

차세대 인터넷 서비스를 위한 광버스트 교환 노드 설계*

장희선** · 신현철*** · 엄기철**** · 이성훈*****

요 약

본 논문에서는 차세대 인터넷 서비스를 지원하기 위한 광버스트 교환 시스템(Optical Burst Switching System : OBS)의 개발 규격을 제시한다. 개발 규격이란 입출력 노드의 수, 파장의 수, 버퍼의 용량, 컨트롤러의 용량/큐 크기 및 최대 버스트 조립 지연시간을 포함한다. 개발 규격을 제시하기 위하여 관련된 성능 파라미터를 추출하고 시스템의 성능을 최대화하며 가입자의 데이터 손실율을 최소화하는 수학적 모형을 제시하고 효율적인 휴리스틱 알고리즘을 제시한다. 그리고 여러 성능 파라미터들에 대한 시스템의 민감도를 분석한다.

Development of Optical Burst Switching System for Next Generation Internet Services*

Hee-Seon Jang** · Hyeun-Cheul Shin*** ·
Ki-Chul Aum**** · Sung-Hoon Lee*****

ABSTRACT

In this paper, the development specification of the optical burst switching system (OBS) for next generation internet services is presented. The development specification includes the number of input/output nodes, the number of wavelengths, buffer capacity, the capacity/queue size of the controller and maximum burst assembly delay. From the performance parameters related to the OBS design, an mathematical model to maximize the throughput and minimize the data loss is presented, and then efficient heuristic algorithm is also presented to analyze the sensitivity of the system parameters.

Key words : Optical Internet, Optical Burst Switching

* 본 연구는 산학협동재단 2004년도 학술연구과제(04-A-II)로 수행되었습니다.
** 평택대학교 경상정보학부 e-비즈니스연구소
*** 백석대학 컴퓨터학부
**** 대광정보통신
***** 천안대학교 정보통신학부

1. 서 론

오늘날 정보통신 환경의 변화는 통신 사업 영역의 파괴, 복수 통신 사업자의 출현, 인터넷의 생활화, IP 기반의 다양한 서비스 출현, 개방형 통신 기술과 광통신 기술 등을 포함하는 통신기술의 눈부신 발전 등으로 압축할 수 있을 것이다. 특히, 인터넷 분야에서는 차세대 인터넷이라는 신조어가 등장하여 익숙해지기도 전에 광인터넷이라는 신 용어가 등장했다.

전화통신을 시작으로 태동한 통신기술은 개별 통신망 시대, ATM 기술 출현 등의 단계를 거치면서 인터넷의 대중화 시대를 유도하였고, 이제는 인터넷의 생활화라고 칭할 만큼 사회 전분야에 걸쳐 인터넷이 생활의 중심에 자리잡게 하였다. 이러한 인터넷의 보편화는 다양한 콘텐츠 기술의 발전을 촉진시켜 인터넷 전화를 포함한 다양하고 값싼 서비스의 출현을 야기 시킴으로써 기존 통신사업자들의 수익 구조에 많은 변화를 초래하게 되었다. 그리고 인터넷의 생활화에 따른 트래픽의 폭증과 인터넷 기반의 다양한 생활 서비스에 대한 욕구 증대는 곧바로 통신 네트워크의 개선을 요구하고 있는 시점에 이르게 되었다. 우리나라도 향후 10년 이내에 인터넷이 모든 국민 생활의 중심에 위치할 것이다. 즉, 2010년 경에는 지금의 1Mbps보다 1,000배나 빠른 1Gbps 인터넷이 우리들의 가정, 사무실, 일상생활을 연결하여 전자상거래, 사이버 교육 및 사이버 의료 서비스 등의 여러 사이버 공간 서비스가 활성화 될 것이다[3, 5, 6].

