主題

광전달망 라우팅 및 시그널링 프로토콜 기술

한국전자통신연구원 최 수 현, 정 유 현, 이 유 경

차 례

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. GMPLS 기반의 라우팅 및 시그널링 기술의 이해
Ⅲ. 광전달망 라우팅 이슈
Ⅳ. 네트워크 자원 및 토폴로지 정보 획득
Ⅴ. 광전달망 시그널링 프로토콜 확장
Ⅵ. 결 론

요 약

본 논문에서는 광전달망에서 토의가 진행되고 있는 경로 라우팅 문제와 시그널링 프로토콜 기술에 관하여 기술한다. 광전달망의 구조는 백본 네트워크 코어부분에 광회선분배기(Optical Crossconnect: OXC)가 있고, 에지의 IP 라우터와 연결되는 형태로 가정한다. 기술하게 될 광 라우팅 및 시그널링 문제들은 Generalized Multi-Protocol Label Switch(GMPLS) 기술을 근간으로 하고 있다. 특히 본 논문에서 IP 라우팅과 시그널링을 광전달망에 적용하기 위해 필요한 기술들에 대하여 기술한다.

Ⅰ. 서 론

지난 수년간, 폭발적으로 증가하는 인터넷 사용자의 수와 그 요구사항에 부합하기 위한 하나의 방법으로 Dense Wavelength-Division Multiplexing(DWDM) 네트워크를 도입하여 왔다. 초창기 DWDM 네트워크는 Point-to-Point(PTP) 형태의 연결구조를 채택하였으나, Optical Add/Drop Multiplexer(OADM) 및 OXC와 같은 새로운 장비들이 출시되면서 DWDM망은 일반 IP 네트워크와 마찬가지로 라우팅 및 스위칭 기능을 가질 수 있게 되었다. 따라서 IP over DWDM 네트워크 환경에서 상위계층 인터네트워킹 프로토콜 기술의 중요성이 대두되기 시작했다. 그러나 광전달망의 구조가 점차 복잡해지게 됨에 따라 광전달망과 기존의 네트워크사이의 인터네트워킹은 쉽게 해결될 문제가 아닌 것으로 인식되고 있다. 특히 광경로(lightpath) 설정 시그널링 프로토콜 기술 및 라우팅 기술은 광전달망을 성공적으로 이끌기 위한 중요한 요소이다.

광전달망의 구성은 투명한(transparent, all-optical) 네트워크 혹은 불투명한(opaque) 네트워크로 구성할 수 있다. 불투명한 네트워크에서 각각의 광경로(lightpath)들은 광 전달망 내의 모든 중간 노드마다 O-E-O(Optical-Electronic-Optical)

변환 및 신호 재 생성과정을 거치게 된다. 이러한 구조의 가장 큰 단점은 각 중간노드에서 수행해야 되는 O-E-O 프로세스의 비용 문제이다. 이러한 비용은 파장 트랜스폰더(wavelength transponder)을 써야 하는 문제와 그와 관련된 전기적 회로를 각각의 중간노드마다 설치해야 하기 때문에 발생하게 된다. 또 불투명한 네트워크는 bit rate, protocol 및 format과 밀접한 관계에 있어서 불투명한 광전달망을 통해 전달되는 동안 이러한 특성들을 잃게 된다는 문제점이 있다. 가장 큰 장점으로 불투명한 네트워크는 스위칭 기능과 전달기능을 분리할 수 있다는 것이고, 동시에 광경로를 따라 발생할 수 있는 신호감쇄/상실의 누적을 피할 수 있다는 것이다. 또 다른 이점은 다양한 벤더 제품들을 통한 광경로 설정이 가능하다는 것이고, 트래픽 모니터링이 가능해짐으로써 성능향상을 꾀할 수 있다는 것이다. 반면에 투명한(transparent, all-optical) 네트워크에서는 전기적 신호 재생기 및 O-E-O 변환은 없다. 전광 네트워크(all-optical network)는 서로 다른 bit rate, protocol 및 format 지원이 가능하다. 모든 중간 노드에서의 O-E-O 변환이 없기 때문에 총 트래픽 전달 지연을 현격히 줄일 수 있다. 그러나 all-optical 네트워크에서는 세부적인 트래픽 모니터링을 할 수 없다는 단점이 있다.

광전달망의 계층을 구성하는데 있어서는 ATM 계층을 제외한 단순 IP over WDM 구조를 채택하는 방향으로 합의가 이루어지고 있다. 여기에는 Synchronous Optical Network(SONET) 계층마저 제외하는 것으로 되어 있고, IP 커뮤니티와 optical 커뮤니티는 네트워크를 컨트롤 하는데 있어서 GMPLS[1-6]를 채택하는 것으로 의견이 일치되고 있으며, 이는 현재 여러 표준화 기구들에서 표준화가 진행 중에 있다. 이것은 현존의 네트워크 트래픽의 대부분이 IP가 잠식하고 있음에 따라 기존의 IP/ MPLS 네트워크 트래픽을 대용량 광전달망내로 수용하고자 하는 것이다.

본 논문에서 고려하는 광전달망의 구조는 그림 1과 같다. 클라이언트의 IP 라우터들은 광네트워크의

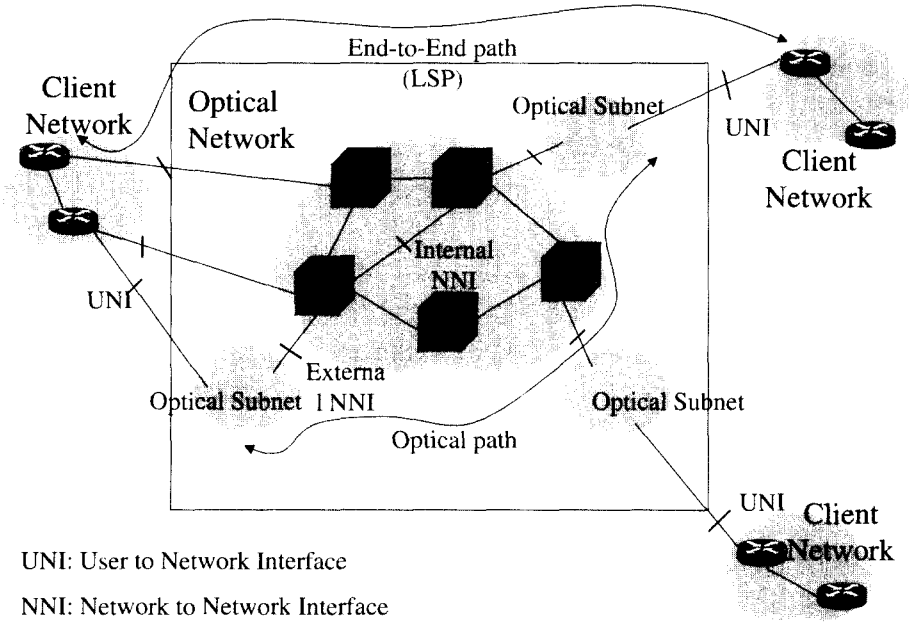

그림 1. 광전달망 연결 모델

코어에 연결되어 있고, 그 IP 라우터의 peer들과는 동적으로 설정된 광경로를 통하여 연결되어 있다.

