

IEEE 802.1Qay PBB-TE 표준 시스템 구현과 상호 운용성 검증

준회원 김 현 필*, 학생회원 문 상 원**, 종신회원 최 진 식****

Implementation and Interoperability Test for the IEEE 802.1Qay PBB-TE System

Hyun-Pil Kim* Associate Member, Sang-Won Moon** Student Member,
Jin-Seek Choi**** Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.1Qay PBB-TE 표준 시스템을 구현하고 상용 제품과의 연동을 통해 구현된 프로토콜의 상호 운용성을 검증하였다. 상호 운용성을 검증하기 위해 표준 프로토콜의 구현과 커널 제어 기능을 함께 포함한 통합 네트워크 시스템 형태로 구현하였다. 상용시스템과 상호 운용성 시험을 통하여 PBB-TE TESI 및 ESP 회선설정 기능과 보호 절체 등 구현된 프로토콜의 검증뿐만 아니라 동작 결과를 함께 모니터링 하였다.

Key Words : IEEE 802.1Qay, PBB-TE, MAC-in-MAC, CFM, 상호 운용성(interoperability)

ABSTRACT

In this paper, we implement IEEE 802.1Qay PBB-TE system and verify interoperability with the commercial PBB-TE product. In order to verify interoperability, we implement the standard protocol as well as the system integrating functions including system kernel control functions. Through interoperability tests with the commercial system, we verify the implemented protocol to perform PBB-TE TESI and ESP configurations, and protection switching as well as monitoring the results.

I. 서 론

캐리어 이더넷은 기존의 소규모 네트워크인 LAN에서 이용되어 왔던 이더넷 기술을 백본 캐리어 기술로 확장시킨 기술이다. 캐리어 기술이란 기존 근거리망의 최선형 비연결 서비스에서 백본망에 보장형 연결 서비스로 변화를 의미하고 연결 회선에 대한 서비스 품질(Quality of Service: QoS)이 보장되고 신뢰성 및 보호 절체를 위한 망 운용 시 동작, 운용, 관리(Operation, Administration, and Management: OAM)

가 제공되는 기술이다^[1]. 대표적인 캐리어 이더넷 기술은 IEEE 802.1의 Provider Bridge(PB: 802.1ad), Provider Backbone Bridge(PBB: 802.1ah), Provider Backbone Bridge-Traffic Engineering(PBB-TE: 802.1Qay)로 표준화 되어있다^[2-4]. PBB-TE 기술은 2008년 IEEE에서 표준화가 완성되었으며 관련 서비스 표준은 Metro Ethernet Forum(MEF)에서 정의하였다^[5]. 현재 4G 모바일 백홀망을 기반으로 국내·외에서 도입이 확산되고 있는 중이다^[6].

프로토콜입장에서 PBB-TE는 신뢰성 있는 회선 서

* 이 논문은 2007년 (HY-2007-G) 한양대학교 일반연구비 지원으로 연구되었음.

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, ** 한양대학교 미디어통신공학부

*** 한양대학교 컴퓨터공학부 Mobile & Intelligence Routing 연구실(jinseek@hanyang.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-07-297, 접수일자 : 2011년 7월 15일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 21일

비스 제공을 위해 Spanning Tree Protocol(STP) 기반의 느린 망 재구성 문제를 해결하고 사용자 회선 서비스 품질 모니터링과 노드나 링크의 장애 시 보호 절체를 위한 이더넷 백본 기술이다. PBB-TE는 백본망에서 이더넷 기반의 가상회선(Ethernet Switthed Path: ESP)을 MAC-in-MAC 형태로 제공한다. 제공된 ESP 회선의 QoS를 보장하기 위해 ESP 종단간 Continuity Check Message(CCM) 메시지를 사용하여 전송 상태를 모니터링 한다. 신뢰성을 보장하기 위해 노드나 링크의 장애가 발생하면 기존 회선 교환 기술 기반의 50ms 안의 빠른 ESP 보호 복구 기술이 사용된다.

PBB-TE 표준 프로토콜을 중심으로 많은 제품 및 구현 연구가 진행 되었다⁷⁻⁹⁾. 이원경 등은 PBB-TE 시스템에서의 QoS 레벨에 따른 계층적 QoS 매커니즘을 구현하였다⁷⁾. 윤지욱 등은 PBB-TE 기술을 접목한 패킷 광 통합 전달망을 제안하고 고가용성과 신뢰성을 검증하기 위하여 E-line을 구축하고 보호 절체 기능을 실험하였다⁸⁾. 하지만 위 두 논문은 완성된 PBB-TE 시스템을 기반으로 QoS 및 보호 절체 기능을 구현하고 검증하였기 때문에 내부 시스템 정보를 어떻게 제어하는지에 대한 표준 프로토콜 구현 정보가 부족하다. 이원경 등은 PBB-TE망에서 다중점 연결을 위하여 주소학습 및 멀티캐스트를 이용한 자동 가입자 검색 매커니즘을 제안하였다⁹⁾. 여기서 가입자 맥의 인캡슐레이션을 위한 내부 데이터베이스의 연결 관계를 잘 제시하고 있으나 디캡슐레이션과정이나 보호 절체 프로토콜과 데이터베이스 구조와의 연동 기능에 대한 언급이 없다. 또한 ESP를 설정을 위한 시스템 내부 정보에 대한 제어 기능에 관한 설명이 부족하다.

본 논문은 PBB-TE 망에서 IEEE 802.1ah MAC-in-MAC 프로토콜, IEEE 802.1ag CFM(Connectivity Fault Management) 프로토콜, 그리고 1:1 보호 절체 프로토콜을 구현한다^{10,11)}. 구현된 프로토콜의 상호 운용성 검증을 위한 내부 시스템 구성 설정 제어 구조와 설정된 자원의 변화 여부를 모니터링하고 검증할 수 있는 제어 시스템을 구현한다. 특히 표준 프로토콜과 내부 데이터베이스 구조와의 연동 구조 제시 및 에이전트 프로토콜을 독자적으로 구현하고 내부 데이터베이스들을 제어할 수 있는 에이전트 프로토콜과 모니터링 구조를 함께 구현하여 실제 상용 제품과의 상호 운용성 시험에 활용될 수 있는 PBB-TE 시스템을 구현한다.

