

TDMA-PON 광가입자망 기술

ETRI 유태환

목 차

I. 개 요

II. TDMA PON 기술 소개 및 관련 표준

III. IEEE802.3 EPON 기술

IV. ITU-T G.984 GPON 기술

V. EPON과 GPON의 비교

VI. 맺음말

I. 개 요

수동광가입자망(이후 PON : Passive Optical Network)은 한 가닥의 광섬유를 수동 광분기기를 통해 여러 가입자가 공유하는 구조를 갖고 있어 광가입자망을 경제적으로 구축할 수 있는 유망한 방식으로 인식되고 있다. PON은 공유방식에 따라 WDM방식과 TDMA 방식이 있다. WDM-PON은 각 가입자마다 다른 파장을 사용함으로써 1:N의 광섬유 공유 구조위에 N개의 1:1 링크를 구성한다. WDM-PON에서는 가입자측에 파장 가변 광송신기를 저가적으로 구현하는 것이 주요 관건이 되고 있다.

Injection Locking 방식, Reflective SOA 방식, LED Spectrum slicing 방식 등이 제안되어 있으며 [1][2][3], 각 방식마다 동작 속도 및 비용에 있어 차이가 있다. 현재 Injection Locking 방식과, Reflective

SOA 방식이 상용화 수준으로 개발되어 있다.

TDMA-PON은 각 가입자가 서로 다른 시간 영역을 사용하는 시분할다중접속(TDMA : Time Division Multiple Access) 방식을 사용하여 1:N의 광섬유 공유 매체에서 서로 다른 가입자가 송신한 데이터 간의 충돌을 방지한다. 사용하는 통신 프로토콜, 동작 속도에 따라 BPON, EPON, GPON 등 다양한 TDMA-PON 방식이 표준화되어 있으며, 그 가격도 xDSL의 가격과 경쟁할 수 있는 수준으로 하락하였다. 2002년부터 일본에서 하향 622Mb/s 상향 155Mb/s 의 속도를 갖는 BPON이 설치되어 왔고, 현재는 우리나라, 일본, 중국 등에서 상하향 1Gb/s 급의 EPON의 적용이 시작되고 있고, 북미 등에서는 GPON 을 BPON 다음 세대의 TDMA-PON 방식으로 고려하고 있다.

본고에서는 PON 광가입자 기술 중에서 현재 가장

활발히 적용되고 있는 TDMA-PON 기술의 소개 및 분석, 표준화 동향 등을 정리하였다. 제 II장에서는 TDMA-PON의 기술 개요 및 표준 동향, 제 III장, 제 IV장에서는 현재 TDMA-PON의 주요 방식인 EPON과 GPON에 대한 기술 소개, 분석, 그리고, 제 V장에서는 각 EPON과 GPON 간의 특징 비교 등에 대해 기술 한다.

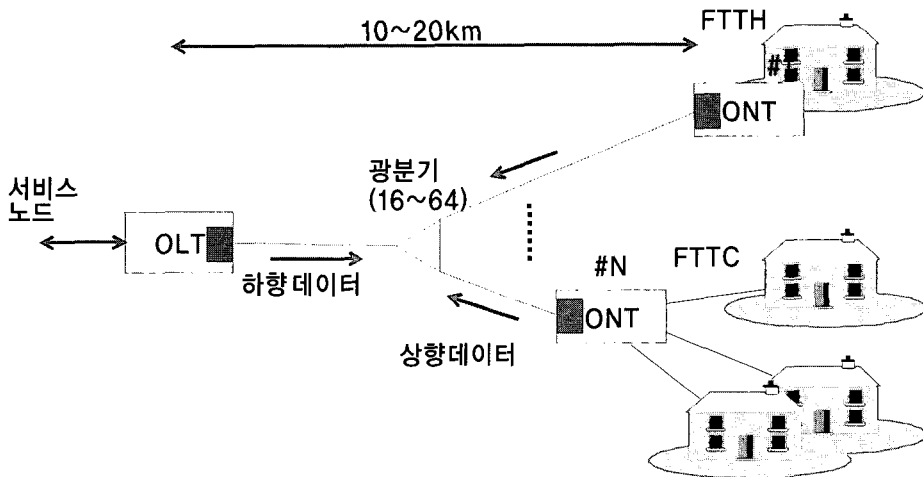
II. TDMA PON 기술 소개 및 관련 표준

1. PON 망 구성 요소

PON은 Passive Optical Network의 약자로서 수동광가입자망으로 명명된다. 본고에서는 단순히 PON으로 칭한다. 망측의 OLT, 가입자측의 ONU와 ONT, OLT로부터 나온 한가닥의 광섬유를 여러가닥의 광섬유로 분기시켜 주는 수동광분기기(이후 단순히 광분기기로 칭함), 그리고 광섬유로 구성된다. 이

때 망측에서 가입자측으로 전달되는 광신호는 수동 분기기에 의해서 1/N으로 광세기가 줄어들면서 모든 ONU로 전달된다. 이 방향을 하향, 하향 채널, 하향 링크 등으로 칭한다. 거꾸로 ONU에서 출발한 광신호는 광분기기를 통과한 후 역시 같은 1/N으로 광세기가 줄어들면서 OLT에 도달한다. 이러한 방향을 상향, 상향 링크, 상향 채널등으로 칭한다. 여기에서, 상향으로 전달된 광신호는 광분기기의 고유 특성 때문에 다른 ONU로는 전달되지 않는다. 결국 PON은 하향으로는 방송 구조, 상향으로는 ONU, OLT 간의 1:1 채널이 이루어지는, 상하향 전달 방식이 서로 다른, 비대칭 공유 구조를 갖는다는 특징이 있다. 동축 케이블로 구성된 랜과 같은 완전 공유 매체와는 다른 특성을 갖고 있다는 것을 주목할 필요가 있다.

OLT, ONU 등의 망 구성요소는 ITU-T G.902에 정의되어 있다⁴⁾. OLT는 PON에서 망측장치에 구성되는 PON 접속부, ONU는 가입자측 장치에 구성되는 PON 접속부 등으로 정의되고 있는데, 많은 경우 OLT를 PON 정합을 갖는 망측 액세스시스템, ONU



(그림 1) PON 광가입자망 구성 요소

를 PON 정합을 갖는 가입자측 장치를 칭하는 것으로 사용한다. ONT도 정의되는데 PON 종단 기능 이외에 망종단 기능도 있어 최종 가입자 맥내에 설치되는 장치를 의미한다. 본고에서는 OLT, ONU, ONT를 각각 시스템을 의미하는 것으로 사용한다. ONU는 UTP, xDSL 등을 통해 다시 다수의 가입자가 연결되는 형태로 응용할 수 있으며 FTTC, FTTBuilding 망을 구축하는데 적용된다. ONT는 FTTH를 구성하는데 사용한다. 북미에서는 FTTP(Premise)의 용어를 사용하는데, FTTH와 같은 의미이며, 단지 FTTH가 일반 가정만을 대상으로 하는데 반해 FTTP는 업무 가입자도 포함한 모든 가입자를 대상으로 한다는 의미가 있다.

2. TDM/TDMA PON 방식 및 관련 표준

TDMA는 각 ONU 혹은 ONT가 서로 다른 시간대 상향으로 데이터를 보낼 수 있도록 함으로써 상향채널에서의 데이터 충돌을 피하는 것이다. 따라서, ONU 혹은 ONT는 특정한 시간 영역에만 신호를 송출하고 그 이외의 시간에서는 신호를 내보내지 않는 Burst-mode 송신을 하고, 따라서 OLT는 이러한 Burst-mode 신호를 수신하는 기능이 필요하다. 하향 방향으로는 각 ONU 로 전달되는 데이터를 OLT에서 시간영역 다중화하여 한 개의 데이터 스트림으로 만들어서 모든 ONU에 보내고, 각 ONU는 수신된 하향 스트림에서 자기에게 전달되는 데이터를 인식한다. 따라서, OLT는 단순히 연속적으로 신호를 송출하는 기능을, ONU/ONT는 연속적으로 신호를 수신하되 수신된 신호에서 자기에게만 해당하는 데이터를 인식하는 기능을 갖는다. 따라서, 하향으로는 단순 TDM, 상향으로는 TDMA 방식을 사용한 공유 방식이 된다.

〈표 1〉에 TDM/TDMA PON의 여러가지 방식이

정리되어 있다. BPON은 ATM 프로토콜을 사용하며, 따라서 QoS 제공이 용이한 특징이 있다. 1998년 10월 ATM-PON이 ITU-T SG15 WP2에서 G.983.1로 권고안이 확정된 이후 2001년 3월 CATV 등을 수용하기 위한 하향 파장 대역을 조정하여 BPON으로 개선되었다⁵⁾. 현재, BPON의 TDMA 방식, 1.2Gb/s로 속도 확장, 보호절체 방안, DBA(Dynamic Bandwidth Allocation) 방식, OLT-ONU 간의 링크 운영관리, FTTC 형태로 적용할 경우 DSL, 무선랜 등의 접속을 위한 장치/서비스 운영관리 등이 G.983.1~G.983.10까지의 권고안으로 규정되어 있다. 〈표 2〉에 표준의 주요 내용이 정리되어 있다. BPON은 ATM프로토콜을 사용하고 있으나 가입자들이 사용하는 장치는 대부분 Ethernet 접속을 사용하므로 ATM overhead에 따른 가격 상승 문제가 있다. 가입자 장치들이 Ethernet이 주종을 이루는 것에 착안하고, 거대한 시장 규모에 의해 이미 저가격화된 Ethernet 기술의 장점을 살릴 수 있도록 Ethernet 프로토콜을 사용하는 EPON 표준이 IEEE802.3에서 2001년 3월부터 시작되어 2004년 6월 IEEE802.3 표준으로 확정되었다. 데이터 속도는 상하향 모두 1Gb/s를 지원하며, 광부품 등 관련 부품들을 저가격으로 구현할 수 있도록 표준 규격이 규정되어 있다. IEEE802.3의 EPON은 2001년 100Mb/s 급의 EPON 시스템들이 일부 상용화된 바 있기 때문에, 이와 구별하기 위해서 일본에서는 GEAPON으로 불리우기도 한다.

