

PON 기반 가입자망 기술

한국과학기술원 이창희

목 차

I. 서 론

II. 가입자 전송기술

III. FTTH (Fiber to the home) 기술

IV. FTTH 기술의 진화

V. 결 론

I. 서 론

인터넷의 급속한 확산을 기반으로 기존의 음성, 텍스트 중심의 서비스가 영상 및 화상중심의 서비스로 전환되면서 가입자망의 고속화에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 따라서, 통신사업자나 CATV 사업자 모두 영상, 데이터, 음성을 통합한 서비스를 하나의 네트워크 인프라를 통해서 공급하는 것을 목표로 각자의 가입자망 고도화에 박차를 가하고 있다. 이러한 추세와 정보인식의 용이성으로 인하여, 앞으로 개발될 모든 서비스는 영상 중심의 서비스가 될 것이라는 것은 자명한 사실이다. Telcordia에서는 2010년 큰 전화회사 매출의 50%는 영상/비디오 서비스에 의한 것이라고 예측하고 있다. 따라서, 가입자망도 영상, 화상 중심으로 데이터와 음성이 융합된 서비스를 효율적으로 수용할 수 있는 구조가 되어야 한다.

아날로그 TV는 빠르게 디지털화 되어 가고 있으

며, 국내에서도 이미 디지털 방송이 시작되었다. 또한, TV 수상기의 대형화 및 고화질에 대한 욕구로 HDTV(High Definition TV)가 보급되고 있으며, 머지않아 HD급 서비스는 영상 서비스의 표준이 될 것이다. 미래의 가정집에는 최소한 한 가정에 3대 이상의 TV가 있을 것으로 예측된다. 따라서, 각 가정에는 3 채널 이상의 HD 영상 서비스를 동시에 제공할 수 있어야 할 것이다. HD급 신호의 대역폭은 채널당 20 Mb/s이므로 총 60 Mb/s가 가입자당 제공되어야 한다. 여기에 인터넷, 영상전화, 기타 원격제어 등을 포함하면, 가입자에게 제공되어야 하는 하향 대역폭은 73 Mb/s 이상이어야 한다. 또한, 가입자가 상향으로 보내는 대역폭을 보면, EoD (Education on Demand), GoD (Game on Demand)를 위한 HD급 1 채널, 영상전화, 양방향 인터넷 등을 고려할 때 32 Mb/s로 예측된다. <표 1>은 이를 정리한 것이다. 이외에도 앞으로 예측되는 새로운 서비스까지를

고려하면, 미래의 가입자망에서는 상하향 공히 100 Mb/s 이상의 대역폭을 가입자에게 제공할 수 있어야 할 것이다 [1].

이와 같이 모든 서비스가 영상 중심으로 이동되며, 이는 서비스의 특성상 데이터 중심 서비스인 경우와 가입자 망에 요구하는 특성이 다르다. 영상 중심의 서비스는 넓은 대역폭을 요구할 뿐만 아니라, 높은 QoS (Quality of Service)를 요구하고, 가입자들이 동시에 서비스를 요구하므로 (TV의 경우는 저녁시간 대에 집중되어 있음) 기존의 데이터 중심의 망에서 통계적인 다중화로 인한 대역폭 이득이 거의 없다. 따라서, 미래의 가입자망은 최대 대역폭 100 Mb/s가 아니라 양방향으로 최소 대역폭 100 Mb/s를 보장해야 한다. 또한, 전송거리는 전화국에서 가입자까지의 거리를 바탕으로 선정한 국제 규격인 20 km 이상을 만족하여야 한다. 본 고에서는 가입자망의 여러 가지 기술을 검토하고 비디오/영상 중심으로의 패러다임 변화에 따른 가입자망 기술의 발전 전망을 기술하고자 한다.

〈표 1〉 가입자 당 요구되는 통신 대역폭

Services	Bandwidth	Remarks
Streaming Video (HD), Broadcasting, Video on demand (VoD) or Home shopping, Education/Game on demand (EoD/GoD)	Total 60 M 20 M/service* 20 M/service 20 M/service	EoD and GoD requires symmetric bandwidth
Internet	10 M	PIP service requires symmetric bandwidth
Video conference or Video Phone	2 M	Requires symmetric bandwidth
Remote control & sensing, etc.	1 M	
Total	73 M	Downstream : 73 M Upstream : 32 M

II. 가입자 전송기술

가입자에게 정보를 전달할 수 있는 수단(전송매체)으로는 크게 구리선과 광섬유로 나눌 수 있다. 구리선은 전화선, UTP 케이블, 동축 케이블 등으로 분

리할 수 있으며, 광섬유는 다중모드 광섬유와 단일모드 광섬유로 나누어 진다. 각각의 전송 매체는 매체의 특성 및 전송속도에 따라 전송거리가 결정된다. <표 2>는 여러 가지 전송매체의 전송거리를 비교한 것이다.

2-1 구리선을 이용한 가입자망

전화선(twist pair)를 사용하는 가입자망은 디지털가입자회선 (xDSL : digital subscriber line)을 말하며, ADSL과 VDSL로 우리에게 잘 알려져 있다. 이 경우는 좁은 전송매체의 대역폭으로 높은 전송속도를 얻기 위해서 여러 가지 다중 레벨 전송 기술이 사용되고 있으며, 대표적으로 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 또는 DMT(Discrete Multi-Tone) 방식이 있다. 이러한 기술을 사용하더라도 전화선의 좁은 대역폭으로 인하여 100 Mb/s의 최대 전송거리는 100 m 정도이다 (전송거리 x 전송속도 = 10 Mb/s · km로 1 Mb/s 경우는 약 10 km에 해당). 구리선의 또 다른 형태는 우리가 사용하는 컴퓨터에 인터넷을 연결할 때 사용하는 케이블로 UTP (Unshielded Twist Pair)가 있으며, 이의 전송거리도 100 Mb/s 신호의 경우는 100 m로 제한된다.

