

# 광인터넷망을 위한 GMPLS 기술 동향

## Survey on GMPLS for Optical Internet

엄태원(T.W. Um)	MPLS응용팀 위촉연구원
김병식(B.S. Kim)	MPLS응용팀 선임연구원
양선희(S.H. Yang)	MPLS응용팀 책임연구원, 팀장
최준균(J.K. Choi)	한국정보통신대학원대학교, 교수

본 고에서는 최근 광인터넷망의 제어 프로토콜 기술로서 많은 관심을 끌고 있는 GMPLS 기술을 소개하고 표준화 및 연구개발 동향을 분석 고찰한다. MPLS 기술은 비연결형으로 동작하는 IP 망 내에 논리 채널인 LSP를 구성하여 연결형으로 동작하도록 함으로써 IP 트래픽의 흐름을 제어할 수 있게 한 기술로서 최근 ISP 망에 적용되기 시작했다. GMPLS는 MPLS 기술을 확장 보완하여 WDM이나 SDH 망 등의 일반적인 IP 전달망에 적용할 수 있도록 한 기술인데, 특히 광인터넷망에 적용하는 것을 가장 큰 목표로 하고 있다. GMPLS는 라우팅과 시그널링 및 광인터넷 링크 관리를 포함하는 제어 프로토콜 기술과 레이블을 이용한 사용자 평면의 데이터 전달 기술로 구성되며, 이에 대한 표준화는 IETF에서 추진하고 있다.

## 1. 서론

1990년대 중반 이후 인터넷 수요가 급속히 증가하면서 인터넷망은 대용량화와 고품질 서비스 제공이라는 큰 기술적 변화를 겪고 있다. 사업자들은 네트워크 용량을 필요 이상으로 over-provisioning 하거나 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 교환기술을 이용한 오버레이 구조로 망을 업그레이드 함으로써 트래픽 증가에 대응해 오고 있다. 그러나 인터넷 트래픽이 연간 100~1000% 이상씩 계속 증가함에 따라 ISP 들은 물리용량의 지속적 확충의 경제적·기술적 한계에 직면하고 있다. 이에 대한 기술적 대안으로 MPLS(Multiprotocol Label Switching) 기술과 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기반의 광네트워크 기술이 관심을 끌고 있다.

한편 수십 테라급 이상의 대용량 IP 망을 경제적으로 구축할 수 있는 방안으로 광인터넷 기술 개발이

활발히 이루어지고 있다. 광인터넷 기술 개발에 있어서 현안 중의 하나가 광인터넷망의 제어 기술인데 이를 위해 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 표준화가 추진되고 있는 것이 GMPLS(Generalized Multiprotocol Label Switching)이다. GMPLS는 MPLS 기술의 성공적 개발경험을 바탕으로 이를 대규모 WDM 망을 비롯한 IP 전달망에 일반적으로 적용시키기 위해 확장 보완한 기술이다. 그 배경을 살펴보면 1999년 11월에 MPLS 개념을 OXC(Optical Crossconnect)에 적용할 수 있는 MPLambdaS(Multiprotocol Label Switching) 기술이 제안되었고, 2000년 10월에는 이를 광물리계층으로의 확장에만 국한시키지 않고, TDM(Time Division Multiplexing), Lambda, Fiber, 그리고 IP 헤더와 MAC 헤더 등 어떤 종류의 매체에서도 동작할 수 있도록 일반화시킨 GMPLS가 제안되었다. 기존의 MPLS와 마찬가지로 GMPLS 기술은 크게 라우팅 및

시그널링 기술과 레이블을 이용한 IP 패킷의 인코딩을 포함하며, 이외에 광인터넷 링크 관리를 위한 운용 관리 기술을 포함한다.

본 고에서는 GMPLS 기술 개요를 살펴보고 표준화 및 연구동향을 고찰한다. II장에서는 광인터넷망의 제어 구조와 광인터넷망에 MPLS를 적용하기 위한 주요 고려사항을 분석한다. 그리고 III장에서는 GMPLS 시그널링 및 라우팅 기술을 정리하고 IV장에서는 표준화 및 연구개발 동향을 고찰한다.

## II. GMPLS 기술 개요

### 1. 광 인터넷의 제어 구조

광인터넷은 스위칭 방식에 따라 광 서킷 스위칭, 광 버스트 스위칭, 광 패킷 스위칭 방식으로 구성될 수 있는데, 주요 벤더 및 표준화 기구들은 현재의 광 소자 및 제어기술로 구현이 가능한 광 서킷 스위칭 기술개발에 주력하고 있다. 광 서킷 스위칭기술에 기반한 광인터넷에서는 송신측과 수신측이 OXC와 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer) 등의 광 노드들을 경유해서 IP 트래픽을 전송하기에 앞서 Dynamic Provisioning을 이용해서 광 채널을 할당해야 한다.

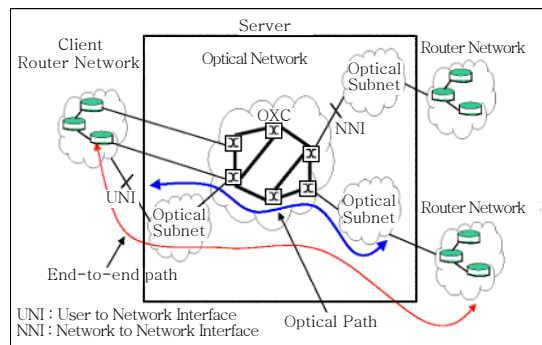
필요에 따라 광 채널을 동적으로 할당하고 삭제하기 위해서는 광 전송계층 및 IP 계층을 효율적으로 제어 관리할 수 있는 제어 평면 구성이 선행되어야 하는데, 이러한 광인터넷의 제어 평면구성 방식은 크게 네트워크 서비스 모델과 상호 연결 모델 방식으로 구분될 수 있다[1],[2].

