

## 다양한 서비스들의 요구사항을 만족하는 GMPLS 기반 복구 기법

이용규\*

### GMPLS-based Recovery Scheme Handling the Requirements for Various Service Types

Yonggyu Lee\*

\*Professor, Department of Electronic Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

#### 요 약

다양한 모바일 디바이스의 보급 확대는 폭발적인 데이터 트래픽의 증가로 이어졌으며, 이는 다시 다양한 형태의 서비스에 대한 수요로 이어졌다. 트래픽의 증가와 다양한 서비스 요구사항을 만족시키기 위해서, 하나의 광섬유만으로도 수십 테라비트를 운반할 수 있는 광 인터넷 기술이 활발하게 연구되고 있다. 넓은 대역폭 때문에 하나의 광 링크는 다양한 서비스를 수용할 수 있다. 이에 따라 각 서비스별 요구사항을 만족하면서 광 인터넷의 생존성을 보장할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 그래서 본 논문에서는 GMPLS를 기반으로 IP over WDM 네트워크에서 다양한 서비스 요구사항과 생존성 문제를 다룰 수 있는 새로운 기법을 제안한다.

#### ABSTRACT

The spread of mobile devices comes to increase explosive data traffic and then results in various types of service demands. In order to satisfy the increment of traffic and the requirements for various services, optical internet technologies that transmit several Tbps through only a single optical fiber have been actively studied. Because of the large bandwidth, an optical link can accommodate a large number of service types. Therefore, new technologies are required to guarantee the survivability of optical internet and handle the requirements of each service. So, in this article, a new scheme based on GMPLS technologies is proposed to deal with the various service demands and survivability issues in IP over WDM networks.

**키워드** : GMPLS, IP over WDM, 광 인터넷, 복구, 서비스 품질

**Keywords** : GMPLS, IP over WDM, Optical Internet, Recovery, QoS

Received 27 February 2022, Revised 17 March 2022, Accepted 28 March 2022

\* Corresponding Author Yonggyu Lee(E-mail:lyonggyu@honam.ac.kr, Tel:+82-62-940-5935)  
Professor, Department of Electronic Engineering, Honam University, Gwangju, 62399 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.5.714>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

데이터 트래픽의 폭발적 증가와 함께 다양한 서비스에 대한 수요는 지능형 네트워크와 대용량 전송 시스템을 요구하고 있다. 이러한 상황에서 단일 광섬유만으로도 수십 테라비트의 트래픽을 전송할 수 있는 광 인터넷의 생존 문제는 매우 중요한 문제이다. 라우터, SONET/SDH 장비, WDM 장비 등으로 구성된 현재의 다중 계층 네트워크는 자원 활용도, 복구 시간, 토폴로지 등을 고려한 생존 메커니즘을 가지고 있지만, 이와 같은 다중 계층 네트워크에서 단일 장애에 대해 여러 계층이 반응하는 것을 방지하기 위해 각 계층들 간의 조정과 연동이 이루어진다[1, 2]. 이런 동작 방식은 가장 낮은 계층에서 시작하거나 혹은 가장 높은 계층에서 시작하여 순차적으로 서로 다른 계층을 활성화하면서 생존성을 보장한다.

그러므로 다중 계층 네트워크의 비용적인 측면에서 효율성을 얻기 위해 IP 계층과 WDM 계층의 밀접한 통합을 추진하고 있다[3]. 그러나 이러한 통합은 ATM이나 SONET/SDH 계층을 제거하기 때문에, 새로운 제어 평면을 요구하고 있으며, 이에 따라 GMPLS를 기반으로 새로운 제어 평면이 표준화되었다[4, 5].

한편 기존 복구 방식은 복구 요구사항에 따라 네트워크 설계 시에 적용이 되기 때문에, 다양한 복구 요구를 충족시킬 수 없는 문제점이 있다. 이에 따라 다양한 복구 서비스를 제공하기 위한 동적 복구 계획이 요구되고 있다[6-13]. [6]에서는 ATM 네트워크에서 여러 가상 경로를 논리적으로 절충함으로써 서로 다른 수준의 신뢰성과 생존성을 제공하며, 서비스 요구사항에 따라 다중 안정성을 제공할 수 있는 가상 경로 네트워크를 구성한 후 모든 네트워크가 동일한 백업 가상 경로를 사용하면 예약된 네트워크 자원을 공유한다. [7]에서는 WDM 네트워크에서 서비스 특성과 종류에 따른 서비스 품질의 제공에 대해서 언급했고, 이를 위해 기존의 다양한 인터넷 프로토콜을 활용해 장애를 복구하는 방법에 대해서 다루고 있다. [8]에서는 WDM 네트워크에 다양한 복구 체계가 도입되고 이들을 위한 보호 전환 시간 모델을 분석했다. [9]에서는 보호 개념의 등급이 제안되고 WDM 네트워크에서 복구를 위해 파장 사용 효율과 복원 시간 사이의 관계를 분석했다. [10]에서는 복구 효율성을 개선하기 위해 내부 게이트웨이 프로토콜의 동작

시간 단축을 위한 방법이 제안되었다. [11]에서는 복구 시간을 단축하고 복구 프로세스의 속도를 높이기 위한 새로운 기법을 제안했다. [12]에서 저자들은 서로 다른 8개의 토폴로지에서의 크랭크백 전략의 유효성을 비교 분석했다. [13]에서는 개미 군집 알고리즘을 기반으로 크랭크백이 가능한 새로운 라우팅 및 파장 할당 전략을 제안했다.

본 논문에서는 다양한 서비스 요구사항에 대해 적절한 생존성을 제공하기 위해 IP over WDM 네트워크에서 GMPLS 제어 평면을 기반으로 새로운 복구 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 섹션 II에서는 복구 요구사항을 트래픽의 특성에 따라 3 가지 클래스로 분류하고 에지 노드와 코어 노드의 GMPLS 제어부 및 기능 블록을 이용한 네트워크 아키텍처를 제시한다. 또한 다양한 복구 요구 사항을 만족할 수 있는 새로운 복구 알고리즘이 제안된다. 또한 레이블 정보와 자원을 제어하고 관리하기 위한 노드 데이터베이스의 구성 체계도 제안된다. 섹션 III에서는 세 가지 등급 각각의 복구 시간, 손실 비율, 소요 자원량 측면에서 다양한 복구 요구사항이 어떻게 충족되는 지를 설명한다. 마지막으로 섹션 IV에서는 본 논문의 결론은 언급한다.

