

MPLS 망에서 이중화 경로를 이용한 복구 방법

(A Restoration Method Using Duplication Paths in MPLS Networks)

金應何*, 趙榮鐘**

(Eung-Ha Kim and Young-Jong Cho)

요약

경로 복구는 MPLS 망에서 작업 경로의 링크나 노드에 장애가 발생했을 때 트래픽을 복구 경로를 통하여 전달함으로써 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 기술이다. 망의 생존성을 높이기 위하여 경로 복구 방법은 MPLS 망에서 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 링크 장애시에 작업 경로의 이중화를 통하여 경로를 복구하는 방법과 이중화된 모든 링크나 노드에 장애가 발생했을 때 OAM셀을 이용한 장애 검출 방법을 제안한다. 특히, 높은 우선 순위의 트래픽을 위한 경로 복구 방법으로는 경로 이중화가 매우 효율적이다. 그리고 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 성능을 분석하고, 우선 순위가 높은 트래픽에 대해서 제안한 경로 복구 방법이 기존 방법보다 복구 성능이 우수함을 시뮬레이션을 통하여 제시한다.

Abstract

To increase network survivability and to guarantee reliable services in MPLS networks, when failures occur either at any link or node of a working path, traffics on the failed path should be switched to other restoration paths. In this paper, we propose a path restoration method using duplication of working paths for link failure and its associated failure detection method, which utilizes OAM cells when all the duplicated links or nodes of the path failed. We analyze the performance of the proposed restoration method and show that especially the method is very efficient to restore high priority traffics. Also, through simulation we prove that the proposed restoration method is superior in performance to several existing methods suggested so far.

Keywords : Restoration, Duplication, MPLS, ATM, OAM

I. 서론

인터넷이 전화망과 같은 공중망(public network)으로 널리 사용되면서 가상 사설망(Virtual Private Network:

VPN), VoIP(Voice over IP), 전자상거래 등 향상된 IP 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다^[1]. 이와 같은 요구 사항을 충족시키고, 현재 인터넷의 문제점인 라우팅의 속도 문제나 다양한 트래픽의 차별화된 서비스 부족을 해결하기 위하여 IETF에서는 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 기술을 표준화하고 있다. MPLS 기술은 IP 라우팅과 레이블 스위칭을 결합한 구조로서 QoS(Quality of Service)를 제공하면서 IP의 유연성과 확장성을 제공하는 것을 주요 목적으로 하고 있다^[2-3]. 그러나 MPLS 망에서 망 장애로 인하여 장시간 서비스

* 正會員, 韓國電子通信研究院 네트워크技術戰略팀 (ETRI, Network Engineering Technology Team)

** 正會員, 亞洲大學校 情報 및 컴퓨터工學部 (Ajou University, Division of Information and Computer Engineering)

接受日字:2002年3月21日, 수정완료일:2002年10月7日

를 제공하지 못할 경우 사용자에게 치명적인 손실을 안겨 줄 수 있을 뿐만 아니라 망 사업자의 수입에 결정적인 영향을 미치게 된다. 특히 고속 패킷 교환 장치와 고밀도 파장 분할 다중화(Dense Wave Division Multiplexing : DWDM) 기반의 광 인터넷이 구축될 경우 라우터 간 하나의 광 케이블을 통해서 수 십만 혹은 그 이상의 트래픽 흐름(flows)이 전달되고 있기 때문에 한 물리 링크의 장애는 수 많은 사용자의 서비스를 불통 상태로 만들어 버리게 되어 막대한 데이터의 손실을 초래하게 된다. 따라서 MPLS 망에서 망의 생존성을 위한 기능이 필수적으로 제공되기 위하여 IETF에서도 경로 복구 방법을 주요한 과제로 연구하고 있다. 경로 복구 방법은 데이터 전송 중 작업 경로(working path)에 이상이 생겼거나 특정 노드에 부하가 생겨 정상적인 전송을 하기 어려울 때 데이터 전송이 실패하지 않도록 작업 경로(working path)에 대한 복구 경로(restoration path) 혹은 대체 경로(backup path)를 설정해 주는 방법으로 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 기술이다. 현재 연구되고 있는 경로 복구 방법으로는 복구 경로를 설정하는 시점에 따라서 정적(pre-negotiated) 설정 방법과 동적(dynamic) 설정 방법으로 구분된다. 정적 설정은 노드 장애가 발생하기 전에 복구 경로를 미리 설정하는 방법이고, 동적 설정은 노드 장애가 발생한 후에 복구 경로를 설정하는 방법이다.

본 논문에서는 MPLS 망에서 링크 장애가 발생했을 때 노드 내에서 작업 경로의 이중화를 통하여 경로를 복구하는 방법에 대하여 연구하였다. 경로 이중화 방법으로는 노드내의 하드웨어 장치를 이중화 하는 방법과 앞에서 설명한 작업 경로(Working Path)와 복구 경로(Restoration Path)를 설정하는 소프트웨어를 이용하여 내부 경로를 이중화 하는 방법이 있다^[4,5,7]. 전자의 방법은 신뢰도의 향상을 꾀할 수 있지만 제품 단가의 상승에 따른 제품 가격 경쟁력을 상실할 수 있다. 후자의 방법은 하드웨어에 의한 이중화 방법보다 장애 복구 시간이 다소 긴 단점이 있지만 교환 노드 즉 LSR(Label Switch Router)의 신뢰도 측면으로 볼 때 많은 장애가 발생하지 않으리라 추측되기 때문에 링크 장애에 대한 소프트웨어의 장애 복구 방안은 경제적이고 효율적인 방안이 될 수 있다. 그러나 기존의 소프트웨어에 의한 경로 복구 방법은 링크 장애시에 트래픽의 우선 순위와 관계없이 동일하게 복구 경로로 전송되는 방법이다. 반면에, 본 논문에서 제안한 이중화 경로 설정 장애 복구

