

논문 2016-53-9-4

노드 이중화를 위한 이중 프로세스 선형 보호 절체 방법

(Dual Process Linear Protection Switching Method Supporting Node Redundancy)

김 대 업*, 김 병 철**, 이 재 용**

(Dae-Ub Kim, Byung Chul Kim[Ⓢ], and Jae Young Lee)

요 약

현재 전달망의 핵심기술은 링크 또는 노드 장애가 발생했을 경우에 경로 이중화를 통해 50ms이내에 망을 복구하는 OAM 및 보호절체 기술이다. 개별 통신사업자, 지방/중앙 정부, 중요 기업의 전달 망은 장애에 대한 실시간 망 복구를 위해 보호 서브네트워크를 개별적으로 설정, 관리되고 있다. 그래서 개별 보호 서브네트워크의 종단 노드에 대해 노드 이중화를 적용하여 종단 노드 장애에 대해 대비하는 것이 중요하다. 하지만 MPLS-TP, 캐리어 이더넷과 같은 패킷 전달망에서 선형 보호절체가 적용되는 보호 서브네트워크는 이중 노드 상호 연결 방안이 존재하지 않는다. 비록 이더넷 링 보호절체는 이중 노드 상호 연결방안을 포함하고 있지만 이더넷 링 보호절체의 기술적 특성상 연결 노드에서 장애가 발생하면 전이 트래픽이 급격하게 증가될 수 있다. 본 논문에서는 보호 서브네트워크에서 연결 노드 이중화를 위한 선형 보호절체 적용 방안을 제시한다. 그리고 링크와 상호 연결 노드의 장애에 대한 여러 실험을 통해 제안된 선형 보호와 링 보호 프로세스의 다양한 조합이 어떻게 다중 보호 서브네트워크에서 서비스 트래픽의 복구 탄력성에 영향을 미치는 지를 분석한다.

Abstract

The core technologies of the current transport network are OAM and protection switching to meet the sub-50ms protection switching time via a path redundancy when a link or node failure occurs. The transport networks owned by public network operators, central/local governments, and major enterprises are individually configured and managed with service resiliency in each own protected sub-network. When such networks are cascaded, it is also important to provide a node resiliency between two protected sub-networks. However, the linear protection switching in packet transport networks, such as MPLS-TP and Carrier Ethernet, does not define a solution of dual node interconnection. Although Ethernet ring protection switching covers the dual node interconnection scheme, a large amount of duplicated data frames may be flooded when a failure occurs on an adjacent (sub) ring. In this paper, we suggest a dual node interconnection scheme with linear protection switching technology in multiple protected sub-networks. And we investigate how various protected sub-network combinations with a proposed linear or ring protection process impact the service resiliency of multiple protected sub-networks through extensive experiments on link and interconnected node failures.

Keywords : resiliency, linear, ring, protection switching, node redundancy

* 정회원, 한국전자통신연구원(ETRI), 충남대학교 정보통신공학과 (Dept. of InfoComm Engineering, Chungnam National University)

** 평생회원, 충남대학교 정보통신공학과 (Dept. of InfoComm Engineering, Chungnam National University)

※ 본 논문은 미래창조과학부 지원으로 ETRI 연구개발 지원 사업의 일환으로 수행하였음 (B0117-16-1008, Photonic Frame 기반 패킷 스위칭 가능한 데이터센터 광 네트워킹 핵심 기술 개발).

Received ; July 1, 2016

Revised ; August 22, 2016

Accepted ; August 29, 2016

I. 서 론

전달망 기술은 전통적인 회선 기반 네트워크 기술인 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)기술에 의해 주도되어 왔다. 하지만, 2000년대 중반부터 패킷 트래픽의 증가에 따라 IP와 Ethernet 트래픽을 효과적으로 수용할 수 있는 회선 기반 광 전달망 기술인 OTN(Optical Transport Network)기술이 개발되었을 뿐만 아니라 메

트로 영역과 무선 백홀 영역의 고신뢰 패킷 네트워크에서 신뢰성을 높이기 위해 이더넷(Ethernet)과 MPLS (Multiprotocol Label Switching)의 패킷 전달 기능을 적용한 패킷 전달망 기술도 부각되었다.

광-패킷 전달망 기술은 전통적인 회선망 데이터 평면 OAM(Operations, Administration and Maintenance)과 보호절체 기술을 OTN, 이더넷과 MPLS 데이터 전달 기술에 적용하는 것으로서, 이 기술은 경로 상에 장애가 발생하여도 장애 상황을 실시간으로 감지하고, 보호절체 프로토콜에 의해 트래픽을 50ms 이내에 복구할 수 있는 기능을 제공하는 네트워크 기술이다. 그래서 전통적인 패킷 스위치 기술인 이더넷과 MPLS 기술이 캐리어 이더넷과 MPLS-TP(Transport Profile) 같은 패킷 전달망 기술로 진화하고 있고 해당 기술 활용을 위한 국내 연구도 진행되고 있다^[1].

광-패킷 전달망 기술 개발 활동은 ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) SG (Study Group) 15를 중심으로 MEF (Metro Ethernet Forum), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)와 캐리어 이더넷에 대한 기술을 협력하고 IETF (Internet Engineering Task Force)와 MPLS-TP에 대한 기술을 협력하여 국제 표준화 작업이 진행되어 왔다. 현재 ITU-T는 이더넷, MPLS-TP와 OTN에 대한 기본적인 OAM과 보호절체 기능에 대한 국제 표준화 작업을 완료하고, 추가로 필요한 기능들에 대한 확장 작업이 진행 중이다. OAM기술은 전통적인 회선 방식의 OAM 기능에 뿌리를 두고 있으며, 각 노드는 데이터 전송 방식에 적합한 형태의 OAM 메시지를 생성하여 송수신 한다. OTN 데이터 평면의 OAM기능은 ITU-T Rec. G.709/Y.1331^[2]와 G.798^[3]에 명시되어 있고, 이더넷 데이터 평면의 OAM기능은 ITU-T Rec. G.8013/Y.1731^[4]와 G.8021/Y.1341^[5]에 명시되어 있다. 그리고 MPLS-TP 데이터 평면의 OAM기능은 ITU-T Rec. G.8113.1/Y.1372.1^[6], G.8113.2/Y.1372.2^[7]와 G.8121/Y.1381^[8]에 명시되어 있다. 주요 OAM기능은 연결성 체크(CC(Continuity Check)), 연결성 확인(Connectivity Verification), 원거리 장애 검출(Remote Defect Indication), 알람 지시 신호(Alarm Indication Signal), 클라이언트 신호 장애(Client Signal Fail), 손실 측정(Loss measurement), 지연 측정(Delay measurement)등이 있으며, 이 중에서 관리 대상 노드 사이의 연결 상태를 확인하는 연결성 체크 기능이 서비스 보호를 위해 중요하게 사용된다. OTN에서 연결성

체크 기능은 3ms의 시간 동안 정상적인 프레임을 수신하지 못하면 장애 상태를 인지하고 시스템에서 보호절체기능을 수행할 수 있도록 이벤트를 발생한다^[2~3]. 이더넷과 MPLS-TP 전달망에서는 연결성 체크 주기(CC_period)가 설정되고, K*CC_period동안 CC 메시지가 수신되지 않으면 네트워크 장애 상태를 인지하고 시스템에서 보호절체 기능을 수행할 수 있도록 이벤트를 발생한다. 여기서, CC_period는 3.3ms, K는 $3.25 \leq K \leq 3.5$ 의 값을 가진다.

보호절체 기술 또한 ITU-T를 중심으로 하여 회선 기반의 OTN 네트워크에 적용할 수 있는 ODU(Optical Data Unit) 트레일(Trail)에 대한 선형 보호절체^[9] 기술과 Shared 링 보호절체^[10] 기술 표준을 제정하였으며, 이를 바탕으로 하여 이더넷 선형 보호절체^[11] 기술과 링 보호절체^[12] 기술 표준을 제정하였다. 또한, MPLS-TP에 대한 선형 보호절체^[13] 표준을 제정하였다. 세 가지 데이터 평면 기술에 모두 적용되고 있는 선형 보호절체 규격은 모두 유사한 형태이며, 이더넷과 OTN에서 운용되는 보호절체 프로토콜은 자동보호절체 APS (Automatic Protection Switching) 프로토콜이며, MPLS-TP에서는 보호상태조율 PSC (Protection State Coordination) 또는 자동보호조율 APC (Automatic Protection Coordination) 프로토콜을 사용하여 선형 보호절체 상태 관리 및 경로 보호절체를 수행한다. 이처럼 다양한 데이터 평면의 네트워크 경로에 대한 OAM과 보호기술을 지원하게 됨으로서 서로 상이한 데이터 평면과 동일한 데이터 평면에서 서로 다른 보호절체 프로토콜 사이에 연결과 서로 다른 사업자간의 보호, 복구 서비스의 연결이 중요하게 되었다.

