

패킷-광 통합 전달망 기술 동향

Technology Trends of Packet-Optical Transport Network

네트워크 기술의 미래 전망 특집

목 차

-
- I . 서론
 - II . 패킷-광 통합 전달 시스템
 - III . 패킷-광 통합망 제어 평면
 - IV . 다계층 광 네트워크 제어플랫폼
 - V . 결론

정태식 (T.S. Cheung)	광네트워크연구팀 책임연구원
윤지욱 (J.W. Yoon)	광전송기술연구팀 선임연구원
김선미 (S.M. Kim)	네트워크통합제어연구팀 선임연구원
윤승현 (S.H. Yoon)	네트워크통합제어연구팀 책임연구원
유제훈 (J.H. Yu)	광네트워크연구팀 책임연구원
송호영 (H.Y. Song)	네트워크통합제어연구팀 책임연구원
유태환 (T.W. Yoo)	광인터넷연구부 책임연구원

패킷-광 통합 전달망 기술은 지능형 패킷 전달 계층과 대용량 광 전달 계층을 통합하고 이를 단일 체계로 제어/관리하여 광대역 고신뢰의 패킷-광 통합 전달 경로를 효율적으로 제공하는 기술로서, 이를 통해 다양한 멀티미디어 서비스를 효과적으로 수용할 수 있는 패킷-광 통합 전달망 구축이 가능해진다. 본 고에서는 패킷-광 통합 전달망 기술의 표준화 동향, 개발 동향 및 상용 제품의 주요 특징들을 살펴보고자 한다.

I. 서론

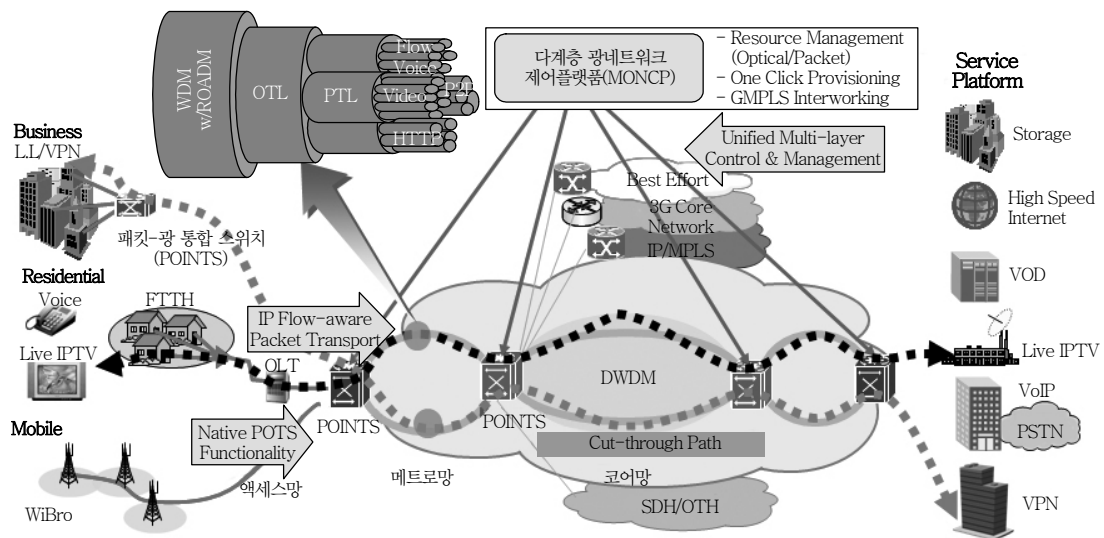
현재의 전달망은 음성 서비스나 전용선 서비스를 위한 회선 기반의 광 전달망과 인터넷 서비스를 위한 패킷 전달망의 오버레이 형태로 통신망과 운용관리 체계가 네트워크별로 이원화되어 있다. IPTV 확산, UCC 출현, 무선 인터넷 사용자의 증가 등으로 고품질 멀티미디어 서비스와 같은 프리미엄 IP 트래픽이 급증하여 보다 넓은 전송 대역폭에 대한 요구가 증가하고 있으며, 서비스 사업자들은 소득이라는 측면과는 무관하게 보다 넓은 대역폭과 새로운 서비스들을 지원해야 하는 도전에 직면해 있는 실정이다.

상기 요구사항을 해결하기 위한 새로운 기술은 TPS 서비스, 유무선 IP 비디오와 같은 패킷 기반의 새로운 애플리케이션과 최근 급격히 증가하고 있는 E-Line, E-LAN, E-Tree 등의 캐리어 이더넷 서비스를 보다 효과적으로 수용해야 하며, 이를 위해서 TDM 기술을 사용하는 회선 기반의 전송방식에서 이더넷 기반의 패킷 전송방식으로 변화하고 있다. 이러한 변화는 고가의 대용량 라우터의 수요를 감소시켜

네트워크 구축 및 관리에 따르는 CAPEX와 OPEX를 감소시키는 효과가 있다. 패킷-광 통합 전달 기술은 광 전달망의 넓은 대역폭과 높은 신뢰성 그리고 잘 발전된 보호 절체 및 OAM 기술을 이용하여 이더넷 서비스를 수용하기 위한 것으로 대부분의 주요장비 업체들은 패킷-광 통합 전달 시스템(P-OTS)의 개발에 주력하고 있다. 국내에서도 이에 대한 연구가 진행중이며 (그림 1)과 같이 패킷-광 통합 전달시스템과 다계층 광 네트워크 제어플랫폼을 결합하여 효과적인 전달망을 구축하고자 시도하고 있다.

패킷-광 통합 전달 시스템은 패킷 기반의 전달 계층 기술(PTL)을 사용하여 회선 기반의 전달 방식을 대체하고 품질 보장 및 경로 관리가 가능한 패킷 전달 경로에 매핑된 트래픽을 고속 대용량의 광 전송 기술을 이용하여 전달하는 시스템이다.

패킷-광 통합 전달 시스템 장비 시장은 캐리어 이더넷 장비 시장과 더불어 새로이 부각되고 있는 이더징 마켓으로 Residential TPS, 엔터프라이즈 서비스, 모바일 백홀에 도입이 확산되어 기존의 ATM, SONET/SDH, Native Ethernet 및 라우터 시장을



(그림 1) 패킷-광 통합 전달망

대체해 나갈 것으로 예상된다.

본 고에서는 패킷-광 통합 전달 시스템의 개발 동향과 제어 평면, 다계층 광 네트워크 제어플랫폼에 대한 기술 및 표준 동향을 소개한다.

II. 패킷-광 통합 전달 시스템

패킷-광 통합 전달 시스템은 단일 새시 형태로 ROADМ 광 스위칭 기능과 SONET/SDH ADM 기능 그리고 연결 지향성 이더넷에 대한 스위칭 기능을 제공하는 전달망 시스템으로 정의된다[1].

