

# Deferred commit 방식에 의한 광통신망의 복구제어 및 지연시간 분석

정회원 조 평 동\*, 김 상 하\*\*

## Restoration control of optical network and delay time analysis based on deferred commit scheme

Pyung-Dong Cho\*, Sang-Ha Kim\*\* *Regular Members*

요 약

광통신망에서는 언제 발생할 지 모를 통신경로상의 장애에 대비하여 통신망의 생존성을 확보할 수 있는 장애복구가 중요하다. 본 논문에서는 백업경로 자원을 공유하는 메쉬형태의 광통신망에서 장애사 이를 복구하는 방법에 대해 기존 제안된 방식을 분석하고 이에 대해 자원의 활용성과 관리의 효율성을 높일 수 있는 deferred commit 복구 구조를 제안하였다. 그리고 복구신호의 전달에 필요한 메시지 형태 및 포맷, 전달흐름등을 구체적으로 제시하였다. 또한 deferred commit 구조에서 소요되는 지연시간을 내용적으로 규명하고 시뮬레이션을 통해 여러 복구 구조들간의 특성을 비교하였다.

키워드: 복구, 생존성, 지연시간, WDM, GMPLS

### ABSTRACT

On the optical network, it is important to build restoration scheme capable to network survivability in preparation of potential failure on communication route. This paper analyze the existing schemes on restoration of failure on the optical network, and propose deferred commit scheme to improve resource utilization and management efficiency. Also, the transfer flow of messages needed for transferring restoration signal are presented in a concrete way and delay time required by shared mesh restoration scheme is explained in a substantial way. Simulation-based comparative analysis of various schemes is performed.

### I. 개 요

OXC(optical cross-connect)와 같은 광 장비의 발달은 하나의 광섬유안에 서로 다른 파장을 갖는 여러 개의 광신호를 동시에 전송할 수 있도록 함으로써 광경로(lightpath) 단위의 경로구성 및 대역폭 제공이 가능하게 되었다[6][8]. 가입자 데이터를 고도로 집속하여 전달하는 광통신망에서는 한 개의 케이블 또는 광섬유에 장애가 발생할 경우 전체 통신망에 치명적인 영향을 미치기 때문에 전송로의 장애에 대

한 복구(restoration)가 매우 중요하다. 따라서, 광통신망의 설계시에는 여유 전송 용량을 사전에 예비하여 장애 발생시 서비스 중인 트래픽을 복구 수용할 수 있도록 구성한다. 최근에 급격히 사용이 확산되고 있는 DWDM(dense wavelength division multiplexing) 방식의 광통신망은 초대용량의 데이터 전송능력을 가지며 통신망의 코어를 구성하기 때문에 광경로의 장애시에도 100% 복구가 보장될 수 있어야 한다[9].

광통신망의 장애시 이를 복구시키기 위해서는 통

\* 한국전자통신연구원 표준연구센터 기술기준연구팀 (pdcho@etri.re.kr)

\*\* 충남대학교 컴퓨터과학과 (shkim@cclab.cnu.ac.kr)

논문번호 : 030056-0206, 접수일자 : 2003년 2월 6일

신망의 노드간에 신호정보의 교환 및 처리, OXC를 통한 광경로의 설정 등을 수행하며 이 과정에 일정한 시간이 소요되기 때문에 망 전체적으로 볼 때 복구에 의한 지연시간(delay time)이 발생한다. 광통신망의 특성상 복구 지연시간은 피할 수 없는 것이나 너무나 긴 시간이 복구에 소요될 경우 이용자의 만족수준에 도달할 수 없기 때문에 복구 지연시간은 광통신망의 또다른 요구사항으로서 제기된다.

현재 광통신망의 100% 복구를 보장하기 위한 방식으로 몇가지 방법들이 제시되고 있다. 우선 전형적인 방법으로서, 1+1으로 여유용량을 예비하고 복구를 수행하는 방식이 있다. 이 복구방법은 빠른 시간 내에 완전한 복구를 이룰 수 있는 장점이 있으나 모든 1차 경로에 대해 예비경로를 설정해야 하므로 극심한 대역폭의 낭비가 발생하는 문제점을 안고있다. 예비경로의 대역폭 낭비를 개선하기 위해 제안된 Kini의 방법은 1차경로 간에 예비경로를 공유함으로써 대역폭을 절약할 수 있으나 제어구조의 불확실성으로 인해 그 효과를 입증하기 부족하다. Somdip의 방법은 예비경로의 용량을 공유화 하여 관리함으로써 대역폭 활용효율을 보다 높일 수 있으나 복구 지연시간 측면에 추가적인 손실을 감수해야 하는 문제점을 안고 있다.

본 논문에서는 deferred commit 개념을 도입하여 광통신망의 장애발생시 100% 복구를 보장하면서 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있는 방법을 제시한다. 그리고 복구시 각 노드간에 전달이 필요한 신호 메시지의 포맷 및 각 노드의 관리 테이블 형태, 신호 메시지의 전달 절차 등 복구제어 구조를 구체화하여 나타낸다. 또한, 광통신망 장애복구의 중요한 요구조건인 복구 지연시간에 대해 이들 방식간에 비교 분석하여 나타낸다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 광통신망에 대한 복구의 기본개념 및 관련 연구결과를 분석한다. 3장에서는 복구 제어를 위한 절차 및 신호 흐름, 메시지 포맷 등을 정의하고 4장에서는 복구시에 발생하는 지연시간에 대해 분석한 결과를 나타낸다. 5장에서는 분석결과를 토대로 시뮬레이션한 결과를 여러 측면에서 비교하였으며 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 논하였다.

