

1. WDM-PON 개요

최근 인터넷을 비롯한 각종 데이터 서비스가 급격히 증가하고 있을 뿐만 아니라 HD(high definition)급 디지털 방송의 실시, 고품질의 주문형 오디오 및 비디오, 화상 회의, 원격 진료, 원격 교육 등과 같은 각종 미래형 멀티 미디어 서비스의 출현이 급증하고 있다. 또한, 홈 네트워크 기술의 발전에 따라 다양한 고품질의 멀티 미디어 서비스에 대한 소비자의 요구와 홈 네트워크의 편리성에 대한 소비자의 인식 확대에 따라 보다 더 편리한 홈 네트워크의 구현에 대한 요구가 증대되고 있다. 이를 충족시키기 위하여 가입자 망에서 제공해야 하는 가입자당 통신 대역폭이 빠른 속도로 증가되고 있으며 가까운 미래에는 표 1과 같이 약 100 Mb/s의 가입자당 통신 대역폭이 필

가입자당 통신 대역폭을 확대하기 위하여 기존의 구리선을 이용한 DSL(digital subscriber line) 망 또는 광섬유와 동축선을 이용한 복합동축(hybrid fiber-coax: HFC) 망이 제안되었으며 활발한 기술 개발이 이루어지고 있다. 그러나, 기존의 구리선을 이용한 DSL 망이 기술의 발전에 따라 50 Mb/s 이상의 통신 대역폭 제공이 가능하다고는 하나 전송 매체인 구리선의 품질과 길이에 의해 그 성능이 극히 제한되므로 100 Mb/s 이상의 통신 대역폭을 제공할 수 있는 미래형 가입자망으로서 미흡하다. 그리고, 복합동축 망은 동축선의 길이 및 가입자 수에 따라 각 가입자에게 제공할 수 있는 통신 용량이 제한되므로 통신 서비스와 가입자 수가 급증하는 추세를 고려하면 단기간에 포화 상태에 이를 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 광섬유를 각 가입자 때까지 직접

특집 ━ Fiber To The Home

WDM-PON 기술 동향

정대광*, 김현수*, 신동재*, 박성범*, 신홍석*, 황성택*, 오윤제*, 심창섭*

요할 것으로 추정된다.

이러한 추세에 따라, 정부에서는 BcN(broadband convergence network) 구축 계획을 통하여 2010년까지 100 Mb/s 이상의 통신 대역폭을 1000만 가입자에게 제공할 수 있는 광대역 가입자 망을 구축하고자 계획하였으며 단계별로 진행하고 있다.

표 1. 멀티 미디어 서비스에 따라 요구되는 가입자당 통신 대역폭

Service		Bandwidth (Downstream)	Bandwidth (Upstream)
Streaming Video(HD)	Live TV	20 M/service	
	VoD	20 M/service	
	EoD/ GoD	20 M/service	20 M/service
Internet		10 M/service	10 M/service
Video conference or VoIP		2~20Mb/s	2~20Mb/s
Remote sensing/control		1Mb/s	1Mb/s
Total bandwidth		73~91Mb/s	33~53Mb/s

* 삼성전자 통신연구소

연결하여 구축하는 FTTH(fiber to the home) 방식의 가입자망으로써 E-PON(ethernet passive optical network), B-PON(broadband passive optical network), G-PON(general passive optical network), WDM-PON(wavelength-division-multiplexed passive optical network), 등과 같은 PON 기반의 FTTH 구축방식이 제안되었으며 광대역 통신 서비스를 제공할 수 있는 PON에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

가입자망의 최종 단계로서 제안된 WDM-PON은 그림 1과 같이 각 가입자(subscriber)가 요구하는 서비스를 공급하는 중앙 기지국(central office: CO), 가입자들의 인접 지역에 설치된 지역 기지국(remote node: RN), 가입자, 그리고 이들을 연결하는 광섬유(optical fiber)로 구성된다. 특히, 지역 기지국은 수동형 광 소자인 다중화기/역다중화기(multiplexer/demultiplexer : MUX/DEMUX)

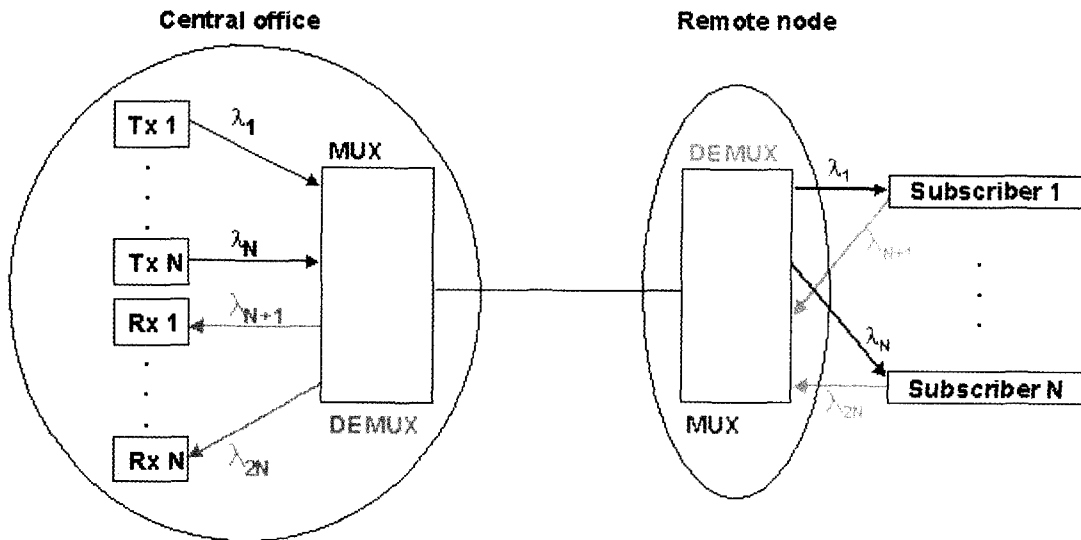


그림 1. WDM-PON 구성도

로만 구성된다. 각 가입자에게 100 Mb/s 이상의 보장된 대역폭을 제공할 수 있는 WDM-PON은 각 가입자에게 부여된 고유의 파장을 이용하여 광대역 통신 서비스를 제공한다. 따라서, 통신의 비밀 보장이 확실하고 각 가입자가 요구하는 별도의 통신 서비스 또는 통신 용량의 확대를 쉽게 수용할 수 있으며 새 가입자에게 부여될 고유의 파장을 추가함으로써 쉽게 가입자의 수를 확대할 수 있다. 또한, 중앙 기지국과 각 가입자 단에 위치한 고유 파장의 광원과 수신기는 해당하는 한 가입자만을 위해 사용되므로 TDM-PON에 비해 변조 속도와 출력이 낮은 광원과 대역폭이 좁은 수신기를 사용할 수 있다. 그러나, WDM-PON을 구현하기 위해서는 각 가입자에게 부여된 고유의 파장에서 발생하는 광원과 광원의 구동 시에 발생하는 발진 파장의 변동을 억제하기 위한 파장 안정화 회로 그리고 고가의 수동형 광 소자인 다중화기와 역다중화기가 필수적이다. 하향 전송을 위한 중앙 기지국 뿐만 아니라 상향 전송을 위한 각 가입자 단에서 특정 발진 파장의 광원 및 파장 안정화 회로의 필요성과 옥외 네트워크를 구성하는 고가의 다중화기와 역다중화기의 필요성은 가입자의 경제적 부담을 가중시켜 WDM-PON의 실용화를 가로막는 주 요인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 경제적인 WDM 광원과 효율적인 WDM-PON 구조에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{1,3)}.

