主題

# 광 인터넷 기술

한국정보통신대학원대학교 강민호, 이용규

차 례

I. 서 론
II 오늘날의 IP 백본 전달 기술들
III. 광 인터넷의 태동
IV. 현안 및 문제 접근 방식
V. 결 론

## I. 서 론

전화통신 네트워크는 새로운 천년의 시작점에서 광통신 혁명과 인터넷 열풍을 빠르게 수용하고 있으며 현존하는 음성 중심의 회선 트래픽은 인터넷 중심의 패킷 트래픽으로 변화하고 있다 [1]. 인터넷 트래픽과 사용자의 폭증은 전화통신 사업자와 인터넷 서비스 제공자들에게 새로운 수익원을 발굴하는 기회를 제공할 뿐만 아니라 새로운 구조의 네트워크 구축을 강요하고 있다. 인터넷 트래픽은 기존의 음성 트래픽과는 달리 자기 복제성(self-similarity), 비대칭적인 트래픽 패턴, 100 바이트 정도의 짧은 버스트 패킷들, 그리고 15 개 정도로 많은 홉(hop) 수와 같은 매우 다른 패턴을 가지고 있다. 한편, 1980 년대부터 개발되기 시작한 WDM(Wavelength Division Multiplexing)과 광섬유 증폭기에 힘입어 광섬유 한 가닥으로 수 Tb/s의 정보를 광·전 변환 없이 수 1,000 km까지 전송할 수 있게 되었다 [2].

전 세계의 인터넷 사용자는 이미 2억 명에 도달했으며 곧 8억 명의 일반 전화 사용자들을 넘어설 것으로 예상되며 인터넷 트래픽은 매 6개월마다 2배씩 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 성장률과 함께 미국에서 인터넷에 소요되는 총 대역폭은 2001 년에 약 35 Tb/s, 2005 년에 약 280 Tb/s정도로 예상하고 있다. 우리나라에서 2004 년에는 가정에서 10 Mbps, 2010 년에는 사무실에서 1 Gb/s 속도의 통신이 가능할 것으로 예상된다. 전자 상거래, 가상 교육 그리고 원격 의료 서비스와 같은 다양한 가상 공간 서비스들이 가정과 사무실에서 일상적인 활동으로 자리잡게 될 것이고 Web 응용과 같은 인터넷 서비스가 폭발적으로 신장되면서 IP를 직접 광전송로에 접속할 수 있는 광 인터넷 기술의 채용이 예상된다 [3]. 즉, 폭주하는 IP 트래픽 시장과 발전하는 광통신 기술은 서로 상승작용을 함으로서 광

인터넷 발전을 가속화시키고 있다.

## II. 오늘날의 IP 백본 전달 기술들

이러한 IP 트래픽을 전달하기 위한 액세스(access) 네트워크 기술들은 ADSL, HDSL, 이더넷, FDDI, FTTC, 그리고 FTTH 등이 있으며, 백본 전달 기술로는 ATM 기반의 IPoA(IP over ATM) 이외에 현존 음성 전송 기반의 SDH 광 전송망을 활용하는 IPoS(IP over SDH)와 WDM 기술을 활용하여 IP 데이터를 직접 또는 간접적으로 특정 광 파장에 할당하는 IPoW(IP over WDM) 및 IP 패킷을 광 계층에서 처리하고자 하는 광 패킷 네트워크의 태동도 예상되고 있다.

먼저 IPoA는 ATM이 제공하는 고속 셀 스위칭 능력과 트래픽 엔지니어링 및 QoS 제공 능력을 이용하여 ATM을 백본 스위칭 네트워크의 핵심 기술로서 도입하고, IP는 사용자 응용과 직접 인터페이스시켜 고속의 IP 전달망을 구성하는 것이다. IPoA 기술은 상호 연결성 제공 및 이기종 네트워크 간 상호 접속 기능이 탁월하며 IP 주소 체계의 수용이 용이하고 TCP-IP 응용 서비스에도 쉽게 활용이 가능한 기술이다. 또한 트래픽 엔지니어링 및 신호 기능이 잘 정립되어 있어 정보 전달 시 지연 및 지연 변동을 최소화 할 수 있으며, 서비스별 품질을 보장할 수 있다. 또한 VPN(Virtual Private Network)의 구성이 용이하고 비밀 보장성이 높으며, 표준화를 바탕으로 상호 운용성 보장이 용이하다. 그러나 이와 같은 방안에서는 IP와 ATM의 기능적인 결합을 통해서 IP와 ATM의 연동을 위한 최적의 네트워킹 환경을 구현하는 것이 필요하다.

