

# 광 버스트 교환망에서 BECN 방식의 효과적인 QoS 보장 방법

최 영 복<sup>†</sup>

요 약

최근, IP 기반 인터넷 트래픽의 폭발적인 증가로 인하여 인터넷의 백본 네트워크로서 광 WDM 네트워크가 주목을 받고 있다. 광 버스트 교환(OBS)은 WDM 네트워크에서 사용될 효과적인 교환 기술로서 제안되었다. 광 버스트 교환은 대역폭을 효율적으로 사용하고 광 버퍼가 불필요하다는 크게 두 가지의 이점을 가지고 있다. 그러나, 광 버스트 교환은 네트워크 내에서 광 버스트가 충돌하는 문제점을 가지고 있다. 우회 라우팅(deflection routing)이 이 문제를 해결하는 하나의 방법으로 제안되었다. 본 논문에서는 우회 라우팅을 사용하는 환경에서 버스트 손실을 최소화하는 새로운 라우팅 방법을 제안한다. 또한, 새로운 라우팅 알고리즘을 이용하여 QoS 제어 방법을 제안한다. 마지막으로, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안 방법의 유효성을 보인다.

키워드 : 광 버스트 스위칭, 우회 라우팅, QoS, BECN, WDM

## An Effective BECN Typed QoS Guaranteeing Mechanism in Optical Burst Switching Networks

Young-Bok Choi<sup>†</sup>

ABSTRACT

In recent years, WDM networks have received much attention as the Internet backbone networks because of the explosive growth of the Internet IP-based traffic. The Optical Burst Switching (OBS) has been proposed as an effective optical switching technology in the WDM networks. The OBS has the advantages in 1) the high usage rate of the bandwidth, and 2) no necessity of optical buffer. However, the OBS has the burst-contention problem in the networks. The deflection routing is proposed as one of means to solve this problem. In this paper, we propose a new routing method to minimize burst loss in the deflection routing based networks. In addition, we propose a QoS control method using a new routing algorithm. Finally, we show the variety of the proposed methods by computer simulations.

Key Words : OBS, Deflection Routing, QoS, BECN, WDM

### 1. 서 론

최근, IP 기반 인터넷 트래픽의 폭발적인 증가로 인해 통신 네트워크의 용량 부족이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이를 해결하기 위해 빠른 속도와 높은 성능을 가진 백본 네트워크를 필요로 하고 있다. 광 네트워크의 넓은 대역폭은 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 기술의 발전으로 더욱 효율적으로 사용되고 있다. 현재 통신 시스템에 있어서 전송로에 사용되는 광 소자는 급격히 발전하고 있으며, 광섬유는 중요 간선 선로에서 널리 사용되고 있다.

광섬유는 앞으로 단말과 네트워크를 연결하는 액세스 시스템에서 널리 쓰일 것으로 예상된다.

높은 성능의 광 네트워크를 구현하기 위한 세가지 중요한 교환 기술이 있다. 파장 라우팅, 광 패킷 교환, 광 버스트 교환 기술이 그것들이다. 파장 라우팅(wavelength routing)은 경유하는 노드에 OXC(Optical Cross Connect)를 두어 광 파장을 이용한 단대단 광 전송로를 설정한다. 따라서, 파장 라우팅은 회선 교환 방식으로 분류된다. 광 전송로를 설정하기 위해 상호 예약방식이 필요하다. 파장 라우팅은 광 버퍼가 필요 없다는 장점이 있으나, 광 전송로가 각 링크의 파장을 점유하고 낭비하는 문제점들이 있다.

광 패킷 교환(optical packet switching)에서 페이로드(데이터)는 경로설정 없이 헤더(제어)와 같이 전송된다. 광 패킷 교환은 패킷 교환을 위한 광 영역에서 광-전-광 변환이

※ 이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2004-000-11673-0).

† 정 회 원 : 동명대학교 정보통신공학과 부교수  
논문접수 : 2006년 3월 31일, 심사완료 : 2006년 6월 2일

필요 없으므로 높은 성능을 보장한다. 그러나 광 패킷 교환 방식은 다음과 같은 단점이 있다. 첫째, 광 스위치 설정을 위해 헤더를 처리하는 동안 패킷 지연이 일어난다. 둘째, 광 패킷 교환은 높은 오버헤드 제어를 요구한다. 셋째, 하드웨어가 매우 정교하고 가격이 비싸다.

