

# MPLS 대체 경로 재설정과 복구

이 길 흥<sup>†</sup>

요 약

본 논문에서는 백업 경로 비용을 최소화하여 네트워크 자원을 효율적으로 사용하며 복구 성능을 높일 수 있는 MPLS 복구 방안을 제시한다. 기존의 다른 복구 방안과 달리, 제안 복구 방안에서의 복원 시도 절차는 작업 LSP 설정 시 정해진 특정 노드로부터 시작한다. LSP 설정 메시지가 작업 경로를 설정하면서 복구 비용을 산출하고 복구 시작 노드를 정해 준다. 그렇게 함으로써, 복구 속도가 빨라지고 망의 자원 활용도가 높아질 수 있다. 제안 방안을 시뮬레이션을 통해 기존의 다른 복구 방안 및 보호 방안과 비교하였다. 실험 결과 제안 방안이 비교적 적은 지연과 손실 특성을 가지면서 빠른 복구 성능을 보여줌을 확인하였다.

키워드 : MPLS, 보호 및 복구, 경로 재설정

## MPLS Alternate Path Rerouting and Restoration

Kil-Hung Lee<sup>†</sup>

ABSTRACT

We propose a new MPLS restoration scheme that uses network resources more efficiently and minimizes the backup path cost effectively. Contrary to other restoration strategies, the proposed restoration scheme starts the recovery action at the selected node of a working LSP. At LSP setup, the working and backup path cost is evaluated and the starting node of restoration is designated. By doing so, the restoration speed could be further increased and resource utilization could be maximized. We simulated the proposed scheme and compared with other restoration and protection schemes. The result shows that our scheme can provide fast restoration with acceptable delay and loss characteristics.

Key Words : MPLS, Protection and Restoration, Rerouting

### 1. 서 론

인터넷의 급속한 성장으로 많은 양의 데이터 트래픽이 네트워크를 가로질러 근원지에서 목적지까지 이동한다. 이러한 데이터에는 이메일, 웹, 파일전송 등 비실시간 데이터 트래픽 뿐만 아니라 음성 및 실시간 멀티미디어 트래픽 등 많은 종류의 데이터가 혼합되어 있다. 다양한 종류의 트래픽을 데이터의 형태에 따라 보다 효율적이고 체계적인 방법으로 처리하기 위하여 MPLS (Multi-Protocol Label Switching) 방식의 데이터 전송 방식이 인터넷에 도입되어 운영되고 있다. 또한, 서비스 데이터의 중요성과 함께 안정적인 데이터 서비스의 제공 필요성이 더욱 필요하게 되었다. 연결형 데이터 서비스인 MPLS의 도입에 따라 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 미리 정해지든가 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 작업 LSP를 복원할 수 있는 다양한 방안을 통해 안정적이고 지속적인 데이터의 서비스의 제공 가능성이 더욱 높아졌다.

노드나 링크의 단절 혹은 연결의 품질 저하에 따른 서비스의 복원 방안은 다양한 형태로 제시되고 발전되어 왔다. 보통 장애 복구는 보호 (protection)와 복구 (restoration)의 두 가지 방식으로 분류된다. 보호는 사전에 복구 경로를 정해놓고 장애 발생 시 이를 통해 신속히 복구하는 방식이다. 복구는 장애 발생 시 새로운 경로를 실시간으로 찾아서 복구한다. MPLS 보호 방식에서는 작업 LSP에 대해서 같은 QoS를 가

<sup>†</sup> 정 회 원 : 서울산업대학교 컴퓨터공학과 조교수  
논문접수 : 2004년 12월 30일, 심사완료 : 2005년 3월 11일

지면서 링크나 노드 분리된 LSP를 사전에 혹은 작업 LSP를 만들 때 준비한다. 이후에 작업 LSP에 서비스의 품질 저하나 링크 혹은 노드의 장애로 인한 오류 발생 시 보호 경로로의 신속한 전환을 통해 서비스가 유지된다. 복구에 의한 방식에서는 장애 발생시 적절한 대체 경로를 실시간으로 찾고, 새로운 경로를 통해 기존의 데이터 서비스를 계속 제공하는 방식이다.

본 논문에서는 새로운 MPLS 복구 방식을 통해 기존의 작업 경로의 일부를 새로운 대체경로로 전환하는 복구 서비스 방안을 제시한다. 제안 방안의 알고리즘을 소개하고 기존 방안과의 비교를 통해 제안방안의 타당성을 제시하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 복구 방안에 대해 알아 본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 제안방안의 실험을 통해 결과를 살펴보고 5장에서 결론을 맺겠다.

## 2. MPLS 복원 방식

보호나 복구 등을 통한 데이터의 백업경로는 다양한 수준에서 행해질 수 있다. 여기에는 WDM (Wavelength Division Multiplexing), SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network), ATM (Asynchronous Transfer Mode) /MPLS and IP (Internet Protocol) 수준 등 다양한 방법이 존재한다 [3], [4]. MPLS 복구 방안은 WDM이나 SONET 복구 방안에 비해 세밀한 수준에서 복구를 수행할 수 있으며, IP 수준에서 하지 못하는 연결 경로를 통해 QoS를 만족하면서도 안정적인 데이터의 복구가 가능하다.