#### 가. 네트워크 서비스 모델

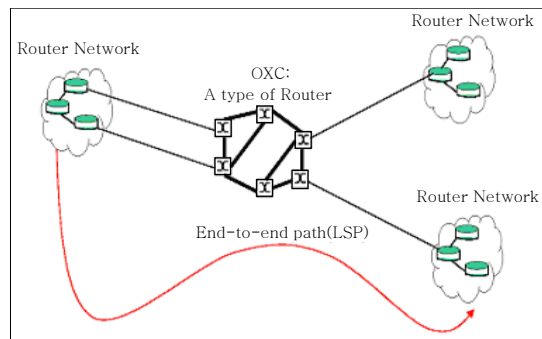
네트워크 서비스 모델은 도메인 서비스 모델과 통합 서비스 모델로 분류될 수 있는데, 도메인 서비스 모델에서는 네트워크가 계층화 된 도메인들로 구성된다(그림 1) 참조). 기존의 IP, ATM, SDH (Synchronous Digital Hierarchy)/SONET 망들은 클라이언트 네트워크로서 코어에 위치하

는 광 네트워크와는 클라이언트와 서버의 관계로 동작한다. 클라이언트 네트워크상의 노드가 상대방 클라이언트 노드와 통신을 하기 위해서는 먼저 Optical UNI(User to Network Interface) 프로토콜을 통해서 서버 광 네트워크를 통해 상대방 클라이언트 네트워크까지 광 채널할당을 요청해야 한다. 클라이언트 네트워크간에 광 채널이 할당되면 비로소 통신이 가능해진다.

통합 서비스 모델에서는 도메인 서비스 모델처럼 네트워크들의 제어 평면이 분리되어 있지 않고, 단일 시그널링과 라우팅 프로토콜을 가진 통합된 제어 평면 구조로 되어 있다. 따라서 (그림 2)와 같이 입력 노드에서 시작한 경로 설정 신호 메시지가 코어의 광 네트워크를 경유하여 출력 노드까지 직접 전달되어 통신 채널이 할당된다.



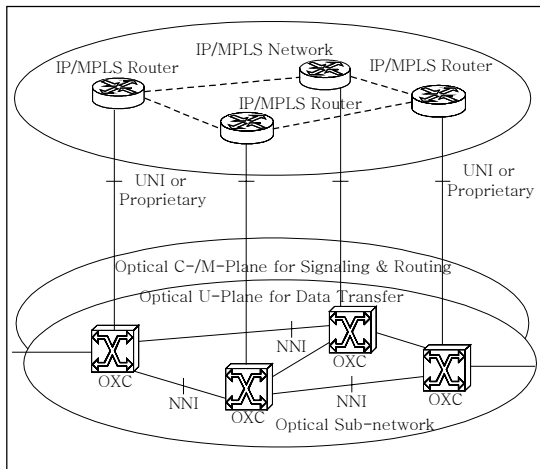
(그림 1) 도메인 서비스 모델



(그림 2) 통합 서비스 모델

#### 나. 상호 연결 모델

상호 연결 모델은 광 전송계층과 IP 계층의 제

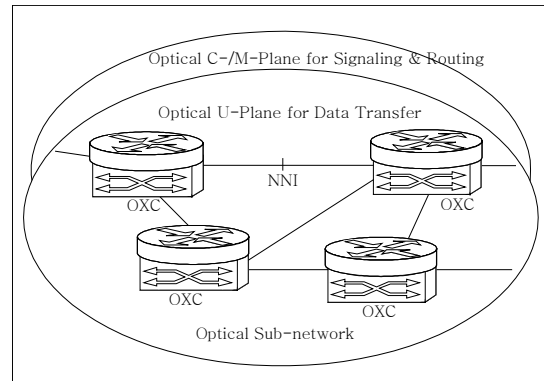


(그림 3) 오버레이 모델

어 평면 구성방식에 따라 오버레이 모델과 피어 모델로 구분될 수 있다. 오버레이 모델은(그림 3)과 같이 광 전송 계층과 IP 계층 간의 제어 평면이 분리되어 있는 형태로서 IP 계층과 WDM 계층을 위한 라우팅과 시그널링이 따로 존재하고 독립적으로 수행된다. IP가 광 전송 계층의 클라이언트이고 광 전송 계층이 클라이언트를 위한 단대단 채널을 제공하는 클라이언트-서버 모델이다. 따라서 IP 계층에서의 변화는 없고 기존의 IP over ATM 혹은 MPOA(Multi-Protocol Over ATM) 모델과 유사하다.

피어 모델에서는(그림 4)와 같이 광 전송 계층과 IP 계층을 위한 제어 평면이 분리되어 있지 않고 하나로 융합되어 있는 형태로 확장된 IP 시그널링/라우팅 프로토콜을 이용하여 하나의 통합된 제어 평면 구조를 가지는 형태으로써 기존의 MPLS와 유사한 모델이다.

