

# 광 버스트 스위칭 네트워크와 파장 라우팅 네트워크의 성능 비교

정회원 유 명 식\*, 준회원 정 연 미\*, 정회원 홍 현 하\*\*

## A Performance Evaluation on Optical Burst Switched Networks and Wavelength Routed Networks

Myungsik Yoo\* *Regular Member*, Yeon-Mi Jung\* *Associate Member*,  
Hyun-Ha Hong\*\* *Regular Member*

요 약

광 네트워크의 형태가 IP over WDM의 형태로 발전해 나아감에 따라 이러한 광 도메인 내에서의 스위칭 또한 다양한 방법들이 제안되고 있다. 그 중 현재 그리고 가까운 장래에 촉망되는 방법으로 파장 라우팅 (Wavelength Routing: WR) 방식과 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching: OBS) 방식이 활발히 연구되어지고 있다. 본 논문에서는 이러한 두 스위칭 방식을 적용시킨 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능을 평가 비교해보고, 광 버스트 스위칭 네트워크가 파장 라우팅 네트워크에 비하여 우수한 성능을 보일 수 있는 조건들을 도출하였다. 또한, 이러한 결과들을 바탕으로 IP over WDM 네트워크에서 광 버스트 스위칭이 효율적으로 우수하다는 것을 입증하였다.

**key Words** : 파장 라우팅, 광 버스트 스위칭, 네트워크 성능평가, 이용효율, 데이터 세션시간, 스위칭 시간, 자기유사성 트래픽

### ABSTRACT

Optical Internet consists of IP domain and optical (WDM) domain, where the wavelength routing (WR) and optical burst switching (OBS) are the promising switching technologies in the optical domain. In this paper, we perform the simulations on the WR network and the OBS network, and compare their performances. It is verified from our simulations that the OBS network performs better than the WR network when the same network resources are given.

### 1. 서 론

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 기술의 개발은 기존 네트워크 형태에 새로운 변화를 가져왔다. 급격히 증가하는 네트워크 트래픽과 다양한 서비스의 요구사항을 만족시키기 위해서 가장 중요한 것이 고속의 처리 속도와 충분한 네트워

크 자원의 제공이다. WDM은 빠른 광 소자를 사용하고 폭넓은 대역폭을 제공하여 위의 두 가지 사항을 모두 만족 시킬 수 있는 기술이다.

현재의 광 네트워크는 이러한 WDM을 이용한 IP over WDM의 형태로 이루어지고 있다. IP over WDM 네트워크는 크게 기존의 IP 도메인과 WDM을 이용한 광 도메인으로 나뉘어 진다. IP

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (myoo@e.ssu.ac.kr, ailami@dreamwiz.com),

\*\* 한국전자통신연구원 광패킷라우팅팀 (hhhong@etri.re.kr)

논문번호 : 030102-0312, 접수일자 : 2003년 3월 2일

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

도메인에서 데이터들은 기존 IP 네트워크에서와 같이 취급되고 이러한 IP 데이터들이 광 도메인으로 유입되면 전기적 신호가 광 신호로 변환되어 광 도메인 내에서는 다른 전기적 처리 없이 데이터들이 목적지로 전송 되게 된다. 광 도메인에서의 데이터들을 목적지로 전송하기 위하여 광 스위치가 필요하고 이러한 스위치들을 위하여 적절한 광 스위칭 기술이 필수적이다.

현재 IP over WDM 네트워크의 광 도메인에서 구현되고 있는 스위칭 방식은 OXC (Optical Cross Connect)를 이용한 파장 라우팅 (Wavelength Routing: WR)이다. 파장 라우팅은 중단간에 고정된 광전송로를 설정해 놓고 그 상태를 영구히 또는 일정 기간동안 유지한다. 이러한 절차를 통하여 네트워크의 구조를 단순하게 하고 광 도메인내의 코어 노드들의 역할을 최소화함으로써 제어와 관리를 간단하게 하는 장점을 가진다. 반면에 광전송로를 할당하기 위해서 사전에 설정을 위한 지연 시간이 필요하고 고정된 광전송로를 사용하기 때문에 네트워크의 변화에 유연하게 대처할 수 없어 탄력적인 네트워크의 운용이 어렵다는 단점이 있다.

위와 같은 단점을 보완하고자 제안된 방법이 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching: OBS)이다. 광 도메인으로 유입되는 패킷들은 에지 노드에서 데이터 버스트로 모아지고, 이러한 데이터 버스트들은 그들의 목적지나 CoS (Class of Service)에 따라 라우팅되어 목적지 노드로 보내지게 된다. 다수의 패킷들이 하나의 데이터 버스트로 모아졌기 때문에 코어노드에서의 처리를 위한 오버헤드가 감소되고 데이터 버스트의 헤더와 페이로드 (데이터)를 분리하여 데이터가 전달될 경로를 미리 예약하게 됨으로 버퍼의 필요성 또한 감소된다. 그러나 데이터 버스트의 전송 도중 전송이 실패할 경우 데이터 버스트를 모두 잃게 되는 단점도 가지고 있다.

