

캐리어이더넷 망 자동 구성 및 설정을 위한 GMPLS PCE 프로토콜의 확장 및 구현 연구

신민섭*, 최진석^o

An Implementation and Extension of GMPLS PCE Protocol for Carrier Ethernet Topology Discovery and Configuration

Min-Seop Shin*, Jin-Seek Choi^o

요약

본 논문에서는 Generalized-Multiprotocol Label Switching(GMPLS) Path computation element(PCE) 표준 프로토콜을 확장하여 캐리어 이더넷 망을 제어하기 위해 새로운 시그널링 프로토콜을 정의한다. 제안된 프로토콜은 표준 GMPLS PCE 프로토콜과 호환성을 가지면서도 표준 프로토콜에서 경로 정보만을 제공하는 것을 확장하여 계산된 경로를 망에 자동 구성이 가능하도록 확장된 하이브리드 형 프로토콜이다. 또한 제안한 프로토콜을 직접 구현하여 실제 상용 장비에 적용하고 시험을 통해 제안된 프로토콜의 정확성과 상호 운용성을 검증하였으며 시뮬레이션을 통하여 프로토콜의 성능도 분석하였다.

Key Words : Carrier Ethernet, Multiprotocol Label Switching(MPLS), Generalized-MPLS(GMPLS), Path Computation Element(PCE), MPLS Transport Profile(MPLS-TP)

ABSTRACT

In this paper, we propose a new signaling protocol as an extension of Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) based PCE protocol for control carrier ethernet. The proposed protocol is not only compatible with the GMPLS PCE standard protocol, but also provides the topology discovery and configuration. In order to verify interoperability, we implement the proposed protocol as well as the system integrating functions including commercial system for testbed. In addition, we have simulated topology discovery test for proposed protocol performance.

I. 서론

캐리어 이더넷 기술은 기존 사업자망에서 사용되던 회선 기반 SONET/SDH 전달망 기술이 제공하던 서비스 품질 (Quality of Service), 운용 관리 (Operation, Administration, and Management) 기능은 유지하면서 대역폭 효율과 유지보수 비용이 적은 패킷 기반 전달 서비스로 변화시키기 위한 패킷

기반 전달망 기술이다^[1]. Multi-Protocol Label Switching-Traffic Profile(MPLS-TP) 기술은 캐리어 이더넷 전달망 기술 중 하나로 비 연결성 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) 기술에 사용되던 비연결형 패킷 스위칭 기술을 가상회선 기반의 연결성 패킷 스위칭 기술로 사용하여 전달망에 사용하고 링크 오류 발생 시 절제, 보호 복구 기능을 통해 더 높은 신뢰성, 안정성, 확장성을 제

* 주저자 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, sinmanim@hanmail.net, 준회원

^o 교신저자 : 한양대학교 컴퓨터공학부 Mobile & Intelligence Routing 연구실, jinseek@hanyang.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-08-342, 접수일자 : 2012년 8월 1일, 최종논문접수일자 : 2012년 10월 23일

공하는 백본 기술이다^{2,3)}.

MPLS-TP 프로토콜은 종단간 회선연결 설정을 제어하기 위한 시그널링, 라우팅, 그리고 OAM 프로토콜로 MPLS 기반의 T-MPLS(Transport MPLS)로 개발되던 ITU-T 표준이 ITU-T/IETF 연합하여 표준화를 진행하여 MPLS-TP로 표준화되고 있다. MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 망은 사용자의 다양한 OAM 요구를 수용할 수 있고 서비스 이용 시 거리에 상관없이 모든 에러를 50ms 이내로 빠르게 감지, 보호 복구하여 전달망 서비스 품질 및 가용성을 충족시킬 수 있다. 뿐만 아니라 자원관리, 구성 및 설정 관리, 오류 관리 등을 위해서는 Generalized Multi-Protocol Label Switching(GMPLS)와 같은 제어 프로토콜이 제공된다.

GMPLS에서 경로 설정을 위해 사용되는 Path Computation Element(PCE) 프로토콜은 종단 간 망 내 위치한 장비들의 설정을 위하여 장비와 연결된 서버 외에 망 내 정보를 수집하여 경로 계산에 필요한 정보로 가지고 있는 서버가 필요하다. 이러한 프로토콜 구조는 물리적인 망 정보가 정확하지 않으며 서버 간 문제가 있는 경우 설정이 늦어질 수 있다⁴⁾.

본 논문에서는 GMPLS 제어 프로토콜로 Path computation element (PCE) 프로토콜을 확장하여 기존 RSVP 프로토콜 Explicit Route Objects(ERO) 메시지를 사용하여 경로를 설정하는 분산형 방식 뿐만 아니라 중앙 PCE 서버에 연결된 각각의 PCC의 이웃 정보를 Link Layer Discovery Protocol(LLDP) 프로토콜을 사용하여 수집, 추가 정의한 메시지로 LSP 가상회선 설정도 가능한 하이브리드 형 제어 프로토콜을 제안한다. PCE 프로토콜을 확장 정의한 프로토콜은 GMPLS-Topology discovery and configuration Protocol(G-TOP)로 캐리어 이더넷 망에서의 PCE 프로토콜과의 호환성을 가지는 동시에 빠르고 정확한 이웃 노드 수집을 통한 LSP 경로 설정 및 종단간 LSP 성능 모니터링이 가능한 하이브리드 형 캐리어 이더넷 제어 프로토콜이다.

본 연구의 특징은 G-TOP 프로토콜 구현을 위해 서버뿐만 아니라 상용으로 사용되고 있는 MPLS-TP 캐리어이더넷 장비에 G-TOP 프로토콜을 직접 개발하여 구현하였다. 개발된 제품을 기반으로 실제 테스트베드를 구축하고 G-TOP 프로토콜의 기능과 성능을 검사하고자 한다. G-TOP 프로토콜을 실제 장비에 테스트베드를 구축함으로써 상호 운용성 시험을 통해 캐리어 이더넷의 제어프로토콜로서의 적합성과 성능에 대한 실험에 초점을 맞추었다.

II. 연구 배경

2.1. MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷

캐리어 이더넷(Carrier Ethernet) 기술은 기존 셀룰러 무선 백홀망에서 사용되던 회선 기반 SONET/SDH 전달망 기술이 제공하던 QoS, OAM 기능은 유지하면서 대역폭 효율과 유지보수 비용이 적은 패킷 기반 전달 서비스로 변화시키기 위한 기술이다.

MPLS-TP 표준은 캐리어 이더넷 기술 중 하나로 현재 IETF와 ITU-T를 중심으로 표준이 진행되고 있으며 MPLS 기술을 기반으로 한다. MPLS 기술은 IETF에서 표준화한 전송 기술로 기존 IP 패킷 라우팅에 부하를 줄이고 IP 주소 lookup의 비효율성을 개선하기 위해 패킷에 레이블을 추가하여 전송하는 L2 스위칭 방식으로 고속의 IP 패킷 스위칭을 위한 비연결 지향성 서비스이다. MPLS-TP 기술은 MPLS의 아키텍처를 그대로 유지하면서 캐리어 이더넷 무선 백홀망에서 요구되는 전달망 기능을 만족하는 캐리어 이더넷 기술이다. 특히 전달망에서 요구되는 기능은 컨트롤 평면의 유무에 관계없이 관리를 통한 정적 프로비저닝, LSP 제어, OAM, 프로텍션 기능, 동일한 네트워크 도메인에서의 정적 및 동적 LSP 프로비저닝 기능, 관리와 제어 평면의 상태에 관계없이 데이터 평면이 독립적인 동작해야한다. 따라서 MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 기술은 기존 MPLS 기술의 기능적 개선을 통해 기존 회선망에서 제공되는 QoS, OAM 기능은 유지하고 비 연결성 MPLS 데이터 전달 기술을 가상회선 기반 연결성 네트워크로 사용하여 더 높은 안정성과 신뢰성 및 확장성을 제공한다^{2,3)}.

MPLS-TP 기반 Carrier Ethernet 전달망은 그림 1과 같이 백본망(Backbone Network)과 사용자망(Customer Network)을 연결하는 Provider Edge(PE) 노드와 백본망에서 회선 연결 기능을 제공하는 Label Switch Router(LSR) 노드로 구성된다. PE 노드는 백본 네트워크의 Edge 영역에 위치하여 PE 노드에 연결된 Customer Edge(CE) 노드로 백본망과 사용자망 간 전송되는 MPLS 프레임에 Label을 부착하여 백본 네트워크로 전달한다. LSR은 백본 네트워크의 Core 영역에 위치하여 Edge(PE) 노드로부터 수신되는 Label이 부착된 프레임을 다른 LSR이나 PE에 전달한다. PE 노드 종단간에는 가상회선 LSP가 동적/정적으로 설정되며 설정된 PE 간 Y.1731 방식의 종단 간 MPLS-TP OAM을 사용한다.

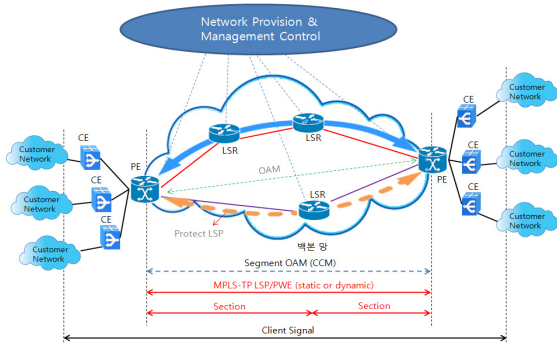


그림 1. MPLS-TP 전달망
Fig. 1. MPLS-TP transport network

PE간 설정된 LSP는 백본망을 구성하는 노드들은 제어 프로토콜에 의해 프로비저닝 되거나 관리자에 의해 직접 구성된다. 백본망의 모든 토폴로지 정보를 기반으로 LSP 경로를 설정하고 설정된 LSP 의 에지 노드 간에는 Maintenance association endpoint (MEP), Remote MEP (RMEP)를 생성하여 중단 간 Continuity Check Message(CCM) 메시지를 주기적으로 전송한다. MEP가 전송하는 CCM 메시지를 RMEP에서 수신하여 해당 LSP 연결 상태를 모니터링한다. 설정된 경로에 위치한 노드나 링크의 장애가 발생하게 되면 RMEP에서는 CCM 메시지를 수신하지 못하고 3개 이상의 CCM 메시지 수신을 못하는 경우 해당 LSP의 링크에 오류가 있는 것으로 판단하여 서비스 신뢰성을 보장하기 위해 기존 회선 기술 기반의 50ms 안의 백업 링크로 전환하는 빠른 LSP 보호 절체 기능을 수행한다.