IPoS는 현재 네트워크에서 널리 사용되고 있는 전화서비스 기반의 SDH 전송기술을 바탕으로 하고 있다. 그러므로 강력한 망의 생존능력, 기존 망으로부터 IP 네트워크로의 점진적인 진화 가능성, 기존 SDH 전송망 관리 및 유지 보수 체제를 그대로 활용할 수 있으며, OAM(Operations, Administrations, and Maintenance)과 네트워크 관리를 위한 풍부한 오버헤드를 지니고 있다. IPoS는 고속의 백본 라우터를 상호 연결시킬 때 라우터 대 라우터간 IP 전용로 구성 시 선호되는 기술로 인식되고 있다. IPoS 기술은 주로 기존 SDH 전송망을 활용하여 고속 인터넷 백본망을 구축할 수 있는 기술이다. 에지라우터와 코어라우터 사이에서는 155 Mb/s와 622 Mb/s 링크가 주로 이용되고, 코어라우터 사이에서는 622 Mb/s와 2.5 Gb/s 링크가 주로 이용될 것이다. 라우터 측에서는 IP 라우팅, QoS 협상과 관리, 트래픽 policing과 shaping, 원격 관리능력 등과 같은 기능 등을 제공하며, SDH ADM은 장애검출, 보호 절체, 종속신호의 분기결합 등과 같은 전송관련 기능을 제공한다. 또한 IPoS는 캠퍼스 백본을 위한 Gigabit Ethernet과 고속 WAN 연결을 위한 ATM 혹은 프레임 릴레이를 위한 적용을 가질 수 있다. 간단한 점대점(point-to-point) 백본 연결을 위한 IPoS의 중요한 장점은 링의 보호 절체 능력을 이용하여 우수한 확장성 및 신뢰성을 제공할 수 있다는 점이다. 그러나 다수의 라우터/스위치가 존재할 경우에 전송망 차원에서 전용로 구성이 아닌 다양한 네트워킹이 가능하도록 망구성의 유연성을 가져야 하나, 이 경우에는 IP 단위의 네트워킹이 전적으로 라우터에 집중되기 때문에 응용상 한계가 있고, QoS 서비스를 위해서 해결해야 할 많은 문제들이 존재한다. IPoS에서 IP 패킷은 SDH 상에서 IPoS 프로토콜 또는 SDL(Simple Data Link) 프로토콜을 사용하여 전송되기 때문에, best-effort IP 서비스만 제공 가능하며 QoS와 대역폭 관리 기능이 없고, 라우터에서 라우팅과 forwarding 엔진 기능이 분리되지 않아 대용량 고속 라우터 환경 하에서는 부적합하다

는 문제점을 내포하고 있다. 또한 IP 패킷이 한 프레임 내에 정확히 일치하지 않아 패킷 크기에 따라 2 개 이상의 프레임 혹은 한 프레임에 여러 개의 패킷이 매핑되는 단점과 함께 SDH 프레임의 SAR (Segmentation and Reassembly) 기능의 요구, 라우터 인터페이스의 복잡성, 입력 버퍼의 요구에 따라 효율과 성능이 저하되는 단점을 안고 있다. 또한 IP 망은 고유의 흐름제어, 버퍼링, 리라우팅 등으로 자체 분산된 생존성을 보유하고 있으므로 대칭성의 SDH 전송로를 이용한 비대칭성의 IP 데이터 전달에는 비효율적이다.