위와 같은 광 네트워크를 위한 광 스위칭 기술은 연구소나 대학을 중심으로 다양한 방면으로 연구되어지고 있다. 파장 라우팅에서 필수적인 RWA (Routing and Wavelength Assignment)에 대한 알고리즘들로부터 이들 RWA 알고리즘들을 풀기 위한 수학적 접근<sup>[1]</sup>, 파장 라우팅 네트워크의 성능 평가, 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능 평가<sup>[2]</sup>, 네트워크 자원 예약을 위한 다양한 기법<sup>[3]</sup>, 기존의 JET (Just Enough Time)-OBS<sup>[4]</sup> 외의 응용된

방법으로써의 WR-OBS<sup>[5]</sup>, 광 버스트 스위칭의 핵심인 버스트 어셈블 방식에 대한 연구<sup>[6,7]</sup>, 다양한 스케줄링 알고리즘의 제안 및 성능 평가<sup>[8]</sup>, 에지 노드로 유입되는 트래픽을 흐름단위로 스위칭하고 처리하는 OFS (Optical Flow Switching)<sup>[9]</sup> 등 활발한 연구가 진행되고 있다. 이렇듯 각각의 네트워크에 대한 다방면으로의 연구와 성능평가는 이루어져 왔지만 두 네트워크의 성능을 직접 비교하는 연구는 진행되지 않았었다.

본 논문에서는 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능을 서로 비교해 봄으로써 파장 라우팅 네트워크의 비효율성을 확인하고 현재의 그리고 앞으로의 네트워크 환경에 적합한 스위칭 구조로써의 광 버스트 스위칭의 효율적 우수성을 밝히고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선, II장에서는 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크 각각의 동작원리 및 특징들에 대하여 살펴보고, III장에서는 두 네트워크의 성능비교에 필요한 시뮬레이션 환경 및 성능 비교를 위한 파라미터를 설명하고 성능평가 결과를 비교 분석하였다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 구조

### 1. 파장 라우팅 네트워크의 구조

광 대역 광 네트워크는 적은 수의 파장을 파장 라우터와 변환기 (Converter)를 이용하여 공간적 재사용 (Spatial Re-use)함으로써 대단위의 사용자를 지원할 수 있다. 그러나 하나의 링크에 존재하는 두개 이상의 광전송로가 서로 간섭되는 것을 막기 위해 서로 다른 파장의 채널을 가져야하기 때문에 파장 라우팅 네트워크 (Wavelength Routed Network: WR Network)가 필요하게 되었다. 다른 형태의 네트워크로부터 파장 라우팅 네트워크로 유입되는 다양한 트래픽에 대하여 에지 라우터는 그들은 목적지나 클래스에 따라 단대단으로의 경로를 할당하고 트래픽들은 미리 할당되어있는 경로를 통하여 목적지까지 안전하게 전달된다. 이러한 파장 라우팅 네트워크에서 가장 중요한 사항은 라우팅과 파장 할당에 관련된 문제 (Routing and Wavelength Assignment: RWA)이다. 주어진 네트워크 자원과 요구된 연결 요청 사이에서 얼마나 효율적으로 라우

팅과 파장 할당을 수행하느냐에 따라서 사용되는 파장의 수를 최소화하여 네트워크 자원의 이용효율(Utilization)을 극대화 할 수 있다.

파장 라우팅 네트워크에서 데이터 전송시 필요한 절차를 그림 1에 도시하였다.

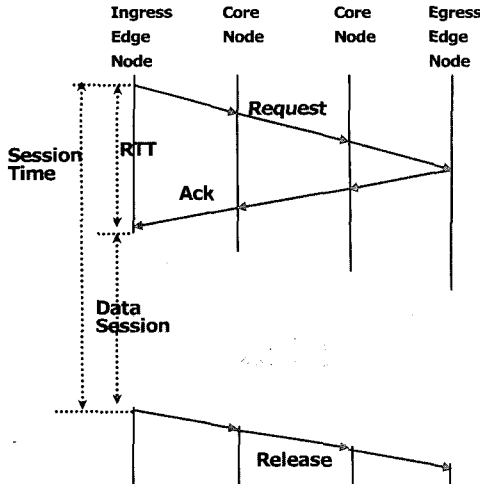


그림 1. 파장 라우팅 네트워크에서의 데이터 전송 절차

데이터가 에지 노드에 도착하면 곧바로 데이터를 전송하는 것이 아니라 에지노드에서는 데이터 전송을 위한 파장을 목적지 까지 예약하게 된다. 송신 노드는 수신 노드로 연결 요청 메시지 (Request)를 각 코어 노드를 거치며 보내게 되고 요청 메시지를 받은 코어 노드들은 적절한 파장을 예약하게 된다. 요청 메시지를 무사히 전달받은 수신 노드는 예약된 파장을 통하여 송신 노드로 연결 확인 메시지 (Acknowledgement)를 보내는 것으로 데이터 전송을 위한 경로 설정을 마치게 된다. 이렇게 데이터 전송을 위하여 단대단으로 설정된 경로를 광전송로(Lightpath)라 한다. 한번 광전송로가 설정되면 그 이후에 같은 목적지로 향하는 데이터들은 추가의 경로 설정이나 파장의 예약 없이 이미 설정된 광전송로를 따라 전송된다. 그리고 데이터의 전송이 끝나면 일정시간 이후에 광전송로 설정을 요청했던 송신 노드가 수신 노드로 해제 메시지 (Release)를 보내어 할당했던 파장들을 해제함으로써 연결을 종료하게 된다. 이렇게, 송신 노드의 연결요청으로부터 시작하여 광전송로를 설정하고 일정시간 데이터 전송 후 해제 메시지를 통해 연결이 종료되는 시점까지를 세션 (Session)이라 정의한다. 그러므로 파장 라우팅 네트워크에서 가장 중요한 요소는 연결을 설정할 때, 주어진 네트워크 자원 내에서 연결

요청을 만족시키면서도 불필요한 파장의 낭비를 최소화 할 수 있는 적절한 RWA 알고리즘과 한 세션 동안 송신된 데이터의 양이라 하겠다.