광 버스트 교환(OBS: Optical Burst Switching)은 제어 패킷을 발신지 노드에서 목적지 노드로 보내고 제어 패킷의 ACK 응답을 기다리지 않고 'offset time'이라는 지정된 시간 이후에 데이터 버스트를 전송한다[1-4]. 광 버스트 교환은 다른 두 가지 교환 기술보다 많은 장점을 가지고 있는 효율적인 광 교환 기술이다. 게다가 광 버스트 교환은 단순한 제어로써 높은 성능을 얻을 수 있다[5, 6]. 하지만, 광 버스트 교환은 버스트 충돌이라는 문제점을 가지고 있다. 우회 라우팅(deflection routing)이 이 문제를 해결하는 하나의 방법으로 제안되었다.

본 논문에서는 광 버스트 교환에서의 문제점인 버스트 충돌 문제를 해결하기 위해 피드백 기반의 새로운 우회 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은, 노드가 링크 혼잡을 감지했을 때, 인접 노드에 혼잡 정보를 전송한다. 따라서, 주변의 노드들은 링크의 정보를 통해 데이터 버스트를 혼잡한 링크를 회피하여 보낼 수 있다. 제안된 방법은 컴퓨터 시뮬레이션으로 평가하고, 제안방법의 다양성을 보이는 세가지 성능을 측정한다. 그리고 제안 방법이 버스트 블로킹률과 손실률을 현저하게 개선한다는 것을 증명한다.

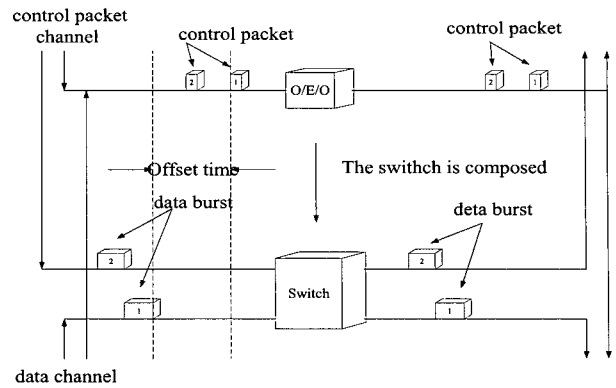
본 논문의 구성은, 2장에서 광 버스트 교환에 대해 자세히 다루고, 3장에서 피드백 방식의 새로운 우회 라우팅 알고리즘과 QoS(Quality of Service) 제어 방법을 제안한다. 4장에서 제안 방법을 평가하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 광 버스트 교환

### 2.1 광 버스트 교환의 일반적인 사항

광 네트워크에는 높은 폭주성 트래픽이 존재한다. 따라서 이러한 트래픽에 상응하는 광 교환 방식이 필요하다. 파장 라우팅과 광 패킷 교환은 높은 폭주성을 처리하기 위해 적절하지 않다. 파장 라우팅을 적용하면, 대역폭을 효율적으로 사용할 수 없으며, 광 패킷 교환은 중간 노드의 복잡한 처리 과정과 광 RAM 기술을 필요로 하는 문제가 있다. 광 버스트 교환은 파장 라우팅과 광 패킷 교환 방식의 단점을 피하고 장점을 묶은 방식이다. 광 버스트 교환의 기능은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 제어 패킷은 데이터 버스트에 앞서 채널을 예약하기 위해 전송된다. 모든 제어 패킷은 특정한 제어 채널을 공유한다.
- 2) 해당 제어 패킷 전송 후 데이터 버스트는 offset time 만큼 지연되어 하나의 데이터 채널로 전송된다.
- 3) 제어 패킷은 각 중간 노드에서 광-전-광 변환으로 전



(그림 1) 광 버스트 교환

<표 1> 광 교환 기술 비교

Switching Techniques	Wavelength Routing	Packet Switching	OBS
Bandwidth Utilization	Low	High	High
Buffer Memory	No	Yes	No
Latency	High	High	Low
Overhead	Low	High	Low
Adaptively	No	Yes	Yes
QoS support	No	Yes	Yes

기적인 신호로 변환하여 처리된다.

- 4) 데이터 버스트는 각 중간 노드마다 광-전-광 변환 없이 교환, 전송한다.

(그림 1)은 위의 광 버스트 교환 기능을 보여준다.

광 버스트 교환은 세가지 장점이 있다[7, 8]. 첫째, 데이터 버스트는 두 개 혹은 더 이상의 패킷으로 구성된다. 따라서, 한 개의 제어 패킷은 두 개 혹은 더 이상의 패킷을 교환하므로 패킷당 오버헤드가 낮다. 둘째, 각 중간 노드에서 버퍼링이 필요 없다. 셋째, 데이터 버스트 전송 후에, 전송 파장을 즉시 해제한다. 따라서, 다른 데이터 버스트가 링크에서 같은 파장을 사용함으로써 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다. 트래픽의 변화에 대한 적응은 광 패킷 교환 기술만큼 좋다. <표 1>에서 세 가지의 광 교환 기술을 비교한다.

