

# 광 버스트 스위칭 망에서 서비스 차등률을 고려한 QoS 제공 기법

정회원 소원호\*, 김영천\*

## QoS Supporting Scheme Considering Service-Differentiation Ratio in Optical Burst Switching Networks

Won-ho So\*, Young-chon Kim\* *Regular Members*

### 요 약

최근 파장 분할 다중화 기술을 이용한 광 인터넷 백본망 구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 광 버스트 스위칭 (optical burst switching; OBS) 기술을 이용한 광 통신망에서 offset 시간을 이용한 서비스 차별화 기법을 제시한다. 제시된 기법은 서비스를 상위 클래스와 하위 클래스로 구분하여 각 서비스의 버스트 손실률 (burst loss rate; BLR)이 서비스 차등률 (service-differentiation ratio; SDR)에 의하여 유지될 수 있도록 상위 클래스의 offset 시간을 결정한다. 여기서 서비스 차등률은 OBS망 환경과 사용자의 요구에 의해서 다양하게 설정될 수 있으며, 서비스 차등률과 다중 클래스의 Conservation Law의 관계에 의해서 상위 클래스의 버스트 손실률이 요구 QoS로 결정된다. 제안된 기법은 상위 클래스의 QoS를 만족하는 offset 시간을 결정하는 하기 위하여 offset 시간 결정(offset time decision; OTD) 알고리즘을 이용한다. 제안된 기법을 단일 노드와 균등 트래픽 망 환경에서 시뮬레이션과 분석을 통하여 성능을 검증하며, 서비스간의 차별이 요구 SDR에 근거하여 유지됨을 보이고 offset에 의한 전송 지연이 감소함을 보인다.

### ABSTRACT

Recently, the research on the construction of optical Internet backbone networks using WDM has been actively progressed. In this paper, we propose the offset based service-differentiation scheme in optical burst switching (OBS) networks. We classify the services into two classes; high class and low class. The proposed scheme decides the offset time of high class so as to satisfy the required burst loss rate (BLR) of services according to the service-differentiation ratio (SDR). The SDR may be set depending on the environment of OBS network and user's requirements, our scheme decides the BLR of high class by using the required SDR and conservation law. Finally, we use the offset time decision (OTD) algorithm to determine the offset time of high class. The proposed scheme is evaluated through simulation. The result of simulation is compared with that of analysis to verify the proposed scheme.

### I. 서론

새로운 세기의 시작과 더불어 전 세계의 인터넷 사용자 수는 폭발적으로 증가하고 있으며 특히 고속 데이터 서비스, 전자 상거래, 가상 교육, IT

(Internet Telephony) 및 실시간 멀티미디어 서비스 등과 같은 데이터 트래픽의 증가는 기존의 음성 트래픽 증가를 훨씬 앞지르고 있다. 이는 통신망에서 IP기반의 광대역 데이터 통신의 역할이 점차 증대되고 있으며 통신망이 QoS 보장을 더욱더 원활히

\* 전북대학교 전자정보공학부 차세대통신망연구실 (whso, yckim@networks.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 020303-0716, 접수일자 : 2002년 7월 16일

※ 본 연구는 한국과학재단(KOSEF)의 광인터넷연구센터(OIRC) 프로젝트의 지원으로 이루어졌습니다.

제공할 수 있어야 된다는 것을 의미한다. 최근 이러한 통신망 환경 변화에 대응하기 위하여 파장 분할 다중화 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광소자 기술을 이용한 광 인터넷 (Optical Internet) 구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>11-13)</sup>.

광 인터넷 구성을 위한 교환 방식은 광 회선 교환 방식 (Optical Circuit-Switching; OCS)과 광 패킷 교환 방식(Optical Packet-Switching; OPS)으로 크게 분류된다. 광 회선 교환 방식은 단순하게 운용될 수 있는 장점이 있지만 채널 사용 시간과 관계없이 채널의 설정과 해제과정에 대하여 일정한 신호방식에 대한 오버헤드 시간이 요구된다. 따라서 상대적으로 작은 채널 사용 시간을 요구하는 IP 트래픽을 수용하면 자원 비효율적인 사용으로 대역폭의 낭비가 심하게 발생한다. 이에 비해 광 패킷 교환 방식은 고정 길이의 패킷을 이용하여 채널을 동적으로 이용할 수 있어서 채널의 이용 효율을 증가시킬 수 있다. 그러나 현실적으로 광 논리 소자 기술의 미비와 단순한 광 버퍼 기능으로 광신호를 모두 全光영역에서 처리하기란 매우 어려운 상황이다<sup>14)</sup>.

최근 이러한 OCS와 OPS 방식의 장점만을 이용한 광 버스트 스위칭 (optical burst switching; OBS) 방식이 제시되어 광 인터넷 구축을 위한 현실적인 대안으로 활발히 연구되고 있다. 특히, OBS 기술을 이용한 IP over WDM망에서 QoS (Quality of Service)의 보장은 매우 중요한 연구 목표이다. 지금까지 제시된 OBS망을 위한 QoS 제공 기법은 offset 기반, 스케줄링 기반, 그리고 라우팅 기반 등 세 가지이다. Offset을 이용한 기법에서는 상위 클래스에 긴 offset 시간을 설정함으로써 채널 예약에 대한 기회를 상위 클래스 버스트가 선점(先占)하는 방식이다. 이 방식은 간단하지만 버스트를 전송하기 전에 긴 offset에 의한 전송 지연이 요구되는 문제점이 있다<sup>15)</sup>. 스케줄링을 이용하는 기법은 두 가지로, OBS 망의 코어 노드에서 클래스마다 독립된 큐를 구성하여 우선 순위가 높은 큐에 저장된 제어 패킷을 먼저 처리하는 방식이 있으며, 또한 스케줄링된 결과, 즉 버스트 손실률 (burst loss rate; BLR)을 관리하여 클래스마다 서비스를 차별하는 방식이 있다. 전자는 서비스 클래스에 대한 버스트의 길이와 offset 시간에 대한 엄격한 제한 조건이 선행되며 후자는 많은 스케줄링 결과를 관리해야 하는 단점을 갖는다<sup>16, 17)</sup>. 마지막으로 세그먼트와 라우팅에 의한 방식은 버스트를 세그먼트(segment)로 구성하여 우회(deflection) 경로를 이용한 방식이다

<sup>18)</sup> 연구 결과에 의하면 세그먼트 단위로 버스트가 스케줄링 될 수 있기 때문에 버스트의 손실을 크게 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 반면에 세그먼트의 크기 결정과 중간 노드에서 제어 패킷의 생성과 관리가 어려운 단점을 갖는다.