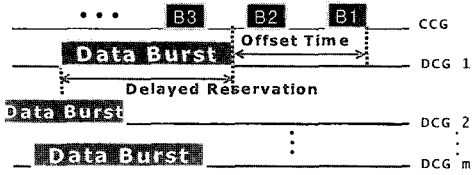
이러한 파장 라우팅 네트워크는 사전에 광전송로를 미리 설정하는 절차를 통하여 이후 데이터들이 코어 노드를 거치며 추가의 라우팅이나 광전송로의 설정 없이 빠르게 전달될 수 있어 처리 및 그 관리가 용이해 지며, 이미 설정된 전송로를 따라 데이터들이 전송되는 관계로 데이터 전송이 매우 신뢰적으로 이루어진다. 반면에 광전송로 설정을 위한 지연시간 (Round Trip Time: RTT)과 설정된 경로에 문제가 발생하였을 경우에 경로 재설정을 위한 여분의 파장이 필요하고 현재 인터넷에서와 같이 불규칙한 특성을 갖는 트래픽에 유연하게 대처할 수 없는 단점도 가진다<sup>[10,11]</sup>

## 2. 광 버스트 스위칭 네트워크의 구조

지금까지 현재 광 도메인에서 사용되는 파장 라우팅에 대하여 살펴보았다. 본 단원에서는 더욱 진보된 기술인 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching: OBS) 기술과 광 버스트 스위칭으로 구성된 광 버스트 스위칭 네트워크의 구조에 대하여 살펴보기로 한다.

광 버스트 스위칭으로 구성된 네트워크 내의 코어 노드들은 다수의 광섬유로 된 링크로 연결되어 있다. 이러한 링크내의 파장들은 데이터 버스트를 전송하는 데이터 채널 (파장)과 데이터 버스트 제어 패킷의 전송을 담당하는 제어 채널 (파장)로 구분된다. 광 버스트 스위칭 네트워크로 유입되는 데이터들은 버스트 단위로 모아지고 모아진 버스트는 데이터 채널을 통하여 전송된다. 네트워크의 송신 노드는 데이터 버스트의 전송을 위한 네트워크 자원 예약과 라우팅을 위하여 해당 데이터 버스트 마다 제어 패킷을 만드는데 만들어진 제어 패킷은 데이터 버스트가 전송되기 일정 시간 전에 제어 채널을 통하여 미리 전송되게 된다. 이러한 제어 패킷과 데이터 버스트 사이의 시간 간격을 Offset Time이라 한다. 데이터 버스트의 전송을 위한 제어 패킷이 Offset Time만큼 앞서 전송됨으로써 네트워크의 코어노드에서 제어 패킷이 처리되는 시간동안 데이터 버스트가 노드 버퍼에 저장될 필요가 없어지고 데이터 버스트가 통과하는 노드에서의 처리가 간소해진다.

그림 2는 광 버스트 스위칭 네트워크에서 데이터 버스트의 전송을 보여준다.



CCG : Control Channel Group  
DCG : Data Channel Group

그림 2. 데이터 버스트와 버스트 제어 패킷

광 버스트 스위칭 네트워크의 입력 에지 노드 (Ingress Edge Node)는 유입되는 데이터 패킷들을 데이터 버스트로 모으고 데이터 버스트가 모아지는 동안 데이터 버스트를 위한 제어 패킷을 만든다. 제어 패킷이 완성되면 라우팅을 거쳐 코어 노드로 제어 패킷과 데이터 버스트를 Offset Time만큼의 지연을 두고 전송한다. 제어 패킷은 각 코어 노드에 도착할 때 마다 라우팅, 채널 예약, 채널 스위칭 등의 처리를 거치며 목적지까지 전송된다. 뒤따라오는 데이터 버스트를 위한 채널 예약은 제어 패킷이 도착하는 시점부터가 아니라 뒤에 올 데이터 버스트가 도착하는 시간부터 데이터 버스트의 끝이 통과하는 시간까지만 이루어진다. 이러한 방법을 Delayed Reservation이라 하고, 이러한 채널 예약 방식을 사용함으로써 해서 네트워크 자원의 낭비를 줄일 수 있게 된다. 제어 패킷이 코어 노드를 거쳐 출력 에지 노드 (Egress Edge Node)에 무사히 도착하면, 노드는 제어 패킷을 소멸 시키고 데이터 버스트들을 다시 입력되었던 데이터 패킷으로 분리하는 것으로 광 도메인에서의 데이터 전송이 종료된다.

위와 같은 광 버스트 스위칭 네트워크에서 중요한 요소는 에지 노드에서 데이터 패킷들을 데이터 버스트로 만드는 버스트 어셈블 과정과 각 노드에서 데이터 버스트를 위한 채널의 예약과 할당에 관련된 채널 스케줄링이다. 버스트 어셈블 방법에 따라 에지 노드에서의 지연 시간이나 코어노드에서의 블러킹 등에 변화가 생겨 네트워크의 성능에 많은 영향을 미친다. 또한 채널 스케줄링 방법에도 불필요한 대역폭의 낭비 등을 줄일 수 있어 효율적인 네트워크 운용이 가능해진다. 광 버스트 스위칭 네트워크는 앞서 말한 Offset Time과 Delayed Reservation을 사용함으로써 코어 노드에서 버퍼의 필요성과 대역폭의 낭비를 감소시키면서 대용량의 데이터를 처리할 수 있고 에지 노드에서의 데이터 어셈블 과정을 통하여 현재 네트워크 데이터의 불규칙한 특성을 어느 정도 완화시킬 수 있

는 장점을 가진다. 반면 너무 많은 데이터를 버스트로 모을 경우 에지 노드에서의 지연이 급격히 증가하게 될 수 있고 코어 노드에서 데이터 버스트의 전송 실패시 많은 데이터를 한꺼번에 잃게 되어 네트워크 성능에 악영향을 줄 수 있다는 단점도 가지고 있다<sup>[2]</sup>.

