

# 집성 트리를 이용한 MPLS 그룹 복구

이길흥<sup>†</sup>

## 요약

본 논문에서는 집성 트리를 이용한 MPLS 복구 방안을 제시한다. MPLS에서 장애 복구를 위한 효과적인 방안으로, 다수의 노드에서 하나의 목적지 노드로 향하는 집성 트리를 통해 장애가 생긴 경로를 목적지 노드별로 그룹 복원하는 방안을 제시한다. 집성 트리는 하나의 노드에서 보낸 메시지가 복수의 노드에게로 전달되는 멀티캐스트 트리와 반대로, 복수의 노드에서 하나의 목적지 노드를 향해 정보가 전달되는 데이터 전달 트리이다. 실험을 통해 집성 트리를 이용한 그룹 복구 방안은 기존의 단일 복구 방안과 비교하여, 보다 빠른 속도로 복구함을 확인할 수 있었다.

## A MPLS Group Restoration using an Aggregation Tree

Kil-Hung Lee<sup>†</sup>

### ABSTRACT

This paper suggests MPLS restoration method that use an aggregation tree. For the restoration of the MPLS network, this paper presents a scheme that reconstruct multiple path through aggregation tree that grow from many node to a target node. Contrary to a multicast tree where a message that send at one node is passed to a group of node, an aggregation tree is a tree that data is passed from many node to one destination node. Through an experiment we confirmed that the restoration scheme that uses aggregation tree shows faster speed comparing with the existing other restoration scheme.

**Key words:** MPLS Restoration(MPLS 복구), Aggregation Tree(집성 트리)

### 1. 서론

인터넷에는 다양한 종류의 많은 멀티미디어 트래픽이 존재하며, 미디어의 발달로 트래픽의 양이 급속으로 성장하고 있다. 인터넷에서 많은 트래픽을 효율적으로 처리하기 위한 많은 기술이 계속적으로 요청되고 있다. 또한, 현재의 인터넷은 기본적으로 서비스의 질을 보장할 수 없는 비연결형의 서비스이다. 인터넷과 같은 백본 환경에서 안정적인 서비스의 제공과 효율적인 데이터의 처리를 위해 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 방식이 도입되어 왔다[1]. 연결형 데이터 서비스인 MPLS의 도입에 따라 인터넷

의 많은 트래픽의 안정적인 데이터 서비스가 가능해졌고, 그에 따라 서비스의 질이 한층 높아졌다.

MPLS는 인터넷 백본 등에서 동일한 목적지의 라우터로 향하는 같은 종류의 트래픽을 같은 라벨을 가지는 연결지향의 LSP(Label Switched Path)를 통해 처리하는 고속의 데이터 전송 기술이다. 입구노드에서 출구노드까지의 경로는 사전 예약 방식으로 혹은 실시간으로 데이터가 발생시에 온라인으로 설정될 수 있다. 비연결 지향의 IP 데이터가 LSP를 통해 서비스되는 경우, 데이터의 유형에 따라 동일한 방식으로 처리되므로 고속 및 QoS(Quality of Service)의 손쉬운 처리가 가능해졌다. 또한, 백업 LSP를 통해

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이길흥, 주소 : 서울특별시 노원구 공릉2동 172(139-743), 전화 : 02)970-6704, FAX : 02)977-9441, E-mail : khlee@snut.ac.kr

접수일 : 2006년 10월 23일, 완료일 : 2007년 1월 22일  
<sup>†</sup>종신회원, 서울산업대학교 컴퓨터공학과

작업 LSP를 복원할 수 있는 다양한 방안을 통해, 안정적이고 지속적인 데이터의 서비스의 제공 가능성이 더욱 높아질 것이다.