PBB-TE 표준 프로토콜과 내부 데이터베이스의 제어를 위한 에이전트 프로토콜 구현 플랫폼은 유무선

공유기로 사용되고 있는 Buffalo WZR- HP-G300nh와 공개 임베디드 리눅스인 OpenWRT, 그리고 리눅스 Bridge 오픈 소스를 이용하여 개발한다. 개발한 PBB-TE 시스템을 실제 공유기에 동작시키고 액터스 G200 PBB-TE 제품과 함께 캐리어이더넷 패킷 전달망을 구성하여 상호 운용성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 제 II장에서는 표준의 구현과 관련된 핵심적인 PBB-TE의 표준 프로토콜의 구현에 대하여 설명하고 제 III장에서는 PBB-TE의 구현과정에서 시스템 내부 데이터의 연동에 대하여 기술한다. 제 IV장에서는 구현된 시스템과 상용시스템과의 상호 운용성을 검증한 후, 마지막으로 제 V장에서는 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.1 Qay PBB-TE 프로토콜 구현

2.1 PBB-TE 프로토콜

2.1.1 PBB-TE 개요

PBB-TE 망은 아래 그림 1과 같이 Backbone Edge Bridge(BEB)와 Backbone Core Bridge(BCB)로 구성된다. BEB는 가입자 맥 주소(MAC 주소)를 독립적인 백본 MAC 주소를 갖는 MAC-in-MAC 프레임으로 인캡슐레이션하여 백본네트워크로 전달하는 노드이다. BCB는 BEB나 BCB로부터 수신된 다량의 MAC-in-MAC 프레임을 빠른 속도로 다른 BEB나 BCB에게 전달하는 노드이다. BEB간에는 ESP가 설정되고 ESP는 CFM을 통해 성능이 주기적으로 모니터링 된다. ESP는 1:1 선형 보호 절체를 위해 여러 개가 존재할 수 있다.

IEEE 802.1Qay PBB-TE 표준은 연결형 이더넷 패킷 전달 기술이다. IEEE 802.1ah PBB 표준의 MAC-in-MAC 기술을 기반으로 한다¹²⁾. IEEE 802.1ah PBB와의 가장 큰 차이점은 Filtering Database(FDB)에 등록되지 않은 수신자 주소를 갖는 이더넷 프레임에 대하여 플러딩 하는 기능의 제거이

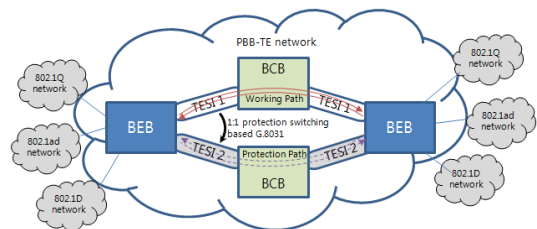


그림 1. PBB-TE 망
Fig. 1. PBB-TE Network

다. 또 루프를 방지하기 위한 STP와 소스 MAC 주소에 대한 스스로 학습 대신에 이더넷 기반 연결을 위한 Forwarding table을 외부 에이전트(External Agent)를 통해서 최단거리 경로를 직접 생성하는 점이다.

PBB-TE의 MAC-in-MAC 기술은 사용자 망과 프로바이더 망의 주소를 구분 사용함으로써 사용자망과 프로바이더 망 트래픽을 분리할 수 있다. 백본 브리지들은 사용자 프레임을 백본용 MAC 주소로 인캡슐레이션하여 사용자 MAC과 독립적으로 동작한다. 즉, 백본망의 제어 및 데이터 평면은 백본전용 MAC 주소를 사용하므로 백본망의 메시지를 사용자 망측으로 전달하지 않는다.

또 ESP 연결을 위해 중단간 가상 회선을 제공하기 위하여 백본망 프레임안에 B-TAG를 사용한다. B-TAG안의 백본 VLAN ID(B-VID)는 백본망 내 여러 개의 터널을 구분한다. B-VID는 primary B-VID 및 backup B-VID를 미리 설정하여 primary 경로의 장애 시 즉시 가상랜 방식의 대체 경로를 사용할 수 있다.

사용자간 연결서비스 제공을 위해 백본 MAC 주소 뿐만 아니라 24비트 길이의 service identifier(I-SID)를 추가 사용하여 각 터널에 사용되는 백본 서비스 인스턴스(Backbone Service Instance: BSD)를 식별한다.

PBB-TE는 TE service instance(TESI)를 제공한다. TESI는 동일한 서비스 품질을 갖는 ESP 집합으로 Internal Sublayer Service(ISS)와 Enhanced Internal Sublayer Service(EISS)를 지원하는 맥 릴레이 및 태깅 서비스의 인스턴스이며 양방향 서비스 형태로 구성된다. TESI는 TE-SID로 구분되며 TE-SID는 ESP 3개의 튜플인 <ESP-DA, ESP-SA, ESP-VID>로 표시된다. 따라서 각각의 TE-SID는 TESI의 ESP들 중의 하나를 구분한다.

TESI는 두 가지 종류가 있다. 첫 번째는 점대점(point-to-point) TESI이며 두 개의 점대점 ESP로 만들어진다. 점대점 ESP는 BEB의 Customer Backbone Port(CBP)간 ESP이다. 각 ESP의 ESP-DA, ESP-SA는 두 CBP의 개별 MAC 주소이다. 두 번째는 점대다중점(point-to-multipoint) TESI로 점대다중점 ESP와 점대점 ESP로 만들어진다. 점대다중점 ESP는 루트가 되는 CBP가 있고 그 루트에 붙는 리프 CBP들로 다중점 ESP를 형성한다. 루트에서 리프로 향하는 방향인 점대다중점 ESP의 ESP-DA는 n개의 리프로 송신하기 위한 그룹 MAC 주소이며 ESP-SA는 루트 CBP의 MAC 주소이다.

PBB-TE의 메시지 포맷은 그림 2와 같이 802.1ah

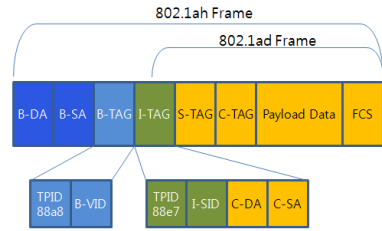


그림 2. 802.1ah PBB프레임구조
Fig. 2. 802.1ah frame format

PBB프레임과 동일하며 B-MAC헤더와 B-TAG, I-TAG가 인캡슐된 tagged 프레임이다. B-TAG의 Tag Protocol Identifier(TPID)는 0x88a8을 사용하며 I-TAG의 TPID는 0x88e7을 사용한다.

PBB-TE에서 CCM의 포맷은 그림 3과 같이 백본 맥으로 인캡슐레이션 되어 ESP 경로를 따라간다. CCM의 멀티플렉싱을 위한 Ethertype은 0x8902이고 CFM Common Header에서의 Opcode는 0x01이다. CCM의 Flags Field에서 최상위 두 번째 비트가 트래픽필드이다. 이것은 TESI안에 BSI의 존재를 알리는 것이고 PBB-TE일 때만 이 값을 검사한다.

모든 ESP는 외부 에이전트를 통해 프로비전 된다. ESP 채널의 구분은 <ESP-DA, ESP-SA, ESP-VID> 3개의 튜플로 구성된다. 프로비전된 ESP 채널 모니터링을 위해 continuity check, loopback, linktrace 프로토콜이 지원된다. 그리고 PBB-TE 브리지의 관리를 위하여 각 브리지는 SNMP SMIv2 모듈을 가진다.