방법은 우선 순위가 높은 트래픽이 전송되는 작업 경로에 대해서 이중화 경로를 설정하여 링크 장애시에 우선 순위가 높은 트래픽은 복구 경로로 전송하지 않고 이중화 경로를 이용한 빠른 복구 경로로 전송함으로써 우선 순위가 낮은 트래픽에 대해 차별화를 두기 위한 방법이다. 그리고 기존의 경로 복구 방법은 어떤 노드에서 링크 장애가 발생하면 반드시 입구 노드에서 복구 경로로 트래픽을 전송해야 하기 때문에 연결이 복구되는데 시간이 많이 소요되는 문제점이 있으나 이에 반해 제안된 장애 복구 방법은 해당 노드에서 이중화된 경로로 트래픽을 전송할 수 있어 신속히 연결이 복구되는 장점을 갖는다. 따라서, 전송 지연 시간을 최소화 하고 전송 손실율도 최소화 하여 전송되어야 할 가장 높은 우선 순위의 데이터를 위한 경로 복구 방법으로는 매우 효율적이다. 또한 제안한 장애 검출 방법은 OAM(Operation And Maintenance) 셀인 AIS(Alarm Indication Signal) 셀과 RDI(Remote Detect Indication) 셀을 이용하여^[8] 경로가 이중화된 링크가 모두 장애가 있거나 노드 장애가 발생하면 AIS 셀은 작업 경로와 복구 경로의 트래픽을 합병(merge)시키는 LSR인 PML(Path Merge LSR)로 전송하여 링크 및 노드 장애가 발생했다는 것을 알리고, RDI 셀은 작업 경로 장애 발생시 복구 경로로 트래픽을 전환시키는 LSR인 PSL(Path Switch LSR)로 전송하여 PSL에게 링크 및 노드 장애가 발생했다는 것을 알려주어 정적 방법으로 설정된 복구 경로로 트래픽을 전송하도록 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 경로 복구 방법들에 대해서 살펴보고, 3장에서는 MPLS 망을 구성하는 MPLS ATM 시스템에 대해 기술하고, 이중화 경로 설정 및 장애 검출 방법을 제안한다. 4장에서는 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 수치적 성능 분석을 한다. 또한, 5장에서는 제안된 복구 시스템의 시뮬레이션 분석 결과와 수치적 분석 결과를 비교 분석하고, 기존의 경로 복구 방법과 제안된 복구 방법의 성능 비교를 한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 추후 연구 방향에 대하여 기술한다.

II. 기존 연구 동향

MPLS 망은 기존 망과의 경계점에 위치해 IP 패킷에 레이블을 첨부하여 MPLS 패킷으로 만들어 MPLS 망에 진입시키는 역할을 수행하는 입구(Ingress) LER(Label Edge Router)과 MPLS 망에서 기존 망으로 IP 패킷으

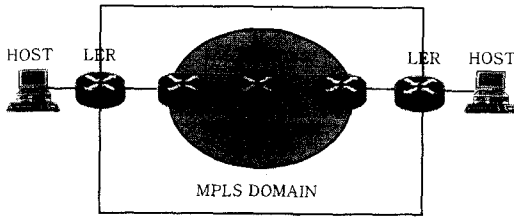


그림 1. 보호 도메인
Fig. 1. Protection Domain.

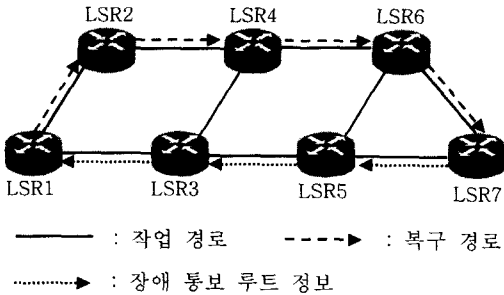


그림 2. MPLS 보호 도메인의 구성
Fig. 2. Configuration of MPLS Protection Domain.

로 전송하기 위하여 MPLS 연결을 중단시키는 역할을 수행하는 출구(Egress) LER 그리고 레이블 교체 역할을 수행하는 LSR로 구성되어 있다⁹⁾. MPLS 망에서의 연결인 LSP는 MPLS의 연결 설정 프로토콜인 LDP (Label Distribution Protocol)에 의해서 설정되고¹⁰⁾, LSP에서의 패킷 전달은 레이블이란 짧은 헤더를 이용하여 교체됨으로써 효율적이고 빠르게 패킷을 전송할 수 있다.

<그림 1>은 중단 시스템에 연결된 가입자에게 MPLS 서비스를 제공하는 LER과 LSR로 구성된 MPLS 도메인과 MPLS 도메인의 부분 집합으로서 장애 발생시에 빠른 연결 복구가 보장되어야 하는 LSR들의 집합인 보호(Protection) 도메인을 보여준다⁵⁾. MPLS 망에서 연결 복구를 위한 연구는 IETF 표준화 기구를 통하여 진행되고 있으며, 아직 표준화된 사항은 없고 전체적인 구조를 정하는 단계에 있다. 이들 연구의 주 목표는 MPLS 망에서 장애에 대한 빠른 복구를 수행함으로써 망의 신뢰성을 높이는 데 있다.

장애에 대한 복구 방법에는 크게 사전 설정(Pre-Established) 방법 및 요구시 설정(Established-on-Demand) 방법이 있다¹¹⁾. 각 복구 방법에 대하여 비교 설명하기 위하여 <그림 2>와 같이 구성된 MPLS 망을 가정하고, LSR 5개로 구성된 MPLS 보호 도메인은

<그림 2>와 같이 연결되어 있고, 입구 LER인 LSR1은 작업 경로의 장애 발생시 복구 경로로 트래픽 전환 (switch over)기능을 수행하는 PSL이고 출구 LER인 LSR7은 장애 발생시 작업 경로와 복구 경로의 트래픽을 합병시키는 PML이다.

1. 사전 설정(Pre-Established) 방법

사전 설정 방법은 작업 경로(Working Path)의 장애 발생에 대비해 미리 복구 경로를 설정해놓는 방법으로 Makam에 의해 제안된 방법과 Haskin에 의해 제안된 방법이 있다⁵⁻⁷⁾. Makam의 사전 설정 방법은 장애 발생시 트래픽 전환을 수행하거나 복구 경로 설정을 수행하는 LSR인 PSL과 작업 경로와 복구 경로의 트래픽을 병합시키는 LSR인 PML과 PML에서 PSL로 장애 정보를 전달하기 위한 루트 정보인 RNT(Reverse Notification Tree)를 포함하여 수행된다. RNT는 PSL에게 알람 정보를 전송하기 위한 루트 정보로서 각 연결의 역방향 정보이다.