노드나 링크의 단절 혹은 연결의 품질 저하에 따른 서비스의 복원 방안은 보통 장애 복원은 보호(Protection)와 복구(Restoration)의 두 가지 방식이 존재한다. 보호 방안은 사전에 준비된 백업 경로를 통해 장애 발생 시 신속히 작업(working) 경로를 복원하는 방식이다. 복구는 사전에 준비된 경로가 없는 상태에서 장애 발생 시 백업 경로를 실시간으로 찾아 경로를 복원한다. MPLS 보호 방식에서는 작업 LSP에 대해서 같은 QoS를 가지면서 링크나 노드 분리된 백업 LSP를 사전에 혹은 작업 LSP를 만들 때 설정한다. 이후에 작업 LSP에 서비스의 품질 저하나 링크 혹은 노드의 장애로 인한 오류 발생 시, 보호 경로로의 신속한 전환을 통해 서비스가 계속 유지된다. MPLS 복구에 의한 방식에서는 장애 발생시 적절한 대체 LSP를 실시간으로 찾고, 새로운 LSP를 통해 기존의 데이터 서비스를 복원한다.

집성 트리(Aggregation Tree)는 하나의 노드에서 보낸 메시지가 복수의 노드에게로 전달되는 멀티캐스트 트리(Multicast Tree)와 반대로, 복수의 노드에서 하나의 노드로의 데이터가 전달되는 데이터 전달 트리이다. USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경에서, 많은 노드에서의 각종 자료 데이터는 집성 트리를 통해 중앙 노드로 모여진다[2].

본 논문에서는 집성 트리를 이용하는 새로운 MPLS 복구 방식을 통해 장애로 중단된 기존 작업 경로를 새로운 대체 경로로 전환하는 서비스 복구 방안을 제시한다. 제안 방안의 알고리즘을 소개하고 기존 방안과의 비교를 통해 제안방안의 타당성을 제시하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존의 제시된 몇 가지 복구 방안에 대해 알아본다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 집성 트리 복구 방안 및 복구 알고리즘을 소개한다. IV장에서는 실험을 통해 제안 방안의 특성을 살펴보고 V장에서 결론을 맺겠다.

## 2. MPLS 복구 방안

현재 보호나 복구 방안은 다양한 수준에서 다양한 방법이 존재하지만 MPLS 복구 방안은 하부의 WDM

이나 SONET에서의 복구 방식에 비해 보다 세밀한 수준에서 복구를 수행하고, 상위 계층의 IP 수준에서 하지 못하는 연결 경로를 통해 연결의 QoS(Quality of Service)를 만족하면서도 안정적인 데이터의 복구가 가능하다[3-5].

MPLS에서의 보호는 작업 LSP에 대해서 백업 LSP를 사전에 미리 해당 LSR(Label Switching Router)에 설정해야 한다. 오프라인에서 작업 경로와 백업 경로를 계산하고, 이 경로를 따라 설정 메시지를 보내 경로를 설정한다. 이후 서비스의 질이 저하되거나 장애가 생길 경우, PSL(Path Switch LSR)은 빠른 시간에 작업 LSP를 백업 LSP로 전환한다. 백업 경로를 통해 서비스된 트래픽은 PML(Path Merge LSR)에서 작업 경로와 합쳐지거나 MPLS 도메인을 빠져 나간다[6]. MPLS의 복구는, 백업 LSP가 장애 탐지 이후 CR-LDP (Constraint-Based Routed Label Distribution Protocol)나 OSPF-TE (Extensions to RSVP for LSP Tunnels) 등을 통해 설정되고, 작업 트래픽이 새로운 복구 경로로 전환된다[7,8]. 또한, 복구 경로가 어떻게 구성되느냐에 따라 종단(end-to-end) 복구와 지역(local) 복구로 분류할 수 있다. 복구 경로의 구성을 연결의 종단 간에 새로 설정할 수도 있고, 장애가 발생한 지역에서 연결의 종단으로 새로운 링크를 구성하는 방안도 있다. 복구 경로의 효율성과 비용에 따라, 사전에 정해진 중간 노드에서 종단으로의 복구 경로를 찾아 복구하는 방법도 있다. 대체 경로를 통한 복구 방안의 경우, 효율적인 비용을 갖는 빠른 복구 알고리즘이 제시되어 있다[9,10]. 이 방안에서는 각각의 연결에 대해 최적의 경로를 찾아서 각각 복구되어 복구 시간이 길어질 수 있다.

