

# EPON 장애 대책에 관한 연구

정희원 구본정\*, 허 정\*, 김성휘\*\*, 조성대\*\*, 종신회원 박영일\*

## A Study on the Protection of EPON

Bon-Jeong Koo\*, Jeong Hur\*, Sunghwi Kim\*\*, Seong-Dae Cho\*\*, Youngil Park\*

### 요 약

최근까지 통신망의 장애대책은 주로 기간망에 적용되는 개념이었다. 즉, SONET, SDH 등 동기식 전송장치의 점대점, 선형, 링형, 메쉬형 구성 혹은 565 Mbps의 비동기식 전송장치 등이 그 예이다. 그러나 대용량, 광대역 PON 시스템의 도입으로 인해 가입자망에도 보호 및 절체의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 EPON의 경우에 효과적으로 망을 보호할 수 있는 방법에 대해 기술하였다. EPON 프레임 및 프로토콜 특성을 이용한 보호절체 방법을 제시하고 이를 구현하여 1 ms 이내에 시스템을 보호하는 실험 결과를 보인다.

Key Words : EPON; protection; 장애 대책, 보호 및 절체

### ABSTRACT

Network protection has been mainly applied to trunk networks. PTP, ring, linear, mesh topologies of SONET/SDH system and 565 Mbps PDH systems are among those examples. But, as larger capacity PON system is introduced, protection in access network system also becomes necessary. In this paper, an efficient EPON protection scheme utilizing the EPON's frame and protocol is proposed and the implementation results showing protection within 1 msec are provided.

### 1. 서 론

최근 다양한 멀티미디어 서비스들이 점차 현실화 되면서 통신 수요가 대폭 증가하는 가운데 백본망의 전송용량은 상당히 늘어난 반면, 가입자 망에서의 전송능력 변화는 거의 없는 실정이다. 이는 가입자 망에 다양한 멀티미디어형 서비스들을 제공할 경우 가입자망과 백본망 사이에서 병목현상이 생겨날 수 있음을 의미한다. 따라서 정보 전송량과 전송거리의 한계를 극복하기 위하여 FTTH의 도입이 필연적이다. 그러나 만일 중심국에서 가입자까지 점대점 형태로 광선로를 포설한다면 비용이 너무 높아지며, 이를 해결하기 위한 방법으로 PON (Passive Optical Network) 구조가 각광을 받고 있다[1].

PON의 방식들로서는 전송에 ATM 프로토콜을

사용하는 ATM-PON, 이더넷 프로토콜을 사용하는 Ethernet-PON, 여러 개 파장을 이용하는 WDM-PON, 이들 여러 방식을 혼합하여 사용하는 Hybrid-PON 등으로 구분할 수 있으며 표준화 작업의 경우 ATM-PON은 ITU G.983.x에서, Ethernet-PON의 경우 IEEE 802.3ah에서 주로 이루어지고 있다. WDM-PON 및 Hybrid-PON의 경우 세계적으로 연구 및 개발하는 기업이 극소수라서 아직 표준화 단계에 와 있지는 못한 실정이다.

이들 개발 중인 제품들을 보면 대역폭이 1 Gbps를 넘기 때문에 시스템에 장애가 발생하는 경우 많은 가입자에게 피해를 주게 된다. 따라서 시스템의 운용을 안정적으로 하기 위한 방식들이 제안되고 있다[2]. 그러나 더욱 근본적으로는 기존 가입자망 시스템과 달리 장애대책이 필요하다. 이를 고려하여

\* 국민대학교 전자정보통신공학부 광통신 연구실(ypark@kookmin.ac.kr), \*\* KT 기술연구소

논문번호 : 040092-0225 접수일자 : 2004년 2월 25일

※ 이 논문은 과학재단의 특정기초연구(R01-2002-000-00458-0)지원으로 수행되었음.

