

主 題

IP over WDM 기술

(주)벨리언 김재근, 이동호, 노장래

차 례

- I. 인터넷과 WDM의 만남
- II. IP over WDM 기술일반
- III. IP over WDM 기술 표준화 동향
- IV. IP의 동적 파장 할당 기술
- V. IPoW 응용 동향 및 전망
- VI. 결 언

I. 인터넷과 WDM의 만남

기존 전달망은 음성과 전용선 서비스를 제공하는 데 적합하도록 설계된 TDM(Time Division Multiplex)기반 망이며, 이의 전형적인 응용형태는 세계적으로 널리 적용되고 있는 SDH(synchronous digital hierarchy)망을 들 수 있다. 이 망은 TDM 응용서비스를 위한 백본의 신뢰도 향상과 저 비용이면서 유연한 망 구성을 최우선으로 하고 있다. 이는 망 장애 시 자체적인 보호복구능력을 포함해서 고속 전송경로 상에서 회선 묶음 단위의 네트워킹, 망의 지능화를 위한 풍부한 오버헤드, 나아가 이중 벤더간 상호 연동성을 갖는 국제 단일 표준을 바탕으로 하고 있다. 이와 같이 고도의 정교한 망임에도 불구하고 데이터 통합망으로 활용하기에는 망 구성의 효율성과 경제성 면에서 여러 제약이 따르기 때문에 지금까지는 데이터전용망이 별도로 구성되어 운용되고 있는 상태이다.

최근 전달망 분야에서의 화두는 단연 인터넷과 WDM(wavelength division multiplex) 기술이다. 데이터 트래픽은 인터넷에 의해 연간 400%-1600%씩 폭증하고 있고, 이러한 현상은 통신망을 회선 기반 망으로부터 패킷 기반 망으로의 패러다임 전환을 선도하고 있다. 데이터 통신 트래픽이 음성 트래픽을 추월하고 있는 현실에서, 백본 IP 라우터들을 상호 연결하기 위한 새로운 데이터 접속기술과 보다 고속의 데이터 전달을 실현할 수 있는 광통신 기술, 특히 WDM 기술간의 결합은 아주 자연스러운 현상이다. 현 기술 수준으로 보아 WDM만큼 경제적이고 효율적으로 IP트래픽의 전송용량을 확장할 수 있는 방식은 없기 때문이다. 이에 따라 IP데이터를 WDM망에 효율적으로 접속하기 위한 기술 또한 절실히 필요한 상태이다. WDM과 인터넷이 좋은 궁합을 갖는 이유는 다음과 같은 인터넷 트래픽의 특성을 살펴보면 잘 알 수 있다.

인터넷 트래픽의 특성에 대해 연구한 CAIDA

(Cooperative Association for Internet Data Analysis)나 IETF(Internet Engineering Task Force) 등의 보고를 보면, 인터넷 트래픽은 '다속성 혹은 분열(fractal)' 또는 '자기유사(self-similar)' 특성을 갖는다고 한다. '자기유사' 특성은 인터넷 트래픽이 주어진 링크에서 동시에 발생하는 사용자의 수에 상관없이 유사한 형태의 버스트(burst) 특성을 보이는 것을 말한다. 전형적인 음성 트래픽은 사용자당 64kb/s 단위로 늘어나며, 사용 중인 링크가 포화되면 더 이상의 사용자는 망 접속이 차단된다. 이는 잘 정의된 큐잉(queueing) 모델로 분석될 수 있다. 그러나 인터넷 망에서는 망에 접속되는 컴퓨터의 수에 제한이 없으며, 폭주가 발생하면 데이터의 전달 속도가 느려지게 된다. 따라서 인터넷 트래픽의 예측이나 모델링을 어렵게 한다. 결과적으로 이러한 인터넷 트래픽의 '다속성 혹은 분열' 특성은 폭주를 피하기 위해 기존의 음성위주의 전송망보다 훨씬 큰 용량의 버퍼를 가져야만 한다. 그러나 대용량 버퍼는 데이터의 전달을 지연시키는 또 다른 문제를 야기한다.

다음으로 비대칭성 데이터 흐름을 들 수 있다. Canarie의 보고에 의하면, 캐나다와 미국 사이에 트래픽 불균형은 약 1:10의 비율을 보인다고 한다. 이러한 현상은 캐나다의 많은 사용자들이 미국의 서버로부터 데이터를 전송 받는 데에서 오는 것이다. 이는 인터넷의 가장 일반적인 현상으로서, 대부분의 웹서버들이 대형 인터넷 서비스 포인트에 집중되어 있는데 비해 사용자들은 널리 퍼져 분포하는데 기인한다. 한편, 웹캐싱(web caching) 또는 미러링(mirroring)이 코어망의 송수신 간 데이터의 비대칭성을 감소시킬 것으로 생각하지만, 지구상의 생활권이 지역간 서로 다른 시간차에 따른 데이터의 비대칭성은 여전히 존재한다. 비대칭성은 음성 트래픽에는 없는 인터넷 트래픽의 지역적 비균일성에 의해 더욱 커지게 된다. 이러한 비대칭 특성의 결과는 대칭적인 특성을 갖는 음성 트래픽 위주로 설계된

PDH(plesiochronous digital hierarchy), SDH와 같은 회선 기반 망의 이용 시 한쪽 링크는 상당한 대역이 휴지(idle) 상태인 반면에 다른 한쪽은 매우 혼잡하게 되는 상황을 야기할 것이다.

이상에서 살펴본 인터넷 트래픽의 버스트성, 비대칭성은 대칭성 전달특성을 갖는 기존 통신망에 대한 많은 변화를 요구하고 있다. 즉 음성 대신에 데이터 서비스가 점차 주된 트래픽이 되어 가는 현재의 추세로 보아 PSTN의 궁극적인 전환이 빠르게 이루어질 것으로 보인다.

이와 같은 전환방법으로는 다음과 같은 2가지 방향을 고려해 볼 수 있다. 먼저 기존 데이터망 사업자 차원의 접근을 보면, 기존 라우터/스위치들간의 전달 경로는 주로 DS1/3급 전용로 또는 프레임 릴레이 방식이 이용되었으나 보다 고속의 전송로가 필요할 때 기존 PSTN 전송로의 활용보다는 IP전달 효율이 보다 좋은 새로운 방식을 선호하고 있다. 대표적인 것으로 기존 이더넷을 초고속화 하는 멀티기가비트급 이더넷을 비롯하여 PDH/SDH 전송 프레임에 패킷 데이터를 직접 실어 보내는 방식 등이 선호되고 있다. 이에 반해 기존 PSTN망 사업자들은 기존 망을 최대한 활용하는데 바탕을 두고, 실시간 QoS(quality of service)를 기본적으로 보장해 주는 ATM기반의 IP전송이 선호되고 있다.

그러나 위 2가지 접근 모두 궁극적으로 WDM의 임의 파장에 IP 데이터를 광 파장에 직접 동적으로 할당하고, 동시에 파장 단위의 교차연결을 통한 광 데이터 네트워킹(optical data networking)에 초점을 맞출 것으로 보인다. 즉, 인터넷 트래픽의 특성이라 할 수 있는, 예측키 어려운 버스트성 데이터는 물론 양방향 비대칭적 트래픽을 WDM파장을 이용해서 융통성 있게 수용할 수 있는 IP와 WDM간의 밀 결합이 최적의 해법으로 여겨지고 있다. 이에 따라 IP와 WDM간의 밀월은 이미 시작된 상태로서 선진국에서는 광 인터넷이라는 이름으로 연구개발 및 망 구축이 활발하게 진행되고 있는 상태이다.