따라서 차세대 고속 인터넷 서비스를 지원하기 위해서는 하나의 인터넷 노드가 처리해야 할 트래픽이 초당 수십-수천 테라비트가 될 것이며 [1, 4], 이러한 인터넷 트래픽을 처리하기 위한 대안으로서 광통신 기술과 인터넷 기술을 결합하는 광 인터넷 기술을 꿈고 있다. 즉, 광 인터넷 기술은 음성, 데이터, 화상 등 인터넷 정보를 광

파장 신호로 변환하여 빛의 속도로 교환, 전달, 처리하는 기술로서, 폭발적으로 증대하는 인터넷 트래픽을 가장 경제적으로 처리할 수 있다[3, 6].

한편, 광 파장 기반의 광 회선교환 개념을 이용하는 IP/ATM/SONET/WDM 및 IPoW 전송 기술은 경로설정 시간에 따른 지연, 제한된 수의 파장, 광 전송로의 낮은 throughput으로 인해 버스트(burst)하고 길이가 짧은 IP 트래픽을 처리하기에는 한계가 있다. 또한 광 버퍼 사용의 제한성으로 인해 완전 광 패킷 교환을 위한 구체적인 답을 주지 못하고 있는 형편이다. 따라서 이러한 단점을 보완하고 광 회선 스위칭과 패킷 스위칭의 장점을 취할 수 있는 광 버스트 교환 시스템(OBS : Optical Burst Switching System)이 최근 연구, 개발되고 있다[2, 4, 6].

일반적으로 초고속 인터넷 서비스를 지원하기 위한 OBS를 개발하기 위해서는 사전에 그 개발 규격(입출력 단의 수, 파장의 수, 버퍼의 용량, Controller 용량 및 큐 크기, 최대 버스트 조립 지연시간 등)이 제시되어야 한다. 이는 향후 전개될 초고속 인터넷 서비스를 이용하는 가입자의 서비스품질을 미리 고려하고, 구축될 초고속 인터넷 서비스 망의 구조하에서 OBS의 노드가 처리해야 할 시스템 규격이라고 정의할 수 있으며, 이의 설계 방안에 따라 전체 인터넷 망의 서비스 흐름이 결정되게 된다. 본 논문에서는 인터넷 가입자의 수요예측 자료와 초고속 인터넷 서비스 망의 구조하에서 원하는 가입자의 서비스 품질을 만족시켜주기 위한 광 버스트 교환 시스템의 설계방안(개발 규격)을 제시한다. 이를 위해 개발 규격과 관련된 성능 파라메타를 추출하고 시스템의 성능을 최대화하며 가입자의 데이터 손실율(그리고 데이터 처리 지연시간)을 최소화하는 수학적 모형을 제시한다. 그리고 제시된 수학적 모형을 해결하기 위한 효율적인 알고리즘을 개발하고 여러 성능 파라메타들에 대한 시스템의 민감도를 분석한다.

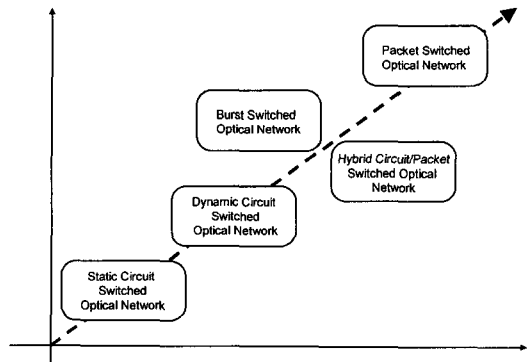
2. 광 인터넷 기술

네트워크의 빠른 진화는 인터넷 트래픽의 성장뿐만 아니라 그런 진화를 가능하게 하는 기술들의 발전에 의해 꾸준히 이루어져오고 있다. 우리나라를 비롯한 미국, 캐나다, 유럽 등 여러 나라에서는 10년 전부터 이미 차세대 인터넷에 대한 준비를 해오고 있으며 광통신 기술을 접목한 광 인터넷에 대한 연구 또한 활발히 진행 중에 있다.

