

# MPLS망에서 대체 LSP의 동적 설정을 이용한 복구기법

정회원 안 개 일\*, 전 우 직\*\*

## A Restoration Scheme using Dynamic Establishment of Alternative LSP in MPLS Networks

Gaeil Ahn\*, Woojik Chun\*\* *Regular Members*

### 요 약

MPLS 망에서 설정된 LSP (Label Switched Path)내에 링크/노드 장애나 혼잡이 발생한 트래픽을 대체 경로로 우회 시킴으로써 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 것은 필수적이다. 기존에 제안된 기법들은 장애가 발생하기 전에 대체 경로를 미리 설정하기 때문에 빠른 장애 복구를 제공 할 수 있지만 자원 낭비가 심하며 기본 LSP와 대체 LSP가 모두 장애인 경우에는 대처할 수가 없는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 장애를 탐지한 노드가 기본 경로상에 존재할 수 있는 가능한 모든 대체 경로 중에서 비용이 최소인 대체 경로를 계산한 후에 그 경로를 따라서 대체 LSP를 설정하는 동적 복구 기법을 제안한다. 제안된 기법은 최소 비용인 대체 경로를 계산하기 위하여 제안된 알고리즘을 사용함으로써 비교적 빠른 시간 내에 대체 LSP를 설정할 수 있으며, 자원 효율성이 높고, 기본 경로와 대체 경로가 장애인 경우에도 대처할 수 있다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 링크 장애, 노드 장애, 대체 경로 장애, 그리고 동시 발생 장애에 대하여 각각 시뮬레이션 하였다. 실험 결과, 제안된 기법은 기존의 기법들과 비교해서 동시 발생 장애에서는 성능이 좋지 않았지만, 링크 장애와 노드 장애의 경우에 비교적 성능이 좋았고, 기본 경로와 대체 경로가 장애인 경우에도 복구할 수 있었으며 자원 효율성에서는 월등히 우수했다.

### ABSTRACT

In MPLS networks, it is very important to offer a reliable service by an LSP restoration which allow traffic bypass the failure or congestion on link and/or node. The existing scheme supports a fast restoration by establishing an alternative path beforehand independently of detecting failure. However, these schemes may not only result in using excessive resource, but also not support restoration in case that a failure occurs on both a primary path and its alternative path. This paper proposes a restoration mechanism to establish an alternative LSP along the least-cost path of all possible alternative paths that can be found on a primary path, which is calculated by a node that detects a failure. The proposed scheme can establish an alternative LSP quickly without requiring long times, increase resource utilization, and operate even in a failure of a primary path and its alternative path. Through simulation, the performance of the proposed scheme is measured in terms of link failure, node failure, failure of primary and alternative path, and concurrent failure, respectively. The simulation results show that our scheme has better results in link and node failure, in the failure of both a primary and its alternative path, and in resource utilization than the existing schemes, even if it has a weakness in concurrent failure.

### I. 서 론

인터넷의 폭발적인 성장은 트래픽의 양을 기하급 수적으로 증가시키고 있으며, 고 품질의 서비스를 요구하는 인터넷 폰과 화상 회의 같은 새로운 서비

\* 한국전자통신연구원 네트워크보안연구부(fogone@etri.re.kr), \*\* 충남대학교 컴퓨터공학과 프로토콜공학 연구실(chun@ce.cnu.ac.kr)  
 논문번호 : 010014-0223, 접수일자 : 2001년 2월 23일.

스의 대중화를 앞당기고 있다. 그러나 현재의 인터넷 구조는 이러한 요구 사항을 수용하기가 힘들며, 따라서 망의 효율적인 운영과 서비스 질 (QoS)을 보장할 수 있는 새로운 구조가 요구되고 있다<sup>[1]</sup>. 현재 새로운 구조로써 가장 인정받고 있는 구조중의 하나가 바로 MPLS (Multi-Protocol Label Switching)<sup>[2][3][4][5]</sup>이다. MPLS는 Constraint를 기반으로 한 ER-LSP (Explicit-Routed Label Switched Path)인 CR-LSP (Constraint-based Routed-LSP)를 설정할 수 있기 때문에 망의 효율성과 새로운 서비스를 위한 고 수준의 서비스 질을 보장할 수 있다. 이런 이유 때문에 사설 망 (Virtual Private Network), 차등 서비스 (differentiated service) 그리고 트래픽 엔지니어링과 같은 많은 응용 분야에서 MPLS를 이용하고 있다.

그런 MPLS에서 설정된 LSP내에 링크/노드 장애나 혼잡이 발생한 트래픽을 대체 경로 (alternative path)로 우회시킴으로써 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 것은 아주 중요하며, 이것을 경로 복구 (path restoration) 라고 한다<sup>[6]</sup>. 그 대체 경로를 설정하는 시점에 따라서 장애가 발생하기 전에 미리 설정하는 정적 설정 방식과 장애가 일어난 후에 설정하는 동적 설정 방식으로 구분된다.

동적 설정 방식은 대체 LSP를 설정하는 데에 많은 시간이 걸릴 수 있기 때문에 기존의 많은 기법들이 빠른 경로 복구를 위해서 정적 설정 방식을 사용하고 있다<sup>[7][8][9]</sup>. 정적 설정 방식은 빠른 복구는 제공하지만 다음과 같은 두 가지 문제점을 가지고 있다. 첫번째 문제점은 장애에 상관없이 미리 자원을 예약하므로 자원이 낭비된다는 것이다. 이러한 문제 때문에, [10]에서는 하나의 대체 LSP를 사용하여 여러 개의 기본 LSP (보호할 LSP)를 보호하는 1:n 보호 방식을 연구하고 있으며, [11]에서는 기본 LSP가 장애인 경우에 그 기본 LSP의 자원이 사용되지 않는다는 점을 근거로 기본 LSP의 자원을 고려한 대체 LSP의 효율적인 자원 할당 알고리즘을 제안하고 있다. 기존에 제안된 기법의 또 다른 문제점은 정적 설정 방식에서는 기본 LSP와 대체 LSP가 모두 장애인 경우에는 경로 복구를 할 수 없다는 것이다.

