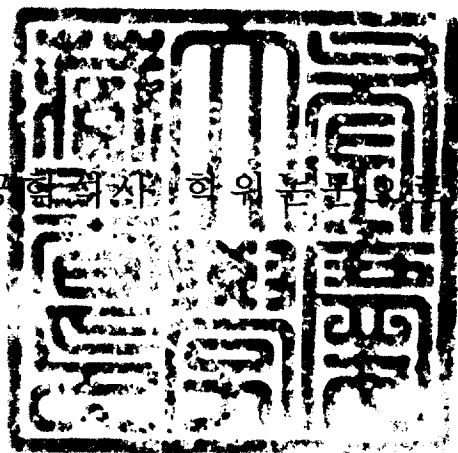


공학석사 학위논문

차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서
차등화된 광 QoS 서비스 제공
프레임워크 연구

지도교수 김 성 운

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2002년 8월

부경대학교 대학원

정보통신공학과

이 미 경

이미경의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 6월 29일

주 심 공학박사 김 석 태 (인)

위 원 공학박사 정 연 호 (인)

위 원 공학박사 김 성 운 (인)

목 차

I. 서론.....	2
II. 차등화된 광 QoS 서비스(DOS) 모델.....	5
1. DOS 클래스 정의.....	6
가. 서비스 분류 파라미터.....	7
나. BER/cl.SNR/OSNR 요구조건.....	9
다. GMPLS Exp 정의.....	11
라. 생존도 요구 정도.....	12
마. 광 자원의 할당 방법.....	13
바. 제안된 DOS 클래스.....	16
2. QoS TRAFFIC POLICY SERVER 정의.....	18
III. DOS 제어 메커니즘.....	21
1. DOS 모델의 시그널링 과정.....	21
가. GMPLS 기술의 특징.....	21
나. 링크 관리 프로토콜(LMP)의 특징.....	25
다. DOS 모델을 위한 시그널링 과정.....	27
2. DOS 클래스를 위한 LMP+의 제안.....	28
가. BER minimum threshold sub-TLV.....	30
나. Total span length sub-TLV.....	31
3. CR-LDP+와 RSVP-TE+의 상호연동시 제반 고려사항.....	32
가. CR-LDP+와 RSVP-TE+의 차이점.....	32
나. 상호연동시 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항.....	34
IV. DOS 제공 프레임워크.....	41
1. IP 망에서 QoS 보장.....	42
가. IP/GMPLS/CR-LDP+ 망 QoS 파라미터.....	42
나. IP/GMPLS/RSVP-TE+ 망 QoS 파라미터.....	43
다. IP/GMPLS 망에서 QoS 을 위한 관리 기법.....	45
2. WDM 광 백본망에서 QoS 보장.....	46
가. 광 백본망 QoS 파라미터.....	46
나. 종단간 QoS 보장을 위한 관리 기법.....	47
3. WDM 광 백본망에서 DOS 클래스의 정합.....	49
V. 결 론.....	53
참고 문헌.....	54

Differentiated Optical QoS Service Framework in Next Generation WDM Optical Internet Backbone Network

Mi-Kyoung Lee

Department of Telematics Engineering, Graduate School

Pukyong National University

Abstract

Over the past decade, the exponential growth of Internet traffic volumes has made the IP protocol framework become the most predominant networking technology. Furthermore, the Internet is evolving from best-effort service toward a differentiated service framework with QoS assurances, which will be necessary for new applications like voice telephony, video conferencing, tele-immersive virtual reality, and Internet games. Given this increasing demand for high bandwidth Internet with QoS assurances in the forthcoming years, tremendous potential for capacity expansion offered by WDM is revolutionizing the way we look at Next Generation Optical Internet Backbone Network (NGOBN). Within NGOBN framework for providing QoS guaranteed service over WDM networks, QoS framework is one of the key issues to envisage. In this thesis, we analyze performance requirements related to QoS framework for both IP sub-network and WDM optical backbone network. Then, we suggest a differentiated optical QoS service framework for guaranteeing end-to-end QoS in IP sub-network over NGOBN with considering the Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) as a control protocol.

I. 서 론

지난 10년간 인터넷 트래픽은 기하급수적으로 증가하여, 인터넷 기반 프로토콜인 IP(Internet Protocol)가 데이터 뿐만 아니라 음성 및 비디오 서비스를 위한 핵심 프로토콜로 자리를 잡았고, 데이터 서비스 위주의 최선형(best-effort) 서비스 형태에서 QoS(Quality of Service)를 고려한 통합 서비스(IntServ: Integrated Service)[1] 또는 차등화 서비스(DiffServ: Differentiated Service)[2] 형태로 발전하고 있다. 이와 같은 흐름에 비추어, 차세대 인터넷에서 새로운 형태의 실시간 멀티미디어 서비스들을 QoS 보장과 함께 지원하기 위해서는, 광 대역폭 요구 해결을 위한 광 인터넷 백본망 기술과 이를 통한 차등화된 QoS 제공 기술이 필요하다.

파장 분할 다중화(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 방식을 사용한 광 기술이 차세대 인터넷의 백본망 구축 기술로 표준화 되고 있고, 인터넷에서의 QoS 제공 서비스를 위해 IP를 연결형(connection-oriented) 서비스로 전달 가능하게 하는 MPLS(Multi-Protocol Label Switching)[3] 기술이 표준화되고 있다. 또한, 이를 광 백본망에 적용하기 위해 GMPLS(Generalized MPLS)[4] 기술이 활발히 연구되고 있어, 그림 1-1과 같이 차세대 광 인터넷 백본망의 제어 프로토콜 개념은 IP/GMPLS over WDM으로 발전해 가고 있다.

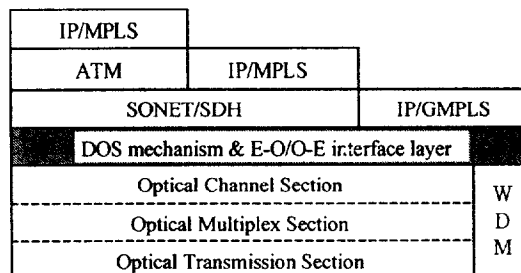


그림 1-1. IP/GMPLS over WDM 제어 프로토콜 발전구조

그러나, 위에 제시된 통합 서비스 및 차등화 서비스 모델, MPLS 기술들이 IP over WDM 환경에서 QoS 제공에 적용되기에는 여러 가지 문제점들을 내포한다. 먼저 통합 서비스 모델은 수많은 개별 패킷 플로우(flow)에 대한 상태를 유지하기 때문에 방대한 메모리 공간이 필요하고, 이를 관리하기 위한 처리 부하가 증가하게 되며, 망의 모든 라우터가 RSVP(ReSource Reservation Protocol) 프로토콜, 수락 제어, 패킷 분류, 패킷 스케줄링 등의 복잡한 기능을 가지고 있어야 한다. 또한, WDM 망은 데이터 전달에 있어 E-O-E(Electrical-Optical-Electrical) 변환 없이 광신호 형태의 전광으로 전송되므로, 기존의 전자신호 전송에 적용되는 QoS 제어 기술이 더 이상 적용되지 못한다.

둘째로, 상위 클래스를 가진 트래픽 군(agggregation)에 대해 우선적으로 전송 처리를 하는 차등화 서비스 모델은 망의 처리 부하 및 유지해야 할 상태 정보가 적고, 망의 에지 라우터에서만 복잡한 트래픽 조절 기능을 수행하므로 구현이 용이하다. 그러나 이 모델 역시 전자신호 전송에 적용되는 QoS 제어 기술로, 트래픽 군별 자원 예약과 신호 절차 없이, 각 트래픽 군에 대한 규칙에 근거하여 상대적인 QoS를 보장하기 때문에, 망 상황에 따라 보장되는 트래픽 수준은 매우 동적이며, 제공되는 서비스의 예측 정도가 매우 낮아, 결국 차세대 IP QoS의 근본적인 해결책과는 거리가 있다.

최근에 각광을 받고 있는 MPLS 기술은 통합 서비스 모델과 차등화 서비스 모델의 QoS 지원 한계를 극복할 수 있다. 이 기술은 레이블을 이용한 패킷의 클래스 식별 과정의 단순함과 특정 레이블을 가진 패킷에 대해 명시적 경로(explicit route)의 정보를 내포함으로써, QoS 제공 기능과 트래픽 분산 기능을 용이하게 수행할 수 있다. 또한 IP over WDM 백본망에 적용하기 위해 개발되고 있는 GMPLS 기술을 차등화 서비스 기술과 같이 접목하면 새로운 형태의 차등화된 광 QoS 제공 기술을 개발할 수가 있다.

본 논문에서는 다양한 멀티미디어 실시간 서비스들에 대한 QoS 보장을 위해, GMPLS 기술과 차등화 서비스 기술을 접목하여 차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서 요구되는 새로운 차등화된 광 QoS 서비스(DOS: Differentiated Optical QoS Service) 제공 기술을 제안한다(그림 1-1의 빗금부분). 이를 위해, 2장에서는 요구되는 QoS 품질에 따라 DOS 서비스 클래스를 세부적으로 분류하고, 세분화시킨 트래픽들을 효율적으로 제어하기 위한 QoS traffic policy server 기능을 정의하여, 차등화된 광 QoS 서비스 모델을 제시한다. 3장에서는 전광 통신망의 링크 관리 프로토콜인 LMP(Link Management Protocol)[5]에 DOS 클래스를 위한 필요 기능을 추가하여 LMP extensions¹을 제안하고, 백본망 내에서 CR-LDP extensions² [6]과 RSVP-TE extensions³ [7]의 상호연동시 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항을 제시한다. 4장에서는 IP/GMPLS 망 및 WDM 광 백본망 각각에 대한 QoS 파라미터를 정의하고, 이를 보장하기 위한 관리기법을 제안하며, 앞서 제안된 DOS 클래스와 QoS traffic policy server 기능 및 시그널링 과정을 통한 IP/DiffServ-GMPLS/DOS 매핑 메커니즘을, ITU(International Telecommunications Union)에서 제시한 전광망 표준인 OTN(Optical Transport Network) 프로토콜 구조에 적용하여, 차세대 WDM 광 인터넷 백본 구조에 합당한 전체 DOS 제공 프레임워크를 제안한다. 마지막으로 5장에서 본 연구의 간단한 결론과 향후 연구 추진 사항에 대해 서술한다.

¹ 이하 LMP+로 표기함.

² 이하 CR-LDP+ (Constraint based Routing Label Distribution Protocol)로 표기함.

³ 이하 RSVP-TE+ (Resource ReSerVation Protocol Traffic Engineering)로 표기함.

II. 차등화된 광 QoS 서비스(DOS) 모델

본 장에서는 차세대 인터넷에서 제공되어야 하는 응용서비스의 QoS 품질에 따라 DOS 클래스를 세부적으로 분류하고, 세분화시킨 트래픽을 효율적으로 제어하기 위한 QoS traffic policy server 기능을 정의하여, WDM 광 백본망을 통해 차등화된 광 QoS 서비스를 제공하는 DOS 모델을 제시한다.

제안되는 WDM 광 인터넷 백본망은 그림 2-1과 같은 구조를 가지며, IP/GMPLS over WDM 제어 프로토콜 메커니즘을 사용한다. 외부 전자 제어 도메인은 차등화 서비스 기술 기반 IP 망이며, 내부 광 제어 도메인은 WDM 망으로 구분된다. Ingress 및 Egress WDM 노드는 IP 트래픽을 받아 합당한 과장으로 전송하기 위해 트래픽 (de)aggregation과 라우팅 및 광경로 설정 기능, DOS 보장 메커니즘 등을 수행하고, core WDM 노드는 이들의 포워딩 및 과장 변환 등의 기능을 수행한다.

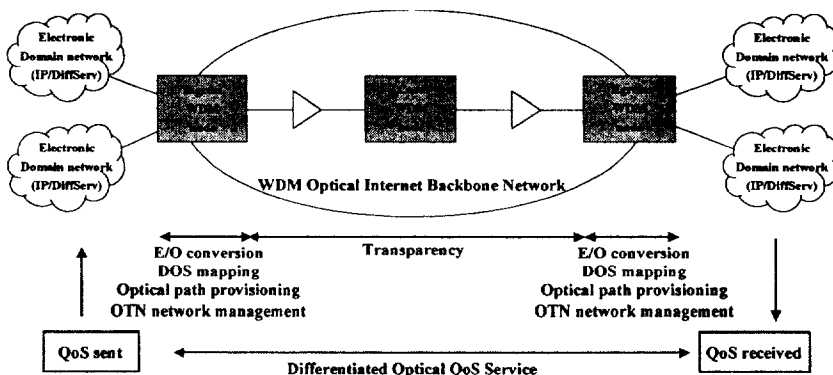


그림 2-1. WDM 광 인터넷 백본망 구조

1. DOS 클래스 정의

차세대 인터넷에서 제공되어야 하는 응용서비스는 요구되는 QoS 품질에 따라 여러 등급으로 분류된다. 일반적으로는 절대적 실시간 QoS 보장용 Premium 서비스(class 1), 최소한의 통계적인 QoS 보장용 Assured 서비스(class 2), 기존 인터넷의 최선형 서비스(class 3)로 나누어지나[8-9], 본 논문에서는 세 등급 내에서 호 설정시 협상되어지는 파라미터(지연, 지터, 대역폭 등), BER(Bit Error Rate), el.SNR(electrical Signal-to-Noise Ratio), OSNR(Optical SNR) 요구 조건, 망 장애 혹은 공격에 대한 생존도(survivability) 요구 정도, 광 자원(resource)의 할당 스킴에 대한 상대성에 따라 그림 2-2와 같이 세부적으로 DOS 클래스를 분류한다.