MPLS에서의 보호는 작업 LSP에 대해서 백업 LSP를 사전에 미리 해당 LSR (Label Switching Router)에 설정해야 한다 [5], [6]. 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. 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]. 또한, 복구 경로가 어떻게 구성되느냐에 따라 글로벌 복구와 로컬 복구로 분류할 수 있다. 글로벌 복구는 작업경로의 종단간에 백업경로가 따로 존재하는 것이다. 로컬 복구는 고장이 생긴 노드나 링크 양단간을, 고장이 생긴 지역에서 경로를 찾아 복원하는 것이다.

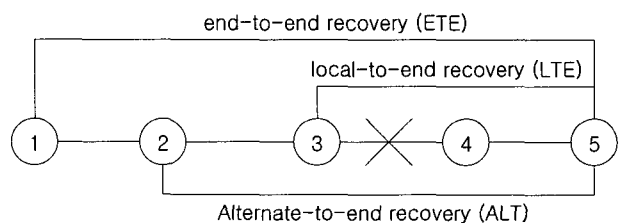
Makam의 보호 방안에서는 사전에 서로 분리된 작업 경로와 백업 경로를 설정한다. 작업 경로에서 에러가 발생한 경우, 이를 탐지한 노드는 FIS (Fault Indication Signal) 메시지

를 통해 입구노드로 이 사실을 알리고, 입구노드는 바로 트래픽을 백업 LSP로 바꾼다 [8]. 장애 발생부터 메시지가 전달되고 스위칭이 일어날 때까지의 트래픽은 손실된다. Haskin의 경우 ER-LSP (Explicitly Routed LSP)를 통해 작업 LSP를 설정하고, 작업 LSP와 동일 경로를 가지면서 반대 방향의 백업 LSP를 설정한다 [9]. 중간에 노드나 링크의 에러가 생기는 경우 데이터는 반대 방향의 백업 경로를 따라 이동하고, 입구노드에서 백업 경로를 통해 출구 노드로 데이터가 전달된다. 이 방식은 데이터의 손실을 최소화하지만, 데이터의 지연이 증가하고 네트워크의 용량 자원을 많이 소비하게 된다.

Ahngaecil의 방식은 장애가 발생한 노드에서 실시간으로 대체 경로를 찾는 경로 재설정에 의한 복구 방안이다 [10]. 장애를 감지한 노드를 Upstream-LSR로 정하고, 이 노드로부터 출구 노드에 이르는 노드들을 Candidate-LSR로 한 다음 upstream-LSR로부터 candidate-LSR로의 최소 비용의 경로를 계산하여 이들 중 최소비용을 갖는 경로로 트래픽을 복원한다. Marzo는 QoS 온라인 라우팅 방식을 통해 다양한 수준에서 멀티레벨로 백업경로를 정하고, 장애 시 다양한 경로로 백업을 수행하는 모델을 제시했다 [5]. 이 모델은 트래픽의 QoS 수준에 따라 모든 가능한 노드들 사이에 백업경로를 정하여 로컬 및 글로벌 백업 방식을 함께 사용하는 방식이다. 백업을 효율적으로 할 수 있지만 백업 경로를 정하는 일이 복잡하고 백업을 위해 노드들이 가지는 정보의 양이 많아진다.

## 3. 대체 경로 복구 방안

본 논문에서 제안하는 복구 방안은 경로 재설정을 통한 실시간 복구 방안이다. 경로 재설정 방식에서는 장애가 일어난 시점에 실시간으로 LSP 연결 메시지를 보내고 이를 통해 복구 경로를 찾아 트래픽을 우회 시켜주는 방식이다. 일반 경로 재설정 방안과 다른 점은 노드나 링크의 장애 시 장애가 발생한 바로 인접 노드에서 경로 재설정이 일어나지 않을 수도 있다는 것이다. 제안 경로 재설정 방안은 최소비용의 복구 경로를 갖는 대체 경로를 통해 기존의 작업 경로를 복구한다. 경로 재설정을 시작하는 노드는 처음 LSP를 설정할 때 결정된다.



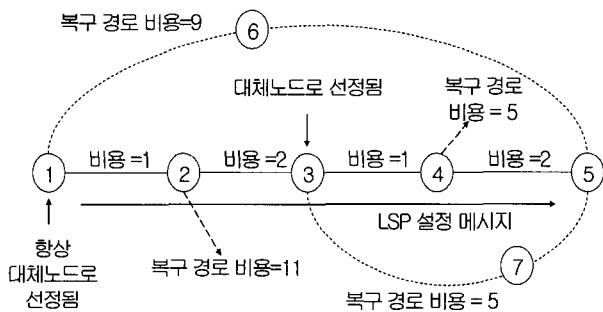
(그림 1) 목적지 (to-end) 지향 복구 전략

(그림 1)에서 세 가지의 다른 복구 전략을 보여준다. 노드 3과 4사이의 링크에 장애가 생겼다고 가정하자. 종단간

(ETE, End-to-End) 복구 전략은 입구노드 1로부터 출구 노드 5로의 새로운 경로를 이용한다. 보통의 복구 방식에서는 장애가 발생한 링크의 인접 노드인 노드 3에서 종단 노드로의 복구를 시작할 것이다. 이 방식을 국부-종단간 (LTE, Local-to-End) 복구 전략이라 하겠다. 대체경로 (ALT, Alternate-to-End) 복구방식에서는 지정된 노드에서 복구를 시작하게 된다. 복구를 시작하는 노드를 대체 노드라 하며, 이 노드는 장애가 발생한 위치에 따라 입구 노드, 장애 링크 인접 노드 혹은 경로 중간의 다른 노드가 될 수 있다.