동축케이블(케이블 TV용 전송선)의 경우는 도파로 구조를 만들어서 전송 대역폭을 높인 구조이다. 동축 케이블로 100 Mb/s 디지털 데이터 (바이너리 "1", "0")만을 보내는 경우는 3 km 정도 전송이 가능하고, QAM기술을 적용하는 경우는 약 20 km 정도 전송이 가능하다. 그러나, 동축 케이블의 경우는 CATV 신호와 대역폭을 공유해야 하므로 실제로의 전송거리는 수 km에 이내이며 이 때도 100 m 내외마다 증폭기를 설치해야 한다.

따라서 구리선을 이용하는 가입자망은 어떤 경우든 전화국 혹은 중심국에서 멀리 떨어져있는 가입자

에게 광대역 데이터 서비스를 제공하기 위해서는 전송 대역폭이 매우 넓은 매체인 광섬유의 도움을 받아야 한다. 전화선을 사용하면서 광섬유를 같이 이용하기 위해서 DSLAM(Digital Subscriber Line Access Multiplexer)이 필요하며, 동축 케이블을 사용하면서 광섬유를 이용하는 기술은 HFC (Hybrid Fiber Coax)로 알려져 있다. 이들에 대해서는 다음 절에서 설명하기로 한다.

〈표 2〉 여러 가지 전송매체에서의 전송방식 및 전송거리

		BL product [MHz.km]	Signal format	Bit rate x Distance [Mb/s.km]	100 Mb/s reach [km]
Copper	Twist pair	2.4	QAM/DMT	10	0.1
	UTP (Cat. 5)	10	MLT 3	10	0.1
	Coax	300	QAM (256)	2,019	< 20
Fiber	Multimode (Silica)	500	Binary (NRZ)	500	5
	Multimode (POF)	200	Binary (NRZ)	200	2
	Single mode	6×10^6	Binary (NRZ)	6×10^6	Unlimited

2-2 광섬유를 이용한 가입자망

앞에서 설명한 바와 같이 구리선을 사용하는 경우 대역폭의 한계로 인하여 장거리 전송이 불가능하다. 따라서 전송거리를 늘리기 위해서는 전송대역폭이 넓은 매체인 광섬유를 사용하는 것이 불가피하다. 광섬유는 크게 다중모드 광섬유와 단일모드 광섬유로 구분된다. 다중모드 광섬유의 경우는 전송 대역폭이 동축 케이블의 약 2 배 정도이므로 주로 단거리 전송에 많이 사용된다. 최근에 개발된 플라스틱 광섬유 (POF: Plastic Optical Filer)의 경우는 다루기가 매우 편리하지만 디지털 신호의 전송 대역폭은 동축 케이블과 유사하다.

단일 모드 광섬유는 현존하는 전송로 중에서 전송 대역폭이 가장 넓은 매체로 일반적으로 광섬유라 함은 이를 지칭한다. 전화국에서 20 km 거리에 있는 가입자에게 제공할 수 있는 대역폭은 30 Gb/s로 거의 무한대이다.

2-3 혼합형 가입자망

광섬유 (단일모드)를 사용하는 경우는 거의 무한대의 대역폭을 가입자에게 제공할 수 있지만, 지금까지 가입자망에서 많이 사용하지 않았던 이유는

1. 전화 제공을 위해서 가입자망에 전화선이 이미 포설되어 있어 광섬유를 새로 포설하여야 하고
2. 광섬유를 전송매체로 사용하기 위해서 사용하여야 하는 광송수신기 및 광소자의 가격이 고가이고
3. 광섬유는 다루기가 힘들기 때문이다.

그러나, 설명한 바와 같이 구리선이 가지고 있는 전송거리 한계로 인하여 가입자에게 제공하여야 하는 대역폭이 증가하면 어떤 형태로든지 광섬유를 사용하지 않을 수 없다. 즉, 전화선의 전송거리와 전송속도의 곱은 대략 10 Mb/s · km 정도이므로 100 Mb/s 대역폭을 가입자에게 보장하기 위해서는 가입자 근방 약 100 m까지 광섬유를 포설해야 하고, 종단에는 VDSL 집선 스위치인 DSLAM을 설치해야 한다. 따라서 기존의 ADSL 및 VDSL을 위한 가입자망을 대부분 교체해야 하며, 가입자에게 제공해야 하는 대역폭이 증가하면, 광섬유를 가입자에게 더 가까이 포설해야 하며, 가입자망 장비도 다시 교체해야 하는 단점이 있다. 또한, DSLAM을 설치하기 위한 장소를 확보하고 전원을 공급하고 유지/보수해야 하는 단점이 있다. UTP 케이블을 사용하는 경우도 거의 동일한 구조의 망이 요구되며, 종단이 VDSL 모뎀이 제거되는 장점이 있으나, 새로이 UTP 케이블을 포설하여야 한다.

동축 케이블을 사용하는 경우도 가입자 근방까지 광섬유를 포설하고 광섬유 종단에서 광섬유를 통해서 전송된 신호를 전기신호로 변환한 다음 동축케이블 망을 통해 가입자에게 TV 신호와 인터넷 데이터

를 전송한다. 이 때 광섬유 종단에 연결된 동축케이블 망을 셀이라 부른다. 하나의 셀에서는 최대 하향으로 2.9 Gb/s, 상향으로 약 155 Mb/s의 데이터 전송이 가능하다 [1]. 그러나, 하나의 셀 안에서는 통상 500~1000명의 가입자가 이 대역폭을 공유하므로, 모든 사용자가 동시에 접속할 경우 가입자당 대역폭은 하향의 경우 2.9~5.8 Mb/s, 상향의 경우는 0.15~0.3 Mb/s 정도로 낮아진다. 따라서 CATV 망을 이용하여 가입자당 100 Mb/s 정보를 전송하려면 셀을 분할하거나 보다 넓은 대역을 할당하여야 하며, 이는 많은 투자를 요구하고 있다.