이러한 사전 설정 방법에 의한 경로 복구 절차는 <그림 2>에서 LSR3과 LSR5의 링크에 장애가 발생하였을 때 <그림 3>의 (1)에서 (3)까지 순서대로 다음과 같은 과정으로 수행된다. 작업 경로에 장애가 발생하면 장애 발생 링크의 LSR은 트래픽 전환을 수행하는 LSR인 PSL에게 장애 통보 정보인 FIS(Fault Indication Signal)을 RNT 정보에 따라 전송한다. 이 때 장애 통보 정보를 수신한 PSL은 미리 설정해 놓은 복구 경로로 트래픽을 전환하게 된다. 이 방법은 장애 발생에 대비해 미리 복구 경로를 설정해 놓고, 장애 발생시 장애 통보 정보인 FIS를 PSL에게 즉시 전달함으로써 빠른 복구가 가능하다는 장점이 있지만, 이러한 방법만으로 망의 연결 복구를 수행한다면 복구 경로로 인해 이용 가능한 자원의 양이 줄어들기 때문에 비효율적인 자원 사용의 문제점을 초래하게 된다. 한편 Haskin의 사전 설정 방법은 작업 경로와 중복되지 않도록 복구 경로의 일부를 설정하고 또한 작업 경로의 반대방향으로 복구 경로의 일부를 설정하여 두 복구 경로를 연결하여 하나의 복구 경로로 설정한다.

이러한 사전 설정 방법에 의한 경로 복구 절차는 <그림 2>에서 LSR4와 LSR6을 연결하는 링크에 장애가 발생하였을 때 LSR3-1-2-4-6-7의 복구 경로로 바로 트래픽을 전달할 수 있어서 데이터 손실이 거의 없어 Makam 방법보다 좋지만 PSL과 장애가 발생한 LSR까지의 거리를 왕복해야 하므로 데이터의 전송 시간이 길

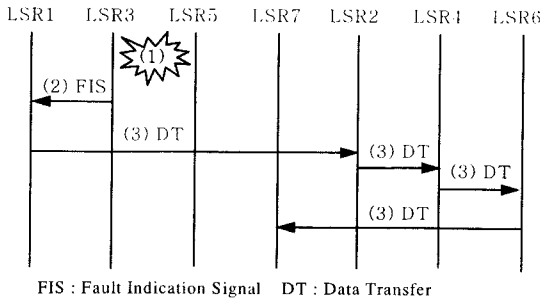


그림 3. 사전 설정 방법의 복구 절차

Fig. 3. Restoration Procedure of Pre-Established method.

어지게 되고 자원의 효율성도 Makam 방법보다 떨어진 다.

2. 요구시 설정(Established-on Demand) 방법

요구시 설정 방법은 장애 발생 후 복구 경로를 설정 하고 트래픽 전환을 수행하는 방법이다^[5]. 이 방법 또한 사전 설정 방법 처럼 PSL, PML, FIS, RNT의 복구 매 체와 정보를 이용하여 빠른 전달과 트래픽 전환을 수행 할 수 있다.

이러한 요구시 설정 방법에 의한 경로 복구 절차는 <그림 2>에서 LSR4와 LSR6을 연결하는 링크에 장애 가 발생하였을 때 <그림 4>의 (1)에서 (5)까지 순서 대로 다음과 같은 과정으로 수행된다. 작업 경로에 장애 가 발생하면 장애 발생 링크의 LSR은 트래픽 전환을

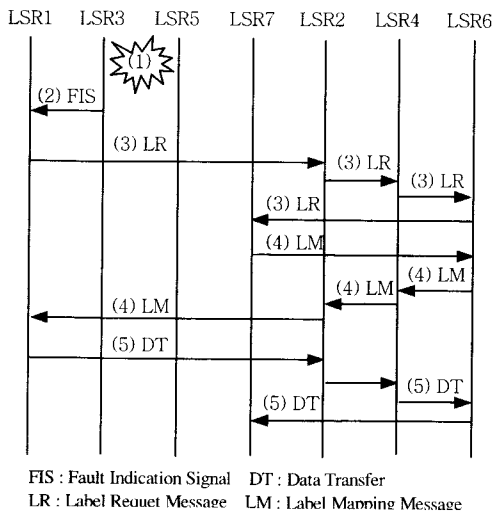


그림 4. 요구시 설정 방법의 복구 절차

Fig. 4. Restoration Procedure of Established-on Demand.

수행하는 LSR인 PSL에게 장애 통보 정보인 FIS를 전 송한다. 장애 통보 정보를 수신한 PSL은 PML 까지의 복구 경로를 설정하고, 작업 경로에서 복구 경로로 트래 픽을 전환하게 된다. 이 방법은 장애 발생 후 필요할 경 우에만 복구 경로를 설정함으로써 자원의 낭비는 없지 만 장애 발생 후 사전 설정 방법보다는 복구 시간이 길 어진다는 단점이 있다.

III. 경로 이중화를 이용한 경로 복구 방법

1. MPLS ATM 교환 시스템

MPLS 망을 구성하는 MPLS ATM 교환 시스템은 비 MPLS 도메인에 속하는 기존의 라우터들이나 인접 LSR과 연결되어 있는 LER 또는 인접 LSR이나 LER과 연결되어 LSR로 구성될 수 있으며, LER과 LSR의 시스 템 구성은 동일하다. MPLS ATM 교환 시스템은 MPLS 제어기인 IPCP(Internet Protocol Control Processor)와 ATM 스위치를 구성하고 있는 OMP (Operation Maintenance Processor), CCCP(Call and Connection Control Processor), IM(Interface Module)로 이루어져 있다. IPCP 프로세서는 라우팅 메시지를 수신 하여 라우팅 정보 테이블과 포워딩 정보 테이블을 구성 하고 LDP 메시지를 수신하여 포워딩 엔진에서 패킷 포 워딩을 하기 위해 필요한 레이블 정보 테이블인 LIB (Label Information Base)을 구성한다.

또한 IPCP 프로세서는 스위치 제어기 프로세서인 OMP 프로세서에게 표준 프로토콜인 GSMP(General Switch Management Protocol) 프로토콜^[12]을 사용하여 LSP 설정을 수행하고, 자원 관리 프로세서인 CCCP 프 로세서에게는 ATM 스위치의 자원인 VPI/VCI(Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier)와 대역 정보 를 제공받아 IM에 PVC(Permanent Virtual Channel) 연 결 설정 및 해제하는 기능을 수행한다. IM은 비 MPLS 도메인에 속하는 기존의 라우터들이나 인접 LSR이 영 구 가상 채널인 PVC로 연결되어 LDP 메시지와 라우팅 메시지를 송수신하게 된다.