[11]에서의 방식은 장애가 발생한 노드에서 지역 복구 방식으로 대체 경로를 찾는 경로 재설정에 의한 복구 방안이다. [5]에서는 QoS 온라인 라우팅 방식을 통해 다양한 수준에서 멀티레벨로 백업경로를 정하고, 장애 시 다양한 경로로 백업을 수행하는 모델을 제시했다. 이 모델은 트래픽의 QoS 수준에 따라 모든 가능한 노드들 사이에 백업경로를 정하여 지역 및 종단 백업 방식을 함께 사용하는 방식이다. 백업을 효율적으로 할 수 있지만 백업 경로를 정하는 일이 복잡해지고 백업을 위해 노드들이 가지는 정보의 양이 많아진다.

### 3. 집성 트리를 이용한 복구 방안

집성 트리는 망 내의 많은 노드에서 하나의 노드로 향하는 데이터 전달 트리이다. 이 트리는 하나의 노드에서 보내진 데이터가 복수개의 노드로 전달되는 멀티캐스트 트리와는 반대의 방향을 갖는다. 멀티캐스트 트리를 양방향으로 구성하고, 반대 방향의 연결을 응답 데이터 전송 및 복구를 위한 집성 트리로서 이용할 수도 있겠다. 여기서는 집성 트리를 멀티캐스트 트리와 별도로 독립적으로 구성된다는 가정 하에 논의하겠다.

#### 3.1 집성 트리 구성

집성 트리는 다수의 노드로부터 하나의 노드로 향하는 연결의 집합이다. 이 집성 트리를 통해 다수의 노드에서 보낸 메시지가 하나의 노드로 집약된다. 이 트리는 단방향으로서, 반대 방향으로의 연결은 지원하지 않는다. 하나의 노드에서 다수의 노드로의 메시지 전달을 위한 연결은 멀티캐스트 트리를 이용해야 한다. 멀티캐스트 트리과 집성 트리는 같이 운영되면 효율적이나 반드시 같이 연동될 필요는 없을 것이다.

집성 트리는 다양한 방식으로 구성할 수 있다. 최단 경로 집성 트리 (Shortest Path Aggregation Tree, SPAT)는 다수의 노드로부터 목적지 노드로의 가장 짧은 거리를 보장하는 트리이다. 최대 용량 집성 트리 (Largest Bandwidth Aggregation Tree,

LBAT)는 복수개의 노드로부터 목적지 노드로 향하는 가장 많은 밴드폭을 지원하는 트리이다. 각각의 방식은 복구 경로를 정하는데 있어서 장단점이 존재한다.

##### 3.1.1 최단 경로 집성 트리 알고리즘

타겟(target) 노드는 자신의 모든 이웃 노드로 메시지를 방송(broadcasting)한다. 방송 메시지는 메시지를 보내는 노드(s) 와 전달된 노드의 깊이(d), 트리의 가용 용량( $B_i$ )이 포함되어 있다. 이 방송 메시지를 수신한 노드들은 특정 타겟을 향한 최소 경로 집성 트리를 위해 다음과 같은 알고리즘을 수행한다.

##### 3.1.2 최대 용량 집성 트리 알고리즘

타겟 노드는 자신의 모든 이웃 노드로 메시지를 방송한다. 이 방송 메시지를 수신한 노드들은 특정 타겟을 향한 최대 용량 집성 트리를 위해 다음과 같은 알고리즘을 수행한다.