## II. 트래픽 특성에 따른 생존전략

### 2.1. 제어 평면 아키텍처

일반적으로 네트워크는 수많은 데이터 링크와 장비로 구성되어 있어, 이들 중 어느 하나에서 장애가 발생하더라도 서비스의 연속성을 보장하기 위해서 네트워크의 생존성 보장은 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 네트워크 복구 체계는 적용하고자 하는 복구 체계가 결정되면, 네트워크 설계 시에 필요한 복구 요구사항을 충족할 수 있도록 백업 시스템과 필요 자원을 결정하여 네트워크를 설계한다. 따라서 현재와 같이 다양한 서비스 수요가 있고 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있는 상황에서는 각각의 서비스별 요구사항을 충족시키기에는 무리가 있다[14]. 이에 따라 기존의 인터넷 망에서는 IntServ나 DiffServ와 같은 방식을 이용해 서비스 품질을 보장하기 위한 다양한 활동들이 진행되고 있다 [15]. 실제로 이러한 기법들은 네트워크에서 다양한 유형의 서비스 요구사항에 따라 각각의 타입을 만족하는

몇 가지 서비스 레벨로 분류한다. 각 네트워크 기술에서 서비스 레벨은 표 1에서 보여주고 있다.

**Table. 1** Various types of service

ATM	IntServ	DiffServ	Example of services
CBR	Guaranteed service	Assured service	Audio/Video applications
RT-VBR	Controlled load service	Differentiated service	Applications on FTP & Bank transaction
nRT-VBR	Controlled load service	Differentiated service	Applications on FTP & Bank transaction
UBR	Best effort service	Best effort service	Other applications
ABR	Best effort service	Best effort service	Other applications

또한 이런 다양한 서비스 레벨의 요구에 충족하는 복구 기법들이 제공되어야만 한다. 이를 위해 작업 경로에서 제공되는 서비스들과는 다른 방식으로 서로 다른 서비스 특성들에 따라 요구되는 복구 완료 시간을 충족할 수 있도록 필요한 서비스 수준을 분류할 수 있다. 복원을 위해 필요한 다양한 서비스 수준들은 표 2에서 보여주고 있다. 표 2는 서비스 수준, 대응되는 응답 시간, 복원을 완료하기 전에 장애 발생에 따라 겪는 운영 중단 영향, 그리고 서비스 수준을 위한 제안된 복구 기법들을 보여주고 있다.

**Table. 2** Restoration requirements.

Service levels	Response time	Disruptive impact	Recovery methods
1	~ 50 ms	Transparent to most services	1 + 1 dedicated
2	50 ~ 200 ms	Potential voice band disconnects (< 5%)	1:N shared
3	200 ~ 2000 ms	May drop voice band calls	1:N shared
4	2000 ms ~	Call dropping, packet and data session timeouts	Dynamic backup path calculation

한편, 본 논문은 다양한 복구 요구사항을 충족시키기 위해 GMPLS 제어 평면을 고려한다. GMPLS는 패킷 스위칭뿐만 아니라, TDM, 파장 및 공간 스위칭을 제공하는 MPLS의 확장 형태로 경로 프로비저닝, 인접 및 서비스 검색, 토폴로지 및 자원 검색, WDM 네트워크를 통

한 IP에서의 경로 계산을 제공하는 제어 평면이다[4, 5]. 실제로 GMPLS는 앞과 같이 다양한 기능을 제공하고 있지만, 장애 대처 측면에서 보면 다양한 복구 요구사항을 충족하는 생존성 기능이 개발되어야 하고, 이 기능을 제어 평면에 응용할 수 있어야 한다.

그림 1은 IP over WDM 네트워크에서 GMPLS 중심의 제어 평면의 일반적인 아키텍처를 보여주고 있다. 실제로 그림 1에서 보여주는 것처럼 네트워크에서 LSRs(Label Switched Routers)이나 라우터는 에지 노드에 연결되어 있다. 이런 LSRs이나 라우터는 동적으로 스위칭 되는 광 경로를 통해서 다른 LSRs이나 라우터와 연결된다. 그림에서 보여주는 것처럼 각 노드들은 광 경로를 결정하는 스위치인 OXC(Optical Cross Connect)와 시그널링, 트래픽 엔지니어링, 그리고 생존 관련 기능을 제공하는 GMPLS 제어 평면으로 구성된다. 이러한 노드들은 WDM 링크를 통해서 이웃하는 노드들과 연결된다. 그림에서 백업 경로는 중단 간 보호-경로 보호-를 위해 작업 경로와는 분리된 링크로 구성된다.

에지 노드와 코어 노드 상의 기능과 동작에 관련된 제어 평면의 기능 블록은 그림 2에서 보여준다. 그림 1에서 인그레스 노드(Ingress node)와 연결된 LSR에 패킷이 수신되면 해당 패킷에 대한 서비스 요구사항을 확인한 다음 인그레스 노드는 이그레스 노드(Egress node)까지의 LSP(Label Switched Path)를 구성한다. LSP는 작업 경로나 백업 경로 설정 요청, 서비스 품질 요구사항, 트래픽 엔지니어링 요구 등에서 동일한 서비스를 요청하는 패킷들에 대해서 인그레스 노드가 이그레스 노드까지 설정한다. LSP 설정에 필요한 요구사항에 따라, CR-LDP(Constraint-based Routing-Label Distribution Protocol), RSVP-TE(Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering) 등과 같은 신호 프로토콜이 LSP 설정을 위한 절차를 수행한다. 인그레스 노드는 수신 패킷이 필요로 하는 요구사항에 따라 데이터 트래픽을 이그레스 노드로 전송하기 위한 자원을 예약하기 위해 레이블 요청 메시지를 이그레스 노드로 전송한다. 그리고 나서 인그레스 노드가 각 노드에서 레이블 정보 테이블(Label Information Table, LIT)을 구성하고 자원 예약을 확인하기 위한 레이블 매핑 메시지를 받음으로써 LSP 설정을 끝내게 된다. 그림 1에서 보여주는 것처럼 네트워크에서 인그레스와 이그레스 노드 사이의 경로상에 있는 각 노드는 데이터 전송이 완료될 때까지 레이블과 자원

관리를 위해 자원 관리자(Resource Manager)와 LIT를 유지해야만 한다. 각 코어 노드에서 데이터를 전송하기 위한 레이블 교환은 LIT와 RM을 통해서 수행된다.

