

광 버스트 스위칭 망에서 QoS 보장을 위한 Offset 시간 결정 알고리즘 설계 및 성능 평가

정희원 소원호*, 차윤호*, 노선식*, 김영천*

Design and Performance Evaluation of Offset Time Decision Algorithm for Guaranteeing the QoS in Optical Burst Switching Networks

Won-ho So*, Yun-ho Cha*, Sun-sik Roh*, Young-chon Kim* *Regular Members*

요 약

인터넷 사용자의 폭발적인 증가와 대용량의 실시간 멀티미디어 서비스와 같은 인터넷관련 서비스의 증가와 함께 WDM 기술을 이용한 광대역의 광 인터넷 구축에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 최근 새롭게 등장하고 있는 광 버스트 스위칭 (optical burst switching; OBS) 기술을 이용한 광 통신망에서 QoS를 제공할 수 있는 offset 시간 결정 (offset time decision; OTD) 알고리즘을 제시하고 성능을 평가한다. 제시된 알고리즘은 인터넷 트래픽의 중요한 QoS 요소인 요구 버스트 손실률을 보장하기 위하여 망의 트래픽 부하, 파장수를 고려하여 적합한 offset 시간을 결정한다. 이를 위하여 먼저 offset 시간을 고려한 버스트 손실률에 대한 새로운 일반식을 제시한다. 하지만 요구되는 버스트 손실률에 의한 offset 시간의 결정은 제시된 일반식을 역으로 적용해야 하기 때문에 제안된 일반식을 그대로 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 제시된 일반식과 일반식의 특성을 고려한 비례식을 이용하여 버스트 손실률에 대한 역 변환이 가능한 경험적 일반식 (heuristic loss formula; HLF)을 정의하고, 이를 이용하여 offset 시간을 결정하는 OTD 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가결과 OTD 알고리즘에 의하여 결정되는 offset 시간은 다양한 입력 부하에서 요구 버스트 손실률이 보장됨을 보인다.

ABSTRACT

With the explosive growth of the number of Internet users and Internet-related services, the research on construction of broadband Optical Internet by using WDM technologies is actively progressed. In this paper, we design the offset time decision (OTD) algorithm for supporting the QoS in optical networks based on optical burst switching (OBS), which is the new switching paradigm, and evaluate the performance of it. The proposed algorithm determines a reasonable offset time considering traffic load of network and the number of wavelengths to guarantee the burst loss rate (BLR) of high priority Internet traffic as a QoS parameter. In order to design the proposed OTD algorithm, firstly we make the new burst loss formula, which includes the effect of offset time. The decision of offset time corresponding to the requested BLR, however, should use the reverse formula of proposed one, thus we are not able to use it without any changes. In this paper, we define the heuristic loss formula (HLF) that can be changed into reversed formula by using the proposed formula and proportional equation considering its characteristics. Finally we show the OTD algorithm to decide the offset time by using HLF. We show that the requested BLR is guaranteed under various traffic load with the determined offset time by using the proposed OTD algorithm.

* 전북대학교 전자정보공학부 영상정보통신기술연구소 차세대통신망연구실(whso, yhcha, rss, yckim@networks.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 010217-0821, 접수일자 : 2001년 8월 21일

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

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 (Quality of Service) 보장을 더욱더 원활히 제공할 수 있어야 된다는 것을 의미한다. 최근 이러한 통신망 환경 변화에 대응하기 위하여 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광 소자 기술을 이용한 광 인터넷 구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻³⁾.

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 해제과정에서 신호방식에 대한 일정한 오버헤드 시간이 요구된다. 따라서 상대적으로 작은 채널 사용 시간을 요구하는 IP 트래픽을 수용하면 자원의 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 광 신호를 모두 전광(全光)영역에서 처리하기란 매우 어려운 상황이다⁴⁾.

최근 이러한 OCS와 OPS 방식의 장점만을 최대한 이용한 광 버스트 스위칭 (optical burst switching; OBS) 방식이 제시되어 광 인터넷 구축을 위한 현실적인 대안으로 활발히 논의되고 있다⁵⁻⁹⁾. OBS 방식은 전송할 데이터 버스트(burst)와 버스트를 위한 제어 패킷 (burst control packet; BCP)의 전송을 위한 WDM 채널을 따로 관리하며 BCP를 선행시켜 버스트에 대한 채널 할당을 미리 수행함으로써 데이터의 투명성을 보장할 수 있는 방식이다. 또한 offset을 이용하여 버스트 트래픽의 특성에 맞는 QoS를 보장할 수 있어서 광 인터넷이 갖추어야 할 기본적인 특징을 제공할 수 있는 것으로 보고되고

있다⁶⁾. 하지만, 이 방식은 단순히 서비스의 차별화만을 위한 버스트 손실률 (burst loss rate; BLR)을 분석하여 이용하기 때문에 우선 순위가 높은 버스트의 offset 시간이 상당히 길게 설정되는 특성을 가진다. 이로 인하여 기존의 방식은 QoS 파라미터로서 BLR이 요구될 때, 망의 입력 부하에 따른 적합한 offset 시간을 설정할 수 없고, IP 계층(Layer 3)에서 버스트에 대한 불필요한 지연이 발생된다. 또한 주어진 파장 자원에 대한 QoS의 보장 한계도 결정할 수 없는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 동적으로 변하는 망의 입력 부하와 파장수를 고려한 offset 시간을 결정하여 요구 QoS를 보장하는 알고리즘을 설계한다. 이를 위하여 상위 클래스 (또는 Class 1) 서비스의 offset 시간을 고려한 새로운 버스트 손실률의 일반식을 제안한다. 또한 제시된 손실률의 일반식과 이 식의 특성을 고려한 비례식을 이용하여 손실률에 대한 역 변환이 가능한 경험적 일반식(heuristic loss formula; HLF)을 정의하고, 이 식을 이용하여 QoS를 보장할 수 있는 offset 시간 결정 알고리즘을 설계하고 성능을 평가한다.

