

FTTH 구현 방안 분석

이창희, 백진석, 박근열 (한국과학기술원 전자전산학과)

I. 서론

인터넷의 급속한 확산을 기반으로 기존의 음성, 텍스트 중심의 서비스가 영상 및 화상 중심의 서비스로 전환되면서 가입자망의 고속화에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 특히, CATV 사업자가 인터넷 서비스를 시작하고, 통신사업자는 방송서비스에 커다란 관심을 보이면서, 기존의 방송과 통신이라는 영역이 불분명해지고 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. 따라서, 가입자망도 영상, 화상 중심으로 데이터와 음성이 융합된 서비스를 효율적으로 수용할 수 있는 구조가 되어야 한다.

가입자망의 구조는 가입자에게 제공하여야 하는 대역폭에 의해서 결정되므로 먼저 각각의 가입자에게 제공될 서비스 및 대역폭을

검토하는 것이 순서일 것이다. 현재의 아날로그 TV는 빠르게 디지털화 되어 가고 있으며, 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 가정집을 가정한다면 최소한 한 가정에 2대 이상의 TV가 있을 것으로 예측된다. 미국의 경우는 이미 가정집당 평균 2.5 대의 TV를 보유하고 있다. 따라서, 각 가정에서는 3 채널 이상의 HD 영상 서비스를 동시에 필요로 할 것으로 예측된다. HD급 신호를 전송하기 위해서는 채널당 20 Mb/s를 필요로 하므로 총 60 Mb/s 가 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 HD 급 1 채널, 영상전화, 양방향 인터넷 등을 고려할 때, 32 Mb/s 로 예측된다. 표 1은 이를 정리한 것이

다. 따라서, 앞으로 예측되는 새로운 서비스 까지를 고려하면, 가입자망에서는 상하향 공히 100 Mb/s 대역폭을 가입자에게 제공할 수 있어야 할 것이다.

한 가지 간과해서는 안 되는 중요한 점은 거의 모든 서비스가 영상 중심이라는 것이고, 이는 서비스의 특성상 데이터 중심 서비스인 경우와 가입자 망에 요구하는 특성이 다르다는 것이다. 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 없다는 것이다. 따라서, 미래의 가입자망은 최대 대역폭 100 Mb/s가 아니라 양방향으로 평균 100 Mb/s를 보장해야 한다. 또한, 전송거리는 전화국에서 가입자까지의 거리를 바탕으로 선정한 국제 규격인 20 km 이상을 만족하여야 한다. 따라서 가입자망은 양방향 100 Mb/s의 대역폭 보장과, 20 km 이상의 전송거리를 보장하는 망인 FTTH (Fiber-to-the-Home)으로 옮겨가고 있다.

기존 구리선 중심의 가입자망에서 광섬유 중심의 새로운 가입자망인 FTTH로 가입자망

〈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	PP 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

의 무게 중심이 이동하는 현시점에서 기존의 가입자망을 검토해 보고, 여러 가지 FTTH (Fiber-to-the-Home) 기술들을 비교 분석해 보는 것은 의미 있는 일일 것이다. 본 논문에서는 다양한 FTTH 기술을 비교하여 그 장단점을 분석하였다.

II. 기존의 가입자망

초고속 데이터 서비스를 위한 기존의 가입자망 기술로는 전화선을 이용한 여러 가지 디지털가입자회선 (xDSL : digital subscriber line) 기술과 동축케이블(케이블TV용 전송선)을 이용한 케이블 모뎀 기술 등이 있다. 전화선을 이용하는 xDSL은 1996년부터 미국에서 시범서비스가 시작되었고, 이듬해부터는 상용서비스로 전환되었다. 국내에서도 1997년부터 보급되기 시작해 지금은 인터넷 이용자 대부분이 xDSL을 이용하고 있다. xDSL은 여러 종류가 있으나 상용화에 성공한 것은 ADSL과 VDSL 정도이다. ADSL은 상하향 최대 전송 대역폭은 각각 2 Mb/s, 10 Mb/s 이고 VDSL의 경우는 20 Mb/s 와 50 Mb/s 가량되며 두 경우 모두 전송거리에 따라 전송 대역폭이 제한된다.

전화선의 전송거리와 전송속도의 곱은 대략 10 Mb/s · km 정도이다. 즉, 전송속도가 100 Mb/s 인 경우는 약 100 m 정도 전송이 가능하다. 따라서, 가입자당 100 Mb/s의 대역폭을 보장하기 위해서는 가입자 근방까지 광섬유를 포설해야 하고, 종단에는 VDSL 집선 스위치를 설치해야 한다. 따라서 기존의 ADSL 및 VDSL을 위한 가입자망을 대부분

교체해야 하며, 가입자에게 제공해야 하는 대역폭이 증가하면, 가입자망을 다시 교체해야 하는 단점이 있다. 또한, 구조가 다음에 설명하는 AON (Active Optical Network)의 부류에 속하므로 집선장치를 설치하기 위한 장소를 확보하고 전원을 공급하고 유지/보수해야 하는 단점이 있다.