본 논문에서는 offset 시간을 이용하여 단순하고 서비스 사용자와 제공자의 다양한 요구를 수용하여 서비스 차별화가 가능한 QoS 제공 기법을 제안한다. 제안된 방식은 OBS 망의 서비스를 상위 클래스와 하위 클래스로 구분한다. 또한 서비스 차등률 (service-differentiation ratio; SDR)이 주어질 때, 상위 클래스에 대한 요구 손실률을 결정하여 적합한 크기의 offset 시간을 결정한다.

## II. 광 버스트 스위칭을 위한 서비스 차별화

### 1. 광 버스트 스위칭

일반적으로 OBS망은 에지 노드, 코어 노드, 그리고 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 광 링크로 구성된다. 에지 노드는 IP 패킷을 모아서 데이터 버스트 (data burst frame; DBF)와 이에 대한 제어 패킷 (burst control packet; BCP)을 생성하여 먼저 BCP를 제어 채널로 전송하고 이후에 DBF를 데이터 채널로 전송한다. 이때 DBF는 목적지 주소와 QoS가 같은 IP 패킷으로 구성되며 BCP는 DBF에 대한 제어 정보로서 코어 망에서 라우팅에 사용되는 근원지/목적지 에지 노드 주소, QoS 타입, offset 시간, 버스트 길이, 파장 채널 번호, TTL (Time-To-Live) 등의 정보를 포함한다. 코어 노드의 경우에는 일반적으로 교환기의 입력단에 Inlet FDL(Fiber Delay Line)을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우로 분류된다. 본 논문에서는 전자의 경우로 그림 1과 같이 코어 노드는 MUX/DMUX (Multiplexer/Demultiplexer), Inlet FDL, 교환기 제어부 (switch control unit; SCU), 광교환부 (optical switching matrix; OSM), 그리고 파장 변환부로 구성된다.

그림에서 광 링크는 K개의 파장을 사용하며 제어 패킷을 위한 채널 (Control Channel Group; CCG)은 1개, 데이터 버스트를 위한 채널 (Data Channel Group; DCG)은 K-1개로 설정되었다. 이때 입력되는 제어 패킷은 지연 없이 SCU로 전달된다. SCU에 입력되는 BCP는 RSM (Routing and Signaling Module)에 의해서 결정된 라우팅 테이블을 참조하여 FM (Forwarding Module)에서 출력

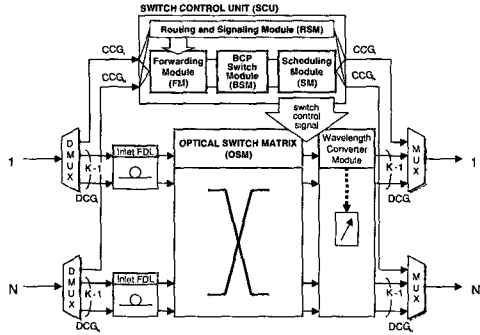


그림 1. 광 버스트 스위칭을 위한 코어 노드 구조.

링크가 결정된다. BSM (BCP Switch Module)을 거친 BCP는 SM (Scheduling Module)에서 수행하는 DBF에 대한 스케줄링에 이용되어 적합한 DCG와 채널 사용 시간을 예약하는데 이용된다. 또한 예약된 정보에 의해서 OSM (Optical Switch Matrix)과 파장 변환부를 제어한다. 반면에 DBF는 Inlet-FDL에서 일정 시간 ( $\Delta$ )만큼 지연되어 OSM에 입력된다. 따라서  $\Delta$ 는 BCP가 SCU에서 처리되는 시간( $\tau$ )보다는 커야 한다.

## 2. QoS 제공 기법

### 1) Offset 기반

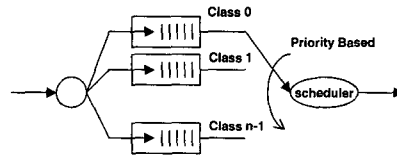
Offset 기반의 QoS 제공 방법은 우선 순위가 높은 버스트에 긴 offset 시간을 설정하고 우선 순위가 낮은 버스트에는 offset을 사용하지 않는 방식이다. 같은 시간에 출력 링크에 전송이 될 DBF가 동시에 2개가 있다면, 이 버스트들의 BCP 중에서 먼저 처리되는 BCP의 DBF가 채널 사용에 대한 우선권을 갖는다. 따라서 버스트와 제어 패키지 사이에 일정한 시간 간격인 offset을 이용하는 버스트가 있다면, 이 버스트는 offset 시간을 사용하지 않는 버스트에 비해서 채널을 그 만큼 빨리 예약할 수 있다. 따라서 class 1의 offset 시간이 class 0의 가변 길이 DBF의 최대 크기보다 크다면 항상 class 1의 채널 예약은 가능하다. 이 방식에서 상위 클래스 트래픽의 offset 시간은 클래스의 종류가 많을 수록 길게 설정되어 IP 계층에서 offset에 의한 지연이 요구되며, 하위 클래스의 DBF 중에서 큰 길이의 DBF는 손실될 확률이 상대적으로 높은 단점을 갖는다.

### 2) 스케줄링 기반

광 버스트 스위칭을 위한 중요한 기술 중에 하나는 버스트 스케줄링 기법이다. 이것은 DBF를 위한



(a) LAUC-VF



(b) 다중 큐 스케줄링 모듈

그림 2. QoS 제공을 위한 다중 큐 스케줄링 기법.

파장 채널을 예약하는 것으로 LAUC-VF (Latest Available Unused Channel with Void Filling) 기법이 대표적이다. 그림 2(a)의 LAUC-VF 방식은 입력되는 BCP를 순서대로 스케줄링을 하지만 그림 2(b)와 같이 다중 큐를 사용함으로써 서비스 차별화가 가능하다. 하지만 이 방식에서 모든 서비스 클래스의 offset 시간은 고정되며 버스트의 크기도 offset 시간보다는 작아야 되는 제한 조건을 갖고 있다. 또한 단위 시간인 슬롯(slot) 단위로 버스트의 크기와 프로세싱 시간이 제한되는 문제점을 갖고 있다.