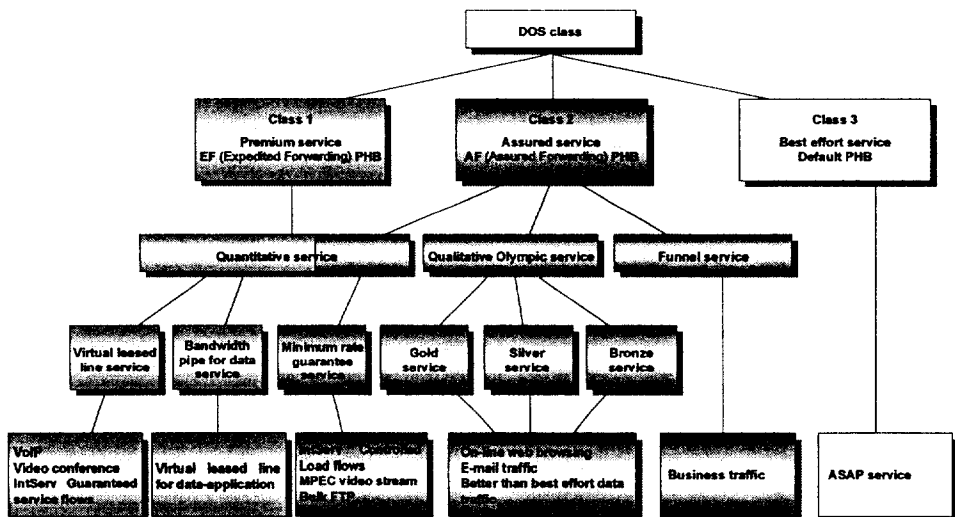


그림 2-2. DOS 서비스 유형

가. 서비스 분류 파라미터

1) Scope

Scope는 DOS 정책이 시행될 토폴로지 범위를 나타내며, (Ingress,Egress) 인터페이스로 표현한다. Ingress는 Ingress의 인터페이스 식별자를, Egress는 Egress의 인터페이스 식별자를, 그리고 'any'는 어떤 특정한 값으로 명세하지 않았음을 의미한다. (Ingress,Egress) 인터페이스는 아래와 같이 5 종류가 있다[10].

- (1,1): 1 대 1 통신 (pipe)
- (1,N): 1 대 다 통신 (N>1) (hose)
- (1,any): 1 대 any 통신
- (N,1): 다 대 1 통신 (N>1) (funnel)
- (any,1): any 대 1 통신

2) Flow descriptor (Flow Id)

Flow Id는 최소한 하나의 공통적인 특성을 공유하는 IP 스트림을 나타내며, 차등화 서비스 정보(DSCP, Differentiated Service Code Point), 근원지 정보(source address), 목적지 정보(destination address), 응용 정보 (protocol number, source/destination port 등)로 구성된다.

3) Traffic descriptor

Traffic descriptor는 Flow Id에 해당하는 IP 패킷 스트림의 트래픽 특성을 기술하며, 이 파라미터를 사용해 Ingress 노드에서 해당 IP 패킷 스트림이 'in-profile'인지 'out-of-profile'인지 구분하여 망 내로의 전송을 허락할 것인지 허락하지 않을 것인지를 결정하게 된다. Traffic descriptor 구성 파라미터는 아래와 같다.

- 최대 전송률 p (b/s)
- 토큰 버킷 전송률 r (b/s)
- 버킷 크기 b (bytes)
- 최대 전송 단위(MTU, Maximum Transport Unit) M (bytes)
- 최소 패킷 크기 m (bytes)

4) Excess treatment

Excess treatment는 프로파일을 초과하는 트래픽을 어떻게 처리할 것인지를 기술하는 파라미터로, drop(default), shape, remark 중의 하나로 처리한다.

- Value = dropping, Traffic descriptor를 초과하는 모든 패킷들은 폐기됨
- Value = shaping, Traffic descriptor를 초과하는 모든 패킷들은 'in-profile'이 될 때까지 버퍼에서 지연됨
- Value = remarking, Traffic descriptor를 초과하는 모든 패킷들은 해당 서비스 등급보다 낮은 등급의 DSCP 값으로 재마킹되어 처리됨

5) Performance parameters

Performance parameters는 네트워크에서 사용자에게 Flow Id에 해당하는 IP 패킷 스트림을 제공해 주기 위해 필요한 서비스 보장 파라미터로써, 지연(delay), 지터(jitter), 패킷 손실(packet loss), 처리율(throughput)로 구성된다. 지연과 지터는 Ingress 노드에서 Egress 노드까지의 최대 패킷 지연과 지연 편차를 나타내며, 옵션으로 한계치(worst-case bound or quantiles) 값이 명세될 수도 있다. 패킷 손실은 아래 식과 같이 Ingress 노드에서 Egress 노드까지의 'in-profile' 패킷들의 손실 확률을 나타낸다. 지연, 지터, 패킷 손실은 'in-profile' 트래픽만을 측정하는 값이다. 처리율은 Flow Id에 해당하는 패킷들을 Egress 노드에서 측정한

전송률로, ‘in-/out-of-profile’에 상관없이 모든 패킷들을 측정 한 값이다. 4가지 파라미터 모두 시간 간격(time interval)이 정의되어야 한다.

$$\text{packet loss} = \frac{\text{lost packets between (and including) Ingress and Egress}}{\text{offered (ingected) packets at Ingress}}$$

나. BER/el.SNR/OSNR 요구조건

WDM 망에서 하나의 근원지-목적지 쌍에는 다수개의 광경로가 존재하며, 각 경로상의 광 서비스 품질을 측정하기 위해서는 각각의 광경로를 유일하게 특징짓는 BER, 지연, 지터, 보호(protection) 스킴 등의 특성이 정의되어야 한다.

광신호는 경로상의 구성요소 즉, OXC(Optical Cross-Connects), 파이버(fiber) 세그먼트, EDFAs(Erbium Doped fiber Amplifiers) 등을 지나면서 지터, 원더(wander), 간섭(crosstalk), ASE(Amplified Spontaneous Emission) 등의 원인으로 인해 바람직 하지 않은 손상을 입게 된다. 전송 신호의 손상은 Egress 노드를 향해 신호가 전달되면서 축적되기 때문에 광신호의 품질을 급격하게 저하시킨다. 대부분의 이러한 손상들은 수신 노드에서 BER을 계산함으로써 알 수 있다. 그러므로, BER은 광경로의 성능을 측정하는데 있어 아주 중요한 파라미터가 된다.

광 시스템에서 전자적 성능 파라미터인 BER, Q-factor, el.SNR 간의 상관관계가 [11]에 보고되었다. Rec. G.976 (TSB, 7 Nov.1996)에 따르면, 광 TDM(Time Division Multiplexing)과 WDM 시스템에서 BER, Q-factor, el.SNR 간에는 가우스 오차 함수(Gaussian error function)의 근사법에 의해 상관관계가 있으며, 그 관계는 아래의 식 (1)과 (2)와 같다.

$$BER(Q) \cong (1/\sqrt{2\pi}) \cdot (\exp(-Q^2/2)/Q) \quad (1)$$

$$el.SNR = 10 \log Q^2 \quad (2)$$

시스템 성능 파라미터 BER, Q-factor, el.SNR 간의 전형적인 관계 값은 표 2-1과 같다. 광 시스템이 SDH(Synchronous Digital Hierarchy), ATM(Asynchronous Transfer Mode), IP와 같은 전자 클라이언트 망의 내부에 속하게 된다면, 위의 전자적 시스템 성능 파라미터가 사용될 수 있다. 이때, 고정된 BER 값은 고정된 Q-factor 값과 고정된 el.SNR 값과 관계된다.

표 2-1. BER, Q-factor, el.SNR의 값의 관계

BER	Q-factor	el.SNR
1.3×10^{-12}	7	16.9 dB

전자 시스템 성능 파라미터인 Q-factor와 광 시스템 성능 파라미터인 OSNR 간의 관계가 연구되고 있다[12]. OSNR은 광 증폭기 출력 전력(optical amplifier output power, $P_{out} \geq P_{sens}$)과 광 증폭기 자연 발산 전력(optical amplifier spontaneous emission power, P_{sp})의 비로 정의된다. 즉, ASE 잡음에 의해 광 시스템이 제한되며, OSNR과 Q-factor 간의 관계는 아래의 식 (3)과 같다.

$$OSNR_{0.1nm} = \frac{(1+r) \cdot (1+\sqrt{r})^2}{(1-r)^2} \cdot \frac{Be}{Bd} \cdot Q^2 \quad (3)$$

$r = 0.15$, $10 \log r = 8.2$ dB [13]: extinction ratio of the transmitted optical signal

$Be = 0.75 \cdot f_0$: effective electrical noise bandwidth due to bit rate f_0

$Bd = 12.6$ GHz or 0.1 nm: optical bandwidth for OSNR measurement

$$\text{factor} [(1+r) \cdot (1+\sqrt{r})^2 / (1-r)^2] = 3.085$$

유효 잡음 대역폭 Be 가 전송률 f_0 에 의존하고, OSNR을 측정하기 위한 광 대역폭(Bd)을 미리 정의해야 안정된 값을 유지할 수 있기 때문에 $OSNR(f_0)$ 의 차등화된 값은 고정된 BER 값 혹은 Q 값에 따라 달라진다. 표 2-2는 BER이

10^{-12} (Q=7)일 경우에 전송률 f_0 에 따른 OSNR 값을 구한 예이다.

표 2-2. f_0 에 따른 OSNR 값

f_0 (nominal)	f_0 [Gbit/s]	$Be=0.75 \cdot f_0$ [Gbit/s]	OSNR(f_0)
STM-16: 2.5 Gbit/s	2.48832	1.86624	13.5 dB
STM-64: 10 Gbit/s	9.95328	7.46496	19.5 dB
STM-256: 40 Gbit/s	39.81312	29.85984	25.5 dB

다. GMPLS Exp 정의

GMPLS 헤더를 보면, 실험용으로 예약된 Exp(Experimental) 필드가 있다[14]. 차등화된 광 인터넷 서비스를 위해 이 필드를 CoS(Class of Service) 기능으로 활용하면, 응용서비스의 특성에 따라 패킷의 Exp 값을 다르게 할당하여, 상위 클래스의 패킷에 대한 우선 처리가 가능하다. GMPLS Exp 필드가 3bit로 총 8개의 서비스를 분류할 수 있으므로, 본 논문에서는 그림 2-2의 DOS 서비스 유형에 따라 표 2-3과 같이 매핑한다.

표 2-3. DOS 서비스 유형에 따른 GMPLS Exp 값

DOS service type		GMPLS Exp field
Quantitative service	Virtual leased line service	111
	Bandwidth pipe for data service	110
	Minimum rate guarantee service	101
	Funnel service	100
Qualitative olympic service	Gold	011
	Silver	010
	Bronze	001
Best effort service		000

라. 생존도 요구 정도

광신호는 데이터 용량이 크기 때문에 장애가 발생할 경우 커다란 손실을 초래한다. 따라서 광선로의 절단, 과장의 손상과 같은 망의 여러 문제에 대해 광경로의 투명성을 보장하는 보호 및 복구(restoration) 메커니즘이 매우 중요하다.

음성과 같은 실시간 데이터를 전송하는 Premium 서비스는 신뢰성이 매우 높아야 하며, 특정한 회복 시간(recovery time) 요구사항 내에서 광채널 레벨의 국부적 QoS 보호 메커니즘 혹은 GMPLS 백업 절차를 사용하여 보호된다. 국부적 QoS 보호 내에서, 고장 혹은 공격에 의한 주경로의 장애가 발견되면, 50ms 이하의 회복 시간 안에 장애점으로부터 예비경로로의 전송이 시작된다. 이 스킴은 분산 방법에서 링크 레벨 하드웨어 보호 개념에 기반한다. 또한, Premium 서비스의 안정적인 QoS를 위해 GMPLS 백업 절차를 사용할 수 있는데, λ -LSP(Lambda Label Switched Path) 설정시 백업경로를 미리 설정해 두어, 주경로에서의 문제 발생시 시그널링에 의하여 상황을 전달한 후, 백업경로로 절체(switch)하여 요구된 QoS를 전송하는 이 스킴은 GMPLS 링크 리라우팅을 위해 100ms 이하의 회복 시간을 가진다. 이때, 사용자의 요구에 따라 1+1, 1:1, 1:N과 같은 다양한 보호 레벨들이 제공되며, 주경로가 백업경로를 사용하지 않을 경우에는 백업경로를 통해 낮은 순위의 다른 트래픽 전달이 가능하기 때문에 보다 높은 수준의 자원 사용 효율성을 보장할 수 있다[15].

Assured 서비스의 안정적인 QoS를 위해, 사고 발생 이후에 백업경로를 생성하는 GMPLS의 λ -LSP 복구 스킴을 사용한다. λ -LSP 복구 스킴은 Ingress/Egress 노드간에 손상된 광경로를 대체하기 위한 복구 λ -LSP를 동적으로 찾아야 하기 때문에 Premium 서비스보다 더 긴 회복 시간(수십 ~ 수백ms)이 필요하다. 이 스킴은 자원의 활용성이 높아질 수 있으나, 복구의 성공 확률이 낮아지게

되므로 trade-off가 존재한다.

최선형 서비스는 IP 레벨에서의 LSP 복구 스킴을 제안하는데, 장애로 인해 서비스가 중단된 최선형 트래픽은 100ms ~ 수초까지의 서비스 범위 내에서 TCP(Transmission Control Protocol) 재전송을 통해 보상된다.

마. 광 자원의 할당 방법

ITU에서 제안하는 광 자원의 스펙트럼 밴드는 표 2-4와 같다[16]. 본 논문은 규모가 큰 백본망에서의 자원 할당 스킴을 제안하기 위해, 감쇠가 심하여 단거리 전송에 사용하는 O-band와 E-band의 활용은 제외하고, S-band에서 U-band까지의 파장을 활용함으로써 넓은 대역폭의 제공을 가능하게 한다.

표 2-4. 스펙트럼 밴드의 정의

Band	Descriptor	Range (nm)
O-band	Original	1260 to 1360
E-band	Extended	1360 to 1460
S-band	Short wavelength	1460 to 1530
C-band	Conventional	1530 to 1565
L-band	Long wavelength	1565 to 1625
U-band	Ultralong wavelength	1625 to 1675

EDFA 광 증폭기는 비교적 평탄하고 넓은 이득 곡선을 제공하기 때문에 광신호 전달을 위해 일반적으로 많이 사용된다. 특히, C-band인 1530 ~ 1565nm에서 유용한 이득 대역을 가지며, 0.28dB/km의 낮은 감쇠 계수를 가진다. 온도의 영향을 고려하여 1625nm까지의 파장을 광신호 전달 용도로 활용할 수 있는데, L-band는 0.35dB/km의 감쇠 계수를 가진다[17]. S-band의 파장은 신호

채널로 활용될 수도 있고, active-ion type 및 Raman type과 같은 광 증폭기의 펌핑(pumping)을 위해, 또는 OSC(Optical Supervisory Channel)를 위해 활용될 수도 있다. 본 논문의 광 인터넷 백본망은 LMP를 사용하여 데이터 채널과 이를 관리하기 위한 제어 채널을 분리하므로, 제어 채널의 설정과 유지를 위해 S-band의 파장을 이용한다. 1625nm 이상의 파장은 신호 전달 목적으로 사용할 수 없지만, 다른 영역의 전달 신호에 대해 간섭이 거의 없기 때문에, LMP의 Test 메시지 전달 파장으로 이용한다. 즉, 테스트 신호 전력을 데이터 전달 신호의 전력보다 충분히 약하게 하여, 테스트 신호를 데이터 전달 신호들과 함께 겹쳐 전송함으로써, 데이터가 전달되는 링크의 물리적 연결성을 입증하게 된다. 위 제안 내용을 표 2-5와 같이 요약한다.