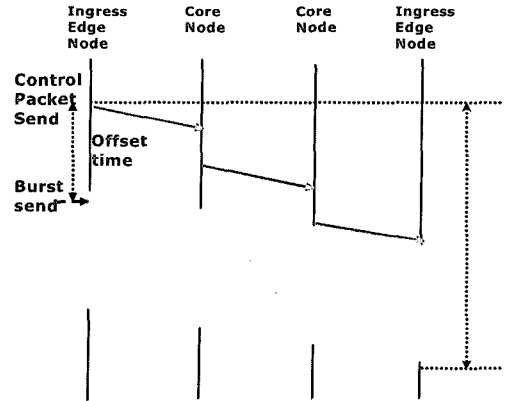


그림 3. 광 버스트 스위칭 네트워크에서의 데이터 버스트 전송절차

### 3. 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 차이점

그림 1과 그림 3은 두 네트워크의 데이터 전송 절차를 도식화하여 보여주고 있다. 파장 라우팅 네트워크는 서킷 스위칭과 유사하게 데이터의 전송 전에 광전송로의 설정 과정을 통해 앞으로 도착할 데이터가 추가의 채널 할당, 예약 및 라우팅의 과정을 거치지 않도록 한다. 한번 설정된 광전송로는 연결이 해제될 때까지 단대단으로 전유된다. 이러한 절차는 코어 노드에서 처리의 단순화뿐만이 아니라 데이터가 안정된 전송로를 통하여 전달됨으로써 전송되는 데이터에 대한 신뢰성이 보장된다. 그러나 광전송로의 설정 지연 시간 (Round Trip Time: RTT)은 어디까지나 데이터 전송을 위한 하나의 오버헤드이므로 이 시간이 뒤에 전송되는 데이터의 양에 비하여 너무 길다면 네트워크의 성능 저하 원인이 된다. 그러므로 파장 라우팅 네트워크에서는 이러한 광전송로의 설정 지연 시간과 실제 전송되는 데이터의 양의 비가 매우 중요하다.

한편 광 버스트 스위칭 네트워크에서 데이터 버스트의 전송은 데이터그램 방식과 유사하다. 데이터 버스트의 전송을 위해 제어 패킷은 데이터 버스트보다 앞서 코어 노드로 전송된다. 제어 패킷은 노드에 도착할 때마다 라우팅을 통해 적절한 경로를 선택하고 그에 따라 적절한 파장을 데이터 버스트가

전송될 시간만큼 예약한다. 이러한 예약과정은 파장 라우팅 네트워크처럼 송신노드에서 수신노드까지 네트워크 자원을 일괄적으로 처리하는 것이 아니라 각 코어에서 독자적으로 자원할당이 이루어지며 데이터 버스트가 통과함과 동시에 예약되었던 파장은 다시 다른 데이터 버스트 전송을 위해 공유된다. 이러한 과정을 통하여 불필요한 자원의 낭비를 막고 융통성있는 자원의 활용이 가능하다. 그러나 배번 노드를 거칠 때마다 제어 패킷이 데이터 버스트를 위한 라우팅과 채널의 예약과정을 거쳐야 하고 제어 채널의 처리 실패 시에 데이터 버스트의 손실을 유발한다.

### III. 성능평가 및 비교분석

#### 1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능을 비교하였다. 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 시뮬레이션을 위하여 그림 4와 같은 네트워크 토폴로지를 고려하였다.

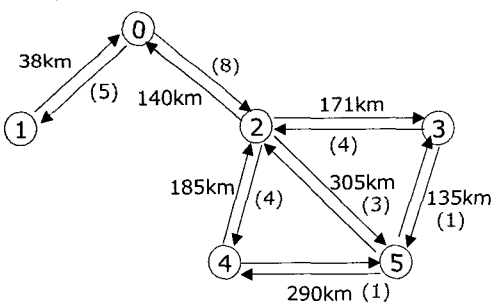


그림 4. 시뮬레이션을 위한 네트워크 토폴로지

그림 4의 네트워크는 우리나라 주요 도시인 서울, 수원, 대전, 대구, 광주, 부산을 연결하는 KOREN (Korea advanced REsearch Network) 토폴로지를 사용하였다. 네트워크는 여섯 개의 코어 노드와 이들을 연결하는 양방향 링크 (광섬유)들로 구성된다. 노드사이의 링크길이는 두 도시를 직선으로 연결하는 거리를 사용하였다. 또한, 각 코어 노드는 하나의 입력 에지 노드와 출력 에지 노드를 가지고 있어 입력 에지 노드는 유입되는 트래픽을 코어망으로 전송하는 역할을 하고 출력 에지 노드는 트래픽을 수신하는 목적지 역할을 한다. 각 링크는 유입되는 트래픽 분포량에 의하여 파장을 할당 하였으

며 각 링크에 할당된 파장수는 그림 4에서 링크마다 괄호안의 수로 표시 하였다. 각 입력 에지 노드로 유입되는 트래픽의 양은 자신을 제외한 나머지 출력 에지 노드로 동일한 트래픽 부하 (0.8)를 가정 하였다. 또한, 입력 에지 노드에서 출력 에지 노드에 이르는 경로는 각 코어 노드에서 최단 경로 라우팅 (Shortest Path Routing)을 가정하였다. 이러한 가정에 의해서 트래픽 부하가 각 링크에 분포되고 그 트래픽 부하 분포에 의해서 각 링크에 필요한 파장수를 계산하였다. 각 파장의 데이터 전송 속도는 10Gbps를 가정하였다. 각 코어 노드는 파장 변환 기능을 가지고 있어 임의의 입력 파장을 임의의 다른 출력 파장으로 변환이 가능하다.