또 다른 스케줄링 기반의 서비스 차별화 기법으로는 강제적으로 버스트의 손실을 유발시키는 방식이다. 이 방식은  $q_i/q_j = s_i/s_j, i, j = 0 \dots N$ 인 관계식을 이용한다. 여기서  $q_i$ 는 클래스  $i$ 의 QoS이고  $s_i$ 는 클래스  $i$ 에 대한 차등 요소이다. 따라서 이 식은 클래스간의 차등 요소를 결정하여 QoS를 차등 요소에 맞게 유지하는데 이용된다. 스케줄러는 입력되는 BCP를 순서적으로 처리하면서 각 클래스에 대한 손실률 정보를 일정 시간동안 계속 관리한다. 또한 각 클래스의  $q_i$ 와  $s_i$ 를 이용하여 최상위 클래스  $N$ 에 대하여  $(q_i/s_i) = (q_N/s_N)$ 을 만족하도록 하위 클래스의 버스트를 강제적으로 손실시킨다. 이 방식은 offset 없이 일정 비율로 손실률을 관리할 수 있는 장점을 갖지만 스케줄러는 항상 각 클래스에 대한 손실정보를 관리해야 하는 부담을 갖고 있다.

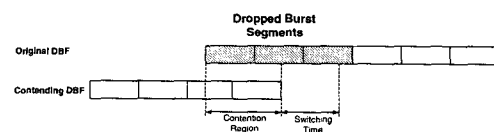


그림 3. 두 개의 충돌 버스트를 위한 세그먼트화.

3) 세그먼트와 라우팅 기반

마지막으로 버스트의 세그먼트화와 우회 경로를 이용한 기법이다. 일반적인 OBS 방식에서 버스트는 전송 중에 분리될 수 없다. 하지만 이 방식은 그림 3과 같이 하나의 버스트를 여러 개의 고정 크기의 세그먼트로 구성한다. 코어 노드에서 채널 사용에 대한 충돌이 발생되면 버스트 전체를 손실하지 않고 충돌 부분과 스위칭 시간을 고려하여 선행된 DBF (original DBF)의 뒷부분 세그먼트만을 제거하여 손실되는 데이터의 양을 감소시킬 수 있다. 만일 original DBF가 하위 클래스인 경우는 그림 3과 같이 버스트의 뒷부분을 제거하여 contending DBF의 세그먼트를 손실없이 전송한다. 반면에 original DBF가 상위 클래스인 경우는 다양한 조합이 가능한데 단순하게는 뒷부분을 다른 포트에 전송하는 것이다. 따라서 상위 클래스는 우회 경로를 이용하여 목적지 노드에 전송된다. 이 방식의 장점은 데이터의 손실을 크게 줄일 수 있다는 점이다. 하지만 에지 라우터에서 세그먼트 단위로 버스트를 생성해야하며 스케줄링이 그만큼 증가한다. 또한 이미 설정된 버스트에 대해서 뒷부분을 제거하는 경우도 발생하므로 이에 대한 제어 패킷의 전송 등 복잡한 제어기능이 요구되는 단점이 있다.

III. 차등률을 고려한 QoS 제공 기법

1. 차등률을 고려한 버스트 손실을 분석

Offset 시간에 의한 버스트의 손실률을 분석하기 위하여 두 가지 경우를 생각한다. 첫 번째는 offset 시간에 의하여 클래스를 구분하지 않는 "classless"로서 모든 버스트 클래스가 offset 시간을 사용하지 않는 경우다. 두 번째는 offset 시간에 의해서 클래스를 구분하는 "prioritized"이다. 분석을 간단히 하기 위하여 광 버퍼가 없는 단일 출력 링크를 갖는 OBS 코어 노드를 고려한다. 또한 서비스 클래스의 개수는 2개로, 각 서비스의 버스트 도착은 포아송, 처리 시간은 지수분포로 가정한다. 다음은 광 버스트 스위칭에서 offset에 의한 손실률의 분석을 위한 변수정의이다.

- $k$  : 광 링크의 데이터 파장 채널 수
- $L_i$  : 클래스  $i$ 의 평균 버스트 크기
- $t_i$  : 클래스  $i$ 의 offset 시간
- $\lambda_i$  : 클래스  $i$ 의 평균 버스트 도착률
- $\mu_i$  : 클래스  $i$ 의 평균 서비스율,  $1/L_i$

- $\rho_i$  : 클래스  $i$ 의 입력 부하,  $\rho_i = \lambda_i / (\mu_i \cdot k)$ 이며 이것을  $r_i/k$ 로 표현
  - $pb_i$  : 클래스  $i$ 의 버스트 손실률
- 여기서  $r_i = \lambda_i / \mu_i$ 이고 따라서 전체 입력 부하  $\rho = \sum_{i=0}^{n-1} \rho_i$ 이다. 먼저 출력링크의 파장수가  $k$ 개고 파장 변환이 가능한 OBS 노드에서 "classless"인 경우에 버스트 손실률은 다음과 같이 Erlang 손실 공식 ( $M/M/k/k$ )를 이용하여 분석할 수 있다.

$$B(\rho, k) = \frac{1/k! \cdot r^k}{\sum_{m=0}^k 1/m! \cdot r^m} \tag{1}$$

여기서  $r = \rho \cdot k$ 이고, 식(1)은 모든 클래스의 전체 입력 부하를 고려했을 때 결정되는 버스트 손실률이 된다.

다음은 서비스를 상위 클래스 (class 1)와 하위 클래스 (class 0)로 분류하는 "prioritized" 경우로서 offset 시간, Conservation Law, 그리고 서비스 차등률을 고려한다. 먼저 class 0의 offset 시간은 무시한다. 따라서  $t_0 = 0$ 이고,  $t_1$ 은  $0 \leq t_1 < \infty$ 인 값으로 설정될 수 있다. 또한 Conservation Law는  $c_i = \rho_i / \rho$ 일 때,  $B(\rho, k) = c_0 \cdot pb_0 + c_1 \cdot pb_1$ 으로 각 클래스의 손실률의 비율적 합은 전체 트래픽의 손실률과 같이 정의된다. 마지막으로 본 논문에서 고려하는 서비스 차등률 (service-differentiation ratio; SDR)  $d$ 는 그림 4와 같이 상위 클래스의 손실률에 대한 하위 클래스의 손실률 비율로 설명된다. 따라서,  $d = 10$ 이면, class 0의 버스트 손실률은 class 1의 손실률,  $pb_1$ 의 10배를 의미한다.

