

소 특 집

광패킷 라우팅 기술 개요 및 연구 현황

최지연, 조성찬, 홍현하

한국전자통신연구원 광패킷 라우터팀

요 약

광패킷 라우터의 실험시제품들이 최근 잇달아 발표되면서 광패킷 라우팅 기술을 이용한 광 인터넷의 실현 가능성이 점점 높아지고 있다. 본 고에서는 광패킷 라우팅 기술의 개요와 그 연구 현황을 광스위치 fabric을 중심으로 소개하고, 발표된 실험시제품들을 정리하였으며, 이를 이용한 광 라우팅망의 구조를 제시하였다.

I. 서 론

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 광 링크를 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.

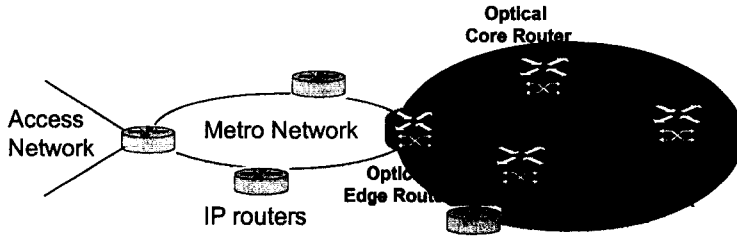
데이터 트래픽이 증가함에 따라 보다 큰 용량의 라우팅망이 필요하게 되는데, 이를 위하여 현

재 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 광 인터넷망의 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 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 광 인터넷 망의 구조는 <그림 1>과 같이 기존의 IP 라우터들 사이를 라우팅하면서 광 라우팅망의 게이트웨이 역할을 하는 수백 기가급의 광 에지 라우터와, 광 에지 라우터들 사이를 라우팅하는 테라



〈그림 1〉 광패킷 라우터 기반의 광인터넷 망

급의 광 코어 라우터로 구성될 것으로 예상된다. 이들 사이의 라우팅 제어와 망 제어는 IP 라우터까지 모두 통합하여 MPLS로 단일화될 것이다.

본 고에서는 광패킷 라우팅을 위한 광패킷 스위칭 기술을 광스위치 fabric을 중심으로 알아보고, 최근 발표된 광패킷 라우터의 테스트 베드 현황을 소개하였다. 마지막으로 이를 이용한 광 라우팅망의 구조를 간단히 제시하였다.

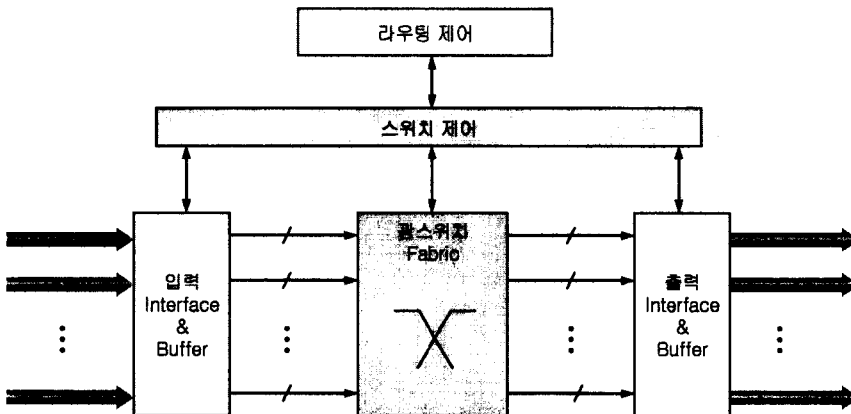
II. 광패킷 라우팅 기술의 연구 현황

1. 광패킷 스위칭 기술

광패킷 라우터의 일반적인 구조는 전기 라우터와 비슷하게 〈그림 2〉와 같이 입출력 인터페이스, 스위치 fabric, 그리고 제어부로 이루어진다. 다른 점은 입출력 신호가 광이라는 것과 스위칭

fabric이 광스위치로 이루어진다는 것이다. IP 패킷의 길이가 64~1500byte이므로, 광패킷의 길이는 보통 10Gbps의 링크 속도를 가정하였을 때 수십 ns~수 μ s 정도로 예상된다. 따라서 일정 이상의 스위칭 효율을 위하여 광스위치 fabric에서의 스위칭 속도는 수십 ns 정도가 적당하다.