### 2.2 광 버스트 교환의 문제점

광 버스트 교환의 가장 큰 문제점은 버스트 충돌이다. 교환기에서 동시에 동일한 출력 링크를 차지하기 위해 많은 버스트들이 경쟁을 함으로써 충돌이 발생한다. 이러한 충돌을 해결하기 위해 세가지 방법이 제안되었다. 첫째, 광 지연선(FDL: Fiber Delay Line)을 사용한 광 버퍼 기술을 이용한다. 둘째, 경쟁하는 버스트를 다른 파장으로 변환하여 충돌을 회피하는 방법이다. 위의 두 가지 방법은 매우 정교하고 값비싼 장비를 필요로 한다. 셋째, 우회 라우팅(deflection routing) 방법이다[9-12]. 우회 라우팅의 기본 개념은 사용하지 않는 다른 링크를 사용한다는 것이다. 경쟁 버스트들이 우회 라우팅에 의해 다른 출력 링크로 보내짐으로써, 충돌을 회피할 수 있게 된다. 우회 라우팅을 이용하면 광 네트

워크에서 광 버퍼나 파장 변환 기술과 비교하여 버스트 충돌을 더 쉽게 회피 할 수 있다.

입력 부하가 작을 시, 사용하지 않는 많은 링크가 제공되기에 우회 라우팅은 데이터 버스트 블로킹 확률을 감소시킨다. 그러나, 입력 부하가 높을 때에는, 사용하지 않는 링크 수가 작기 때문에 우회 라우팅을 사용해도 데이터 버스트 블로킹률이 감소하지 않는다.

### 3. BECN 방식의 우회 라우팅

2장에서, 광 버스트 교환의 기능과 문제점에 대해서 설명하였다. 이 장에서는, 광 버스트 교환의 문제점인 버스트 충돌을 개선하기 위한 새로운 라우팅 아키텍처를 제안한다. 또한, 제안된 라우팅 알고리즘을 이용하여 QoS를 제공하기 위한 효과적인 제어 방식을 제안한다. 2장에서 중간 노드에서 충돌이 발생할 때 해결할 수 있는 세가지 해결방법에 대해 설명하였다. 본 논문은 그 중 하나인 우회 라우팅을 사용한다. 우회 라우팅의 문제점은 트래픽 증가에 따라 대체 경로가 줄어들어는 것이다. 이 장에서는, 이 문제를 해결하기 위해 피드백 기반의 BECN(Backward Explicit Congestion Notification) 방식 우회 라우팅을 제안한다.

#### 3.1 BECN

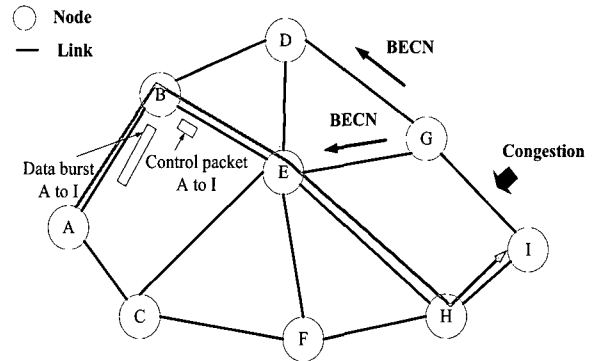
광 버스트 교환망 내부의 각 노드는 경로 혼잡이 감지되면, 인접한 모든 노드에 BECN을 전송한다. 이로 인해서, 주변의 노드들은 버스트 전송 시에 네트워크의 혼잡 상태를 알 수가 있다. 광 버스트 교환망의 송신측 에지 노드에서 BECN을 수신하면 적당한 흐름제어 방법을 사용하여 네트워크 내부로 유입되는 트래픽을 조절할 필요가 있다. 에지 노드에는 충분한 메모리를 갖고 있어서 전기 신호 상태에서 버스트를 저장할 수 있기 때문에 흐름제어를 수행할 수 있다.

#### 3.2 BECN 방식의 우회 라우팅

우회 경로 라우팅의 문제점은 트래픽 증가에 따라 대체 경로가 줄어들어는 것이다. 더욱이, 중간 노드에 제어 패킷이 도착하기 전에는 대체 경로를 확인할 수가 없다. 따라서, BECN을 우회 경로 라우팅에 적용하여, 네트워크 상태를 역방향으로 알릴 필요가 있다.