본 고에서는 WDM-PON 기술 동향에 대해 기술한다.

우선, 2장에서는 제안된 경제적인 WDM-PON 광원들에 대해 기술하고, 3장에서는 다중화기/역다중화기에 대해 기술하였다. 다음으로 4장에서는 상하향 광원 및 간선/분산 광섬유(feeder/distribution fiber)의 장애에 의한 대용량의 데이터 손실을 방지하기 위하여 장애를 신속히 감지하여 스스로 복구할 수 있는 자기 치유(self-healing) 방법에 대해서 기술하고, 5장에서는 WDM-PON에서 제공하는 광 대역폭을 통해 멀티 미디어 서비스를 제공하는 방식에 대해 설명하며, 6장에서 맺음말로 본 보고를 정리하였다.

2. WDM-PON 광원

WDM-PON에서는 광 신호의 파장을 달리하여 각 가입자를 연결하기 때문에 광원의 파장을 관리하는 것이 매우 중요한 문제이다. 즉, 각각의 파장 채널에 따라 해당 파장을 갖는 광원을 구현하고 광원의 파장이 정해진 파장 채널을 벗어나 인접 파장 채널과 누화를 일으키지 않도록 조정하여야 한다. 따라서, WDM-PON 광원은 크게 광원의 파장이 광원 자체에 의하여 결정되는 파장 선택성 광원(wavelength-selective source)과 망에 의해서 결정되는 파장 비선택성 광원(wavelength-nonselective source)으로 나눌 수 있다. 대표적인 파장 선택성 광원은

분포 궤환 레이저(distributed feedback laser diode: DFB LD)이다. 분포 궤환 레이저는 공진기 내부에 포함된 격자(grating)에 의해서 결정되는 단일 파장의 광 신호를 발생한다. 따라서, 격자의 주기를 조정하여 여러 파장 채널에 해당하는 단일 파장 광원들을 만들어 낼 수 있는 장점이 있다. 그러나, 이러한 파장 선택성 광원은 광원의 온도에 민감한 광원의 파장을 안정화시켜야 하므로 온도 조절기를 포함한 고가의 버터플라이(butterfly) 패키지(package)를 사용해야 하는 단점이 있다. 더욱이 고장을 대비하여 각 파장 채널별로 재고를 보유해야 하고 광원의 교체시 파장 조정의 기술적 어려움으로 인하여 망의 유지/보수 비용이 증가한다. 이에 반하여 파장 비선택성 광원의 경우에는 파장이 망에 의해서 결정되므로 망의 유지/보수 비용이 낮아진다. 따라서, 가격에 매우 민감한 가입자망에서는 저가의 파장 비선택성 광원을 개발하기 위한 노력들이 진행되고 있다. 본고에서는 대표적인 파장 비선택성 광원들로서 광 주입된 페브리-페롯 레이저(light-injected Fabry-Perot laser diode: FP-LD), 광 주입된 반사형 반도체 광 증폭기(light-injected reflective semiconductor optical amplifier: R-SOA), 스펙트럼 분할 광원(spectrum-slicing source)와 외부 공진기 레이저(external cavity laser: ECL)에 대해서 소개한다.

2.1 광 주입된 페브리-페롯 레이저

페브리-페롯 레이저는 TO(Transistor Outlook) 패키지를 이용한 저가의 구현이 가능하지만 서로 파장이 다른 다수의 종모드들(longitudinal modes)이 동시에 발진하

고 온도에 따라 각 모드의 파장이 변하므로 파장에 따라 채널이 구분되는 WDM기반의 광통신에서는 모드 분할 잡음(mode partition noise)으로 인하여 사용이 불가능하였다. 그러나, 외부에서 광을 공진기 내로 주입하여 모드 분할 잡음을 줄이는 방법을 통하여 WDM-PON 광원으로 이용하는 구조가 최근 각광을 받고 있다⁴⁾. 그림 2는 광 주입된 페브리-페롯 레이저를 이용한 WDM-PON 광원의 구조이다. 그림과 같이 광대역광을 도파로형 회절격자로 스펙트럼 분할하여 페브리-페롯 레이저에 주입하면 레이저의 종모드들중에서 주입광과 파장이 같은 모드만 증폭되고 다른 모드들은 억제되어 단일 파장 광원과 유사한 특성을 갖게 된다. 이러한 구조에서 주의해야 할 점은 온도와 편광에 대한 안정성이다. 온도가 증가함에 따라 페브리-페롯 레이저의 발진 모드들은 장파장쪽으로 이동하므로 주입광과 발진 모드들의 상대적 위치가 변하게 되어 전송 특성이 불안정해질 수 있다. 이러한 문제점은 페브리-페롯 레이저의 발진 모드 간격에 비하여 주입광의 선폭을 크게 만들어서 해결할 수 있다. 또한, 페브리-페롯 레이저는 일반적으로 편광에 따라 이득이 다르므로 광 주입의 효율은 주입광의 편광 상태에 따라서 변하게 된다. 따라서, 비현실적인 실시간 편광조절을 피하기 위해서는 주입광을 무작위 편광상태로 만들어야 한다. 이러한 두가지 조건을 만족하는 광대역 광원으로서 어븀 첨가 광섬유 증폭기(erbium doped fiber amplifier : EDFA) 또는 광대역 광원용 반도체 광 증폭기를 이용한 자연 방출 잡음 광(amplified spontaneous emission : ASE)이 주로 사용되고 있다.

