

광 인터넷 기술 동향

함진호, 전경표

한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 광네트워크연구부

I. 광 인터넷의 등장 배경

인터넷 경제의 불황으로 인하여 그 성장세가 최근 둔화되기는 하였지만 지난 몇 년간 인터넷 트래픽의 규모는 매년 10배 가까운 증가세를 보여 왔다. 따라서 이에 발맞추기 위하여 대부분의 ISP 사업자들은 전송장비 및 라우터의 용량 증설에 많은 비용을 투입하여 왔다. 그러나 라우터의 대용량화를 단지 핵심 부품을 빠른 소자로 대체하거나 시스템을 대형화하는 방식만으로는 해결할 수 없다. 따라서, 새로운 설계 개념에 입각한 이노베이션이 필요한 데 바로 이것이 광 스위칭 기술을 기반으로 하는 인터넷¹⁾이다.

현재의 인터넷 구조는 라우터 간을 전용선으로 서로 연결한 것으로서 송신측의 라우터를 출발한 데이터가 종착 라우터에 도달하기 위해서는 반드시 중간 라우터들을 거쳐야만 한다. 중간 라우터를 거치는 과정에서 데이터는 버퍼링, 라우팅, 스케줄링 등의 과정을 거치게 되며 이러한 과정에서 라우터가 가지고 있는 귀중한 네트워크 자원을 소비하게 된다. 광 인터넷 기술은 광 스위칭 기술을 이용하여 데이터가 가급적 중간 라우터를 거치지 않고도 종착지까지 전달될 수 있도록 하는 것으로서 대용량화로 인해 충분한 대역폭을 확보할 수 있을 뿐 아니라 패킷 스위칭에서 일어나는 QoS를 저하시키는 여러 문제들은 원천적으로 제거한다. 또한 광 인터넷은 원하는 시점에 원하는 구간에서 전송대역폭을 실시간적으로 증설할 수 있도록 해주며, 광 선로가 물리적인 이유로 하여 절단되는 경우에도 빠른 시간에 백업된 경

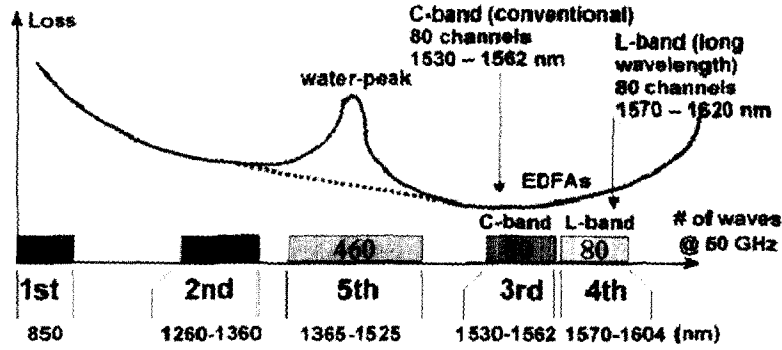
로를 제공함으로써 인터넷 서비스가 중단되지 않고 지속적으로 운용될 수 있도록 해준다.

II. 광 인터넷을 가능케 하는 기술들

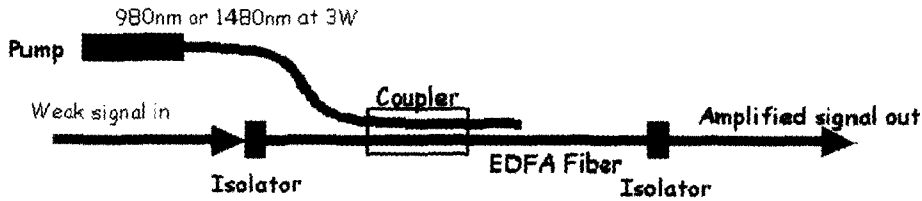
최근 들어 광 인터넷 기술이 우리의 주목을 받게 된 것은 지난 몇 년 사이에 해결 방안이 제시된 일련의 광 관련 기술에 기인하고 있다. 광 인터넷을 위한 핵심 기술인 광 다중화 기술, 광 증폭 기술, 광 스위칭 기술과 함께 광 시그널링 기술에 대하여 살펴본다.

