

# PON 기반 가입자망을 위한 광소자의 표준화 현황 및 기술

Technology and Standard of Optical Devices for PON Based Subscriber Network

## IT 핵심부품기술 특집

박정우 (J.W. Park)

PON모듈팀 선임연구원

백용순 (Y.S. Baek)

PON모듈팀 팀장

## 목 차

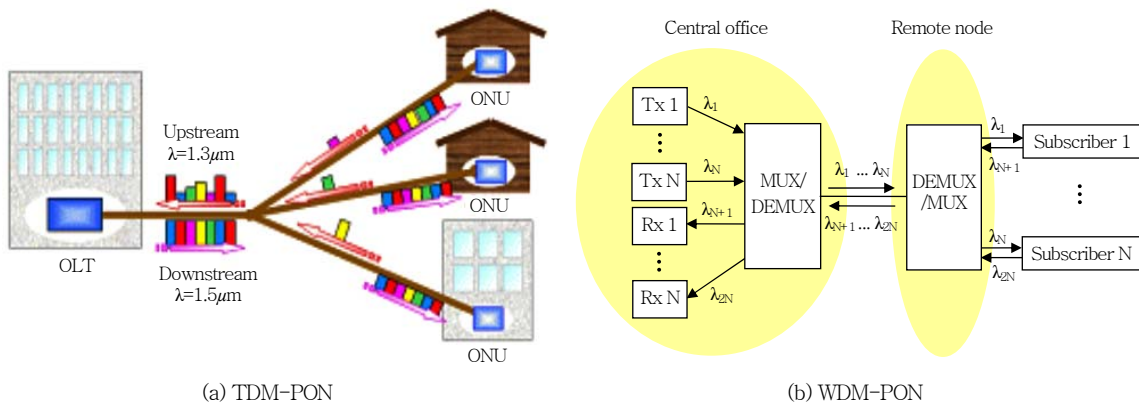
- .....
- I . 서론
  - II . G-PON, E-PON의 표준화와 이에 대응하는 광소자 기술
  - III . WDM-PON용 광소자 기술
  - IV . 결론

인터넷, HDTV, VoD 등 통신 및 방송 수요의 증가에 따라 가입자망까지 광섬유를 포설하는 이른바 FTTH의 구현이 현실화되고 있다. 광가입자망 기술은 전달망과 가입자간을 연결하기 위한 전송(선로중단, 망중단) 장치와 전송매체 등의 설비로 구성되며, 고속 액세스 전송은 일반적으로 가입자에게 수 Mb/s 사용대역을 제공하는 기술을 말하는 것이다. 특히 가입자망에서 수백 Mb/s 이상의 가입자 사용 대역을 제공할 수 있는 것은 광통신 기술만이 가능하다. 세계적으로 광가입자망의 구축은 이미 2002년부터 시작되어 미국의 경우 SBC, Verizon을 중심으로 FTTx 서비스를 시작하여 2005년 5월 현재 37개 주의 217곳에서 서비스가 진행중이며 일본의 경우 e-Japan Project로 2007년까지 FTTH 천만 가입자를 목표로 2004년 말에 이미 200만 가입자를 돌파하는 등 광가입자망 분야에서는 세계적으로 가장 앞서가고 있는 실정이다. 한국의 경우 전세계적으로 초고속 인터넷 보급률 1위로 기존의 VDSL에 의한 초고속 전송망이 이미 미국, 유럽 등의 광가입자망 대역폭과 근접한 속도를 보이고 있어 FTTH 구축은 오히려 늦어지고 있는 실정이다. 그러나 향후 방송/통신 융합 등 급격히 늘어날 대역폭 요구를 수용하기 위해서는 광가입자(FTTH) 기술로의 전개가 필수적이고 이를 수용할 수 있는 광가입자망 기술에 대해 살펴 본다.

## I. 서론

현재의 가입자망은 구리선을 사용한 xDSL 등의 기술을 통하여 수 Mbps에서 제한적으로 수십 Mbps의 속도를 사용하고 있으며, 주로 인터넷 서비스에 국한되어 사용되고 있다. 그러나, HDTV급 다채널 CATV, VoD, 원격 교육, 원격 진료, 3D 영상 등의 고품격의 화질과 실시간으로 제공되는 다양한 멀티미디어 서비스들이 요구되고 있다. 구리선을 사용한 xDSL은 속도의 제한 때문에 이러한 서비스들의 수용이 어려워, 새로운 가입자망이 요구되고 있다. 새로운 가입자망의 구성은 여러 가지 방식이 제안되고 있으나 설치비용(CAPEX) 및 운영비용(OPEX)에서 가장 장점을 가지고 있는 수동분기 방식(PON)이 가장 유력한 방식으로 기술이 주류를 이룰 것으로 예상된다

PON 방식의 장점으로는 광선로를 공유함으로써 설치비용이 작고, 전화국과 가입자 사이에 수동소자만이 깔려 있어 유지, 보수가 쉬우며, 방송(broadcast)이 용이하여 비디오 서비스에 유리하고, DWDM과 같은 향후의 증설에도 상충되지 않는다. 현재 진행중인 PON의 방식에는 하향을 TDM 방식, 상향을 TDMA 방식으로 하는 TDM-PON과 하향을 WDM 방식으로, 상향을 WDMA 방식으로 하는 WDM-PON이 있다. (그림 1)은 TDM-PON과 WDM-PON의 구성에 대한 개략도를 보여 준다.