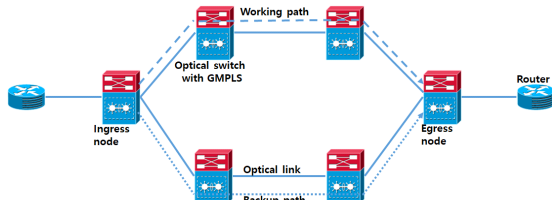


Fig. 1 Simple example of IP over WDM network.

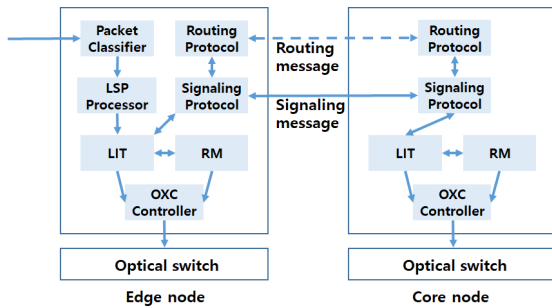


Fig. 2 Functional block diagram of edge and core nodes

## 2.2. 새로운 복구 기법 제안

표 2에서 서비스별 복구 시간 요구사항에 따라 4개의 서비스 수준을 정의했다. 하지만, 동적 백업 경로 계산을 통해 복구할 수 있는 마지막 서비스 수준을 제외하고 상위 3개의 서비스 수준에 대해서 3개의 클래스를 정의한다. 가장 높은 서비스 수준이 필요한 클래스 1 LSP에는 1 + 1 전용 경로 복구 기법을 사용한다. 클래스 2와 3 LSP를 위해서는 공유 방식 복구 기법을 적용한다. 그러므로 클래스 2와 3 LSP는 백업을 위해 그들 사이에서 공유되는 자원을 예약한다. 실제로 클래스 2와 3 LSP는 장애가 발생했을 때 예약된 자원을 점유하기 위해서 서로 다른 우선순위를 적용한다. 즉 서로 다른 클래스를 가진 두 LSP가 동일한 자원을 동시에 사용하려고 할 경우, 상위 클래스 LSP는 예약된 자원을 사용해 백업 경로를 구성할 수 있지만, 하위 클래스 LSP는 자원을 사용할 수 없어 백업 경로를 구성하지 못하게 된다. 이 경우 하위 클래스 LSP는 다른 공유 자원을 이용해 백업 경로를 설정하기 위해 노력한다. 또한 서로 다른 클래스 간에 예약된 공유 자원을 사용하려고 충돌이 발생할 경우, 클레

스에 서로 다른 우선순위를 할당하여 충돌 문제를 해결한다. 공유된 위험 링크를 공유하지 않는 LSP들 사이에서 자원을 공유하는 SRLG(Shared Risk Link Group) 복구 기법과는 달리 서로 다른 클래스가 할당된 LSP들이 자원을 공유하여 백업 경로를 구성한다. 그렇게 함으로써, 복구를 위한 여유 자원을 감소시킬 수 있고, 차별화된 복구 서비스들을 제공할 수 있다. 세 개의 클래스들을 위한 보다 자세한 복구 절차는 그림 3에서 묘사된다.

- 클래스 1 복구 절차(가장 높은 우선순위): 장애가 발생했을 때, 클래스 1 LSP를 복구하기 위해 백업 경로가 인그레스 노드에서부터 이그레스 노드까지 작업 경로와 동일한 트래픽을 전달하는 전용 경로 보호(1 + 1 dedicated)를 사용한다. 경로 중간에 장애가 발생하면 장애를 감지한 노드는 데이터 트래픽의 최종 수신 노드로 장애 사실을 알린다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 실패한 링크의 다운스트림 노드가 장애를 감지한 다음 대상 노드에 장애 표시 메시지를 보낼 수 있도록 단일 링크 결함만을 고려한다. 이 클래스의 복구를 위해서 백업 경로가 사전에 계산되고 경로 중간에 있는 OXC에서 전환이 이루어지는 백업 경로는 작업 경로와 별개로 미리 구성되기 때문에 인그레스 노드에서 클래스 1에 대한 경로 전환을 수행하는 것만으로도 복구 절차가 완료된다. 클래스 1에 대한 복구 절차는 그림 4(a)에서 보여주고 있다. 그림처럼 노드 B와 노드 C 간 링크에 장애가 발생하면 노드 C가 먼저 이를 감지한 후 최종 이그레스 노드인 F에 장애를 알리는 알림 메시지를 보내 전환을 수행하도록 알림으로써 복구를 수행할 수 있다. 백업 경로가 전용 방법으로 미리 구성되어 있으므로 장애가 발생한 작업 경로를 매우 짧은 시간 내에 백업 경로로 전환할 수 있다. 이그레스 노드 F는 복구를 수행할 책임을 맡고 있다. 클래스 1의 총 복구 시간은 다음과 같다.

$$D + M \times (N_{FD} + 1) + P \times N_{FD} + S \quad (1)$$

복구 시간을 평가하기 위한 파라미터들은 다음과 같다.

- $D$ : 장애 탐지 시간,
- $M$ : 메시지 처리 시간,
- $N_{FD}$ : 장애 탐지 노드부터 목적지 노드까지 홉 수,
- $P$ : 메시지 전파 시간,
- $S$ : 스위치 전환 시간,

- $N_{FS}$ : 장애 탐지 노드부터 소스 노드까지 홉 수,
- $N_{SD}$ : 소스 노드부터 목적지 노드까지 홉 수.