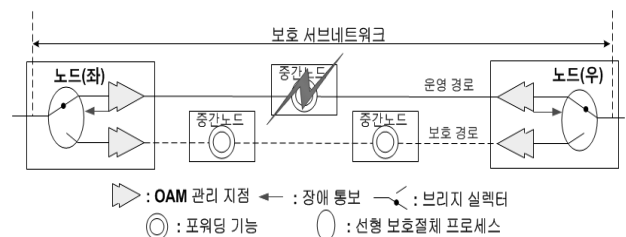


그림 1. 전달망 선형 보호 절체 아키텍처
Fig. 1. Linear protection switching architecture in transport network.

하나의 서비스 트래픽은 송신지에서 수신지까지 여러 형태의 경로 전달 기술을 가진 여러 개의 서브네트워크 (Subnetwork)를 경유하여 전달될 수 있으며, 전달망의 서브네트워크는 OTN, 이더넷, MPLS와 같은 상이한 데이터 평면 기술로 구현될 수 있다. 전달망은 그림 1과

같이 특정 보호절체 기술이 적용된 보호 서브네트워크(Protected Subnetwork)를 중심으로 관리되며, 보호 서브네트워크는 각 망 관리자가 원하는 네트워크 구조와 데이터 전송기술에 따라 적절한 보호절체 프로토콜이 적용되는 네트워크 보호 구간이다. 그리고 하나의 서비스 트래픽 흐름은 서로 다른 망 관리자가 관리하는 여러 개의 보호 서브네트워크를 통과하여 서비스될 수 있다.

개별 통신사업자, 지방/중앙 정부, 중요 기업의 전달 망은 장애에 대한 실시간 망 복구를 위해 보호 서브네트워크를 개별적으로 설정, 관리되고 있다. 그래서 개별 보호 서브네트워크의 중단 노드에 대해 노드 이중화를 적용하여 중단 노드 장애에 대해 대비하는 것이 중요하다. 그래서 최근 보호 서브네트워크의 중단 노드 이중화를 위해서 두 개의 보호 서브네트워크 사이의 이중 노드 연결 기술의 중요성이 부각되고 있으며^[14], 패킷 네트워크에서도 트래픽 보호에 대한 연구로서 지금까지 듀얼 호밍(Dual-homing)에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다^[15-17]. 하지만 MPLS-TP, 캐리어 이더넷과 같은 패킷 전달망에서 선형 보호절체가 적용되는 보호 서브네트워크는 이중 노드 상호 연결 방안 DNI (Dual Node Interconnection)이 존재하지 않는다. 비록 이더넷 링 보호절체는 이중 노드 상호 연결 방안을 포함하고 있지만 이더넷 링 보호절체의 기술적 특성상 연결 노드에서 장애가 발생하며 전이 트래픽이 급격하게 증가될 수 있다.

그림 1은 전달망에서 공통적인 선형 보호절체 아키텍처를 보여준다. 보호 서브네트워크의 보호절체가 적용되는 구간에 운영 경로와 보호 경로를 설정하고, 장애가 없을 경우에는 운영 경로로 트래픽을 운반하다가 중단 노드사이에서 경로 또는 노드 장애가 발생하면 OAM 관리 지점에서 연결성 체크 기능에 의해 장애를 인지하여 선형 보호절체 프로세스에 통보하고 선형 보호절체 프로세스가 정해진 규약에 의해 지정된 경로로 브리지 실택터를 제어하여 경로 절체를 수행한다. 현재 제정된 패킷 전달망의 선형 보호절체 기술들은 운영 경로와 보호 경로로 송수신을 선택하는 기능을 담당하는 보호 서브네트워크의 중단 노드에서 장애가 발생되면 서비스가 중단될 수 있다. 본 논문에서는 보호 서브네트워크에서 연결 노드 이중화를 위한 선형 보호절체 적용 방안을 제시한다. 그리고 링크와 상호 연결 노드의 장애에 대한 여러 실험을 통해 제안된 선형 보호 프로세스와 이중 노드 상호 연결이 가능한 기존 링 보호 프로세스의 다양한 조합이 어떻게 다중 보호 서브네트워크에서 서비스 트래픽의 복구 탄력성에 영향을 미치는 지를 분석한다.

II. 다중 보호 서브네트워크의 연결

이 장에서는 두 개 이상의 보호 서브네트워크가 존재하는 경우, 보호 서브네트워크사이에 연결을 위한 보호절체의 연결 구조와 보호절체 프로토콜의 연결 방안에 대하여 논의한다. 그림 2는 여러 개의 보호 서브네트워크의 상호 연결을 위한 참조 네트워크의 예를 도시한 것이며, 단일 노드 상호 연결 방안 SNI(Single Node Interconnection)과 이중 노드 상호 연결 방안을 모두 고려하여 가능한 경우를 도시한 참조 모델이다^[14]. 참조 모델에서 직사각형모양은 논리적인 노드이며, 두 개의 인접 보호 서브네트워크에 연결된 하나의 물리적 노드 안에 두 개의 논리적 노드를 구성하여 각 보호 서브네트워크를 보호할 수 있다. 각 보호 서브네트워크의 보호를 담당하는 논리적 노드인 연결 노드는 각 보호 서브네트워크의 논리적 중단 노드 역할을 수행하면서 인접 보호 서브네트워크와 연결을 위한 노드이다. 두 개의 보호 서브네트워크의 상호 연결 방안은 보호 서브네트워크3과 4의 연결처럼 한 쌍의 연결 노드를 거쳐 단일 노드 상호 연결과 보호 서브네트워크2과 3의 연결처럼 두 쌍의 연결 노드를 통해 2개의 인접 보호 서브네트워크가 연결되는 이중 노드 상호 연결이 가능하다. 이중 노드 상호 연결은 각 논리적 연결 노드에 해당 보호 서브네트워크를 위한 보호절체 프로세스가 탑재된다.

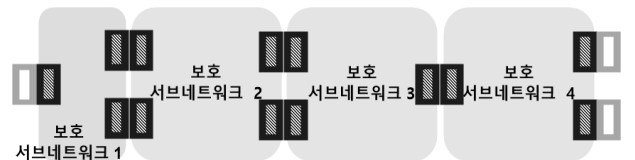


그림 2. 다중 보호 서브네트워크의 상호 연결 참조 모델
Fig. 2. Reference Model for interconnection of Multiple protected sub-networks.

다중 보호 서브네트워크의 상호 연결 주요 목적은 기존의 보호 서브네트워크에서 하나의 운영(Working) 경로 상에 존재하는 링크와 노드의 장애에 대한 실시간 트래픽 보호뿐만 아니라, 각 보호 서브네트워크 중단 노드 장애에 대해서도 서비스 트래픽을 보호하기 위한 것으로 이 논문에서는 이중 상호 연결에 주목한다.

현재 전달망 기술에서 ITU-T의 50ms 이하 트래픽 복구 요구 사항을 만족 시키는 표준은 선형 보호절체와 링 보호절체 기술이 있으며, 그 중에서 링 보호절체 기술은 OTN의 ODU 공유 링 보호절체와 이더넷 링 보호

절체 두 가지가 있다. 특히 이더넷 링 보호절체는 현재의 표준 기술로 이중 노드 상호 연결에 의해 보호 서브네트워크사이에서 노드 이중화 구성이 가능하고, 노드 장애에 트래픽을 보호할 수 있는 노드 이중화를 제공하고 있으며, 멀티 링에 대한 문제점에 대한 연구도 진행되어 왔다^[18]. 그러나 이더넷 링 보호절체 기술은 이더넷의 출발지(Source) 주소에 대한 학습(Learning)을 완료할 때까지 데이터 프레임이 링 네트워크 안의 모든 노드에 브로드캐스트(Broadcast)하는 FDB(Filtering Database) 플러시(Flush) 운영 문제^[19]가 있다. MPLS-TP기술의 경우는 링 보호절체 기술이 정의되지 않았다. 선형 보호절체 기술은 점대점(Point-to-Point) 연결 기술을 기반으로 하고 있으며 현재의 보호절체가 적용되는 모든 전달망에서 사용할 수 있지만 보호 서브네트워크사이에서 이중 상호 연결을 지원하지 않는다. 선형 보호절체가 적용된 보호 서브네트워크의 이중 노드 상호 연결방안은 전달망의 모든 데이터 평면 기술에서 이중 노드 상호 연결이 가능하게 하는 중요 기술이다.