(그림 1) PON 구성 개략도

PON 구현 방식의 표준화 진행현황을 살펴 보면, WDM-PON은 아직 국제적인 단체에서 표준화가 진행되고 있지 않으며, TDM-PON의 표준화는 IEEE, ITU-T에서 일부분을 제외하고는 완료하였다.

ITU-T의 표준화 그룹의 명칭은 SG15이며 FSAN의 지원을 받고 있고, FSAN에 소속된 업체들은 NTT, SBC, Bellsouth, BT 등 주로 통신서비스 업체들이다. IEEE의 표준화 그룹에는 802.3이라는 명칭이 붙어 있고 EFM이라고도 불리며, 참여하고 있는 업체들은 Cisco, Nortel, Intel, Lucent 등 주로 북미쪽 벤더들로 이루어져 있다. 주로 서비스 업체로 이루어진 ITU-T SG15 그룹의 요구사항이 주로 벤더들로 이루어진 IEEE 802.3 표준화 작업반의 작업에 반영되기는 하지만, 현재로는 두 그룹이 독자적인 표준화작업을 진행하고 있다. ITU-T의 SG15에서 이루어지는 PON 표준화의 명칭을 G-PON이라 하고 IEEE 802.3에서 이루어지는 PON 표준화의 명칭을 E-PON이라고 한다. 부가적으로, 더 세부적인 표준화를 하는 기관으로 IEC가 있는데, 이 기관은 주로 ITU-T SG15의 표준화 작업을 이어 받아 더 세부적인 권고안을 마련한다.

본 기고문에서는 이러한 표준화 그룹의 G-PON, E-PON의 표준화 내용과 이와 관련된 광소자의 기술적 내용과, WDM-PON에서의 광소자의 기술적 내용들을 기술하고자 한다.

## II. G-PON, E-PON의 표준화와 이에 대응하는 광소자 기술

먼저 G-PON과 E-PON의 일반적인 비교를 해 보면 <표 1>과 같이 요약할 수 있다. 통신에 사용되는 프로토콜을 보면 G-PON은 Ethernet과 ATM을 모두 수용하는 것으로 되어 있고 E-PON은 Ethernet만을 수용하는 것으로 되어 있다. ATM-PON은 비디오 전송능력이 부족하고 IP에 따르는 트래픽을 전달하기 어렵다. 반면에 Ethernet-PON은 IP 트래픽을 전달하기 쉬워 관리가 간편하여 관련된 부담을 줄일 수 있다. 이러한 면에서 두 표준화 그룹에서 Ethernet을 공통적으로 수용하고 있다. 동작속도는 IEEE에서는 1.25Gbps를 정의하고 있고, ITU-T에서는 155Mbps, 622Mbps, 1.244Gbps, 2.488Gbps를 정의하고 있다.

각각의 표준화 그룹의 PON 정의에서도 2~3개 씩 분기하여 다른 표준을 정의하고 있는데, ITU-T에서는 ODN의 손실에 따라 class A, B, C로 분류하고 있고, IEEE에서는 전송거리에 따라 1000BASE PX-10과 1000BASE PX-20으로 분류한다. 1000BASE PX-10은 10km까지의 전송이고 1000BASE

PX-20은 20km까지의 전송이다. 분기율은 두 표준화 그룹에서 모두 1:16 이상으로 정의하고 있다. BER은 ITU-T가  $10^{-10}$ 으로 정의하고 IEEE가  $10^{-12}$ 로 정의한다. IEEE의 BER이 엄격한 이유는 IEEE의 표준화 그룹에 참여하는 주요 업체가 북미쪽의 업체이기 때문에 미국의 ANSI 표준인  $10^{-12}$ 을 참고했기 때문이라고 보여진다.

두 기관의 1.25Gbps급 가입자(ONU)쪽 송신단 표준을 보면 <표 2>와 같다. 표에서 보면 송신단이 내주어야 하는 광 파워가 다른 일대일 광 전송을 위한 권고안에 비해 크다. PON의 ONU쪽에서 중앙국사(OLT)쪽에서 보내는 광신호는 1:16 이상의 분기기(splitter)를 역으로 통과한다. 1:16 분기기를 순방향으로 통과할 때는 약 14dB의 분기손실이 발생하지만, 반대로 1:16 분기기를 역방향으로 통과할 때도 1:16 분기기를 어떻게 만드느냐에 따라 다르지만 적지 않은 손실이 발생한다. 이러한 것에 기인하여 일대일 광전송에 비해 일대다 광전송에서는 더 많은 손실이 발생한다. 이를 극복하기 위해서 ONU 쪽에서 OLT로 전송할 때도 더 높은 광파워가 필요하다. 실제로 E-PON의 권고안을 만드는 EFM 그룹의 일대일 광전송 표준에서는 같은 전송거리에서