1. 특징

<표 1>은 현재 상용화된 패킷-광 통합 전달 시스템에서 사용하고 있는 스위치의 종류와 주요 특징들을 보여준다. 스위치의 구조는 회선 스위칭 기능과 패킷 스위칭 기능의 통합 정도에 따라 분류된다. 두 가지 스위칭 기능이 단일 칩으로 통합되어 회선 스위칭과 패킷 스위칭의 자유로운 선택이 가능한 universal switch는 단일 플랫폼상에서 라인카드를 서비스 종류에 맞추어 변경하는 것만으로 서비스 제공자로 하여금 추가비용 없이 고객의 다양한 서비스 요구를 지원할 수 있게 해주므로 변화되어 가는 전송망 환경에

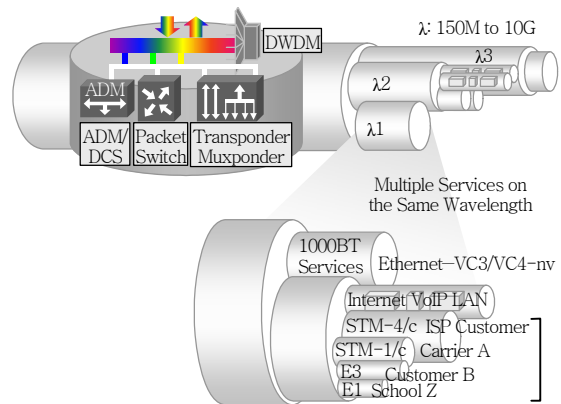
<표 1> 패킷-광 통합 전달 시스템 스위치 구조[1]

시스템	제조사	스위치 구조
1850TSS	Alcatel-Lucent	Universal Switch (single fabric)
ONS15454	Cisco	Packet/Circuit Switch
CN4200	Ciena	Packet/Circuit Switch
FW9500	Fujitsu	Universal Switch (dual fabric)
7200OSP	Xtera(Meriton)	Universal Switch (dual fabric)
CM4314	Corrigent	Universal Switch (single fabric)
XDM1000	ECI	Packet/Circuit Switch
7100OTS	Tellab	Packet/Circuit Switch

맞추어 패킷 스위칭 용량을 점차적으로 증가시키면서 미래의 전송망 구조변화에 유연하게 대처할 수 있는 특징이 있다.

패킷-광 통합 전달 시스템의 또 다른 주요 특징은 현재까지 여러 종류의 플랫폼에서 수행되던 기능들을 하나의 플랫폼으로 통합함으로써 사용자들이 요구하는 다양한 서비스들을 저비용으로 보다 효과적으로 제공한다는 것이다. 이를 위해 패킷-광 통합 전달 시스템은 다양한 인터페이스를 수용할 수 있어야 하며 이를 통해 입력되는 각종 서비스들을 전송망 수준의 신뢰성과 서비스별 QoS를 보장하면서 전송해 줄 수 있어야 한다. (그림 2)는 Cisco ONS15454에서 하나의 광 전송 채널을 통해서 데이터 트래픽과 TDM 트래픽을 동시에 전송하는 예를 보여준다[2].

(그림 2)에서 TDM 트래픽은 ADM/DCS에 의해서 해당하는 광 파장에 매핑되며, 데이터 트래픽은 패킷 스위치를 통해서 동일한 목적지별로 스위칭되어 해당하는 광 파장으로 입력된다. 일단 입력된 트래픽들은 하나의 광 파장에 매핑되어 목적지의 에지 노드까지 파장 스위칭만을 통해서 전송될 수 있다. 하나의 광 파장에는 최선형 인터넷 트래픽과 프리미엄 서비스인 VoIP 트래픽 뿐 아니라 기존의 SONET/SDH 트래픽이 동시에 할당될 수 있다.



(그림 2) ONS15454의 광 파장 구성 예[2]

2. 주요 제품

가. Alcatel Lucent 1850 TSS-320

1850 TSS-320 시스템[3]은 새로운 형태의 MSTP 장비로 동일한 하드웨어 플랫폼에서 라인카드만을 교체함으로써 100% 회선방식에서부터 100% 패킷방식까지 모두 수용할 수 있으며 회선과 패킷의 모든 조합이 가능하다. 회선과 패킷 간의 매핑없이 각각을 고유방식으로 독립적으로 스위칭해 주는 universal switch를 사용하여 기존의 MSPP 장비가 패킷 기반의 트래픽이 증가할 경우 생기는 단점인 확장성 문제를 해결하였다. 1850 TSS-320 시스템의 주요 특징은 다음과 같다.

- Multi-Technology 지원: 다양한 전송방식을 지원하는 통합구조를 채택하여 서비스 제공자가 트래픽 패턴 변화에 용이하게 대처 가능
- 다양한 스위칭 기능 지원: 캐리어 이더넷 서비스 수용을 위한 MPLS-TP 스위칭, SONET/SDH 트래픽에 대한 STS, VC 스위칭, EoS, VCAT, LCAS 지원, OTH 신호에 대한 ODU 스위칭, ROADM을 통한 파장 스위칭
- 유연한 망 구성 기능 지원: 패킷 또는 TDM 스위치 라인카드의 탑재에 따라 광범위한 네트워크 전송 서비스 지원
- 이더넷 기능 지원: MAC 주소 학습 및 aging, 이더넷 브리지(802.1D)/가상 브리지(802.1Q)/프로바이더 브리지(802.1ad), STP, LAG, 다양한 트래픽 분류(Port, MAC, VLAN, Priority bit, IPv4 TOS, IPv4 DSCP)

나. Fujitsu Flashwave 9500

Flashwave 9500의 시스템 구조는 universal switch를 사용하는 1850 TSS와 유사하며 SONET-

only, ROADM-only, Ethernet-only 구성이 가능하고 이 기능들의 통합구성 또한 가능하다[4]. 하나의 플랫폼에서 Multiservice/Multirate SONET 인터페이스, 이더넷 인터페이스 그리고 Transponder/Muxponder 인터페이스를 제공하며 각 인터페이스별 주요 특징은 다음과 같다.

- SONET 인터페이스: 최대 2개의 OC-192 포트 지원, 8 포트 Multiservice/Multirate 지원(소프트웨어 변경만으로 다양한 프로토콜 지원)
- 이더넷 인터페이스: 최대 2개의 10GbE 포트 또는 20 포트의 GbE 지원, E-Line 및 E-LAN 서비스 지원
- Transponder 인터페이스: OTU2 지원, 10GbE LAN/WAN PHY 지원, OC-192 가입자 인터페이스 지원

다. Ciena CN 4200 RS

CN 4200 RS 시스템은 240Gbps의 단일 시스템 용량을 가지며 480Gbps 용량까지 확장이 가능하다[5]. VC-4 단위의 스위칭 기능을 제공하며 전송망으로는 OTU-3 신호를 지원한다. 또한 하나의 라인카드를 소프트웨어 동작만으로 다양한 프로토콜과 데이터 전송률을 가지는 클라이언트 인터페이스(STM-1/4/16, FC, GbE, ESCON and video)로 변경이 가능한 특징을 가진다. CN 4200 RS 시스템에서 제공하는 ODU 단위의 타임슬롯 교환기능은 이더넷 신호와 TDM 신호를 별개의 스위치를 사용함이 없이 계층 1의 ODU 단위의 스위칭만을 이용하여 분기/결합이 가능하게 해준다. 즉 에지 노드에서 이더넷, 서킷, ESCON과 같은 다양한 서비스 트래픽을 동일한 sub-lambda 개념의 OTU 프레임에 할당할 후 중간 노드에서는 ODU 스위치를 이용하여 이들 트래픽들을 스위칭 해줌으로써 스위치 구조를 단순화 할

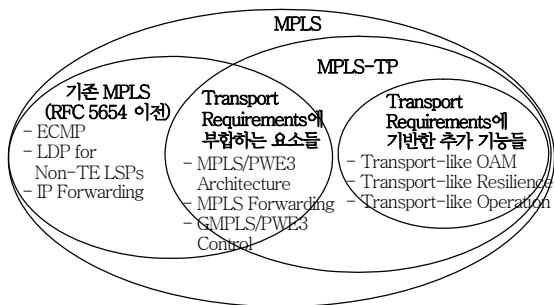
서비스가 가능하며, 고객 네트워크와 프로바이더 네트워크를 분리하는 PBB 프레임 형식을 이용한다.

(그림 3)은 MEF에서 캐리어 이더넷 서비스를 위해 정의한 EVC와 PBB-TE 표준에서 정의한 서비스 인스턴스 BSI와 패킷 전달 경로 TESI의 상관 관계를 나타낸다.