CATV에서 사용하는 동축케이블은 전화선보다 대역폭은 훨씬 넓다 (전송거리와 전송속도의 곱이 $2 \text{ Gb/s} \cdot \text{km}$ 정도이다.). 따라서 보다 넓은 대역폭을 가입자에게 제공할 수 있으나, 대부분의 대역을 TV 신호를 전송하는데 사용한다. 즉, TV 신호를 전송하기 위해서 주파수 대역을 6 MHz 간격으로 분할하였으며, 각각의 대역에 한 채널의 아날로그 TV 신호를 전송한다. 기존의 CATV 망에서도 중심국에서도 가입자까지의 거리가 먼 경우는 가입자 근방까지 광섬유를 포설하고 광섬유 종단에서 광섬유를 통해서 전송된 신호를 전기신호로 변환한 다음 동축케이블 망을 통해 가입자에게 TV 신호와 인터넷 데이터를 전송한다 (이러한 망을 HFC (Hybrid Fiber Coax) 망이라 한다.). 이 때 광섬유 종단에 연결된 동축케이블 망을 셀이라 부른다.

CATV의 경우 인터넷 서비스를 위해 하향의 경우 450 ~ 860 MHz 주파수 범위 내에서 각각 6 MHz 대역폭을 갖는 68개의 채널이 할당되어 있다. 각각의 채널에 256 QAM 변조 방식을 이용하여 43 Mb/s의 데이터를 전송할 수 있으므로 최대 전송 대역폭은 약 2.9 Gb/s 이다. 상향인 경우는 5 ~ 42 MHz 주파수 범위 내에서 6.4 MHz 대역폭을 갖는 5개의 채널이 할당되어 있고 각 채널의 전송속도는 16 QAM 변조 시 약 31 Mb/s 이므로 최

대 전송 대역폭은 155 Mb/s 이다. 하나의 셀 안에서는 통상 500~1000명의 가입자가 이 대역폭을 공유하여 사용하므로, 모든 사용자가 동시에 접속할 경우 가입자당 대역폭은 하향의 경우 2.9~5.8 Mb/s, 상향의 경우는 0.15~0.3 Mb/s 정도로 매우 낮아진다. 따라서 CATV 망을 이용하여 고속 인터넷 서비스를 하기 위해서는 보다 많은 대역을 할당하거나 셀을 분할 하여야 하며, 이는 많은 투자를 요구하고 있다. 이 경우도 전화선을 이용하는 경우와 마찬가지로 AON이 가지는 많은 단점을 가지고 있다.

따라서, 전화선을 이용하는 xDSL이나 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 $600 \text{ Gb/s} \cdot \text{km}$ 정도이다.). 즉, 단일모드 광섬유를 직접 가입자 댁까지 포설하고, 이를 통해서 정보를 주고 받는 방식으로 이를 FTTH 라 부른다. FTTH 기술을 설명하기 전에 먼저 용어를 간단하게 정의하면, 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 가입자 사이에 설치되는 것으로, 전기를 공급해야 하는 능동 노드와 전기공급이 필요 없는 수동 노드로 구별된다.

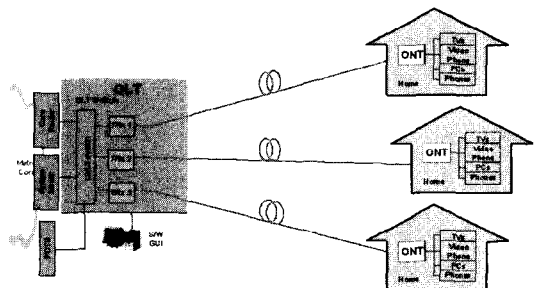
1. PtP (Point-to-Point)

FTTH 방식에서 가장 쉽게 생각할 수 있는 것은 그림1에 보인 것과 같이 전화국에서 각 가정까지 직접 일대일로 광섬유를 연결하는 PtP (Point-to-Point) 방식이다. 즉 기존의 전화의 경우와 마찬가지로 각 가입자가 일대일로 광케이블을 통해 전화국과 연결된 가장 단순한 구조이다. 따라서 각 가입자마다 통신 프로토콜 선택이 자유롭고 가입자에게 전달되어야 하는 정보만 광섬유를 통해서 정해진 가입자에게 전달되므로 보안성이 우수하다. 특히, 다른 가입자의 정보 전달여부에 상관없이 항상 전화국과 정보교류가 가능하므로 QoS (Quality of Service)가 보장된다. 또한, 가입자 장치는 단순한 광송수신기만 있으면 되므로 쉽게 가입자 별로 전송 속도를 확장할 수 있다. 이 구조는 광통신의 장점인 고속통신을 가장 확실하게 활용할 수 있는 구조로 양방향 100 Mb/s 대역폭 보장이 쉽게 가능하다. 이러한 장점에도 불구하고 이 구조는 광섬유를 많이 사용해야 하며, 가입자가 늘어 날 때마다 장거리의 광섬유를 추가로 포설해야 하는 치명적인 단점이 있다.