상기 네트워크 구조는 오버레이 모델(Overlay Model) 과 피어모델(Peer Model)의 두가지 측면으로 기술할 수 있다.[7,8] 오버레이 모델은 클라이언트-서버 모델과 유사한 것으로 IP 도메인을 광전달망의 클라이언트로 간주할 수 있다. 이 모델에서의 광전달망은 IP 패킷들을 광전달망내에 수용하기 위한 point-to-point 광 링크를 제공한다. 각 엔드 유저는 User-to-Network Interface(UNI)[9,10]라는 시그널링 과정을 통해 고속의 대용량 대역폭의 경로를 요청한다. 반면에 서브넷의 연결은 Network-to-Network Interface(NNI)[9]이라는 시그널링 및 라우팅 프로토콜을 이용하여 연결된다. 피어 모델의 각 엔드 유저들은 네트워크내의 모든 개체들과 peer 관계를 유지하고 있기 때문에 광전달망내의 모든 토폴로지 정보들을 알고있다. 이러한 토폴로지 정보들을 이용하여 각 엔드 유저는 광전달망내의 경로를 유저의 요구사항대로 계산해 낼 수 있다. 기능적인 측면만으로 볼 때에는 오버레이 모델은 피어 모델 내에서도 토폴로지 정보의 공유기능을 차단함으로써 만들어 질 수 있다. 즉, 피어 모델은 오버레이 모델의 수퍼셋(super set)이 되는 셈이다. 이러한 관점에서 컨트롤 도메인에 적용되는 프로토콜을 구현하는데 있어서 각각 별개의 프로토콜 스택을 구현하는 것 보다 오버레이 모델과 피어 모델에 공통으로 적용할 수 있는 단일의 라우팅 및 시그널링 프로토콜[4]이 요구되기 시작하였고, 최근 큰 관심의 대상이 되고 있는 GMPLS[1]로 컨센서스가 모아지고 있다.

그림 1에서 UNI는 광전달망과 IP 라우터사이의 동적인 대역폭을 요구/승인이 가능하게 하는 인터페이스이다. 동시에 UNI는 서브넷과 IP 라우터, 서브넷과 SONET 장비들 사이에서도 적용이 가능하다. 이러한 클라이언트(예, IP 라우터, SONET ADM 등)와 서버(예, 광네트워크)사이에서 제어평면(Control Plane)을 정의하여 Neighbor Discovery(ND), Service Discovery(SD), 어드레스 할당, 도달정보 및 제공가능한 대역폭 용량 등과 같은 정보를 주고 받는다. 광전달망에서의 UNI는 인텔리전트한 광네트워크가 클라이언트에게 bandwidth on demand, point-and-click provisioning, optical virtual private network (VPN)의 기능을 지원할 수 있도록 한다. 최근 Optical Internetworking Forum(OIF)에서 제안한 UNI 1.0[10]이 완성되었으며, OIF의 UNI 1.0은 IETF의 GMPLS에 근간한다. 반면에 Optical Domain Service Interconnect (ODSI)는 이미 UNI[11] demo를 2000년 12월에 끝마쳤고, 현재 모든 공식적인 활동을 하지 않는 상태이다.

OIF에서는 최근 optical NNI의 연구를 활발히 진행하고 있다. optical NNI는 internal NNI와 external NNI로 나뉘어진다. External NNI는 네트워크와 네트워크 사이의 인터페이스로 서로 다른 관리자 도메인이 될 수도 있고, 같은 관리자 도메인 내의 서브도메인 사이의 인터페이스도 될 수 있다. Internal NNI는 같은 관리자 도메인 내 두 개의 서로 다른 노드사이의 인터페이스 이다. External NNI는 마치 UNI와 같은 역할을 하며 external NNI는 시그널링 신호가 도메인 경계부근에서 다시 처리된다는 점에서 UNI와 유사한 역할을 한다. NNI 신호는 광전달망 노드사이의 제어평면에서 이루어지게 되며, 별도의 신호체계 네트워크를 이용하는 out-of-band 혹은 데이터 채널과 같은 네트워크를 사용하는 in-band의 두가지 방법으로 모두 가능하다. 현재 OIF와 IETF에서 인터도메인간의 NNI를 규정하는 문서[12-16]를 업데이트하고 있는 중이다.

Ⅱ. GMPLS 기반의 라우팅 및 시그널링 기술의 이해

광전달망 내에서의 동적인 광경로 설정 및 라우팅은 GMPLS의 제어평면 및 라우팅 평면에 기반한다[17]. 그림 2와 그림 3은 상위레벨의 시그널링과 라우팅 모듈을 표현하고 있다.

IP 개발 업체와 광 네트워크 개발 업체에서는 IP와 광 인터넷을 접목시키기 위한 적절한 방안에 대하여 공통적인 고민을 하고 있었으며 광 인터넷의 제어평면을 구상하는데 있어서 기존 IP/MPLS (Multi-Protocol Label Switching) 제어 평면의 내용을 수용하는 방안으로 논의가 이루어졌다. 그 결과로 MPLS 제어평면을 확장한 GMPLS 제어평면이 구성되었다.

IP/MPLS의 제어평면을 활용하자는 기본적인 아이디어는 다음과 같이 요약될 수 있다. 제어평면은 광 네트워크상의 모든 노드에서 돌아가는 여러 개의 IP/MPLS의 프로토콜과 알고리즘의 세트로 구성되어 있다. 광 네트워크에 적용될 라우팅 프로토콜의 종류로는 Open Shortest Path First(OSPF)-Traffic Engineering(TE)의 확장[5], Intermediate System to Intermediate System (ISIS)-TE의 확장[6] 혹은 Border Gateway Protocol(BGP)의 확장등이 있고, 이들의 역할은 네트워크 토폴로지 데이터 베이스 정보 및 링크 상태 정보들을 관리한다. Constraint-based 라우팅 알고리즘은 이와 같은 데이터 베이스 및 링크 상태정보를 이용하여 광 네트워크 상에서의 적절한 경로를 계산한다. 경로는 주 경로(primary path)와 보호/복구경로(protection/restoration path)로 각각 개별적으로 계산할 수 있다. 일단 경로가 설정되면은 Resource Reservation Protocol(RSVP)-TE의 확장[2] 혹은 Constraint-based Routing Label Distribution Protocol(CR-LDP)의 확장[3] 시그널링 프로토콜 경로를 설정한다. 일반적으로 모든 IP 영역의 서비스 어플리케이션들과 더불어 자원 최적화 알고리즘 등은 OXC 혹은 OADM에 적합한 확장이나 개발이 필요하며, 구체적인 내용은 그림 2와 같다.

