

논문 2006-43TC-5-9

저잡음 특성의 광대역 비간섭성 광원과 파장 분할 다중방식 수동형 광가입자망에의 응용

(A Low Noise Broadband Light Source and its Application on WDM-PON)

최 기 만*, 문 정 형*, 이 창 희**

(Ki-Man Choi, Jung-Hyung Moon, and Chang-Hee Lee)

요 약

본 논문에서는 저잡음 특성을 지닌 광대역 비간섭성 광원 (BLS: Broadband Light Source)을 제안하고 이를 방송 및 통신의 통합 서비스를 제공하는 파장 분할 다중방식 수동형 광 가입자망 (WDM-PON: Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network)에 적용함으로써 경제적인 광가입자망의 가능성을 시험하였다. 제안된 BLS는 경제적인 WDM-PON용 광원인 파장 잠김된 패브리 페롯 레이저 다이오드 (wavelength-locked F-P LD: wavelength-locked Fabry-Perot Laser Diode)를 위한 외부 주입 광원으로 사용되어 파장 무의존성 (color-free operation, i.e., wavelength independent operation)을 지닌 고밀도 WDM-PON (DWDM-PON: Dense WDM-PON)의 구현을 가능하게 한다. 또한 오버레이 (overlay) 방식의 방송 서비스를 위한 광원으로 응용되어 영상 및 화상 중심으로 융합된 서비스를 효율적으로 수용할 수 있는 광대역 통합망의 가능성을 시험하였다.

Abstract

We propose a low noise broadband light source (BLS) and investigate a cost-effective wavelength division multiplexing-passive optical network (WDM-PON) for the convergence of broadcasting and data service. The proposed BLS is used for an injection light of wavelength-locked Fabry-Perot laser diodes (F-P LD) and helps the color-free operation of dense WDM-PON (DWDM-PON). In addition, we apply this BLS to a optical source for overlay of digital broadcasting channel on the WDM-PON.

Keywords: Broadband light source (BLS), wavelength division multiplexed-passive optical network (WDM-PON), color-free operation, overlay, broadcasting.

I. 서 론

현재의 가입자망은 동축케이블, 위성, 지상파 등을 이용한 방송망과, 구리선을 기반으로 한 xDSL, 케이블 모뎀 등을 이용한 수십 kbps~ 수 Mbps 정도의 속도를 제공하는 통신망으로 구분되어 있다. 최근 급속한 확산

과 기존의 음성, 텍스트 중심의 서비스가 영상 및 화상 중심의 서비스로 전환되면서 가입자망의 고속화에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 따라서 가입자당 요구되는 대역폭은 향후 100 Mb/s로 추정되며, 통신사업자나 CATV 사업자 모두 영상, 데이터, 음성을 통합한 서비스를 하나의 네트워크 인프라를 통해서 공급하는 것을 목표로 각자의 가입자망 고도화에 박차를 가하고 있다.

가입자에게 제공할 수 있는 대역폭을 높일 수 있는 유일한 대안은 광섬유를 각 가입자택내까지 포설하는 FTTH (Fiber-To-The-Home)이다. 이를 위한 방안으로 광섬유 기반의 수동형 광 가입자망 (PON: Passive Optical Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있

* 학생회원, ** 정회원, 한국과학기술원 전자전산학과 (Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

※ 본 연구는 과학기술부의 국가지정 연구실 사업으로 지원되었음.

접수일자: 2006년4월8일, 수정완료일: 2006년5월15일

다. 현재의 수동형 광 가입자망 기술 중 가입자에게 100 Mb/s 이상의 대역폭을 보장하고 높은 QoS (Quality of Service)를 보장할 수 있는 파장분할 다중 방식 수동형 광 가입자망 (WDM-PON: Wavelength Division Multiplexed - Passive Optical Network)이 궁극적인 대안으로 인식되고 있다.