1Gb/s 이상의 고속 지원, 그리고 ATM없이 Ethernet 과 같은 가변길이 패킷을 수용하기 위해 ITU-T 에서 GPON에 대한 권고안인 G984.1, G984.2, G984.3을 2003년 ~ 2004년 확정하였다. 최대 2.5Gb/s까지의 속도를 지원하는 규격으로서 ATM과 가변길이 패킷을 동시에 수용할 수 있도록 규정되어 있다. 현재의 BPON의 다음 단계로 GPON과

〈표 1〉 TDM/TDMA PON 방식 및 관련 표준

항 목	BPON (APON)	EPON (GEPON)	GPON
하향 선로 속도	155Mb/s, 622Mb/s, 1,244Gb/s,	1.25Gb/s	155Mb/s, 622Mb/s, 1,244Gb/s, 2,488Gb/s
상향 선로 속도	155Mb/s, 622Mb/s	1.25Gb/s	155Mb/s, 622Mb/s
링크 프로토콜	ATM	Ethernet	ATM, variable packet
동기	Bit, 프레임,	Bit, MAC Cotrol Timer	Bit, 프레임
신호 부호	scrambling	8B10B	scrambling
관련 표준	G.983.1~G.983.10 1998.10 최초 표준	IEEE802.3ah 2004년 6월 확정	G.984.1~3 2003년2~2004년6월

〈표 2〉 BPON, GPON 표준 문서의 주요 내용

PON 분류	표준문서	주요 내용
BPON	G.983.1	155Mb/s 대칭, 혹은 상향 155Mb/s, 하향 622Mb/s 비대칭속도를 갖는 ATM-PON의 PMD 및 TC, TDMA 프로토콜 규정
	G.983.2	BPON에서 ONT의 관리와 제어에 위한 ONT MIB정의 및 관리제어 통신 채널, 메시지에 대한 규정
	G.983.3	983.1에 정의된 ATM-PON의 하향 파장대역을 1490-1500nm 로 제한하고 1539-1565nm(Enhanced band 1) 1550-1560nm(Enhanced Band2)를 각각 DWDM 디지털, CATV overlay로 활용하는 것을 규정 (이후 BPON으로 명명)
	G.983.4	BPON에서의 DBA와 관련된 메시지 전달 규격 정의
	G.983.5	BPON에서 망 보호 절제를 위한 망 구성 구조, 절제 조건, 성능 관련 규정
	G.983.6	G.983.5의 보호 절제방식에 따른 ONT-OLT 관리제어 기능의 수정 내용 규정
	G.983.7	G.983.4의 DBA를 지원하기 위한 ONT-OLT 관리제어 기능의 추가 내용 규정
	G.983.8	IP 라우팅 기능, ISDN 접속, VLAN 기능, video 서비스 등과 관련한 ONT-OLT 관리제어 추가 내용 규정
	G.983.9	무선랜 접속을 지원하기 위한 ONT-OLT 관리제어 추가 내용 규정
	G.983.10	DSL 접속을 지원하기 위한 ONT-OLT 관리제어 추가 내용 규정
GPON	G.984.1	GPON 전송 속도, 분기를, 계층 서비스등 GPON 일반 사항 규정
	G.984.2	GPON PMD 규격 규정
	G.984.3	ATM, Variable length packet을 수용하는 GEM 프레임 구조, TDMA 프로토콜 등 GPON TC 기능에 대한 규정
	G.984.4	GPON에서 ONT-OLT 관리 MIB, 관리 제어 채널, 메시지에 대한 규정

EPON이 고려되고 있는데 기술과 비용 면에서의 경쟁을 통한 선택이 이루어질 전망이다.

III. IEEE802.3 EPON 기술

1. 개요

IEEE802.3 Working Group 에서는 2001년부터 가입자망으로 이더넷을 확장하기 위한 표준 작업반(Task Force)인 EFM(Ethernet First Mile) TF를 구성하여, 802.3ah 표준안의 작성을 시작하였고, 2004

년 6월 최종 표준안을 확정하였다. IEEE802.3ah 표준안은 EPON 규격 뿐 만 아니라 기가비트 이더넷을 점대점 10km 광링크에 적용하기 위한 PMD 규격, Ethernet VDSL 규격, 공중망인 가입자망에서 요구되는 링크 운영관리 기능을 위해 Link OAM 규격 등에 대해 규정하고 있다. IEEE802.3ah에 규정된 EPON 표준은 최소 16 분기를 수용하고 1Gb/s

Ethernet을 전송할 수 있도록 하고 있으며, 최소 10km 와 최소 20km의 두 가지 전송 거리에 대해 각각 별도의 PMD 규격인 1000BASE-PX10, 1000BASE-PX20를 규정하고 있다.

EPON의 하향 데이터는 EPON 프로토콜 상으로는 다른 ONU의 데이터를 실제로 볼 수 없도록 되어 있지만 EPON 수신 기능을 표준과 다르게 조작할 경우 타 ONU로 가는 데이터를 엿볼 수 있다. 따라서, 데이터 자체를 링크계층에서 암호화함으로써 비록 다른 ONU의 데이터를 수신하더라도 그 내용을 알 수 없도록 하는 링크 보안 기능의 필요성이 제기되었다. 이더

넷은 당초 사설망에서 사용되는 것을 가정하였기 때문에 이러한 보안 상의 고려가 미흡하였다. 따라서 Ethernet이 공중망으로 사용되기 위해서는 비단 EPON 뿐만 아니라 모든 형태의 Ethernet 링크에 적용될 수 있는 링크 보안 기능이 필요한 것으로 인식되어 2003년부터 IEEE802.1 에서 LinkSec Task Force를 구성하여 관련 표준인 802.1ae와 802.1af 작성을 착수하였다.

〈표 3〉에는 전술한 EPON에 관련된 표준의 주요 내용과 2005년 6월 현재 표준 진행 상황이 정리되어 있다.

〈표 3〉 EPON 관련 표준문서의 주요 내용

EPON 관련 표준 문서	주요 내용
IEEE802.3 clause 64	EPON의 TDMA 프로토콜에 대한 표준 정의
IEEE802.3 clause 65	논리링크 지원을 위한 RS 부계층 변경 내용 및 FEC 표준 정의
IEEE802.3 clause 60	EPON PMD 규격으로 1000BASE-PX10, 1000BASE-PX20 규정
IEEE802.3 clause 57	ethernet에서의 RFI, link monitoring, loop back, 기타 vendor specific OAM message 전달을 위한 link OAM 기능 규격 정의
IEEE802.3 clause 56	Ethernet 기반 가입자망 시스템 일반 내용 기술
IEEE802.3 clause 56	Ethernet 기반 가입자망 시스템 응용 관련 고려사항 기술
IEEE802.1ae	Linksec 중 암호화 엔진에 대한 표준인 MACsec 표준 규격 정의
IEEE802.1af	Linksec 중 암호 키 분배 및 인증 관련 표준 규격 정의

2. EPON 계층 구성

(그림 2)는 EPON의 계층 구조와 상향 데이터 구조의 나타내고 있다. EPON 표준은 IEEE802.3에 규정된 Ethernet 규격을 그대로 수용하되 PON에서의 TDMA 프로토콜을 구현하기 위해 최소한의 변경만을 하도록 정의되어 있다. EPON TDMA 프로토콜인 MPCP는 MAC Control 부계층에 규정되어 있다.

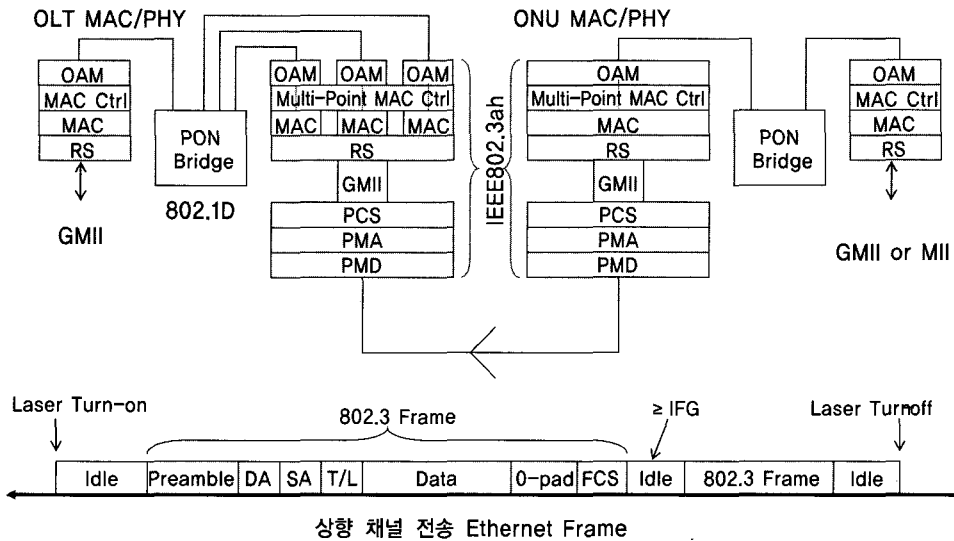
이더넷은 점대점 혹은 완전 공유 매체에만 적용될 수 있는 프로토콜이다. 따라서 PON과 같은 비대칭 공유 매체에 이더넷 프로토콜을 직접 적용하면 STP를 사용하더라도 loop가 발생하는 문제가 있다[6]. 이를 해결하기 위해 1:N 형태를 갖는 PON 매체 위에 OLT와 각 ONU 마다 1:1의 논리적 링크를 구성한다. 논리적 링크의 종단은 (그림 2)의 RS 부계층에서 이루어진다.