본 논문은 5장으로 구성되었다. 2장에서는 광 버스트 스위칭 기술과 기존에 제시된 offset에 의한 버스트 트래픽의 서비스 차별화 방법을 설명한다. 3장에서는 하위 클래스 (또는 Class 0)의 버스트 크기와 offset 시간의 관계를 이용한 새로운 버스트 손실에 대한 일반식과 이 식을 이용한 경험적 일반식을 정의하고 요구 QoS를 보장할 수 있는 offset 시간 결정 (Offset Time Decision; OTD) 알고리즘을 설계한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 수행하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 광 버스트 스위칭과 서비스 차별화

1.1 광 버스트 스위칭

일반적으로 OBS 노드 구조는 그림 1과 같이 입력단에 Inlet FDL(Fiber Delay Line)을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우로 분류할 수 있는데, 본 논문에서는 그림 1과 같이 Inlet FDL을 사용하는 구조로 가정한다. 그림 1은 $N \times N$ 노드 구조로서 하나의 광 링크에 K 개의 파장이 사용되며, 이때 제어 패킷을 위한 채널 (Control Channel Group; CCG)은 1개, 버스트를 위한 채널 (Data Channel Group; DCG)은 $K-1$ 개로 설정되었다.

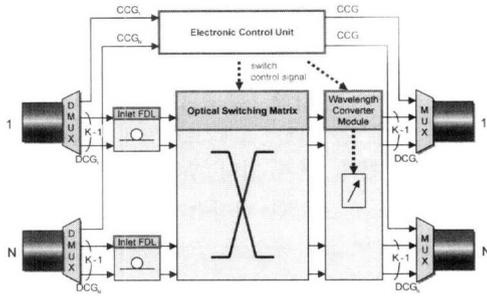


그림 1. 광 버스트 스위칭 노드의 구조

입력 링크로 입력되는 버스트는 여러 개의 IP 패킷이 결합된 것으로 목적지와 QoS 등이 같은 IP 패킷들로 구성된다. 버스트에 대한 전송 채널을 미리 예약하기 위하여 선행하는 BCP는 버스트의 바로 앞에 전송된다. 따라서 BCP를 전기적인 제어부 (Electronic Control Unit; ECU)에서 처리하여 버스트에 대한 채널을 예약하고 교환기를 설정하는 시간만큼 Inlet FDL의 지연시간은 설정된다. 따라서 [6]에서 제시한 방식과는 다르게 QoS 보장을 위한 offset 시간은 버스트가 목적지에 도착할 때까지 변하지 않는다. ECU에서 처리되는 BCP의 제어 정보에는 버스트의 송신지와 수신지 주소, 길이 정보, 입력 파장 번호와 QoS를 위한 정보 등이 포함된다. 본 논문에서 고려되는 OBS 방식은 OCS와 OPS의 중간적인 단계로서 다음과 같은 몇 가지 특징을 가진다. 첫째, OBS의 교환 단위는 OCS와 OPS의 중간에 해당하는 가변 길이의 버스트를 기본 단위로 이용한다. 둘째, 버스트 데이터와 BCP는 서로 분리된 채널을 통하여 전송된다. 셋째, 전송 채널에 대한 자원 예약을 회선 교환 방식과 같은 Two-Way 예약 방식이 아닌 One-Way 예약 방식을 사용한다. 따라서 BCP가 선행하면서 후행하는 버스트에 대한 전송 자원을 예약한다. 넷째, 버스트의 길이는 가변이며 비동기적으로 버스트를 처리한다. 다섯째, OBS 노드는 일반적으로 광 버퍼를 사용하지 않는다.

1.2 Offset 시간을 이용한 서비스 차별화

본 논문에서는 BCP가 ECU에 도착하면 도착하는 순서대로 BCP가 처리되는 것을 가정한다. 따라서 같은 시간에 출력 링크에 전송이 되어야 하는 데이터 버스트가 동시에 2개가 있다면, 먼저 처리되는 BCP의 버스트가 데이터 채널을 사용할 수 있다. 따라서 버스트와 제어 패킷 사이에 일정한 시간 간격인 offset 시간을 이용하는 버스트가 있다면, 이 버

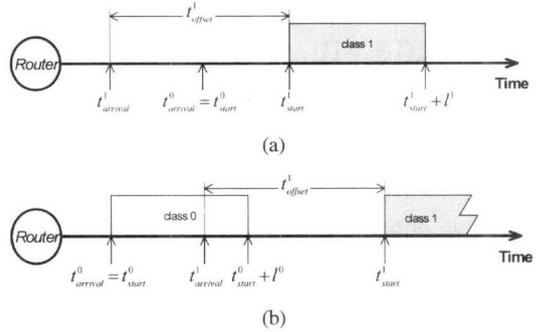


그림 2. 서비스 차별화를 위한 offset 시간의 영향

스트는 offset 시간을 사용하지 않는 버스트에 비해서 채널을 그만큼 빨리 예약하는 것을 의미한다.

이러한 개념을 이용하여 상위 클래스의 버스트에 대하여 우선 순위를 보장할 수 있는데, 구체적으로 설명하기 위하여 다음과 같이 가정한다. 먼저 하나의 출력 링크만을 고려하며, DCG와 CCG의 파장 개수는 각각 1개다. 또한 상위 클래스 버스트인 Class 1 버스트의 offset 시간 $t_{offset}^1 > 0$ 이며 하위 클래스 버스트인 Class 0의 offset 시간 t_{offset}^0 은 0이다.

