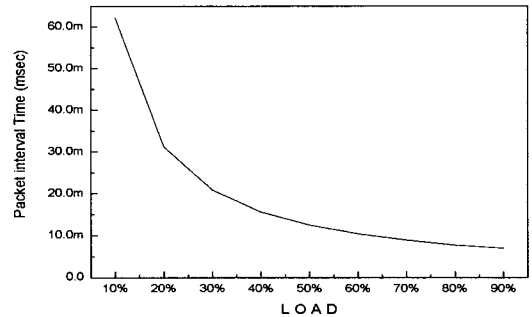


그림 3. 고정길이 슬롯방식의 패킷도착 간격

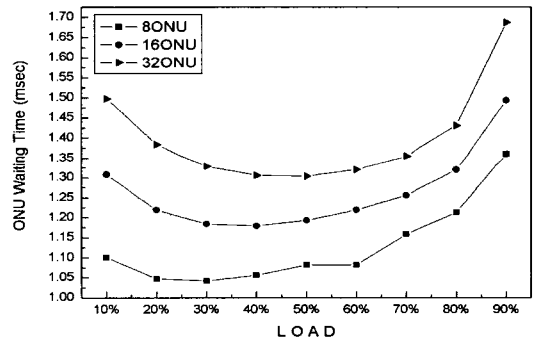


그림 4. 가변길이 슬롯방식의 버퍼 대기 시간

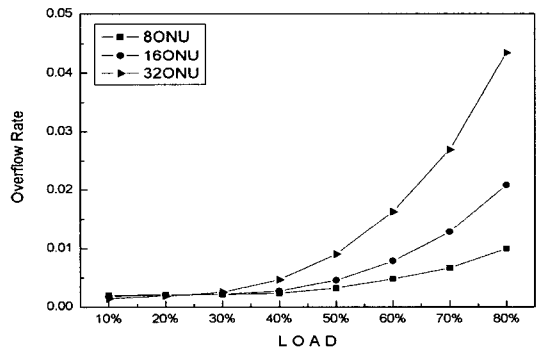


그림 5. 가변 슬롯 수 할당 방식의 overflow 비율

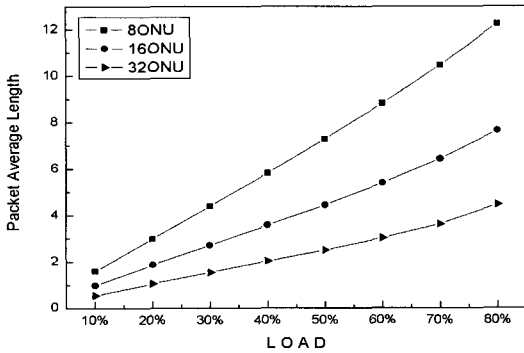


그림 6. 가변 슬롯 수 할당 방식의 버퍼 내 평균 패킷 수

그림 3의 패킷 도착 간격은 부하가 증가함에 따라 적어지는 결과를 보이며 이것은 3가지 방식 모두 동일한 형태를 나타냈다. 그림 4의 버퍼 대기 시간은 초기 부하가 적을 때에는 가변 슬롯의 경우 슬롯 할당을 받지 못한 프레임에 따른 대기 시간 증가로 부하가 40%내지 50%가 되어 적절한 크기의 슬롯타임을 할당받을 때보다 대기시간이 약간 커진다. 그림 5은 가변 슬롯 수 할당 방식의 overflow비율로 부하가 증가하면서 overflow가 늘어남을 보인다. 그림 6도 부하가 증가하면서 버퍼내 평균 패킷 수가 늘어나는 것을 나타낸다.