ESP 프로비전을 위한 연결 설정과 관리기능을 수행하는 외부 에이전트는 각 브리지에 중앙집중형 또는 분산형으로 BEB와 BCB 내외부에 존재할 수 있다. IEEE 표준에서는 아직 외부 에이전트 프로토콜과 관련된 표준을 정의하고 있지 않지만 PBB-TE의 데이터를 관리하는 외부 에이전트로 IETF GMPLS 프로토콜인 Path Computation Element(PCE)나 SNMP 등을 사용하여 PBB-TE 망의 중단간 연결을 제어하거나 관리할 수 있다. 본 논문에서는 중단간 연결제어와 모

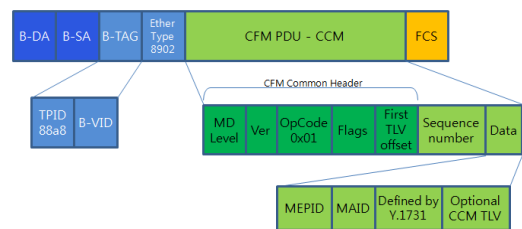


그림 3. CCM PDU 구조
Fig. 3. CCM PDU format

니터링 기능을 위해 PCE 기반의 GMPLS 프로토콜을 중앙집중형 서버 방식으로 구현한다.

2.1.2 PBB-TE의 구성요소

BEB는 그림 4와 같이 외부 가입자망과 Customer Network Port(CNP)를 통해 연결된다. BEB나 BCB와는 백본망에 붙어있는 Provider Network Port(PNP)로 연결된다. BEB는 내부적으로 하나 이상의 B-Component와 I-Component로 이루어진다. 각 컴포넌트는 맥프레임의 릴레이를 위한 ISS와 tagged 프레임의 처리를 위한 EISS 기능을 지원한다.

BEB는 CNP를 통해서 사용자 프레임을 받는다. 사용자 프레임으로는 802.1Q 프레임이나 프로바이더 브리지(PB)의 802.1ad 프레임, 일반 브리지망의 802.1D 프레임, 또는 다른 프로바이더 운영자 BEB의 802.1ah 프레임을 받을 수 있다. 단, 본 논문에서는 CNP가 802.1ad 프레임만을 수신하도록 가정하였다.

CNP를 통해 받은 프레임은 I-Component를 통하여 I-TAG가 인캡슐레이션되어 Provider Instance Port(PIP)에게 전달된다. PIP를 통해 I-TAG 인캡슐레이션된 프레임은 다시 B-Component로 릴레이되어 Customer Backbone Port(CBP)로 전달된다. CBP는 I-TAG된 프레임을 B-component에게 송수신하는 BEB의 포트이다. B-component에서 B-TAG가 인캡슐레이션된 프레임은 PNP를 통하여 코어네트워크로 들어가게 된다.

BCB는 ISS와 EISS 기능을 통해 B-TAG를 보고 백본망 프레임을 릴레이 한다. BEB와는 다르게 프레임의 고속 스위칭을 목적으로 하기 때문에 BEB의 I-component와 B-component 없이 EISS의 B-TAG 처리를 위한 S-VLAN Component로 구성된다^{2,4)}. BCB의 S-VLAN Component는 802.1ad의 S-TAG를 처리하는 기능 외에 추가로 Traffic Engineering

Multiple Spanning Tree Instance Identifier(TE-MSTID)로 할당된 B-VID에 대한 러닝 금지 및 미등록목적지 주소에 대한 프레임을 버리는 기능을 가진다. 또한 모든 B-VID가 외부에이전트에 의해 할당되고 TESI의 CFM에 대한 Maintenance domain Intermediate Point(MIP) 생성이 가능하다.

2.1.3 BEB의 I-Component

I-component는 가입자 영역 안에 있는 BEB에 포함되는 브리지 요소이다. I-Component의 주요기능은 가입자로부터 받은 프레임을 I-TAG 인캡슐레이션하여 I-TAG의 I-SID로 매핑하는 기능이다. 구현한 매핑 방법은 다음과 같이 두 종류로 나뉜다.

첫째는 Port-based I-SID 매핑으로 S-TAG가 없는 MAC 프레임을 받을 경우 수신 포트번호를 기준으로 I-SID를 매핑 하는 것이다. 둘째 S-Tagged I-SID 매핑으로 CNP에 입력되는 MAC 프레임에 S-VID를 포함한 S-TAG 프레임이 오면 각 S-VID에 대한 I-SID 값을 매핑 하는 것이다. 매핑의 예는 one-to-one의 경우 S-VID당 하나의 I-SID를 할당하는 것이다. many-to-one인 경우, 여러 개의 S-VID를 동일한 하나의 I-SID를 할당하는 것이다. all-to-one은 모든 S-VID를 하나의 I-SID로 할당하는 것이다.

2.1.4 BEB의 B-Component

B-component는 프로바이더 영역안의 BEB에 포함되는 브리지 요소이다. 주요 기능은 다음과 같다.

첫째 I-TAG를 인식하고 I-SID를 해석하여 CBP의 BSI Table에 있는 TESI를 할당한다. B-Component의 EISS는 하나 이상의 BSI들을 TESI로 다중화시킨다. 둘째, 각 TESI에 대한 Maintenance association endpoint(MEP)를 생성하고 장애가 생겼을 때 end-to-end 선형 1:1 보호 절체 기능을 수행한다. 셋째 Loopback Message(LBM) / Loopback Reply(LBR) 과 Linktrace Message(LTM) / Linktrace Reply(LTR) 처리를 위한 CFM MIP를 생성한다.

또한 B-Component는 외부 에이전트를 통해 CBP에 ESP를 매핑하고 ESP-VID를 Multiple Spanning Tree(MST) Configuration 테이블안의 TE-MSTID로 매핑한다. TE-MSTID로 할당된 B-VID에 대한 프레임에 대해서는 러닝을 하지 않고 미등록목적지 주소를 갖는 프레임은 버린다.

CFM 상태 머신은 RMEP 타이머를 이용하여 TESI의 상태를 모니터링하고 이상이 생길 때 관리체널에 AlarmGenerator를 이용하여 알람 메시지를 송신한다.

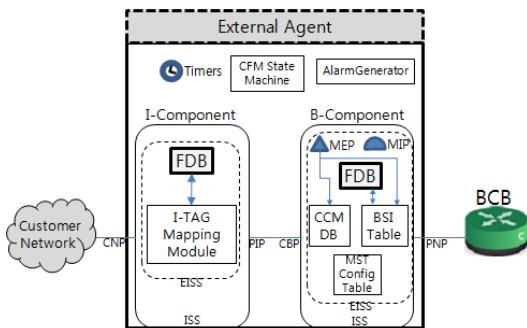


그림 4. BEB의 구성요소
Fig. 4. BEB's structure

Hold-off 타이머는 장애감지 후 문제가 해결될 때까지의 보호절체를 연기할 때 쓰이는 타이머이다. Wait-to-Restore 타이머는 간헐적인 고장으로 보호절체가 자주 일어나는 것을 방지한다.