동적 설정 방식에 기반 한 경로 복구 기법들도 제안되고 있지만, 그 기법들은 모두 각 링크별 보호를 목적으로 하는 복구 기법들이다<sup>[12][13]</sup>. 그 보호할 구간이 작기 때문에 대체 경로를 설정하는 데에 큰 시간이 걸리지 않으며, 따라서 자원 효율성도 좋고

빠른 경로 복구도 지원할 수 있다. 그러나 이러한 기법들은 링크 장애 시에만 동작하며 노드 장애와 동시 발생 장애에서는 동작하지 않는 치명적인 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 장애를 탐지한 노드가 기본 경로 상에 존재할 수 있는 가능한 모든 대체 경로 중에서 비용이 최소인 대체 경로를 계산한 후에 그 경로를 따라서 대체 LSP를 설정하는 동적 복구 기법을 제안한다. 제안된 기법은 링크 복구뿐만 아니라 단대단 복구도 지원하며 자원 효율성에서 좋고 기본 경로와 대체 경로가 장애인 경우에도 대처할 수 있으며 최소 비용인 대체 경로를 계산하기 위하여 제안된 알고리즘을 사용함으로써 비교적 빠른 시간 내에 대체 LSP를 설정할 수 있다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 링크 장애, 노드 장애, 대체 경로 장애, 그리고 동시 발생 장애에 대하여 각각 시뮬레이션 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 기존에 제안된 경로 보호 기법들을 분석하며, 3장에서는 동적 복구 기법을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법의 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 복구 기법 분석

MPLS 망에서 보호할 LSP의 경로를 기본 경로 (primary path)라고 말한다. 기본 경로는 대체 경로에 의하여 보호 받는다. 장애가 발생했을 때 기본 경로를 대체 경로로 스위칭하는 것을 보호 스위칭 (protection switching)이라고 한다. 대체 경로를 설정하는 시점에 따라서 장애가 발생하기 전에 미리 설정하는 정적 (pre-negotiated) 설정 방식과 장애가 일어난 후에 설정하는 동적 (dynamic) 설정 방식으로 구분한다. 또한 복구 주체에 따라서 지역적 (local) 복구와 전역적 (global) 복구로 구분된다. 지역적 복구는 장애를 탐지한 노드가 직접 보호 스위칭을 수행하는 방식이며, 전역적 복구는 특정 노드 (보통 Ingress 노드)만 보호 스위칭을 수행하는 방식이다.

복구 영역의 단위에 따라서 링크 복구 방식과 단대단 복구방식으로 구분될 수 있다. 그림 1에 도시되어 있는 바와 같이 링크 복구 방식에서는 대체 경로가 장애인 링크 사이에 설정되며 단대단 복구 방식에서는 Ingress LSR과 Egress LSR 사이에 설정된다.

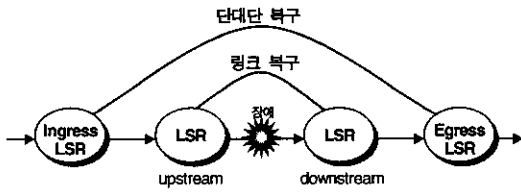


그림 1. 링크 복구와 단대단 복구

링크 복구 방식을 사용하는 기존의 기법들은 그 보호 단위가 작기 때문에 정적 설정 방식뿐만 아니라 동적 설정 방식도 고려하고 있다. 본 논문에서는 기존에 제안된 두 가지 기법을 소개한다.

먼저, Chen은 동적 설정 방식을 사용하는 링크 복구 방식으로서 두 가지 방법을 제안하였다<sup>[12]</sup>. 첫 번째 방법은 기본 경로상의 각 링크마다 자원이 할당되지 않은 대체 경로를 미리 설정한 후, 링크 장애가 발생하면 Downstream LSR이 그 장애를 탐지하여 Upstream LSR까지 대체 경로를 따라서 LDP Notification 메시지를 보내어 대체 경로상의 각 LSR에게 필요한 자원을 할당하고, 최종적으로 Upstream LSR에게 장애 사실을 통보하는 반 동적 설정 방식이다. 두 번째 방법은 링크 장애가 발생한 후에 그 장애를 탐지한 Downstream LSR이 Upstream LSR까지 최적의 경로를 계산한 후에 수정된 LDP Mapping 메시지를 사용하여 필요한 자원을 할당하면서 대체 경로를 설정하는 완전 동적 설정 방식이다. 두 번째 방법이 정상적으로 동작하려면 CR-LDP Mapping 메시지내에 대체 경로에 대한 ER (Explicit Route) 정보를 실을 수가 있어야 하는데 현재의 CR-LDP 프로토콜에서는 지원하지 않는다. 따라서 두 번째 방법은 실현 가능성이 없으므로, 앞으로 본 논문에서는 첫 번째 반 동적 설정 방식을 사용하는 기법을 Chen 기법이라 하겠다.

또 다른 기법으로서 Yoon은 링크 장애가 발생하면 Upstream LSR이 그 장애를 탐지하여 Downstream LSR까지 최적의 경로를 만족하는 대체 경로를 설정하는 방식을 제안하였다<sup>[13]</sup>.

이러한 기법들은 단일 링크 장애에서는 좋은 성능을 보이지만, 노드 장애나 동시 발생 장애에서는 사용될 수 없는 치명적인 문제점을 가지고 있다. 이런 문제 때문에 대부분의 기법들은 링크 복구 방식 보다는 단대단 복구 방식을 기반으로 하고 있다. 본 논문에서 제안하는 방식은 동적 설정 방식을 사용하지만, 링크 복구뿐만 아니라 단대단 복구도 지원한다는 점에서 동적 설정 방식을 사용하는 기존의

기법들과 다르다.

단대단 복구 방식은 그 보호 단위의 크기로 인하여 대체 경로 설정 시간이 오래 걸리기 때문에 주로 정적 설정 방식을 사용한다. 본 논문에서는 단대단 복구 방식이며 빠른 복구를 지원한다고 알려진 두 가지 기법을 소개한다. 즉 Haskin에 의해 제안된 기법<sup>[7]</sup>과 Makam에 의해 제안된 기법<sup>[8]</sup>이다. Haskin 기법은 정적 설정과 지역적 복구 방식이며, Makam 기법은 정적 설정과 전역적 복구 방식이다.

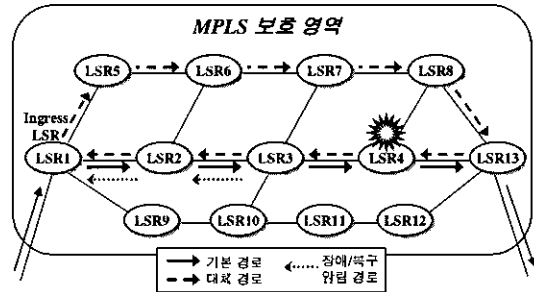


그림 2. MPLS 경로 복구

그림 2에서 MPLS 보호 영역 (MPLS Protection Domain)은 MPLS 망에서 보호할 영역을 의미하며, LSR1과 LSR13사이의 실선은 기본 경로를 의미한다. Haskin 기법에서 대체 경로는 다음과 같이 설정된다.