## 2. 입력되는 트래픽이 비대칭으로 일부 ONU에 과도하게 입력되는 경우

가. 1 또는 2개의 ONU에 최고 5배의 입력이 들어올 때 - 16 ONU 경우

하나 이상의 일부 ONU에 다른 ONU 트래픽 비해 상대적으로 큰 트래픽이 입력되는 상황에 대하여 시뮬레이션하였다. ONU1과 ONU8의 입력으로 하나의 ONU에 할당된 대역폭의 5배가 되는 입력이 그림 7과 같이 입력되고, 나머지 ONU에는 할당된 대역폭의 10%에 해당되는 트래픽이 입력되는 것으로 설정하였다. 그림8는 이들 입력에 의한 전체 트래픽 변화이다. 이 시뮬레이션은 일부에서 과도한 입력이 들어올 경우, 전체에 미치는 영향과 OLT의 제어에 어떠한 영향이 있을 수 있는가에 대한 것이다. 고정길이 슬롯방식인 경우는 과도한 입력이 들어온 ONU만 과부하가

결될 것으로 예상되므로 시뮬레이션 대상에서 제외하였다. 가변길이 슬롯방식에서는 일부 ONU에 상당부분의 슬롯시간이 할당되므로 전체 성능에 영향을 줄 것이다.

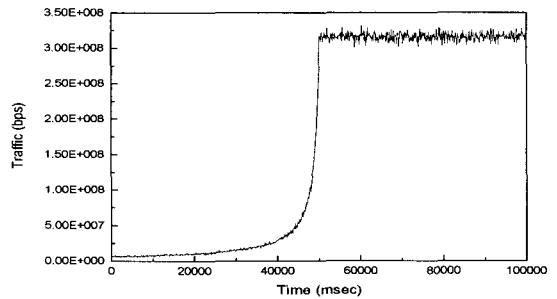


그림 7. ONU1에 입력되는 트래픽 변화(10%에서 500%)

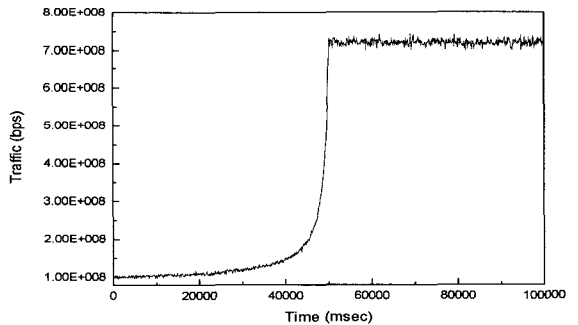


그림 8. 전체 트래픽 변화(2개의 ONU 입력 트래픽이 500%까지 변화할 경우)

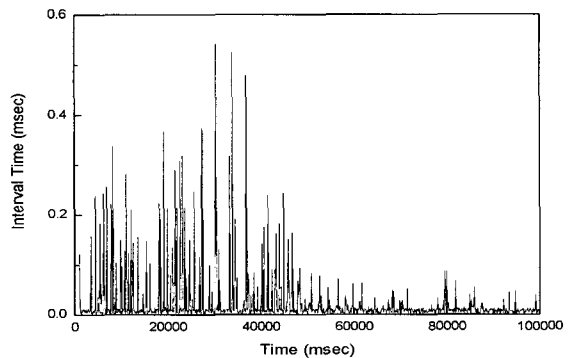


그림 9. 패킷도착간격 변화

그림 9은 OLT에 도착하는 패킷들의 시간 간격을 보인 것으로 입력이 급격히 증가하면서 도착간격이 짧아지는 것을 알 수 있다.