실제 광인터넷 구성에서 네트워크 서비스 모델의 도메인 서비스 모델은 상호 연결 모델의 오버레이 모델과 밀접하게 연관되어 있고, 통합 서비스 모델은 피어 모델 방식으로 발전할 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 여러 광인터넷 구성 모델을 위해서는 새로운 시그널링 및 라우팅 프로토콜이 필요한데, 각각의 모델에 따른 별도의 프로토콜을 개발하지 않고 기존의 MPLS를 확장한 GMPLS를 사용하는 방식으로 표준화가 진행되고 있다.



(그림 4) 피어 모델

## 2. MPLS 기능 개요

MPLS 기술은 비연결형으로 동작하는 IP 망 내에 논리 채널인 LSP(Label Switched Path)를 구성하여 연결형으로 동작하도록 함으로써 IP 트래픽의 흐름을 제어할 수 있게 한 기술이다. MPLS는 기존의 hop-by-hop 라우팅에 의해 전달되는 IP 패킷을 네트워크 입출력 시에만 L3 라우팅을 처리하게 하고, 코어에서는 레이블을 이용한 고속 L2 스위칭에 의해 패킷을 전달함으로써 IP 라우팅의 성능과 확장성을 개선하고, 명시적 라우팅과 트래픽 엔지니어링을 제공할 수 있게 한 차세대 IP 네트워크 기술이다. MPLS는 패킷 헤더에 부착된 고정길이의 레이블을 이용하여 패킷을 포워딩하는데, 레이블은 망 내에서 패킷이 전달되어야 하는 경로나 혹은 QoS와 같은 트래픽 특성을 나타낼 수 있다. 입력단에서는 유입되는 트래픽의 목적지와 트래픽 특성을 고려하여 레이블을 부착(패킷 세분화)하고, 코어에서는 레이블 값만을 보고 다음 노드로 스위칭한다. 따라서 집중적인 처리가 요구되는 패킷의 해석 및 분류, 필터링 등 L3 라우팅은 입력단에서 한 번만 일어나면 된다. MPLS의 기본적인 동작 절차는 크게 제어 평면에서 일어나는 LSP 설정 절차와 사용자 평면에서 일어나는 패킷 포워딩 절차로 이루어진다.

현재 MPLS 기술은 기본적인 규격에 대한 표준화가 완료 되었으며, 상용 시스템들이 출시가 되어 AT&T, GlobalOne 등 18여 개의 사업자 망에 적용

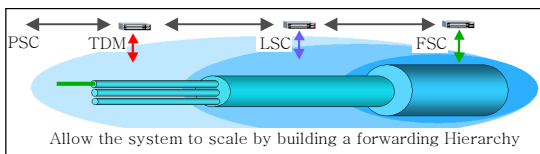
되기 시작하였다[12].

### 3. 광인터넷망에 MPLS를 적용하기 위한 고려사항

일반적으로 네트워크는 전송 평면, 제어 평면, 관리 평면으로 구분할 수 있고, 그 중에서 제어 평면에서는 연결 설정, 인접 노드 발견 및 링크 관리, 라우팅, 시그널링, 트래픽/리소스 제어, QoS, VPN(Virtual Private Network), 노드/링크/경로 보호 복구 등을 수행한다. 네트워크의 동작 및 전송 방식에 따라 전송 평면에서는 기술적으로 많은 차이점이 있지만, 연결 설정 및 관리라는 측면에서 볼 때 제어 평면들은 대체로 매우 유사한 성격을 갖는다.

MPLS 프로토콜의 확장을 통해서 GMPLS는 다음과 같이 5가지 유형의 전송 인터페이스를 지원할 수 있다(그림 5 참조)[3].

- Packet-Switch Capable(PSC) interfaces: 패킷 경계를 인식하고 헤더 정보에 따라 데이터를 전달한다.
- Layer-2 Switch Capable(L2SC) interfaces: 프레임/셀의 경계를 인식하고 헤더 내의 정보에 따라서 전달한다.
- Time-Division Multiplex Capable(TDM) interfaces: 주기적으로 반복되는 타임슬롯 위치 정보를 기반으로 데이터를 전달한다.
- Lambda-Switch Capable(LSC) interfaces: 광 노드에서의 파장 스위칭을 통해서 데이터를 전달한다.
- Fiber-Switch Capable(FSC) interfaces: 실제 광 포트의 위치와 같은 물리공간의 데이터 위치 정보를 기반으로 데이터를 전달한다.



(그림 5) GMPLS의 계층적인 LSP 설정

이와 같이 GMPLS에서 타임 슬롯, 파장, 포트의 위치 등으로 인코딩되는 레이블을 이용해서 TDM, Lambda, Fiber 또는 포트 단위의 스위칭 기능을 지원하기 위해서는 레이블의 요청 및 할당, 에러의 발생 및 처리, 입력 노드(ingress)와 출력 노드(egress)의 동기화, TE 링크 정보, 명시적 경로, 일반화된 인코딩 방식, 대역폭, 시그널의 형식, 보호 및 복구방식, 다중화 지점과 같은 파라미터 전달 등이 가능하도록 MPLS의 라우팅과 시그널링이 확장되어야 한다.