RS 부계층 이상의 부계층들은 각 논리링크마다 별도로 구성되도록 한다. 따라서, 한 개의 OLT EPON 정합에서 ONU의 갯수 만큼의 MAC이 정의될 수 있으며, 각 MAC마다 구별되는 MAC 주소를 할당할 수 있다. OLT의 MPCP는 ONU에게 상향 채널 사용 시간을 할당하는 것이 주요 기능인데 RS 부계층보다 상위에 위치하기 때문에 각 논리 링크 마다 독립적으로 ONU 사용 시간이 할당되게 되어 ONU 간의 충돌이

발생될 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 MAC Control 부계층에서는 시간 할당 조정 기능을 논리 링크와는 별도로 구성하는 것으로 정의하여 모든 ONU에 할당되는 시간에 대한 정보를 관리, 제어할 수 있도록 하고 있다.

PMD는 Burst-mode 송수신 기능을 규정하고 있다. 이상과 같이 EPON을 위해 변경된 부계층은 MAC Control, RS, PMD 등의 부계층이다.

전술한 1:1의 논리 링크만을 사용하면 PON의 장점인 하향 방송 구조의 잇점을 활용할 수 없다. 따라서, 한 개의 프레임만을 전달하여 모든 ONU가 수신할 수 있도록 하는 SCB(Single Copy Broadcast) 논리 링크가 정의되어 있다. 특정 ONU가 다른 모든 ONU에 전달하는 프레임인 경우는 OLT를 경유해서 보내야 하는데, 이때 OLT에서 다른 ONU로 보내는 하향 링크로 SCB 논리 링크로 사용하면 문제가 발생한다. 그 프레임을 송신한 ONU도 이 프레임을 받기 때문이다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 특정 ONU는 받지 않고 다른 모든 ONU만을 수신할 수 있는 논리 링크를 ONU 수만큼 추가한다. 이 링크의 LLID를 1:1 링크의 anti-LLID라고 명명하였다. 따라서 N개의 ONU가 사용될 경우 1:1 논리 링크 LLID N개, 1;1 논리 링크에 대한 anti-LLID N개, SCB LLID 1개 등 총 2N+1 개의 논리 링크가 구성된다. PON 포트에서는 이러한 2N+1개의 논리 링크 상호간의 연결, 그리고 외부에 연결되는 802.1D 스위치들과 연동을 위해 특수한 기능을 하는 스위치가 필요하다. 802.3ah 표준화 과정에서 이 스위치 기능을 ULSLE(Upper Layer Shared LAN Emulation)로 명명하고 관련 표준을 802.1D에서 규정하기로 하였으나 802.1D에서는 관련 규격이 정의되지 않았다. (그림 2)의 PON Bridge는 이러한 기능을 하는 블록을 의미한다. 그 외 EPON 뿐 만 아니라 모든 가입자망 Ethernet에 적용되는 기능으로 Link OAM 부계층이



(그림 2) EPON계층 구조

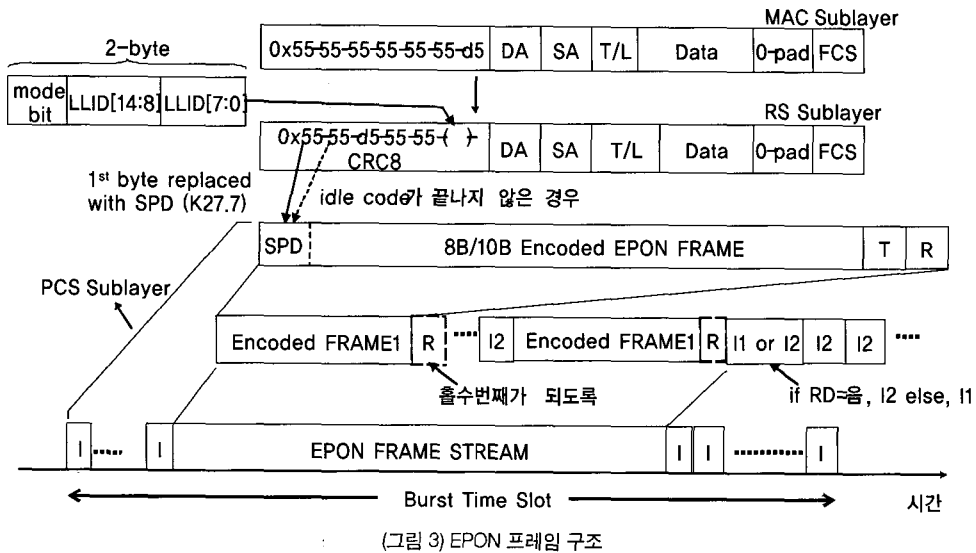
추가되어 EPON에도 그 기능이 적용되고 있으며 (그림 2)에 도시한 바와 같이 MAC Control 부계층 위에 구성된다.

3. EPON 프레임 구조

EPON프레임 구조는 기존의 이더넷 프레임과 동일하다. 다만 RS계층에서 생성, 종단되는 Preamble에 대한 정의에 변경이 있다. EPON에서 프레임 경계식별자는 preamble의 뒷쪽에서 셀 때 6번째 바이트의 위치(즉 8 바이트 preamble 경우 3번째 바이트)에 기록한다. 그리고, preamble의 마지막에서 2, 3번째 바이트에 전송한 2 바이트의 LLID를 기록하고, 프레임 경계 식별자 0xd5로부터 LLID까지의 5 바이트에 대한 CRC-8 을 계산하여 마지막 바이트에 기록하여 preamble 에서의 에러 발생 유무를 검사할 수 있도록 하고 있다.

하향 프레임일 경우에는 preamble field 정의의 변경이외에는 1000BASE-X에서와 같이 idle-

preamble-8B/10B encoded Ethernet frame-idle 등을 반복하는 형태로 데이터 스트림이 구성되어 ONU로 전달된다. ONU에서는 전송한 대로 preamble의 LLID를 읽어서 자신에게 전달된 프레임을 확인하여 수신하고 그 이외에는 RS 부계층에서 프레임을 폐기한다. 상향 프레임일 경우에는 하향과 같은 idle-preamble-8B/10B encoded Ethernet frame-idle 이 반복되지만 이러한 신호가 해당 ONU에 할당된 시간 영역에서만 송출되고 그 이외의 시간에서는 아무 신호도 보내지 않는 burst-mode 송신을 한다. 이러한 신호를 받는 OLT는 burst packet 초기의 idle, preamble 구간동안에 수신기를 정상동작 상태로 회복하고, 클럭을 복원하고, code 경계를 검출하는 동작을 완료해서 특정 ONU가 보낸 프레임을 정상 수신하기 시작한다. 이때, 특정 ONU의 구별은 OLT자신이 해당 시간 영역을 할당했으므로 미리 알 수 있지만, 하향의 경우와 같이 preamble 에 기록된 LLID를 읽어 인식하여, 해당 ONU에 해당하는 MAC 부계층으로 연결하는 기능을 한다. 물리적으로는 하



향 프레임은 연속신호이며 상향 프레임은 burst packet 구간에 실려오는 burst 신호이다.

4. MPCP

MPCP는 EPON 상향 채널에서의 데이터 충돌을 방지하기 위한 TDMA 프로토콜이다. TDMA를 하기 위해서는 OLT가 ONU에 서로 겹치지 않도록 상향 채널 사용 시간 영역을 할당하는 것이 필요하다. 사용 시간은 ONU의 요구에 따라 OLT가 시간을 할당하는 REQUEST-GRANT 방식, 혹은 OLT가 ONU의 요구가 없는 경우에도 일방적으로 사용시간을 지정하는 방식이 모두 가능하다. MPCP는 OLT가 ONU에 할당된 시간을 전달하는 방법, ONU가 대기하고 있는 데이터의 양에 대한 정보를 OLT에 전달하는 방법, OLT, ONU간의 시간 동기 방법 등 master-slave 방식 TDMA를 위한 기본 구성 요소만을 정의하며, 이를 이용하여 구체적으로 시간 영역을 효율적으로 할당하는 알고리즘, 즉 동적대역할당 알고리즘은 정

의되어 있지 않다.

TDMA에서는 OLT와 모든 ONU가 같은 시간으로 동기화되어야 한다. EPON에서는 MPCP master가 구현되어 있는 OLT MAC Control 부계층에 동기화를 위한 시계를 운영하고 모든 ONU에 이 시계의 시각 정보를 보내 항상 이 시계에 각 ONU의 MAC Control 부계층에서 운영하는 시계를 맞추도록 하는 방법으로 동기화를 이루고 있다. 시계의 시각은 4 byte 크기로 표현되며, 1 bit의 변화는 16bit 데이터 구간을 표시한다. EPON이 1Gb/s의 데이터 속도를 가지므로 시계 한 눈금의 변화는 16nsec를 의미한다. 시계 최대 크기는 232x16nsec 로서 약 68초마다 다시 처음 값으로 돌아온다. 따라서, OLT가 시간을 할당할 때 임의의 시간을 할당할 수 있지만 68초를 넘는 미래의 시간을 할당할 수는 없다. 그리고, 지원하는 round trip 시간보다 가까운 미래로 할당할 경우에는 ONU가 미처 준비하기도 전에 상향 채널 전송 시간이 지나가게 된다. 따라서, OLT의 시간 영역 할당은 전달 지연을 고려하여 충분한 미래, 그리고

시계의 최대 크기인 약 1분 보다 작은 범위에서 이루어져야 한다. ONU는 설치된 위치에 따라 전달 시간 지연으로 ONU에서 인식하는 시간의 차이가 발생할 수 있다. 전달 시간 지연을 보정하기 위해 OLT는 ONU와의 전달 시간 지연 차이를 실시간으로 측정하고, 측정된 전달 시간 지연 값만큼 보정한 시간 값으로 ONU에 시간을 할당한다. 따라서, ONU는 자신이 운영하고 있는 시계를 기준으로 상향 전송을 해도 데이터 충돌이 일어나지 않는다. 전달 시간 지연 차이는 ONU가 REPORT 프레임 보낼 때 ONU에서 운영하는 시각을 OLT에 보내고 OLT는 자기가 운영하는 시각과 ONU에서 전달되어 온 시각과의 차이로부터 전달 지연을 계산한다.