이제 서비스 차등률  $d$ 을 고려하여 각 클래스의 버스트 손실률을 결정한다. 각 클래스의  $pb_i$ 를 구하기 위하여 class 0부터 결정하고 class 1 순서로 BLR을 결정한다. 주어진 파라미터가 파장수  $k$ , 전체 입력부하  $\rho$ , 그리고  $c_i$ 와  $d$ 일 때, class 0의  $pb_0$ 는 다음 식을 만족한다.

$$pb_0 = d \cdot pb_1 \tag{2}$$

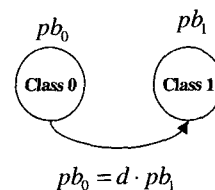


그림 4. 서비스 차등률 개념.

$$pb_{all} = c_0 \cdot pb_0 + c_1 \cdot pb_1 \quad (3)$$

여기서  $pb_{all}$ 은 Erlang 손실 공식에 의해서 결정 되기 때문에 식(2)와 (3)은 2차 연립방정식이 되며  $pb_1$ 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} pb_{all} &= c_0 \cdot d \cdot pb_1 + c_1 \cdot pb_1 \\ &= (c_0 \cdot d + c_1)pb_1 \quad (4) \\ \therefore pb_1 &= \frac{pb_{all}}{c_0d + c_1} \end{aligned}$$

이때 class 0과 class 1의  $d$ 은 상위 클래스의 offset 시간  $t_1$ 에 의해서 유지되며 이것은 [10]에서 제시된 offset 시간 결정 (offset timed decision; OTD) 알고리즘을 이용하여  $pb_1$ 이 주어질 때 결정 될 수 있다.

### 2. 차등률 보장을 위한 offset 시간 결정

기존의 offset 기반 QoS 제공 기법에서는 상위 클래스  $i$ 를 하위 클래스  $i-1$ 로부터 완전한 차별화를 목표로 하였다<sup>[5]</sup>. 따라서 상위 클래스의 offset은 하위 클래스의 버스트 크기의 최대 크기보다 크게 설정된다. 만일 버스트의 크기를 지수 분포로 가정 하면 상위 클래스의 offset 시간은 무한대가 되어야 하며, 같은 가정에서 클래스  $i-1$  버스트의 약 99%이상이 클래스  $i$ 의 offset 보다 작기 위해서는  $t_i$ 가  $5 \cdot L_{i-1}$ 이상으로 설정되어야 한다. 하지만 본 논문에서는 각 클래스의 서비스 차등률을 고려하여 offset 시간을 결정하기 때문에 단순히 offset 시간을 무한대로 가정한 기존 분석,  $pb_1 = B(\rho_1, k)$ 을 이용할 수 없다. [10]에서는 offset이 일정한 크기로 설정될 때, 상위 클래스의 버스트 손실률에 대한 분석을 보였다. 임의의 offset 시간  $t$ 을 갖는 class 1의 버스트 손실은  $t$ 가  $0 \leq t < \infty$ 일 때 우선 순위가 낮은 하위 class 0의 영향을 받는다. 따라서 상위 클래스에 대한 버스트 손실은 다음 식을 이용하여 결정된다.

$$\begin{aligned} pb_1 &= B(A_1^t, k) \\ &= B(\rho_1 + \rho_0^t, k) \quad (5) \end{aligned}$$

여기서  $\rho_0^t$ 은 class 1의 offset이  $t$ 로 설정되었을 때 class 0 버스트 중 class 1의 손실에 영향을 주는 입력 부하의 양으로  $t$ 가 각각  $\infty, 0$ , 그리고  $0 < x < \infty$ 을 만족하는  $x$ 인 경우에  $\rho_0^\infty = 0, \rho_0^0 = \rho_0$ , 그리고  $\rho_0^x = \rho_0(1 - pb_0)(1 - F_x)$ 로 결정된다. 세 번

째 경우의  $F_x$ 는 class 0의 CDF (Cumulative Distribution Function)으로서  $x$ 보다 작은 class 0 버스트의 비율을 나타낸다. 따라서  $\rho_0(1 - pb_0)(1 - F_x)$ 은 버스트에 대한 채널 예약 과정에서 class 0이 채널 예약에 성공하고, 그 때 버스트의 크기가 상위 클래스인 class 1의 offset  $x$ 보다 큰 트래픽 양을 의미한다. Offset 시간을 고려하여 상위 클래스의 BLR을 결정하는 자세한 내용에 대해서는 [9]과 [10]을 참고하기 바란다.

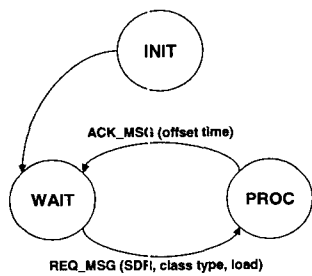
본 논문에서는 상위 클래스와 하위 클래스간의 서비스 차등률을 상위 클래스의 offset에 의해서 유지해야 하기 때문에 앞 절의 식(4)와 식(5)를 이용한다. 즉, 요구되는 서비스 차등률에 의해서 상위 클래스의 요구 손실률이 결정되면 이에 맞는 offset 시간은 식(5)로 결정하는 방식이다. 하지만 식(5)는 offset 시간에 대하여 역변환이 불가능하기 때문에 서비스 차등률을 위한 offset 시간을 결정할 수 없다. 따라서 적합한 offset 시간을 결정하기 위한 첫 번째 방법은 요구 손실률이 주어지면 식(5)을 그대로 이용하여 임의의 offset 시간을 반복적으로 대입하여 요구 손실률에 근접하는 offset 시간을 결정하는 방법이 있다. 두 번째 방식은 식(5)의 특성을 이용하여 역변환이 가능한 손실 공식을 이용하는 방법이다. [10]에서 두 번째 방식을 이용하여 offset 시간을 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘을 쉽게 이용하기 위하여 그림 5와 같이 함수로 다시 정의한다.

```

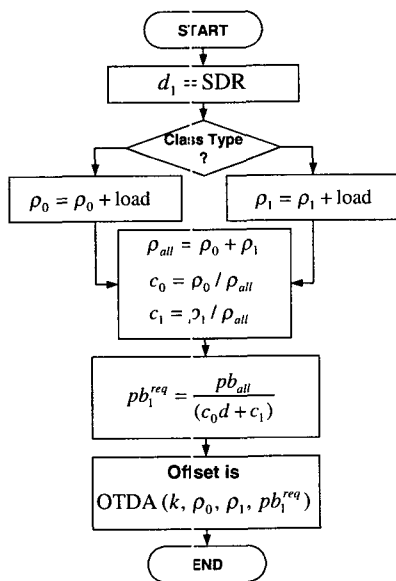
> INPUT :  $k, \rho_0, \rho_1, pb_1^{req}$  (서비스 차등률을 고려할 때 결정된 class 1의 손실률)
> OUTPUT :  $t$  (서비스 차등률을 유지하기 위한 class 1의 offset 시간)
OTDA ( $k, \rho_0, \rho_1, pb_1^{req}$ )
A0: IF  $B(A_1^\infty, k) \leq pb_1^{req} \leq B(A_1^0, k)$ 
A1:  $r' = 0.5 + \rho_1 e^{-\rho_1}, x = -\log(1 - r')L_0$ 
A2:  $\beta = -\log\left(\frac{B(A_1^x, k) - U}{D(1 - r')}\right) \frac{1}{r'}$ 
A3:  $r = -\log\left(\frac{pb_1^{req} - U}{D} + e^{-\beta}\right) \frac{1}{\beta}$ 
A4:  $r = \min\{1, \max\{0, r\}\}$ 
ELSE
B1: RETURN -1
C1: RETURN  $t = -\log(1 - r)L$ 
    
```