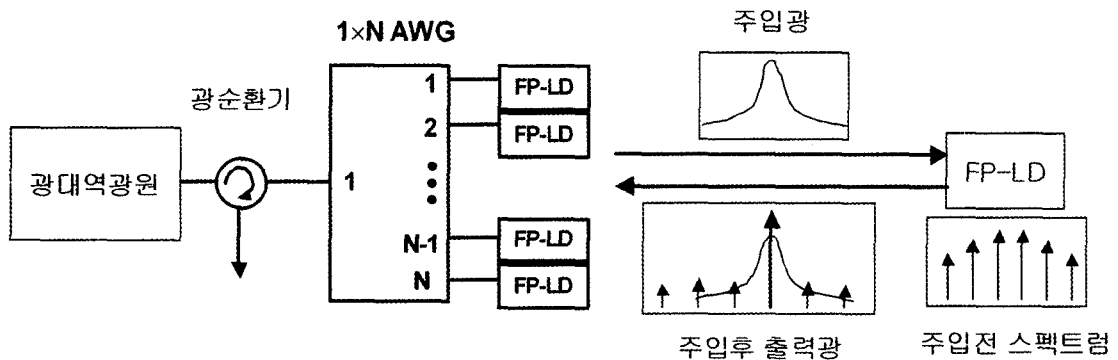


그림 2. 광 주입된 페브리-페롯 레이저 광원

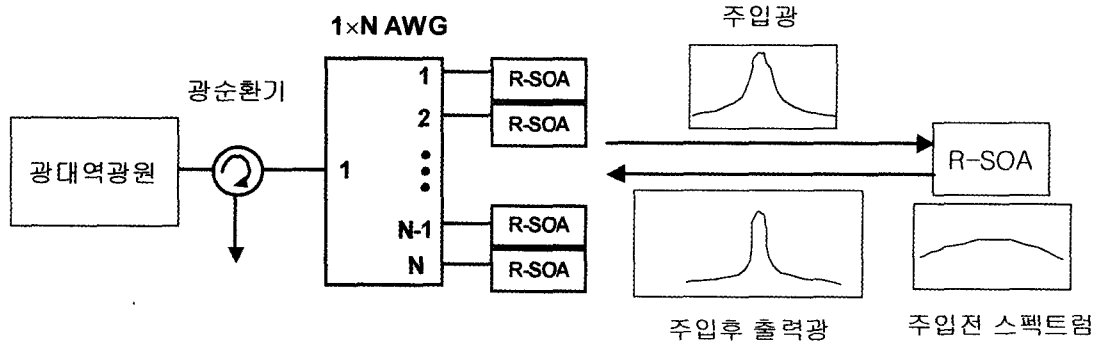


그림 3. 광 주입된 반사형 반도체 광 증폭기 광원

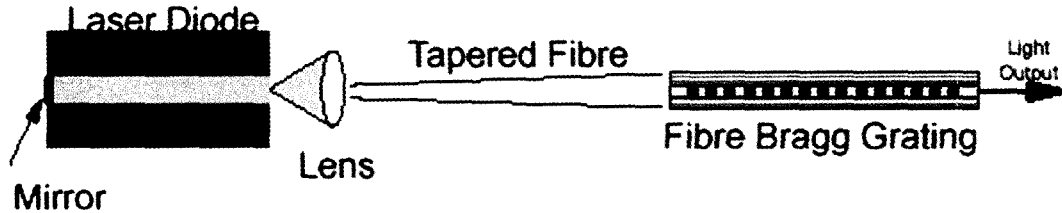
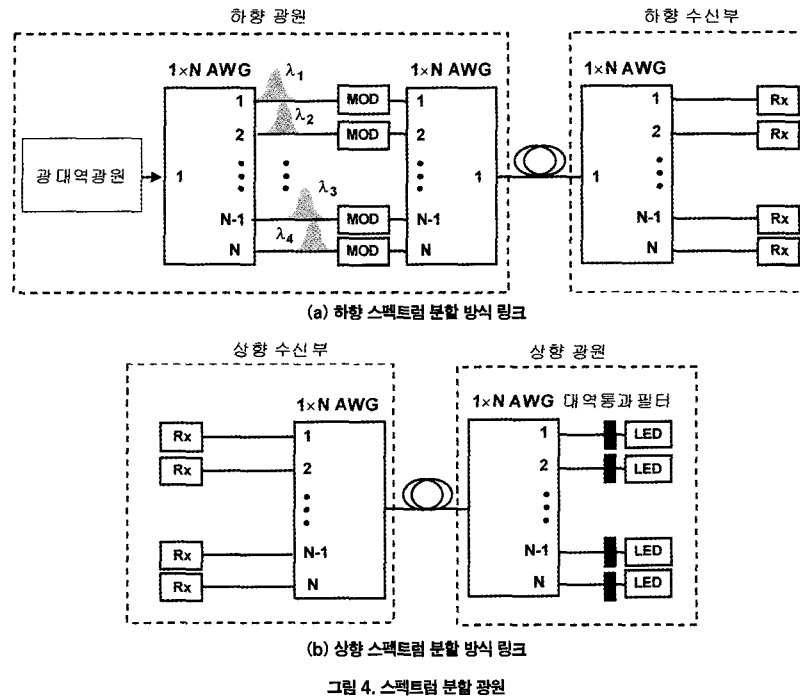
2.2 광 주입된 반사형 반도체 광 증폭기

파장 분할된 비간섭광을 고속 전송에서 사용하는 경우, 자기방출-자기방출 비트 잡음(spontaneous-spontaneous beat noise)에 의하여 초과 강도 잡음(excessive intensity noise: EIN)이 크기 때문에 충분한 신호-잡음비를 가지기 위해서는 선폭이 충분한 비간섭광을 제공해야 한다. 그러나, 선폭이 넓은 광원을 광섬유로 전송할 경우 분산 효과에 의한 전송 손실이 발생하고 WDM방식에서는 파장 사용 효율이 줄어들어 이는 한계가 있다. 대신, 파장 분할된 비간섭광을 입력으로 하는 반도체 광 증폭기를 이득 포화 영역에서 동작시켜 신호의 크기 변동을 최소화함으로써 초과 강도 잡음을 줄일 수 있다⁶⁾. 여기서는 한쪽 면을 높은 반사 코팅(high reflective coating)을 하여 구성한 반사형 반도체 광 증폭기에 한하여 기술하고자 한다. 반사형 반도체 광 증폭기는 이득매질(gain medium)의 한쪽 반사면의 반사율이 매우 낮은 소자로서 페브리-페롯 레이저와 달리 공진기가 형성되지 못하여 레이저 발진이 일어나지 않는 광 증폭기이다. 반사형 반도체 광 증폭기는 전송 손실을 보상하는 용도로 많이 사용되어 왔으나 주입된 광을 증폭 및 변조하여 출력하는 방식으로 WDM-PON 광원으로 이용하는 구조가 최근 관심을 끌고 있다⁶⁾. 그림 3은 광 주입된 반사형 반도체 광 증폭기를 이용한 WDM-PON 광원의 구조이다. 그림 2의 구조와 비슷하며 증폭기에서 레이저 발진이 일어나지 않으므로 약한 주입광으로도 고속 전송이 가능한 장점이 있다. 그러나, 한쪽 면의 반사율을 낮추기 위한 추가 공정이 필요하여 아직은 페브리-페롯 레이저에 비하여 고가이다.

온도에 대한 안정성은 반사형 반도체 광 증폭기의 이득 대역을 넓혀서 확보할 수 있으며 편광에 대한 안정성은 무작위 편광의 주입광을 사용하거나 반사형 반도체 광 증폭기의 편광 의존성을 낮추어 해결할 수 있다. 그러나, 편광 의존성을 낮추기 위하여 벌크(Bulk) 형 이득매질을 사용할 경우 광원 자체의 온도 의존성이 나빠져 온도에 대한 안정성을 확보하기 어렵게 된다.