- ① 기본 경로와 반대방향으로 대체 경로의 일부를 설정한다. 그림 2에서 LSR13-4-3-2-1이 대체 경로의 일부이다.
- ② 기본 경로와 중복되지 않도록 하면서 대체 경로의 일부를 설정한다. 그림 2에서 LSR1-5-6-7-8-13가 대체 경로의 일부이다.
- ③ 두 대체 경로의 일부를 연결하여 하나의 완벽한 대체 경로를 만든다. 장애가 발생하면 그 장애를 탐지한 노드가 트래픽을 대체 경로로 보낸다. 예를 들어 그림 2에서 LSR4가 장애일 때 대체 경로는 LSR3-2-1-5-6-7-8-13이다.

Haskin 기법의 장점은 장애를 탐지하자마자 대체 경로로 트래픽을 전송하기 때문에 패킷 손실이 거의 없다는 것이다. 그러나 장애가 복구되어서 대체 경로상의 트래픽을 다시 기본 경로로 전송할 때는 재순서 (re-ordering) 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 그림 2에서 LSR4가 장애일 때 패킷은 대체 경로 (즉, LSR3-2-1-5-6-7-8-13)를 따라서 전송된다. 그러나 LSR4가 복구되었을 때는 기본 경로 (즉,

LSR3-4-13)를 따라서 패킷이 전송된다. 따라서 LSR4가 복구된 직후에 대체 경로에 남아 있는 패킷 (일찍 출발한 패킷)이 기본 경로상의 패킷 (늦게 출발한 패킷)보다 더 먼 거리를 경유하여 전송되므로 재순서 문제가 발생한다. 그 재순서 문제는 장애인 노드의 위치가 Ingress LSR에서 멀어질 수록 더 나빠지는데, 이것은 대체 경로의 길이가 더 길어져서 그 대체 경로상에 재순서 될 패킷이 더 많은 존재하기 때문이다.

또한 장애가 발생하지 않더라도 대체 경로를 위한 자원을 미리 할당하므로 자원 효율성이 낮고 기본 경로와 대체 경로가 모두 장애인 경우에는 그 장애를 복구할 수 없는 단점을 가지고 있다.

Makam 기법에서 대체 경로는 다음과 같이 설정된다.

- ① 기본 경로와 중복되지 않도록 하면서 대체 경로를 설정한다. 그림 2에서 LSR1-5-6-7-8-13가 대체 경로이다.
- ② 장애가 발생하면 그 장애를 탐지한 노드는 대체 경로가 설정된 노드 (Ingress LSR)까지 장애 알림 메시지를 전달하여 그 Ingress LSR이 트래픽을 대체 경로로 전송하도록 한다. 예를 들어, 그림 2에서 LSR4가 장애일 때 LSR3과 LSR1사이의 점선은 장애 알림 메시지의 경로이며 대체 경로는 장애 위치에 상관 없이 LSR1-5-6-7-8-13이다.

Makam 기법은 기본 경로의 길이와 대체 경로의 길이가 크게 다르지 않는 한 재순서 문제는 거의 발생하지 않는다. 그러나 장애를 탐지한 노드가 보호 스위칭을 할 수 있는 노드 (즉, Ingress LSR)까지 장애 알림 메시지를 보내기 때문에 그 시간동안 패킷이 손실되는 문제점이 있다. 이 패킷 손실은 장애인 노드의 위치가 Ingress LSR에서 멀어질 수록 더 증가하는데, 이것은 장애 알림 경로의 길이가 더 길어지기 때문이다. 또한 Haskin 기법과 마찬가지로 자원 효율성이 낮고 기본 경로와 대체 경로가 모두 장애인 경우에는 그 장애를 복구할 수 없다.

### III. 최소 비용인 대체 LSP 설정에 의한 동적 경로 복구 기법

#### 1. 가정

제안하는 기법은 다음의 두 가지 가정에서 출발한다. 첫 번째는 각 노드들은 망 위상 (topology) 정보를 안다고 가정하며, 이를 위하여 MPLS 망은

OSPF (Open Shortest Path First)와 같은 링크 상태 프로토콜 (link state protocol)을 사용해야만 한다. 이 가정은 현재의 MPLS 망에 어떤 심각한 영향을 끼치지 않을 것이다. 현재 RIP (Routing Information Protocol)와 같은 거리 벡터 프로토콜 (distance vector protocol) 보다는 링크 상태 프로토콜이 더 많이 사용되고 있으며, MPLS 트래픽 엔지니어링을 위해서는 링크 상태 프로토콜이 사용되어야만 한다. 예를 들어 CR-LSP를 기반으로 하는 트래픽 엔지니어링에서 망 위상 정보를 제공하는 링크 상태 프로토콜은 필수 조건이다.

두 번째는 기본 경로상에 있는 각각의 노드들은 그 기본 경로에 대한 Egress 노드까지의 경로 정보를 가지고 있다고 가정한다. 이 경로 정보는 MPLS 시그널링 (예, CR-LDP, RSVP) 메시지에서 쉽게 추출될 수 있다. 예를 들어 그 경로 정보는 CR-LDP 프로토콜의 'Path Vector' 또는 'Explicit Route'의 정보에서 추출될 수 있다. 앞으로 그 경로 정보에 있는 각각의 노드를 'Splicing 노드 후보자'라고 하겠다. 그림 3에서 기본 경로의 일부가 LSR61-31-32-33-3-4일 때, LSR31에서의 'Splicing 노드 후보자'는 LSR32, LSR33, LSR3, LSR4이며, LSR32에서의 'Splicing 노드 후보자'는 LSR33, LSR3, LSR4이다.

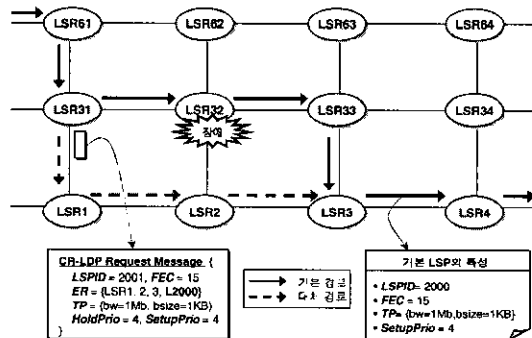


그림 3. 최소 비용인 대체 LSP 설정

#### 2. 제안하는 경로 복구 기법

본 논문에서 제안하는 경로 복구 기법은 동적 설정 및 지역적 복구 방식이다. 일반적으로 동적 설정 방식의 가장 큰 단점은 대체 LSP를 설정하는데 많은 시간이 걸린다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 기법은 가능한 대체 경로 중에서 비용이 최소인 대체 경로를 계산한 후, 그 경로를 따라서 대체 LSP 설정한다. 본 기법에서 대체 경로

는 다음과 같이 설정된다.

① 장애를 탐지한 노드는 'Splicing 노드 후보자' 중 에서 최소 비용으로 기본 LSP와 연결 (splicing) 될 수 있는 'Splicing 노드'를 찾은 후 그 노드 까지의 경로를 계산한다. 예를 들어 그림 3에서 LSR32가 장애이고 홉 수에 기반하여 비용을 계 산한다고 가정할 때, 그 장애를 탐지한 LSR31 은 'Splicing 노드'로써 LSR3을 선택할 것이다. 왜냐하면, LSR31에서 LSR3까지의 홉 수는 3으 로써 'Splicing 노드 후보자'중에서 가장 작은 비용이기 때문이다.