표 2-5. WDM 광 인터넷 백본망을 위해 제안된 파장밴드 활용도

Band	Descriptor	Range (nm)	활용도
S-band	Short wavelength	1460 to 1530	LMP control channel
C-band	Conventional	1530 to 1565	Premium data channel
L-band	Long wavelength	1565 to 1625	Assured/Best-effort data channel
U-band	Ultralong wavelength	1625 to 1675	LMP test signal

신뢰성이 매우 높아야 하는 Premium 서비스의 λ -LSP와 보호 λ -LSP는 감쇠가 가장 적은 C-band 대역내의 미리 할당된 파장 비율(10%) 내에서 할당되므로 우수한 광 품질의 서비스가 제공된다. DOS 서비스 클래스에 따라, 그림 2-3과 같은 차등화된 파장 할당 메커니즘을 이용하여 블락킹이 적은 경로를 설정하는 것이 중요한데, Premium 서비스의 경우 λ -LSP 설정을 위한 파장 할당이 광 교환 노드의 4가지 종류에 따라 다르게 이루어진다. 이때, 물리적 광선로의 절단

혹은 물리적 광 노드의 결함을 고려하여, 다른 전송로(fiber-disjoint protection λ -LSP)에서 보호 λ -LSP의 파장을 할당하는 것이 바람직하다. 또한, 파이버 링크들을 하나의 번들(bundle)로 취급하는 파이버 번들링 및 연속하는 파장들의 집합인 파장밴드(waveband) 스킴을 활용하게 되면, 개별적인 링크/파장들에 대한 왜곡을 줄이고 개별적인 링크/파장들을 좀더 엄격하게 분리할 수 있는 장점이 있다. Assured 혹은 최선형 서비스의 경우, Ingress 노드에서 각 서비스의 QoS 요구사항을 만족하는 광경로를 선택한 후, 미리 할당된 파장 비율(Assured 서비스: 30%, 최선형 서비스: 60%) 내에서 노드의 종류와는 무관하게 적절한 파장을 할당한다. 예약 가능한 전체 파장을 서비스 클래스에 따라 적절한 비율로 나누는 것은 광경로의 설정이 실패 되기 전에 부하가 많은 링크를 피하게 함으로써 더 나은 트래픽 분산의 결과를 도출하기 때문이다[18]. 두 서비스는 Premium 서비스에 비해 낮은 등급의 서비스이므로 L-band 내의 파장을 활용한다.

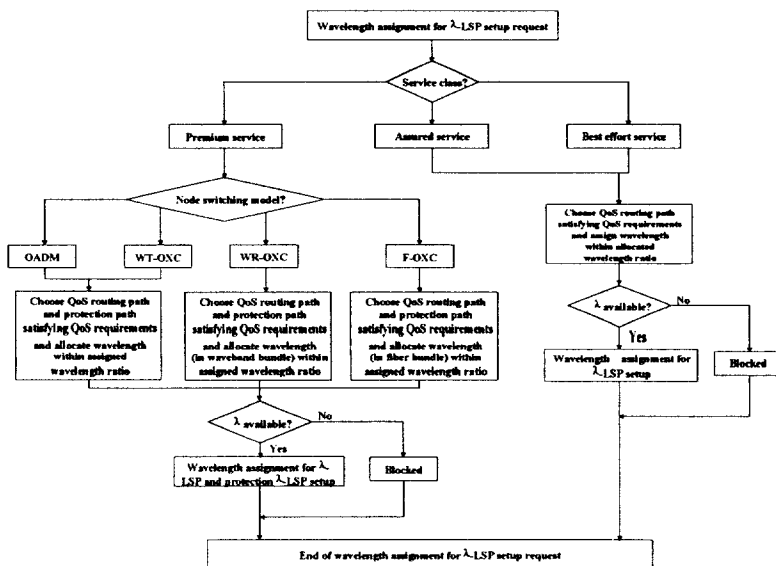


그림 2-3. 차등화된 파장 할당 메커니즘

바. 제안된 DOS 클래스

본 절의 내용을 바탕으로 차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서의 DOS 클래스를 표 2-6과 같이 제안한다.

가상 전용선 서비스(virtual leased line service)는 Ingress 노드와 Egress 노드 간에 대역폭 및 지연과 패킷 손실 등의 요구 사항들을 엄격하게 보장하는 서비스로써, VoIP(Voice over IP) 혹은 비디오 컨퍼런스와 같은 실시간 서비스가 해당되며, 특정한 요구사항을 초과하는 트래픽은 Ingress 노드에서 폐기된다. 대역폭 파이프 서비스(bandwidth pipe for data service)는 데이터 응용을 위한 가상 전용선 서비스로써, 처리율의 보장은 엄격하게 하지만 패킷 손실에 대해서는 약간의 융통성을 허용한다. 최소 전송률 보장 서비스(minimum rate guarantee service)는 초과하는 트래픽을 허락하여 최소한의 전송률만을 보장하는 서비스로써, 통합 서비스 모델의 부하 제어형 서비스, MPEG(Moving Picture Experts Group) 비디오 서비스 등이 해당된다. 퍼널 서비스(funnel service)는 그림 2-4와 같은 모델에 해당하는 서비스로써, 네트워크를 통해 B, C, D로부터 들어오는 트래픽이 전송률 a_{out} 을 초과하지 않도록 해야 한다. 예를 들어, 하나의 기업망으로 들어오는 웹 브라우징 트래픽의 최대량을 설정하여 망의 폭주를 막고 트래픽을 제어하는 서비스가 이에 해당한다. 올림픽 서비스(Qualitative Olympic service)는 지연과 패킷 손실의 요구사항을 정량화하지 않고 상대적인 우선순위를 주는 서비스 로써, 최선형 서비스 보다 나은 서비스를 제공하기 위해 요구사항을 초과하는 트래픽을 폐기한다든지 혹은 ‘in-profile’ 패킷들을 우선적으로 처리하여 지연을 최소화시킨다. 최선형 서비스는 QoS가 보장되지 않는 기존의 인터넷 서비스이다.

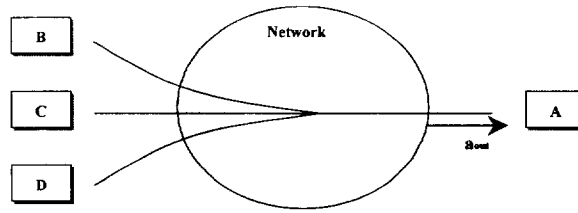


그림 2-4. 퍼널(funnel) 모델

표 2-6. DOS 클래스 분류

Classification criteria	Class 1		Class 2					Class 3
	Premium service: Expedited Forwarding (EF) PHB		Assured service: Assured Forwarding (AF) PHB					Best Effort (BE) service: Default PHB
	Virtual leased line service	Bandwidth pipe for data service	Minimum rate guarantee service	Qualitative Olympic service			Funnel service	
Scope	(1 1)	(1 1)	(1 1)	(1 1) or (1 N)			(N 1) or (all 1)	All
Flow descriptor	EF, S-D IP-A	EF, S-D IP-A	AF1x	MBI			AF1x	None
Traffic descriptor	(b,r), r=1	NA	(b,r)	(b,r), r indicates a maximum CIR			(b,r)	NA, the full link capacity is allowed
Excess treatment	Dropping	NA	Remarking	Remarking			Dropping	NA
Performance parameters	D=20 (t=5, q=10E-3), L=0 (R=r)	R=1	R=r	Gold	Silver	Bronze	NA	NA
				Delay or Loss must be indicated qualitatively				
BER (Q)	10 ⁻¹² (7)		10 ⁻⁹ (6) ~ 10 ⁻⁷ (5.1)					10 ⁻⁵ (4.2)
el. SNR	16.9 dB		15.5 dB ~ 14.2 dB					12.5 dB
OSNR (f ₀ =10Gbit/s)	19.5 dB		18.2 dB ~ 16.8 dB					15.1 dB
GMPLS Exp field	111	110	101	011	010	001	100	000
Resource allocation	Pre-specified percentage (10%) for this service (C band: 1530nm ~ 1565nm)		Pre-specified percentage (30%) for this service (L band: 1565nm ~ 1625nm)					Best use of the remaining bandwidth (L band: 1565nm ~ 1625nm)
Recovery scheme	Local protection/backup λ-LSP		λ-LSP restoration					Restoration at IP level
Recovery time	<50msec (Detection time: <100msec)		50 – 100msec (Detection time: 0.1msec – 100msec)					1 – 100 sec (Detection time: 100msec – 180sec)
(b, r): token bucket depth and rate (Mb/s), p: peak rate, D: delay (ms), L: loss probability, R: throughput (Mb/s), t: time interval (min), q: quantile, S-D: source and destination, IP-A: IP address, MBI: may be indicated, NA: not applicable, CIR: committed information rate								

2. QoS traffic policy server 정의

표 2-6과 같이 분류된 서비스 클래스를 광 인터넷 백본망의 파장에 싣기 전에, Ingress/Egress WDM 노드의 E-O/O-E 인터페이스 계층에서 차등화된 IP 스트림별 aggregation 작업을 수행하는 효율적인 파장 이용 메커니즘이 필요하다. 본 논문에서는 위 기능을 구현하기 위해, WDM 노드의 제어 평면에 QoS traffic policy server와 optical resource management agent 기능을 정의한다.

QoS traffic policy server는 새로운 서비스 특성이나 새로운 기능의 추가 등과 같은 광 인터넷 백본망의 변화에 대해 전자 제어 도메인의 변화를 최소화할 목적으로 사용한다. 또한, 인접한 망의 각 ISP(Internet Service Provider)와 SLA(Service Level Agreement) 파라미터를 협상하고, 협상된 파라미터를 Ingress 노드의 policy agent로 다운로드 시켜, 파라미터에 적합한 광경로를 설정하도록 하고, 종단 간에 광경로를 통해 SLA를 만족하는 서비스가 제공될 수 있도록 망 전체를 관리하는 기능을 한다. 본 논문에서는 큰 규모의 망에서 중앙집중형 policy server가 유발하는 병목(bottleneck) 문제를 고려하여, 중앙의 policy server는 단지 SLA 협상과 관리만을 수행하고, QoS 경로 계산과 자원 예약은 각 Ingress 노드에서 수행하는 분산형 구조로 QoS traffic policy server를 구성한다.

Optical resource management agent는 실시간으로 광 자원을 관리, 분류 및 예약하는 기능을 수행하는데, 광경로를 동적으로 설정해 주기 위해 활용 가능한 파장, 링크, 노드, 광 증폭기 등의 수를 유지하고, BER 값을 계산해 광경로의 성능을 평가하여 서비스 유형에 적합한 파장이 할당되도록 한다. 또한, call admission control과 상호 동작하여 활용 가능한 광 자원의 성능에 따라 호 수락/거절을 결정하고, Ingress 노드의 classifier를 구성하여 서비스를 차등화하며, GMPLS signaling agent와 상호 동작하여 망의 상태 정보를 모으고 시그널링

과정으로 광 자원을 예약하는 기능을 한다.

그림 2-5는 광 인터넷 백본망에서의 SLA 협상 절차를 도시한 그림이다. 광 백본망을 통해 차등화된 서비스를 전송하기 위해서는 ISP와 QoS traffic policy server 간의 SLA가 먼저 체결되어야 한다. ISP의 policy agent가 근원지 및 목적지 주소, 요구 대역폭, QoS 요구사항 등을 포함하는 ‘SLA request’ 메시지를 전달하면, QoS traffic policy server는 이 메시지를 수신하여 적당한 Ingress 노드의 policy agent로 SLA 파라미터를 다운로드하고, Ingress 노드로부터 SLA를 수락한다는 응답이 수신 되면, ISP에게 SLA가 협상되었음을 통보함으로써 전자 제어 도메인과 광 제어 도메인 간에 SLA 협상이 이루어진다.

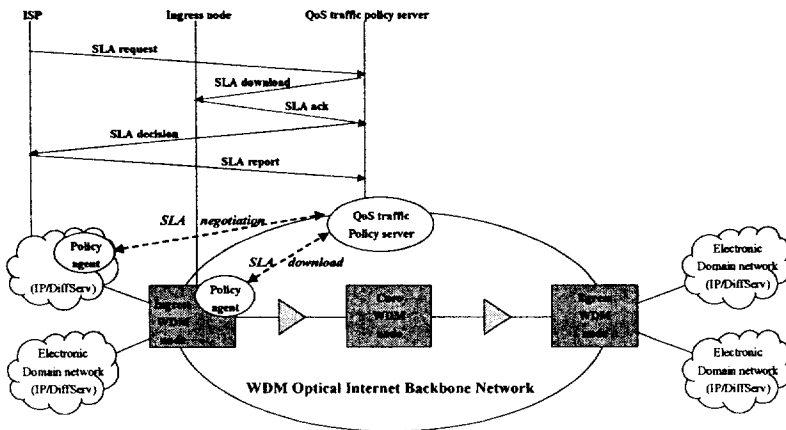


그림 2-5. QoS traffic policy server에서 SLA 협상 절차

Ingress 노드에 SLA 파라미터가 수신되었을 때의 과정을 그림 2-6의 WDM 노드 기능 블록으로 기술한다. Ingress 노드의 policy agent가 SLA 파라미터를 수신하면, GMPLS signaling agent로 트리거(trigger)를 송신하여 λ -LSP의 설정을 요구한다. GMPLS signaling agent는 routing agent에게 QoS 보장 경로를 계산하게

한 후, 그 경로 상으로 CR-LDP+ 혹은 RSVP-TE+ 시그널링 프로토콜을 사용하여 λ -LSP를 설정하는데, 경로 상의 모든 노드에서 call admission control과 optical resource management agent를 사용하여 메시지 내의 요구 대역폭과 DOS 클래스의 세부 파라미터를 만족하면, Egress 노드까지의 광 대역폭이 예약된다.