그림 5. Offset 시간 결정 알고리즘.

그림 5의 알고리즘은 class 1의 offset 시간 대신에  $r$ 을 이용하여  $r$ 을 먼저 결정하고 이것을 이용하여 함수가 반환할 offset 시간을 결정하는 방법을 이용한다. 여기서  $r$ 은  $0 \leq t \leq \infty$ 의 범위를 갖는 offset 시간  $t$ 대신에 이 범위를  $0 \leq r \leq 1$ 로 매핑할 수 있는  $r = 1 - e^{-(1/L_0) \cdot t}$ 인 관계식을 이용한다. 알고리즘에서 라인 A0는 요구되는 class 1의 BLR,  $pb_1^{req}$ 을 주어진 파장수로 보장할 수 있는지 조건을 검사하는 부분이다. 따라서 class 0와 완전히 분리되는,  $t = \infty$ ,  $B(A_1^\infty, k)$ 보다는 커야 하고 offset 시간을 이용하지 않은,  $t = 0$ ,  $B(A_1^0, k)$ 보다는 작아야 한다. 만일 이 조건을 만족하지 못하면 요구된 확률  $pb_1^{req}$ 은 보장될 수 없음을 의미하며 함수 OTDA()은 라인 B1에서 -1을 반환한다. 라인 A1에서 A4까지는 [10]에서 제시한 HLF (Heuristic Loss Formula)를 이용하여 class 1의  $pb_1^{req}$ 이 주어졌을



(a) State diagram of control part



(b) Procedure of PROC state

그림 6. 서비스 차등률을 고려한 offset 시간 결정.

때, offset을 결정할 수 있는  $r$ 을 결정하는 과정이다. 여기서  $D$ 와  $U$ 는 각각  $B(A_1^0, k) - B(A_1^\infty, k)$ 과  $B(A_1^\infty, k)$ 이고  $r$ 값을 결정하면 class 1을 위한 offset 값은 라인 C1과 같이 계산된다.

1) 단일 노드에서 서비스 차별화

그림 6은 단일 노드에서 서비스 차등률을 고려하여 상위 클래스 서비스의 QoS를 보장하는 기법을 설명한다. 그림 6(a)는 QoS 제공을 위한 노드 제어부의 상태 천이도를 보인 것으로 INIT 상태에서는 파장수  $k$ 와 각 클래스의  $\rho_i$ 를 초기화한다. 초기화를 마치면 다음 상태인 WAIT상태로 천이하여 새롭게 입력되는 서비스 클래스의 QoS 요구를 기다린다. 새로운 서비스의 요구가 노드에 입력되면 제공해야할 SDR값을 유지하기 위해서 입력되는 서비스의 클래스의 타입, 입력부하, 그리고 SDR값을 이용하여 상위 클래스에 대한 offset 시간을 결정해야 한다. 이러한 정보를 REQ\_MSG 메시지를 이용하여 제어부에 전달하면 상태천이도는 WAIT에서 PROC상태로 천이한다. PROC 상태에서는 그림 6(b)와 같이 입력되는 파라미터를 고려하여 각 클래스의 입력부하를 갱신하고 식(4)와 OTDA 알고리즘을 이용하여 상위 클래스의 offset 시간을 결정한다. 마지막으로 제어부는 결정된 offset 시간을 반환하여 상위 클래스의 SDR을 유지하고 다시 WAIT 상태로 천이를 한다.

2) OBS망을 고려한 서비스 차별화

OBS망을 거쳐 목적지 노드까지 전송되는 버스트는 중간노드를 거칠 때 다른 버스트들과 데이터 채널 사용을 경쟁하게 된다. 이 때 근원지 노드와 목적지 노드간의 홉(hop) 수가  $k$ 일 때,  $k$ 번을 경쟁에서 성공해야만 목적지 노드에 전송된다. 망의 트래픽이 균등하게 분포된 것으로 가정하고 분석을 간단히 하기 위하여 각 노드의 버스트 손실률은  $p$ 로 모두 동일한 것으로 가정한다. 그림 7은 이와 같은 조건에서 다중 홉을 거쳐 전송되는 버스트의 손실률을 설명한다.

먼저 한 홉을 거치는 연결에 대한 성공 확률은  $1-p$ 이고 두 홉을 거치는 동안 손실이 없이 전송되는 성공 확률은  $(1-p)^2$ 이다. 따라서 두 홉을 거치는 동안 손실이 발생할 확률은 그림 7의 2번 홉인 경우의  $1-(1-p)^2$ 가 된다. 이것을  $k$ 홉까지 고려하여 일반화를 하면  $1-(1-p)^k$ 인 손실률로 연결이 구성된다.