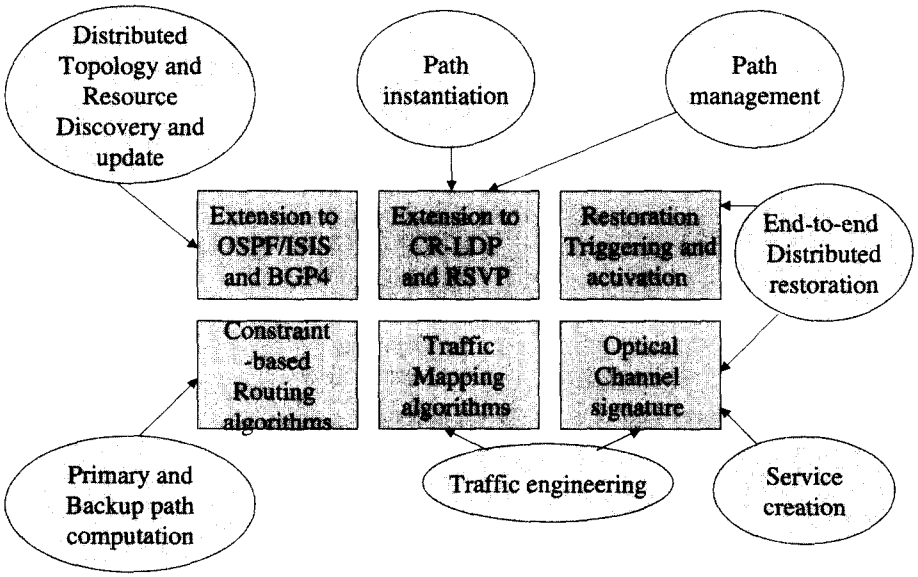

그림 2. 광전달망의 제어평면의 프로토콜 및 알고리즘

광 인터넷을 구현하기 위해 반드시 언급해야 할 몇 가지 주요 사항이 있는데, 가장 먼저 다루어져야 할 것은 광 경로의 쌍방향 지원 및 광 경로 복구를 위한 시그널링 지원 문제이다. 광 채널에서, 쌍방향 포워딩을 위해 선택된 OXC의 출력 포트는 역방향 경로의 입력 포트가 될 수 있다. 이것은 MPLS - Label Switched Path(LSP)가 단방향인 것과는 상반되는 것이다. 따라서 광 채널을 설정하는 단계에서 컬리젼(collision)및 레이스(race) 조건을 피하기 위해서는 RSVP-TE및 CR-LDP를 적절히 확장시켜서 이 문제를 해결하여야 한다.

그림 3은 GMPLS 기반의 라우팅 모듈을 표시한 것으로 OSPF-TE의 확장, ISIS-TE의 확장된 라우팅 프로토콜이 광전달망 토폴로지 정보를 주고 받도록 모듈이 설계되어 있는 것을 알 수 있다. 여기에서는 자원의 가용성 및 정책정보까지 함께 전달 될 수 있도록 모듈을 확장하여 표시하였다. 이러한 기능들은 Link State Advertisement(LSA)들을 통하여 이루어지며, 이 정보들은 LSA/TE 데이터 베이스에 기록된다. 위에서 언급하였듯이 시그널링 프로토콜을 통하여 최종적으로 경로를 열어주며 RSVP-TE 및 CR-LDP가 GMPLS를 지원할 수 있도록 확장되고 있다. 그림 3에서 Path Selector는 연결설정 요구사항에 부합되는 광 경로를 계산하며, 네트워크 파라미터(예, 네트워크 자원 활용도)를 최적화하는 조건에서의 광 경로를 계산하게 된다.

광전달망의 주요한 목표는 고속의 단대단 광 경로 설정 및 복구이다. 일반적으로 다음과 같은 세 가지의 주요한 요소들이 있다.

• Resource Discovery(RD) : RD를 수행함으로써 네트워크 자원의 상태정보 - 예, 네트워크 연결성 정보, 링크 용량, 및 특별한 제약 사항 -등을 알 수 있다. 여기서는 상태 정보를 전달하는 메커니즘에 대하여 규정하고 있다. RD기능의 지원을 위해서는 광 네트워크 자원정보를 기존의 IGP의 LSA에 기록할 수 있도록 하는 적절한 확장이 필요하다.

• Path Selection(PS) : PS는 광전달망에서 광 경로 설정 요구사항대로 적절한 경로를 선택하기

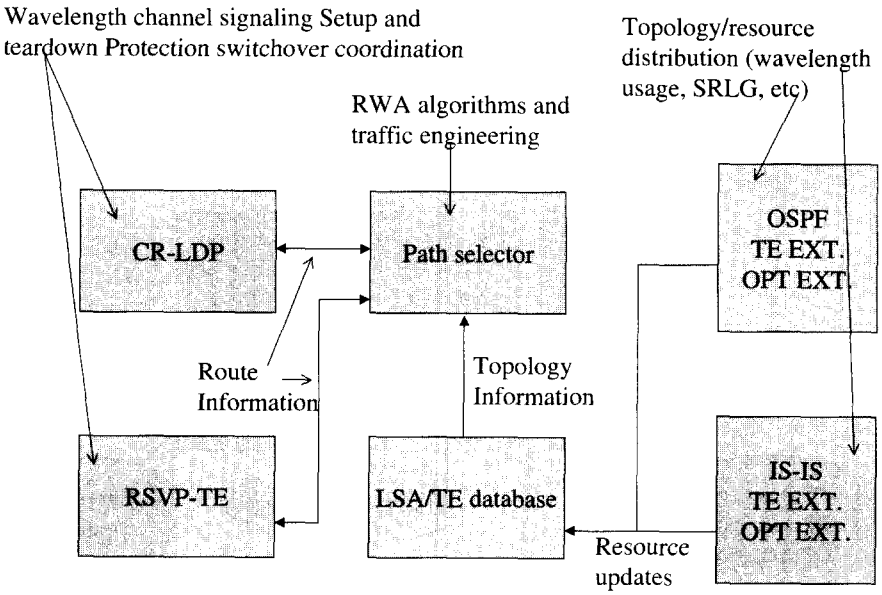

그림 3. 광전달망에서의 라우팅을 위한 GMPLS 모듈

위한 메커니즘이다. 이 메커니즘은 기존의 constraint-based 라우팅을 확장함으로써 구현 가능하고, 광 네트워크상에서의 운용상의 제약사항 혹은 물리적인 제약사항을 고려해야 한다.

• Path Management(PM) : PM은 레이블 분배, 경로 설정, 경로 유지, 그리고 경로 해제로 구성된다. 이러한 기능들은 RSVP-TE 혹은 CR-LDP의 시그널링 프로토콜을 확장함으로써 구현될 수 있다.[18]

위의 세가지 컴포넌트들은 각각 별개의 독립적인 것이며, 본 논문에서는 라우팅 및 시그널링 관점에서 각각의 컴포넌트들에 대하여 기술한다.