따라서, 전화선을 이용하는 VDSL이나 동축케이블을 이용하는 케이블 모뎀으로는 양방향 100 Mb/s 대역폭을 경제적으로 보장하는데 문제가 있다. 특히, 향후 더 넓은 대역폭이 요구되는 경우는 대안이 없는 기술이다.

III. FTTH (Fiber to the Home) 기술

지금까지 설명한 구리선을 이용한 가입자망에서 전송거리의 한계를 극복할 수 있는 유일한 방안은 거의 무한대의 전송 대역폭을 제공하는 단일모드 광섬유를 전송매체로 사용하는 것이다(전송거리와 전송속도의 곱이 600 Gb/s · km 정도이다). 단일모드 광섬유를 직접 가입자 댁까지 포설하고, 이를 통해서 정보를 주고 받는 방식으로 이를 FTTH라 부른다. FTTH 기술은 참고문헌 [1]에 자세히 기술되어 있다. FTTH에서 ONT (Optical Network Termination)란 각 가입자 댁내에 설치되는 광섬유 종단장치를 말하며, OLT (Optical Line Termination)는 전화국에 설치되는 광섬유 종단장치를 말한다. 또한, 원격노드 (RN: Remote Node)는 전화국과 가입

자 사이에 설치되는 것으로, 전기를 공급해야 하는 능동 노드와 전기공급이 필요 없는 수동 노드로 구별된다.

수동 노드로 구성된 FTTH를 특별히 PON (Passive Optical Network)이라 부르며, 이는 전화국에서 가입자까지 포설하여야 하는 광섬유를 줄이기 위해 점 대 다점 (Point-to-Multipoint) 구조를 사용하고 능동 소자/시스템이 없이 수동소자만으로 구성된다. 따라서, 구축비용이 절약되고 가입자망의 유지/관리가 용이하며, 가입자에게 100 Mb/s 이상 고속 정보 제공이 가능한 유일한 방법이다. (그림 1)에는 FTTH를 위한 비용의 변화와 FTTH를 도입함으로써, 운용/유지 비용의 절감을 나타내었다[2]. FTTH 비용은 2000년에는 가입자당 \$4,000이상에서 2005년에는 약 \$1,000정도로 감소하였다. 유지관리 면에서 보면 FTTH를 도입하는 경우에 기존의 구리선 기반 가입자망보다 약 절반으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이 중에서 특히 OSP(Outside Plant-전화국 밖에 설치되어 있는 전송선로 및 장치) 운용유지에 들어가는 비용의 감소가 두드러진다.

이와 같은 FTTH의 구축비용 감소, 운용 유지 비용의 절감 효과와 최근에 계속되는 광소자의 저가화, 광섬유 다루는 기술의 발전 등으로 PON 기반 광가입자망인 FTTH 도입이 탄력을 받고 있다. 일본에서는 2005년 4월에 200만 FTTH가입자를 돌파하였으며, 미국의 경우는 2005년 9월에 약 300만 가입자까지 광섬유 포설을 완료하였다. 또한, 우리 나라에서도 FTTH 도입이 시작되었으며, 독일, 중국 등 많은 나라에서 FTTH 도입을 적극적으로 검토하거나 도입을 시작하려 하고 있다.

3-1 TDM-PON

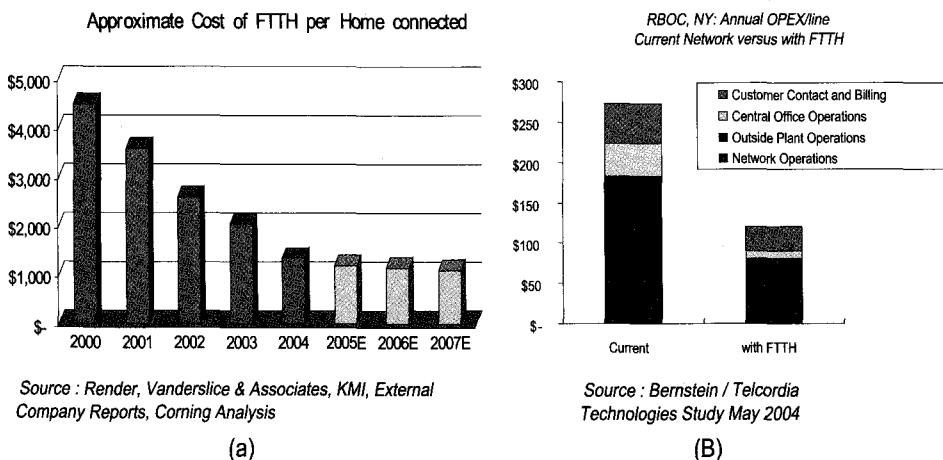
PON 기술은 광섬유를 어떠한 방식으로 여러 가입

자가 공유하느냐에 따라 크게 TDM-PON과 WDM-PON으로 구별된다. TDM-PON은 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식을 이용하여 하나의 광섬유를 공유하도록 하는 방식의 수동광가입자망을 말하며, (그림 2)는 TDM-PON 방식의 가입자망 구성도이다. 원격노드의 광분배기는 전화국과 하나의 광섬유로 연결되어 있으며, 전화국에서 오는 광신호를 여러 개의 광신호로 분배하거나, 가입자에서 오는 여러 광신호를 합하는 기능을 수행한다.

