

主 題

## 광패킷 라우팅 기술

한국전자통신연구원 광패킷라우터팀 최지연, 홍현하

차 례

- I. 서 론
- II. 광패킷 라우팅 기술의 연구 현황
- III. 광패킷 라우터의 테스트 베드 현황
- IV. 한국전자통신연구원에서의 연구 방향
- V. 결 론

### 요약

광인터넷망의 구현을 위한 최종 솔루션으로 기대되고 있으나 먼 미래의 일이라고 생각되어온 광패킷 라우팅 기술이 최근들어 잇달아 실험시제품들이 발표되면서 실현 가능성이 높아지고 있다. 본 고에서는 광패킷 라우팅 기술의 연구 현황과 발표된 실험시제품들을 정리하였고, 한국전자통신연구원에서의 연구 방향을 중심으로 실현 가능성이 높은 광 라우팅망의 구조와 라우팅 방식을 제시하였다.

### I. 서론

최근 들어 세계 시장의 침체로 둔화되기는 했지만, 통신망 트래픽의 양은 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 특히 이 중 데이터 트래픽이 차지하는 비율은 급격히 늘어가고 있다. 이에 따라 통신 사업자들은 데이터 트래픽 처리에 적합한 통신 장비를 늘려가고 있고, 노후된 음성용 통신 장비도 IP용 장비로 대체해 나가는 추세이다.

현재 광전송 기술은 시장의 요구 이상으로 발전해 있으며, IP 라우터들 사이를 WDM 광링크를 통하여 Full-mesh로 연결해 주고 있다. 이 IP 라우터들은 보통 수~수십 기가급으로, WDM 광전송망과 함께 백본망을 구성하며, 이보다 더 작은 용량의 라우터들을 연결하며 메트로 또는 액세스망을 구성한다.

데이터 트래픽이 증가함에 따라 보다 큰 용량의 라우팅망이 필요하게 되는데, 이를 위하여 현재 연구되는 방향은 크게 테라급 IP 라우터를 사용하는 방법과 광회선 스위치(OXC)를 이용하는 방법, 그리고 광패킷 라우팅 기술을 이용하는 방법 등이다. 이중 광패킷 라우터는 광통신 기술과 패킷 스위칭 기술을 접목한 것으로, 차세대 광인터넷망의 라우팅 장비로 주목을 받고 있다.[1]

광패킷 라우팅 기술의 장점은 첫째, 광통신 기술의 광대역성에 있다. 광패킷 라우팅 기술은 고속의 데이터를 저속으로 낮추어 스위칭해야 하는 전기 라우터에 비하여, 10Gbps 또는 40Gbps에 이르는 고속의 데이터를 라인 속도 그대로 스위칭할 수 있고,

WDM 광링크를 사용하는 대용량 광전송 링크를 그대로 수용할 수 있어 대용량 라우터의 구현이 비교적 용이하다. 또한 단일 플레인으로 대용량의 스위칭이 가능하여 소프트웨어 가격의 절감을 가져올 수 있어 테라급 이상일 경우에는 전기 라우터보다 가격 경쟁력이 있을 것으로 기대된다[2].

두 번째의 장점은 광패킷 라우팅 기술은 패킷 스위칭의 유연성을 가지고 있다는 것이다[2]. 광패킷 스위칭은 IP 패킷이나 버스트 단위로 스위칭하기 때문에, OXC와 같이 망에 변화가 있을 때만 관리 노드의 명령에 의해 스위칭 상태를 바꾸는 회선 스위치와는 달리, 시간 분할에 의한 유연성을 제공하고, 버스트한 특성을 가지는 데이터 트래픽을 효율적으로 수용할 수 있다.

광패킷 라우터를 기반으로 하는 미래의 광인터넷 망의 구조는 (그림 1)과 같이 기존의 IP 라우터들 사이를 라우팅하면서 광라우팅망의 게이트웨이 역할을 하는 수백 기가급의 광 에지 라우터와, 광 에지 라우터들 사이를 라우팅하는 테라급의 광 코어 라우터로 구성될 것으로 예상된다. 이들 사이의 라우팅 제어와 망 제어는 IP 라우터까지 통합하여 MPLS로 단일화 될 것이다.

본 고에서는 광패킷 라우팅을 위한 광패킷 스위칭 기술과 그 대안으로 각광 받고 있는 광 버스트 스위칭 기술에 대해 알아보고, 최근들어 발표되고

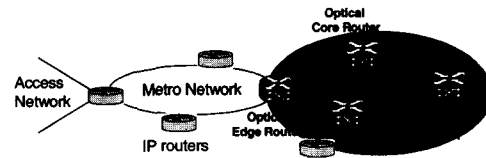


그림 1. 광패킷 라우터 기반의 광인터넷 망

있는 광패킷 라우터의 테스트 베드 현황을 정리하였다. 마지막으로 한국전자통신연구원에서의 광패킷 라우팅 기술 연구 방향을 기술하였다.

