

파장재활용 방식의 WDM-PON

WDM-PON Technology Based on Wavelength Re-use Scheme

광통신기술 특집

유제훈 (J.H. Yu)	WPON기술팀 책임연구원
김병휘 (B.W. Kim)	WPON기술팀 책임연구원
이상수 (S.S. Lee)	WPON기술팀 팀장
고재상 (J.S. Koh)	호남권연구센터 센터장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 파장재활용 WDM-PON 기술원리
 - III. 파장재활용 기가급 WDM-PON 링크
 - IV. 광주 FTTH 인프라 적용
 - V. WDM-PON 경쟁력 및 사업화
 - VI. 결론

세계 최초 상용화 개발에 성공한 RSOA 기반 파장재활용 WDM-PON 기술의 원리 및 전송특성에 대해 살펴본다. 본 기술은 파장 당 1.25 Gbps로 한 가닥의 광 섬유로 20 Gbps(16파장)/40 Gbps(32파장) 대역폭을 제공하며, 하향 광신호를 상향 광신호로 재활용함으로써 광모듈의 인벤토리 문제가 없고, 경제성도 우수한 기술이다. 본 기술은 2008년 광주 FTTH 인프라 구축에 적용되었고, 해외 시장 진입을 위해 다양한 방안이 추진중이며, 러시아 시장 개척을 위해 대규모 국제공동연구가 2008년 11월부터 추진되고 있다.

I. 서론

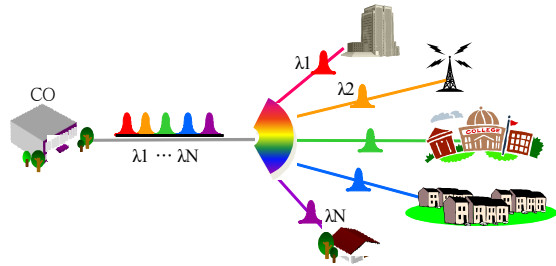
WDM-PON 기술은 (그림 1)과 같이 광섬유 한 가닥을 통해 서로 다른 파장의 빛을 묶어서 보내는 파장분할다중 방식으로, 각 가입자에게 고유의 독립적인 파장 할당을 통해 점대점(point-to-point)의 전용채널을 제공하며, 가입자 당 고유의 광 파장을 사용하기 때문에 지금까지 나온 기술에 비해 가장 높은 속도를 제공할 수 있다.

WDM-PON 기술은 E-PON 및 G-PON 등과 같은 시간분할방식인 TDMA-PON에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

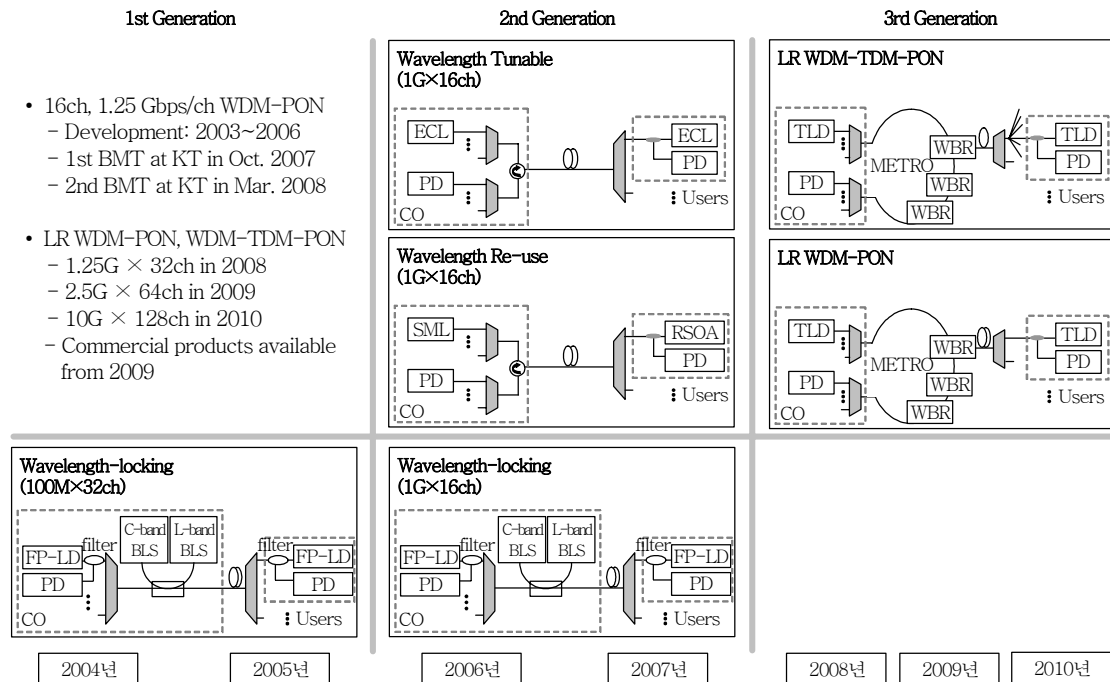
- 다른 파장을 사용하므로 양방향 대칭형 서비스를 보장, 독립적으로 대역폭을 할당
- 서로 다른 파장의 신호를 해당 가입자만 수신하므로 보안성 우수
- 파장별로 서로 다른 프로토콜을 수용하고, 가입자별로 서로 다른 서비스를 유연하게 제공
- 동시 사용자 수에 의해 대역폭 변동이 발생하지 않으므로 IPTV 등 IP 기반의 멀티미디어