SDH 전송망을 활용하여 고속 대용량의 인터넷 기간망을 구축하는 기술이 IPoS라면, IPoW는 IP 뿐만 아니라 서로 다른 QoS를 갖는 통신 트래픽을 각각 여러 파장에 할당하여 하나의 광케이블을 통해서 동시에 전송할 수 있는 WDM 기술을 사용하는 기술이다. 이렇게 함으로써 통신 트래픽 관리의 단순화와 통신망 노드의 저가격화와 광 통신로의 구축 및 유지보수 비용의 절감을 기대할 수 있다. IPoW 기술의 가장 큰 장점은 고속 대용량 광 인터넷 망의 구축뿐만 아니라 ATM 망의 구축을 위해 필요로 하는 광 통신로의 구축비용 절감에 있다. 최근의 자료에 의하면, IPoW 기술을 이용한 장거리 광 인터넷 망의 구축비용이 98년 당시 $0.35(per wavelength per meter per year)로 IPoW 기술을 적용하지 않은 장거리 광 인터넷 망의 구축 시 통신로의 구축비용인 $1.43보다 훨씬 경제적이며, 2000년경에는 $0.11정도로 하락할 것이라는 데 있다. 또한 도시지역의 광 인터넷 망의 구축을 위해 IPoW 기술을 적용하면, 광 인터넷 망의 구축 시 통신로 구축비용이 98년 당시 $0.12정도로 예상된다.

백본 전달 기술 방식의 장단점을 (표 1)에 비교하였다 [17].

## III. 광 인터넷의 태동

앞서 설명한 바와 같이 1970년대부터, 광섬유 전송은 전화통신 네트워크의 대역폭을 확충하는데 중요한 역할을 했다. 이러한 네트워크들에서, 광섬유는 단순히 구리 케이블의 용량을 확장하는 전송 매체로 사용되었으며 모든 비트들의 스위칭과 전달과정도 전기적으로 이루어졌다. 이러한 초기의 광 전송 시스템은 오늘날 모든 종류의 전화통신 네트워크에서 널리 사용되고 있는데 이러한 광 전송 시스템의 예들로는 공중통신 목적의 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)뿐만 아니라 FDDI (Fiber Distributed Data Interface)와 같은

| 방 식 | 장 단 점 |
|---|---|
| IP over ATM over SDH over WDM | - 멀티서비스 지원<br>- QoS 보장, 구조 복잡<br>- 망구축 비용 증가 |
| IP over SDH over WDM | - IP 서비스만 지원<br>- cell tax로 인한 오버헤드 없음<br>- SDH 계층 사용 |
| IP over WDM | - 인터넷 백본으로는 가장 단순한 구조<br>- Wavelength routing을 통한 Virtual wavelength connection 기능이 요구됨 |

표 1. 인터넷 백본 전달 기술 방식에 따른 비교

다양한 기업용 네트워크들이 있다 [2].

1990년대에 들어서서 광 네트워크가 단순한 점대점(point-to-point) 전송보다 많은 기능들을 제공할 수 있다는 것이 인식되기 시작했다. 네트워크의 전자회로에 의해서 수행되어 온 스위칭과 라우팅 등과 같은 몇몇 기능을 광학 부분에서 처리함으로서 커다란 이점을 얻을 수 있다는 것이다. 초기의 광 전송 시스템에서, 한 노드에서 전자회로들은 그 노드를 통과하는 데이터뿐만 아니라, 네트워크에서 다른 노드들로부터 그 노드를 통과하려는 데이터도 다루어야 했다. 만약 후자의 데이터가 광학 영역에서 라우팅될 수 있다면, 그 노드에서 전자회로에 가해지는 부하는 상당부분 감소되어질 것이다. 이 점이 WDM 광 네트워크를 사용하는 주요한 매력이다.

WDM 광 네트워크는 (그림 1)에서처럼 더 높은 네트워크 계층에서 3 가지 형태의 서비스들을 제공할 수 있다 [2]. 첫 번째 서비스는 WDM 네트워크에서 응용할 수 있는 광경로(lightpath) 서비스로서 경로 내의 각각의 링크에서 하나의 전용 파장을 할당함으로서 설정된다. 또 광경로는 네트워크에서 두 노드들 사이에서 하나의 연결이다. 다른 서비스는 가상 회선 서비스(virtual circuit service)로서 네트워크는 두 노드들 사이에서 회선 교환(circuit-switched) 연결을 제공한다. 그러나 제공되는 대역폭은 링크나 파장에서 사용 가능한 대역폭 전체보다는 매우 작다. 또한 이 네트워크는 데이터그램 서비스를 제공할 수 있는데, 가상회선 서비스와는 달리 추가로 오버헤드를 사용하지 않고 연결을 시켜서 두 노드간에 짧은 패킷이나 메시지 전송을 가능하게 한다. IP는 이러한 데이터그램 서비스만을 제공하는 프로토콜이다.