② 장애를 탐지한 노드는 ①에서 선택된 'Splicing 노드'까지 기본 LSP와 연결되도록 대체 LSP를 설정한다. 대체 LSP의 설정 시, MPLS 시그널링 메시지는 그 'Splicing 노드'까지의 경로 정보와 기본 LSP의 정보를 사용하여 만들어진다. 예를 들어, 그림 3에서 장애를 탐지한 LSR31은 대체 LSP를 설정하기 위하여 CR-LDP Request 메시 지를 보낸다. 이때, CR-LDP Request 메시지내 의 ER은 LSR1-2-3-L2000이다. LSR1-2-3은 ① 에서 계산된 'Splicing 노드' (즉, LSR3)까지의 경로 정보이다. L2000은 기본 LSP의 LSPID (LSP Identifier)이며 기본 LSP와 연결하기 위하 여 사용된다. 또한 CR-LDP Request 메시지내의 TP (Traffic Parameter) 및 Setup Priority와 Holding Priority도 기본 LSP의 정보를 사용하 여 만들어 진다

③ 대체 경로가 설정되면 기본 경로상의 트래픽은 대체 경로로 보내진다. 그림 3에서 LSR32가 장 애일 때 트래픽은 LSR31-1-2-3을 따라서 전송된 다. 만약 대체 LSP의 설정이 실패면, ①로 간다.

제안된 기법을 간단히 정리하면 그림 4와 같다. 노드가 장애/혼잡이라는 이벤트를 탐지하면, 그 노 드는 최소 비용인 대체 경로를 구한 후 그 경로를 따라서 새로운 대체 LSP를 설정하는 방식을 사용하 여 기본 LSP상의 트래픽을 보호한다. 만약 노드가 장애/혼잡이 복구되었다는 이벤트를 탐지하면, 그 노드는 트래픽을 다시 기본 LSP로 전송하며 설정되 어 있는 대체 LSP를 해제한다.

그림 5는 기본 경로상에서 존재할 수 있는 가능 한 모든 대체 경로 중에서 최소 비용인 대체 경로 를 구하는 알고리즘이다. 즉, 장애를 탐지한 노드가 기본 LSP와 연결될 'Splicing 노드 후보자들' (SplicingNodeCandidates 변수)중에서 가장 비용이

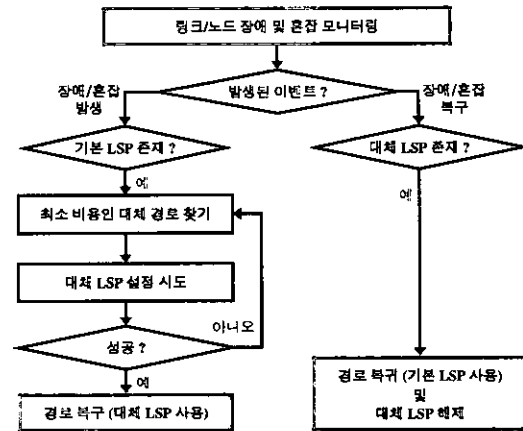


그림 4. 경로 복구 절차

```

procedure Least-Cost-Backup-Path (SrcNode, SplicingNodeCandidates, TParam)
// SrcNode : 고려할 탐지한 노드 //
// SplicingNodeCandidates : 기본 경로상만 있는 SrcNode의 다른 노드들의 리스트 //
// TParam : 기본 LSP의 트래픽 파라미터 //

least_cost ← ∞
best_backup_path ← nil
for ( each Splicing_Node of SplicingNodeCandidates ) do
  backup_path ← Get-CR-Path(SrcNode, Splicing_Node, TParam)
  cost ← Get-Cost(backup_path)
  if ( cost ≤ least_cost ) then
    best_backup_path ← backup_path
    least_cost ← cost
  else
    break
end
return best_backup_path
end Least-Cost-Backup-Path
    
```

그림 5. 최소 비용인 대체 경로 계산 알고리즘

작은 'Splicing 노드' (Splicing\_Node 변수)를 선택 하고 그 노드까지의 경로를 계산하는 알고리즘이다. 이 알고리즘의 리턴 값은 최소 비용인 대체 경로의 ER 정보이다.

알고리즘에서, Get-CR-Path() 함수는 장애 탐지 노드에서 특정 'Splicing 노드 후보자'까지 트래픽 파라미터 (TParam 변수)를 만족하는 경로를 계산하 는 함수로써, Widest-Shortest Path 알고리즘<sup>[14]</sup>, Shortest-Widest Path 알고리즘<sup>[15]</sup>, Shortest-Distance Path 알고리즘<sup>[16]</sup>과 같은 기존의 QoS 알고리즘을 사용하여 쉽게 구현될 수 있다. Shortest-Widest는 사용자가 요구한 제약 조건을 만족하는 경로 중에 서 대역폭이 가장 큰 경로를 선택하고 이런 경로가 여러 개 있을 경우에는 홉 수가 가장 작은 경로를 선택하는 알고리즘이며, Widest-Shortest는 사용자가 요구한 제약 조건을 만족하는 경로 중에서 홉 수가 가장 작은 경로를 선택하고 이런 경로가 여러 개 있을 경우에는 대역폭이 가장 큰 경로를 선택하는

알고리즘이다. 그리고 Shortest-Distance는 대역폭의 역수를 링크 비용으로 정의하고 이 비용들의 합이 최소인 경로를 선택하는 알고리즘이다.

Get-Cost() 함수는 여러 개의 후보 경로들 중에서 가장 비용이 작은 경로를 선택할 목적으로, 경로의 총 홉 수 (또는 총 지연 시간)에 근거하여 비용을 계산하는 함수이다.

본 논문에서 제안된 기법은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 높은 자원 효율성 : 본 기법은 동적 설정 방식으로 장애가 발생하지 않는 한 대체 경로를 위한 어떠한 자원도 미리 예약하지 않는다. 또한 장애가 발생했다라도 최소 비용인 대체 경로를 사용함으로써 최소한의 자원만을 할당한다.
- 빠른 경로 복구 : 본 기법에서는 가능한 대체 경로 중에서 최소 비용인 대체 LSP를 설정하므로 비교적 빠른 경로 복구를 수행할 수 있다.
- 대체 경로의 보호 : 본 기법은 지역적 복구 방식으로 대체 LSP도 보호할 기본 LSP로 간주할 수 있으므로 기본 경로 뿐만 아니라 대체 경로상의 트래픽도 보호할 수 있다.
- 장애 위치와 상관 없는 성능 : 본 기법에서는 최소 비용인 대체 LSP를 설정하므로 장애 위치와는 상관없이 거의 일정한 성능을 갖는다. 기존의 기법들은 장애가 발생한 위치에 따라서 성능의 변화가 심한 문제점이 있다. 따라서 MPLS 보호 영역이 크면 클수록 기존의 기법들은 성능이 나빠지지만 본 기법은 성능에서 거의 관계가 없다.