Ⅲ. 광전달망 라우팅 이슈

광전달망 위에서의 라우팅 문제를 논하기 이전에, 우리는 간단히 IP 라우팅과 광 라우팅의 근본적인 차이점을 간단히 살펴보기로 한다.

전통적인 IP 네트워크에서는 홉에 의해서 패킷을 전달하는 방식인 반면에 광 네트워크에서의 단대단 광 경로는 네트워크 토폴로지와 네트워크 자원에 의해 명시적으로 설정되어야 한다. 광 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 네트워크 토폴로지 정보 및 네트워크 자원을 업데이트 하는데 이용은 되지만 실질적인 데이터를 포워딩 하는데 이용되는 것은 아니다. 잘못된 토폴로지 및 자원정보는 새로운 연결 설정에 영향을 미칠 가능성이 있지만 기존 연결의 해제에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 경로 설정에 영향을 미치는 모든 정보는 라우팅 프로토콜의 LSA에 포함되어 고려되어야 한다. IP 라우팅과의 또 하나의 다른 점은 IP 네트워크는 데이터 채널과 컨트롤 채널이 합쳐져 있는 형태, 즉 컨트롤 채널은 데이터 채널에 내장된 형태를 띄는 반면에 광 네트워크에서는 데이터 채널과 컨트롤 채널이 분리되어 있다는 것이다. 일반적으로 컨트롤 정보들은 out-of-band 채널에 의해 전달된다. 이로 인하여 광전달망의 라우팅 및 시그널링 프로토콜에서 특별히 고려해야 할 다음과 같은 사항들이 생긴다.

1. 물리적 계층의 제약사항

전광 네트워크(all-optical network)는 다양한 아날로그 트랜스미션 제약사항을 가지므로 네트워크 상태정보 업데이트에 이 부분을 고려해야 한다. 예를 들어 전송장비의 전력 문제, 편광 모드 분산(PMD; Polarization Mode Dispersion), 색 분산(chromatic dispersion), 증폭기 자연 발산(ASE ; Amplifier Spontaneous Emission), 간섭현상 그리고 다른 비선형 특성과 같은 모든 변수들은 광 경로 설정에 고려되어야 한다.[19] 현재 대부분의 광 라우팅 문제에 있어서 광 신호는 항상 적절하다는 가정하에 이와 같은 물리적 제약사항은 고려하지 않고 있다. 실제로 이와 같은 효과를 내기 위해서는 전광 네트워크를 작은 몇 개의 서브 네트워크로 분할하여 유사한 효과를 얻는다.

그러나 네트워크 크기가 증가할수록 모든 광 신호를 적절한 신호 레벨로 유지하기 위한 도메인의 투명성 확보가 어렵다. 이 경우에는 다양한 물리적 제약사항이 네트워크 상태정보에 포함되도록 고려되어야 한다. 특정 경로를 선택하는데 있어서 영향을 미치게 될 각각의 손실 정보들이 LSA에 포함되어야 하며, 이러한 LSA 정보들은 추후 경로 계산에서 반영되어야 한다. 하지만 어떤 정보를 LSA에 포함시켜는 것이 적합한지 아직 많은 연구가 필요하다. 현재 IETF의 IPO 워킹그룹에서는 이와 관련된 Internet Draft가 제안되어 있는 상태이다.[20]

2. 파장 전환 제약사항

파장 전환(Wavelength Conversion; WC)은

광전달망에서의 라우팅 문제에 또 다른 문제를 제기한다. 특히 전광네트워크(all-optical network)에서는 단대단 파장의 연속성이 보장되어야 하는데 이것은 경로 및 파장할당 문제(Routing and Wavelength Assignment: RWA)를 더욱 어렵게 하는 요소이다. 경로 계산에 의해 선택된 경로에서 하나의 파장은 단대단 연속성을 보장해 주어야 한다. 따라서 어떠한 파장이 가용한지를 나타내어주는 추가적인 정보가 필요하다.[18] 그러나 이러한 정보들이 IGP의 LSA에 포함될 경우 많은 양의 정보데이터가 추가되기 때문에 또 다른 오버헤드로 작용될 수 있는 단점이 있다.

3. Diversity Routing 요구사항

광전달망에서는 서비스 생존성(survivability)이 가장 큰 관건이다. 네트워크 survivability는 네트워크의 노드 혹은 링크가 다운되었을 때 전체적인 네트워크 성능을 얼마만큼 정상적으로 유지할 수 있는가에 의해 결정된다. 광전달망에서는 각 유저들의 트래픽이 고도의 다중화 방식을 거치기 때문에 네트워크 생존성은 많은 수의 유저들에게 심각한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 DWDM 네트워크에서 하나의 광섬유가 절단되었을 때를 고려하면은 절단된 광 섬유 안에 수십~수백개의 광 파장들이 영향을 받게 되고, 다시 그 안에서 다중화되어 전달되던 많은 수의 서비스들이 영향을 받게 된다. 각각의 광 파장들은 수 내지 수십 기가의 속도로 트래픽을 수용하는 것이 보통인데 광 섬유 하나가 절단되면 이 대량의 트래픽들이 손상받게 된다.

따라서 보호(protection)/복구(restoration)라는 두 가지의 메커니즘으로 네트워크 생존성을 향상시켜야 한다. 보호는 절단된 연결을 복구시킴과 동시에 여분의 네트워크 자원을 할당해 놓는 메커니즘이다. 보호될 개체들은 셋업 단계에서 미리 정해지게 되며, 자동적으로 절단된 경로를 보호 경로로 스위칭 해주는 메커니즘만이 필요하다. 사용자의 요구사항에 따라 다양한 레벨의 보호 메커니즘이 동원 될 수 있다.(예, 1+1, 1:1, 1:n)[21,22] 반면에 복구 메커니즘은 보호 메커니즘과는 약간 차이가 있는데 복구 메커니즘은 네트워크 개체가 다운될 경우에 그 시점부터 새로운 경로를 계산하여 네트워크의 생존성을 보장해 주는 것이다. 보호 메커니즘과 비교를 하면은 네트워크 개체가 다운된 시점으로부터 동적으로 경로를 계산한다는 것이 큰 차이점이다. 여기에서 diversity 라우팅 요구 사항들은 고속의 보호/복구 메커니즘을 지원하기 위해 중요한 요소이다. 서로 다른 두 개의 파장이 한 곳도 다운된 곳이 없을 경우에 두 파장은 구별되었다(diverse)고 정의한다. 이러한 라우팅을 지원하기 위해서는 새로운 링크 특성이 도입되어야 하는데 Shared Risk Link Group(SRLG)[23]가 이와 같은 라우팅 기능을 지원한다. 기본적으로 SRLG는 물리적 계층의 관점에서 볼 때 네트워크 개체가 다운되는 경우에 유사한 성향을 지닌 것들로 구성된다. 따라서 광 경로 계산과정에서 구별성을 두고자 할 때 현재의 SRLG 값들이 서로 다른 것을 택하게 되면은 그 두 경로는 광 경로가 다운되는 경우에도 각자에게 영향을 미치지 않게 된다. 최근에는 단순히 광 경로의 SRLG 정보만 포함하는 것이 아니라 링크나 노드의 SRLG 정보도 함께 수용할 수 있도록 일반화된 shared risk group(SRG)[12]가 제안되었다.