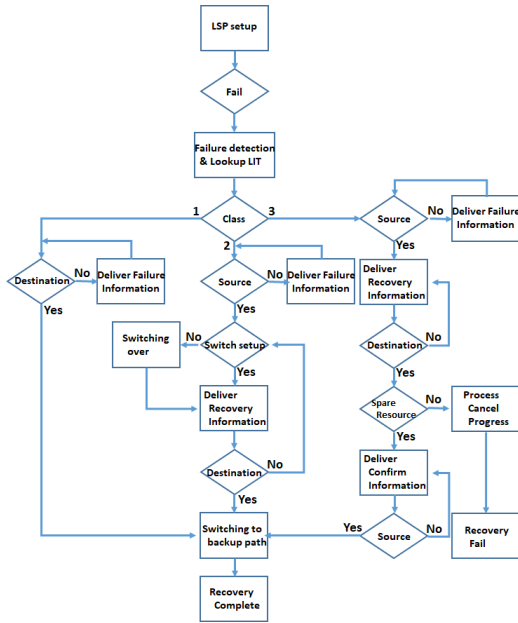
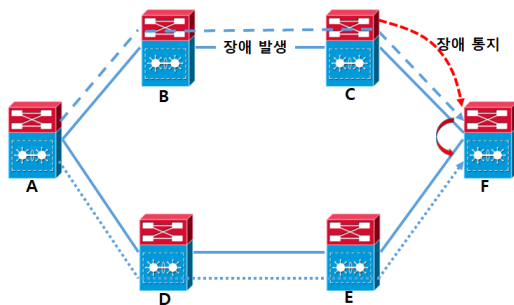
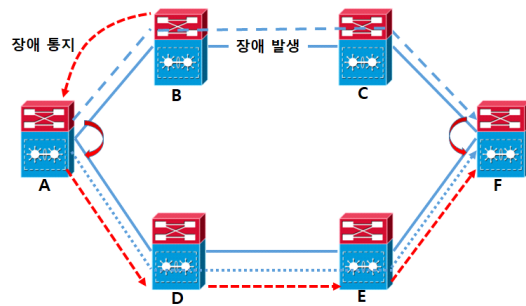


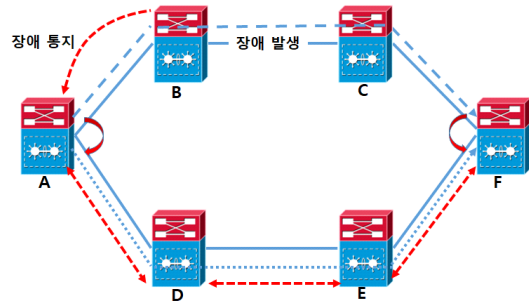
Fig. 3 Restoration algorithm considering 3 lasses



(a) Procedure for class 1



(b) Procedure for class 2



(c) Procedure for class 3

Fig. 4 Restoration procedures.

- 클래스 2 복구 절차(중간 우선순위): 클래스 3 LSP와 여유 자원을 공유하고 있는 클래스 2 LSP는 기본적으로 1:1 복구 기법을 사용한다. 복구를 위한 정보는 각 노드의 LIT에 이미 구성되어 있다. 소스 및 목적지 노드의 스위치는 장애가 발생하면 전환되지만, 백업 경로의 중간에 있는 스위치는 미리 구성된다. 클래스 2 LSP는 클래스 3 LSP보다 복구 우선순위가 높으므로, 클래스 2 LSP의 백업 경로는 소스 노드에서 목적지 노드로 신호 메시지를 전송한 다음 새로 구성된 포트 로 전환하기만 하면 설정할 수 있다. 클래스 2 LSP와 클래스 3 LSP가 동시에 동일한 파장을 사용하고자 하는 경우 우선순위가 높은 클래스 2 LSP는 먼저 파장을 점유할 수 있다. 따라서 클래스 2 LSP는 백업 경로에 사용할 수 있는 파장이 존재 여부를 확인하기 위해 3방향 핸드셰이킹을 사용할 필요가 없다. 클래스 2의 복구 절차는 그림 4(b)에 나와 있다. 클래스 2의 총 복구 시간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & D + M \times (N_{FS} + 1) + P \times N_{FS} \\
 & + M \times N_{SD} + P \times N_{SD} + 2S \\
 & = D + M \times (N_{FS} + N_{SD} + 1) \\
 & + P \times (N_{FS} + N_{SD}) + 2S
 \end{aligned} \tag{2}$$

- 클래스 3 복구 절차(가장 낮은 우선순위): 가장 우선순위가 낮은 클래스 3 LSP는 클래스 2 또는 다른 클래스 3 LSP와 예약된 자원을 공유한다. 클래스 2 LSP보다 우선순위가 낮기 때문에 클래스 2 LSP와 동일한 파장을 사용하려 할 때 실패한 경로를 복구하려는 시도는 자원이 충분하지 않을 가능성이 있어 실패할 수



있다. 그러므로 백업 경로를 위해 예약하고자 하는 파장에서의 충돌이 일어나지 않도록 하려면 파장 사용 여부를 확인하는 추가 절차가 필요하다. 이러한 상황이 발생하면 백업 경로 설정 요청이 단순히 차단되거나 신호 프로토콜을 통해 새로운 대체 경로를 동적으로 검색해야 한다. 클래스 3의 복구 절차는 그림 4(c)에 나와 있다. 클래스 3의 총 복구 시간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & D + M \times (N_{FS} + 1) + P \times N_{FS} + M \times 3N_{SD} \\
 & + P \times 3N_{SD} + S \times (N_{SD} + 1) \\
 & = D + M \times (N_{FS} + 3N_{SD} + 1) \\
 & + P \times (3N_{SD} + N_{FS}) + S \times (N_{SD} + 1) \quad (3)
 \end{aligned}$$

위에서 설명한 것처럼, 클래스 2 LSP와 3 LSP는 자원 사용 시 우선순위가 다르기 때문에 충돌 해결을 위한 새로운 기법이 필요하다. 따라서 동일한 자원을 공유하는 LSP 간의 관계를 표시하기 위해 공유 그룹(Sharing Group, SG) 개념을 사용한다. SG는 차별화된 복구 서비스를 제공하기 위해 다음 정책에 따라 구성된다. 클래스 1 LSP는 항상 전용 자원을 사용한다. 클래스 2 LSP는 하위 클래스 LSP와 자원을 공유하지만 동일한 수준의 클래스 LSP와는 공유하지 않는다. 클래스 3 LSP는 상위 레벨 또는 동일한 레벨의 LSP와 자원을 공유한다. 그림 5는 SG의 개념과 이를 이용한 복구 절차를 보여준다. 노드가 7개의 백업 경로 설정 요청을 수신했다고 가정한다(LSP 1과 7은 클래스 1, LSP 2와 3은 클래스 2, LSP 4, 5, 그리고 6은 클래스 3). LSP 1과 7은 전용 보호 기법으로 구성되므로 각각의 SG를 자체적으로 구성한다(SG 1과 4). LSP 2와 4는 SG 2를 구성하고 LSP 3, 5, 그리고 6은 SG 3을 구성한다. 장애가 발생하면 노드가 LSP 7, 2 그리고 4를 복구한다고 가정하자. 클래스 1 LSP 7은 전용 복구 기법을 활용하기 때문에 미리 계산된 SG 4를 이용해 LSP 7을 복구한다. 그러나 SG 2의 경우 우선순위가 높은 LSP 2를 복구하면서 예약된 자원을 사용하기 때문에 LSP 4의 복구는 실패한다. 따라서 LSP 4는 사용되지 않은 가용 자원이 있을 경우 이 자원을 활용해 복구를 먼저 시도한다. 그러나 사용되지 않은 가용 자원이 없을 경우, 다른 SG인 SG 3에 가용 자원을 찾아보고 남아있을 경우 해당 자원을 활용해 복구한다. 그러나 가용 자원이 없을 경우, 최종적으로 복구는 실패한다.