#### 3.2 집성 트리를 이용한 복구

복구 절차는 3 단계를 통해 이루어진다. 1 단계에서는 트리를 복원한다. 단절된 링크가 트리의 상위 노드일 경우 트리를 먼저 복원한다. 2 단계에서는 복원된 트리를 따라 연결 복구를 위한 새 연결과 용량을 확보한다. 마지막 단계에서는 새로이 구성한 연결을 통해 단절된 연결을 복구한다.

1. 수신 메시지의 시퀀스 번호가 특정 타겟(s)으로부터 이미 수신한 번호이면 메시지를 저장한 후 종료한다.
2. 특정 타겟으로의 최단 경로를 알리는 메시지가 들어온 링크를 예비 타겟 방향으로 설정한다. 계속해서 n번 이상의 타겟 방향이 같은 링크이면, 트리의 부모를 해당 링크에 연결된 노드로 지정한다.
3. 부모 노드로부터 수신된 메시지를 수신 링크를 제외한 나머지 링크로 플러딩(flooding)한다. 플러딩 메시지에선 깊이(d)를 하나 증가시키고, 가용 밴드폭( $B_i$ )을 부모로 향하는 링크의 최대 여유 용량( $B_{p,a}$ )이하로 줄여 준다. ( $B_i = \min(B_i, B_{p,a})$ )

그림 1. SPAT 트리 구성 알고리즘

1. 수신 메시지의 시퀀스 번호가 특정 타겟(s)으로부터 이미 수신한 번호이면 메시지를 저장한 후 종료한다.
2. 특정 타겟으로의 수신된 메시지 중에서 가용 밴드폭( $B_i$ )이 가장 큰 링크를 타겟 방향으로 설정한다. 계속해서 n번 이상의 타겟 방향이 같은 링크이면, 트리의 부모를 해당 링크에 연결된 노드로 지정한다.
3. 부모 노드로부터 수신된 메시지를 부모 링크를 제외한 나머지 링크로 방송한다. 방송 메시지에선 깊이(d)를 하나 증가시키고, 가용 밴드폭( $B_i$ )을 부모로 향하는 링크의 최대 여유 용량( $B_{p,a}$ )이하로 줄여 준다. ( $B_i = \min(B_i, B_{p,a})$ )

그림 2. LBAT 트리 구성 알고리즘

복구를 위한 집성 트리의 구성 방안은 크게 2 가지가 있다. 한 가지 방법은 집성 트리를 실제 물리적으로 구현하는 방법이다. 이 경우는 트리를 복원하고 복원된 트리의 용량을 조정한 다음 바로 단절된 연결을 복구하는 방안이다. 이 방안은 망 내의 모든 스위치에서 복수 입력을 하나의 출력으로 보내는 구성을 지원해야 한다. 스위치의 지원 및 용량을 할당해야 하므로 비용이 비싸지나 속도가 빠른 방안이다. 두 번째 방안은 집성 트리를 논리적으로 구현하는 방안이다. 이 경우 실제 물리적 트리 연결은 이루어지지 않고, 가상적으로 경로 정보만을 노드들이 가지고 있다. 본 논문에서는 논리적 연결을 지원하는 두 번째 방안으로 실험을 통해 그 성능을 다루었다.

집성 트리를 이용한 복구는 다음과 같은 단계를 통해 구현된다.

(1) 단계 1 : 트리 복원

노드 혹은 링크 장애가 발생하면 장애를 감지한 이웃 노드는, 장애로 인해서 단절된 각각의 연결에 대해서 해당 연결의 목적지로의 집성 트리를 점검한다. 각 연결의 목적지로 향하는 링크가 목적지의 집성 트리와 동일하지 않은 경우에는 집성 트리의 경로를 이용하여 바로 복구를 시작한다. 해당 목적지의 집성트리가 단절된 경우에는 주변의 다른 노드와 메시지를 교환하여 새로운 부모를 갖는 집성트리를 만들고, 만들어진 집성 트리를 통해 복구 경로를 구현한다.