광패킷 라우터의 부분별 주요 기능들은 다음과 같다. 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 등을 수행한다. 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. 입



〈그림 2〉 광패킷 라우터의 일반적인 구조

출력 인터페이스나 스위치, 라우팅 제어는 일반적인 IP 라우터와 그 기능이 비슷하므로 광스위치 fabric에 대해서 좀 더 자세히 알아보겠다.

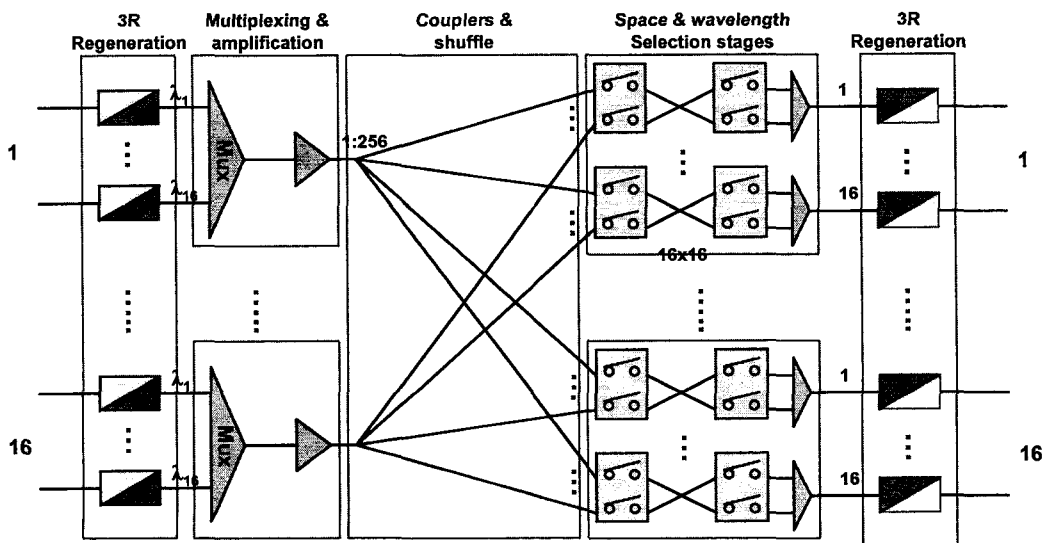
2. 광패킷 라우터용 스위치 fabric 기술

기존의 전기 라우터나 교환기 등에서 사용되는 대용량의 스위치 패브릭 구조 중 대표적인 구조는 Benes, Clos, 그리고 Banyan 구조 등이다. 이러한 방식을 이용하여 광 스위치 fabric을 구성할 경우 다단으로 많은 소자가 사용되어 누적된 큰 삽입 손실과 신호대 잡음비의 영향으로 스위치 fabric 용량이 제한을 받는다. 한 예로, 스위칭 소자의 소멸비를 20dB, 10^{-9} 의 비트 에러율을 얻기위한 신호대 잡음비를 11dB, 수용 가능한 시스템의 최대 손실을 30dB, 광 도파로와 광섬유 간의 결합 손실을 2dB, 광 도파로 진행 및 굴곡에 의한 손실을 1dB라고 가정하여 스위치 패브릭의 가능한 크기를 계산하면, Benes 구조는 집적화하여 16×16 까지 확장할 수 있다. 이때 삽입 손실은 11dB이고 신호대 잡음비는 11.5dB이다. Clos 구조는 9×9 까지 확장이 가능하다. 이때 삽입 손실은 27dB이고 신호대 잡음비는 10.5dB이다^[3]. 기존의 스위치 fabric 구

조가 가지는 이러한 문제점 중 누화잡음 문제를 해결하기 위하여 누화 잡음을 최소화 할 수 있는 스위치 매트릭스가 제안되었으나 손실문제와 구조의 단순화 문제는 여전히 해결되어야 할 과제이다. 따라서 삽입 손실과 소멸비가 개선되지 않으면 이러한 구조는 대용량 스위치 fabric에 부적합하다.