그림 2는 t_{offset}^1 에 의해서 Class 1 버스트가 어떻게 Class 0 버스트보다 우선 순위가 높게 서비스되는지를 설명한다^[6]. 그림 2(a)에서는 Class 1의 BCP가 먼저 도착하여 Delay Reservation(DR)에 의해서 파장을 예약하고, 이후에 Class 0의 BCP가 도착한다. Class 1 버스트는 파장 예약에 반드시 성공을 하며 이때 Class 0 버스트는 만일 $t_{arrival}^0 < t_{start}^1$ 이지 만 $t_{arrival}^0 + l^0 > t_{start}^1$ 이거나 $t_{start}^1 < t_{arrival}^0 < t_{start}^1 + l^1$ 이면 예약에 실패한다. 그림 2(b)에서는 Class 0의 BCP가 먼저 도착하고 Class 1의 BCP가 이후에 도착하는 경우이다. 만일 $t_{arrival}^1 < t_{arrival}^0 + l^0$ 일 때, Class 1 버스트에 offset 시간이 없다면 바로 예약에 실패한다. 그러나 충분한 크기의 offset 시간이 Class 1에 부여가 된다면 예약의 실패를 피할 수 있으며 이때 $t_{start}^1 = t_{arrival}^1 + t_{offset}^1 > t_{arrival}^0 + l^0$ 이면 가능하다. 여기서 만일 ϵ 이 $\epsilon > 0$ 이면서 매우 작은 값이고 $t_{arrival}^1$ 이 $t_{arrival}^0 + \epsilon$ 과 같을 때, Class 1 버스트를 Class 0 버스트의 영향으로부터 완전히 분리할 수 있으려면 가능한 Class 0 버스트의 최대 크기 보다 크게 Class 1의 offset 시간을 설정하면 된다. 그 만큼의 충분한 offset 시간을 이용하면 Class 1 트래픽에 대한 버스트 손실률은 Class 1의 입력부하에 의해

서만 결정할 수 있다. 하지만 이 방식은 단순히 서비스의 차별화를 위한 버스트 손실률을 분석하고 이를 이용하여 Class 1 트래픽의 offset 시간을 상당히 길게 설정하는 특징을 가진다.

따라서 통신망의 자원을 보다 효율적으로 이용하기 위하여 서비스와 사용자가 버스트 손실률에 대한 QoS를 요청하는 경우에는 이 방식이 적용될 수 없다. 또한 단순히 서비스의 차별화를 위한 긴 offset 시간이 결정되기 때문에 불필요한 IP 패킷의 지연이 발생하며 동적으로 변하는 트래픽 환경에도 적합하지 않다.

III. QoS 제공을 위한 offset 시간 결정 알고리즘 설계

3.1 Offset 시간을 고려한 버스트 손실률

최근 인터넷 위원회 (Internet Community)에서는 IP 트래픽을 Stream과 Elastic 트래픽으로 구분하고 있으며 이와 같이 두 종류로의 분류는 IP 트래픽의 QoS를 지원하기에 충분한 것으로 판단하고 있다^[2]. 따라서 본 논문에서는 OBS 기반의 광 인터넷이 이와 같은 두 종류의 IP 트래픽을 지원하기 위하여 상위 클래스 버스트와 하위 클래스 버스트로 분류됨을 가정한다. 또한 OBS 기반의 라우터는 [8]에서 제안된 JET (Just-Enough-Time) 프로토콜에 의해서 채널을 예약하며 제어 패킷과 버스트 데이터의 도착 분포는 포아송이고 버스트 크기는 지수 분포로 가정한다.

먼저 모든 데이터 버스트에 대한 offset 시간이 t 로 고정된 경우, 즉 버스트를 클래스로 구분하지 않고 분석하면, 버스트 데이터의 손실 확률은 다음과 같이 $M/M/K/K$ 로 모델링되는 Erlang B 손실식으로 구할 수 있다.

$$B(A, K) = \frac{A^K / K!}{\sum_{i=0}^K A^i / i!} \quad (1)$$

이 식에서 K 는 출력 링크의 DCG의 과장수를 나타내며, A 는 과장 채널 예약 기법에 의해서 결정되는 입력 부하를 의미한다. JET 프로토콜을 사용할 때, A 는 평균 도착률 λ 와 버스트의 평균 길이 $1/\mu$ 에 의해서 λ/μ 로 결정된다. 이 식을 이용하여 두 종류의 트래픽 클래스에 대한 분석을 수행하기 위하여 본 논문에서는 편의상 Class 1을 1로, Class 0은 0으로 표시한다. 또한 Class 1의 offset

시간 t_{offset}^1 ($0 < t_{offset}^1 < \infty$)는 QoS 파라미터인 요구 BLR를 보장하기 위한 시간으로 정의한다.

OBS 노드가 다중 클래스를 지원할 때, 먼저 2개의 트래픽 클래스를 합한 전체 트래픽에 대한 손실률을 구할 수 있다. 전체 입력 부하가 A_{all} 이고 하나의 출력 링크에 포함된 과장수가 K 일 때, 전체 트래픽에 대한 버스트 손실률 P_{all} 는 (1)식에 의해서 (2)식과 같이 구할 수 있다.

$$P_{all} = B(A_{all}, K) \quad (2)$$

이 식에서 전체 입력 부하는 Class 1과 Class 0의 트래픽을 모두 합한 트래픽 양이 된다. 여기서 Class 1의 버스트에 일정한 offset 시간이 설정되어 있다면 2.2절에서 설명한 것처럼, t_{offset}^1 의 크기에 의해서 Class 1의 버스트 손실이 확률적으로 Class 0에 의해서 영향을 받을 수 있거나, 또는 그렇지 않을 수 있다. 따라서 Class 1의 버스트 손실률 P_1 는 Class 1의 입력부하 A_1 뿐만 아니라 t_{offset}^1 에 의해서 결정되는 Class 0의 입력부하 A_0 의 일부분에 의해서 영향을 받는다.

이와 같이 무한대 크기가 아닌 t_{offset}^1 에 의해서 Class 1 트래픽이 Class 0로부터 완전히 분리될 수 없는 경우에는 Class 1에 대한 버스트 손실률 P_1 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$P_1 = B(A_1 + Y_0(t_{offset}^1), K) \quad (3)$$

여기서 $Y_0(t_{offset}^1)$ 은 t_{offset}^1 의 영향으로 Class 1 버스트의 손실에 영향을 주는 Class 0의 입력 부하이다. Class 1의 버스트 손실 확률이 구해지면 Class 0의 P_0 는 기존의 연구, [6]에서 언급된 Conservation Law에 의해서 결정한다.

$$A_{all}P_{all} = A_1P_1 + A_0P_0 \quad (4)$$

이와 같이 Class 1에 offset이 주어진 경우에는 이 offset의 크기에 따라서 $Y_0(t_{offset}^1)$ 의 값이 결정되며, 결국 Class 1의 BLR인 P_1 에 영향을 주게 된다. 따라서 t_{offset}^1 에 따른 $Y_0(t_{offset}^1)$ 의 값을 먼저 분석한다.