## II. 광패킷 라우팅 기술의 연구 현황

### 1. 광패킷 스위칭 기술

광패킷 라우터의 일반적인 구조는 전기 라우터와 비슷하게 (그림 2)와 같이 입출력 인터페이스, 스위치 fabric, 그리고 제어계로 이루어진다. 다른 점은 입출력 신호가 광이라는 것과 스위치 fabric이 광스위치로 이루어진다는 것이다. IP 패킷의 길이가 64 ~ 1500byte 이므로, 광패킷의 길이는 보통 10Gbps의 링크 속도를 가정하였을 때 수십 ns ~ 수  $\mu$ s 정도로 예상된다. 따라서 일정 이상의 스위칭

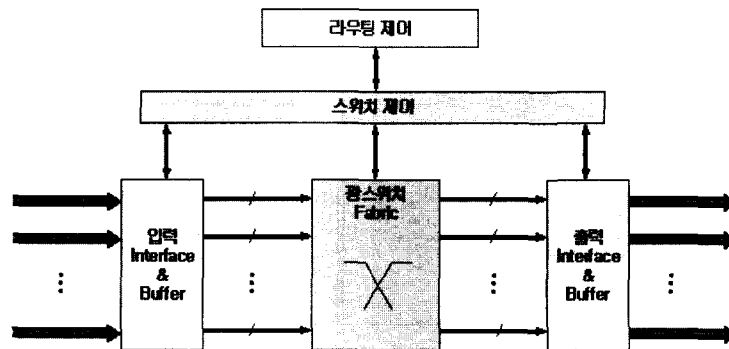


그림 2. 광패킷 라우터의 일반적인 구조

효율을 위하여 광스위치 fabric에서의 스위칭 속도는 수십 ns 정도가 적당하다.

광패킷 라우터에 필요한 기능들을 살펴보면, 입출력 인터페이스에서는 외부 물리 또는 링크 계층과의 정합 기능과 헤더 정보로부터 스위칭 정보를 얻어 내는 포워딩 기능, 패킷의 충돌을 방지하고 필요에 따라 QoS를 지원하기 위한 큐잉 기능, 그리고, 광스위치와의 정합 기능 등이다. 스위치 제어는 광스위치 fabric의 스위칭 경로를 설정, 해제하며, 패킷 간 충돌 해소 기능과 스케줄링 기능을 가지며, 라우팅 제어는 라우팅 프로토콜에 의해 라우팅 정보를 발생시킨다. 광스위치 fabric은 입력되는 광패킷들을 원하는 출력포트로 스위칭해주는 기능을 한다. 입출력 인터페이스나 스위치, 라우팅 제어는 일반적인 IP 라우터와 그 기능이 비슷하므로 광스위치 fabric에 대해서 좀 더 자세히 알아보겠다.

현재 연구되고 있는 광스위치 fabric의 구조는 방송/선택 방식과 파장 라우팅 방식, 그리고 순수 공간 광스위칭 방식 등, 크게 세가지로 나누어 볼 수 있다.

이중 방송/선택 방식은 유럽의 Alcatel에서 가장 활발히 연구하고 있는 방식으로 입력된 광패킷들을 파장/공간/시간적으로 서로 독립되도록 만들어 각각

을 모든 출력포트로 broadcast하고, 출력단에서 원하는 패킷을 파장/공간/시간적으로 선택하여 Strictly nonblocking 스위칭이 일어나도록 하는 방식이다. 이 방식은 광스위칭이 다단으로 일어나지 않아 제어가 간단하고, crosstalk의 문제가 적다. (그림 3)은 16포트, 16채널인 2.5테라 용량의 스위치 fabric을 보여주고 있다[3]. 각 입력 포트마다 16채널이 파장다중된 후 모든 출력포트 쪽으로 coupler를 통하여 broadcast되고, 출력포트 쪽에서 SOA 게이트 스위치를 사용하여 입력 포트와 채널을 선택하게 된다. 이렇게 선택된 광신호는 외부에 연결된 파장 채널에 맞게 변환되어 출력된다. 이 방식은 SOA 게이트 스위치가 핵심 소자가 되는데, SOA 게이트 스위치는 수 ns 정도의 매우 빠른 스위칭 속도를 가지며, 반도체 기술로 집적이 가능하고, 손실이 아닌 이득을 가지는 장점을 가진다. 그러나, SOA의 특성상 ASE (Amplified Spontaneous Emission)에 의한 잡음이 문제가 되고, 2.5테라급의 용량을 위하여 총 8,192개의 SOA 게이트 스위치가 필요하다. 당연히 SOA의 집적 기술이 뒷받침되어야 하고, 32개를 집적한 모듈이 실험실에서 제작되었다고 한다[3].