2.2 PBB-TE CFM 프로토콜

ESP 회선의 연결성을 주기적으로 관리하기 위해 802.lag 표준 CFM 기술을 사용한다. CFM 프로토콜은 링크단절을 감지하기 위한 Continuity Check, Loopback, Link Trace 기능을 지원한다. 링크의 보호절체를 위해서는 CFM 프로토콜 기능 중 하나인 CCM를 이용해서 링크단절을 감지한 후 백업링크로 전환한다. CFM 개체의 설정 인풋은 <인터페이스(브리지포트), MD 레벨, ESP 3투플>이다.

CFM 기능을 위해서는 MEP간, MIP간 연결성을 주기적으로 관리하기 위해 Maintenance Association (MA)이 생성된다. MEP에서는 MAID로 MA를 구분한다. MA에서는 MEPID로 MEP를 명시하고 MEP를 유일하게 구분한다. MEP가 링크 단절을 감지하고 관리하기 위해 MA로부터 가져와야하는 정보는 MD 레벨, MAID, ESP 3투플이다. 특징적으로 PBB-TE의 MEP는 UP MEP로 PBB-TE 망으로 들어가는 ingress 포트만 있으며 피어 인터페이스에게 지속적으로 CCM을 보낸다.

MEP는 MA 상의 Remote MEP(RMEP)로 CCM PDU를 주기적으로 송신하고 RMEP는 CCM을 수신하는 기능을 가지고 있다. CCM PDU 내부에서의 가장 핵심 정보는 MEPID이다. 백본맥의 목적지 주소는 PDU를 받을 RMEP의 CBP MAC 주소이고 백본맥의 소스주소는 보내는 MEP의 CBP MAC 주소이다. 백본맥 내부의 B-TAG는 CFM을 사용하는 ESP의 ESP-VID로 채워진다.

MEP의 CCM PDU 수신기(CC 수신기)는 자기가 가진 MD 레벨보다 낮은 또는 같은 CCM을 수신하고 CCM DB를 업데이트한다. CC 수신기는 받은 CCM에 대한 응답을 하지 않는다. CCM의 송신 주기는 50ms 내 폴트감지를 위해서는 최소 3.3ms 에서 최대 10ms 이내여야 한다. 링크의 장애감지는 CCM 메시지가 CCM 송신주기의 3.5배의 시간동안 도착하지 않을 때 감지된다.

2.3 PBB-TE 보호 절체 프로토콜

PBB-TE의 Automatic Protection Switching(APS) 프로토콜은 G.8031 기반의 1:1 보호 절체와 유사하게 1개의 백업링크를 사용하여 1개의 주 링크를 보호한다.

다. CFM 프로토콜 기능 중 하나인 CCM를 이용해서 링크단절을 감지한 후 백업링크로 전환한다. Protection Switching은 bidirectional protection switching으로 단방향 폴트와 양방향 폴트를 모두 포함한다. 표 1은 CFM 폴트 이벤트에 대해 나열하였다.

MEP마다 각각 폴트 이벤트에 대한 상태머신이 존재한다. 상태머신에는 RMEP timer, RMEP Error timer가 존재하여 각 폴트상황에 대한 폴트지속시간을 체크한다. 또한 폴트 이벤트를 알리기 위해 각 MEP마다 Fault Notification Generator가 따로 존재한다.

MEP가 폴트 이벤트를 감지하면 RMEP port 수신기 장애와 RMEP interface 장애 이벤트를 제외한 모든 폴트에 대해서 확인을 하고 폴트가 확인될 때 폴트의 지속시간을 타이머를 통하여 업데이트한다. 또 Fault Notification Generator 상태머신을 통해 SNMP 알람을 보낸다. 기본 10초 동안 상태머신이 리셋되지 않는 한 알람메시지를 계속 보낸다.

1:1 보호 절체는 BEB에 Working TESI와 Protection TESI를 모두 설정한 상태에서 장애가 생긴 Working TESI가 미리 설정한 Protection TESI로 전환되어 장애가 복구된다. TESI의 상태 변화는 그림 5와 같이 요약할 수 있다. Primary 상태에서 한 방향 폴트나 양방향 폴트가 발생하면 PBB-TE CFM 상태머신에서는 RMEP 타이머의 만료가 일어나 Working TESI에 장애가 감지되고 보호 그룹으로 등록된 Backup TESI가 있는지를 검색한다. Backup TESI가 검색되었을 때 Backup TESI의 상태를 Primary로 변환하고 Working TESI의 상태를 Inactive 상태로 전환한다. Backup TESI가 여러 개일 때는 지정된 우선순

표 1. CFM 폴트의 종류
Table 1. The category of fault for CFM

| 폴트 | 원인 | 상태 관리 |
|-------------------|---|------------------------|
| RMEP 장애 | CCM의 결손 | Remote MEP 상태머신 |
| RMEP RDI | RDI CCM 수신 | |
| RMEP port 수신기 장애 | Port Status TLV 수신 | |
| RMEP interface 장애 | Interface Status TLV 수신 | Remote MEP Error 상태머신 |
| 에러 CCM 장애 | CCM Error | |
| Cross CCM 장애 | Cross CCM의 수신(유니캐스트 CCM이 멀티캐스트 CCM을 받을 때 혹은 반대의 경우) | MEP Cross Connect 상태머신 |

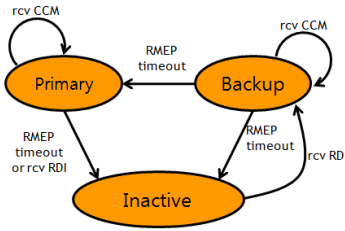


그림 5. TESI 상태 흐름
Fig. 5. TESI state diagram

위에 따라 대역폭이 작은 Backup TSEI로 전환한다.

플러트가 생긴 Inactive Path에서는 상대방 MEP에게 RDI flag가 세팅된 CCM을 송신한다. RDI flag가 세팅된 CCM을 받은 Working TESI는 Inactive TESI로 전환한다. Inactive TESI가 다시 복구되어 RDI CCM을 받을 수 있을 때 Inactive TESI는 Backup TESI로 전환된다.

본 논문에서 구현한 보호 절체 프로토콜은 Hold-off time을 기본 값인 0을 사용하여 장애감지 후 Hold-off 없이 바로 보호 절체되도록 하였다. 또한 Protection TESI로 보호 절체 된 후 절체 되기 전 Working Path가 장애에서 회복되었을 때 다시 Working Path로 돌아가지 않고 Protection Path를 Working Path로 계속 사용하는 비복원 모드 (Non-revertive mode)로 동작하도록 구현했다.

보호 절체를 통한 선 조치 후 AlarmGenerator는 SNMP 알람을 송신하도록 하였다. 생성되는 Alarm은 MEP의 장애상태와 보호 절체된 결과를 외부 에이전트 관리자에게 알린다.

III. PBB-TE 시스템 구현

3.1 PBB-TE 시스템 내부 데이터의 구현

본 논문에서 구현한 플랫폼은 PBB-TE의 노드를 BEB, BCB로 구분하고 표준 프로토콜을 구현하였다. 또한 표준에 명시되지 않은 제어 프로토콜과 인터페이스를 추가적으로 외부 에이전트 형태로 구현하였다.