WDM-PON에서는 각 가입자당 할당된 별도의 파장을 가지고 통신을 해야 하므로 저가의 광원이 요구되며, 가입자별로 파장 관리 및 감시, 제어 등의 문제를 해결하기 위해서는 광원의 파장 무의존성 (color-free operation, i.e., wavelength independent operation)을 지닌 광원이 필수적이다. 또한 WDM-PON 구조를 기반으로 한 통신망에서 현재의 방송 서비스를 수용하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

현재까지 제안된 WDM-PON을 위한 광원 중 파장 무의존성을 가진 가장 경제적인 방법은 파장 잠김된 페브리 페롯 레이저 다이오드 (wavelength-locked F-P LD: wavelength-locked Fabry-Perot Laser Diode)로^[1] 이는 비간섭성 광원을 다중모드로 발진하는 F-P LD에 주입하여, 비간섭성 광원의 파장에 F-P LD의 발진 파장을 고정시키는 방법이다. 현재 주로 사용되고 있는 광대역 비간섭성 광원 (BLS: Broadband Light Source)으로는 자연 방출광 (ASE: Amplified Spontaneous Emission)을 내는 어븀 첨가 광증폭기 (EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifiers)를 예로 들 수 있다. 하지만 ASE의 주입으로 파장 잠김된 F-P LD 광원은 WDM-PON에서 사용하는 도파관 배열 격자(AWG: Array Waveguide Grating)의 통과 대역폭이 좁을수록 주입되는 ASE의 잡음이 증가하므로 50 GHz의 채널 간격을 갖는 DWDM-PON (Dense WDM-PON)에서는 파장 무의존성 (color-free operation, i.e., wavelength independent operation)^[2]을 보장하기 어려울 뿐만 아니라 1 Gb/s 이상의 고속 전송에도 한계가 있다.

한편, WDM-PON 기반의 가입자망에서 현재의 방송 서비스를 제공하기 위해서는 방송과 통신이 다른 파장을 사용하여 WDM의 형태로 전송되는 오버레이 (overlay)방식이 적합하다. 이를 위한 방법으로 AWG의 전체 출력 포트에 해당하는 대역폭을 가진 광대역 광원에 방송 신호를 인가하여 AWG를 통해 스펙트럼 필터링된 각 광신호들이 다수의 가입자에게 전달되는 구조가 제안되었다^[3]. 이 방법은 하나의 광대역 광원으로 다수의 가입자에게 방송 신호를 전송할 수 있기 때문에 경제적이지만, 광대역 광원으로 사용되는 ASE 기반의

LED나 EDFA가 AWG에 의해 좁은 대역폭으로 스펙트럼이 분할되어 높은 상대 세기 잡음 (RIN: Relative Intensity Noise)를 가지므로 전송 용량이 낮은 단점이 있다.

본 논문에서는 WDM-PON에서 통신 및 방송 신호의 전송을 위한 광원으로써 ASE 기반의 BLS가 가진 한계점을 극복하기 위한 방안으로 저가의 F-P LD 간의 상호 주입 원리로 구현된 저잡음 특성의 BLS를 제안한다. 먼저 데이터 전송을 위한 경제적인 광원인 파장 잠김된 F-P LD의 주입 광원으로 저잡음 BLS를 사용하여 50 GHz의 채널 간격을 가진 DWDM-PON에서 파장 무의존성을 확인하고자 한다. 또한 WDM-PON에서 오버레이 방식으로 방송 서비스 수용을 위한 단일 광원으로 저잡음 특성의 BLS를 사용하여 고품질 TV (HDTV: High Definition TeleVision) 서비스의 제공 가능성을 확인하고자 한다. 이를 통해 영상 및 화상 중심으로 융합된 방송 및 통신 서비스를 효율적으로 수용할 수 있는 광대역 통합망 구조를 제안하고, 이의 가능성을 시험함으로써 경제적인 WDM-PON의 구현 가능성을 검토하겠다.