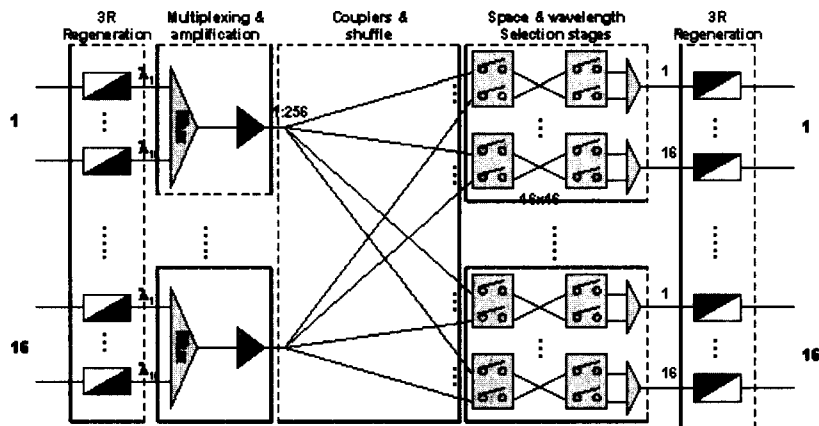


그림 3. 방송/선택 방식의 광스위치 fabric

파장 라우팅 방식의 광스위치 fabric은 상용 광소자들로 구성이 가능하기 때문에 광소자, 특히 SOA 기술을 보유하고 있지 않은 기관에서 널리 연구되는 구조로, 그 대표적인 것은 (그림 4)와 같다[4]. 이 구조는 AWG 라우터의 입력 포트와 파장에 따른 라우팅 특성을 이용한 것으로 입력부의 파장가변 광송신기 또는 파장변환기를 통하여 원하는 출력포트에 해당하는 파장에 광패킷을 실어서 보내면 된다. 이 방식의 핵심 광소자는 파장가변 광원으로, 고속 파장가변 LD 또는 서로 다른 파장의 LD를 여러 개 사용할 수 있는데, 패킷 스위칭을 위해서는 파장 스위칭 속도가 가장 중요한 요소라고 할 수 있겠다. 이중 고속 파장가변 LD는 여러 업체에서 제품을 내놓고 있는데, LD 자체의 파장 스위칭 속도는 수 ns급이 나오고 있다. 문제는 이 LD를 구동하기 위한 전자 회로인데, 최근 FPGA 기술을 이용하여 100채널 범위의 파장을 변화시키는 것이 100ns 이내에 가능하다는 보고가 있다[5].

마지막으로 순수 공간 스위칭 방식의 광스위치 fabric은 전기 스위치 fabric과 마찬가지로 단위 공간 광스위치들을 다단으로 연결하여 NxN 스위치를 구성하는 것이다. 이 방식은 한가지 광소자만 사용하여 구조가 단순하지만, 수십 ns 정도의 스위칭 속도를 가지는 단위 공간 광스위치의 손실과 crosstalk이 여러 단으로 누적되어 광신호의 품질을 급격히 떨어뜨리기 때문에 그 동안 연구 대상에서 제외되어 왔

다. 그러나, 최근 들어 손실과 crosstalk을 크게 개선하고, 스위칭 속도도 패킷 스위칭에 적합하며, 구조가 단순하여 가격 경쟁력까지 갖춘 제품이 나오기 시작하면서 관심을 끌고 있다.

## 2. 광 버스트 스위칭 기술

광패킷 스위칭 기술은 기존의 패킷 스위칭 기술과 개념이 동일하고 망의 효율이 좋다는 장점을 가지지만, 앞서 기술한 대로 패킷의 길이가 수십ns~수 $\mu$ s 정도로 짧아 스위칭 속도가 빨라야 하고, 이렇게 짧은 시간 동안에 헤더 정보를 처리하여 스위치를 제어해야 한다는 부담과, 광신호의 버퍼링과 동기화 기술이 없다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 이를 해결하기 위하여 도입된 개념이 광 버스트 스위칭이다.

광버스트 스위칭은 데이터 패킷의 길이를 수십 $\mu$ s ~ 수ms 정도로 충분히 길게 하여 헤더 처리와 스위칭 속도에 대한 부담을 줄이고, 헤더 정보(제어 패킷)를 따로 제어 채널을 통하여 미리 보내서 스위칭 경로를 미리 설정한 후에 데이터 패킷(데이터 버스트)이 도착하도록 하여 광 버퍼의 필요성을 줄이도록 하였다[6].