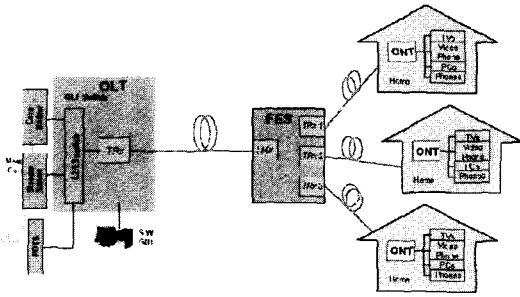
이 구조는 현재 일본 전력회사들의 FTTH 서비스에 사용되는 방식으로서 전화국에서 반경 15km이내의 각 가정으로 광케이블을 연결해 양방향 100 Mb/s를 제공하고 있다.

2. 점대 다점 방식 PtMP (Point-to-MultiPoint)

앞에서 설명한 PtP 구조의 단점을 해결하기 위해서 제안된 방식이 가입자 밀집지역까지는 한 가닥의 광섬유를 사용하고 원격노드를 설치한 다음 원격노드에서 각각의 가입자에게 광섬유를 포설하는 PtMP (Point-to-multiPoint) 방식이다. 이 구조에서는 광섬유를 대폭 절약할 수 있지만, 많은 가입자가 하나의 광섬유를 공유해야 하므로 이를 위한 기술이 필요하다. PtMP 방식에는 원격노드에 전기적인 스위치를 사용하는 방식인 AON (Active Optical Network) 방식과 단순한 수동소자만을 사용하는 PON (Passive Optical Network) 방식이 있다. PON 방식은 시간을 분할하여 다수의 가입자가 하나의 광섬유를 공유하는 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식과 파장 분할방식으로 하나의 광섬유를 공유하는 WDM (Wavelength Division Multiple Access) 으로 대표된다. 이외에도 각각의 가입자가 별도의 부반송파를 사용하는 방식인 SDMA (Sub-carrier Division Multiple Access) 방식과, 각각의 가입자가 별도의 코드를 가지는 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식이 있다.



〈그림 1〉 PtP 방식의 가입자 망



〈그림 2〉 AON 방식의 가입자 망

1) AON (Active Optical Network)

그림 2는 AON 방식의 가입자 망 구성도이다. 원격노드에는 이더넷 스위치가 설치되어 전화국 쪽으로는 기가 비트 이더넷 (혹은 100 Mb/s 이더넷)으로 연결되고 가입자 장치 쪽으로는 100 Mb/s 이더넷으로 연결된다. 이 스위치는 가입자로부터 오는 데이터를 집선하여 기가 비트 데이터를 만들어 전화국으로 보내고, 전화국에서 오는 정보를 분리하여 각각의 가입자에게 제공하는 기능을 수행한다. 만약 이 과정에서 가입자로부터 오는 데이터의 양이 전화국으로 전송할 수 있는 양보다 (기가비트) 많아지면 미리 정해진 서비스의 우선순위에 의해 서비스가 수용되며, 일부 데이터는 버려진다. 즉, 가입자가 보내는 모든 데이터가 전화국에 전해지지 않고 망의 상황에 따라 최선을 다하는 best effort service 개념의 네트워크이다. 참고로 원격노드의 이더넷 스위치는 다른 형태의 스위치로 대처가 가능하다. 즉, 사용하고자 하는 프로토콜에 따라 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 스위치도 사용이 가능하다. 이러한 구조는 원격노드에서 전화국으로의 대역폭이 고정되어 있으므로, 가입자 확장 시 각 가입자당 제공할 수 있는 전송 속도가 저하된다. 또한, QoS 보장이 어렵고, 원격 노드의 유지보수가 어렵다는 단

점이 있다.

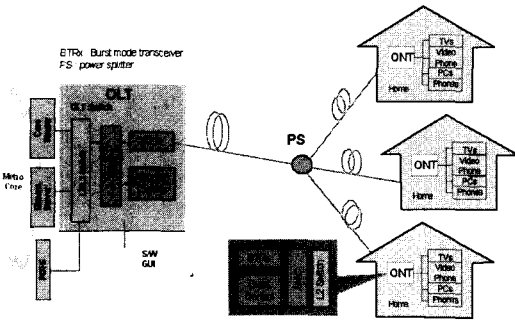
2) 수동형 광가입자망 (PON: Passive Optical Network)

상기 단점을 보완하기 위해서 제안된 것이 수동형 광가입자망이다. 즉, 원격노드의 능동형 이더넷 스위치를, 전원이 필요치 않고 소형이며 유지보수가 필요치 않은 수동 광소자로 대처하는 것이다. PON에서 사용하는 수동 광소자로는 TDM-PON에서 사용하는 광분배기와 WDM-PON에서 사용하는 WDM MUX/DEMUX (대부분 AWG: Arrayed Waveguide Grating을 사용)가 있다. AON에서는 이더넷 스위치가 상향 하향 데이터를 집선/분배하는 방식으로 하나의 광섬유를 공유하였으나, PON에서는 원격노드에 수동소자만 있으므로 하나의 광섬유를 공유하기 위해서는 ONU와 OLT에 이를 위한 기능을 추가해야 한다. 대표적인 방법으로 앞에서 설명한 TDMA와 WDMA방식이 있다.