ONU의 시계는 OLT가 GRANT 프레임을 보낼 때 함께 전달한 OLT 시각 값으로 수시로 보정한다. 그러나 그 이후에는 ONU 내부의 클럭으로 시계의 시각이 증가한다. Ethernet에서는 통상적으로 송신자와 수신자가 각각 독립적인 클럭을 운영한다. $\pm 100\text{ppm}$ 의 정확도를 갖는 클럭을 사용할 경우 160 μsec 내에 OLT, ONU가 운영하는 시계가 1 눈금 오차가 발생할 가능성이 있다. 보통은 약 1~2 msec 미량 값으로 시간 영역을 할당하는 것이 일반적이기 때문에 독립적인 클럭을 운용할 경우 10 눈금 내외의 시계 오차가 발생하여 결국 상향 데이터의 충돌이 발생할 가능성을 배제할 수 없게 된다. EPON에서는 따라서 종전의 Ethernet 링크에서와 같은 독립된 클럭을 운영하지는 못하고 OLT에서 하향으로 송신된 연속 신호로부터 OLT 클럭을 추출하여 ONU의 MPCP 시계를 동작시키는 클럭으로 사용하도록 하는 Loop Timing 클럭을 사용한다.

MAC 제어 부계층에서 당초 PAUSE 제어 프레임만 정의되었었다. PAUSE 제어가 링크를 실시간으로 제어하는 것이므로 EPON의 TDMA 제어도 MAC 제어 부계층에서 이루어지는 것이 합리적이다. 따라서,

EPON의 MPCP 기능이 MAC 제어 부계층에 정의되었고, 이를 위해 <표 4>에 정리된 바와 같이 5가지의 MAC 제어 프레임이 추가로 정의되었다. REPORT는 ONU가 OLT에 시간 할당을 요구하는 프레임으로 ONU에 구성된 8 priority queue에 대기하고 있는 프레임들의 총 바이트 수를 보내도록 하고 있다. GRANT는 OLT가 ONU에 보내는 프레임으로서 통상의 동작에서는 특정한 ONU만이 수신하여 할당된 시간 영역을 알 수 있도록 한다. 전술한 대로 ONU의 MPCP 시계 동기를 위해 OLT 시계 정보가 GRANT 프레임의 time-stamp field로 전달된다. REPORT 프레임에서도 ONU의 시계 정보가 OLT에 전달되도록 하여 OLT가 전달 시간 지연을 측정할 수 있도록 한다. OLT와 복수의 ONU들이 정상 동작하는 중에 진행되고 있는 서비스에 영향을 주지않고 새로운 ONU가 설치되어 정상 동작 상태로 도달하는 기능이 필요하다. 또한 정상 동작하는 ONU가 동작 정지 상태로 가는 과정도 필요하다. 이를 위해 <표 4>에 표시된 바와 같이 REGISTER_REQ, REGISTER, REGISTER_ACK 등의 제어프레임이 정의되어 있다.

5. 물리 계층 규격(1)

10km와 20km 거리에 따라 1000BASE-PX10, 1000BASE-PX20 PMD 규격이 규정되어 있다. 물리 계층의 주요 현안은 ONU의 동작 온도, 그리고 Burst-mode 송수신 규격이다. 동작 온도는 <표 5>에 나타난 바와 같이 세가지 지역에 따라 적절한 규격을 선정하도록 되어 있다.

EPON에서 burst-mode 송수신 기능은 기존의 연속동작에 사용하는 전치증폭기, 주증폭기 등을 사용하는 경우라도 문제가 없도록 그 규격이 정의되어 있다. 송신 측에는 송신기 turn-on, turn-off 시간이 각각 512nsec 이내로 규정되어 있고, 1Gb/s의 구동을

〈표 4〉 MPCP를 위한 MAC 제어 프레임

	6	6	2	2	4	\leftarrow 40 \rightarrow	4 octets	
preamble	DA	SA	0x8808	opcode	Time stamp	Message	Zero pad	FCS

Type	opcode	주요 내용
Gate	0x0002	ONU의 상향 채널 사용 시작 및 사용 시간 길이 설정 특정 ONU 허용 /모든 ONU에 동시에 허용 표시
Report	0x0003	ONU의 8 priority queue 에 대기하는 데이터 바이트 수를 OLT 에 알림
Register_req	0x0004	ONU가 OLT에 등록 요청을 함
Register	0x0005	OLT가 ONU에 등록 혹은 폐기 여부를 알림
Register_ack	0x0006	ONU가 OLT에 정상 등록된 것을 인지한 것을 알림

용이하게 하기 위해 소광비는 6dB까지 허용된다.

수신 측면에서는 OLT가 서로 다른 위치에 있는 ONU가 송신하여 광세기가 각기 다른 burst 신호를 수신하게 되는데, ONU 간에 최대 20dB (경로손실 차 15dB + 송신기 전력차 5dB) 수신 광세기 차이를 허용할 수 있도록 규정하고 있다. 수신기의 아날로그 회로가 정상 수신 상태로 도달하는데까지 소요되는 시간 즉 수신기 안정화 시간, 그리고 정상 수신되기 시작한 상태에서 클럭 동기를 추출하는데 까지 걸리는 시간 즉 클럭 복원 시간(CDR Lock Time), 정상적으로 수신되는 데이터에서 code group을 검출하고 바이트 동기를 찾는 시간(Code Group Alignment Time) 등이 이더넷 프레임의 정상 수신을 시

작하는데 까지 소요되는 시간이다. 이러한 모든 시간에는 정상 데이터를 보낼 수 없고, 본고에서는 이 시간의 합을 Guard Time 으로 명명한다

일반적으로 송수신기의 turn-on/turn-off 시간은 10-20nsec로 규격에서 정의한 값보다 훨씬 작은 값으로 만족시킬 수 있다. 그러나, Burst-mode 수신기의 경우에는 packet 길이와 광세기의 다양한 변화에 관계없이 낮은 수신 감도, 짧은 Guard Time, 충분한 dynamic range를 갖는 수신기를 구현하는 것은 용이하지 않다. Guard Time은 곧 상향 대역폭을 제한하는 요인이 되고 있다. 〈표 7〉에는 Guard Time에 따른 상향 유효 대역폭값을 보여 주고 있다. Guard Time이 2.5usec 이고, OLT가 16개의 ONU에 1

〈표 5〉 ONU 동작 온도 범위

class	Low Temperature (°C)	High temperature(°C)
Warm extended	-5	85
Coo extended	-40	60
Universal extended	-40	85

〈표 6〉 EPON PMD 주요 규격

항 목 (reference BER = 10 ⁻¹²)	Downstream 1.25Gb/s		Upstream 1.25Gb/s	
	10km	20km	10km	20km
ODN				
Channel Loss	5-19.5 dB	10-23.5 dB	5-20 dB	10-24 dB
Receiver Sensitivity	-24dBm	-24dBm	-24dBm	-27dBm
Average Received Power(Max)	-3dBm	-3dBm	-1dBm	-6dBm
Receiver Settling Time(Max)	N.A.		400 ns	
CDR Lock Time(Max)	N.A.		400 ns	
Code Group Alignment Time(Max)	32 ns			

(a) 수신기 규격

항 목	Downstream(1.25Gb/s)		Upstream(1.25Gb/s)	
	10 km	20 km	10 km	20 km
ODN				
평균 송신 출력 (Max)	2 dBm	7 dBm	+4 dBm	+4 dBm
평균 송신 출력 (Min)	-3 dBm	2 dBm	-1 dBm	-1 dBm
Extinction Ratio(Min)	6dB			
송신 출력 @ Off State(Max)	-39dBm		-45 dBm	
Turn-on Time(Max)	N.A.		512 ns	
Turn-off time(Max)	N.A.		512 ns	

(b) 송신기 규격

〈표 7〉 Guard Time 에 따른 상향 대역폭 변화

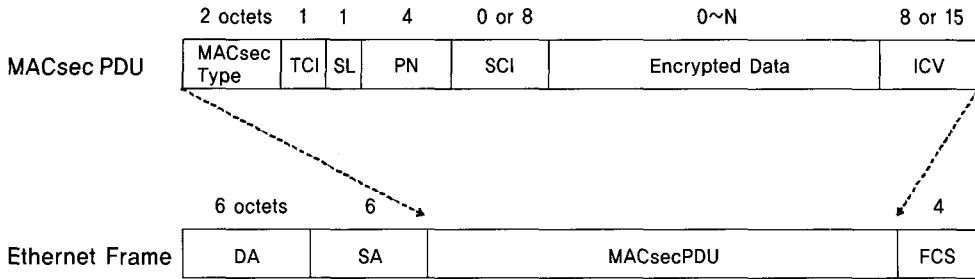
AccessCycle # of ONU	0.5msec	1msec	1.5msec	2msec
	16	92%	96%	97%
32	84%	92%	95%	96%
64	68%	84%	89%	92%
128	36%	68%	79%	84%

msec 주기로 주기적으로 대역폭을 할당할 때 96% 즉 960Mb/s 의 상향 대역폭의 확보가 가능하다는 것을 표시하고 있다.