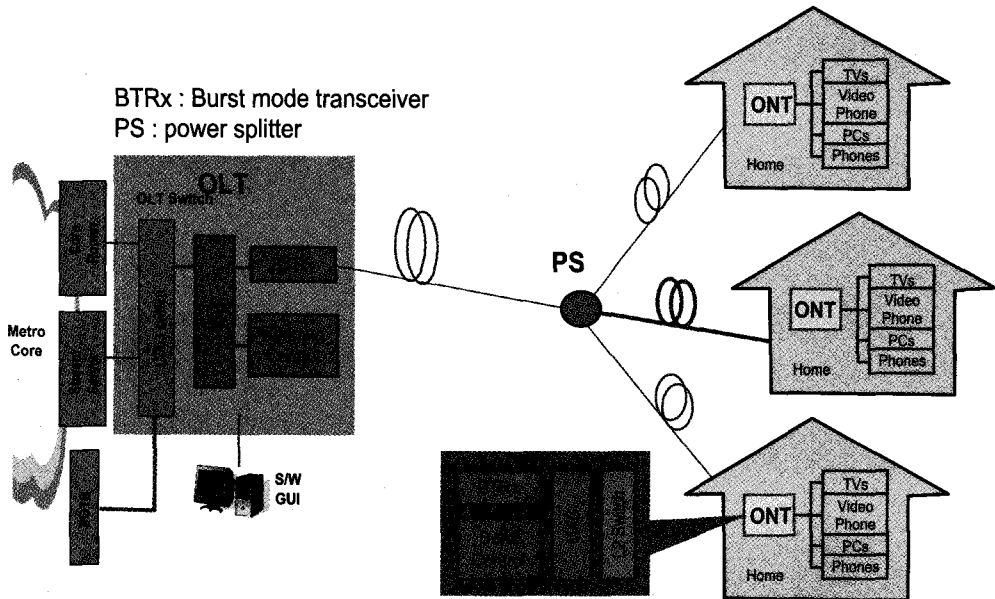
TDM-PON에서 하향 데이터는 방송형태로 모든 가입자에게 제공하여, 가입자가 자신의 데이터만 선택하는 방식이다. 따라서, 모든 가입자가 다른 가입자의 정보를 수신하고 있으므로 보안성이 낮다. 상향 데이터는 OLT에서 정해진 시간에만 데이터를 전송하여 하나의 광섬유 구간에서 서로 다른 가입자의 데이터가 충돌하지 않도록 한다. 이를 위해서는 OLT와 통신하여 각각의 가입자가 정보를 보내는 시간을 제어하는 MAC(Media Access Control) 기능이 OLT와 ONT에서 요구된다. 또한, 원격노드에서 가입자까지의 광섬유의 길이가 일정하지 않은 것을 보

상하기 위한 방안과 ONT에서는 신호를 보내는 것을 정확하게 제어하기 위한 별도의 제어회로가 요구된다. 또한, 광분배기에서 가입자까지의 거리가 일정하지 않고 ONT내의 광송신기의 파워가 일정하지 않으므로 OLT에 위치한 광송신기에 들어오는 광신호의 세기의 변화가 매우 커서 특수한 버스트 모드 광송신기가 필요하다.

TDM-PON에서는 상하향 전송속도가 고정되어 있고 이를 여러 가입자가 공동으로 사용하므로 가입자 확장 시(분기 수 증가 시) 각 가입자당 제공할 수 있는 대역폭이 저하된다. 만약 32분기인 경우 가입자마다 보장 되는 평균 대역폭은 E-PON(전송속도가 상하향 모두 1.25 Gb/s)의 경우 상하향 각각 16 Mb/s 와 25 Mb/s 이고, G-PON(전송속도가 상향 1.25 Gb/s, 하향 2.5 Gb/s)의 경우 상하향 각각 36 Mb/s 와 72 Mb/s 이다. 그러나 보다 많은 가입자를 수용하기 위해서 분배기의 분배율을 64로 높이면 제공 대역폭은 반으로 줄어든다. 이와 같이 TDM-PON은 수용하는 가입자수가 적은 경우에는 가입자에게 제공할 수 있는 대역폭이 높으나, 수용하는 가입자수가 증가하면 대역폭이 감소하는 문제점이 있다. 이



(그림 1) (a) FTTH 구축비용 및 (b) 뉴욕의 경우 기존의 망과 FTTH의 OPEX 비교



(그림 2) TDM-PON 방식의 가입자 망

는 실제 가입자 수용에 있어서 많은 문제를 야기할 것이다. 즉, TDM-PON을 서비스 하기 시작한 초기에는 가입자가 적을 것이고, 이때는 넓은 대역폭을 제공할 수 있다. 이는 가입자 유치의 중요한 마케팅 포인트라 생각된다. 그러나, 이와 같이 넓은 대역폭을 제공할 수 있어서 가입자 수용이 늘어나면 오히려 나중에는 제공할 수 있는 대역폭이 감소하게 되는 모순이 생긴다.