서비스(IPTV/On-demand) 제공에 매우 적합한 방식

WDM-PON은 우리나라가 세계에서 가장 앞선 상용화 기술을 보유하고 있으며, (그림 2)와 같이 기술 발전이 이루어지고 있다. 2005년 파장 당 100 Mbps 32파장 WDM-PON이 광주광역시 FTTH 인프라 구축에 처음 적용되었고, 2008년에는 파장 당 1.25 Gbps WDM-PON이 구축되어 일반 가입자를 대상으로 상용 서비스중에 있으며, 2009년에는 파장 당 2.5 Gbps WDM-PON 기술이 상용화 될 것으로 예상되고 가입자 전송거리가 최대 100 km까지 가능한 LR-PON로 발전할 것이다[1].



(그림 1) WDM-PON 개념



(그림 2) WDM-PON 기술 로드맵

WDM-PON에서 가장 중요한 요구사항 중 하나는 광 단말장치들이 사용되는 광파장에 무관해야 된다는 것이다. 이를 만족시키지 못할 경우 사용하는 광파장 개수만큼의 다양한 광단말 장치의 종류가 발생하는데 이를 인벤토리(inventory) 문제라고 한다. 이 경우 광단말 장치의 생산, 관리, 그리고 설치에 큰 어려움이 발생한다. 이를 해결하는 방법으로는 광 단말 장치내 광모듈의 광파장을 임의로 가변할 수 있도록 하거나, 또는 광모듈이 외부에서 주입된 광에 의해 파장이 결정되게 하는 방법이 있다. 전자를 컬러프리(color-free) 방식 그리고 후자를 컬러리스(color-less) 방식이라고 흔히 부른다.

컬러리스 방식에는 멀티모드 광원인 FP-LD에 특정 파장의 광을 주입할 경우 FP-LD는 주입된 광파장에 해당되는 단일 광파장을 출력하게 되므로 WDM 통신을 할 수 있게 되는데 이를 광파장 로킹(wavelength locking)이라고 한다. 이 방식은 국사 및 가입자 단말들에게 외부 광을 주입하기 위해서 두 대의 광대역광원(BLS)이 국사에 설치된다[2], [3]. 또 다른 방법으로써 국사로부터 데이터를 싣고 내려오는 하향 광신호를 가입자 광단말에서 평탄하게 만든 후 상향 데이터를 실어서 국사로 되돌려 보낸다. 이를 “하향 광신호 재활용 방식”이라고 한다. 하향 광신호 재활용 방식의 특징은 두 가지로 요약된다. 첫째는 하향 광신호를 재활용하여 상향 광신호로 사용한다. 둘째는 하향 광신호와 상향 광신호의 파장이 같다. 이러한 특징을 염두에 두고, 광파장 로킹 방식과 비교할 때 다음과 같은 장단점이 발생한다.

(1) 재활용으로부터 오는 장점

광파장 로킹 방식에 비해서, ONT/ONU를 위한 고가의 BLS를 필요로 하지 않으므로 링크 구조가 간단해지며 운용 및 관리 비용이 상대적으로 감소하며, 가입자 당 장치 가격 경쟁력이 상승한다.

(2) 재활용으로부터 오는 단점

실제로는 하향 광신호를 완전히 평탄화 할 수 없으므로 이로 인해서 상향 전송 성능이 상대적으로 떨어

진다. 현재 수준으로는 1.25 Gbps 속도의 데이터를 20 km 거리로 전송할 때 독립된 광원으로 보내는 경우와 비교하면 약 2 dB 정도 수신단에서 수신감도가 떨어진다. 하지만 송수신 구간(링크)의 광 파워 마진이 2 dB 이상 여유가 있다면 에러 없는 전송 품질을 유지하는 데 전혀 문제가 없다.