ATM-PON의 경우 ITU G.983에 보호 및 절체를 위한 여러 가지 물리 구조가 제시되어 있지만, EPON의 경우에는 표준화가 이루어지는 IEEE 802.3ah에서 장애대책을 별도로 다루고 있지 않으며, 각 제조회사별로 적절한 방식을 선택하여 구현해야 한다[3,4]. 따라서 본 논문에서는 EPON 프로토콜의 특성을 분석하여 이에 적합한 보호 방식을 제안하고 이의 구현방식 및 시험결과 등을 제시하였다.

## II. EPON 보호시스템 설계 및 시험

EPON의 경우 CSMA/CD 프로토콜에 기반을 둔 이더넷 LAN과는 달리 MPCP (Multi-Point Control Protocol) 프로토콜을 사용하여 Master 유닛과 Slave 유닛 간 효율적인 데이터 전송을 구현하고 있다. 이를 위한 제어 메시지 프레임은 다음 그림 1과 같이 구성된다[5]. 그림에서 TYPE은 제어메시지 종류를 의미하고, OP CODE는 명령어 코드를 나타내며 제어 내용은 MESSAGE에 표현한다. 한편 상·하향 전송 데이터 프레임은 이더넷 LAN과 동일한 포맷을 따르며 그림 2와 같다.

LLID	CRC	MAC DA	MAC SA	TYPE	OP CODE	TIME STAMP	MESSAGE	FEC
preamble		(6)	(6)	(2)	(2)	(4)	(40)	(4)

그림 1. EPON 제어 메시지 프레임

Preamble(7)	SFD (1)	Destination address (6)	Source address (6)	Length (2)	Data (64~1500)	FCS(4)
-------------	---------	-------------------------	--------------------	------------	----------------	--------

그림 2. 이더넷 데이터 프레임

본 연구에서는 보호 방식을 크게 물리계층 방식과 데이터링크계층 방식으로 나누고 각각의 경우에 대한 구현 방식을 제시한다. 두 가지 방식 모두에서는 다음 그림 3과 같은 PON 망을 가정하였다. 이 망은 ATM-PON 절체 방식을 기술한 ITU G.983 표준안에서 TYPE-B와 유사하지만[2], working 및 protection 두 OLT 신호가 OLT단에서 2x1 커플러를 이용해 결합된 후 ODN까지 전송된다는 점에서 차이가 있다. 이는 우리나라 전송망의 구조 및 장치 고장률이 파이버의 고장률보다 훨씬 높다는 현실을 고려할 때 가장 경제적인 방식이라 할 수 있다. 이 구조에서는 OLT 장치만 이중화되어 있고, 따라서 성능 판단도 OLT에서만 하도록 한다. MAC controller의 기본 기능은 FPGA를 이용하여 구현하

였으며, 두 개의 OLT 시스템의 전체 제어는 한 개의 중앙 프로세서를 이용해서 구현하였다. 성능판단의 지표로는 SF (Signal Fail), SD(Signal Degradation), PL (Preamble Loss)의 세 가지 요소를 이용하였다. SF는 입력 광신호 크기가 기준 레벨을 만족하지 못하여 신호의 복원 자체가 불가능할 때 발생하는 알람(alarm)이고, 신호가 디지털로 변환하기 전 수신단의 PD에서 즉각 검출이 가능하므로 가장 빠르고 쉬운 검출방식이기도 하며, 가장 치명적인 오류에 해당한다. SD와 PL의 경우 검출한 디지털 신호의 값을 읽고 이를 이더넷 데이터 프레임과 비교함으로써 검출한다. SD는 이더넷 프레임에서의 FCS 값 계산이 제대로 이루어지지 않을 경우 발생하는 알람이다. FCS 계산에는 다음 식 (1)의 32차 PN코드를 사용한다[5].

$$X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X^1 + 1 \quad (1)$$

이 FCS 값이 반복적으로 일치하지 않는다면 이는 신호 전송 도중 오류가 발생했음을 의미하며, 이 경우 제안된 방식에서는 SD 알람을 발생하도록 한다. PL은 EPON 데이터 프레임에 정의된 프리앰블에서 오류 검출 시 발생하는 알람 신호이다. 즉, 이더넷 데이터 프레임의 맨 앞단에는 7 byte의 프리앰블 신호와 1 byte의 SFD가 존재하여 데이터의 시작을 알리는 역할을 하는데, 이 신호가 3개 프레임 이상 검출되지 않는다면 이는 데이터가 심각히 왜곡되고 있는 상황을 나타낸 것으로 간주하여 프리앰블 손실 알람을 발생하도록 하였다. 이 알람 발생을 위한 감시 시간을 다음 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