PBB-TE 시스템의 내부데이터로는 BEB의 I-component를 위한 SVIDT, B-Component 위한 BSIT, CFM위한 CFMT, FDB와 BCB의 FDB로 구현하였다. BCB를 위해 SVLAN component를 구현하였다. 외부 에이전트로는 PBB-TE의 TESI 설정과 모니터링을 위한 서버를 구성하였다.

3.1.1 BEB의 I-Component SVIDT 구현

본 PBB-TE 시스템에서는 I-Component의 I-TAG

내의 I-SID 매핑을 위해서 SVIDT를 내부데이터로 정의하였다. SVIDT는 S-VID와 S-VID에 매핑되는 I-SID 정보, 그리고 인풋 CNP 정보 필드 및 FID 필드로 구성된다. SVIDT는 one-to-one, many-to-one, all-to-one I-SID 매핑을 모두 지원한다.

예를 들어 CNP에 S-Tagged 프레임이 들어오면 SVIDT를 S-VID를 기준으로 해싱하여 엔트리를 검색하고 I-SID를 매핑한다. 또한 SVIDT의 설정은 외부 에이전트가 ioctl을 이용하여 커널안의 SVIDT 값을 설정할 수 있도록 하였다.

3.1.2 BEB의 B-Component FDB 구현

B-Component 내에 고속 스위칭을 위한 FDB가 구현된다. FDB는 B-DA, B-VID, Local 필드, PNP 정보가 한 엔트리를 이룬다. 이 중 Local 필드는 같은 엔트리의 B-DA가 자신의 CBP주소와 같은지의 유무를 나타낸다. FDB의 B-DA와 B-VID를 이용하여 한 PNP에서 다른 PNP로 백본맥 프레임을 릴레이하도록 구현하였다. PNP에 백본맥 인풋 프레임이 오면 <B-DA, B-VID>를 기준으로 해싱하여 엔트리를 검색한다. 또한 Local 필드가 True일 때 BSIT를 이용하여 가입자망으로의 디캡슐레이션 여부를 결정한다.

3.1.3 BEB의 B-Component BSIT 구현

BSI와 TESI의 매핑을 위하여 CBP에 BSIT(BSIT Table)를 구현하였다. B-Component는 BSIT를 통해 I-Component에서 생성한 I-SID를 TESI로 매핑하여 품질 보장 서비스를 제공한다. BSIT는 I-SID와 ESP-DA, ESP-SA, ESP-VID, Local 필드, 예약 대역 및 평균 대역 필드들로 한 엔트리를 이룬다. I-TAG된 프레임이 CBP를 통해 들어올 때 BSIT의 인덱스를 FID로 검색하여 I-SID에 매핑되는 TESI를 찾는다. 또한 ESP의 품질을 보장하기 위하여 ESP의 평균 BW 등을 지속적으로 업데이트 하여 프로비저닝한 서비스의 품질을 보장할 수 있도록 하였다. 단, B-Component의 FDB는 ESP-SA에 대한 러닝이 금지되어 있기 때문에 FDB와 BSIT 역시 외부 에이전트를 통해 ioctl을 이용하여 커널 내부의 FDB, BSIT 엔트리가 설정된다.

3.1.4 BEB의 CFMT 구현

본 논문에서는 위에서 표준이 제시한바와 같이 MEP 설정에 필요한 항목이 모두 들어간 CFM Table (CFMT)을 구성하였다. 커널안의 CFM Table은 <PNP, TE-SID, MD Level, MEPstatus, MEPID, RMEPID, CCMseq>의 튜플로 구성된 엔트리를 가진

다. 따라서 UP MEP가 매핑되는 TESI를 통해 반대편의 피어 RMEP에게 CFMT의 정보를 참고하여 CCM을 송신할 수 있다. CFMT 엔트리는 외부 에이전트가 TESI를 구성할 때 같이 생성하도록 하였다.

CFMT는 CCM이 수신될 때 업데이트된다. PNP로부터 CCM을 수신하면 CFM Common Header 내의 Flag에서 트래픽필드를 보고 CCM이 PBB-TE MEP의 CCM인지를 확인한다. 그리고 MEP는 B-VID가 CFMT에 등록된 ESP-VID인지를 확인하고 정확한 RMEPID를 가진 CCM인지를 확인한 후 RMEPID가 맞을 때 CCMseq를 증가시키고 RMEP 타이머를 업데이트한다.

3.1.5 BCB의 FDB 구현

BCB의 FDB는 BEB의 FDB와 동일하고 BCB는 BEB의 SVIDT, BSIT, CFMT가 없다. BCB는 링크의 장애를 보고하는 AlarmGenerator와 MIP를 가지고 있다. PNP로 MAC-in-MAC 프레임이 들어오면 BCB 내부의 FDB에서 프레임의 ESP-VID, ESP-DA를 기준으로 해싱하여 엔트리를 찾아보고 프레임의 전송 포트를 결정하여 프레임을 송신한다.

3.2 외부 에이전트 구현

본 논문에서는 PBB-TE TESI 구성을 위해 중앙집중형 방식의 외부 에이전트를 추가로 구현하였다. 본 논문에서 구현한 에이전트는 PBB-TE 노드와 연결정보를 자동검색하고 ESP 설정을 실행하여 각 BEB, BCB에 ESP를 구성을 모니터링할 수 있게 하였다. 구현한 외부 에이전트는 그림 6과 같다.

에이전트는 현재 동작하고 있는 노드와 연결된 토폴로지를 검색하여 Topology Graphic Panel에 표시한다. 이곳에서 Configuration Bar와 ESP 설정팝업창

을 이용하여 관리자가 새로운 ESP를 설정할 수 있다. 한번의 ESP 설정만으로 양방향 TESI를 설정할 수 있게 한다. 에이전트는 ESP 설정 프로토콜로 TESI 설정에 필요한 파라미터를 전달하여 BEB의 FDB, BSIT, SVIT 그리고 BCB의 FDB를 업데이트시킨다. 또한 에이전트는 PBB-TE망의 토폴로지와 ESP 정보를 모니터링하면서 각각의 테이블로 관리한다. 망에 장애가 발생하면 PBB-TE 보호 절체 프로토콜에 의해 선 조치되고 에이전트는 AlarmGenerator에서 송신한 알람을 수신하여 그 결과를 관리자가 모니터링할 수 있도록 한다.

3.3 PBB-TE 시스템 동작

PBB-TE 브리지는 FDB 테이블로 ESP 채널에 대한 액티브 토폴로지를 제어한다. 외부 에이전트에 의해 구성되는 액티브 토폴로지는 브리네트워크 안의 포워딩 브리지 포트를 사용하여 ESP 연결성을 제공한다. 액티브 토폴로지서 제외된 disable 포트는 모든 STP와 ESP에 대하여 포워딩과 러닝을 모두 금지한다.