2.3 스펙트럼 분할 광원

스펙트럼 분할 광원은 광대역 광의 넓은 스펙트럼을 도파로형 회절격자나 대역 통과 필터(band pass filter : BPF) 등을 통해 분할한 후 변조하여 전송하는 광원이다⁷⁾. 따라서, 전송되는 파장 채널은 스펙트럼을 분할하는 망에 의해서 결정된다. 그림 4는 스펙트럼 분할 광원을 이용한 WDM-PON의 대표적인 구조를 나타낸다. 하향 광원으로서의 광대역 광을 도파로형 회절격자(arrayed waveguide grating router : AWG)를 이용하여 스펙트럼 분할하고 각 분할된 채널을 외부 변조기를 통해 변조한 후 다중화하는 방식이 가능하다. 상향 광원으로서의 넓은 이득 선폭을 갖는 저가의 발광 다이오드(light emitting diode : LED)의 출력광을 직접 변조한 후 대역 통과 필터를 통해 스펙트럼 분할하여 전송에 사용할 수 있다. 하향 광원의 경우 고가의 외부 변조기가 채널마다 사용되는 것이 단점이나 도파로형 회절격자와 외부 변조기를 집적하여 저가화하는 연구가 진행되고 있다. 상향 광원의 경우 먼저 다루었던 광 주입형 광원에 비하여 주입광이 필요없다는 장점이 있으나 광 신호의 세기가 약하므로 전송 속



도 및 전송 거리의 제약이 심한 단점이 있다.

2.4 외부 공진기 레이저

외부 공진기 레이저는 그림 5와 같이 발진하는 파장이 외부 반사기에 의해 정해지는 구조를 가진다. 외부 반사기로는 도파로형 회절격자에 반사 코팅을 하는 방법과 광섬유 격자 필터를 사용하는 방법이 있으며, 그 중 후자의 경우 필터 파장의 온도 의존성이 낮고 구현하기가 용이하다⁸⁾. 레이저의 발진 파장이 레이저로 주입되는 전류와 무관하기 때문에 파장 제어 회로가 필요 없으며, 이득매질에 인가되는 전류를 제어하여 발진 파장에 영향없이 직접 변조가 가능하다는 특징을 가지고 있다.

3. 다중화기/역다중화기

WDM-PON은 중앙기지국과 지역 기지국에 서로간 파장 채널들이 동일한 한 쌍의 다중화/역다중화기가 필요하다. 중앙기지국의 다중화/역다중화기는 파장 채널별 하향 광 신호를 다중화하여 간선 광섬유로 전달하고 간선 광섬유로부터 전달된 상향 광 신호들을 파장 채널별로 역다중화하여 수신기에 전달한다. 지역 기지국의 다중화/역다중화기는 간선 광섬유의 하향 광 신호를 파장별로 역다중화하여 분배 광섬유로 분기하고 분배 광섬유의 파장이 다른 상향 광 신호들을 다중화하여 간선 광섬유로 전달한다. PON에서 지역 기지국의 다중화/역다중화기는 수동형 소자로서 온도 조절없이 사용되므로 온도 변화에 따른 채널

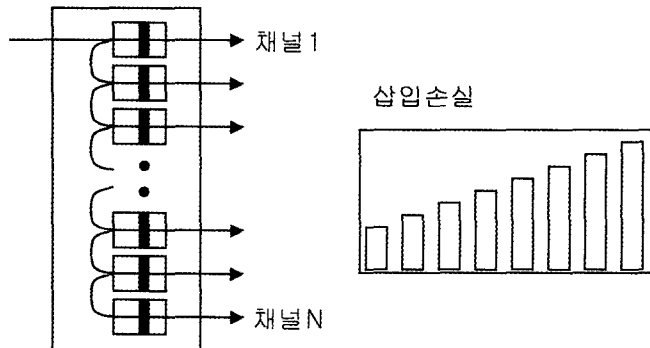


그림 6. 박막 필터 기반의 다중화/역다중화기

들의 파장 변화에 대비한 방안이 필요하다. 일반적인 방법으로 지역 기지국 다중화/역다중화기의 파장 변화를 중앙기지국 다중화/역다중화기의 온도를 조절하여 상쇄시키는 파장 추적(wavelength tracking)과 온도에 따른 파장 변화가 매우 작은 어써멀(athermal) 타입의 다중화/역다중화기를 사용하는 것이 있다^{9,11}. 본고에서는 최근 상용화 단계에 근접하고 있는 어써멀 타입의 다중화/역다중화기들을 소개한다.

3.1 어써멀 타입 도파로형 회절격자

도파로형 회절격자는 동일 기판상의 여러 도파로들간의 길이차를 이용하여 각 도파로를 지나는 광의 위상차이를 유도함으로써 다중화된 입력광을 파장에 따라 서로 다른 도파로로 출력하는 소자이다. 일반적인 실리카기반의 도파로형 회절격자는 온도 변화에 따른 실리카 굴절률의 변화로 인하여 대략 0.01 nm/°C의 파장 변화를 나타낸다. 이러한 파장 변화를 줄이기 위한 방법들로서는 크게 도파로를 변형하는 방법과 패키지를 변형하는 방법이 있다. 전자의 경우에는 온도에 따른 굴절률의 변화가 실리카와 반대인 물질을 도파로상에 삽입하거나 폴리머를 기반으로 도파로를 구성하여 대략 0.0005 nm/°C의 파장 안정성을 얻을 수 있음을 보고하고 있다¹⁰. 후자의 경우에는 온도에 따라 기계적으로 움직이는 바이메탈 등의 소자를 사용하여 입출력 광섬유와 도파로의 연결 상태를 변화시킴으로써 도파로의 파장 변화를 상쇄시킴으로써 전자와 비슷한 수준의 파장 안정성을 보고하고 있다¹². 두가지 방법 모두 기존의 도파로형 회절 격자에 비하여 추가 공정이 필요하므로 추가된 공정이 삽입손실이나 편광특성

등 도파로형 회절격자의 성능에 미치는 영향과 최종 제품 수율에 미치는 영향에 대한 분석이 앞으로 상용화를 앞두고 남은 과제이다.

3.2 박막 필터 기반의 다중화/역다중화기

박막 필터(thin film filter)는 유리기판 위에 다층의 유전체 박막을 코팅하여 특정 파장의 광만을 선택적으로 투과 또는 반사하는 소자로서 여러 파장 채널에 대하여 제작된 박막 필터를 이용하여 그림 6과 같이 다중화/역다중화기를 구성할 수 있다. 이러한 박막 필터 기반의 다중화/역다중화기는 유전체 박막이 온도에 따른 굴절률의 변화가 거의 없기 때문에 매우 뛰어난 온도 안정성을 나타낸다. 그러나, 그림 6과 같은 구조에서는 채널에 따라 광이 투과하는 박막 필터의 수가 증가하므로 삽입손실이 채널에 따라 달라지는 특성을 가지게 된다. 삽입 손실이 작은 채널에 추가적인 손실을 더하여 이러한 삽입 손실의 불균일성을 보정할 수 있다. 또한, 박막 필터의 경우 도파로형 회절격자와 달리 자유 파장 간격(free spectral range)마다 통과 대역이 주기적으로 나타나는 특성이 없으므로 광가입자망에서 상하향 다른 파장 대역을 할당할 경우 상하향 다른 다중화/역다중화기를 사용해야 한다.