III. 이중 노드 상호 연결 선형 보호절체

그림 3는 한쪽 끝 또는 양 끝에서 이중 노드 상호 연결을 이용한 보호 서브네트워크에서 기존 선형 보호절체만을 적용한 예로서 그림 2의 보호 서브네트워크 2과 4에서 선형 보호절체를 적용한 아키텍처를 자세히 나타낸 것이다. 이들 경우에서 선형 보호절체 프로세스가 그림 3(a)에서 좌 노드와 연결 노드1에 존재하고 연결 노드2는 OAM관리지점과 보호절체 프로세서가 존재하지 않는다. 그러므로 상호 연결을 위한 연결 노드에 장애가 발생할 경우, 선형 보호절체 프로세스가 존재하는 좌 노드는 운영 경로와 보호 경로에 모두 장애가 발생했음을 인지하게 되고, 이런 경우 선형 보호절체 프로토콜^[11]에 의해 운영경로로 트래픽을 전달하도록 하여 트래픽 보호가 되지 않을 뿐만 아니라 서비스 트래픽을 인접 노드로 전달할 경로가 사라져 트래픽을 보호하지 못하게 된다. 그러므로 이중 노드 연결에 적합한 새로운 선형 보호절체 적용방안이 필요하다. 마찬가지로 그림 3(b)에서 연결 노드3, 6에 선형 보호절체 프로세스가 존재하고 연결 노드4, 5는 보호 경로가 통과하는 중간 노드 역할만 수행한다. 그래서 연결 노드3, 6의 장애에 대해 대응하지 못한다.

1. 이중 노드 상호 연결을 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 방안

이 논문에서 기존의 APS, APC 선형 보호절체 프로세스의 보호절체 프로토콜의 수정 없이 OTN, 이더넷, MPLS-TP에 모두 적용할 수 있는 이중 노드 상호 연결 선형 보호절체 방안을 제시한다. 그림 4는 본 논문에서 제시하는 한쪽 끝 또는 양 끝에서 이중 노드 상호 연결을 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 방안을 도시한 것으로 이중 노드 상호 연결을 위해 두 개 노드에 각각 선형 보호절체 프로세스를 한 쌍으로 운용한다. 그리고 이 한 쌍의 연결 노드는 운영 경로를 포함하는 연결운영노드와 보호 경로만 존재하는 연결보호노드로 구분하고, 필요에 따라 좌 노드처럼 하나의 물리적 노드에 두 개의 선형 보호절체를 탑재하여 이중 장애를 관리한다.

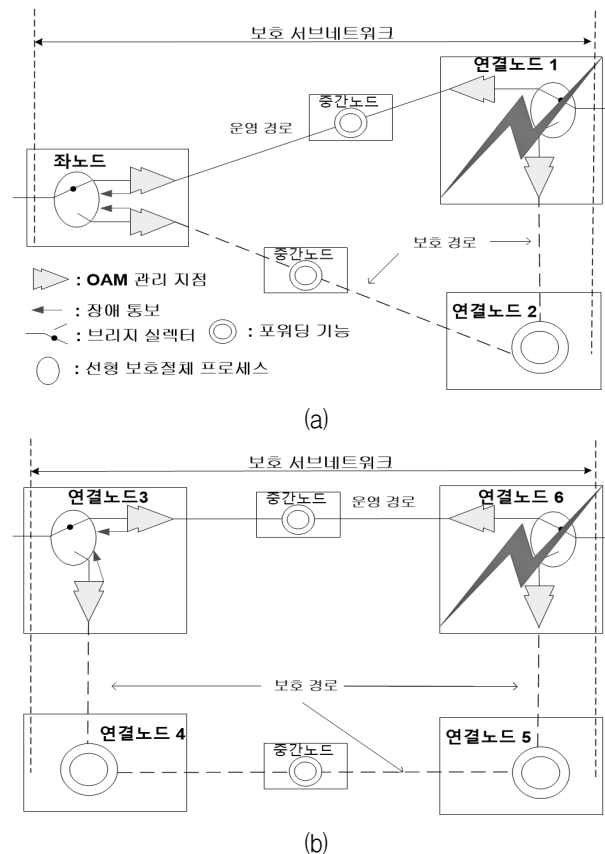


그림 3. (a) 한쪽 끝에서 (b) 양 끝에서 이중 노드 상호 연결 보호 서브네트워크에서 선형 보호절체 적용
Fig. 3. The application of Linear protection switching in DNI protected sub-network (a) at one end (b) at both ends

연결운영노드의 선형 보호절체 프로세스는 표준 선형 보호절체 프로토콜 및 운영 아키텍처를 그대로 준용하여 운영 경로와 보호 경로의 장애에 대한 경로 보호절체

를 수행한다. 이중 노드 상호 연결을 위해 운영 경로와 보호 경로에 모두 장애가 발생한 경우에도 원활하게 보호절체를 수행할 수 있도록 추가적으로 연동 경로 OAM 관리 지점과 보호 경로2를 설정하고 선형 보호절체 프로세스를 추가하여 이중 프로세스 구조를 구성한다. 이 추가된 프로세스 역시 표준 선형 보호절체 프로세스와 동일한 프로토콜로 동작한다. 연동 경로는 연결운영노드와 연결보호노드 사이에 관리 지점을 설정하여 두 노드 사이의 물리적인 장애 검출에 이용하고 이중 경로 장애 또는 노드 장애가 발생한 경우 트래픽 우회 경로로 사용될 수 있으며 보호경로와 물리적으로 같은 경로를 사용한다.

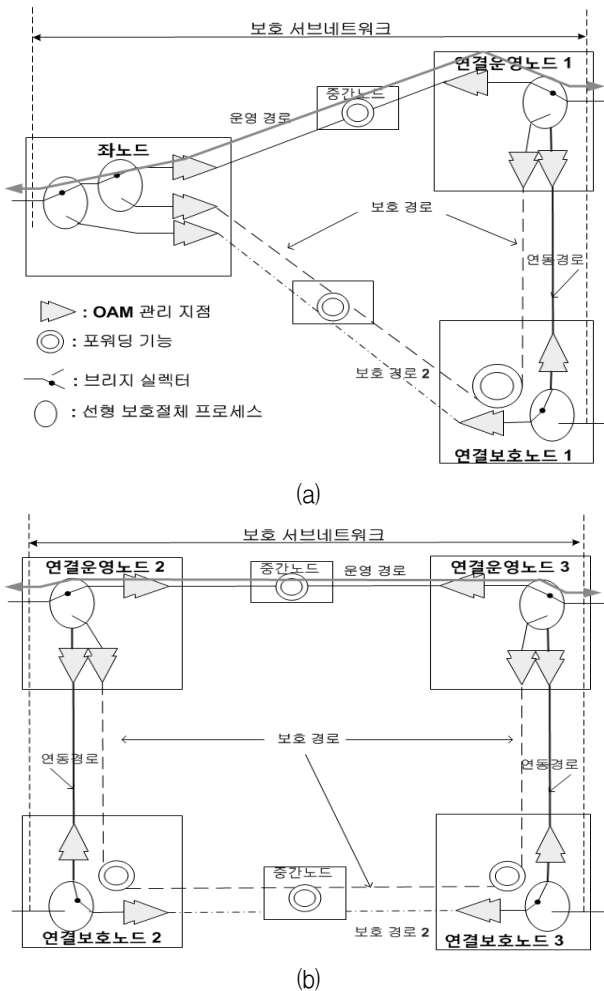


그림 4. (a) 한쪽 끝에서 (b) 양 끝에서 이중 노드 상호 연결을 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 방안

Fig. 4. The method of Linear protection switching with dual processes in DNI protected sub-network (a) at one end (b) at both ends

보호경로2는 추가된 두 번째 선형 보호절체 프로세스들 사이에 연결된 경로이고 물리적으로 보호경로와 동일한 경로를 사용하고 연결 노드 장애 발생 시에 트래픽

전달을 담당하여 보호도메인에서 서비스 트래픽이 인접도메인으로 전달될 수 있도록 한다. 이를 위하여 연결보호노드의 브리지 실렉터는 보호경로2로 송수신되는 트래픽이 연동 경로를 통해 연결운영노드로 송수신될 것인지 인접도메인의 연결보호노드로 송수신될 것인지를 선형 보호절체 프로세스의 결정에 따라 절체를 수행한다.