1) Offset에 의한 Class 0의 영향 분석

앞 절 2.2의 그림 2에서 알 수 있듯이 t_{offset}^1 이 일

정하게 설정될 때, Class 0에 의해서 Class 1의 버스트 손실은 영향을 받게 된다. 이때 t_{offset}^1 이 가질 수 있는 값은 0, ∞ , 또는 $x(0 < x < \infty)$ 인 세 가지 경우이며 각각의 경우에 대하여 $Y_0(t_{offset}^1)$ 은 결정된다.

i) 첫 번째 경우는 OBS 라우터에 도착하는 Class 1 버스트의 t_{offset}^1 이 0인 경우로, Class 1과 Class 0 간에 offset에 의한 구별이 없는 Classless 트래픽 상황이다. 따라서 모든 Class 0 버스트는 Class 1의 손실에 영향을 줄 수 있기 때문에 $Y_0(t_{offset}^1) = A_0$ 로 결정된다. 결국 Class 1의 P_1 은 전체 트래픽의 입력부하 A_{all} 에 의해서 결정되는 (2)식의 P_{all} 과 같고, Class 0의 P_0 도 Conservation Law에 의해서 P_{all} 과 같다. 이때 P_{all} 은 Class 1 버스트에 대한 BLR의 상한값 (upper bound)이다.

ii) 두 번째 경우는 $t_{offset}^1 = \infty$ 인 경우 (실질적으로 가능하지 않음)로 Class 0와 Class 1의 버스트가 완전히 분리되어 서비스되는 경우이다. 이 경우에는 Class 1의 offset 시간이 무한하기 때문에, Class 0 버스트의 크기가 유한하다면 Class 0 버스트는 Class 1 버스트의 손실에 영향을 줄 수 없다. 따라서 $Y_0(t_{offset}^1) = 0$ 이며 Class 1의 P_1 은 Class 1의 입력부하 A_1 에 의해서만 결정되게 된다. 이때 결정되는 P_1 은 Class 1 버스트에 대한 BLR의 하한값 (lower bound)이다.

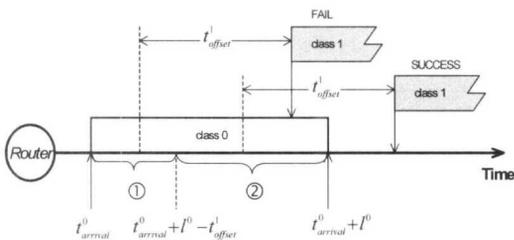


그림 3. Class 1 버스트의 offset 시간과 class 0 버스트 길이와의 관계

iii) 마지막으로 $0 < t_{offset}^1 < \infty$ 인 경우로 $Y_0(t_{offset}^1)$ 은 t_{offset}^1 과 Class 0의 버스트 크기 (또는 길이)의 분포 특성의 관계에 의해서 결정된다. 그러나 정확한 계산이 어렵기 때문에 $Y_0(t_{offset}^1)$ 의 최대값 $Y_{0,max}(t_{offset}^1)$ 와 최소값 $Y_{0,min}(t_{offset}^1)$ 을 결정하여 Class 1에 대한 손실률을 분석한다. 먼저 분석을 간단하게 수행하기 위해서 랜덤하게 발생하는 Class 0

에 대한 버스트 길이 L 는 L_0 를 평균으로 하는 지수분포이며, 이때 Class 0 버스트 중에서 t 보다 크지 않을 버스트가 발생할 확률 $F_L(t)$ 는 $P[L \leq t] = 1 - P[L > t]$ 관계로서 $1 - e^{-(1/L_0) \cdot t}$ 인 확률 분산 함수(Probability Distribution Function; PDF)로 가정한다.

먼저 최대값 $Y_{0,max}(t_{offset}^1)$ 은 앞 절의 그림 2(b)와 같이 Class 0 버스트가 손실되지 않으면서 버스트의 크기가 t_{offset}^1 보다 큰 모든 경우로 다음과 같이 결정된다.

$$Y_{0,max}(t_{offset}^1) = A_0(1 - P_0)(1 - F) \quad (5)$$

여기서 F 는 $F_L(t_{offset}^1)$ 를 간단히 표기한 것이며 $A_0(1 - P_0)$ 는 손실되지 않은 Class 0의 트래픽을 의미하며 $1 - F$ 는 Class 1의 offset 시간 t_{offset}^1 보다 긴 버스트 길이를 갖는 Class 0의 트래픽 비율을 의미한다.

하지만 그림 3에서 알 수 있듯이 손실되지 않은 Class 0 버스트의 길이가 t_{offset}^1 보다 클 때, ②에 해당하는 시간에 도착하는 Class 1 버스트의 BCP가 있다면 손실이 되지 않지만, ①에 해당하는 시간에 도착하는 BCP가 있다면 그 버스트는 손실된다. 따라서 결정된 $Y_{0,max}(t_{offset}^1)$ 의 Class 0 트래픽중에는 Class 1 버스트의 손실에 영향을 주지 않는 트래픽도 포함된다. 이것은 결정된 $Y_{0,max}(t_{offset}^1)$ 가 Class 1 버스트의 손실에 영향을 주는 $Y_0(t_{offset}^1)$ 의 상한값을 의미한다.