(3) 상·하향 파장이 동일로부터 오는 장점

상·하향 동일 파장일 경우 간단한 파장 다중화 및 역다중화 기능을 광삽입 추출필터(OADF)로 실현할 수 있게 되므로 feeder 망을 링 형태로 구축 가능하다. 따라서 현재 feeder 케이블이 도로를 따라 환형으로 포설된 경우에도 국사와 분배점까지 점대점으로 연결되는 비효율을 탈피하여 좀 더 효율적으로 feeder 케이블을 사용할 수 있고, 좀 더 유연한 가입자 망설계를 가능케 한다. 또한 광파장 다중화 및 역다중화 장치는 상·하향 상이한 파장대역을 통과시키기 위한 FSR 조건을 구비할 필요가 없으므로 특수 제작된 AWG가 필요치 않고, FSR이 없는 AWG 또는 TFF가 사용될 수 있다. FSR이 요구되지 않으므로 광파장을 손쉽게 다수의 지점에서 나누어서 다중화 및 역다중화가 가능하게 되므로 가입자 주거환경에 따른 유연한 망구성이 가능하게 된다.

(4) 상·하향 파장이 동일로부터 오는 단점

단점으로는 현재와 같이 feeder 망이 단일 광코어로 구성되어 상·하향 광신호가 양방향 통신을 하는 경우에, 커넥터의 불완전 접속 및 레일리 반사 등 하향 광신호가 내려가는 도중에 반사되어 되돌아오는 반사광이 가입자 데이터를 싣고 올라오는 상향 광신호에 대해서 노이즈로 작용한다. 현재 기술 수준으로는 E-PON 표준화에서 제시된 20 km 광링크에서 32 dB의 반사손실을 견딜 수 있다. 한편 feeder 망을 환형으로 구축할 경우 하향과 상향 통신로가 같지 않으므로 반사문제는 무시될 수 있다.

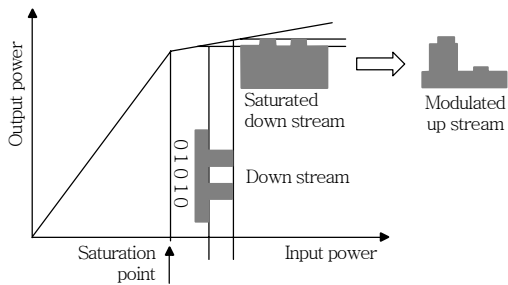
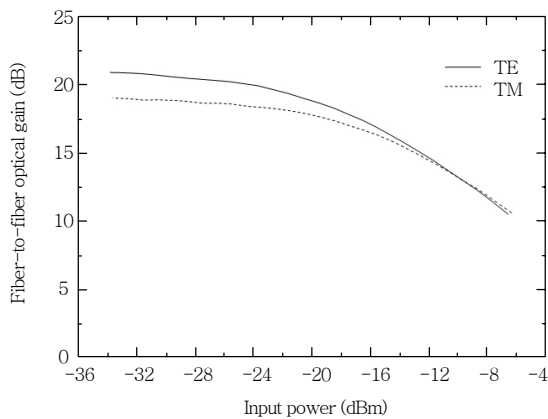
본 고에서는 ETRI WPON 기술팀이 세계 최초 상용화 개발에 성공한 RSOA 기반 파장재활용 방식의 WDM-PON 기술의 원리 및 전송특성을 설명하

고, 본 기술이 적용된 광주 FTTH 인프라 WDM-PON과 본 기술의 사업화 방향을 제시한다.

II. 파장재활용 WDM-PON 기술 원리

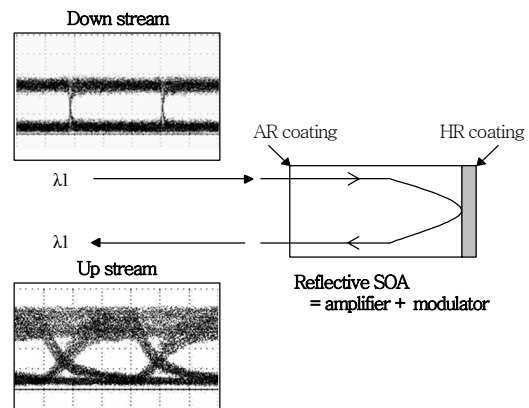
국사에서 하향데이터를 신고 내려오는 하향 광신호를 재활용하기 위해서는 디지털 신호로 진폭 변조된 광신호를 평탄화 하여야 한다. 광신호의 평탄화는 RSOA라는 단말장치의 광송신모듈에 사용되는 광소자의 광포화 특성을 활용하는 “광적 평탄화”와 광적 평탄화만으로는 불충분하므로 RSOA에 주입되는 전류를 하향 광신호 진폭에 맞추어 주입하는 “전기적 평탄화”가 있다.