<표 1> G-PON과 E-PON의 개괄적인 비교

	G-PON	E-PON
Standard Body	ITU-T SG15 (FSAN)	IEEE 802.3 (EFM)
Wave-length	Upstream	1260~1360nm
	Downstream	1480~1500nm
Speed	Up to 2.488Gbps	1.25Gbps
Service Category	Ethernet/ATM	Ethernet
Classification	Class A, B, C with ODN Path loss (A:5~20dB, B:10~25dB, C:15~30dB)	1000BASE PX-10 1000BASE PX-20 with ODN reach
	Reach	≤20km (10km for PX-10, class B = PX-20)
Split	Up to 1:64	≥1:16
BER	$10^{-10}$	$10^{-12}$

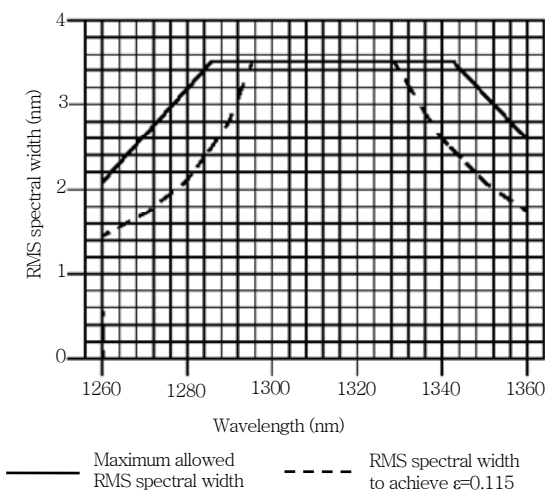
<표 2> ONU 송신단의 주요 권고 파라미터

	Unit	G-PON			E-PON	
Nominal Bit Rate	Mbps	662.08			1250	
Line Code	-	Scrambled NRZ			8B10B	
Transmitter Reflectance(max)	dB	≤-6			≤-10	
Class		A	B	C	1000BASE-	
					PX10-U	PX20-U
Mean Launched Power(min)	dBm	-6	-1	-1	-1	-1
Mean Launched Power(max)	dBm	-1	+4	+4	+4	+4
Mean Launched Power of OFF Transmitter(max)	dBm	Less than Min sensitivity -10			-45 at OLT side	
Extinction Ratio(min)	dB	10			6	

<표 2>의 표준안 보다 8.5dB 낮은 광출력을 정의하고 있다.

ONU 송신단의 허용 동작온도는 덕외(outdoor) ONU 송신단의 경우 85°C까지를 잡고 있다. 일반적으로 이러한 온도범위에서는 레이저 다이오드의 출력이 떨어진다. 온도가 높아지면 레이저다이오드에 공급되는 전자와 홀이 활성층에서 결합하며 빛을 내지 않고 활성층을 그대로 통과하여 레이저다이오드의 광출력이 떨어지게 된다. PON 가입자망의 저가 격화를 위해서 해결해야 할 문제 중의 하나가 높은 온도에서도 고출력을 내주는 레이저다이오드를 낮은 비용으로 생산하는 기술의 획득이다.

ONU 송신단에서 하나 더 중요한 파라미터가 광원의 spectral width이다. Spectral width가 넓으면 신호가 광섬유를 통과하면서 분산(dispersion)과 mode partition noise가 일어나 신호의 왜곡이 일어난다. 이러한 신호의 왜곡은 송신단 광원의 spectral width가 좁아야 적어진다. ONU의 송신단이 비록 광섬유의 분산이 제일 적은 1310nm의 파장대 광원을 사용한다 할지라도 동작온도가 달라지면 분산은 높아지므로 이에 대한 권고안이 마련되었다. 1.25Gbps급 ONU 송신단 광원의 spectral width에 대한 IEEE의 권고안은 (그림 2)의 그래프에 나타나



(그림 2) 1.25Gbps급 PX10-U 광원의 Spectral Width에 대한 IEEE의 권고안

있고, ITU-T의 권고안은 <표 3>에 나타나 있다. (그림 2)의 권고안이 나오게 되는 배경에는 ε이라는 파라미터가 있다. ε은 식 (1)과 같이 정의되는 파라미터이다.

$$\epsilon = D \times L \times (\text{RMS spectral width}) \times B \quad (1)$$

where D: 광섬유의 분산 파라미터, L: 전송거리, B: 동작속도

하나의 bit가 지속하는 시간을 1로 보았을 때 광섬유의 분산에 의해 신호가 넓어지거나 좁아지는 정도를 나타내는 파라미터가 ε이다. IEEE에서는  $|\epsilon| < 0.115$ 로 잡고 그에 준하여 권고안을 제시하였다. <표 3>에 나타난 ITU-T의 권고안은 분산과 mode partition noise에 의한 power penalty가 1dB가 되는 시점을 권고안의 기준으로 삼았다.