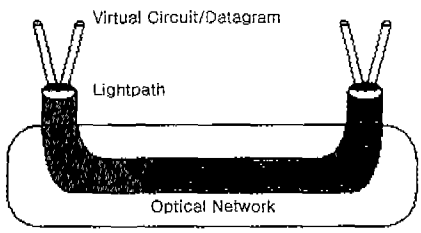
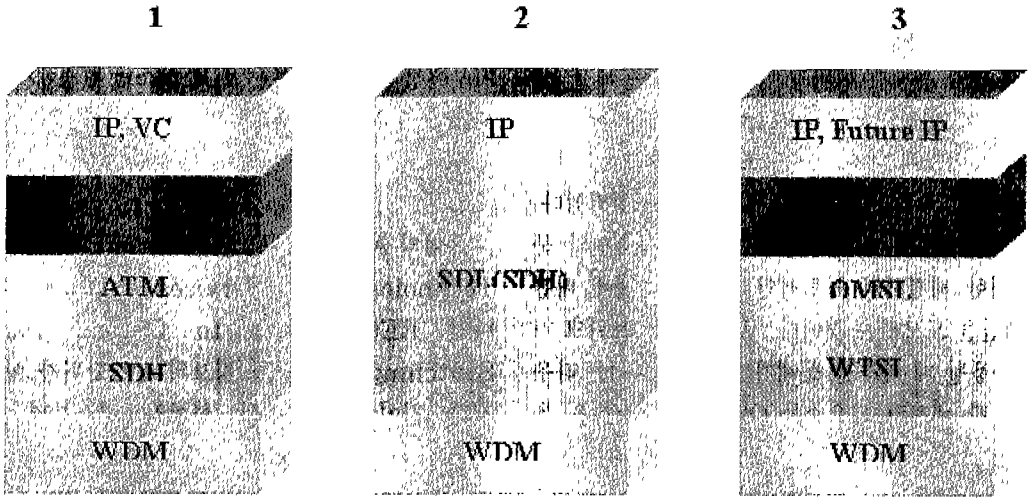



그림 1. 제 2 세대 광 네트워크에서 3 가지 형태의 서비스

이러한 WDM 광 네트워크를 기반으로 한 광 인터넷의 진화를 (그림 2)에 보였다. 현재의 IP over ATM over SDH over WDM은 (그림 2a)에서처럼 전송된 신호의 누적된 지연과 네트워크 기능들과 데이터 링크의 복제에서 기인한 인터넷 트래픽의 급증, 비대칭적인 트래픽 수용의 어려움 등으로 비경제적인 요소가 많다. 그러므로, 오늘날 네트워크의 중요한 장비들인 ATM(Asynchronous Transfer Mode)이나 SDH 장치들의 기능을 제거하거나 간단하게 함으로서, IP 트래픽을 IPoW로 직접 WDM 네트워크에서 수송하면 네트워크 관리, OAM(Operations, Administrations, and Maintenance) 등과 같은 것들의 중복성을 제거함으로서, 전달 비용을 대폭 감소시킬 수 있다. 또한 IPoW는 다양한 형식의 프로토콜과 비트 속도를 동시에 수용하는 투명성을 갖는다. 이것을 (그림 2b)에 보였다. 이런 제 1 세대 광 인터넷은 오늘날의 시장에서 많은 관심을 받고 있는 방식이다. 이 방식은 여전히 광 파장에 의해서 광경로를 연결시키는 회선 교환 네트워크로서 (그림 1)의 가상 회선과 데이터그램 같은 더욱 복잡한 초고속의 패킷 서비스들은 제공할 수가 없다.

제 2 세대의 광 인터넷은 오늘날의 인터넷 트래픽의 특징인 패킷 트래픽을 효율적으로 수용하는 것을 목표로 하여 파장 단위보다는 훨씬 작은 패킷 단위에서 광 패킷을 교환하고 처리한다. 이러한 광 패킷 데이터 링크 계층의 새로운 네트워크의 한 예를 (그림 2c)에 보였다 [6,14]. 광적으로 투명한




(a) 광경로가 고정된 WDM 네트워크

(b) 제 1세대 광 인터넷 (IPoW)

(c) 제 2세대 광 패킷 인터넷

그림 2. 광 인터넷의 진화

광 패킷 데이터 링크 계층은 OCSL, OMSL, 그리고 WTSL로 구성된다. 제 1 세대 광 인터넷에서는 IP패킷이 전기적으로 처리되지만, 제 2 세대 광 인터넷에서 IP 패킷의 일부는 광학적으로 처리된다.