4. 인터도메인(Interdomain) 라우팅

현재의 GMPLS 프레임워크에서 토폴로지 및 자원 정보를 알아내는 기능은 한 개의 도메인 내부에서만 가능하도록 제한되어 있다. 그러나 네트워크의 크기가 증가할수록 서로 다른 도메인끼리의 정보 교환 불가피 하게 되었고, 이러한 추세에 발 맞추어 IETF의 최근 몇 개의 문서에서는 인터도메인간의 라우팅 문제에 대하여 제안하였다.[12-14,16,24] 서로 다

른 도메인에게 토폴로지 정보를 전달 해야 한다는 부분과 정보의 형태를 어떻게 통일 할 것인가는 아직 논의의 여지가 많다. 현재 IETF와 OIF는 이 부분에 대한 적극적인 논의가 이루어지고 있다. 현재 광 네트워크상에서 Border Gateway Protocol (BGP)을 확장하여 사용하는 방법들이 논의되고 있다. 기존의 IP 라우팅에서는 목적지까지 이르는 한 개의 루트만을 선택했고, 도메인 전체를 통해서 균일한 정보상태를 유지시켜야만 했다. BGP 메커니즘에 따르면 도메인은 이웃 도메인에게 모든 도메인의 정보를 전달하는 것이 아니라 그 루트가 거쳐온 도메인 정보만을 전달한다. 이것은 광 인터넷에서 선택의 폭을 줄이게 되는 영향을 줄 수 있다. 즉, diversity 라우팅을 하는데 있어서 선택의 폭이 좁아질 수 있는 것이다.

Ⅳ. 네트워크 자원 및 토폴로지 정보 획득

광 경로를 찾는 방법은 두 가지의 일반적인 프레임 워크가 있다. 첫번째로는 필요한 광 네트워크의 속성을 알아내는 것과 광 경로설정에서의 여러 제약 사항들을 파악하는 것이다. 이러한 일들은 자원 및 토폴로지 정보 획득(Resource/Topology Discovery) 과정이라고 한다. 경로 계산에 있어서는 네트워크의 토폴로지 정보 및 그와 관련된 네트워크의 자원정보가 필요하다. 광 네트워크의 요구사항에 맞도록 재구성된 기존의 IGP로써 이 기능을 지원할 수 있다. 광 네트워크의 경로를 계산하는데 있어서 IGP를 어떻게 확장할 것인가는 현재 다양한 표준화 방안이 연구되고 있다.[5,6,25,26]

본 절에서는 경로 계산에 있어서의 자원정보 획득(Resource Discovery) 메커니즘과 그 파라미터들에 대하여 살펴보도록 한다. 토폴로지 및 자원 정보 획득은 네트워크의 모든 링크에 대한 자원상태 및 토폴로지 상태 정보를 입수하는 것을 의미한다. 이 과정은 Neighbor Discovery(ND), Link Viability Monitoring(LVM) 그리고 Routing and Distribution의 세 가지로 분류될 수 있다. 광 네트워크에서는 데이터 평면과 컨트롤 평면이 분리되어 구성되어 있어서 두 가지의 서로 다른 평면에 대한 토폴로지가 존재한다. 결론적으로 ND와 LVM은 데이터 채널 및 컨트롤 채널 모두에게 적용이 되는 것이고, Routing 및 Distribution은 컨트롤 채널에만 해당되는 사항이다.

1. Neighbor Discovery(ND)

ND는 이웃하는 링크의 노드 정보를 획득하는 과정을 말한다. 데이터 네트워크에서는 이웃하는 링크의 노드에게 간단한 컨트롤 메시지를 보냄으로써 ND를 쉽게 할 수 있다. 기존의 데이터 네트워크에서는 흔히 IGP의 Hello 메시지[27]를 이용하여 ND와 같은 기능을 수행할 수 있다. 하지만 광전달망에서는 그리 간단한 일만은 아니다. 광전달망에서는 컨트롤 평면과 데이터 평면이 분리되어 있기 때문에 컨트롤 메시지를 데이터 평면에 쉽게 보낼 수 있는 문제는 아니다. 데이터 평면과 컨트롤 평면이 분리되어 있다고 가정하고, 데이터 베어러(bearer) 링크들이 컨트롤 링크들과는 관계없는 독립된 IP 주소들로 구성되었다고 할 경우에 데이터 평면의 토폴로지 정보는 정적 설정(Static Configuration)을 통하거나 Link Management Protocol(LMP)[28]라는 프로토콜을 이용하여 얻어내야 한다.

LMP는 서로 다른 이웃하는 노드사이에서 동작하는 프로토콜이며 링크의 제공 및 네트워크 오류를 지역화 시키는 기능을 한다. LMP는 채널의 연결성을 컨트롤하며 데이터 베어링 채널 연결상태를 확인하고, 링크, 광 섬유 혹은 채널이 다운되는 현상을 지역화 시킨다. 그러나 LMP는 베어러 채널을 통해 컨트롤 메시지를 보낼 수 있다는 가정을 전제로 하고 있

으므로 전광 네트워크(all-optical network)에 적용하기는 어려운 점이 있다. LMP를 사용 할 수 있는 네트워크라 하더라도 LMP는 이웃하는 근접 노드에서만 동작하고, OSPF 및 ISIS 동작과는 별개의 것이라는 점을 명시해야 한다. LMP의 가장 핵심 기능은 베어러 채널을 설정하는 것이고, 데이터 베어러 채널 ID 및 링크 상관관계(Link Correlation) 정보를 처리한다. 따라서 LMP는 광 네트워크에서의 데이터 평면 토폴로지에 대한 ND 기능을 수행하게 된다. 하지만 GMPLS 기반의 광전달망에서는 OSPF나 ISIS와 같은 IGP를 이용하여 컨트롤 평면의 토폴로지 정보를 얻을 수 있다.