<표 3> 622.08Mbps급 ONU 광원의 Spectral Width에 대한 ITU-T의 권고안

	Operating wavelength	RMS spectral width
Type I	1260~1360nm	1.4nm
Type II	1280~1350nm	2.1nm
Type III	1288~1338nm	2.7nm

ITU-T에서는 덕내 ONU의 동작온도를 일단 -5°C~45°C로 잡고 있고, 덕외 ONU에 대한 온도는 아직 논의가 진행중이다. IEEE에서는 <표 4>와 같은 온도범위를 덕외 ONU의 권고안으로 하고 있다.

<표 4> 부품 Case 온도 범위에 대한 IEEE의 권고안

Class	Low temperature(°C)	High temperature(°C)
Warm Extended	-5	+85
Cool Extended	-30	+60
Universal Extended	-30	+85

1.25Gbps급 ONU 수신단의 광소자 관련 주요 항목에 대한 권고안은 <표 5>에 나타내었다. 여기서 중요한 사항은 수신감도(sensitivity)이다. PON

〈표 5〉 ONU 수신단의 주요 권고 파라미터

	Unit	G-PON			E-PON	
Nominal Bit Rate	Mbps	1244.16			1250	
Receiver Reflectance(max)	dB	≤-20			≤-12	
Class		A	B	C	1000BASE-	
					PX10-D	PX20-D
Sensitivity	dBm	-25	-25	-26	-24	-27
Minimum Overload	dBm	-4	-4	-4	-5	-3

에서의 수신감도 권고안은 일대일 광전송에 비하여 엄격하게 되어 있다. IEEE 802.3의 일대일 광전송의 수신감도 권고안은 10km 전송일 때 -20dBm인데 반해 PON의 경우에는 -24dBm으로 권고하고 있다. ITU-T의 권고안은 그보다 더 엄격한 -26dBm으로 하고 있다. 이러한 원인은 PON은 기본적으로 OLT에서 나오는 빛을 분기를 하기 때문에 가입자쪽으로 오는 광세기가 낮기 때문이다. 일반적으로 수신감도는 잡음(noise)에 의해 제한 받는다. 수신단에서의 잡음은 수광소자의 잡음, 로드저항에 의한 잡음, 전치증폭기에 의한 잡음이 있다. 이러한 잡음 요소들을 구현할 수 있는 만큼 최대한 줄였을 때, 1.25Gbps, 10dB 소광비의 입력에 대해 수신감도는 약 -31dBm쯤 된다. 그런데 실제로 구현할 때 각 잡음 요소들이 모두 최적화되어 있지는 않기 때문에 -31dBm의 수신감도를 얻기는 어렵다. 수광소자의 암전류가 10nA, 응답도(responsivity)가 1.0A/W, 로드 저항이 1.5kΩ, 전치증폭기의 잡음 전류가 200 nArms일 때의 수신감도는 약 -27dBm이 된다. 여기서 주요 잡음원은 전치증폭기에 의한 잡음이다.

ITU-T, IEEE의 권고안에는 명시적으로 규정되어 있지는 않으나 광트랜시버에서 중요한 요소 중의 하나가 송신단과 수신단의 혼신(crosstalk)이다. 송신단과 수신단과의 누화에는 광학적인 것과 전기적인 것이 있다. 광학적인 것은 송신단에서 나온 빛이 같은 트랜시버에 있는 수신단에 들어감으로써 잡음 성분으로 기여하는 것이고, 전기적인 것은 송신단의 레이저 다이오드를 구동하기 위해 인가하는 전기적

신호가 같은 트랜시버 내에 있는 수신단으로 전달되어 신호의 혼선이 일어나는 것을 말한다. 허용 혼신의 크기는 광학적인 경우에는 약 -40dB 이하이고, 전기적인 것은 약 -100dB이다. 이러한 수치가 나오게 된 것은, 수신단의 권고 수신감도의 -10dB 이하로 떨어지는 점에 해당하는 혼선에서 나온 수치이다.

한편 가입자망까지 광통신을 구현하는 가장 중요한 핵심요소는 현재 광가입자망의 구성비용에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 광 모듈의 단가 절감을 통한 가격 경쟁력의 확보에 있다. 광가입자망의 경쟁력 확보를 위한 저가형 광 모듈 개발 현황에 대해 살펴 본다.