6. 링크 보안 기능

링크 보안은 데이터 보안을 위한 암호화, 데이터의 중간 조작 가능성을 없애기 위한 데이터의 무결성 검

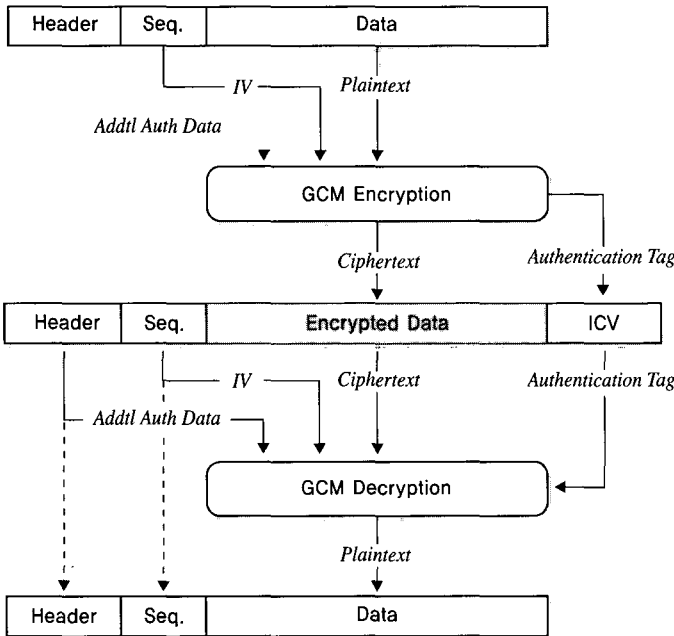
증, 그리고, 재송신 공격(replay attack)에 대한 대처 등을 할 수 있도록 규정되었다. 전술한 대로 암호화 엔진은 802.1ae의 MACsec에서 그 규격을 규정하고 있고, MACsec 암호화 동작의 기본 가정인 암호화 key의 안전한 분배는 802.1af 에서 표준을 작성하고 있다. MACsec에서는 group 암호화의 경우를 고려 하고 있지 않으며, 1:1 암호화 채널을 구성하기 위한 표준을 다루고 있다.



(그림 4) MACsec Etherpte 및 MACsec Protocol Data Unit(MPDU) 구조

MACsec Protocol data Unit(MPDU)는 (그림 4)와 같이 구성되어 있다. MACsec Type은 기존의 MACsec 기능이 없는 포트와의 연동, MACsec 기능이 있는 경우에 MACsec 정보 교환을 위해 사용된다. TCI(Tag Control Unit)는 MACsec 버전번호, 보안 연결 식별자 표시 방법 설정, 보안 연결의 식별자 등

의 표시를 해서 보안 연결 상태를 제어하기 위한 것이다. SL(Short Length)는 데이터 구간의 크기가 64 octect 보다 적을 때 그 크기를 표시하기 위해 사용하고, PN(Packet Number)는 매 프레임을 보낼 때 마다 1씩 증가하는 숫자로서 암호엔진의 nones 값으로 사용된다. SCI(Secure Association Identifier)는 전술한 보안 연결 식별자로서 8 octect으로 구성되지만 6 octet 은 해당 포트의 MAC 주소, 나머지 2 octect은 포트 ID 로 구성된다. TCI에서 SCI를 그대로 MAC 주소로 사용하도록 표시하면 SCI는 따로 전달되지 않는다. 이후에는 암호화된 데이터, 데이터의 무결성 검증을 위한 ICV 값으로 각각 구성된다.



(그림 5) MACsec 암호화, 복화화 과정

(그림 5)는 MACsec의 암호화/복호화 과정을 도시하고 있다. MACsec Etherptype을 제외한 이더넷 프레임이 GCM-AES 128bit 알고리즘으로 암호화된다. 이때 MACsec Ethernet type의 일부 정보들을 포함해서 암호화하여 데이터 무결성을 검사하기 위한 최종 ICV를 생성한다. 사용한 암호화 초기 값(IV: initial value)은

MACsec Ethertype을 통해 수신 측에 전달한다.. 수신 측에서는 암호 key와 MACsec Ethertype 변수로 전달된 초기 값으로부터 복호화 과정을 수행한다. 복호화 완료 후 생성된 ICV 값과 수신된 ICV 값을 서로 비교하여 서로 같으면 데이터 혹은 MACsec Ethertype의 정보들이 변경이 없었다는 것을 확인하여 정상 수신을 한다.

현재, 암호화 key의 분배 및 사용자 인증을 하는 과정의 표준을 작성하는 802.1af는 크게 진척되어 있지 않다. 802.1X와 같은 인증 및 key 암호화 프로토콜을 사용하는지 아니면, 링크 암호화에 적절한 key 관리 프로토콜을 새롭게 규정하는지에 대한 논의가 이루어지고 있다.

IV. ITU-T G.984 GPON 기술

1. GPON 개요

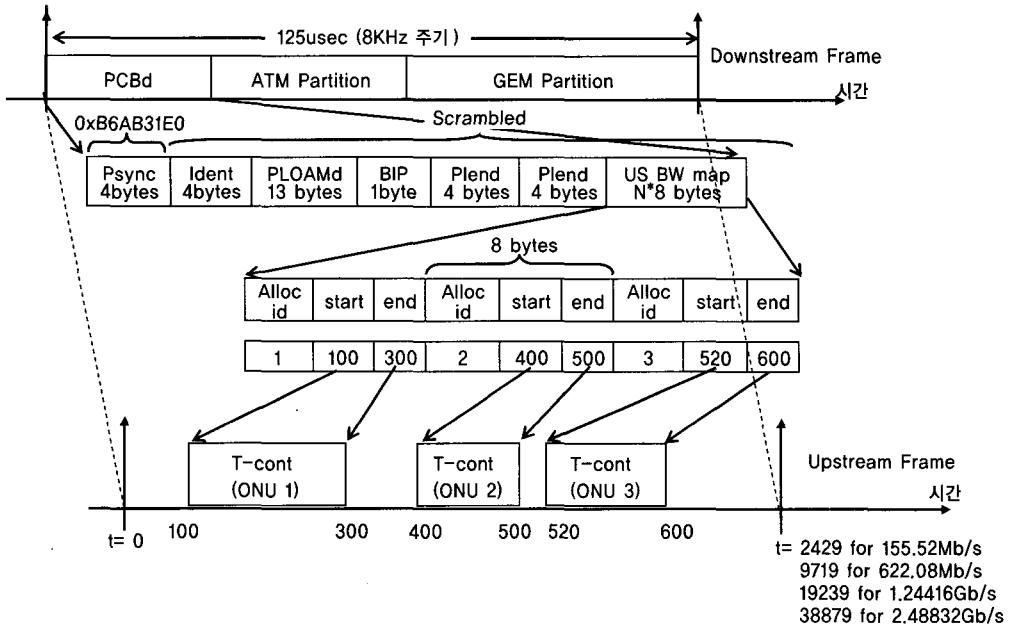
GPON에 대해서는 <표 2>에 정리한 바와 같이 G.984.1 ~ G.984.4의 ITU-T 권고안들이 작성되어 있다. BPON이 ATM 프로토콜 만을 수용하여 IP 기반의 서비스 통합에 대응하지 못하는 문제점이 있었고, 속도가 622Mb/s 이하로 제한되어 대역폭이 충분하지 않다는 문제점이 있었던 것에 착안하여, GPON은 2.5Gb/s까지 속도를 확장하고, ATM 뿐만 아니라 Ethernet, IP 등의 가변길이 패킷을 직접 전송할 수 있도록 방식을 변경하였다. 따라서, GPON은 기존의 BPON과의 상호 연동성을 포기한 새로운 방식으로 설계될 수밖에 없었으나 BPON에서 사용된 ONU 거리 측정 기능(Ranging), DBA, 그리고 ONU와 운영관리 접속(OMCI: ONU Management Control Interface) 기능 등은 그대로 사용하고 있다.

GPON의 주요 특징으로는 1.2Gb/s, 2.5Gb/s의

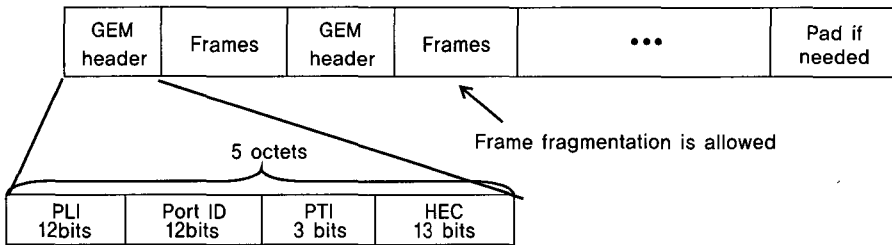
고속 속도 지원, Ethernet, IP 등을 직접 전달하기 위한 가변길이 전달 프레임 구조, 가변 길이 프레임 전달 과정에서 긴 프레임에 대한 fragmentation 허용, 8KHz 로 반복되는 상하향 프레임 구조, Traffic-Container(이후 T-Cont로 명명) 를 사용한 DBA 등을 들 수 있다. 특히, Ethernet 뿐만 아니라 IP를 직접 전달하는 구조를 갖고 있어 우리나라의 휴대인터넷 방식인 Wibro의 유선 배후망으로 사용될 수 있다는 특징이 있다. 본 장에서는 GPON의 프레임 구조, 계층 구조, DBA, 물리계층 규격, 데이터 암호화 기능 등에 대해 기술한다.