(2) 단계 2 : 복구 연결 및 용량 확보

복구를 위한 다음 단계는 목적지로의 복구 연결 및 용량 확보 단계이다. 목적지로 필요한 용량에 대한 메시지를 보내면 목적지에서는 이를 목적지에서 여유 용량 내에서 이를 허락하고, 복구 노드는 집성 트리로 연결을 복원시킨다. 집성 트리를 통한 복원은 새로운 연결을 통한 터널링을 통해 구현된다.

링크의 단절을 확인한 노드는 트리의 복원 이후에 단절된 연결을 위한 용량 확보에 나선다. 각각의 목적지에 따른 복구를 위해 하나의 복구 메시지를 이용한다. 예를 들어, 특정 목적지 로의 단절된 연결이 10개 이고 필요한 용량이 10인 경우 하나의 메시지에 용량 10의 복구 메시지를 트리의 부모 노드로 통해 보낸다. 복구 메시지를 받은 트리의 부모 노드는 해당 트리의 부모 노드로 향하는 링크의 여유 용량을 보고, 가능한 용량만을 확보한 뒤에 부모 노드로 메시지를 전달한

다. 트리 부모 노드로의 여유 용량이 복구 메시지에 나타난 용량보다 작은 경우에는 복구 메시지의 요구 용량을 줄여서 메시지를 트리의 부모 노드로 올려 보내고, 이를 트리의 자식 노드로 알린다.

(3) 단계 3 : 연결 복원

복구 요청 메시지가 최종적으로 목적지 노드에 이르면, 목적지 노드로부터 응답 메시지가 트리를 타고 노드를 따라 요청 노드로 응답 메시지를 통해 되 돌아온다. 응답 메시지에 최종적으로 확보된 용량이 나타나 있고, 이 용량으로 수용 가능한 연결이 새롭게 구성된 연결을 통해 복구된다. 복구 연결은 기존의 복수 연결을 터널링을 통해 새로운 연결로의 매핑(mapping)을 통해 구현된다.

복구 연결 및 용량 확보 단계에서 선택적으로 복구를 시작하는 노드와 목적지 노드 사이에 복구 용량을 예약할 수 있다. 이러한 행동은 가능한 용량을 먼저 예약하고, 부족한 용량에 대한 복구는 다른 방안을 통해 해결하도록 미리 조치하도록 하기 위함이다. 중간에 용량이 모자라거나 경로를 구성하기 어려운 경우에는 복구 응답 메시지에 오류 코드를 통해 메시지를 되돌려준다. 용량이 부족한 경우에, 메시지에 용량 변경 허용이 가능한 경우에만 변경 사항을 응답 메시지로 되돌려 보내고 요청 메시지는 목적지 노드로 계속 진행한다. 최종적으로 목적지 노드에서는 성공 혹은 실패의 응답 메시지로 요청 노드로 되돌려 보낸다.

## 4. 시뮬레이션 결과 분석

### 4.1 실험환경

실험 망은 25개와 50개의 노드로 이루어진 두 가지의 망으로 실험하였다. 실험 패키지는 복구 알고리즘을 구현한 프로그래밍을 통해 독립적 방식으로 직접 구현하였다. 복구 알고리즘은 SPAT (Shortest Path Aggregation Tree) 알고리즘과 LBAT (Largest Bandwidth Aggregation Tree) 알고리즘을 구현하였다. 작업 경로는 용량을 만족하는 최단 혹은 고용량 링크로 구성하여 설정한다. 장애는 망 내에서 하나의 링크 장애에 대한 실험을 하였다. 장애 후에 원래의 연결로 전환하는 과정을 같이 분석하였다.