나. MPLS-TP 기술

MPLS-TP의 전신에 해당하는 T-MPLS 기술은 기존의 MPLS를 단순화 하여 코어 망에서 패킷 전달 기술을 구현하기 위한 방안으로 Alcatel-Lucent에 의해 제안되었고, ITU-T SG15에서 표준화가 진행되어 왔다. 그러나 IETF에서는 T-MPLS가 기존의 MPLS와 동일한 EtherType과 OAM 레이블을 사용하면서도 MPLS와는 다른 새로운 OAM PDU와 프로토콜을 정의하고자 함으로써 기존 MPLS 망과의 상호 운용성 문제를 일으킬 수 있다는 문제가 제기되어, ITU-T SG15는 그 동안 진행되던 T-MPLS 관련 권고안 작업을 모두 중지하고 IETF 내에서 MPLS-TP라는 이름으로 새롭게 논의되고 있는 상태이다.

MPLS-TP는 (그림 4)와 같이 MPLS를 기반으로 하고 T-MPLS 개발 시에 도출되었던 전달망을 위한 요구사항을 반영할 수 있도록 확장된 기술을 의미한다[9].



(그림 4) MPLS-TP의 범위

MPLS-TP는 IP 포워딩 기능 없이 동작하는 것을 기본 전제로 하며 MPLS와 동일한 패킷 포워딩 방식을 사용하고, 전달망 요구사항을 만족하기 위해 OAM 및 보호 절체 기능이 추가될 예정이다.

MPLS-TP의 표준화 주체가 ITU-T에서 IETF로 이관됨에 따라 기존 ITU-T의 Y.1731[10] 이더넷 OAM을 적용하려는 벤더들과 IETF의 기존 MPLS OAM을 확장하려는 벤더들이 서로의 주장을 굽히지 않아 OAM의 구체적인 메커니즘에 대한 표준화가 지연되고 있다. 현재 MPLS-TP OAM의 프레임워크에서 정의된 관리 객체는 단-대-단 LSP/PW를 기본으로 하고 다양한 관리 객체를 정의하고 있으며, MPLS-TP OAM이 제공하는 기능은 다음과 같다[11].

- Continuity Check
- Connectivity Verification
- Performance Monitoring
- Alarm Suppression
- Remote Integrity
- On-demand/Proactive Operation 등

MPLS-TP 보호 절체 역시 OAM과 마찬가지로 ITU-T의 G.8031[12] 이더넷 선형 보호 절체를 기반으로 할 것을 주장하는 벤더와 IETF에서 새로운 보호 절체 프로토콜을 규정할 것을 주장하는 벤더들 간의 논쟁으로 구체적인 메커니즘에 대한 표준화가 상당 기간 지체되고 있다[13].

MPLS-TP에서의 보호 절체 대상은 단-대-단 LSP와 PW를 기본으로 하고, 섹션에 대한 보호 절체도 지원한다. 아직 표준화가 완료되지는 않았으나 현재 MPLS-TP에서 정의되고 있는 보호 절체 방식은 다음과 같다[14].

- (1) 선형 보호 절체: 점-대-점 LSP에 대한 1:1 선형 보호 절체 방식으로 ITU-T G.8031과 유사

- (2) 링 보호 절체: MPLS-TP 링 망에서의 보호 절체 방식으로 steering과 wrapping 방식을 제공
- (3) 공유 메시 보호 절체: MPLS-TP 메시 망에서 보호 경로 할당에 필요한 망 자원을 공유할 수 있도록 하는 1:1 선형 보호 절체의 확장된 방식

III. 패킷-광 통합망 제어 평면

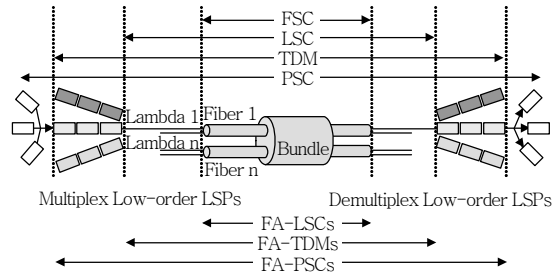
광 전송 기술의 발전으로 고속 대용량의 백본용 전달망 능력이 메트로망, 가입자망까지 확산됨에 따라 가입자에게 전용선 등 신규 서비스를 신속하게 제공해 주기 위해서는 intelligent transport network가 필요하게 되었다. 이에 ITU-T에서는 데이터망에서 검증된 라우팅, 시그널링 등의 프로토콜 도입을 통한 자동화된 전송망 제어 평면 구조(ASON)를 권고하였고 프로토콜로서 GMPLS를 채택하였다.

또한 PBB-TE, MPLS-TP 등 패킷 기술의 발전에 힘입어, OAM, 보호 절체, 동기화와 같은 기존 TDM 전송망 고유의 기능을 패킷 기술이 대체할 수 있게 되면서 전송망은 점차 저렴한 패킷 기술로 진화되고 있고, 이러한 패킷 전송망에 대한 자동화된 제어 평면이 함께 요구되고 있다.

패킷-광 통합 전달 시스템의 제어 평면은 광 계층과 패킷 계층에 대하여 일관된 제어 기능을 수행할 수 있는 GMPLS 제어 평면으로 구축된다.

1. GMPLS 제어 평면 기술 개요

네트워크의 전송 방식에 따라 데이터 전송 평면에는 기술적으로 많은 차이점이 있지만, 연결 설정 및 관리라는 측면에서 볼 때 제어 평면은 대체로 매우 유사하게 동작할 수 있으며, GMPLS는 다음과 같이 5가지 유형의 전송 인터페이스를 지원할 수 있다[15].



(그림 5) GMPLS 스위칭 계위

- Packet-Switch Capable(PSC) Interfaces
- Layer-2 Switch Capable(L2SC) Interfaces
- Time-Division Multiplex Capable(TDM) Interfaces
- Lambda-Switch Capable(LSC) Interfaces
- Fiber-Switch Capable(FSC) Interfaces

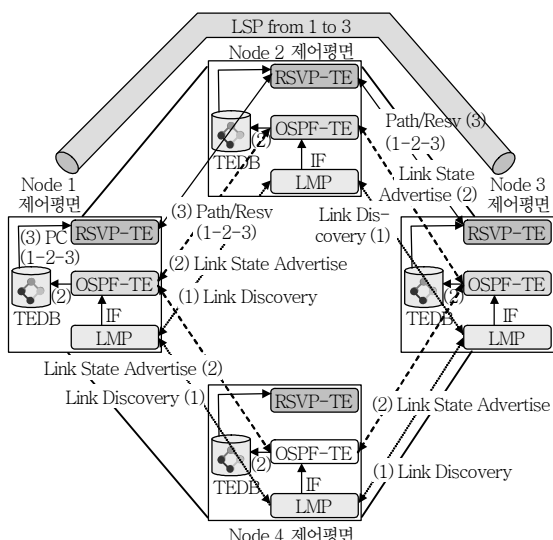
GMPLS는 MPLS와 비교하여 다음의 주요 개념들이 추가되었다.

- GMPLS에서는 (그림 5)과 같이 패킷, 타임 슬롯, 파장, 포트 등 다양한 네트워크 인터페이스에서 네트워크 토폴로지 정보를 교환 관리하고, 레이블 할당을 통한 스위칭이 가능하도록 한다.
- 광 네트워크 노드의 경우, 인접한 노드간 수백 개 이상의 파장 링크가 생성될 수 있기 때문에, 현재의 라우팅 프로토콜을 사용하면 망으로 전달되는 링크 상태 라우팅 정보량이 급증하는 확장성 문제가 있다. 따라서 두 노드 사이가 여러 개의 링크로 설정되어 있을 때, 여러 개의 링크를 하나의 묶음으로 관리하는 link bundling 개념을 추가하였다.
- IPv4 주소 공간의 부족으로 DWDM의 각 링크에 IP 주소를 모두 할당한다는 것은 현실적으로 어렵다. 이를 위하여 GMPLS에서는 IP 주소로 링크를 구분하지 않고 라우터 ID와 인터페이스 ID로 구분되는 unnumbered link 개념을 지원한다.