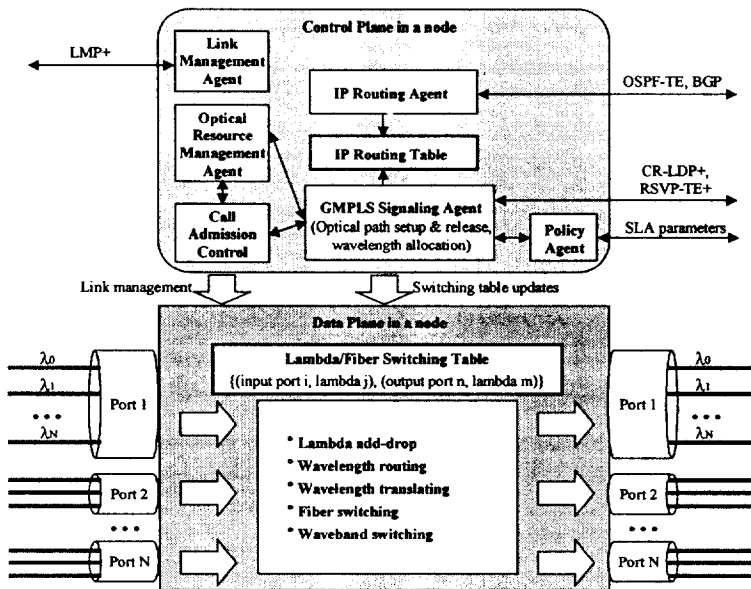


그림 2-6. WDM 노드의 기능 블록

λ -LSP가 설정되는 과정을 통해 Lambda/Fiber Switching Table이 구성되는데, 광 인터넷 백본망에서의 데이터 전송은 테이블의 레이블(파장)을 참고하여 입출력 포트들 통한 포워딩만으로 이루어진다. 데이터 전송이 전광 변환 없이 광신호만으로 이루어지기 때문에, WDM 노드 간의 링크를 관리하는 LMP 프로토콜을 사용하여 제어 채널과 데이터 채널의 광신호를 감시하고 제어함으로써, λ -LSP 절단 및 손상 등과 같은 문제들을 빠르게 발견하고 복구하게 된다.

III. DOS 제어 메커니즘

본 장에서는 WDM 광 인터넷 백본망을 통해 DOS 클래스를 전송하기 위한 시그널링 과정을 기술하고, DOS 클래스에서 정의한 BER 임계치 특성 등의 새로운 기능을 추가한 LMP+를 제안한다. 또한 GMPLS의 신호 프로토콜인 CR-LDP+와 RSVP-TE+가 상호연동시에 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항을 제시하여, DOS 모델을 위한 전반적인 제어 메커니즘을 기술한다.

1. DOS 모델의 시그널링 과정

가. GMPLS 기술의 특징

차세대 광 인터넷 백본망의 제어 프로토콜로 사용하는 GMPLS는 MPLS를 일반화하여, 광 도메인에서 파장의 스위칭으로 라우팅이 가능하도록 확장한 MP λ S(Multi-Protocol Lambda Switching)에 시분할(예, SDH, ATM)과 공간 스위칭(예, 포트 혹은 파이버간)에서도 적용이 가능하도록 확장한 기술이다. 특히, MP λ S는 레이블 대신에 λ 값으로 LSP를 설정하기 때문에, 한 개의 광 전송로를 통해 동시에 여러 개의 파장을 전송할 수 있으므로 전송 효율을 최대한 높일 수 있고, 파장의 재사용이 가능하기 때문에, 그림 3-1과 같이 각 노드들이 논리적 연결을 가질 때, 임의의 두 연결을 이루는 경로가 서로 겹치지 않는다면, 두 연결은 동시에 하나의 파장을 사용할 수 있어, 망에 필요한 파장의 수를 크게 줄일 수 있다. 그림 3-1에서 A-C 연결과 C-E 연결은 같은 파장을 사용할 수 있고, B-D 연결은 이들과 다른 파장을 사용해야 한다.

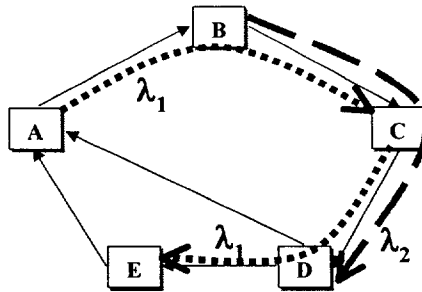


그림 3-1. 파장 라우팅

GMPLS가 패킷에 의한 스위칭 외에 타임 슬롯, 파장 혹은 파장군, 포트 혹은 파이버 스위칭도 지원한다는 것은, 새로운 종류의 인터페이스들이 포괄된다는 의미이다. 즉, 동종 인터페이스 간의 계층 관계 뿐만 아니라 이종의 인터페이스 간에서도 LSP의 계층 관계를 가질 수 있게 된다. 그림 3-2에서 GMPLS의 전달 계층 구조를 보이고 있다. PSC(Packet Switch Capable) 인터페이스는 패킷 및 셀의 경계를 인식하고 헤더 정보에 따라 데이터를 전달하며, TDM(Time Division Multiplex capable) 인터페이스는 반복주기가 있는 타임 슬롯에 따라 데이터를 전달한다. 그리고 LSC(Lambda Switch Capable) 인터페이스는 파장에 따라 데이터를 전달하고, FSC(Fiber Switch Capable) 인터페이스는 실제 물리 공간에서의 위치를 기반으로 데이터를 전달한다[19]. 이렇게 GMPLS는 복합적으로 구성된 망 환경에서 공통의 제어 평면으로, 망 자원을 동적으로 예약하고, 트래픽 엔지니어링과 절체, 보호, 복구 등의 기능까지 포괄하여 수행하며, 중간 계층 및 중간 장비 없이 IP를 광으로 전송하기 때문에 망의 복잡도와 비용을 경감시킨다.

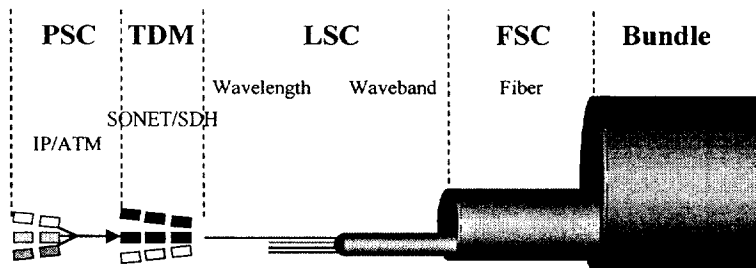


그림 3-2. GMPLS 전달 계층 구조

GMPLS는 MPLS의 신호 프로토콜인 CR-LDP와 RSVP-TE의 기능을 확장하여 λ -LSP 설정에 적용하는데, 본 절에서는 CR-LDP+를 이용하여 GMPLS에서 새롭게 확장된 내용들을 개략적으로 기술한다[6].

기본적으로 CR-LDP+는 그림 3-3에서와 같이 다운스트림 방향으로 Label Request 메시지가 가면서 레이블을 요청하고, 다시 업스트림 방향으로 Label Mapping 메시지가 가면서 각 노드마다 레이블을 할당하게 되는 방식이다. Label Request 메시지에는 Generalized Label Request, Suggested Label, Label Set, Upstream Label 등이 포함되고, Label Mapping 메시지에는 Generalized Label이 포함된다.



그림 3-3. GMPLS에서의 CR-LDP+ 동작

1) Generalized Label Request

요청된 LSP를 설정하기 위해 필요한 여러 통신 특성(타임 슬롯, 파장, 파이버 스위칭 등)을 지원하기 때문에, 인코딩 타입(Packet, Ethernet V2/DX, ANSI PDH, SDH, SONET, Lambda, Fiber 등), LSP에 의해 전달될 패로드의 식별자(예, LSP

인코딩이 Lambda인 경우에 Ethernet, SDH, SONET, Digital Wrapper 등을 식별), 대역폭 인코딩의 정보를 담고 있다.

2) Generalized Label

변들 내의 파이버, 파이버 내의 단일 파장군, 파장군 내의 단일 파장, 파장 내의 타임 슬롯의 한 집합을 나타내는 레이블 정보를 나타내며, 일반 MPLS 레이블, Frame Relay 레이블, ATM 레이블 등도 나타낼 수 있다.

3) Waveband Switching

파장 밴드 스위칭은 연속적으로 인접한 파장의 집합을 한 단위로 하여, 파장군으로 스위칭하는 스킴으로, OXC의 최적화를 위해 여러 개의 파장을 한 단위로 스위칭하는 것이 바람직할 경우가 있다. 이 스킴은 각 파장의 왜곡을 감소시키는 장점이 있다.

4) Suggested Label

업스트림 노드가 다운스트림 노드에게 자신이 선호하는 레이블을 제안하기 위해 사용한다. 이 스킴은 다운스트림 노드로부터 레이블을 받기 전에 자신의 하드웨어를 설정할 수 있어 레이블의 설정 지연을 줄일 수 있고, 망 장애 발생시의 복구를 위한 대체 LSP의 빠른 생성에도 중요한 역할을 한다. 만약 다운스트림 노드가 다른 레이블을 할당하게 되면, 다운스트림 노드가 전달해준 레이블로 갱신해야 한다.

5) Label Set

Label Set은 다운스트림 노드가 선택할 수 있는 레이블의 범위를 제한하기 위해서 사용한다. 즉, 두개의 노드 사이에서 특정 LSP에 사용되어질 레이블의 범위를 제한하는 것이다. 종단에 있는 장치가 여러 파장이나 파장군 중에서

특정한 것만 받을 수 있다면 Label Set이 유용하게 사용될 수 있다. 즉, DOS 클래스에 따라 각기 다른 파장 밴드 내의 파장을 할당하는, 본 논문의 제안을 위해서도 Label Set은 유용한 스킴이다.

6) 양방향 LSP

양 방향으로의 LSP 설정을 두 번의 단방향 LSP로 설정한다면 지연 시간 증가, 제어 오버헤드 증가, 경로 선택의 복잡성 등의 문제가 발생하기 때문에, GMPLS에서는 같은 트래픽 엔지니어링 요구 사항을 갖는 양방향 LSP를 한번의 initiator-terminator round trip 및 처리 시간에 설정할 수 있게 한다. 이를 위해, GMPLS에서는 Label Request 메시지에 Upstream Label를 추가함으로써 양방향 LSP를 설정하도록 정의한다.

그밖에 에러를 알려주는 Notification, 양방향에서의 명시적 경로 정보를 나타내기 위한 Explicit Label Control, 보호 타입에 대한 정보를 나타내는 Protection Information 등에 대한 기능과 포맷들이 정의되어 있다.

나. 링크 관리 프로토콜(LMP)의 특징

GMPLS에서 한 쌍의 노드는 여러 개의 파이버로 연결된다. WDM 기술이 사용되면, 각 파이버에 수백개의 파장을 전달할 수가 있고, 여러 개의 파이버나 파장은 번들 링크(bundled link)로 합쳐진다. 따라서 그림 3-4와 같이 두 노드 사이에 발생하는 수백, 수천개의 링크를 관리하는 시그널링이 고려되어야 한다. 현재 IETF에서는 GMPLS의 링크 관리를 지원하기 위해 LMP를 새롭게 정의하고 있으며, 그 기능은 아래와 같다[5].

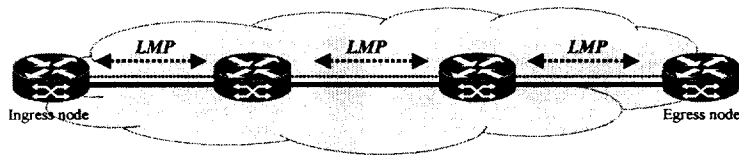


그림 3-4. Link Management Protocol

1) 제어 채널 관리(control channel management)

번들링된 링크에서 주기적으로 Hello 메시지를 교환하여 제어 채널의 연결과 유지를 담당한다.

2) 링크 특성 상호관련(link property correlation)

두 이웃 노드 간에 링크 특성(link Ids, protection mechanism, priorities)을 동기화한다. 링크의 보호 알고리즘 변화, 링크 식별자의 변화, 번들링된 링크에 다른 링크를 추가할 경우에 LinkSummary, LinkSummaryAck, LinkSummaryNack 메시지를 사용해 설정하는 기능을 담당한다.

3) 링크 연결 검증(link connectivity verification)

두 노드 간에 데이터 채널의 물리적 연결성을 검증하는 기능을 담당한다. 광 백본망에서 데이터의 전달은 광전 변환없이 광신호만으로 이루어지기 때문에, 제어 채널이 관리하는 각각의 데이터 채널에 Test 메시지를 전달하여 데이터 채널의 물리적 연결을 확실하게 보장하고 있다.

4) 장애 고립(fault isolation)

망 내에서 링크나 채널의 장애 혹은 손상을 고립시키기 위한 메커니즘으로, 에러의 발생을 빛의 손실로 감지하여 그것을 특정 지역으로 지역화시켜 빠른 시간에 복구하도록 한다.

다. DOS 모델을 위한 시그널링 과정

WDM 광 인터넷 백본망을 통해 DOS 클래스를 전송하기 위한 전체적인 시그널링 과정은 그림 3-5와 같다. (A), (B), (C)는 LMP의 필수 기능이고, (E), (F)는 옵션 기능이다. 그리고 (D)는 GMPLS의 레이블 분배 과정이다.

(A)와 (B)는 제어 채널 관리 기능으로, 이웃 노드 간에 Config 메시지를 사용해 HelloInterval, HelloDeadInterval과 같은 Hello 파라미터와 (E)와 (F)의 옵션 기능의 지원 여부를 협상한다. 협상된 내용에 따라 주기적으로 Hello 메시지를 교환하는 fast keep-alive 기능으로, LMP 제어 채널의 연결성을 유지하고, HelloInterval이 지나도록 Hello 메시지가 수신되지 않을 경우, 이웃 노드의 장애를 검출하게 된다.

(C)는 링크 특성 상호관련 기능으로, LinkSummary 메시지를 사용해 링크의 다중화 능력, 보호 메커니즘, 번들링된 링크에 속하는 모든 데이터 링크의 리스트, 데이터 링크의 타입 등의 특성을 노드 간에 동기화 시켜 관리한다.

(D)는 GMPLS의 레이블 분배 과정으로, downstream-on-demand ordered control 방식으로 레이블을 할당한다. Label Request 메시지에는 레이블 분배를 위한 MPLS의 TLV(Type-Length-Value) 외에 앞 절에서 기술한 Generalized Label Request, Suggested Label, Label Set, Upstream Label 등의 GMPLS TLV가 포함되어 파장 혹은 포트로 레이블이 할당 가능하도록 한다. Ingress 노드가 Label Mapping 메시지를 수신하면 데이터를 전송할 종단간 경로상에 레이블 분배가 이루어진다.