광인터넷에서는 일반적으로 인접한 노드간에 수백 개 또는 수천 개의 링크가 생성될 수 있기 때문에 현재의 라우팅 프로토콜을 사용하면 망으로 전달되는 링크 상태 라우팅 정보량이 급증하여 확장성의 문제가 예상된다. 또한 IPv4 주소공간이 부족하여 DWDM의 각 링크에 IP 주소를 모두 할당한다는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 Link Bundling, Unnumbered Link와 같은 개념들이 소개되었으며, 이를 지원하기 위해 OSPF-TE, IS-IS-TE와 같은 인트라도메인 링크상태 라우팅 프로토콜들의 확장을 위한 연구가 IETF를 중심으로 진행되고 있다.

또한, 광인터넷에서는 시그널링과 라우팅 정보의 전송을 위해서 in-band 또는 out-of-band 방식의 양방향 제어채널이 요구되는데 안정적인 네트워크 운영을 위해서는 무엇보다 제어 채널의 설정, 유지, 관리가 필수적이다. 이러한 제어 채널 관리와 데이터 채널의 연결성 검사, 링크 특성정보의 동기화 및 링크 장애 관리 등을 위해서 IETF MPLS WG에서 Link Management Protocol(LMP)이 제안되어 표준화가 진행중에 있다.

그의 대역폭 이용률(bandwidth utilization)을 높이기 위한 Forwarding Adjacency(FA), LSP 설정 시간을 줄이기 위한 Suggested Label, 다운스트림 노드에 의해서 선택되는 레이블의 영역을 제한하기 위한 Label Set 기능들이 지원된다. 이러한 기능을 바탕으로 GMPLS 제어 평면은 망 동작을 단순화시키고 인터워킹을 용이하게 할 수 있다.

기존의 MPLS/IP 기반 제어 프로토콜은 패킷

교환망에 최적화되도록 설계되었기 때문에 모든 네트워크 유형을 지원하는 일반화된 제어 평면을 지향하는 GMPLS 제어 평면 구성을 위해서는 기존 프로토콜들을 확장하여 이러한 차이점과 요구 사항들을 유연하게 수용하기 위한 충분한 기법들이 제공되어야 할 것이다.

GMPLS 제어 평면은 다음과 같은 장점을 제공한다[4].

- IP/MPLS 기반 서비스를 주로 제공하거나 데이터 중심의 운용 및 관리방식을 지향하는 운용자에게 적합하며, 단일화된 제어와 관리를 통해서 IP/ MPLS 망과 비 IP/MPLS 망간의 망 관리 및 LSR과 회선 교환망 노드간의 제어를 단순화시킬 수 있다.
- IP 분산 라우팅 컨트롤 방면의 축적된 운용 경험과 더불어서 진보된 MPLS 제어 평면기술을 충분히 활용할 수 있다.
- MPLS 트래픽 엔지니어링을 위해서 개발된 소프트웨어를 적절히 수정 및 확장하여 전송 제어 평면에 사용할 수 있으므로, OADM와 OXC같은 새로운 종류의 전송장치의 빠른 개발과 배치를 촉진할 수 있다.
- GMPLS 제어 평면은 OADM, OXC 및 LSR과 같은 네트워크 장치간의 제어 협력(control coordination) 개념의 도입을 용이하게 할 수가 있으며 IP/MPLS, SDH/SONET과 OTN(Optical Transport Network) 계층에서 필요로 하는 효율적이고 단일화된 제어 평면 서비스를 제공할 수 있다. 다양한 계층들을 제어하기에 적합한 패러다임과 동일한 시그널링과 라우팅 프로토콜을 사용하는 것은 전송망을 설계, 배치, 유지하는 전체적인 복잡성을 줄일 수 있다.

#### 4. MPLS와 GMPLS의 차이점 분석

MPLS와 GMPLS의 주요한 차이점은 다음과 같다[3],[9].

- MPLS에서는 라우터와 ATM-LSR과 같이 서

로 다른 레이블 인코딩 방식을 지원하는 링크들을 경유해서 LSP가 설정될 수 있는데, GMPLS는 이러한 기능이 확장되어 타임슬롯, 파장, 포트 위치 등으로 레이블이 인코딩되는 여러 형태의 링크들을 통과해서 LSP가 형성될 수 있다.

- MPLS에서는 LSP가 라우터들 사이에서만 설정되지만, GMPLS에서는 같은 형태의 인터페이스를 갖는 LSR 사이에서 설정될 수 있다.
- GMPLS에서는 LSP에 의해서 전송될 수 있는 페이로드의 형식이 SONET/SDH, G.709, 1 또는 10Gb 이더넷까지 확장된다.
- TDM, LSC, FSC 인터페이스에서는 LSP를 위한 대역할당이 불연속적인 단위로 수행된다.
- TDM, LSC, FSC 링크들에서는 PSC, L2SC 링크에 비해서 더 적은 수의 레이블이 할당된다.
- GMPLS에서 Forwarding Adjacencies(FA)의 사용은 대역 이용률을 향상시킬 수 있는 방법을 제공한다.
- GMPLS에서는 LSP 설정 지원을 줄이기 위해서 업스트림 노드가 Suggested Label를 사용할 수 있다.
- GMPLS에서는 파장 변환이 가능하지 않는 광 노드를 위해서 업스트림 노드가 Label Set 기능을 이용함으로써 다운스트림 노드에서 할당할 수 있는 레이블 값을 제한할 수 있다.
- MPLS에서는 단방향 LSP 설정만이 가능했지만, GMPLS에서는 양방향 LSP 설정을 지원할 수 있다.
- GMPLS는 특정 출력 포트에서 LSP가 끝나도록 지원한다. 즉 LSP의 수신측 포트를 지정할 수 있다.
- RSVP-TE를 이용한 GMPLS는 신속한 장애통보 메커니즘을 지원한다.
- MPLS에서는 설정된 경로를 통해서 패킷이 전달되지 않으면 할당된 대역이 사용되지 않지만, GMPLS에서는 고정된 광 채널의 대역이 할당되게 된다.
- 광 도메인에서는 레이블 병합을 지원하지 않는다. 즉 여러 파장을 하나의 파장으로 결합할 수 없다.