미국은 정부 주도의 NGI(Next Generation Internet)와 민간 주도의 Internet2라는 사업을 진행해 기존 인터넷 망의 한계성에 대한 준비를 해오고 있다. NGI는 고도의 네트워크 기술과 설비, 응용 제공을 목표로 진행 중에 있으며, 광 네트워크 관련 기술 개발은 SuperNet 프로젝트의 일환으로 망의 투명성과 확장성, 유연성, 연동성 등 관련 기술의 검증은 목표로 MONET과 ONRAMP를 통해 WDM-ring 구조의 메트로 시험망을 구축, 운영하면서 추진하고 있다[1]. 캐나다는 1989년 구축한 CANet이라는 비영리 인터넷 기간망이 CANet2로 발전하였으며 대학, 연구소 및 업체들에게 서비스를 제공하고 있다. CANet2에 이은 CANet3은 1998년도부터 시작된 캐나다의 네트워크 구축 프로젝트로 Optical Internet 즉, IP over WDM 네트워크 구축을 목적으로 하고 있다[2, 3]. 유럽에서는 ACTS 프로젝트의 일환으로써 대학교와 산업체의 참여로 1995년부터 시작된 KEOPS, PHOTON, OPEN 등의 프로젝트에서 광 네트워크 분야의 연구가 진행되고 있다. 여기서 KEOPS(Keys to Optical Packet Switching) 프로젝트에서는 종단대중단간 전광 네트워크 구조하에 패킷 스위칭 기술 검증을 추진하였으며 망 구조를 전자적 스위칭 계층, 광 패킷 스위칭 계층, 광 파장 스위칭 계층으로 구분하여 진행되었다[5, 6]. 우리나라에서는 광 인터넷 포럼(KOIF : Korea Optical Internet Forum)을 통

해 정부, 연구계, 학계, 산업계 등이 연계한 광 네트워크 기술 연구가 진행되고 있다. 또한, 정보통신부 주관으로 2005년까지 광 인터넷 개발 사업을 진행 중에 있으며 이를 통해 그동안 개발된 각 기술 및 장비들을 시험할 수 있는 테스트 베드 구축까지 가능할 것으로 예상된다[6].

(그림 1)은 기간망에서의 노드 구조의 발전 방향을 나타낸다. 현재 광교환 기술로서 가장 구현이 용이한 형태는 광회선 교환망이지만 근본적으로 통계적 다중화를 제공하지 못하여망 자원의 활용도가 떨어지기 때문에 궁극적인 광 전달망의 형태는 광패킷 교환망이 될 것이다. 그러나 전기적인 소자, 메모리에 대응하는 광소자 및 메모리의 부재로 인해 선결되어야 하는 기술적인 문제점들이 많기 때문에 실용화가 되기까지는 오랜 시일이 소요될 것으로 예상된다. 한편, 광버스트 교환 방식은 광패킷 교환과 광회선 교환을 결합한 형태로서, 광패킷 교환과 같은 광소자를 요구하지 않으면서 통계적 다중화를 이룰 수 있다는 장점 때문에 최근에 많은 주목을 받고 있다.



(그림 1) 광 네트워크 기술

차세대 광 네트워크는 데이터 트래픽의 최적 전달을 목적으로 한다. 따라서 현재의 음성 서비스와 전용선 서비스를 제공하기 위하여 시작된 SONET/SDH 기반의 네트워크는 앞으로 데이터