3-2 WDM-PON

WDM-PON은 WDMA (Wavelength Division Multiple Access) 방식을 이용하여 하나의 광섬유를 공유할 수 있도록 하는 수동형 광가입자망으로 기존에 장거리 전화국간 혹은 도시간 망에 사용되는 파장분할 다중방식 전송 기술을 광가입자망에 적용한 것이다. 이러한 WDM-PON에서는 원격노드에 광분배기 대신에 파장분할 다중/역다중화기인

AWG (Arrayed Waveguide Grating)를 사용함으로써, 각각의 가입자가 별도의 파장으로 전화국과 통신할 수 있도록 한다. 따라서, 전화국에서 원격노드까지 하나의 광섬유를 사용하지만, 등가적으로는 전화국에서 가입자까지 별도의 광섬유를 포설한 점 대 점 연결성을 보장한다. 즉, WDM-PON에서는 광섬유를 절약하면서, 점 대 점 연결의 장점을 살려 TDM-PON에서의 많은 문제점을 원천적으로 해결하고 있다. WDM-PON의 특징을 요약하면

- 프로토콜 및 전송 속도에 대한 투명성 보장
- 점 대 점 연결로 QoS 문제 해결
- 높은 보안성, 프라이버시 보장
- 광선로 장애 검출의 용이성
- 다양한 서비스를 수용할 수 있는 유연성 및 높은 망 확장성이다.

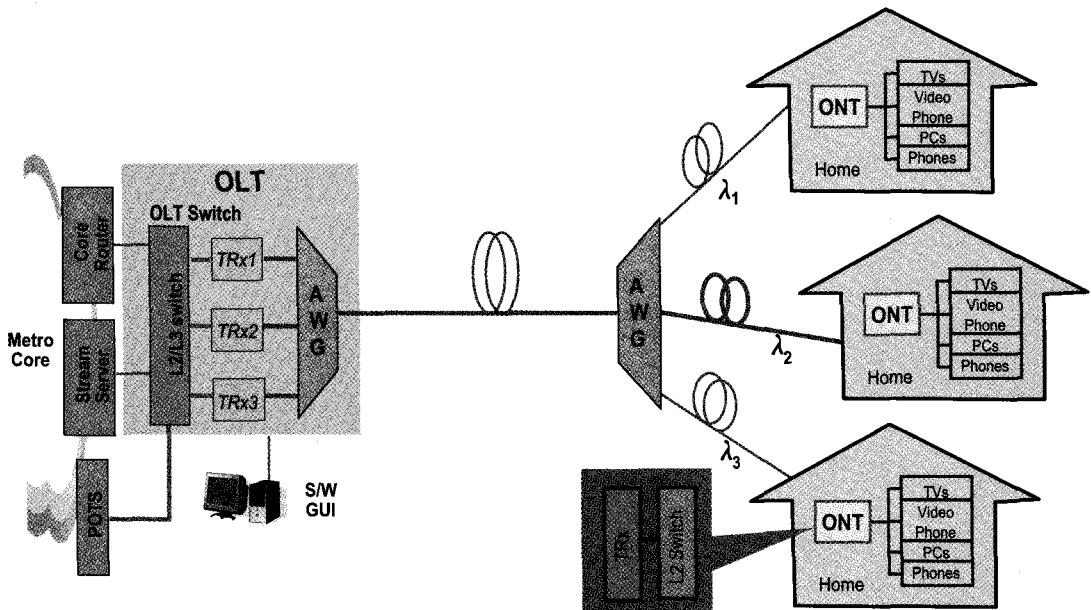
또한, TDM-PON과 같이 버스트 모드 광송수신기나 시간영역에서 다중 액세스 제어를 위한 MAC

IC 및 복잡한 소프트웨어가 필요 없어, ONT 및 OLT가 간단하여 제품의 신뢰성이 높을 뿐만 아니라, 잠재적인 경제성 면에서 우월하다. 따라서, WDM-PON은 이상적인 가입자망 구현방법이며, 미국, 일본 등에서도 가입자망을 WDM-PON으로 구축하기 위해 많은 연구개발을 하고 있다.

WDM-PON의 이러한 장점들은 가입자마다 별도의 파장으로 전화국과 통신을 하기 때문에 얻어지는 것이나, 이를 위해서는 각각의 가입자 및 전화국에서는 정해진 파장에서 빛을 내는 광원을 가지고 있어야 한다. 이는 WDM-PON의 경제성을 나쁘게 만들 뿐만 아니라, 가입자별 파장 할당에 따른 파장 관리 및 감시, 온도에 민감한 광원과 광부품들의 파장 정렬, 관리 및 제어 문제 등을 야기하며, 이는 WDM-PON의 상용화에 커다란 장애요인이다. 따라서, WDM-PON을 상용화 하기 위해서는 이러한 문제들을 야기하지 않도록 할당된 파장에 무관하게 동작하는

color-free ONT가 구현되어 각각의 파장마다 별도의 ONT를 사용하는 것이 아니라 TDM-PON처럼 하나의 ONT를 사용하여 ONT간에 상호교환이 가능하여야 한다. 즉, WDM-PON을 구현하기 위한 핵심 기술은 color-free ONT를 구현할 수 있는 저가형의 파장 무의존성 광원 기술이다. 참고로 현재 장거리 전송 WDM 시스템에서 사용되는 DFB LD를 사용하면 고가이기 때문에 경제성이 떨어질 뿐만 아니라, 발진 파장이 고정되어 있기 때문에 color-free ONT 구현이 불가능하다. WDM-PON 및 color-free ONT 구현 기술에 대해서는 참고문헌 [3]에 자세히 기술되어 있다.

(그림 2)와 (그림 3)을 비교해 보면, WDM-PON에서는 가입자 수만큼 광송수신기의 수가 존재하는 반면, TDM-PON은 OLT에 하나의 광송수신기를 사용하고, OLT와 ONT에 MAC IC가 있다. 이것이 두 기술의 구조적인 차이이며, 이로 인해 성능이 달라



(그림 3) WDM-PON의 구성도

진다. 즉, TDM-PON은 주로 IC기술 및 소프트웨어를 이용하는 가입자망이고, WDM-PON은 광기술과 하드웨어를 이용하는 가입자망이다. 따라서, WDM-PON은 가입자당 보장 대역폭이 넓어(예를 들면 100 Mb/s) 영상 서비스에 적합하지만, 많은 광송수신기를 사용하므로 상대적으로 가격이 높다. 그러나, TDM-PON은 OLT에 하나의 광송수신기를 사용하므로 앞에서 언급한 바와 같이 TDMA의 근본적인 제약을 가지고 있고, 상대적인 장치 가격은 저렴하지만 보장대역폭이 좁다. 따라서, 가입자에게 보장하는 대역폭당 가격을 보면 WDM-PON이 더 저렴하게 평가되고 있다.