먼저, 제 II 장에서는 저잡음 BLS의 구성 및 특성에 대해 설명한다. 제 III 장에서는 DWDM-PON 구조에서 저잡음 BLS의 주입으로 파장 잠김된 F-P LD의 파장 무의존성을 살펴보고, 제 IV 장에서는 저잡음 BLS를 광원으로 한 방송 신호 전송의 가능성에 대해 검토한다. 제 V 장은 본 논문 내용에 대한 토의를, 제 VI 장에서는 결론을 맺도록 한다.

II. 저잡음 BLS의 구성 및 특성

제안된 저잡음 BLS의 구성도는 그림 1과 같다. 한쪽 공진기 (cavity) 단면이 비반사 코팅된 두 개의 F-P LD를 2x2 광결합기 (50:50 Coupler)로 연결하고, 결합기의 나머지 포트에는 단방향기 (Isolator)를 연결하여 반사를 없애 주었다. F-P LD의 출력이 광결합기에 의해 서로 연결되면 F-P LD 상호간에 광자의 주입이 일어난다. 즉, F-P LD 1의 출력 단자에 F-P LD 2의 출력 단자가 연결되어 F-P LD 1에서 발진되어 나온 광자가 F-P LD 2의 공진기 내로 주입된다. 마찬가지로, F-P LD 2의 출력은 F-P LD 1로 주입되어 상호 주입 현상이 일어난다. 단독으로 발진하는 두 F-P LD의 출력 파워는 -5 dBm이며, 모드 간격은 100 GHz로 동일하다. 단방향기로 출력되는 두 단자에 두 개의 편광 조

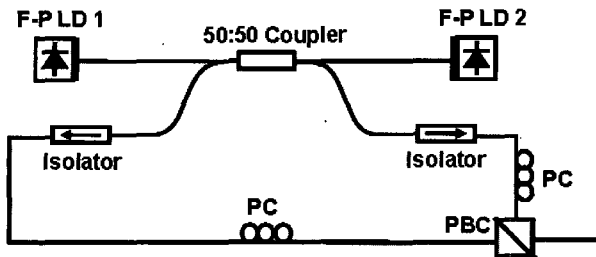


그림 1. F-P LD의 상호 주입을 이용한 저잡음 BLS
Fig. 1. A low noise BLS based on mutual injection between F-P LDs.

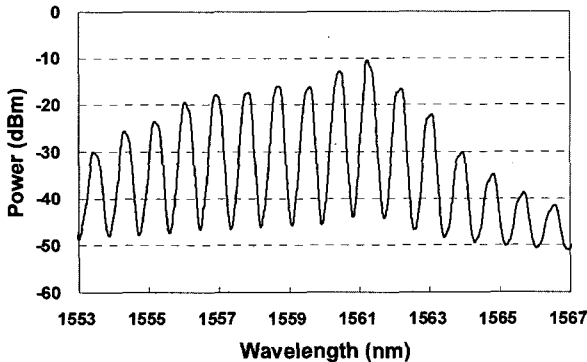


그림 2. 저잡음 BLS의 출력 스펙트럼
Fig. 2. Output spectrum of a low noise BLS.

절기 (PC: Polarization Controller)와 하나의 편광 결합기 (PBC: Polarization Beam Combiner)를 사용하여 편광 다중화를 통해 무편광 BLS를 구현하였다.

편광 다중화된 BLS의 광 스펙트럼이 그림 2에 나타났다. 이때, 다중 모드 형태의 BLS 한 모드가 가지는 선 폭은 상호 주입 이전 F-P LD의 한 모드에 비해 넓어진 0.2 nm이다. 이는 가간섭 시간이 42 ps로 충분히 짧으므로 비간섭성 광원이라 할 수 있다.