2. Link Viability Monitoring(LVM)

LVM은 컨트롤 채널 및 데이터 채널의 연결 유무 상태를 모니터링 하는 것이다. 기존의 IP 네트워크에서는 이러한 기능은 프로토콜 컨트롤 메시지를 이용하였다. 예를 들어 IGP는 흔히 KeepAlive 메시지를 주고 받음으로써 이웃 링크들이 정상적으로 동작하는지를 모니터링 해왔던 것이다. 노드가 이웃으로부터 KeepAlive 메시지[27]를 못 받았다면 그 링크와 관련된 모든 라우팅 정보를 무시한다. 일반적으로 하나의 링크에 여러 개의 이웃 노드들이 존재할 수 있기 때문에 링크단위로 모니터링을 하는 것이 아니라 노드단위로 모니터링을 하게 된다. 광전달망에서는 데이터 평면과 컨트롤 평면이 분리되어 있고, 모든 데이터 링크를 통해 컨트롤 메시지를 주고받을 수 없기 때문에 이러한 LVM 과정이 복잡하고 어려워진다. LMP는 Ping 형태의 컨트롤 메시지[27]를 데이터 베어링 채널로 보냄으로써 링크 연결상태를 모니터링 한다. LMP의 이러한 기능은 앞에서도 언급했듯이 O-E 광 네트워크에서는 가능한 솔루션이 될 수 있으나 전광 네트워크(all-optical network)에서는 적용되지 못하는 단점이 있다. 이 경우에 있어서는 LMP와 같은 표준화된 프로토콜이 아닌 사설 LVM 기능을 가지는 메커니즘을 이용하여야 한다.

3. 라우팅 및 분배(distribution) 문제

라우팅은 네트워크상의 다른 노드들에 대한 도달성 정보(reachability information)을 획득하는 것이다. 분배(distribution)는 IGP가 네트워크의 토폴로지 정보와 자원정보를 다른 노드에게 알려주는 것이다. 최근 IETF에서는 라우팅 및 분배에 대하여 기존의 IGP를 확장하여 사용하자는 제안들이 발표되었다. 광전달망에서 광 경로 라우팅을 지원하기 위해서는 확장된 IGP는 네트워크 자원정보 및 트래픽 엔지니어링(TE: Traffic Engineering) 정보를 수용 할 수 있어야 한다. 네트워크 자원정보 및 TE 정보를 동시에 수용 가능케 하기 위해서는 기존의 IGP(예, OSPF, ISIS)의 불투명한(opaque) LSA를 확장함으로써 가능하다.

광 네트워크 자원 정보로써 포함될 수 있는 것은 다음과 같다.

- 파장 자원 정보(Wavelength Resource Information) : 파장 ID, 파장 주파수 값, 파장의 가용성 및 대역폭. 이러한 정보는 라우팅 및 파장 할당 문제에서 필수적인 것들이다.
- 물리적 계층 제약 정보 : PMD 및 ASE.[18] 이러한 정보는 물리적 계층에서 파장들이 요구사항을 만족하는지에 대한 판단을 내리는 기준으로 사용될 수 있다.
- SRLG[5,23] 정보 : 여러 개의 링크가 동일한 SRLG 값을 가질 수 있는데, 이는 하나의 fiber가 다운 되었을 때 동일한 SRLG 값을 가지는 여러 개의 링크가 동시에 영향을 받게 됨을 의미한다. SRLG값은 라우팅 문제에서와 복구 및 보호 과정에서 이용될 수 있다.
- 링크 보호 정보 : 주어진 링크의 보호 능력을 나타낸다. 이 정보는 경로 계산 알고리즘이 사용할 수

있는데, 예를 들어 적절한 보호 특성을 요구하는 광경로 설정의 요구에 반영될 수 있는 정보이다.

자원 정보의 획득과 토폴로지 정보의 획득은 보안상의 이유 및 정책적인 사정이 있으므로 한 도메인 내부에서만 이루어지도록 제한되어야 한다. 따라서 BGP가 아닌 IGP를 통하여 정보의 교환이 이루어지게 된다.

V. 광전달망 시그널링 프로토콜 확장

GMPLS에서의 LSP는 유사한 형태의 장치에서 시작되고 끝맺음 되어야 한다고 규정하고 있다. 트래픽을 전달하는 데이터 평면에서의 네트워크 디바이스는 트래픽의 종단점이 아닐 수 있는데 이러한 투명한 네트워크에서의 LSP를 설정하기 위해서는 시그널링 메시지는 각 네트워크 장치에서 종단되어야 한다. 이러한 문제점 때문에 데이터 평면과 분리된 제어 평면의 필요성이 대두되었다. GMPLS는 이와 같은 개념을 이용하여 제어 평면과 분리된 제어 평면을 구성하였다. 본 절에서는 GMPLS가 광전달망에서 동작하기 위한 RSVP-TE 및 CR-LDP의 확장에 대하여 기술한다.

1. 계층적(Hierarchical) LSP 설정

GMPLS는 계층적 LSP 설정을 지원한다. LSP 계층[29]은 기존의 상위 레벨의 LSP 안에 또 다른 하위레벨의 LSP를 터널링 함으로써 기존의 상위 레벨의 LSP를 하나의 링크처럼 사용하는 것이다. 본 단락에서는 하위 레벨의 LSP들이 모여서 하나의 상위 레벨 LSP를 형성하는 과정에 대하여 기술한다. LSP의 레벨 ordering은 노드의 다중화 능력(multiplexing capability)에 좌우된다. 그림 4와 같이 LSP_1은 500Mb/s로 signaled 되어 있다고 가정하자. 이 LSP를 수용하는 상위 링크들은 500Mb/s 보다는 큰 대역폭을 보장하여야 한다. R_0는 패킷들을 구분(classification)하고 LSP_1에 할당한다. 필요에 따라 R_0는 트래픽을 500Mb/s에 맞도록 한정(shaping) 할 수도 있다. 500Mb/s에 대한 대역폭

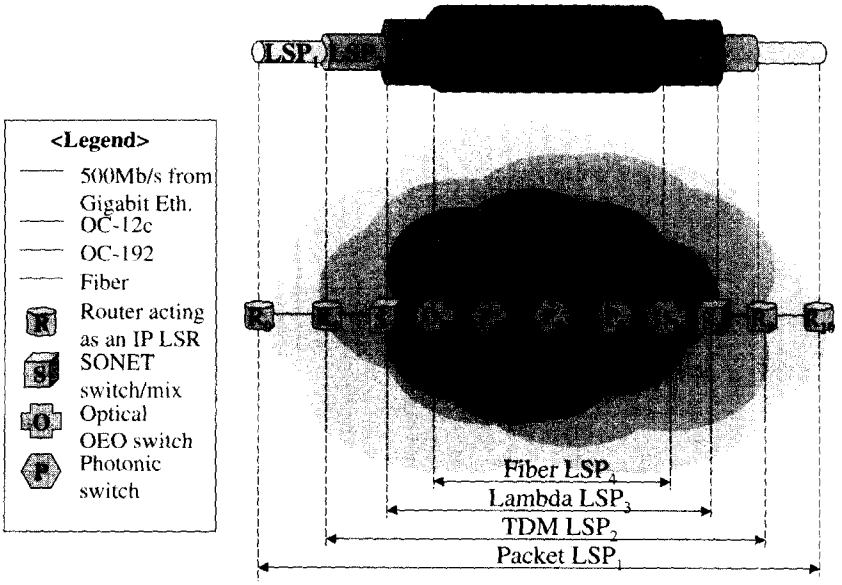

그림 4. LSP set up 및 nested LSP 구조

은 SONET OC-12c 링크인 LSP_2에 의해서 할당된다. S_2 스위치는 OC-12c 트래픽을 Oc-192 링크인 LSP_3에 맞도록 싣는다. 광스위치 O_3는 OC-192 링크를 LSP_4를 통하여 WDM 채널 $P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow O_7$로 스위칭한다. 이와 같은 방법으로 O_7은 원하는 lambda를 선택하여 S8 포트로 전달한다. 그러면 S_8은 OC-192의 원하는 채널을 OC-12c 채널을 선택하여 R9로 전달한다. 마지막으로 R_9는 OC-12c에서 원하는 패킷을 선택하여 R_{10}으로 포워딩한다.