제어 패킷에는 제어패킷이 도착한 시간과 데이터 버스트가 도착할 시간과의 차이인 offset 시간 정보와 스위칭을 위한 목적지 주소 등의 정보가 포함되는데, 한 노드를 지날 때 마다 offset 시간은 계속 갱신

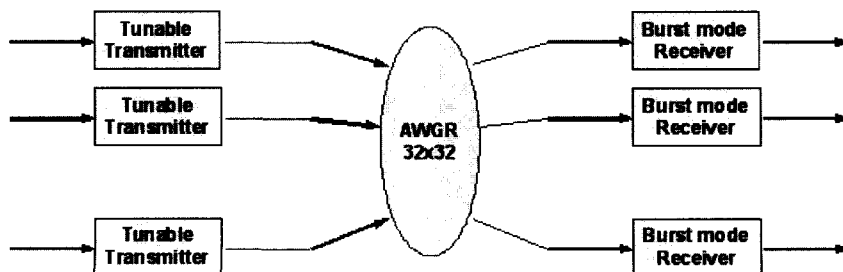


그림 4. 파장 라우팅 방식의 광스위치 fabric

이 되어야 한다. 그런데, 이 offset 시간의 처리가 정확하게 이루어 지지 않는다면 망 전체의 손실이 매우 커지고, 모든 입력 포트에 들어오는 제어 패킷은 중앙 집중적으로 처리되기 때문에 나뉘대로 부담이 될 것으로 보인다. 또한 데이터 버스트 간의 충돌을 방지하기 위하여 역시 버퍼를 사용하거나 링크당 상당히 큰 수의 WDM 채널을 할당하여야 하므로(7) 스케줄링이 중요해 진다. 무엇보다도, 구현을 염두에 둔다면, 광 버스트 망으로 진입하는 광 에지 라우터에서 데이터 버스트와 제어 패킷을 발생시키기 위하여 버스트 망 전체를 염두에 둔 offset 시간을 계산하고, 모든 광경로 별로 1Mbyte에 해당하는 많은 양의 데이터를 모아 데이터 버스트를 조립해야 하는 어려움이 클 것으로 예상된다.

### III. 광패킷 라우터의 테스트 베드 현황

최근 들어 광패킷 라우터에 대한 테스트 베드 혹은 실험 시제품에 대한 논문이 발표되고 있다. 본 절에서는 그 중 대표적인 Alcatel사와 Lucent사, 그리고, AcceLight사의 실험 시제품에 대해 간단히 살펴보도록 하겠다.

먼저 Alcatel사의 광패킷 라우터 시제품(8)은 640기가급의 용량으로, 10Gbps 링크 속도, 8포트, 8채널의 방송/선택형 광스위치 fabric을 사용하였고, 입출력 인터페이스는 전기적으로 처리하여 광버퍼나 광동기의 어려움을 피했다. 외부 인터페이스는 ATM이고, 가상 출력버퍼를 사용하여 패킷간 충돌을 해결하였고, 10Gbps 속도, 900ns 길이의 버스트 단위로 스위칭하여 스위치 제어의 부담을 적게 하였다. 스위칭과 클럭 재생을 위한 버스트 간 guard time은 50ns를 두었다. 광 버스트의 수신을 위하여 패킷 모드 광 수신기를 사용하였는데, 클럭의 재생을 편하게 하기 위하여 RZ 신호를 사용하였고, 클럭 재생을 위한 preamble은 128비트를 두었다. 스위치의 제어는 CoS를 고려한 출력포트에 대한 중재 방식을 사용하였다.

Lucent사의 광패킷 라우터 시제품(4)은 1.2 테라급의 용량으로, 40Gbps 링크 속도, 32 포트의 파장 라우팅형 광스위치 fabric을 사용하였고, 역시 입출력 인터페이스는 전기적으로 처리하였다. 이 시스템도 스위칭의 편의를 위하여 40Gbps, 800ns 길이의 버스트를 구성하여 스위칭하였고, 버스트간 가드타임은 50ns를 두었다. 광 버스트의 수신을 위하여