## II. 광통신망의 장애에 대한 복구

### 1. 기본 개념

광통신망에서는 작업 경로(working path)나 노드의 에러로 인해 정상적인 데이터 전송이 불가능한 경우 이를 우회 시킬 수 있는 백업 경로(backup path)를 예비한다. 이러한 복구 경로의 설정에는 장애 발생 전에 미리 대체 경로를 준비해 두는 보호 스위칭(Protection Switching) 모델과 장애 발생 후에 새로운 경로를 찾는 경로 재설정(rerouting) 모델이 있다.

보호 스위칭 모델은 현재 작업 경로의 트래픽 요구 사항을 고려하여 장애 발생 전에 복구 경로를 설정한다. 작업 경로 상에서 장애가 감지되면 복구 경로의 시작 노드는 즉시 복구 경로로 트래픽을 대체하게 되므로 빠른 복구가 가능하다. 보호 스위칭 모델에서는 복구 작업을 시작하고 복구 경로로 스위칭을 수행하는 복구 경로의 시작 노드로 장애 신호가 전달되어야 한다. 따라서, 이를 위한 장애 통보 기능이 필요하다.

경로 재설정 모델에서는 장애가 발생한 후에 트래픽 복구를 위해 새로운 경로나 경로 세그먼트를 설정하게 된다. 새로운 경로는 장애 정보, 망의 라우팅 정책, 기 설정된 형상 정보 및 망 토폴로지 정보에 의해 설정된다. 장애 발생시 신호 절차를 통해 보호 경로의 시작 노드로 장애 신호가 전달되며 복구 시작 노드는 작업 경로의 시작 노드가 될 수도 있고 망 장애가 발생 한 후 장애를 감지한 노드가 될 수도 있다. 경로 재설정 모델은 장애 발생 후에 많은 작업이 수행되어야 하므로, 보호 스위칭 모델 보다 복구 속도가 느리나 새로운 경로는 현재 망의 상태 및 망 정책 등을 기반으로 설정되므로 때로는 망의 최적화에는 더 적합할 수 있다. 그러나, 노드의 장애나 작업 경로상의 여러 링크가 장애가 나는 경우에는 경로 재설정 모델에서의 복구는 보호 스위칭 모델보다 어렵다. 이러한 보호 스위칭 모델과 경로 재설정 모델은 함께 사용될 수도 있다. 예를 들어, 경로 재설정 모델에 의해 새로운 경로를 형성하는 동안 보호 스위칭 모델에 의해 기 설정된 복구 경로가 일시적으로 사용될 수 있다.

장애가 발생한 작업 경로에서 복구 경로로 트래픽을 매핑 시키는 방법으로, 1+1 보호, 1:1 보호, 1:N 보호, M:N 보호 등이 있다. 1+1 보호는 동일 트래픽을 양쪽으로 흘러 보냄으로 두 배의 자원이 소모되며, 1:1 또한 트래픽만 보호 경로로 흘러 보내지 않을 뿐 복구 경로의 자원이 낭비된다. 1:N 역시 M:N의 특수한 경우로써 역시 여러 개의 작업

경로가 하나의 복구 경로를 이용함으로써 자원 낭비를 어느 정도 줄이긴 하였으나 각각의 작업경로에 대한 트래픽에 대한 자원을 모두 예약한다면 백업 경로상에서 자원의 낭비가 발생한다.

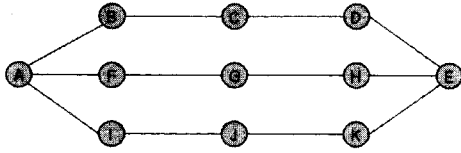


그림 1. 메쉬형태의 광통신망  
Fig 1. The meshed optical communication network

이러한 관점에서 백업경로를 공유하는 구조를 생각해 볼 수 있다. 예를 들어 GMPLS (generalized multi protocol label switching) 방식을 사용하는 그림 1의 망에서 A-B-C-D-E를 지나는 LSP(label switch path)를 LSP1이라 하고 A-I-J-K-E를 지나는 LSP를 LSP2라 하자. 이 때 망 장애에 대비하여 각각의 복구 경로에 대한 매핑(mapping)을 LSP1과 LSP2가 동시에 A-F-G-H-E로 선택했다면, 두 개의 작업 경로가 하나의 복구 경로를 공유하는 것으로 설계할 수 있다. 그리고 실제 운용시 임의의 시점에 상호 분리(disjoint)된 작업 경로상에서 하나의 지점에만 장애가 발생한다고 가정한다면 복구 경로상에서 자원 공유가 가능하다. 즉, 망에 오직 하나의 장애만 발생한다면 LSP1과 LSP2가 동시에 백업경로를 사용하지는 않는다. 따라서 A-F-G-H-E상의 LSP1과 LSP2의 복구 경로에 대한 자원 할당은 LSP1과 LSP2 트래픽 둘 중 큰 값을 선택하여 잡으면 된다. 한걸음 더 나아가서 광 통신망에서 같은 가정을 하여 복구 경로 상에서 서로 파장(wavelength)을 공유한다면 사용할 수 있는 파장의 수가 제한 받는 광통신 망에서 사용할 수 있는 파장도 절약함과 동시에 복구할 수 있는 파장 수도 늘릴 수 있다.

## 2. 관련 연구결과 분석

### 2.1 Per-path-reserved 공유 구조

우선경로를 설정하는 초기단계에 백업 경로도 동시에 설정하며, 그에 따른 자원을 함께 예약하는 사전 복구 방식인 per-path-reserved 공유 구조에서는 작업 경로 설정시, 백업 경로의 루트가 결정됨과 동시에 그 백업 경로를 위한 각 OLG(optical kline

group)의 복구 채널을 예약하는 방식이다. 이때 2개 혹은 그 이상의 백업경로가 동일한 복구 채널을 예약하게 되는데, 실제로는 이 복구 채널중의 하나만이 장애 발생시 사용된다. 이와 같이 링크상의 OLG가 하나의 백업경로로 사용될 때 백업 경로상의 특정 OLG들을 복구 채널로 예약하여 사용할 것인지 아니면 기존의 복구 채널들을 공유하기 위해 재사용할 것인지에 대한 고려가 필요하다. 이는 OLG의 백업 경로 산출 알고리즘에 영향을 주며, 백업경로가 선택된 후 어떻게 자원이 분배되는가에 영향을 준다. Per-path-reserved 공유 구조에서는 하나의 OLG에 예약된 복구 채널들은 실제 트래픽을 전송하지 않기 때문에 이들 복구 채널은 망 자원의 overhead로 계산된다.