다음으로 $Y_0(t_{offset}^1)$ 의 최소값 $Y_{0,min}(t_{offset}^1)$ 은 Class 0의 전체 트래픽을 고려한 (5)식을 고려하여 다음과 같이 결정된다.

$$Y_{0,min}(t_{offset}^1) = A_0(1 - F) \cdot (1 - P_0)(1 - F) \quad (6)$$

이 식에서 $A_0(1 - F)$ 는 t_{offset}^1 보다 큰 버스트를 갖는 Class 0 트래픽만을 의미한다. 따라서 $A_0(1 - F)$ 만을 고려하면 (5)식에서 A_0 를 고려하여 결정된 $(1 - P_0)(1 - F)$ 보다 더 큰 값으로 Class 1의 손실에 영향을 준다. (6)식이 $A_0(1 - F)$ 에 대한 하한값이기 때문에 A_0 에 대한 하한값으로 결정한다.

따라서 위의 (5)와 (6)식을 이용하면 Class 1의 t_{offset}^1 이 주어질 때, 실제로 발생하는 $Y_0(t_{offset}^1)$ 은 다음을 만족해야 한다.

$$Y_{0,\min}(t_{\text{offset}}^1) < Y_0(t_{\text{offset}}^1) < Y_{0,\max}(t_{\text{offset}}^1) \quad (7)$$

또한 $0 < t_{\text{offset}}^1 < \infty$ 일 때, $Y_0(t_{\text{offset}}^1)$ 을 이용하여 Class 1에 대한 P_1 을 결정할 때, 먼저 $Y_{0,\min}(t_{\text{offset}}^1)$ 과 $Y_{0,\max}(t_{\text{offset}}^1)$ 을 이용하여 각각에 대한 손실률을 구하고 두 값의 평균을 이용하여 최종적인 P_1 을 결정한다.

2) Class 1의 offset를 고려한 버스트 손실률의 결정
Class 1의 offset 시간이 0인 경우에는 P_1 은 Erlang B 손실식에 의해서 구할 수 있으며, 무한대인 경우에는 Class 1의 입력부하만을 고려하여 P_1 을 결정할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 요구 버스트 손실률의 QoS를 보장하기 위한 Class 1의 offset 시간을 결정하기 위하여 $0 < t_{\text{offset}}^1 < \infty$ 인 t_{offset}^1 을 고려하여 P_1 을 결정한다. 먼저 (2), (3), (4), (5)과 (6)식에 의해서 P_1 과 P_0 는 상호 배제적인 관계인 것을 알 수 있다. 그러므로 [5]에서 이용한 순환적(recursive) 접근방법을 이용하여 Class 1의 손실률을 구한다.

먼저 우선 순위가 높은 Class 1과 우선 순위가 낮은 Class 0의 초기값을 각각 $P_1^{(0)}$ 과 $P_0^{(0)}$ 로 표기하고 값을 (8)식과 같이 예측한다.

$$\begin{aligned} P_1^{(0)} &= B(A_1, K) \\ P_1^{(0)} &= 1/A_0(A_{\text{all}}P_{\text{all}} - A_1P_1^{(0)}) \end{aligned} \quad (8)$$

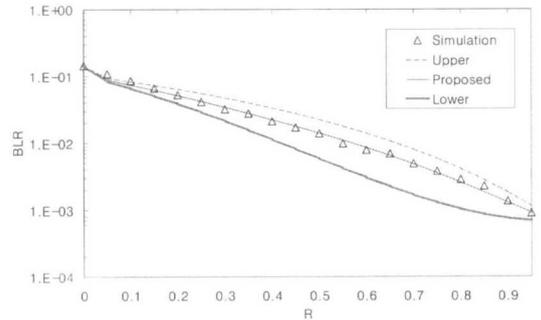
위의 0차 손실률은 (2)와 (4)식에 의해서 결정되며, 0차 $Y_0^{(0)}(t_{\text{offset}}^1)$ 는 최대값과 최소값에 대하여 (5)와 (6)식에 의해서 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} Y_{0,\max}^{(0)}(t_{\text{offset}}^1) &= A_0(1 - P_0^{(0)})(1 - F) \\ Y_{0,\min}^{(0)}(t_{\text{offset}}^1) &= A_0(1 - P_0^{(0)})(1 - F)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

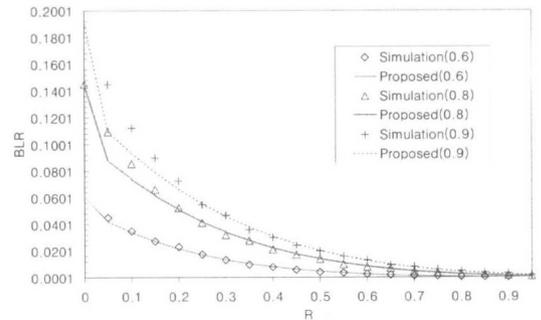
이 식을 다시 각각 (3)식에 대입하면 Class 1의 1차 버스트 손실률 $P_{1,\min}^{(1)}$ 과 $P_{1,\max}^{(1)}$ 을 구할 수 있다. 그러면 Class 0의 1차 버스트 손실률 $P_{0,\min}^{(1)}$ 과 $P_{0,\max}^{(1)}$ 은 다시 Conservation Law에 의해서 결정되며, 이 과정을 Class 1의 손실률이 일정한 값에 수렴할 때까지 반복한다. 따라서 $Y_{0,\min}(t_{\text{offset}}^1)$ 과 $Y_{0,\max}(t_{\text{offset}}^1)$ 에 대하여 Class 1의 수렴된 손실률 $P_{1,\min}$ 과 $P_{1,\max}$ 이 결정되면 최종적으로 t_{offset}^1 에 대한 P_1 값은 다음과 같이 결정한다.

$$P_1 = \frac{P_{1,\min} + P_{1,\max}}{2} \quad (10)$$

제안된 Class 1 손실률의 일반식인 (3)식에 대한 검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4은 과장수가 8개, 전체 트래픽에 대한 Class 1 트래픽의 비율이 30%인 경우에 각 offset 시간에 따른 Class 1의 BLR을 나타낸다. 여기서 R 은 Class 1의 offset 시간을 $R = 1 - e^{-(1/L_0) \cdot t_{\text{offset}}^1}$ 인 관계로 정의하여 $0 \leq t_{\text{offset}}^1 \leq \infty$ 의 범위를 갖는 offset 시간 결정을 $0 \leq R \leq 1$ 인 R 로 맵핑한 것이다. 또한 상위 클래스 트래픽이 하위 클래스 트래픽으로부터 분리되어 지는 정도를 나타낸다. 결국 t_{offset}^1 는 $t_{\text{offset}}^1 = -\ln(1 - R)L_0$ 인 관계를 이용하여 쉽게 결정될 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. 버스트 손실률에 대한 분석 결과