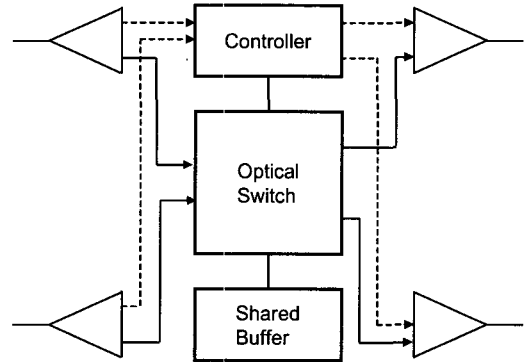
트래픽 특히 IP 응용 서비스 제공에 보다 효율적인 데이터 네트워크로 발전할 것이다[3]. 이와 관련하여 현재의 IP/ATM/SONET/WDM은 회선 확장성 문제와 비효율성의 문제로 IPoW로의 진화가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 광 회선 스위칭의 경우에는 경로 설정 시간에 따른 지연, 전송로의 낮은 throughput 그리고 버스트하고 self-similar한 특성을 가진 인터넷 트래픽 처리에는 적합하지 못하다는 연구 결과가 제시되고 있다[4]. 이런 단점을 보완하고 패킷 스위칭의 장점을 가진 광 버스트 교환 시스템(OBS)이 차세대 초고속 인터넷 서비스에서의 핵심 스위칭 기술을 가진 시스템으로 평가받고 있다[3, 4]. 한편, OBS 시스템에 대한 구조 및 그의 데이터 트래픽 처리에 대해서는 많은 연구 결과[1, 2, 5]가 나오고 있으나 구체적인 시스템 성능 분석, 입출력 단 설계 방안, 가입자 트래픽에 따른 소요 자원의 수 및 제어기와 공유 버퍼 설계 용량 등의 내용을 서술한 OBS 설계 방안에 대한 연구가 미진한 형편이다.

3. 광 버스트 스위치

OBS의 주요 개념은 노드에서 발생하는 IP 트래픽의 특성상 유사 성질을 갖는 패킷을 모아서 버스트를 형성하고 이 버스트에 해당하는 별도의 헤더를 작성한 후, 이 헤더들만을 모아 별도의 파장을 사용하는 컨트롤 채널로 먼저 보낸다. 그리고 버스트 페이로드들은 나머지 파장들에 해당하는 데이터 채널로 보낸다. (그림 2)는 OBS의 구조를 나타내며, 점선은 컨트롤 채널을 실선은 데이터 채널의 흐름을 보여준다.

OBS에서는 소스에서 발생하는 여러 패킷들을 하나의 버스트로 구성한다. 그리고 하나의 버스트가 구성된 후 해당 제어 패킷(control packet)을 전송한다. 이 경우 하나의 버스트를 구성하는

데 걸리는 시간을 버스트 조립 지연(burst assembly delay)이라 한다.



(그림 2) 광 버스트 교환 시스템

버스트 조립 지연이 작다면 많은 제어 패킷이 발생하고 따라서 OBS의 성능이 저하된다. 따라서 적절한 버스트 조립지연 시간을 사전에 정의하여야 한다. 본 논문에서 사용하는 기호를 정리하면 다음과 같다.

- x : 버스트 전송시간(msec)
- λ : 버스트 도착율(Poisson 분포)(bursts/msec)
- $1/\mu$: 제어 패킷의 평균 서비스 시간(msec)
- Q : 대기 중인 제어 패킷의 수(packet/msec)
- N : 소스(sources)의 수(# of sources)
- k : 파장(wavelength)의 수(# of wavelengths)
- t^* : 최대 허용 버스트 조립 지연 시간(msec)
- x_{max} : 최대 버스트 전송 시간(msec)

Controller는 G/G/1으로 모델링할 수 있으며 제어 프로세서에서 대기중인 제어 패킷의 수가 0보다 클 확률은 $\Pr\{Q>0\} = \frac{\lambda}{\mu}$ [7]가 되고 이는 대기시간이 0보다 클 확률과 동일하다.

$$\Pr\{Q>0\} = \frac{\lambda}{\mu} \leq \epsilon_1 \quad (1)$$

버스트 데이터 트래픽에 대해 출력단에서는 M/G/k로 모델링할 수 있으며 따라서 버스트 블러킹 확률 $E[y(x)]$ 은 M/M/k 시스템에서의 Erlang-B와 동일[7]하고 블러킹 확률을 ϵ_2 이하로 유지하여야 하는 경우 다음 제약식을 만족하여야 한다.

$$E[y(x)] = \frac{(\lambda x)^k / k!}{\sum_{i=0}^k (\lambda x)^i / i!} \leq \epsilon_2 \quad (2)$$

N개의 트래픽 소스에서 모두 homogeneous한 트래픽 발생을 가정하여 단위 시간 동안 각 소스에서 $y(x)/N$ 의 트래픽 부하가 발생된다고 가정한다.