하향 광신호 평탄화는 (그림 3) 및 (그림 4)와 같이 RSOA의 이득포화 특성으로 설명된다. 변조된 하향 광신호는 저반사 코팅된 면을 통하여 RSOA로 입력되어 증폭된 후 다시 고반사 코팅된 후면에서 반사되어 다시 저반사 코팅 면으로 출사된다. RSOA에 입력



(그림 3) RSOA 이득포화 특성

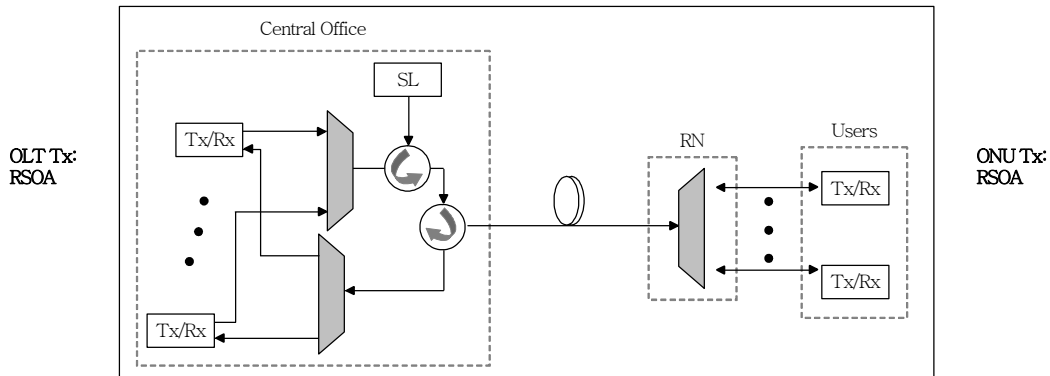
되는 광신호 파워가 일정 수준이상으로 크면 입력된 광신호는 (그림 3)과 같이 이득포화 상태에 있게 되는데, 즉 입력광의 “0” 레벨에 비해서 “1” 레벨은 덜 증폭된다. 따라서 입력광의 “0” 레벨과 “1” 레벨의 크기 차이가 어느 정도 줄어들게 되어 평탄화 된다. 한편 RSOA에 주입되는 DC 전류를 크게 하면 이득이 커지는 현상을 활용하여 입력광이 “0” 레벨 일 때 RSOA에 주입되는 DC 전류를 늘여줌으로써 입력광신호가 전기적으로 평탄화된다. RSOA 내에서 평탄화되고 증폭된 하향광은 상향 데이터로 직접 변조하여 국사 방향으로 송출됨으로써 재활용된다. 따라서 하향 광신호 재활용 방식에서 RSOA는 광평탄화, 광증폭, 그리고 광변조 3가지 역할을 광파장에 무관하게 수행한다[3].



(그림 4) RSOA를 이용한 파장재활용 기술 개념

III. 파장재활용 기가급 WDM-PON 링크

(그림 5)는 현재 상용망에 적용중인 RSOA 기반의 파장재활용 기가급 WDM-PON 링크 구조이다. OLT 단에 위치한 SL 모듈에서 발생한 다파장 seed light이 circulator를 통과한 후 MUX에서 파장분할이 된 후 각 OLT RSOA Tx로 입력된다. 입력된 신호들은 1.25 Gbps로 변조된 후 Mux를 통해 WDM 결합이 된 후 광 링크로 전송되며, 상향/하향 광신호의 파장이 동일하기 때문에 circulator를 사용하여



(그림 5) RSOA 기반 파장재활용 WDM-PON 광링크 구조

상향 신호와 하향 신호를 분기시킨다. 광섬유 20 km를 통과한 후 RN에서 파장 분할기를 통하여 각 가입자 단으로 입력된다. 입력된 광신호의 일부는 광수신기로 입력되어 하향 신호를 복원하고, 나머지는 반사형 증폭기에 주입되며, 상향 신호로 변조된 후 반사되어 국사 수신 단으로 상향 전송되는 구조이다.