(optical transparent) 패킷 계층은 다음의 세 가지로 구성될 수가 있다. 즉, 광 채널 부계층(OCSL: Optical Channel Sub-Layer)은 더 높은 계층의 IP 데이터가 광 패킷 계층으로의 흐름을 관장하고, 적당한 광 패킷 라우팅을 포함해서 광 패킷 헤더의 생산과 헤더를 다시 쓰는 기능을 수행한다. 광 다중화 부계층(OMSL: Optical Multiplex Sub-Layer)은 광 링크에서 광 패킷 흐름을 전송하고, 광 신호의 다중화-역다중화 기능을 지원한다. 파장 변환 및 수렴 부계층(WTSL: Wavelength Translation and convergence Sub-Layer)은 파장 재할당과 파장 변환에 의해서 WDM 전송 계층으로의 광 패킷의 흐름을 관장한다 [6]. 이것을 (그림 2c)에 보였다. 그러므로 버스트(burst)한 성질을 갖는 많은 사용자들 사이에서 효과적으로 주어진 대역폭을 공유하는 광 패킷 인터넷은 다중-태스크 운영체제에 적합하며 각기 다른 트래픽 패턴과 기능성을 가지는 각각의 연결에서 여러 개의 논리적인 연결들을 지원함으로서 광 패킷 인터넷은 네트워크에 더 많은 유연성을 제공할 것이다 [2].

일단 동일한 원격 IP 네트워크로 보내어진 IP 패킷들이 하나의 IP 라우터에 광 패킷들로 모아지고 가상 연결을 통해서 목적지 IP 라우터로 네트워크에 의해서 운송되면, 네트워크 용량은 또 다른 높은 레벨의 연결들에 의해서 동적으로 공유된다. 즉, 이전의 IPoW보다 향상된 네트워크 이용과 네트워크 유연성이 이루어지는 것이다.

## IV. 현안 및 문제 접근 방식

IPoW의 제 1 세대 광 인터넷에서, WDM 네트워크 구성요소들을 가진 IP 라우터들을 상호 연결시키기 위해서는 해결되어야할 두 가지의 중요한 문제

들이 있다. 첫 번째는 사용자 평면(user plane) 문제이고, 두 번째는 파장 할당 및 라우팅 문제이다. 사용자 평면 문제는 다파장 광 링크들을 통해서 IP 패킷들을 운반하기 위한 프로토콜 스택(stack)을 정의하고 이것에 네트워크 구조를 일치시키는 것이다. (그림 2b)에서 첫 번 문제는 이미 구현되었다. 파장 라우팅 문제의 해결책으로, 사용자 측면의 문제에 대한 해결책과 독립적인 라우팅 문제에 대한 해결책들을 도모하는 것이다. WDM이 네트워크 기술로 사용될 때 라우팅 문제가 일어나는데 IP 라우터들이 광 네트워크 요소들(OADM, OXC)을 통해서 상호 연결될 때, 근본적으로 그들을 이웃하게 만드는 어떤 두 개의 IP 라우터들 사이에서 광경로를 설정하는 것은 가능하다. 이러한 유연성은 OSPF(Open Shortest Path First)와 같은 IP 라우팅 프로토콜들을 사용하는 토폴로지가 트래픽의 상황이 변하면 변할 수도 있다는 것을 암시한다. 그러나, 이러한 네트워크의 효율적인 이용에 따른 이득을 얻기 위해서, 집적된 IP/WDM 라우팅 해결책들의 조절과 IP 계층 라우팅 프로토콜이 필요하다 [4].