### 2.2 Kini의 구조

통신망의 생존성을 보장하기 위해 작업 경로에 대한 백업 경로를 미리 설정하는 것과 대역폭을 백업 경로에 할당하는 것은 네트워크 서비스 보장 차원에서 매우 중요하다. 만약 네트워크상에서 단일 장애만 발생한다고 가정하고, 백업경로의 자원을 공유할 수 있게 설정한다면 백업경로에 할당되는 전체 자원을 감소시킬 수 있는 것으로 Kini et al. 등의 연구에서 제안되었다. 그러나, Kini의 알고리즘은 설정된 작업 경로와 백업 경로에 대한 정보를 관리하고 유지하는데에 소요되는 overhead를 감소시키기 위해 활용될 수 있는 링크 토폴로지 정보를 사용하지 않는다. 따라서, 백업 경로에 필요한 자원들은 단지 작업 경로에 필요한 최대 대역폭에만 근거하여 고려하게 되고 구체적인 제어 메커니즘의 불명확으로 백업 경로의 자원들은 결국 낭비되는 문제점을 갖고 있다[1].

### 2.3 Somdip의 구조

기존의 per-path-reserved 공유 구조에서 단일 장애 발생시 완전 복구를 위해 OLG에 요구되는 복구 채널들의 수는 실제 복구에 필요한 복구 채널의 수 이상으로 예약하게 되므로 용량의 한계점에 달하는 문제점이 발생하였다. 문제점을 제거하는 방법으로 Somdip et al. 등이 pool-reserved 백업 공유 구조를 제안하였다.

이 메커니즘은 SRLG(shared risk link group)에서 장애가 발생하여 해당 광경로가 백업경로의 복구 채널들을 활성화하기 위한 복구 프로토콜이 처리되기 시작될 때, pool에서 첫번째로 사용 가능한 복구 채널을 찾아 복구에 사용한다. 제안된 pool-reserved

백업 공유 구조는 향후 사용할 루트에 대한 정보없이도 단지 구성된 테이블 정보만으로 최적의 채널을 선택할 수 있는 장점이 있다. 그러나 Somdip의 구조에서는 구체적인 신호 절차를 제시하지 않았으며 광통신망에서 중요한 요소 중의 하나인 복구 지연 시간을 고려하지 않고 있다. 즉, 백업 경로 상에서 사용할 채널을 미리 설정하지 않기 때문에 추가적으로 상태정보 테이블을 검색 하여야 하며 파장 변환 기능이 필요할 수 있다. 또한, 사용할 채널을 미리 알 수 없으므로 two-ended 방식의 신호 절차를 적용하는 것이 어렵다[2].

### 3. Deferred commit 스킴의 제안

기존에 연구된 복구방법은 전체 망에서 자원할당을 어떻게 수행할 것인가에 대한 방법 위주로 수행되어 왔다. 하지만, 구체적으로 자원할당을 위한 정보를 망에서 어떻게 전달할 것인지, 또한 장애의 감지시간, 각 노드에서 처리되는 메시지 처리 시간, 스위칭 시간 등에 소요되는 처리 시간 및 지연시간등이 고려되지 않은 상태이다. 즉, 자원할당 효율을 최적화 한다고 가정할 경우 이를 위해 망을 과다하게 우회한 다든지 필요이상으로 복잡한 처리가 요구된다면 실제 이러한 알고리즘은 적용하기에 한계가 있어 복구에 대한 지연시간은 망 전체 성능에 영향을 주는 중요한 요소로 분석되어야 한다.

이러한 관점을 배경으로 본 논문에서는 작업경로를 설정할 때 백업경로와 채널은 미리 계산하나, 백업경로에 대한 자원은 LSP 단위로 미리 할당하고 실제로 장애가 발생된 후에 진행하는 deferred commit 방식을 제안함으로써 기존의 1+1, 1:1 그리고 1:N 복구 구조에서 백업 경로 설정시 갖고있던 자원효율 저하 문제를 해결할 수 있으며 각 노드의 테이블을 단순화하여 전체적인 처리시간을 감소시킬 수 있는 방법을 제안하고 있다. 또한 이를 위해 노드 간에 주고 받아야 할 메시지의 포맷 및 필요정보에 대해서도 나타내고 있다. 제안된 메커니즘의 기본개념을 요약하면 다음과 같다.

- 몇 개의 작업 경로들은 한 개의 백업 경로를 공유한다.
- 백업 경로를 공유하는 작업 경로들은 상호간에 분리(disjoint) 되어 있다.
- 망에서는 한 시점에 하나의 지점에서만 장애가 발생하는 것으로 한다.
- 복구 경로와 채널은 장애 발생전에 미리 설정하는 구조를 택한다.

- 복구 경로의 할당은 deferred commit 개념에 의한다.

제안된 메커니즘을 GMPLS 기반 네트워크에 적용해보면, 작업경로 설정시 어떤 레이블(label)이 백업 경로를 위해 사용될 것인지에 대한 계산이 미리 이루어지나 레이블의 매핑은 실제 장애가 발생전까지 유보함으로써 상호 분리된 작업 경로는 동일한 레이블을 적용할 수 있다. 미리 산출한 백업 경로의 채널은 작업경로에서 장애가 발생한 후에 할당된다. 따라서, 장애 발생시 ingress 노드의 LSR(label switched router)은 백업 경로를 위해 CR-LDP(constraint based label distribution protocol)에 의한 label request 메시지를 보내고 LSR은 on demand 형태로 채널을 할당한다.