3.1 대체 노드 선정 알고리즘

(그림 2)에서 노드 1에서 노드 5까지의 LSP를 설정한다고 하자. 이 경우 최소 비용 경로가 1-2-3-4-5라 가정하자. 이 경로가 정상 상태에서 트래픽을 나르는 작업경로가 될 것이다. 입구 노드는 항상 대체 노드로 선정된다. 따라서, 노드 1은 자신을 대체 노드로 설정하고 대체 경로 비용을 9로 하며 복구 경로의 다음 노드를 6으로 둔다. 이제, 노드 1은 복구 경로 비용을 9, 누적 작업경로 비용을 1로 하는 LSP 설정 메시지를 노드 2로 보낸다. LSP 설정 메시지를 받은 노드 2는 목적지 노드5로 향하는 작업 및 복구 경로를 계산한다. 노드 2를 통한 복구 경로 비용은 12로서, 이 값은 노드 1으로부터 온 메시지의 정보에 있는 9와 1의 값을 더한 값보다 크다. 따라서 노드 2는 자신을 대체 노드로 설정하지 않고 누적 경로 비용을 3(=1+2)으로 한 다음 LSP 설정 메시지를 노드 3으로 보낸다. 노드 3에서의 전체 백업 경로 비용이 8(=1+2+5)로서 이 값은 메시지에 있는 백업 경로 비용보다 적으므로 자신을 대체 노드로 설정하고 LSP 설정 메시지의 복구 비용을 8로 대체한다.



(그림 2) 작업 및 대체 경로 선정

이러한 과정이 출구 노드까지 계속된다. 최종적으로 두개의 대체 노드 1과 3이 선택 되었고, 장애 발생 시 이 노드 중 하나가 복구를 시작하게 된다. 노드 3과 5 사이의 노드 혹은 링크 장애 시 노드 3이 복구를 시작하고, 노드 1과 3 사이의 장애 발생 시 노드 1이 복구를 시작한다.

이러한 알고리즘을 다음과 같이 표현할 수 있다. 입구 노드 0에서 출구 노드 n으로의 최소 경로 비용을 갖는 작업 경로를

0-1-2-...-n 이라 하자. 그러면, 이 경로상에 있는 노드 k는 LSP 설정 메시지를 받은 경우 다음의 과정을 수행하게 된다.

Algorithm Receive\_Setup\_Message (k, egress node,  $C_b$ ,  $A_w(k)$ )

1. 자신의 노드 k가 출구 노드라면, LSP 응답 메시지를 보내고 종료한다.
2. 현재 노드 k로부터 출구 노드 n으로 향하는 최소 비용 경로를 찾고, 최소 경로상의 다음 노드 (k+1)을 찾는다.
3. 현재 노드 k로부터 (k+1)을 지나지 않고 출구 노드로 향하는 최소 비용 경로를 찾고 그 비용 ( $C_a(k)$ )을 계산한다.
4.  $C_b(k) = A_w(k) + C_a(k)$  로 두고,  $C_b(k) \leq C_b$  인지 검사한다. 그렇다면,  $C_b < C_b(k)$  로 설정하고, 현재 노드를 대체 경로로 설정한 다음 복구 경로상의 다음 노드를 저장한다.
5.  $A_w(k+1) = A_w(k) + C_l(k, k+1)$  을 계산한다.
6. LSP 설정 메시지를 노드 (k+1)로 보낸다. 그 결과 다음 노드의 Receive\_Setup\_Message((k+1), egress node,  $C_b$ ,  $A_w(k+1)$ )이 호출될 것이다.

여기에서

$C_b$  = 입구 노드로부터 출구 노드까지의 대체 복구 경로 비용

$A_w(k)$  = 입구 노드로부터 노드 k까지의 누적 작업 경로 비용

$C_a(k)$  = 노드 k로부터 출구 노드까지의 대체 복구 경로 비용

$C_b(k)$  = 노드 k에서 대체 경로를 이용한 복구 경로 비용

$C_l(k, k+1)$  = 노드 k와 노드 (k+1) 간의 링크 비용

3.2 노드 혹은 링크 장애 시 복구 절차

주변 노드나 링크의 장애가 발생하면, 자신의 노드를 지나가는 각각의 LSP에 대해서 자신이 대체 노드로 설정되었는지 확인한다. 특정 LSP에 대해서 자신이 대체 노드로 설정된 경우 LSP 설정 메시지를 대체 경로의 다음 노드로 보내 복구를 시작한다. 특정 LSP에 대해서 자신이 대체 노드로 설정되지 않은 경우는 해당 LSP의 입구노드 방향으로 장애 알림 메시지를 보낼 뿐 복구를 위한 다른 행위를 수행하지 않는다. 이 알림 메시지는 입구노드 방향으로 대체 경로 노드로 설정된 노드를 만날 때까지 계속 전달된다. 중간에 대체 경로 노드로 설정된 노드가 없다면 최종적으로 입구노드로 전달된다.