그림 4(a)은 $A_{\text{all}}=0.8$ 인 경우에 t_{offset}^1 에 따른 BLR을 보여준다. 그래프의 상한값(Upper)과 하한값(Lower)은 t_{offset}^1 이 결정되었을 때, Class 0의 $Y_{0,\max}(t_{\text{offset}}^1)$ 과 $Y_{0,\min}(t_{\text{offset}}^1)$ 에 의해서 결정되는 손실률 $P_{1,\max}$ 과 $P_{1,\min}$ 을 나타낸다. 시뮬레이션 결과 상한값과 하한값 사이에 시뮬레이션 값이 존

재하는 것을 확인할 수 있으며, 상한값과 하한값의 평균(Proposed)에 근접함을 알 수 있다. 또한 그림 4(b)은 다양한 입력부하 조건에서 제안된 일반식의 분석 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교한 것이다. 분석 결과 평균값에 의한 제안된 일반식의 분석이 다양한 망 상황에 적용될 수 있음을 알 수 있다.

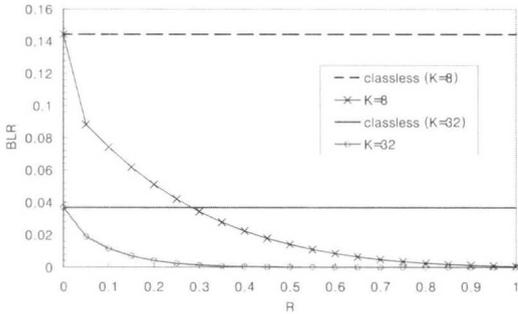


그림 5. Class 1 트래픽의 버스트 손실 특성

3.2 경험적 일반식에 의한 OTD 알고리즘

앞에서 Class 1에 대한 offset 시간이 주어질 때, Class 1의 손실률을 (3)식과 순환기법에 의하여 분석하였다. 그러나 요구되는 손실률이 있을 때, (3)식을 이용하여 역으로 적합한 offset 시간을 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 따라서 다음과 같이 Class 1에 대한 손실률을 제안된 일반식의 특성을 고려한 비례식을 이용하여 경험적 일반식으로 정의하고, 이 식을 이용하여 적합한 offset 시간을 결정한다.

$$G(K, A_1, R) = X + Y(1 - R)e^{-\beta R} \quad (11)$$

이 식은 (3)식을 이용하여 결정되는 그림 5와 같은 Class 1 트래픽의 손실률 특성을 이용하여 비례식으로 정의하였다. 그림 5는 링크의 파장수가 8과 32이고 $A_{all} = 0.8$ 인 경우에 대하여 Class 1 트래픽의 손실률을 보인 것으로 $R=0$ 인 경우와 $R=1$ 인 경우 사이에서 Class 1 트래픽의 손실률이 지수함수 특성을 보임을 알 수 있다. 따라서 (11)식에서는 그래프의 특성을 나타내기 위하여 $X = B(A_1, K)$ 과 $Y = B(A_{all}, K) - B(A_1, K)$ 로 정의하였으며, β 는 K 보다는 A_1 에 의해서 결정되는 상수로 정의하였다. 만일 제안된 식에 파장수 K , Class 1의 입력부하 A_1 , 그리고 t_{offset}^1 이 주어지고 적합한 β 가 결정되면 (11)식에 의한 손실률은 (3)식과 유사하게 결정된다.

결정되지 않은 β 를 구하기 위하여, 먼저 (11)식과 (3)식이 같은 손실률을 갖는 경우를 찾는다. 따

라서 어떤 값 r 에 대하여 $G(K, A_1, r) = B(A_1 + Y_0(-\ln(1-r)L_0), K)$ 의 관계를 이용하며, β 는 다음과 같이 결정된다.

$$\beta = -\ln\left(\frac{B(A_1, Y(-\ln(1-r)L_0)) - X}{Y(1-r)}\right) \quad (12)$$

이때 r 은 $0 \leq R \leq 1$ 의 범위에서 랜덤하게 선택할 수 있지만 Class 1의 입력부하를 고려하기 위하여 $C + A_1 e^{A_1}$ 으로 정의하였고 C 는 그림 6과 같은 다양한 시뮬레이션 결과 0.5가 적합한 것으로 판단하였다. 따라서 r 은 $0.5 + A_1 e^{A_1}$ 으로 정의한다.

하지만 (11)식으로도 아직은 Class 1의 offset 시간을 결정하기 위하여 R 에 대하여 식을 역으로 정리할 수 없기 때문에, (12)식에서 구한 β 를 이용하여 (11)식을 다음과 같이 경험적 손실식(Heuristic Loss Formula; HLF)으로 다시 정의한다.

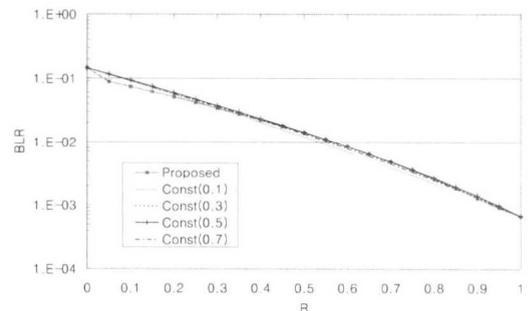
$$\hat{G}(K, A_1, R) = X + Y(e^{-\beta R} - e^{-\beta}) \quad (13)$$

위 식은 (11)식과 $|Ye^{-\beta}(Re^{-\beta(R-1)} - 1)|$ 만큼 차이가 있는 식으로서 파장수 K , 입력부하 A_1 , 그리고 Class 1에 요구되는 손실률 P_1^{req} 가 주어질 때, R 을 (14)식과 같이 결정할 수 있으며 이때 t_{offset}^1 도 결정할 수 있다.