그러나, 본 논문에서 제안된 기법은 여러 개의 노드들 모두가 동시에 장애인 동시 발생 장애 (concurrent fault)에서는 성능이 좋지 않은 문제점을 가지고 있다. 장애인 노드들의 수가 늘어날 수록 최소 비용인 대체 경로 계산 시에 필요한 망 위상 정보가 더 부정확해지기 때문에, 이로 인하여 잘못된 대체 경로가 계산될 것이다. 따라서 대체 LSP 설정할 때 실패할 확률이 높기 때문에 몇 번의 시도가 수행될 수도 있다.

#### IV. 실험 및 성능 평가

##### 1. 실험 도구

본 논문에서 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 MNS (MPLS Network Simulator)<sup>[17]</sup> 시뮬레이터를 사용하였다. MNS 시뮬레이터는 버클리 대

학이 중심이 되어 개발한 NS (Network Simulator)<sup>[18]</sup>상에서 동작하며, MPLS의 레이블 스위칭 기능 및 CR-LDP 프로토콜이 구현되어 있으며, ER-LSP의 설정뿐만 아니라 CR-LSP의 설정도 지원한다. 본 논문에서는 MNS 시뮬레이터를 확장하여 Haskin, Makam, Chen, Yoon, 그리고 본 논문에서 제안된 기법을 각각 구현하였다.

##### 2. 실험 환경

현재 대부분의 망 사업자들은 Ingress 노드와 Egress 노드간의 전송 지연 시간이 80ms를 초과하지 않도록 백본망을 구성한다<sup>[7]</sup>. 또한 초고속 통신망에서는 계층적 트리 형태의 망 보다는 mesh 형태의 망이 더 적합하다고 한다<sup>[9]</sup>. 그래서 MPLS 보호 영역내의 전송 지연을 80ms로 하여 그림 6과 같은 5x5 메쉬 형태의 MPLS 실험 망을 구성하였다.

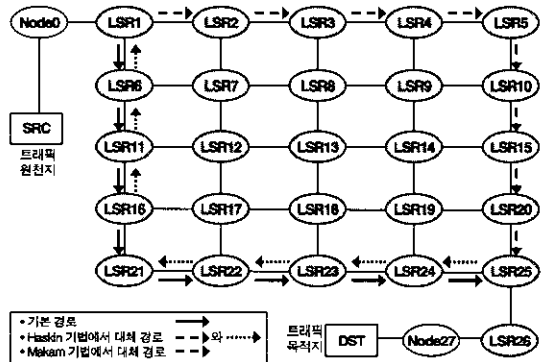


그림 6. MPLS 실험 망

그 MPLS 실험 망에서 각 링크는 2Mbps의 대역폭과 10ms의 지연, 그리고 CBQ 큐를 가지고 있다. Node0와 Node27은 IP 노드이고, 그 외는 MPLS 노드이다. Node0에는 트래픽 생성 에이전트인 SRC가 탑재되며, 256byte의 UDP 패킷을 초당 1Mbit/s로 생성한다. Node27에는 트래픽의 목적지 에이전트인 DST가 탑재된다.

본 실험에서는 장애 발생 및 장애 복구의 알림을 위해서 CR-LDP Notification 메시지를 사용하였고, 라우팅 프로토콜로써 OSPF 프로토콜을 사용하였다. 또한 장애 탐지 노드에서 특정 'Splicing 노드 후보자'까지 QoS를 만족하는 가장 좋은 경로를 계산할 목적으로 QOSPF (Quality of Service Path First) 프로토콜에서 사용되고 있는 Widest-Shortest Path 알고리즘<sup>[14]</sup>을 구현하였고, 그 구해진 경로의 비용은 홉 수에 근거하여 산출하였다.

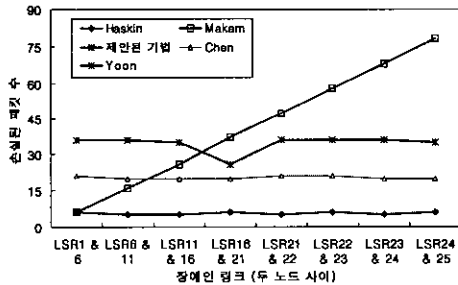
### 3. 성능 분석 및 평가

[20]에서는 MPLS 복구 기법들의 성능을 평가하기 위하여 패킷 손실, 패킷 재순서 (Packet Re-ordering), 그리고 장애 탐지 시간과 같은 몇 가지 측정 기준을 정의하였다. 본 실험에서는 장애 탐지 시간은 각 기법들이 모두 동일하다고 가정하고 패킷 손실과 패킷 재순서 그리고 자원 효율성을 측정 기준으로 삼았다.

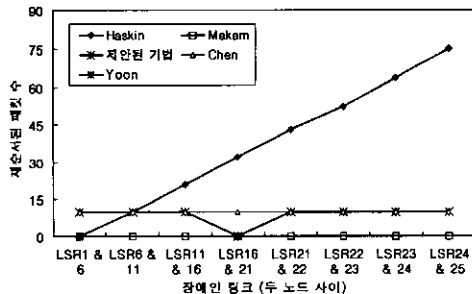
본 논문에서는 다음과 같은 네 가지 장애 상황을 고려하여 실험하였다.

- 기본 경로상의 링크 장애
- 기본 경로상의 노드 장애
- 기본 경로 및 대체 경로상의 노드 장애
- 기본 경로상의 동시 발생 장애

또한 기본 경로상의 보호할 트래픽에 대한 QoS 서비스로서 최선형 서비스와 보장형 서비스 두 가지를 고려하였다.



