

---

# 광인터넷에서의 Edge Optical Label Switched Router의 구조에 관한 연구

최규봉\* · 이현태\*

A Study on the Architecture of Edge Optical Label Switched Router  
in Optical Internet

Gyu-Bong Choi\* · Hyeun-Tae Lee\*

---

이 논문은 2001년도 목원대학교 교내 연구비와 한국과학재단의 ERC(OIRC) 프로그램의 지원으로 수행되었음.

---

## 요 약

최근에 경제적인 대안으로 IP over WDM 네트워크가 주목을 받고 있다. IP over WDM은 광대역 수용 능력, 네트워크 확장성 외에 여러 장점을 가지고 있다. IP 기반에서, "lambda-labeling"은 IP over WDM에 직접적으로 적용할 수 있다.

본 논문에서는 현재 IETF를 중심으로 연구중인 MPLambdaS 개념을 기초로 하여 광 인터넷의 진화를 고려한 구조적인 접근 방법을 연구한다. MPLS 도메인과 MPLambdaS 도메인간에 연동을 고려하여 전자적인 다수의 LSP를 광 LSP로 모으는 레이블 스택 개념을 이용한 람다 LSP 터널링 기술을 적용하여 전자적인 MPLS와 광 MPLambdaS 간의 연동 방안을 제안하고 이를 지원하는 Edge Optical LSR의 구조를 제안한다.

## ABSTRACT

In recent years there has been a lot of interest in carrying IP over WDM networks in an efficient manner. The benefits here include larger bandwidth capacities, better network scalability, and more efficient operation. IP based approach, termed "lambda-labeling" is presented for direct IP over WDM integration.

In this paper, we study on architecture approach method consider of optical Internet evolution that based on MPLambdaS conception of IETF. Label stack conception collect electronic LSP of optical LSP. This paper is proposed method of co-operation between MPLS domain and MPLambdaS domain. Additionally, proposed architecture of Edge Optical LSR.

## 키워드

IP over WDM, MPLS, MPλS, Lambda LSP Tunneling, Edge Optical LSR

---

\* 목원대학교

접수일자: 2001. 12. 13

## 1. 서론

IP 트래픽을 직접 WDM 광 전송로에 직접 접속하고자하는 IPOW(IP over WDM)기술은 계층별 구조에 따른 기능의 중복성을 피할 수 있으며, 파장할당 방식으로 IP 트래픽 형태에 구애받지 않고 전달할 수 있고, 동적 파장 할당과 WDM 네트워크에서의 유연성 있는 파장 라우팅/스위칭 기술의 도입으로 다양한 트래픽의 효율적인 수용이 가능하고 네트워크의 홉(hop)수를 줄일 수 있어 네트워크 구성 기술의 단순화가 가능하며 파장단위의 모듈화 특성을 가지고 있어 시스템 용량 확장에 유연성을 가질 수 있는 등 많은 강점을 갖고 있다[1]. 그러나, 이러한 IPOW 기술은 파장이 갖는 특성상 여러 가지 제약 사항을 갖고 있어 기존에 개발된 MPLS(Multiprotocol Label Switching)기술 등을 효과적으로 적용하기 위해서는 기존의 기술과 WDM의 특성과 제약 사항을 잘 분석하여 기술을 적용해야 한다.

본 논문에서는 현재 IETF를 중심으로 연구중인 MPLambdaS(Multiprotocol Lambda Switching: 이후 MPλS로 기술) 개념을 기초로 하여 광 인터넷의 진화를 고려한 구조적인 접근 방법을 연구한다. MPLS 도메인과 MPLambdaS 도메인간에 연동을 고려하여 전자적인 다수의 LSP(Label Switching Path)를 광 LSP로 모으는 레이블 스택 개념을 이용한 람다 LSP 터널링 기술을 적용하여 전자적인 MPLS와 광 MPLambdaS 간의 연동 방안을 제안하고 이를 지원하는 Edge Optical LSR(Label Switch Router)의 구조를 제안한다.

## II. Multiprotocol Lambda Switching

MPLS에서 중요한 개념 중의 하나는 레이블(label)이다. MPLS 레이블은 여러 용도로 사용된다. 첫째, 패킷이 전송되어야 할 다음-홉(next hop) 라우터를 찾기 위해 패킷 헤더대신 사용된다. 둘째, 레이블은 전송되는 트래픽의 세밀한 정도(granularity)를 결정하는데 사용된다. 레이블은 하나의 트래픽 스트림에 주어지는데, 이 스트림의 세밀한 정도는 네트워크 prefix에서 TCP/IP의 포트-대-포트(port-to-port) 연결까지 나타낼 수 있다. 또한 레이블은 스택킹(stackings)을 지원하

여 계층화된 네트워크 구성을 지원한다[2]. MPLS는 비교적 짧은 레이블(태그)을 이용하여 IP 트래픽의 전달의 구현 속도를 개선하고자 적용된 것이며 라우팅과 포워딩을 서로 구분함으로 고속화를 얻고자하였다.