경로 혼잡이 감지되면, 혼잡을 감지한 노드는 이웃 노드들에게 BECN을 전송한다. 그러면, 일부 데이터 버스트는 혼잡 정보를 가진 선행 노드에서 우회 라우팅 알고리즘에 의해 대체 경로로 전송된다. 따라서, 버스트 충돌 가능성을 미리 회피함으로써 버스트 블로킹률을 감소시킬 수가 있다.

예를 들어 (그림 2)의 네트워크를 고려해 보자. 노드 G와 노드 I 사이가 혼잡 구간이며, 데이터 버스트는 ABEGI 경로를 통해 노드 A에서 I로 전송된다고 가정한다. 혼잡 상태를 감지한 노드 G는 BECN을 노드 D와 노드 E에 보낸다. 각 노드(노드 D와 E)는 노드 G와 I 사이의 링크에서 발생한 혼잡 정보를 가진다. 데이터 버스트(노드 A에서 I로)의



(그림 2) BECN 방식의 우회 라우팅

제어 패킷이 노드 E에 도착하면, 노드 E는 혼잡 정보를 참조하여 제어 패킷을 전송할 다음 노드(노드 H)를 결정한다. 따라서, 데이터 버스트(노드 A에서 I로)는 혼잡 링크를 회피하고 노드 I로 전송된다.

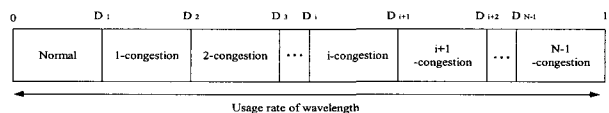
#### 3.3 BECN/CRN 신호 프로토콜

각 링크의 이용 상태를 고려한다. 링크 k에서의 사용 가능한 모든 파장 수에 대한 사용중인 파장 수의 비율을 사용률  $U_k$ 라고 정의한다. 링크 k는 N개의 상태를 가지며, 한 개의 정상 상태와 사용률  $U_k$ 에 따른 N-1개의 혼잡 상태를 가진다. 각 링크는 N-1개의 다른 임계값  $D_i (i = 1, 2, \dots, N-1)$ 이고  $0 < D_j < D_{j+1} < 1$ 를 가진다. (그림 3)은 링크 상태를 보여준다. 노드는 출력 링크 k의 사용률  $U_k$ 를 감지한다. 노드가 사용률  $U_k$ 가  $D_1$ 을 넘는 것을 감지하면, 노드는 역방향의 각 노드로 BECN을 보낸다. 노드는  $U_k$ 가  $D_i$ 를 넘을 때마다 그 상태 정보를 알리기 위해 BECN을 전송한다. 또한, 링크의 동작 상태를 아래와 같이 나타낸다.

- 1)  $0 \leq U_k \leq D_1$  이면, 링크 상태는 정상이다.
- 2)  $D_i < U_k < D_{i+1}$  이면, 링크는 i-혼잡 상태이다.
- 3)  $D_{N-1} < U_k \leq 1$ 이면, 링크는 거의 치명적인 혼잡 상태이다.

또한, CRN(Congestion Restoration Notification)을 도입한다. CRN은 i-혼잡 상태를 (i-1)-혼잡 상태로 회복하기 위해 사용된다. 노드가  $U_k$ 가 감소하여 임계값  $D_i$  이하로 뚫을 감지하면, 노드는 역방향의 노드들에게 CRN을 전송하고, 링크 k의 혼잡 상태 회복 정보를 알린다.

각 노드는 혼잡 상태에 따라 라우팅 처리를 결정하며, 각 노드는 링크 상태 테이블을 가진다. 노드가 BECN이나 CRN을 수신하면, 링크 상태 테이블을 갱신한다. 제어 패킷은 중간 노드의 링크 상태 테이블을 참조하여 데이터 버스트의 출력 링크를 결정한다.



(그림 3) 링크 상태

3.4 QoS 제어 방법

여기서는, 제안된 BECN 방법을 사용하여, 트래픽의 버스트 손실률과 지연 시간을 동시에 고려한 QoS를 제어하는 방법을 제안한다. 이 방법에서는, 트래픽을 버스트 손실률과 지연 시간 요구조건을 고려하여 N개의 등급(class)으로 나누고 각각에 대해 우선순위를 할당한다. 여기서는 N=3인 경우로 가정하여 설명한다. 트래픽을 3개의 등급 class0, class1, class2로 나누며, class0은 버스트 손실률과 지연시간 요구조건에서 최고 높은 우선순위 트래픽이다. 각 중간 노드에서의 라우팅 절차는 링크의 사용률에 의해 결정된다. 사용률에 대한 두 임계값인 D1과 D2(예를 들어, D1: 60%, D2: 80%)를 정의한다.