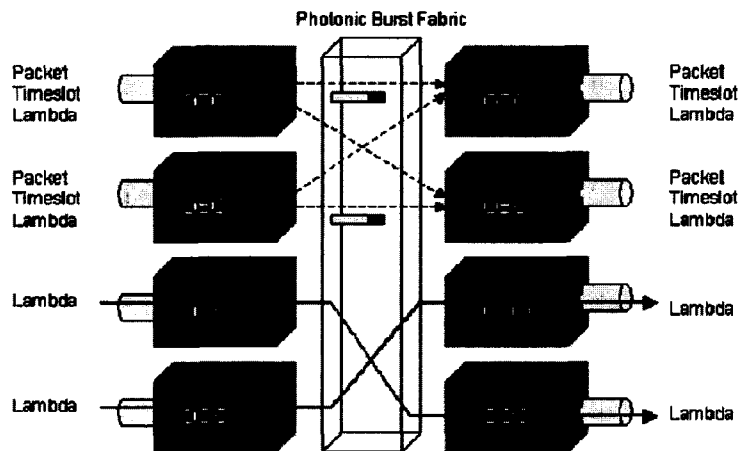


그림 5. AcceLight의 Photonic Service Switch 개념도

버스트 모드 광수신기를 사용하였는데, 클럭 재생을 위한 preamble은 25ns이고 클럭 재생 방법은 VCO와 고속 PLL을 사용하였다. 스위치 fabric에 사용된 파장가변 LD는 32채널간의 스위칭 속도가 46ns 이하였다.

마지막으로 AcceLight 사의 시제품은 1.2 테라급의 용량으로, 순수 공간 스위칭 방식의 광스위치 fabric을 사용하였다. 이 시스템도 역시 입출력 인터페이스는 전기적으로 처리하였고, 내부 스위칭을 위하여 고정길이의 버스트를 구성하였다. 특기할 사항은 (그림 5)의 구조에서 보는 바와 같이, 광패킷 라우터뿐만 아니라 OXC, TDM 회선 스위칭까지 하나의 시스템으로 서비스할 수 있도록 하여 비용의 절감을 가져온다고 주장하고 있다는 점이다(9). 현재는 많은 자료가 공개되어 있지 않지만, 기존의 고정관념을 깨는 특징들을 가지고 있어 상당히 관심을 끄는 시스템이라고 생각된다.

#### IV. 한국전자통신연구원에서의 연구 방향

한국전자통신연구원에서는 지난 2000년부터 광인터넷 백본망을 위한 수십 테라급 광 라우팅 핵심 기

술 및 실험 시제품 개발을 목표로 광패킷 라우팅 기술에 대한 연구를 진행해 오고 있다. 2003년까지 수백 기가급의 광 에지 라우터의 실험 시제품을 개발하고, 2005년까지 버스트 스위칭 기반의 테라급 광 코어 라우터의 실험 시제품을 개발하는 것을 단계별 목표로 하고 있다.

예상되는 광라우팅망의 형상은 1단계에는 광 에지 라우터가 IP 라우터들 사이를 라우팅하며, 광 에지 라우터들 사이는 광전송망을 통하여 점대점으로 연결될 것으로 예상된다. 이때의 망 제어 방식은 Overlay 모델을 사용할 것이다. 2단계에는 광 에지 라우터들 사이를 광 코어 라우터가 라우팅하며 MPLS 또는 GMPLS의 단일 제어가 적용되는 Peer model의 망 제어 방식을 따를 것으로 보인다. 따라서, 광 에지 라우터와 광 코어 라우터는 MPLS 기반의 레이블 스위칭을 가정하여 연구하고 있다.

레이블을 사용하는 광 버스트 스위치 기반의 광라우팅망의 라우팅 흐름도는 (그림 6)과 같다. IP 라우터로부터 광 에지 라우터로 입력된 IP 패킷들은 광라우팅망의 egress 광 에지 라우터의 출력포트가 같은, 즉 광라우팅망에서의 스위칭 경로(LSP)가 같은 것들끼리 묶여 고정 길이의 버스트를 구성하고, 이