### III. 장애복구를 위한 제어 절차 흐름

광통신망에서 장애 복구를 위한 제어절차는 대략적으로 다음과 같은 순서를 따른다

- 각 LSP의 ingress 노드에서는 설정 하고자 하는 LSP에 대한 작업 경로 및 백업 경로에 대한 계산이 수행되며 작업 경로에 대해서는 자원을 할당한다.
- CR-LDP의 메시지로부터 작업 경로와 공존하는 타 LSP 연결 id 정보를 획득하며 작업 경로 설정 절차로부터 백업 경로 자원예약에 대한 참고 정보를 얻는다. 이에 따라, 백업 경로 자원예약 절차시 서로 공유해야 될, 또는 공유해서는 안 될 작업 경로 들을 인지할 수 있다.
- 이러한 정보를 작업경로의 ingress 노드로부터 수신하여 백업 경로 자원예약을 위한 label request 메시지를 전달한다.

본 논문에서는 이러한 제어 절차에 대해 제안한 deferred commit 메커니즘의 실제 구동에 대해 GMPLS 를 통한 작업 경로 및 백업 경로 설정, 링크장애 발생시 처리절차 그리고 이에 따른 처리 지

GMPLS Header	FEC TLV	G-Label Request	LSPid	Explicit Route	Suggested Label TLV Route
--------------	---------	-----------------	-------	----------------	---------------------------

(a) LSP 설정 메시지 포맷

연시간의 특성에 대해 기술한다.

1. 광경로 설정

그림 2(a)는 작업경로 설정을 위한 CR-LDP label request/mapping 메시지 형태이다[7]. 메시지내에는 레이블 할당을 위한 FEC(forward equivalent class) 정보와 LSP encoding type, switching, payload type 을 포함하는 generalized label request TLV(type length value) 및 LSP id, 그리고 전체 LSP route를 나타내는 explicit route TLV, Label 을 제시하기 위한 suggested label TLV로 구성된다. 그림 2(b) 는 이러한 메시지를 이용한 작업 경로의 설정 흐름으로 서 다음과 같은 과정을 따른다.

- 입력자원 예약 (Qos, label)
- 명시적 경로 체크 및 출력 인터페이스 결정
- 레이블 요청 메시지 전송
- 출력자원 매핑 (Qos, Label)
- 스위치 연결 설정
- 레이블 응답 메시지 전송

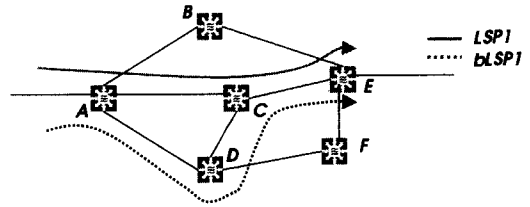
각 작업경로의 ingress 노드에서는 접속정보 테이블을 관리 한다. 이 테이블에는 일련의 링크 연결로 구성되는 작업 경로에 대해 SRLG 개념을 포함하여 정의한다. 그림 2(b)의 백업 경로에 대한 구성 절차에서 작업 경로에 대한 설정은 (a)와 같이 수행하되, 자원 할당은 수행 되지 않으며 실제 장애 발생시 사전에 계산된 경로에 할당된다[3].

2. 장애 감지와 지역화

광통신 망에서의 보호 및 복구는 여러 단계에 의해 수행될 수 있다. 첫째, 광채널 단계의 Och(optical channel) 둘째, 광다중장치 단계의 OMS(optical management system) 셋째, 광전달 단계의 OTL(optical transport layer)로 대별 된다고 할 수 있다. 이중 Och 계층에서 감지된 장애는 GMPLS의 LMP(label management protocol)가 데이터 링크에 대한 인지 및 장애 위치를 파악하기 위한 장애 관리 절차를 제공함으로써 지역화(localization) 된다.

그림 2(b)에서 A와 D 사이의 첫번째 링크에 장애가 발생한 경우, E의 입력 단에서는 전원 감시 시스템에 의해 빛의 손실을 인지하여 자신의 노드에 연결된 링크의 장애로 판단하고 이를 상위 노드에 보고한다. 상위 노드인 F 에서도 입력 단에서 빛의 손실을 인지하고 역시 자신의 노드에 연결된 링크의 장애로 판단함으로써 이를 상위 노드에 보고 한다. 결국, A의 입력 단에는 정상적인 빛이 전송되므로

장애의 위치를 A와 D간 링크 장애로 결정을 내린다.



b) 작업 경로 LSP1 에 대한 백업 경로 bLSP1

그림 2. 작업 경로 및 백업 경로 설정  
Fig 2. Working and backup path setup

이러한 데이터 링크 장애를 제어 평면의 프로토콜에 의해서 감지하려고 하는 경우, 설정된 LSP(즉, 광경로)를 감시할 수 있는 방법이 없기 때문에 결국 데이터링크의 장애를 감지 할 수 없다.

또한 시스템 형상 및 상태를 관리하는 블록이 자신의 노드에 연결된 링크들의 장애를 입력 단의 물리 계층으로부터 감지한 정보를 수신하더라도 실제 지역화할 수 있는 방법은 없다. 즉, 실제 이 장애가 자신의 노드에 관련된 링크에서 발생한 건지, 아니면, 그 이전의 노드에서 발생하여 파급된 장애인지를 알기는 어렵다. 그러므로 신호 블록에 장애 정보를 제공 하는데 문제가 있으므로 이를 LMP에서 제공한다

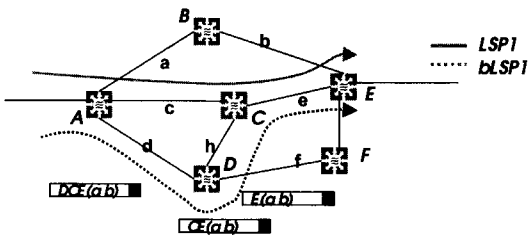
3. 백업경로의 활성화

제한한 복구 구조에서 장애발생으로 인한 백업 경로 활성화 절차는 그림 3과 같다.