예로 주어진 (그림 2)를 이용하여 동작을 설명한다. 링크 k(노드 G와 I 사이의 링크)의 링크 상태를 정상 상태라고 가정한다. 링크 k가 정상 상태일 때에는, A에서 I로 가는 모든 등급의 트래픽은 최단 경로로 전송된다. 링크 k의 링크 사용률이 D1을 넘으면 이웃 노드(D, E)로 첫 번째 BECN을 전송한다. BECN을 수신한 노드 E는 링크 k의 링크 상태를 정상 상태에서 1-혼잡 상태로 갱신한다. 이때, class2 트래픽만이 우회 경로 라우팅 알고리즘에 의해 우회하게 된다. class0과 class1은 이전 경로를 그대로 유지한다. 또한, 링크 k의 링크 사용률이 D2를 넘으면 이웃 노드로 두 번째 BECN을 전송한다. 유사한 방식으로, 링크 k의 상태는 1-혼잡 상태에서 2-혼잡 상태로 갱신된다. 링크 상태가 2-혼잡 상태가 되면, class1 트래픽은 노드 E에서 class2 트래픽과 함께 경로가 우회된다. 오직 최고 우선순위를 가진 class0만이 동일한 경로를 유지한다. 후에 링크의 사용률이 D2 혹은 D1 보다 낮아지면 링크 상태는 회복된다.

그러므로, class0은 항상 가장 짧은 경로에 의해 목적지까지의 경로가 설정된다. class0 트래픽은 최고 높은 QoS를 보장 받을 수 있다. 또한, 트래픽은 미리 사용률에 의해 혼잡을 회피하므로 트래픽 혼잡과 블로킹 확률은 감소될 것이다. 또한, 이 방법으로 전체 네트워크의 트래픽 부하가 좀더 공평하게 분배될 수 있을 것이다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 모델

이 장에서는, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 두 가지 방법의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션을 위해 다음을 가정한다. 먼저, 시뮬레이션의 공통 파라미터는 다음과 같다.

- 1) 네트워크 모델: 4x4 격자 네트워크 구조
- 2) 노드의 수: 16
- 3) 링크당 파장의 수: 32
- 4) 데이터 버스트의 생성은 각 노드에서 균등 분포를 갖는다.
- 5) 버스트 길이는 20kbyte 에서 50kbyte까지 균등하게 분배된다.

6) 링크의 대역폭: 10Gbps

시뮬레이션에서, 비 제어 방법과 기존 방법을 제안한 방법과 비교한다. 비 제어 방법은 버스트 경쟁 발생시, 어떠한 우회 경로 라우팅도 이용하지 않는다. 기존 방법은 기존의 우회 경로 라우팅 방법을 이용한다. 성능평가를 위해, 다음 세가지지를 측정한다.

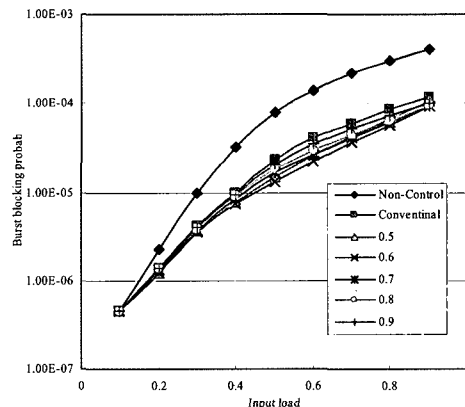
- 1) 버스트 블로킹률: 경로상의 어떠한 노드에서 데이터 버스트가 충돌될 확률
- 2) 버스트 손실률: 데이터 버스트의 충돌 시에 이용 가능한 모든 링크에서 사용 가능한 파장이 없어서 버스트가 폐기될 확률
- 3) 평균 홉의 수: 데이터 버스트가 목적지로 가는 동안 경유하는 홉의 평균 개수

4.2 BECN 방식의 우회 라우팅 특성

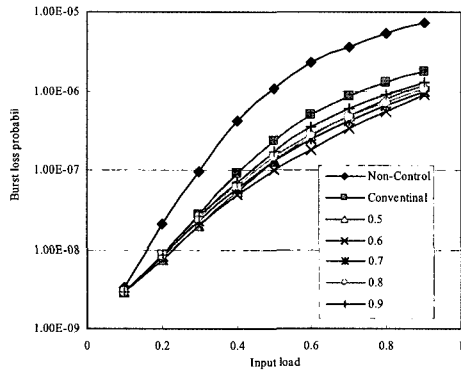
BECN 방식 우회 라우팅의 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터는 다음과 같다.