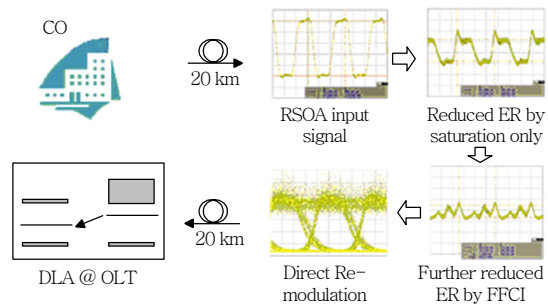
RSOA의 이득포화 특성으로 20 km 전송거리에서 1.25 Gbps 속도의 상향 전송 및 2.5 Gbps 속도의 하향 전송이 가능함을 실험적으로 확인할 수 있다. 그러나 RSOA의 이득포화만으로는 하향 광신호의 소광비가 3 dB 정도로 제한되며, 낮은 소광비로 인해서 하향 광링크를 구성하는 소자들과 하향 광파장들의 파장 정렬 상태의 변화에 따라서 소광비가 변할 경우 하향 전송의 품질이 급격히 저하될 수 있으므로 실제 망에 적용하기 위해서는 이 문제를 해결해야 한다. 이를 위해 선행전류 주입(FFCI) 방식과 신호레벨 선택조절(DLA) 방식을 적용하여 광신호의 품질을 개선하였다. 선행전류 주입 방식은 하향 광신호를 수신하여 하향 광신호가 '0' 레벨의 경우 '1' 레벨 경우보다 RSOA에 전류주입을 크게 하고, RSOA의 이득을 하향 광신호 정보에 따라 동적으로 제어함으로써 하향 광신호에 포함된 신호정보를 제거한다. RSOA 이득포화 방식이 순수한 광적으로 하향 정보를 제거하는 방식인데 비해서 이 방식은 전기적으로 제거하는 방식이다. 따라서 RSOA 이득포화 방식과 함께 이 방식을 전기적인 보상용으

로 사용할 경우 파장재활용의 품질을 향상시킬 수 있고, 이에 따라 광 링크의 파워마진 및 하향 소광비를 개선할 수 있다.

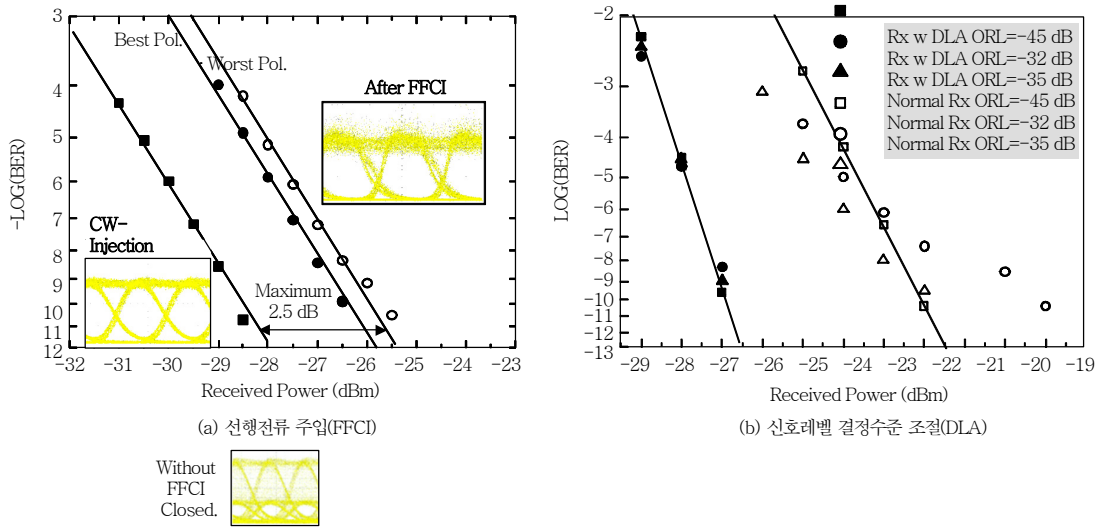
한편 불완전한 파장재활용 과정에서 발생하는 잡음과 파장재활용 광링크의 특성상 불가피하게 발생하는 반사잡음은 전송품질의 열화를 초래하여 파장재활용 방식이 실제 망에 적용되는 데 장애가 된다. 수신 단에서 신호레벨 선택조절 방식을 사용하여 '0' 레벨과 '1' 레벨 사이의 결정을 동적으로 제어함으로써 잡음의 효과를 무력화 할 수 있고, 따라서 전송 품질을 크게 개선할 수 있다.

(그림 6) 및 (그림 7)은 선행전류 주입 방식과 신호레벨 선택조절 방식을 적용하여 전송 품질을 개선한 결과이다.

선행전류 주입 방식을 통해 하향 광신호의 소광비를 3 dB에서 8 dB까지 허용하고 ONU/ONT에서의 RSOA 입력파워는 -15 dBm에서 -20 dBm까지 허용할 수 있었다. 신호레벨 선택조절 방식을 통해



(그림 6) FFCI 및 DLA 방식 적용 광신호 품질 개선 흐름



(그림 7) FFCI 및 DLA 방식 적용 광신호 품질 개선 효과

OLT 광수신부에서 충돌잡음을 일으키는 반사에 대해서도 -35 dB에서 -30 dB까지도 허용할 수 있었다[4]-[7].