이와 같은 통신망 환경을 고려할 때 class 1과 class 0의 서비스 차등률  $d^{net}$ 은 연결의 목적지 노드에서 고려되어야 한다. 먼저 목적지 노드에서 class 1의 요구 손실률을 결정하기 위해서 3.1절의 식(2)와 (3)을 이용한다. 이 식의  $pb_1$ 은 목적지 노드에서의 class 1에 대한 손실률이며,  $c_0$ 와  $c_1$ 은 전체 망에 대한 입력 부하의 비율이다. 따라서 식(4)로 class 1의 요구 손실률을 구할 수 있으며,  $pb_1$ 을  $pb_1^{req}$ 로 표현하고 서비스의 연결 홉 수  $h$ 를 고려하면 다음과 같은 관계가 된다.

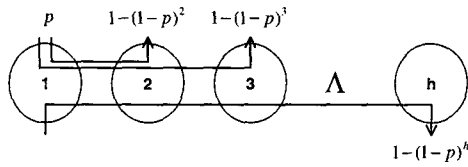


그림 7. 버스트 손실률과 홉 수의 관계.

$$pb_1^{req} = 1 - (1 - p_s)^h \quad (6)$$

여기서  $p_s$ 는 단일 노드에서 버스트의 손실률이다. 망이 균등 분포임을 가정했기 때문에 이 식은 아래 식과 같은 단일 노드에서의 class 1에 대한 손실률로 다시 표현된다.

$$p_s = 1 - (1 - pb_1^{req})^{\frac{1}{h}} \quad (7)$$

따라서 OBS망의 링크 당 파장수가  $k$ 이고 망에 대한 class 1과 0의 입력 부하가 각각  $\rho_1^{net}$ ,  $\rho_0^{net}$ 일 때, 서비스 차등률  $d^{net}$ 을 고려한 class 1의 offset 시간은 OTDA ( $k$ ,  $\rho_1^{net}$ ,  $\rho_0^{net}$ ,  $p_s$ )을 이용하여 결정할 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

QoS 제공을 위한 제안된 차별화 기법에 대한 성능평가를 위하여 AweSim 시뮬레이션 툴을 이용한다. 먼저 상위 클래스 서비스의 요구 버스트 손실률이 주어질 때 이에 적합한 offset 시간을 결정하는 OTD 알고리즘을 검증하고 SDR이 주어질 때 단일 노드와 망 환경에서 제안된 서비스 차별화 기법을 분석한다. 이를 위한 시뮬레이션이 가정과 실험 대상 망은 그림 8과 같다.

그림 9는 단일 노드 환경에서 제안된 OTD 알고리즘을 이용하여 결정된 class 1의 offset 시간과 버

스트 손실률이다. 그림 9(a)는 class 1의 요구 버스트 손실률이 각각  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ 과  $10^{-4}$ 일 때 OTD 알고리즘으로 결정된 class 1의 offset의 결과로서 입력 부하의 변화에 따라서 크기가 변화됨을 보인다. 이것은 입력 부하가 적을 때는 요구 QoS를 추가적인 offset 시간이 없어도 지원이 가능하지만, 입력 부하가 점차 증가되면서 offset 시간이 이 변화에 맞게 변경되고 있음을 의미한다. 요구된 손실률이  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ , 그리고  $10^{-4}$ 로 요구될 때, 입력 부하가 각각 0.4, 0.26, 그리고 0.18부터 class 1의 offset 이 추가됨을 알 수 있다. 또한  $10^{-2}$ 의 BLR을 요구하는 경우에는 망의 전체 트래픽이 최대가 되어도 상위 클래스는 하위 클래스의 평균 버스트 길이의 약 1.8배의 offset 시간만 설정하면 원하는 QoS가 보장됨을 알 수 있다. 하지만  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ 인 요구 손실률에 대해서는 입력 부하의 제한된 범위에서만 지원이 가능하며, 이 경우에 상위 클래스 버스트에 offset 시간을 최대로 허용한다고 하더라도 입력 부하가 각각 0.6과 0.86을 넘어서면 QoS를 충족시킬 수 없음을 알 수 있다.

파라미터	내용
파장수	8개
트래픽 비율	전체 트래픽에 대한 class 1과 class 0의 비율은 3 대 7
버스트 크기	2.5Gbps로 전송될 때 40us
버스트도착분포	포아송 분포
서비스 차등률	4배, 16배, 32배

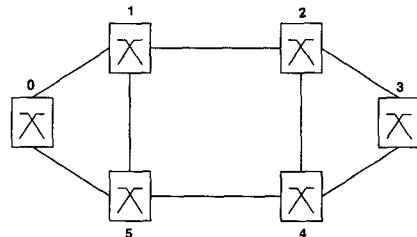
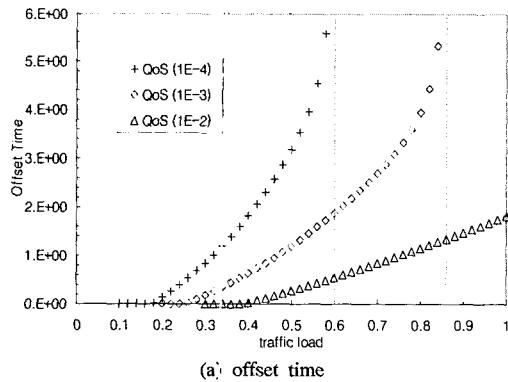


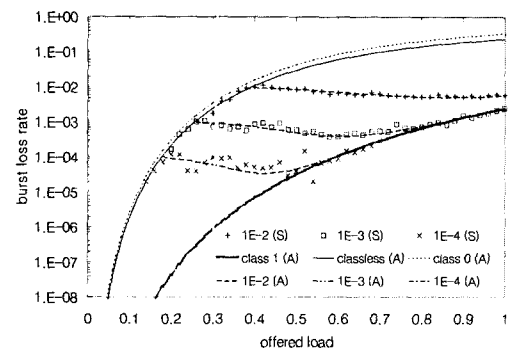
그림 8. 시뮬레이션 가정 및 6-노드 실험 OBS 망.