- GMPLS 노드는 LSP를 ISIS/OSPF의 트래픽 엔지니어링(TE) 링크로 선언할 수 있다. 이러한 링크를 FA를 갖는다고 하고, FA-LSP라고 한다. (그림 5)와 같이 한 계층에서 생성된 LSP가 상위 계층에서 하나의 data link로 사용될 수 있음을 의미하며 경로 계산 과정에서 해당 FA-LSP를 TE 링크로서 고려한다.
- GMPLS는 제어 채널과 데이터 채널을 분리하는 out-of-band 방식 제어 채널이 요구된다. 이러한 제어와 데이터 채널의 연결성 검사 및 관리를 위해 링크 관리 프로토콜(LMP)이 정의된다.

GMPLS의 동작방식은 다음과 같이 3단계로 정의될 수 있다(그림 6 참조).

- 1단계: LMP를 통한 인접 노드 자동 검출 및 링크 정보 수집, 교환
- 2단계: 수집된 링크 정보를 기반으로, 라우팅 프로토콜(OSPF-TE, ISIS-TE)을 통한 네트워크 자원 정보 교환, TEDB 생성
- 3단계: 생성된 TEDB를 기반으로 경로를 계산(PC)하고 시그널링 프로토콜(RSVP-TE)을 통한 LSP



(그림 6) GMPLS 동작 절차

설정 및 해제

GMPLS의 세부 프로토콜별로 기능 및 확장 내용은 다음과 같다.

가. LMP

수백~수천 개라는 링크 수의 증가에 따라 링크에 대한 자동화된 관리 기능이 필요하여 새롭게 정의된 프로토콜로서, 물리적으로 인접한 노드간의 control channel configuration을 통하여 제어 채널 구성 및 연결성을 확인하고, 각 노드에 속한 링크 속성 정보를 요약 전달함으로써 상호간에 연결된 link property correlation 기능을 수행하며, 각 링크에 대한 연결성을 검증하는 link connectivity verification, 링크 장애를 전파하는 fault management 기능이 있다[16]. 또한 LMP는 MIB을 통하여 TE 링크와 DBL 링크간의 포함 관계를 관리한다[17].

나. Routing(OSPF-TE, ISIS-TE)

GMPLS 제어 평면 내 라우팅의 주요 기능은 데이터 평면 네트워크 토폴로지 정보 전달과 LSP 설정을 위한 경로 계산 기능이다[18].

GMPLS 라우팅은 광, TDM, Ethernet 링크 등 다양한 네트워크 링크에 대한 TE 속성을 전달하기 위하여 ISCD, unnumbered link를 식별하기 위한 local/remote identifier, 링크의 link protection type 및 shared risk link group 정보를 추가하여 확장되었다.

이렇게 LMP 연동을 통하여 검증된 인접 노드간 TE 링크 정보를 라우팅 프로토콜로 교환함으로써 해당 네트워크에 대한 동일한 트래픽 엔지니어링(TE) DB를 구축하여 경로 계산에 사용된다. 최근에 경로 계산기능은 장비의 부하경감 및 추가기능확장을 위하여 외부 PCE 형태로 분리되어 운용되도록 변화하

고 있다.

다. Signaling(RSVP-TE)

라우팅 엔진 또는 외부 PCE에 구축된 TEDB를 기반으로 계산된 경로를 따라 RSVP-TE Path/Resv 메시지를 교환함으로써 LSP를 생성, 삭제 관리하며, 데이터 평면에 데이터 전송을 위한 정보를 설정한다 [19]-[21].

GMPLS 시그널링은 기존의 기능을 일반화하고, 광 네트워크 등 다양한 네트워크의 특성을 수용할 수 있도록 다음과 같이 그 기능이 확장되었다.

- Generalized Label: 다양한 네트워크 스위칭에 사용 가능하도록 label 관련 기능 확장
- Suggested Label: Upstream LSR이 downstream LSR에게 label 제안 가능하도록 확장
- Bidirectional LSP 지원: Upstream label을 이용한 양방향 LSP를 동시 설정하도록 기능 확장
- Label Set: 광 전송장비를 위한 가용/비가용 label 범위를 지정할 수 있도록 확장
- Explicit Label Control 개념 확대: Hop 마다 label을 외부에서 지정할 수 있는 기능 확장

2. GMPLS 최근 표준 동향

2010년 새롭게 RFC로 표준화된 내용들을 살펴보면 패킷-광 통합망처럼 다계층 네트워크간 연동을 위한 multi-layer 분야, global GMPLS 제어 평면 연동을 위한 inter-domain 분야, GMPLS의 seamless 망 적용을 염두에 둔 MP/CP inter-plane 간 연동 분야, 각 네트워크 계층 특성에 따른 고려사항들에 관한 발전이 큰 흐름을 구성한다.

가. MLN/MRN[22]

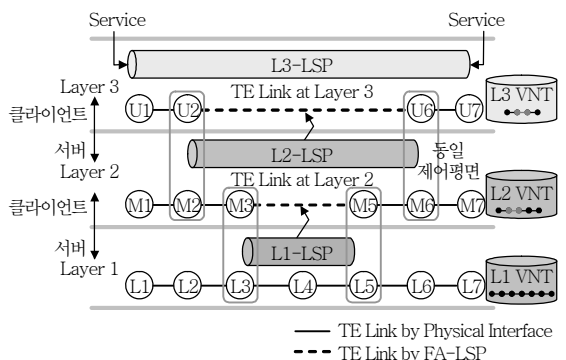
Region은 switching technology domain을 나타

내며, layer는 data plane switching granularity level을 나타낸다. 즉, MRN이란 한 GMPLS 제어 평면에 의하여 제어되는 2개 이상의 다른 switching type(예, PSC과 TDM)을 지원하는 TE domain으로 정의되며, MLN은 같은 ISC(예, TDM)에서 최소 2개 이상의 switching granularity level(VC4, VC12)을 갖는 TE domain으로 정의된다.

인터페이스는 여러 개의 스위칭 능력을 갖는 MR/ML TE link로 동작할 수 있는데, 이러한 TE 링크 정보 교환은 노드가 여러 switching capability로 연결될 수 있다는 특성과 end-to-end LSP 설정 과정에서 MR/ML에 걸친 경로를 선택하도록 경로 계산을 허용함을 의미한다. 이러한 MR/ML TE 링크들은 하나의 GMPLS 제어 평면에 의하여 사용되는 하나의 TEDB로 통합됨으로써 여러 region/layer를 거쳐 최적의 네트워크 자원이 사용될 수 있도록 하며, 캐리어 간에 신속한 서비스 프로비저닝이 이루어질 수 있도록 한다.

GMPLS-based MRN/MLN에서는 네트워크 레이어들 간에 클라이언트-서버 관계를 갖는다(그림 7) 참조).

이러한 계층 관계 속에서 서버 계층 LSP는 클라이언트 계층에게 가상의 네트워크 토폴로지(VNT)를 제공하여 클라이언트 계층 LSP 설정을 위한 경로 계



(그림 7) Multi-Region Network 관계도

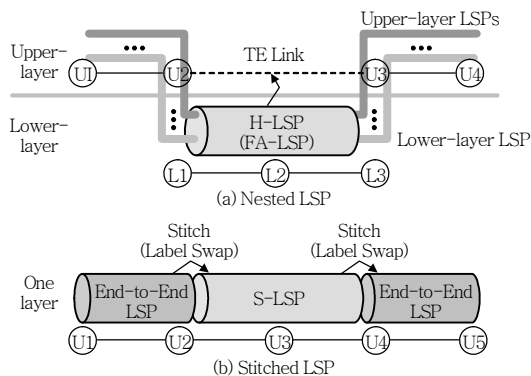
산에 사용된다. VNT는 동적으로 FA-LSP를 생성하여 구성되거나, 서버 자원 활용도를 높이기 위하여 데이터 평면에는 LSP를 설정하지 않고 TEDB에 포함시키기 위해 제어 평면에서만 서버 계층 FA-LSP를 설정하는 Virtual TE 링크로도 생성하여 구성할 수 있다.