다음으로, 그림 5에서와 같이 GMPLS에서 정의된 RSVP-TE를 이용하여 LSP를 생성하는 과정을 설명한다. LSP_1의 생성과 더불어 이 과정은 추가적으로 필요로 하는 LSP들의 설정과정에 대하여 설명한다.(예 : LSP_2 - R_1과 R_9 사이의 STS-12c 채널, LSP_3 - S_2와 S_8 사이의 OC-192 채널, LSP_4 - O_3와 O_7 사이의 WDM 채널) LSP 계층에서 여분의 대역폭은 다음과 같은 과정을 통해 IGP를 이용하여 알려진다.

• 노드 R_1은, STS-12c(622Mb/s)에서 LSP_1에 할당된 500Mb/s를 뺀 나머지에 대한 대역폭을 R_1과 R_9사이의 PSC(Packet Switch Capable) 링크로써 알린다.

• 노드 S_2는 180개의 STS-1s 링크를 TDM (Time Division Multiplex) 링크로써 알린다.

• 노드 O_3는 각각 OC-192 용량과 같은 15개의 lambda를 LSC(Lambda Switch Capable) 링크로써 알린다.

2. 쌍방향 (Bidirectional) LSP 설정

쌍방향 광 LSP들은 대다수의 광 네트워크 서비스 제공자들의 일반화된 요구사항이다. 본 절에서는 GMPLS에서 쌍방향 LSP 설정 기술에 대하여 논한다. 먼저 양 방향 트래픽 엔지니어링의 요구사항은 같다고 가정한다.(예, rate sharing, protection, restoration, latency, jitter 등) Initiator는

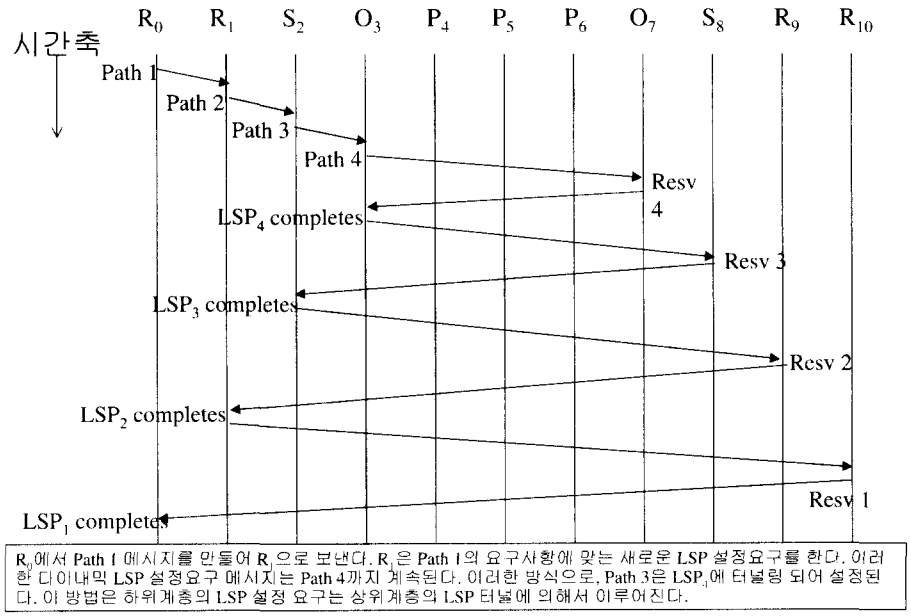

그림 5. LSP set-up timing 다이어그램

LSP의 설정을 시작하는 노드라 칭하고, terminator는 LSP의 목적지 노드라고 칭한다. 쌍방향 LSP에서는 한 개의 initiator과 terminator를 가진다.

기본적인 MPLS 구조에서는 단방향(Unidirectional) LSP만을 지원하기 때문에 쌍방향 LSP를 설정하려면 서로 다른 두 개의 단방향 LSP를 이용하여 구성한다. 이렇게 구성하게 되면 다음과 같은 단점이 있다.

• 쌍방향 LSP를 설정하기 위해서는 단방향 LSP가 설정되는 시간의 두 배가 요구되고, initiator-terminator 지연시간이 추가된다. 따라서 set-up 시간이 많이 걸리고, 이 결과로 성공적인 LSP 설정을 할 수 없게 될 가능성이 많다. 특히 네트워크가 다운되었을 때 failure된 LSP를 복구하기 위해서는 많은 시간이 소요되므로 불리한 점이 있다.

• 컨트롤 오버헤드가 단방향 LSP의 것보다 두 배가 필요하다. 단방향 LSP를 두 번 셋업해야 하므로 두 배의 컨트롤 오버헤드가 필요한 것이다.

• WDM 네트워크에서 Tx 및 Rx는 서로 다른 transponder에 할당될 수 있으므로 race condition이 일어날 수 있다. 이 경우 성공적으로 쌍방향 LSP가 설정 될 확률은 낮아진다.

이와 같은 단점을 해결하기 위하여 하나의 Path/Request, Resv/Mapping 메시지를 통한 bidirectional 연결설정 방법이 제안되어 있다. 이 방법은 셋업지연을 감소 할 수 있으며 컨트롤 오버헤드를 줄일 수 있다.

3. Suggested Label

GMPLS의 시그널링에서는 상위 노드가 하위노드에게 제한된 레이블 set을 제공할 수 있다. 이러한 suggestion은 LSP setup 시간을 줄이고, 네트워크 자원 할당의 최적화에 목적을 두고 있다. 제한된(suggested) 레이블은 쌍방향 LSP를 설정할 때 Tx와 Rx를 하나의 pair로 간주하여 같은 물리적 포트를 이용할 수 있게 하는데 유용하다. 혹은 스위칭 fabric을 움직이는데 필요한 latency 지연을 줄이기 위해서 제한된 레이블을 사용하기도 한다. 또한 블록킹 확률을 줄이기 위해 LSP의 근원지 노드에서 파장을 할당할 때 유용하기도 하다. 이것은 상위 노드의 가용한 파장 정보를 하위 노드에게 알려줌으로써 파장 할당문제를 해결할 수 있기 때문이다.

Ⅵ. 결 론

차세대 광전달망에서의 신호 및 라우팅 프로토콜을 구현하는 핵심 기술인 GMPLS에 대하여 본 논문에서 살펴보았다. GMPLS는 IP와 광전달망 사이의 연동성, 확장성 및 근접성을 제공하는 하나의 큰 솔루션으로 인식되면서 점차 차세대 광전달망의 신호 및 라우팅 프로토콜로써 컨센서스를 모아가고 있다.