MPLS-TP 망의 section, LSP, PW 계층 별 OAM 기능을 제공하기 위해 Generic Associated Channel(G-ACh) 및 Generic Alert Label(GAL)이 사용되며 레이블 스택의 맨 아래에 위치한다. 그림 2는 G-ACh와 GAL을 포함하는 MPLS-TP LSP OAM 프레임 형식을 나타낸다.

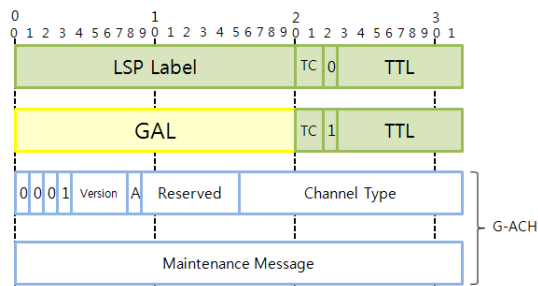


그림 2. MPLS-TP LSP OAM 프레임 형식
Fig. 2. MPLS-TP LSP OAM frame type

MPLS-TP 표준화는 먼저 ITU-T SG(Study Group)15에서 2005년도에 T-MPLS라는 권고안으로

시작하였지만 T-MPLS의 OAM 패킷 형식이 기존 MPLS 장비에서 인식될 수 없었기 때문에 두 기관은 2008년 ITU-T SG15 총회에서 기존 MPLS 아키텍처에 부합하는 패킷 전송 기술로 MPLS-TP란 이름의 표준화 작업을 시작하여 현재까지 진행되고 있다[5]. MPLS-TP의 표준화 작업 현황은 표 1 (IETF), 2 (ITU-T)와 같다. 각 표준화 분야는 IETF 경우 MPLS-TP 표준의 요구사항, 프레임워크, 데이터 평면, OAM, 생존성, 제어평면, 망관리, 기타 고려 사항에 대한 분야로 나뉘어 진행되고 있으며 프로토콜에 대한 표준화를 수행한다. ITU-T 경우 요구사항, 프레임워크, OAM, 생존성, 제어 평면, 망관리, 기타 고려 사항에 대한 특징 및 타입에 대한 분야로 나뉘어 진행되고 있다. IETF에서 표준화된 프로토콜은 ITU-T에서도 동일한 표준으로 권고안으로 승인된다.

2.2. GMPLS PCE 프로토콜

2.2.1. GMPLS PCE 개요

GMPLS는 망내 다양한 인터페이스를 지원하기 위한 하나의 통합된 제어 평면을 구성하여 네트워크의 전송 효율을 높이기 위해 IETF에서 표준화한 제어 프로토콜 기술이다. GMPLS 기술이 적용된 네트워크는 그림 3과 같으며 크게 PCE, Path Computation Client(PCC), Traffic Engineering Database(TED)로 구성된다. PCE는 토폴로지 정보 기반의 중단간 경로 계산을 수행해주는 장치이다. PCE를 사용하여 네트워크 장애 시 Multi-layer에 대해 다수의 경로 계산이 가능하고 계산 시 Traffic Engineering 기능을 제공할 수 있다. PCE는 다수의 노드로 구성된 Multi-layer 네트워크에서 PE 노드가 충분한 처리능력을 가지지 못하거나 Open Shortest Path First-Traffic Engineering(OSPF-TE)를 지원하여 동적 토폴로지 검색이 가능하더라도 Traffic Engineering Database(TED)를 완벽하게 제공하지 못하는 경우 PCE를 통해 Multi-layer 경로 계산 기능을 통해 중단간 연결설정에 효율을 높이는데 있다. PCE는 Constraint-based 라우팅 계산을 수행하며 복수개의 경로도 함께 제시할 수 있어 망 장애복구에 유용하다[6].

PCC는 PCE에 최적화된 경로를 요청하여 자신의 경로를 설정하는 노드로 PCC와 PCE간 또는 PCE간에 경로 계산 요청과 경로 계산 응답을 교환하는 절차를 수행한다. RFC4655는 GMPLS-TE 용 LSP 설정을 위한 PCE와 관련된 구조를 제시하고 있다. RFC 5440은 PCE Client와 PCE Server간의 정보 교환을

위한 프로토콜인 GMPLS PCEP(Path Computation Element Communication Protocol)를 규정하고 있다.

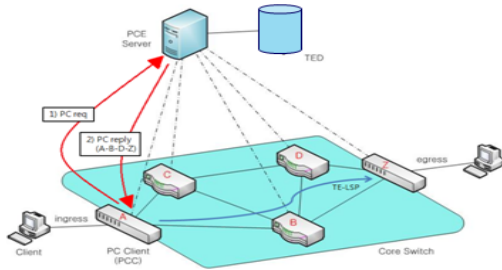


그림 3. GMPLS 네트워크 구성
Fig. 3. GMPLS network structure

일반적으로 PCE는 중앙집중형(Centralized) 구성을 가질 수 있고 분산형 (Distributed) 구성을 가질 수도 있다. 두 가지 경우 모두 PCE는 망 내 모든 토폴로지 정보를 알고 있어야 한다. 중앙집중형 구성은 당내 노드와 PCE를 연결해야 하지만 프로토콜의 복잡도가 단순해지고 각 노드의 관리가 쉬워진다. 반면 분산형 구성은 망 구축이 단순하고 장애에 대한 극복이 가능하지만 프로토콜의 복잡도가 올라가게 된다.

PCE 서버로부터 경로를 설정하는 방식은 PCEP를 사용하여 에지 노드에서 경로계산이 필요한 이벤트가 발생하는 경우 On-demand 형식으로 PCE 서버에 경로 계산 요청 메시지를 전송하고 PCE 서버로부터 이에 대한 경로 계산 정보인 ERO 정보를 포함한 메시지를 응답 받아 RSVP-TE 프로토콜을 통해 경로를 설정하는 방법이 있다. 반면 PCE나 Network Management System(NMS)에서 에지 노드에 특정 경로를 설정하라는 ERO 정보를 포함한 메시지를 보내면 해당 메시지를 수신한 노드는 ERO 정보를 가지고 Static하게 경로를 설정할 수도 있다.

2.2.2. GMPLS PCEP 시그널링 절차

PCEP 프로토콜에서 PCE와 PCC간 경로를 설정하기 위해 그림 4와 같이 TCP(4189번 포트 사용) 세션을 연결하고 이후 설정 요청 및 응답 절차를 진행한다. TCP 세션이 연결되면 PCC는 OPEN 메시지에 KeepAlive 타이머, DeadTimer, 지원능력, 경로계산 시 참조할 정책 등을 수납한다. 해당 OPEN 메시지의 내용을 거부할 경우에는 설립시간 이후에도 응답하지 않으면 세션이 자동 종료된다. 물론 재시도도 가능하며 응답 시 KeepAlive 메시지로 응답한다. 이 메시지는 세션이 설정되면 상대의 동작을 주기적으로 검사할 때 사용되며 이를 위해 KeepAlive 타이머를 사용한다. DeadTimer가 만기되면 해당 세션이 종료되었

다고 간주한다. KeepAlive 타임과 DeadTimer 타임은 OPEN 메시지에 수납된 KeepAlive 타임과 DeadTimer 타임 정보를 사용하여 설정하게 된다. 일반적으로 KeepAlive 타임의 3배 시간을 DeadTimer 타임으로 설정하여 전송하게 된다.

세션이 설정되면 송수신자 사이에 Path 계산이 필요한 경우 PCC는 해당 PCE를 선택하여 PCReq 메시지를 PCE에 보낸다. PCE 서버는 PCRep 메시지의 내 TED를 활용해 계산된 Path 정보 (송신자, 수신자, ERO, 대역 등)를 PCC에 응답 한다(그림 4). 경로 정보 수신이 완료된 후에는 PCE에게 Close 메시지를 전송하여 TCP 세션을 종료한다. PCC는 또한 PCRep 내 포함된 ERO 정보를 바탕으로 RSVP-TE를 통해 경로를 설정한다.

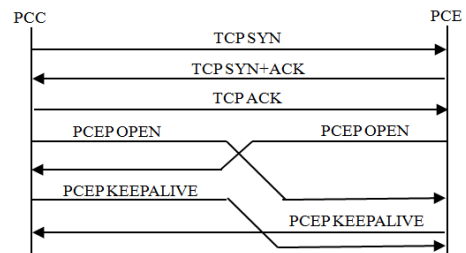


그림 4. PCEP 연결 설정 절차
Fig. 4. PCEP connection setup procedure

PCE 서버가 설정 요청에 대한 응답을 할 수 없는 경우나 에러가 발생한 경우에 대한 기능 절차는 그림 5와 6과 같다. 예를 들어 PCC가 PCE에 경로를 요청한 상태이거나 요청을 진행 중인 경우 PCE가 일시적인 과부하 상태로 인해 응답할 수 없는 상황에는 PCE 서버가 PCNtf 메시지로 PCC에 이를 통지하게 된다. PCNtf 메시지를 수신한 PCC는 다른 PCE에 경로를 요청하거나 요청 취소를 하게 된다. 또는, PCE 서버에서 Error 메시지를 PCC로 전송하여 PCC의 설정 대기를 중지시키거나 또 다른 PCE로 요청할 수 있게 하는 것이다.