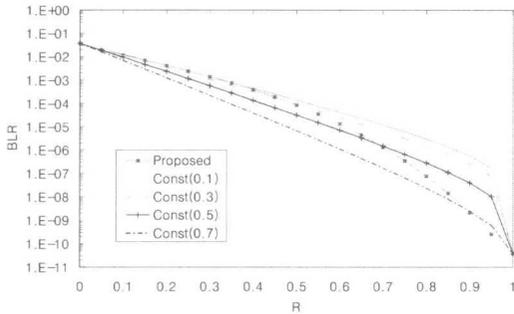
$$R = -\ln\left(\frac{P_1^{req} - X}{Y} + e^{-\beta}\right) \frac{1}{\beta} \quad (14)$$

$$\therefore t_{offset}^1 = -\ln(1 - R) \cdot L_0$$

따라서 OBS 기반의 광 인터넷에서 파장수 K , 전체 입력부하 A_{all} 이 주질 때, 제안된 경험적 일반식(HLF)을 이용하여 Class 1의 손실률을 보장할 수 있는 offset 시간을 결정할 수 있으며 알고리즘은 다음과 같다.



(a) K = 8



(b) K = 32

그림 6. C값에 따른 경험적 손실률의 변화

▶ **Offset Time Decision(OTD) Algorithm**

- ① 손실률 P_1^{req} 을 요구하고 입력부하가 A_1 인 Class 1 트래픽에 대한 offset 결정 요구가 발생한다.
- ② 만일 $B(A_1, K) \leq P_1^{req} \leq B(A_{all}, K)$ 인 조건으로 현재의 파장수로 손실률을 보장할 수 있다면 다음 단계를 수행하고, 그렇지 않으면 offset 결정 요구는 거절되며 실패한다.
- ③ 임의의 r 을 $r = 0.5 + A_1 e^{A_1}$ 으로 결정하고, (12)식에 의하여 β 를 결정한다.
- ④ 따라서 P_1^{req} 을 보장하기 위한 R 은 (14)식으로 결정된다.
- ⑤ 이때 R 의 값이 $R < 0$ 이거나 $R > 1$ 인 경우는 각각 0과 0.999 (1에 근접한 값)으로 설정한다.
- ⑥ 결국, Class 1의 손실률을 보장하기 위한 $t_{offset}^1 = -\ln(1-R) \cdot L_0$ 으로 결정된다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

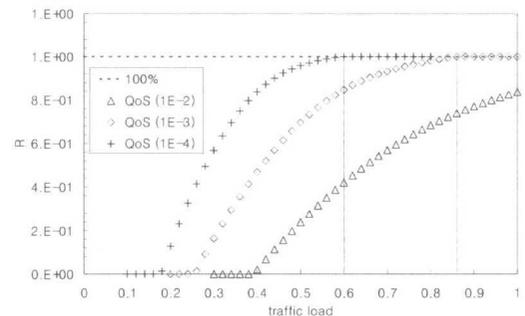
제안된 OTD 알고리즘의 성능평가를 위하여 AweSim Simulation Tool를 이용한 시뮬레이션을 수행한다. 파장수는 8개, 전체 트래픽에 대한 Class 1과 Class 0 트래픽의 비율은 0.3과 0.7로 가정한다. 또한 Class 1과 Class 0 버스트의 길이는 L_0 를 평균으로 하는 지수분포로 가정하고 버스트의 도착 랜덤 프로세스는 포아송으로 가정한다.

그림 7은 HLF기반의 제안된 OTD 알고리즘을 이용하여 Class 1 트래픽의 요구 QoS, $10^{-2}, 10^{-3}$ 과 10^{-4} 에 대하여 결정된 R 과 Class 1의 offset의 결과이다. 그림 7(a)에서 100%가 의미하는 것은 기존 방식에 의한 Class 0와 1의 완전 분리를 의미한다. 하지만 요구 QoS가 주어지는 경우에 제안된

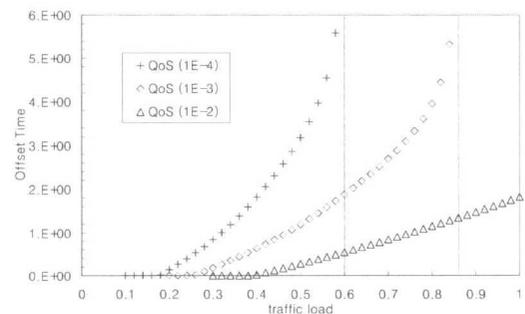
OTD 알고리즘은 R 의 값을 요구 QoS에 맞게 결정함을 알 수 있다.

그림 7(b)는 그림 7(a)의 R 값을 이용하여 결정된 offset 시간이다. 기존방법으로 결정된 offset값은 이론상으로 시간이 무한대이다. 따라서 기존의 방식은 망 트래픽의 입력 부하와 관계없이 서비스의 차별화는 가능하지만 상위 클래스 트래픽에 대한 불필요한 offset 시간의 증가로 인하여 지연에 대한 오버헤드가 매우 큼을 알 수 있다. 이에 비해 HLF를 이용한 제안된 OTD 알고리즘을 이용하면 망의 다양한 입력부하 상황에서 offset이 점진적으로 변하면서 요구QoS인 손실률이 보장됨을 알 수 있다.

또한 트래픽의 입력 부하가 낮을 때는 상위 클래스의 요구 QoS를 추가적인 offset 시간이 없어도 지원이 가능하지만, 망의 입력 부하가 점차 증가되면서 offset 시간이 변화됨을 보였다. BLR이 $10^{-2}, 10^{-3}$, 그리고 10^{-4} 로 요구될 때, 망의 전체 입력 부하가 각각 0.4, 0.26, 그리고 0.18부터 offset이 추가로 상위 클래스에 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. 하지



(a) R



(b) Class 1's offset time

그림 7. 요구 손실률 보장을 위한 R과 class 1의 offset 시간

만 10^{-3} 과 10^{-4} 에 대한 요구는 제한된 범위의 입력 부하에서만 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.