표 1. 파장 라우팅 네트워크 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
트래픽 부하	0.8
광전송로 연결 요청 메세지	Exponential 분포
광전송로 세션시간	Exponential 분포
평균 세션 시간	$5.432 \times 10^{-3}$ sec
평균 RTT	$2.716 \times 10^{-3}$ sec
평균 데이터 세션 (m = 1)	$(2.716 \times 10^{-3} \times m)$ sec (m=0.1, 1, 5, 10, 30)
IP 패킷 도착률 분포	Pareto 분포
Hurst 파라미터 H	0.8 (기본) (H = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
IP 패킷 크기 분포	Exponential 분포 (평균 10000 bit)
평균 흡수	1.76 흡
총 채널수 (k = 1)	$52 \times k$ 개 (k = 1, 5, 10, 15, 20)
스위칭 시간	0 ~ 500 $\mu$ sec

상기한 네트워크 토폴로지 하에서 광 파장 라우팅 네트워크는 각 입력 에지 노드에서 발생하는 광 경로 요청 (Lightpath Request)은 Exponential 분포에 따라 도착하고 각 광 전송로의 세션 시간도 Exponential 분포를 가진다. 그러나, 광 전송로 설정 후 전송이 되는 데이터 (IP 패킷)는 자기 유사성 (Self-Similarity)을 지니는 Pareto 분포를 따른다.

한편, 광 버스트 스위칭 네트워크에서는 각 입력 에지 노드에 Pareto 분포를 가지고 도착하는 데이터 (IP 패킷)를 CAT (Constant Assemble Time) 방식으로 어셈블하여 데이터 버스트로 구성된 후 제어 패킷을 생성/전송하여 자원을 예약하고

Offset Time 이후에 데이터 버스트로 전송하게 된다. CAT 어셈블 방식은 일정한 어셈블 시간 동안 도착한 IP 패킷을 버퍼에 저장 하였다가 어셈블 시간이 종료되면 버퍼에 모아진 IP 패킷을 데이터 버스트로 생성하는 방식이다. CAT 어셈블 방식의 특징은 항상 일정한 시간에 데이터 버스트를 전송하지만 데이터 버스트의 크기는 도착하는 IP 패킷들에 의해 불규칙한 분포를 가진다.

표 2. 광 버스트 스위칭 네트워크 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
트래픽 부하	0.8
IP 패킷 분포	Pareto 분포
IP 패킷 크기 분포	Exponential 분포 (평균 10000 bit)
Hurst 파라미터 H	0.8 (기본) , (H= 0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
어셈블 알고리즘	CAT
어셈블 시간	120 $\mu$ sec
평균 홉수	1.76 홉
총 채널수	52 개
스위칭 시간	0~500 $\mu$ sec

## 2. 성능비교를 위한 파라미터

두 네트워크의 성능을 비교하기 위하여 기준이 될 만한 파라미터가 필요하다. 본 논문에서는 다음의 세 가지 기준에 따라 성능비교를 수행하였다.

첫째 성능비교 파라미터는 주어진 세션시간 내에서의 평균 광전송로 설정 시간 (RTT)과 평균 데이터 전송시간의 비이다. 이 파라미터 값은 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능에는 영향을 주지 않는 반면 파장 라우팅 네트워크의 성능에는 큰 영향을 준다. 앞서 설명한 바와 같이 파장 라우팅 네트워크에서의 세션은 입력 에지 노드에서 목적지 출력 에지 노드까지 광전송로 연결 요청이 전송되는 시간부터 광전송로가 해제되는 시간까지를 말한다. 즉, 세션 시간은 광전송로 설정시간 (RTT)과 데이터 전송시간의 합이다. 따라서 광전송로 설정시간 (RTT)이 데이터 전송시간에 비해 상대적으로 긴 경우 파장 라우팅 네트워크의 성능이 현저히 저하된다. 한편 광 버스트 스위칭 네트워크에서는 하나의 데이터 버스트를 한 방향 예약 (One-Way Reservation) 을 사용하여 전송하기 때문에 전송로 설정에 대한 오버헤드가 없다.

두 번째 성능비교 파라미터는 광 스위치의 스위

칭 시간이다. 광 스위치의 스위칭 시간이란 스위치가 임의의 한 상태에 있다가 다른 상태로 변화하는 데 걸리는 지연시간을 말한다. 이러한 스위칭 시간은 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능에 영향을 준다. 파장 라우팅 네트워크의 경우 스위칭 시간은 광전송로 설정시 매 코어 노드 (OXC)에서 부가되는 오버헤드이다. 따라서, 하나의 광전송로 세션에 대한 오버헤드는 광전송로 설정 시간 (RTT)과 경로에 부가되는 스위칭 시간의 합과 세션의 데이터 전송시간과의 비에 의해서 결정된다. 한편, 광 버스트 스위칭 네트워크의 경우는 데이터 버스트 하나당 스위칭 시간 오버헤드가 부가되며 그 오버헤드는 데이터 버스트 전송시간과 스위칭 시간의 비에 의해 결정된다. 파장 라우팅 네트워크에서 세션의 데이터 전송시간이 스위칭 시간에 비해 상대적으로 길어 네트워크 성능에 큰 영향을 주지 않는 반면 광 버스트 스위칭 네트워크에서 데이터 버스트의 전송시간은 상대적으로 짧아 스위칭 시간에 의해 네트워크 성능에 큰 영향을 받을 수 있다.