(A) 패킷 손실 비교



(B) 패킷 재순서 비교

그림 7. 최선형 서비스에서 링크 장애

그림 7은 최선형 서비스가 제공되고 있는 상황에서 기본 경로상의 링크가 장애인 경우에 각 기법들 간의 성능 비교이다. 그림 7-(A)는 장애인 링크의

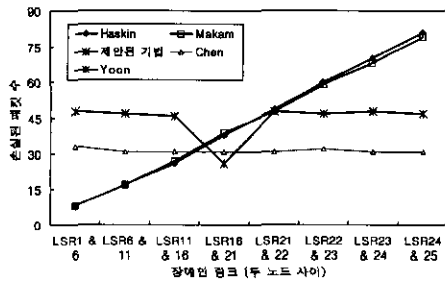
위치에 따른 손실된 패킷의 수를 측정한 그림이다. 그림 7-(A)에서 보듯이 Haskin 기법은 패킷 손실이 거의 없지만 Makam 기법은 장애가 발생한 링크의 위치가 Ingress LSR에서 멀어질 수록 장애 알림 경로의 길이가 더 길어지기 때문에 더 많은 패킷이 손실되고 있다. 제안된 기법은 그림 7-(A)에서 보듯이 대체 LSP를 설정하는데 걸리는 시간 때문에 패킷이 손실되는 문제가 있지만, 손실되는 패킷의 양은 장애가 발생한 링크의 위치와 상관없이 거의 일정한 특징을 보이고 있다. 전체적으로 볼 때, 본 기법은 Haskin 기법과 Chen 기법보다는 성능이 떨어지지만, Yoon 기법과는 성능이 동일하며 Makam 기법보다는 비교적 성능이 더 우수하다.

그림 7-(B)는 장애인 링크의 위치에 따른 재순서된 패킷의 수를 측정한 그림이다. 2장에서 설명한 바와 같이 Makam 기법은 재순서 문제가 발견되지 않았지만, Haskin 기법은 장애가 발생한 링크의 위치가 Ingress LSR에서 멀어질 수록 재순서된 패킷의 수가 증가하는 문제점을 가지고 있다. 제안된 기법은 재순서 문제가 발생했지만 재순서된 패킷의 수는 장애가 발생한 링크의 위치와 상관 없이 적고 일정한 것을 볼 수 있다. 전체적으로 볼 때, 본 기법은 Makam 기법보다는 성능이 떨어지지만, Yoon 기법과는 성능이 동일하며 Chen 기법과 Haskin 기법보다는 비교적 더 우수한 성능을 갖고 있다.

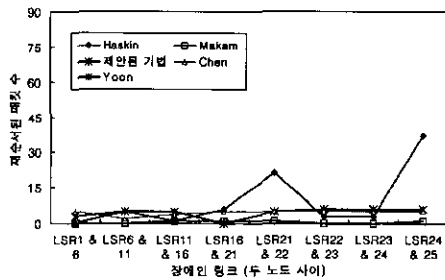
그림 7을 종합해서 평가하면, 제안된 기법은 동적 복구 기법임에도 불구하고 기존의 Haskin과 Makam 기법과 성능에서 거의 비슷하다. 또한 Haskin과 Makam 기법은 MPLS 보호 영역이 커질수록 (즉, Ingress LSR과 Egress LSR사이의 링크의 수가 증가할수록) 전체 평균 성능은 떨어지지만 본 기법은 MPLS 보호 영역의 크기와 상관 없이 일정한 성능을 갖는다. 따라서 MPLS 보호 영역이 커질수록 상대적으로 기존의 기법보다 더 우수한 성능을 가질 수 있다.

그림 8은 보장형 서비스가 제공되고 있는 상황에서 기본 경로상의 링크가 장애인 경우에 각 기법들 간의 성능 비교이다. 그림 8에서 Haskin 기법을 제외한 나머지 기법들의 성능은 최선형 서비스에서의 실험 결과인 그림 7과 거의 비슷하다. 그러나 Haskin 기법은 그림 7-(A)에서 보여지지 않았던 패킷 손실문제가 발생하였다. 그 이유는 링크 장애가 복구되고 난 후에는 트래픽의 전송 경로가 대체 경로에서 기본 경로로 전환되는데 그 순간부터 일정 시간동안 Egress LSR은 기본 경로상의 트래픽과

대체 경로상에 남아있는 트래픽들을 동시에 모두 받게 된다. 이것이 최선형 서비스에서는 패킷 재순서 문제로 나타났지만, 보장형 서비스에서는 예약된 대역폭이상 (즉, 거의 두 배의 대역폭)으로 전달된 트래픽을 Egress LSR이 모두 삭제하므로 패킷 손실 문제로 나타났다. 그 결과로서 그림 8-(B)에서 보여지듯이 재순서된 패킷의 수가 그림 7-(B)와 비교할 때 현저하게 감소하였다. Haskin 기법에서 장애가 발생한 링크의 위치가 Ingress LSR에서 멀어질수록 패킷 손실이 증가한 이유는 대체 경로의 길이가 더 길어져서 그 대체 경로상에 남아있는 패킷의 수도 또한 더 많기 때문이며, 따라서 더 많은 패킷들이 손실된다.



(A) 패킷 손실 비교



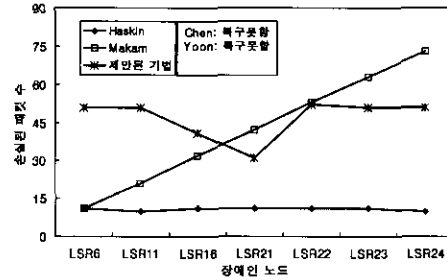
(B) 패킷 재순서 비교

그림 8. 보장형 서비스에서 링크 장애

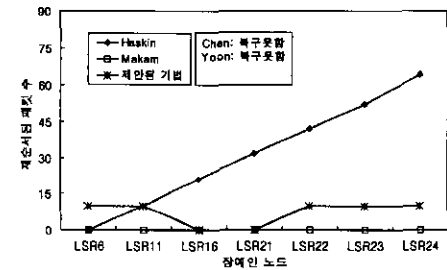
그림 8을 종합해서 평가하면, 본 기법은 보장형 서비스가 고려될 경우에는 Haskin 기법과 Makam 기법보다도 더 우수한 성능을 갖으며, 또한 그림 7에서와 마찬가지로 본 기법은 MPLS 보호 영역의 크기가 커질수록 Haskin 기법과 Makam 기법보다 상대적으로 더 좋은 성능을 발휘할 수 있다.

보장형 서비스가 고려될 경우에는 패킷 재순서 문제가 패킷 손실 문제를 일으킨다는 것을 그림 8을 통해서 확인할 수 있었다. 경로 복구를 빠르게 한다는 것은 손실된 패킷의 수가 적어야 할뿐만 아니라 재순서된 패킷의 수도 적어야 한다는 것을 알

수 있다. 따라서 최선형 서비스에서 실험 결과로도 도출된 손실된 패킷의 수와 재순서된 패킷의 수만으로도 보장형 서비스에서의 실험 결과를 유추할 수 있으므로 이후부터는 보장형 서비스에 대한 실험은 생략한다.