한편, BLS의 잡음 특성을 살펴보기 위해서 상호 주입 전과 후에 측정된 상대 세기 잡음 (RIN: Relative Intensity Noise)을 그림 3에 나타냈다. BLS 각 모드의 RIN은 저주파수 영역의 1/f 잡음을 제외하고는 F-P LD 한 모드가 가지는 모드 분할 잡음 (Mode Partition Noise)에 비해 현저하게 줄어든 형태로 나타나며, 또한 동일한 선폭을 가지는 ASE의 잡음에 비해서도 상대적으로 낮은 잡음 특성을 보임을 알 수 있다. F-P LD가 단독으로 발진하는 경우에는 한 모드의 발진에 관여하는 광자의 수가 시간에 따라 일정하게 유지되지 않으므로 모드 분할 잡음이 나타난다. 그러나, 두 개의 F-P LD의 출력이 광결합기로 연결되어 상호 주입의 통로가 만들어지면, 동일 파장 모드에서 발진하는 광자들이 양 방향으로 주입되어 하나의 F-P LD 한 모드의 발진에

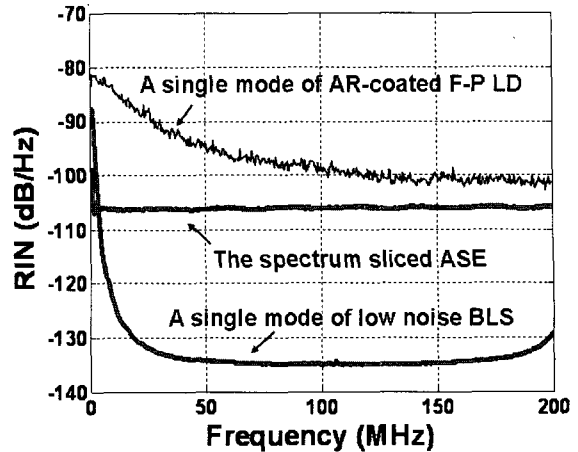


그림 3. 측정된 상대 세기 잡음
Fig. 3. The measured relative intensity noise (RIN).

기여하는 광자의 수가 적어지는 순간에도 나머지 F-P LD에 의해 광자가 보상된다. 따라서 모드 분할 잡음이 대폭 줄어들게 되어 그림 3과 같은 저잡음 특성을 얻게 되는 것이다. 하지만 사용된 F-P LD 1과 F-P LD 2 사이의 길이에 따라 나타나는 잡음의 주기적인 특성이 전송 가능한 데이터율을 제한하는 요인이 되므로 잡음의 발진 주파수 (발진 주기의 역수)는 전송 속도보다 높아야 한다. 본 논문에서는 구현된 BLS는 두 F-P LD 사이의 길이가 약 0.5 m로 잡음의 주파수 간격은 213 MHz로 나타났다.

III. 저잡음 BLS를 주입하여 파장 잠김된 F-P LD를 광원으로 사용한 DWDM-PON에서의 파장 무의존성

파장 무의존성을 지닌 파장 잠김된 F-P LD를 구현하기 위한 실험 구성도는 그림 4와 같다. 저잡음 BLS의 출력이 서큘레이터 (circulator)와 20 km의 단일 모드 광섬유 (SMF: Single Mode Fiber)를 지나 50 GHz의 채널 간격을 갖는 AWG 1의 파장을 중심으로 필터링되고, 다중 모드로 발진하고 있는 가입자용 F-P LD에 주입되어 파장 잠김된 F-P LD가 형성된다. 이때, 파장 잠김된 F-P LD는 주입된 BLS의 저잡음 특성을 극대화하기 위하여 1/f 잡음을 피할 수 있는 변조 포맷인 Manchester 코드를 사용하였다. 이는 그림 5에 도시된 바와 같이 NRZ 데이터와는 달리 저주파수 영역에 스펙트럼 성분을 가지지 않으므로 주입된 저잡음 BLS의 1/f 잡음에 의한 영향을 줄일 수 있다. 실험에서 사용된 Manchester 코드는 NRZ 신호로부터 Encoding 되

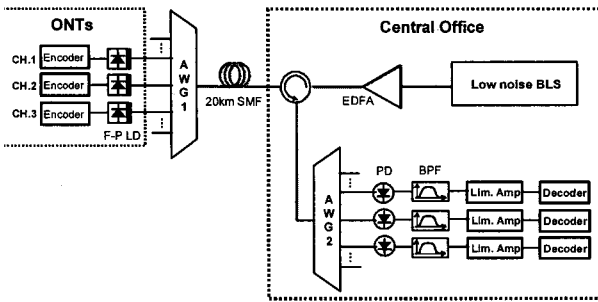


그림 4. 파장 무의존성을 지닌 파장 잠김된 F-P LD 구성도

Fig. 4. Experimental setup for the wavelength-locked F-P LD with color-free operation.