Ingress 노드 A에서는 전체 백업 경로의 explicit route를 알기 때문에 그림 3에서 보이는 바와 같이 explicit route TLV에 삽입하며, 아울러 추가적으로 전체 작업경로에 걸친 SRLG 번호들을 추가한다. 각 노드를 지날 때 마다 제안된 메커니즘에서 제시된 알고리즘에 따라 공유자원 에서 임의의 채널을 할당한다. 그에 따른 참조 테이블은 그림 3(b), (c), (d)로 나타낼 수 있다.

IV. 복구경로 지연시간의 분석

광통신망의 장애복구에 소요되는 지연시간은 망의 처리량과 더불어 성능을 결정하는 주요 요소이다. 본 장에서는 광전달망의 전송 경로중 임의의 hop에서 장애가 발생했을 때 이를 탐지하여 복구신호를 전달하거나 예비전송로를 스위칭하는데 소요되는 복구시



(a) 백업 경로 bLSP1 활성화 절차

Fibers or Conduits
h
k

(b) 노드 D에서의 링크 정보

$ v(h,a) $	$ v(h,b) $	$ v(h,c) $	$ v(h,d) $	$ v(h,e) $	$\lambda(h)$
$\lambda(2-1)$	1	$0(1-1)$	1	1	$\lambda(2-1)$

(c) h의 최대 채널 정보

bLSP number	Ch. pool
bLSP1	$\lambda_1$
bLSP2	$\lambda_2$
bLSP3	

(d) 노드 D에서 h로의 백업 경로 및 채널 풀 정보

그림 3. 백업 경로 활성화 절차 및 각 노드에서의 정보 처리  
Fig 3. Backup path activation procedure and node processing

간(즉, delay time)에 대해 분석한다. 또한, 광통신망에 대해 복구시간에 대한 설계 목표치가 정해져 있을 때 망에서 최대 몇 개의 hop 까지 수용가능한지에 대한 분석도 아울러 수행한다.

### 1. 복구경로의 설정 구조

광전달망에서 전송경로상의 장애 발생시 탐지한 장애신호를 송수신 노드에 전달하고 새로운 경로를 스위칭하기 위한 신호구조는 두가지로 즉, one-ended 신호 방식과 two-ended 신호 방식으로 구분할 수 있다. 두가지 방식 모두 장애가 발생한 인접 양쪽노드에서 장애를 인지하고 장애발생 신호를 발신 노드와 착신 노드에 전달하는 구조이나 one-ended 신호 방식에서는 복구 경로의 설정을 발신 노드에서 주관하여 수행하는 반면 two-ended 신호 방식에서는 양단에서 복구경로를 설정하는 방식이다. 본 논문에서는 기존의 one-ended 신호 방식 외에 새로이 two-ended 신호 방식을 제안하며 이 방식의 경우는 복구가 양단에서 동시에 진행하여 중간 노드에서 완료하게 되므로 복구자체가 신속히 진행되어 기존 방식에 비해 복구 지연시간을 현저히

감소시킬 수 있다. 두가지 방식에 대한 제어 신호의 전달 및 복구경로 설정과정은 그림 4와 같다.

광통신망에서 전송로를 통해 전달되는 트래픽은 매우 크나 장애는 지속적으로 발생하는 것이 아니고 보면 장애자체에 의해 발생하는 신호 트래픽은 이에 비해 충분히 작다고 볼 수 있다. 따라서 각 노드에서 수신되는 트래픽은 순서대로 처리되며 폭주로 인한 큐잉(queueing)은 발생하지 않는다고 가정

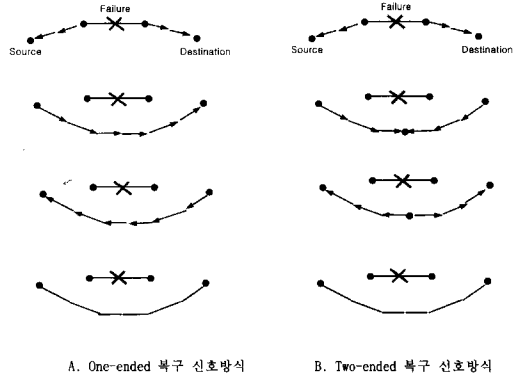


그림 4. 복구경로 설정 신호 방식  
Fig 4. Restoration path setup signalling

한다. 단, 복구신호를 노드에서 처리하기 위한 처리시간은 상대적으로 많이 소요된다고 볼 수 있다.

그림 4에서 나타난 것처럼 평균적으로 작업경로의 가운데 hop에서 장애가 발생한다고 가정한다. 실제적으로는 경로상의 어느 hop에서나 장애가 발생할 수 있으나 모든 경우를 종합하여 보면 통계적으로 가운데 지점에서 장애가 발생하는 것으로 보아도 무리가 없으며 이러한 가정을 토대로 신호 절차 및 경로 설정에 참여하는 링크 및 노드 수를 계산하고 이에 따라 지연시간을 산정한다.

### 2. 복구 지연시간 분석

#### 2.1 용어 정의

지연시간 분석에 소요되는 항목을 장애발생 감지에 소요되는 시간 F, 각 노드에서 복구제어 신호를 처리하는 시간 M, OXC에서 새로운 경로를 스위칭하는 시간 C, 광 전송로상의 전파지연 시간 P로 구분한다. 그리고, 광전달망 상의 Hop 수를 N, 총 소요되는 지연시간을 D로 정의한다. 그림 4에서 유추할 수 있듯이 광전달망의 Hop수가 N이라고 할 경우 장애신호를 전달하는 link의 수는 (N-1)/2, 장애신호가 경유하는 노드의 수는 (N+1)/2로 된다[5].