전화국에 위치하는 OLT용 광송수신기는 송신 1.49μm, 수신 1.31μm로 중심파장이 할당되어 있으며 광원은 전송에 따른 분산에 의한 에러발생을 방지하기 위해 DFB-LD가 사용되며, 각 가입자별로 전송되는 상이한 세기의 신호를 검출하기 위해 수신감도가 우수하고 버스트 모드 동작이 가능한 광수신기가 이용된다. TDM 기반의 수동 광 네트워크의 구성에서는 통신 신호의 송수신과 더불어 방송신호를 제3의 파장에 실어 아날로그 방식으로 수용하는 triplexer의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이를 반영하여 가입자쪽에 위치하는 ONT용 광송수신기는 송신 1.31μm, 수신 1.49μm(디지털 신호)와 1.55μm(아날로그 신호)로 중심파장이 할당되어 있다. 광원은 가입자단에 위치하는 속성상 저전력 소비 및 넓은 온도 범위(-40~85°C)에서 비냉각 동작이 가능해야 한다. 이를 위해 온도 특성이 우수한 1.3μm 대역의 FP-LD가 주로 사용된다. 또한 TDM 시스템의 특성상 버스트모드 동작이 이루어져야 한다. 전송거리가 20km인 PON 모듈에서는 DFB-LD의 사용이 요구되기도 한다. 또한 CATV 신호 중첩에 의한 TPS를 구현하기 위해 CATV의 아날로그 신호 수신을 위한 아날로그 광수신기를 포함하기도 한다.

한편 지금까지 언급한 송신기와 수신기들의 자체 특성도 중요하지만 이들을 컴팩트한 하나의 양방향 모듈로 구성하는 방법들이 더 중요하다. 구성하는



방법에 따라 양방향모듈의 성능이 결정되는 기술적인 측면도 있고, 대량생산으로 가격저하를 유발할 수 있는 경제적인 측면도 있다. 현재까지 주류를 이루고 있는 방법은 송신기와 수신기를 각각 TO 캔에 패키징하여 WDM 필터를 결합하여 구성하는 방법이다. 이 방법은 광학적, 전기적 누화가 작고 기존의 기술을 이용하는 장점이 있다. 그러나, 부품 수가 많이 필요하며 모듈의 크기가 크고, 능동정렬이 필요하여 저가격화에 한계를 가지며 대량생산에 적합하지 않다. 이러한 점을 극복하고자 PLC 기반의 양방향 모듈 제작 기술이 제안되었고, 여러 곳에서 많은 연구가 진행되어 왔다. PLC 기반의 양방향 모듈 제작 기술은 부품 수가 적으며 모듈 크기가 작고 수동정렬을 하므로 대량생산이 가능하다는 장점이 있다.

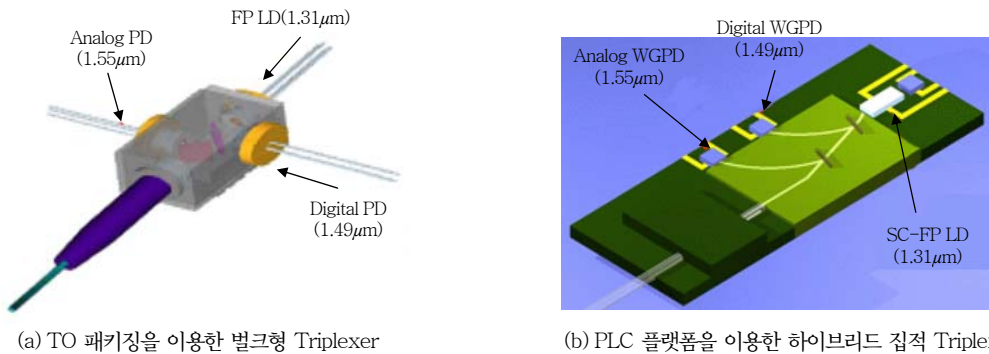
상용화된 TDM-PON용 광송수모듈은 TO 캔 패키징을 이용한 벌크형 광모듈로 Infineon 등 해외 기업과 한국의 빛과 전자, 네오텍, OE 솔루션 등에서 제작, 판매하고 있다. PLC 하이브리드 집적형 광송수신 모듈의 개발은 NEC, NTT 등 일본을 중심으로 활발하게 진행되고 있으나[1], 이중 소자간의 결합 효율 향상 등 기술적 난이도로 상용제품은 발표되지 않고 있고, 미국의 Xponent사가 2005년 OFC에서 E-PON 스펙을 만족하는 triplexer를 발표한 바 있다[2]. 국내에서는 ETRI, 삼성에서 상용화를 목표로 개발중에 있다. (그림 3)은 현재 시판중인 벌크형 triplexer 광모듈과 ETRI에서 개발중인 PLC형 triplexer의 개략도를 보여주고 있다.

### Ⅲ. WDM-PON용 광소자 기술

WDM-PON은 여러 채널의 광을 하나의 광섬유를 이용하여 통신하는 방식으로 E-PON, G-PON 과는 달리 광소자의 대역폭을 최대한 활용할 수 있고 보안성에서 탁월한 우위를 가질 수 있으나 다수의 파장 운용에 따른 다채널 광원 및 분배기 등 고가의 광 모듈을 필요로 하여 비용 측면에서 불리함을 가진다. 이러한 파장분할 방식의 단점을 극복하기 위한 여러 가지 망 구성 방식이 제안되고 있는 상황이다. 이에 필요한 저가형 다채널 광 모듈을 개발에 대해 살펴본다.