### III. GMPLS 시그널링 프로토콜 기능

#### 1. GMPLS 시그널링

시그널링은 GMPLS 제어 평면의 주요 요소로서, LSP의 생성, 삭제, 수정, 에러 보고, 에러 수정 및 복구 기능들을 지원한다. GMPLS 시그널링은 MPLS의 CR-LDP, RSVP-TE를 기반으로 확장되며 주요 기능은 다음과 같다[5].

##### 가. LSP 생성(LSP Creation Operation)

LSP 생성과정은 입력 GMPLS 노드에서 LSP 요청메시지를 수신할 때 시작되는데, 일단 수락 제어(admission control)와 자원 확인(resource verification)을 포함한 인증 절차를 거치게 된다. 인증 절차를 통과하게 되면 입력 GMPLS 노드는 LSP를 위한 경로를 선택하고 LSP 생성 동작을 시작한다. Generalized Label 요청메시지는 선택된 경로를 따라서 입력 노드에서 출력 노드로 전달되고, 출력 노드에서 입력 노드로 확인 메시지가 전송된다.

Generalized Label 요청메시지는 스위칭 패킷을 조정하는 정보를 포함하며, 링크 보호, LSP 인코딩, LSP 페이로드와 같이 생성되는 LSP 속성을 규정하는 파라미터 값들을 포함한다.

##### 나. LSP 삭제(LSP Deletion Operation)

삭제 과정은 LSP가 더 이상 필요치 않을 때, LSP에 할당된 자원을 해제하기 위해서 사용되는데 입력 GMPLS 노드, 출력 GMPLS 노드 또는 LSP 경로상의 노드에 의해서 시작될 수 있으며, 삭제 동작이 완료되면 삭제 확인 메시지가 시작한 노드로 전달된다.

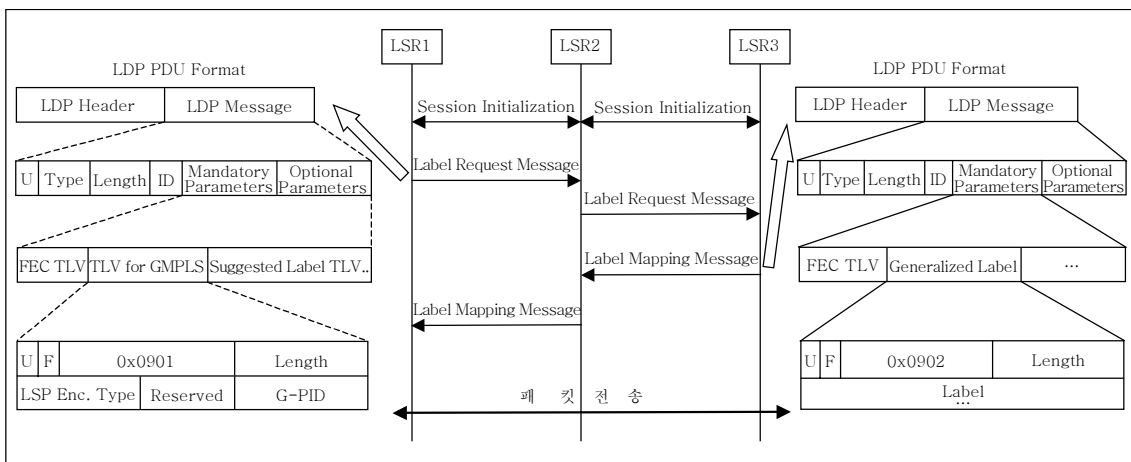
##### 다. LSP 수정(LSP Modification Operation)

경우에 따라서 이미 설정된 LSP의 대역폭과 같은 속성이 변경되어야 할 필요가 있다. 이러한 LSP 수정을 위한 기본적인 요구사항은 “make-before-break” 방식으로, 신호 프로토콜들은 기존 LSP와 새로운 LSP간의 리소스 공유기법 등을 이용해서 이러한 기능을 지원하게 된다.

##### 라. 그외 필요로 되는 시그널링 기능들

###### 1) Generalized Label

일반화된 레이블은 묶음으로 된 단일 파이버, 파이버 내의 단일 주파 대, 주파 대 내의 단일 파장, 파장 내의 타임슬롯을 나타내는 레이블 정보를 전달한다. (그림 6)은 일반화된 레이블의 포맷으로 레이블은 링크의 유형에 따라 가변적이다.



(그림 6) Generalized CR-LDP를 이용한 레이블 요청 및 매핑 메시지

## 2) Suggested Label

Suggested Label은 업스트림 노드에 의해서 사용되는 것으로 업스트림 노드는 경로 설정을 위한 레이블 요청 메시지 내에 Suggested Label TLV를 사용하여 다운스트림 노드에게 자신이 제안한 레이블을 할당해줄 것을 요청하게 된다. 이러한 기법은 하드웨어 설정 지연이 큰 OXC와 같은 광 장비에서 사용될 수 있다. 업스트림 노드는 Suggested Label을 다운스트림 노드에게 전송한 후에 자신이 제안했던 레이블 값으로 미리 하드웨어 설정을 조정해둠으로써, 레이블할당 메시지 수신 이후에 하드웨어 설정을 변경하는 방법보다 셋업 대기시간을 줄일 수 있다.