외부 에이전트는 FDB를 통하여 ESP-DA과 ESP-VID를 가지는 ESP 프레임을 제어한다. 브리지 포트가 enable이면 ESP-VID가 할당된 모든 프레임에 대하여 러닝은 금지하고 포워딩만을 허용한다. 또한 PBB-TE 브리지는 ESP-VID를 MSTID와 TE-MSTID에 할당하여 VID에 대한 스페닝트리를 구성할 수 있다.

그림 7은 시스템 내부데이터의 연결동작을 나타낸 것이다. 그림 7의 실선 화살표는 BEB가 가입자의 데이터를 CNP로 받았을 때 BEB나 BCB의 PNP로 프레임을 인캡슐레이션시켜 보내기 위한 테이블 검색 절차를 나타낸다. S-TAG를 가진 프레임을 CNP에서 수신하면 S-VID로 SVIDT를 해싱하여 엔트리안의 정

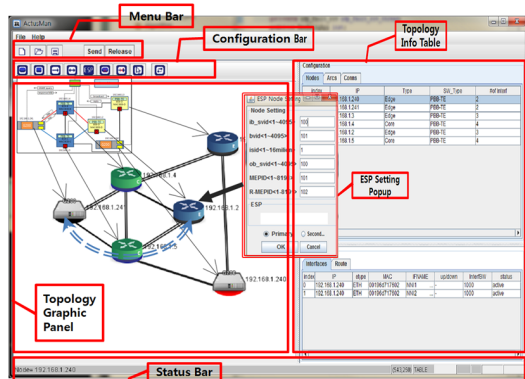


그림 6. 외부 에이전트 GUI
Fig. 6. GUI of External agent

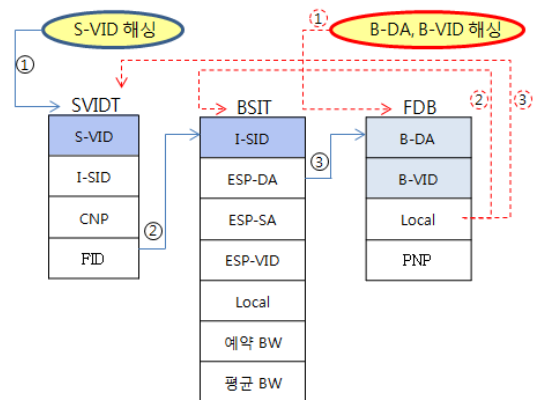


그림 7. 각 테이블의 검색 과정
Fig. 7. The searching procedure of each table

보로 I-TAG를 인캡슐레이션한다. 해싱된 엔트리에서 FID를 이용하여 BSIT를 기반으로 B-TAG를 인캡슐레이션한 후 FDB에 매핑된 PNP로 MAC-in-MAC 프레임 포워딩한다.

그림 7의 점선 화살표는 BEB가 PNP로부터 MAC-in-MAC 프레임을 수신했을 때 B-TAG의 B-DA, B-VID를 기준으로 FDB를 해싱한다. 엔트리가 존재하고 MAC 주소가 Local MAC 주소가 아닐 때 매핑된 PNP로 프레임을 포워딩한다. MAC 주소가 Local MAC 주소일 때는 B-DA가 CBP의 MAC 주소인 경우로 이때는 BSIT에서 수신된 프레임의 I-SID와 ESP-SA가 유효한지 확인한다. 수신된 프레임이 TESI로 매핑된 ESP의 프레임일 때 SVIDT를 보고 S-VID에 매핑된 CNP로 프레임을 디캡슐레이션하여 가입자에게 송신한다.

그림 8은 CNP, PNP의 수신 트래픽의 처리과정을 보여준다. 좌측 흐름도는 BEB의 CNP에서의 트래픽 처리과정을 나타낸다. 우측 흐름도는 BEB, BCB의 PNP로부터 받는 MAC-in-MAC 프레임의 처리과정을 나타낸다. BEB는 BCB와 달리 CNP로 프레임을 디캡슐레이션하는 과정이 추가된다.

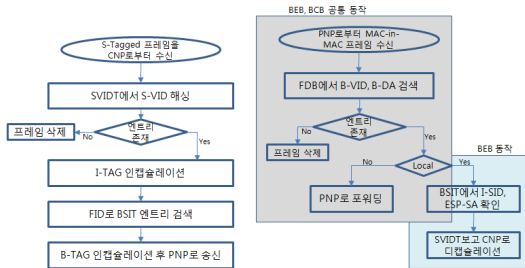


그림 8. CNP, PNP의 수신 트래픽 처리
Fig. 8. Ingress traffic handling of CNP and PNP

IV. 상호 운용성 검증 및 결과

4.1 상호 운용성 검증환경 및 검증 방법

프로토콜 동작 여부는 트래픽을 외부에서 만들어 보내면서 Wireshark를 통해 동작 여부를 검증하였다. 상호 운용성 검증을 위해 국내 업체 중 유일한 PBB-TE 상용제품인 Actus Networks의 G200을 연결하여 망을 구성하였다. G200은 다른 벤더들과의 상호 운용성이 검증되었으므로 G200과의 프로토콜 호환성을 테스트함으로써 구현한 PBB-TE의 주요 기능에 대한 상호 운용성을 검증하였다.

우선 IEEE 802.1Qay 프로토콜의 동작을 검증하기

위하여 아래와 같이 실험환경을 구축하였다. 우선 그림 9와 같이 PBB-TE 프로토콜이 설치된 OpenWRT 공유기로 된 BEB-A, BEB-D, BCB-B, BCB-C 노드와 Actus G200으로 구성된 BEB1, BEB2가 혼재되어 연결된 PBB-TE망을 구성하였다.

모든 노드의 Out-of-band 인터페이스를 HUB를 통해 중앙집중형 망 자동검색/구성관리 서버 프로그램(외부 에이전트)인 ActusMan과 연결하였다. 각 BEB, BCB 노드의 In-band 링크(NNI)에서는 Link Layer Discovery Protocol(LLDP)이 동작하고 ActusMan이 Device Discovery 및 Topology Discovery 프로토콜을 활용하여 토폴로지를 모니터링 한다. ESP 설정은 ActusMan에 의해 중앙집중형으로 제어되며 상호 운용성 실험을 위해 BEB 노드간에 ESP를 설정하였다.

구현한 기능에 대한 상호 운용성 검증항목과 검증 방법은 표 2에 나타내었다. 검증항목은 사용자 트래픽을 중계하기 위한 동작 여부와 PBB-TE의 가장 중요한 특징인 연결성과 신뢰성, 관리성에 대한 상호 운용성 검증을 포함한다. 동작여부에 대한 검증은 Wireshark를 통한 사용자 트래픽을 흐름을 분석

하고 G200의 PBB-TE 포맷과 비교하였다. 연결성 검증은 G200과의 점대점 TESI를 하나 또는 여러 개를 설정하여 종단간의 연결을 검증하였다. 신뢰성 검증은 50ms 안으로 1:1 보호회선이 이루어지는 지를 확인하였다. 관리성 검증은 중앙 NMS를 이용한 독자적인 관리 프로토콜 및 프로그램을 사용하여 검증하였다.