WDM-PON용 광가입자망 구성용 광소자는 가입자 수만큼의 다양한 파장의 광원을 필요로 한다. 따라서 망 구성에서의 핵심요소는 안정적이며 저가의 다채널 광원의 확보에 있다. 일반적으로 파장 분할 방식의 네트워크는 정확한 파장 관리를 요구하고 있으며 이를 충족시키기 위해서는 파장 모니터링이 가능한 파장 가변 레이저 또는 ITU 규격을 충족시키는 DFB-LD 어레이를 광원으로 사용해야 한다. 그러나 이러한 고가의 전달망용 광소자를 가입자망에 적용하기는 비용 측면에서 불가능하여 파장 관리가 간단하거나 불필요한 저가의 다채널 광원의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

저가형 WDM-PON 광원 구현을 위한 방식으로는 LED 또는 FP-LD를 이용하는 방법이 연구되었으나[3],[4] LED의 경우 스펙트럼의 일부만을 사



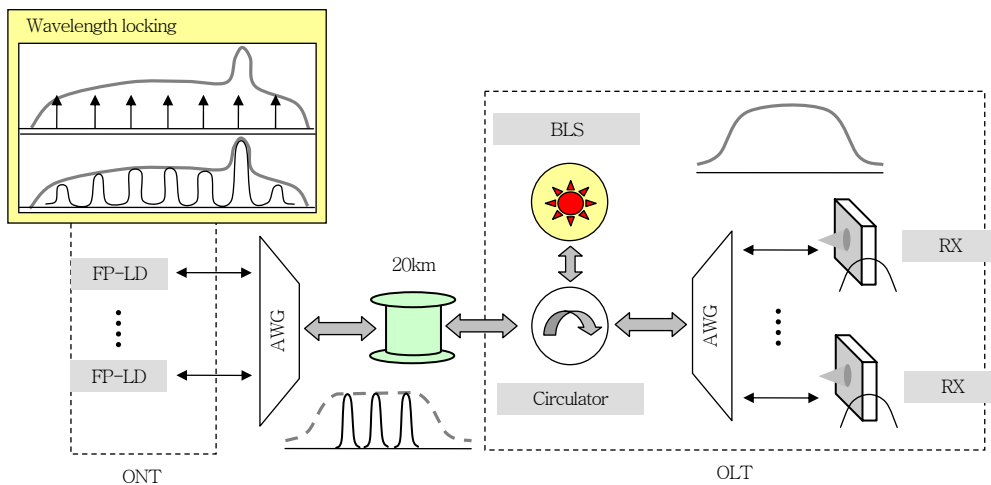
(그림 3) TDM-PON Triplexer용 양방향 모듈

용하는 낮은 효율로 인하여 만족할 만한 출력광 세기를 가지지 못하며 FP-LD의 경우 모드 분할 잡음(mode partition noise)으로 인해 사용하기에 적합하지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 FP-LD에 시드 광원을 주입하여 특정파장을 발진시키는 injection-locking 방식이 제안, 연구되어졌다[5],[6]. 이는 (그림 4)에서와 같이 광대역 광원(BLS)으로부터 파장 분할용 수동 분배기인 AWG를 이용하여 FP-LD에 특정 파장을 주입하는 방식으로 모드 분할 잡음 특성을 해결할 수 있다. 이러한 용도의 FP-LD는 시드 광원의 입사를 위해 저반사 박막 증착이 이루어져야 하며 모드 분할을 방지하기 위해 FP-LD의 모드 간격을 AWG의 파장 간격 이하로 줄여야 한다. 한편 광대역 광원의 AWG를 사용한 필터링에 의한 시드 광원 생성을 위해 고출력의 (~20dBm) 광대역(>40nm) 광원이 필요하다. 이러한 고출력의 광원은 광섬유 증폭기(EDFA) 또는 SLED를 이용하여 구현할 수 있으나 시장 진입을 위해서는 이들 부품의 저가화도 핵심 사항이 된다. FP-LD의 injection-locking에 의한 WDM-PON 구성은 기존의 최대 현안인 WDM-PON의 고비용 문제를 어느 정도 해결하였으나 TDM-PON 방식과의 경쟁을 위해서는 핵심 광부품들의 저가화가 필요하다. 한편 FP-LD를 이용하는 WDM-PON 방식은

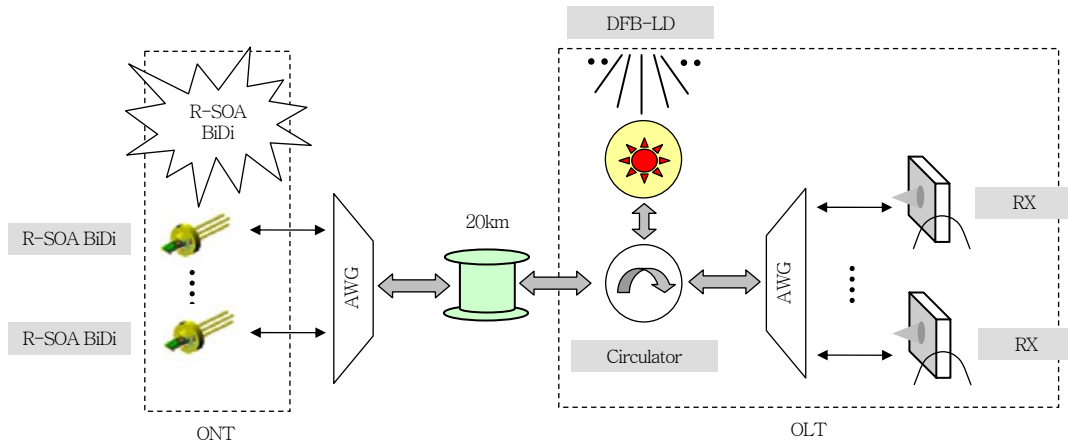
1Gb/s 이상의 고속 변조가 불가능하여 향후 광가입자망 속도 증가에 대처하기 위해서는 이를 극복하기 위한 연구를 필요로 한다.