- 1) 링크 상태를 정상 상태와 1-혼잡 상태로 나눈다.
- 2) 각 링크는 하나의 임계값을 가진다. D1 = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 인 5가지 경우를 고려한다.

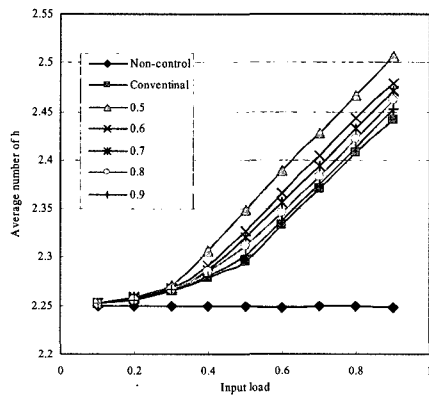
(그림 4, 5, 6)은 제안한 BECN 방식 우회 라우팅의 성능에 대한 타당성을 보여준다. (그림 4)는 입력 부하에 대한 버스트 블로킹률의 특성을 보여준다. 제안된 방법이 비 제어 방법과 기존 방식에 비해 월등하게 우수한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 제안된 방법에서 특정한 링크가 혼잡하면 혼잡 링크에 연결된 노드는 이웃 노드에게 BECN을 전송한다. BECN을 수신한 노드는 링크 상태 테이블을 갱신한다. 데이터 버스트를 위한 제어 패킷을 수신한 노드는 혼잡 정보를 기반으로 제어 패킷을 전송할 다음 노드를 결정한다. 따라서, 데이터 버스트는 혼잡 링크를 회피할 수 있고, 목적지 노드까지 성공적으로 전송될 가능성이 높아진다. 따라서, 제안 방법은 버스트 블로킹률이 감소된다. 또한, 임계값을 조사하면, 각각의 임계값 중에서 D1=0.6일 때 최고의 성능을 보여준다. 임계값이 너무 높으면, 링크가 혼잡



(그림 4) 버스트 블로킹률



(그림 5) 버스트 손실률



(그림 6) 평균 홉 수

상태일지라도 BECN을 전송하지 않으므로, 데이터 버스트는 혼잡한 링크로 전송된다. 반대로 임계값이 너무 낮으면, 링크에서 유효한 파장이 있는데도 데이터 버스트는 우회된다. 이때, 대체 경로의 데이터 버스트는 다른 데이터 버스트와의 충돌 확률이 증가한다. 결론적으로, 성능평가에서는 D1=0.6일 때 가장 적절한 것으로 나타났다.

(그림 5)는 입력 부하에 대한 버스트 손실률의 특성을 보여준다. 제안된 방법의 성능은 같은 이유로 향상되는 것을 알 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이, 많은 버스트들이 미리 혼잡 링크를 회피한다. 따라서, 제안된 방법은 다른 것보다 버스트 손실률이 낮다. 또한, 각각의 임계값에 대해 비교를 하면, 위와 유사한 이유로서 5개의 임계값 중 D1=0.6일 때 최고의 성능을 나타낸다.

(그림 6)은 입력 부하에 대한 평균 홉 수의 특성을 보여준다. 제안된 방법이 기존 방법에 비해 약간 증가되는 것을 알 수 있다. 비 제어 방법은 데이터 버스트가 최단 경로로 전송되기 때문에 홉의 수가 항상 일정하게 유지된다. 제안 방법은, 혼잡 경로를 회피하기 위해 데이터 버스트들을 우회 경로를 선택하여 보낸다. 또한 노드에서 버스트 충돌 시에 버스트 손실을 회피하기 위하여 우회 경로를 선택하게 된다. 따라서, 제안 방법에서는 평균 홉 수가 약간 증가한다. 각각의 임계값을 비교하면, D1=0.5일 때 가장 많고, D1=0.9일 때 가장 적다. 임계값이 낮으면, 노드는 즉시 혼잡을 감지하고, 이웃 노드로 BECN을 전송한다. 따라서, 데이터 버

스트는 많은 홉 수를 가진 외부 경로를 선택한다. 그러나 임계값이 높으면 BECN을 전송하지 않으므로, 데이터 버스트는 가장 짧은 경로를 지나갈 것 이기 때문에 평균 홉의 수는 낮게 유지된다.