제 2 세대 광 패킷 인터넷에는, 제 1 세대 광 인터넷인 IPoW 위에서 풀어야할 더 많은 문제들이 있다. 미래에, 본질적으로 무제한적인 용량으로 만들기 위해서, 현재의 DWDM에 호환하는 파장들 사이의 스펙트럼 공간도 부가적인 정보를 운반하는데 사용할 수 있어야 한다. 광 논리 소자와 기억 소자를 가지고 있다면, OTDM과 OCDM(Optical Code Division Multiplexing)의 사용은 스펙트럼 자원의 더욱 효율적인 사용이 가능하다. 광 패킷 인터넷을 위한 주요한 구성요소들은 다음의 것들을 포함한다. 즉, 광 파장 변환기(다파장 레이저 광원 그리고 전 광 파장 변환기), 다파장 공간 스위치(전광 공간 스위치 그리고 누적되는 이득 SOA 게이트), 그리고 파장 선택기 등이다. 조절 가능한 파장 변환기 혹은 고정된 파장 변환기, 다파장 공간 스위치, 그리고 파장 선택기들처럼 주요한 기능들에서 이루어진 최근의 진보는 실제 시스템 환경에서 주요한 시스템의 동작 원리들의 시연을 가능하게 했다 [5].

유럽의 ACTS(Advanced Communications Technologies and Services) 프로그램 중의 하나인 KEOPS(Keys to Optical Packet Switching)는 운송될 정보의 총량단위가 아니라 시간 길이에서 고정된 형식인 광 투명 패킷(Optical Transparent Packet)을 제안했다. 그 패킷은 헤더, 페이로드, 그리고 경계시간(guard time)들을 포함해서 고정된 주기의 하나의 타임 슬롯 안에 삽입되는데 헤더처리를 위해서, 622Mbps의 속도에서 14 바이트를 사용하도록 제안되었다 [6].

지난 몇 년 동안 수 차례 광섬유의 많은 대역폭 확장과 비교했을 때, 현재 인터넷에서 주요한 병목현상을 일으키는 것들 중의 하나는 IP 계층에서의 라우팅 속도이다. 태그 스위칭은 네트워크에서 경로들을 미리 정의한 라우팅 프로토콜들을 사용하고 경로들에 태그들을 할당한다. 즉 패킷들은 라우팅 테이블 검사에 대한 필요성을 피하기 위해서 이러한 태그들을 기초로 해서 스위칭 된다. 오랫동안 유지되도록 하기 위해서 이러한 연결들에서 IP 스위칭은 동적으로 계층 2의 가상 회선들을 설정한다. 전광 패킷 네트워크들은 광 패킷 스위칭이 필요 없는 방송구조(broadcast and select architecture)가 사용될 수 있는 지역에서 처음으로 출현할 것이다 [7].

고속의 광 네트워크들이 더욱 복잡해지기 때문에, 스위칭 노드들에서 광 데이터 형식으로 IP 패킷을 유지하기를 바랄 것이다. 그리고 전기적인 영역에서

| Nation | Project | Goals | Organizations |
|---|---|---|---|
| U.S.A. | AON | All-Optical Terabit Network | MIT, Bell Lab., DEC, DARPA |
| | Abilene | University Cooperation for Advanced Internet Development | NSF, UCAID, Qwest, MCI, IBM, Cisco, etc. |
| Europe | KEOPS | Key technologies of optical packet switch node | Univ. of Bologna, Univ. of Strathclyde, Alcatel, France Telecom |
| Canada | CA*Net III | Testbed of 1st generation optical Internet | Toronto Univ., Ottawa Univ., Canarie, Nortel, Cisco |
| U.K. | WASPNET | Research optical packet WDM network | Univ. of Essex, Univ. of Bristol, BT Labs, Nortel |

표 2. 광 인터넷 연구 프로젝트

수행되어 온 많은 기능들이 전광적(all-optical)으로 구현되기를 원할 것이다. 이를 위한 주요한 기능의 하나는 패킷 헤더에서 라우팅 정보를 경신하는 것이다 [12].

## V. 결 론

이제 광 네트워크는 하나의 얇은 광섬유를 통해서 전기적인 재생 없이(Tbps의 점대점 트래픽을) 수 1,000 km를 전송할 수 있는 단계까지 진행되었다. WDM 네트워킹의 능력을 이용해서, 점대다간 IPoW 광 인터넷 또한 상업적으로 개발 중에 있다.