## 3) 양방향 LSP 설정

양방향 LSP 설정 기능을 이용하면 경로설정지연을 줄일 수 있으며, 양방향 경로설정 성공확률을 높일 수 있다. 기존의 단방향 LDP(Label Distribution Protocol) 동작에서는 한 쪽 방향의 LSP가 설정된 이후에 반대 방향으로 LSP 설정 절차가 되풀이 되어야 하는데 양방향 LSP 설정 기능을 요구하면 한번의 시그널링으로 양방향의 LSP가 설정될 수 있다.

## 4) O-UNI

도메인 서비스 모델에서는 클라이언트 네트워크에서 서버 네트워크로 광 채널할당을 요청하기 위해서 O-UNI(Optical User to Network Interface)가 사용되는데, O-UNI에 LDP를 적용하면 이미 정의된 LDP 메시지와 메시지 포맷을 그대로 사용할 수 있고, LDP 세션 관리 및 제어 절차도 재사용할 수 있다. 또한 에러 통지 및 LDP 보안 메커니즘도 이용 가능하다. O-UNI를 위해서 LDP에 lightpath 속성을 지원하기 위한 새로운 TLV가 추가되어야 하고, UNI를 통해서 lightpath 상태 정보 교환을 가능하게 하는 새로운 LDP 메시지가 정의되어야 한다.

## 2. GMPLS 라우팅

GMPLS 제어평면 라우팅의 주요 기능은 전송/테

이터 평면에서 토폴로지 정보 전달과 LSP의 경로 선택이다[4],[8].

### 가. 토폴로지 정보 전달

토폴로지 정보 전달(topology information dissemination)의 목적은 망 내의 LSR들이 일관된 네트워크 레벨 리소스 정보를 형성하고 최적의 경로를 선택할 수 있도록 망 전체를 통해서 효율적이고 충분한 토폴로지 정보를 전파하는 것이다. 네트워크가 사업, 기술 및 지리적인 요인과 같은 고려사항에 의해서 계층적으로 분할될 수 있기 때문에, LSR들은 다른 망을 경유한 경로 선택을 수행할 수 있도록 충분한 정보를 필요로 하는데, 이러한 토폴로지 정보 전달의 최대 이슈는 확장성 문제이다. 일반적으로 전송 코어스위치는 수천 개의 물리적인 포트를 지원하는데, 이러한 경우 어떠한 LSR을 통해서 전파되고 수신되는 링크상태 정보량은 막대할 것이므로, 확장성을 제공하기 위해서는 전체적인 정보 전파량을 최소화하고 세부적인 정보는 가능한 한 지역적으로 유지되고 처리되도록 해야 한다.

확장성을 제공하기 위해서, 라우팅 프로토콜은 LSR 레벨과 망 레벨에서 aggregation을 지원해야 할 것이다. LSR 레벨에서는 parallel link connection들의 상세정보를 숨기고, 요약된 정보가 망을 통해서 전달될 수 있도록 하는 aggregate bundle link 기능이 이용될 수 있으며, 망 레벨에서는 계층적인 라우팅 프로토콜을 이용함으로써 서브네트워크의 토폴로지 정보를 집약해서 다른 서브네트워크로 전파함으로써 전달되는 정보전파량을 줄일 수 있다.

또한, 확장성을 위해서 정보 갱신 주기를 제어하는 방법을 고려할 수 있는데, 정적인 정보와 동적인 정보를 차등화해서, 오직 변화량만을 갱신하는 방안과 경계치(threshold)를 이용해서 갱신 주기를 제어하는 방안이 제안되었다.

토폴로지 정보의 정확성과 확장성 간에는 트레이드 오프 관계가 있으므로, GMPLS 제어 평면은 네트워크 운용자가 그들 네트워크 고유의 성격에 따라

서 유연하게 밸런스를 조정할 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

나. 경로 선택

경로 선택은 망 계획 시에 오프라인으로 설정되거나 실시간 온라인으로 처리될 수 있는데 이러한 경로 선택은 계산의 복잡성, 토폴로지 정보 이용가능성, 특정 망 상황에 의존하게 된다. 예를 들어, 운용자는 경로 선택 결정을 처리하기 위해서 일부는 온라인 계산처리를 이용할 수 있고, demand planning, service scheduling, cost modeling, global optimization과 같은 복잡한 트래픽 엔지니어링과 policy를 위해서는 오프라인 계산을 사용할 수 있을 것이다.

경로 선택을 위한 입력으로는 회선 커넥션 중단 지점, 요청되는 대역폭, diversity, inclusion/exclusion hop과 같은 조건들이 될 수 있으며, 경로 선택의 결과는 커넥션 요구사항을 만족하는 명시적 경로 (explicit routed path)의 리스트들이 될 것이다.

3. GMPLS 리소스 발견과 LMP

GMPLS 네트워크에서 LSR들 간의 리소스 발견과 링크 관리는 LSR adjacency와 port-association을 생성, 확인, 갱신, 유지하는 일련의 작업들로 이루어진다.