마지막 세 번째 성능 비교 파라미터는 IP 트래픽의 자기 유사성 정도 (Degree of Self-Similarity) 이다<sup>[12]</sup>. 트래픽의 자기 유사성 정도는 두 네트워크 성능에 영향을 주나 파장 라우팅 네트워크 성능에 더 큰 영향을 준다. 광 버스트 스위칭 네트워크의 경우 자기 유사성을 지닌 IP 트래픽을 어셈블하여 데이터 버스트로 형성하고 데이터 버스트 전송시 파장의 최대 용량을 사용하는 반면 파장 라우팅 네트워크의 경우 일단 광전송로가 설정되면 파장의 전체 용량에 대비하여 자기 유사성 정도에 따라 일부 파장의 용량이 그림 5에 보인것과 같이 낭비될 수 있다.

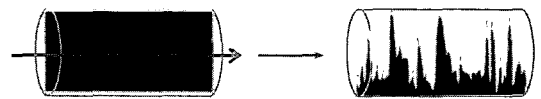


그림 5. 파장 라우팅 네트워크에서 자기 유사성 트래픽의 영향

## 3. 시뮬레이션 결과

다음으로 앞서 서술하였던 세가지 파라미터를 중심으로 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능평가 결과를 분석한다.

### 1) 광전송로 설정시간 (RTT)과 데이터 전송시간 비의 영향

그림 6은 세션 시간 중 RTT와 데이터 세션의 비율을 변화시켰을 때 그 성능변화를 나타낸다. 파라미터  $m (= \frac{\text{data session}}{\text{RTT}})$ 은 광전송로 설정 시간 (RTT)의 배수를 나타내는 것으로써 만약  $m = 1$ 이라면 세션 시간 중에서 광 전송로 설정 지연 시간과 데이터 세션의 비가 1:1임을 나타낸다. 또한  $m = \infty$ 은 데이터 세션이 전체 세션 시간을 거의 다 차지하며 RTT 시간은 무시할 만한 정도임을 나타낸다. 두 네트워크의 파장수는 그림 4에 보인 바와 같이 동일하게 설정하였다.

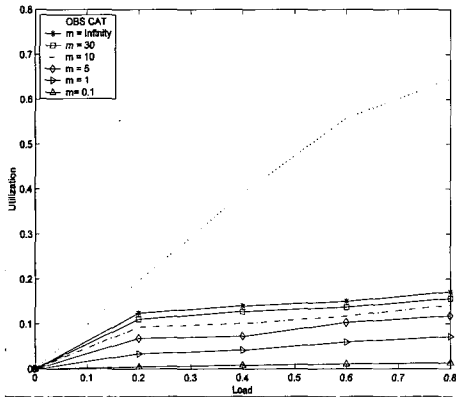


그림 6. 파라미터 m에 따른 이용효율의 변화

그림 6에서 맨 위에 점선으로 나타나 있는 것이 광 버스트 스위칭 네트워크의 이용 효율 (Burstiness  $H = 0.8$ )이고 나머지 아래쪽에 있는 것들은 모두 파장 라우팅 네트워크의 이용 효율 (파장의 최대 용량의 데이터 전송 가정)을 나타낸다. 파장 라우팅 네트워크의 성능이 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능에 비해 월등히 떨어지는 것을 알 수 있다. 데이터 세션과 광전송로 설정시간의 비가 30 : 1 ( $m=30$ )인 경우에도 파장 라우팅 네트워크의 성능이 훨씬 저하되는 것을 볼 수 있다. 심지어  $m=\infty$ 인 경우에서조차도 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능에 미치지 못하고 있다. 이렇듯 파장 라우팅 네트워크가 저조한 성능을 보이는 것은 파장 라우팅 네트워크의 데이터 전송시간의 분포가 광 버스트 스위칭 네트워크의 데이터 버스트 전송시간 분포에 비해 평균치가 훨씬 크고 정적인 형태를 보이기 때문에 동일한 네트워크 자원이 주어질 경우 광 전송로 설정 요청에 대한 성공확률이 매우 낮은 결과를 초래하기 때문이다.

파장 라우팅 네트워크의 성능을 향상시켜 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능과 비교하기 위하여

광 버스트 스위칭 네트워크의 파장수는 고정시키고 파장 라우팅 네트워크의 파장수를 현재의 수에서 k 배 만큼 증가 시켰다.

그림 7에 나타나 있듯이 파장의 수를 증가시킬수록 두 네트워크의 성능의 차이가 감소함을 알 수 있다. 파장의 수가 20배 정도 되면 두 네트워크의 성능이 서로 비교할 만한 수준에 도달한다. 결국, 파장 라우팅 네트워크가 광 버스트 스위칭 네트워크와 같은 정도의 성능을 보이기 위해서는 약 20배 많은 자원을 요구한다.