또 다른 저가형 다채널 광원의 구성 방식으로는 반사형 반도체 광증폭기(R-SOA)를 이용한 WDM-PON 구성도 시도되고 있다. 반도체 광증폭기의 광대역 증폭 특성(>50nm)을 이용하여 시드 광원을 주입하고 반도체 광증폭기의 직접 변조를 통하여 고속의 데이터를 만들어 내는 방식이다. 시드 광원으로 광대역 광원의 스펙트럼 분할을 이용하는 경우 시드 광원과 ASE 잡음간의 공진에 의해 신호 특성 저하가 나타나나 반도체 증폭기를 포화영역에서 동작하거나[7] 광대역 광원대신 DFB 어레이를 이용하여 시드 광원을 구성하는 방법도 제안되었다. DFB 어레이를 이용하는 경우 DFB의 높은 출력광 세기를 감안하여 수십 개의 PON 시스템이 하나의 광원을 공유하여 코스트를 줄일 수 있다. 반도체 광증폭기를 이용한 WDM-PON 광원의 제작은 FP-LD에 비해 상대적으로 고가이나 Gbps 이상의 변조 속도를 구현할 수 있어 차세대 FTTH 솔루션으로 자리매김이 가능하다. (그림 5)는 반도체 광증폭기를 이용한 WDM-PON 시스템의 구성도를 나타내며 변조 속도 1.25Gbps, 25km 전송을 성공적으로 구현하였다.

위에 제안된 WDM-PON용 광소자들은 모두



(그림 4) Injection Locked FP-LD를 이용한 WDM-PON 시스템 구성도



(그림 5) 반사형 반도체 광증폭기를 이용한 WDM-PON 시스템 구성 개략도

<표 6> Athermal AWG에 관한 국내외 연구 현황

Technology item	Polymer/silica hybrid	Mechanical	All polymer		
Commercial product	NEL	Ignis(NKT)	No		
Channel spacing	200GHz	100GHz			
Wavelength stability	0.5pm/K	0.5pm/K			
Insertion loss	6dB(max)	3dB(typ), 4.5dB(max)			
Research groups	NTT	Furukawa(Fitel)	HHI	Photon-X	ETRI
- Channel spacing	100GHz	100GHz	200GHz	100GHz	100GHz
- Wavelength stability	0.2pm/K	0.2pm/K	2pm/K	0.5pm/K	10pm/K
- Insertion loss	<3.2dB	<2.8dB 1.8dB peak	<10dB 8dB peak	<4dB 3dB peak	<7dB 6dB peak

OLT, ONT에 적용 가능하다. 그러나 OLT용 광소자의 경우 가입자 수만큼의 광원이 CO에 필요하므로 안정된 파장의 광원 개발과 더불어 소형화, 집적화 또한 매우 중요하다. 이를 구현하기 위해 PLC 플랫폼 상에 다채널 광원을 구현하여 기존의 다채널 광원구조에서 크기를 획기적으로 줄일 수 있다. 이를 위해 PLC 플랫폼에 AWG와 광원, 광검출기를 집적하여 다채널 광송수신소자를 구현하는 방식이 가능하다. 다채널 광원으로는 앞서 설명한 반사형 광증폭기를 이용하는 방식과 PLC 도파로 상에 회절격자를 구성하여 반도체 광증폭기와 더불어 외부 공진형 레이저를 구성하는 방식이다. 이러한 다채널, 소형 WDM-PON 광송수신기의 제작을 위해서는 반도체 어레이 소자의 안정적 수율 확보 및 멀티 칩

플립칩 본딩 공정 기술의 확보가 매우 중요하다.