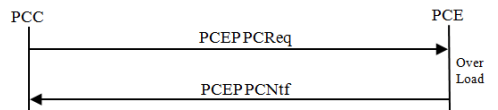


그림 5. PCE 처리 불가 절차
Fig. 5. PCE processing failure procedure

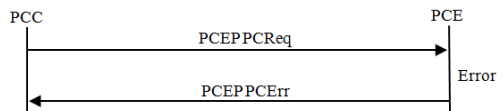


그림 6. PCE 에러 절차
Fig. 6. PCE error procedure

앞서 PCE 처리 불가 절차와 마찬가지로 PCC도 PCE에 대하여 이러한 이벤트 메시지를 사용하여 통지를 할 수 있다. 그림 7과 같이 PCC에서 TCP 세션 및 OPEN 메시지를 전송하여 PCEP 세션을 설정하고 경로 설정을 위해 경로 계산 메시지를 전송한 상태이거나 진행 중인 이후 PCC가 다른 PCE로 경로 요청이 필요하거나 일시적인 Fault 상태로 인해 응답 메시지를 받을 수 없는 상황에는 PCC 노드가 PCNtf 메시지로 PCE에 이를 알리게 된다. PCNtf 메시지를 수신한 PCE는 요청받은 경로 계산을 취소하고 대기하거나 연결 설정을 종료한다.

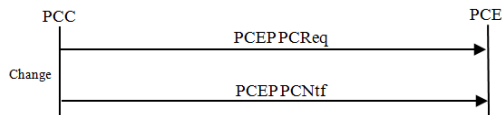


그림 7. PCC 경로 요청 취소 또는 변경 절차
Fig. 7. PCC path request cancellation or modification procedure

2.2.3. GMPLS PCEP 메시지 형식

모든 PCEP 프로토콜 메시지 포맷은 RFC5440 표준을 따르며 메시지는 크게 Common Header 와 메시지 내에 수납되는 여러 개의 오브젝트로 구성되는 가변길이의 Body로 구성된다.

Common Header 는 그림 8과 같이 모든 PCEP 메시지의 헤더에 부착되어 각 메시지의 기능을 정의한다. Ver, Flags 값은 기본 1과 0으로 설정되며 Message-Type 은 표 1과 같이 정의한다. Message-Length는 Common Header를 포함한 메시지의 총 길이 값이 된다.

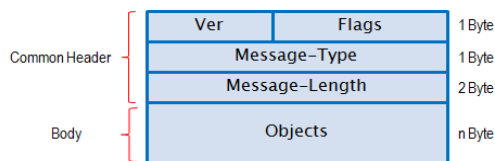


그림 8. PCEP 메시지 포맷
Fig. 8. PCEP message format

표 1. PCEP 메시지 타입
Table 1. PCEP message type

Type	Name	기능
1	Open	PCEP 세션 설정 메시지
2	Keepalive	PCEP 세션 유지 메시지
3	PCReq	PCC가 PCE에 경로 계산을 요청할 때 사용하는 메시지
4	PCRep	PCE가 PCC에 응답하는 메시지 (계산된 경로정보 또는 거부이유가 포함된 부응답 정보)
5	PCNtf	PCC나 PCE에서 특정 이벤트 발생 시 알리기 위해 사용하는 메시지
6	PCErr	절차상 오류 발생 시 응답하는 메시지
7	Close	PCEP 세션 종료 시 전송되는 메시지

OPEN 메시지에는 세션에 대한 정보 값이 수납된다. OPEN 메시지 전송에 대한 응답대기용으로 OpenWait 타이머(1분)가 사용된다. 만약 수용할 수 없는 조건인 경우에 PCE 서버는 Error 메시지로 응답한다. PCC 클라이언트는 서버가 제시한 값으로 수정한 값을 반영한 OPEN 메시지를 재전송할 수 있다. 이 경우 수용할 수 없는 조건이라면 다시 Error 메시지를 송신한 후 TCP 세션을 종료한다. Keepalive 메시지는 OPEN 메시지에 대한 응답의 기능으로 일종의 ACK 의미로 사용된다. Keepalive 메시지는 Message Common Header 로만 구성되어 있으며 Object를 포함하지 않는다. Path Computation Request(PCReq) 메시지는 PCC가 PCE 서버에 경로 계산을 요청하는 메시지로 Request Parameter(RP) Object와 End-Point Object 를 반드시 포함한다. Path Computation Reply (PCRep) 메시지는 PCE가 PCReq 메시지에 대한 응답으로 수신된 Request Parameter 정보를 사용하여 계산한 경로 정보를 수납하여 전송한다. 메시지에는 계산에 대한 결과를 Positive 와 Negative로 응답할 수 있고 필수적으로 RP Object 및 수신된 PCReq 내의 Request ID 번호와 일치된 응답 메시지를 전송해야 한다. Positive 응답에는 ERO Object가 수납되며 Bandwidth Object도 수납될 수 있다. PCE 오버로딩이나 계산에 대한 경로 값이 없는 경우 NO-PATH Object 를 수납하여 경로 계산 Fail Reason을 함께 수납하여 응답 전송한다. PCNtf 메시지는 PCE 또는 PCC에서 특정 이벤트 발생 시 이것을 상대 PCC나 PCE에 알리기 위한 기능을 한다. 이때 메시지 내에는 특정 이벤트에 대한 정보를 나타내는 NOTIFICATION Object 를 수납하여 전송한다. PCErr 메시지는 수납된 Object의 오류나 정책 위반 등 프로토콜 오류에 대한 오류 메시지를 상대 PCC나 PCE에 알리는 기능을 한다. 각 오류에 대한 타입을 메시지 전송 시 타입 값을 수납하여 수신 PCC나 PCE에서 문제의 원인을 알 수 있도록 한다. Close 메시지는 PCEP 세션 종료 시 전송되며 종료에 대한 이유를 Close 메시지에 반드시 수납하여 전송한다.

PCEP 메시지는 Common Header 이외에 여러개의 Object 가 수납되어 메시지에서 정의한 기능의 Parameter 정보를 전송할 수 있다. Object는 그림 9와 같이 Object Header 와 Object Body로 구성되어 있다.

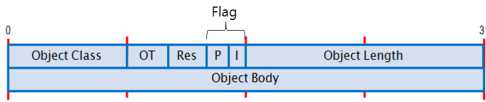


그림 9. PCEP Message Object
Fig. 9. PCEP message object

Object Header는 Type, Length, Value (TLV) 형태를 가지며 Object 를 정의하는 Object Class와 해당 Object 의 동작을 정의하는 Object Type 그리고 Flag(P, I) 및 예약(Res) 필드로 나뉜다. Object Class 에 대한 정의는 표 2에서 확인할 수 있으며 각 Object 들에 대한 설명을 나타낸다. Flags P, I 값은 예약된 Res 필드를 제외한 P(Processing-Rule) flag와 I(Ignore) flag가 있으며 Object-Length는 Object Header를 포함한 Object-body의 총 길이 값이 된다. 이때 Object-body는 4바이트 단위로 Padding 되며 Object-Length는 Pad 부분을 제외한 값이다. P flag는 PCReq에서 사용될 경우 PCE는 반드시 해당 오브젝트에 대한 정보를 계산 시 고려해야 한다. 반대로 I flag는 PCReq에서 사용될 경우 경로 계산 시 반드시 제외되어야 한다.

OPEN Object 는 그림 10과 같은 포맷이며 OPEN 메시지 당 하나의 OPEN Object가 수납되어 Keepalive, DeadTimer, PCEP session ID 등이 수납된다.

표 2. PCEP Message Object Class 정의
Table 2. PCEP message object class definition

Class	Class Name	수납 정보 및 의미
1	OPEN	Keepalive, DeadTimer 값
2	RP	Request-ID-number
3	NO-PATH	-
4	END-POINT	Src IP, Dst IP
5	BANDWIDTH	Bandwidth (32bit)
6	MATRIC	IGP Cost, TE metric, Hop 수
7	BRO	TE-LSP 정보(RSVP-TE 표준과 동일)
8	RRO	TE-LSP 정보(RSVP-TE 표준과 동일)
9	LSPA	TE-LSP 우선순위, 자원 획득 우선순위
10	IRO	반드시 포함할 TE LSP 정보(RSVP-TE 표준과 동일)
11	SVEC	동기화 시킬 Request-ID-number
12	NOTIFICATION	Event Type
13	PCEP-ERROR	Error Type
14	LOAD-BALANCING	Load balancing 에 참여되는 TE-LSP 최대 개수, 각 TE-LSP 최소 대역폭
15	CLOSE	Close Reason

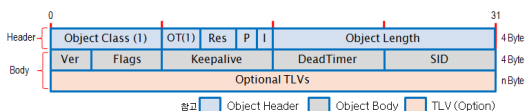


그림 10. PCEP OPEN Object
Fig. 10. PCEP OPEN object

RP Object 은 그림 11과 같은 포맷이며 경로 계산에 필요한 Request ID number를 요청 메시지에 수납하여 해당 메시지에 대한 응답 메시지에 동일한

Request ID number를 수납, 전송하여 해당 요청에 대한 응답메시지라는 것을 알려준다.

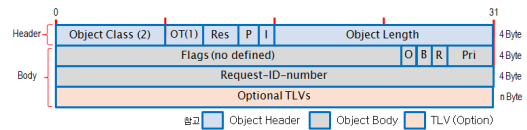


그림 11. PCEP RP Object
Fig. 11. PCEP RP object

Pri 값은 요청 메시지인 경우 처리 우선 순위를 1~7까지 정해줄 수 있다. R 값은 1로 설정된 경우 기존 TE-LSP에 대한 최적화를 재 요청한다. 이 경우, Reported Route Object(RRO) Object를 PCReq 메시지에 반드시 수납하여 경로 정보를 제공해야 하며 기존 Bandwidth에 대한 정보도 BANDWIDTH Object 에 수납하여 전송하여야 한다. B 값이 1로 설정된 경우 경로 계산 시 양방향 TE-LSP 라는 것을 알린다. 'O' 값이 1인 경우 필수 포함 경로가 있다는 것을 의미한다.

NO-PATH Object 은 그림 12와 같은 포맷이며 경로 계산 요청에 대한 PCRep 메시지 응답 시 계산된 경로가 없는 경우 수납된다. Nature of Issue 값은 0인 경우 경로 계산 실패 이유를 알 수 없다는 것이고 1인 경우 PCE에 오류가 있음을 의미한다. C값이 1인 경우 PCE에서 거부한 조건이 있음을 의미한다.