(1) TDM-PON

TDM-PON은 TDMA방식을 이용하여 하나의 광섬유를 공유하도록 하는 방식의 수동 광가입자망을 말하며, 그림 3은 TDM-PON 방식의 가입자 망 구성도이다. 원격노드의 광분배기는 전화국과 하나의 광섬유로 연결되어 있으며, 이는 전화국에서 오는 광신호를 여러 개의 광신호로 분배하거나, 가입자에서 오는 여러 광신호를 합하는 기능을 수행한다.

TDM-PON에서 하향 데이터는 모든 가입자에게 제공되며, 가입자가 자신의 데이터만 선택하는 브로드캐스팅 방식이다. 따라서,



〈그림 3〉 TDM-PON 방식의 가입자 망

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 보상하기 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 광수신기에 들어오는 광신호의 세기의 변화가 매우 커서 특수한 버스트 모드 광수신기가 필요하다.

이러한 복잡한 문제들이 있음에도 불구하고 오랜 시간 동안 TDM-PON이 PON으로 통용되었던 것은 TDMA기술이 통신분야에서 많이 연구되어 사람들에게 친숙하고, 달리 이를 대처할 수 있는 경제성 있는 기술적 대안이 없었기 때문이다. TDM-PON 기술은 1995년 전 세계의 주요 통신 사업자들이 상

하향 155Mb/s의 전송을 목표로 FSAN (Full Service Access Network) 콘소시엄을 구성하면서 본격적인 개발이 시작되었다. TDM-PON에서 상하향 전송속도는 OLT와 ONT의 전송속도로 이는 최대 대역폭에 해당하며, 이를 PON에 연결된 가입자 수로 나눈 것이 가입자에게 보장되는 대역폭이다. 이때 전송 프로토콜은 QoS 보장을 위해 ATM프로토콜을 사용하였으며, 이름을 A-PON 이라 하였다. 이는 나중에 622Mb/s 급의 기술로 확대 적용되면서 B-PON (Broadband passive optical network)으로 바뀌었고 근래에 전송속도를 기가급으로 향상시킨 G-PON (Gigabit passive optical network)이 제안되었다. G-PON은 ATM 프로토콜 이외에도, 인터넷 프로토콜 등 다양한 프로토콜을 사용할 수 있도록 표준화 되었다. G-PON은 하향으로 1.25 Gb/s 또는 2.5 Gb/s, 상향으로 155 Mb/s, 622 Mb/s 1.25 Gb/s, 2.5 Gb/s의 최대 전송 대역폭을 규정하고 있다. 이들의 표준화는 ITU-T (International Telecommunication Union- Telecommunication)에 의해서 이루어지고 있으며, G.983 (B-PON)과 G.984 (G-PON)에 기술되어 있다.^[1]

한편, 인터넷 망에 널리 보급된 IP (Internet Protocol)를 사용한 인터넷 기술을 이용하기 위해 인터넷 표준을 개발한 IEEE 802.3그룹에서 인터넷 기반의 PON기술인 E-PON (Gigabit Ethernet passive optical network)을 제안하였다[2, 3]. E-PON의 상하향 최대 대역폭은 1.25 Gb/s 이다. B/G-PON과는 달리 E-PON은 best effort service 방식이므로 QoS가 보장되지 않는다.

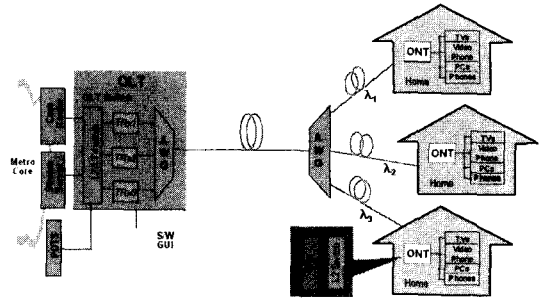
최근 TDM-PON용 MAC IC 및 소프트웨어

어가 Passave와 Teknobus 등에서 상용 제품으로 개발되고, 광소자의 가격이 낮아져서 경제성이 높아지면서 일본, 미국 등에서 TDM-PON을 이용한 FTTH 서비스를 시작하였다. 일본에서는 B-PON 중심으로 FTTH 가입자가 200 만명을 돌파하였으며 매달 10 만명 정도 FTTH 가입자가 증가하고 있다. 또한, 미국의 경우는 대형 통신회사인 Verizon, SBC, Bell South에서는 B-PON을 채택하여 FTTP (Fiber-to-the-premises) 서비스를 위한 공동 RFP (Request for proposal)를 제시하였고 Verizon은 2004년도에 100만 회선을 포설하였다.