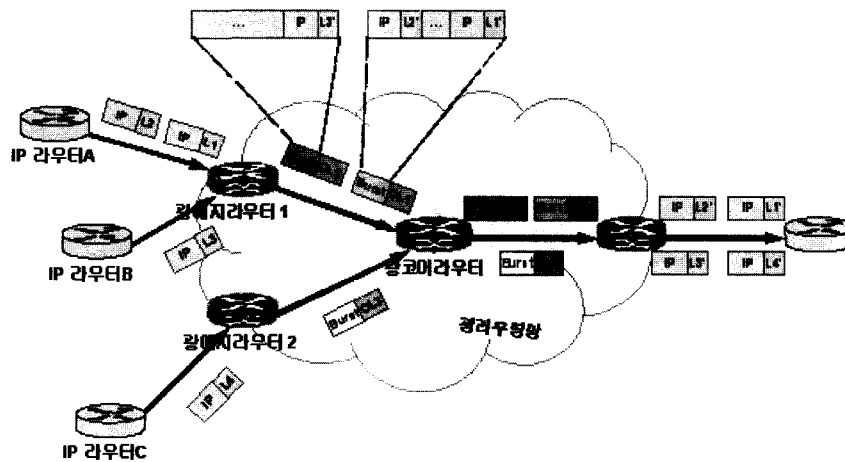


그림 6. L-OBS 기반의 광패킷 라우팅망의 흐름도

버스트에는 광라우팅망에서의 LSP에 따른 광레이블이 붙여진다. 이 과정은 Ingress 광 에지 라우터의 입력부에서 이루어지는데, 포워딩을 통하여 MPLS 레이블을 스와핑하고, 출력포트와 출력파장, 그리고 광 레이블을 얻어 같은 광 레이블을 가지는 패킷들로 이루어진 버스트에 광 레이블을 붙이고 스위칭하여 광 코어 라우터로 보내게 된다. 이 때 (그림 6)의 IP 라우터 A에서 광 에지 라우터 1로 입력된 두 패킷과 같이 서로 다른 MPLS 레이블을 가지고 입력되었지만 광 라우팅망에서의 LSP가 같은 패킷들은 하나의 버스트를 구성하고, OL1이라는 광 레이블을 붙여 광 라우팅망으로 진입하게 된다. 이 과정은 MPLS 레이블 스택에 상위 레이블을 하나 더 쌓는 과정과 완전히 동일하며, 이때 트래픽과 레이블의 aggregation이 일어난다.

광 에지 라우터 1에서 광 코어 라우터로 입력된 두 개의 버스트는 광 에지 라우터1의 서로 다른 입력포트를 통하여 광 라우팅망으로 들어왔지만, 광 코어 라우터부터 그 이후의 광 라우팅망에서의 LSP가 동일하므로 레이블 스와핑에 의하여 서로 같은 광 레이블 OL4를 할당받았다. 이때도 역시 레이블의 aggregation이 일어났다. 이러한 트래픽과 레이블의 aggregation은 망 자원의 보다 유연한 활용을 가능하게 하며, OXC 등의 회선 스위치에서는 일어

날 수 없는 특징이다. 광 코어 라우터를 거쳐 egress 광 에지 라우터에 도착한 광 버스트들은 스위칭이 된 후 출력 포트에서 광 레이블을 제거하고, 다시 원래의 IP 패킷으로 분해되어 IP 라우터로 출력된다.

이상과 같이 라우팅되기 위한 광 버스트의 프레임 구조는 (그림 7)과 같이 크게 버스트의 물리적인 수신을 위한 부분과, 헤더, 페이로드, padding, 그리고 CRC로 구성된다. 물리적인 수신을 위한 부분은 비트 동기를 맞추기 위한 Preamble과 프레임의 시작을 알리는 Start of frame으로 이루어져 있다. 헤더는 MPLS 레이블을 비롯한 MPLS 헤더, 페이로드의 길이 정보, 페이로드에 포함된 IP 패킷의 개수, 그리고 헤더를 위한 CRC로 구성되어 라우팅 및 버스트의 분해를 위한 정보를 담고 있다. 페이로드는 IP 라우터로부터 입력된 IP 패킷과 MPLS 헤더들이 여러 개 모여 이루어지고, Padding은 버스트가 항상 일정한 길이를 유지하도록 페이로드로 채우지 못한 여분의 구간을 채우고 있다. 마지막으로 헤더와 페이로드, Padding에 대한 CRC를 추가한다. 광 신호의 수신을 용이하게 하기 위하여 preamble과 start of frame을 제외한 나머지 정보들은 scramble한다.