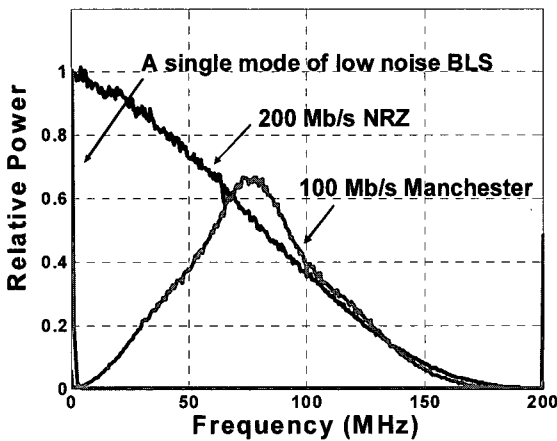


그림 5. BLS 및 변조 신호의 전기적 스펙트럼 비교
Fig. 5. Electrical spectra comparison of BLS and modulated signal.

였으며 100 Mb/s의 Manchester 데이터는 200 MHz의 대역폭을 가진다. AWG 2를 거쳐 수신단에 도달한 신호의 1/f 잡음은 대역 통과 필터 (BPF: Band-Pass Filter)로 필터링된 후 Manchester 형식에서 본래의 NRZ 신호로 Decoding 된다. 이때, 100 Mb/s의 Manchester 데이터의 전송 성능을 최적화하기 위한 BPF의 저주파 차단 주파수는 0.8 MHz였다.

파장 잠김된 F-P LD의 경우 주위 환경의 온도가 변하면 F-P LD의 발진 모드 파장이 변하게 되어 파장 잠김된 F-P LD의 잡음 특성이 온도에 따른 의존성을 가지게 된다. 따라서 온도 변화에 무관한 성능을 보장하면서 파장 관리가 용이하도록 하기 위해서는 파장 무의존성을 지닌 광원의 구현이 필수적이다. 저잡음 BLS의 주입으로 파장 잠김된 F-P LD를 광원으로 하는 DWDM-PON의 파장 무의존성을 분석하기 위해서 파장 잠김된 F-P LD의 AWG에 의한 필터링 전과 후의 RIN을 측정하여 그림 6에 나타냈다. 사용된 AWG의 채널 간격은 50 GHz이고, 3 dB 대역폭은 33.75 GHz

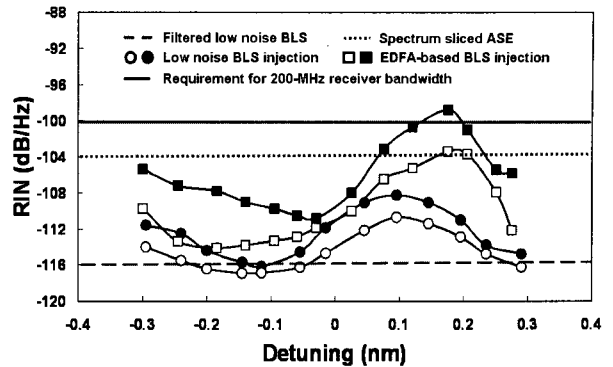


그림 6. 파장 잠김된 F-P LD의 AWG 필터링 전과 후에 측정된 잡음 열화 특성

Fig. 6. Noise degradation of wavelength-locked F-P LD before and after filtering by AWGs