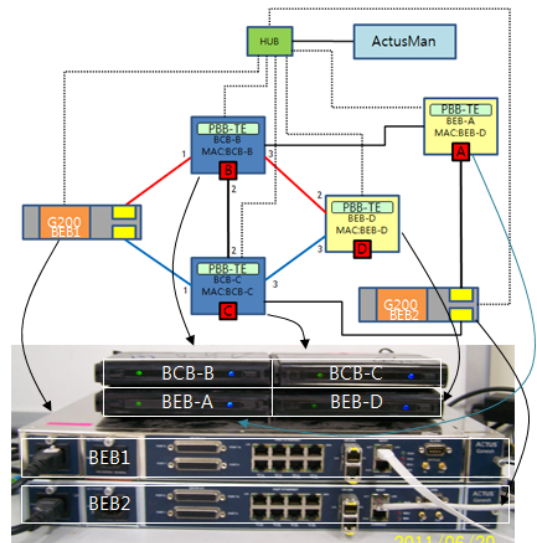


그림 9. 상호 운용성 시험 환경
Fig. 9. The testbed of interoperability

표 2. 상호 운용성 검증항목과 검증방법
Table 2. Verification lists and methods for interoperability

| 검증항목 | 검증방법 |
|--------------------------------------|--|
| 접대점 TESI | G200에 연결된 노드와 공유기에 연결된 노드간의 ping |
| 프로토콜 포맷 | Wireshark |
| ISS, EISS기능 | Q-in-Q 태그 처리 및 프레임 릴레이 기능으로 확인 |
| BSI의 TESI할당 | NMS GUI configuration |
| S-tagged I-SID 매핑 | NMS GUI configuration |
| TESI와 MEP의 매핑 | NMS GUI configuration |
| 1:1 보호절체 비복원 모드 | 10ms Continuity Check Interval CCM으로 선형 보호절체 |
| 단방향 장애에 대한 보호절체 | Manual Switchover 기능으로 강제 단방향 폴트를 일으켜 보호절체 |
| AlarmGenerator SNMP 알람 및 외부에이전트와의 연동 | NMS GUI로 확인 |

4.2 점대점 TESI 상호 운용성 검증

접대점 TESI 상호 운용성을 검증하기 위하여 ActusMan에서는 OpenWRT BEB노드와 G200 BEB 노드사이에 점대점 TESI를 설정한다. 즉, 양방향으로 점대점 ESP 2개를 설정하는 것이다.

ActusMan의 ESP설정 GUI는 BEB의 CNP로 들어 오고 나가는 인풋, 아웃풋 S-VID와 그것에 매핑되는 I-SID를 설정한다. 그리고 BSI를 나르는 TESI를 위한 ESP 3투플, MEPID, RMEPID와 중간 경로의 BCB노드를 설정한다. ActusMan은 설정된 ESP 정보를 제어 평면의 프로토콜을 이용하여 ESP에 연관된 BEB의 FDB, BSIT, SVIDT 그리고 BCB의 FDB를 업데이트 시킨다. ESP를 설정할 때 CFMT에 MEP까지 함께 설정하도록 하여 ESP가 설정되면 ESP에 매핑된 CCM 메시지가 양방향으로 지나다니도록 하였다.

CCM 메시지의 전달을 위해 MEP를 ESP에 매핑하고 매핑한 ESP를 통해 MEP는 CCM 메시지를 RMEP로 송신한다. 양 단의 MEP는 서로 다른 MEPID를 가진다. 예를 들면 시험 환경에서 아래 그림 10과 같은 B-VID=101을 가지는 Working TESI와 B-VID=103을 가지는 Backup TESI가 있을 때 CFM MEPID 101은 B-VID 101과 매핑하고 MEPID 103은 B-VID 103에 매핑한다. 또한 MEPID 101의 RMEPID는 102, MEPID 103의 RMEPID는 104로 매핑한다.

따라서 BEB1은 B-VID 101번 ESP를 통해

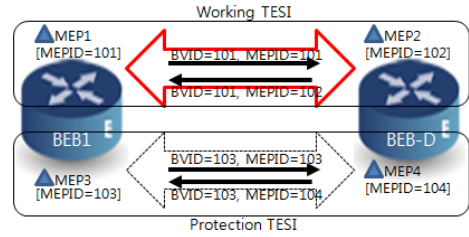


그림 10. MEPID와 ESP 매핑의 예
Fig. 10. An example of mapping MEPID to ESP

MEPID가 102인 CCM을 받게 된다. 또한 B-VID 103번 ESP를 통해 MEPID가 104인 CCM을 받게 된다. BEB1은 CCM 메시지를 받을 때 CFMT과 비교하여 유효한 RMEPID를 가지는 CCM이 왔는지를 검사한다.

접대점 환경에서 공유기에 연결된 노드에서는 S-VID를 포함한 Q-in-Q로 인캡슐레이션된 ping 메시지를 지속적으로 OpenWRT BEB-D에게 보낸다. G200 BEB1의 UNI에 연결된 노드에서는 G200이 자체적으로 Q-in-Q 인캡슐을 지원하기 때문에 일반 ping 프레임은 지속적으로 보낸다. 양방향으로 ping에 대한 에코가 오는지에 따라 양 노드 사이에 TESI의 설정유무 및 ISS, EISS 기능 지원 유무를 확인할 수 있다.

접대점 TESI를 설정을 완료한 후 결과적으로 그림 11과 같이 양 BEB 노드 사이의 Working Path와 Protection Path에 Continuity Check Interval이 100ms인 CCM 프레임이 양방향으로 지나다니는 것을 확인하였다. 또한 그림 12와 같이 OpenWRT BEB-D와 TESI를 구성한 G200 BEB1 노드의 콘솔 화면에서 Primary Trunk와 Secondary Trunk 상태가 모두 정상적인 Active 상태인 것을 확인할 수 있었다. 양방향 ESP가 정상적으로 작동하므로 BEB에 연결된 가입자 망에서는 ping 메시지를 잘 주고받는 것을 확인하였다.

4.3 1:1 보호 절체 상호 운용성 검증

접대점 TESI의 보호 절체 상호 운용성을 검증하기 위하여 OpenWRT BEB-D노드와 G200 BEB1 노드사이에 구성된 점대점 TESI에 강제적으로 링크 장애를 일으켜 1:1 보호 절체를 실험하였다. 50ms 이내의 보호절체를 위하여 CCM의 Continuity Check Interval은 10ms를 사용하였다. 1:1 보호절체시간의 확인방법은 중단 간에 버스트한 UDP 패킷을 지속적으로 보냄으로써 UDP 패킷이 손실된 시간 구간이 50ms이내인지를 확인하였다. 폴트의 유무에 상관없이

양 BEB 노드의 CNP에는 지속적으로 UDP 패킷을 송신하도록 하였다. 이 같은 환경에서 1:1 보호 절체의 검증을 위하여 다음과 같은 3가지의 실험을 하였다.