MPLS와 MPλS의 차이는 레이블과 LSP 관계에서 구체적으로 나타난다. 즉, MPλS에서의 LSP는 FEC(Forwarding Equivalent Class)를 하나의 파장에 전송한다는 점이다. 다시 말해, MPLS의 LSP는 논리적인 의미의 레이블이 연결되어 생기는 경로이지만, MPλS에서의 LSP 경로는 물리적인 의미인 파장이 연결되어 생성되는 광 경로라는 점이다. 결국, 광 경로가 하나의 LSP를 구성하게 되고 광 레벨에서의 두 파장은 하나의 파장으로 병합되기 어렵기 때문에 MPLS의 병합 방법 적용 또한 어렵다. 그리고, MPλS는 레이블이 파장과 동일하기 때문에 레이블 수의 부족 현상은 더욱 심각하다. 그림 1에서 MPλS 망 구조를 간단히 제시하였다. 여기서 제어방식은 MPLS의 제어방식을 그대로 사용한다.

광 네트워크에 적용한 MPλS는 OXC(Optical Cross-connect) 기반의 WDM 망에서 완전 광 패킷 방식으로 전환하는 과도기에 초고속의 광 채널과 전자적인 처리 능력을 적절히 이용하여 광과 전자의 혼합형태의 패킷 스위칭 해결방안으로 제공될 수 있다[3].

## III. 광 인터넷에서의 Edge LSR 구조

1. Lambda LSP Tunneling과 Edge LSR 기능  
전자적으로 구현된 MPLS LSR 노드 시스템은 도착된 패킷의 레이블에 대해 여러 가지 처리를 수행한다. 이러한 처리에는 레이블 add/drop, 레이블 교환(swapping), 레이블 병합(merging), 레이블 스택 쌓기/덜기 등을 포함한다[4],[5].

Add/drop 처리는 인입 LSP를 일단 중단하고 다음 노드로 새로운 LSP를 시작한다. 레이블 교환은 레이블을 일단 읽은 다음 새로운 레이블을 부착하는 절차를 포함한다. 레이블 병합은 두 개 이상의 레이블을 하나의 레이블로 결합하는 절차이고 일종의 트래픽 집선이 이루어진다. 레이블 스택킹 기술은 기존의 레이블에 새로운 공통의 레이블을 추가하여 부착함으로써 트래픽의 집선을 가능하게 하는 기술이다.

일반적으로 대부분의 MPLS LSR 노드에서는 전자적인 교환과 버퍼링을 사용하므로 매우 미세한 LSP까지도 제어할 수 있다. 그러나, OXC/WRS(Optical Cross-connects/Wavelength Routing Switches)[6]를 기반으로 한 광 네트워크에서는 주어진 이산적인 파장 채널 단위의 교환만 가능하고 파장 내의 패킷에 대해서는 어떠한 처리도 수행하지 않는다. 즉, 채널 대역폭의 단위가 수 Gbps로 크고 이산적이고 파장 경로가 설정 단계에서 결정되므로 회선교환적인 성격을 갖는다. 이러한 광 파장을 통해 전달되는 패킷은 어떠한 처리도 수행되지 않고 링크 계층 프레임이나 전자적인 재생 과정도 문제가 되지 않으므로 전달 과정이 '투명성'을 갖는다. OXC/WRS를 기반으로 한 광 네트워크가 전자적인 MPLS 네트워크와 결정적으로 차이가 있는 것은 전자적인 MPLS에서 레이블을 부착하는 것이 광 네트워크에서의 파장 할당과는 성격이 매우 다르다는 것이다. 즉, 전자적인 MPLS에서의 동작이 그대로 광 MPLS에서는 그대로 적용되지 않게 된다. 다시 말해서, 광 LSR에서는 레이블 스택, 레이블 병합과 같은 처리를 할 수 없는 한계를 갖고 있다. 따라서, 광 LSP는 파장 하나의 전체 용량을 사용하는 규모가 큰 LSP가 될 수밖에 없다. 트래픽의 집선은 전자적인 기능과 광 레벨의 처리가 혼합되는 에지 광 LSR에서 필요하게 된다[7].