먼저, 각 LSR에 위치하게 되는 리소스 발견 모듈에서는 신호 유형, 페이로드 유형, 광 유형 등의 물리적인 속성, 인접 노드 식별자, 실시간 동작 상태 등을 포함한 완전한 LSR 레벨 리소스 맵을 생성해야 하는데, 이를 위한 동작 절차는 다음과 같다.

- 자신의 리소스를 파악하여 리소스 테이블 내에 물리적인 속성, 로컬 ID, 논리적인 제약 파라미터 등을 구성한다.
- 인접한 노드들과 포트 연결상태 등을 파악하고 리소스 테이블 내에 인접 LSR 주소, 포트, ID 필드 등을 구성한다.

제어 평면 네트워크는 전송 평면 네트워크와는 다르게 구성될 수 있기 때문에 LSR은 전송망에서는 인접 노드가 될 수 있지만 제어 평면상에서는 인접 노드가 되지 않을 수 있으므로, 전송 평면상의 인접 노드들과 포트 연결상태 등이 명확히 식별되어 전송 망상의 in-band 이벤트들이 제어 평면상의 제어 메시지들과 조화롭게 처리되도록 하는 기법이 필요하다.

인접노드 발견 이후에는 동작 상태를 검사하고 물리적인 속성들과 같은 그들의 구성들을 확인하는 절차를 거쳐야 하는데 이러한 확인 과정은 in-band 시그널을 사용하는 것 없이 제어 평면 망에서의 제어 메시지를 통해서 수행될 수 있다. 어떠한 mismatch가 발생할 시에는 해당 포트 misconfigured 로서 표시되고 notification이 운용자에게 전달되는 기능이 이용될 것이다. 리소스 모니터링은 연속적인 절차로서 인접노드 확인과 포트 연결상태 검사 등을 주기적으로 반복하여 리소스 상태 변화를 제어 개체들에 보고하게 된다.

4. GMPLS 보호 및 복구

GMPLS 제어 평면에 의해서 제공되는 주요한 서비스의 하나는 신속한 복구(fast restoration)로서 전송망 구현 시에 매우 중요한 고려사항이 된다. 복구는 미리 계산하거나 실시간으로 커넥션을 위한 다양한 경로를 발견하는 방법에 의해서 제공될 수 있는데, GMPLS 시그널링은 link protection, dedicated path protection, mesh shared path restoration, dynamic rerouting restoration 등의 다양한 복구 기법들을 지원할 것으로 예상된다.

복구 절차로는 오프라인으로 미리 예비 경로를 설정해놓거나 실시간 온라인으로 설정하는 방안이 있는데, 오프라인 계산은 시뮬레이션 또는 망 계획툴(network planning tool)을 이용해서 수행될 것이며, 온라인 계산 방식에서는 분산된 복구 메커니즘을 이용해서 오늘날 널리 사용되는 중앙화된 NMS(Network Management System) 방식 보다 빠른 복구를 제공할 수 있을 것이다.

복구 정책의 선택은 망 자원 이용률과 서비스 중



단 시간과의 트레이드 오프로서 당연히 서비스 중단 시간이 최소화되는 것이 희망적이지만, 이것을 수용하기 위해서는 네트워크 리소스 이용의 대가 때문에 결과적으로 비용을 증가시키게 된다[6],[7].

#### IV. GMPLS 표준화 및 연구개발 동향

IETF는 2001년 8월 현재 9개의 표준화 영역(Applications Area, General Area, Internet Area, Operations and Management Area, Routing Area, Security Area, Sub-IP Area, Transport Area, User Services Area)으로 구성되어 있다.

IETF에서는 데이터 링크계층과 네트워크 계층에 초점을 맞추면서 다양한 물리계층에서 효과적으로 동작할 수 있도록 기존의 프로토콜을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 1999년 11에 MPLS 개념을 OXC로 확장한 MPLambdaS가 제안되었고 2000년 3월에는 IPO(IP over Optical Network) WG이 탄생하여 광 네트워크상에서 IP 운용과 관련된 이슈들, 서비스 요구사항, 시그널링 요구사항, TE 요구사항 등에 대한 작업이 진행되고 있다[10],[11].

GMPLS과 관련된 표준화 영역은 IETF 9개의 표준화 영역 중에 Sub-IP이며, Sub-IP 표준화 영역에서 CCAMP(Common Control and Measurement Plane) WG의 주도 하에 이루어지고 있다. 그 외 GMPLS를 지원하기 위한 라우팅 프로토콜 확장은 CCAMP WG과 더불어서 라우팅 영역 내의 ISIS(IS-IS for IP Internets) WG에서 공동으로 진행되고 있으며 GSMP(General Switch Management Protocol) 확장은 GSMP WG에서, Link Bundling, LSP Hierarchy, Unnumbered Link와 관련된 이슈들은 MPLS WG에서 진행중에 있다.

GMPLS 시그널링 관련 표준화 작업은 이미 상당히 진척되어 지난 5월 말에 MPLS WG의 GMPLS - Signaling Functional Description, CR-LDP extension, RSVP-TE extension과 CCAMP WG의

GMPLS extension for SONET and SDH Control draft들이 last call 상태로 들어가 IESG의 검토가 진행중에 있다.