II. IP over WDM (IPoW) 기술 일반

오늘날 IP프로토콜은 인터넷의 범용화에 힘입어 전체 데이터통신망을 대표하는 네트워크 계층으로 자리잡았으며, 향후 멀티 서비스 망으로의 확대 시에도 지배적인 역할을 할 것으로 기대된다. 이때 IP는 주로 광 전송로(특히 WDM)를 통하여 전달될 것이며, 이 과정에서 IP데이터는 여러 데이터링크 계층과 광 네트워킹 구조를 동시에 이용하게 될 것이다. WDM 기술의 최대 장점은 동일한 광 링크 상에 독립적인 네트워크 프로토콜들이 다양하게 존재할 수 있다는 점이다. 그리고 WDM 접속 기능의 설계 시 데이터링크의 복잡한 프로토콜이나 구조를 단순화시킬 수 있다. 지금까지 거론되고 있는 중요한 IPoW 프로토콜 스택은 (그림 1)과 같다.

(그림 1)에 표시한 스택들의 선택은 전송대역 호

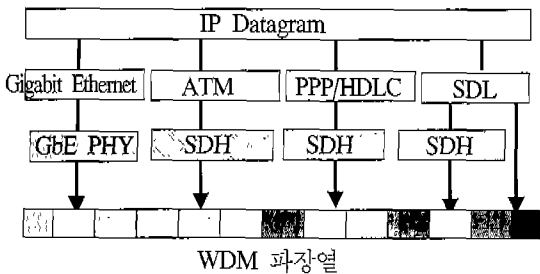


그림 1. IPoW 프로토콜 스택

을, 기존 망과의 연동/관리 능력, QoS와 같은 새로운 기능에 대한 확장성의 제공, 불필요한 계층의 제거, 표준화 여부, 망 구축비용 및 복잡도의 최소화 등 다각적인 측면에서 이루어져야 한다. 이들 IPoW 프로토콜 스택은 크게 IP데이터를 SDH 또는 GbE(Gigabit Ethernet)와 같은 기존 전송 프레임을 이용하는 간접 매핑 방식과 IP데이터를 직접 WDM망에 실는 직접 매핑 방식으로 나눌 수 있으며, 전자는 주로 IP백본 용량이 작거나 기존 PSTN 트렁크와 공존하는 초기단계에 적용되고, 후자는 수백 기가급 이상의 IP 백본 망에서 이용될 것이다.

1. IP over ATM (IPoA) 방식

먼저 'IP over ATM (IPoA)'은 IP데이터의 전송을 위한 데이터 링크로서 기존 ATM(asynchronous transfer mode) 방식을 활용하며 IP 전달의 QoS를 확실하게 보장해주는 방식이다. 이 방식에서 IP 데이터는 LLC (logical link control) 및 SNAP (subnetwork attachment point) encapsulation 을 통하여 CPCS (common part convergence sublayer) 및 PDU(protocol data unit)로 구성되는 AAL-5 (ATM adaptation layer type 5) 프레임에 넣어지고, AAL-5의 는 48-byte 패킷으로 구성되는 ATM 셀에 나뉘어 넣어진 후 직접 광 전송되거나(IPoA over Fiber) SDH 프레임으로 맵핑되어(IPoA over SDH) 전송되도록 구성된다.

여기서 "IPoA over SDH"는 RAS (remote access server), 공중망/사설망 라우터 및 기업 서비스망 등과 같은 상호 접속 망에 알맞은 기술로서, 유연한 대역 할당 능력을 통해 빠르게 변화하는 트래픽을 수용할 수 있다. 거의 연속적인 가상 링크 대역 세분화를 허용함으로써, 속도에 유연한 전송능력을 갖는다. 그러나 SDH 전달망은 TDM 기반으로 음성과 데이터 트래픽 모두에 대해 송·수신 양방향에 동일한 고정 대역을 갖는 TDM 파이프가 제공된다. 따라서 버스트성을 갖는 데이터 서비스에는 비효율적인 전송 특성을 갖는다. 이러한 비효율성에도 불구하고 TDM 기반 망에 의해 제공되는 SDH의 견고한 전송특성, SDH 경로 레벨의 장애 및 성능 관리 능력, SDH 보호절체 기능 등을 통한 망의 신뢰성 제공, 그리고 ATM 가상링크에 대한 유연한 대역 할당(IETF RFC 1483, RFC 1577)을 통한 가상 링크 대역 관리 등 많은 장점을 제공하고 있다. 따라서 현재 인터넷망의 기반 구조로서 IP 백본 망 링크에 일반적으로 적용되고 있다.

2. IP over SDH (IPoS) 방식

이 방식은 앞서 설명한 'IPoA over SDH' 방식이 ATM을 데이터 링크로 이용하는 반면에 PPP (point-to-point protocol) 와 SDL(simple data link)을 사용한다. 즉, IP 데이터는 먼저 PPP 패킷으로 싸여지며, PPP는 인캡슐레이션(encapsulation), 에러제어 및 링크 초기화 제어 등을 제공한다. PPP 데이터는 SDL을 이용하여 고정된 틀에 맞추어진 다음 SDH 포맷으로 맵핑된다. 여기서 언급한 SDL은 Lucent에서 제안한 방식으로서 아직까지 국제표준으로 인정되지 않은 상태이며, SDL 대신에 'HDSL like' 프로토콜을 포함하여 다양한 방식들이 제안되고 있다.

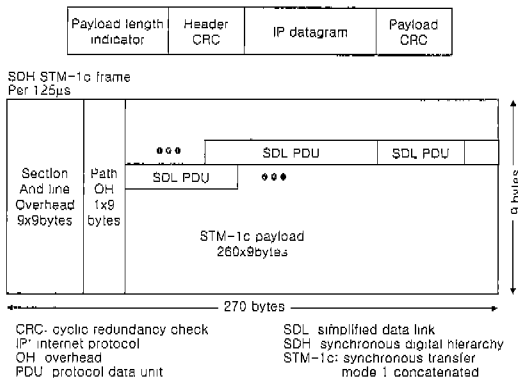


그림 2. SDL을 사용한 IP over SDH 프레임

IPoS 방식은 IP 백본 링크 용량이 기가비트급으로 증가함에 따라 ATM을 이용함으로써 생기는 대역 사용의 비효율성을 크게 개선한다. 즉, SDH 프레임에 ATM을 적용할 때 18%~20%의 오버헤드를 필요로 한다. 여기서 ATM 사용으로 인한 순수 오버헤드는 10%이며, 만일 모든 패킷 크기에 대해 IPoA 맵핑을 이용한다면, 평균 ATM 오버헤드는 약 25%에 달한다. 같은 패킷 분포에 대해 IPoS 맵핑을 위한 HDLC/PPP 오버헤드는 약 2%이다. 백본 망을 계획할 때, IPoA 백본을 요구하는 ISP

들은 이러한 25%의 오버헤드에 대해서도 추가 비용(cell tax)을 지불해야 한다. 이에 따라 ISP들은 백본 망에서 ATM을 생략하고 SDH 프레임에 직접 IP를 접속하는 IPoS 방식을 선호하고 있다.

ATM 계층 없이 IPoS 맵핑을 하는 또 다른 이유는 고속 전달망으로의 확장성에 있다. 즉, IPoA 실현 시 종속 신호의 속도가 증가할수록 AAL-5 SAR (segmentation and reassembly) 기능은 점점 복잡해지고 구현하기가 힘들어진다. ATM의 경우에 현재 622Mb/s 급 ATM SAR 칩만이 이용 가능한 반면에 PPP/SDL로는 2.5Gb/s 급 인터페이스가 가능한 상태이다.