본 논문에서는 이중 프로세스를 구분하기 위하여 운영 경로와 연결된 선형 보호절체 프로세스를 1차 프로세스로 부르고, 보호 경로2와 연결된 선형 보호절체 프로세스를 2차 프로세스로 부른다. 그리고 1차 프로세스와 2차 프로세스의 연결부는 운영 경로와 보호 경로의 장애 조합을 해당 경로 장애로 인식하는 가상 운영 경로2가 존재하고 운영 경로와 보호 경로에 모두 장애가 발생한 경우를 동시 장애라고 부른다. 이 동시 장애는 2차 프로세스에서 가상 운영 경로2의 장애로 인식하여 동작한다.

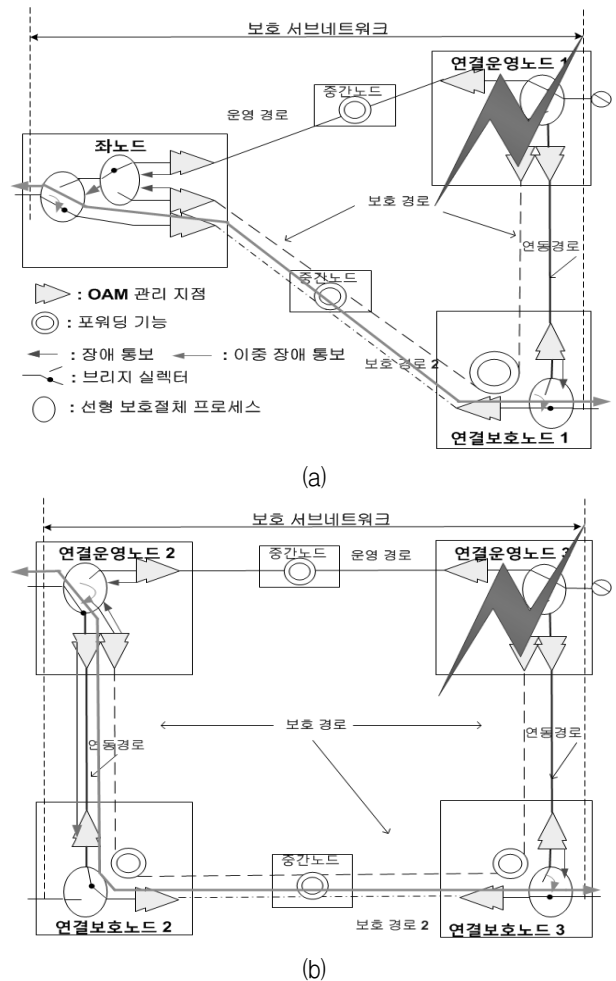


그림 5. (a) 한쪽 끝에서 (b) 양 끝에서 이중 노드 상호 연결을 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 적용

Fig. 5. The application of Linear protection switching with dual processes in DNI protected sub-network (a) at one end (b) at both ends

2. 이중 노드 상호 연결을 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 절차

그림 5는 한쪽 끝 또는 양 끝에서 이중 노드 상호 연결된 보호 서브네트워크에서 연결운영노드의 장애가 발생한 경우에 이중 프로세스 선형 보호절체 기능을 이용하여 트래픽을 보호하는 예를 도시한 것이다. 그림 5(a)는 한 쌍의 연결 노드와 단일 노드로 구성된 보호서브네트워크에서 이중 노드 상호 연결을 도시한 예이다. 연결운영노드와 좌 노드사이에서 장애가 없는 정상상태에서 운영 경로와 보호 경로상의 장애에 대한 보호절체 프로토콜은 선형 보호절체 프로토콜^{[9],[11],[13]}을 따른다. 연결운영노드 장애 또는 동시 장애가 발생한 경우, 이중 노드 상호 연결 보호절체는 아래와 같이 동작한다.

1-1) 좌 노드의 1차 프로세스에서 운영 경로와 보호 경로 모두에 장애(두 개의 적색 화살표들)를 인식하면서 1차 프로세스는 2차 프로세스에 동시 장애(녹색 화살표)를 통보한다.

1-2) 연결운영노드에서 노드 장애가 발생한 경우, 연결보호노드는 연동 경로 장애를 인식한다. 이때 아직 동시 장애를 인식하지 못했으므로 브리지 실렉터는 절체를 수행하지 않는다.

1-3) 좌 노드의 2차 프로세스가 동시 장애에 의해 가상 운영 경로2의 장애를 인식하여 브리지 실렉터를 보호 경로2(p2)를 사용하도록 절체를 수행하여 보호 경로 2(p2)로 트래픽을 송수신하며, 2차 프로세스의 보호절체 메시지에 가상 운영 경로 장애를 나타내고 보호 경로2 사용을 알리는 SF(w2) 보호절체 메시지를 송신한다.

1-4) 연결보호노드가 보호 경로2를 통해 SF(w2)를 수신하면 운영 경로와 보호 경로에 동시장애가 발생했음을 인지하고 2차 프로세스는 브리지 실렉터를 보호 경로2(p2)가 인접도메인 경로를 사용하도록 절체를 수행하여 보호 경로2(p2)의 트래픽을 인접도메인으로 송수신될 수 있도록 한다.

그림 5(b)는 두 쌍의 연결노드의 보호 서브네트워크에서 이중 노드 상호 연결을 도시한 예이다.

2-1) 연결운영노드2의 1차 프로세스에서 운영 경로와 보호 경로 모두에 장애(두 개의 적색 화살표들)를 인식하면 1차 프로세스는 연동 경로를 통해 동시 장애(녹색 화살표)를 2차 프로세스에 통보하고, 연동 경로를 사용하도록 브리지 실렉터 절체를 수행하여 연동 경로로 트래픽을 송수신한다.

2-2) 연결운영노드3에서 장애가 발생한 경우, 연결보호노드3은 연동 경로 장애를 인식한다. 이때 아직 동시

장애를 인식하지 못했으므로 브리지 실렉터는 절체를 수행하지 않는다.

2-3) 연결보호노드2의 2차 프로세스가 연동 경로를 통해 동시 장애 정보를 수신하면 가상 운영 경로의 장애로 인식하여 2차 프로세스의 보호절체 메시지에 가상 운영 경로 장애를 나타내고 보호경로2 사용을 알리는 SF(w2) 보호절체 메시지를 송신한다. 이때 브리지 실렉터는 보호 경로2(p2)를 통해 연결보호노드3으로 트래픽을 송수신한다.

2-4) 연결보호노드3이 보호 경로2를 통해 SF(w2)를 수신하면 운영경로와 보호경로에 동시 장애가 발생했음을 인지하고 2차 프로세스는 브리지 실렉터를 보호경로 2(p2)가 인접도메인 경로를 사용하도록 절체를 수행하여 보호 경로2(p2)의 트래픽을 인접도메인으로 송수신할 수 있도록 한다.

위와 같은 과정에 의해 두 쌍의 연결노드에서 보호 서브네트워크의 트래픽은 보호 경로2를 통해 안전하게 보호된다. 그림 5(a)의 연결운영노드1과 그림 5(b)의 연결운영노드3이 노드 장애가 아닌 운영 경로와 보호 경로의 동시장애가 발생한 경우에, 연동 경로 장애가 없을 수 있으며, 1차 프로세스에서 감지한 동시 장애가 연동 경로를 통해 2차 프로세스로 전달되고 연결보호노드1의 브리지 실렉터를 보호 경로2(p2)를 사용하도록 절체를 수행하여 보호 경로2(p2)로 트래픽을 송수신하며, 2차 프로세스의 선형 보호절체 메시지에 1차 프로세스에 동시 장애를 나타내는 가상 운영경로 장애를 알리는 SF(w2) 보호절체 메시지를 2차 프로세스에게 송신하여 트래픽을 보호한다. 그러면 연결보호노드1과 3이 운영경로와 보호경로에 동시장애가 발생했음을 인지하고 2차 프로세스는 브리지 실렉터를 보호 경로2(p2)가 인접도메인 경로를 사용하도록 절체를 수행하여 보호 경로2 (p2)의 트래픽을 인접도메인으로 송수신될 수 있도록 한다. 노드 장애가 아닌 동시 장애의 경우, 자신과 연결될 경로의 동시 장애를 인식한 노드는 인접 보호 서브네트워크와 연결된 링크를 폐쇄하여 사용하지 않아야 한다. 본 제안된 방안은 임의의 서브 보호네트워크에서 장애가 인접 보호 서브네트워크의 경로 절체를 유발시키지 않는다.