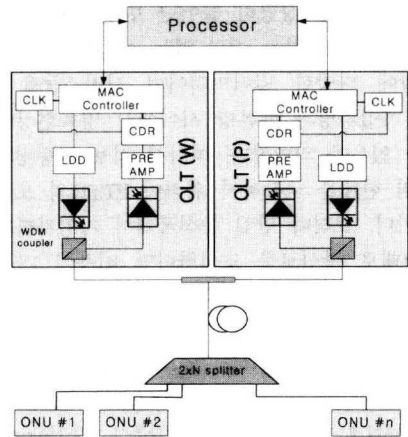


그림 3. EPON 보호절체 시스템 테스트베드



$$\begin{aligned} & \{(\text{maximum } 1526 \text{ byte/frame}) \\ & + (\text{inter frame gap time } 12\text{byte/frame})\} \\ & \times 8 (\text{bit/byte}) \times 3 \text{ frame} \times 1 (\text{sec}/10^9 \text{ bits}) \\ & = 36.912 \mu\text{sec} \end{aligned} \quad (2)$$

절체 프로토콜에 따라 물리 계층 및 데이터 링크 계층의 두 가지 방식을 제안하고, 이를 구현한 결과를 설명한다.

### 2.1 물리계층 보호방안

이 방식에서는 신호 성능을 물리계층에서만 판단하고 스위칭을 할 때도 APS (Automatic Protection Switching) 방식에 의해서가 아니라 고장을 판단한 장치 내에서 처리하는 로컬 스위칭 방식을 채택하고 있다. 표 1에서는 본 연구에서 사용한 물리계층에서의 판단 기준을 제시하고 있다. SF, PL, SD 세 개의 측정 인자를 3-bit 데이터로 표현하되 SF, PL, SD 순으로 가중치를 갖게 되며, working 및 protection 각 장치의 불안정성을 나타내는 IIB(Instability index of board) 지수는 다음 식 (3) 과 같다.

$$IIB = (SF*2^2) + (PL*2^1) + (SD*1) \quad (3)$$

이 값이 중앙 프로세서에 전달되면, 프로세서에서는 working 및 protection 두 OLT 장치의 IIB 값을 비교하고 이 중 위 값이 작은 시스템을 더 성능이 좋은 시스템으로 판단하여 이를 동작시키고, 다른 OLT 시스템의 전송은 차단한다.

표 1. 물리계층 보호용 parameter의 가중치

SF(4)	PL(2)	SD(1)	description
0	0	0	O.K.
0	0	1	Compare with Prot.
0	1	0	Compare with Prot.
0	1	1	Compare with Prot.
1	0	0	Not applicable
1	0	1	Not applicable
1	1	0	Not applicable
1	1	1	Compare with Prot.

### 2.2 데이터링크 계층 보호방안

이 방식은 SONET 혹은 SDH에서 K1 바이트를 이용하여 송수신간 오류 정보를 전송함으로써 시스템을 보호하는 APS (Automatic Protection Switching) 방식과 같이 EPON 제어 프레임에 이용하여 OLT와 ONU 사이에 사고에 관한 정보를 주고받으며, 최종적으로 절체를 시도하는 방식을 의미한다. 이 때 K1 바