한편 IP를 SDH에 맵핑하는데 있어서 ATM을 제거하는 것은 대역을 효율적으로 이용하게 하지만, 가상 링크 대역을 관리하는데 있어서 유연성을 잃어버리게 된다. 이와 같이 IPoA와 IPoS가 각각 갖는 링크 대역 할당의 유연성과 대역 사용의 효율성간에 존재하는 trade-off는 IP 백본 망이 발전해 감에 따라 두 개 방식간에 상호 보완적인 발전을 유도할 것이다. 이러한에도 불구하고 IPoS는 기가비트급 IP 인터넷 백본 용량을 갖는 망 구성에 도입하게 될 첫 번째 기술이 될 것으로 보인다.

3. IP over SDL over WDM 방식

이 방식은 IP데이터를 SDH나 GbE, ATM과 같은 전송 프레임을 이용하지 않고 SDL 프레임에 맵핑한 후 WDM의 각 파장에 융통성 있게 직접 할당하는 방식이다. 따라서 물리적인 전송 프레임에 대한 추가 오버헤드 없이 전송되기 때문에 전송 효율을 크게 개선할 수 있어 향후 가장 선호될 방식으로 여기고 있다. 특히 SDL신호의 동적인 광 파장 할당과 WDM 광 파장 단위의 네트워킹을 실현하는 바탕을 제공한다. 따라서 망 구성의 유연성과 신뢰성을 극대화 할 수 있다는 장점이 있다. 여기서 동적 파장 할당기술에 대해서는 제 4절에서 다룬다.

Ⅲ. IPoW 기술 표준화 동향

IPoW는 크게 IP 하부구조인 WDM기반의 광 네트워크, IP계층과 WDM 광 채널 계층간의 인터페이스로 구분할 수 있다. 앞으로 상당 기간은 광전송망이 기존 PDH, SDH, ATM등의 다양한 전달 프로토콜을 위한 하부구조로 이용될 것이기 때문에 광 인터넷워킹 문제는 기존 망으로부터 진화한다는 전제하에 다루어야 한다. 여기서 소개하는 표준화 기구 역시 망 진화에 기반을 둔 광 인터넷워킹 측면에서 접근하고 있다.

최근 광 인터넷이 광통신 응용의 핵심 주제로 부상하면서 광 인터넷워킹에 대한 합의를 도출하고 관련 표준을 제정하기 위해서 다수의 표준화 기구가 산업계를 중심으로 결성되어 활발하게 활동하고 있다.

200개 이상의 서비스사업자, 광 네트워크 장비 및 부품업체가 참여하는 OIF(optical internet-working forum)는 물리계층으로부터 시그널링 및 망 관리에 이르기까지 폭넓은 주제를 다루고 있다. ITU-T는 광 네트워크를 위한 새로운 전기적 신호속도와 포맷을 갖는 OTN(optical transport network)을 정의하고, ASON(automatic switched optical network)에서의 연결제어 시그널링 및 인터페이스를 위한 규격을 다루고 있다.

IETF는 광 네트워크(optical network)를 위한 새로운 제어평면에 포커스를 두고 있다. 금년 1월에 출범한 ODSI Coalition은 광 네트워크와 상위계층 서비스 망을 연결하는 일련의 표준 인터페이스와 프로토콜을 개발하고 있다. 10 GbE 표준화를 추진중인 IEEE 802.3ae 그룹은 고속 이더넷 계층 2 프로토콜, 10G 속도를 지원하기 위한 새로운 물리계층 인터페이스, 기존 상위계층 프로토콜과 호환성 등을 다루고 있다. 여기서 10GbE은 그 응용성 확대를 위해 MAN/WAN용 IP over WDM의 데이터링크 프로토콜로 제안하고 있다. IP와 WDM

간 인터페이스는 WDM 백본 상에서 IP 패킷의 encapsulation과 관련한 과제로 요약된다. IEEE802.3ae의 10GbE, ITU의 LAPS, Cisco의 DPT, Lucent의 SDL 등이 제안되고 있으나 향후 시장 상황에 따라 지금까지 제안된 인터페이스 프로토콜보다 우수한 대안이 제기되는 것도 배제할 수 없다.

1. OIF

AT&T, Telcordia(Bellcore의 전신), Ciena, Cisco, HP, Qwest, Sprint, WorldCom등 광전송 사업자와 네트워크 벤더들이 설립하였으며, 데이터망과 광전송망간의 연동 이슈를 다루고 있다. 망간 연동과제에는 WDM에 직접 ATM 혹은 IP를 맵핑시키기 위한 새로운 구조 정의를 포함하여 IP, ATM, SONET/SDH, WDM 망과의 연동성을 다루기 때문에 ITU-T, IETF, ATM 포럼에서 주로 다루어 왔던 망 내부(within)의 규격은 이들 기구와의 협조를 통해 중복을 피하고 있다. OIF는 가능한 빠른 시일 내에 상호연동성의 성취와 망 운용의 자동화 실현을 목표로 하고 있다. 표준화 작업은 다음의 4개 워킹그룹으로 구성된 OIF 기술위원회에서 이루어진다.

[Architecture WG]

광 인터넷워킹 구조와 관련하여 서비스제공자 관점의 요구사항을 분석하고 물리적/논리적 개체를 정의하는 것을 목적으로 한다. 현재 자동 시그널링과 광 채널의 설정을 포함하는 UNI 1.0 규격을 완성하였다. 2000년 말까지 표준 보호절체 기능 등의 추가 요구사항을 포함하는 UNI 2.0을 완성하고 NNI 표준화 작업을 개시할 계획이다.

[OAM&P WG]

운용관리, 유지보수 및 프로비저닝등 관리 측면의

지원시스템과 장치 요구사항에 대한 권고를 목적으로 하며, T1M1 및 T1X1 등 타 표준화 기구와 연계하여 작업하고 있다. 현재 광 클라이언트 신호들간의 상호연동과 이 신호를 전달하는 광 구조를 집중적으로 다루고 있다.

(Physical & Link Layer(PLL) WG)

광 인터워킹 요소간의 물리계층과 데이터링크 계층 인터페이스 정의를 목적으로 하며, OAM&P와 시그널링 기능을 지원하기 위해 필요한 전달 구조를 정의하고 있다. 이 WG은 특히 IPoS의 정의에 초점을 맞추고 있다.

(Signaling WG)

광 통신망 요소간에 이용하는 시그널링 프로토콜 관련 규정을 권고함을 목적으로 한다. 광 채널을 동적으로 설정하기 위해 필요한 특정 물리계층 구조와 망요소 간의 연결을 위해 시그널링 정보를 교환하는 프로토콜을 규정하고 있다.

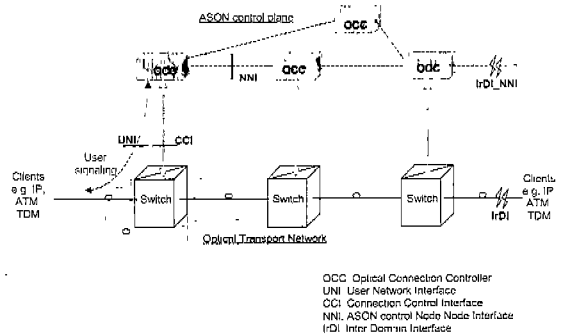


그림 3. 논리적 관점의 ASON 구조

2. ITU-T

SG13(1997-2000)에서 제안하여 1999년2월 WTSC에서 승인한 G.972 Architecture of Optical Transport Networks 가 기본 골격을 구성한다. 타 표준화 기구들이 주로 데이터망과 광네트워크간의 상호연동에 주력하고 있는데 반해 ITU-T는 광 전달망의 새로운 표준을 만드는데 관심을 기울이고 있다. 그림3은 ITU-T에서 제시하고 있는 ASON 구조이다.