(A) 패킷 손실 비교



(B) 패킷 재순서 비교

그림 9. 최선형 서비스에서 노드 장애

그림 9는 최선형 서비스에서 노드가 장애인 경우에 각 기법들간의 성능 비교이다. 그림 9-(A)와 그림 9-(B)는 각각 장애인 노드의 위치에 따른 손실된 패킷 수와 재순서된 패킷 수를 측정하는 그림이다. 그림 9에서 보듯이, Haskin 기법과 Makam 기법은 링크 장애인 경우와 성능면에서 거의 비슷하다. 그러나 Chen 기법과 Yoon 기법은 링크 장애 시에는 상당히 좋은 성능을 보여주었지만, 그림 9에서 보듯이 노드 장애 시에는 대체 경로를 설정할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

본 기법은 링크가 장애인 경우에 비해서 성능이 약간 떨어졌는데, 그 이유는 노드 장애인 경우가 링크 장애인 경우보다 일반적으로 설정해야 할 대체 LSP의 경로가 더 길기 때문이다. 그러나 여전히 본 기법은 패킷 손실면에서는 Makam 기법보다 우수하고, 패킷 재순서면에서 Haskin 기법보다 우수하다.

그림 10은 노드가 장애인 경우에 대체 경로를 위해 할당된 자원에 따른 각 기법들간의 성능 비교이다. 자원은 레이블, 대역폭, 버퍼 등을 의미한다. 그



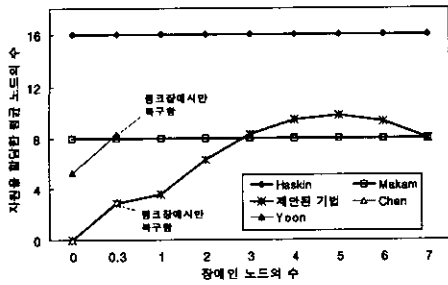


그림 10. 대체 경로를 위해 할당된 자원 : X축에서 0.3은 링크장애를 의미함

림 10에서 보듯이 본 논문에서 제안된 기법이 자원 효율성에서 가장 우수하다. Haskin 기법과 Makam 기법은 장애에 상관없이 대체 경로를 위한 자원을 미리 예약하지만, 제안된 기법은 장애가 발생할 때만 자원을 할당하며 장애인 노드가 증가하더라도 많은 자원을 요구하지 않는다. 두 Chen 기법과 Yoon 기법은 모두 링크 장애 시에만 복구를 지원한다. Chen 기법은 반 동적 설정 방식이므로 장애가 발생하기 전에도 어느 정도의 자원 (즉, 레이블)은 할당한다.

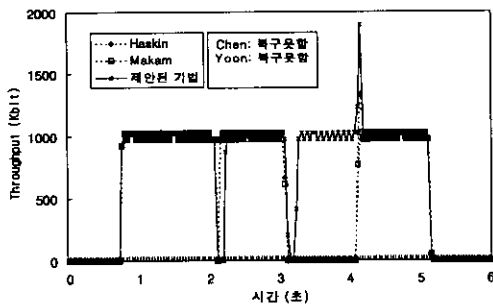
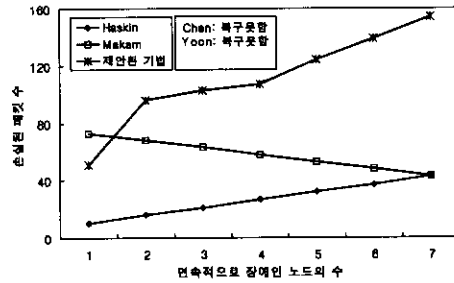


그림 11. 기본 경로와 대체 경로의 장애

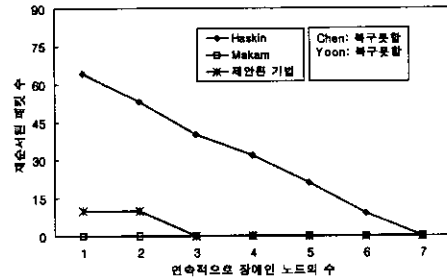
그림 11은 기본 경로와 대체 경로상에 노드 장애가 발생한 경우에 Throughput을 측정된 결과이다. 실험에서 2.0초에 기본 경로상의 한 노드에 장애를 발생시켰으며, 또한 3.0초에 대체 경로상의 한 노드도 장애를 발생시켰다. 그리고 4.0초에 그 두 장애를 모두 복구 시켰다. 실험 결과에서 보듯이 제안된 기법만 대체 경로가 장애인 3.0초와 4.0초 사이에도 트래픽을 보호하고 있다.

그림 12는 동시 발생 장애인 경우에 각 기법들간의 성능 비교이다. 그림 12-(A)는 Egress LSR에서부터 연속적으로 장애인 노드의 수에 따른 손실된 패킷의 수를 측정한 그림이다. Chen과 Yoon 기법은 노드 장애인 경우와 마찬가지로 경로 복구를 하

지 못한다. 그림 12-(A)에서 보듯이, Haskin 기법과 Makam 기법은 장애인 노드들의 수가 증가하더라도 큰 영향을 받지 않는다. 특히, Makam 기법의 성능은 장애인 노드들의 수보다 장애인 노드의 위치에 더 큰 영향을 받고 있다.



(A) 패킷 손실 비교



(B) 패킷 재송신 비교

그림 12. 동시 발생 장애

본 연구에서 제안된 기법은 3장에서 설명한 바와 같이 장애인 노드의 수에 비례하여 성능이 떨어진다. 특히 장애인 노드가 5보다 큰 경우에 많은 패킷들이 손실되는 문제가 있다. 그러나 기본 경로상의 7개 노드 중 5개 이상의 노드가 장애라는 것은 전체 MPLS 망이 매우 불안정하다고 볼 수 있으며, 이는 곧 최악의 상황을 의미한다. 이런 상황이 발생할 확률은 매우 드물 것이며, 또한 이런 상황에서는 기본 경로뿐만 아니라 대체 경로 상의 노드들이 장애일 확률도 매우 높을 것이다. 따라서 이런 최악의 상황에서 기본 경로와 대체 경로가 동시에 장애일 때 그 장애를 복구할 수 없는 기존의 기법들에게도 치명적일 것이다.

그림 12-(B)는 Egress 노드에서부터 연속적으로 장애인 노드의 수에 따른 재송신된 패킷의 수를 측정한 그림이다. 그림 12-(B)에서 보듯이, 본 논문에서 소개한 모든 기법들은 성능에서 장애인 노드들의 수에 거의 비례하지 않는다. 특히, Haskin 기법의 성능은 장애인 노드들의 수보다 장애인 노드의

표 1. 복구 기법들간의 성능 비교

특징		기법	Haskin	Makam	제안된 기법	Chen	Yoon
설정 방법			정적 설정	정적 설정	동적 설정	반 동적 설정	동적 설정
복구 방법			지역적 복구	전역적 복구	지역적 복구	지역적 복구	지역적 복구
복구 단위			링크/단대단	링크/단대단	링크/단대단	링크	링크
최선형서비스	패킷 손실		⊙	△	○	링크 장애 시 성능 우수	링크 장애 시 성능 우수
	패킷 재순서		△	⊙	○		
보장형서비스	패킷 손실		△	△	○		
	패킷 재순서		○	○	○		
자원 효율성			△	○	⊙	노드 장애 시 복구 못함	노드 장애 시 복구 못함
두 기본 경로와 대체 경로상의 장애			X	X	⊙		
MPLS 보호 영역 크기에 따른 성능			△	△	○		
기본 경로상의 동시 발생 장애			○	○	△	X	X

⊙:좋음 ○:보통 △:나쁨 X:지원못함

위치에 더 큰 영향을 받고 있다.