전자적인 LSR 기능을 갖지 않는 코어 광 LSR의 기능은 레이블(파장)의 통과(path-through), 교환, add/drop 동작만을 포함한다. 그러나, 전자적인 LSR 기능과 혼합되어 있는 에지 광 LSR에서는 광 LSP 채널로 전달되기 전에 다양한 전자적인 처리가 수행될 수 있다.

그림 1은 전자적인 LSR 기능과 혼합된 에지 광 LSR의 기능을 보여준다. 이러한 혼합 기능에서는 레이블 스택, 교환, 병합 기능이 수행될 수 있다.

특히, 에지 광 LSR에서 수행되는 레이블 스택 기능은 복수의 전자적인 LSP를 하나의 광 LSP로 터널링하는 것을 가능하게 한다. 이때 광 LSP로 터널링에서의 레이블은 전자적인 경우에 추가적으로 부착되던 것과 달리 광 LSP의 파장이 전자적인 레이블 스택의 상단에 추가된 하나의 레이블로 취급된다. 이 과정을 가상 레이블 쌓기라고 부르는 이유도 여기에 있다. 이러한 레이블 스택의 개념을 통하여 전자적인 MPLS와 광 MPLS가 효과적으로 연동할 수 있다.

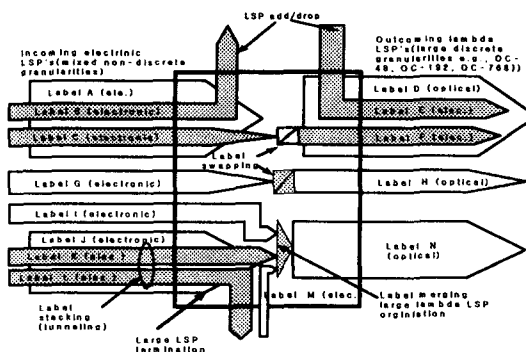


그림 1. 에지 광 LSR 구조  
Fig. 1 Edge Optical LSR Structure

## 2. Edge Optical LSR 구조

전자적인 LSR 기능을 갖는 에지(edge) LSR을 위한 일반화된 구조로 Nasir Ghani가 제안한 FWP (Fiber-Wavelength-Packet) 구조 그림 2을 고려하였다[7].

파이버(fiber) LSP 레벨은 MEMS와 같은 광 스위칭 기술을 이용하여 여러 개의 파장길이(wavelength)를 하나의 파이버로 모아서 교환하고 전달하는 파이버 경로를 고려한 그림이다. 이러한 구조는 광증폭기, 광 교환 패브릭, 레이저 소스 등의 광소자를 줄일 수 있다. 전자적인 레이블 스택과 같은 효과로 보아 파이버 레벨의 LSP를 고려한 것이다.

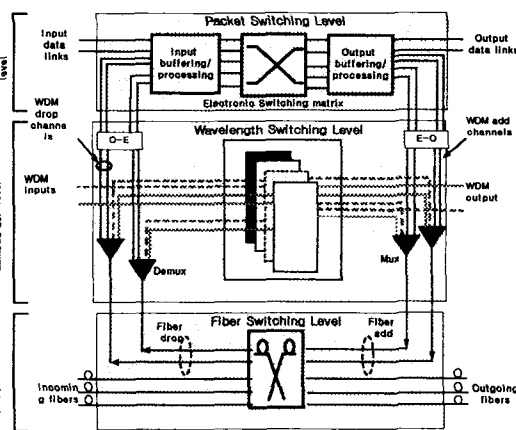


그림 2. FWP 노드 구조  
Fig. 2 FWP Node Structure

그림 3은 MPLS 관점에서 레이블 정보 기반(label information base)과 레이블 스와핑 모듈(label swapp-

ing module)을 포함하는 MPLS-Core 기능과 레이블 정보 데이터베이스(label information database) 구축을 위한 레이블 분산기능(label distribution function) 모듈로 구성된다. MPLS-Core 기능은 MPLS 형태의 패킷 전달(레이블 스위핑 등)을 수행하는 기능이다.