**용어 정의**

- F: 장애 감지시간
- M: 메시지 처리시간
- C: 접속시간
- P: 전파 지연시간
- N: hop의 수,  $N \geq 1$

- (\*)  $(N-1)/2$  : 장애발생시 메시지 전달 링크 수
- $(N+1)/2$  : 장애발생시 메시지 전달 노드 수
- D: 지연시간

광전달망의 복구에 소요되는 시간은 개념적으로 장애에 대한 탐지시간, 장애 메시지를 발착신 노드까지 전달하는데 소요되는 시간 그리고 발신 노드에서 루트를 설정해 나가고 OXC를 접속하는데 걸리는 시간의 합으로 볼 수 있다. 따라서 복구에 대한 지연시간은 다음과 같이 정의된다[4].

$$\text{지연시간} = \text{장애 감지시간} + \text{장애 메시지 전달 시간} + \text{경로설정 메시지 전달 및 접속시간} \quad (1)$$

**2.2 지연시간 분석**

**2.2.1 One-ended 복구 신호 방식**

산식 (1)의 개념에 의거하여 각 아이템별 소요 지연시간을 Hop수를 변수로 하여 나타내면 다음과 같다. 장애 메시지 전달시간은 발신 노드까지 장애신호를 보내는데 소요되는 시간이므로 Hop수의 대략 1/2을 취한 값 범위내에서 계산되며 경로설정 메시지 전달시간은 경로설정 신호가 발신노드에서 착신노드까지 가는데 소요되는 시간, 착신노드에서 발신노드로 확인신호를 보내는데 소요되는 시간을 포함하므로 왕복개념을 적용하여 계산된 값의 2배를 취한다. OXC에서의 파장 접속은 순방향으로만 이루어 지므로 노드수 만큼만 계산하여 값을 취한다.

$$\text{장애 감지시간} = F \quad (2)$$

$$\text{장애 메시지 전달시간} = \sum_{i=1}^{(N-1)/2} P_i + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} M_i \quad (3)$$

$$\text{경로설정 메시지 전달 및 접속시간} = 2\left(\sum_{i=1}^N P_i + \sum_{i=1}^{N+1} M_i\right) + \sum_{i=1}^{N+1} C_i \quad (4)$$

수식 (2), (3), (4)를 조합한 전체 복구지연시간은 다음과 같이 표현된다. 이 수식은 Hop 수를 변수로 하며 복구시 경유하는 Hop 수의 변화에 따라 소요되는 복구지연시간의 평균적인 값을 나타낸다.

전체 평균 지연시간 (One-ended 신호 방식) :

$$D = F + \sum_{i=1}^{(N-1)/2} P_i + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} M_i + 2\left(\sum_{i=1}^N P_i + \sum_{i=1}^{N+1} M_i\right) + \sum_{i=1}^{N+1} C_i \quad (5)$$

**2.2.2 Two-ended 복구 신호 방식**

Two-ended 신호 방식의 경우 one-ended 신호 방식의 경우와 장애감지 시간과 장애 메시지 전달시간은 동일하나 양단에서 복구경로를 설정하기 때문에 경로설정 및 OXC 접속 시 경유하는 Hop 수가 1/2로 감소한다. 즉,

$$\text{장애 감지시간} = F$$

$$\text{장애 메시지 전달시간} = \sum_{i=1}^{(N-1)/2} P_i + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} M_i$$

$$\text{경로설정 메시지 전달 및 접속시간} = 2\left(\sum_{i=1}^N P_i + \sum_{i=1}^{N+1} M_i\right) + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} C_i \quad (6)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 twd-ended 복구 신호 방식의 지연시간은 다음과 같다.

전체 평균 지연시간 (Two-ended 신호 방식) :

$$D = F + \sum_{i=1}^{(N-1)/2} P_i + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} M_i + 2\left(\sum_{i=1}^N P_i + \sum_{i=1}^{N+1} M_i\right) + \sum_{i=1}^{(N+1)/2} C_i \quad (7)$$

**3. Hop 수 분석**

광통신망에서 복구지연시간에 대한 설계 목표를 설정하고 이를 만족하기위한 Hop 수의 범위를 설정하고자 할 경우 (5)번 또는 (7)번의 수식을 이용하여 역으로 최대 허용 가능한 Hop 수를 산출할 수 있다. Hop 수 N을 구하기 위해서는 (5)번 또는 (7)번의 수식으로부터 D를 변수로 하고 이에 대해 N 값을 구하는 산식을 새로이 도출해야 하는데 실제 이 과정은 너무 복잡하고 소모적인 활동이 필요하므로 반복적인 계산에 의해 Hop 수 N을 구하는 방법을 사용하기로 한다. 즉, (5)번 또는 (7)번의 수식에 대해 D 값과 N값을 계속 반복 변화시켜 가면서 지연시간 요구에 대해 허용 가능한 hop 수를 계산하도록 한다. 이 절차에 대한 알고리즘은 표 1과 같다.