나. Nested/Stitched LSP

End-to-end LSP를 설정하는 방법으로는 일반적인 LSP 설정 방식인 Contiguous LSP[20]와 Nested LSP[21], Stitched LSP[23] 방법이 있다(그림 8) 참조).

Nested LSP는 H-LSP(Hierarchical-LSP)라고도 하며, lower-layer LSP가 upper-layer LSP 설정을 위한 데이터 링크로 처리되는 FA-LSP에 해당된다. Nested LSP가 다른 layer를 위한 데이터 링크를 제공하는 반면에, Stitched LSP(S-LSP)는 같은 layer의 한 LSP를 위한 데이터 링크를 제공한다.

S-LSP는 기능이 다르거나 부족한 도메인을 거쳐 end-to-end LSP를 생성해야 하는 경우, 예를 들면, 점-대-다중점 기능을 지원하지 않는 LSR을 거쳐서 점-대-다중점 LSP를 생성해야 하는 경우, 기능을 제공하지 않는 도메인에서 S-LSP를 생성/연결함으로써 end-to-end 서비스를 제공할 수 있다.



(그림 8) Nested LSP vs. Stitched LSP

다. Inter-AS/Inter-Domain 고려

글로벌 네트워크간 연동 사업이 증가하면서, inter-domain 또는 inter-AS간의 GMPLS 연동을 위한 시그널링, 라우팅 기능이 확장되었다.

Inter-domain end-to-end LSP를 설정하기 위한 시그널링 방법으로 Contiguous LSP[20], Nested LSP[21], Stitched LSP[23]를 이용할 수 있으며, 네트워크 정책에 의하여 시그널링 과정 중 경계 노드가 결정된다[24].

Inter-AS를 거친 LSP를 설정할 때, next AS에 대한 ASBR 정보를 안다 하더라도, next ASBR과 연결된 inter-AS TE 링크의 capability를 알아야 exit point를 결정할 수 있기 때문에, inter-AS TE 링크들과 각각의 TE 속성, AS 번호 등 inter-AS TE 경로 계산을 수행하기 위하여 사용될 수 있는 확장안이 권고되었다[25].

라. MP to CP Conversion

GMPLS 제어 평면이 기존 망에 보급됨에 따라 기존 서비스에 영향을 주지 않으면서, 관리 평면에서 생성한 Permanent Connection(PC)을 제어 평면에 의해 관리되는 SPC로 소유권을 전환해야 할 필요성이 중요하여 시그널링 확장안이 권고되었다[26].

관리 평면에 의하여 설정된 LSP의 자원 정보—노드, 인터페이스, 레이블, 대역—를 추출하여 ADMIN_STATUS object의 H bit와 R bit를 설정해 path 메시지를 생성/전송함으로써 RSVP-TE 세션의 hand-over 과정을 시작한다. Handover가 완료된 후에, H bit를 해제하여 정상적인 GMPLS 제어 평면 RSVP 세션으로 관리한다.

마. 네트워크 특성 반영

GMPLS 제어 평면 기술이 기존 전송망에 점진적

으로 적용됨에 따라 WSON, Ethernet 등 네트워크 고유의 특성을 고려한 표준들이 권고되고 있다.

Ethernet 전송망 제어 평면을 위한 구조[27]가 제정되었으며, MEF10.1에서 권고한 Ethernet Traffic Parameter를 위한 시그널링[28], Ethernet 서비스(E-Line, E-LAN) 시그널링[29], Ethernet UNI application을 위해 GMPLS overlay 방식의 UNI 연동 서비스를 지원하는 방안[30]이 기고되었다.

PBB-TE 네트워크를 위한 label, I-SID 등 처리안[31]이 기고되어 있으며, Ethernet/MPLS-TP OAM 정보를 LSP 설정 과정에서 RSVP-TE를 통하여 전달하는 확장안이 기고되어 있다[32],[33].

또한, WSON의 RWA 과정을 위한 구조 및 resource properties encoding 방안들과 라우팅 확장안이 권고되었다[34]-[36].

IV. 다계층 광 네트워크 제어플랫폼

다계층 광 네트워크 제어플랫폼은 광 전달 계층과 패킷 전달 계층이 통합된 차세대 패킷-광 통합 전달망을 위해 필요하며, 멀티-벤더 이기종 장비 제어, 인터-도메인 연동, 자동화된 동적 경로 재구성(dynamic reconfiguration)이 가능한 크로스-레이어 경로

제어기술 등이 요구된다.

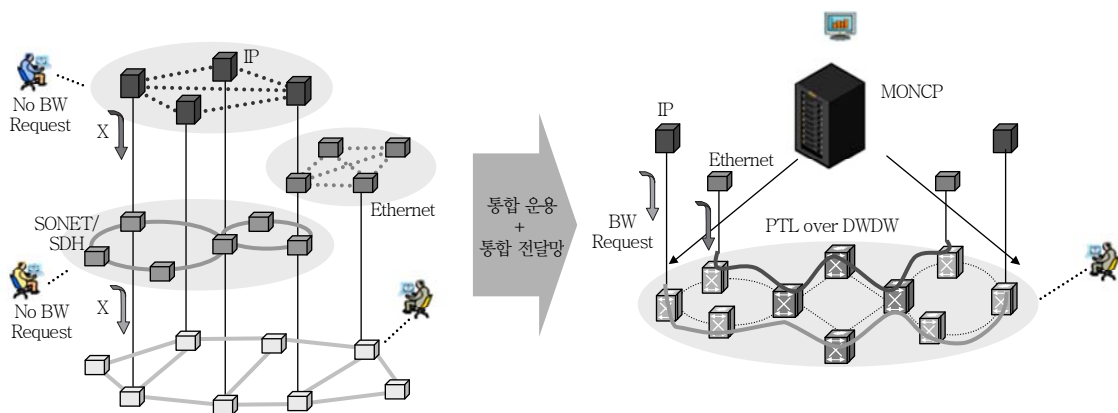
1. 특징

다계층 광 네트워크 제어플랫폼은 여러 계층으로 구성된 네트워크 상황에서 통합적으로 네트워크를 운용하고 자동화된 기술을 도입함으로써 네트워크 운용 비용을 절감하면서 자원을 효율적으로 사용하도록 지원하는 기술이다(그림 9) 참조.

기존의 네트워크에서는 IP, Ethernet, TDM/WDM 망의 독립적 운용으로 인해 관리가 복잡하고 중복 OPEX로 인해 비용이 많이 소모된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 다계층 제어플랫폼에서는 다계층 자원 관리 및 제어의 통합 운용을 통하여 관리를 단순화하고자 하는 것이다. 다계층 제어플랫폼(이하 MONCP)을 도입하게 되면 계층간 자원을 동적으로 운용하지 못하는 환경에서 자동으로 최적 자원을 이용할 수 있는 환경으로 변하게 되며, 자원효율성을 높이고 가용자원을 늘리는 효과를 가져오게 된다.

이를 위하여 MONCP는 다음과 같은 특징적인 기능을 갖추게 된다.

- 크로스 레이어 경로 프로비저닝(CPS)
- 통합 트래픽/QoS 모니터링 및 제어(TQMAS)



(그림 9) 최적화된 네트워크 운용 및 관리

- 다계층 트래픽 엔지니어링(integrated PCE)
- 동적 경로 재구성(DRPS)

또한 기존에 있는 EMS/NMS 기능에 자동화 기능을 추가하고 멀티벤더 지원, 도메인 연동기능이 강화된 다음과 같은 기본 기능을 요구한다.

- 패킷 계층 경로 프로비저닝(PPS)
- 광 계층 경로 프로비저닝(OPS)
- 자원&라우팅 토폴로지 자동발견, 분석 및 제어 (routing listener)
- 네트워크 토폴로지&자원 데이터베이스(NTRD)

대부분의 주요 벤더에서 다계층 제어 관리 기능을 점차 강화하는 추세에 있으며, 다음과 같은 솔루션을 갖추고 있다.