그림 4에서와 같이 MPLS 레이블을 포함하고 해당 데이터링크 계층의 프레임으로 캡슐화되어 입력되는 패킷은 데이터링크 계층을 통하여 해당 데이터링크에 따라 포함된 레이블 정보를 처리하여 MPLS-Core 기능으로 입력된다. MPLS 레이블 처리가 되지 않은 순수한 계층 3 패킷(예, IP-v4 패킷)은 다른 계층 3에 따른 처리 모듈에서 처리된 다음 MPLS-Core 모듈로 입력될 수 있다. 패킷의 네트워크 계층 정보에 따라 해당 FEC를 결정하고 FEC-to-NHLFE(Next Hop Label Forwarding Entry)를 룩업하여 레이블 ID를 얻은 다음 MPLS-Core 기능으로 전달된다.

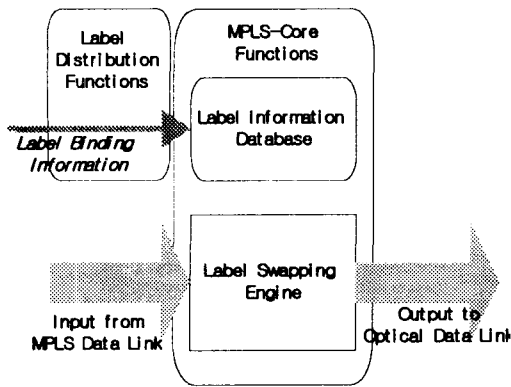


그림 3. MPLS 기능 모델  
Fig. 3 MPLS Function Model

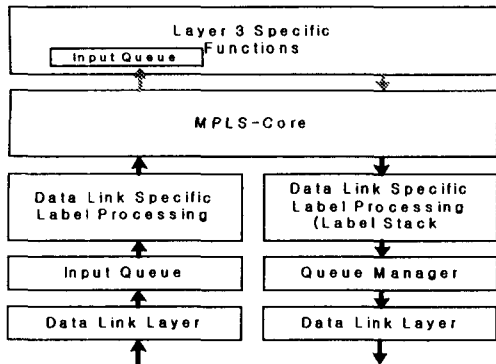
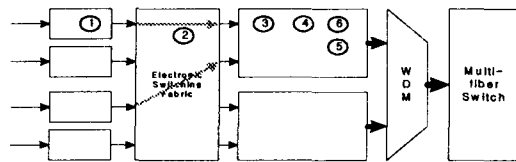


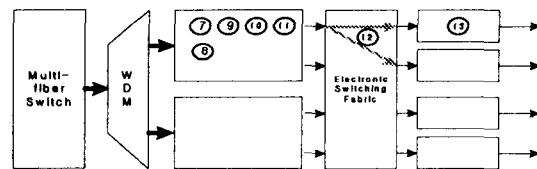
그림 4. MPLS 처리 기능 구조  
Fig. 4 MPLS Processing Function Structure

그림 2의 구조를 고려하여 전자적인 입력 LSP 패킷에 대하여 수행되는 처리 기능 및 과정은 다음과 같다. 그림 5은 기능을 할당한 예를 보여준다.

- ① MPLS Core Functions : Packet Inspection, Label & VPN Lookup, LSP Termination, Optical Label Assignment, Statistics Gathering.
  - ② Electronic Switching for LSP aggregation
  - ③ Output Buffering for traffic scheduling
  - ④ Framer
  - ⑤ Clock Synthesis
  - ⑥ Serializer
- 광 입력 신호로부터 처리되는 기능 및 과정은 다음과 같다
- ⑦ Deserializer
  - ⑧ Clock Recovery
  - ⑨ De-framer
  - ⑩ Input Buffering
  - ⑪ MPLS processing : Packet Inspection, Label & VPN Lookup, Label swapping, Label stacking (Output 단에서 수행될 수도 있음), Statistics Gathering
  - ⑫ Electronic Switching
  - ⑬ Output Buffering for traffic scheduling



(a) 전자적인 입력 패킷 처리 흐름도  
(a) Electronic Input Packet Processing Block Diagram



(b) 광 입력 패킷 처리 흐름도  
(b) Optical Input Packet Processing Block Diagram

그림 5. Edge λSR에서의 패킷 처리 흐름도  
Fig. 5 Packet Processing Block Diagram at Edge λSR

제시한 Edge  $\lambda$ SR의 구현 구조에서 주어진 트래픽의 QoS 요구사항에 따른 트래픽 스케줄링 방식, 레이블 할당 알고리즘, LSP 병합 기능, 실시간 패킷 구별 기능, 스위칭 패브릭 등을 설계에서 고려되어야 한다. 또한, Edge  $\lambda$ SR에서의 광경로 라우팅 프로토콜, 신호 프로토콜, 관리 프로토콜을 위한 설계가 필요하다.