(0.27 nm)로 주입된 BLS 한 모드의 대역폭 (0.2 nm)보다 넓다. 이때, BLS의 주입 파워는 -12 dBm (total)이다. 먼저 AWG 1을 지나 필터링된 비간섭성 광원의 0.8 MHz에서 200 MHz의 주파수 범위에서 평균 RIN은 -116 dB/Hz로 측정되었다. 이는 사용된 AWG와 동일한 대역폭으로 필터링 된 ASE에 비해 12 dB 낮은 잡음 특성을 보인다. 저잡음 특성의 비간섭성 광원을 주입 BLS로 이용하고 100 Mb/s의 Manchester 데이터를 전송하는 경우 (200 MHz의 수신기 대역폭), 파장 무의존성을 위한 10^{-12} 의 BER (Q=7)을 만족하기 위해 요구되는 RIN은 -100 dB/Hz이다.

AWG 1에 의해 필터링 된 저잡음 비간섭성 광원이 F-P LD에 주입된 후 파장 잠김된 F-P LD 전체 모드의 RIN과 AWG 1, AWG 2를 지난 후 수신단에 도달한 신호의 RIN을 측정하여 그림 6의 흰색 원과 검은색 원으로 각각 표시했다. 측정된 RIN은 비간섭성 광원의 주입 파장과 F-P LD의 발진 파장 사이의 차이로 정의한 디튜닝 (Detuning)에 따라 나타났으며, 이때 수신단에 도달한 신호의 RIN (검은색 원)은 파장 무의존성을 나타내기 충분함을 알 수 있다. 또한, 두 개의 AWG에 의해 필터링되면서 발생된 잡음 열화 정도는 1~3 dB 정도였다. 반면, ASE를 주입 BLS로 사용하여 동일한 수신기의 대역폭 내에서 200 Mb/s의 NRZ 데이터를 전송하는 경우에는 두 개의 AWG를 통과한 후 측정된 RIN (검은색 사각형)이 특정 디튜닝 영역에서 파장 무의존성 조건을 만족하지 못했으며, AWG에 의한 잡음 열화가 최대 7 dB까지 발생함을 그림 6을 통해 알 수 있다.

저잡음 특성의 BLS를 주입하여 파장 잠김된 F-P LD의 파장 무의존성을 확인하기 위하여 디튜닝에 따른

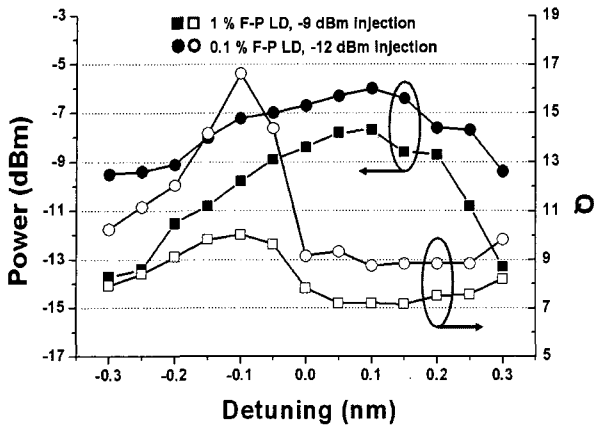


그림 7. 채널 2의 단일 전송과 3 채널 WDM 전송 후 측정된 BER 파장 잠김된 F-P LD의 AWG 필터링 전과 후에 측정된 잡음 열화 특성

Fig. 7. Noise degradation of wavelength-locked F-P LD before and after filtering by AWG.

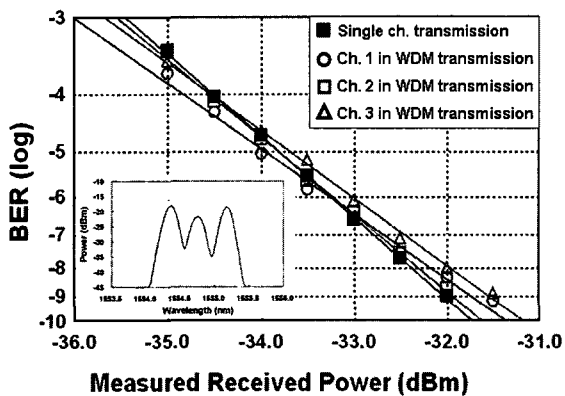


그림 8. 채널 2의 단일 전송과 3 채널 WDM 전송 후 측정된 BER

Fig. 8. The measured BER curves of single transmission in channel 2 (solid marker) and 3-channel upstream transmission (hollow markers).