표 1. 광 네트워크 관련 ITU-T 권고안

주 제	PDH	SDH	ATM	ON
Framework for Recommendations				G.871
Components & Subsystems	G.661, G.662, G.663, G.671	G.661, G.662, G.663, G.671		G.661, G.662, G.663, G.671, G.665
Functional Characteristics	G.706, G.73x, G.74x, G.75x, G.821, G.822, G.823, G.824, G.826	G.783, G.784, G.813, G.825, G.826, G.958, G.EPRMS	I.731, I.732	G.681, G.798
Physical-Layer Aspects	G.703	G.703, G.957, G.691	G.703, G.957, I.432	G.691, G.692, G.959.1
Architectural Aspects		G.803, G.805	G.805, I.326	G.872, G.873
Structures & Mapping	G.704, G.73x, G.74x, G.75x, G.804	G.707, G.832	I.361, I.362, I.363, I.610, G.709	G.709
Management Aspects		G.774-x, G.784, G.831	I.751	G.874, G.875

2000년에는 NNI 인터페이스 표준인 G.709를 완성할 계획이다. OTN은 현재 2.5, 10, 40G의 고정 속도로 규정되어 있다. 정확한 속도와 동기구조, 다중화구조를 검토중이다. OTN외에 ITU-T는 OTN을 제어하기 위한 시그널링 및 라우팅 구조를 정의하고(G.ASON) 표준화 작업을 개시하였다. G.ASON은 차기 4개년 연구회기의 주제로 채택되었으며 IETF와 OIF등의 표준을 상당히 수용할 것으로 예상된다.

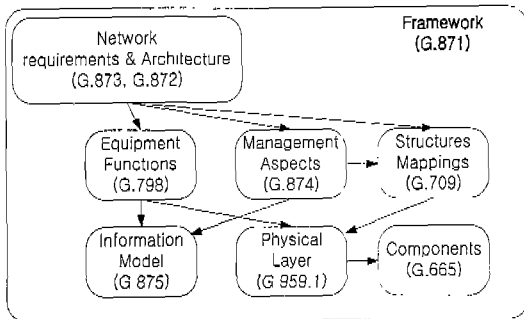


그림 4. 광네트워킹 권고안 관계

3. IETF

'IP over Optical Networks'를 주요 이슈로 다루고 있는 IETF는 주로 광스위치 구조, 광 네트워크에서의 시그널링 및 라우팅 모델, 광네트워크의 망관리 및 보호절체 프로토콜 등에 대해 다양한 대안이 검토되어 왔다. IETF는 트래픽 엔지니어링 목적으로 계층 2 프로토콜인 MPLS(multi-protocol label switching)를 제정하였는데 이를 OXC(optical cross-connect)의 제어 목적으로 확장하는 작업을 진행하고 있다. 현재 데이터 장치, SDH ADM(add-drop mux) 및 크로스커넥트의 채널 지원 인터페이스를 제어하는 프로토콜로도 확장할 계획이다. 현재 MPLS 제어평면 모델을 갖는 OXC 구조로서, 그 대안이 되는 시스템 구조는 다음(그림 5)와 같다.

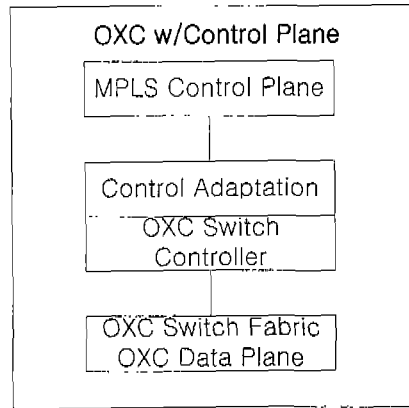


그림 5. MPLS 제어평면 모델을 수용하는 OXC 구조대안(July 2000, IETF)

광 네트워크 개념은(그림 6)과 같이 IP, ATM 등의 클라이언트 네트워크들이 광코어망에 접속하여 동적으로 광 채널을 설정하는데 개입하는 모델을 기반으로 한다. 이 모델은 클라이언트-광네트워크 인터페이스(UNI)와 광 서브네트워크들 간의 인터페이스(NNI)로 구분되는 논리적인 제어 인터페이스를 갖는다.

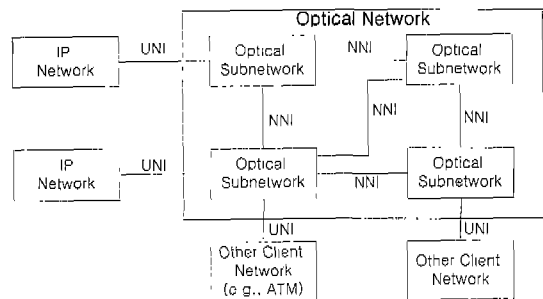


그림 6. 광네트워킹 모델

광 스위칭/라우팅 제어와 함께 이슈가 되고 있는 OUNI(optical user-network interface) 시그널링은 사용자 장비와 광 네트워크간의 인터페이스를 다루며 광 채널 설정 서비스를 규정하는 분야이다. IETF에서 정의한 메시지 세트가 OIF, ITU-T 및 ODSI등에서 규정하고 있는 메시지와

차이가 있어 조정작업이 진행될 것으로 예상된다. 시그널링 메시지를 송수신하기 위한 물리계층 인터페이스는 제어채널의 물리적 연결구조와 제어채널 사용여부에 따라 직접정합, 간접정합, 게이트웨이 정합으로 구분하며, (그림 7)은 In-band 혹은 Out-of-band 제어채널을 가질 수 있는 직접정합의 예이다.

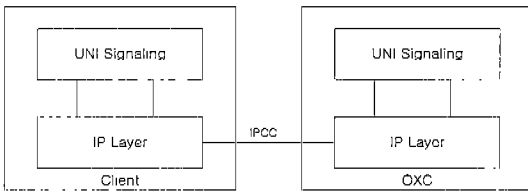


그림 7. 제어채널의 직접정합 구조

4. ODSI(Optical Domain Service Interconnect) Coalition

ON(Optical Network) 인프라와 상위계층 서비스망을 연결하는 일련의 표준 인터페이스와 프로토콜을 개발, 축적을 통해 광 네트워크의 실질적인 진화와 유용성을 가속화시킬 목적으로 광통신 및 네트워크 벤더, 서비스 사업자들이 금년 1월에 설립하였다. IP 라우터, SONET/SDH ADM, Frame Relay 스위치, ATM 스위치 등의 사용자 장비가 단대단 대역을 동적으로 요구하고 설정할 수 있도록 광 도메인에서 동적인 자원관리를 위한 시그널링, 프로비저닝이 핵심적인 이슈이다. 이것은 지금까지의 전용선서비스가 망사업자의 독점적인 통제하에 자원관리가 이루어진 것과는 달리 사용자가 자신의 서비스 수준에 따라 동적으로 대역을 요청하고 해제할 수 있다는 점에서 기존의 개념과 차별화 된다. 서비스 계층과의 제어 및 관리 인터페이스에 초점을 맞추고 있다는 점에서 OIF와 표준화 맥을 같이 하고 있으나 사용자 장치(종단점)가 자신의 수요에 따라 동적으로 대역할당을 요구하고 해제할 수 있다는

점에서 보다 서비스 지향적이다. OIF, IETF에서 중점을 두고 있는 OUNI와 일치시키는 노력도 병행하고 있다. ODSI는 MPLS 트래픽 엔지니어링과 제어 및 OXC를 결합하는 Multi-Protocol Lamda Switching 을 보완, IP 라우터와 ON에서 제공되는 2 레벨 트래픽 엔지니어링을 규정하고 있다.