● 광 다중화 기술

요구되는 전송용량의 증가를 단지 광선로를 증설만으로 해결하고자 한다면 많은 투자를 필요로 함과 동시에 공사를 위해 오랜 시간이 소요될 것이다. 따라서 하나의 광섬유에 보다 많은 광 신호를 실어보내기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 종래에는 한 가닥의 광섬유에 소수의 광 신호를 실어보냈으며, 다중화의 경우에도 10여 개의 신호만을 실어 보낼 뿐이었다. 그러나 최근에 각광을 받기 시작한 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 방식에서는 최대 1000개의 광 신호를 다중화하는 것을 목표로 하고 있다. 각각의 광 신호들을 램다라고 부르는데 일반적으로 하나의 램다에는 10기가비트에서 40기가비트 정도의 데이터를 실어보낼 수 있으며, 10기가비트의 경우 약 10000킬로미터까지 OEO 변환을 하지 않고도 전송이 가능하며, 40기가비트



〈그림 1〉 DWDM 광 다중화 채널



〈그림 2〉 EDFA 광 증폭기술

의 경우 광 물리화적인 문제로 인하여 약 600킬로미터까지 전달하는 것이 가능하다. 따라서 한 가닥의 광섬유 용량은 10테라 비트에서 40테라 비트 정도가 된다. 1999년도 말 전세계 인터넷 트래픽의 규모가 1테라비트 수준이었음을 감안할 때 한 가닥의 광섬유를 통해 전송할 수 있는 데이터의 양이 얼마나 큰지를 짐작할 수 있을 것이다. 현재 1000개의 광 신호를 다중화하는 것은 실험실에서만 가능하지만 160개 정도의 광 신호를 다중화하는 시스템은 이미 개발되어 있다. 위의 그림에서는 1000개 채널에 대한 대역폭 할당을 보이고 있다.

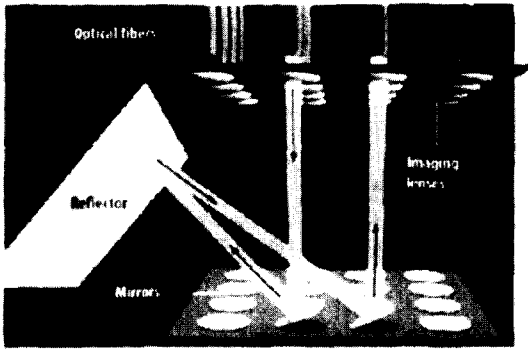
● 광 증폭기술

하나의 광섬유에 수 많은 광 신호를 실어 보낼 수 있다 할지라도 구간마다 각각의 광 신호를 별개로 증폭해야만 한다면 수천개의 증폭기가 필요하게 되어 비현실적일 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 등장한 것이 일정 밴드의 신호를 한꺼번에 증폭할 수 있는 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) 기술로서, 그림에서

보는 바와 같이 광섬유의 외부로부터 광 펌핑을 통하여 광 신호를 증폭하게 된다. 아직까지는 증폭 가능한 밴드에는 제한이 있지만 여러 화합물 기술을 통하여 전 대역에 적용 가능한 기술들이 개발되고 있다. 광 신호는 대략 80km 마다 증폭되고, 6번 정도 증폭을 거쳐 약 560km는 3R(Retiming, Reshaping, Regeneration)이라고 하는 처리 없이 전송할 수 있다. 따라서 우리나라와 같은 규모의 국가에서는 중간에 별도의 디지털 방식의 신호 증폭기를 추가할 필요가 없이 광 증폭 기술을 적용할 수 있다.