2. GPON 프레임 구조

GPON에서의 하향, 상향 프레임 구조는 (그림 6), (그림 8)에 각각 도시되어 있다. 하향 채널은 8KHz 주기로 반복되는 프레임으로서 PCBd(Physical Control Block downstream) 영역, ATM 영역, GEM영역으로 구성된다. 여기에서 GEM(GPON Encapsulation Module)은 가변 길이 패킷을 전달하는 프레임 영역이다. 프레임의 시작은 (그림 6)에 도시된 바와 같이 "0xB6AB31E0"의 값을 갖는 Psync 바이트로 구분할 수 있으며, Psync 바이트를 제외한 영역은 scrambling 된다. PCBd 영역은 하향 채널의 FEC 여부, 프레임의 일련번호를 표시하는 Ident 영역, 하향으로 물리계층 메시지를 보내는 PLOAMd, 그리고, 바로 앞의 프레임의 Plend 에서 시작해서 현재 프레임의 PLOAMd 까지의 영역에 대한 8bit Bit-Interleaved parity 값을 계산해서 보내는 BIP 영역, 각 ONU의 상향채널 시간영역을 할당하는 BW map 영역의 크기, ATM 영역의 크기를 표시하는 Plend 영역, 그리고, ONU의 상향채널 시간영역 정보가 있는 US BW map 영역 등으로 구성된다. 여기에서 Plend 는 같은 정보를 두번 보냄으로써 에러에 대해



(그림 6) 하향 채널 프레임 구조



PLI : Payload Length Indicator
 PTI : Payload Type Indicator (fragmentation status)

(그림 7) GEM 영역 구조

감내할 수 있도록 하였다. ATM 영역은 다수의 ATM 셀을 연속해서 보내는 시간영역으로 보낼 ATM 셀이 없을 경우에는 남은 ATM 영역에 "0"을 보낸다. ONU에서 ATM 셀을 수신하여 ATM header로부터 VPI, VCI 값을 읽어 해당하는 VPI, VCI 일 경우 해당 VP, VC로 연결하고 그 이외에는 폐기한다. GEM 영역은 (그림 7)과 같이 GEM header 부분과 가변길

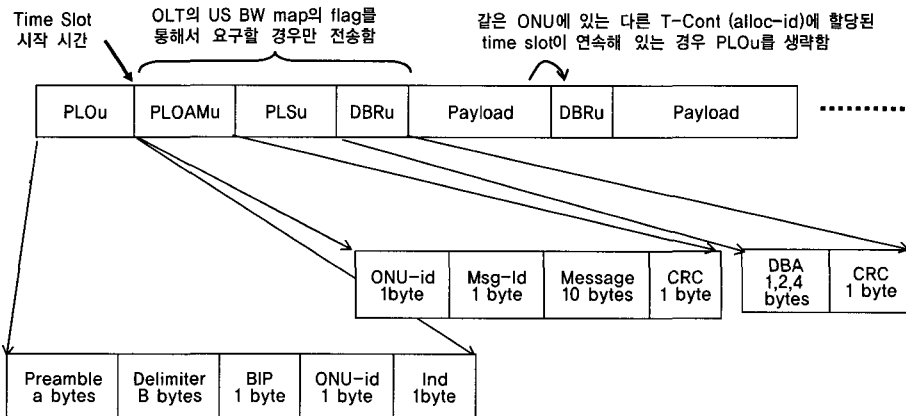
이 패킷이 보내어지는 GEM 부하영역으로 구성된다. GEM header에는 부하영역의 크기를 표시하는 PLI(Payload Length Indicator), 가변길이 패킷이 전달되어야할 Port 번호를 표시한 Port ID, 그리고, 부하 영역에 전달 되는 가변길이 패킷의 fragmentation 상태를 표시하는 PTI(Payload Type Indicator) 등의 정보가 전달된다. 부하영역에는

Ethernet frame 혹은 IP 패킷이 그대로 실린다. 이 때, 부하영역에 남아있는 크기가 보낼 프레임 혹은 패킷 크기보다 적을 경우에는 프레임 혹은 패킷을 보낼 수 있을 만큼만 보내고 나머지는 다음 기회에 보내는 fragmentation을 허용한다. PON 구간에서 fragmentation 된 패킷은 PON의 상대 수신부에서 PTI 값을 참조하여 다시 재결합(Reassembly) 된다.

(그림 8)은 상향채널의 프레임 구조를 보여주고 있다. Preamble a 바이트, delimiter b 바이트, 그리고 BIP, ONU ID, ONU에 상향 채널에 대기하고 있는 데이터의 유무를 표시하는 ONU status indicator 등으로 구성된 PLOu(Physical Layer Overhead upstream), 그리고, 부하영역의 두 부분으로 구성된다. OLT가 PCBd를 통해 요구할 경우에 한해 PLOAMu PLSu, DBRu 등의 영역이 (그림 8)에 도시된 순서로 전달된다. 부하영역은 한 개의 T-Cont에 대기한 데이터들이 실리는 영역으로서 T-Cont가 ATM 셀을 위한 것이면 ATM 셀만이 실리고,

Ethernet 프레임인 경우에는 Ethernet 프레임만, IP 패킷인 경우에는 IP 패킷만 실린다. Ethernet 이나 IP 같은 가변길이 패킷은 하향 채널 프레임 구조에서 설명한 것과 같은 GEM으로 전달된다. GEM에는 전송한 바와 같이 가변길이 패킷의 목적지 port ID가 GEM Header 영역에 표시된다.

한 개의 ONU가 다수의 T-Cont를 운영할 수 있으며, OLT는 각 T-Cont에 상향 채널 접근시간 영역을 할당한다. 한 ONU에 있는 복수의 T-Cont에 연속해서 시간영역이 할당된 경우에는 (그림 8)에 도시한 바와 같이 PLOu를 생략하고 곧바로 다음 T-Cont의 부하를 실을 수 있다. OLT가 수신할 경우에 부하영역의 경계를 인식할 필요는 없으며, 부하영역에 실어져 있는 ATM 셀의 VPI, VCI, 혹은 GEM의 header에 기록된 Port ID로 전달되어야 할 목적지의 VP, VC, Port를 판단한다. 여기에서 이러한 데이터를 보낸 T-Cont ID 즉 Alloc-ID를 수신된 프레임으로 알 수는 없다. ONU ID는 PLOu를 통해 알 수 있다.



PLO : Physical Payer Overhead
 PLSu : Power Level Setting in upstream
 DBRu : Dynamic Bandwidth Report in upstream
 BIP : Bit Interleaved parity
 Ind : ONU Status Indicator

(그림 8) 상향 프레임 구조

3. GPON 계층 구조

GPON에서는 ONU가 OLT에 등록될 때, OLT가 ONU의 식별자를 정하고 ONU에 그 식별자를 전달한다. 동시에 OLT는 해당 ONU에 구성된 T-Cont들에 대한 정보를 얻고 각 T-Cont에 Alloc-ID를 할당한다. Alloc-ID는 시간영역을 할당하기 위한 ID로서 T-Cont 마다 고유한 Alloc-ID를 갖는다. 따라서, OLT에 의한 상향 채널 접속 시간 영역은 ONU에 할당되는 것이 아니고 ONU의 T-Cont에 할당된다. T-Cont는 Ethernet 프레임을 전달하는 경우, IP 패킷을 전달하는 경우, 그리고 ATM 셀을 전달하는 경우마다 서로 다른 T-Cont를 사용한다. T-Cont를 통해 전달되는 데이터는 ATM 셀일 경우 셀헤더에 기록된 VPI, VCI 등으로 수신하는 VP, VC가 결정되며, Ethernet이나 IP 인 경우에는 Port ID로 수신 위치가 결정된다.

(그림 9)는 GPON의 계층 구조를 보여주고 있다. 물리계층(Physical Layer Dependent layer)과 전송

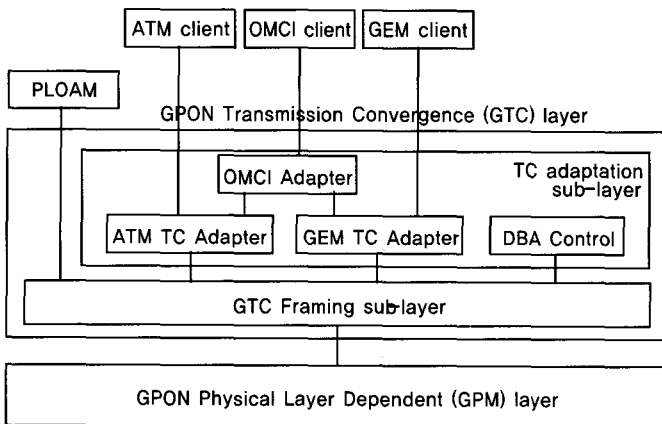
수렴계층(TC : Transmission Convergence)으로 구성된다. 물리계층에서는 광전변환, 버스트 수신 기능, 클럭추출 기능 등이 이루어진다. 전송수렴층은 프레임부계층과 전송수렴통합부계층으로 구성되는데 프레임부계층에서는 프레임의 ATM 영역, GEM영역, PLOAM영역, DBR 영역, BW Map, 그 외 Overhead 등을 분리하여 해당 영역의 기능 처리부로 전달하는 기능과 그 역기능을 수행한다. 전송수렴부계층에서는 ATM 영역인 경우 VPI, VCI, GEM 영역인 경우 Port-ID 등을 인식하여 상위의 해당 서비스로 연결하는 기능과 그 역기능을 수행한다. 또한, TDMA를 위한 OLT의 시간영역 할당, ONU의 상태보고, 그리고, DBA 기능 등을 수행한다.

GPON을 통해 서비스를 제공 받는 클라이언트는 특정 VP, VC 값을 갖는 ATM 계층, 논리적 Port ID로 연결되어 있는 Ethernet 혹은 IP 등의 가변 길이 패킷, PON 물리계층에서의 신호 전달, 제어등을 수행하는 PLOAM, OLT와 ONU 사이의 장치 운용관리, 서비스 제어, 신호전달 등을 위한 OMCI 등이 있다.

PLOAM은 PON 물리계층에서의 신호를 전달하기 위한 것으로 별도의 PLOAM header를 통해 이루어진다. OMCI는 ONU가 등록되는 과정에서 OMCI를 위한 채널이 설정된다.

ATM인 경우에는 OMCI를 위한 VC 값이 OLT, ONU 상호간에 설정되고, Ethernet 이나 IP 인 경우에는 Port ID가 설정됨으로써 OMCI를 위한 채널이 설정된다. GPON overhead에 PLOAM 영역이 별도로 정의되어 있기 때문에 BPON의 경우에는 달리 ATM PLOAM 셀을 사용하지 않아도 된다.