첫째로 Working TESI에 관련된 링크를 직접 단선 시켰다. 실험의 결과는 BEB1 G200 장비와 BEB-D 공유기 모두 RMEP 타이머 만료로 인한 양방향 장애를 감지하고 장애가 생긴 Working TESI가 Protection Path로 복구하였다. 따라서 링크장애가 일어났음에도 불구하고 가입자간의 UDP 메시지의 송수신이 지속적으로 이루어질 수 있었다. BEB-D의 커널내부에서 장애를 감지한 시점에서부터 Protection Path로 전환시키기 까지 걸린 시간은 평균 8 μ s로 측정되었고 평균 보호절체의 시간은 31ms였다. 둘째로는 Manual Switchover 기능을 이용하여 OpenWRT BEB-D를 강제로 Working Path에서 Protection Path로 Switchover 시키고 Working Path에서는 RDI CCM을 보내도록 하였다. 실험의 결과는 BEB1 G200에서 단방향 장애에 대한 보호절체가 일어나 Protection Path로 전환되었다. 셋째는 첫 번째 실험에서 단선 시킨 링크를 다시 복구시켰다. 실험의 결과는 Inactive 상태의 TESI가 다시 Backup TESI(StandBy) 상태로 변경된 것이다. 나중에 복구된 TESI는 Backup TESI로 다시 사용할 수 있다.

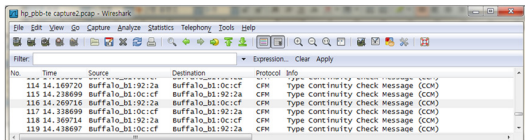


그림 11. ESP의 CCM 상태
Fig. 11. The state of CCMs for ESPs

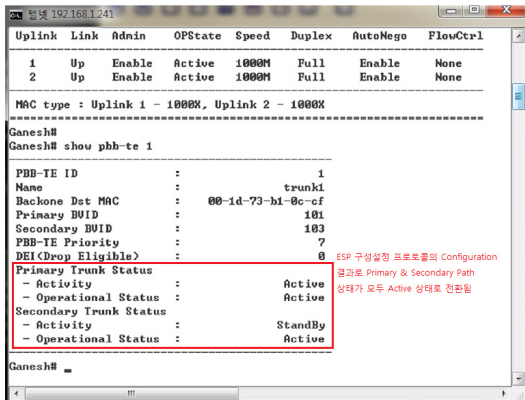


그림 12. G200 콘솔 화면의 PBB-TE 상태
Fig. 12. The status of PBB-TE for G200 console screen

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.1Qay 프로토콜 기반 PBB-TE 시스템을 구현하였다. 우선 PBB-TE 프로토콜 구성요소를 BEB와 CCB로 나누어 각각 독립적인 노드로 구현하고 BEB에서 사용자에게 BSI를 제공하고 TESI를 할당하기 위한 I-Component와 B-Component의 기능을 구현하였다. 또한 PBB-TE 노드 내부 시스템에 TESI 정보와 보호 절체에 대한 변화를 검사하기 위한 모니터링 에이전트를 구현하였다.

본 논문은 IEEE 802.1Qay 표준 프로토콜의 구현에 있어 실제 시스템과의 상호 운용성 보장을 위해 표준 프로토콜 동작뿐만 아니라 시스템 내부 정보와의 통합 및 연동 기능에 초점을 두어 구현하였다. 따라서 본 논문은 표준 프로토콜을 구현하려는 많은 학교나 기업에 경우 표준 자체의 구현보다 구현된 프로토콜이 시스템과의 통합을 위한 내부 시스템 정보와의 연동도 중요하기 때문에 표준뿐만 아니라 시스템 상의 정보의 저장이나 저장된 시스템 정보를 활용한 제어 방법도 제시하였다.

또한 개발한 PBB-TE 프로토콜의 상호 운용성을 검증하기 위해 PBB-TE 망을 구성하여 PBB-TE 상용 장비와 동작함으로써 802.1Qay PBB-TE 표준 프로토콜을 정확히 구현하였는지 검증하였다. 특히 ESP설정 및 보호 절체 테스트를 통해 프로토콜 구현의 적합성과 상호 운용성을 성능 측면에서도 검증하였다. 향후 계획은 PBB-TE의 진행 중인 표준인 802.1Qbf의 구현과 성능테스트를 진행하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김현필, 최진식, “PBB-TE망에서의 MPLS-TP기반 Layer 2 연결 제어 프로토콜의 제안과 구현”, 대한전자공학회 하계종합학술대회, 2010, pp. 869-872
- [2] Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 4: Provider Bridges, IEEE Std 802.1ad, 2005
- [3] Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 6: Provider Backbone Bridge, IEEE Std 802.1ah, 2008
- [4] Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 10: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering, IEEE Std 802.1Qay, 2009
- [5] MEF 22 Mobile Backhaul Implementation

Agreement Phase 1, Metro Ethernet Forum, 2009

- [6] ICT 중점기술 표준화전략맵 Ver.2011 종합보고서, TTA, 2011
- [7] Wonkyoung Lee, Chang-Ho Choi, Taesik Cheung, Sun-Me Kim, Ho-Young Song, Jiwook Yoon, "Implementation of Hierarchical QoS Mechanism on PBB-TE system", COIN, 2010
- [8] Jiwook Youn, Bupjoong Kim, Wooyoung Choi, Hyunjae Lee, Hongju Kim, and Jaehoon Yu, "Demonstration of Packet-Optic Intergrated Transport System", COIN, 2010
- [9] Wonkyoung Lee, Daeup Kim, Ho Young Song, "Autonomous Client Discovery in Backbone Edge Bridges for Multipoint PBB-TE Networks", ICACT, 2010, pp.712-716.
- [10] Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 5: Connectivity Fault Management, IEEE Std 802.1ag, 2007
- [11] ITU-T Recommendation G.8031/Y.1342, Ethernet Protection Switching, 2006
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Provider_Backbone_Bridge_Traffic_Engineering

김 현 필 (Hyun-pil Kim)

준회원



2010년 2월 충남대학교 전기
정보통신공학부 졸업
2010년 3월~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과 석사
과정
<관심분야> 캐리어이더넷, OAM,
EMS

문 상 원 (Sang-won Moon)

학생회원



2005년 3월~현재 한양대학교
미디어통신공학부 학부과정
<관심분야> MPLS-TP, PBB-TE

최 진 식 (Jin-seek Choi)

종신회원



1985년 2월 서강대학교 전자공
학과 졸업
1987년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사
1995년 8월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 박사
1987년 1월 LG전자 정보통신
1995년 9월 공주대학교 조교수
1998년 9월 미국 NIST 초빙연구원
2001년 3월 한국정보통신대학교 조교수
2004년 9월~현재 한양대학교 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 스위칭 및 라우팅, 이
동성 관리