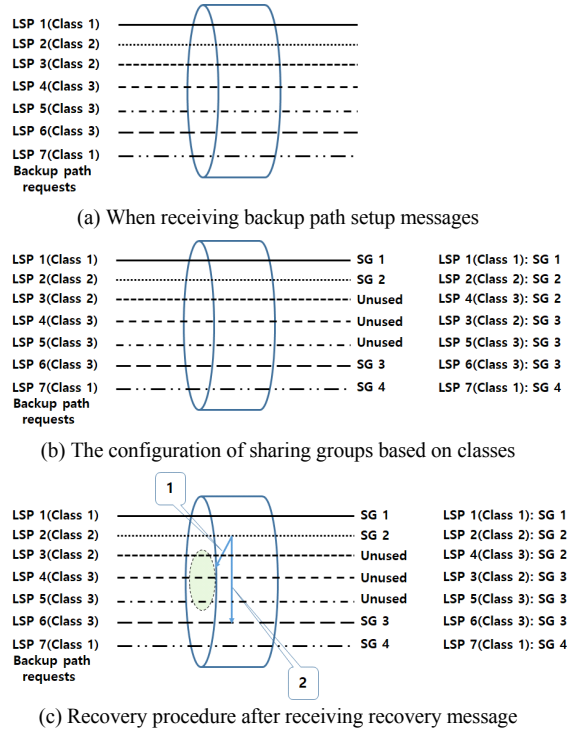


Fig. 5 The concept of sharing group.

### 2.3. 레이블 정보 테이블 구성

각 LSR은 위에서 제안한 복구 기법을 사용할 수 있도록 미리 구성된 백업 경로와 작업 경로에 대한 정보를 유지 관리해야 한다. 미리 계산된 백업 경로에 대한 정보를 기반으로 장애 발생 시 영향을 받는 LSP를 복구할 수 있다. LIT는 표 3처럼 LSP ID, LSP 유형, 클래스, 입력 포트, 입력 레이블, 출력 포트, 출력 레이블, 다음 노드 그리고 보호 가능(PC) 노드 필드로 구성된다. LSP 유형은 할당된 LSP ID가 작업 경로인지 백업 경로인지를 지정한다. 클래스 필드는 레이블 전환 경로의 서비스 수를 구분하는 데 사용된다. 클래스 필드에 따라 제안된 복구 계획에 대한 전반적인 절차가 결정된다. 클래스 및 보호 가능 노드 필드를 사용하면 오류 표시 메시지가 생성되고 전달될 위치를 결정한다. 중간 노드의 레이블 교환에는 4개의 필드(입력 포트, 입력 레이블, 출력 포트 그리고 출력 레이블)가 필요하다.

**Table. 3** Label information table using simple network consisted of five nodes.

Node ID	LSP ID	LSP type	Class	Input port	Input label	Output port	Output label	Next node	PC node
1	1	0 <sup>a</sup>	1	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	1	1	2	4 <sup>c</sup>
	1	1 <sup>a</sup>	1	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	2	1	2	4
2	1	0	1	3	1	1	1	3	4 <sup>c</sup>
	2	0	2	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	1	2	3	2 <sup>f</sup>
	2	1	2	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	2	1	3	2
3	1	0	1	3	1	1	1	4	4 <sup>c</sup>
	2	0	2	3	2	1	2	4	2
4	1	0	1	1	1	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	4 <sup>d</sup>
	1	1	1	2	1	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	4
	2	0	2	1	2	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	2
	2	1	2	2	2	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	2
5	1	1	1	4	1	1	1	4	4
	2	1	2	3	2	1	2	4	2 <sup>e</sup>

**Table. 4** Resource manager table using simple network consisted of five nodes

Node ID	Port ID	Wavelength ID	Used (Working/Backup)	LSP ID	Shared
1	1	1	1	1	0
	2	1	0	1	0
2	1	1	1	1	0
	1	2	1	2	0
	2	1	0	2	1
3	3	1	1	1	0
	1	1	1	1	0
	1	2	1	2	0
4	3	1	1	1	0
	3	2	1	2	0
	1	1	1	1	0
	1	2	1	2	0
5	2	1	0	1	0
	2	2	0	2	1
	1	1	0	1	0
	1	2	0	2	1
5	3	2	0	2	1
	4	1	0	1	0
	1	1	0	1	0
	1	2	0	2	1

LIT 구성 예는 표 3에 나와 있다. 표 3은 그림 6처럼 구성된 간단한 5개 노드 네트워크를 이용하여 구성하였고, 그림에서 링크의 숫자는 포트 번호를 나타낸다. 파장 ID는 무작위로 할당된다. 클래스가 다른 두 개의 작업 경로와 백업 경로가 있다. 클래스 1의 LSP 1은 노드 1에서 노드 4까지 설정되며 백업 경로는 노드 5에서 노드 4까지 미리 구성된다. LSP 1의 보호 가능 노드는 노드 4이다. 반면 클래스 2의 LSP 2는 노드 2에서 노드 4로 설정되며 백업 경로는 노드 5에서 노드 4로 미리 구성된다. 이 경우 보호 가능 노드는 2이다. 표 3은 제안된 복구 기법을 적용할 수 있도록, LSP 설정 및 복구 절차에 대