● 광 스위칭 기술

광 전송 기술과 함께 광 인터넷 기술의 견인차 역할을 하는 또 다른 기술은 이중 유망한 기술로서 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술에 기반을 둔 마이크로 미러 방식의 광 스위칭 기술이 있다. MEMS 기술에는 2차원적인 기술과 3차원적인 MEMS 기술이 있다. MEMS 기술은 1밀리미터 미만의 반도체 공정으로 만들어진 작은 거울을 움직여서 광스위치 내



<그림 3> 3D MEMS를 이용한 광 스위칭

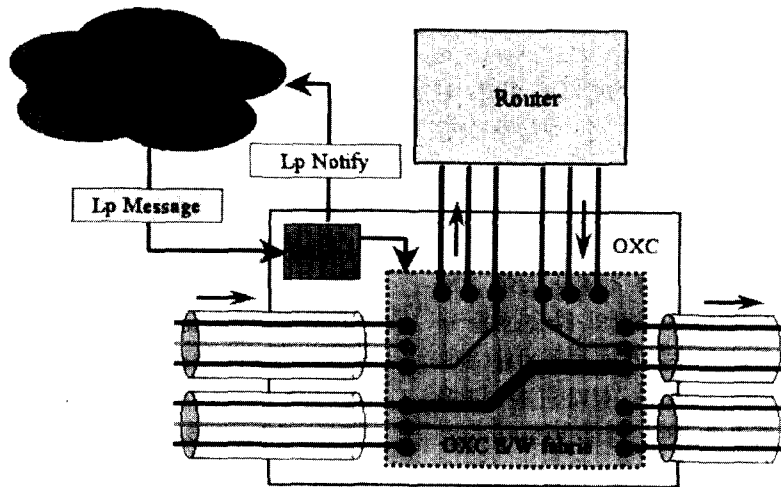
III. 광 인터넷의 기본 동작 원리

광 인터넷을 구현하는 방법에는 람다 스위칭 방식, 버스트 스위칭 방식, 패킷 스위칭 방식이 있다. 패킷 스위칭은 현재 전기적인 신호로 이루어지고 있는 패킷 스위칭을 광 기반으로 처리하는 것으로 광 논리회로나 광 메모리 등과 같은 구체적인 실현기술(enabling technology)들이 해결되어 있지 않은 상황에서 실현되기까지는 시간적인 여유가 필요하다. 버스트 스위칭 방식은 중간 정도의 성격을 띠는 것으로서 광 패킷 스위칭보다는 가까운 시일 내에 실현 가능성이 높은 방식이라고 볼 수 있다. 따라서 대부분의 제조업체들은 그림과 같은 람다 스위칭 방식의 구현 방식을 택하여 연구를 진행하고 있다.

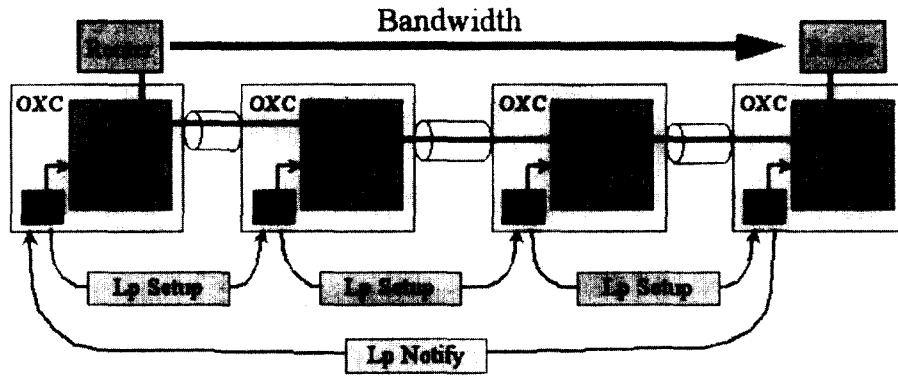
로 들어오는 람다를 광 스위치 내의 원하는 람다 포트에 반사하여 내보내는 것으로 2차원적인 MEMS는 거울의 on-off 동작만이 가능하므로 N개 포트의 광 스위치를 구성하기 위하여 N²개의 광스위칭 소자가 필요하게 되며 따라서 주로 소규모의 광 스위치에 사용된다.