3.1 light traffic(저부하 트래픽)의 경우

저부하 트래픽은 t^* (최대 허용 버스트 조립 지연 시간)가 x_{max} (최대 버스트 전송시간)보다 매우 작은 상황을 말한다. 여기서 단위시간동안 처리해야 할 트래픽 양은 $y(x)/N$ 이며 따라서 t^* 동안 발생하는 트래픽 전송시간은 $y(x)t^*/N$ 이므로 하나의 버스트를 전송하는데 소요되는 평균 시간은 $x = y(x)t^*/N$ 이 된다.

3.2 heavy traffic(과부하 트래픽)의 경우

과부하 트래픽은 t^* 이 x_{max} 보다 큰 상황을 말한다. 따라서 x_{max} 시간 동안 하나의 버스트를 전송할 수 있으므로 $x = x_{max}$ 이 된다.

결국, 위의 두가지 트래픽 상황에서 하나의 파장을 이용하여 버스트를 전송하는데 걸리는 평균 시간은 light traffic과 heavy traffic에서의 버스트 전송시간 중 작은 값이 된다.

$$x = \min\left(\frac{y(x)t^*}{N}, x_{max}\right) \quad (3)$$

식 (1), 식 (2), 식 (3)으로부터 버스트 전송시 평균 시간을 구하는 문제는 다음과 같다.

$$(P) \quad \text{Max } y(x) = \lambda x \quad (4)$$

subject to

$$\frac{\lambda}{\mu} \leq \epsilon_1 \quad (5)$$

$$E[y(x)] \leq \epsilon_2 \quad (6)$$

$$x = \min\left(\frac{y(x)t^*}{N}, x_{max}\right) \quad (7)$$

따라서 최적 버스트 전송시간과 버스트 전송 동안 처리되는 트래픽의 양을 구하는 과정은 다음과 같다.

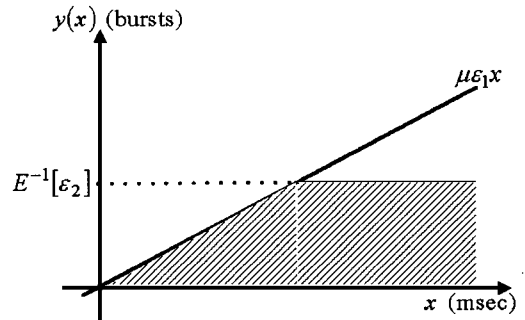
If $\frac{N}{t^*} \geq \mu\epsilon_1$ then no solutions \Rightarrow stop

else if $\frac{E^{-1}[\epsilon_2]}{x_{max}} \leq \frac{N}{t^*}$

then $x^* = \frac{E^{-1}[\epsilon_2]t^*}{N}$, $y(x^*) = E^{-1}[\epsilon_2]$

else if $x^* = x_{max}$, $y(x^*) = \frac{N}{t^*}x^*$

식 (5)~식 (7)로부터 feasible region(가능해 영역)을 그림으로 표현하면 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 서비스품질에 따른 feasible region

Light traffic의 경우, $x = y(x)t^*/N$ 이며 이는 다시 $y(x) = Nx/t^*$ 로 표현할 수 있다. 따라서 기울기 N/t^* 는 (그림 3)에서의 가능해 영역에 포함되기 위하여 $N/t^* \leq \mu\epsilon_1$ 을 만족하여야 한다. 결국 feasible region의 상황에서 최적의 x^* 는 x_{max} 의 값에 따라 결정된다. 먼저, $E^{-1}[\epsilon_2]/x_{max} \leq N/t^*$ 의 경우 최적의 버스트 전송시간은 $x^* = E^{-1}[\epsilon_2]t^*/N$ 이고 carried traffic은 $y(x^*) = E^{-1}[\epsilon_2]$ 이다.