실험 결과를 정리하면 표 1과 같다. Chen과 Yoon 기법은 비록 링크 장애 시에는 상당히 좋은 성능을 갖고 있지만, 노드 장애와 동시 발생 장애에서는 트래픽을 보호할 수 없는 치명적인 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 기법은 동시 발생 장애인 경우를 제외한 나머지 부분에서는 기존의 기법 (즉, Haskin과 Makam 기법)보다 성능이 비슷하거나 좋은 것을 볼 수 있다.

### V. 결론

MPLS 망에서 링크/노드 장애 및 혼잡이 발생하더라도 보호할 트래픽에게 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 기존에 제안된 경로 복구 기법들의 장단점을 분석하였고, 비용이 최소인 대체 경로를 계산한 후 그 대체 경로를 따라서 대체 LSP를 설정하는 동적 복구 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 링크 장애, 노드 장애, 동시 발생 장애, 그리고 대체 경로 장애에 대하여 각각 시뮬레이션 하였다. 패킷 손실과 패킷 재순서, 그리고 자원 효율성을 성능의 측정 기준으로 삼았다.

실험 결과, 제안된 기법은 동시 발생 장애 문제에서는 다른 기법들 보다 좋지 않았지만, 패킷 손실 및 패킷 재순서에서 기존의 기법들보다 나쁘지 않으면서도, 기존의 기법들이 지원할 수 없었던 기본 경로와 대체 경로가 모두 장애인 경우에도 대처할 수

있었으며, 자원 효율성에서 성능이 크게 우수했다.

본 논문에서 제안한 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 분석해 볼 때, 본 기법은 MPLS 보호 영역의 규모가 크고 대체 LSP를 위한 통신망이 분리되어 있지 않은 MPLS 망에서 사용될 경우 다른 기존의 기법들 보다 더 월등한 성능을 발휘할 것으로 기대 된다.

마지막으로 본 논문에서 제안한 알고리즘은 최소 비용인 대체 경로를 구하기 위해 기존의 여러 QoS 알고리즘들 중 하나를 그대로 이용한다고 했는데, 그 각 알고리즘에 따른 본 기법의 성능 평가를 향후 연구 과제로 남긴다.

### 참고 문헌

- [1] Daniel O. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," IEEE Communications Magazine, Dec. 1999, pp. 42-47.
- [2] Eric C. Rosen, Arun Viswanathan, Ross Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," Internet Draft, April 1999.
- [3] R. Callon et al., "A Framework for Multiprotocol Label Switching," Internet Draft, Sep. 1999.
- [4] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, "LDP Specification," RFC 3036, January 2001.
- [5] B. Jamoussi, O. Aboul-Magd, et al., "Constraint-Based LSP Setup using LDP,"

Internet Draft, Feb. 2001.

[6] V. Sharma, B. Crane, S. Makam, K. Owens, et al., "Framework for MPLS Based Recovery," Internet Draft, July 2001.

[7] Dimitry Haskin, Ram Krishnan, "A Method for Setting an Alternative Label Switched Paths to Handle Fast Reroute," Internet Draft, May 2000.

[8] Changcheng Huang, Vishal Sharma, Srinivas Makam, Ken Owens, "A Path Protection/ Restoration Mechanism for MPLS Networks," Internet Draft, July 2000.

[9] Fiffi Hellstrand, Loa Andersson, "Extensions to CR-LDP and RSVP-TE for setup of pre-established recovery tunnels," Internet Draft, Nov. 2000.

[10] Sriganesh Kini, Murali Kodialam, T.V. Lakshman, Curtis Villamizar, "Shared backup Label Switched Path restoration," Internet draft, Nov. 2000.

[11] Li Mo, "General Considerations for Bandwidth Reservation in Protection," Internet draft, July 2000.

[12] Thomas M. Chen and Tae H. Oh, "Reliable Services in MPLS," IEEE Communications Magazine, Dec. 1999, pp. 58-62.

[13] Sangsik Yoon, Hyunseok Lee, et al., "An Efficient Recovery Mechanism for MPLS-based Protection LSP," Joint 4th IEEE International Conference on ATM (ICATM 2001), Seoul, Korea, April 2001, pp. 75-79.

[14] G. Apostolopoulos, D. Williams, S. Kamat, R. Guerin, A. Orda, and T. Przygienda, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions," RFC2676, August 1999.

[15] Z. Wang and J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications," IEEE JSAC, 14(7):1228-1234, Sep. 1996.

[16] Q. Ma and P. Steenkiste, "On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees," In Proc. of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), Oct. 1997.

[17] Gaeil Ahn and Wookik Chun, "Design and Implementation of MPLS Network Simulator

Supporting LDP and CR-LDP," IEEE International Conference on Networks (ICON2000), Singapore, Sep. 2000, pp. 441-446.

[18] UCB/LBNL/VINT, "ns Notes and Documentation," July 1998, URL: <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>.

[19] 신해준, 김영탁, "ATM/B-ISDN에서의 서비스 유형에 따른 예비 VPs를 이용한 자동복구 정책," 한국통신학회 논문지, 제25권, 제5B호, 850-858 쪽, 2000년5월.

[20] Loa Andersson, Brad Cain, Bilel Jamoussi, "Requirement Framework for Fast Re-route with MPLS," Internet Draft, June 1999.

안 개 일(Gaeil Ahn)

정회원



1993년 2월 : 충남대학교  
컴퓨터공학과 졸업  
1995년 2월 : 충남대학교  
컴퓨터공학과(공학석사)  
2001년 8월 : 충남대학교  
컴퓨터공학과(공학박사)

2001년 3월~현재 : 한국전자통신연구원  
<주관심 분야> MPLS, QoS 서비스, 트래픽 엔지니어링, PBNM, Network Security

전 우 직(Wookik Chun)

정회원



1982년 2월 : 서울대학교  
컴퓨터공학과 졸업  
1989년 2월 : 델라웨어대학교  
(미국) 전산학과  
(공학석사)  
1992년 2월 : 델라웨어대학교  
전산학과 (공학박사)

1984년~1987년 : 한국전자통신연구원  
1992년~1993년 : 한국전자통신연구원  
1993년 4월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 부교수  
2000년 4월~현재 : (주)라오넷 대표이사  
<주관심 분야> MPLS, QoS 서비스, 트래픽 엔지니어링, 홈 네트워킹, NAT (Network Address Translation)