람다 스위칭 방식은 광 스위치를 구성하는 MEMS 거울을 움직여서 스위치 내로 들어오는 람다를 라우터 쪽으로 올려보내든지, 이웃한 스위치로 나가도록 바이패스 시키는 방식이다. 그림에서는 특히 서로 다른 파장의 람다를 연결하는 모습을 보이고 있는데, 이를 위해서는 람다 변환(lambda conversion) 과정이 필요하며 광 인터넷을 실현하기 위하여 극복하여야 할 기술 분야의 하나이다. 광 스위치는 IP 네트워크를 통

3차원 MEMS 기술은 거울이 리니어한 동작을 할 수 있도록 한 것이다. 따라서 2차원적인 MEMS에 비하여 제어가 훨씬 어렵기는 하지만 시스템 구성에 필요한 거울의 규모는 2*N 개면 충분하므로 1000 포트의 광 스위치를 구성한다고 할 때 100만개가 아닌 2000개면 되므로 대용량의 광 스위치 구성에 유리하다.



<그림 4> 광 인터넷의 노드구조 및 시그널링



〈그림 5〉 광 스위칭을 이용한 동적인 전송대역폭의 확장

하여 시그널링 메시지를 받게 되고, 이 메시지는 OSCtrl(Optical Switch Controller)에 의하여 처리되는 데, OSCtrl은 이 메시지를 해석하여 OXC Switch Fabric에 적절히 제어하게 된다. 이러한 개별적인 처리를 바탕으로 일련의 광 스위칭을 적절히 제어함으로써 멀리 떨어져있는 두개의 라우터간의 광 경로(lightpath)를 구성할 수 있으며 이것이 두 라우터간의 전송대역폭이 된다.

IV. 광 인터넷에서의 실 시간적인 전송대역폭 확장

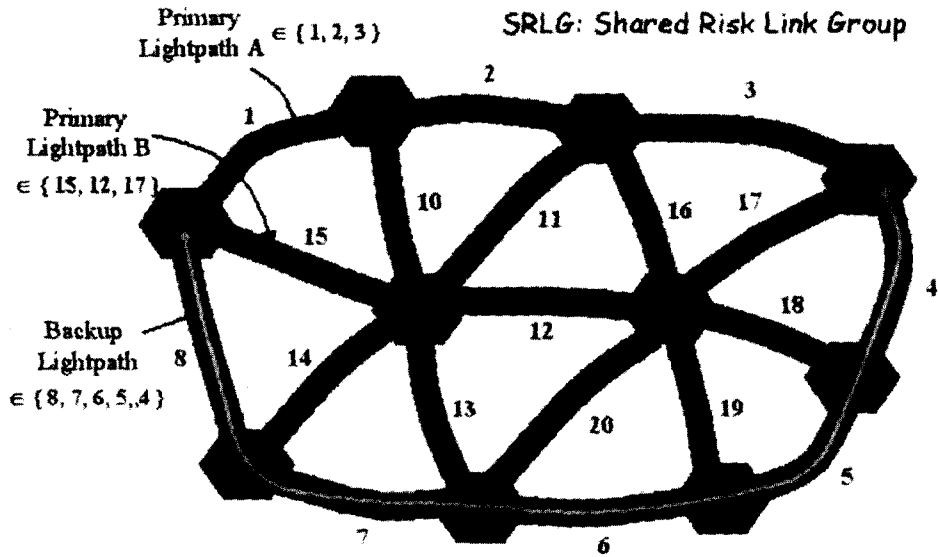
광스위칭 기술을 사용하여 얻을 수 있는 효과는 실 시간적으로 라우터간의 연결을 할 수 있다는 것^[3,4]이다. 현재 어느 구간에 용량 증설을 위해서는 공사를 위해 적어도 수개월의 시한이 요구된다. 하지만 광스위칭 기술을 이용한다면 송신 라우터와 수신 라우터 측에 여유 라우터 포트만 존재한다고 하면 초 단위 이하에서 전송대역폭의 증설이 가능하다. 이렇게 실 시간적인 용량의 증설이 가능하다는 것은 사용자의 요구에 즉각적으로 대응할 수 있다는 것을 의미하므로 소비자 만족도에서의 우위를 가지는 동시에, 어느 구간의 설비 자원이 그 구간에 한정된 것이 아니라, 네트워크 전체에서 공유하게 되므로 설