이제 구성요소로부터 프로토콜로 그리고 IPoW 광 패킷들의 완전한 이용을 위한 네트워킹의 관점으로 체계적인 광 패킷 인터넷 연구를 수행 할 만큼 시기는 무르익었다. (표 2)에는 대표적인 광 인터넷 연구를 보였다. 현재의 광 네트워크들로부터 광 패킷 인터넷의 성공적인 진화를 위해서, 산업체, 학계, 그리고 정부기관들 사이의 공동 연구, 컴퓨터 네트워크 전문가, 전화통신 전문가, 그리고 광학 전문가들 사이의 협력, 그리고 국제 기구들 사이의 협력도 주요한 성공 요인들이다. 그러므로 이제는 국내적으로 또 국제적으로 광 인터넷 연구의 시작을 고려할 시기가 되었다 [15].

### ※참고문헌


[1] M. Kang, S. Lee, S. Lee, Information and Telecommunication toward New Millenium, KyoHak-Sa, November 1999

[2] Rajiv Ramaswami and Kumar Sivarajan, Optical Networks, Morgan Kaufman, 1998

[3] Minho Kang, et al., "An Engineering Research Center Proposal by ICU", Korea Science and Engineering Foundation, January 31, 2000

[4] M. Veeraraghavan et al., "Issues in Integrated IP/WDM routing", mv@bell-labs.com

[5] Monique Renaud, "Key components for optical packet switching" and "Network and System concepts for optical packet switching", IEEE Communicatios Magazine, Vol. 35, No. 4, April 1997

[6] F Callegati et al., "Packet Optical

Networks for High-Speed TCP-IP Backbones", IEEE Communications Magazine, January 1999
[7] E. Modiano, "WDM-Based Packet Networks", IEEE Communications Magazine, March 1999
[8] P. Green et al., "All-Optical Packet-Switched Metropolitan-Area Network Proposal", J. of Lightwave Technology, Vol. 11, No. 5/6, May/June 1993
[9] K. Sato et al., "Photonic Transport Technologies to create Robust Backbone Networks", IEEE Communications Magazine, August 1999
[10] H. J. Chao, "Design of an Optical Interconnection Network for Terabit IP Router", chao@antioch.poly.edu
[11] R. S. Tucker and W. Shong, "Photonic Packet Switching: An Overview", IEICE Trans. Commun. Vol. E82-B, No. 2, February 1999
[12] A. E. Willner, "Key Limitations in WDM Systems and Networks", pp. 220-245, Critical Reviews Vol. CR71
[13] D. Y. Al-Salameth et al., "Optical Networking", Bell Labs. Technical Journal, January-March 1998
[14] Changsoo Park, private communication
[15] M. Kang, "The Birth of Optical Internet and Cooperative Development Program", COOC'99, Kwangju, 13-14, May 1999
[16] Jon Anderson et al., "Protocols and Architectures for IP Optical Networking", pp. 105-124, Bell Labs. Technical Journal, Jan-Mar. 1999
[17] 김재근, 김홍주, "IP over Fiber 기반 광 인터넷 전송기술", pp. 87-99, 한국통신학회지, 1999. 12

## 강 민 호

1969년 서울대학교 전기공학과(학사)
1973년 미국 미주리대학교 전기및전자공학과(석사)
1977년 미국 텍사스대학교 전기및전자공학과(박사)
1977년 미국 벨 연구소 초빙연구원
1978년 한국전자통신연구원 광통신연구실장, 전송연구부장, 기초기술연구부장, 통신정보기술연구단장
1985년~1988년 과학기술부 전기전자 연구조정관 겸직
1990년 한국통신 연구개발단장, 소프트웨어기술연구소장 겸직, 품질보증단장, 해외사업본부장, 멕시코 미디텔통신 사장
1999년~현재 한국정보통신대학원대학교 공학부 교수
* 주관심분야 : 광 네트워크 - 엔지니어링 및 경제성 분석
광 인터넷 - 구조 및 파장 라우팅
광 라우터

## 이 용 규

1996년 전북대학교 컴퓨터공학과(학사)
1998년 현대전자 미디어사업본부 미디어연구소 연구원
2000년 한국정보통신대학원대학교 공학부(석사)
2000년~현재 한국정보통신대학원대학교 공학부(박사과정)
* 주관심분야 : 광 네트워크, 광 인터넷