4. 자기 치유 WDM-PON

WDM-PON은 가입자에게 하나의 파장이 할당됨에 따라 다양한 광대역 데이터 및 방송 서비스의 제공이 가능함과 동시에 광원이나 광섬유의 절단과 같은 장애가 발생시

WDM-PON 기술 동향

데이터 손실 및 피해의 양도 커지게 된다. 통상적으로 WDM-PON의 구조는 하나의 중앙 기지국이 지역 기지국에 도파로형 회절격자를 두어 다수의 가입자를 수용하는 성형구조를 갖는다. 이러한 구조는 SONET/SDH 환형 구조와 비교해서 광선로 절단과 같은 장애에 치명적인 단점을 갖는다. 따라서, WDM-PON의 신뢰도(reliability)를 높이기 위해서는 장애 발생에 대비하여 망 감시^(12,13) 및 자기치유⁽¹⁴⁻¹⁷⁾ 기능이 요구되어 진다. 망의 감시 기능은 장애 발생 유무와 그 원인을 최소한의 시간에 감지하고 신속하게 망을 복구하는 데 목적이 있다. 하지만 감시를 통해서 장애 원인을 파악 후 복구를 하는 동안 서비스 장애로 인하여 발생하는 가입자의 피해는 감수해야만 한다. 이를 방지하기 위하여 광가입자망에 자기치유 기능을 도입하면 수 ms 이내에서 장애 치유가 가능하므로 적은 데이터의 손실로 망을 관리할 수 있다. PON에서의 감시 기능 및 자기치유 기능은 시스템의 비용을 증가시키는 또 하나의 요소이기도 하므로 현재로서는 보다 많은 광대역 대역폭을 요구하고 하나의 ONU에 다수의 사용자가 사용 가능한 FTTB(fiber-to-the-building)이나 FTTC(fiber-to-the-curb)에 우선 적용이 가능할 것으로 예상된다. 그리고, 향후 WDM-PON 시스템의 가격이 내려가고 보다 다양한 서비스가 개발되면 FTTH에까지 점진적으로

감시 및 자기치유 기능이 보급화 될 것이다.

광가입자망의 감시 기능은 중앙 기지국에서 이루어지며, 하나의 중앙 기지국에 연결된 모든 가입자 장치와 광선로의 장애 유무를 감시할 수 있어야 한다. 광섬유의 절단 유무와 위치는 중앙 기지국에서 OTDR(optical time domain reflectometer)을 사용하여 파악할 수 있지만, 이 경우 고가의 파장가변 광원을 사용해야 하고 여러 파장을 모두 돌아가면서 측정을 해야 하므로 실시간으로 장애 유무를 판단할 수 없는 단점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 하향 광원에 전기적인 신호처리를 통해 광선로의 장애 위치를 감시하는 방안⁽¹²⁾과 감시용 광대역 광원을 사용하여 상향 광원 및 광선로의 장애 유무를 구별하여 선별할 수 있는 방안⁽¹³⁾들이 제안되었다. 첫번째 방안은, 상향 광신호의 출력유무를 통해 해당 파장신호의 장애 유무를 실시간으로 판단한 다음, 장애가 발생한 해당 파장의 하향 광송수신기에 부착되어 있는 스위치를 전환시켜 하향 데이터 신호 대신 OTDR용 광펄스 신호를 전송한다. 이때, 후방 산란되어 돌아오는 펄스를 측정하여 장애 위치를 알아 낼 수 있다. 두번째 방안은 중앙 기지국에서 광대역 감시용 광원을 광반사 단자를 포함하는 각 가입자 장치로 전송하여, 광반사 단자로 인해 반사되어 돌아오는 감시용 광원의 출력 유무를 통해 상향

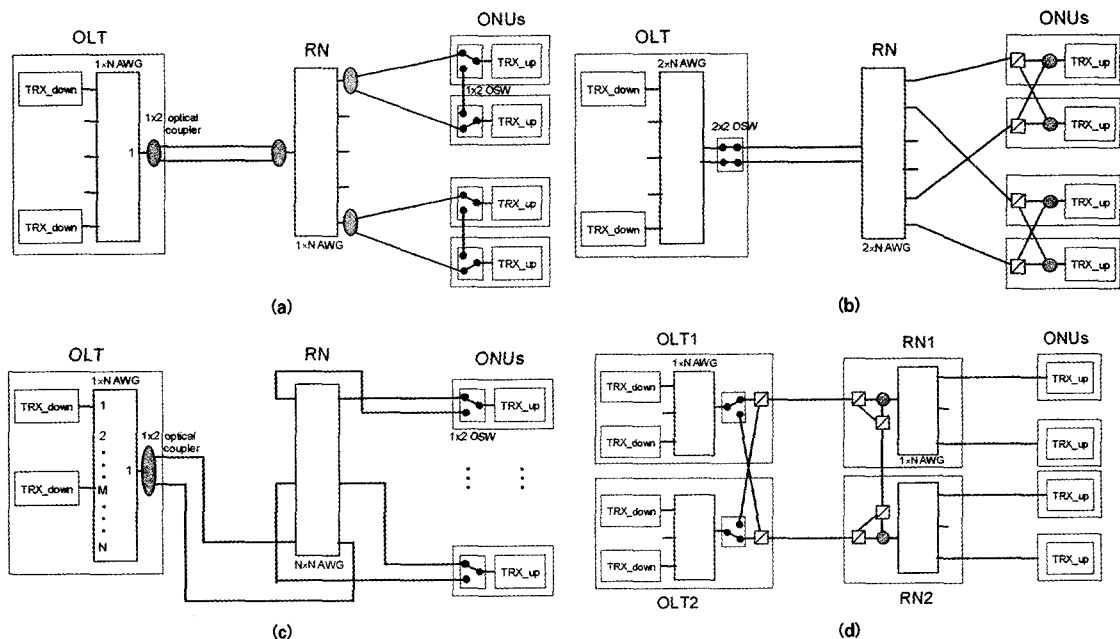


그림 7. WDM-PON에서의 자기치유 방법

광원 및 광선로의 장애 유무를 판별할 수 있다.