비의 사용 효율성도 훨씬 높일 수 있다. 바로 이 기술을 이용하여 송신단 라우터와 수신단 라우터를 중간에 라우터를 거치지 않고 직접 연결하는 것과 같은 virtual 광경로를 구성하는 역할을 담당한다.

V. 광 인터넷에서의 장애 복구

광 스위칭 기술을 사용하여 얻을 수 있는 또 다른 장점은 강력한 restoration 기능^[3,4]이다. 광기반의 restoration이란 광 링크에 손상이 발생하였을 때(지상 구간은 화재나 포크레인 등의 굴착공사에 의하여, 해저구간은 자연재해나 트롤 어선의 어로 작업으로 인하여 발생할 수 있다) 가능한 한 빠른 시간 내에 대체 경로를 제공하는 기술을 말한다. 현재로서는 SONET 방식의 기술이 사용되고 있는데, 이 기술은 주 경로와 함께 백업 경로를 동시에 운용하면서 주 경로에 문제가 발생하였을 때 백업 경로로 자동적으로 전환되도록 하는 것이다. 이 방식은 별도의 시그널링 없이 운용되므로 구성 및 운용이 용이하지만 주 경로와 동일한 규모의 백업 경로를 유지한다는 점에서 50% 이상으로 자원의 운용율을 높일 수 없으며 2차적인 재해에는 대처하기 어렵다는 단점이 있다.

이에 반하여 광스위칭 방식을 사용하는 restora



〈그림 6〉 광 스위칭을 이용한 동적인 전송대역폭의 확장

tion의 경우에는 1:N 방식을 사용하는 데 이것은 N개의 주경로가 하나의 백업 경로를 공유하는 방식이다. 이들 경로들은 전문적인 용어로 SRLG(Shared Risk Link Group) 값들을 공유하지 않고 있으므로 특정 사고에 대하여 2개 이상의 경로가 동시에 영향을 받지 않는다.

이러한 restoration 방식에서는 사고가 발생하여 어떤 광 경로가 손상을 받았을 경우, 50 msec 내에 복구하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 이러한 방식의 장점은 일단 백업 경로가 주경로로 대체되고 난 후에 다시 백업 경로를 생성하면 이후에 발생하는 사고에 대하여도 restoration이 가능하다는 점이다. 또한 M:N 방식의 restoration을 채택하면 동시에 M개 보다 많은 링크의 절단이 동시에 발생하지 않는 한 추가적인 백업 경로의 생성없이도 이에 대한 restoration이 가능하다. 따라서 기존의 SONET 보다 자원의 활용율을 높이면서도 보다 완벽하게 사고에 대처할 수 있게 된다. 그림에서 주경로와 백업 경로 모두 사전에 시그널링에 의해 만들어지지만 백업 경로의 양 끝단은 라우터와 연결되지 않고 있다가 사고가 발생하고 나면 시그널링에 의해 연결됨으로서 restoration을 수행한다.