장 ID는 무작위로 할당된다. 클래스가 다른 두 개의 작업 경로와 백업 경로가 있다. 클래스 1의 LSP 1은 노드 1에서 노드 4까지 설정되며 백업 경로는 노드 5에서 노드 4까지 미리 구성된다. LSP 1의 보호 가능 노드는 노드 4이다. 반면 클래스 2의 LSP 2는 노드 2에서 노드 4로 설정되며 백업 경로는 노드 5에서 노드 4로 미리 구성된다. 이 경우 보호 가능 노드는 2이다. 표 3은 제안된 복구 기법을 적용할 수 있도록, LSP 설정 및 복구 절차에 대

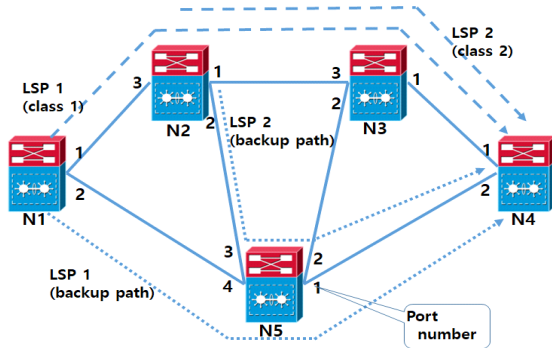


Fig. 6 An example of simple network to configure LIT

한 전반적인 내용을 보여주고 있다.

- LSP 타입은 값이 0일 경우 작업 경로를 나타내고 1일 경우 백업 경로를 나타냄(a),
- 출력 포트, 출력 레이블 그리고 다음 노드의 값이 0일 경우 이그레스 노드를 나타냄(b),
- 입력 포트와 입력 레이블의 값이 0일 경우 인그레스 노드를 나타냄(c),
- 클래스 필드 값이 1이고, 보호 가능 노드 필드가 자기 자신일 경우, 복구 책임은 해당 노드 자체에 있음을 나타냄(1 + 1 전용 복구)(d),
- 클래스 필드 값이 1이고, 보호 가능 노드 필드가 자기 자신이 아닌 경우, 해당 노드는 다음 노드와 보호 가능 노드와 함께 복구를 책임지고 있는 노드로 장애 발생을 알려야 함(e),
- 클래스 필드 값이 2나 3이고, 보호 가능 노드가 자기 자신인 경우, 해당 노드는 장애에 영향을 받는 LSP에 대한 복구 책임이 있음을 나타냄(1:N 공유 복구)(f),
- 클래스 필드 값이 2나 3이고, 보호 가능 노드가 자기 자신이 아닌 경우, 해당 노드는 장애 발생 시 영향을 받는 LSP를 복구할 수 있는 노드로 장애 발생 사실을 알려야 함(g).

한편 효율적인 복구를 지원하기 위해 자원을 관리하는 자원 관리자를 활용한다. 자원 관리자는 포트 ID, 파장 ID, 사용 여부, LSP ID 그리고 공유 필드로 구성된 테이블이다. 포트 ID와 파장 ID는 각 노드의 관리 자원을 식별한다. 사용 여부 필드는 이 파장이 작업 경로(값=1)에 사용되는지 아니면 백업 경로로 예약되어 있는지, 또

는 사용되지 않는지를 나타낸다(값=0). 공유 필드는 이 파장이 다른 백업 경로와의 공유 여부를 알려준다. 클래스 1의 작업 경로 또는 백업 경로가 파장을 사용하는 경우 이 필드는 0으로 설정된다. 공유 필드의 값이 1인 경우, 이 파장은 모든 백업 경로에 사용할 수 있다. 표 4는 이렇게 구성된 자원 관리자를 보여주고 있다.

### III. 실험 결과

이 섹션에서는 세 가지 클래스를 바탕으로 앞에서 제안한 복구 기법의 성능을 평가한다. 특히 1 + 1 전용 보호 및 SRLG를 적용한 복구 기법과 비교하여 백업에 경로를 설정하기 위해 필요한 자원이 얼마나 되는지도 보여준다. 다음은 제안한 복구 기법을 적용하기 위한 고려 사항이다.

- LSP 설정 요청에 대해 완전 메쉬망을 구성할 수 있는 요구사항( $N \times (N - 1)$ :  $N$ : 노드 수)의 배수로 파라미터  $L$ 을 정의한다. 예를 들어,  $L = 1$ 은 모든 소스 노드들이 모든 목적지 노드들까지 하나의 광 경로를 구성할 수 있음을 의미한다. 노드 쌍 간의 요청은 균일하게 분포한 것으로 가정한다.
- 최소 홉 정책을 기반으로 작업 및 백업 경로를 설정하고 백업 경로는 작업 경로와 별도로 분리 경로로 설정된다. 우리는 파장 연속성 제약이 작업 및 백업 경로 설정에서 고려되지 않도록 모든 노드가 파장 변환기능을 가지고 있다고 가정한다.
- 그림 7과 같이 제안한 복구 기법의 시뮬레이션에 NSFNET을 사용한다(링크 상의 숫자는 이웃 노드 간의 양방향 전파 시간을 의미한다[16]).

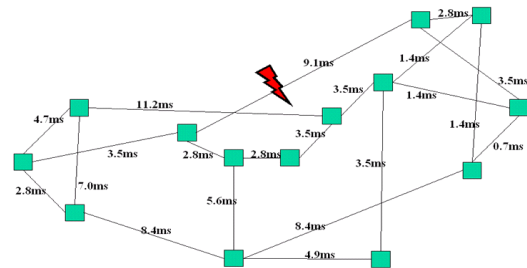


Fig. 7 NSFNET



이전 섹션에서 이미 언급했듯이 복구 시간을 평가할 때, 장애 탐지 시간, 메시지 전파 시간, 메시지 처리 시간, 스위치 전환 시간 같은 중요한 파라미터들이 있다. 장애 탐지 시간은 물리 계층 같은 하위 계층 탐지 시간 또는 데이터 링크 계층이나 네트워크 계층 같은 곳에서 킵얼라이브나 헬로우 메시지를 통한 상위 계층 탐지 시간을 의미한다. 메시지 전파 시간은 레이블 요청 메시지, 레이블 매핑 메시지 그리고 장애 경보나 자원 부족 통지 메시지 같은 신호 메시지를 전달하기 위해 한 노드에서 이웃 노드로의 전파 시간을 의미한다. 메시지 처리 시간은 적당한 복구 기법을 찾아내기 위한 레이블 정보 테이블 검색 시간과 신호 메시지 생성 시간을 포함한다. 스위치 전환 시간은 작업 경로를 위한 한 포트로부터 백업 경로를 새로 설정하기 위한 다른 포트로 전환하는 데 걸리는 시간을 의미한다. 실제 통신망에서 사용되는 값들을 고려하여 장애 탐지 시간은 5ms, 메시지 처리 시간은 1ms, 메시지 전파 시간은 그림 7에서 보여주는 전파 시간 활용하고 스위치 전환 시간은 10ms로 가정한다[8, 17-19].