이트는 제어 프레임 내 메시지에 실으며, 내용은 B-PON 표준화 방식을 따른다. 이 방식에 의한 보호 절체의 절차를 그림 4에 나타내고 있다. ONU에서 먼저 사고를 감지한 경우 그림 4(a)와 같이 사고감지(동작1)를 K-1 byte에 실어 3회에 걸쳐 상향 전송한다(동작2). 이 때 각각 다른 ONU에서 전송해야 하며, 이렇게 하는 이유는 ONU 수신단의 오류로 인해 OLT를 절체하지 않도록 하기 위함이다. 즉, 제안된 방식은 OLT 시스템의 보호에 국한하고 있는데 한 개의 ONU 수신에 오류가 발생 시 이를 보고 OLT 고장을 판단할 수 없기 때문이다. OLT에서는 3회 수신을 확인 후 동작 시스템을 OLT(W)에서 OLT(P)로 스위칭 한다(동작3). 이 때 3개의 다른 ONU에서 연속 사고를 전달하는 경우가 아니면 K1 수신을 초기화 한다. OLT 스위칭이 발생하면 이후 모든 ONU 시스템에 OLT 스위칭을 알리고 (동작4), 정상 전송을 개시한다(동작5). 한편, 그림 4(b)는 OLT에서 먼저 사고를 검출한 경우의 스위칭 절차이며, 반복 사고감지(동작1,2), K-1 byte 하향 전송(동작3) 및 정상 전송(동작4)을 보이고 있다.

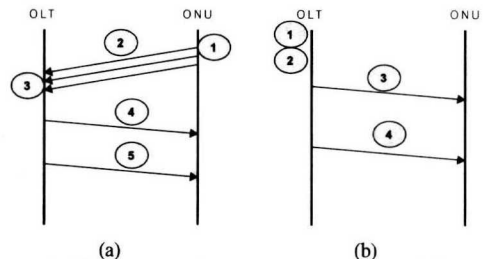
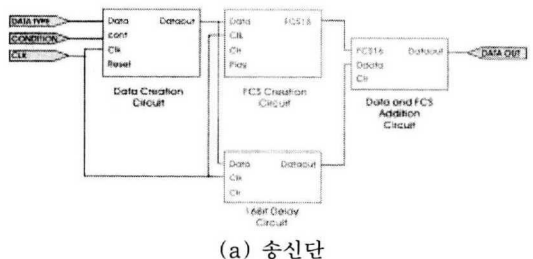


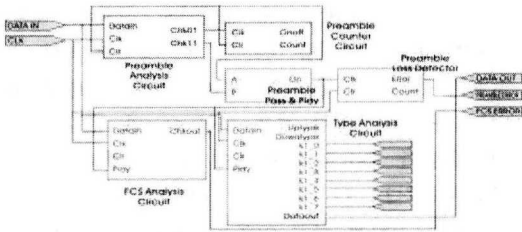
그림 4. Automatic Protection Switching 절차  
(a)ONU 사고 감지 (b)OLT 사고 감지

### 2.3 프로그래밍 과정

위 2.1 및 2.2절에서 제시한 보호 절체를 구현하기 위한 MAC controller를 FPGA를 이용해 구현하였으며, 이를 위한 VHDL 전체 프로그램의 구조는 그림 5와 같다.



(a) 송신단



(b) 수신단

그림 5. 송수신단 VHDL 프로그램 구조

송신신호는 기준 클럭에 맞추어 전송을 하되 주어진 FCS 계산식을 이용해 FCS를 발생한 후 Payload에 붙여 전송한다. 그림은 크게 프리앰블 처리부, FCS처리부 및 K1-byte 생성부로 나뉘고 있다. 프리앰블 처리부에서는 수신된 신호로부터 프리앰블을 분리하고, 이를 계수하여 정상적으로 8-byte 프리앰블이 수신되고 있는지를 판단하여, 일정 시간 내에 수신을 하지 못하면 PREAMBLE ERROR 신호를 발생한다. FCS 처리부에서는 입력된 채널 데이터의 FCS 신호를 계산하고 이를 전송된 값과 비교하여 일치하지 않으면 FCS ERROR 신호를 발생한다. 한편, K1 데이터 발생부에서는 검출된 신호 성능으로부터 K1-byte로 실어 줄 제어용 신호를 발생한다.