(E)는 링크 연결 검증 기능으로, 제어 채널이 관리하는 데이터 채널로 Test 메시지를 전송함으로써, 데이터 채널의 물리적 연결성을 확인하는 과정이다.

(F)는 LOL(Loss of Light) 방식으로 링크나 채널의 장애나 손실을 발견할 때의 처리 과정이다.

이 과정 중, 본 논문에서 제안한 DOS 클래스의 파라미터가 (D) 과정의 레이블 분배시 CR-LDP+의 TLV를 사용하여 적용된다.

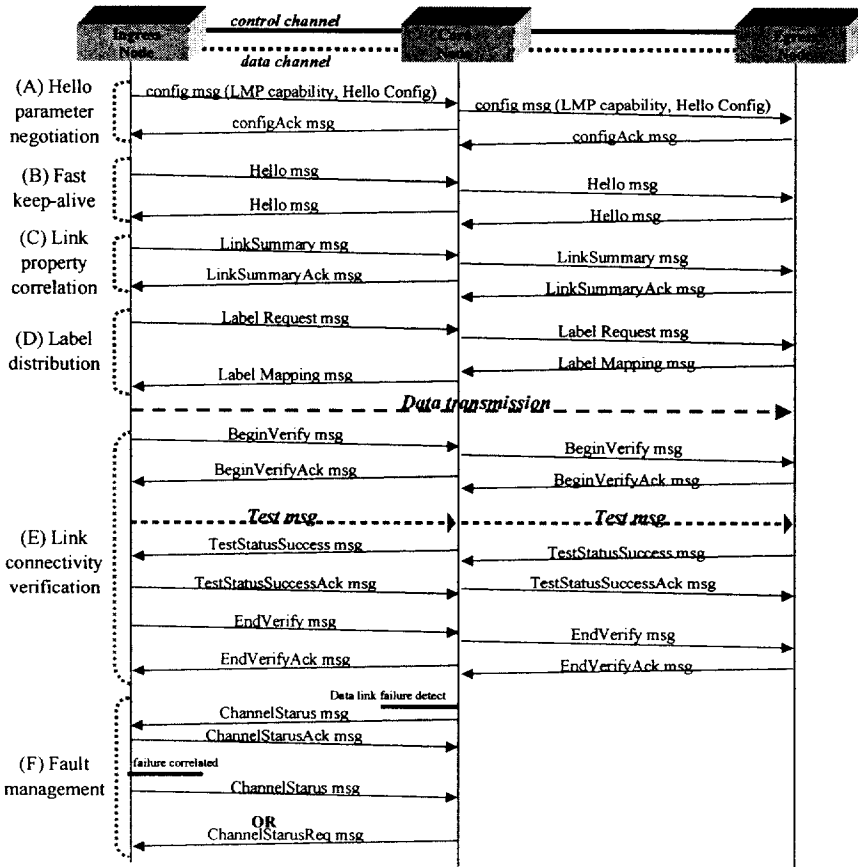


그림 3-5. DOS 모델을 위한 전체 시그널링 과정

2. DOS 클래스를 위한 LMP+의 제안

2장에서 BER은 광경로의 성능을 측정하는데 아주 중요한 파라미터가 됨을 기술한 바 있다. 또한, DOS 클래스에는 각 서비스 클래스에 따라 서로 다른

BER 임계치 값을 제안했다. 그러므로, BER 값을 DOS 클래스를 위한 전체 시그널링 과정에 반영해야 한다. 즉, BER 최소 임계치를 만족하면 호 설정을 수락하고, 그렇지 않으면 호 설정을 거절하는 것이다. 이 기능을 위해, LMP의 LinkSummary 메시지를 활용한다.

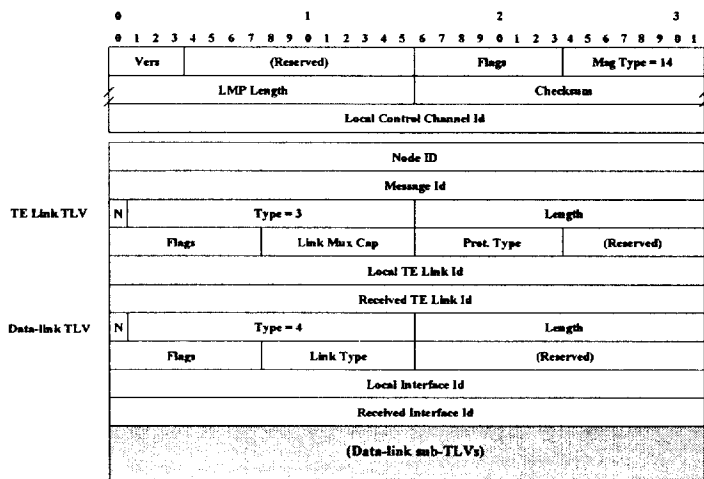


그림 3-6. LinkSummary 메시지의 포맷

그림 3-6은 LMP의 LinkSummary 메시지 포맷이다. 이 메시지는 두 노드 간에 Interface Ids를 동기화하고, TE 링크의 특성을 상호 관련시키는 기능을 한다. 여기에는 데이터 링크의 특성을 포함하기 위해, LinkSummary 메시지를 확장할 수 있도록 Data-link sub-TLVs 라고 하는 부가적인 TLV가 정의되어 있다. 본 논문에서는 Data-link sub-TLVs를 활용하여, BER 특성을 포함하는 BER minimum threshold sub-TLV와 파이버의 총 길이를 포함하는 Total span length sub-TLV를 제안한다.

Data-link sub-TLVs의 포맷은 그림 3-7의 LMP TLV의 포맷을 따른다.

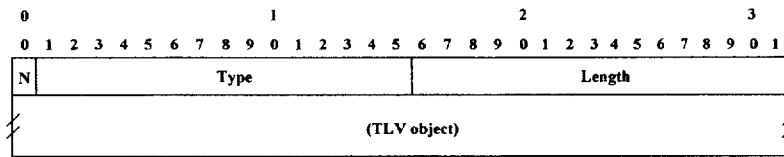


그림 3-7. LMP TLV의 포맷

- N : 1bit, TLV의 파라미터가 협상 가능한지(N=1) 또는 협상 불가능한지(N=0)를 나타낸다. 본 논문에서 DOS 클래스를 위한 Data-link sub-TLVs는 모두 협상 불가능하므로 N=0로 설정한다.
- Type : 15bits, TLV 타입을 나타낸다.
- Length : 16bits, TLV object의 길이를 바이트 단위로 나타낸다.

가. BER minimum threshold sub-TLV

LMP에 기술된 Data-link sub-TLVs의 포맷에 따라, BER minimum threshold sub-TLV의 포맷은 그림 3-8과 같다. BER은 전송시 수신되는 전체 비트수와 에러 비트수와의 비율로써, 십의 마이너스 승으로 표현한다. 예를 들어, ‘ 10^{-13} ’의 BER을 가진다면, 이것은 10,000,000,000,000 비트 전송된 것 중에서 1비트 에러임을 의미한다.

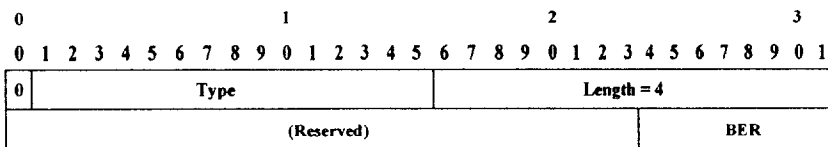


그림 3-8. BER minimum threshold sub-TLV의 포맷

- Type : 15bits, sub-TLV 타입을 나타낸다.
- Length : 16bits = 4
- Reserved : 24bits, 0로 설정되어 수신시 무시되는 값이다.
- BER : 8bits, BER 표현의 멱지수를 나타내는데, BER이 10^x 라면 BER 필드를 X로 설정한다.

나. Total span length sub-TLV

Total span length sub-TLV는 파이버의 총 길이를 나타내며, 라우팅의 메트릭(metric) 혹은 종단간 총 지연의 측정을 위해 사용한다. 포맷은 그림 3-9와 같다.

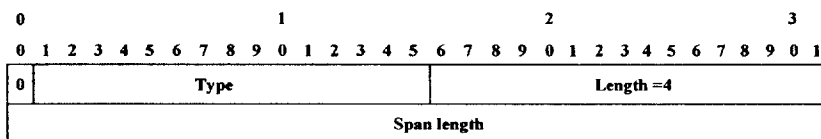


그림 3-9. Total span length sub-TLV의 포맷

- Type : 15bits, sub-TLV 타입을 나타낸다.
- Length : 16bits = 4
- Span length : 32bits, WDM span의 총 길이(meters)로써, unsigned integer로 나타낸다.

3. CR-LDP+와 RSVP-TE+의 상호연동시 제반 고려사항

현재 IETF에서 GMPLS의 신호 프로토콜로 CR-LDP+와 RSVP-TE+를 개발 중에 있다[20]. CR-LDP+와 RSVP-TE+ 모두 명시적 경로 정보 및 트래픽 파라미터를 통해 QoS를 보장하고, 광 백본망에 적용 가능하도록 새로운 기능들을 포함하고 있지만, 광 인터넷 백본망에서 서로 다른 메커니즘으로 동작한다. WDM 광 인터넷 백본망에는 다수의 GMPLS 도메인이 존재하므로 각각의 도메인이 서로 다른 신호 프로토콜을 사용하더라도 이들 간의 상호운용이 보장되어야 한다. 본 절에서는 CR-LDP+와 RSVP-TE+ 신호 프로토콜의 차이점을 비교 분석하고, 상호연동시에 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항을 제시한다.

가. CR-LDP+와 RSVP-TE+의 차이점

광경로 설정시 사용되는 GMPLS의 두 신호 프로토콜은 아래의 기술적인 차이점을 가진다.

첫번째 차이점은 레이블 분배와 관련된 제어 메시지의 전송 메커니즘이다. CR-LDP+는 TCP 기반으로 동작하기 때문에 네트워크 복구와 관련된 제어 메시지의 전송에 대해 신뢰성을 보장할 수 있는 반면, RSVP-TE+는 IP 데이터그램 방식의 비신뢰적인 전송 메커니즘으로 인해 에러 상황을 보고하는 제어 메시지가 손실될 수 있어 망의 여러 문제에 대해 빠른 복구를 보장할 수 없다.

두번째 차이점은 노드에서의 상태 관리 메커니즘이다. CR-LDP+는 하드 상태 프로토콜로 호가 해제되기 전까지는 특정 경로에 할당된 자원은 그 상태를

유지하는 반면, RSVP-TE+는 소프트 상태 프로토콜로 특정 경로에 할당된 자원이 시간에 따라 변한다. RSVP-TE+ 노드는 소프트 상태를 유지하기 위해 refresh 메시지를 교환하여 λ -LSP의 상태를 주기적으로 갱신하는데, 해제 시간 내에 이 메시지가 수신되지 않으면 소프트 상태는 자동적으로 소멸된다. 망의 규모가 확장될 경우에는 refresh 메시지 수가 급격하게 증가되므로 확장성의 문제를 유발한다.

세번째 차이점은 광 백본망의 각 노드에서 유지해야 하는 상태 정보의 양이다. 소프트 상태의 RSVP-TE+는 망의 모든 노드에서 주기적으로 갱신되는 상태 정보를 유지해야 한다. 이 정보에는 트래픽 파라미터, 자원 예약 및 명시적 경로 등이 포함된다. CR-LDP+ 역시 트래픽 파라미터 및 명시적 경로 등을 포함하는 상태 정보를 유지하며, 그 상태의 양도 RSVP-TE+와 비슷하다. 그러나 CR-LDP+는 Ingress 노드와 Egress 노드에서만 상태 정보를 유지하므로 망의 코어 부분에서 저장해야 할 상태의 요구사항을 줄일 수 있다.

네번째 차이점은 자원을 요구하는 메커니즘이다. CR-LDP+는 ATM처럼 송신자 기반으로 동작하고, RSVP-TE+는 수신자 기반으로 동작한다. CR-LDP+는 λ -LSP를 설정하고자 하는 포워드 방향으로 자원 예약을 요청하기 때문에 자원이 불충분한 경로 상으로는 처음부터 λ -LSP가 설정되지 않는다. 반면, RSVP-TE+는 수신측에서 그 플로우에 사용할 자원의 예약을 요청하기 때문에, 선택된 경로 상으로 RESV 메시지가 도달해야만 자원의 예약이 이루어지므로, 자원이 부족할 경우에는 이미 선택된 경로 상의 λ -LSP 설정이 실패할 수도 있다.

이상의 내용에 기반하여 CR-LDP+와 RSVP-TE+의 차이점을 간략하게 요약하면 표 3-1과 같다.

표 3-1. CR-LDP+와 RSVP-TE+의 차이점 비교

Protocol Category	CR-LDP+	RSVP-TE+
Transport mechanism	TCP (reliable)	IP or UDP (unreliable)
State management	Hard state	Soft state; need per-flow refresh management
Resource request	By sender (forward path)	By receiver (reverse path)
Message for λ -LSP setup	Label Request, Label Mapping	PATH, RESV, RESVconf
Base architecture	Based on LDP developed for MPLS	Based of RSVP, but may require major changes to the basic protocol to improve its scalability

나. 상호연동시 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항

GMPLS의 두 신호 프로토콜이 광 인터넷 백본망에서 상호연동될 경우에는 각 신호 프로토콜 도메인 간의 인터워킹이 필요하다. 두 프로토콜의 인터워킹은 λ -LSP 설정시 교환되는 CR-LDP+와 RSVP-TE+의 고유 메시지들을 매핑함으로써 이루어지는데, 새로운 네트워크 구성 요소인 IW(InterWorking) 노드를 정의하여, IW 노드에서 RSVP-TE+ 메시지를 CR-LDP+ 메시지로 변환하여(그 반대의 경우도 성립) 명시적인 λ -LSP를 설정함으로써, GMPLS 망 전체를 통해 일관된 QoS를 보장할 수 있다[21]. GMPLS 도메인에서 CR-LDP+와 RSVP-TE+의 연동 관계는 {CR-LDP+, RSVP-TE+, CR-LDP+} 관계이거나 혹은 {RSVP-TE+, CR-LDP+, RSVP-TE+} 관계로 요약되는데, 일반적으로 소프트 상태 유지를 위한 RSVP-TE+의 refresh 메시지 수가 확장성 문제를 유발할 수 있기 때문에, 그림 3-10과 같이 소프트 상태의 RSVP-TE+를 망의 에지 부분에, 하드 상태의 CR-LDP+를 망의 코어 부분에 배치하는 것이 더 효과적이다[22].