TDM-PON에서는 상하향 전송속도가 고정되어 있고 이를 여러 가입자가 공동으로 사용하므로 가입자 확장 시(분기 수 증가 시) 각 가입자당 전송 속도가 저하된다. 만약 32분기인 경우 가입자 마다 보장 되는 실질적인 평균 전송 속도는 E-PON의 경우 상하향 각각 16 Mb/s 와 25 Mb/s 이고 G-PON의 경우 상하향 36 Mb/s 와 72 Mb/s 이다. 따라서, 가입자당 100 Mb/s 의 대역폭을 보장하기 위해서는 E-PON의 경우는 전송속도를 4 Gb/s 이상으로 높여야 한다. 그러나, 고속의 버스트 모드 광수신기의 구현이 어렵고, 광섬유에서의 색분산으로 인한 신호 왜곡으로 이러한 시스템 개발에 많은 어려움이 예상된다. 특히, 광분배기의 분배 손실로 인하여, 전화국에서 가입자까지의 광손실이 큰 것도 전송속도를 높이는 커다란 장애가 되고 있다.

(2) WDM-PON

WDM-PON은 WDMA 방식을 이용하여 하나의 광섬유를 공유할 수 있도록 하는 수



〈그림 4〉 WDM-PON의 구성도

동형 광가입자망으로 기존에 장거리 전화국간 혹은 도시간 망에 사용되는 광대역 파장분할 다중방식 전송 기술을 광가입자망에 적용한 것이다. 각각의 가입자는 별도의 파장으로 전화국과 통신하므로, 전화국에서 원격 노드까지 하나의 광섬유를 사용하지만, 등가적으로는 전화국에서 가입자까지 별도의 광섬유를 포설한 PtP 방식과 동일하다. 즉, WDM-PON에서는 광섬유를 절약하면서, PtP 시스템의 장점을 살려 TDM-PON에서의 많은 문제점을 원천적으로 해결하고 있다. WDM-PON에서는 고유의 파장을 할당함으로써 높은 보안성을 제공한다. 또한, 광분배기 대신 AWG(Arrayed Waveguide Grating)와 같은 파장분기 결합기(WDM MUX)를 사용하므로 파워 손실이 크게 감소되어 사실상 대역폭의 제한이 거의 없이 다양한 프로토콜을 수용할 수 있다. WDM-PON에서는 가입자당 상하향 100 Mb/s 대역폭 보장이 용이하며, 제공 대역폭이 가입자 수가 증가하거나 동시 사용자 수에 상관없이 일정하다. WDM-PON의 특징을 요약하면

- 프로토콜 및 전송 속도에 대한 투명성 보장
- 점 대 점 연결로 QoS 문제 해결

- 높은 보안성, 프라이버시 보장
- 다양한 서비스를 수용할 수 있는 유연성 및 높은 망 확장성이다.

또한, TDM-PON과 같이 버스트 모드 광 송수신기나 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 colorless ONT가 구현되어 TDM-PON처럼 ONT간에 상호교환이 가능하여야 한다. 즉, WDM-PON을 구현하기 위한 핵심 기술은 colorless 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 고정

되어 있기 때문에 colorless ONT 구현이 불가능하다.

현재까지 Lucent, Nokia, Corning 등 세계적인 몇몇 연구 그룹에서 다양한 파장 무의존성 광원 기술을 제안해 오고 있다. 1995년에 Lucent 에서는 광대역 광원 (ASE 광원)을 스펙트럼 분할(spectrum-slicing)하는 기술을 이용하여 WDM 광원을 구현하는 기술을 개발하였다.^[4] 이 기술은 단일 모드 광원을 사용하지 않고 광대역 비간섭성 광원을 AWG로 필터링하여 이를 변조하므로 파장관리 제어가 용이한 장점이 있으나, 값 비싼 외부 변조기를 필요로 한다. 또한 Nokia에서 고출력 LED와 FEC기술을 이용하여 WDM-PON을 구현한 사례가 발표되었다. 2001년 영국의 Corning 사에서는 RSOA (Reflective Semiconductor Optical Amplifier)로 외부 변조기를 대체하여 colorless ONT를 구현하였으나, 역시 RSOA의 단가가 여전히 높아 경제성이 많이 떨어진다.^[5]

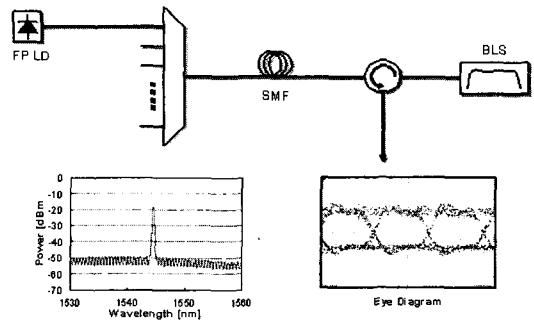
국내 KAIST에서는 2000년 필터링(필터로 는 광파장 라우터인 AWG를 사용함)된 광대역 광원을 저가의 다중 파장 광원인 FP-LD(TDM-PON용 광원)에 주입하여 파장 잠김된 유사 단일 모드 광원 기술을 개발하였다.^[6] 그림 5에 이의 구성도를 나타내었으며, 광대역 광원은 광증폭기를 이용하여 구현한다. 이 방법은 저가의 FP-LD를 사용하여 colorless ONT를 구현할 수 있으므로 타 기술에 비해 우수한 경제성을 갖추고 있다. 뿐만 아니라 한 가입자당 양방향으로 최고 1.25Gb/s 의 고속 전송이 가능하고, 광파장 라우터의 통과 대역 선폭에 따라 한 가닥의 광섬유에 64 가입자까지 수용이 가능하므로