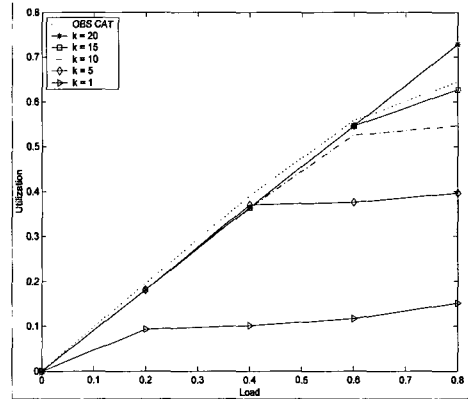


그림 7. 파라미터 k에 따른 이용효율의 변화

## 2) 스위칭 시간 (Switching Time) 의 영향

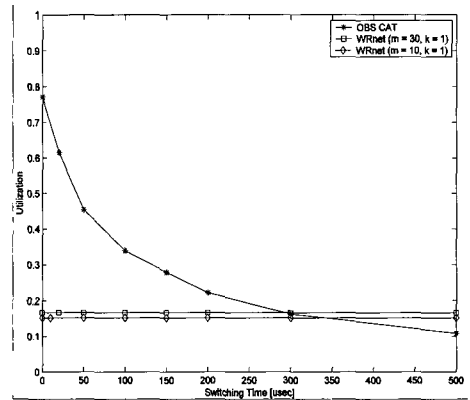


그림 8. 스위칭 시간에 따른 이용효율의 변화

그림 8은 스위칭 시간에 따른 성능의 변화를 보여 주고 있다. 앞서 기술하였던 바와같이 파장 라우팅 네트워크에 대해서는 스위칭 시간의 영향이 적음을 알 수 있다. 반면에 광 버스트 스위칭 네트워크의 경우에는 각 노드에서의 스위칭 시간이 증가할수록 그 성능이 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 광 버스트 스위칭 네트워크의 시뮬레이션 환경에서 발생하는 평균 데이터 버스트의

길이가 2.1Mbit (전송시간 210μsec)이므로 스위칭 시간 오버헤드가 50%이상 되는 200μsec이후에는 급격히 성능이 저하된다. 이에 반하여 파장 라우팅 네트워크의 데이터 전송시간은 m=10일 경우 271.6Mbit (전송시간 27.16 msec)로 스위칭 시간 오버헤드에 비하여 상대적으로 매우 긴 시간을 가지므로 스위칭 시간이 파장 라우팅 네트워크의 성능에는 큰 영향을 미치지 못하는 것을 볼 수 있다. 광 버스트 스위칭 네트워크에서 스위칭 오버헤드와 데이터 버스트 전송시간의 비가 10% 내외인 경우에는 파장 라우팅 네트워크에 비하여 성능이 월등히 우수하다. 따라서, 광 버스트 스위칭 네트워크에서 높은 효율로 동적인 트래픽을 처리하기 위해서는 고속의 광 스위치 소자가 필수적이다.

### 3) 자기 유사성 (Self-Similar) 트래픽의 영향

지금까지 시뮬레이션을 통하여 살펴본 파장 라우팅 네트워크의 성능들은 모두 데이터 세션동안 전송되는 데이터의 양이 해당 광전송로의 최대 용량과 같다는 가정 하에 측정된 것들이다. 예를 들어 데이터 세션이 50μsec라 한다면, 이 50μsec동안 해당 광전송로를 통하여 전송된 데이터의 양은 데이터가 10Gbps로 전송되므로 총 0.5Mbit의 데이터가 전송된 것으로 가정하였다. 그러나 실제 트래픽을 측정해 보면 트래픽의 자기 유사성 때문에 위와 같은 최대 용량보다 적은 양의 데이터가 전달된다.

그림 9는 자기 유사성을 가지는 Pareto 분포의 트래픽을 적용하였을때 나타나는 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능변화를 보여준다. 여기서 두 네트워크에 Pareto 분포의 트래픽을 적용하였다는 의미에는 약간의 차이가 있다. 파장 라우팅 네트워크에서는 데이터 세션동안 전송되는 IP 패킷의 분포가 Pareto이고 또한 그 불규칙 정도를 Hurst 파라미터 H를 이용하여 나타내는 반면, 광 버스트 스위칭 네트워크에서는 원래 IP 패킷의 도착 패턴이 Pareto 분포를 따르고 그 불규칙 정도를 Hurst 파라미터 H 값에 따라 변화시켜 본 것을 의미한다.

맨 위의 실선으로 나타내어진 것이 광 버스트 스위칭 네트워크의 이용효율이고 아래쪽에 나타내어진 점선과 실선이 파장 라우팅 네트워크의 이용효율을 나타낸다. 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크 모두 파라미터 H 값이 커짐에 따라 성능의 저하를 보인다. 그러나 주목할 만한 점은 이 미 같은 조건 하에서 데이터 세션동안 전송된 데이

터의 양이 광 전송로의 최대 전송 용량과 같다는 가정에서의 파장 라우팅 네트워크의 성능이 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능에 훨씬 못미치는 결과를 보인 것을 앞서 보았다는 것이다. 이에 더해 파장 라우팅 네트워크의 데이터 세션 동안 전송되는 데이터에 자기유사성을 가지는 트래픽을 적용하여 성능을 측정해 본 결과 파라미터 H에 따라 약 20%~22%정도 성능이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. (점선이 광전송로의 최대용량을 전송되는 데이터의 양으로 가정한 경우이고, 맨 아래의 실선이 Pareto 분포의 트래픽을 적용한 경우이다.) 한편 광 버스트 스위칭 네트워크의 경우 약간의 성능 저하는 있지만 입력 에지 노드에서 IP 패킷의 데이터 버스트로의 어셈블 과정으로 인하여 그 감소의 폭이 적고 파장 라우팅 네트워크에 비하여 월등히 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

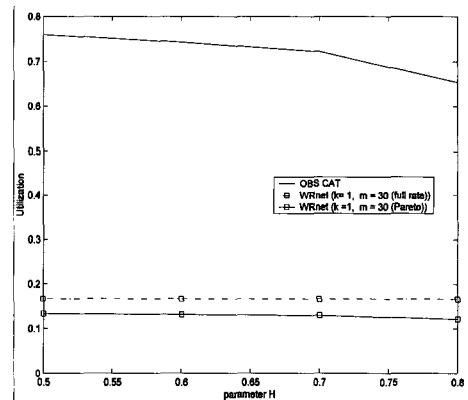


그림 9. 자기 유사성 트래픽 적용에 따른 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능 변화