그림 9(b)는 그림 9(a)에 의해서 결정된 offset 시간으로 상위 클래스 버스트를 전송할 때, 요구 QoS 값이 만족됨을 보인다. 그림에서 진한 실선은 offset 시간을 최대로 class 1의 버스트에 적용한 기존 기법의 결과이다. 이것은 기존의 QoS 제공 기법이 단순히 서비스 차별화만을 고려하여 긴 offset 시간이

이용되었음을 의미한다. 반면에 OTD 알고리즘을 이용한 경우는 그림 9(a)의 변화되는 offset 시간의 영향으로 입력 부하가 동적으로 변화되는 경우에도 요구 QoS가 효과적으로 보장됨을 알 수 있다. 상위 클래스에 대한 요구 QoS가  $10^{-2}$ 인 경우는 입력 부하가 0.4일 때부터 1까지 추가적인 offset으로 손실률을 만족시킬 수 있지만  $10^{-3}$ 과  $10^{-4}$ 인 경우에는 0.6과 0.86까지만 추가적인 offset으로 요구 손실률을 만족시킬 수 있다. 이것은 현재 출력 링크에서 사용되는 파장수가 8개임으로 상위 클래스의 offset 시간을 최대로 설정하더라도 요구 손실률을 만족할 수 없음을 나타낸다. 이때는 출력 링크에서 버스트 데이터에 대한 파장 채널 개수를 증가 시켜야 한다. 이상과 같은 결과로 알 수 있는 것은 단순히 긴 offset 시간을 이용하는 경우는 상위 클래스와 하위 클래스간의 손실률 비율이 최대 1000배 이상이 되는 경우도 있다는 것이다. 또한 OTD 알고리즘의 경우에는 요구 손실률에 적합한 offset 시간 결정이 가능하므로 식 (4)를 이용하면 서비스 차등률(SDR)에 의한 서비스 차별화가 가능함을 알 수 있다.



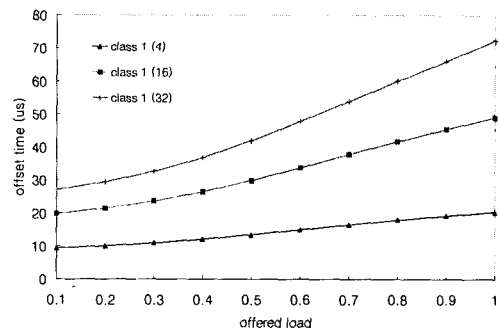
(a) offset time



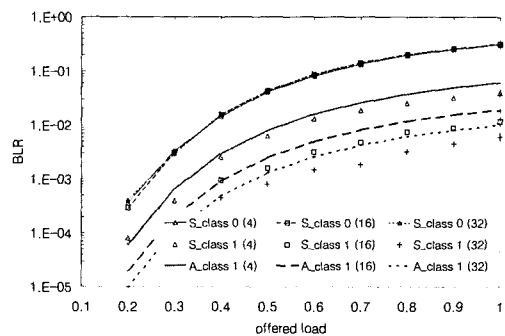
(b) burst loss rate

그림 9. 요구 BLR을 보장하기 위한 OTD 알고리즘의 성능.

그림 10은 단일 노드에서 다양한 SDR값을 고려한 제안된 서비스 차등화 기법에 대한 성능 결과이다. 그림 10(a)는 상위 클래스의 버스트 손실률이 하위 클래스 보다 4배, 16배, 그리고 32배 낮게 유지되도록 SDR값을 요구했을 때, Conservation Law와 OTD 알고리즘에 의해서 결정된 결과이다. 전체적으로 입력 부하가 증가하면서 요구 SDR을 유지하기 위해서는 offset 시간이 증가됨을 알 수 있다. SDR을 고려하지 않은 기존의 방식은 평균 버스트 크기의 최소 6배( $40\mu s \times 6 = 240\mu s$ ) 정도의 offset 시간을 요구하지만 결과에서 보듯이 제안된 방식은 요구 SDR에 맞게 OTD 알고리즘에 의해서 offset 시간이 결정된다. 그림 10(b)는 결정된 offset 시간을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과와 분석에 의한 결과의 비교이다. 이것은 요구 SDR값이 주어질 때 class 1의 offset 시간을 결정하여 시뮬레이션을 수행한 손실률과 같은 offset 시간으로 식 (5)를 이용하여 계산한 class 1, 그리고 Conservation Law에 의해서 얻은 class 0의 손실률이다. 분석에 의한 결과와 실험에 의한 결과가 유사한 결과를 얻을 수 있다. 그림에서 각 SDR값에 따른 class 1의 손실률 차이는 분석에 의한 결과와 유사하게 SDR값이 증



(a) Offset



(b) Comparison of burst loss rate

그림 10. 서비스 차등률에 따른 성능 결과.



가할 수록 크게 증가한다. 또한 class 0의 손실률은 요구 SDR값이 작을 수록 낮은 결과를 보이고 SDR값이 클 수록 높은 손실률을 보인다. 하지만 그 차이가 아주 적기 때문에 그림에서는 거의 차이를 구분할 수 없다. 이와 같은 결과는 OTD 알고리즘에 의한 offset 시간의 결정 방식이 적절하며 SDR을 고려한 QoS 제공 방식이 단순하면서도 효과적으로 OBS기반의 서비스에 적용됨을 의미한다.

그림 11은 입력 부하가 0.8일 때 일정한 시간동안 class 1의 버스트를 스케줄링하면서 발생하는 손실을 계속 관찰한 결과다. 시뮬레이션에서 10ms를 기본 단위로 100시간을 관찰한다. 매 단위 시간이 끝날 때 그때까지의 class 1의 버스트 손실률을 출력하였다. 결과에 의하면 식 (2)의  $pb_0 = d_1 \cdot pb_1$ 의 관계가 지속적으로 유지됨을 알 수 있다. 기본 단위 시간인 10ms가 OBS망 관점에서 매우 짧은 시간임을 생각하면 본 논문에서 제시한 서비스 차별화 기법이 효과적으로 상위 클래스에 대한 서비스 차별화를 지원함을 알 수 있다. 그림에서 분석에 의한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과의 차이는 offset 시간을 결정할 때 사용한 OTD 알고리즘이 [10]에서 제시한 경험적인 버스트 손실률인 HLF를 기반으로 제시되었기 때문이다. 하지만 class 1의 손실률이 요구 SDR을 충분히 만족하며 이때의 offset 시간은 긴 offset 시간을 사용하는 기존 방식보다도 offset 지연이 짧은 장점을 갖는다.

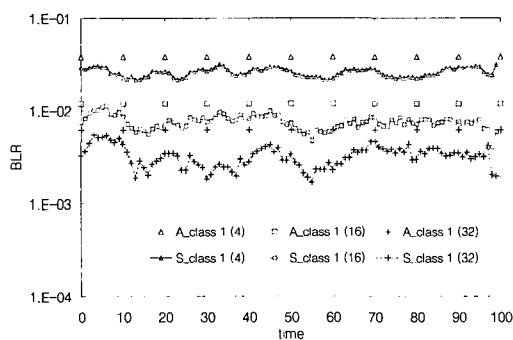


그림 11. 버스트 손실률의 관찰.