### 3. 구현 방안의 고려

현재 단위 채널의 속도가 OC-192(10Gbps)인 LSR에서 MPLS를 구현하기 위한 연구가 이루어지고 있다. OC-192급에서는 클럭 재생기(clock recovery), 직/병렬기(serializer/deserializer)는 이미 칩이 출하되었다[8]. 스위칭 능력 또한 Tbit급으로 확장이 가능하지만, 가장 큰 문제는 MPLS 처리 구현이다. 앞에서 언급했지만, MPLS 처리에서는 여러 가지 기능을 수행해야하기 때문에 구현이 복잡하다. 이러한 기능을 구현하는 방안으로 ASIC 기반으로 설계하는 방안과 네트워크 프로세서(network processor)를 이용하여 설계하는 방안이 있다[9]. ASIC 기반의 설계는 ASIC이 실리콘(silicon) 영역과 전력 소비 면에서 경제적이고 처리 속도가 고속이지만, 개발 사이클이 길고, 기능 변경이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 네트워크 프로세서는 처리 속도 측면에서 한계를 갖고 있다. 현재 2.5Gbps 정도의 처리가 가능하다[8]. 에지 광  $\lambda$ SR은 VPN 록업 등 기능의 추가 같은 유연성이 필요하므로, 표준이나 프로토콜 변화에 빠르게 대응할 수 있는 네트워크 프로세서가 앞으로 에지 광  $\lambda$ SR 개발에 도입될 것으로 본다.

## IV. 결론

MPLS의 기본 개념을 광 네트워크에 도입함으로써, 더욱더 효율적인 네트워크 구조가 가능하게 될 것이다. 전자적인 다수의 LSP를  $\lambda$ SP로 레이블 스택의 개념을 확장, 적용하는 람다 LSP 터널링(tunneling) 기술은 전자적인 MPLS와 광 MP  $\lambda$ S간의 효과적인 연동을 가능하게 할 것이다.

광 인터넷에서 에지(edge) 광  $\lambda$ SR은 광전변환이 일어나고 MPLS 도메인과 MP  $\lambda$ S 도메인 간의 연동이 일어나는 중요한 장치이다. 본 논문에서는 이러한

에지 라우터의 구조적 모델을 보였다. IP 레벨의 처리를 수행하지 않는 에지 광  $\lambda$ SR은 VPN 록업 등 기능의 추가나 유연성을 필요로 하기 때문에 ASIC기반의 구현보다는 네트워크 프로세서(network processor) 기반의 구현을 필요할 것으로 본다. 성능 측면에서는 아직 한계가 있으나 핵심 알고리즘의 구현 등을 통하여 구현 가능성에 대한 검증이 필요할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 김병휘, 박창수, "IP over WDM 기술", 전자공학회지 제26권 제8호, pp, 817-826, 1999. 8.
- [2] E. Rosen et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture", IETF, RFC 3031, January, 2001.
- [3] 서동욱, 석승준, 강철희, 김관중, 전병천, "WDM 망 기반의 MPL(Lambda)S 구조에서의 Merging 방안", 한국통신학회, 2000.
- [4] R. Callon et al., "A Framework for Multiprotocol Label Switching", IETF Draft draft-ietf-mpls-framework-4.txt, July, 1999.
- [5] F. Le Fraucher, "IETF Multiprotocol Label Switching(MPLS) Architecture", First International Conference on ATM 1998(ICATM- 98), 1998.
- [6] B. Mukherjee, Optical Communications Networks, McGraw Hill, New Jersey, 1988.
- [7] N. Ghani, "Lambda-Labeling: A Framework For IP-over-WDM Using MPLS", Optical Networks Magazine, April, 2000.
- [8] A. Henderson et al., "Challenges steer OC-192 router", EETIMES, November, 2000.
- [9] Tom R. Halfhill, "Intel Network Processor Targets Routers", Microprocessor Report, Vol. 13, Number 12, Sep. 1999.

## 저자 소개

최규봉(Gyu-Bong Choi)

1998년 2월 : 목원대학교 정보통신공학과(공학사)

1998년 2월 ~ 현재 : 목원대학교 전자및컴퓨터공학과 석사과정

※관심 분야 : WDM, Optical Internet, Optical Switching

이현태(Hyeun-Tae Lee)

1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1997년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1986년 2월 ~ 1997년 8월 : 한국전자통신연구원 선임 연구원

1998년 3월 ~ 1999년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

1997년 9월 ~ 현재 : 목원대학교 전자정보통신공 학부 교수

※관심 분야: Optical Networking, Internet Protocol, VoIP