마이크로프로세서의 처리 알고리즘은 그림 6에 보이고 있으며, 시스템이 OLT(P)로 일단 절체되면 OLT(W) 동작이 정상으로 복구되더라도 protection OLT를 계속 유지하는 Non-revertive 방식을 그림 6(a)에 나타내고 있고, 다시 OLT(W)로 절체 가능한 revertive 방식을 그림 6(b)에 나타내고 있다. 수신 성능을 마이크로프로세서에서 감지하는 방법으로는 물리계층 동작인 경우 수신성능 값을 3개의 비트를 통해 수신하고, 데이터링크계층 동작인 경우 FPGA에서 발생한 K1 값을 수신하도록 하였다.

### III. 시험 결과

위의 절에서 제안한 물리 계층 및 데이터 링크 계층에서의 EPON 보호 절체를 위한 실험 환경을 구축하고 이를 이용해 실험을 한 결과를 설명한다. 그림 7에서는 OLT에서 정상적으로 수신한 이더넷 프레임 신호를 보이고 있다. 신호는 그림 3에 나타난 EPON 데이터 프레임과 같이 맨 앞부터 차례로 프리앰블, DA, SA, TYPE, OPCODE, TIME

STAMP, 마지막 7 바이트 부분이 MESSAGE 및 FEC에 해당하는데, 전체 사이클을 한 화면에 볼 수 있도록 하기 위해 각 데이터 길이는 표준에 비해 축소하여 사용하였다. 이 신호는 장치 및 파이버가 모두 정상 동작 하고 있으므로 Working 장치를 통해 수신하고 있는 경우이다.

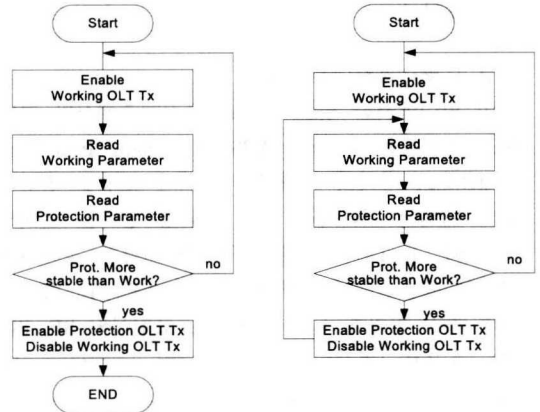


그림 6. OLT 제어용 프로세서의 동작 순서도

(a) Non-revertive

(b) Revertive

### 3.1 물리계층 보호절체 시험

물리계층에서 사고를 판단하고 절체하기 위해서 프리앰블 및 FCS 사고를 발생시키고 그 결과를 살펴 보았다. 먼저 프리앰블의 경우 정해진 주기 내에 프리앰블이 수신되지 않으면 이를 에러로 처리해야 한다. 본 연구의 실험에서는 3개 상향 데이터 프레임 시간 이내에 프리앰블을 검출하지 못하면 이를 사고로 취급하여 OLT 장치를 절체한다. ONU에서 전송하는 프리앰블에 오류신호를 포함하여 전송함으로써 OLT에서 사고로 판단하도록 유도하였고, 실험 결과를 그림 8에서 보이고 있다.

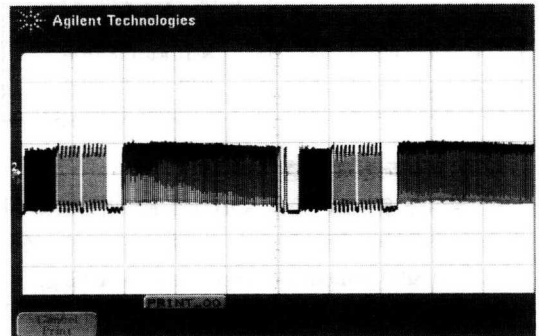


그림 7. 정상 동작 시 OLT에서의 프레임 수신



그림의 아래 파형은 OLT에서 프리앰블 오류를 알리는 알람 신호에 해당하며, 그림 위 파형은 ONU에서 수신한 OLT 송신 신호로서 약 200nsec 시간 동안의 셀 손실을 관측할 수 있었다. 절체 전·후의 신호 크기 차이는 과도현상에서 발생하는 overshoot 현상으로 추측된다.