광가입자망의 장애 발생 시 신속하게 망을 복구할 수 있는 자기치유 기술에 관한 연구도 최근에 활발히 이루어지고 있다. 망의 보호 기술은 크게 1+1 보호방식과 1:1 보호방식으로 크게 나눌 수 있으며, 망의 보호 범위에 따라 구조가 다양화 된다. 그리고, PON은 광링크의 손실에 의해 전송 거리 및 전송 속도에 제한을 줄 수 있으므로 보호 기능을 위해 추가되는 손실을 최소화해야 하며, 증가하는 비용도 고려해 주어야 한다. 최근에 제안된 자기치유 WDM-PON 구조는 그림 7과 같다. 그림 7(a) 구조는 광가입자 장치를 두개씩 짝을 이루어 두개의 광가입자 간을 보호용 광섬유로 연결하여 분배 광섬유가 절단되었을 경우 광신호가 우회하여 치유할 수 있는 구조이다¹⁴⁾. 이 구조는 지역 기지국을 구성하는 도파로형 회절격자의 단자수의 두배 만큼의 가입자를 수용할 수 있고 보호용 분배 광섬유의 비용을 줄일 수 있는 장점이 있지만, 3개의 3-dB 광분배기와 광스위치가 추가되어 10 dB 이상의 추가 손실이 발생하고 1:1 보호 방식을 도입하여 안정성이 다소 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 그림 7(b) 구조도 그림 7(a) 구조와 마찬가지로 두개의 광가입자를 쌍으로 연결하여 하나의 분배 광섬유가 절단되면 보호 광섬유로 광신호가 우회하여 치유를 하는 구조이다¹⁵⁾. 이 경우에는 광가입자 장치에 광스위치를 사용하지 않고 중앙 기지국에 하나의 광스위치만을 사용하여 링크(link) 구조가 간단한 장점이 있다. 광가입자망을 연결하는 보호용 광섬유의 두개의 라인이 필요하고 추가 링크 손실은 광스위치, 파장선택 결합기(wavelength selective coupler: WSC), 광분배기가 추가되어 대략 5 dB 정도 증가하게 된다. 특히, 이 구조는 보호기능을 위하여 파장 대역 추가가 필수적이어서 다른 방식보다 두 배의 파장 할당이 필요한 단점을 가지고 있다. 그림 7(c) 구조는 전형적인 1+1 보호방식으로 중앙 기지국에 광분배기, 광가입자에 광스위치를 사용하여 동일한 신호를 동작용 광섬유와 보호용 광섬유로 전송하고, 그 두 신호 중 하나를 선택하여 수신하는 방식이다¹⁶⁾. 두가닥의 보호용 분배 광섬유가 사용되고 지역 기지국에 NxN 도파로형 회절격자가 사용되어 비용이 다소 증가하게 되지만 추가 링크 손실이 4 dB 내외로 가장 적고 추가로 파장할당이 필요 없다. 그림 7(d) 구조는 두개의 WDM-PON을 서로 연결하여 자기치유를 하는 구조이다¹⁷⁾. 이 구조는 간선 광섬유의 치유만 고려하여,

분배 광섬유의 절단에 의한 손실은 감수하지만 시스템 비용이 가장 저렴하다. 두 광가입자망의 중앙 기지국과 지역 기지국을 보호용 광섬유로 연결하여, 어느 하나의 광가입자망의 간선 광섬유가 절단되면 보호용 광섬유와 정상 상태인 다른 광가입자망의 간선 광섬유를 우회하여 자기치유를 하게 된다. 위에 설명한 4가지의 자기치유 방법은 모두 광출력을 감시하여 광섬유의 절단 유무를 판단하고 이를 통해 광스위치를 제어한다. 광가입자망 초기 시장에서는 가격 경쟁력에 의하여 그림 7(d)와 같은 구조가 우선 고려될 가능성이 높다. 향후 광가입자망 기술이 더욱 성숙해 지고 가입자가 요구하는 대역폭이 증가함에 따라 자기치유 기능은 확대될 것으로 예상된다.

5. 멀티 미디어 서비스

WDM-PON 시스템은 기본적으로 인터넷 접속, POTS와 VOIP를 포함하는 음성, 고화질 방송과 화상 통신 등 서비스를 동시에 제공할 수 있도록 고안되고 있다. KT가 03년 말에 일부 일반 주택을 대상으로 WDM-PON기반 Ethernet 방식의 유사 FTTH을 도입하여 시범 서비스를 실시하였으며, 이 경우 국사에서부터 가입자 건물 인접 전주까지는 광케이블로 연결되고, 전주부터 150m 반경 내 가입자 댁내까지는 UTP(unshielded twisted pair) 케이블(cat. 5급)을 사용해 여러 가입자가 공유하는 경제적인 방식이 적용되었다. 또한, 옥외 환경에 견딜 수 있는 Ethernet 장비와 이를 수용하는 소형 합체를 고안해 전주 또는 벽면에 설치가 용이하도록 구축되었다¹⁸⁾. 그리고, 금년 1월 중에는 KT 주축의 WDM-PON 시스템을 기반으로 한 FTTH 시험 서비스를 실시할 계획으로 있으며, 가입자에 독립적인 대역폭을 할당, 상/하향 100Mbps의 전송 속도를 보장하는 것을 목표로 하고 있다. 이와 같은 WDM-PON을 이용한 FTTH 서비스가 상용화되면 가입자들은 집안까지 들어온 광섬유를 통해 HD급 TV 등 통신/방송 융합 서비스, 양방향 교육 및 진료 서비스, 고화질 영상 전화 등 기존 인터넷 서비스와는 차원이 다른 실시간/양방향 멀티 미디어 서비스를 제약 없이 이용할 수 있을 것이다. 이러한 서비스를 제공하기 위해 제안된 시스템의 protocol stack은 그림 8과 같으며, 중앙 기지국에 위치하는 OLT(optical line terminal)는 광섬유를 통

WDM-PON 기술 동향

하여 가입자 측의 ONT(optical network termination)와 연결된다.

그림 8의 Optical PMD(physical medium dependent)

계층에서 OLT와 ONT는 WDM 링크를 통하여 연결되어 있으며, 125Mb/s의 속도로 점대점 연결을 가진다. 아울러 WDM-PON의 경우 가입자로부터 상향으로 보내지는