IV. 다중 보호 서브네트워크에서 보호절체 연동 설계

현재 실제 전달망은 여러 통신 사업자, 기업, 중앙/지방 정부가 개별적으로 보호 서브네트워크를 구성하여

운영 중이며, 주요 통신 사업자망에 연결된다. 이 때 OAM과 보호절체 기술은 서로 연동되지 않고 중단되며, 연결 노드에서 장애가 발생했을 경우에는 네트워크 트래픽의 실시간 복구가 어렵다. 그래서 이 장에서는 이중 노드 상호 연결이 가능한 이중 프로세스 선형 보호절체 기능과 링 보호절체 기능을 활용하여 다중 구간 분할 네트워크에서 적절한 보호절체 연동을 위한 네트워크 구조를 설계한다. 실제 많은 전달망이 링 구조를 가지고 있는 것을 고려하여 물리적으로 링 모양의 보호절체 연동 네트워크 설계를 위해 본 논문에서는 회선 기술인 OTN 기술과 링 보호절체 규약이 없는 MPLS-TP 기술을 배제하고 링과 선형 보호절체 규약을 모두 가지고 있는 이더넷 데이터 평면에서 이더넷 가상 연결 EVC (Ethernet Virtual Connection) 기반 데이터 전달 경로 기술을 사용하여 최적의 보호절체 연동 설계를 고민한다.

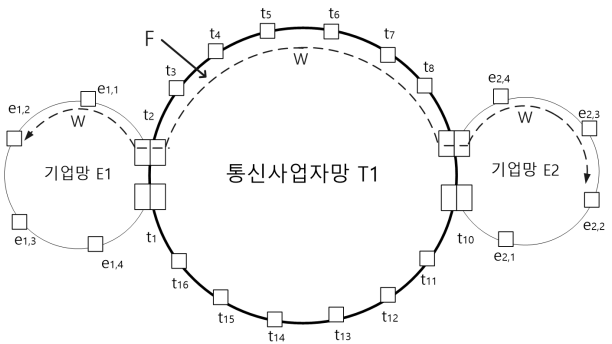
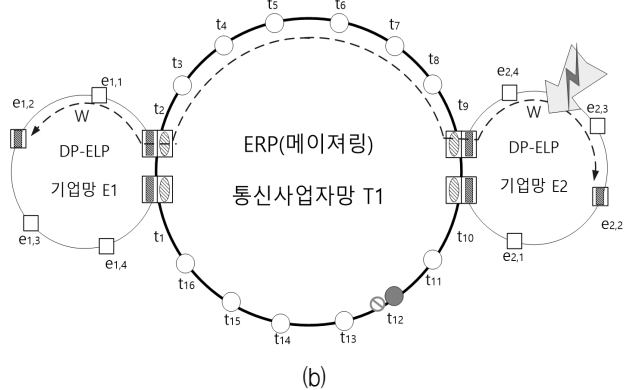
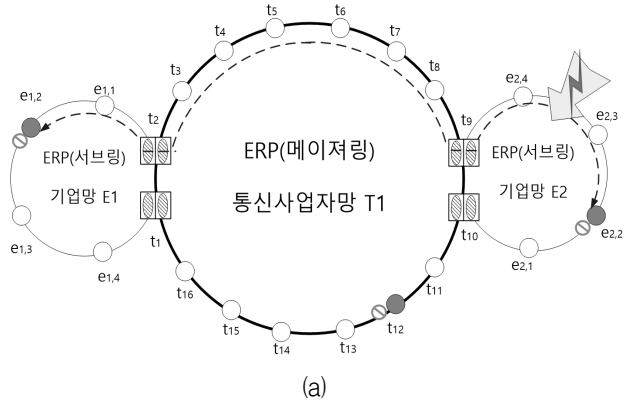


그림 6. 다중 보호 서브네트워크의 참조 모델
Fig. 6. Reference Network for Multiple protected sub-networks

그림 6은 그림 2의 참조 모델을 기반으로 두 개의 기업 망(Enterprise Network)과 하나의 통신사업자 망(Telecommunication Operator Network)을 가정하고 각 구간에서 이더넷 링 보호절체 ERP (Ethernet Ring Protection), 이더넷 선형 보호절체 ELP (Ethernet Linear Protection)와 개선된 이중 프로세스 이더넷 선형 보호절체 DP-ELP (Dual Process Ethernet Linear Protection)를 적용할 수 있는 링 토폴로지 기반의 다중 보호 서브네트워크의 기준 모델을 도시한 것이다. 각 그림에서 3개의 보호 서브네트워크는 하나의 통신사업자 망(Telco network)(T1)와 2개의 기업 망으로 구성하고 통신 사업자 망은 16개의 이더넷 노드로 구성되고 이 노드들중에서 두 개의 노드를 이중 연결 노드로서 사용하여 각 기업 망과 연결하며, 기업 망에 4개의 노드를 더 추가하여 다중 보호 서브네트워크를 구성하였다. DNI를

제외한 모든 노드들은 다수의 클라이언트를 가지는 하나의 서브 넷을 가진다. 우리는 e1.2, e2.2사이에 하나의 트래픽 흐름(F)을 성능 분석을 위해 주목하고, 다음 장에서 노드 장애에서 기인한 다중 링크 장애 발생 환경과 보호 서브네트워크내의 경로 장애 환경에서 각 보호절체 프로토콜이 적용된 다중 보호 서브네트워크의 성능을 분석한다. 그림 6을 기반으로 다중 보호 서브네트워크에서 선형과 링 보호절체 프로토콜을 적용하여 복구가 가능한 3개의 다중 보호 서브네트워크를 그림 7과 같이 4가지 형태로 모델링 했다. 그림 7(a)는 링 보호절체 기술에서 정의하는 링 연결 노드를 연결 노드로 사용하여 형성할 수 있는 다중 이더넷 링 구조를 보여준다. 다중 이더넷 링 구조는 여러 가지 형태의 계층적 구조를 가질 수 있고, 그에 따라 보호절체 성능이 달라 질수 있다. 여기서는 기존의 분석^[18]에서 다루지 않았고 본 논문의 주요 해결 목표인 두 개의 서브네트워크에 동시에 장애를 발생시키는 연결 노드 장애와 링크 장애에 대해서 다루고, 그 형상을 그림 7(a)처럼 하나의 메이저 링에 두 개의 서브 링이 연결된 형태로 한정한다.



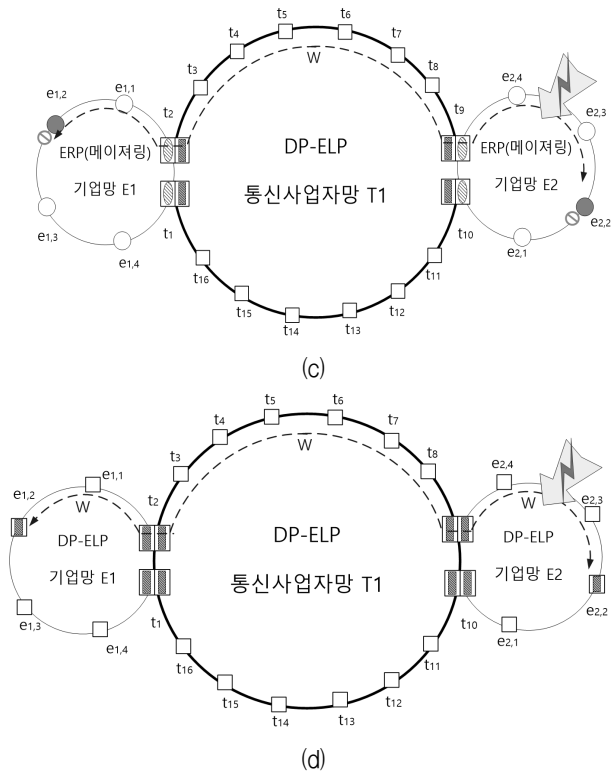


그림 7. 다중 보호 서브네트워크에서 (a) 3ERP (b) ERP+2DPELP (c) DPELP+2ERP (d) 3DPELP 이중 보호절체 적용 모델

Fig. 7. Heterologous protection switching model (a) 3ERP (b) ERP+2DPELP (c) DPELP+2ERP (d) 3DPELP in Multiple protected sub-networks

그림 7(b),(c)는 그림 7(a)와 동일한 물리적 환경에서 성능 분석을 위하여 물리적인 링 토폴로지에서 ERP와 DP-ELP 방법이 혼재하는 형태를 보여주고, 그림 7(d)는 물리적인 링 토폴로지에서 DP-ELP를 이용한 다중 보호 서브네트워크 구조를 보여준다.