그림 8는 같은 시뮬레이션 환경에서 HLF를 이용한 OTD 알고리즘의 성능을 보인 것이다. 요구 Class 1의 QoS가 10^{-2} , 10^{-3} , 그리고 10^{-4} 이고 망의 전체 트래픽이 다양하게 변화될 때, HLF를 이용한 제안된 OTD 알고리즘이 효과적으로 QoS를 보장하고 있음을 그림 8를 통하여 알 수 있다. 따라서 경험적으로 정의된 HLF의 일반식이 상위 클래스 트래픽의 offset 시간을 결정하는데 효과적으로 이용되었음을 알 수 있다. 또한 그림 8에서 포인트 (A)와 (B)는 OBS 노드의 링크에 주어진 파장수가 제한될 때, 요구 QoS를 보장할 수 있는 최대 입력 부하를 가리킨다. 시뮬레이션 결과에 의하면 버스트를 위한 데이터 채널이 8개 이고, 상위 클래스 버스트의 요구 QoS가 10^{-3} 과 10^{-4} 일 때, 망의 전체 트래픽이 0.6과 0.86까지만 QoS를 지원할 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 이것은 각각 0.6과 0.86 이상의 입력 부하에서 요구하는 QoS를 만족하기 위해서는 버스트 데이터를 위한 링크의 DCG의 파장수를 증가 시켜야 함을 의미한다.

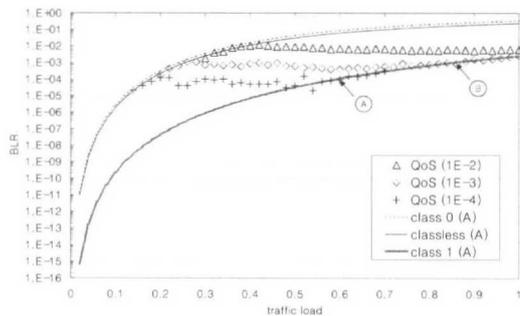


그림 8. 요구 BLR을 보장하기 위한 OTD 알고리즘의 성능

따라서 제안된 OTD 알고리즘을 이용하면 망에서 제공할 수 있는 QoS의 한계도 평가할 수 있으며, 단순히 서비스를 차별화했던 기존 방식에 비하여 망의 트래픽 상황과 주어진 파장수를 고려하여 요구 QoS의 보장도 가능함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 패킷 교환과 회선 교환의 특징을

접목한 새로운 개념의 광 버스트 스위칭 기반의 광 인터넷에서 QoS 제공을 위한 방법으로 offset 시간을 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 설계하기 위하여 먼저 적합한 offset 시간을 결정하기 위한 offset 시간에 따른 BLR의 일반식을 정의하였다. 이 일반식을 이용하여 요구 QoS를 보장하기 위한 offset을 결정할 수 있는 경험적 일반식(HLF)을 정의하였으며, 이를 기반으로 OTD 알고리즘을 설계하였다. 시뮬레이션에 의한 성능 분석에 의하면 제안된 OTD 알고리즘은 망에 주어진 파장수와 동적으로 변화되는 망의 입력부하를 고려하여 상위 클래스인 Class 1 버스트의 offset 시간을 적절하게 결정하였으며 우선 순위가 높은 Class 1 트래픽의 요구 QoS를 망의 상황에 적절하게 보장할 수 있었다. 이것은 제안된 OTD 알고리즘이 단순히 서비스 차별화를 위하여 고정 크기의 긴 offset 시간을 결정하는 것이 아니고, 요구 QoS에 적합한 offset 시간을 결정할 수 있음을 의미한다. 따라서 OTD 알고리즘을 이용하면 기존 방식과는 다르게 긴 offset 시간으로 인한 버스트 데이터의 지연을 줄일 수 있는 장점과 망의 파장수가 정해졌을 때, 요구 QoS를 보장할 수 있는 망의 최대 입력 부하도 결정할 수 있는 특징을 갖는다.

향후 연구로는 제안된 알고리즘이 대단위 DWDM OBS 망에서 운용될 수 있는 방안과 HLF를 개선하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 광인터넷연구센터 프로젝트의 지원으로 이루어졌으며, 강민호 교수의 도움에 감사드립니다.

참고 문헌

- [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 and M. Yoo, "Optical burst switching (OBS) a new paradigm for an Optical Internet," *J. High Speed Networks (JHSN)*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, 1999.

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

[6] M. Yoo, M. Jeong, and C. Qiao, "A new optical burst switching (OBS) protocol for supporting quality of service," *All Optical Communication Systems: Architecture, Control and Network Issues* in SPIE Proceedings, vol. 3531, pp. 396-405, Nov. 1998.

[7] Hemant M. Chaskar, Sanjeev Verma, Rayadurgam Ravikanth, "A Framework to Support IP over WDM Using Optical Burst Switching," *Workshop on Optical Networks (WON)*, Jan. 2000.

[8] M. Yoo and C. Qiao, "Just enough-time(JET): a high speed protocol for bursty traffic in optical networks," in *IEEE/LEOS Technologies for a Global Information Infrastructure*, pp. 26-27, Aug. 1997.

[9] Y. Xiong, M. Vandenhoute, H. C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 10, October 2000.

[10] W. H. So, Y. H. Cha, S. S. Roh, and Y. C. Kim, "Offset Time Decision(OTD) Algorithm for Guaranteeing the Requested QoS of High Priority Traffic in OBS Networks," *APOC 2001*, Nov 2001.

소 원 호(Won-ho So) 정회원
 한국통신학회 논문지 제 25권 제 1A호 참조
 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중

차 윤 호(Yun-ho Cha) 정회원



2000년 2월 : 전북대학교
 컴퓨터공학과 졸업
 2001년 12월 ~ 현재 :
 전북대학교 석사
 <주관심 분야> 광통신, 교환
 방식, 통신 프로토콜

노 선 식(Sun-Sik Roh) 정회원
 한국통신학회 논문지 제 20권 제8호 참조
 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중

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