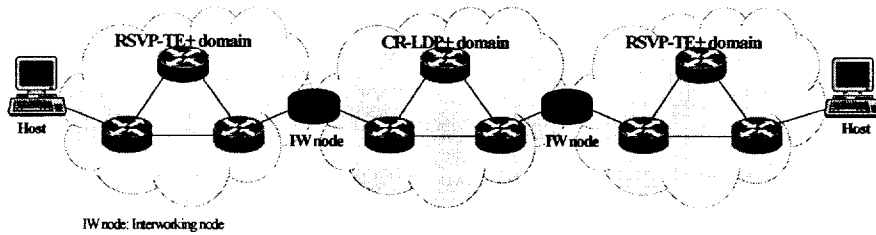


그림 3-10. CR-LDP+와 RSVP-TE+가 상호연동되는 네트워크의 구조의 예

인터워킹 기능을 수행하는 IW 노드는 몇 가지 고려사항을 포함한다. GMPLS의 레이블 분배 방식을 따라, IW 노드는 downstream-on-demand ordered control 방식으로 메시지를 매핑해야 하고, RSVP-TE+의 소프트 상태를 보존하는 동시에 CR-LDP+의 하드 상태를 유지해야 한다. IW 노드는 자원의 양, 토폴로지 구조, 서비스의 형태 등 네트워크의 상태와 변화에 의존하여 CR-LDP+와 RSVP-TE+ 간의 인터워킹을 수행해야 하는데, λ -LSP 설정 동안에 일어나는 두 신호 프로토콜의 서로 다른 동작 메커니즘을 수용하여 변경 사항을 처리해야 한다. 즉, IW 노드에서 RSVP-TE+의 PATH 메시지를 CR-LDP+의 Label Request 메시지로 변환하여 전송함으로써 CR-LDP+ 도메인으로부터 레이블을 요청할 수 있다. RSVP-TE+의 객체(object)와 CR-LDP+의 TLV 간에도 상호 연관이 있는 것으로 매핑이 이루어져야 하는데, 필수적인 부분은 반드시 매핑되거나 또는 IW 노드에서 새롭게 생성해야 하고, 옵션 부분은 λ -LSP 수립에 필요할 경우에만 하여 매핑하도록 한다. 이때, λ -LSP를 수립하기 위한 초기 RSVP-TE+의 PATH 메시지는 CR-LDP+의 Label Request 메시지로 매핑되어 전송되나, 소프트 상태를 유지하기 위해 주기적으로 전송되는 RSVP-TE+의 PATH refresh 메시지는 경로의 상태 변화가 없는 한 CR-LDP+ 도메인으로 전송되지 않는다. 또한, IW 노드는 프로토콜의 인터워킹 뿐만 아니라 에러 상황에 대해 취해야 할 동작(i.e. trigger a PATHtear or RESVtear message)까지 정확히 명시해야 한다.

1) 메시지와 파라미터 인터워킹

각 신호 프로토콜의 고유한 특성으로 인해, CR-LDP+와 RSVP-TE+ 간의 메시지 및 파라미터 인터워킹은 일대일 매핑이 이루어지지 않는다. 경우에 따라 몇 개의 RSVP-TE+ 메시지가 하나의 CR-LDP+ 메시지에 매핑되기도 하고, 몇 개의 CR-LDP+ 메시지가 하나의 RSVP-TE+ 메시지에 매핑되기도 한다. 제어 메시지 내에 포함된 RSVP-TE+ 객체와 CR-LDP+ TLV간의 매핑 역시 마찬가지이다.

아래의 표는 왼쪽의 소스 프로토콜에서 오른쪽의 목적지 프로토콜로 메시지와 파라미터의 매핑을 정의한 것이다. 표에서 어둡게 표기한 부분은 광 인터넷 백본망에 적용하기 위하여, GMPLS에서 새롭게 추가한 파라미터들의 매핑을 나타낸다.

표 3-2. RSVP-TE+에서 CR-LDP+로의 메시지 매핑

RSVP-TE+ messages		CR-LDP+ messages
PATH message	⇒	Label Request message
RESV message	⇒	Label Mapping message
PATHtear message	⇒	Label Release message
RESVtear message	⇒	Label Withdraw message
PATHerr message	⇒	Notification message
RESVerr message	⇒	Label Release message
RESVconf message	⇒	Not supported

표 3-3. CR-LDP+에서 RSVP-TE+로의 메시지 매핑

CR-LDP+ messages		RSVP-TE+ messages
Label Request message	⇒	PATH message
Label Mapping message	⇒	RESV message
Label Release message	⇒	PATHtear message
Label Withdraw message	⇒	RESVtear message
Notification message	⇒	PATHerr message
Label Abort Request message	⇒	PATHtear message

표 3-4. RSVP-TE+ object에서 CR-LDP+ TLV로의 매핑

RSVP-TE+ objects		CR-LDP+ TLVs
Integrity	⇒	local to extended RSVP, not required
RSVP Hop	⇒	local to extended RSVP, not required
Time Values	⇒	local to extended RSVP, not required
RESV Confirm	⇒	For Future Study
Scope	⇒	local to extended RSVP, not required
Session	⇒	L3PID TLV, LSPID TLV
Session Attribute	⇒	Preemption TLV
Sender Template	⇒	Aux LSPID TLV, LSPID TLV
Explicit Route object	⇒	ER Hop Type TLV
Policy Data	⇒	For Future Study
Adspec	⇒	For Future Study
Sender Tspec	⇒	Traffic Parameters TLV
Flow spec	⇒	Traffic Parameters TLV
Filter spec	⇒	Aux LSPID TLV
Record Route object	⇒	Route Record TLV
Error spec	⇒	Status TLV
Generalized Label Request object	⇒	Generalized Label Request TLV
Generalized Label object	⇒	Generalized Label TLV
Suggested Label object	⇒	Suggested Label TLV
Label Set object	⇒	Label Set TLV
Upstream Label object	⇒	Upstream Label TLV
Protection object	⇒	Protection TLV
Admin Status object	⇒	Admin Status TLV
IF_ID RSVP_HOP object	⇒	Interface Id TLV

표 3-5. CR-LDP+ TLV에서 RSVP-TE+ object로의 매핑

CR-LDP+ TLVs		RSVP-TE+ objects
FEC TLV	⇒	Last hop in Explicit Route object
Explicit Route TLV	⇒	Explicit Route object
Traffic Parameter TLV	⇒	Sender Tspec, Flow spec
Pinning TLV	⇒	None, maps to ERO procedures
Resource Class TLV	⇒	Not supported
Preemption RLV	⇒	Session Attribution object
Status TLV	⇒	Error spec object
Generalized Label Request TLV	⇒	Generalized Label Request object
Generalized Label TLV	⇒	Generalized Label object
Suggested Label TLV	⇒	Suggested Label object
Label Set TLV	⇒	Label Set object
Upstream Label TLV	⇒	Upstream Label object
Protection TLV	⇒	Protection object
Admin Status TLV	⇒	Admin Status object
Interface Id TLV	⇒	IF_ID RSVP_HOP object

2) 인터워킹 절차

CR-LDP+와 RSVP-TE+ 간의 메시지 및 파라미터 매핑을 통해 두 신호 프로토콜이 인터워킹 되는 절차는 그림 3-11과 같이 λ-LSP의 설정 및 해제, 그리고 에러 처리 과정으로 이루어진다.

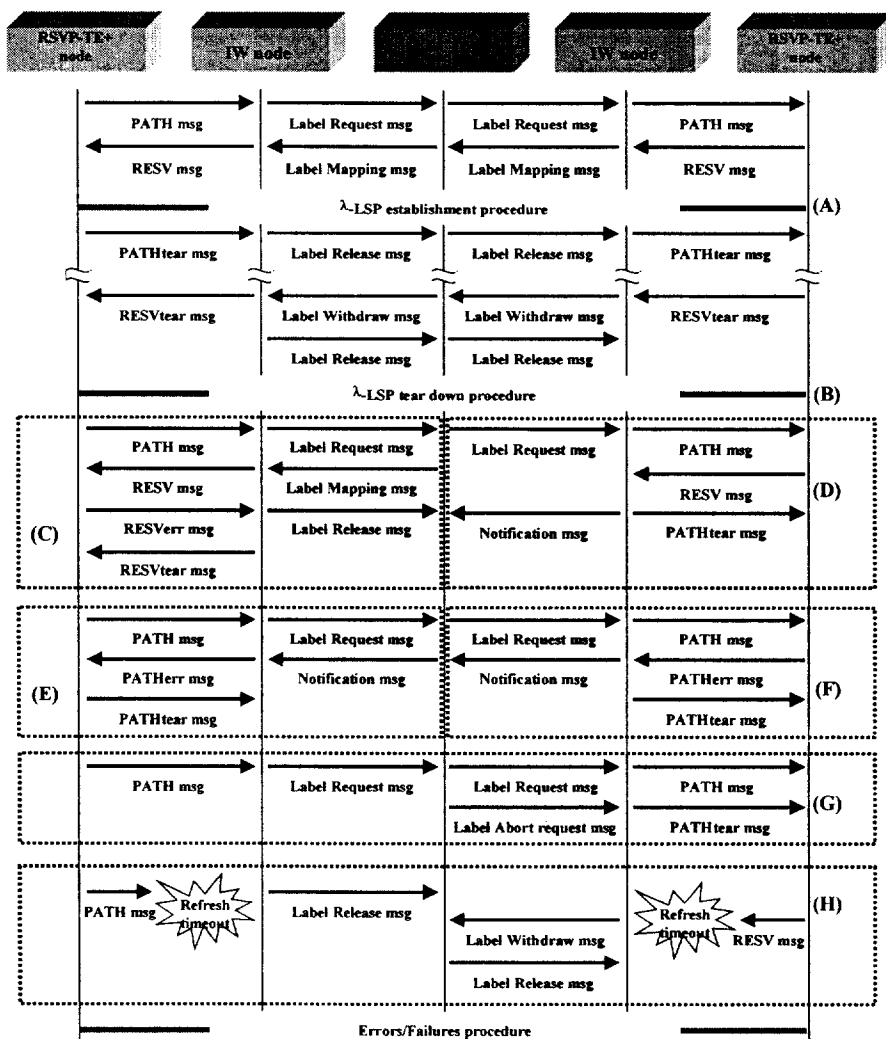


그림 3-11. IW 노드를 이용한 두 신호 프로토콜의 인터워킹 절차

(A)는 두 신호 프로토콜이 상호연동되는 광 인터넷 백본망에 λ -LSP를 설정하는 과정이다. λ -LSP를 요구하는 PATH 메시지와 Label Request 메시지의 매핑, 레이블을 분배하는 Label Mapping 메시지와 RESV 메시지의 매핑으로, 특정 클래스를 위한 QoS 보장 경로가 설정된다. 이때, 초기 PATH 메시지는

Label Request 메시지로 매핑되어 전달되지만, 경로 상태가 변하지 않는 한 PATH refresh 메시지는 전달되지 않는다.

(B)는 λ -LSP를 해제하는 과정으로, IW 노드가 PATHtear 메시지를 수신하면 경로 상태를 소멸시키고, CR-LDP+ 노드를 향하여 Label Release 메시지를 전송하여 경로 해제를 시작한다.

IW 노드는 λ -LSP의 해제 또는 λ -LSP의 복구를 확실히 하기 위해, 여러 에러 상황을 적절하게 처리해야 한다. 일반적인 에러 상황에는 RSVP-TE+ 노드가 CR-LDP+ 노드로부터 전달되어온 RESV 메시지의 내용을 수락할 수 없어 IW 노드로 하여금 양 방향의 노드를 향해 λ -LSP를 해제하도록 하는 경우(C), CR-LDP+ 노드에서 레이블을 요청하고 RSVP-TE+ 노드가 그 요청을 수락할 수 있지만 IW 노드에서 자원의 예약을 처리할 수 없는 경우(D), RSVP-TE+ 노드에 의해 초기화된 레이블 요청이지만 CR-LDP+ 노드에서 그 요청을 수락할 수 없어 Notification 메시지를 전송하는 경우(E), CR-LDP+ 노드에 의해 초기화된 레이블 요청이지만 RSVP-TE+ 노드에서 그 요청을 수락할 수 없어 에러 메시지를 전송하는 경우(F), CR-LDP+ 노드가 이전에 자신이 전송한 레이블 요청을 취소하는 경우(G), refresh 메시지가 만료되어 CR-LDP+ 노드로 Label Releases 메시지 또는 Label Withdraw 메시지가 전달되어 λ -LSP를 해제하는 경우(H) 등이 있다.

IV. DOS 제공 프레임워크

IP 서브넷의 end-to-end 사용자가 요구하는 QoS를 만족시키기 위해서는 그림 4-1에서 나타난 것처럼 IP 망에서의 성능 보장뿐만 아니라 WDM 광 백본망 내에서의 성능 보장이 함께 이루어져야 한다. 본 장에서는 IP 망에서 QoS가 어떻게 보장되는지를 살펴보고, 이와 연계해서 WDM 광 백본망에서 보장되어야 할 성능 요구사항 및 이를 관리하기 위한 기법에 대해 서술한다. 또한, 2장의 QoS traffic policy server 기능 및 optical resource management 기능과 3장의 DOS 제어 메커니즘으로, DOS 클래스를 WDM 기반의 광 백본망에 정합하는 방안을 제시하여, 차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서 DOS 제공을 위한 전체 프레임워크를 제시한다.

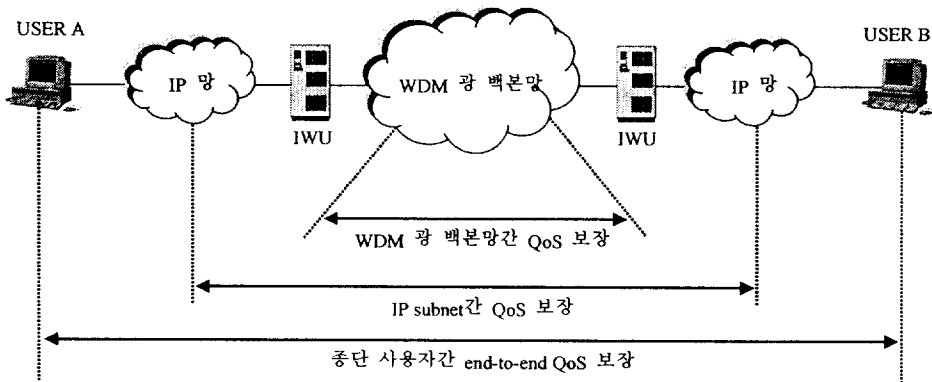


그림 4-1. WDM 광 백본망을 통한 IP subnet의 QoS 보장

1. IP 망에서 QoS 보장

가. IP/GMPLS/CR-LDP+ 망 QoS 파라미터

IP 계층의 성능은 GMPLS의 시그널링 과정에서 협상되는 파라미터의 집합에 의해 측정되며, CR-LDP+에서의 QoS 파라미터 정의는 다음과 같다[23].