PLOAM : physical layer operation & administration management
 OMCI : ONU management and control interface
 DBA : dynamic bandwidth allocation



(그림 9) GPON 계층 구조

4. GPON의 동적대역할당 알고리즘 (DBA)

GPON에서의 시간영역 할당은 전술한 바와 같이 T-Cont 단위로 이루어진다. 따라서, OLT는 PON 링크에서 동작하는 모든 T-Cont 들에 대한 정보를 가지고 상향채널 접속 시간 영역을 할당한다. <표 8>은

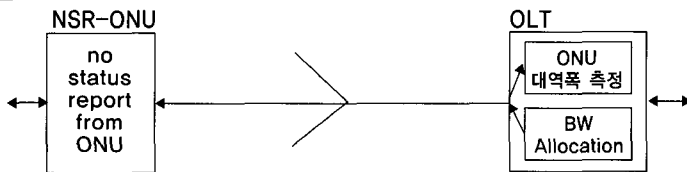
GPON에서 정의한 T-Cont 가 요약되어 있다. 모두 5가지 종류의 T-Cont 가 정의되어 있고 각각에 대해 대역폭을 할당하는 방식, 제어 변수등이 달리 정의 된다.

T-Cont에서 요구하는 대역폭의 판단은 (그림 10)에 도시한 바와 같이 다양한 방법으로 진행된다. 이중 한 가지 방법을 OLT가 선택하여 운영한다.

<표 8> GPON의 Traffic Container 정의

T-CONT type	Supported Service Class	Bandwidth Control	DBA Algorithm
1	Fixed bandwidth	SBA	- 일정한 주기로 동일한 크기의 time slot 할당
2	Assured bandwidth	DBA	- ONU의 요구에 따라 time slot을 할당하되, 평균값이 보장된 대역폭을 상회할 경우는 더 이상 할당량을 증가시키지 않음
3	Assured + Non-assured	DBA	- 보장된 대역폭까지는 type 2의 DBA를 사용, - 그 이상에서는 type 2의 보장된 대역폭에 비례하여 각 ONU간의 WRR 방식으로 대역폭을 추가. 설정된 최대 대역폭을 넘지 않음.
4	Best-effort	DBA	- 1,2,3 과정으로 할당하고 남은 대역폭을 type 4 사이에서 RR 방식으로 분배
5	All types	SBA+DBA	- Type 1,2,3,4 의 모든 대역폭 할당과정을 통해 대역폭을 할당 받음.

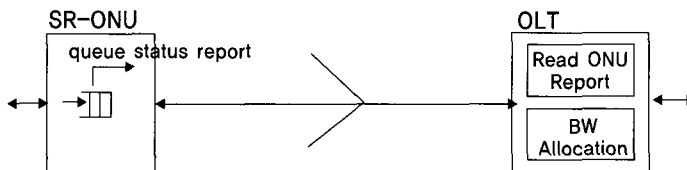
방법 1 OLT에서 특정 T-Cont로부터 수신되는 데이터 양을 감시하여 대역폭 요구량 추정



방법 2 PLOu의 Ind byte를 통해 ONU T-CONT에 frame 대기 여부 전달

방법 3 OLT가 요구한 DBRu에 해당 T-CONT의 대기한 크기 전달

방법 4 각 T-CONT의 대기한 크기를 별도의 상향 report 구간을 통해 전달



(그림 10) GPON에서 사용하는 ONU의 T-Cont의 대역폭 요구량 평가 방법

5. 물리 계층 규격

GPON은 <표 9>에 정리된 바와 같이 다양한 대칭/비대칭 전송속도를 사용할 수 있도록 규정하였다. PON망은 전송 손실에 따라 A, B, C class로 분류되는데 각각 5~20dB, 10~25dB, 15~30dB의 전송 손실을 갖는다. 각 class별로 적용할 수 있는 광송수신기의 규격이 정의되어 있다. 전송 거리는 20km 까지 고려하며, 광분기기의 분기율은 전송손실이 허용하는 범위에서 16,32, 64 분기등을 고려한다.

<표 10>은 상하향 1.25Gb/s 일 경우의 광송수신기의 주요 규격이 정리되어 있다. ONU의 수신 감도는 class에 관계없이 -25dBm을(c class 경우만 path penalty를 고려하여 1dB 증가) 갖도록 하고 있다. 2.5Gb/s의 속도에서는 하향 채널의 광송수신기 규격은 A, B class에 대해서는 OLT에서 0~9dBm의 고

출력송신기를 사용하고, ONU에서는 -21dBm의 수신 감도를 갖도록 하고 있다. C class 는 ONU에서 APD를 사용하는 것을 고려하여 OLT에서 저출력 송신기를 사용할 수 있도록 하고 있다. 2.5Gb/s 상향 버스트모드 채널에 대해서는 광송수신기 규격이 아직 정의되어 있지 않다.

<표 9> GPON 전송 속도

Type	Down Channel	Up Channel
GPON	1.24416 Gb/s	155.52 Mb/s
	1.24416 Gb/s	622.25 Mb/s
	1.24416 Gb/s	1.24416 Gb/s
	2.48832 Gb/s	155.52 Mb/s
	2.48832 Gb/s	622.25 Mb/s
	2.48832 Gb/s	1.24416 Gb/s
	2.48832 Gb/s	2.48832 Gb/s

<표 10> GPON 1.25Gb/s 상하향 채널 광송수신기 규격

Item	Unit	Downstream	Upstream
Transmitter Interface		O_{ld}	O_{nu}
Nominal bit rate	Mb/s	1244.16	1244.16
Operating wavelength	nm	1480~1500	1260~1360
Mean launched power(min)	dBm	A:-4, B:+1, C:+5	A:-3, B:-2, C:+2
Mean launched power(max)	dBm	A:+1, B:+6, C:+9	A:+2, B:+3, C:+7
Maximum Tx enable	bits	NA	16
Maximum Tx disable	bits	NA	16
Launched optical power without input to transmitter	dBm	NA	less than minimum sensitivity - 10
Extinction ratio	dB	> 10	> 10
Jitter generation	U_{j-p}	NA	0.33
Receiver Interface		O_{rd}	O_{lu}
Maximum reflectance from equipment measured at Rx1	dB	< -20	< -20
Bit error ratio	-	< 10^{-10}	< 10^{-10}
Minimum sensitivity	dBm	A:-25,B:-25,C:-26	A:-24,B:-28,C:-29
Minimum overload	dBm	-4	A:-3, B:-7, C:-8
Consecutive identical digit immunity	bits	> 72	< 72

GPON의 버스트모드 규격은 EPON에 비교하여 대략 1/10의 빠른 시간내에 정상 수신을 할 수 있도록 하고 있다. 그 이유는 전체 프레임이 8KHz 주기로 반복되며, 따라서 한 주기가 125usec의 기간을 갖게된다.

버스트모드로 광패킷을 수신하기 위해서는 정상 상태로 수신할 수 있을 때까지 수신기가 안정화하는데 걸리는 시간이 필요한데 125usec 에 비교하여 훨씬 짧은 시간 내에 버스트모드 수신기가 안정화되어야 한다.

(그림 11)에 도시된 total time 이 버스트 동작 과정에서 소모되는 시간을 의미한다. GPON에서 이 시간을 제한하지는 않지만 throughput의 과도한 감소가 일어나지 않도록 하기 위해서는 <표 11>의 권장 규격을 만족해야 한다.

6. 데이터 암호화

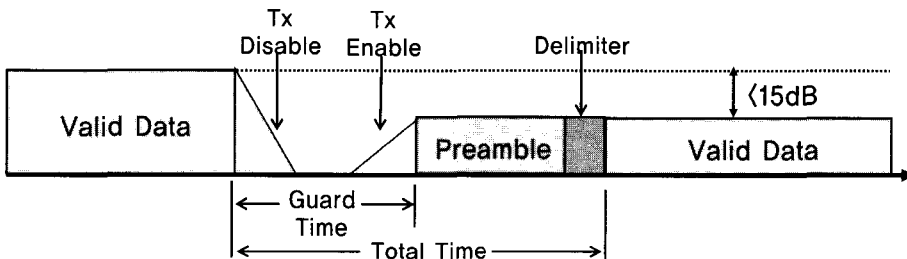
GPON의 데이터 암호화는 상향채널이 데이터 보안상 안전하다는 가정으로 방식이 규정되어 있다. 따라서, 데이터의 암호화는 하향 채널에만 이루어지고, ONU가 암호화 key를 생성하고 PLOAMu를 통해 OLT에 전달한다.

OLT는 수신한 암호화 key의 적용 시간을 ONU와 동기화 하기 위해 PLOAMd를 통해 암호화 key의 적용 시각을 ONU에 알려준다.

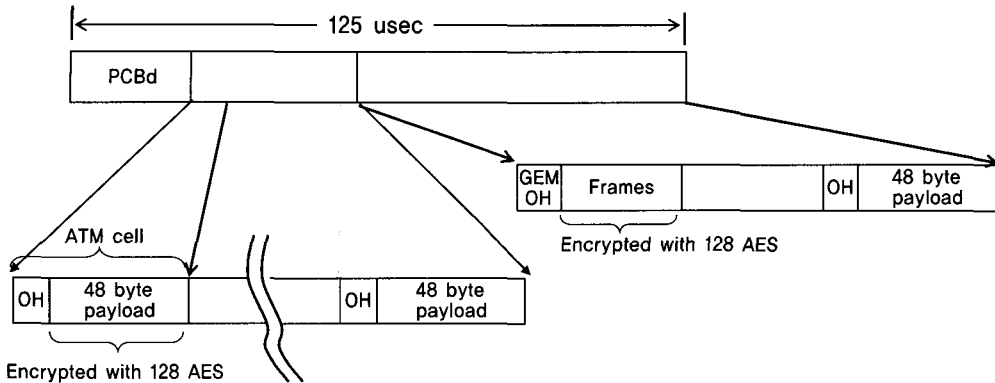
암호 방식은 128 AES를 사용하고 부하영역만 암호화 한다. 즉 ATM 영역인 경우에는 cell header를 제외한 48 바이트를 암호화하고, GEM 영역인 경우에는 GEM header를 제외한 프레임 전부를 암호화 한다.