1월 이후 분기별로 행해진 3차례의 회합을 통해 ODSI 기능, 망관리, 시그널링, 액세스제어 및 계정 관리 등 4개 분야에서 요구사항 수준의 규격이 제정되었다.

[ODSI 기능]

서비스 규격, 프로토콜, 트래픽 엔지니어링, 계정 관리/보안, 관리등을 포함한다. ODSI 서비스는 ODSI 종단 식별, 대역(대역 채널 혹은 회선) 특성, 대역 실행으로 구분하여 정의한다. 종단 식별과 대역 요구 시 IP 어드레싱 및 프로토콜을 이용한다. ODSI는 대역 요청을 위해 사용자 종단점이 참여하는 제3자(third party)의 개입을 허용한다. ODSI 메시지를 송수신하기 위한 제어 채널은 SONET/SDH Line DCC와 같이 사용자 장치와 ON이 직접 연결된 in-band 제어채널과 10Base-T 허브와 같이 간접적으로 연결된 out-of-band 제어채널을 이용할 수 있다.

[시그널링]

ITU-T ASON은 자동적인 광채널 레벨 스위칭을 위한 구조와 시그널링 관련 표준의 기준이 되고 있다. ODSI는 개방 인터페이스의 규정을 목표로 OIF, IETF, ODSI, NSIF, T1등과 함께 ITU-T ASON UNI 시그널링 규격에 따라 프로토콜, 메시지 세트를 규정하는 작업을 진행해 왔다. 메시지 세트에는 기존 MPLS의 RSVP 혹은 CR-LDP에 포함되지 않은 메시지 등을 규정하고 있으며 기존 프로토콜을 복잡화하는 대신에

OGP(optical gateway protocol)라는 새로운 단순 프로토콜을 도입하고 있다. 시그널링 채널의 설정과 종단점의 등록은 전달 포트에 종속된 In-band 채널 구동과 함께 PPP 세션을 통해 자동적으로 수행된다. 시그널링의 주체는 ATM 및 IP 라우터와 같이 채널 및 대역 요청을 하는 OGP 클라이언트와 광 스위치와 같이 광 네트워크의 자원 가용여부를 확인, 클라이언트의 요청 수락여부를 결정하고 자원관리를 수행하는 OGP 서버로 구분하고 있다. 클라이언트와 서버간에는 OGP 세션 및 트랜스포트 운용절차에 따라 세션관리 및 광 채널 관리 메시지를 교환하는 프로토콜들이 규정되어 있다.

(망관리)

광 인터넷에서 망관리 프로토콜을 구동시키기 위한 SNMP 기반의 관리객체와 MIB를 규정하고 있다. 현재, ODSI에서 규정하는 MIB는 SMIV2에 기반하고 있다.

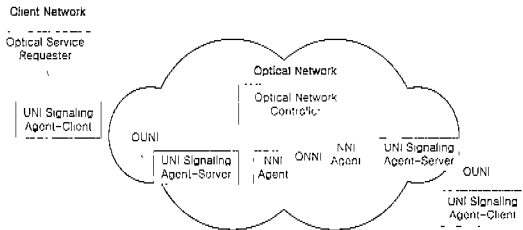


그림 8. ODSI의 망연동 기능모델

5. IEEE 802.3ae

10G 이더넷은 LAN 인터페이스와 WAN 인터페이스 등 2개의 주요 인터페이스 표준을 다루고 있다. LAN 물리계층 인터페이스 표준은 40Km 전송 거리를 지원하는 것으로, WAN 물리계층 인터페이스는 장거리용으로 사용하도록 규정하고 있다. 현재 WAN 규격은 10G SDH 종속 DWDM 전송시스템과 호환성을 유지하는데 목적을 두고 있다. 10G

이더넷은 10G SDH와 같은 속도의 신호를 처리하며 10G 이더넷 장거리 링크를 관리하기 위해 SDH의 핵심적인 운용 장점을 살린 프레임 포맷을 갖도록 규정하고 있다. 이를 위해 별도의 분리된 모듈 대신 SDH와 10G 이더넷에 적용할 수 있는 재생중계 디바이스를 사용할 수 있다. 10G 이더넷에 SDH 프레임 구조를 적용하는 것은 SDH 부품 수요를 촉진시켜 비용 절감에도 효과를 줄 수 있을 것이다. LAN 규격에서는 최근 핫 이슈로 부상하고 있는 고집적 모듈형태의 병렬 VCSEL 어레이와 coarse DWDM과 같은 저가형 광기술을 사용하게 될 것이다.

IV. IP의 동적 파장할당 기술

네트워크 계층의 IP와 물리계층의 광 파장간에 설정되는 결합방식은 비대칭성이면서 버스트성인 인터넷 트래픽의 유연한 수용은 물론 망구축 비용의 절감, 망장애시 복구 등을 효과적으로 실현할 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 이는 점대점(PTP: point to point) 전송으로 제한되는 IPoW를 광 파장 단위의 점대 다점(PTMP: point to multi-point) 전송으로 확장하는 바탕이 되며, 물리적으로 한정된 광 파장의 활용을 극대화 할 수 있는 기반이 된다.

초기 WDM은 전기적 다중의 한계 극복을 통한 전송용량의 확장에 초점이 맞춰졌으나 최근 들어 IP 라우터나 ATM과 같은 상위계층의 노드들에 대한 광 링크의 동적인 결합까지 해결하고 있다. 파장 라우팅은 전기적인 네트워크 계층의 노드 사이에 연결 특성을 개선함으로써 상위 계층의 라우팅을 단순하게 하고, 전송되는 데이터의 오버헤드를 줄여준다. 또한 자원 사용을 개선시키고, 새로운 망 생존성을 설계하기 위한 트래픽 관리가 가능하다. IP기반 광 네트워킹을 위해서는 궁극적으로 WDM 광 계층

(Och: 광채널)과 상위 전기적 네트워크 계층(IP) 사이의 광 적응을 포함하여 넓은 영역에 걸친 광전달 서비스를 위한 광 네트워크 간 인터페이스 표준이 필요하다.

현재 다양한 광 종속채널을 제공하기 위해서 OUNI와 같은 WDM 프로토콜이 개발되고 있다. 이의 주 내용은 광 채널의 구성, 장애 관리 및 서비스 감시 등으로서 광 채널의 대역폭, 품질, 채널할당, 광 라우팅 및 생존성 알고리즘에 집중되고 있다. 예로서 손실, 누화, 분산, 잡음누적 및 비선형 현상과 같은 물리 계층의 특성들이 전기적 네트워크 보다는 광 네트워크에서 더욱 크다는 것은 잘 알려져 있다. 따라서 품질의 속성은 광채널 대역폭, 지연 및 BER과 같은 광학적 QoS 등이 정의되고 있으며, 루트 구성 알고리즘은 채널의 품질을 확보하기 위해 이러한 속성들을 활용하고 있다. 한편 채널 할당계획은 기존의 자원활용 제약사항 및 다른 상위 계층의 요구들을 라우팅 및 생존성 전략에 융화시키고 있다.