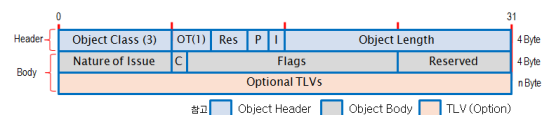


그림 12. PCEP NO-PATH Object
Fig. 12. PCEP NO-PATH object

END-POINTS Object 는 그림 13과 같은 포맷으로 경로 요청 시 PCReq 메시지에 수납되어 요청 TE-LSP의 출발지 IP와 목적지 IP 정보를 제공한다.

BANDWIDTH Object 는 그림 14와 같은 포맷으로 PCReq, PCRep 메시지에 수납되어 TE-LSP 에 대한 Bandwidth 정보를 알려준다.

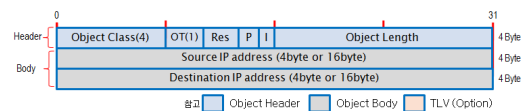


그림 13. PCEP END-POINTS Object
Fig. 13. PCEP END-POINTS object

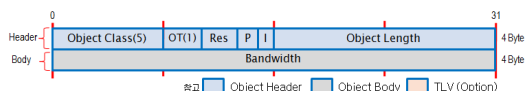


그림 14. PCEP BANDWIDTH Object
Fig. 14. PCEP BANDWIDTH object

METRIC Object 는 그림 15와 같은 포맷이며 PCReq, PCRep 메시지에 TE-LSP 계산 시 참조하기 위한 IGP Cost, TE metric, Hop 수 정보를 수납한다. PCE에서 경로 계산 시 METRIC Object 에 포함된 METRIC Value 이하로 경로를 선택하게 된다. METRIC Object 가 없는 경우 PCE가 임의로 계산한다. T값은 ICP metric(1), TE metric(2), Hop Count(3) 수를 나타낸다. B 값이 PCReq 메시지에 1로 설정되어 PCE에 수신되는 경우 METRIC Value 를 최대값으로 판단하여 경로를 계산한다. C값이 1로 설정된 경우 반드시 PCE가 계산된 Path Metric 값이 수납된 PCRep 메시지로 응답해야 한다.

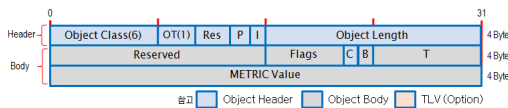


그림 15. PCEP METRIC Object
Fig. 15. PCEP METRIC object

ERO Object 는 그림 16과 같은 포맷이며 PCE에서 계산된 TE-LSP 경로를 PCRep 메시지에 수납할 때 사용된다. ERO Object 내 IP, Label, Port, Router ID, Autonomous System Number(ASN) 정보는 TLV 형태로 수납된다.

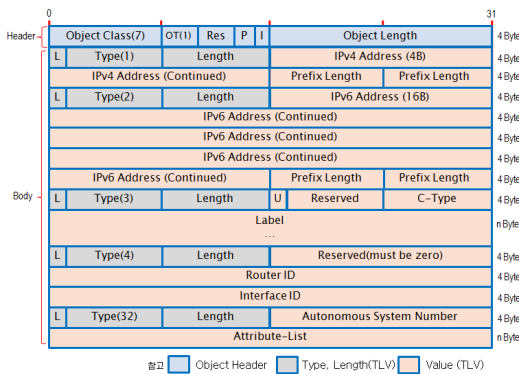


그림 16. PCEP ERO Object
Fig. 16. PCEP ERO object

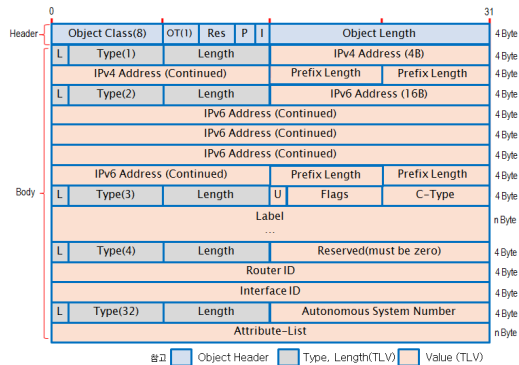


그림 17. PCEP RRO Object
Fig. 17. PCEP RRO object

RRO Object 는 그림 17과 같은 포맷이며 PCC에서 PCE로 TE-LSP에 대한 최적화를 재요청하는 경우 PCReq 메시지에 수납된다. 오브젝트 내 형식은 ERO 메시지와 동일하다. Flag 값이 0x01 이 아닌 경우 재요청을 거부한다.

LSPA Object 는 그림 18과 같은 포맷이며 PCReq, PCRep 메시지에 수납되어 PCE 경로 계산 시 Exclude, Include 필드에 해당하는 TE-LSP 에 대한 정보를 반영한다. Setup Prio 값은 요청하는 TE-LSP 의 우선순위이며 0이 최상위 값이다. Holding Prio 값은 요청하는 TE-LSP에 관련된 자원확보의 우선순위를 표시한다. L 값은 1로 설정된 경우 경로 계산 시 반드시 보호되는 링크를 포함해야 한다.

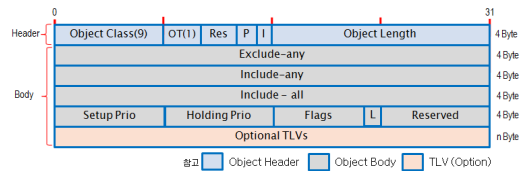


그림 18. PCEP LSPA Object
Fig. 18. PCEP LSPA object

IRO Object 는 그림 19와 같이 PCReq, PCRep 메시지에 포함되어 PCE가 경로 계산 및 응답 시 반드시 포함시켜야할 경로에 대한 정보를 수납한다. PCRep 에 수납될 경우에는 NO-PATH Object가 포함된 경우 해당 경로에 대한 요청을 수락할 수 없음을 알린다.

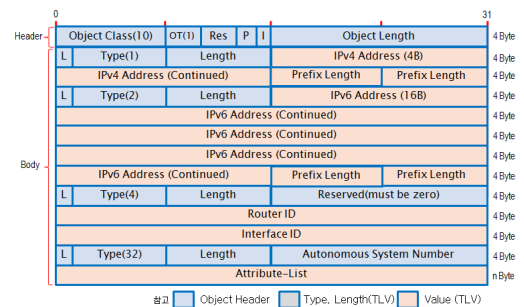


그림 19. PCEP IRO Object
Fig. 19. PCEP IRO object

SVEC Object 는 그림 20와 같은 포맷이며 PCC에서 PCE에 M개의 경로 계산 요청을 동기시켜 요청해야할 때 PCReq 메시지에 수납하여 PCE로 전송한다. 각각의 경로는 PCReq 메시지 내 RP Object에 포함된 Request-ID-number로 구분한다.

NOTIFICATION Object 는 그림 21과 같은 포맷이며 PCNtf 메시지에 수납되어 상대 PCC, PCE에 특정 이벤트를 알린다. Notification Type(NT), Notification Value(NV) 값에 대한 이벤트 정의는 표

3과 같이 정의한다.

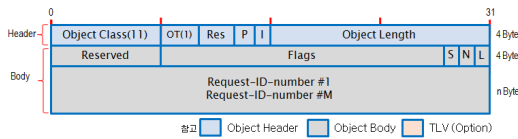


그림 20. PCEP SVEC Object
Fig. 20. PCEP SVEC object

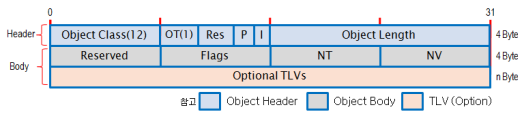


그림 21. PCEP NOTIFICATION Object
Fig. 21. PCEP NOTIFICATION object

표 3. PCEP NOTIFICATION 이벤트 type
Table 3. PCEP NOTIFICATION event type

NT	NV	이벤트
1	1	PCC가 요청한 경로 계산을 취소
1	2	PCE가 요청된 경로 계산을 취소
2	1	PCE가 현재 과부하 상태
2	2	PCE가 정상상태로 복귀

PCEP-ERROR Object 는 그림 22과 같은 포맷이며 PCErr 메시지만 수납되어 오류에 대한 상세 정보를 표 4와 같이 각 오류 상태에 해당되는 Error Type 값으로 수납하여 알려준다.

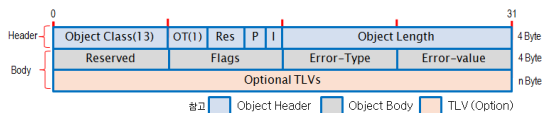


그림 22. PCEP ERROR Object
Fig. 22. PCEP ERROR object

표 4. PCEP Error Type
Table 4. PCEP Error Type

Error Type	오류 내용
1	PCEP 세션 설정 실패
2	Capability를 지원할 수 없음
3	Unknown Object
4	Not Supported Object
5	정책 위반
6	필수 Object 없음
7	동기 Path Computation 없음
8	Unkown request reference
9	중복 PCEP 세션 연결 시도
10	잘못된 Object 수신

LOAD-BALANCING Object 는 그림 23와 같은 포맷이며 PCC에서 Load-balancing 기능을 요청하는 경우 PCReq 메시지에 수납하여 전송한다. MAX-LSP 는 Load-balancing 에 사용되는 TE-LSP 의 최대 수를 의미하며 Min-Bandwidth 값은 각 TE-LSP 의 최소 대역폭 정보이다.