SOA(반도체 광증폭기) 게이트 스위치를 이용하는 경우 스위치 fabric이 SOA의 신호대 잡음비와 포화 광전력(saturation power)에 의하여 제한을 받으나 소멸비가 45dB이고 삽입 손실이 0이므로 더 큰 용량확장이 가능하다. 그러나 이러한 방식으로 스위치를 구성하는 경우 요구되는 SOA의 개수가 매우 많으므로 이의 개선을 위하여 방송/선택 방식이 연구 되었다^[4].

방송/선택 방식은 유럽의 Alcatel과 일본의 NTT에서 가장 활발히 연구하고 있는 방식으로 입력된 광패킷들을 파장/공간/시간적으로 서로 독립되도록 만들어 각각을 모든 출력포트로 broadcast 하고, 출력단에서 원하는 패킷을 파장/공간/시간적으로 선택하여 strictly nonblocking 스위칭이 일어나도록 하는 방식이다. 이 방식은 광 스위칭이 다단으로 일어나지 않아 제어가 간



<그림 3> 방송/선택 방식의 광스위치 fabric

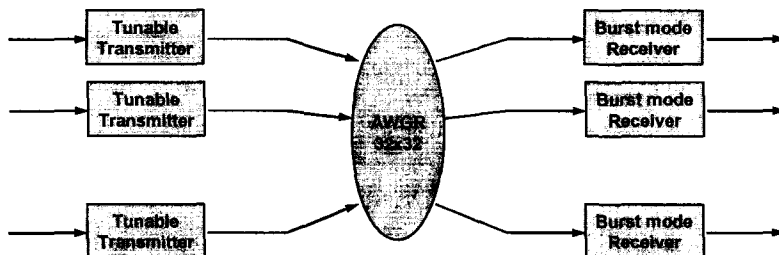
단하고, 누화 잡음의 문제가 적다. <그림 3>은 Alcatel에서 제안한 16포트, 16채널인 2.5테라 용량의 스위치 fabric을 보여주고 있다^[6]. 각 입력 포트마다 16채널이 파장다중된 후 모든 출력 포트 쪽으로 coupler를 통하여 broadcast되고, 출력포트 쪽에서 SOA 게이트 스위치를 사용하여 입력 포트와 채널을 선택하게 된다. 이렇게 선택된 광신호는 외부에 연결된 파장 채널에 맞게 변환되어 출력된다. 이 방식에서는 SOA 게이트 스위치가 핵심 소자가 되는데, SOA 게이트 스위치는 수 ns 정도의 매우 빠른 스위칭 속도를 가지며, 반도체 기술로 집적이 가능하고, 손실이 아닌 이득을 가지는 장점이 있다. 그러나, SOA의 특성상 ASE(Amplified Spontaneous Emission)에 의한 잡음이 문제가 되고, 2.5테라급의 용량을 위하여 총 8,192개의 SOA 게이트 스위치가 필요하다. 따라서, SOA의 집적 기술이 뒷받침되어야 하고, 32개를 집적한 모듈이 실험실에서 제작되었다고 한다^[6].

파장 라우팅 방식의 광스위치 fabric은 현재 상용 광소자들로 구성이 가능하기 때문에 광소자, 특히 SOA 집적 기술을 보유하고 있지 않은 기관에서 널리 연구되는 구조로, 그 대표적인 것은 <그림 4>와 같다^[6]. 이 구조는 AWG 라우터의 입력 포트와 파장에 따른 라우팅 특성을 이용한 것으로 입력부의 파장가변 광 송신기 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 사용하는 다파장 광원이 있는데, 패킷 스위칭을 위

해서는 파장 스위칭 속도가 가장 중요한 요소라고 할 수 있겠다. 이중 고속 파장가변 LD는 여러 업체에서 제품을 내 놓고 있는데, LD 자체의 파장 스위칭 속도는 수 ns급이 나오고 있다. 문제는 이 LD를 구동하기 위한 전자 회로인데, 최근 FPGA 기술을 이용하여 100 채널 범위의 파장을 변화시키는 것이 100ns 이내에 가능하다는 보고가 있다^[7].