<표 11> GPON의 Guard Time 규격

Upstream Data rate (Mb/s)	Tx Enable (bits)	Tx Disable (bits)	Total Time (bits)	Guard Time (bits)	Preamble Time (bits)	Delimiter Time (bits)
155	2	2	32	6	10	16
622	8	8	64	15	28	20
1244.16	16	16	96	32	44	20
2488.32	32	32	192	64	108	20
Notes	Max.	Max.	Mandatory	Min.	Suggest	Suggest



(그림 11) GPON의 버스트 모드 패킷 구성



(그림 12) GPON에서 데이터 암호화 영역

V. EPON과 GPON의 비교

FTTH의 유망한 방식으로 EPON과 GPON이 고려되고 있다. EPON은 LAN 장비 업체의 의견이 주로 반영되는 IEEE802에서 표준규격이 작성되었고, GPON은 BT, SBC, BelSouth, NTT, FT 등 주요 통신사업자들이 주축이되어 작성된 규격이다. 현재 EPON은 한국, 중국, 일본 등에 적용이 본격화 될 것으로 예상되며, GPON은 북미 지역에서 적용할 것으로 예상되고 있다. 두 방식간의 특징을 1.25Gb/s 상하향 속도에 대해서 <표 12>에 비교하였다. EPON은 가장 보편적으로 사용하는 링크 프로토콜인 Ethernet frame을 효과적으로 전달할 수 있도록 최적화한 것으로 가장 저가격으로 구현할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 GPON은 Ethernet 뿐만 아니라 IP도 직접 전달이 가능하여 Ethernet 계층이 없는 Wibro 같은 응용에 그대로 사용할 수 있다는 특징이 있다. 물리 규격은 EPON은 1 usec의 guard time 여유가 있어 통상의 cw 방식 수신기로도 수신이 가능한데 반해 GPON은 100nsec 이하로 guard time이 제한되어 있어 버스트 수신을 정확히 구현해야하

는 어려움이 있어 가격 상승의 요인으로 작용한다.

Throughput 면에서는 EPON은 Ethernet frame을 그대로 보내는데 반해 GPON은 PCBd, PLOu, GEM overhead 영역이 있어 throughput을 감소시키는 효과가 있다. 물론 EPON에서도 TDMA 동작을 위해 control frame들이 OLT, ONU 간에 교환되어 실제 throughput을 감소시키는 효과가 있다.

한편 EPON에서는 ONU가 상향으로 데이터를 보낼 때 할당 받은 시간영역내에서 frame을 보내야 하는데 마지막 시간 영역에서 남은 시간이 보내야 할 프레임의 크기보다 작을 경우에는 그 시간을 사용하지 못하는 경우가 발생하여 throughput을 떨어뜨리는 효과가 있다. 이에 반해 GPON에서는 frame을 보낼 수 있는 크기로 절단하여 보내고 받는 측에서 다시 재조립하는 것이 가능하여 할당된 시간은 항상 100% 사용할 수 있다.

EPON에서는 DBA 알고리즘이 규정되어 있지 않다. 따라서 주어진 ONU의 report값으로부터 ONU에 대역폭을 할당하는 방식을 최적화할 수 있는 기회가 주어진다. GPON에서는 5 종류의 T-Cont에 대해 대역폭을 할당하는 방식이 규정되어 있다.

데이터 암호화는 EPON은 1:1 링크인 경우라도 도청이 가능할 것이라는 점에 착안 하여 상하향 채널모두를 암호화에 취약한 채널로 간주하여 암호화 규격이 정해졌다. EPON 암호화는 다만 EPON에서만 적용하는 것이 아니라 모든 공중망 Ethernet 링크에 적용된다. EPON에서는 ONU 별로, 그리고 상하향 독립적으로 암호화를 할 수 있도록 하였다.

GPON은 PON의 망 특성상 상향은 안전하다고 가정하고 하향 채널에 대해서만 암호화하는 규격을 규정하고 있다.

TDM 서비스는 Ethernet에서는 TDM-over-Ethernet 방식으로 TDM 서비스를 제공하는데 반해 GPON에서는 물리계층에서 직접 8KHz 의 동기 클럭을 ONU에 제공함으로써 TDM 서비스를 제공한다. EPON, GPON의 방식간의 차이에서 우열을 가리는 것은 그 응용에 따라 다르게 판단될 수 있다. 특히 EPON의 경우에는 저가격의 장점이 있을 것으로 예상되는데, GPON에서의 장점으로 부각되는 fragmentation 기능, 그리고, Wibro를 수용할 수 있

도록 Ethernet mobility 등의 기능 들을 추가하면 더욱 경쟁력이 있을 것으로 판단된다.

VI. 맺음말

본 고에서는 TDMA PON에 대한 소개, 2004년 6월 확정된 IEEE802.3 EPON, ITU-T G.984.1~4에 정의된 GPON 등에 대한 기술 소개 분석, 그리고, EPON, GPON의 특징 비교 등을 정리하였다.

TDMA-PON은 가장 경제적인 방식으로, 다양한 서비스를 제공하는 방식이다. 그러나, 그 구조를 보면 포트간에 수백usec~수msec 제어 지연이 있는 분산 스위치 특성을 갖고 있다. 따라서, 서비스에서 요구되는 품질을 보장하기 위해서는 적절한 ONU, OLT의 데이터 버퍼, 우선순위 처리 구조, OLT-ONU 간의 DBA 기능 등이 설계되어야 한다. EPON, GPON 사이의 선택은 경제성, QoS 문제, 다양한 서비스의 수용 능력 등을 고려하여 이루어질 것이나,

〈표 12〉 EPON, GPON의 특징 비교

항 목	EPON	GPON
전달 데이터	Ethernet Frame	Ethernet frame IP packet ATM cell
버스트 수신 Guard time	~ 1 usec	< 100 nsec
Throuput 감소 요인	상향 접속 시간 영역에서 마지막 남은 시간이 전달할 frame보다 적을 때 frame을 전달 못함 Control Frame overhead	PCBd, PLOu, GEM 등 overhead
Throuput 증가 요인	별도의 overhead 없음	Packet/frame fragmentation/reassembly
DBA 기능	ONU에 대역폭 할당	5 종류의 T-Cont 에 대역폭 할당
데이터 암호화	상하향 채널 모두 적용	하향 채널만 적용
TDM 서비스	TDM over Ethernet	8KHz 동기 클럭 전달

EPON은 저가격, 시장 선점 등에서 유리하고, GPON은 통신사업자 규격으로 EPON에 비해 고가격이나, IP의 직접 수용, fragmentation에 의한 대역폭 효율 증가와 jumbo frame 수용 등의 장점이 있다는 것을 논의하였다.

FTTH는 가입자망에서 단순히 속도 증가 뿐 만 아니라 다양한 서비스의 통합, 사업영역의 변화 등을 내포하고 있다. 기존의 xDSL 가격과 경쟁할 수준으로 경제성이 확보되어 2002년 하반기 일본에서의 BPON을 시작으로 본격적인 적용이 이루어지고 있다. 우리나라는 2003년 하반기 100가입자 규모의 시범 서비스에 이어 2005년부터 본격적인 상용서비스가 시작될 전망이다. 북미에서의 FTTH 적용은 2000년부터 일부 지방자치단체 중심으로 산발적으로 이루어지고 있었으나 2004년부터 통신사업자에 의해 BPON의 대량 적용 계획이 발표되고 있다. 북미에서는 BPON의 다음 단계로 GPON을 고려하고 있다.

FTTH는 신축 건물에 대해서는 기술적, 경제적 가능성이 입증되었지만 기축건물에 대한 FTTH 도입에는 어려움이 예상된다. FTTH를 이용한 많은 서비스들이 제안되고 있지만 사업 영역의 제한, 사용자 호응의 불확실성 등의 문제가 있다. 통합 서비스에 필수적인 요소인 서비스 품질 보장 구조를 갖도록 FTTH 망을 구성하는 것도 아직 해결되지 않은 문제로 남아있다. TDMA-PON은 이러한 모든 환경과 문제점들을 직간접적으로 고려하여 그 기능이 정의되고 개선되어야 최종적으로 살아남을 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.K.Jung, C.J.Youn, H.G.Woo and Y.C.Chung, "Spectrum-sliced bidirectional WDM PON," Optical Fiber Communication Conference, Baltimore, USA, 2000.3, pp160-162
- [2] Hyun Deok Kim, Seung-Goo kang, Chang-Hee lee, "A low-cost WDM source with an AES injected Fabry-perot semiconductor laser," IEEE Photonics technology Letters, Vol. 12, No. 8, August 2000., pp1067-1069
- [3] P. Healey et. al. "Spectral slicing WDM-PON using wavelength-seeded reflective SOAs," Electronics Letters, Vol. 37, No. 19, Septem. 2001, pp1181-1182.
- [4] ITU-T Recommendation G.902, Framework Recommendation on functional access networks - Architecture and functions, access types, management and service node aspects, 1995
- [5] ITU-T Recommendation G.983.3, A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation, 2001
- [6] Norman Finn, "Spanning trees and IEEE802.3ah EPONs," IEEE802.3ah Task Force Presentation Material(fin_2_0502.pdf) on <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/>, May 2002
- [1] D.K.Jung, C.J.Youn, H.G.Woo and Y.C.Chung, "Spectrum-sliced bidirectional WDM PON," Optical Fiber Communication



유태환

1981년 서울공대 원자핵공학과 학사
 1983년 한국과학기술원 물리학과 석사
 1993년 Texas A&M University 전기공학과에서 박사
 학위를 각각 취득

1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원에서 광전송 장
 치분야, 가입자망 전송 분야의 연구 개발 담당

주요 연구 업적 : 10Gb/s 광전송 장치의 고속부 및 CDR 연구 개발,
 160Gb/s WDM 전송장치의 시스템 설계, VDSL 모델 개발, ATM, Ethernet 방
 식의 PON 시스템 및 핵심 기술 개발 등

관심분야 : 가입자 전송 및 시스템, 고속 디지털 모델 및 광송수신 아날로
 그 회로 등과 관련한 설계 및 구현 기술 분야