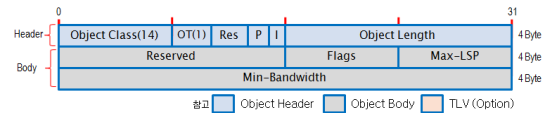


그림 23. PCEP LOAD-BALANCING Object
Fig. 23. PCEP LOAD-BALANCING object

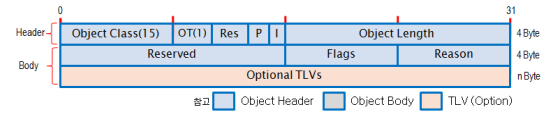


그림 24. PCEP Close Object
Fig. 24. PCEP Close object

표 5. PCEP Close Reason
Table 5. PCEP Close Reason

Reason	종료 내용
1	제공된 설명 없음 (알 수 없음)
2	DeadTimer 타임 만료
3	잘못된 PCEP 메시지 수신
4	Unknown Request/Replies 수신 한계 초과
5	Unrecognized PCEP 메시지 수신 한계 초과

III. GMPLS PCE 프로토콜의 확장

본 연구에서는 기존 GMPLS PCE 프로토콜이 가지는 경로 정보의 교환뿐만 아니라 GMPLS 프로토콜이 지원하는 망 내 통합된 제어 평면 구성이 가능하고 LLDP 프로토콜을 사용한 망 내 링크 계층 장비들의 이웃 노드 정보 수집과 각 노드에서 필요한 LSP를 설정하기 위한 제어 프로토콜을 확장한 G-TOP 프로토콜을 정의한다. 즉, G-TOP 프로토콜은 GMPLS PCE 프로토콜을 기반으로 다양한 인터페이스에 대한 네트워크 망 내 Topology Discovery 기능과 PCEP 메시지와 본 논문에서 추가 정의한 설정 메시지를 사용하여 망 내 장비에 대한 자동 LSP 구성 설정을 가능하게 하는 확장 기능을 정의한다. 또한 중앙 집중형 PCE 서버기능을 확장함으로써 향후 망 내 G-TOP 프로토콜을 지원하는 장비의 경우 빠르고 정확한 토폴로지 검출과 LSP 구성 설정이 가능하며 비록 G-TOP 프로토콜을 지원하지 않는 분산형 PCC 노드의 경우일지라도 기존 PCEP 프로토콜 ERO 메시지를 사용한 분산형 경로 설정이 가능한 하이브리드 형 프로토콜 구조를 제안한다.

3.1. G-TOP 프로토콜 개요 및 시그널링 절차

G-TOP 프로토콜은 G-TOP 클라이언트(Client)와 Broker 서버(Server)로 구성된다. 서버는 물리적 연결 경로에 대한 토폴로지 및 LSP 계산 시 활용될 여러 가지 망 자원을 참조하여 종합적인 경로계산을 대행해 주는 장치이다. 서버는 계산된 경로에 따라 중앙

집중 방식으로 각 노드의 LSP 구성을 설정하고 설정된 LSP 가상회선 모니터링이 가능하다. 뿐만 아니라 토폴로지 추출하기 위한 토폴로지 검출 알고리즘과 LSP 설정을 위한 경로 계산을 수행하며 프로텍션을 위한 복수개의 백업 경로도 함께 제시할 수 있어야 한다. G-TOP 클라이언트는 다양한 장치 간 경로 계산 요청 및 중앙집중형 망 통합 관리 서버를 통해 토폴로지 발견 및 구성 설정을 쉽고 빠르게 요청할 수 있다. 즉, 서버와 클라이언트에 적용될 G-TOP 프로토콜은 클라이언트-서버 간 데이터 및 제어 정보 전송을 위한 시그널링 프로토콜이다.

G-TOP 프로토콜은 PCEP 기반으로 설계되었기 때문에 기존 PCEP에서 사용하는 TCP(4189 포트) 세션을 그대로 사용하여 설정 및 응답 절차를 진행한다. TCP 세션이 연결되면 그림 25와 같이 PCEP 와 동일하게 G-TOP 클라이언트는 OPEN 메시지에 프로토콜 버전, KeepAlive 타이머, DeadTimer, 지원능력, 경로 계산 시 참조할 정책 등을 수납하여 서버로 전송한다. 서버는 가장 먼저 수신된 OPEN 메시지 헤더의 프로토콜 버전을 확인하여 0인 경우 기존 PCEP 시그널링 절차로 PCReq 메시지가 전송되면 수집한 망 정보를 활용하여 PCRes 메시지를 전송하게 되고 0이 아닌 경우 G-TOP프로토콜로 관리자가 설정할 수 있게 동작 된다. G-TOP 프로토콜인 경우 서버에 클라이언트가 등록되면 서버에서는 G-TOP 클라이언트 노드들이 가지고 있는 리소스 정보를 Node ID Request 메시지를 전송하여 요구한다. 이 때 이미 연결이 되어 있는 상태라면 Keepalive 메시지를 전송한다. Node ID Request 메시지를 수신한 후 각각의 클라이언트 노드는 가지고 있는 자신의 시스템 및 리소스 정보를 Node ID Response 메시지에 수납하여 서버로 전송하게 된다. 노드 검색 절차가 종료되면 서버에 등록과 동시에 각 노드가 가지고 있는 리소스 정보를 서버 데이터 베이스에서 저장하여 관리한다.

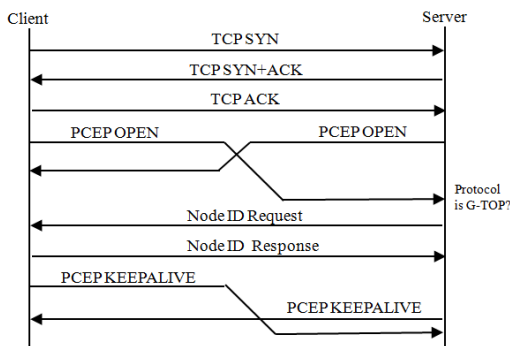


그림 25. 연결 설정 및 노드 정보 수집 절차
Fig. 25. Connection setup and node ID request procedure

노드 검색이 마무리되면 G-TOP Broker 서버는 그림 26과 같이 G-TOP 클라이언트 노드들이 LLDP 프로토콜을 통해 수집한 이웃 노드 정보를 수집하기 위해 LLDP Request 메시지를 전송하여 요청한다.

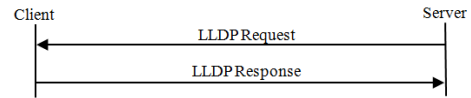


그림 26. 토폴로지 구성 정보 수집 절차
Fig. 26. Topology information request procedure

각각의 클라이언트 노드는 LLDP Request 메시지를 수신 후 저장하고 있는 이웃 노드 정보를 LLDP Response 메시지에 수납하여 서버로 전송하게 된다. 서버는 LLDP Response 메시지를 수신 받아 토폴로지 추출을 위한 이웃 노드 정보를 데이터 베이스에 저장하고 노드 및 이웃 노드에 연결된 링크를 통해 토폴로지를 구성한다.

토폴로지 구성 정보 수집을 한 후에 G-TOP Broker 서버는 그림 27과 같이 G-TOP 클라이언트 노드에 이미 설정 되어 있는 LSP가 있는지 LSP Request 메시지를 전송하여 확인하는 절차를 가지게 된다. 만약 관리자가 서버 설치 이전에 이미 노드에 설정 되어있는 LSP 정보가 있다면 노드는 LSP Response 메시지로 응답하여 서버는 설정된 정보들을 수집하여 G-TOP Broker 서버에 저장한 후 이 정보들을 비교하여 설정 정보를 복원 하게 된다. 설정 경로 복원 기능은 G-TOP Broker 서버의 문제로 인하여 재실행이 되었을 시에도 적용되기 때문에 안정성이 뛰어나다.

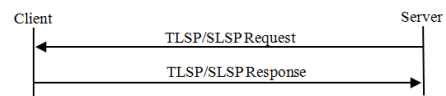


그림 27. 설정 경로 확인 절차
Fig. 27. Established path request procedure

설정 경로 확인이 완료되면 서버와 클라이언트는 이벤트 처리나 설정을 대기하는 상태가 된다. 만일 새로운 G-TOP 클라이언트 노드가 추가되거나 제거되어 토폴로지에 변화가 생기면 이웃에 있는 노드들은 링크 변화를 감지하게 되고 그림 28과 같이 서버에 자신의 링크에 변화가 생겼다는 것을 LLDP Update 메시지로 서버에 전송하여 알린다. 서버는 수신한 LLDP Update 메시지 내 바뀐 정보를 분석하여 변화된 토폴로지를 데이터 베이스에 저장한 후 클라이언트 노드들에게 정상 처리를 알리기 위해 Ack 메시지로 응답한다.

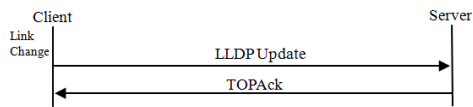


그림 28. 토폴로지 변화 확인 절차
Fig. 28. Topology modification confirmation procedure

G-TOP Broker 서버에서 관리자가 새로운 가상경로인 LSP 설정을 원하는 경우 그림 29와 같이 서버가 가지고 있는 토폴로지 정보를 바탕으로 최단 경로를 계산하는 LSP 설정 알고리즘에 의하여 계산된 LSP에 해당하는 각 클라이언트 노드들에게 LSP 구성을 위한 LSP Setup설정 메시지를 전송하여 LSP Configuration을 해주게 되며 삭제 시에는 데이터베이스에 저장되어 있는 설정 정보를 바탕으로 삭제 명령의 LSP Release 메시지를 전송하여 사용되고 있는 Label을 제거 해주게 된다. 각 메시지를 받은 해당 클라이언트 노드는 자신의 Forwarding Table을 수정하여 LSP 설정을 완료하고 LSP Configuration/Release 메시지에 대한 결과를 Ack 메시지로 응답한다.

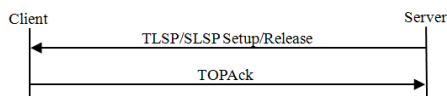


그림 29. 경로 계산 및 설정/삭제 절차
Fig. 29. Path computation and setup/release procedure

경로 계산 및 설정이 완료되면 설정된 LSP 가상회선을 통하여 패킷 전송이 가능하게 된다. 만일 링크의 장애나 LSP(Trunk LSP) 성능의 저하에 따라 경로가 변경될 경우 즉시 자신이 가진 백업 경로를 통해 보호 절체를 수행하고 보호절체가 완료되고 데이터의 전송이 지속될 경우 변화된 정보를 서버에 보내 추후 발생할 수 있는 문제를 대비하여야 한다.

MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 망 내 에지 G-TOP 클라이언트 노드들은 LSP 설정 시 LSP 내 에지 노드들에 각각 MEP, RMEP를 설정하여 LSP 모니터링을 위한 중단 간 CCM 메시지를 주기적으로 전송하여 노드나 링크 장애 발생 시에 프로텍션 LSP의 50ms 이내의 절체 및 보호 복구가 가능하다.