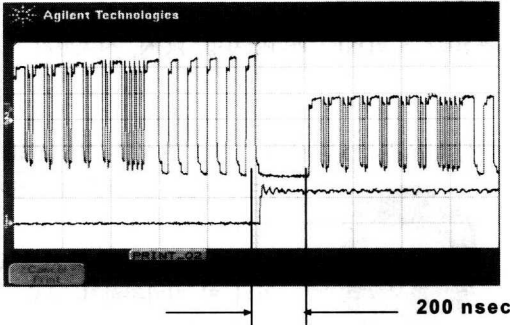


그림 8. 프리앰블 에러 발생시의 OLT 시스템 절체 (위: ONU에서 수신한 OLT 전송신호, 아래: 에러 검출신호)

한편, FCS 오류에 의한 OLT 장치의 절체를 확인하기 위한 실험을 실행하였다. 이를 위해 OLT(P) 장치는 파이버 연결을 하지 않고, ONU에서는 데이터 송신 시 FCS 오류를 발생하여 전송 하였다. 이때의 실험 결과를 그림 9에 보이고 있으며, 그림의 위 파형은 FCS 알람 신호에 해당하며, 그림의 아래 파형은 ONU에서 수신한 신호이다. 즉, FCS 알람 신호에 의해 OLT(P)로 장치가 절체 되는데 실제로는 파이버가 연결되지 않았으므로 OLT 수신단에서는 파형이 보이지 않고 있으며, 이 때 OLT에서는 다시 SD, PL 오류 알람으로 인해 OLT(W)로 다시 절체가 이루어지고 따라서 ONU 수신단에서 다시 파형을 볼 수 있는 과정이 반복되고 있다.

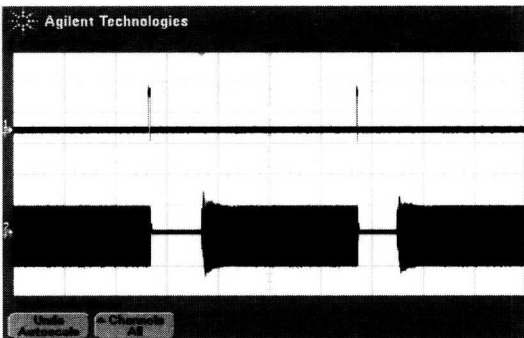


그림 9. FCS 에러 발생시의 OLT 시스템 절체 (위: FCS 알람, 아래: ONU 수신)

### 3.2 데이터링크 계층 보호절체 시험

데이터링크 계층에서 사고를 판단하고 절체 하기 위해서 ONU에서 사고 발견 후 K1 신호를 송신하고 OLT에서는 이를 이용하여 처리하는 시험을 하였다. 이를 위해 먼저 OLT에서 잘 못 된 프리앰블을 발생하여 ONU에 송신하였다. ONU는 이를 연속적으로 받은 후 K1 신호를 발생하여 OLT로 상향 전송하였으며, OLT에서는 이를 검출한 후 중앙 프로세서에 알리고 다시 프로세서는 OLT 장치를 스위칭 하였다.

그림 10의 위 파형은 OLT에서 수신된 K1 바이트이며, 아래 파형은 OLT(W) 출력 파형으로서 K1 검출부터 스위칭까지는 약 25 usec 가 소요되고 있다. 파이버 지연을 고려한 전체 스위칭 시간도 100 usec 이내가 될 것으로 예측된다.