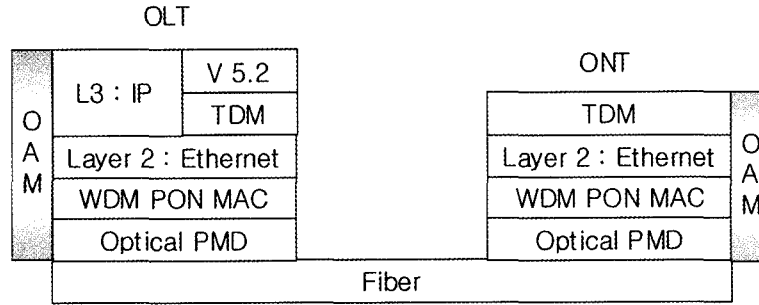


그림 8. 제안된 WDM-PON 시스템의 Protocol Stack

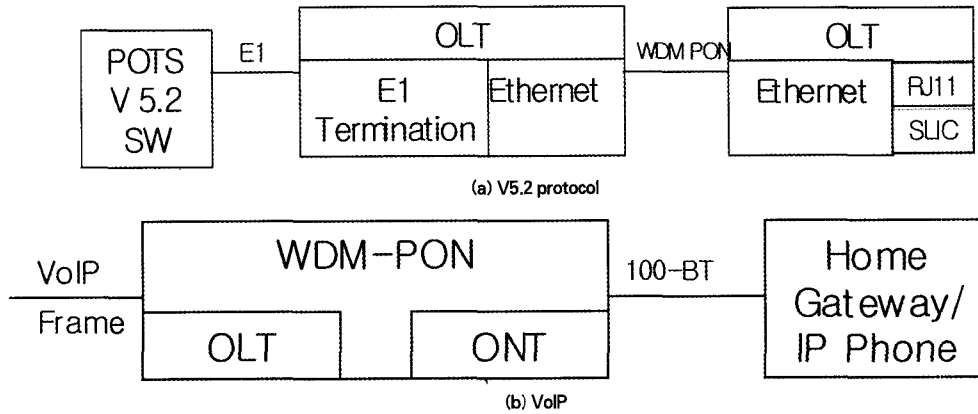


그림 9. 음성 서비스 수용을 위한 구조

표 2. 제안된 WDM-PON 시스템에 사용된 Protocol

	OLT	ONT
L2	<ul style="list-style-type: none"> * MAC Table maintenance Capability * ~4096 VLANs 지원 * STP(802.1d) * Link Aggregation(802.1ad) 	<ul style="list-style-type: none"> * MAC Table maintenance Capability * ~8 VLANs 지원
L3	<ul style="list-style-type: none"> * Static Routing * DHCP server : > 1000 IP * Default Gateway : > 2 	<ul style="list-style-type: none"> * DHCP Relay
QoS	<ul style="list-style-type: none"> * Diffserv * 802.1p * Packet classification & marking * Traffic management 	<ul style="list-style-type: none"> * 802.1p * Packet classification & marking * Traffic management
Multicasting fuction	<ul style="list-style-type: none"> * PIM-SM * IGMP server * IGMP snooping 	<ul style="list-style-type: none"> * IGMP snooping
Voice	<ul style="list-style-type: none"> * V5.2 	<ul style="list-style-type: none"> * VoIP, POTS

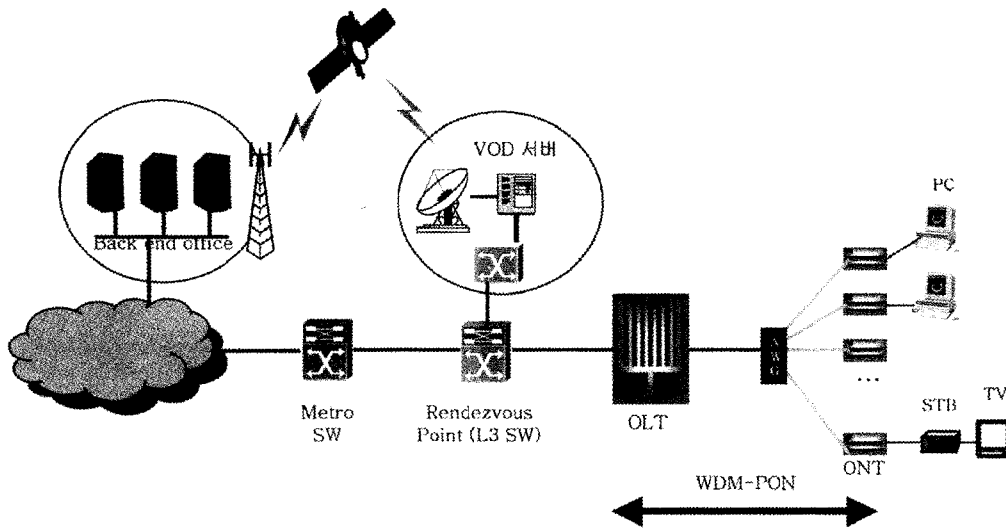


그림 10. WDM-PON 시스템에 의한 영상 서비스 네트워크

신호들의 충돌이 없으므로, WDM-PON MAC (medium access control)은 간단한 Media Converter 기능만 수행하면 된다. WDM-PON MAC 상위의 Layer 2에서는 Ethernet을 채용함으로써 Ethernet 정합 및 스위칭이 이루어지며, CoS(class of service)를 고려한 TPS(triple play service) 및 VLAN(virtual local area network) 기능이 제공된다. OLT의 Layer 3에서는 routing, subnetting, DHCP(dynamic host configuration protocol) server 기능을 가지며, 또한 POTS(plain old telephone service)를 위한 V5.2 gateway 역할도 수행한다. 이러한 WDM-PON 시스템은 음성 서비스를 두 가지 방법으로 지원하는데, 이는 그림 9와 같으며, V5.2 protocol을 이용하여 기존 POTS를 지원하는 방법과 VoIP(voice over IP)를 적용하는 두 가지 경우이다.

기술된 두 경우 모두 QoS(quality of service) 보장이 중요하며, 이를 위하여 Ethernet Layer에서는 priority queuing과 fast scheduling 및 packet classification 등이 지원된다. 제안된 시스템에서 IP 영상 서비스는 IP multicasting protocol을 따르는 Ethernet 프레임에서 제공되며, 이의 구현을 위하여 packet classification, 802.1p, Diffserv, VLAN, Tagging 등과 같은 L2/L3 QoS 기능이 요구된다. 또한, Layer 3에서는 대역폭의 효율성을 위하여 multicast service protocol을 지원하며, OLT의 multicast protocol과 ONT에서의 IGMP

(internet group management protocol) snooping을 위하여 PIM-SM(protocol independent multicast-sparse mode)와 IGMP가 사용된다. 구체적인 적용 protocol은 사용자의 환경, 목적에 따라 달라지겠지만 제안된 WDM-PON 시스템에서 사용된 protocol을 표 2에 정리하였다.

지금까지 제안된 WDM-PON 시스템을 채용하는 영상 서비스 네트워크를 그림 10에 도시하였다.

그림 10은 각 방송 채널이 위성 네트워크나 Ethernet 스위치로 구성된 광 네트워크를 통하여 전달됨을 보여준다. 여기서 전달되는 각 채널은 IP stream에 실려 고속의 L3 SW로 구성된 Rendezvous point로 보내지게 되며, 이때 WDM-PON의 가입자가 특정 채널을 요청 시에는 IGMP protocol 및 snooping에 따른 동작으로 원하는 채널을 가입자에게 전달하여 준다. 그림 9와 같은 네트워크에서는 이와 같은 상위의 multicast traffic이 하위의 여타 traffic에 의한 영향을 받지 않게 하기 위함과 동시에 channel zapping time을 줄이기 위하여 QoS가 보장되어야 한다. 그러나, 통상 백본 네트워크에서는 multicast service에 대하여 어떠한 QoS 방법을 제공하지 않으므로, 그림 9의 고속의 L3 SW로 구성된 Rendezvous point가 WDM-PON으로 구축된 가입자망에 최대한 가까이 위치함으로써 multicast traffic에 대한 신뢰성을 확보하고 channel zapping time을 최소화할 수 있다.

6. 맺음말

본고에서는 WDM-PON을 구성하는 요소로서 다양한 광원에 대한 소개와 다중화기/역다중화기에 대한 소개, 통신 대역폭이 증가함에 따라 필수적인 망의 신뢰성을 확보하기 위하여 제안된 망 감시 및 자기 치유 기술에 대한 소개, 그리고, WDM-PON을 통하여 멀티 미디어 서비스를 제공하는 방식에 대한 기술적인 내용을 정리하였다.

WDM-PON의 상용화를 위해서는 첫째, WDM-PON을 구성하는 광 소자의 가격을 낮추어 WDM-PON 시스템의 구현 비용을 줄여야 하며, 둘째, WDM-PON에서 제공하는 광 대역폭을 이용한 killer service를 개발하여야 한다. 첫째 조건과 둘째 조건은 서로 독립된 조건이 아니라 상호 연관성이 있다. 광 대역폭을 충분히 활용한 다양한 killer service가 개발된다면 WDM-PON 시스템의 구현 비용이 상대적으로 고가이더라도 상용화 가능성이 높아지며, 이와 달리, WDM-PON 시스템의 구현 비용이 낮아지면 killer service가 개발되지 않더라도 인터넷 서비스만으로 WDM-PON 시스템을 상용화할 수 있다.