표 1. Hop 수 분석 알고리즘  
Table 1. Hop count analysis algorithm

<p><b>Step 1</b> Delay time objective <math>Q_j</math> 설정 ( <math>j = 1, 2, \dots, k</math> 로 delay time objective의 여러값 표현 ) 초기치 <math>j = 0, N = 0</math></p> <p><b>Step 2</b> <math>j = j + 1</math></p> <p><b>Step 3</b> <math>N = N + 1</math> <math>D = F + \dots + 2(\dots) + \dots</math> if <math>D &lt; Q_j</math> 이면 goto step 3 if <math>D \geq Q_j</math> 이면 다음 step</p> <p><b>Step 4</b> <math>Q_j</math> 에 대한 <math>N</math> 값을 table에 저장 if <math>j &lt; k</math> 이면 goto step 2</p>
---

복구지연시간의 목표치  $Q_j$ 가 제시되었다고 할 경우  $N$ 값을 1부터 하나씩 증가시켜 가면서 지연시간을 계산하고  $Q$ 값과 비교한다.  $Q$  보다 계산된 지연시간이 작을 경우에는 계산을 반복하고  $Q$ 와 같거나 큰 지연시간이 산출될 경우는 이 때의  $N$ 과  $Q$ 값을 테이블에 저장한다. 목표하는  $Q$ 값이  $j$ 개가 제시된 경우는 위에 설명한 과정을  $j$  만큼 반복하며 산출된 결과 역시  $j$ 번째의 테이블에 저장하는 것으로 Hop 수 계산을 진행할 수 있다. 이 알고리즘을 통해 계산된 값은 광통신망 설계시 목표하는 복구 지연시간에 대해 최대 허용가능한 hop 수의 범위를 제시하므로 통신망 설계시의 유용한 가이드라인으로 활용될 수 있다.

### V. 시뮬레이션 결과 분석

#### 1. 자원활용 효율

본 절에서는 장애 복구에 소요되는 자원의 활용 효율에 대해 본 논문에서 제안한 구조 및 Kini의 구조 그리고Somdip의 구조를 시뮬레이션을 통해 상호 비교분석 하였다. 시뮬레이션 도구로서 MNS 2.0(MPLS Network Simulator) aware NS 2.1b6a(Network Simulator)를 사용하였으며 시뮬레이션에 사용된 파라미터 및 대상 네트워크 토폴로지는 각각 표 2 및 그림 5와 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터 및 시나리오  
Table 2. Simulation parameter and scenario

Parameter	Contents
Traffic Model	Exponential traffic
Link Rate	1Mbit/s
Signaling	CR-LDP
Backup Path Activation	Ours : two-ended setup
	Kini s : one-ended setup
	Somdip s : one-ended setup
Number of LSP	7 for working path and 7 for backup path
Scenario	Traffic is begun to generate at 0.5 sec. Link 6-7 fails at 2.1 seconds and recovers at 2.5. Traffic is finished to generate at 2.8 sec. Simulation is terminated at 3.0 sec.

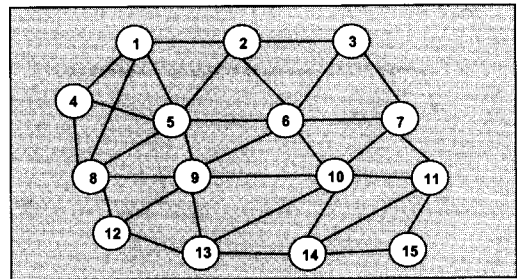


그림 5. 네트워크 토폴로지  
Fig 5. Network topology

각 제어 구조에 대해 일정시간 영역에서 소요되는 파장의 수 및 데이터 수신율에 대해 비교 분석한 결과는 그림 6, 그림 7과 같다. 그림 6에서 나타나 있는 바와 같이 제안된 구조는 백업경로 8-9 과 9-10 에 대해 Kini의 구조보다는 작은 수의 파장이, somdip의 구조보다는 많은 수의 파장이 소요되는 것을 보이고 있다. 그러나 그림 7의 도표에서는 데이터 수신율 면에서 주목할 만한 차이가 있음을 보여 주고 있다.

즉, 시간 2.05 - 2.35의 구간에서 제안된 방식은 장애신호를 수신하여 곧바로 복구절차가 이루어 지는 반면 somdip의 구조 등은 일정시간 동안 데이터의 흐름이 정지되는 현상이 나타나고 있다. 결국, 파장 사용의 효율성면에서는 강점을 보이더라도 신속히 복구절차가 이루어 지지 않는다면 통신망 입장에서는 계속하여 고장 상태에 있을 수 밖에 없는 문제점을 내



포하게 된다. 본 논문에서 제안한 구조는 그림 6에서 보는 바와 같이 somdip의 구조에 비해 자원 효율면에서 떨어지나 그림 7과 같이 보다 빠른 복구절차를 수행하는 장점을 갖는다. 이는 사전에 복구경로를 계산해 놓고 장애 발생이후에 할당하는 deferred commit 개념을 적용함에 따른 효과로 볼 수 있다.

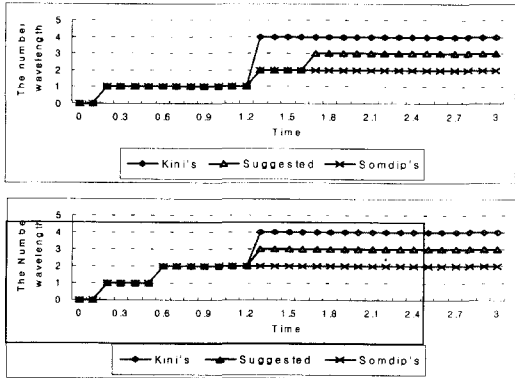


그림 6. 백업경로 8-9, 9-10에서의 wavelength 수  
Fig. 6 The number of wavelengths for backup link 8-9, 9-10

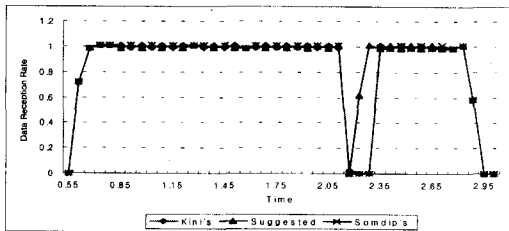


그림 7. 데이터 수신율  
Fig. 7 Data Reception Rate

## 2. 지연 시간

지연시간 분석을 위해 기본적인 파라미터 값은 다음과 같이 적용하였다.