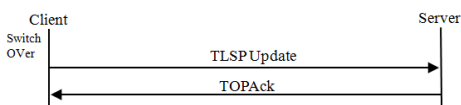


그림 30. LSP 변화 확인 절차
Fig. 30. LSP update confirmation procedure

이 경우 에지에 위치한 G-TOP 클라이언트 노드는 Switchover를 감지하고 그림 30과 같이 서버에 LSP

변화에 대한 정보를 LSP Update 메시지에 수납하여 전송한다. 서버는 TLSP (Trunk LSP) Update 내 LSP 정보를 데이터 베이스에서 검색하여 현재 망 상태를 서버에 반영하게 되고 클라이언트에 응답 완료 메시지를 전송한다. 이후 LSP 경로가 다시 복구되는 경우에 에지 노드에서 TLSP Update 메시지 전송을 다시 전송받아 정상 복구된 상태를 저장한다.

3.2. G-TOP 프로토콜 메시지 형식

G-TOP 프로토콜 메시지는 PCEP 기반으로 구현되었기 때문에 PCEP와 동일한 메시지 헤더와 TLV 형식의 Object 를 사용한다. 다음 표 6과 표 7은 G-TOP 프로토콜의 메시지 타입과 Object Class를 정의한다. Object Class 세부 필드는 각 메시지 포맷에 설명된다.

표 6. G-TOP 프로토콜 메시지 타입
Table 6. G-TOP protocol message type

Type	Name	Type	Name
1	OPEN	17	SLSPSet
2	KEEP	18	SLSPRel
7	CLOSE	19	TLSPReq (Edge)
8	LLDP	20	TLSPRes (Edge)
9	LLDPUp	21	TLSPSet (Core)
10	TLSPSet (Edge)	22	TLSPRel (Core)
11	TOPAck	23	SLSPReq (Core)
12	TLSPRel (Edge)	24	SLSPReq
13	TLSPUp (Edge)	25	SLSPUp
14	LLDPReq	26	TLSPUp (Core)
15	NIDReq	27	TLSPRes (Core)
16	NIDRes	28	SLSPRes

각 메시지는 G-TOP 프로토콜에서 정의한 노드 및 토폴로지 구성 정보 수집, 설정 경로 확인, 토폴로지 변화 확인, 경로 계산 및 설정/삭제, LSP 변화 확인 기능을 수행하는데 필요한 메시지이며 에지와 코어 노드를 구분하여 정의하였다. 각 메시지의 헤더에 있는 Ver 값이 0인 경우 서버는 기존 PCEP 프로토콜로 동작하며 0이 아닌 경우 G-TOP 프로토콜로 동작하게끔 정의하였다.

표 7. G-TOP 프로토콜 Object Class
Table 7. G-TOP protocol object class

Class	Name	Class	Name
1	Open Object	21	TLSP Node Object
15	Close Object	22	LLDPReq Object
16	TOPAck Object	23	NIDP Request Object
17	Node Top Object	24	NIDP Response Object
18	Port Top Object	25	SLSP Object
19	LSP QoS Object	26	TLSPReq Object
20	TLSP SD Object	27	SLSPReq Object

OPEN, Keepalive, CLOSE 메시지는 PCEP와의 호환성을 고려하여 PCEP에서 정의한 메시지를 그대로 사용하였다. NIDReq 메시지를 서버에서 노드로 전송

하여 노드 검색 정보를 요청하고 응답으로 노드의 시스템 및 포트 리소스 정보가 수납된 NIDRes 메시지를 서버에서 수신하여 데이터 베이스에 노드 정보를 저장한다. 노드 및 포트 리소스 정보는 그림 31과 같이 Node IP Port Object내에 노드 시스템 정보인 고유 System ID 값과 IP 주소, 시스템 용량, Time To Live(TTL) 값이 수납되며 포트 리소스 정보인 Port Index, User-to-Network Interface(UNI)/Network-to-Network Interface(NNI)을 구분하는 U flag, Physical Port Index, Port Type, Port Description 정보를 수납하는 필드로 구성되어 있다. System ID 필드는 TLV 형식으로 정의되어 있으며 표 8과 같이 Type 에 따라 시스템 정보 필드에 수납되는 정보의 종류가 MAC주소나 IP, Label, S-VID, I-SID, Port Call 값들로 정의할 수 있다.

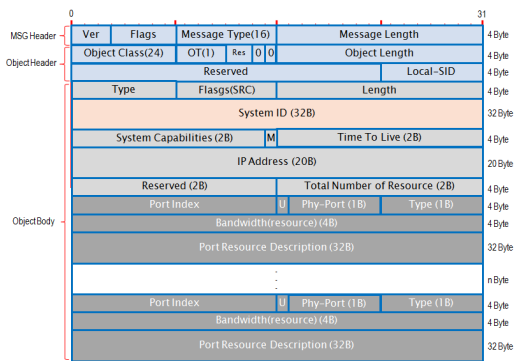


그림 31. NIDRes 메시지 포맷
Fig. 31. NIDRes message format

표 8. Field Type 별 정의된 시스템 정보 Value
Table 8. System information value specified in Field type

Field Type	사용안함	String	MAC	IPv4	IPv6	Label	S-VID, I-SID	Port Call
Type Value (1byte)	0	1	2	3	4	5	6	7

LLDP 메시지는 노드가 LLDPReq 메시지를 수신하는 경우 그림 32와 같은 포맷으로 노드의 시스템 정보를 수납하는 Node Top Object와 이웃 노드 정보에 대한 정보를 수납하는 Port Top Object를 메시지에 저장하여 서버로 전송한다. Node Top Object 에는 ITU-T Carrer Code(ICC)와 Unique MEG ID Code(UMC) 형식의 시스템 고유 ID와 IP 주소 및 시스템 용량 및 TTL 정보를 입력하는 필드를 사용하며 Port Top Object 에는 Local 시스템의 정보 이외에 Remote 시스템의 정보(System ID) 및 포트 정보(MAC, Bandwidth, Port ID, Port Description)를 나타내는 필드가 있다. 하나의 Port Top Object 에는 하나의 Local Port 정보와 하나 이상의 Remote Port 정

보가 수납된다. 이것은 노드의 한 인터페이스에 여러 개의 Remote 노드 인터페이스가 연결될 수 있는 것을 의미한다.

LLDP 메시지와 동일한 포맷을 사용하는 메시지는 LLDPUp 메시지가 있다. LLDPUp 메시지는 노드의 인터페이스에 연결된 정보의 변화가 감지되는 경우 LLDPUp 메시지에 변화된 인터페이스 정보를 수납하여 서버로 전송하면 이를 반영하여 데이터 베이스에 저장한 후 정상 처리하여 응답한다. 표 9에서 정의한 Port Top Object 의 Object Type 을 LLDPUp 메시지 수신 시 확인하여 링크가 어떻게 변하였는지 알 수 있다.

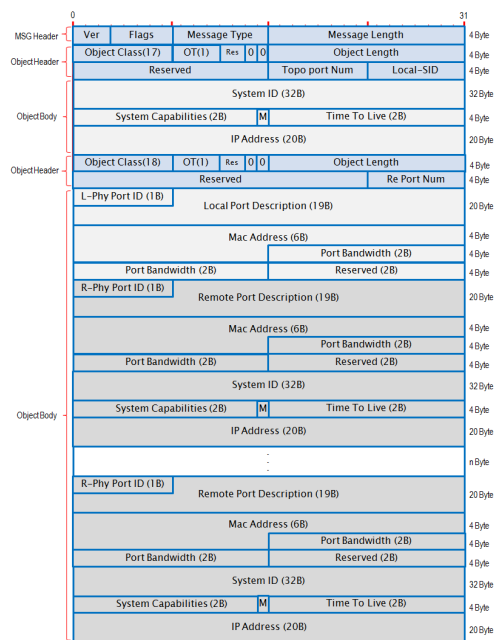


그림 32. LLDP 메시지 포맷
Fig. 32. LLDP message format

표 9. Port Top Object Type
Table 9. Port Top object type

Object Type	기능
1	default
2	Delect (링크 삭제)
3	(링크 생성)
4	(링크 오류)

Trunk Label 는 MPLS-TP 망 내 패킷 포워딩을 위해 사용되는 가상경로 정보이다. Trunk-LSP(TLSP)는 Trunk Label에 의해 설정된 가상 회선 경로를 의미하며 TLSP 경로 관련 메시지에는 TLSP 설정을 위한 TLSPSet, TLSP 삭제에 사용되는 TLSPRel, 서버에서 TLSP 정보 복원을 위한 TLSPRes, 설정한 TLSP 모니터링 및 설정 정보 업데이트에 사용되는 TLSPUp

메시지들이 있다. 각 메시지는 설정 시 필요한 Mepid 나 MAC 주소 System ID 등이 에지 노드와 코어 노드에 따라 다르기 때문에 그림 33과 같이 에지와 코어 노드에 전송하는 메시지타입을 다르게 정의하고 다른 Object Class를 수납하여 전송한다. 에지 노드에는 Working과 Protection TLSP 정보를 각각 TLSP SD Object 에 수납하여 전송한다. TLSP SD Object 에는 TLSP 의 출발지와 목적지 시스템 정보와 전송할 인터페이스의 MAC 주소와 사용 Label 및 Port 정보를 수납한다.

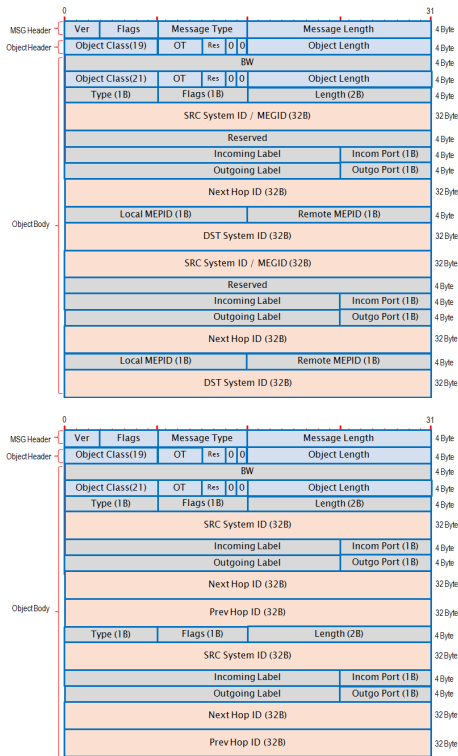


그림 33. TLSPSet, TLSPRel, TLSPUp, TLSPRes Edge(위) Core(아래) 메시지 포맷
Fig. 33. TLSPSet, TLSPRel, TLSPUp, TLSPRes Edge(Up) Core(down) message format

코어 노드에는 패킷 중계를 위해 필요한 Label 및 Port 정보와 사용 인터페이스의 MAC주소 정보를 수납한다. 표 10에는 정의된 TLSP SD Object 의 Object Type 을 TLSPUp 메시지 수신 시 확인하여 설정된 TLSP 의 LSP에 오류가 있는지 알 수 있고 노드에서의 수동 설정 및 삭제 QoS에 대한 정보를 메시지 내 수납하여 활용할 수 있다.