## IV. 결론

광 기술의 비약적인 발전으로 광 네트워크의 시대가 도래 하였고 이러한 광 네트워크에 필수적인 다양한 스위칭 기술이 속속 등장하고 있다. 본 논문에서는 이러한 다양한 스위칭 기술들 중에서 가용 기술로써의 파장 라우팅과 더욱 발전된 기술로써의 광 버스트 스위칭의 두 가지 방식을 적용한 네트워크의 성능을 측정 비교하여 봄으로써 현재의 그리고 나아가 앞으로의 광 네트워크에 적합한 스위칭 기술을 제시하고자 하였다. 파장 라우팅 네트워크와 광 버스트 스위칭 네트워크의 시뮬레이션을 통하여 두 네트워크의 성능을 측정하여본 결과 서로 같은 조건하에서는 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능이 매우 우수한 것을 보았다. 파장 라우팅 방식에서 한



번 데이터 전송을 위한 경로가 설정되면 그 이후에는 매우 안정된 방식으로 데이터가 전송될 수 있는 하지만 경로 설정을 위한 절차가 현재의 불규칙한 특성을 갖는 네트워크 환경에서는 매우 비효율적임을 보였다. 반면에 광 버스트 스위칭 네트워크에서는 대량의 데이터들이 모아진 데이터 버스트의 전송도중 발생할 수 있는 데이터 버스트의 손실을 감안하더라도 매우 우수한 성능을 보임으로써 네트워크의 효율면에서 현재의 네트워크 환경에 더욱 적합함을 알 수 있었다.

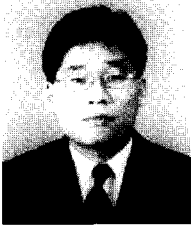
이와 더불어 앞으로는 이러한 광 버스트 스위칭 네트워크의 성능 최적화를 위한 버스트 어셈블 방법의 연구와 QoS향상을 위한 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Banerjee, B. Mukherjee, "Wavelength - Routed Optical Networks : Linear Formulation, Resource Budgeting Tradeoffs, and a Reconfiguration Study", IEEE/A-CM Transactions, vol. 8, issue 5, pp. 598-607 oct. 2000
- [2] C. Qiao, M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS)-A New Paradigm", Journal of High Speed Networks, 8(1), pp. 69-84, 1999
- [3] K. Dolzer, C. Gauger J. Späth, S. Bodamer, "Evaluation of Reservation Mechanisms for Optical Burst Switching", AEÜ International Journal of Electronics and Communications, vol. 55, no. 1, pp. 1-8, Jan. 2001
- [4] M. Yoo, C. Qiao, "Just-Enough-Time (JET) : A High Speed Protocol for Bursty Traffic in Optical Networks", Proceeding of IEEE/LEOS conf. on Technologies for a global information infrastructure, pp. 26-27, Aug. 1997
- [5] M. Düser, P. Bayvel, "Performance of a Dynamically Wavelength-routed Optical Burst Switched Network", IEEE Photonics Technology Letters, vol.14, Issues :2, pp. 239-241, Feb. 2002
- [6] K. Dolzer, C. Gauger, " Burst Assembly in Optical Burst Switching Networks-A Performance Evaluation of Just-Enough-Time", proceeding of the ITC 17, pp. 149-160, 2001
- [7] A. Detti, M. Listanti, "Impact of Segments Aggregation on TCP Reno Flow in Optical Burst Switching Networks", proceeding of INFOCOMM, vol. 3, pp. 1803-1812, 2002
- [8] Y. Xiong, M. Vandenhoute, H. Cankaya, "Control architecture in optical burst-switched WDM networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.18, pp. 1838-1851, Oct. 2000
- [9] C. Xin, C. Qiao, "A comparative Study of OBS and OFS", OFC 2001, pp. ThG7-T1-3, vol. 4, 2001
- [10] P. Bayvel, "Wavelength-Routed and Optical Burst Switching in The Design of Future Optical Network Architecture", ECOC, vol. 4, pp. 616-619, 2001
- [11] H. Zang, J. P. Jue, L. Sahasrabudde, R. Ramamurthy, B. Mukherjee, "Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength Routing Networks", IEEE communications Magazine, vol. 39, no. 9, pp. 100-108, Sep. 2001
- [12] A. Ge, F. Callegati, L.S. Tamil, "On optical burst switching and self-similar traffic", IEEE Communications Letters, Vol. 4, No. 3, pp. 98-100, Mar. 2000

유 명 식(Myungsik Yoo)

정회원



1989년 2월 : 고려대학교

전자전산공학과 학사

1991년 2월 : 고려대학교

전자공학과 석사

2000년 : Dept. of Electrical

Engineering, SUNY

at Buffalo 박사

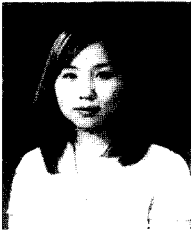
2000. 1 ~ 2000. 8 : Nokia Research Center/Bosot-  
on, Senior Research Engineer

2000. 9 ~ 현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부  
조교수

<주관심분야> 광네트워크, OBS, 네트워크 QoS,  
유무선 통신망

정 연 미(Yeon-Mi Jung)

준회원



2002년 2월 : 숭실대학교

전자공학과 학사

2002년 3월~현재 : 숭실대학교

정보통신공학과 석사과정

<주관심분야> OBS, 네트워크 QoS, 네트워크 성  
능평가

홍 현 하(Hyun-Ha Hong)

정회원



1979. 2 : 광운대학교 전자공학  
과 학사

1981. 2 : 연세대학교 전자공학  
과 석사

현재 : ETRI, 광 패킷 라우팅  
팀장

<주관심분야> 광 패킷 스위치, 광버스트 스위치,  
광 라우터