광전달망 라우팅 부분은 GMPLS 프레임워크[1] 아래에 자원/토폴로지 디스커버리, state dissemination, constrained-path 계산, 파장 할당, 광경로 설정의 신호문제로 규정되고 있다. 라우팅에서의 제약사항 및 고려사항으로는 물리적 계층의 제약사항, 파장전환 제약사항, Diversity Routing 요구사항 그리고 인터도메인 라우팅 등이 있다. 동적인 광 라우팅을 지원하기 위해서는 기존의 IGP에서 광전달망 계층의 자원정보를 포함하도록 확장한다.

광전달망 시그널링 부분 역시 GMPLS 프레임워크 아래에 기술개발이 진행 중이다. GMPLS의 시그널링 기능은 service provider가 신속한 고속/대용량의 서비스 커넥션을 제공하는 기능을 지원한다. 따라서 service provider는 광전달망에서 IP 네트워크를 효과적으로 이용 가능하도록 지원하는 GMPLS를 도입할 것으로 전망된다. 이것은 앞에서 언급했던 연동성, 확장성 및 근접성 이외에 상당한 비용 절약 효과도 가져올 것으로 예상된다.

※참고문헌

[1] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS - Signaling Functional Description", Internet Draft, draft-ietf-mpls-generalized-02.txt, Mar. 2001

[2] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS Signaling - RSVP-TE Extensions", Internet Draft, draft-ietf-mpls-generalized-rsvp-te-01.txt, Mar. 2001

[3] P. Ashwood-Smith et al., "Generalized MPLS Signaling - CR-LDP Extensions", Internet Draft, draft-ietf-mpls-generalized-cr-ldp-01-txt, Mar. 2001

[4] A. Banerjee et al., "Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements", IEEE Comm. Mag., Jan. 2001

[5] K. Kompella et al., "OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS", Internet Draft, draft-kompella-ospf-extensions-01.txt, Feb. 2001

[6] K. Kompella et al., "IS-IS Extensions in Support of Generalized MPLS", Internet Draft, draft-ietf-isis-gmpls-extensions-02.txt, Feb. 2001

[7] B. Rajagopalan et al., "IP over Optical Networks: A Framework", draft-many-ip-optical-framework-02.txt, work in progress, Mar. 2001

[8] Z. Zhang and X. Liu, "Network Models for IP over Optical Networks", Opt Net. Mag., vol. 1, no. 4, Oct. 2000, pp. 12-14

[9] ITU-T G.807, "Requirements for Automatic Switched Transport Networks (ASTN)", June 2001

[10] User Network Interface(UNI) 1.0 Signaling Specification, OIF2000.125.5, June 2001

[11] A. Copley, "Optical Domain Service Interconnect(ODSI): Defining Mechanisms for Enabling On-Demand Hight-Speed Capacity from the Optical Domain", IEEE Com. Mag., Oct. 2000

[12] S. Dharanikota et al., "Inter-Domain Routing with Shared Risk Groups", OIF2001.27.1, work in progress

[13] D. Papadimitriou et al, "Optical Network-to-Network Interface Framework and Signaling Requirements", Internet Draft, draft-papadimitriou-onni-frame-01.txt, Nov. 2000

[14] J. Strand and Y. Xue, "Routing for Optical Networks with Multiple Routing Domain", OIF2001.046

[15] Y. Maeno et al., "Generic Network-to-Network Interface(NNI) functions for all-optical Networks", OIF2001.192

[16] G. Young and L. Liu, "NNI Path Protection Control Plane Issues", draft-young-opt-nni-prot-issues-00.txt

[17] N. Ghani et al., "On IP-over-WDM Integration", IEEE Com. Mag., Mar. 2000

[18] J. Strand, A. Chiu, and R. Tkach, "Issues for Routing in the Optical Layer", IEEE Com. Mag., Feb. 2001,

vol.39, no.2, pp. 81-88
[19] A. A. Saleh, L. Benmohamed, and J. M. Simmons, "Proposed Extensions to the UNI for Interfacing to a Configurable All-Optical Network", OIF2000.278
[20] A. Chiu, et al., "Impairments And Other Constraints On Optical Layer Routing", Internet Draft, draft-ietf-ipo-impairments-00.txt, May 2001
[21] O. Gerstel and R. Ramaswami, "Optical Layer Survivability: A Services Perspective", IEEE Com. Mag., Mar. 2000
[22] Z. Zhang, "Protection and Restoration in IP over Optical Networks", Opt. Net. Mag., vol.2, no.2, 2001
[23] S. Chaudhuri, G. Hjalmtysson, and J. Yates, "Control of Lightpaths in an Optical Network", work in progress, draft-chaudhuri-ip-olxc-control-00.txt
[24] G. Xu et al., "A BGP/GMPLS Solution for Inter-Domain Optical Networking", draft-xu-bgp-gmpls-00.txt
[25] D. Katz and D. Yeung, "Traffic Engineering Extensions to OSPF", draft-katz-yeung-ospf-traffic-01.txt, work in progress
[26] H. Smith and T. Li, "IS-IS Extensions for Traffic Engineering", draft-ietf-isis-traffic-01.txt, work in progress
[27] D. Comer, Internetworking with TCP/IP, vol. 1, Prentice Hall, 1995
[28] J. Lang et al., :Link Management Protocol(LMP)", Internet Draft, draft-lang-mpls-lmp-02.txt, July 2000
[29] D. Awduche et al., "Multi-Protocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control With Optical Crossconnects", Internet Draft, draft-awduche-mpls-te-optical.txt, work in progress

최 수 현

1998년 경기대학교 전자공학과(학사), 2000년 Univ. of Southern California(USC) at Los Angeles(석사), 1999년 Teaching Assistant in Dept. of EE at the Univ. of Southern California, 2000년~현재 한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 인터넷기술연구부 광인터넷연동팀, 〈관심분야〉 컴퓨터 네트워크, 인터넷 QoS, 광인터넷, 통신망 구조, 통신이론

정 유 현

1980년 광운대 전자계산학과(학사), 1989년 광운대 대학원 컴퓨터공학과(석사), 1998년 광운대 대학원 컴퓨터공학과(박사), 1980년~현재 한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 광인터넷연동팀 팀장, 책임연구원, 〈관심분야〉 인터넷 QoS, 광인터넷, Transcoding 기술, 음성정보처리(음성인식 & 합성) 기술

이 유 경

1978년 한국항공대학 전자공학과(학사), 1980년 연세대 대학원 전자공학과(석사), 1980년~1984년 공군제2사관학교 교관, 1984년~현재 한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 인터넷기술연구부 부장, 책임연구원, 1990년 전기통신기술사, 〈관심분야〉 고속통신시스템, 네트워크 구조, MPLS 기술