1. 이더넷 다중 링 보호절체에 의한 상호 연결

이더넷 링 보호절체 기술에서는 장애가 발생하면 트래픽 전달 경로가 변경되어야 하고, 이 과정에서 MAC 주소를 갱신하기 위해 일시적 트래픽 폭주가 발생한다. 그래서 트래픽 폭주를 최소화하는 연구가 진행되어 왔다^[18~19]. 본 논문의 그림 7(a)는 3개 보호 서브네트워크가 ERP에 의해 보호되는 3ERP네트워크라 부르고, 링 형태의 통신사업자 망은 16개의 이더넷 노드에 16개의 ERP 프로세스를 운영한다. 이 중에서 4개 노드는 인접 링과 이중 노드 상호 연결을 위해서 연결 노드로 사용된다. 인접 기업 망과 통신사업자 망은 이중 노드 상호 연결에 사용되는 2개의 노드를 공유하며, 이 노드는 각 노드마다 링 연결을 위하여 2개의 ERP 프로세스가 존재하

며, 이더넷 링 보호절체의 멀티 링 연결 방식에 따라 각 링의 ERP 프로세스 사이에 가상 채널(Virtual channel)로 연결되어 있다. 노드 e1.2, e2.2와 t12는 각 링의 마스터(Master) 노드로 정의한다. 마스터 노드는 링이 정상 상태에서 루프방지를 위해 한 쪽 링 포트를 폐쇄(blocking)한다. 링 구조는 하나의 메이저 링과 두 개의 서브 링으로 구성된 3개의 ERP가 적용되는 다중 보호 서브네트워크이다.

2. 이중의 보호절체 프로토콜에 의한 상호 연결

이더넷 링 보호절체는 이미 여러 전달망 장비에서 사용되고 멀티 링을 이용하여 다중 보호 서브네트워크에서 노드 장애에 대한 복구 방안이 마련되어 있지만, 전이 트래픽에 대한 이슈가 존재한다. 그림 7(b),(c)는 3개의 보호 서브네트워크 전체에 링 보호절체가 적용되지 않도록 링과 선형 보호절체가 혼재된 경우를 도시한 것이고 이전의 멀티 링 구조와 물리적으로 동일한 노드로 구성한 것이다. 그림 7(b)의 경우, 통신사업자 망은 링 기반의 ERP를 적용하고 두 개의 기업 망은 ELP가 운용되는 보호 서브네트워크에서 본 논문에서 제안한 DP-ELP가 적용되며 상호 연결이 가능한 모델로 ERP+2DPELP라 부른다.

그림 7(c)의 경우, 통신사업자 망은 DP-ELP를 적용하고 기업 망은 ERP가 적용되어 2ERP+DPELP라 부른다. DP-ELP 구간에서 트래픽 흐름은 DP-ELP 구간의 운영 (Working) 경로를 통해 전달되고, 그림 5처럼 이중 노드 상호 연결을 통해 두 개의 논리적 보호 경로들이 운영 경로와 물리적으로 분리된 경로에 설정되며 연동 경로를 통과하는 것과 통과하지 않는 두 개의 논리적 보호 경로가 적용된다.

3. 이중 프로세스 선형 보호절체에 의한 상호 연결

그림 7(d)는 네트워크에서 링 노드를 모두 제거하고 DP-ELP를 이용하여 3개의 보호 서브네트워크를 구성한 것을 도시한 것으로 본 논문에서는 3DPELP라고 부른다. 트래픽 흐름 F은 DP-ELP 구간의 운영 (Working) 경로를 통해 그림 7(a)~(c)와 같은 경로로 구성되고, 연결 노드 사이에 연결 링크도 물리적으로 하나의 링크만 연결되고, 논리적으로 구분된 경로들로 보호절체 적용에 필요한 경로가 구성된다. 1:1 선형 보호절체를 사용하고 있으므로, 두 개의 보호 경로는 정상상태에서 대역폭을 소모하지 않는다.

그림 7에서 각 보호 서브네트워크에서 이중 노드 상

호 연결을 제외한 네모 상자는 ELP 프로세스를 탑재한 노드이며, 원형 모양은 ERP 프로세스가 운용되는 노드이다. 연결 노드에서 보호절체 프로세서는 격자가 추가된 네모 상자 또는 원형 모양으로 표시하였다 물리적인 토폴로지에서 ERP가 적용되는 보호 도메인에서는 심플하게 하나의 가상 랜에서 서비스 트래픽이 다점 대다점 연결이 가능하지만, ELP 프로세스가 적용되는 DP-ELP 보호 서브 네트워크는 클라이언트 트래픽 보호를 위해 각 노드 사이에 논리적 풀-메쉬(Full-mesh)형태로 점-대-점 운영, 보호 경로가 여러 개 설정된다.

V. 성능 분석

그림 7의 참조 모델에 대한 성능 분석은 OPNET^[20] 시뮬레이터를 이용하여 분석한다. 각 모델에 대한 복구 성능은 OPNET에서 제공하는 상업적인 이더넷 스위치에 ERP, ELP와 DP-ELP 프로토콜을 구현하여 분석한다. 통신 사업자 망에서 각 노드의 연결 링크는 20km 10G 전이중 링크를 사용하며, 기업 망의 각 노드는 10km 1Gbps 전이중 링크를 사용하였다. 일반 노드에 연결된 각 서브 넷은 1000개의 클라이언트가 연결된 네트워크이다. 클라이언트가 발생시키는 트래픽은 다른 서브 넷으로 고루 분산 송신 되며, 평균 0.8Mbps의 대역폭을 가진다. 생성된 트래픽들은 송신지와 수신지가 양방향 통신을 수행하고, 양방향 모두 동일한 노드와 링크를 통해 전달된다. 앞 장에서 기술한 3개의 보호 서브네트워크를 관통하는 트래픽 흐름 F는 평균 0.8Gbps 전송량으로 전달된다. 그리고 각 노드의 데이터 및 보호절체 메시지의 서비스 시간은 각각 10 mpps (million packets per second)와 0.01 mpps이다.

그리고 장애는 경로의 양방향 장애를 유발하며, 각 노드에서 보호 절체 프로세스가 장애를 인식하기 위해 약 10ms가 소요되며, 임의의 시간에 20개 ELP가 동시에 동작할 때, 평균 트래픽 복구 시간은 장애 인식 시간을 포함하여 20ms를 넘지 않는다^[21].

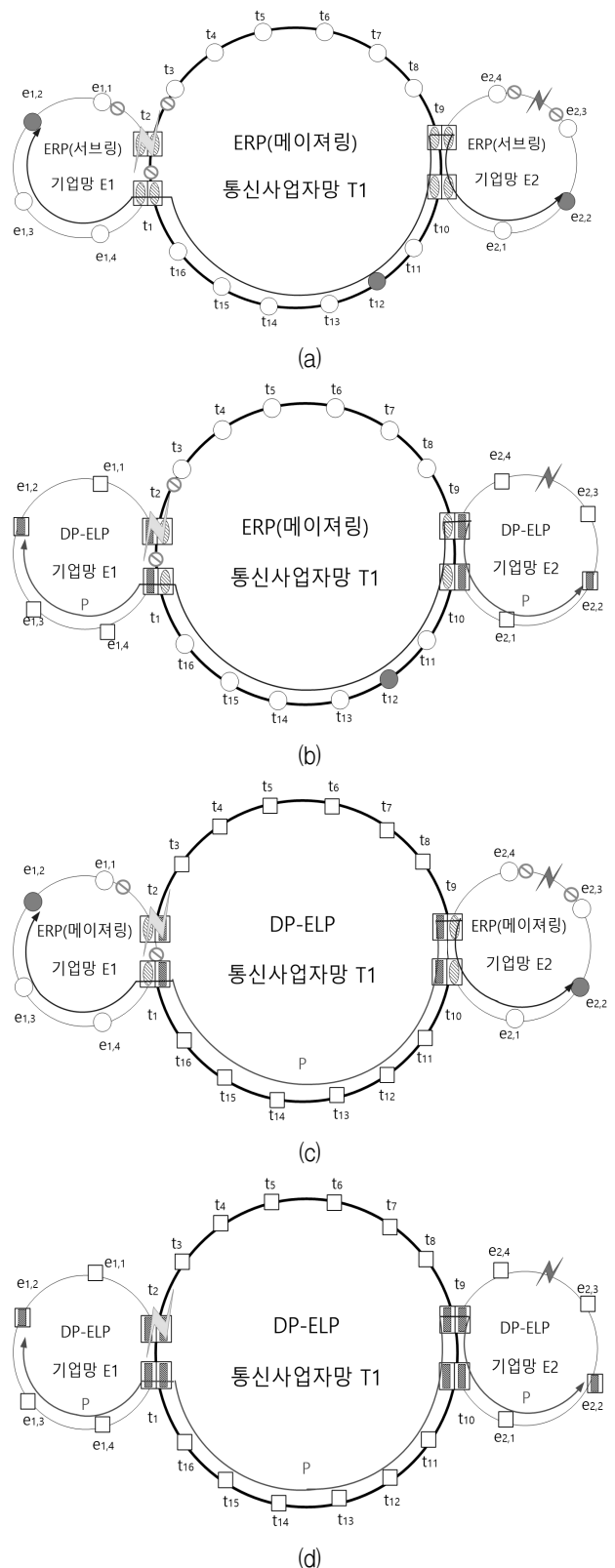


그림 8 다중 보호 서브네트워크에서 (a) 3ERP (b) ERP + 2DP-ELP (c) DP-ELP + 2ERP (d) 3DP-ELP 모델에서 링크 및 노드 장애 발생