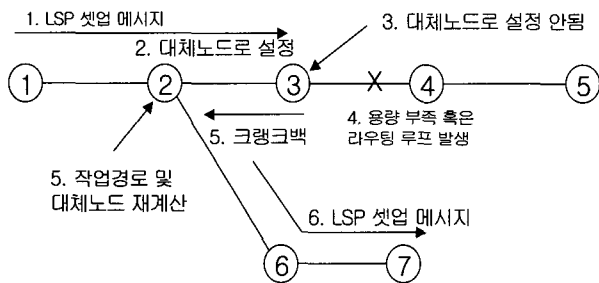
하나의 노드가 고장 알림 메시지를 수신하였는데 자신이 특정 LSP에 대해 대체 노드로 설정되어 있다면, 그 노드는 대체 경로의 다음 노드로 LSP 설정 메시지를 보내 복구 경로를 찾기 시작한다. 복구를 시작하는 노드가 고장이 생긴 노드나 링크의 주변 노드가 아닌 경우, 라우팅 테이블에 기초한

목적지로의 백업 경로는 고장이 발생한 작업 경로의 원래 방향과 같게 될 수가 있다. 이 경우 복구는 실패로 끝날 가능성이 있다. 이러한 현상은 라우팅 테이블에 고장이 생긴 정보가 아직 반영되지 않았을 때 발생할 수 있다. 따라서, 라우팅 테이블 정보에 기초하지 않고 초기 LSP 설정 시 설정된 대체 경로의 다음 노드로 LSP 복구를 위한 설정 메시지를 보내는 것이 중요하다.

고장이 생긴 노드나 링크의 인접 노드가 모든 LSP에 대해서 복구 절차를 시작하지 않는다. 즉, 복구 기능이 어느 정도 각각의 LSP에 대해 대체 노드로 지정된 다른 노드들에게 분산이 되는 효과가 있다. 또한, 대체 경로는 작업 경로의 고장을 고려한 또 다른 최소 비용의 경로이기 때문에 망의 링크 용량 사용을 최소화하여 전체 망의 자원을 최적화할 수 있다.

### 3.3 LSP 설정과 크랭크백

초기 LSP 설정 메시지 진행 시나 장애 복구시의 LSP 설정 메시지 진행 시에 링크의 용량 부족이나, 라우팅 에러 발생시에 메시지를 되돌려 보내게 된다 [11]. 되돌려진 메시지는 경로 재설정이 설정된 노드까지 돌아오고, 거기에서 다시 새로운 작업 혹은 복구경로와 새로운 대체경로를 찾아 다시 LSP 설정을 계속 수행한다. 장애 발생시의 복구 절차는 크랭크백의 한 형태라 볼 수 있다. 본 논문에서 크랭크백이 되돌아가는 위치는 대체 노드로 설정된 노드까지이다.



(그림 3) LSP 설정과 크랭크백

(그림 3)에서 LSP 설정 메시지는 최소 비용 경로를 따라 1-2-3-4로 진행한다고 하자. 노드 3에서 4로의 최소비용 경로가 용량 부족으로 더 이상 진행할 수 없다고 했을 때, 노드 3은 자신이 대체 노드로 지정되지 않았으므로 대체노드로 지정된 노드 2로 크랭크백 된다. 노드 2는 새로운 최소 비용 경로를 찾아 LSP 설정 메시지를 보내게 되는데, 이 경로는 바로 전에 계산되었던 대체 경로가 될 것이다. 전에 대체 경로의 다음 노드로 지정이 되었던 노드 6이 이제 작업 경로의 일부분이 되고, 최소 비용 경로와 대체 노드를 다시 계산하면서 설정 메시지는 계속해서 다음 노드로 진행될 것이다.

망의 상태는 시간에 따라 동적으로 변화한다. 트래픽의 흐름과 양이 변하고, 새로운 노드가 추가되고 활성화되며, 노드 혹은 링크가 예고 없이 장애를 유발할 수 있다. 이러한 상황

변경 시 처음 LSP 설정 시 지정했던 대체 노드 및 경로가 최적이지 아닐 수 있다. 따라서, 입구노드에서 출구 노드로 작업경로를 따라 이동하면서 새로운 대체 경로를 재계산 할 필요가 있다 [6]. 이를 위해, LSP 동작 중에 작업 경로를 통해 LSP 대체경로 업데이트 메시지를 통해 새로운 대체 경로 비용을 계산하고 대체 노드의 지정을 다시 수행할 필요가 있다. 대체 경로로 지정이 되는 노드는, LSP의 트래픽 정보와 대체 경로의 다음 노드 번호를 저장한다.