표 10. TLSP SD Object Type
Table 10. TLSP SD Object Type

Object Type	TLSP 변화 알림 기능
128 (0x80)	QoS 업데이트
64 (0x40)	자동 설정
32 (0x20)	수동 삭제
16 (0x10)	수동 설정
8 (0x08)	Protection Path Fault
4 (0x04)	Protection Path Active
2 (0x02)	Working Path Fault
1 (0x01)	Working Path Active

Service-LSP(SLSP)는 Service Label에 의해 설정된 가상 회선 경로를 의미하며 SLSP 경로 관련 메시지는 SLSP 설정을 위한 SLSPSet, SLSP 삭제에 사용되는 SLSPRel, 서버에서 SLSP 정보 복원을 위한 SLSPUp, 설정한 SLSP 정보 업데이트에 사용되는 SLSPRes 메시지가 있다. 그림 34와 같이 각 메시지에 있는 SLSP Object에 출발지, 목적지의 시스템 정보(System ID) 와 SLSP의 ID로 사용할 Trunk Label 정보 및 Service Label과 Port 정보를 수납하여 전송한다. Service Label 은 MPLS-TP 망에 연결된 서비스 사용자 네트워크 간 패킷 포워딩을 위해 사용되는 가상경로 정보이다.

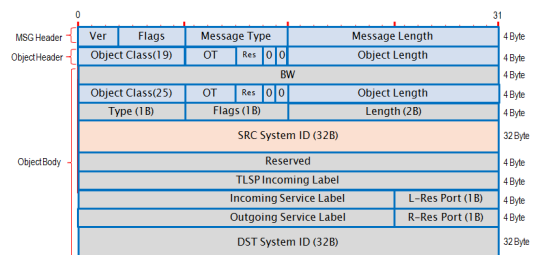


그림 34. SLSPSet, SLSPRel, SLSPUp, SLSPRes 메시지 포맷
Fig. 34. SLSPSet, SLSPRel, SLSPUp, SLSPRes message format

TOPAck 메시지는 TLSP, SLSP 관련 메시지를 수신 받는 서버나 노드에서 해당 수신 메시지의 정상 또는 비정상 처리에 대한 응답을 하는 메시지이다. 그림 35의 OT 값이 1인 경우 정상 처리에 대한 응답 메시지이며 2인 경우 비정상 처리 응답 메시지이다. 메시지 내에 TOPAck Object 가 수납되어 Reason 필드에 응답하는 메시지 타입을 입력하고 응답 메시지 처리 로그를 String 값을 추가하여 비정상 처리 시 이에 대한 오류 발생 메시지를 알 수 있도록 해준다.

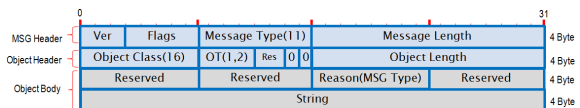


그림 35. TOPAck 메시지 포맷
Fig. 35. TOPAck message format

IV. 확장 프로토콜의 시스템 구현 검증 및 성능 측정 결과

4.1. 테스트 베드를 통한 프로토콜의 기능 검증

토폴로지 자동 구성 및 설정 기능을 검증하기 위해 실제 MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 테스트 베드 망을 구성하였다. 검증을 위한 캐리어 이더넷 망은 그림 36 와 같이 Carrier Ethernet Multiplexer (CEMUX)라는 실제 MPLS-TP 장비와 구현한 G-TOP Broker 서버로 구성되어 있다.

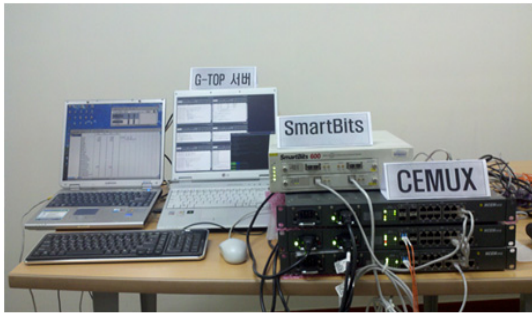


그림 36. CEMUX 테스트 베드 망 사진
Fig. 36. Picture of CEMUX testbed network

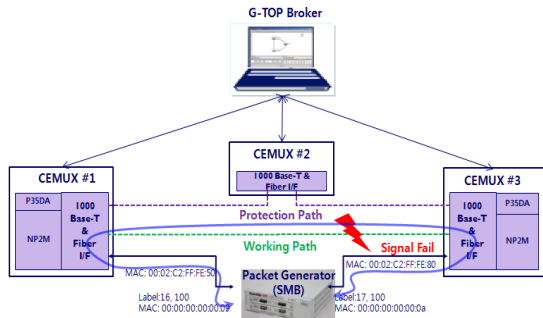


그림 37. 기능 검증을 위한 테스트 베드 망 구성
Fig. 37. Testbed network configuration for functional verification

테스트 베드 구성은 그림 37와 같이 MPLS-TP 망을 구성하고 구현된 G-TOP Broker 서버에 CEMUX들을 연결 하여 서버에서 토폴로지 자동 구성 및 설정 기능을 검증한다. 서버에 토폴로지가 구성되면 관리자가 자동으로 GUI를 통해 설정한 가상 회선 설정 메시지가 CEMUX로 전송되어 LSP 경로가 설정되고 이 경로로 Packet Generator 를 사용하여 전송한 Packet의 Loss 개수를 확인하여 50ms 이내의 절체 시간을 확인한다. 동시에 서버에서 임의로 Down 시킨 CEMUX 링크의 토폴로지 업데이트 반영 결과를 확인하여 G-TOP 프로토콜의 기능을 확인한다.

망 구성에 사용되는 CEMUX는 4G 모바일 캐리어

이더넷 백홀망에서 요구되는 기능들을 수용하면서 다수의 기지국과 하나의 제어국 간 통신이 이뤄지는 이더넷 기반의 전달망 제공을 위한 MPLS-TP 방식 캐리어 이더넷 멀티플렉서 스위치이다. 특징으로는 기존 캐리어 이더넷 스위치 보다 단순한 형태의 망을 구성할 수 있는 멀티플렉서 구조를 제시하고 포트 간 연결성 제공을 위한 LSP 기술, 동기화 기술, 이동통신 트래픽 수용을 위한 QoS 제어 기술, OAM, 고신뢰 서비스를 위한 보호복구 기능들을 제공한다.

토폴로지 발견을 위해 망 내 위치하는 중앙 집중형 G-TOP Broker 서버의 구조는 그림 38에서 보여주는 바와 같이 GUI & Algorithm 블록, DataBase(DB) 블록, Broker Server 블록, Util 블록으로 구성되어 있으며 각 블록의 소프트웨어 환경은 Java(버전 1.6.0)에서 개발되었다.

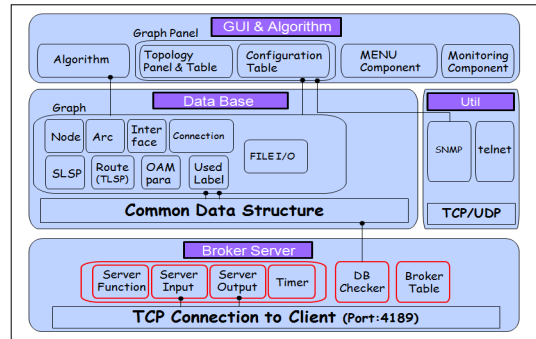


그림 38. G-TOP Broker 서버 구조
Fig. 38. Server architecture for G-TOP broker

Broker Server 블록은 Util 블록 내 Simple Network Management Protocol(SNMP) 모듈과 연동하여 망 내 구동중인 노드들과 통신하며 메시지 처리 모듈을 통해 연결 설정, 노드 정보 수집, 토폴로지 정보 수집 기능을 한다. Broker Server 내 ServerFunction, ServerInput, ServerOutput, Timer 모듈들은 구성되는 G-TOP 프로토콜의 핵심 모듈부분이며 G-TOP 프로토콜에 관련된 모든 시그널링 메시지에 대한 처리 기능을 수행한다. ServerFunction 모듈은 ServerOutput 모듈에서 전송할 메시지 정보를 DB Checker 모듈을 통해 데이터 베이스에서 가져오고 ServerInput 모듈에서 수신한 메시지 내 정보를 Broker Table 및 데이터 베이스로 보내주는 기능을 한다. BrokerTable 모듈은 DB Checker 모듈과 연동하여 Broker Server 블록의 모듈이 Data Base 블록과 정보를 교환하는데 사용되며 SNMP 모듈과도 연동하여 G-TOP Broker 의 SNMP 프로토콜 사용 기능을 제공한다. DB 블록은 망을 구성하는 요소들과 설

정 시 필요한 파라미터를 객체화 정의하여 구현되어 있다. 기본적으로 Node, Arc, Interface 클래스를 사용하여 토폴로지를 구성한다. 토폴로지 구성이외에 Connetcion, SLSP, Route, OAM para, Used Label 클래스에 관리자 설정 정보를 저장하여 망 관리 데이터 베이스를 구축한다. GUI 블록은 토폴로지 출력 및 정보 확인을 위한 Panel 과 Table 로 구성되어 있고 자동 설정을 위한 알고리즘 모듈 및 메뉴, 모니터링에 필요한 컴포넌트로 구성되어 있다.