광 계층 적응기능은 상위 계층의 프로토콜(IP)에 광 채널을 제공하는 것이다. 적응계층은 루트를 계산하고, 관련 WDM 파장에 광 채널을 할당함으로써 처리된다. 광 채널은 여러 상위 네트워킹 프로토콜 및 응용(트래픽 관리 프로토콜, 파장할당 계획 등) 계층에 의해서 생성된다. 이를 위해서는 가상 토폴로지 설계와 루트선택/파장할당(RWA: routing and wavelength assignment)이 필요하다. 가상 토폴로지 설계는 데이터망 토폴로지 설계와 유사하며, 사용자 트래픽 수요, 노드 자원, 파장할당 계획 및 제약 등이 고려되어 설정된다. 한편 RWA는 광 노드간 채널 설정과 관계된다. RWA는 WDM 망의 자원 활용, 링크의 파장 및 노드의 스위칭/파장 변환 등을 효과적으로 관리하여 네트워크 전달용량 및 블로킹 확률과 같은 다양한 성능 기준들을 최적화 한다. 그렇지만 파장의 연속성 요구, 제한된 파장 변환, 아날로그 감쇠 특성 및 광 파워 제한 등과 같

은 여러 제약들이 RWA 과정을 복잡하게 한다. 파장 수, 블로킹 확률, 지연 등과 같이 비용과 관련된 기능들을 최소화 하기 위한 목적으로 라우팅 문제를 수식화하기 위한 알고리즘들이 제안되고 있는 상태이다.

가상 토폴로지 제어는 상위 계층 프로토콜에서 수행된다. 이는 최근 ATM이나 IP 레벨에서 제안되고 있는 MPLS를 위한 CBR(constraint-based routing)이나 OSPF(open shortest path first) 프로토콜 등과 같은 QoS 확장 방법과 유사하다. MPLS에 있어서 LSP(label-switched paths)와 같은 전체적인 데이터 경로는 혼잡한 라우터의 부하 경감이나 전송효율 개선을 위해 배정루트가 유연하게 재배치되도록 하고 있다. 그럼에도 불구하고 광 계층의 RWA와 상위 계층의 토폴로지 제어를 결합하기 위한 어떠한 방식도 정의되고 있지 못하다. 그러나 네트워크의 규모가 커지고, IP 트래픽의 형태가 더욱 동적으로 예측할 수 없게 될수록 데이터와 광 계층 프로토콜간의 상호작용 성능을 개선하기 위해서는 자동화된 프로토콜 기반의 방식이 필요하게 될 것이다. 즉, 네트워크 자원 활용을 최적화하기 위한 중간 단계의 프로토콜이 개발될 필요가 있다. 이러한 사항들은 연속적으로 네트워크의 성능을 조절하기 위해 패킷 및 WDM 네트워크 토폴로지와 자원 정보를 합성하는데 상당히 긴 시간을 필요로 할 것이다. 따라서 링크 사용 정보를 측정하기 위한 감시 도구가 요구될 것이며, 이들은 기존의 IP 토폴로지를 최적화하는데 사용될 것이다.

망 생존성은 보호(protection) 및 복구(restoration)로 구분할 수 있다. IP기반 WDM 망에서 이들은 광 채널 단위의 라우팅과 IP패킷 단위의 루트 재배정을 통해 이루어진다. 현재 이용되고 있는 'IPoA over SDH'에서는 ATM이나 IP 프로토콜이 ATM 경로 APS(automatic protection switch)와 같은 채널 복구 기능이 제공된다. 이러한 네트워크/경로 계층의 복구 기술은

SDH 계층의 보호기능과 결합하여 WDM 네트워크의 생존성을 제공하지만, 장기적 관점에서 광 계층에서 완벽한 생존 메커니즘이 구현되어야 한다. 광 계층에서의 복구 기능은 운용 시 비용을 절감할 수 있으며, 네트워크 운용자들이 다른 계층의 프로토콜에 의존하지 않고 망 생존성을 제공할 수 있다. 대체적으로 WDM 망 생존 구조는 SDH 망의 보호 및 복구 기능을 참조하고 있다.

WDM망에서는 광 채널 라우팅 기능을 이용하여 다양한 광 채널 보호 기능을 설계할 수 있다. 높은 신뢰성을 요구하는 사용자에게는 전용 예비 채널을 제공하거나 공유 예비 채널을 제공할 수 있다. 전용 보호 구조는 여분의 파장이 필요하기 때문에 보다 많은 네트워크 자원을 필요로 한다. 또한 예비 광 채널의 라우팅이 필요하기 때문에 기본 광 채널의 RWA 알고리즘을 보다 밀접하게 융합시켜야 한다. 또한 동적인 네트워크 환경에서는 채널의 유용성을 개선하기 위해서 운용 채널과 예비채널을 통해 다양한 경로선택 능력을 적용하기도 한다. 이는 신뢰성을 향상시키지만 그만큼 라우팅 알고리즘을 복잡하게 한다. 공유 예비 채널을 제공하는 보호 구조에서는 채널 블로킹 비율이 작지만, 채널 복구 확률도 그

만큼 낮아진다. 망 생존성을 위해서는 대부분 충분히 여유있는 네트워크 자원을 필요로 한다. 따라서 효율적인 가상 토폴로지 설계 방법 및 새로운 구조의 RWA 프로토콜의 개발이 요구된다.

V. IPoW 응용 동향 및 전망

1. IPoW 망 응용

인터넷 트래픽의 폭증은 IP over Fiber 기술의 발전을 주도하고 있으며, IP기반 광 전달망의 구성 또한 급속히 변화시키고 있다. 초기 IP over Fiber 기술은 ISP간 연결 시 단일파장에 SDH 프레임 또는 이더넷 프레임, FDDI프레임 등을 적용한 고속 PTP전송에 중점을 두었다. 그러나 IP트래픽의 급증과 더불어 라우터의 초 대용량화는 보다 고속의 전송링크를 요구하고 있다. 이를 실현하기 위한 현실적인 대안으로, 기존 TDM 하부구조를 통해서 대용량 데이터가 전달될 수 있도록 SDH 전송 속도를 높이거나 이더넷 속도의 고속화, WDM 기반 광 네트워킹 하부구조로 이전하는 방법이 고려될

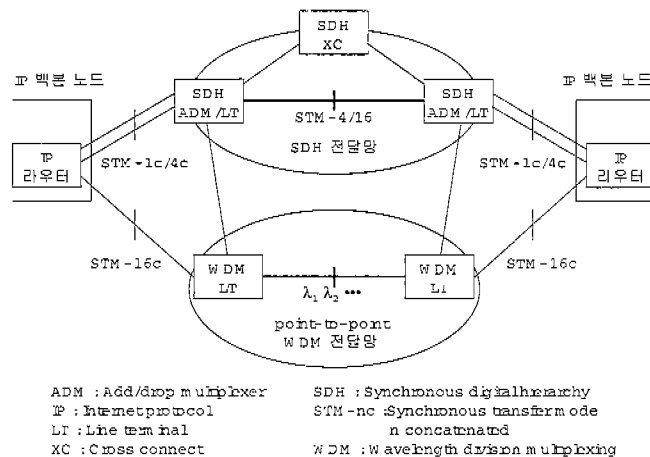


그림 9. 광인터넷 백본망의 구성

수 있다. 최근에는 데이터 전송용량의 증대 속도가 전기적 다중화 기술발전 속도를 훨씬 앞지르고 있고, 전송속도가 전기적 다중화의 한계를 초과하는 용량으로까지 발전되고 있다. WDM기술 발전이 이를 수용할 수 있을 정도로 빠르게 진전됨에 따라 SDH기반 또는 기가비트 이더넷 기반의 단일파장 전송보다는 WDM 다중파장 전송의 필요성이 점차 힘을 더해가는 상황에 있다. WDM 초기 응용에서는 주로 PSTN 또는 IP 데이터를 실은 단일파장 전송 신호들을 대상으로 파장다중화하여 PTP 전송하는데 적용되며, IP트래픽의 증대에 따라 WDM 기능이 라우터에 직접 탑재되는 IPoW가 채용될 것으로 보인다. 초기의 IPoW방식은 주로 라우터와 라우터간을 직접 연결하는 PTP전송로에 적용될 것이다. 그러나 IPoW는 IP 라우팅과 결합된 동적 파장 할당이 가능하여 궁극적으로 광파장 단위의 라우팅 기능을 갖는 광교차연결장치(OXC: optical cross-connect), 광파장분기결합기(OADM: optical add-drop multiplex) 등을 통해 PTMP 전송으로 발전될 것이다.