<그림 5>는 MPLS ATM 교환 시스템으로 구성된 MPLS 망의 논리적인 구성도를 나타내며, IP 패킷의 흐 름은 다음과 같이 동작한다. 비 MPLS 도메인로부터 입 구 LER의 IM에서 IP 패킷을 수신하면 IP 패킷은 종단 되고, VPI/VCI 레이블을 붙인 ATM 셀인 레이블 패킷 으로서 세그먼트(Segment)화 한다. 레이블 패킷은 다시

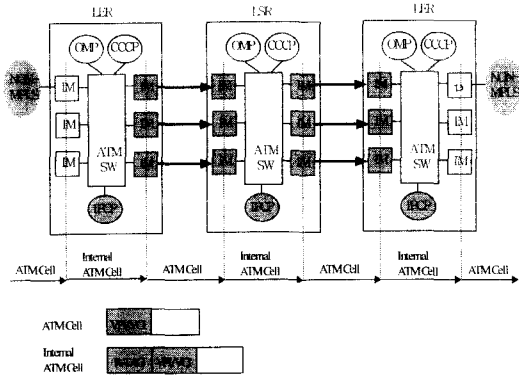


그림 5. MPLS 망 구조도
Fig. 5. Architecture of MPLS Network.

내부 ATM 스위치를 통과하기 위하여 R-TAG이라는 라우팅 택인 추가된 내부 ATM 셀로 변환되어 레이블 패킷을 전달한다. 내부 ATM 스위치를 통과한 레이블 패킷은 LSR의 IM으로 되고, LSR의 IM은 수신된 VPI/VCI 레이블에 대응되는 VPI/VCI 레이블로 변경한 다음 입구 LER에서와 같이 내부 ATM 셀로 변환되어 내부 ATM 스위치를 통과한 다음 레이블 패킷을 출구 LER의 IM으로 전달한다. 출구 LER의 IM은 수신된 레이블 패킷을 종단하고, IP 패킷으로 세크먼트시킨 다음 비 MPLS 도메인으로 IP 패킷을 전달한다.

2. 이중화 경로 설정

기존의 MPLS ATM 교환 시스템의 변경을 최소화하면서 우선 순위가 높은 트래픽이 전달되는 작업 경로의 이중화 연결을 설정하기 위하여 LDP 구동 절차는 그대로 사용하면서 차별화 정보가 포함된 확장된 LDP 메시지를 사용하였다. 확장된 요구 및 매핑 LDP 메시지는 <그림 6(a)>와 같이 메시지 종류만 다르고 동일하게 구성되어 있으며, 기존의 LDP 요구 및 매핑 메시지에 DiffServ TLV(Type, Length and Value)가 추가되어 구성된다^[13].

추가된 DiffServ TLV의 구조는 <그림 6(b)>와 같은 순서 제약을 갖는 PHB(Per-Hop Behaviors)^[11]의 집합을 하나의 집합으로 하는 PSC(PHB Scheduling Class) 정보를 갖고 있다. 확장된 LDP 요청 메시지를 인접하는 LSR 및 LER에 전달할 때 DiffServ TLV의 PSC 정보에 해당 LSP가 지원할 차별화 서비스 클래스인 EF(Expedited Forwarding), AFn(Assured Forwarding), DF(Default Forwarding)를 할당하여 전송한다. LSR 교환 노드에서 확장된 LDP 메시지의 PSC 정보 요소에

| | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|----|----------------|----|--|
| 0 | | 15 | | 31 | |
| 0 | Label Request/ Label Mapping | | Message Length | | |
| Message ID | | | | | |
| FEC TLV | | | | | |
| Diff-Serv TLV (optional) | | | | | |

(a) Request/Mapping message

| | | | | | |
|---|----------|----------|--------|----|--|
| 0 | | 15 | | 31 | |
| U | F | Type=PSC | Length | | |
| T | Reserved | | PSC | | |

(b) DiffServ TLV

그림 6. 확장된 LDP 메시지
Fig. 6. Extended LDP Message.

우선 순위가 가장 높은 EF가 저장되어 있는 경우에 이중화 경로 연결 설정이 이루어지는데 기존의 LDP 구동 절차에서와 같이 하나의 입력 포트, 입력 레이블과 하나의 출력 포트, 출력 레이블을 갖고 작업 경로의 기본 LSP 연결을 설정할 뿐만 아니라 작업 경로의 이중화 경로를 구성하기 위하여 다른 출력 포트에 복구 LSP 연결을 설정한다. 또한 기본 LSP 연결이 설정된 입력 포트에 대해서도 이중화 경로를 구성하기 위하여 다른 입력 포트에 기본 LSP 연결이 설정된 기본 출력 포트와 복구 LSP 연결이 설정된 복구 출력 포트에 대해서 각각 복구 LSP 연결을 설정한다. 이때, 설정된 복구 LSP 연결의 입력 및 출력 레이블 정보인 VPI/VCI는 기본 LSP 연결의 입력 및 출력 레이블의 VPI/VCI와 동일한 것으로 설정한다.

따라서 복구 LSP 연결은 포트 번호만 달리하고 나머지 입력 및 출력 레이블 정보는 동일하게 하여 3개의 연결 설정 정보가 추가로 구성되어 LIB 정보 테이블에 저장된다. LSR에 위치한 LIB 정보 테이블은 이중화 경로인 복구 LSP 연결 항목을 추가하여 <그림 7>과 같이 확장된다. 그리고 설정된 복구 LSP 연결은 기본 LSP 연결과는 서로 독립적인 경로를 가지도록 구성하

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

그림 7. LSR의 LIB 정보 테이블
Fig. 7. LIB of LSR.

기 위하여 기본 LSP 연결이 지나는 포트와 그에 대한 복구 LSP 연결이 지나는 포트가 한 IM에 공유되지 않도록 복구 LSP 연결을 설정하였다.

이와 같이 이중화 형상 구조를 갖음으로써 기본 LSP 연결에서의 장애가 복구 LSP 연결의 장애로 확산되는 것을 방지할 수 있다. 또한 이중화 경로의 쌍이 되는 포트 관리는 물리적으로 두개 이나 제어 관점에서 하나로 유지되도록 하여 이중화 경로를 이루는 두 개의 출력 포트 중 하나라도 서비스가 가능하면 트래픽 전달이 이루어지도록 하였다.