광 에지 라우터와 광 코어 라우터의 기능 구조는 (그림 8)과 같다. 원래 광 버스트 스위치는 제어 패

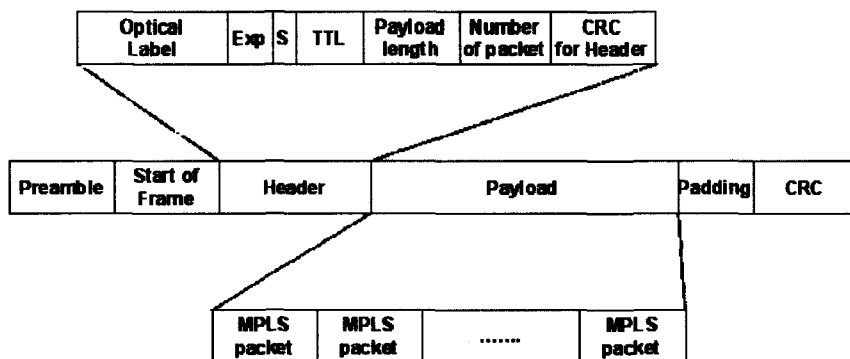


그림 7. 광 버스트의 프레임 구조

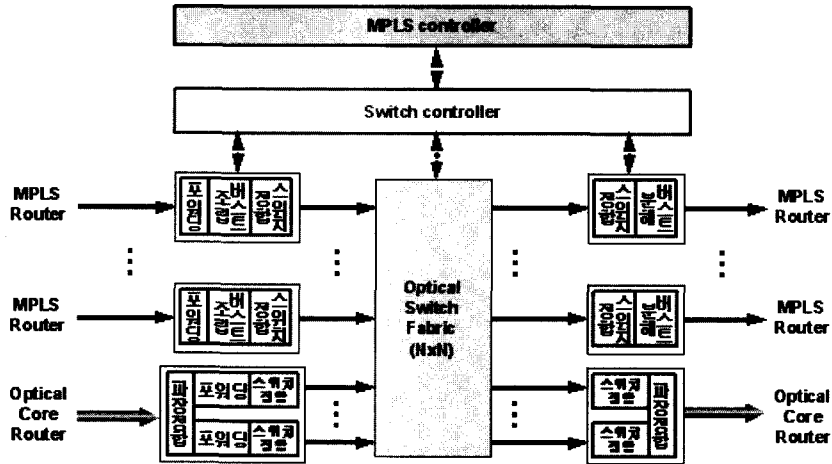


그림 8-a. 광 에지 라우터의 기능 구조

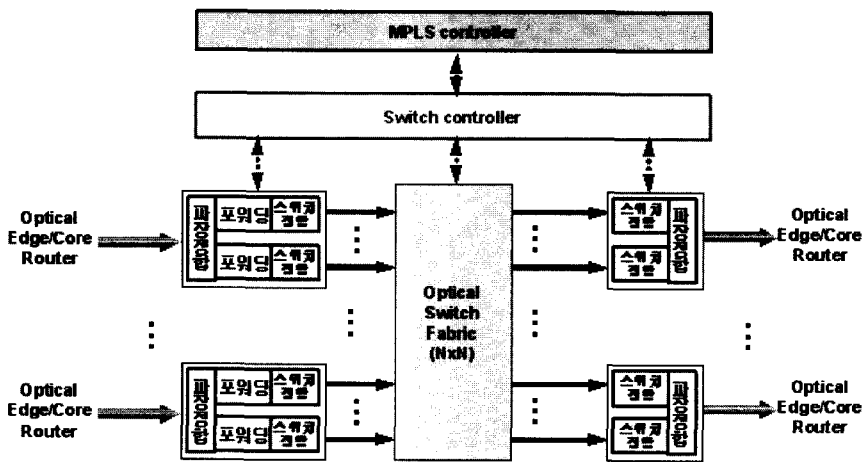


그림 8-b. 광 코어 라우터의 기능 구조

킷을 데이터 버스트와 다른 독립적인 채널을 통하여 데이터 버스트보다 offset 시간보다 먼저 보내 데이터 경로를 확보하도록 하고, LSP는 링크 기반으로 셋업이 이루어지고, 파장 채널은 스케줄링을 통하여 버스트 간의 충돌을 방지하기 위한 목적으로 주로 사용되지만, 여기서는 LSP를 링크 뿐 아니라 파장 채널까지 확장하였고, 버스트 간의 충돌은 전기적인 버

퍼를 사용하는 것으로 하였다. 이를 통하여 스케줄링의 부담을 줄이고, 패킷 손실을 줄이기 위해 과도히 많은 파장을 사용해야 하는 모순을 해결하였다. 또한 제어 패킷을 데이터 버스트의 앞에 헤더의 형태로 삽입함으로써 offset 시간을 정밀히 제어해야 하는 부담을 없애고, 입력 포트 각각에서 포워딩 기능을 수행하도록 하여 제어 패킷을 중앙에서 모아 처리해야



하는 부하가 각각의 입력 포트에 분산되도록 하였다. 처리해야 할 데이터의 양이 줄어들 대신에 버스트의 길이를 수  $\mu s$  정도로 기존의 버스트의 수 ms에 비하여 짧게 함으로써 버스트를 조립하기 쉽도록 하였다. 또한 고정길이의 버스트를 사용하여 스위칭 효율을 높이고, 스위치의 제어를 쉽게 하였다.