가. Alcatel-Lucent

전통적으로 전송계층 장비에 강하며, 이에 관련된 솔루션을 갖추고 있다.

“Management Suite”를 통하여 PTL과 OTL 계층에 대한 경로 프로비저닝 기능을 제공하고 있으며, “5620 SAM”에는 라우팅 토폴로지 자동발견 및 분석기능, 메트로 이더넷 기반의 VPN 기능, NTRD 기능 등이 있다. 또한 전통적인 EMS/NMS에서 지원되는 구성관리 및 성능관리 기능이 제공된다. 그러나 다계층 환경에 대한 특징적인 기능에 대한 솔루션은 현재까지 별도로 발표된 것이 없는 상황이다.

나. Huawei

다양한 네트워크 장비 제품군을 보유하고 있으며, 일원화된 제어 관리 솔루션을 제공하고 있다.

“U2000” 솔루션은 OPS, NTRD, EMS 기능을 기본적으로 제공하고 있고, 다계층 네트워크를 고려한 CPS 기능과 통합 트래픽/QoS 모니터링 및 제어 기

능을 갖춘 것으로 파악되고 있으며, 다계층에 사용될 수 있는 트래픽 엔지니어링 서버 기능을 일부 제공하고 있다.

다. Cisco

Cisco는 “IP Solution Center”를 통하여 IP 계층과 광 계층에 대한 크로스레이어 경로 프로비저닝 기능을 제공하고 있으며, 메트로 이더넷 기반의 VPN 프로비저닝과 다계층 트래픽 엔지니어링 기능을 갖추고 있다. “Cisco Works IPM”은 통합 트래픽/QoS 모니터링 및 분석 기능을 제공하며, “Route Manager”를 통하여 라우팅 분석 및 제어가 가능하다. 또한, 전통적인 EMS/NMS 분야에서도 IP Solution Center 내의 Network Assistant, NetManager 등을 이용할 수 있다.

라. 기타

네트워크 제어 관리 솔루션을 제공하는 Aria Networks에서는 각 계층별 멀티벤더 지원이 가능한 자동화된 경로 프로비저닝 서버를 제공하고 있으나 현재까지 크로스 레이어에 관련된 기능은 많지 않은 것으로 파악된다. Marben은 자동화된 경로제어를 위하여 제어 평면 소프트웨어와 트래픽 엔지니어링을 위한 PCE 개발 키트를 제공하고 있다.

Ciena-Nortel은 이더넷 패킷 계층과 관련된 솔루션이 주를 이루고 있으며, 멀티벤더 지원과 기업용 관리 솔루션이 제공된다.

Juniper는 WXCMS를 통하여 전통적인 EMS/NMS에 더하여 동적 경로 재구성 기능을 일부 포함하고 있다.

2. PCE 기술 및 표준화 동향

PCE는 2005년부터 IETF의 PCE WG에서 표준

화가 진행되고 있는 기술로서, 기본적으로 MPLS/GMPLS 기반 망에서 경로 계산을 수행할 목적으로만 들어졌다.

경로계산은 원래 MPLS/GMPLS의 LER 기능블록 또는 NMS 시스템의 기능블록에 포함된 기능으로 트래픽 엔지니어링을 제공하기 위하여 다음과 같은 필요성에 의해 별도의 외부 시스템으로 분리되도록 추진되고 있다.

- 멀티도메인(partial visibility) 문제 해결
- 전체최적화(global optimization) 등과 같이 CPU 부하가 많은 연산 수행
- Non-TE enabled IGP 상황 극복
- 대규모 네트워크인 경우에 TED 유지 관리
- 노드가 라우팅 도메인 외부에 있을 경우 극복
- 노드가 제어 평면 또는 라우팅 기능이 부족한 경우(퍼머넌트 경우) 극복
- 백업 경로의 계산 문제
- 다계층 네트워크의 트래픽 엔지니어링
- Policy and Constraint-based 경로 계산

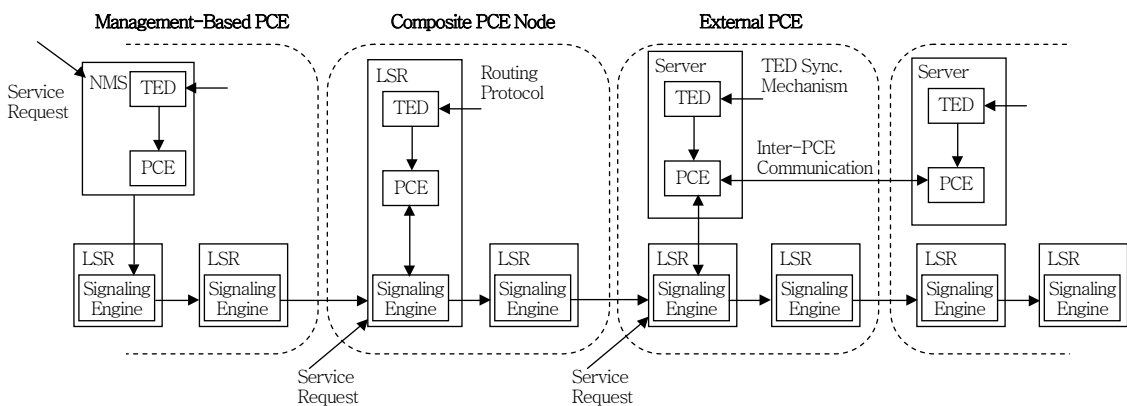
특히 패킷-광 통합 전달망에서 필요한 멀티도메인 연동과 다계층 트래픽 엔지니어링 수행을 고려한 모델이 수립되고 있으며, 중앙 집중형 PCE 및 분산

형 PCE 형태로 운영이 가능하다.

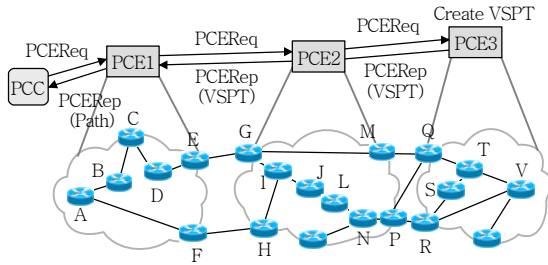
PCE WG에서는 PCE의 기본 아키텍처를 정의한 문서를 통해 PCE의 정의 및 도입 동기에 대한 내용과 PCE의 구성 요소 및 다양한 형태의 PCE 적용 방안(그림 10) 참조)에 대한 내용을 표준화 하였으며 [37], PCE와 GMPLS 제어 평면 사이 또는 PCE간의 연동을 위한 통신 프로토콜(PCEP)의 일반 요구사항[38] 및 inter-area MPLS/GMPLS 트래픽 엔지니어링을 위한 PCEP 요구사항[39]과 inter-AS PCEP 요구사항[40]에 대한 표준화를 완료하였다.

현재 PCEP 프로토콜에 대한 기본 표준이[41] 완료되었으며, 다수의 PCE 구조에서 PCC가 PCE를 발견하고 선택하기 위한 요구사항 정의[42] 및 IGP을 이용하여 이를 구체화한 표준도 완료된 상태이다 [43],[44]. 이를 기반으로 PCC는 PCE를 자동 발견할 수 있게 된다. 또한 PCE의 정책적인 부분을 고려하기 위해서 “PCE Policy Architecture”에 대한 상세한 정의가 이루어졌으며[45], 트래픽 엔지니어링을 위해 “Route Exclusion”을 통지할 수 있는 확장 표준[46]이 제정되었다.

Inter-domain 연동을 위하여 PCE간 연동 시에 특정 도메인에 속한 PCE가 자신의 도메인 내 토폴로지 정보를 타 도메인에게 보여주기 원치 않을 경우



(그림 10) PCE 연동모델 예



(그림 11) BRPC 절차

에 사용할 수 있는 개념과 방식을 표준[47]으로 정의하였으며, inter-domain 경로계산을 위해 BRPC 표준[48]이 제정되었다.