우리는 다음과 같은 매개변수 값을 가정하는데, 이는 실제 세계에서 허용되는 값 [8, 17-19]; 고장 감지 시간: 5ms, 메시지 처리 시간: 1ms, 메시지 전파 시간: 그림 7, 시간 경과에 따른 전환: 10ms를 참조한다.

그림 8은 제안한 복구 기법을 이용해 각 클래스 별로 소요되는 복구 시간을 보여주고 있다. 이 그림은 파라미터  $L = 1.4$ 에서 세 개의 클래스 각각에 대한 복구 시간을 나타낸 것이다. 클래스 1 LSPs의 경우 복구에 대략 16 ~ 2.2ms가 소요된다. 클래스 2 LSPs의 경우 복구가 완료되는 데까지 대략 43.6 ~ 61.3ms가 걸린다. 한편 클래스 3 LSPs는 대략 128.6 ~ 151ms를 필요로 한다. 이 그림으로부터 제안한 알고리즘을 사용할 경우, 클래스의 우선순위에 따라 복구 시간을 차별화할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 파라미터  $L = 0.2 \sim 1.4$  사이에서 작업 경로와 백업 경로를 구성하기 위해 필요한 전체 파장의 개수로 요청된 LSP를 위한 파장 요구 사항을 알아보자. 그림 9는 본 논문에서 제안한 방식, 1 + 1 방식, 그리고 SRLG 방식들에서 장애 발생으로 영향을 받는 LSP를 복구하기 위해 필요한 파장의 수를 정규화한 결과이다. 그림에서 보여주는 것처럼 본 논문에서 제안한 기법은 백업 경로 설정에 필요한 파장 수가 작업 경로에 필요한 파장 수 대비 약 79.8 ~ 105.4%가 필요함을 보여주고 있

다. 반면 1 + 1 복구 기법의 경우 약 155 ~ 200% 정도가 필요함을 보여주고 있다. 한편 SRLG 복구 기법의 경우 63.4 ~ 94.6% 정도를 필요로 하고 있으나, 이 기법의 경우 세 개의 클래스를 고려했는지라도 클래스별 차별화는 이루어지지 않고 단순히 전체 데이터 트래픽에 대한 장애 영향을 최소화만을 고려한 결과이다. 그러나 본 논문에서 제안한 기법의 경우 각 클래스 별 요구사항을 만족하면서 백업 경로를 설정하는 경우이다.

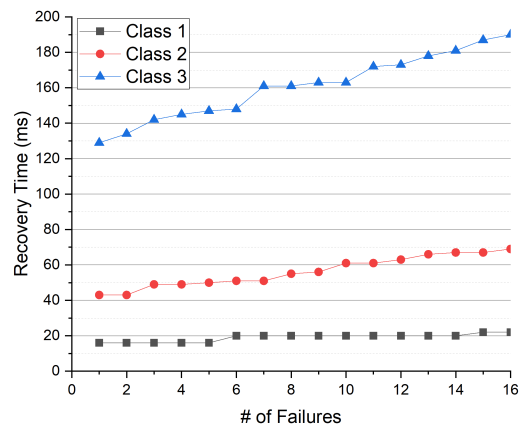


Fig. 8 The results of restoration time for each class

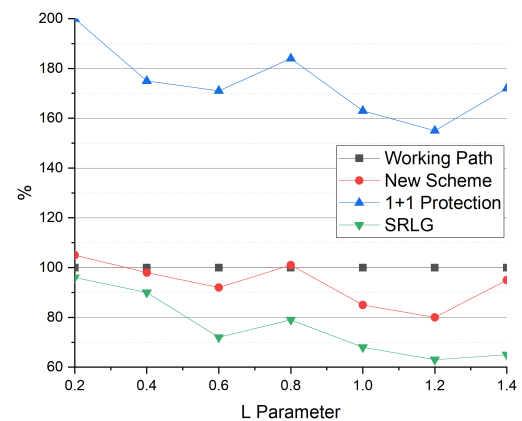


Fig. 9 The comparison of resource usage rate

한편 클래스별 요구사항을 만족하면서 복구를 진행하는 1 + 1 복구 방식과 비교해보면 본 논문에서 제안한 기법의 경우 복구를 위해 필요한 예비자원의 양을 약 51 ~ 56%를 절약할 수 있음을 그림으로부터 알 수 있다. 실제로 1 + 1 복구 방식을 사용하는 클래스 1 LSP의 경우 전용 예비자원이 필요하지만, 다른 클래스들의 경우 예

비자원을 공유하면서도 서비스별 요구사항을 만족하고 있기 때문에 복구를 위해 필요한 전체적인 자원 총량은 줄어드는 것을 보여주고 있다.

한편 그림 10은 제안된 복구 기법에서 세 개의 클래스 별 비율에 따라 백업 경로 설정을 위해 필요한 자원량을 정규화해서 나타낸 것이다. 그림에서 첫 번째의 경우, 가장 높은 우선순위의 클래스 1의 비율이 20% 정도여서 백업 경로 설정에 많은 자원을 소비하지 않아 전반적으로 백업 경로 설정에 필요한 자원의 양이 많지 않음을 알 수 있다. 그러나 클래스 1의 비율이 증가함에 따라 백업 경로 설정에 필요한 자원의 양이 점차 증가함을 보여주고 있다. 또한 그림 10으로부터, WDM 네트워크를 이용 다양한 요구사항의 서비스를 제공하고자 할 때, 제한된 자원을 효율적으로 활용하기 위해서는 각 클래스 별 적당한 서비스 비율을 알 수 있다. 본 알고리즘을 이용할 경우, 그림 10은 클래스 1, 클래스 2, 그리고 클래스 3의 비율이 20:40:40이나 40:30:30의 비율이 적당함을 보여주고 있다.