## V. 결론

광인터넷의 최종 솔루션이 광패킷 라우팅 기술이라는 것에는 누구라도 이의가 없다. 그 동안 광패킷 라우팅 기술은 먼 미래에나 가능한 것으로 치부되어 왔으나, 최근들어 세계적으로 광패킷 라우터의 실험 시제품들이 보고되고 있어 기술이 점차 성숙되어 가고 있음을 알 수 있다. 이들 실험 시제품들에서는 광패킷 라우팅 기술의 실현 가능성을 높이기 위하여 버퍼링이나 동기, 프레임 처리 등과 같이 광으로 구현하기 힘든 부분은 전기 기술의 도움을 받고, 헤더 처리와 스위칭 속도의 부담을 줄이기 위하여 고정 길이의 버스트 단위로 스위칭을 하고 있다.

이렇게 스위치 fabric 내에서 사용된 버스트를 망 차원으로 확대 적용하여, 버스트 스위칭 기반의 광에지 라우터와 광 코어 라우터로 구성된 광라우팅망을 생각해 볼 수 있고, 광 라우팅망의 라우팅 프로토콜은 기존의 망에서 널리 사용되는 MPLS를 사용하는 것이 적합하다. 기존의 광버스트 스위치 구현에 있어 어려움이 예상되는 중앙 집중적인 제어 패킷의 처리와 offset 시간의 제어 문제는 제어 패킷을 헤더 형태로 삽입하여 각각의 입력 포트에서 분산처리하는 방식으로 해결하고, 버스트 조립의 어려움은 버스트의 길이를 수  $\mu s$  정도로 짧게 함으로써 줄일 수 있을 것으로 보인다.

이상에서 살펴 본 바와 같이, 광패킷 라우팅 기반의 광인터넷은 그리 먼 미래의 일이 아니라 바로 눈앞에 가능한 일로 다가 오고 있다. 다만, 누가 먼저 연구비와 인력을 투입하여 이 시장을 선점하느냐의

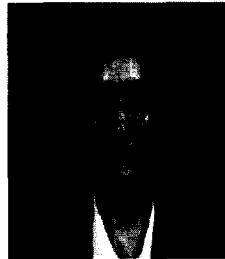
문제일 뿐이다.

## 참고문헌

- [1] Amaury Jourdan, Dominique Chiaroni, Emmanuel Dotaro, Gert J. Eileberger, Francesco Masetti, and Monique Renaud, "The perspective of optical packet switching in IP-dominant backbone and metropolitan networks", IEEE Communications Magazine, March, pp 136-141, 2001.
- [2] Dominique Chiaroni, "Status and applications of optical packet switching", Proc. 27th Eur. Conf. on Opt. Comm. (ECOC' 01), We.M.1.1, pp. 126-161, 2001.
- [3] N. Sahri, D. Prieto, S. Silvestre, D. Keller, F. Pommerau, M. Renaud, O. Rofidal, A. Dupas, F. Dorgeuille, and D. Chiaroni, "A highly integrated 32-SOA gates optoelectronic module suitable for IP multi-terabit optical packet routers", OFC 2001, Volume: 4, pp. PD32 -P1-3 vol.4, 2001.
- [4] J. Gripp et. al., "Demonstration of a 1.2 Tb/s Optical Packet Switch Fabric (32\*40 Gb/s) based on 40 Gb/s Burst-Mode Clock-Data-Recovery, Fast Tunable Lasers, and a high-performance NxN AWG," ECOC 2001, vol. 6, pp. 58-59, 2001.
- [5] Chun-Kit Chan, Karl L. Sherman, and Martin Zirngibl, "A fast 100-channel wavelength-tunable transmitter for optical packet switching", IEEE

Photonics Technology Letters, vol. 13, No. 7, pp. 729-731, 2001.

- [6] Chunming Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration", IEEE Communication Magazine, September, pp. 104-114, 2000.
- [7] Sanjeev Verma, Hemant Chaskar, and Rayadurgam Ravikanth, "Optical Burst Switching: a viable solution for Terabit IP backbone", IEEE Network, November/December, pp. 48-53, 2000.
- [8] F. Masetti, et. al., "Design and Implementation of a Multi-Terabit Optical Burst/Package Router Prototype," OFC 2002, Anaheim, USA, paper. FD1-1, March, 2002.
- [9] <http://www.accelight.com>



### 최지연

1992년 2월 송실대학교 전자공학과 공학사 1994년 2월 송실대학교 대학원 전자공학과 공학석사 1994년 2월 1일 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원 주관심분야 : 광패킷 라우팅 기술, 광패킷 교

환 기술, 교환용 광소자 기술



### 홍헌하

1979년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사 1981년 2월 연세대학원 전자공학과 공학석사 1993년 3월 ~ 현재 KAIST 전기과 박사과정 재학중. 1983년 8월 ~ 1985년 9월 육군사관학교 전임강

사 1985년 10월 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원 (광패킷라우터팀장) 주 관심분야 : 광 패킷 스위치, 광 버스트 스위치, 광 라우터