IV. FTTH 기술의 진화

4-1 TDM-PON의 발전 과정

지금까지 FTTH의 주류를 이루고 있는 PON의 발전과정을 보자. (그림 4)는 지금까지의 PON의 진화과정을 시간영역에서 나타내고 있다. 최초의 PON은 독일에서 상용화된 A-PON으로 feeder fiber의 용량이 54 Mb/s이었으며, 1990년에 시작하여 1996년 후반까지 사용되었다. 이 때는 주로 전화 서비스를 위해서 설계되었으며, 당시에는 54 Mb/s 용량이면 충분하다고 생각하였다. 비슷한 시기에 한국전자통신연구원에서도 SWAN 프로젝트로 FTTH 시스템을 개발하였다. 그러나, Internet이 사용되기 시작하고 광대역 서비스의 개념이 나오면서 A-PON의 전송속도는 1990년대 후반에 155 Mb/s로 증가하였다.

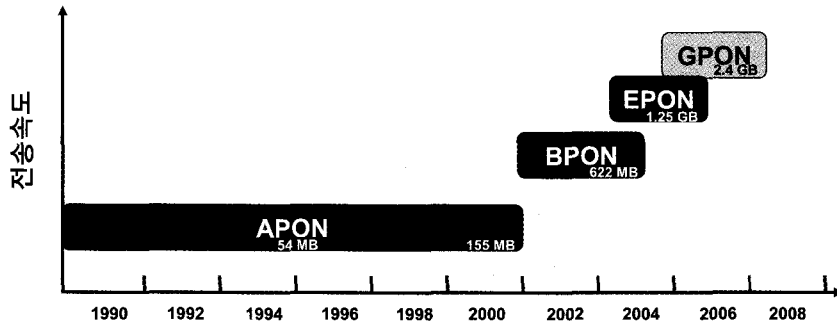
인터넷의 사용이 증가하고 WWW(World Wide Web)의 등장으로 음성이나 텍스트 중심에서 영상과 image 중심으로 트래픽이 진화되면서 광대역 서비

스에 대한 요구가 급격하게 증가되었다. 이에 순응하여 A-PON 후속으로 전송속도가 155 Mb/s에서 622 Mb/s(하향신호의 경우)로 증가된 B-PON이 등장하였다. 또한, 잘 알려진 Ethernet을 사용하고자는 시도가 결실을 맺어 feeder fiber당 1.25 Gb/s를 전송하는 E-PON이 개발되어 2002년 말에 상용화되었다. 그러나, IPTV등의 등장과 VoD, EoD 등 광대역 비디오 서비스의 등장으로 B-PON이나, E-PON으로 제공할 수 있는 대역폭이 충분하지 않아서 2005년부터 feeder fiber당 2.5 Gb/s 신호를 전송하는 G-PON이 개발되기 시작하였으며, 2006년에 상용화 될 예정이다. 따라서, B-PON이나 E-PON의 사용은 급격하게 줄어들 전망이다.

이와 같이 TDM-PON의 제품수명이 짧은 것은 영상 및 비디오 서비스가 등장하면서 요구하는 대역폭이 빠르게 증가했기 때문이다. 이러한 대역폭의 증가는 계속될 것으로 예측된다. 또한, 제공하는 서비스의 QoS에 대한 요구도 점점 높아질 것이다. 따라서, 기존의 TDM-PON은 보다 고속화 되어야 할 것이다. 그러나, 다음에 설명하는 바와 같이 TDM-PON의 고속화에는 많은 기술적인 문제가 있다.

4-2 Ethernet 발전 과정

(그림 5)는 Ethernet의 진화 과정을 설명하고 있다. 초창기에 Ethernet은 하와이에서 잘 알려진 ALOHA 프로젝트로 시작하였다. 이는 무선 방식으로 하나의 주파수를 많은 사용자가 공유하는 방식이다. 이는 고속 데이터를 제공할 수 있는 유선으로 빠르게 전환 되었으며, 1980년에는 2.94 Mb/s 그리고 1980년대 중반에는 10 Mb/s 까지 제공속도가 증가하였다. 이때까지는 여러 가입자가 하나의 전송선 혹은 주파수를 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection-carrier를 검출하여



(그림 4) TDM-PON의 발전과정

충돌을 방지) 방식을 이용하여 공유하였다. 그러나, 하나의 전송선을 공유하기 때문에 사용자가 늘어날 경우 제공할 수 있는 대역폭의 한계가 발생하는 문제를 해결하기 위하여 1980년대 후반에 Ethernet 스위치를 사용하고 스위치에서 각각의 사용자는 점대점으로 연결하여 각각의 사용자에게 대역폭을 보장할 수 있는 방식으로 전환되었다. 사용자당 보장할 수 있는 대역폭은 빠르게 증가하여 1980년대 후반의 10 Mb/s에서 1990년대 중반에는 100 Mb/s로 1990년대 후반에는 광섬유를 사용하면서 1 Gb/s로 증가하였다. 또한 최근에는 광섬유를 이용한 10Gb/s Ethernet이 등장하였다. 1 Gb/s와 10 Gb/s Ethernet은 장거리 전송이나 Ethernet 스위치들을 연결하는 데 이용되며, 컴퓨터 간을 연결하는 데는 100 Mb/s가 주로 사용된다.