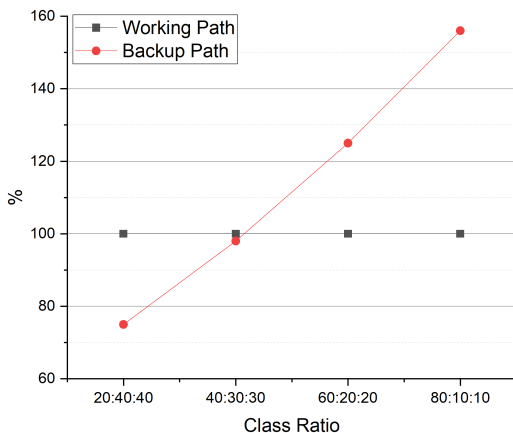


Fig. 10 The required resource ratio for each class

#### IV. 결론

본 논문은 서비스 특성에 따른 다양한 복구 서비스 수요를 충족시키기 위해 새로운 복구 방안을 제안했다. 제안된 기법을 사용함으로써, 단일 링크 장애로부터 클래스 1 LSP를 보호하기 위해 전용 리소스를 예약할 수 있었다. 반면에 클래스 2 LSP와 클래스 3 LSP의 경우 여

분의 자원을 공유함으로써 자원의 효율적인 활용을 지원하면서도, 각 클래스별 요구사항을 만족하는 복구를 지원할 수 있음을 보였다.

한편, 본 논문에서 제안한 기법은 클래스 1의 복구를 위해서는 전용 복구 방식을 나머지 클래스 복구를 위해서는 공유 복구 방식을 활용함으로써 클래스별 요구사항을 만족하면서도 전반적으로 필요로 하는 자원의 양을 줄일 수 있음을 보여주었다.

#### REFERENCES

- [ 1 ] A. Fumagalli and L. Valcarenghi, "IP Restoration vs. WDM Protection: Is There an Optimal Choice?," *IEEE Network*, vol. 14, no. 6, pp. 34-41, Nov. 2000.
- [ 2 ] Y. Ye, S. Dixit, and M. Ali, "On Joint Protection/ Restoration in IP-centric DWDM Based Optical Transport Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, no. 6, pp. 174-183, Jun. 2000.
- [ 3 ] N. Ghani, S. Dixit, and T. -S. Wang, "On IP-over-WDM integration," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, no. 3, pp. 72-84, Mar. 2000.
- [ 4 ] N. Andriolli, A. Giorgetti, P. Castoldi, G. Cecchetti, I. Cerutti, N. Sambo, A. Sgambelluri, L. Valcarenghi, F. Cugini, B. Martini, and F. Paolucci, "Optical Networks Management and Control: A Review and Recent Challenges," *Optical Switching and Networking*, vol. 44, pp. 9-27, May 2022.
- [ 5 ] E. N. Lallas, "A Survey on All Optical label Swapping Techniques: Comparison and Trends," *Optical Switching and Networking*, vol. 31, pp. 22-38, Jan. 2019.
- [ 6 ] Y. Kiyohito, G. Hattori, K. Sugiyama, and S. Obana, "Multi-path Backup Self-healing Algorithm for ATM," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E82-B, no. 11, pp. 1793-1800, Nov. 1999.
- [ 7 ] B. Chatterjee, and E. Oki, *Elastic Optical Networks: Fundamentals, Design, Control, and Management*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2020.
- [ 8 ] Z. Zhou, T. Lin, K. Thulasiraman, and G. Xue, "Novel Survivable Logical Topology Routing by Logical Protecting Spanning Trees in IP-over-WDM Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 25, no. 3, pp. 1673-1685, Jan. 2017.
- [ 9 ] Z. Shou, T. Lin, and K. Thulasiraman, "Survivable Cloud Network Design against Multiple Failures through Protecting

- Spanning Trees,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 35, no. 2, pp. 288-298, Jan. 2017.
- [10] J. -J. Pedreno-Manresa, J. -L. Izquierdo-Zaragoza, and P. Pavon-Marino, “Guaranteeing Traffic Survivability and Latency Awareness in Multilayer Network Design,” *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 9, no. 3, pp. B43-B53, Mar. 2017.
- [11] L. Xu, Q. Guo, T. Yang, and H. Sun, “Robust Routing Optimization for Smart Grids Considering Cyber-Physical Interdependence,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 5, pp. 5620-5629, Sep. 2019.
- [12] M. Xu, K. Kaik, and K. Thulasiraman, “Fault Tolerance of Hypercube like Networks: Spanning Laceability under Edge Faults,” *Theoretical Computer Science*, vol. 835, no. 2, pp. 44-57, Oct. 2020.
- [13] M. Savi and D. Siracusa, “Application-aware Service Provisioning and Restoration in SDN-based Multilayer Transport Networks,” *Optical Switching and Networking*, vol. 30, pp. 71-84, Nov. 2018.
- [14] S. Ramamurthy and B. Mukherjee, “Survivable WDM Mesh Networks,” in *Proceeding of INFOCOM*, New York: NY, vol. 2, pp. 744-751, 1999.
- [15] V. Srinivas, *IP Quality of Service*, Hoboken, NJ: Cisco Press, 2001.
- [16] S. Arakawa, M. Murata, and H. Miyahara, “Functional Partitioning for Multi-layer Survivability in IP over WDM Networks,” *IEICE Transactions on Communications*, vol. E83-B, no. 10, pp. 2224-2232, Oct. 2000.
- [17] E. Jamhour and M. C. Penna, “Evaluation of Segment-based Crankback Re-routing for GMPLS-based WSON,” in *Proceedings of ICT*, Hainan, China, pp. 1-5, May. 2013.
- [18] G. S. Pavani and H. Waldman, “Routing and Wavelength Assignment with Crankback Re-routing Extensions by Means of Ant Colony Optimization,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 28, no. 4, pp. 532-541, May. 2010.
- [19] G. Li, J. Yates, R. Doverspike, and D. Wang, “Experiments in Fast Restoration Using GMPLS in Optical/Electronic Mesh Networks,” in *Proceedings of OFC*, Anaheim: CA, p. PD34, 2001.



이용규(Yonggyu Lee)

전기전자 공학박사

※ 관심분야 : 광 인터넷, 서비스 품질 보장형 네트워크, 초고속 인터넷