한편 WDM-PON의 수동분기 소자는 CO로부터의 다채널 신호를 각 가입자로 할당된 파장별 신호 분할이 가능한 소자로 박막을 이용한 파장 분기 장치와 어레이 도파로형 회절격자(AWG)를 사용할 수 있으나 DWDM 방식의 다채널(16 또는 32채널) 분기에는 주로 AWG가 사용된다. 수동분기 소자는 시분할 방식에서와 같이 옥외 소자로 가장 핵심이 되는 요소는 온도변화에 따른 분기중심파장이 변하지 않아야 하는 온도 무의존성(athermal)을 구현하는 것이다. Athermal AWG를 구현하는 방식으로는 AWG의 입력부분의 위치를 기계적인 장치로 변화시켜 온도 의존성을 없애는 방식이 있고 실리콘과 폴리머의 상이한 굴절률 변화계수를 이용하여 실리콘



카 경로의 일부에 폴리머를 삽입하는 하이브리드 방식과 폴리머 기판을 이용하여 폴리머 AWG를 이용하는 올-폴리머 방식 등이 연구되어 일부는 이미 상용화되어 있다. 국내에서는 ETRI에서 폴리머를 이용한 Athermal AWG의 연구가 이루어지고 있으며 [8] 상용 제품 개발은 이루어지지 않고 있다. <표 6>은 Athermal AWG에 대한 국내외 연구 및 상용화 현황을 나타내고 있다.

WDM-PON 가입자망 구성은 한국에서 가장 활발하게 연구되고 있으며 특히 FP-LD를 이용한 방식은 KT와 노베라에 의해 세계 최초의 WDM-PON을 이용한 FTTH 상용 서비스가 시도될 것으로 보여진다. 이를 위한 부품은 국내에서 주로 개발되고 있어 성공적인 운영 시 WDM-PON 광가입자망 기술의 세계적 주도권 확보에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 앞서 언급한 바와 같이 WDM-PON 표준화의 경우 초기 단계이나 국내의 앞선 기술력을 바탕으로 WDM-PON 표준화를 선도하기 위한 표준화 작업이 진행중에 있다.

#### IV. 결론

E-PON, G-PON 기반 광가입자망을 실현하기 위해서는 저가의 광트랜시버의 대중화가 필요하다. 그러나, PON은 기본적으로 광신호를 분기하는 구조를 가지고 있어, IEEE와 ITU-T에서 권고하는 송신부와 수신부의 표준은 점대점 광송수신에 비해 엄격하게 되어 있다. 결과적으로 기존의 광소자에 비해 더 나은 특성의 광소자가 필요하다. 이와 함께 동작 온도에 따라 특성이 크게 변하지 않는 광소자가 요구된다. 이러한 점이 PON에서 요구되는 광트랜시버를 구현하는 데 있어 중요한 사항이다. 이와 함께 송신단과 수신단의 혼신을 억제하는 기술 개발이 필요하다. 이때, 광가입자망 조기구축에 따른 시장 점유 및 관련 산업 활성화 측면에서 본 표준화 추진 사항 활용 및 국내 고유 기술 확보에 관한 추진 체계 확립이 무엇보다 중요한 시점이라고 생각한다. 최근의 국내에서도 광가입자망 시범 서비스가 진행되고

있으며 머지않아 본격적인 상용화가 이루어질 것으로 예상된다. 지금까지 어떤 광소자보다 큰 규모의 시장이 예상되는 광가입자망 시장을 위해 고유기술을 활용한 독창적이고 경쟁력 있는 기술을 자체 개발하여 고품질, 저가화의 달성이 무엇보다 중요한 시점이다.

#### 약어 정리

ASE	Amplified Spontaneous Emission
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BER	Bit Error Rate
BLS	Broadband Light Source
DWDM	Dense-Wavelength Division Multiplexing
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier
FP-LD	Fabry-Perot Laser Diode
FTTH	Fiber To The Home
IEC	International Electrotechnical Commission
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminal
PLC	Planar Lightwave Circuit
PON	Passive Optical Network
SG	Study Group
SLED	Superluminescent Light Emitting Diode
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TPS	Triple Play Service
VoD	Video On Demand
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDMA	Wavelength Division Multiple Access

#### 참고 문헌

- [1] M. Oguru et al., "1.25Gb/s WDM Bi Directional Transceiver Module Using DFB-LD and PLC with Spot-size Conversion Region," ECTC, 2002, p.305.
- [2] H. Blauvelt et al., "High Performance Planar Lightwave Circuit Triplexer with Passive Optical Assembly," OFC OThU7, 2005.
- [3] S.S. Wagner et al., "Broadband High-Density WDM Transmission Using Superluminescent Diodes," *Electron. Lett.*, Vol.26, No.11, 1990.

- [4] S.L. Woodward et al., "A Spectrally Sliced PON Employing Fabry-Perot Lasers," *Photo. Technol. Lett.*, Vol.9, 1998, p.1337.
- [5] H. Kim et al., "A Low-Cost WDM Source with an ASE Injected Fabry-Perot Semiconductor Laser," *Photo. Technol. Lett.*, Vol.12, 2000, p.1067.
- [6] D. Shin et al., "C/S-Band WDM-PON Employing Colorless Bidirectional Transceivers and SOA-Based Broadband Light Sources," OFC, PDP36, 2005.
- [7] P. Healey et al., "Spectral Slicing WDM-PON Using Wavelength-seeded Reflective SOAS," *Elec. Lett.*, Vol.37, 2001, p.1181.
- [8] J. Lee et al., "Birefringence as a Function of Upper-cladding Sub-layers in Polymeric Waveguides," OFC, MF33, 2004.