가입자에게 광섬유를 포설하여 고속의 데이터를 제공하는 FTTH의 필요성이 대두 되면서 앞에서 설명한 바와 같이 TDM-PON이 개발되었고 1 Gb/s의 전송속도를 갖는 E-PON이 2000년대 초반에 상용화 되었다. 이는 앞에서의 초창기 Ethernet처럼 하나의 광섬유를 공유하는 방식으로 시간영역에서 모든 가입자가 이를 공유하는 복잡한 다중제어(Multiple Access) 프로토콜이 필요하다.

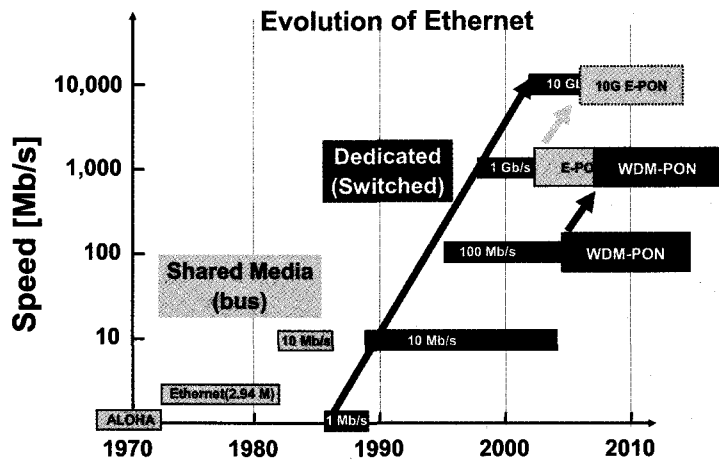
한편 2000년대 중반에 가입자 당 100 Mb/s를 보

장하는 WDM-PON이 국내에서 개발되어 세계최초로 상용화 되었으며[1,3], KT망에서 현재 사용되고 있다. 이는 Ethernet 진화의 역사에서 보여준 바와 같이 가입자당 대역폭을 보장하는 것으로 대역폭을 공유하기 때문에 생기는 복잡한 프로토콜, 버스트 모드 수신기, 보안성 문제, QoS가 보장되지 않는 문제 등이 사라진다.

4-3 PON 기술의 발전 방향

고화질 TV 중심의 여러 가지 비디오/영상 서비스가 개발되고, 화상전화, interactive video game, 원격진료 등 다양한 서비스가 제공될 것으로 예측되므로, 가입자당 요구하는 대역폭이 증가할 것은 자명한 사실이다. (그림 6)은 가입자 망에서의 대역폭 증가를 나타낸 것으로 가입자당 요구되는 대역폭은 매 4년 마다 4배씩 증가하고 있다[4]. 따라서 FTTH 중심의 광가입자망은 이러한 대역폭의 증가를 수용할 수 있는 구조여야 할 것이며, 가입자에게 높은 QoS를 보장해야 한다. 그렇다면, 어떠한 기술을 이용한 광가입자망 (FTTH)이 적합할 것인가? 이 질문에 대한 질문에 대한 답은 여러 가지 관점에서 검토하여야 할 것이다.

Corning 사에 따르면, OSP 구축 관련 비용이 전



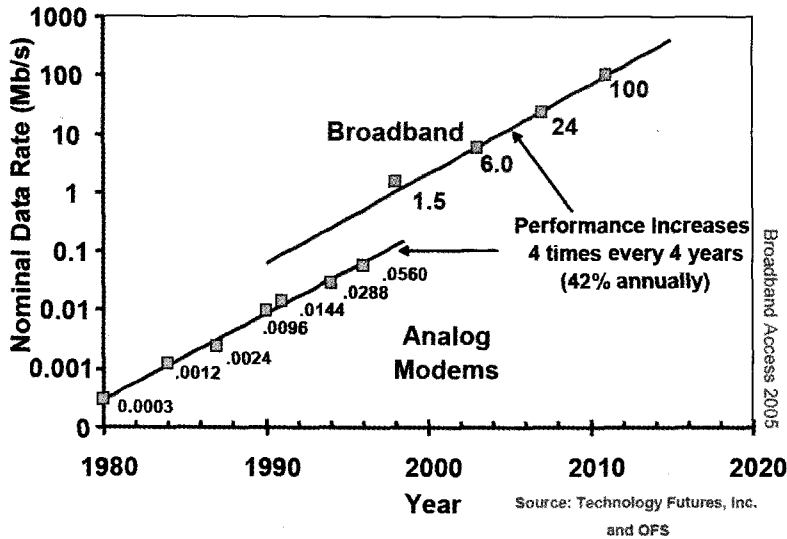
(그림 5) Ethernet 의 발전 과정

체 비용의 60 % 정도를 차지하고 서비스를 위한 장비 비용이 약 40 % 정도 차지하는 것으로 분석되었다. 또한, 광섬유와 원격 노드(광분배기 혹은 AWG로 구성)로 구성된 OSP는 수명이 25년 이상이므로 미래지향적으로 설계되어야 한다. 즉 FTTH 구축비용의 대부분을 차지하는 OSP는 미래에 예측되는 대역폭을 충분히 수용할 수 있어야 하며, 가입자에게 보다 넓은 대역폭을 제공하기 위해서 변경되지 않는 것이 이상적이다.