(그림 11)과 같이 BRPC는 inter-domain PCE간 연동 구조에서 PCC가 자기가 속해 있는 PCE에게 경로 계산 요청을 보낼 때 미리 결정된 목적지 도메인까지의 도메인 방문 순서를 지정하는 정보를 함께 보낸 후, 목적지 도메인의 PCE부터 역으로 해당 도메인의 VSPT를 구성하여 이전 도메인의 PCE에 전달하는 방식이다.

이외에 Diffserv-aware 방식을 지원하기 위한 PCEP 확장 표준[49], Global Optimization을 위한 PCEP 확장[50], P2MP 지원을 위한 확장[51],[52] 표준 등이 제정되고 있다.

이미 표준으로 확정된 RFC 외에 현재 표준화가 한창 진행중인 사항들은 요구사항 확장, PCEP 프로토콜 확장, P2MP 확장 및 PCE 관리 이슈에 대한 것이 있다.

3. 인터 레이어 연동

네트워크는 최소한 전송과 교환의 2계층 이상으로 구성되며, 표준에서는 IP/MPLS 계층과 GMPLS가 도입된 전송계층으로 구성된 구조가 주로 고려되고 있다.

MPLS 망과 GMPLS 기반 망은 각각 동적으로 제

어가 가능한 제어 평면을 갖고 있으며, 네트워크 운용을 효율적으로 수행하기 위하여 각각의 네트워크에서 트래픽 엔지니어링을 수행하기 보다는 이를 연동하여 처리하는 것이 효율적이다.

PCE WG에서는 계층간 연동에 관련된 기술과 표준에 대해서 논의 중에 있다. 계층간 연동을 통하여 최적 경로를 설정하는 방법은 PCE를 기반으로 연동하도록 결정되었으며, 단일 계층이 아닌 계층간의 프로비저닝을 위한 PCE와 MPLS 혹은 GMPLS 간의 중재 및 제어 역할을 위한 VNTM의 기능과 역할이 정의되었다[22],[53].

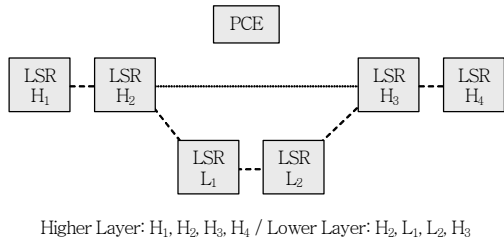
가상네트워크토폴로지(VNT)는 하위계층에서 생성된 LSP가 상위계층에서 TE 링크로 통보되는 토폴로지로 정의되며, 계층간 TE(inter-layer TE)는 계층간의 종단간 경로계산을 포함하여 하위 계층에서의 LSP를 설정하고 관리하는 가상네트워크토폴로지의 메커니즘을 통칭한다.

다계층 네트워크 환경에서 계층 간 트래픽 엔지니어링을 위하여 계층 간의 경로계산과 계층 간의 경로 제어의 두 가지 핵심 기술이 확보되어야 한다.

표준에서는 계층 간의 경로계산을 위하여 세 가지 모델이 제시되고 있다.

- 단일 PCE 모델: 하나의 PCE를 통하여 모든 계층을 통합한 경로계산
- 복수 PCE 모델(PCE간 통신): 계층별 PCE를 두고, PCE간 통신을 통해 전체 경로계산
- 복수 PCE 모델(PCE간 독립): 계층별 PCE를 두며, PCE는 각 계층내 경로계산

단일 PCE 모델(그림 12) 참조)은 모든 계층에 대한 경로 정보를 통해서 한 번의 계산으로 계층간 경로계산이 가능하고 메시지 오버헤드가 없다는 장점을 가지고 있지만, 네트워크의 형상에 따른 복잡도가

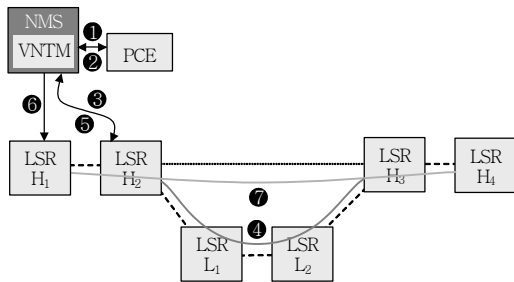


(그림 12) 단일 PCE 경로계산 모델

대단히 높다. 또한 계층 간의 독립적인 관리가 필요한 경우 혹은 서로 다른 사업자간의 구분과 보안이 요구되는 경우에는 사용할 수 없다. 복수 PCE 모델은 계층별 독립성을 유지하는 장점과 상대적으로 PCE의 복잡도가 적다는 이점이 있으나, PCE간의 메시지 전송과 관리 포인트가 많아진다는 단점이 있다.

경로계산 모델은 다음과 같이 제안되고 있다[53].

- PCE-VNTM 협조 모델: PCE와 VNTM과의 역할 분단을 통해 계층간 경로설정
- 상위계층 시그널링 모델: VNTM 없이 시그널링 엔티티가 주체가 되어 계층별로 시그널링을 통한 경로제어 처리
- NMS-VNTM 통합형 협조 모델: 네트워크 관리 측면에서 가상네트워크를 관리하고 NMS와 VNTM이 통합된 모델(그림 13) 참조)
- NMS-VNTM 분리형 협조 모델: 각 계층별로 PCE를 유지하며, NMS에서 하위계층 LSP가 필요한 경우에 VNTM을 통하여 경로를 설정



(그림 13) NMS-VNTM 통합형 협조 모델

경로계산 및 제어 모델을 결정하기 위해서 설정시간, 복잡도, 장비 변경, 관리용이성, 운용주체의 분리 등을 고려해야 하며, 계층간의 요구사항 및 대역폭의 불일치 등을 고려할 때 VNTM을 사용하는 경우가 운영적 측면에서 보다 유리한 장점을 가진다.

V. 결론

이상으로 패킷-광 통합 전달망 기술 및 표준화 동향에 대해서 살펴보았다.

트래픽의 지속적인 증가를 효율적으로 수용하기 위하여 회선기반의 전달망이 패킷기반의 전달망으로 변화하는 추세에 있으며, 비용을 줄이고 최적으로 네트워크를 운영하고 관리하기 위하여 네트워크 장비 및 제어 평면, 관리시스템 모든 부분에서 계층간 통합 또는 계층간 연동을 통한 통합제어 및 관리형태로 변화해 나갈 것으로 예상된다.

● 용어해설 ●

제어 평면(Control Plane): 분산된 네트워크 노드 간의 연결제어, 주소관리, 경로배정을 위해 자동화된 프로토콜이 운용되는 개념적인 평면을 의미한다.

트래픽 엔지니어링(Traffic Engineering): 네트워크에서 자원을 효율적으로 이용하기 위한 기술을 통칭하며, 트래픽이 전송되기 위한 최적경로 및 라우팅을 계산하고 이를 적용하는 것을 말한다.