(채널 간격이 50 GHz), 차세대 WDM-PON 구현을 위한 기술로 손색이 없다. KAIST에서는 이외에도 외부 비간섭성 광원의 저가화를 위한 상호 주입된 FP-LD 기술, PON에서 정전시 음성 신호를 저전력으로 전달하는 기술 등을 개발하여 WDM-PON 기술개발에 있어 세계적으로도 가장 선도적인 위치에 있다.

이 기술은 2002년에 Novera Optics 사에 기술 이전되어 이미 상용화 되었다. 이 기술을 이용한 WDM-PON 시스템은 2003년 말부터 KT(한국통신) 부산지부에 설치되어 운용되고 있으며, 2005년 2월에는 광주에서 FTTH 시범서비스를 시작하였다.^[7]

국내의 다른 연구 동향을 보면, 삼성에서 파장 잠김된 FP-LD를 이용한 저가형 WDM-PON 광원 구현을 위한 연구가 진행 중이며, Corning사와 유사하게 RSOA를 이용하여 WDM-PON을 고속화하는 연구도 활발히 진행하고 있다. 또한, ETRI에서는 평면도파회로(PLC: planar lightwave circuit) 기반의 외부 공진기 파장가변 레이저를 이용한 colorless 광원에 기반한 WDM-PON을 연구하고 있다. ETRI의 소자 연구 그룹에서는 WDM-PON을 위한 RSOA도 개발하고 있다. Colorless ONT를 포기하면서 WDM-PON의 경제성을 높일 수 있는 방안으로 채널간격이 약 20 nm (통상적인 WDM-PON의 경우는 0.8 nm 임)인 CWDM (Coarse WDM)에 기반한 WDM-PON을 제안하기도 하였다.

그림 3과 그림 4를 비교해 보면, WDM-PON에서는 광송수신기의 수가 가입자 수만큼 있으나, TDM-PON은 OLT에 하나의 광송수신기를 사용하고, OLT와 ONT에 MAC IC가 있다. 이것이 두 기술의 구조적인 차이



〈그림 5〉 KAIST에서 개발된 경제적인 파장 무의존성 WDM용 광원

이며, 이로 인해 성능이 달라진다. 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 2.2.1에서 설명한 바와 같이 TDMA의 근본적인 제약을 가지고 있어, 보장대역폭이 좁으나 상대적 가격은 저렴하다. 그러나, 가입자에게 보장하는 대역폭당 가격을 보면 WDM-PON이 더 저렴하게 평가되고 있다. 초기 투자비용 면에서 보면 WDM-PON이 다소 불리하나, TDM-PON 보다 가입자에게 보장하는 대역폭이 매우 넓고 QoS가 보장되므로 영상중심 서비스에 맞는 광가입자망이다. 또한 WDM-PON은 차후 고속화 등에 유리하므로 FTTH 구현 기술로서의 전망이 매우 높다고 하겠다. 특히, FTTH에서 RN 및 광섬유의 수명은 20년 이상이므로, FTTH 기술은 이를 충분히 감안하여 미래지향적인 기술이 되어야 한다. 표 2, 3에 지금까지 살펴

본 FTTH 구현 기술의 성능과 서비스, 경제적 측면의 비교표를 도시하였다. 또한, 표 4에 PON 장비 제조업체를 나타내었다. 현재 TDM-PON 시스템 장비 제조 업체는 국내외에 많이 있으나, WDM-PON은 국내에서 세계 최초로 개발되었기 때문에 아직까지는 국내에만 존재한다.

(3) TDM-PON의 진화

E-PON이나 B-PON과 같은 TDM-PON을 이미 사용하고 있다고 가정하고 다가오는 영상 중심의 서비스를 수용하기 위해서 가입자당 제공하는 대역폭을 높여야 하는 경우의 대안들을 살펴보면 다음과 같다.

- TDM-PON의 속도를 높이는 방법
 - 압축기술을 사용하여 영상서비스가 요구하는 대역폭을 줄이는 방법
 - WDM-PON으로 진화시키는 방법
- 먼저 TDM-PON의 속도를 높이는 방법은