(그림 9)는 현재 구성되고 있는 IP기반 WDM 적용 초기단계의 일례를 보인 것으로서 고속 데이터

링크를 위한 광네트워킹 전달망 하부구조를 구축하기 위해 WDM 을 이용한 것이다.

(그림 9)의 구성은 현재의 광 인터넷으로서 기존 TDM 망에 의해 수용될 수 있는 데이터 링크는 라우터 노드의 상호 접속에 의해 SDH 전달망으로 전송되고, 2.5Gb/s 또는 그 이상의 수용될 수 없는 데이터 링크는 PTP WDM 구조를 이용하여 전달된다. 데이터 전달을 위한 이러한 방식의 장점은 새로운 대용량 데이터 인터페이스가 전달망의 변경 없이 백본 라우터에 추가될 수 있다는 점이다. 더욱이 WDM의 이용은 IPoS, 1000BaseT 및 IPoA 등과 같은 여러 개의 인터페이스 기술을 하나의 전달망 하부구조를 통해 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 단순한 점대점 WDM구성이 아닌 보다 유연한 광네트워킹은 OADM 이나 OXC와 같은 광파장을 네트워킹할 수 있는 장치의 개발에 따라 가능하게 될 것이다. 파장의 유연한 라우팅에 추가하여, 파장 네트워킹은 오늘날의 SDH 기반 전달망에 의해 제공되는 기능과 비슷한 보호절체 및 복구 기능을 포함한다. (그림 10)은 향후 IPoW 기반 광 네트워크로서 보다 진보된 광 인터넷을 나타낸 것이다.

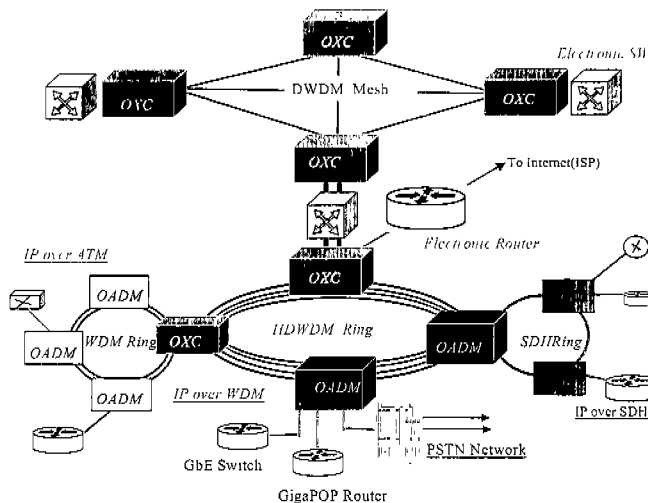


그림 10. 보다 진보된 광 인터넷 구조

2. IPoW 핵심 기술

ITU-T의 규정에 따른 WDM망 내의 광 신호 네트워킹을 위한 계층을 보면, 광전 변환을 통해 특정 단일파장 광신호가 생성·중단되는 광 채널 구간, 특정 WDM신호가 생성·중단되는 광다중 구간, 그리고 WDM신호가 중계전송되는 광전송 구간으로 구성된다.

광 채널 계층은 SDH나 ATM 셀과 같은 다양한 형태의 종속 신호들을 운반하기 위해 광 채널들을 상호 연결해 주며, 성능이나 장애를 감시하기 위한 오버헤드를 포함한다. 광다중 계층은 다파장 광신호의 네트워킹을 가능하게 하며, 성능이나 장애를 감시하기 위한 오버헤드를 포함한다. 광전송 계층은 다양한 종류의 광선로 상에서 광신호들을 전송할 수 있게 하며, 광전송 구간에 존재하는 광증폭기나 중계기를 감시한다. 이와 같이 WDM망 내의 각 계층별 네트워킹에 필요한 중요기술로는 디지털 랩퍼(wrapper), IP의 광 채널 적응기술, 네트워킹기술 등이 있다.

최근 ITU-T에 의해 표준화가 마무리되고 있는 디지털 랩퍼는 WDM이 단순한 점대점 전달에서 진

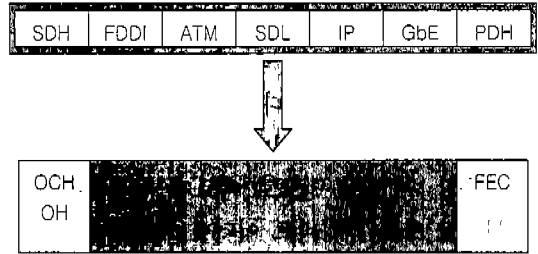


그림 11. 디지털 랩퍼(digital wrapper)

정한 의미의 네트워킹 기술로 발전하는데 필요한 현실적으로 대안으로 인식되고 있다. 즉, 디지털 랩퍼는 광전 변환기술의 필요성을 희석함으로써 광학적 투명성을 갖는 광네트워킹의 구현에 한발 다가서게 하고 있다. 디지털 랩퍼는 SDH, PDH 및 패킷 기반의 트래픽인 IP, ATM, GbE (gigabit ethernet) 및 SDL 신호 프레임들 광 채널의 패이로드에 넣고 여기에 광 채널의 중단점간 OAM을 위한 오버헤드와 전송성능을 개선하기 위한 에러 정정용 오버헤드(FEC)를 (그림 11)과 같이 덧붙여서 프레임들 형성한다. 이 개념은 SDH와 유사한 기능 및 신뢰성을 제공할 것이며, 광 채널 단위의 네트워킹을 위한 핵심이 된다.

IP의 광 채널 적응 면에서 보면, 앞서 언급한 대

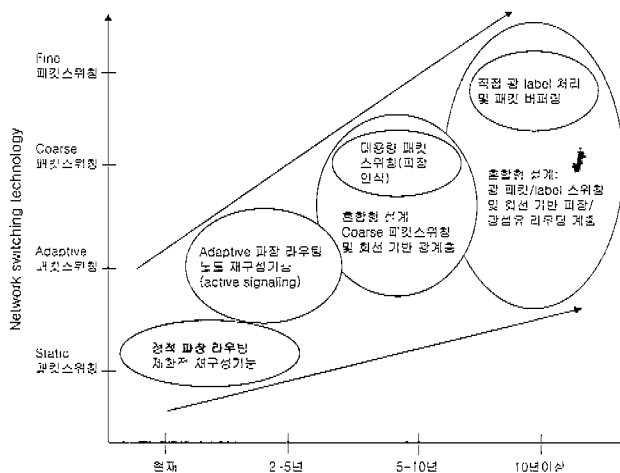


그림 12. 광네트워크 기술의 발전

로 WDM에 IP 패킷을 맵핑하기 위한 많은 방법들이 있으나 이들 중 밴드 효율성 측면에서는 IP over SDL over WDM 이 가장 효율적이다. 그러나 여기서 적용되는 SDL도 안정된 전송로 구성에 대한 모든 요구사항을 만족시키지는 못하기 때문에 새로운 개념의 프로토콜이나 다양한 망 운용이 요구된다. 즉, WDM 망에서 광 신호들은 잡음 누적, 분산, 광섬유의 비 선형 특성, 지터 누적(트랜스폰더 또는 전광 파장변환기 등), 광 세기의 변화, 광섬유 및 장치 장애 등과 같은 많은 요소들에 의해 에러 및 신호손실 등이 야기된다. 따라서 새로운 개념의 프로토콜들이 제안되고 있으며, 유연한 대역 제어기능을 갖는 프로토콜로서 DTM(dynamic transfer mode), POS(packet over SDH) 기반의 MAPOS (multiple access protocol over SDH) 및 광 환형망에서의 응용을 목적으로 한 DPT(dynamic packet transport)등이 있다.