이러한 관점에서 TDM-PON과 WDM-PON을 비교해 보면 선택은 명확하다. TDM-PON에서는 분기 비 (예: 32)를 유지하면서 가입자에게 제공할 수 있는 대역폭을 높이기 위해서 (그림 5)에 보안 바와 같이 10 G E-PON을 도입하는 것이 검토되고 있다. 이 때는 가입자당 보장할 수 있는 대역폭이 약 300 Mb/s이다. 그러나, 10 Gb/s에서 동작하는 버스트 모드 광수신기 구현이 매우 어렵다. 또한, 광분배기의 손실 및 광섬유의 손실로 인해 TDM-PON의 규격인 25 dB의 링크 budget를 만족시키기 위해서는 광증폭기를 사용하거나, 고감도의 APD를 사용해

야 할 것이며, 반도체 레이저 직접변조 방식을 사용하는 경우는 광섬유의 색분산을 보상해야 한다. 이러한 이유로 인해 10 G TDM-PON을 구현하는 것은 많은 어려움이 예측된다. 반면에 AWG를 원격 노드로 사용하는 WDM-PON에서는 AWG의 손실(약 5dB)이 광분배기의 손실(약 18 dB) 보다 매우 낮기 때문에 어려움 없이 가입자당 1 Gb/s의 대역폭을 제공할 수 있다.

관점을 바꾸어서 하나의 feeder fiber의 용량을 보자. 이미 국내에서 개발된 적이 있는 하나의 광섬유당 64가입자를 수용하고, 가입자당 100 Mb/s를 보장하는 WDM-PON의 용량은 (64 x 125 Mb/s = 8 Gb/s)로 10G E-PON과 용량이 유사하다. 그러나, 앞에서 설명한 바와 같이 10 G 급 TDM-PON은 현실적으로 구현이 매우 어려운 기술이다. 이와 같이 가입자당 100 Mb/s이상의 대역폭을 제공해야 되는 경우는 TDM-PON으로는 한계가 있다. 따라서, Ethernet 진화 과정에서 보여 주었듯이 가입자당 대역폭을 보장할 수 있는 WDM-PON을 사용하여야 한다.



(그림 6) 가입자망의 대역폭 증가 추세

WDM-PON의 또 다른 장점은 가입자당 100 Mb/s를 보장하는 64 분기 시스템의 링크 budget를 보면 알 수 있다. 즉, WDM-PON에서는 광수신기가 100 Mb/s에서 동작하므로 수신감도가 -35 dBm이 가능하다. 그러나, 10 G TDM-PON의 경우는 수신감도가 -20 dBm 보다 나쁘다. 따라서 광분배기의 손실까지 고려하면 WDM-PON이 26 dB 이상 (수신감도 차이 15 dB, AWG와 광분배기의 손실차이 $(21 - 2 \times 5 = 11$ dB))의 링크 budget를 갖는다. 이를 PON의 전송거리로 환산하면, 약 66 km (광섬유 손실 0.3 dB/km)에 해당한다. 즉, WDM-PON의 경우는 광증폭기 및 색분산 보상 없이 86 km 전송이 가능하다는 것을 알 수 있다[5].

이와 같이 WDM-PON을 이용하면 장거리 전송이 가능하므로, 메트로 망과 가입자망을 통합하여 보다 단순화된 통신망을 구축함으로써, 장비비 및 유지비용을 줄일 수 있으며, 신호가 통과하는 노드 수를 줄임으로써, 높은 QoS를 제공할 수 있다.

V. 결론

지금까지 여러 가지 가입자망 기술과 PON기만 광 가입자망을 검토하였다. 이 중에서 가입자마다 독립된 파장을 할당하여 전화국과 통신을 함으로써, 점대점 시스템과 동일한 효과를 얻으면서, 광섬유를 절약할 수 있는 WDM-PON이 가장 이상적인 가입자망이라는 데는 재론의 여지가 없다.


그러나, 구조상으로 OLT에 가입자 수만큼의 광송수신기를 사용하여야 하기 때문에 OLT에서 하나의 광송수신기를 사용하는 TDM-PON 보다 경제성에서 불리하다.

이러한 점들은 WDM-PON의 높은 대역폭 보장 (100 Mb/s 이상), 완벽한 보완성 및 QoS 보장성, 고속화의 용이성, 장거리 전송의 용이성 등의 장점과 심도 있게 비교되어야 할 것이다. 아울러 FTTH를 구축하는 경우, 인프라에 해당하는 광섬유 및 원격노드는 수명이 25년 이상이므로, 장기적인 안목에서 인프

라의 교체 및 재투자 등을 고려하여 경제적 손실을 최소화하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이창희, 백진석, 박근열, "FTTH 구현 방안 분석," 대한전자공학회지, vol. 32, pp. 398-410, 2005.
- [2] Patrick Garvey, "Economics of FTTx in municipality overbuilds," FFFTH OSP EXPO, November 15-17, 2005, Fort Worth Convention Center, Houston, USA.
- [3] 이창희, "WDM-PON 기술," 한국통신학회지, vol. 22, no. 6, pp. 44-56, 2005.
- [4] J. George, "FTTH design with the future in mind," FTTH Conference 2005.
- [5] Sang-Mook Lee, Sil-Gu Mun, and Chang-Hee Lee, "Demonstration of Long-reach DWDM-PON based on Wavelength Locked Fabry-Perot Laser Diodes," OptoElectronics and Communications Conference, Post Deadline Paper.



이창희
 1979년 ~ 1983년 한양대학교 전자공학과 공학사
 1983년 ~ 1985년 한국과학기술원(KAIST) 전기및 전자공학과 공학석사
 1985년 ~ 1989년 한국과학기술원(KAIST) 전기및 전자공학과 공학박사
 1989년 ~ 1990년 Bellcore 연구소(미국) 박사후 연구원(Post Doc.)
 1990년 ~ 1997년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원
 1997년 ~ 현재 한국과학기술원(KAIST) 전자전신학과 교수