1) Flag

네트워크의 가용 자원이 부족하여 사용자의 요구치를 만족시킬 수 없을 때, 네트워크 상에서 트래픽 파라미터의 협상 유무를 나타낸다.

2) Frequency

GMPLS 도메인 내에서 지연 편차와 버퍼링에 대한 제한치를 나타낸다.

- VeryFrequent: 버퍼링의 정도가 한 패킷을 초과하지 않음
- Frequent: 단지 몇 개의 패킷(3~4 패킷)이 버퍼링 됨
- Unspecified: 버퍼링 되는 패킷을 모두 수락함

3) Weight

Committed rate를 초과한 대역폭에 대해 LSP 상의 공유 자원을 어떻게 할당할 것인지 규정하는 것으로, 큰 값일수록 큰 가중치를 나타낸다.

4) Peak rate (PDR: Peak Data Rate + PBS: Peak Burst Size)

LSP로 보내지는 트래픽의 최대 전송률로, Ingress 노드가 최대 전송률을 초과하지 않도록 제어한다.

5) Committed rate (CDR: Committed Data Rate + CBS: Committed Burst Size)

GMPLS 도메인 내의 LSP 상에서 이용할 수 있도록 허락된 전송률로, LSP를

위해 예약되는 대역폭이다.

6) Excess Burst Size

LSP 상에서 committed rate를 초과한 트래픽을 측정하기 위해 사용하는데, GMPLS 도메인의 에지에 위치하여 트래픽 조절 기능을 수행한다.

CR-LDP+를 이용하여 종단간 QoS를 보장하기 위해서, 망의 에지에서는 ISP와 사용자 간에 합의된 SLA에 따라 트래픽 조절 기능을 수행하고, 코아에 위치한 각 노드에서는 서비스 frequency에 따라 트래픽을 처리하고 자원을 예약하는 local behavior 기능을 수행한다.

나. IP/GMPLS/RSVP-TE+ 망 QoS 파라미터

RSVP-TE+에서의 QoS 파라미터 정의는 다음과 같다[24-25].

1) 플로우의 최대속도 (bytes/s) p

적절한 값으로 정해지지 않을 경우, 링크 속도의 값으로 주어지거나 혹은 무한대 값으로 주어진다.

2) 토큰 버킷 속도 (bytes/s) r

지속적인 패킷의 전송률, 즉 평균 패킷 전송률이다.

3) 토큰 버킷 크기 (bytes) b

패킷의 전송률이 r을 넘을 수 있는 기간, 즉 버스트 크기이다.

4) 최소 정책 단위 (bytes) m

m보다 작은 크기의 패킷은 m 바이트로 정의된다.

5) 최대 전송 패킷의 크기 (bytes) M

전송되는 패킷의 최대 크기를 정의한다.

6) 요청 대역폭 (bytes/s) R

망에서 제공해 주는 전송률로, 반드시 r 보다 커야 한다.

7) 여유 항 (ms) S

총 지연 시간의 허용치로, 요청하는 대역 R 을 사용할 경우 얻어지는 지연 시간과 실제 망을 통과하면서 겪게 되는 지연 시간의 차이를 나타낸다.

8) 최소 경로 지연 시간 (minimum path bandwidth) Q_{mindel}

패킷을 전달하는데 걸리는 최소 지연 시간으로, 라우터에서의 큐잉 지연 시간을 제외한 시간이다. Egress 노드에서 종단간 최대 지연 시간을 계산하는데 이용된다.

9) 가용 경로 대역폭 (available path bandwidth) B_{path}

경로 상에서 최소 대역을 갖는 링크의 대역폭을 나타낸다.

IP/GMPLS/RSVP-TE+ 망에서 QoS를 보장하는 메커니즘은 다음과 같다. PATH 메시지를 수신한 Egress 노드는 T_{spec} 으로부터 r , b , p , m 의 정보를, $Adspec$ 으로부터 Q_{mindel} , 에러항(C_{tot} , D_{tot}), 최대 전송 패킷 길이(PathMTU(M)), B_{path} 의 정보를 구한다. Egress 노드가 요구하는 최대 지연 시간으로부터 Q_{mindel} 을 빼면 종단간 최대 큐잉 지연 시간(Q_{delreq})을 구할 수 있다. Q_{delreq} , C_{tot} , D_{tot} , M , r , b , p 값을 아래의 식(1), 식(2) 혹은 식(3)에 대입하면 최소 요구 대역 R 을 구하게 된다. 자원 예약 요청이 실패하지 않기 위해서, R 값이 B_{path} 보다 클 경우에는 R 값을 감소시킨다. 이렇게 구한 R 값을 가지고 Egress 노드는 R_{spec} 을 구성하고, 이를 포함한 RESV 메시지를 Ingress 노드 방향으로 전송함으로써,

IP/GMPLS 망 상에 자원을 예약하여 QoS를 보장한다.

$$Q = \frac{(b-M)(p-R)}{R(p-r)} + \frac{M+C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (p > R \geq r) \quad \dots\dots(1)$$

$$Q = \frac{M+C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (R \geq p \geq r) \quad \dots\dots(2)$$

$$Q = \frac{b}{R} + \frac{C_{tot}}{R} + D_{tot} \quad (R \leq r) \quad \dots\dots(3)$$

다. IP/GMPLS 망에서 QoS을 위한 관리 기법

IP/GMPLS 망의 QoS를 보장하기 위해서는 다양한 트래픽 제어 및 혼잡 제어 기능이 필요하다. IP/GMPLS 망에서 수행되는 대표적인 트래픽 제어 및 혼잡 제어 기능을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 망 자원 관리 : 서비스 특성에 따라 트래픽 흐름을 분리할 수 있도록 망 자원을 할당 하는데 이용될 수 있다.
- 연결 수락 제어 : 호 설정 단계나 호 재협상 단계에서 채널/경로 연결 요청의 수락 여부를 판단하기 위해 망에서 취해지는 일련의 조치로 정의되며, 경로 결정도 연결 수락 제어 조치들의 일부분이다.
- 사용자/망 파라미터 제어 : 사용자/망의 접근점에서 IP/GMPLS 연결의 부과 트래픽과 유효성의 관점에서 감시 및 제어하기 위해 망에 의해 취해지는 일련의 조치로 정의된다. 이 제어의 주 목적은 협상된 파라미터를 위반하는 것을 검출하여 적당한 조치를 취함으로써 이미 설정된 연결의 서비스 품질에 영향을 줄 수 있는 부당 행위로부터 망 자원을 보호하는데 있다.
- 우선순위 제어 : 우선 순위 제어는 망이 패킷을 다루는 방법을 시간

우선순위 또는 손실 우선순위의 면에서 상대적으로 차별화하는 기능이다.

위에 기술된 일반 기능들 중 특정 일부분은 관련된 트래픽 파라미터와 파라미터의 값, 그리고 적절한 제어 기능들과 조합되어 IP/GMPLS 망에서 QoS 관리가 이루어진다.

2. WDM 광 백본망에서 QoS 보장

가. 광 백본망 QoS 파라미터

광 백본망에서의 QoS는 클라이언트 망에 대한 광경로 설정시 협상이 되며, 제공되는 서비스 형태에 따라 다양하다. 그러므로, 광 백본망을 구성하는 element는 사용자 응용에 기반하여 다양한 QoS 요구사항들을 제공하기 위한 기능이 구현되어야 한다. 광계층, 특히 OCh 계층과 관련해서 보장되어야 할 QoS 파라미터는 다음과 같다.

- 투명성 정도 : 이 파라미터는 설정될 경로의 투명성의 정도를 결정한다. 예를 들어 완전한 투명성을 제공하는 광경로의 경우, 입력되는 클라이언트 신호의 포맷 및 전송률에 상관없이 정보를 전송할 수 있다.
- 보호 레벨 : 사용자는 광경로 설정시 정보의 중요성에 따라 failure시 보호의 유무를 요청할 수 있다.
- 요구되는 BER(bit error rate) 및 S/N(signal to noise)비 : 이 파라미터는 사용자 응용에 따라 다양한 범위의 값을 가진다. 예를 들어, 아날로그 신호는 디지털 신호에 비해 높은 S/N비를 요구한다.
- 종단간 지연 : 이 파라미터 역시 응용에 따라 다양한 값을 가지며, 화상회의와 같은 실시간 응용은 데이터 서비스보다 지연에 매우

민감하다.

나. 종단간 QoS 보장을 위한 관리 기법

광 백본망에서 이러한 성능 파라미터를 보장하기 위해, 계층별로 다양한 관리 기능을 수행한다. 각 계층은 성능 관리를 위해 각각 2가지 기능 블록으로 나누어진다. 하나는 각 계층에 해당하는 연결, 즉 trail의 전송 성능을 감시하는 termination 기능이며, 다른 하나는 클라이언트 신호를 적절한 형태로 adaptation 하는 기능이다. 광백본 네트워크의 6가지 기능 블록은 OCh/Client adaptation (OCh_A), OCh termination(OCh_T), OMS/OCh adaptation(OMS_A), OMS termination (OMS_T), OTS/OMS adaptation(OTS_A) 및 OTS termination(OTS_T)으로 이에 대한 블록 다이어그램은 그림 4-2와 같다.

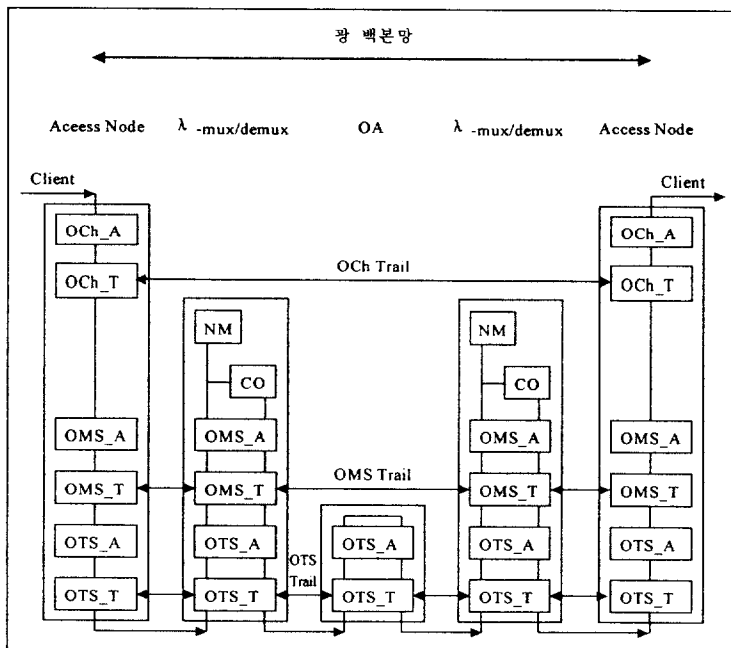


그림 4-2. 광 백본망의 기능 블록 다이어그램

그림에서 광 교환 시스템에는 광경로의 교환을 수행하는 CO(Connection) 및 광신호를 태핑시키는 NM(Non-intrusive Monitor) 기능이 부가되어 있다.

6가지 기능 블록에서 광 백본망의 QoS 보장을 위한 관리 기술은 다음과 같다.

먼저, adaptation 기능은 입력되는 신호를 적절한 형태로 변환하는데, 이러한 변환이 성공적으로 수행되는지 수신측에서 감시함으로써 adaptation 기능 관리가 이루어진다. OCh_A는 송신측에서 클라이언트 신호를 광경로에, 수신측에서 광경로로부터 클라이언트 신호를 adaptation 시키는 기능을 수행하는데, 이러한 기능은 수신측에서 클라이언트 신호의 QoS를 감시함으로써 관리된다. 예를 들면, 만약 광경로의 failure와 같은 특별한 이유없이 클라이언트 신호의 QoS가 저하되었다면, OCh_A의 기능이 잘못되었다고 판단한다. OMS_A는 주로 송신측 및 수신측에서 각각 파장의 다중화 및 역다중화 기능을 수행하는데, 이 계층의 QoS는 수신되는 파장의 수를 감시함으로써 보장된다. 예를 들어, 만약 수신된 파장의 수가 기대치에 비해 적다면, OMS_A의 기능이 잘못되었다고 판단한다. 광신호의 멀티플렉싱이 정교하게 이루어지지 않는다면, 수신측의 λ -demux 용량을 넘어서게 되고 결국 광신호의 전력이 감소되게 되는데, 이는 광신호의 손실로 간주되며 파장의 수가 감소되게 된다. 즉, OMS_A 계층에서는 파장의 수에 의해 관리될 수 있다. OTS_A와 관련해서는 특별한 관리 기능을 수행하지 않는다.

Termination 기능의 관리는 각 trail의 QoS를 감시함으로써 이루어진다. 즉, 송신측에서 QoS는 overhead를 삽입함으로써 전송되고, 수신측에서 이를 감시하게 된다. OCh_T는 송신측에서 OCh trail의 무결성을 보장하기 위한 overhead를 삽입하고 수신측에서 이를 감시하는 기능을 수행하는데, 이의 관리는 광경로의 가장 핵심적인 QoS 파라미터인 BER을 감시함으로써 수행된다. OMS_T는 OMS trail의 무결성을 보장하기 위한 overhead를 삽입하고 OMS trail의 failure 발생

유무를 감시함으로써 관리가 이루어진다. OTS_T는 송신측에서 OMS trail의 무결성을 보장하기 위한 overhead를 삽입과 함께 총 출력 신호 전력을 감시하고 수신측에서 총 입력 신호 전력을 감시함으로써 관리가 이루어진다.

3. WDM 광 백본망에서 DOS 클래스의 정합

광 백본망은 사용자의 정보를 투명하게 전송하기 위해 그림 4-3과 같은 계층 구조로 구성되어야 하며, IP 응용들이 WDM 광 백본망을 통해 전달되기 위해서는 OCh 계층의 광채널을 통해 정확하게 경로가 확립된 후 매핑되어야 한다.