<그림 8>은 이중화 경로의 설정 및 LIB 정보 테이블 구성의 한 예를 보여준다. IM1에 속하는 입력 포트 10, 입력 레이블 100과 IM4에 속하는 출력 포트 50, 출력 레이블 200을 갖고 기본 LSP 연결 설정 요구를 수신하면 기본 LSP 연결 설정을 하고 복구 LSP 연결 설정은 IM5에 속하는 출력 포트 55와 동일한 출력 레이블인 200을 갖고 설정한다. 또한 IM1과 이중화 형상 구조를 갖는 IM2에 대해서도 IM2에 속하는 입력포트 15와 기본 LSP 연결의 입력 레이블 100과 기본 LSP 연결의 출력 포트인 55 및 50 그리고 출력 레이블 200을 갖고 IM4와 IM5에 각각 복구 LSP 연결을 설정한다. 이와 같이 기본 LSP 연결 및 복구 LSP 연결을 한 단위로 처리되도록 트랜잭션으로 처리하여 하나의 연결만 성공하고 나머지 연결 설정에 실패하면 설정되었던 연결을 해제하고 이중화 경로 연결 설정 실패를 통보한다. 연결 해제의 경우에도 기본 LSP 연결 정보와 쌍이 되는 이중화 경로를 모두 찾아 해제한다. 이와 같이 이중화 경로를 설정함으로써 신속한 복구로 트래픽을 계속 전달할 수 있어 서비스 품질 향상을 꾀할 수 있게 된다.

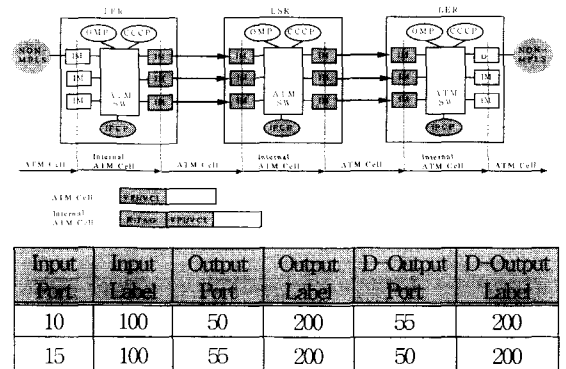


그림 8. 이중화 경로 설정 및 LIB 정보 테이블 구성
Fig. 8. Duplication Path Setup and LIB Construction.

그러나 <그림 8>과 같이 이중화 경로를 요구하는 우선 순위가 높은 트래픽은 하나의 연결 설정 요구에 이중화 경로 연결이 최대 4개의 스위칭 자원을 점유하는 결과를 초래하므로 망 사업자는 높은 신뢰성을 요구하는 우선 순위가 높은 트래픽에 대해서는 그에 상응하는 과금 정책을 가지고 운용해야 한다.

3. 장애 검출 및 경로 복구 방법

서비스 중인 경로의 장애 발생은 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 교환 노드 간의 물리적 링크 장애이고 교환 노드 자체의 장애이다. 전자와 같이 링크 장애가 검출된 경우에는 이중화 경로가 설정되어 있는 링크의 상태를 조사하여 정상이면 이중화 경로로 원본 트래픽을 전송하도록 하여 경로를 복구한다.

만약에 이중화 경로가 설정된 링크도 장애가 발생하였거나 교환 노드 자체가 장애인 경우에는 OAM 셀인 AIS셀의 상태를 on으로 하여 PML에게 전송하고 RDI 셀의 상태를 on으로 하여 PSL에게 전송한다. PSL은 RDI 셀을 수신하게 되면 기존의 작업 경로에 장애가 발생했다고 판단하여 사전에 설정된 복구 경로로 원본 트래픽을 전송한다. 또한 PML은 AIS 셀을 수신하게 되면 AIS 셀을 수신한 작업 경로로부터 장애가 발생되었음을 알고 복구 경로로 트래픽을 수신하게 된다. 장애가 발생했던 작업 경로가 복구되면 AIS셀의 상태를 off으로 PML으로 전송하고 RDI 셀의 상태를 off로 하여 PSL으로 전송한다. RDI 셀을 수신한 PSL은 트래픽을 다시 작업 경로로 보낸다. 경로 복구 알고리즘은 (그림 9)와 같이 수행되는데 우선 순위가 높은 트래픽에 대해서 링크 장애가 발생하면 이중화 경로가 사용 가능한 경우에

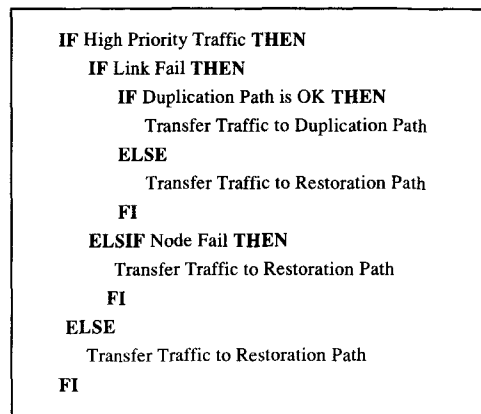


그림 9. 경로 복구 알고리즘
Fig. 9. Path Restoration Algorithm.



그림 10. PSL의 LIB 정보 테이블
Fig. 10. LIB of PSL.

는 이중화 경로로 트래픽을 전송하고, 이중화 경로가 사용 가능하지 않거나 노드 장애이면 복구 경로로 트래픽을 전송한다.

우선 순위가 높은 트래픽은 QoS 보장을 위하여 1:1 보호 경로 매핑 방법^[8]을 이용하여 복구 경로를 설정한다. 또한 우선 순위가 낮은 트래픽에 대해서는 링크 장애나 노드 장애가 발생하면 바로 복구 경로로 트래픽을 전송하고, 자원의 효율성을 위하여 1:n의 보호 경로 매핑 방법^[8]을 이용하여 복구 경로를 설정한다.

따라서 PSL에 위치한 LIB 정보 테이블은 <그림 10>과 같이 LSR에 위치한 LIB 정보 테이블에 복구 경로 항목이 추가되어 복구 경로의 연결 정보를 저장하도록 확장된다.

IV. 성능 분석

이 장에서는 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 성능 분석을 위하여 <그림 11>의 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 큐잉 네트워크 모델과 Jackson 이론^[15-16]을 사용하여 큐의 길이와 대기 시간의 성능 척도(Performance Measures)를 계산하는 공식을 제시한다.

각 큐의 도착 간격(Interarrival Time)은 iid(independently and identically distributed)하며, 지수 분포를 따르고 각 큐의 서비스 시간도 iid하며 지수 분포를 따른다고 가정한다. 또한 각 큐의 서버 수는 한 개이고 모든 큐는 무한하다고 가정하여 결과적으로 M/M/1 큐잉 네트워크가 된다.

Jackson 네트워크는 m개의 서비스 큐로 구성된 시스템

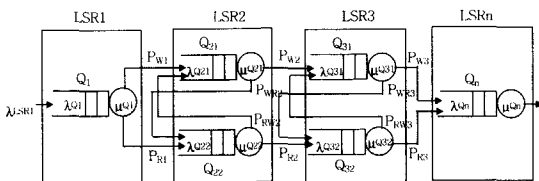


그림 11. 복구 시스템의 큐잉 네트워크 모델
Fig. 11. Queueing Network Model of Restoration System.