다음으로 네트워킹 기술 측면에서 살펴본다. 장기적인 광 네트워크의 진화방향을 가늠하는 것은 용이하지 않지만, 대체로 (그림 12)와 같은 모양을 할 것으로 예상된다. 현재와 같은 정적인 파장 라우팅 및 제한된 규모의 회선 기반 망 구성기술이 개발되어 정적인 광 채널 구성으로부터 동적 구조로 발전하고 있다. 향후 네트워크는 광학적인 회선기반 스위칭 기술과 고속의 전기적인 패킷 기반 스위칭기술이 혼합된 스위칭 패러다임을 도입할 것이다. 이는 대형 테라비트 POP(point of presence)를 위한 전기적 신호처리의 어려움을 크게 축소시킬 수 있으며, 많은 네트워크 운전자들은 하나의 장치에서 많은 기능을 제공하는 방식을 추구할 것이다. WDM 기술의 발전은 물리적인 광섬유 레벨에서 확장성을 확보할 것이며, 특히 광섬유 레벨에서의 스위칭은 고가의 광 부품 사용을 절약함으로써 더욱 저비용의 서비스를 제공할 수 있게 할 것이다. MEMS (micro-electro mechanical switch)과 같은 광 스위칭 기술은 동일한 광섬유 상에서 광 채널이

묶여지고 스위칭 될 수 있도록 한다. 광 링크 및 광 채널의 삽입, 추출 및 처리를 위한 전광 혼합형의 FWP (fiber-wavelength-packet)과 같은 새로운 구조의 스위칭 구조도 제안되고 있다.

WDM 라우팅 네트워크는 근본적으로 광학적 회선 기반 망이다. 최근들어 광 패킷 스위칭이나 광 버스트 스위칭과 같이 회선 교환이 아닌 접근 방식에 많은 관심이 집중되고 있다. 광 패킷 스위칭의 주된 과제는 헤더 비트를 광학적으로 처리하는 문제이며, 소자 및 부품 레벨에서의 기술 개발이 필요하다.

VI. 결 언

최근 들어 급진적으로 발전하고 있는 WDM 기술은 광 링크의 전송 용량을 획기적으로 확장시켜 이미 테라 급 WDM시스템이 금년내에 상용화될 것으로 예상되고 있다. 나아가 광섬유, 광 증폭, 광 필터 등 광 부품 기술의 비약적인 발전은 광 파장 라우팅을 가능하게 하는 OADM과 OXC의 뚜렷한 진전을 가져오고 있고 이들 장치들의 고성능화를 통해 새로운 차원의 광 네트워킹 시대가 도래하고 있다. 본 고에서는 이러한 기술적 상황 전개아래서 이루어지고 있는 IP와 WDM의 밀 결합을 통한 새로운 인터넷 백본 망 구축의 핵심인 IPoW방식의 실체와 표준화 동향, 광 파장 라우팅 방식, IPoW 관련 기술 동향 및 향후 전망 등에 대해 간단히 살펴보았다.

향후 정보통신망의 기반은 IP 기반 광 네트워크 즉, 광 인터넷이 될 것이며, 이는 초대용량 전송의 용이한 실현은 물론 초고속 IP 백본을 제어하고 관리하는데 있어서 기존 방식보다 복잡도를 크게 감소시킬 것이다. 또한 기존에는 단순 단일 물리계층으로만 취급했던 광 전송로를 3계층으로 분리하여 광 파장 단위의 네트워킹과 IP데이터의 동적 파장 할당 등을 가능하게 함으로서 저 비용 고성능의 초고속 광 전달망이 조만간 구축될 것으로 보인다. 그렇지

만 이를 위해서는 앞으로 관련 광 소자를 포함하여 네트워크 제어와 관리 영역에서 해결해야 할 문제점들이 산재해 있으며, 나아가 기존 네트워킹 및 관리 구조에 대한 점진적인 진화전략도 필요하다.

한편 IPoW 기반 광 인터넷의 구축과 활용을 활성화하기 위해서는 ISP들이 광 인터넷 망 내에서 그들 링크의 연결을 이해하고, 동시에 해당 광 채널 계층의 신호 성능 및 열화 상태를 추적할 수 있어야 한다. 즉, 사용자가 요구하는 트래픽의 성능이 보장 되도록 단대 단간 투명성을 유지하든지 아니면 사용자가 IP 데이터의 열화나 트래픽 병목에 대한 정확한 진단이 가능하도록 망 내부의 연결상태를 정확히 판단할 수 있도록 해야 한다. 이 문제는 QoS가 보장되는 IPoA와는 달리 IPoS나 IPoW와 같은 IP 기반 전달로에서 더욱 중요하다.

※참고문헌

- [1] J. Anderson, et.al., Protocol and Architectures for IP optical networking, BLTJ, January-March, 1999.
- [2] EURESCOM Project P918-GI. Deliverable 1, IP over WDM, Transport and Routing
- [3] T. W. Chung, et.al., Architectural and Engineering Issues for Building an Optical Internet , CANARIE CA*NET3, Sept. 1998.
- [4] O. Gerstel, On the Future of Wavelength Routing Networks , IEEE Network Magazine, Nov./Dec., 1996.
- [5] N. Ghani, et.al., On IP-over-WDM Integration , IEEE Commun. Mag., March, 2000
- [6] L. Kahn, DTM for traffic management over DWDM , Optical Internetworking Forum, OIF 98.022, Oct. 1998.
- [7] L. McAdams, Dynamic Packet Transport, Optical Internetworking Forum, OIF 99.030, April, 1999.
- [8] B. Rajagopalan, et.al., IP over Optical Networks: A Framework, Internet Engineering Task Force(IETF), Internet Draft, draft-many-ip-optical-framework-01.txt, July, 2000.
- [9] G. Bernstein, et.al., Optical Domain Service Interconnect(ODSI) Functional Specification, ODSI Coalition, April, 2000.
- [10] Paul Bonenfant, et. Al., IP over WDM: The Missing Link , NFOEC 99 Technical Proceedings, Sept. 1999.
- [11] D. O Connor, et. Al., Packet Over SONET and WDM-Survey and Comparison , NFOEC 99 Technical Proceedings, Sept. 1999.
- [12] ANSI T1Xa.5/99-003, A Proposal Implementation for a Digital Wrapper for OCh Overhead, J. Ballintine, Lucent Technologies (Jan. 1999).
- [13] ITU-T Rec. G.872, Optical Transport Networks. Feb. 1999.

김 재 근

1983년 고려대학교 대학원 전자공학과 (석사)
 1990년 고려대학교 대학원 전자공학과 (박사)
 1979년~2000년 한국전자통신연구원, 광통신연구
 부장, 광대역통신망연구부장
 2000년~현재 주식회사 텔리언 대표이사

이 동 호

1981년 서강대학교 물리학과 졸업(학사)
 1984년 서강대학교 대학원 물리학과 졸업(석사)
 2000년 서강대학교 대학원 물리학과 박사과정 수료
 1984년~1999년 한국전자통신연구원 테라광링크기
 술 팀장
 2000년~현재 주식회사 텔리언 광기술팀장

노 장 래

1982년 성균관대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1985년 KAIST 산업공학과 졸업(석사)
 1985년~1999년 한국전자통신연구원 액세스소프트
 웨어 팀장
 2000년~현재 주식회사 텔리언 제품기획 팀장