시뮬레이션 망을 그림 3에 보였다. 실험에서의 성능 지수는 복구 시간과 복구율, 데이터 손실률, 중

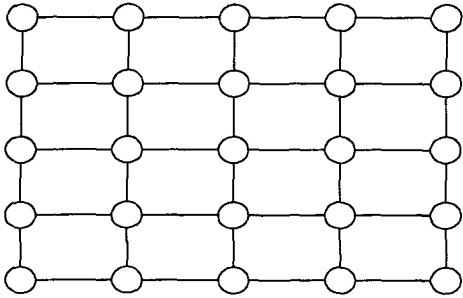


그림 3. 실험망

단 지연 및 재순서화에 대해 조사하였다[6]. 백본 망은 25개의 노드로 구성되어 있으며, 여기에 장애 테스트 링크에 100개의 시험용 연결을 구성하였다. 백본 노드의 각 링크의 지연은 10ms로 하였고, 각 연결의 용량은 100Kbps로 실험을 했다. 시뮬레이션 시간은 총 10초로 하고 백본의 핵심 링크인 중앙 링크에서 4000ms에 다운되고 7000ms에 복원되는 실험을 반복 측정하였다. 이 실험에서 고장 감지 시간과 장애 대기 (hold-off) 시간은 0으로 설정하였다. 실험 데이터는 반복 실험의 평균값 혹은 각 실험 데이터를 대표하는 표본값을 취하여 분석하였다.

4.2 실험결과

그림 4는 여러 복구 방안에 대한 시간에 따른 복구율의 비교이다. 4000ms에 하나의 링크가 단절이 되고, 복구를 시작한 이후로 집성 트리 방식 (AGT)에서 빠른 복구를 보여 준다. 이 방식에서 대략 200ms 이내에 모든 연결을 복구함을 알 수 있다. 다음으로 종단간 복구 방식 (ETE)의 특성 그래프가 오고, 마지막으로 로컬 복구 방식 (LTE)의 특성 그래프가 오를 수 있다.

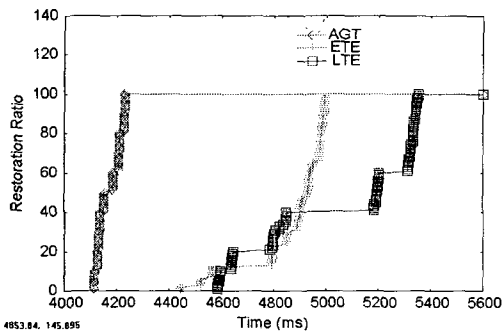


그림 4. 복구율 비교

[그림 5]와 [그림 6]은 하나의 MPLS 경로의 목적 지에서의 데이터 수신 및 지연 특성을 보여 준다. AGT의 특성이 [그림 5]에 나와 있고, LTE 방식의 수신 데이터 특성은 [그림 6]에서 보였다. AGT 방식에 의한 데이터 수신 특성이 LTE 방식에 비해 더 빠른 반응을 보여주고 있으며 그 차이는 [그림 4]의 복구율 결과와 관련이 있다. 7000ms에 단절된 링크가 복원이 되어, 우회 경로를 통한 종단 지연이 80ms로 높아졌다가 원래의 값인 55ms대로 복원됨을 알 수 있다.

[그림 7]은 여유 용량 대비 복구율의 특성을 보여 준다. 여유 용량이 증가함에 따라 복구율도 같이 증가할 것이다. 같은 여유 용량일 경우에는 ETE나 LTE 방식이 AGT 방식에 비해 좀 더 높은 복구율을 보여 준다. 60% 이상에서의 AGT 방식의 복구율은 ETE 방식과 같다. [그림 7]에서 트리의 용량 대비 복구율 저하는 트리 용량 이상의 경로를 ETE나 LTE로의 전환을 통해 실현해야 하지만, 실험에서는 이를 반영하지 않았기 때문이다. [그림 8]은 복구를 완료한 경로의 평균 길이를 보여준다. LTE 방식에서의