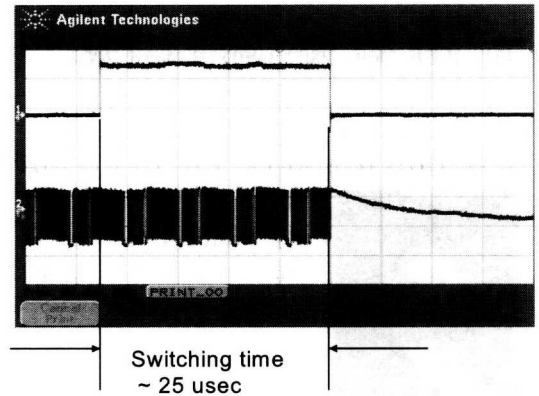


그림 10. 데이터링크 계층에서의 OLT 스위칭 (위: K1 바이트, 아래: OLT(W) )

## IV. 결론

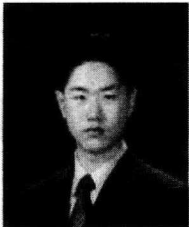
본 연구에서는 현재 연구개발 및 상용화 과정이 진행 중인 EPON 시스템에 적합한 보호 및 절체방식에 대해 살펴보고, 제안된 방식의 실험 결과를 살펴 보았다. EPON을 물리계층과 데이터링크계층 두 가지 방식으로 나누어 실험을 하였으며, 물리계층 보호 방식은 OLT, ONU간 별도의 제어신호 없이 물리계층에서 직접 오류를 발견하고 절체하는 방식으로 신호세기, 프리앰블 및 FCS 등으로 신호의 성능을 판단하였다. 데이터링크계층 보호방식은 OLT, ONU간 제어신호를 통해 정보를 주고받으면서 그 결과 스위칭을 결정하는 APS 방식으로 전송을 보호하는 방식이다. 제안된 두 가지 방식을 구현

하여 실험한 결과 두 경우 모두 사고로부터 1 msec 이내의 시간에 OLT 시스템 절체를 함으로써 EPON의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 심재찬, 허재두, 이형호, "Ethernet PON 기술 개발 동향", *ETRI 주간기술동향*, 2002.06.
- [2] 임충환, 정인권, 박영일, "ONU 파워 균등화 기능을 갖는 E-PON 송수신기에 관한 연구", 한국통신학회논문지, vol 29, no. 7A, pp. 735~740, 2004.0
- [3] ITU-T Recommendation G.983.1, Oct. 1998.
- [4] T.J.Chan, C.K.Chan, K.Chan, W.Hung and L.K.Chen, "A novel WDM passive optical network with bi-directional protection", pp. 167-170, *Proceedings of SPIE vol. 4902*, 2002.
- [5] IEEE Draft P802.3ah/D3.3 April 2004.

구 본 정(Bon-Jeong Koo) 정회원



2002년 2월 : 국민대학교 전자  
정보통신공학과 학사  
2002년 3월~현재: 국민대학교  
대학원 전자공학과 석사과정

<관심분야> 가입자망, 기가빗 이더넷, 광센서, 홈  
네트워킹, PON 시스템

허 정(Jeong Hur) 정회원



2002년 2월 : 국민대학교 전자  
정보통신공학부 학사  
2002년 3월~현재: 국민대학교  
대학원 전자공학과 석사과정

<관심분야> 광통신 및 광네트워크, 광전송장치, 전  
력선통신

김 성 휘(Seongwhi Kim) 정회원



1990년 2월: 부산대학교 물리교  
육과 학사  
2001년 2월: 포항공과대학 정보  
통신학과 석사  
1990년 ~ 현재: KT 기술연구  
소

<관심분야> xDSL, 광가입자망, PON, 신호처리

조 성 대(Sung-Dae Cho) 정회원



1987년 2월: 고려대학교 전자  
공학과 학사  
1989년 2월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 석사  
1999년 8월: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 박사  
1989년~현재 : KT기술연구소

선임연구원

<관심분야> 광통신시스템, 광가입자망, 메트로이더  
넷

박 영 일(Youngil Park) 종신회원



1987년 2월 : 서울대학교 전기  
공학과 학사  
1989년 2월 : 서울대학교 대학  
원 전기공학과 석사  
1995년 5월 : Texas A&M  
Univ. EE Dept. 박사  
1995년 8월~1999년 2월 : KT

가입자망연구소

1999년 3월~현재 : 국민대학교 전자정보통신공학부  
조교수

<관심분야> 광통신시스템, 광가입자망, 광인터넷