이 방식의 경우 AWG 라우터의 채널간 누화잡음을 고려해야 한다. 한 예로, 16×16 AWG 라우터의 경우 비트 에러율이 10⁻⁹ 이하가 되고 power penalty가 1dB 이하를 만족하기 위해서는 비인접 채널간 누화잡음이 -38dB이어야 한다^[8]. 뿐만 아니라 파장가변광원의 SMSR(side mode suppression ratio)도 같은 영향을 주므로 35dB 이하의 작은 값을 가져야 한다. 다파장 광원 장치를 이용하는 경우에는 레이저 다이오드의 소멸비도 누화잡음 역할을 하므로 레이저 다이오드의 소멸비가 38dB 이상이 되어야 한다.

순수 공간 스위칭 방식의 광스위치 fabric은 전기 스위치 fabric과 마찬가지로 단위 공간 광스위치들로 N×N 스위치를 구성하는 것이다. 앞에서 언급한 것과 같이 단위 공간 스위치를 이용하여 대용량의 스위치를 구현하는 것은 다단 구조가 되어 많은 제약을 받는다. 그러나 다단 구조가 가지는 이러한 단점은 저손실, 35~45dB의 소멸비, 그리고 저가의 2×2 단의 크로스바 스위치의 등장에 의하여 극복되어 대용량의 광스위치 fabric을 구성하는 유력한 한 방법으로 부각되고 있다. 특히 이 방식의 경우 같은 스위치 구조와 숫자로 WDM을 스위치 패브릭에 도입할



<그림 4> 파장 라우팅 방식의 광스위치 fabric

경우 용량 확장이 매우 쉽고 비용이 저렴하다는 장점을 갖는다. 한 예로, 128×128 스위치 패브릭으로 1.28 Tbps를 라우터를 구현했을 경우 각 각의 스위치 포트에 입력되는 채널을 4채널로 확장을 하면 5.12 Tbps 용량의 라우터를 구현할 수 있다.

현재 이러한 구조에 사용될 수 있는 특성을 보이는 스위치를 생산하는 회사로 CIVCOM (<http://www.civcom.com/>)이 있다. 이 회사에서 제작하는 스위치는 bulk crystal에서의 전반사를 이용한 것으로 삽입 손실이 1.2dB 이하의 작은 값으로 중간에 증폭 없이 단위 스위치 소자만으로 128×128의 대용량의 스위치 패브릭을 구성할 수 있다. 전반사 스위치는 광섬유와 도파로 스위칭 소자간의 결합 손실 때문에 도파로형보다 bulk crystal을 이용한 것의 삽입 손실이 약 절반이다.

순수 공간 광스위칭 방식은 AWG MUX & DeMUX, AWGR 그리고 splitter 등을 사용하지 않으므로 스위칭 경로에 의한 위상 차이의 발생 요인이 감소한다. 2×2 소자에 연결된 모든 광섬유 커넥터의 길이를 같은 것으로 사용하게 되면 스위칭 경로에 따른 경로차를 최소화 할 수 있다. 또한 스위칭 경로에 관계없이 출력 포트에 의 광 파워의 크기가 균일하다. 따라서 버스트 모드 수신 문제 해결이 다른 방법보다 용이할 것으로 예측된다. 뿐만 아니라, 도파로 형태가 아니라 자유 공간형의 구조이므로 파장과 편광에 큰 영향을 받지 않는다는 장점을 갖는다. 이러한 방식의 스위치 소자는 1300nm~1600nm의 대역폭을 가지므로 가격이 저렴한 1300nm 대역의 송수신기를 사용할 수 있고, Bulk crystal을 이용하므로 높은 광 전력을 입력 포트에 입사시킬 수 있다. 반면, 높은 구동 전압이 필요하여 TTL 레벨이나 ECL 레벨의 구동이 불가능하므로 높은 기술의 구동 회로가 필요하다는 단점이 있다.

순수 공간 광스위칭 방식의 스위치 fabric은 기존의 전기 스위치에서 사용하던 스위치 fabric 구조와 완전히 동일하며, 제어 방법 또한 동일하여 많은 연구가 이루어진 성숙된 기술이다.