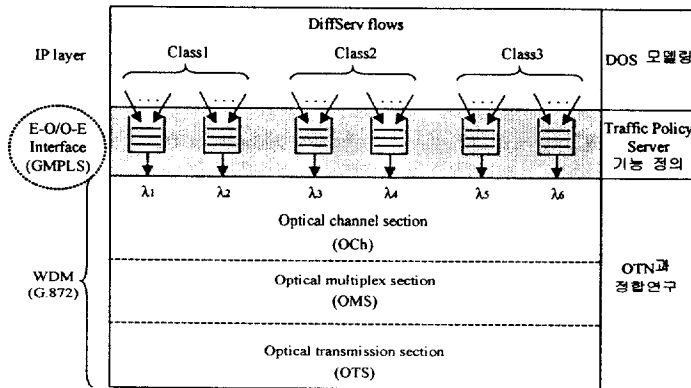


그림 4-3. DOS의 프로토콜 계층 구조

차등화 서비스 기반 IP 망은 동일한 QoS를 가지는 플로우들을 aggregation 하므로 적은 수의 플로우를 생성하여 망의 복잡도를 줄이고 관리를 용이하게 한다. WDM 백본망은 Ingress와 Egress 노드 쌍 간에 여러 광경로를 제공하므로 BER, el.SNR, OSNR, 지연, 지터, 보호 능력 등의 파라미터를 사용해 각각의 광

품질을 측정하고, IP QoS 클래스와 동등하게 광경로들을 그룹으로 구분함으로써 IP 플로우 군을 직접 광채널로 매핑하여, 차등화된 광 QoS 서비스를 제공한다.

본 논문에서 제안한 E-O/O-E 인터페이스 계층은 GMPLS 프로토콜을 기반으로 DOS 모델과 WDM 전송망 표준인 OTN과의 정합을 위해, QoS traffic policy server 기능과 optical resource management 기능을 사용하여 각 플로우 군에 해당하는 λ -LSP를 설정하고 자원을 예약하여 차등화된 IP 서비스들을 DOS로 매핑하는 역할을 한다.

E-O/O-E 인터페이스 계층은 그림 4-4에서 세분화시킨 것처럼, 상위 계층으로부터 전송되어져 오는 IP 패킷을 표 2-6에 기술한 세부 파라미터에 따라 class 1, class 2 및 class 3로 나누어, DOS 클래스 별로 GMPLS 레이블을 생성한다(GMPLS label generation). GMPLS 레이블이 인캡슐레이션된 IP 데이터그램은 OTU(Optical Transport Unit)의 페이로드 부분을 형성하여 전송률을 맞추고(data rate adaptation and convergence), OTU 헤더를 생성한 후(header generation/rewriting), OTU 플로우들을 서로 다른 QoS를 가지는 파장으로 광전 변환함으로써 WDM 계층으로 적응시키는 기능을 제공한다(wavelength translation and convergence). 또한, 이 계층은 DOS 제어 메커니즘으로 백본망 내의 장애나, 결함, 노드의 구성, 망 성능 등을 관리하는 종단간 OTN 관리를 지원한다.

OCh 계층은 클라이언트 신호들을 투명하게 운반하기 위한 광경로의 종단간 네트워킹을 제공하며 채널 구성을 위해 파장 식별자, 포트 연결성, 페이로드 레이블, 파장의 보호 능력 등의 정보를 필요로 하는데, GMPLS 프로토콜을 사용함으로써 OCh 계층에서 필요로 하는 제어 메커니즘을 수행한다. OMS 계층은 다중 파장 광신호를 전송하며 신호의 무결성을 보장하기 위해 multiplex section에 대한 생존 능력을 제공하고, OTS 계층은 다양한 형태의 광 전달 매체를 통해 광신호 전달 기능을 제공한다.

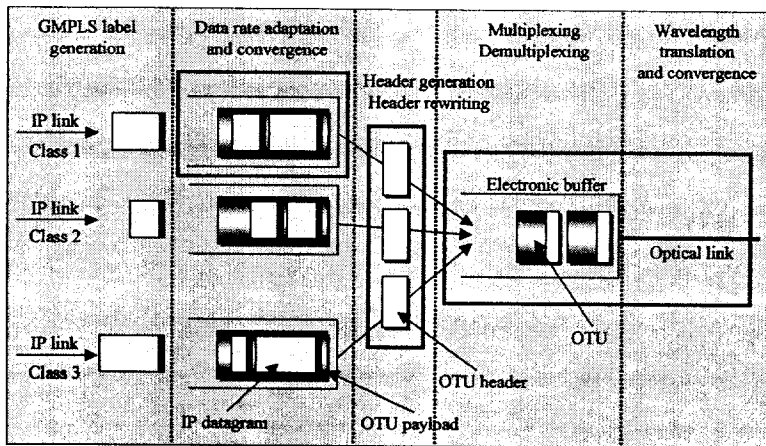


그림 4-4. E-O/O-E 인터페이스 계층의 구조

지금까지 본 논문에서 제안하는 내용을 정리하면 그림 4-5와 같다. 차등화 서비스 기반의 IP 패킷을 GMPLS 제어 프로토콜과 본 논문에서 제안한 DOS 모델을 사용하여 WDM 광 백본망에 직접 매핑함으로써 패킷 레벨, 플로우 레벨 및 파장 레벨에서의 종단간 QoS가 보장되는 전체 차등화된 광 QoS 서비스 프레임워크를 제시한다.

QoS가 보장되지 않는 기존의 IP 서비스에 대해 GMPLS 제어 프로토콜이 가지는 레이블 개념과 QoS 파라미터는 패킷의 손실, 전송 지연 및 지터 등의 문제점을 해결해 주고, 실시간 멀티미디어 서비스를 지원하게 함으로써 클라이언트 신호가 전달되는 패킷 레벨에서의 종단간 QoS가 보장된다.

클라이언트 신호를 직접 광채널로 매핑하기 위한 E-O/O-E 인터페이스 계층은 제어 평면에 QoS traffic policy server와 optical resource management 기능을 도입하여, BER, el.SNR, OSNR 파라미터로 광신호의 품질을 유지하고, 서비스에 따른 광 자원의 할당 스킴과 생존도 스킴의 사용으로, DOS 클래스에 따라 aggregation된 플로우 레벨에서의 종단간 QoS가 보장된다.

또한, DOS 프레임워크는 IP 패킷을 광채널을 통해 투명하게 전송하게 하고, OCh 계층에서 광신호의 손실(LOL, Loss of Light), 클라이언트 신호의 QoS 저하, 파장수의 급격한 감소, 광신호 전력의 감소 등 각 trail의 QoS를 감시함으로써 파장 레벨에서의 종단간 QoS가 보장된다.

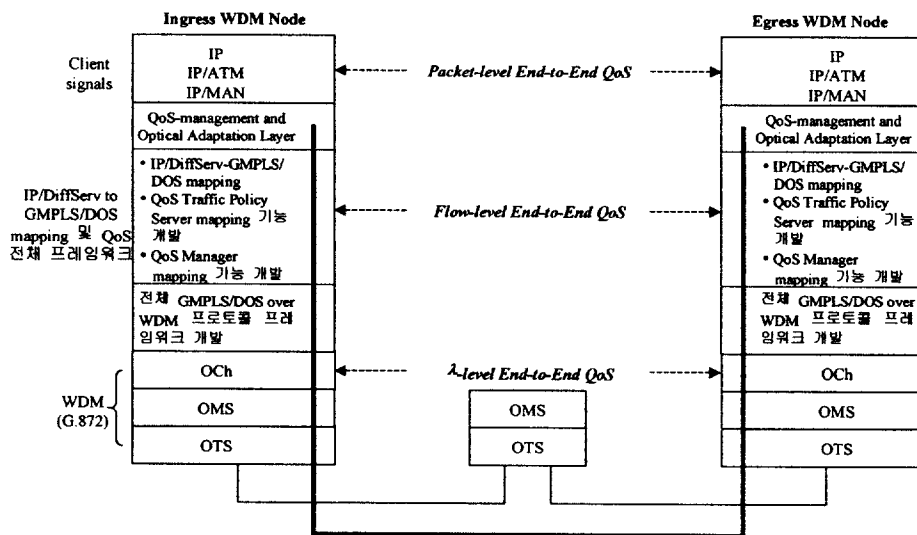


그림 4-5. 전체 차등화된 광 QoS 서비스 프레임워크

V. 결 론

본 논문에서는 GMPLS 기술과 차동화 서비스 기술을 접목하여, 차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서 지연에 민감하고 높은 대역폭을 요구하는 많은 실시간 응용서비스들에게, 향상된 서비스 품질을 제공해 주는 차동화된 광 QoS 서비스(DOS) 모델을 제시하였다.

호 설정시 협상되는 파라미터, BER/eI.SNR/OSNR 요구 조건, 망 장애 혹은 공격에 대한 생존도 요구 정도, 광 자원의 할당 스킴에 대한 상대성에 따라 DOS 클래스를 세부적으로 분류하여 정의하였고, DOS 클래스에 따라 광 인터넷 백본망에서 차동화된 트래픽 처리를 위해 노드의 제어 평면에 QoS traffic policy server와 optical resource management 기능을 정의하였다.

광 인터넷 백본망에서의 GMPLS 시그널링 과정과 LMP 기능을 분석하고, DOS 클래스를 위해 BER 기능을 LinkSummary 메시지에 추가하여 링크 연결 검증 기능을 확장한 LMP+를 정의하였고, 백본망 내에서 CR-LDP+와 RSVP-TE+의 상호연동시 DOS 클래스를 위한 제반 고려사항을 제시하였다.

위의 기능들을 전광망 표준인 OTN 구조에 적용하여, 차세대 WDM 광 인터넷 백본망에서의 전체 DOS 제공 프레임워크를 제안하였다.

향후 연구 과제로는 개발된 DOS 프레임워크를 전광 교환망 표준인 ASON (Automatic Switched Optical Network) 구조에 적용하는 방안과 DOS 클래스의 광 QoS 파라미터를 고려하여 OVPN(Optical Virtual Private Network)의 동적 라우팅 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고 문헌

- [1] R. Braden et al., "Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview", RFC 1633, IETF, June 1994
- [2] S. Blake et al., "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, IETF, December 1998
- [3] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC 3031, IETF, January 2001
- [4] Peter AshwoodSmith et al., "Generalized MPLS - Signaling Functional Description", Internet Draft, IETF, November 2001
- [5] Jonathan P. Lang et al., "Link Management Protocol", Internet Draft, IETF, March 2002
- [6] Peter AshwoodSmith et al., "Generalized MPLS Signaling - CR-LDP Extensions", Internet Draft, IETF, November 2001
- [7] Peter AshwoodSmith et al., "Generalized MPLS Signaling - RSVP-TE Extensions", Internet Draft, IETF, November 2001
- [8] V. Jacobson et al., "An Expedited Forwarding PHB", RFC 2598, IETF, June 1999
- [9] J. Heinanen et al., "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597, IETF, June 1999
- [10] Panos Trimintzios et al., "A Management and Control Architecture for Providing IP Differentiated Services in MPLS-Based Networks", IEEE Communications Magazine, May 2001
- [11] Rec. G.976: "Test methods applicable to optical fibre submarine cable systems", COM15R68 (TSB, 7 Nov. 1996), Sect. 7.6.1.1: 'Measurement of Q-Factor', pp. 172-174 and Annex A.4: 'Q-factor' p.178
- [12] G. Bendelli et al.: "Optical performance monitoring techniques", ECOC 2000, Munich, 7 September 2000, paper 11.4.1, pp.113-116
- [13] Draft Rec. G.959.1: "Optical transport network physical layer interfaces", COM15-17

- [14] E. Rosen et al., "MPLS Label Stack Encoding", RFC 3032, IETF, January 2001
- [15] Jin Ho Hahm, Kwang-il Lee et al., "Restoration Mechanisms and Signalling in Optical Networks", Internet Draft, IETF, November 2001
- [16] KDDI's White Contribution D.97(WP4/15): "Recent technical information on C- and L-bands in optical transmission systems" of Rec. G.dsn, February 2001
- [17] Lucent's White Contribution COM 15-39-E: "L-AND C-BADN ATTENUATION IN INSTALLED FIBRE LINKS"
- [18] C.Villamizar, "Dynamic Behavior of MPLS Traffic Engineered Networks", MPLS 2000, October 1997
- [19] Ayan Banerjee et al., "Generalized Multiprotocol Label Switching: An overview of Signaling Enhancements and Recovery Techniques", IEEE Communications Magazine, July 2001
- [20] <http://www.ietf.org/html.charters/ccamp-charter.html>
- [21] G. Wright, S. Ballarte, T. Pearson, "CR-LDP Extensions for Interworking with RSVP-TE", Internet Draft, IETF, March 2000
- [22] A. Mankin et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment", RFC 2208, IETF, September 1997
- [23] B. Jamoussi et al., "Constraint-Based LSP Setup using LDP", RFC 3212, IETF, Jan. 2002
- [24] R. Braden et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification", RFC 2205, IETF, Sep. 1997
- [25] S. Shenker et al., "Specification of Guaranteed Quality of Service", RFC 2212, IETF, Sep. 1997

감사의 글

먼저 하나님께 감사 드립니다.

무지한 저를 깨우치느라 열성을 다해 지도해 주시고, 오랫동안 물심양면으로 지원해 주신 김성운 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 부족한 본 논문의 심사를 맡아 훌륭한 논문이 되도록 관심과 조언을 아끼지 않으신 김석태 교수님, 정연호 교수님께도 감사 드리며, 아울러 정보통신공학과 모든 교수님들과 신봉기 교수님께 감사 드립니다. 또한 학업에 있어 많은 조언을 해 주신 이재동 교수님, 조준모 교수님께도 감사 드립니다.

연구실의 기둥이었던 재운, 영숙, 홍식, 태균, 성수, 재호, 성길, 의섭 선배들, 즐거움도 어려움도 늘 함께 나누었던 의섭선배, 두진이 오빠, 선규, 선배들 밑에서 열심으로 따라오는 우리 연구실의 주역들 현수, 주동, 정현, 미나, 창우, 창현, 미선, 많이 챙겨주지 못했지만 늘 한결 같은 식구인 윤희, 명숙, 마음으로 기댈 수 있는 나의 벗 두 지영이와 영호, 민휘, 교회 친구들, 이 모든 이들에게 감사의 말을 전합니다.

끝으로 언제나 저를 믿어주시던 사랑하는 아버지와 어머니, 착한 우리 동생들 미단이와 도영이, 자상하신 할머니와 주위 모든 분들께 진심으로 고마움의 마음을 전합니다.

2002년 8월
이미경 올림