### 3.4 대체 경로 재설정 장려 방안

복구시간에 가장 중요한 영향을 주는 요소는 연결 요청 메시지와 이에 대한 응답 메시지가 전달되고 처리되는데 걸리는 시간이다. 이런 시간을 줄이기 위해서는 장애가 일어난 시점과 가까운 곳에서 경로 재설정을 수행하는 것이 좋다. 또는 정책적 요소에 의해서 중간 노드에서의 복구 절차를 억제하거나, 반대로 장려할 필요도 있을 것이다. 이러한 요소들을 반영하기 위해서 다음과 같은 복구 장려 비용을 알고리즘 계산식에 반영한다.

$$C_b(k) = A_w(k) + C_a(k) + \Delta \quad (1)$$

$$\Delta = \Delta_n(k) + \sum_l \Delta_l(m,n), \quad l \in \text{입구노드에서노드 } k \text{까지의작업경로상의링크} \quad (2)$$

여기서,

$\Delta$  = 경로 재설정 장려 비용

$\Delta_n(k)$  = 노드  $k$ 의 노드 장려 비용

$\Delta_l(m,n)$  = 노드  $m$ 과 노드  $n$  간의 링크의 링크 장려 비용

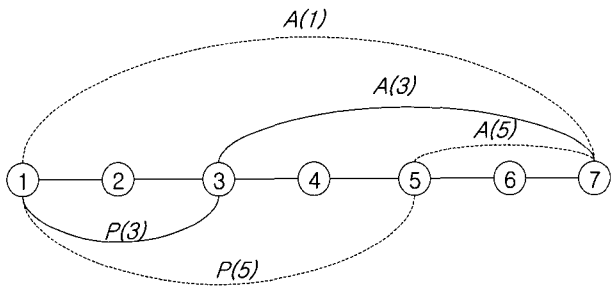
### 3.5 빠른 복구를 위한 보호 방안의 도입

복구 시간을 줄이기 위해서는 백업 경로를 미리 설정할 필요가 있다. 그렇게 하면 LSP 설정 시간이 줄어들게 되고 따라서 전체 복구 시간이 줄어들 수 있다. 보통, 백업 경로와 용량을 미리 할당하는 방식이 있고, 경로만 지정하고 용량은 나중에 실시간으로 찾는 방안이 있다 [12]. 본 논문에서 제시한 방안은 경로 재설정에 의한 복구 방식으로, 복구를 시작하도록 지정된 노드가 작업 경로 상에 최소한 하나 이상이 있다. 이들 노드 중에 일부 노드에서 미리 백업경로를 설정하여 장애 시에 이를 바로 이용하여 복구를 수행한다.

보통, 백업 경로는 작업 경로와 종단간에 노드 혹은 링크 분리된 형태를 갖는다. 하지만, 작업 경로와 백업 경로가 일부 노드를 공유하게 할 수도 있는데 이런 경우 일종의 세그먼트 보호 방안의 하나로 볼 수 있다 [13]. 이러한 방안은 종단간의 분리 경로 방안보다 빠를 수 있는데 왜냐하면 장애 알람 메시지의 전파 및 처리 시간을 줄일 수 있기 때문이다. 또한, 각각의 세그먼트 백업 경로는 다수의 백업 경로와 공유

될 수 있다. 따라서, 세그먼트 기반 복구 방안은 보호 망의 설계에 유연성을 줄 수 있다. 단점은 각각의 세그먼트에서 연결에 대한 많은 정보량을 유지해야 한다는 것이다. 본 논문에서 제시한 방안은 각각의 세그먼트가 망의 중간 노드에서 중단노드로의 세그먼트만을 허용한다는 점에서 일반적인 세그먼트 기법과는 차이가 있다.

본 논문에서 제안한 대체 경로 복구 방안에서는 각 LSP 당 하나 이상의 대체 노드가 존재할 수 있다. (그림 4)에서, 노드 1, 3 그리고 5가 대체 노드로 설정되었다고 하자. 만일 노드 1을 대체 보호 노드로 선정한다면, 백업 경로는 A(1)으로 구성될 것이다. 노드 3이 선택된다면, 백업 보호 경로는 P(3)와 A(3)로 이루어진 경로가 된다. 대체 보호 노드의 선정은 백업 경로 비용과 토폴로지를 같이 고려해야 할 것이다.



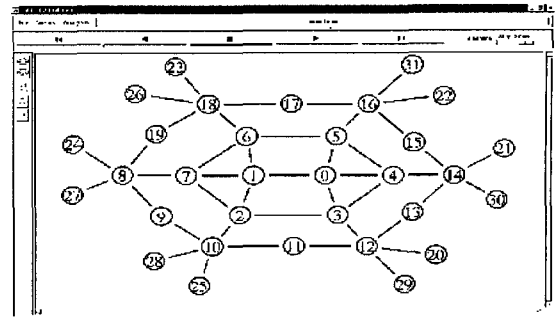
(그림 4) 백업 보호 경로 선정

비록 보호 경로가 준비 되더라도, 고장이 생긴 이후부터 장애 알림 메시지의 전파를 거쳐 최종적으로 백업 경로로 스위칭이 일어날 때까지의 기간 동안 데이터가 유실된다. 데이터의 손실을 줄이기 위해서는 Haskin의 방안처럼 역방향 LSP를 활용할 수 있다 [9]. 역방향 LSP는 LSP 설정 메시지를 처리하면서 같이 처리할 수 있다. 장애가 생긴 경우, 장애가 생긴 노드나 링크의 이웃 노드는 작업 경로의 데이터를 역방향 LSP로 데이터를 유턴시킨다. 대체 노드로 선정되지 않은 노드는 역방향 데이터를 입구 노드 방향으로 계속 전달시키고, 대체 노드로 선정된 노드에서 역방향 LSP 데이터를 백업 경로로 우회시켜 전달한다.

### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

#### 4.1 시뮬레이션 환경

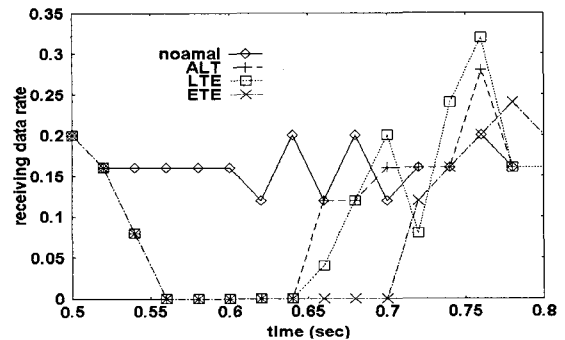
제안 복구 방안과 다른 복구 및 보호 방안을 네트워크 시뮬레이터 (network simulator, ns)를 통해 실험하였다. ns-2.27 안의 MPLS 패키지를 일부 수정하고 제안 알고리즘을 추가 구현하였다. 실험에서, 제안 방안인 대체 경로 복구 방안 (ALT)과 종단간 복구 방안 (ETE), 지역-종단간 복구 방안 (LTE) 간 비교 분석하였다. 또한, Makam의 보호 방안 [8], Haskin의 보호 방안 [9] 등을 같이 실험하였다.



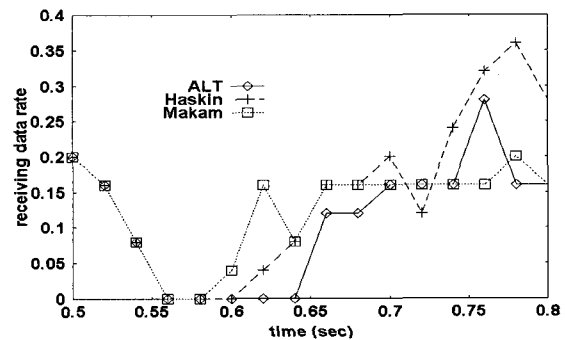
(그림 5) 시뮬레이션 망

시뮬레이션 망을 (그림 5)에 보였다. 실험에서의 성능 지수는 복구 시간과 복구율, 데이터 손실률, 중단 지연 및 재순서화에 대해 조사하였다 [2]. 백본 망은 19개의 노드로 구성되어 있으며 여기에 100개의 일반 중단 노드가 연결된 형태를 갖는다. 그림 5에서는 12개의 중단 노드만 보였다. 백본 노드의 각 링크의 지연은 10ms로 하였고, 각 링크의 용량은 2Mbps로 했다. 시뮬레이션 시간은 총 1초로 하고 백본의 핵심 링크인 노드 0에서 1로 가는 링크가 0.5s에 다운되고 0.6s에 복원되는 실험을 반복 측정하였다. 이 실험에서 고장 감지 시간과 장애 대기 (hold-off) 시간은 0으로 설정하였다. 실험 데이터는 각 실험 데이터를 대표하는 표본값을 취하여 분석하였다.

#### 4.2 실험 데이터 평가



(a) 복구 방안 비교

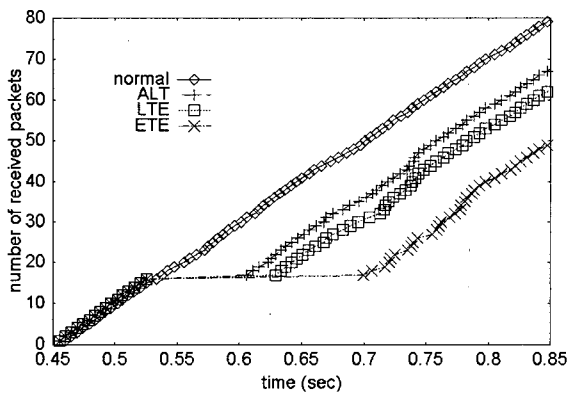


(b) 보호 방안과의 비교

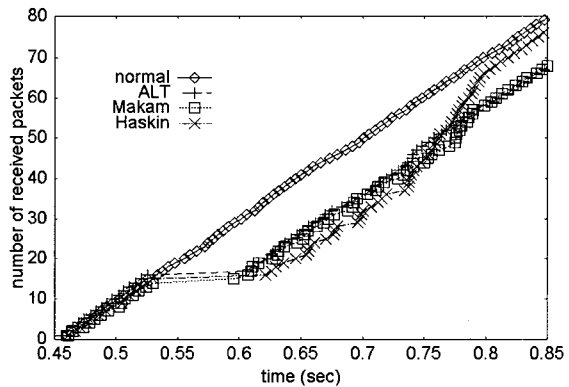
(그림 6) 수신 데이터율

(그림 6) (a)는 복구 방안의 데이터 목적지에서의 데이터 수신율이다. 정상 상태에서는 16% 정도의 링크 용량을 사용하고 있다. 0.5s 의 장애 발생 후 50ms 이후에 사용 용량이 0으로 떨어졌다. 백업 복구 이후 정상 상태로 복귀하는데, ALT, LTE 그리고 ETE 순으로 데이터의 수신율이 올라감을 알 수 있다. 0.75s 이후에는 데이터 수신율이 정상 상태의 수신율보다 훨씬 높은 상태로 올라가는 것을 볼 수 있는데, 이것은 복구 경로의 데이터와 원래의 경로로 복원한 데이터가 합쳐서 같이 들어오기 때문이다. (그림 6) (b)는 보호 방식과의 비교 그래프이다. Makam과 Haskin의 보호 방식이 복구 방식보다 더 빠른 반응을 보임을 알 수 있다.