- F (Failure detection time) = 100 s
- P (Propagation delay) = 400 s
- C (Crossconnect time) = 5 ms

메시지 처리시간  $x$  와 hop 수  $z$ 는  $4 \leq x \leq 20$ ,  $50 \leq z \leq 400$ 의 범위에 두고 수식에 대입하면 그림 8의 그래프를 얻는다. 그림 8은 메시지 처리시간의 몇 가지 가정하에서 hop 수 변화에 따른 지연시간의 상관관계를 나타내고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이 동일조건에서 two-ended 복구 신호방식은 현격한 지연시간의 단축효과를 보인다. 시뮬레이션 결과는 장애감지 시간 및 메시지 처리시간, OXC 접속시간

의 적용에 따라 달라질 수 있으나 전반적인 분석결과는 동일하게 나타난다. 그림 8의 활용성 중 하나는 복구지연 시간의 설계목표에 대한 최대 허용 hop 수의 유추이다. 예를 들어 광통신망의 복구 지연시간을 최대 60ms 이내로 하여 망을 설계하고자 할 경우 one-ended 신호 방식에서는 최대 8개 이내의 hop으로 백업경로를 구성해야 하는 것을 알 수 있다. 대조적으로, two-ended 신호 방식의 경우에는 최대 12개의 hop이 허용 가능하다.

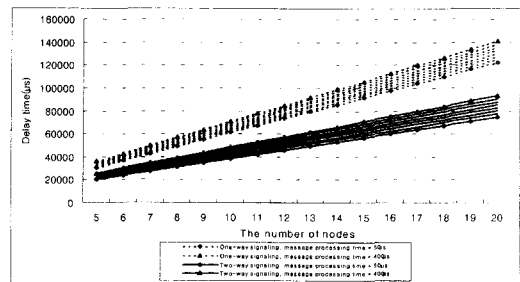


그림 8. 노드 수와 메시지 처리시간에 따른 복구지연시간  
Fig. 8 The restoration delay time by the number of nodes and message processing time

## VI. 결론

광통신망에서는 언제 발생할 지 모를 통신경로상의 장애에 대비하여 통신망의 생존성을 확보할 수 있는 장애복구가 중요하다. 코어 망에서의 장애는 통신망 전반에 치명적 영향을 미쳐 정보통신을 기반으로 하는 경제사회 활동이 일시에 정지될 수도 있기 때문에 광전달망의 장애시 복구대책은 통신망 설계시에 동시에 고려되는 사항이다.

본 논문에서는 백업 경로 자원을 공유하는 메쉬 형태의 광통신망에서 장애시 이를 복구하는 방법에 대해 기존 제안된 방식을 분석하고 이에 대해 자원의 활용성과 관리의 효율성을 높일 수 있는 deferred commit 복구 구조를 제안하였다. 그리고 복구신호의 전달에 필요한 메시지 형태 및 포맷, 전달흐름등을 구체적으로 제시하였다. 이러한 메시지들은 광통신망의 신호 프로토콜인 GMPLS을 기반으로 구축될 것이며 실제 망에서 운용가능할 것으로 본다. 또한 deferred commit 복구 구조에서 소요되는 지연시간을 내용적으로 규명하고 복구시 점유하는 hop 수와 지연시간 설계목표에 대한 상관 관계등을 분석함으로써 망 설계시에 적용할 수 있는 유용한 지침을 제시하였다.

각 노드의 처리시간에 영향을 미치는 광신호 트래픽 패턴 유형등에 대한 고려 및 메시지 트래픽 양의 변화등을 고려한 지연시간, 중앙 제어 및 동적 복구 등 다양한 형태의 복구 구조등에 대해서도 계속하여 연구가 필요하며 GMPLS 메시지 등에 대해서는 가장 효율적인 운용이 가능하도록 정의되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Kini et al., Shared backup Label Switched Path Restoration, draft-kini-restoration-shared-backup-00.txt, November 2000.
- [2] Somdip Datta et al, Efficient channel reservation for backup paths in optical mesh networks, in Proc. GLOBECOM 2001, pp. 2104-2108, November 2001.
- [3] W.S. Lee et al., "A Path Restoration Scheme for Resource Efficiency in GMPLS Networks," in proc. APCC 2002, September 2002.
- [4] Laxman S. et al., "Fault Management in IP-over-WDM Networks: WDM Protection versus IP Restoration", JSAC, pp. 21-33, January. 2002.
- [5] Mischa Schwartz., "Telecommunication Networks", pp. 403-440, Addison Wiley, 1988.
- [6] B. Mukherjee, Optical Communication Networks, McGraw-Hill, 1997.
- [7] A. Banerjee et al., Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements, IEEE Communications Magazine, January 2001.
- [8] B. Mukherjee, WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges, IEEE JSAC, October 2000.
- [9] 김재근 외, "OTN(Optical Transport Network)의 국제 표준화 동향 및 전망," Standardization Trends 제4호, 2000년12월.

조 평 동(Pyung-Dong Cho)

정회원



1980년: 연세대학교 전자공학과  
 1995년: 충남대학원 컴퓨터학과 석사  
 1980년~1997년: 지능망, 통신처리시스템 개발  
 1998년~현재: 한국전자통신연구원 기술기준연구팀장

<주관심분야> 기술기준, 광 인터넷, 무선 LAN

김 상 하(Sang-Ha Kim)

정회원



1980년: 서울대학교 화학과  
 1984년: U. of Houston computer science 석사  
 1989년: U. of Houston computer science 박사  
 1990년~1991년: 한국과학기술원 선임연구원

1992년~현재: 충남대학교 컴퓨터학과 교수

<주관심분야> IP Qos, mobile network, multicast, optical internet