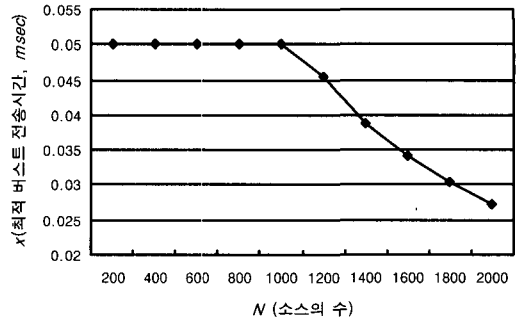
4. 성능 분석

N (소스의 수)과 k (파장의 수)의 변화에 따른 최적 버스트 전송시간과 carried traffic의 변화를 분석하기 위하여 <표 1>과 같은 파라메타 값을 가정한다.

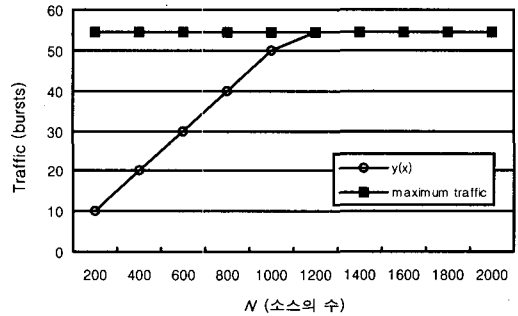
<표 1> 파라메타 값

파라메타	값	파라메타	값
λ	2000bursts/msec	x_{max}	0.05msec
$1/\mu$	100nsec	ϵ_1	0.25
t^*	1msec	ϵ_2	10^{-8}

(그림 4)와 (그림 5)는 파장의 수(k)가 100개인 경우 소스의 수(N)에 따른 평균 버스트 전송시간과 처리 트래픽의 양을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 일정한 소스의 수까지는 최적 버스트 전송시간이 감소하지 않지만 어느 정도 이상으로 소스의 수가 증가하게 되면 버스트 전송시간은 감소해야 됨을 알 수 있다. 또한, 어느 정도의 소스의 수까지는 처리 트래픽이 계속 증가하지만 이후에는 출력단에서의 블러킹 확률 제약식으로 인해 더 이상의 소스의 수에 대해서 처리할 수 있는 트래픽은 증가하지 않음을 알 수 있다.

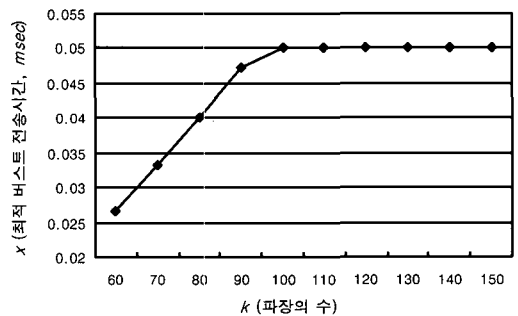


(그림 4) 소스 수에 따른 버스트 전송시간

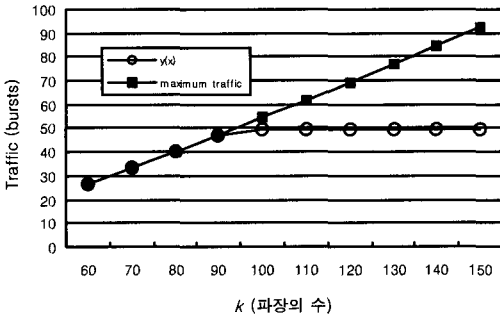


(그림 5) 소스 수에 따른 처리 트래픽

(그림 6)과 (그림 7)은 파장수의 변화에 따른 버스트 전송시간과 처리 트래픽의 양을 나타낸다. 파장의 수가 증가함에 따라 동일한 ϵ_2 확률 하에서 처리할 수 있는 트래픽($E^{-1}[\epsilon_2]$)이 증가한다. 따라서 파장의 수가 많은 경우 최적 버스트



(그림 6) 파장 수에 따른 버스트 전송시간



(그림 7) 파장 수에 따른 처리 트래픽

트 전송시간은 x_{max} 에 의해 결정되고 처리 트래픽의 양은 x_{max} 에 비례한다. 반면, 파장의 수가 작은 경우 최적 버스트 전송시간과 처리 트래픽의 양은 $E^{-1}[\epsilon_2]$ 에 비례한다.