Fig. 8. zailurecasesof (a) 3ERP (b) ERP + 2DP-ELP (c) DP-ELP + 2ERP (d) 3DP-ELP mode linMultipleprotectedsub-networks

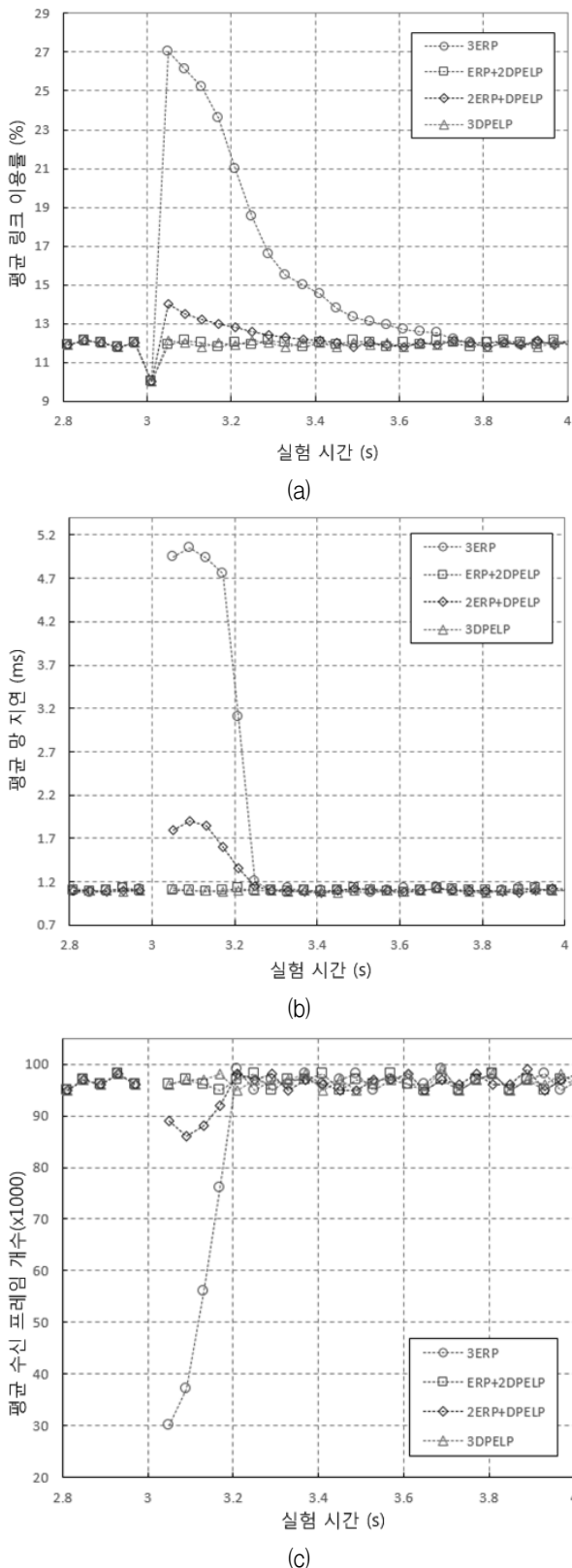


그림 9. 기업 망의 링크 장애에 따른 (a) 평균 링크 이용률 (b) 트래픽 흐름 F의 평균 지연 시간 (c) 트래픽 흐름 F의 평균 수신 프레임 수

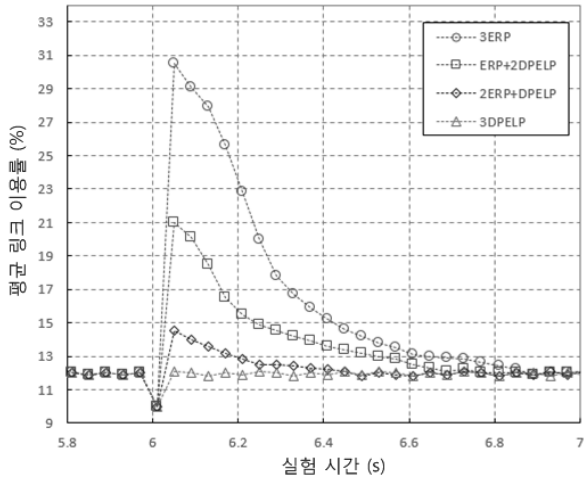
Fig. 9. Link failures in enterprise network: (a) average link utilization, (b) average delay of flows F, and (c) average number of received frames of flows F.

첫 번째 시험은 그림 7처럼 상기 구성된 4가지의 다중 보호 서브네트워크에서 링크 장애가 발생했을 경우에 대한 것으로 성능분석을 위해 시뮬레이션 3초 지점에서 우측 기업 망의 e2.3, e2.4사이 링크에서 장애를 발생시키고 OAM 장애 인식 시간 후에 매 40msec 마다 통신사업자 네트워크와 기업 네트워크에서 링크 이용률을 측정하고, 서비스 중단 노드사이의 지연과 수신된 프레임의 수를 분석한다.

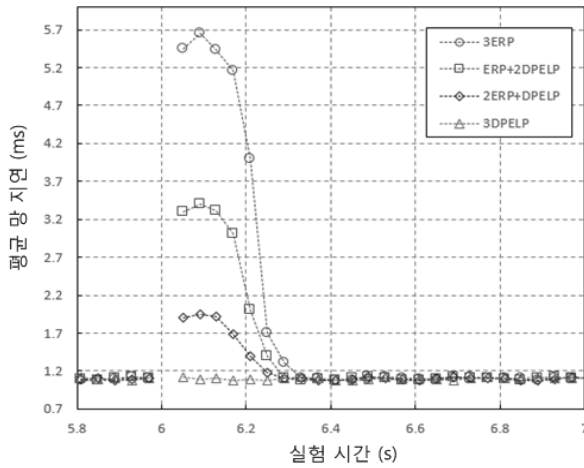
그림 9(a)에서 3DPELP와 ERP+2DPELP의 경우, 링크 장애에 대해 해당 보호 서브네트워크의 연결 노드를 포함한 모든 노드가 ELP 프로세스에 선형 보호절체를 수행하고, 절체동작과정에 인접 보호 서브네트워크에 전이 트래픽을 보내지 않는다. 하지만 3ERP의 경우 서브링의 장애로 인해 메이저 링의 노드도 영향을 받기 때문에 전이 트래픽이 약 27%까지 급격하게 증가한다. 이것은 서브 링 내에 장애가 발생하는 경우, 기존의 링 네트워크 내에 포워딩 토폴로지가 더 이상 유효하지 않아 이더넷 링 보호절체 기능이 전달 테이블의 기존 학습된 MAC 주소를 한꺼번에 소거하고, 새로운 링 토폴로지를 구성하는 과정에서 다수의 이더넷 프레임이 링 노드들에서 복제되기 때문이며, 3ERP의 네트워크 보호 모델에서는 통신사업자 망과 우측 기업망의 MAC주소가 모두 갱신되는 현상에 기인한다. 2ERP+DPELP의 경우는 링 노드의 규모가 작은 기업 망에서만 MAC주소를 갱신하여 전이 트래픽의 양이 상대적으로 작다. 그림9(b)와(c)는 트래픽 흐름 F의 평균 망 지연과 평균 수신 프레임 수를 나타내는 것이다. 링 보호절체가 적용된 네트워크 구조에서는 전이 트래픽에 의해 약 200msec동안 망 지연이 발생되고 지연의 정도는 전이 트래픽의 양과 관련이 있다. 그리고 링 보호절체의 전이 트래픽과 망 지연은 2ERP+DPELP 경우 약 10%, 3ERP의 경우 약 67%순간 프레임의 손실을 야기한다.

두 번째 장애 시나리오는 첫 번째 시험 후 전체 네트워크가 충분히 안정화된 시점(시뮬레이션 5초)에서 트래픽 생성기를 재시작 후, 6초 시점에 그림 8과 같이 통신사업자 망과 좌측 기업 망의 이중 노드 상호 연결에 사용된 노드(t2)에서 장애가 발생하여 해당 노드와 연결된 모든 링크에서 동시에 장애가 감지되도록 한다. 해당 노드 장애에 대해 첫 번째 시험과 동일 지표의 성능을 분석한다.