템이며 λ_i ($i=1,2,\dots,K$)는 외부로부터 파라미터 a_i 의 독립 포아송 과정을 따르며 도착하는 고객과 서비스 시간이 파라미터 i 의 지수 분포를 따르며 서비스하는 서버 그리고 무한한 대기 공간을 갖는다. 고객은 여러가지 방법으로 큐를 방문하고 모든 큐를 방문하지는 않는다. 그리고 큐 i 를 떠나는 고객은 확률 P_{ij} 를 갖고 큐 j ($j=1, 2, \dots, K$)로 간다.

안정상태에서 Jackson 네트워크내에 각 큐는 다음과 같은 도착률을 갖는다.

$$\lambda_i = a_i + \sum_{j=1}^K \lambda_j P_{ji}$$

Jackson 네트워크에서는 해를 구하기 위해서 곱 형태 해(Product-form Solution)가 네트워크를 위한 성능 척도를 구하기 위하여 사용될 수 있다.

이중화 경로를 이용한 복구 시스템은 PSL인 LSR1과 PML인 LSRn은 각각 하나씩의 무한 서비스 큐가 존재하고 보호 도메인에 속한 LSR들에는 두 개의 무한 서비스 큐가 존재한다. 그리고 Jackson 네트워크의 파라미터 a_k 는 도착률 λ_{LSR1} 에 대응하며, 각 큐의 서버는 한 개이다. P_{ij} 는 경로 확률(Routing Probability)을 나타내며, $P_{w1}, P_{u1}, P_{w2}, P_{wR2}, P_{R2}, P_{wW2}, P_{W3}, P_{wR3}, P_{R3}, P_{wW3}$ 에 대응한다. 또한 파라미터 μ_k 는 큐 Q_k 의 서비스율인 μ_{Qk} 에 대응한다. 마지막으로 Jackson 네트워크에서 큐 i 의 도착률 λ_i 는 각 큐의 도착률에 대응한다.

따라서 복구 시스템의 큐잉 네트워크는 Jackson 네트워크라고 할 수 있어 각 큐의 도착률과 평균 부하량은 <표 1>과 같이 구할 수 있다.

<표 1>를 이용하여 평균 큐의 길이 구하면 다음과 같다.

큐 k 에서 n 개의 패킷을 갖을 확률 $P_k(n)$ 은 식(1)과 같다.

표 1. 도착률과 평균 부하량
Table 1. Arrival Rates and Average Loads.

| Queue | λ_k | ρ_k |
|----------|--|-----------------------------|
| Q_1 | λ_{LSR1} | λ_{Q1} / μ_{Q1} |
| Q_{21} | $P_{w1}\lambda_{Q1} + P_{wR2}\lambda_{Q22}$ | $\lambda_{Q21} / \mu_{Q21}$ |
| Q_{22} | $P_{R1}\lambda_{Q1} + P_{wR2}\lambda_{Q21}$ | $\lambda_{Q22} / \mu_{Q22}$ |
| Q_{31} | $P_{w2}\lambda_{Q21} + P_{wR3}\lambda_{Q32}$ | $\lambda_{Q31} / \mu_{Q31}$ |
| Q_{32} | $P_{R2}\lambda_{Q22} + P_{wR3}\lambda_{Q31}$ | $\lambda_{Q32} / \mu_{Q32}$ |
| Q_n | $P_{w3}\lambda_{Q31} + P_{R3}\lambda_{Q32}$ | λ_{Qn} / μ_{Qn} |

$$P_i(n) = (1 - \rho_k) \rho_i^n \quad (1)$$

큐 k에서 평균 고객수 즉 평균 큐 길이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_k = \rho_k / (1 - \rho_k) = \lambda_k / (\mu_k - \lambda_k) \quad (2)$$

그리고 큐 k에서 서비스 받고 있는 고객을 제외한 평균 큐 길이는 다음과 같다.

$$L_{qk} = \rho_k^2 / (1 - \rho_k) = \lambda_k^2 / \{\mu_k (\mu_k - \lambda_k)\} \quad (3)$$

따라서 전체 시스템에서 평균 고객 수는 다음과 같다.

$$L_{total} = \sum_k L_k = \sum_k \frac{\rho_k}{1 - \rho_k} \quad (4)$$

다음으로 대기 시간을 <표 1>을 이용하여 구하면 다음과 같다.

큐 k에서 서비스 시간을 포함한 평균 대기 시간 W_k 는 식(2)와 Little 공식을 이용하여 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$W_k = 1 / (\mu_k - \lambda_k) \quad (5)$$

또한 서비스 시간을 제외한 큐 k에서 평균 대기 시간 W_{qk} 는 다음과 같이 계산된다.

$$W_{qk} = \lambda_k / \{\mu_k (\mu_k - \lambda_k)\} = \rho_k / \{\mu_k (1 - \rho_k)\} \quad (6)$$

전체 시스템에서 평균 총 대기 시간 W_{total} 은 단순히 각각의 큐에서 평균 대기 시간을 더하는 것으로 구할 수 없다. 왜냐하면 패킷이 반드시 각 큐를 방문하지는 않기 때문이다. 따라서 외부로부터 큐에 도착되는 시스템 도착률인 λ_{total} 을 이용하여 W_{total} 을 구하는데 λ_{total} 은 다음과 같다.

$$\lambda_{total} = \lambda_{LSR1} \quad (7)$$

식(7)에서 구한 시스템 도착률 λ_{total} 과 식(4)에서 구한 전체 시스템에서 평균 고객 수인 L_{total} 을 가지고 Little 공식을 이용하여 W_{total} 을 다음과 같이 구한다.

$$W_{total} = L_{total} / \lambda_{total} \quad (8)$$

V. 시뮬레이션 분석

이 장에서는 시뮬레이션 기법을 활용하여 제안한 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 성능 평가를 수행하고자 한다. 특히 우선 순위가 높은 트래픽에 대해서 링크 장애시에 이중화 경로를 이용한 경로 복구 방법에 중점을 두었고 범용 시뮬레이션 툴(AweSim)^[17]을 사용하여 성능 분석을 수행한다.