본고에서는 WDM-PON에 대한 전반적인 기술과 현황에 대한 이해를 돕고자 최신 내용을 일반적으로 기술하였으며, 상용화를 위한 WDM-PON 시스템의 구현 비용 분석과 killer service의 개발에 관한 상세한 내용에 대해서는 향후 보고를 하고자 한다.

보다 편리하고 다양한 서비스에 대한 가입자의 요구와 IT 산업 발전을 위한 국가의 정책 추세에 호응하고 국내 광산업의 진흥을 위하여 광가입자망 시스템 개발에 산학연 공동 또는 독자적으로 많은 연구와 개발이 진행되고 있으며, WDM-PON에 대해서도 저가형 광원의 개발, 대량 생산을 통한 다중화기/역다중화기의 저가화 및 광 대역폭을 활용한 고품질/고화질/양방향 서비스의 개발을 위해 활발한 활동이 진행되므로 가까운 미래에 WDM-PON의 상용화가 이루어질 것으로 전망된다.

참고문헌

- (1) Robert D. Feldman et. al., "An Evaluation of Architecture Incorporating Wavelength Division Multiplexing for Broad-Band Fiber Access," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 16, No. 8, September 1998, pp. 1546-1559.
- (2) Adel A. M. Saleh, et. al., "Architectural Principles of Optical Regional and Metropolitan Access Networks", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 17, No. 12, December 1999, pp. 2431-2448.
- (3) Guido Maier, et. al., "Design and Cost Performance of the Multistage WDM-PON Access Networks", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 18, No. 2, February 2000, pp. 125-143.
- (4) Hyun Deok Kim, et. al., "A low-cost WDM source with an AES injected Fabry-perot semiconductor laser," *IEEE Photonics technology Letters*, Vol. 12, No. 8, August 2000, pp. 1067-1069.
- (5) Sun-Jong Kim, et. al., "Intensity Noise Suppression in Spectrum-Sliced Incoherent Light Communication Systems using a Gain-Saturated Semiconductor Optical Amplifier", *IEEE Photonics technology Letters*, Vol. 11 No. 8, August 1999, pp. 1042-1044.
- (6) P. Healey et. al. "Spectral slicing WDM-PON using wavelength-seeded reflective SOAs," *Electronics Letters*, Vol. 37, No. 19, September 2001, pp. 1181-1182.
- (7) D.K.Jung, et. al., "Spectrum-sliced bidirectional WDM PON," *Optical Fiber Communication Conference*, Baltimore, USA, March 2000, pp. 160-162.
- (8) 조승현 외, "WDM-PON 시스템용 Fiber Bragg Grating based External Cavity Laser", 제 11회 광전자 및 광통신 학술회의 FB1-2, 2004. 11, pp. 289-290.
- (9) D. K. Jung, et. al., "Wavelength-Tracking Technique for Spectrum-Sliced WDM Passive Optical Network," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 12, No. 3, March 2000, pp. 338-340.
- (10) N. Keil, H. H. Yao, et. al., "Athermal all-polymer arrayed-waveguide grating multiplexer," *IEE Electronics Letters*, Vol. 37, No. 9, April 2001, pp. 579-580.
- (11) G. Heise, H. W. et. al., "Optical phased array filter module with passively compensated temperature dependence," *ECOC '98*, Madrid, Spain, 1998, pp. 319-320.
- (12) 임경우 외, "하향광원을 이용한 파장분할다중방식 수동형 광가입자망의 장애위차 감시방법," *광자기술학회 2005*, F2B4, 2005.
- (13) 박성범 외, "파장분할 다중방식 수동형 광가입자망에서의 상향 광원 및 광선로 감시 방법," *광자기술학회 2005*, F3C5, 2005.
- (14) T-J Chan, et. al., "A self-protected architecture for wavelength-division-multiplexed passive optical networks," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol 15, No. 11, November 2003, pp. 1660-1662.
- (15) Z. Wang, et. al., "A novel centrally controlled protection architecture for bi-directional WDM passive optical Network", *ECOC 2004 Proceedings*, Vol. 2, 2004, pp. 168-169.
- (16) 박성범 외, "양방향 파장분할 다중방식 자기치유 수동형 광가입자망," *광자기술학회 2005*, F2B2, 2005.
- (17) 손익승 외, "광선로 장애를 극복할 수 있는 WDM 방식 수동형 광가입자망," *광자기술학회 2005*, F3C6, 2005.
- (18) Soo-Jin Park, et. al., "Fiber-to-the-Home Services Based on Wavelength-Division-Multiplexing Passive Optical Network," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 22, No.11, November 2004, pp. 2582-2591.

약 력



정대광

2001년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원
 2001년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학박사
 1996년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학석사
 1994년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학사



김현수

2000년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원
 1995년 - 1999년 : 대한전선(주) 정보통신연구소, 선임연구원
 1995년 : 송실대학교 공과대학 전자공학과, 공학석사
 1993년 : 송실대학교 공과대학 전자공학과, 공학사



신동재

2002년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원
 2001년 - 2002년 : 루슨트 테크놀로지 벨 연구소, 박사후 연구원
 2001년 : 한국과학기술원 물리학과, 이학박사
 1997년 : 한국과학기술원 물리학과, 이학석사
 1995년 : 한국과학기술원 물리학과, 이학사



박성범

2003년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원
 2003년 : 한국과학기술원 전자전신학과, 공학박사
 1999년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학석사
 1997년 : 한양대학교 전파공학과, 공학사



신홍석

2002년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원
 2001년 - 2002년 : TyCom Laboratory, Senior Member of Technical Staff
 1998년 - 2001년 : 삼성전자 통신연구소, 선임연구원
 1998년 : Cornell University Electrical Engineering, 공학석사
 1996년 : 부산대학교 전기공학과, 공학사



황성택

1993년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 책임연구원(Project Leader)
 2001년 : 서강대학교 물리학과, 이학박사
 1990년 : 서강대학교 물리학과, 이학석사
 1988년 : 서강대학교 물리학과, 이학사



오윤계

1999년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소, 수석연구원 (디지털 홈 랩장)
 1996년 - 1998년 : 삼성종합기술원, 선임연구원
 1995년 - 1996년 : Rensselaer Polytechnic Institute, 박사후 연구원
 1995년 : Rensselaer Polytechnic Institute, 이학박사
 1987년 : 연세대학교, 이학석사
 1985년 : 연세대학교 물리학과, 이학사



심상nip

2002년 - 현재 : 삼성전자 통신연구소 N/W연구팀장, 상무(연구위원)
 2001년 - 2002년 : 삼성전자 네트워크사업부 초고속통신사업팀장, 상무
 2000년 - 2001년 : 삼성전자 네트워크사업부 ACCESS N/W사업 팀장, 상무(연구위원)
 1999년 - 2000년 : 삼성전자 네트워크사업부 ACCESS N/W개발 팀장, 이사(연구위원)
 1994년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학박사
 1975년 : 서울대학교 응용물리학과, 이학사