2.2.1 절에서 설명한 이유로 인하여, 많은 어려움이 있다. TDM-PON이 저가인 것은 저가 광원인 FP-LD를 사용하기 때문인데, 전송속도가 1 Gb/s이상이고 전송거리가 20 km 이상이 되면 변조시에도 단일 모드로 발전하는 DFB 레이저를 채용해야 하기 때문에 경제성이 떨어진다. 특히 전송속도가 2.5 Gb/s인 G-PON의 경우는 고출력 DFB 레이저와 고감도 광수신기가 필요하므로 경제성이 더 떨어진다. 따라서 현재 많이 시도되고 있는 방법은 두 번째 방안으로 MPEG4 표준에서 제시하는 압축기술을 이용하여 기존의 MPEG2 압축 기술을 이용하는 것보다 영상서비스에 필요한 대역폭을 1/2 정도 줄이는 것이다. 즉, HDTV 경우를 보면 MPEG 2의 20 Mb/s를 MPEG 4 (H.264)에서는 9 Mb/s 정도로 줄일 수 있다. 그러나 아직 디코딩을 위한 상용화된 IC가 없으며, 기술이 안정화되기까지는 몇 년이 소요될 것으로 예측된다. MPEG4를

<표 2> FTTH 기술 비교(기술성)

	AON	E-PON	WDM-PON	비고
액세스방법	TDM	TDMA	WDMA	-
Protocol	Ethernet	ATM/Ethernet/Generic	투명함	투명함
광섬유 사용량	적음(1 FF + N x DF)	적음 (1 FF + N x DF)	적음 (1 FF + N x DF)	많음(N x FF + N x DF)
광인터페이스	많음 (2 N + 2) 저가가능	적음 (N + 1) Burst mode	많음 (2 N) 저가가능	많음 (2 N) 저가가능
사용 파장 수	2	2	2 N	2
광섬유당 최대 전송속도(FF)	1 Gb/s	622 Mb/s / 1 Gb/s / 2.5 Gb/s	3.2 Gb/s	100 Mb/s
가입자당 보장 속도 (상/하향)	100 Mb/s / 100 Mb/s	E; 25 Mb/s / 16 Mb/s G; 72 Mb/s / 36 Mb/s	100 Mb/s / 100 Mb/s	100 Mb/s / 100 Mb/s
가입자장치	단순	복잡	단순	단순
보완성	보장쉬움	암호화 기술 필요	보장쉬움	보장쉬움
QoS 보장성	해결방안필요	E; 해결방안필요 G; 보장됨	보장됨	보장됨
가입자 확장	가입자 증가=속도저하	가입자 증가=속도저하	속도 저하 없음	추가 FF 필요
보장 대역확장	장비 교체	장비 교체	파장별 고속화 가능	가입자별 고속화 가능
핵심기술	L2/L3 스위치	버스트 모드 송수신기 미디어 제어(MAC) IC	저가형 광원 파장무관 가입자장치	광섬유 포설

〈표 3〉 FTTH 기술 비교(서비스, 경제성)

서비스 측면	IP TV 서비스	보통	보통	우수	우수
	동시 시청채널*	2 ~ 3	1	3	3
	P-T-P 서비스	보통	보통	우수	우수
	고화질영상전화	불리	보통	우수	우수
	새로운 영상 서비스 수용	불리	불리	우수	우수
경제적 측면	원천기술확보	불리	불리	우수	불리
	유지보수 비용	상	하	하	하
	장비 가격 **	중	상	상	하
	광섬유가격	하	하	하	상
	고속화 비용	중	상	하	하
	TCO	상	중	하	중
상용시스템	많음	E; 다수, G; 소수	소수	많음	
KT 상용시험	-	E; 준비중	개발혁신시험통과	-	
표준	IEEE	IEEE/ITU-T	FASN	IEEE	

* HDTV with MPEG 2
 ** 가입자당 100 Mb/s 보장 시

〈표 4〉 PON 장비제조 업체

B-PON	Ethernet-PON	G-PON	WDM-PON
Paceon(2000)	Alloptic (1999)	FlexLight	Novera Optics
Terawave(1999)	Wave7 Optics (1999)	Optical Solutions	LG전자
Quantum Bridge(1998)	Salira Optical Network	Alcatel SA	삼우통신
Xpeed(1998)	Systems(2000)		로커스 네트워크스
Optical Solutions(1994)	테리언		성화통신
Lucent Technologies	삼성		
Marconi	다산 네트워크스		
NEC Eluminant	UTStarcom		
Okni Networks Technologies	Mitsubishi		
Allied Telesyn	Fujitsu		
Freescall (Motorola)	Sumitomo		
Tellabs			

사용하더라도 3채널의 HDTV를 제공 해야 하는 경우 요구되는 하향 대역폭은 40 Mb/s 이므로 E-PON으로는 충분한 대역폭을 제공하지 못할 뿐만 아니라, 앞으로 개발될 새로운 영상서비스의 수용에 한계가 있다.

마지막으로 TDM-PON을 WDM-PON으로 확장하는 방법이다. 이를 위해서는 그림 3

에 도시된 원격 노드의 광분배기(PS)를 광파장 라우터(AWG)로 교체하고 각 가입자 및 기지국의 ONT와 OLT의 광원을 WDM용 광원으로 교체해야 하며, 이는 많은 비용을 요구한다. 특히, TDM-PON에 설치된 광분배기가 여러 군데 있는 경우는 원격 노드의 교체가 어려우므로, 광섬유 인프라는 그대로

두고 ONT의 광원을 파장이 고정된 DFB 레이저로 교체하고 광수신기 전단에 광필터를 삽입하는 방안을 고려할 수 있다. OLT의 경우는 하나의 광송수신기를 가입자 수만큼 증가 시켜야 한다. 이 경우 광신호가 광분배기로 분배되기 때문에 생기는 높은 손실로 인하여 많은 기술적인 어려움이 예측된다. 따라서, TDM-PON으로 FTTH를 구축하고 차후 WDM-PON으로 upgrade하는 것은 처음부터 WDM-PON으로 구축하는 것보다 경제성이 떨어질 것으로 예측된다.