다음은 6-노드 OBS 실험망이 균등 트래픽 상황일 때 연결의 홑 수를 고려하여 제시된 서비스 차별화 기법의 성능 결과이다. 먼저 표 1은 SDR값이 4, 16, 그리고 32일 때, 각 연결의 홑 수를 고려하여 결정된 상위 클래스 버스트의 offset 시간이다. 입력 부하가 0.8이고 SDR값이 4일 때, class 0의

표 1. 홑 수에 따른 offset 시간. (단위:us)

SDR	4배			16배			32배			
	홑수	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.5	부하	11	20	26	29	42	51	41	57	68
0.6		12	22	29	33	47	58	47	65	79
0.7		14	24	32	37	53	65	53	74	90
0.8		15	27	35	40	59	73	59	84	103
0.9		16	29	38	44	65	81	65	94	119

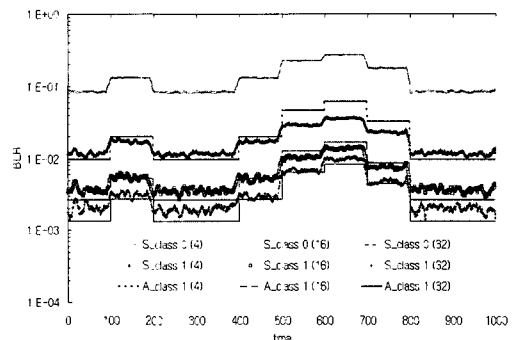


그림 12. 6노드 망에서 서비스 차별화.

BLR에 대한 class 1의 BLR이 4배정도 낮기 위해서는 1홑의 연결은 class 1이 15us, 2홑은 27us, 3홑은 35us인 offset 시간을 유지하고 버스트가 전송되어야 한다. 본 논문에서는 균등 트래픽 환경을 고려했기 때문에 연결의 근원지 노드에 관계없이 모든 class 1 버스트는 동일한 크기의 offset 시간으로 전송된다. 또한 16배와 32배의 경우에도 offset 시간만 증가되는 차이점만 있고 offset의 적용 방법은 동일하다. 그림 12는 표 1에서 결정된 offset 시간을 이용하여 얻은 class 1과 class 0의 성능 결과이다. 망의 입력 부하를 일정 시간동안(10ms를 단위 시간으로 하는 100시간)만 유지하고 0.5와 0.9사이에서 변화시키면서 제시된 서비스 차별화 기법의 성능을 분석하였다. Class 0의 성능은 SDR이 다르게 적용된 경우에도 큰 변화가 없지만 class 1의 BLR은 SDR값에 따라서 변화를 보인다. 식(7)을 이용한 분석으로도 유사한 결과를 얻었으며 이것은 연결의 홑 수를 고려한 제안된 서비스 차별화 기법이 효과적으로 OBS 망에 적용됨을 의미한다.

## V. 결론

본 논문에서는 OBS 기술을 이용한 광 통신망에서 offset 시간을 이용한 서비스 차별화 기법을 제시하였다. 제안된 기법은 offset 시간을 이용하여 상

위 클래스와 하위 클래스간에 버스트 손실률의 차이를 일정한 비율로 유지시킬 수 있다. 이를 위하여 먼저 요구되는 서비스 차등률과 Conservation Law에 의해서 상위 클래스의 버스트 손실률을 결정하였고 OTD 알고리즘에 의해서 이에 대한 offset 시간을 결정하였다. 시뮬레이션을 이용하여 결정된 offset 시간에 의한 버스트 손실률을 단일 노드와 OBS 망 환경을 고려한 분석 결과와 비교하고 검증하였다. 제안된 방식은 다른 서비스 차등화 기법에 비해서 상위 클래스의 입력 부하와 QoS만을 고려하여 간단하게 적용되는 장점을 갖는다. 또한 요구 SDR에 맞게 상위 클래스의 offset 시간이 결정되기 때문에 버스트가 생성되는 에지 노드에서 offset 시간에 의한 지연을 줄일 수 있다.

**참 고 문 헌**

[1] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Applications," *IEEE Communications Magazine*, December 1999.

[2] M. Dueser and P. Bayvel, "Bandwidth Utilisation and Wavelength Re-Use in WDM Optical Burst-Switched Packet Networks," *Proc. IFIP/TC6 5th Working-Conference on Optical Network Design and Modelling (ONDM 2001)*, vol. 1, Vienna, 5 - 7 Feb. 2001

[3] S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth, "Optical Burst Switching: A Viable Solution for Terabit IP Backbone," *IEEE Network* Nov/Dec 2000.

[4] C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, Issue: 9, pp. 104 -114, Sept. 2000.

[5] M. Yoo, C. Qiao, "Supporting multiple classes of services in IP over WDM networks," *Preceedings of IEEE GLOBECOM 99*, pp. 1023-1027., Dec. 1999.

[6] Mei Yang, Zheng S.Q., Verchere, D "A QoS supporting scheduling algorithm for optical burst switching DWDM networks," *IEEE GLOBECOM '01*, Vol. 1, pp. 86-91, 2001

[7] Y. Chen, M. Hamdi, and D.H.K. Tsang, "Proportional QoS over OBS networks,"

*Proceedings, IEEE GLOBECOM 2001*, vol. 3, pp. 1510 -1514.

[8] Vinod Vokkarane, Jason Jue, "Prioritized Routing and Burst Segmentation for QoS in Optical Burst-Switched Networks," *Proceedings, Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2002*, Anaheim, CA, March 2002.

[9] Dolzer,K., Gauger, C. Spth, J. Bodamer, S. "Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching," *AE International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 55, No. 1, 2001.

[10] 소원호, 차윤희, 노선식, 김영천, "광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가," *한국통신학회논문지 제27권 1C호* pp. 1-10, 2002.

소 원 호(Won-ho So) 정회원  
 한국통신학회 논문지 제 25권 제 1A호 참조  
 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중  
 <주관심 분야> 광인터넷, 통신 프로토콜, 네트워크 응용

김 영 천(Young-Chon Kim) 정회원  
 한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조  
 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수