3. 스위치 fabric의 비교

앞에서 언급한 구조별로 스위칭 속도를 비교해 보면, 방송/선택 방식에서의 SOA와 파장 라우팅 방식에서의 파장 가변 광원은 모두 전류 주입 조절에 의하여 스위치 작용이 발생하므로 소자 자체의 스위칭 속도는 수 ns 이하로 같다고 볼 수 있고, 순수 공간 광스위칭 방식에서 사용되는 bulk crystal을 이용한 광스위치의 스위칭 속도는 20ns 정도이다. 그러나 스위치 시간은 이러한 소자 자체의 시간뿐만 아니라 제어에 필요한 시간까지 포함시켜야 한다. 따라서 bulk crystal을 이용하는 것은 수 백 volt를 인가하여야 하므로 현재의 구동 기술로 스위치 구동에 수백 ns의 시간이 필요하다. 파장 가변 광원은 파장에 따라 필요한 전류값을 룩업(lookup)하는 시간과 디지털 아날로그 변환 시간이 포함되어야 하므로 SOA 게이트 스위치에 비하여 시간이 더 소요된다. 따라서 고속 스위치 시간을 고려하면 SOA 방식이 가장 큰 장점을 지닌다고 할 수 있다. 그러나 bulk crystal 스위치도 스위칭을 위한 전압이 백 volt 이내로 낮추어 질 것으로 전망되며 고전압 구동 기술이 단기간내에 성숙될 것으로 보여 수십 ns의 스위칭 속도를 얻을 수 있을 것으로 전망된다.

시스템 내에서의 광 신호의 감쇄도 중요한 고려 사항이다. Bulk crystal을 이용하는 경우 단위 소자의 삽입 손실(fiber-to-fiber)이 1.2dB 정도이므로 중간에 증폭기 없이 128×128 스위치 fabric을 구성할 수 있다. 파장가변광원과 AWGR를 이용한 경우는 AWGR에서의 삽입 손실을 파장 가변광원의 광 출력으로 보상할 수 있다. 방송/선택 방식에서는 SOA가 이득을 가지고 있어 어느 정도의 보상이 되긴 하지만, 모든 입력포트 입력 파장의 신호를 모든 출력포트로 방송해야 하기 때문에 여기서 발생하는 손실이 128×128의 경우 21dB로 상당히 크고, 여기에 파장다중과 역다중을 위해 발생하는 손실도 추가된다. 따라서, <그림 3>에서 보이는 바와 같이 광 증폭기가 필요하다.

신호대 잡음비 측면에서는, 순수 공간 스위칭

방식의 경우 단위 스위치의 소멸비가 신호대 잡음비에 영향을 준다. 그러나 35 dB~45 dB의 소멸비를 가지므로 128×128 스위치 패브릭의 경우 최소 약 -24 dB의 누화잡음을 보여 시스템이 수용할 수 있는 정도이다. 파장 라우터 방식은 파장 가변 광원의 SMSR과 AWG 라우터의 인접 및 비인접 누화 잡음이 고려 사항이 되나, 현재의 AWG 라우터 기술로 WDM 채널을 이용하여 128×128(또는 그 이상)의 스위치 패브릭을 구현 할 수 있다. 방송/선택 방식은 SOA 게이트의 ASE(amplified spontaneous emission) 잡음과 AWG MUX와 DeMUX에서의 누화잡음이 신호대 잡음비를 저하시키는 주 요인으로 볼 수 있다.

AWG 라우터와 파장가변 광원을 이용한 스위치는 광소자의 개수가 가장 적고, 파장 가변 광원 장치가 라인 인터페이스나 스위치 fabric 인터페이스 등에 포함될 수 있으므로 세 방법 중에서 소형화가 가장 쉽다고 볼 수 있다. 방송/선택 방식은 SOA, AWG MUX, AWG DeMUX 그리고 coupler 등의 다중, 다수의 광소자가 필요하여 집적화가 필수적이라 할 수 있고, 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. Bulk crystal을 이용한 크로스바 스위치는 도파로를 이용한 방송/선택 방식에 비하여 집적하는 것이 다소 비효율적일 것으로 예측된다. 반면 2×2 단위 광스위치를

커넥터로 연결하여 스위치 fabric을 구성하는 경우 부피는 다소 커지나 유지보수가 상대적으로 용이하고 비용이 저렴하다는 장점이 있다.