IV. 광주 FTTH 인프라 적용

기가급 WDM-PON의 상용화 검증을 위해 2007년 8월부터 3주간 KT 구매전략실 주관 기가급 WDM-PON에 대한 기능검증 시험이 실시되었다. 본 파장재활용 WDM-PON 링크기술을 탑재한 코어세스 및 에스인포텍의 WDM-PON 시스템 모두 광특성/스위칭/운용시험에 통과되어 상용화 가능성이 확인되었다. 이후 2008년 2월부터 4주간 광주 FTTH 인프라 적용을 위한 BMT를 통해 장비의 성능/안정성이 재확인되어, 4월 11일 광주광역시 삼각동 우미아파트 가입자 384세대를 대상으로 세계 최초 파장재활용 WDM-PON 상용서비스가 개시되었고, IPTV 등 다양한 FTTH 응용서비스가 제공되고 있다[8].

(그림 8)과 (그림 9)는 WDM-PON OLT가 설치된 KT 전남본부 동광주 전화국과 2008년 4월 상용서비스를 개시한 우미아파트 단지 입구 전경이다.



(그림 8) KT 동광주 전화국 WDM-PON OLT



(그림 9) 광주광역시 우미아파트 WDM-PON 개통

한편 본 기술의 전송특성은 광링크 거리가 20 km인 경우 <표 1> 및 <표 2>와 같으며, TTA 단체

〈표 1〉 하향 광신호 특성

Items	Unit	Specification
OLT transmitter		
Nominal bit rate	Mb/s	1250
Operating wavelength	nm	1534~1560
Line code	-	8B10B, Scrambled NRZ
Mean launched power MIN	dBm	-2
Mean launched power MAX	dBm	4
Minimum extinction ratio	dB	4.5
Maximum extinction ratio	dB	6.5
Minimum injection power	dBm	-5
Maximum injection power	dBm	0
ONU/ONT receiver		
Maximum reflectance of equipment, measured at receiver wavelength	dB	-25
Bit error ratio	-	$< 10^{-12}$
Receiver sensitivity	dBm	-20
Receiver overload	dB	2
Maximum path penalty	dB	3

〈표 2〉 상향 광신호 특성

Items	Unit	Specification
ONU/ONT transmitter		
Nominal bit rate	Mb/s	1250
Operating wavelength	nm	1534~1560
Line code	-	8B10B, Scrambled NRZ
Mean launched power MIN	dBm	-5
Mean launched power MAX	dBm	2
Minimum extinction ratio	dB	6
Minimum injection power	dBm	-17
Maximum injection power	dBm	2
OLT receiver		
Maximum reflectance of equipment, measured at receiver wavelength	dB	-25
Bit error ratio	-	$< 10^{-12}$
Receiver sensitivity	dBm	-20
Receiver overload	dB	0
Maximum path penalty	dB	3

표준으로 2008년 7월에 제안되어 2008년 12월에 확정되었다[9].

V. WDM-PON 경쟁력 및 사업화

WDM-PON의 여러 장점에도 불구하고 가입자 당 고유 파장을 제공하는 real FTTH 방식의 적용은 아직 E-PON 및 G-PON 등 TDMA-PON 방식에 비해 경제성이 떨어진다. 따라서 WDM-PON 확산을 위한 초기 시장 진입은 FTTB/FTTC 또는 WDM-PON/TDMA-PON 하이브리드 방식을 적용하는 것이 경제성 확보 및 WDM-PON으로의 smooth integration에 적합할 것으로 예상된다[10]-[12].

(그림 10)은 본 기술을 적용한 FTTB/C와 TDMA-PON과의 경제성 및 대역폭을 상대 비교하였다. 파장 수가 16파장이며, ONU 3단 cascade 구조의 경우 E-PON에 비해 경제성은 유사하며 대역폭은 우수함을 알 수 있다.

또한 본 기술은 (그림 11)과 같이 WDM-PON OLT에 WDM-PON 단말과 TDMA-PON ONU/ONT를 동시에 수용하는 하이브리드 PON이 개발되어 2009년 광주 FTTH 인프라에 적용할 예정이며 주요 특징은 다음과 같다.

(1) Feeder Part

- 16/32파장, 파장 당 1.25 Gbps
- Cooled RSOA 기반 colorless transmitters
- Flexible wavelength add/drop 형상
- 링 토폴로지 60 km 전송

(2) Access Part

- 기존 TDMA-PON ONU/ONT 수용

(3) X-Box

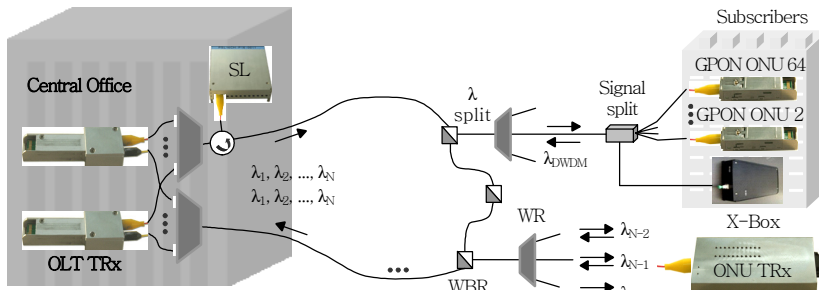
- 1.25 Gbps data rate
- 온도 안정화 RSOA transmitter
- Power supply voltage: +5 V