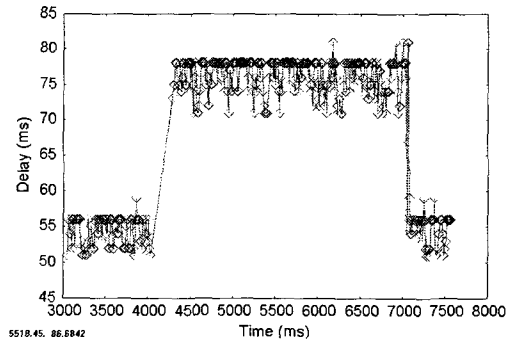


그림 5. AGT 수신 데이터 특성

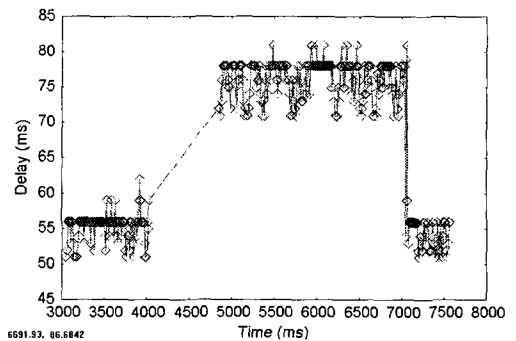


그림 6. LTE 수신 데이터 특성

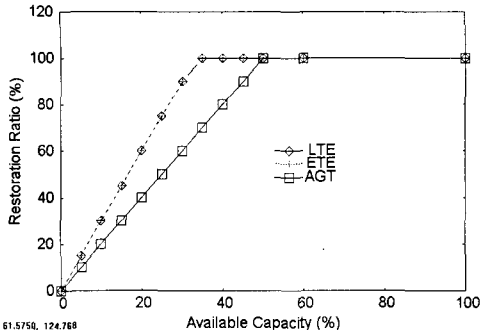


그림 7. 여유용량 대비 복구율

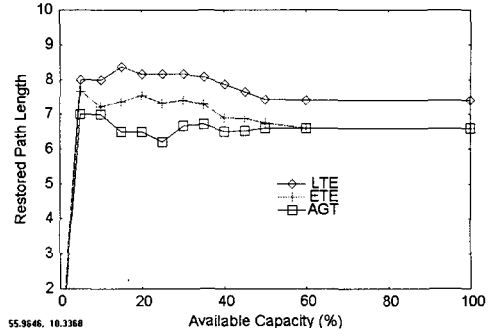


그림 8. 복구 경로 평균 거리

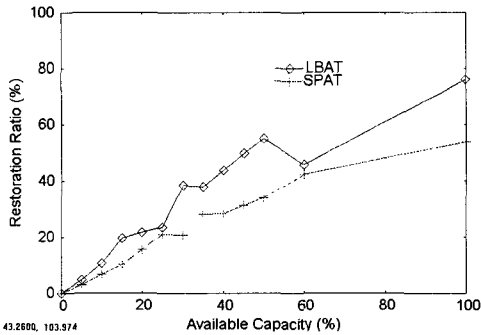


그림 9. AGT 복구율 비교

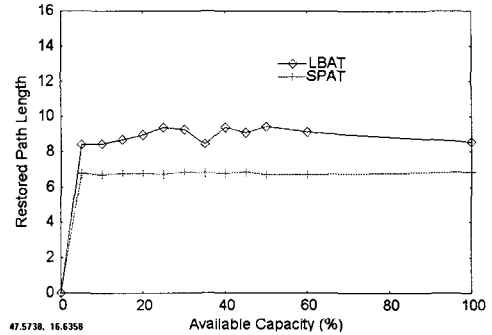


그림 10. AGT 복구 경로 거리 비교

복구 경로가 가장 길고, AGT 방식의 복구 경로가 가장 짧게 나타난다.