VI. 광 인터넷

광 인터넷이란 〈그림 4〉에서 보인 것과 같이 상부의 라우터를 기반으로 한 인터넷 망은 기존의 인터넷과 마찬가지로 IP 프로토콜을 기반으로 하여 운용되도록 하면서, 하부 광 스위칭을 기반으로 하여 형성되는 광경로에 대하여 트래픽 엔지니어링 기능을 바탕으로 트래픽 상황에 따라 적절히 라우터 간을 연결하도록 하는 것이다. 이렇게 하기 위해서는 IETF의 CCAMP(Common Control and Measurement Plane) 워킹 그룹에서 정의하고 있는 측정(Measurement) 및 제어(Control) 프로토콜이 필요한 데, 현재로서는 OSPF나 ISIS의 LSA(Link State Advertisement) 프로토콜을 측정을 위해 사용하며, 시그널링 프로토콜로는 GMPLS(Generalized Multiprotocol Label Switching)을 사용할 예정이다. 광 인터넷에서는 IP 계층과 광 계층이 밀접하게 협력하여야 최적의 결과를 얻을 수 있다.

VII. 결 론

광 인터넷에 대한 표준화 작업은 IETF, ITU-T, OIF 등에서 이루어지고 있는 데 가장 핵심적인 연구는 IETF를 통하여 이루어지고 있다. 이를 위하여 IETF는 최근 Sub-IP Area를 새로 발족시켰으며, 산하 워킹 그룹으로 CCAMP, MPLS, Traffic Engineering, IP over Optical Network, GSMP, PPVPN 등을 두어 광 인터넷을 실현하기 위한 세부 표준화 이슈들을 다루고 있다.

우리 나라는 ADSL이나 Cable 모뎀에 의한 초고속 인터넷에 있어서 세계 최고 수준이며, 이에 따라 다양한 멀티미디어 응용 및 서비스를 수용할 수 있는 환경이 구축되었다. 하지만 지속적인 트래픽의 증가를 수용하면서 가까운 시일 내에 도래할 가입자 100Mbps 시대^[6]를 대비하고자 한다면 광 인터넷에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Eric Mannie et al, "Generalized Multi-Protocol Label Switching(GMPLS) Architecture," IETF Internet Draft, Work in Progress, June 2001
- (2) Jin Ho Hahm and Kwang-il Lee, "Control Mechanisms for Traffic Engineering in Optical Networks," IETF Internet Draft, Work in Progress, July 2000
- (3) Jin Ho Hahm and Kwang-il Lee, "Bandwidth Provisioning and Restoration Mechanisms in Optical Network," IETF Internet Draft, Work in Progress, December 2000
- (4) Jin Ho Hahm, Kwang-il Lee, David Griffith, Papadimitriou Dimitri and

Poppe Fabrice, "Restoration Mechanisms and Signaling in Optical Networks," IETF Internet Draft, Work in Progress, March 2001

- (5) Canarie, "Gigabit Internet to the Home and Schools," <http://www.canarie.ca/advnet/gitts.html>, August 5, 2001

저 자 소 개



咸 珍 浩

1958년 3월 2일생, 1982년 2월 한양대학교 전자공학과 학사, 1984년 2월 한양대학교 전자통신공학과 석사, 1998년 2월 한양대학교 전자통신공학과 박사, 1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원

(ETRI) 근무, 1984년 3월~1990년 7월 : 전자장치 연구실, 단말기기연구실, 통신접속연구실, 1990년 7월~2001년 8월 : 표준연구센터(PEC), 1999년 4월~2001년 3월 : 미국 NIST 방문연구원(차세대 인터넷 공동연구), 2001년 8월~현재 : 네트워크기술연구소 광네트워크연구부, <주관심 분야 : 차세대 인터넷, 광 인터넷, 트래픽 엔지니어링, 네트워크시스템, 멀티미디어 시스템>



全 敬 杓

1952년 9월 5일생, 1976년 2월 서울대학교 산업공학과 학사, 1979년 2월 한국과학기술원 산업공학과 석사, 1988년 5월 North Carolina State Univ. O.R. 박사, 1979년 3월~현재 : 한국전자통신연구원(ETRI)

근무, 1979년 3월~1982년 8월 : 통신망계획실, 1988년 7월~1995년 2월 : 교환방식연구실, 패킷교환연구실, 1995년 2월~1999년 2월 : 교환전송기술연구소 지능망연구부장, 2001년 8월~현재 : 네트워크기술연구소 광네트워크연구부장