• WDM-PON/TDMA-PON 파장 변환

• High Tx output power (> +13 dBm)

	CO	RN1	RN2	User	BW, Cost
G-PON	3072 users OLT (1, 16)	8 split 2G	ONU (24 FE)	HUB	10 Mbps/user 1.2\$/user
E-PON	3072 users OLT (1, 32)	4 split 1G	ONU (24 FE)	HUB	10 Mbps/user 1\$/user
W-PON	3072 users OLT (1, 4)	16 split 16G	ONU (48 FE)	HUB	20 Mbps/user 1.2\$/user
	4068 users OLT (1, 4)	16 split 16G	ONU (72 FE)	HUB	14 Mbps/user 1.0\$/user

(그림 10) WDM-PON과 TDMA-PON과의 경제성/대역폭 비교



(그림 11) WDM/TDMA 하이브리드 PON 구조

〈표 3〉 세계 네트워크 장비 시장

(십억 달러)		2002	2003	2004	2005	2006	2007E	2008E	2009E	2010E	2011E	CAGR '08-'11
통신 사업자용 네트워크 장비	전송장비	12.0	10.2	10.8	11.9	12.9	13.7	14.3	14.9	15.8	17.0	5.9%
	교환장비	5.4	5.8	7.5	10.1	12.7	15.5	17.6	19.8	21.8	23.9	10.8%
	가입자장비	14.9	15.4	15.3	16.5	12.8	12.6	13.9	15.8	17.8	18.8	10.6%
	무선인프라	40.0	36.6	49.9	54.7	59.6	56.7	56.3	55.9	58.6	60.9	2.7%
기업용 네트워크 장비		44.6	42.8	46.8	48.6	52.0	55.6	58.3	60.7	63.0	64.8	3.6%
총계		116.9	110.8	130.2	141.9	149.9	154.1	160.3	167.1	176.9	185.3	5.0%

<자료>: 네트워크산업발전전략, 지식경제부, 2008. 6.

- Low Rx input power (> -30 dBm)

이밖에도 본 기술은 WDM-PON 기반의 무선 백홀망, CATV를 위한 HFC 백홀망, 센서망 등 다양한 응용분야에 적용될 수 있으며, 신규 시장 창출이 가능하다.

현재 WDM-PON 시장은 우리나라만이 초기 소규모 도입 단계로 향후의 세계시장을 정확히 예측하기는 어렵다. 그러나 <표 3>의 세계 네트워크 장비 시장을 통해 2015년 WDM-PON이 본격 활성화되고 가입자망 시장의 50%가 WDM-PON 기술을 적용하거나, 또한 국사 광역화에 따라 WDM-PON/TDMA-PON 하이브리드 PON 기술을 적용한다고 가정하면 약 140억 달러 규모의 시장이고 무선 백홀 시장과 전송시장 중 메트로 DWDM 전송시장을 고려하면 더욱 더 큰 시장 규모로 예상된다[13].

VI. 결론

가입자망의 광역화 및 광대역화에 따라 WDM-PON으로의 진화는 필연적이며, 적어도 2015년 이전에 세계시장에 본격 도입될 것으로 예상된다. 현재까지는 우리나라가 세계에서 가장 앞선 WDM-PON 상용화 기술을 보유하고 있으며, 사업화 확산을 위해 2005년 광주광역시 FTTH 인프라에 광파장 로킹 방식으로 파장 당 대역폭이 100 Mbps인 WDM-PON이 처음 도입되었고, 2008년 초에는 파장재활용 방식으로 파장 당 대역폭이 1.25 Gbps인 WDM-PON이 도입되어 일반 가입자를 대상으로 상용 서비스중에 있다.

1.25 Gbps 파장 재활용 WDM-PON은 한 가닥의 광 섬유로 20 Gbps(16파장)/40 Gbps(32파장) 대역폭을 제공하며, 하향 광신호를 상향 광신호로 재활용함으로써 광모듈의 인벤토리 문제가 없고, 경제성도 우수한 기술이다. 본 기술은 2009년도에는 파장 당 2.5 Gbps WDM-PON 기술로 확장되고 가입자 전송거리도 최대 100 km까지 가능한 LR-PON로 개발될 것이다. 또한 기존 TDMA-PON인

EPON 및 GPON 단말을 그대로 수용하는 하이브리드 PON이 개발되어 2009년 초 광주 FTTH 인프라 BMT에 적용될 예정이다. 본 기술은 우리나라가 원천기술을 보유하고 있으며, 세계에서 가장 먼저 상용화한 경험을 바탕으로 세계시장에 본격 진출하기 위한 여러 가지 방안이 추진중에 있다. 그 중 하나가 러시아와의 러시아형 WDM-PON 상용화 적용 공동연구인데, 2008년 11월부터 ETRI와 러시아 정부 통신연구소인 로니스와 추진중에 있다.