### 4.3 QoS 제어 방법의 특성

제안된 QoS 제어 방법에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터는 다음과 같다

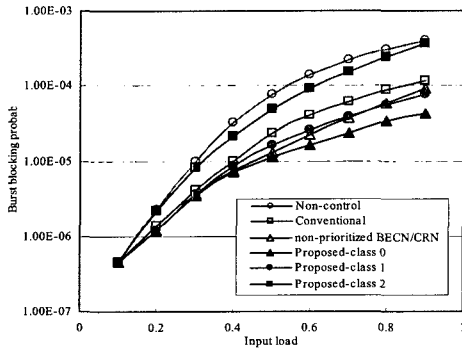
- 1) 트래픽의 등급(class) 수는 3개이다. 즉, 트래픽을 class0, class1, class2의 우선순위로 나누고, class0이 가장 높은 우선 순위를 가진다.
- 2) 링크 상태를 정상 상태, 1-혼잡 상태, 2-혼잡 상태의 3가지 상태로 나눈다.
- 3) 링크는 두 개의 임계값 Dn를 가진다.

여기서, D1 = 0.6, D2 = 0.8

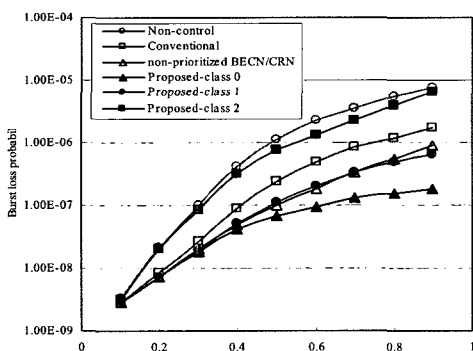
(그림 7, 8, 9)는 QoS 제어 방법이 효과적임을 보여준다. 여기서는 BECN 프로토콜을 사용하지만 우선순위 메커니즘은 사용하지 않는 비 우선순위 BECN/CRN을 추가하여 비교하고, 비 우선순위 BECN/CRN 방법의 임계값은 0.6이다. (그림 7)은 입력부하에 대한 버스트 블로킹률의 특성을 보여준다. class0의 트래픽은 가장 좋은 성능을 보이고, class1 트래픽과 비 우선순위 BECN/CRN 방법의 성능은 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. class0 트래픽은 경로상의 유효한 파장 선택에서 우선권을 가지므로, class0 트래픽의 버스트 블로킹률은 다른 것 보다 낮다. 또한, class1은 BECN에 의해 혼잡 링크 정보를 알 수 있기 때문에 class1은 기존 방법 보다 성능이 좋다. class2 트래픽은 우선 순위가 가장 낮기 때문에, class2는 자주 우회 경로를 선택한다. 따라서, class2 트래픽의 성능은 기존 방법의 성능 보다 낮다.

(그림 8)은 입력 부하에 대한 버스트 손실률 특성을 보여준다. 그림 7에서 보았듯이 class0의 성능이 가장 좋고, class1 트래픽은 비 우선순위 BECN/CRN 방법과 거의 유사하다. class0 트래픽은 가장 높은 우선 순위를 가지기 때문에, 다른 class 트래픽과 충돌이 발생하더라도 손실되지 않는다. class1 트래픽은 혼잡 링크를 회피할 수 있기 때문에, 기존 방법보다 충돌 확률이 낮다. 그러나 class2 트래픽은 가장 낮은 우선 순위를 가지기에 다른 class 트래픽과의 빈번한 충돌로 손실된다. 따라서 class2 트래픽의 버스트 손실률은 기존 방법에 비해 좋지 않다.

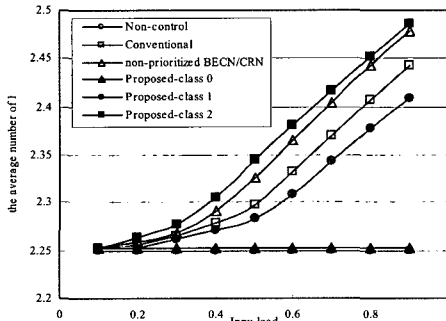
(그림 9)는 입력 부하에 대한 평균 홉 수의 특성을 보여준다. class0의 성능이 가장 좋다. class0 트래픽은 가장 짧은 경로를 선택하기 때문에 평균 홉 수가 가장 낮다. 입력 부하가 상승하면, class1 트래픽의 평균 홉 수는 기존 방법과 비 우선순위 BECN/CRN에 비해 적다. class1 트래픽은 BECN에 의해 미리 더 좋은 경로를 선택하기 때문에 성능이 기존 방법 보다 좋다. 더욱이, class1 트래픽의 임계값이 0.8이기 때문에 class1 트래픽은 비교적 쉽게 최단 경로를 지나간다. 따라서 class1 트래픽의 평균 홉 수는 비 우선순위 BECN/CRN 방법보다 적다. 그러나 class2 트래픽은 우