5. 결 론

최근 차세대 통신망 특히, 차세대 광 네트워크에서의 교환 기술로써 광회선교환, 패킷교환 및 버스트 교환 방식이 논의되고 있다. 상대적으로 구현이 용이한 회선교환 방식은 근본적으로 통계적 다중화를 제공하지 못하여 망자원의 효율성 측면에서 문제가 되고 있어 궁극적으로 광패킷 교환망으로 그 전달망의 형태가 될 것으로 판단된다. 하지만, 광 패킷교환을 위해서는 전기적인 광소자와 메모리 등의 기술적인 문제점들이 실용화 이전에 해결되어야 한다. 이러한 광회선 교환과 패킷교환의 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로서 광버스트 교환 방식이 거론되고 있다. 교환방식간에는 전체 서비스 망 구조 하에서의 성능분석이 사전에 반드시 이루어져야 한다.

본 논문에서는 광 버스트 교환(OBS : Optical Burst Switching) 시스템의 설계 방안을 제시하였다. 성능분석 결과, 일정 정도 이상으로 소스

의 수가 증가하면 최적 버스트 전송시간이 감소하고 이에 따라 처리 트래픽의 양은 더 이상 증가할 수 없음을 알 수 있다. 또한, OBS내의 파장의 수가 증가함에 따라 최적 버스트 전송시간과 처리 트래픽의 양은 증가하지만 일정 수 이상이 되면 최대 버스트 전송시간의 제약으로 인해 더 이상 처리 트래픽의 양이 증가하지 않음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. White, M. Zukerman and H. L. Vu, "A framework for optical burst switching network design", *IEEE Communications Letters*, Vol.6, No.6, June 2002.
- [2] J. S. Turner, "Terabit burst switching," *Journal of High Speed Networks*, 1999.
- [3] K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath and S. Bodamer, "Evaluation of reservation mechanism for optical burst switching", *International Journal of Electronics Communications*, Vol.55, No.1, pp.18-26, 2001.
- [4] K. Dlozer and C. Gauger, "On burst assembly in optical burst switching networks- A performance evaluation of just-enough-time", *International Teletraffic Congress*, Vol.4, pp.149-160, Brazil, September 2001.
- [5] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong and M. Vandenhoute, "Design issues of optical IP routers for Internet backbone applications", *IEEE Communications Magazine*, Vol.37, No.12, pp.124-128, December 1999.
- [6] 박진우, 이명문, "차세대 광 네트워크 기술", 텔레콤, 제18권, 제1호, 2002년 6월.
- [7] 이호우, "대기행렬 이론-확률과정론적 분석," 시그마프레스, 1998.



장희선

울산대학교 산업공학과(공학사)
KAIST 산업공학과(공학석사)
KAIST 산업공학과(공학박사)
현재 평택대학교 경상정보학부
교수

관심분야 : 네트워크, 트래픽 엔지니어링



염기철

순천향대학교 수학과(이학사)
선문대학교 대학원 전자계산학과
재학중
(주) 대광정보통신 대표
관심분야 : 정보통신, 컴퓨터네

트워크, 임베디드시스템, 무선통신



신현철

서울산업대학교 전자계산학과
(이학사)
광운대학교 전자계산학과
(공학석사)
원광대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)

현재 백석대학 컴퓨터학부 부교수

관심분야 : 정보통신, 무선통신, 이동성관리



이성훈

한남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
고려대학교 컴퓨터학과(공학석사)
고려대학교 컴퓨터학과(공학박사)
현재 천안대학교 정보통신학부
교수

관심분야 : 정보통신, 모바일컴퓨팅, 분산시스템