제안한 이중화 경로를 이용한 복구 시스템의 시뮬레이션 모델은 <그림 11>과 동일하다. 링크 장애는 한 곳에서만 발생한다고 가정을 하였고, 시뮬레이션 모델에서는 LSR3에서 링크 장애가 발생되었다고 가정하였다. MPLS ATM 시스템에서 하나의 셀을 처리하는데 걸리는 시간이 대략 1 셀 타임에서 최악의 경우에 10 셀 타임을 가지고, 1 셀 타임은 2.72 μ s가 된다^[18]. ATM 셀 처리 시간 및 노드간 전달 지연 시간을 고려하여 2셀 타임이 소요되고, 노드 내의 이중화 경로에서는 1셀 타임이 소요된다고 가정하였다. 그리고 패킷의 크기는 ATM 셀 크기와 동일한 53 byte로 하고, 도착되는 우선 순위가 높은 트래픽은 평균 부하량이 0.5의 비율로 들어온다고 가정한다.

시뮬레이션에 사용된 파라미터는 다음과 같다.

- 도착 시간 간격 : 0.010 ($\lambda_{LER} = 92.5$)
- 경로 확률 : $P_{W1}, P_{WR2}, P_{R2}, P_{W3}, P_{R3} = 1$
 $P_{R1}, P_{W2}, P_{RW2}, P_{RW3}, P_{RW3} = 0$
- 서비스 시간 : 0.0054 ($\mu_{Q1}, \mu_{Q2}(P_{W2}), \mu_{Q2}(P_{R2}), \mu_{Q31}(P_{W3}), \mu_{Q32}(P_{R3}), \mu_{Qn} = 185$)
0.0027 ($\mu_{Q21}(P_{WR2}), \mu_{Q22}(P_{RW2}), \mu_{Q31}(P_{WR3}), \mu_{Q32}(P_{RW3}), \mu_{Qn} = 365$)

정의된 파라미터를 이용하여 수행한 시뮬레이션 분석 및 수치적 분석에 의한 결과는 <표 2>와 같다.

Q_1, Q_{22}, Q_{32}, Q_n 에서의 큐의 길이는 시뮬레이션 결과가 수치적 분석 결과에 비해 0.13 정도의 차이가 있고 Q_{21} 인 경우에는 0.02 정도의 차이가 난다. 또한 Q_1, Q_{22}, Q_{32}, Q_n 에서의 대기 시간은 시뮬레이션 결과가 수치적 분석에 비해 0.0006ms 정도의 차이가 나고 Q_{21} 에서는 0.0001ms 정도의 차이가 나며, 총 대기 시간은 시뮬레이션 결과가 수치적 분석에 비해 0.004ms 정도의 차이가 있음을 보인다. 따라서 시뮬레이션 분석 및 수치적

표 2. 시뮬레이션 및 수치적 분석의 성능 결과
Table 2. Performance Result of Simulation and Numerical Analysis.

| Performance Result of Simulation and Numerical Analysis | | | |
|---|-----------|-------|--------|
| 큐의 길이 (L_{Qk}) | L_{Q1} | 0.634 | 0.500 |
| | L_{Q21} | 0.100 | 0.080 |
| | L_{Q22} | 0.633 | 0.500 |
| | L_{Q31} | 0.000 | 0.000 |
| | L_{Q32} | 0.632 | 0.500 |
| | L_{Qn} | 0.628 | 0.500 |
| 대기 시간 (W_{Qk}) | W_{Q1} | 0.006 | 0.0054 |
| | W_{Q21} | 0.001 | 0.0009 |
| | W_{Q22} | 0.006 | 0.0054 |
| | W_{Q31} | 0.000 | 0.000 |
| | W_{Q32} | 0.006 | 0.0054 |
| | W_{Qn} | 0.006 | 0.0054 |
| 총 대기 시간 (W_{total}) | | 0.051 | 0.047 |

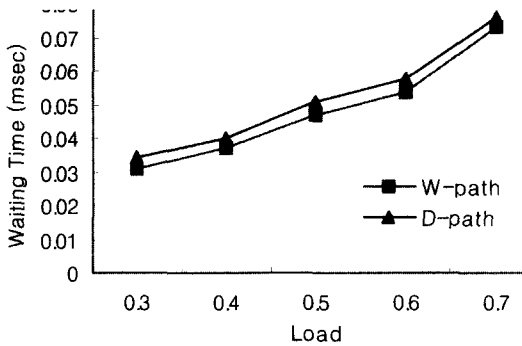


그림 12. 작업 및 이중화 경로의 대기 시간 비교
Fig. 12. Comparison of Waiting Time Between Working and Duplication Paths.

분석의 결과는 거의 동일함을 알 수 있다.

<그림 12>는 트래픽 부하를 변화시키면서 우선 순위가 높은 트래픽이 작업 경로로 전달되는 경우와 이중화 경로로 전달되는 경우의 평균 대기 시간을 나타낸 것이다. 작업 경로로 트래픽이 전달되는 경우 보다 이중화 경로로 트래픽이 전달되는 경우가 모든 트래픽 부하에 대해서 평균 대기 시간이 느린 것으로 나타나는데 이는 링크 장애에 따라 작업 경로에서 이중화 경로로 절체되는 시간이 소요되기 때문이다. 따라서 이중화 경로로 우선 순위가 높은 트래픽을 전송한 경우에는 작업 경로로 트래픽을 전송한 경우에 비해 평균 전송 지연 시간이 최대 0.004ms 정도의 차이가 나는데 이 정도의 차이는

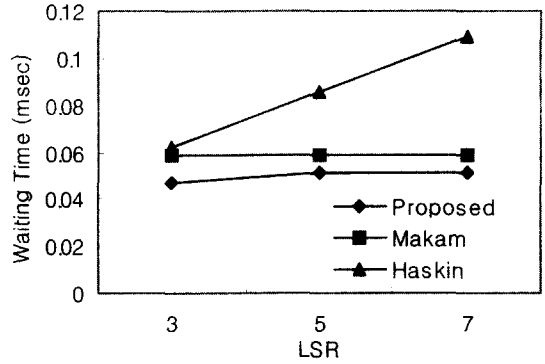


그림 13. 복구 방법별 지연 시간 비교
Fig. 13. Comparison of Waiting Time for each restoration methods.

작업 경로로 트래픽을 전송하는 경우와 거의 근접한 성능임을 알 수 있다.

<그림 13>은 우선 순위가 높은 트래픽을 전송하는 중에 링크 장애가 발생했을 때 앞에서 언급한 기존의 복구 방법인 Makam 방법, Haskin 방법을 제안한 복구 방법과 동일한 조건에서 시뮬레이션을 하였으며, 이를 근간으로 제안된 복구 방법과의 평균 대기 시간을 비교한 것이다. 적용된 시뮬레이션 모델은 <그림 2>의 MPLS 보호 도메인의 구성 환경과 동일하다. 링크 장애는 한 곳에서만 발생한다고 가정을 하였으며, LSR3, LSR5 및 LSR7에서 각각 링크 장애가 발생했을 때 기존 및 제안한 복구 방법의 평균 대기 시간을 측정하였다.