(그림 7) 버스트 블로킹률



(그림 8) 버스트 손실률



(그림 9) 평균 홉수

회 경로를 사용할 확률이 가장 높으므로 평균 홉 수가 가장 많다.

### 5. 결론

본 논문에서는 광 버스트 교환망에서의 버스트 충돌에 대해 논하였다. 광 버스트 교환망에서의 새로운 라우팅 아키텍처와 QoS 제어 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘의 성능이 향상됨을 보여주었다. 또한, 각 임계값에서 D1=0.6일 때 최고의 성능을 가진다. 그리고, 시뮬레이션의 결과에서 QoS 제어 방법이 높은 우선순위를 가지는 트래픽의 버스트 손실률, 경유하는 평균 홉수에서 우수한 성능을 보장함을 알 수 있다. 광 버스트 교환망에서

BECN 방식의 우회 라우팅이 매우 유효함을 증명하였다.

향후 연구과제로 제안 알고리즘에 광 버스트 교환망의 여러 가지 기능을 추가하고 다양한 환경에서 성능을 평가할 필요가 있다. 또한, 트래픽의 지연 시간과 버스트 손실 특성을 분리하여 우선순위를 결정하고, 이에 알맞은 QoS 제어 알고리즘을 개발하고 그 성능을 평가할 필요가 있다.

### 참고 문헌

- [1] C.Qiao and M.Yoo, "Optical Burst Switching(OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet," Journal of High Speed Networks, Vol.8, No.1, pp.69~84, 1999.
- [2] J.Turner, "Terabit Burst Switching," Journal of High Speed Networks, Vol.8, No.1, pp.3~16, 1999.
- [3] C.Qiao, "Labeled Optical Burst Switching for IP-over-WDM Integration," IEEE Communication Magazine. Vol.1, No.9, pp.104~114, Sep., 2000.
- [4] M.Yoo and C.Qiao, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-over-WDM Networks," IEEE JSAC, Vol.18, No.10, pp.2062~2071, Oct., 2000.
- [5] J.Y.Wei and R.I.Mcfarland Jr, "Just-In-Time Signaling for WDM Optical Burst-Switching Networks," Journal of lightwave Technology, Vol.18, No.12, Dec., 2000.
- [6] Y.J.Xiong, M.Vandenhoute and H.C.Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in commun. Vol.18, No.10, pp.1838~1581, Oct., 2000.
- [7] C.Qiao and S.Dixit, "Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next-Generation Optical Internet," IEEE Commun. Magazine. pp.98-104, Feb., 2001.
- [8] Ilia Baldine, "JumpStart: A Just-in-Time Signaling Architecture for WDM Burst-Switched Networks," IEEE Communication Magazine, Vol.40, No.2, pp.82~89, Feb., 2003.
- [9] Sungchan Kim, "Contention Resolution for Optical Burst Switching Networks Using Alternative Routing," 2002 IEEE International Conference on Communications, Vol.101, No.2, May, 2002.
- [10] Vinod M.Vokkarance, "Burst Segmentation: An Approach For Reducing Packet Loss In Optical Burst Switched Networks," IEEE International Conference on Communication, Vol.101, No.1, May, 2002.
- [11] K.Ohmae, Y.B.Choi and H.Okada, "An Effective BECN typed Deflection Routing for Optical Burst Switching," Proc. of IASTED CCN2002, pp.259~262, 2002.
- [12] 최영복, 노석조, "OBS 네트워크에서 QoS 보장을 위한 BECN 방식의 우회 라우팅", 대한전자공학회 2004년도 하계종합학술발표대회논문집I, pp.241-244, 6월, 2004년.



### 최영복

e-mail : ybchoi@tu.ac.kr

1984년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1988년 경북대학교대학원(공학석사)

1996년 오사카대학대학원 통신공학과

(공학박사)

1984년~1985년 LG전자가전연구소 연구원

1985년~1992년 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원

1996년~현재 동명대학교 정보통신공학과 부교수

관심분야: 초고속 통신망, 광 인터넷, ad-hoc 네트워크 등