최근 IPO WG에서는 ITU-T에서 표준화가 진행 중인 ASTN(Automatic Switched Transport Network) 및 ASON(Automatic Switched Optical Network)과 IETF의 GMPLS와의 연계방향을 규정하기 위한 활동이 진행되고 있다. ITU-T SG 13의 주도 하에 진행되고 있는 G.ASTN 관련 표준화 작업은 중앙화된 컨트롤 노드에 의해서 제어되는 오버레이 구조의 멀티서비스 네트워크의 제어 평면 구성에 초점을 맞추고 있는데, 이러한 ASTN 제어 평면을 위한 제어 프로토콜로서는 IETF의 GMPLS가 유력시 되고 있다. IPO WG에서는 OIF의 "Carrier Optical Service Framework and Requirement"에 기반해서 주로 IP 어플리케이션에 초점을 맞추어 IP/Optical 프레임워크를 위한 캐리어들의 서비스 요구사항과 서비스 참조 모델을 규정하고 있다. 또한 GMPLS 제어 평면 적용에 관련되는 광 전송 평면의 제약사항 등이 검토되고 있고, 인터도메인 라우팅에 관련된 요구사항들이 제시되고 있으며, Optical channel concatenation에 관한 draft가 제출되었다.

CCAMP WG은 가장 활동이 활발한 WG 중의 하나이나 구성된 지가 얼마되지 않는 까닭에 아직까지 제정된 RFC는 하나도 없으며, WG의 승인을 받은 공식적인 Internet draft 다섯 편이 진행중에 있다. CCAMP WG에서는 신호 프로토콜의 정의와 프로토콜 측정관련 분야를 담당하는데 GMPLS 구조, GMPLS 시그널링 프로토콜, Link Management Protocols, 보호절체 방식 등을 중심 주제로 활동을 진행중에 있다. 최근에는 Inter-AS 시그널링, Optical VPN(Virtual Private Network), G.709 광 전송 제어를 위한 GMPLS 시그널링 확장, Measurement, GMPLS 지원을 위해 기존의 MPLS 트래픽 엔지니어링 MIB 확장 방안, LMP 갱신 및 LMP MIB에 대해서 주로 논의되고 있다.

## V. 결론 및 향후 전망

폭증하는 인터넷의 트래픽을 수용할 수 있는 방안으로서 광 스위칭 기술에 기반한 광인터넷에 대한 연구가 본격화되면서 이러한 광인터넷망에서 연결 설정, 인접 노드 발견 및 링크 관리, 라우팅, 시그널링 기능을 기반으로 해서 트래픽 제어와 리소스 제어, QoS, VPN 등과 노드 링크 경로보호 복구의 제어 능력에 제공하기 위해서 MPLS를 확장한 GMPLS에 대한 표준화가 활발히 진행되고 있다.

GMPLS 제어 평면은 OADM, OXC 및 LSR과 같은 네트워크 장치간의 제어 협력 개념의 도입을 용이하게 할 수 있으며 IP/MPLS, SDH/SONET과 OTN 계층에서 필요로 하는 효율적이고 단일화된 제어 평면 서비스를 제공할 수 있기 때문에 네트워크의 설계, 배치, 유지로 인한 전체적인 복잡성을 줄일 수 있다.

현재 광 장비업체들은 주로 Optical UNI를 이용한 도메인 서비스 모델 기반의 광인터넷 장비 구현에 주력하고 있지만, 궁극적으로 통합 서비스 모델로 발전할 것으로 예상된다. 결국 미래의 인터넷망은 기존의 망과 여러 유형의 광인터넷망이 혼재한 형태로 구성될 것이므로, GMPLS를 이용한 ISP간의 Optical NNI에 대한 연구가 수행되어야 하며, 도메인 서비스 모델에서 통합 모델로의 광인터넷망 진화를 위한 발전 방향이 제시되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Bala Rajagopalan and Tellium *et al.*, "IP over Optical Networks: A Framework," IETF Internet draft, draft-ietf-ipo-framework-00.txt, July 2001.
- [2] Krishna Bala and Tellium, "IP Centric Control for the Optical Layer," NFOEC 2000.
- [3] Eric Mannie *et al.*, "Generalized Multi-Protocol Label Switching(GMPLS) Architecture," IETF Internet draft, draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-00.txt, June 2001.
- [4] Osama Aboul-Magd *et al.*, "A Framework for Generalized Multi-protocol Label Switching," IETF Internet draft, draft-many-ccamp-gmpls-framework-00.txt, July 2001.
- [5] Peter Ashwood-Smith *et al.*, "Generalized MPLS - Signaling Functional Description," IETF Internet draft, draft-ietf-mpls-generalized-signaling-05.txt, July 2001.
- [6] Robert Doverspike and Jennifer Yates, AT&T Labs, "Challenges for MPLS in Optical Network Restoration," *IEEE Communications Magazine*, Feb. 2001.
- [7] Greg M. Bernstein and Ciena Corporation, "IP-Centric Control and Management of Optical Transport Networks," *IEEE Communications Magazine*, Oct. 2000.
- [8] John Strand and AT&T Laboratories *et al.*, "Issues for Routing in the Optical Layer," *IEEE Communications Magazine*, Feb. 2001.
- [9] Daniel Awduche and Movaz Networks, "Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects," *IEEE Communications Magazine*, Mar. 2001.
- [10] 함진호, 강신각, 박기식, 박치항, "광 스위칭 기반 차세대 인터넷," 전자통신동향분석, 제16권 제3호, 2001. 6.
- [11] 전경표, 김영부, 이순석, 강국창, "광인터넷 표준 기술," TTA 저널, 2001. 6.
- [12] 양선희, 정민영, 이유경, "MPLS 트래픽 엔지니어링에 의한 인터넷 품질제어 기술," 통신학회, 2000. 9.