앞에서 제안된 이중화 경로 복구 방법의 시뮬레이션과 같이 노드간의 복구 경로에서는 ATM 셀 처리 시간 및 노드간 전달 지연 시간을 고려하여 2셀 타임이 소요되고, 노드 내의 이중화 경로에서는 1셀 타임이 소요된다고 가정하였다. 그리고 패킷의 크기는 ATM 셀 크기와 동일한 53 byte로 하고, 도착되는 우선 순위가 높은 트래픽은 평균 부하량이 0.5의 비율로 들어 온다고 가정한다. 시뮬레이션 결과에 의하면 제안한 방법은 장애가 발생한 보호 도메인에 속하는 LSR의 위치에 관계없이 평균 대기 시간이 동일하고, 기존 복구 방법에 비해서 우수하다. Makam 방법은 FIS 메시지 처리 때문에 장애가 발생한 LSR의 위치에 따라 대기 시간에 약간의 영향을 미칠 수 있지만 신속한 FIS 메시지 처리로 인해 평균 대기 시간이 거의 동일하게 나타난다. 반면에 Haskin 방법은 장애가 발생한 LSR의 위치에 따라 평균 대기 시간에 많은 영향을 주어서 평균 지연 시간은 Makam 방법이 Haskin 방법보다 우수함을 알 수 있다.

VI. 결 론

망 장애로 인한 사용자의 막대한 데이터 손실을 줄이고 망 장애에 대한 빠른 복구를 수행하여 망의 신뢰성을 높일 수 있도록 본 논문에서는 MPLS 망에서 링크 장애시에 노드 내에서 작업 경로의 이중화를 통하여 경로를 복구하는 방법을 제안하였다. 이중화 경로 설정은 신속한 복구로 트래픽을 계속 전달할 수 있게 되어 서비스 품질 향상을 높일 수 있어 전송 지연 시간을 최소로 하여 전송되어야 할 가장 높은 우선 순위의 데이터를 위한 경로 복구 방법으로는 우수함이 기존 복구 방법과의 성능 비교 결과를 통해 나타났다. 그러나 이중화 경로를 요구하는 우선 순위가 높은 트래픽은 하나의 연결 설정 요구에 이중화 경로 연결이 최대 4배의 스위칭 자원을 점유하는 결과를 초래함으로써 망 사업자는 높은 신뢰성을 요구하는 우선 순위가 높은 트래픽에 대해서는 그에 상응하는 과금 정책을 가지고 운용해야 한다.

추후 연구 과제로는 망 자원을 효율적으로 이용하면서 신속하게 경로를 복구하는 방법과 작업 경로에 부하가 많을 때 복구 경로를 이용하여 트래픽을 분배하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] B. Davie, et al., "MPLS Technology and Applications," Morgan Kaufmann, 2000.
- [2] George Swallow, "MPLS Advantages for Traffic Engineering," IEEE Communications Magazine, pp. 54~57, Dec. 1999.
- [3] Thomas M. Chen, et al., "Reliable Services in MPLS," IEEE Communications Magazine, pp. 58~62, Dec. 1999.
- [4] 박상택 외 2인, "STM-1 가입자 이중화 정합을 위한 자동보호절체 기능 구현," 차세대통신소프트웨어 학술대회 논문집, pp. 837~840, 12. 2001.
- [5] S. Makam, et al., "Protection/Restoration of MPLS Networks," <draft-makam-mpls-protection-00.txt>, 1999.
- [6] K. Owens, et al., "A Path Protection/Restoration Mechanism for MPLS Networks," <draft-chang-mpls-path-protection-03.txt>, 2001.
- [7] D. Haskin, et al., "A Method for Setting an Alternative Label Switched Paths to Handle Fast Reroute," Internet Draft <draft-haskin-mpls-fast-reroute-03.txt>, 2000.
- [8] Dong-Yong Kwak, et al., "A Self-Healing Mechanism for ATM Networks," 13th International Conference in Information Networking, pp. 3C1.1~3c1.5, Jan. 1999.
- [9] E. Rosen, et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture," Internet Draft <draft-ietf-mpls-arch-07.txt>, July 2000.
- [10] L. Andersson, et al., "LDP Specification," Internet Draft <draft-ietf-mpls-ldp-11.txt>, Aug. 2000.
- [11] V. Sharma, et al., "Framework for MPLS-based Recovery," <draft-ietf-mpls-recovery-frmwk-03.txt>, 2001.
- [12] A. Doria, et al., "General Switch Management Protocol V3," Internet Draft <draft-ietf-gsmp-04.txt>, Sep. 2000.
- [13] Francois, et al., "MPLS Support of Differentiated Services," Internet Draft <draft-ietf-mpls-diff-ext-07.txt>, Aug. 2000.
- [14] Brim, et al., "Per Hop Behavior Identification Codes," Internet Draft, Oct. 1999.
- [15] Mischa Schwartz, "Telecommunication Networks : Protocols, Modeling and Analysis," Addison Wesley, 1988.
- [16] D. Bertsekas and R. Gallager, "Data Networks," Prentice Hall, 1992.
- [17] A. Alan B. Pritsker, et al. "Simulation with Visual SLAM and AweSim I," System Publishing Corporation, 1997.
- [18] 류호용 외 4인, "IP 서비스 지원을 위한 MPLS ATM 스위치의 성능 분석," ETRI TM-1200-1999-332, 1999.

저 자 소 개

金 應 何(正會員)

1987년 : 중앙대학교 전자계산학과
학사. 1989년 : 중앙대학교 전자계산
학과 석사. 2000년 : 아주대학교 컴
퓨터공학과 박사수료. 1989년~현
재 : 한국전자통신연구원 선임연구
원. <관심분야 : MPLS, 차별화 서

비스, 트래픽 엔지니어링, 초고속 통신망>

趙 榮 鐘(正會員)

1983년 : 서울대학교 전자공학과 학
사. 1985년 : 한국과학기술원 전기및
전자공학과 석사. 1989년 : 한국과학
기술원 전기및전자공학과 박사.
1990년~1996년 : LG정보통신연구
소 ATM 교환실 실장. 1991년 : 미

국 AT&T Bell Lab 교환연구원. 1996년~현재 : 아주대
학교 정보및컴퓨터공학부 부교수. <관심분야 : 광대역
통신, 유/무선 ATM, 성능분석, MPLS>