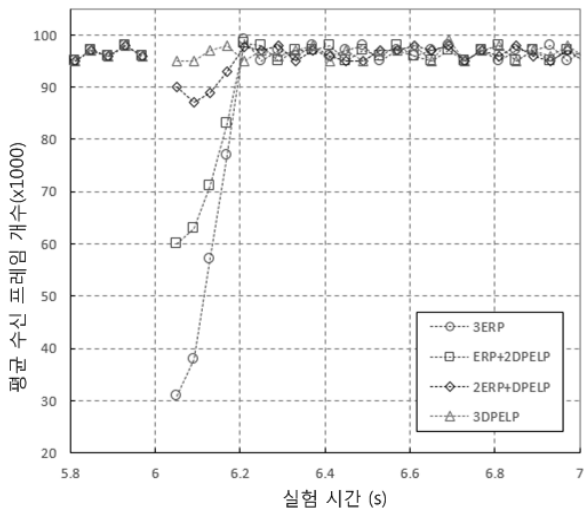
그림 10(a)에서 3DPELP 경우에만 전이 트래픽을 발생하지 않는다. 이는 연결 노드 장애로 인해 좌측 기업 망과 통신사업자 망에 동시에 경로 장애가 발생하기 때



(a)



(b)



(c)

그림 10. 연결 노드 장애에 따른 (a) 평균 링크 이용률 (b) 트래픽 흐름 F의 평균 지연 시간 (c) 트래픽 흐름 F의 평균 수신 프레임 수

Fig. 10. Interconnection node failure: (a) average link utilization, (b) average delay of flows F, and (c) average number of received frames of flows F.

문에 이더넷 링 보호절체가 적용된 나머지 3개의 네트워크 보호 모델에서는 MAC 주소 갱신이 발생하기 때문이다. 노드 장애에 의한 3ERP의 전이 트래픽은 30%를 넘는다. 이는 그림 9의 경우보다 장애 인지 속도가 빨라 순간적으로 전이 트래픽의 복제가 빠르게 진행되기 때문이다. 그림 10(b)와 (c)의 트래픽 흐름 F의 평균 망 지연과 평균 수신 프레임 수는 평균 링크 이용률처럼 보호 네트워크 모델에서 링 노드의 개수에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

그리고 그림9와 그림10에서 장애가 발생한 후, 장애를 감지하는 시간 동안은 모든 보호 네트워크 모델에서 보호 절체를 수행하지 못해 트래픽 흐름의 단절이 발생한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 광 패킷 전달망에서 두 개의 인접 보호 서브네트워크사이에 연결 노드를 이중화하기 위한 이중 프로세스 선형 보호절체 방안을 논의했다. 이중 프로세스 선형 보호절체는 기존 선형 보호절체 프로토콜의 상태 전이 방법과 메시지 전달 방법을 수정 없이 적용할 수 있고, 패킷 전달 망에서 수요가 높은 sub-50ms Dual-Homing에 대한 해법으로 사용될 수도 있다.

그리고 이더넷 전달 기능을 사용하는 전달망에서 링과 선형 보호절체 규약을 모두 적용하여 다중 보호 서브네트워크의 서비스 트래픽 연동 설계를 위해 여러 개의 보호 서브네트워크의 연동 모델을 제시하고 모델별로 성능을 분석했다.

링크 장애와 노드 장애 실험을 통해서 복구 시간에 영향을 줄 수 있는 평균 링크 이용률, 평균 망 지연과 평균 수신 프레임 등의 실험 결과를 분석했을 때, 멀티 링 보호절체를 통한 다중 구간 연결보다는 링 보호절체 적용 네트워크의 수를 줄이거나, 싱글 링 또는 링 보호절체를 사용하지 않는 새로운 다중 보호 서브네트워크사이의 트래픽 연동 방안을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다. 링 보호절체만으로 다중 보호 서브네트워크를 연결하여 구성하는 것은 경우에 따라 전체 망의 많은 노드들이 전이 트래픽을 복제하므로 지양하는 것이 좋고, DP-ELP를 혼용하여 전체 링 노드의 개수를 줄이는 것이 바람직하다.

REFERENCES

[1] K.-K. Lee et al, "Reliable Methods of Interoperability between Packet Transport Networks and IP

Networks,” IEIE J. vol. 51, no. 10, Oct. 2014, pp. 34-406.

[2] ITU-T Rec. G.709/Y.1331 Interfaces for the optical transport network, Feb. 2012.

[3] ITU-T Rec. G.798, Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks, Dec. 2012.

[4] J. Ryoo et al, “OAM and its Performance Monitoring Mechanisms for Carrier Ethernet Transport Networks,” IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 3, Mar. 2008, pp. 97-103.

[5] ITU-T Rec. G.8021/Y.1341: Characteristics of Ethernet transport network equipment functional blocks, Apr. 2015.

[6] ITU-T Rec. G.8113.1/Y.1372.1: Operations, administration and maintenance mechanism for MPLS-TP in packet transport networks, Nov. 2012.

[7] ITU-T Rec. G.8113.2/Y.1372.2: Operations, administration and maintenance mechanisms for MPLS-TP networks using the tools defined for MPLS, Nov. 2012.

[8] ITU-T Rec. G.8121/Y.1381: Characteristics of MPLS-TP equipment functional blocks, Nov. 2013.

[9] ITU-T Rec. G.873.1, Optical Transport Network (OTN): Linear protection, May 2014.

[10] ITU-T Rec. G.873.2, ODUk Shared Ring Protection, Aug. 2015.

[11] ITU-T Rec. G.8031/Y.1342, Ethernet Linear Protection Switching, Jan. 2015.

[12] ITU-T Rec. G.8032/Y.1344, Ethernet Ring Protection Switching, Jan. 2015.

[13] ITU-T Rec. G.8131/Y.1382, Linear protection switching for MPLS transport profile (MPLS-TP), July 2014.

[14] ITU-T Draft. G.MDSP, Multi-domain Segment Network Protection, Oct. 2015.

[15] C.Y. Lee and S.J. Koh, “A Design of the Minimum Cost Ringchain Network with Dual-Homing Survivability: A Tabu Search Approach,” Comput. Operations Research, vol. 24, no. 5, 1997, pp. 883-897.

[16] A. Proestaki and M.C. Sinclair, “Interconnection Strategies for Dual-homing Multi-ring Networks,” Proc. 16th Int. Teletraffic Congress, June 1999.

[17] J. Wang et al, “Dual-Homing Based Scalable Partial Multicast Protection”, IEEE Trans. on computers, vol. 55, no. 9, Sep. 2006. pp. 1130-1141

[18] K.-K. Lee, J.-D. Ryoo, and Y. Kim “Impacts of Hierarchy in Ethernet Ring Networks on Service Resiliency,” ETRI J., vol. 34, no. 2, Apr. 2012, pp. 199-209.

[19] K.-K. Lee, C.-K. Lee, and J.-D. Ryoo, “Enhanced Protection Schemes to Guarantee Consistent Filtering Database in Ethernet Rings,” IEEE Global Commun. Conf., Miami, FL, USA, Dec. 6 - 10, 2010, pp. 1-6.

[20] OPNET Technologies Inc. Accessed Oct. 2012. <http://www.opnet.com>

[21] D.-U. Kim et al, “Protection Switching Methods for Point-to-Multipoint Connections in Packet Transport Networks,” ETRI J., vol. 38, no. 1, Feb. 2016, pp. 18-29.

— 저 자 소 개 —



김 대 업(정회원)
1999년 영남대학교 전자공학과 학사
2001년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사
2013년~현재 충남대학교 전과정 보통신공학과 박사과정
2001년~현재 한국전자통신연구원 초연결통신 연구소 책임연구원
<주관심분야: 데이터 통신, 캐리어 이더넷, 패킷 광 전달망, 광 스위칭, 광 네트워크 제어망>



김 병 철(평생회원)-교신저자
1988년 서울대학교 전자공학과 학사
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1993년~1999년 삼성전자 CDMA 개발팀
1999년~현재 충남대학교 전과정보통신공학과 교수
<주관심분야: 이동인터넷, 이동통신 네트워크, 데이터 통신>



이 재 용(평생회원)
1988년 서울대학교 전자공학과 학사
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1990년~1995년 디지털 정보통신 연구소 선임 연구원
1995년~현재 충남대학교 전과정보통신공학과 교수
<주관심분야: 데이터 통신, 인터넷, 네트워크 성능분석>