(그림 7) (a)에서 보듯이 여러 복구 방안 중에서 ALT 방식이 ETE와 LTE 방식보다 적은 수의 데이터 유실을 보여준다. ETE 복구 방식이 가장 많은 수의 데이터 유실을 보이고, LTE는 중간 정도이다. 그 이유는 복원 속도가 ALT 방식이 빨라서 인데, 이는 복원률 성능에서 알 수 있을 것이다. (그림 7) (b)에서 보면 ALT 복구 방식은 Haskin이나 Makam의 보호 방식의 결과와 큰 차이를 보이지 않는다. Haskin의 방식에서 그래프의 뒷부분이 급격히 올라가는 것은 되돌려진 복구 데이터가 복원된 이후의 작업 경로 데이터와 같이 들어왔기 때문이다.



(a) 복구 방안 비교

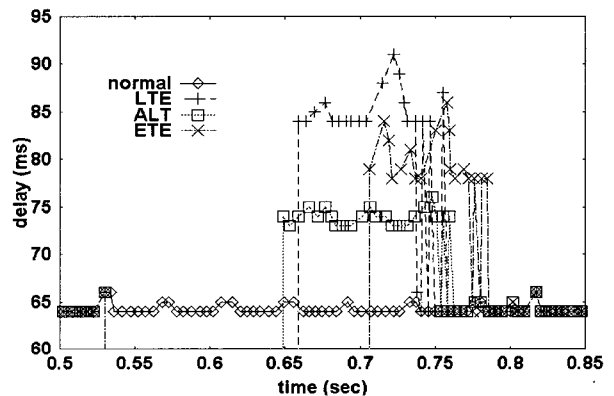


(b) 보호 방안과의 비교

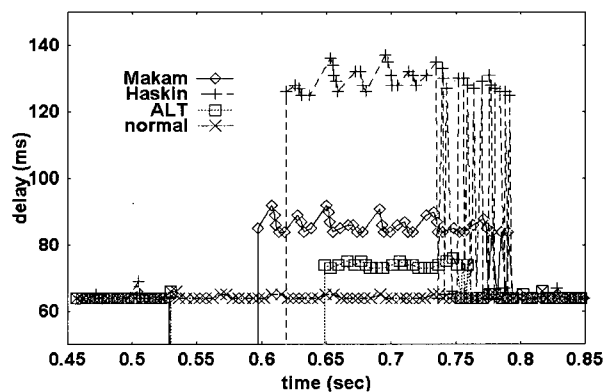
(그림 7) 누적 수신 데이터 패킷 수

(그림 8) (a)는 세가지 복구 방안의 지연 특성을 보여준다. 정상상태에서 종단간 지연은 대략 65ms이다. 복원 이후에 지연이 75-85ms 까지 증가하였다. 세 방식 중 ALT 방식의 지연이 가장 작은 것은 ALT 방식이 가장 최적의 경로를 찾았음을 의미한다. LTE 방식의 지연이 가장 길게 나오는 것은 LTE 방식이 세 방식 중 경로 지연면에서는 덜 최적이기 때문이다.

(그림 8) (b)에서, 보호 방안의 지연 특성은 ALT 복구 방안보다 길게 나온다. 이것은 보호 방식에서의 백업 경로를 작업 경로와 종단간 분리된 경로를 취하기 때문이다. 작업 경로와 백업 경로의 데이터 전달 지연차이가 클수록 재순서화 오프셋 값도 같이 증가한다. (그림 9)에서 볼 수 있듯이, Haskin과 Makam의 보호 복구 방안과 ETE 복구 방식의 재순서화 오프셋 값이 ALT 복구 방식보다 크게 나옴을 볼 수 있다. (그림 10)은 복구 방안의 복구 시간 특성을 보여준다. ALT 복구 방식이 LTE나 ETE 방식보다 빠른 복구 성능을 보여준다.