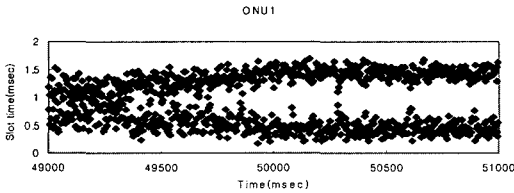


그림 10. ONU1의 슬롯타임 변화

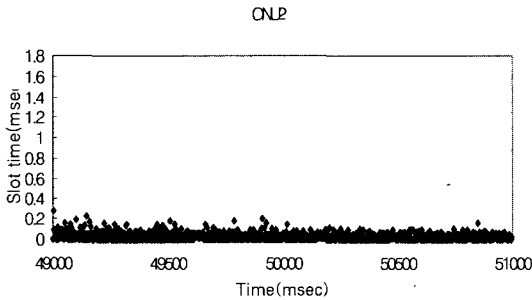


그림 11. ONU2의 슬롯타임변화

그림 10과 11을 보면 과도한 입력이 가해진 슬롯타임 변화가 매우 심해지는 것을 알 수 있다. 이것은 물리는 트래픽을 처리하기 위해 큰 슬롯타임을 주어 버퍼 내 패킷을 모두 처리하고, 버퍼 내 트래픽이 소진되면서 슬롯타임이 매우 적게 할당되는 등의 반복이 이루어지는 것으로 해석된다. 이 경우 전체 트래픽이 임계치에 이르지 않아 큰 문제는 없으나, 시뮬레이션 결과에서 보듯이 슬롯 길이에 대한 제어가 불안해질 수 있는 가능성이 있으므로 급격한 트래픽 변화나 과부하에 대한 OLT에서의 효과적인 제어를 위한 알고리즘 개발이 필요한 것으로 사료된다.

**3. 입력되는 트래픽이 정해진 부하량이 아닌 임의의 입력으로 시간에 따라 부하량이 변화하도록 한 경우**

각 ONU에 입력되는 트래픽량이 임의로 주어진 대역폭의 10%에서 80%사이를 일정한 시간 간격을 가지 고 변화하는 방식으로 그림 12은 ONU1의 입력을 나

타낸 것이다. 그림 13부터 그림 15은 8, 16, 32 ONU로 구성되는 분배망에 대하여 고정길이 슬롯방식과 가변 슬롯 수 방식을 시뮬레이션하고 비교한 것이다.

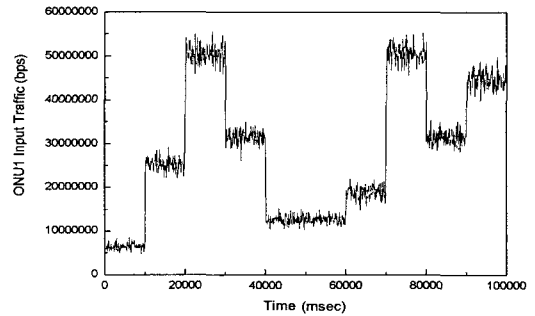


그림 12. ONU 1의 입력 트래픽

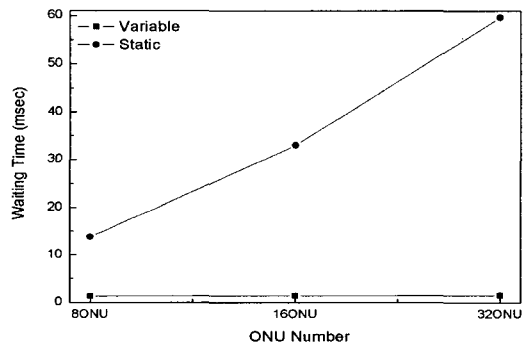


그림 13. 대기시간 비교

그림 13는 ONU의 큐에서 패킷들이 대기하는 시간을 비교한 그림이다. 가변 슬롯 수 방식이 트래픽 변화 및 ONU 수 증가에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

그림 14는 ONU와 OLT 사이 링크의 평균 이용도를 정리한 것으로, 가변 슬롯 수 방식이 ONU 수가 많아짐에도 효율적인 링크 이용을 나타낸다. 이 결과는 트래픽 증가에 따라 슬롯 수를 적절히 배분하는 방식이 링크를 효율적으로 이용하는 것으로 분석된다.