약어 정리

ADM	Add/Drop Multiplexer
BRPC	Backward Recursive PCE-Based Computation
BSI	Backbone Service Instance
CFM	Connectivity Fault Management
CP	Control Plane
CPS	Cross-Layer Path Provisioning Server

DPRS	Dynamic Path Reconfiguration Server	TEDB	Traffic Engineering DB
EoS	Ethernet over SONET	TESI	TE Service Instance
ESCON	Enterprise Systems Connection	TQMAS	Traffic&QoS Monitoring and Analysis Server
EVC	Ethernet Virtual Circuit	VCAT	Virtual Concatenation
FA	Forwarding Adjacency	VNTM	Virtual Network Topology Manager
GMPLS	Generalized Multi-Protocol Label Switching	VSPT	Virtual Shortest Path Tree
ISCD	Interface Switching Capability Descriptor	WDM	Wavelength Division Multiplexing
LAG	Link Aggregation Group		
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme		
LMP	Link Management Protocol		
LSP	Label Switched Path		
MLN/MRN	Multi-Region/Multi-Layer Networks		
MONCP	Multi-layer Optical Network Control Platform		
MP	Management Plane		
MPLS-TP	Multi Protocol Label Switching Transport Profile		
MSPP	Multi Service Provisioning Platform		
MS-PW	Multi Segment PW		
MSTP	Multi Service Transport Platform		
NMS	Network Management System		
ODU	Optical channel Data Unit		
OPS	OTL Path Provisioning Server		
OTH	Optical Transport Hierarchy		
OTL	Optical Transport Layer		
OTN	Optical Transport Network		
PBB	Provider Backbone Bridge		
PBB-TE	PBB-Traffic Engineering		
PC	Permanent Connection		
PC	Path Computation		
PCC	Path Computation Client		
PCE	Path Computation Engine		
PCEP	Path Computation Element Communication Protocol		
P-OTS	Packet-Optical Transport System		
PPS	PTL Path Provisioning Server		
PTL	Packet Transport Layer		
PW	Pseudowire		
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing		
SPB	Shortest Path Bridging		
SPC	Soft Permanent Connection		
SS-PW	Single Segment PW		
STP	Spanning Tree Protocol		

참고 문헌

- [1] S. Perrin, "Packet-Enabled Optical Networking Quaterly Market Traker," HeavyReading Report, 2008.
- [2] Cisco ONS 15454 Multiservice Transport Platform 7.0, www.cisco.com.
- [3] Alcatel-Lucent 1850 TSS-320 Release 3.0, www.alcatel-lucent.com.
- [4] Flashwave 9500, www.fujitsu.com/global.
- [5] Service Enabled WDM Transport and Switching System-product Brochure, www.ciena.com.
- [6] IETF RFC 5921, "A Framework for MPLS in Transport Networks," 2010.
- [7] IEEE 802.1Qay-2009, "Virtual Bridged Local Area Networks-Amendment: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering," 2009.
- [8] IEEE 802.1aq/D3.0, "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 9: Shortest Path Bridging," 2010.
- [9] IETF RFC 5654, "Requirements of an MPLS Transport Profile," 2009.
- [10] ITU-T Y.1731, "OAM Functions and Mechanisms for Ethernet Based Networks," 2008.
- [11] I. Busi et al., "OAM for MPLS-based Transport Networks," draft-ietf-mpls-tp-oam-framework, 2010.
- [12] ITU-T G.8031/Y.1342, "Ethernet Protection Switching," 2009.
- [13] S. Bryant et al., "MPLS-TP Linear Protection," draft-ietf-mpls-tp-linear-protection, 2010.
- [14] N. Sprecher et al., "MPLS-TP Survivability Framework," draft-ietf-mpls-tp-survive-fwk, 2010.
- [15] IETF RFC 3945, "Generalized Multi-Protocol

- Label Switching(GMPLS) Architecture,” Oct. 2004.
- [16] IETF RFC 4202, “Routing Extensions in Support of GMPLS,” Oct. 2005.
- [17] IETF RFC 4327, “LMP MIB,” Jan. 2006.
- [18] IETF RFC 4203, “OSPF Extensions in Support of GMPLS,” Oct. 2005.
- [19] IETF RFC 3471, “GMPLS Signaling Functional Description,” Jan. 2003.
- [20] IETF RFC 3473, “GMPLS Signaling RSVP-TE Extensions,” Jan. 2003.
- [21] IETF RFC 4206, “LSP Hierarchy with GMPLS-TE,” Oct. 2005.
- [22] IETF RFC 5212, “Requirements for GMPLS-Based MRN/MLN,” July 2008.
- [23] IETF RFC 5150, “LSP Stitching with GMPLS TE,” Feb. 2008.
- [24] IETF RFC 5151, “Inter-Domain MPLS and GMPLS TE-RSVP-TE Extensions,” Feb. 2008.
- [25] IETF RFC 5392, “OSPF Extensions in Support of Inter-AS MPLS and GMPLS TE,” Jan. 2009.
- [26] IETF RFC 5852, “RSVP-TE Signaling Extensions for LSP Handover from MP to CP in GMPLS-Enabled Transport Network,” Apr. 2010.
- [27] IETF RFC 5828, “GMPLS Ethernet Label Switching Architecture and Framework,” Mar. 2010.
- [28] IETF draft-ietf-ccamp-ethernet-traffic-parameters-10.txt, “Ethernet Traffic Parameters,” Jan. 2010.
- [29] IETF draft-ietf-ccamp-gmpls-ether-svcs-04.txt, “GMPLS Support For MEF and G.8011 Ethernet Service Switching,” Oct. 2009.
- [30] IETF draft-ietf-ccamp-gmpls-mef-uni-03.txt, “GMPLS Support for MEG and G.8011 UNI,” Oct. 2009.
- [31] IETF draft-ietf-ccamp-gmpls-ethernet-pbb-te-05.txt, “GMPLS Control of Ethernet PBB-TE,” Sep. 2010.
- [32] IETF draft-ietf-ccamp-rsvp-te-eth-oam-ext-03.txt, “GMPLS RSVP-TE Extensions for Ethernet OAM Configuration,” July 2010.
- [33] IETF draft-ietf-ccamp-rsvp-te-mpls-tp-oam-ext-03.txt, “Configuration of Pro-active MPLS-TP OAM Functions Using RSVP-TE,” July 2010.
- [34] IETF draft-ietf-ccamp-rwa-info-09.txt, “RWA Information Model for WSON,” Sep. 2010.
- [35] IETF draft-ietf-ccamp-rwa-wson-encode-05.txt, “RWA Information Encoding for WSON,” July 2010.
- [36] IETF draft-ietf-ccamp-wson-impairments-03.txt, “A Framework for the Control of WSON with Impairments,” July 2010.
- [37] A Path Computation Element(PCE) Based Architecture(RFC 4655)
- [38] Path Computation Element(PCE) Communication Protocol Generic Requirements(RFC 4657)
- [39] PCE Communication Protocol(PCECP) Specific Requirements for Inter-Area Multi Protocol Label Switching(MPLS) and Generalized MPLS(GMPLS) Traffic Engineering(RFC 4927)
- [40] Inter-AS Requirements for the Path Computation Element Communication Protocol(PCECP) (RFC 5376)
- [41] Path Computation Element(PCE) Communication Protocol(PCEP)(RFC 5440)
- [42] Requirements for Path Computation Element (PCE) Discovery(RFC 4674)
- [43] IS-IS Protocol Extensions for Path Computation Element(PCE) Discovery(RFC 5089)
- [44] OSPF Protocol Extensions for Path Computation Element(PCE) Discovery(RFC 5088)
- [45] Policy-Enabled Path Computation Framework (RFC 5394)
- [46] Extensions to the Path Computation Element Communication Protocol(PCEP) for Route Exclusions(RFC 5521)
- [47] Preserving Topology Confidentiality in Inter-Domain Path Computation Using a Path-Key-Based Mechanism(RFC 5520)
- [48] A Backward Recursive PCE-Based Computation(BRPC) Procedure to Compute Shortest Constrained Inter-Domain Traffic Engineering Label Switched Paths(RFC 5441)
- [49] Diffserv-Aware Class-Type Object for the Path Computation Element Communication Protocol

- [50] Path Computation Element Communication Protocol(PCEP) Requirements and Protocol Extensions in Support of Global Concurrent Optimization
- [51] Applicability of the Path Computation Element(PCE) to Point-to-Multipoint(P2MP) MPLS and GMPLS Traffic Engineering(TE)
- [52] Path Computation Clients(PCC) - Path Computation Element(PCE) Requirements for Point-to-Multipoint MPLS-TE
- [53] Framework for PCE-based Inter-layer MPLS and GMPLS Traffic Engineering, RFC 5623