가격 측면에서 보았을 때, 방송/선택 방식은 다양한 소자가 요구되며 동일 스위치 용량에 대하여 다른 두 방식에 비하여 수 배 이상의 소자가 요구되므로 가격 경쟁력이 가장 떨어진다고 볼 있다. 파장 라우팅 방식은 파장 가변광원의 가격의 변동이 중요 변수이지만 현재의 가격으로 볼 때는 bulk crystal을 이용한 것보다 상대적으로 약간 높다고 할 수 있다. Bulk crystal을 이용하는 경우 각 기능 부분을 정렬하는데 있어 높은 정렬 기술이 필요하므로 수율과 노동력을 감안하면 예상 보다 가격이 크게 저하되지 않을 것으로 전망된다. 양산이 될 경우 2×2 광 스위치의 가격은 미화 1000불 이하가 될 것으로 전망된다.

방송/선택 방식은 broadcast가 가능한 반면 파장 라우팅 방식은 broadcast와 multicast가 스위치 fabric 자체 기능적으로 불가능하다. Bulk crystal을 이용한 완전 공간 스위칭 방식의 경우 단위 스위치에서 multicast 기능이 제공되지만 스위치 패브릭에서 이러한 기능이 제공될 경우 출력단에서의 광 파워의 변화가 커진다는 문제가 발생한다.

현재 bulk crystal을 이용한 광 스위치는 상

〈표 1〉 광 스위치 fabric의 특성 비교

	방송/선택 방식	파장 라우팅 방식	순수 공간 스위칭 방식
스위칭 속도	수십 ns	수십 ns	수백 ns
주요 광소자	SOA array, tunable LD, AWG Mux/DeMux	Tunable LD, AWG 라우터	Bulk optic 2×2 스위치
비 용	고	중	저
부 피	대	소	중
multicast 가능 여부	가능	불가능	어려움
핵심 기술	광소자 집적기술	Tunable LD 구동기술	고전압 구동기술
Blocking 여부	Strictly nonblocking	Strictly nonblocking (WDM 링크를 사용하는 경우는 blocking)	Rearrangeable nonblocking

용화 되어 판매되고 있다. AWG 라우터의 경우도 요구되는 특성을 만족하는 제품이 출시되고 있으나 파장 가변 광원의 경우 구동을 포함하여 요구되는 스위칭 속도를 만족하는 제품은 판매되지 않고 있다. 고속 파장 가변 광원은 실험실에서 제작이 가능하나 각 영역의 전류 0.01mA의 변화에 최대 0.003nm의 파장 변화가 발생하고, 경우에 따라서 모드가 불안정한 경우가 발생하므로 보드에서의 구동 전류에 따른 파장과 모드의 안정화가 큰 기술적 과제이다.

이상에서 언급된 광스위치 fabric의 방식별 특성을 도표로 정리하면 <표 1>과 같다.

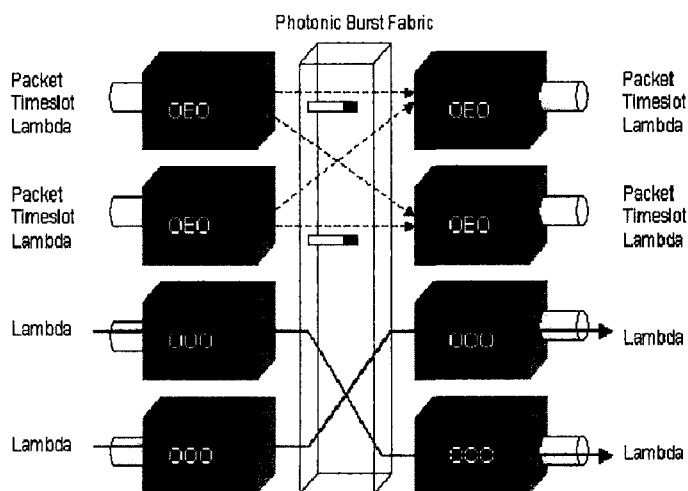
III. 광패킷 라우터의 테스트 베드 현황

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 살펴보고자 하겠다.