[그림 9]와 [그림 10]은 AGT 방식에서의 두 가지 방식의 차이를 보여주는 결과이다. 각 링크의 용량은 랜덤 값을 산출하여 배정하였고, 결과는 여러 번의 결과를 평균한 것이다. LBAT (Largest Bandwidth Aggregation Tree) 방식이 SPAT (Shortest Path Aggregation Tree) 방식보다 같은 여유 용량 환경에서 복구율이 더 높음을 알 수 있다. 반면에, 복구 경로의 평균 길이에서는 SPAT 방식이 좀 더 작은 복구 경로 특성을 보여 준다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 작업 경로의 트래픽을 대체 경로를 통해 복원하는 MPLS 경로 재설정 복구 방안을 제안 하였다. 제안 방안과 기존의 다른 복구 방안과의 시뮬레이션을 통한 실험 결과 집성 트리를 이용한 복구 방안이 훨씬 더 빠른 복구 성능을 보여 주었음을 확인할 수 있었다. 제안 복구 방식에서의 복구율 비교에서는 LBAT 방식이 좀 더 우수하고, 복구 길이에

서는 SPAT 방식이 조금 우수하지만 그 차이는 크지 않았다.

일반적으로 복구 방안은 보호 방안과 비교해서 망의 자원을 효율적으로 이용할 수 있다는 장점이 있는 반면에 성능 면에서 낮은 복구 특성을 가지고 있다. 제안 방식에 의한 복구 방안은 기존의 복구 방안에 비해 빠른 복구 성능을 가져다줄 수 있고, 링크장애 뿐만 아니라 노드의 장애 시에도 잘 적응할 수 있는 특성을 가지고 있다. 트리 유지를 위한 복잡성의 증가와 함께 복구비용이 상승 요인은 하나의 단점이라 할 수 있겠다. 결론적으로, 제안 방안은 복수 장애 및 복잡하고 큰 망의 선택적 복구에 있어서 효과적인 대안으로 사용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] R. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," *Draft, IETF RFC 3031*, Jan. 2001.  
 [2] Bidyut Gupta et al, "A Novel Fault Tolerant Protocol for Information Propagation in Sensor

- Networks," *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, Vol. 6 No. 7B, pp. 11-19, July 2006.
- [3] Greg Bernstein and Vishal Sharma, "Framework for MPLS-based Control of Optical SDH/OSNET Networks," *IEEE Network*, pp. 20-26, July/Aug 2001.
- [4] Qin Zheng and Gurusamy Mohan, "Protection Approaches for Dynamic Traffic in IP/MPLS-over-WDM Networks," *IEEE Optical Communications*, pp. s24-s29, May 2003.
- [5] Jose L. Marzo, "QoS Online Routing and MPLS Multilevel Protection: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, pp. 126-132, Oct 2003.
- [6] V. Shama and F. Hellstrand, "Framework for Multi-Protocol Label Switching (MPLS) - based Recovery," IETF RFC 3469, Feb. 2003.
- [7] D. Awduche, L. Beger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, and G. Swallow, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP tunnels," IETF RFC 3209, Dec. 2001.
- [8] Jamoussi, B. et al, "Constraint-Based LSP Setup using LDP," IETF RFC 3212, Jan 2002.
- [9] Kil-hung Lee and Jae-Soo Kim, "Alternate Path Restoration with Guaranteed Bandwidth," *Lecture Notes on Computer Science and Engineering (LNCS)*, Vol. 3981/2006, pp. 572-581, 2006. 5.
- [10] Hong, D.W.-K.; Choong Seong Hong; Dongsik -Yun, "A Hierarchical Restoration Scheme with dynamic Adjustment of Restoration Scope in an MPLS Network," *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2004 (NOMS 2004)* Vol. 1, pp. 191-204, Apr 2004.
- [11] Gaeil Ahn, "An Efficient Rerouting Scheme for MPLS-Based Recovery and Its Performance Evaluation," *Telecommunication Systems*, Kluwer Academic Publishers, pp. 481-495, 2002.



이길홍

1989년 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 1991년~1995년 LG정보통신연구소네트워크그룹  
 1999년 연세대학교 대학원 전기

컴퓨터공학과 (공학박사)

2000년~현재 서울산업대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 초고속통신망, 망관리, 에이전트 응용