IV. 결론

FTTH 가입자가 200 만명을 돌파한 일본에서는 초창기에 AON 이나, B-PON 을 위주로 FTTH 를 구축하였으나, 최근에는 E-PON 을 사용하기로 하였다. 일본은 서비스의 차별화에 의한 경쟁이 아니라 지속되는 속도 경쟁에서 NTT가 다른 사업자를 추월하기 위해서 B-PON에서 E-PON으로 변경하고 있다. 반면에 미국의 큰 통신회사에서는 장비제조 업체간에 상호 연동이 보장되지 않고 기존의 전화 서비스가 어려운 E-PON은 고려하고 있지 않으며, 상호연동이 보장되고 운용유지 기능이 좋은 B-PON을 사용하기로 결정하였다. 한편 이들은 국가에서는 IP 중심으로 모든 서비스를 융합하는데 기존의 E-PON과 B-PON의 한계를 인식하고, 일본은 이미 다음 단계로 WDM-PON을 고려하고 있다고 발표하였으며, 미국의 경우는 B-PON에서 다음 단계로 G-PON을 사용하는 것으로 보도되고 있다.

한국에서는 KT가 외부 주입광을 이용한

WDM-PON 기술을 2003년부터 부산지역에 시험 적용하여 실가입자를 중심으로 서비스를 하고 있고, 금년 2월에 광주에서 WDM-PON 기반 FTTH 실가입자를 모집하여 시험 사업을 진행하고 있다. 이와 같이 FTTH 분야에서 우리는 궁극적인 가입자망인 WDM-PON을 세계 최초로 개발하여 이미 상용화 단계에 접어들었다.

지금까지 여러 가지 FTTH 구현과 현황을 살펴보았다. 이 중에서 가입자마다 독립된 파장을 할당하여 전화국과 통신을 함으로써, PtP 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. 한편 TDM-PON은 OLT에서 하나의 수신기를 사용하므로, 가입자측 레이저 제어회로의 고장은 PON 전체의 동장을 마비시킨다. 이러한 점들은 WDM-PON의 높은 대역폭 보장 (100 Mb/s 이상), 완벽한 보완성 및 QoS 보장성, 고속화의 용이성 등의 장점과 심도 있게 비교되어야 할 것이다. 아울러 FTTH를 구축하는 경우, 인프라에 해당하는 광섬유 및 원격노드는 수명이 20년 이상이므로, 장기적인 안목에서 검토한 다음 기술방식을 선정하여야, 인프라의 교체 및 재투자 등으로 인한 경제적 손실을 최소화할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. ITU-T standard recommendations G.983.1, G.984.1
2. IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee
Homepage: <http://www.ieee802.org>
3. Full Service Access Network (FSAN) Group
Homepage: <http://www.fsanweb.org>
4. M. Oksanen et.al., "Spectral slicing passive optical access network trial", ThH2, OFC 2002
5. P.Healy et.al., "Spectral slicing WDM-PON using wavelength-seeded reflective SOAs," Electronics Letters, Vol.37, No. 19, pp.1181-1182, Sept. 2001
6. Hyun Deok Kim, et. al. "A low-cost WDM source with an ASE injected Fabry-Perot semiconductor laser," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no. 8, pp. 1067-1069, Aug. 2000
7. Soo-Jin Park et. al., "Fiber-to-the-Home Services Based on Wavelength-Division-Multiplexing Passive Optical Network," IEEE J. of Lightwave Technol. vol. 22, no. 11, pp. 2582-2591, Nov. 2004
8. D. J. Shin et. al. "Hybrid WDM-TDM-PON with Wavelength-Selection-Free Transmitters," IEEE J. of Lightwave Technol. vol. 23, no. 1, pp. 187-195, Jan. 2005

저자소개



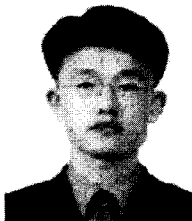
이창희

1997년 - 현재 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 교수
 1990년 - 1997년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원
 1989년 - 1990년 Bellcore 연구소(미국) 박사후 연구원(Post Doc.)
 주관심 분야 광통신, 광가입자망



백진석

2001년 - 현재 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 박사과정
 1999년 - 2001년 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 공학석사
 1995년 - 1999년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학과 공학사
 주관심 분야 광가입자망, 광네트워크 아키텍처



박근열

2001년 - 현재 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 박사과정
 1999년 - 2001년 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 공학석사
 1992년 - 1999년 부산대학교 전자공학과 공학사
 주관심 분야 광가입자망, 광시스템 모델링