기능 검증은 서버의 GUI에 연결된 CEMUX들의 토폴로지가 자동 구성되면 관리자는 서버 GUI 자동 설정 메뉴를 통해 출발지 노드를 CEMUX #1, 목적지 노드를 CEMUX #3으로 하는 최단 경로를 자동 계산하여 설정해야할 Trunk-LSP Working Path와 Protection Path 및 Service-LSP에 대한 정보를 자동으로 LSP 경로 내 CEMUX들에 전송하여 설정한다. 설정이 완료되면 서버에서 경로 정보를 확인하고 Paket Generator 인 스마트 비트(Smatrbits) 장비에서 60Byte의 프레임을 10,000 Frame/s 속도로 전송하여 Loopback 받는 방식으로 Packet Loss 를 측정하고 Working Path로 설정된 CEMUX #1과 CEMUX #3의 링크를 임의로 Down 시켜 50ms 이내의 절체 시간을 확인한다. 동시에 서버에서 Down 된 링크의 토폴로지 업데이트 및 LSP 변화 메시지를 수신한 서버가 이를 반영한 결과를 확인하여 G-TOP 프로토콜의 기능을 검증한다.

테스트를 진행한 결과 그림 39와 같이 서버에 연결된 CEMUX의 토폴로지가 발견되어 출력되는 것을 확인할 수 있었다. 서버 GUI에서 자동 설정한 LSP 정보는 데이터 베이스에 저장되어 화면에 출력되며 CEMUX #1과 CEMUX #3에 연결된 링크를 Down 시켰을 경우 CEMUX 간 전송하는 CCM 메시지를 통해 이를 즉각적으로 서버에 알려 감지한 LSP 변화 상태를 출력하는 것을 확인하였다.

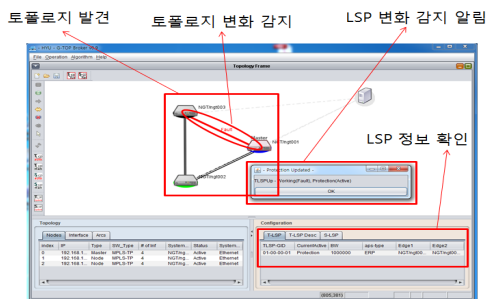


그림 39. 서버 연동 테스트 결과 화면
Fig. 39. screen shot of inte-operable test with server

표 11. 실험을 통한 보호 절체 시간
Table 11. Experimental result for protection time

경로	전송 Frame	Packet Loss	절체 시간(ms)
CEMUX 1->3	86,604	257	25.7
CEMUX 3->1	86,646	298	29.8

표 11은 패킷 제너레이터에서 측정된 결과로 전송한 Frame 대비 Packet Loss 값을 이용하여 계산된 절체 시간으로 약 86,600개의 프레임 전송하는 동안 링크 Fault 가 발생시켜 End 노드(CEMUX #1, #3) 간 257개와 298개의 Packet Loss가 발생하였으며 Working Path 오류 발생 시 30ms 이내에 Protection Path로 절체를 수행한다는 것을 확인하였다.

4.2. 시뮬레이션을 통한 프로토콜의 성능 분석

G-TOP 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 연동 검증 외에 시뮬레이션 환경 구축을 통한 토폴로지 자동 구성 성능 측정 실험을 진행하였다. 시뮬레이션 환경은 그림 40과 같이 중앙 G-TOP Broker 서버에 스위치를 사용하여 연결된 20개의 가상 노드가 될 PC에 각각 G-TOP 클라이언트 및 SNMP Agent 를 사용하여 구성하였다.

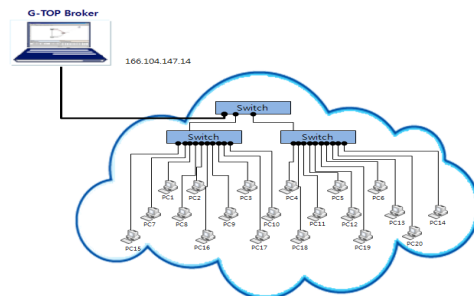


그림 40. 시뮬레이션을 위한 망 구성
Fig. 40. Network configuration for simulation

프로토콜의 성능은 노드 검색 시간과 이웃 노드 정보 추출하여 링크를 생성하는 시간을 합하여 성능을 측정하였다. 구현된 서버에서 노드 정보 및 이웃 노드 정보를 추출하기 위한 메시지를 전송하고 이에 대한 응답 메시지를 받는 시간을 측정하였다. 측정은 G-TOP 프로토콜과 SNMP 프로토콜을 각각 사용하였으며 G-TOP/SNMP 를 사용하는 하이브리드 방식도 측정하였다. 측정은 노드 개수에 따른 노드 검색과 이웃 노드 정보 추출(링크 생성) 시간을 10회 측정된 평균값을 표기했다.

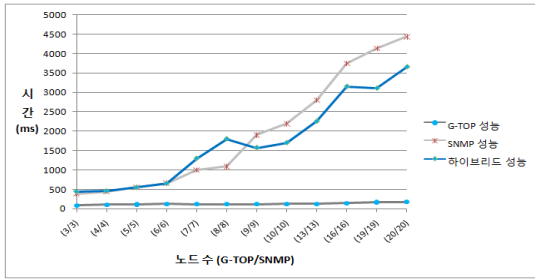


그림 41. 토폴로지 자동 구성 성능
Fig. 41. Performance of topology construction

표 12. 토폴로지 자동 구성 성능 비교
Table 12. Performance comparison for topology construction

노드 수 (G-TOP/SNMP)	3/3	4/4	5/5	6/6	7/7	8/8	9/9	10/10	13/13	16/16	19/19	20/20
G-TOP 프로토콜	83.1	98.3	108	118.8	116.7	117	113.9	122.7	126.2	145.4	171.4	177.8
SNMP 프로토콜	380.3	434.1	549.8	650.1	995.7	1087.2	1302.4	2190.1	2799.2	3750.4	4140.8	4443.7
하이브리드	439	453.4	546.4	547.4	1296	1793.5	1572.4	1700.6	2256.3	3152.5	3106.9	3658

각 프로토콜별 성능을 비교하여 표 12과 그림 41과 같은 결과를 얻었으며 SNMP 프로토콜과 하이브리드 방식은 노드와 토폴로지 구성을 위한 다수의 SNMP MIB 요청, 응답 절차로 인해 이에 비해 단순한 절차의 G-TOP 프로토콜만을 이용하는 것보다 토폴로지 구성 시간이 길었으며 비슷한 성능을 보였고 G-TOP 프로토콜만을 이용한 방식이 가장 빠른 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 망의 자동 구성 및 설정을 위한 GMPLS PCE 프로토콜을 확장한 G-TOP 프로토콜을 제안하고 설계하여 구현하였다.

본 논문에서 구현한 G-TOP 프로토콜은 기존 토폴로지 구성에 사용되는 분산형 RSVP 프로토콜에 비해 중앙집중형 시그널링을 절차로 빠르고 정확한 토폴로지 구성이 가능하며 최적화된 LSP 경로 제어 및 모니터링이 가능하여 서비스 사용자에게 QoS, OAM 기능을 제공하면서 망 내 자원관리, 오류 관리를 가능하게 한다. G-TOP 프로토콜을 실제 MPLS-TP 기반 캐리어 이더넷 장비와 MPLS-TP 망을 구성하여 서버에서의 망 자동 구성 및 자동 설정을 통한 경로 제어가 가능함을 확인함으로써 기능 구현을 검증하였다.

시뮬레이션을 통한 성능 측정 결과 SNMP 프로토콜을 이용한 L2 토폴로지 자동 구성 알고리즘에 비해 일정한 시그널링 절차로 빠른 토폴로지 정보 추출이 가능하다는 결론을 얻었다.

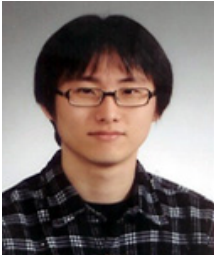
향후 계획은 본 논문에서는 제한적으로 사용된 기능을 확장하는 것과 서버에서 관리자가 자동으로 설정하는 기능 이외에 망 상태에 따라 동적으로 경로를 계산, 설정하는 연구와 토폴로지 자동 구성 외의 프로토콜 성능을 측정하여 분석하는 것이다.

본 논문은 지식경제부의 부분적인 지원을 받았다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Choi, H. P. Kim, M. S. Kim, M. S. Shin, J. M. Park, and E. H. Park, "An experimental implementation of MPLS-TP controlled Ethernet transport network for mobile backhaul," in *Proc. COIN*, July 2010.
- [2] T. K. Kang, T. S. Jung, J. H. Yoo, "Carrier ethernet technology and standard status", *ETRI ettrends*, Vol. 24, No. 3, June 2009.
- [3] D. Beller, R. Sperber, "MPLS-TP - the new technology for packet transport networks," *DFN Forum Munchen*, May 2009.
- [4] M. S. Shin, K. S. Park, H. P. Kim, Y. S. Shin, J. S. Choi, "Design and implementation of centralized topology discovery protocol for MPLS-TP network, CEIC, Nov. 2011
- [5] S. W. Kim, T. S. Jung, J. D. Ryu, "MPLS-TP standard status", *TTA*, 2011.4
- [6] W. H. Lee, "A PCE-based topology-aware path selection scheme in multi-layer on multi-domain network", *Sungkyunkwan university Ph.D Thesis*, Feb. 2010.
- [7] *IEEE 802.1ab: Link Layer Discovery Protocol*, April 2005
- [8] *IETF RFC 4655 - A Path Computation Element (PCE)-Based Architecture*, August 2006
- [9] *IETF Draft RFC 5440 - GMPLS Path Computation Element Communication protocol*, March 2009

신 민 섭 (Min-Seop Shin)



2009년 8월 서울시립대학교
전자전기컴퓨터공학부 졸업
2010년 3월~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과 석사
과정
<관심분야> 캐리어이더넷,
MPLS-TP, EMS

최 진 식 (Jin-seek Choi)



1985년 2월 서강대학교 전자
공학과 졸업
1987년 2월 한국과학기술원
전기및전자공학과 석사
1995년 8월 한국과학기술원
전기및전자공학과 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