(a) 복구 방안 비교

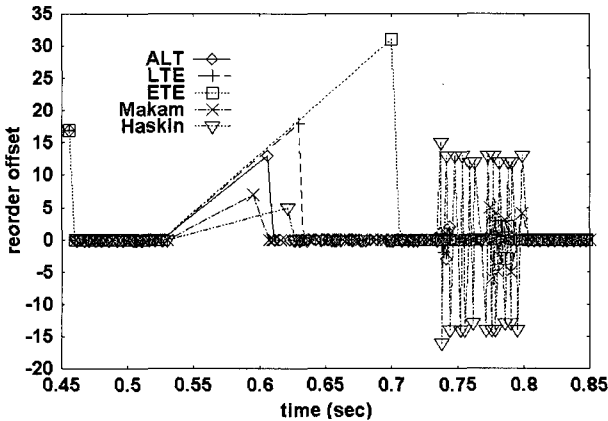


(b) 보호 방안과의 비교

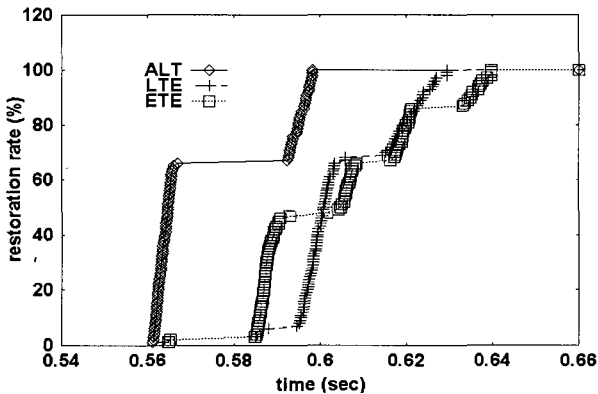
(그림 8) 수신 데이터 지연 특성

지금까지의 결과에서 알 수 있듯이, 제안 복구 방식의 복구 특성이 지역-종단간 복구 방식이나 종단간의 복구 방식보다 복구율, 복구 후 데이터 지연, 데이터 재순서화 및 패킷

유실 등의 척도 면에서 좋은 성능 특성을 보여줌을 알 수 있었다. 복구 경로의 데이터 지연과 재순서화 오프셋 변이 등에서는 Makam이나 Haskin의 보호 방식 보다 좋은 특성을 보여 주었다. 또한, 제안 복구 방식이 복원 속도나 장애로 인한 데이터 유실면에서 기존의 보호 방식보다 크게 성능이 뒤쳐 지지 않음을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있었다.



(그림 9) 재순서화 오프셋



(그림 10) 복구 시간 특성

### 5. 결론

본 논문에서는 작업 경로의 트래픽을 대체 경로를 통해 복원하는 MPLS 경로 재설정 복구 방안을 제안하였다. 복구 절차는 초기 LSP 설정시 지정되는 작업 경로의 중간 노드중의 하나인 대체 노드에서 시작한다. 제안 방안과 다른 복구 방안 및 보호 방안과의 시뮬레이션을 통한 실험 결과 제안 방안이 복구 방안 중 가장 좋은 성능을 보여 주었고, 보호 방안과의 성능 차이도 크지 않음을 알 수 있었다.

보통 보호 방안이 속도와 복구율면에서 보다 좋은 성능을 보여 주지만, 망의 자원을 비효율 적으로 낭비할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이에 반해, 복구에 의한 방안은 망의 자원을 보다 효율적으로 이용할 수 있지만, 느린 복구 성능을 단점으로 갖는다. 제안 방식에 의한 복구 성능은 기존의 복구

성능을 조금 더 높일 수 있었고, 다중 링크의 장애나 노드의 장애 시에는 기본적으로 성능 면에서는 오히려 보호 방식보다 좋은 특성을 가진다. 또한, 백업 경로의 장애 및 복잡하고 큰 망의 복구에 제안 복구 방식이 훌륭한 대안이 될 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] V. Shama and F. Hellstrand, Framework for Multi-Protocol Label Switching (MPLS) - based Recovery, IETF RFC 3469, Feb., 2003.
- [3] Greg Bernstein and Vishal Sharma, Framework for MPLS-based Control of Optical SDH/OSNET Networks, IEEE Network, July/August, 2001, pp.20-26.
- [4] Qin Zheng and Gurusamy Mohan, Protection Approaches for Dynamic Traffic in IP/MPLS-over-WDM Networks, IEEE Optical Communications, May, 2003, pp.s24-s29.
- [5] Jose L. Marzo, QoS Online Routing and MPLS Multilevel Protection: A Survey, IEEE Communications Magazine, October 2003, pp.126-132.
- [6] Sangsik Yoon et al, An Efficient Recovery Mechanism for MPLS-based Protection LSP, ATM (ICATM 2001) and High Speed Intelligent Internet Symposium, 2001, Joint 4th IEEE International Conference, April, 2001, pp.22-25.
- [7] Hundessa, L.; Domingo-Pascual, J., Reliable and fast rerouting mechanism for a protected label switched path, Proc. GLOBECOM '02, Vol.2, Nov., 2002, pp.17-21.
- [8] Makam, A path protection/restoration mechanism for MPLS networks, Internet Draft, May, 2000.
- [9] Haskin, A method for setting an alternative label switched paths to handle fast reroute, Internet Draft, May, 2000.
- [10] Gaeil Ahn, An Efficient Rerouting Scheme for MPLS-Based Recovery and Its Performance Evaluation, Telecommunication Systems 19:3,4, Kluwer Academic Publishers, 2002, pp.481-495.
- [11] A. Farrel et al., Crankback Signaling Extensions for MPLS Signaling, Internet Draft, work in process, draft-ietf-ccamp-crankback-03.txt, Oct., 2004.
- [12] 조평동, 김상하, GMPLS 망의 백업경로 복구구조 및 지연서

간 분석, 정보처리학회논문지C, 제10-C권 제5호, pp.603-610, Oct., 2003.

- [13] A. Gupta, et al, QoS Aware Path Protection Schemes for MPLS Networks, Proceedings of International Conference on Computer Communications (ICCC 2002), August, 2002.



## 이길흥

e-mail : khlee@snut.ac.kr

1989년 연세대학교 전자공학과(공학사)

1991년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년~1995년 LG 정보통신 안양연구소  
네트워크그룹 주임연구원

1999년 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과(공학박사)

2000년~현재 서울산업대학교 컴퓨터공학과 조교수

관심분야: 초고속망, 망관리, 에이전트 응용