먼저 Alcatel사의 광패킷 라우터 시제품^[6]은 640기가급의 용량으로, 10 Gbps 링크 속도, 8포트, 8채널의 방송/선택형 광스위치 fabric을 사

용하였고, 입출력 인터페이스는 전기적으로 처리하여 광버퍼나 광동기의 어려움을 피했다. 외부 인터페이스는 ATM이고, 가상 출력버퍼를 사용하여 패킷간 충돌을 해결하였고, 10 Gbps 속도, 900 ns 길이의 버스트 단위로 스위칭하여 스위치 제어의 부담을 적게 하였다. 스위칭과 클럭 재생을 위한 버스트 간 guard time은 50 ns를 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^[6]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 40 Gbps, 800 ns 길이의 버스트를 구성하여 스위칭하였고, 버스트간 가드 타임은 50 ns를 두었다. 광 버스트의 수신을 위하여 버스트 모드 광수신기를 사용하였는데, 클럭 재생을 위한 preamble은 25 ns 이고 클럭 재생 방법은 VCO와 고속 PLL을 사용하였다. 스위치 fabric에 사용된 파장가변 LD는 32채널간의 스위칭 속도가 46 ns 이하였다.



<그림 5> AcceLight의 Photonic Service Switch 개념도

마지막으로 AcceLight사의 시제품은 1.2 테라급의 용량으로, 순수 공간 광스위칭 방식의 광스위치 fabric을 사용하였다. 이 시스템도 역시 입출력 인터페이스는 전기적으로 처리하였고, 내부 스위칭을 위하여 고정길이의 버스트를 구성하였다. 특기할 사항은 <그림 5>과 같이, 광패킷 라우터뿐 아니라 OXC, TDM 회선 스위칭까지 하나의 시스템으로 서비스할 수 있도록 하여 비용의 절감을 가져온다고 주장하고 있다는 점이다^[10]. 현재는 많은 자료가 공개되어 있지 않지만, 기존의 고정관념을 깨는 특징들을 가지고 있어 상당히 관심을 끄는 시스템이라고 생각된다.

IV. 광 라우팅망의 구조

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

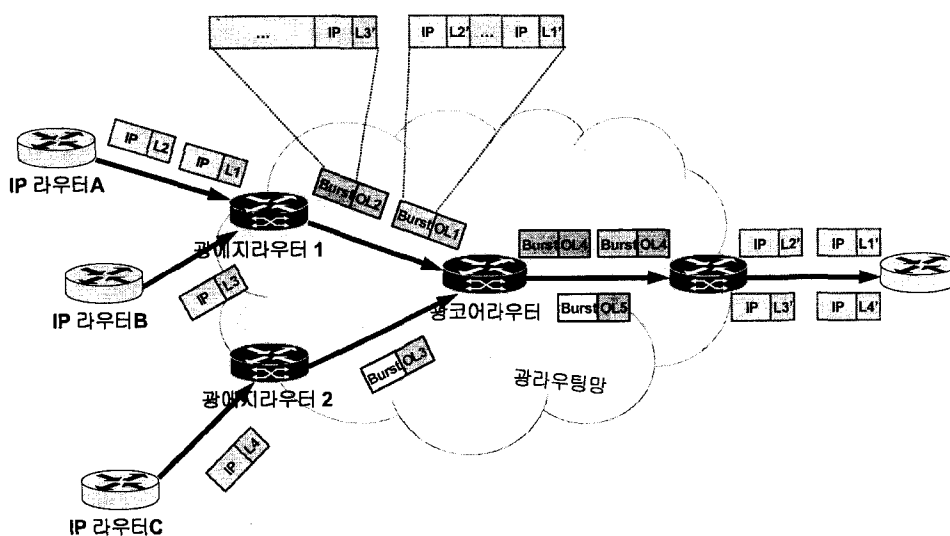
예상되는 광라우팅망의 형상은 1단계에는 광 에지 라우터가 IP 라우터들 사이를 라우팅하며, 광 에지 라우터들 사이는 광전송망을 통하여 점대점으로 연결될 것으로 예상된다. 이때의 망 제어 방식은 Overlay 모델을 사용할 것이다. 2단계에는 광 에지 라우터들 사이를 광 코어 라우터가 라우팅하며 MPLS 또는 GMPLS의 단일 제어가 적용되는 Peer model의 망 제어 방식을 따를 것으로 보인다. 따라서, 광 에지 라우터와 광 코어 라우터는 MPLS 기반의 레이블 스위칭을 가정하여 연구하고 있다.