● 용어해설 ●

WDM-PON(Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network): 한 가닥의 광케이블에 여러 파장을 다중화하여 통신하는 광가입자망 기술

E-PON(Ethernet - Passive Optical Network): 이더넷 방식의 통신 프레임 적용하는 광가입자망 기술로 상향 최대 1 Gbps 대역폭 제공

G-PON(Gigabit - Passive Optical Network): 이더넷 방식과 ATM 방식의 통신 프레임 모두 수용하는 광가입자망 기술로 상향은 1.25 Gbps, 하향 2.5 Gbps 대역폭 제공

OLT(Optical Line Termination): 국사 내에 위치하는 광가입자망 장치로 L2/L3 스위치 기능 수행

ONU(Optical Network Unit): 가입자 측에 위치하는 광가입자망 장치

약어 정리

AR	Anti-Reflection coating
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BER	Bit Error Rate
BLS	Broadband Light Source
DLA	Decision Level Adjustment
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EPON	Ethernet Passive Optical Network
FFCI	Feed-Forward Current Injection
FP-LD	Fabry Perot-LD
FSR	Free Spectral Range
FTTC/B	Fiber To The Curb/Building
FTTH	Fiber To The Home

GPON	Gigabit Passive Optical Network
LR	Long Reach
OADF	Optical ADD/DROP Filter
PON	Passive Optical Network
RN	Remote Node
RSOA	Reflective Semiconductor Optical Amplifier
SL	Seed Light
TDMA	Time Division Multiple Access
TFF	Thin Film Filter
WBR	Wavelength Band Router
WDM	Wavelength Division Multiplexing

참 고 문 헌

- [1] 김병휘, "WDM-PON 메트로-엑세스 통합망 링크 기술," 제7회 광통신부품기술워크숍, 2007, pp.343-367.
- [2] 이창희, 백진석, 박근열, "FTTH 구현 방안 분석," 전자공학회지, 제32권 제4호, 2005, pp.398-410.
- [3] 박만용, 김태연, 정의석, 유정주, 김병휘, 김봉태, "WDM-PON 기술," 전자통신동향분석, 제21권 제6호, 2006, pp.113-123.
- [4] J.H. Yu, N. Kim, and B.W. Kim, "Remodulation Schemes with Reflective SOA for Colorless DWDM PON," JON, Vol.6, No.8, 2007, pp.1041-1054.
- [5] W.R. Lee, M.Y. Park, S.H. Cho, J. Lee, C. Kim, G. Jeong, and B.W. Kim, "Bidirectional WDM-PON Based on Gain-Saturated Reflective Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.17, 2005, pp.2460-2462.
- [6] W.R. Lee, S.H. Cho, M.Y. Park, J. Lee, C. Kim, G. Jeong, and B.W. Kim, "Frequency Detuning Effects in the Loop-Back WDM-PON Employing Gain-Saturated RSOAs," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.18, Issue 13, 2006, pp.1436-1438.
- [7] W.R. Lee, S.H. Cho, M.Y. Park, J. Lee, C. Kim, G. Jeong, and B.W. Kim, "Optical Transceiver Employing an RSOA with Feed-Forward Current Injection," OFC2007, Anaheim, California, USA, 2007.
- [8] 김병휘, "광가입자망 기술현황 및 전망," 제8회 광통신부품기술워크숍, 2008, pp.169-196.
- [9] 1 Gb/s 이더넷 기반 파장분할다중방식 수동형 광가입자망 정보통신단체표준, TTA, 2008.
- [10] 김태연, 윤현호, 이강복, 유제훈, 김병휘, "확장형 WDM/TDM Hybrid PONs," COOC 2007, 2007, pp.414-415.
- [11] T.Y. Kim, N.U. Kim, S.H. Lee, J.J. Yoo, and B.W. Kim, "Design and Analysis of Scalable WDM-Based Ethernet Hybrid-PON Architecture," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E90-B, No.5, 2007, pp.1032-1041.
- [12] FSAN Next Generation Access Task Group Co-chairs, NGA Roadmap and Work Plan Version 2, FSAN OAN, 2007.
- [13] 네트워크산업발전전략, 지식경제부, 2008. 6.