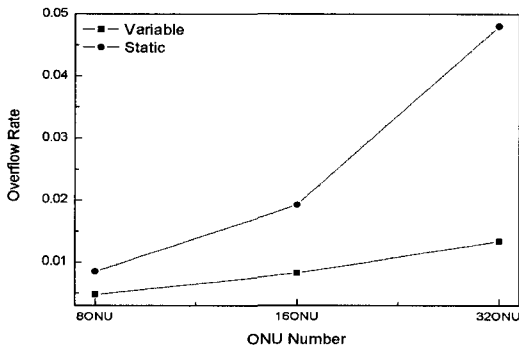


그림 15. Overflow 비율 비교

그림 15은 전송시간을 넘는 패킷의 재전송율이다. 가변 슬롯 수 방식은 고정길이 슬롯방식에 비해 overflow비율이 완만하게 증가하는 것은 입력 트래픽 변화에 적절하게 슬롯수가 할당됨으로 overflow비율이 크게 증가하지 않는 것으로 분석된다. 이상의 시뮬레이션 비교에서 가변 슬롯 수 방식이 고정길이 슬롯 방식에 비해 효율적인 것으로 분석된다. ONU 수가 증가할수록 또는 트래픽 변화가 클수록 차이가 크게 나타났다. 이것은 가변 슬롯 수 방식이 고정길이 슬롯 방식에 비해 입력 트래픽 처리에 효율적으로 동작하는 것으로 분석되어, 광가입자 분배망에서는 가변 슬롯 수 방식을 구현하는 것이 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 논문은 광가입자 분배망인 EPON에서의 트래픽 분석을 위하여 AweSim을 사용한 성능 분석 모델 및

프로그램을 개발하고, 개발된 프로그램을 이용하여 다양한 구성방안에 대해 성능 분석을 하였다. ONU의 개수와 서로 다른 슬롯 할당 방식을 적용하여 큐에 누적되는 패킷의 양을 관찰하고, 링크의 효율, 패킷의 지연 등을 구하여 그 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 종합하면 분배망의 트래픽 처리에는 ONU의 개수, 타임 슬롯의 할당 방식이 큰 영향을 주는 것으로 판단되며, 고정길이 슬롯 할당방식보다는 가변 슬롯 수 할당방식이 트래픽 처리에 효율적인 것으로 분석되었다. ONU 수가 증가할수록 또는 트래픽 변화가 클수록 차이가 크게 나타났다. 이것은 가변 슬롯 수 방식이 고정길이 슬롯방식에 비해 입력 트래픽 처리에 효율적으로 동작하는 것으로 분석되어, 광가입자 분배망에서는 가변 슬롯 수 방식을 구현하는 것이 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 ONU와 OLT 간의 트래픽 분석을 위하여 슬롯배정 방식에 중점을 두어 분석하였으나 구현을 위해서는 슬롯 배정을 위한 MAC 프로토콜 및 OLT에서의 제어 알고리즘에 대해서도 연구가 되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 심재찬, 허재두, 이형호, "Ethernet PON 기술 개발 동향", 주간기술동향, 1051호, 2002.6.
2. G. Pesavento, M. Kelsey, "PONs for the broadband local loop", Lightwave magazine, Communication and Optoelectronics Group, October 1999.
3. A. Adas, "Traffic models in broadband networks," IEEE Communications Magazine, 35(7), pp. 82-89, July 1997.
4. <http://www.iec.org>, "Ethernet Passive Optical Network", Web Proforum Tutorials, The International Engineering Consortium.

5. 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, July 2001.

1999년 - 2000년 미국 Oregon State University 방문 교수

1990년 8월 - 현재 한남대학교 교수

주관심분야 : 통신망 성능평가, 디지털시스템설계

저자 소개

丁海英(學生會員)



1976년 1월 20일생.  
2000년 한남대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2001년 ~ 현재 한남대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중  
주관심분야: 네트워크 시뮬레이션

李興宰(學生會員)



1968년 2월 27일생.  
1998년 한남대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2000년 한남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
2002년 ~ 현재 한남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

주관심분야 : 네트워크 시뮬레이션, Embedded System 설계

崔眞圭(正會員)



1958년 9월 20일생.  
1980년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1982년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 9월 - 1990년 8월 대전공업대학 조교수

李愚燮(正會員)



1983. 2. 홍익대학교 전자계산학과 졸업 (학사)  
1995. 8. 충남대학교 대학원 전산학과 졸업 (석사)  
2000. 3 현재 충남대학교 대학원 전산학과 박사과정

1983. 3. - 현재 한국전자 통신 연구원 근무  
현 액세스구조팀, 책임 연구원

2000. 1 현재 정통부 지정 국제 표준화 전문가  
주관심분야 : 초고속 광가입자 망 구조, IP QoS

柳濟勳(正會員)



1980년 건국대학교 전자공학과 (공학사)  
1982년 건국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1980년~현재 한국전자통신연구원 네트워크기연구소 책임연구원

관심분야 : 광가입자망 구조, 이동통신 네트워크 구조, 광 인터넷 구조, 통신망 설계