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 버스트에는 광라우팅망에서의 LSP에 따른 광레이블이 붙여진다. 이 과정은 Ingress 광 에지 라우터의 입력부에서 이루어지는데, 포워딩을 통하여 MPLS 레이블을 스와핑하고, 출력포트와 출력과장, 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 라우터 1의 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 일어날 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 크게 버스트의 물리적인 수신을 위한 부분과, 헤더, 페이로드, padding, 그리고 CRC로 나누어 볼 수 있다. 물리적인 수신을 위한 부분은 비트 동기를 맞추기 위한 Preamble과 프레임의 시작을 알리는 Start of frame으로 이루어져 있다. 헤더는 MPLS 레이블을 비롯한



〈그림 6〉 L-OBS 기반의 광패킷 라우팅망의 흐름도

MPLS 헤더, 페이로드의 길이 정보, 페이로드를 구성하는 IP 패킷의 개수, 그리고 헤더를 위한 CRC로 구성되어 라우팅 및 버스트의 분해와 관련된 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. 광신호의 수신을 용이하게 하기 위하여 preamble과 start of frame을 제외한 나머지 정보들은 scramble한다.

V. 결 론

광패킷 라우팅 기술에 대해 개략적으로 살펴 보고, 광패킷 라우팅을 위한 핵심 기술인 광스위치 fabric에 대하여 현재 세계적으로 연구되고 있는 몇 가지 구조를 살펴 보았다. 또한 실현 가능성이 있는 광 라우팅망의 구조를 제시하였다.

광인터넷의 최종 솔루션이 광패킷 라우팅 기술이라는 것에는 누구라도 이의가 없다. 그 동안 광

패킷 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.

광패킷 라우팅 기술은 더 이상 먼 미래의 일이 아니라 가까운 장래에 현실화되어 나타날 것이며, 기존의 라우팅 장비와 광전송 장비를 통합하는 솔루션으로 등장하게 될 가능성도 크다. 현재는 국내에서 이 분야에 투자되는 비용이 적지만, 적극적인 연구비와 인력의 투입으로 연구를 활성화하여 다가올 광패킷 라우터 시장의 선점을 꾀할 필요가 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

[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] Ron A. Spanke, "Architectures for Guided-Wave Optical Space Switching Systmes," IEEE Commun. Mag., vol. 25, no. 5, pp.42-48, 1987.
- [4] P. Gambini, et. al., "Transparent Optical Packet Switching: Network Architecture and Demonstrators in the KEOPS project," IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 16, No. 7, pp.1245-1259, 1998.
- [5] 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.
- [6] J. Gripp et. al., "Demonstration of a 1.2 Tb/s Optical Packet Switch Fabric (32*40Gb/s) based on 40Gb/s Burst-Mode Clock-Data-Recovery, Fast Tunable Lasers, and a high-performance N×N AWG," ECOC 2001, vol. 6, pp.58-59, 2001.
- [7] 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.
- [8] H. Takahashi et. al., "Impact of Cross-talk in an Arrayed-Waveguide Multiplexer on NxN Optical Interconnection," vol. 14, no. 6, pp.1097-1105, 1996.
- [9] 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.
- [10] <http://www.accelight.com>

저자 소개



崔 智 然

1992년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학사, 1994년 2월 숭실대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 1994년 2월 1일~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원. <주관심 분야: 광패킷 라우팅 기술, 광패킷 교환 기술, 교환용 광소자 기술>



趙 成 贊

1991년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학사, 1993년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학석사, 2000년 8월 숭실대학교 전자공학과 공학박사, 2000년 9월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원. <주관심 분야: 광패킷 라우터, 광 패킷 스위치, 교환용 광소자, 광 네트워크 및 네트워크 장비>



洪 顯 夏

1979년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사, 1981년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 1993년 3월~현재: KAIST 전기과 박사과정 재학중, 1983년 8월~1985년 9월: 육군사관학교 전임강사, 1985년 10월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원(광패킷라우터팀장), <주관심 분야: 광 패킷 스위치, 광 버스트 스위치, 광 라우터>