Q 값 (hollow markers)과 그때의 광신호 세기 (solid markers)를 측정하여 그림 7에 나타냈다. 1%의 AR (anti-reflection) 코팅을 갖는 F-P LD를 사용한 경우는 -31 dBm의 수신 파워에서, 0.1%의 AR 코팅을 갖는 F-P LD의 경우는 -26.5 dBm의 수신 파워에서 Q 값을 측정하였다. 이때의 수신 파워는 디튜닝에 따라 측정된 광신호 세기 중 최소의 광신호 세기와 17 dB (10 dB (두 개의 AWG) + 6 dB (20km SMF) + 1 dB (서클레이터))의 링크 손실의 차로 계산된 값이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 전체 디튜닝 범위 내에서 측정된 Q 값은 10^{-12} 의 BER에 대응되는 값인 7 이상의 값을 가지므로 50 GHz의 채널 간격을 갖는 DWDM-PON에서

의 사용된 파장 잠김된 F-P LD의 파장 무의존성이 보장됨을 알 수 있다. 이때 파장 무의존성을 위해 요구되는 비간섭성 광원의 주입 파워는 AR 코팅율이 1%와 0.1%인 경우, 각각 -9 dBm, -12 dBm이었다.

파장 무의존성을 지닌 광원을 이용한 DWDM-PON의 가능성을 실험하기 위해 50 GHz 채널 간격의 AWG를 사용하여 3 채널 (1554.4 nm~ 1555.2 nm) 전송 실험을 수행하였다. 단 주입된 저잡음 BLS의 모드 간격이 100 GHz이었으므로 채널 1과 채널 3 사이에 ASE 기반의 BLS의 주입으로 파장 잠김된 F-P LD를 추가적인 광신호로 이용하였다. 이때 ONT에 위치한 모든 F-P LD의 AR 코팅율은 0.1%이며, 100 -Mb/s의 Manchester 코드로 직접 변조되었다. 또한 외부에서 주입된 비간섭성 광원의 광 파워는 -12 dBm이었다. 채널 2의 광신호 크기가 최소이면서 인접한 채널인 채널 1과 채널 3의 광신호가 최대인 경우, 채널 2의 단일 전송 BER과 WDM 전송 BER을 함께 그림 8에 도시하였다. 인접 채널에 의해 발생하는 crosstalk 효과는 거의 무시할 만함을 알 수 있다. 따라서 저잡음 특성의 BLS를 주입하여 파장 잠김된 F-P LD 또한 저잡음 특성을 가지도록 가입자용 광원을 구현하였고, 주입된 비간섭성 광원보다 넓은 대역폭의 AWG를 사용하여 필터링에 의한 잡음 열화를 최소화하여 온도 변화에 무관한 가입자용 장치를 구현함으로써 DWDM-PON의 가능성을 확인하였다.

IV. 저잡음 BLS를 광원으로 한 오버레이 방식의 방송 서비스 수용 방안

WDM-PON에서 오버레이 방식으로 방송 서비스를 수용하기 위해 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 9와 같다. 먼저 다수의 하향 광원에서 출력된 하향 데이터 신호는 AWG 1에서 다중화되며 이는 WDM 결합기를 통해 방송 신호와 합쳐진다. 이때, 방송 신호는 저잡음 BLS를 광원으로 하여 외부변조기 (external modulator)로 변조되고 하향의 데이터 신호와 함께 다중화 선로 (feeder fiber)를 지난 후 지역 노드 (RN: Remote Node)에 위치한 AWG 2에 입력된다. 하향의 데이터 신호는 AWG 2에 의해 역다중화되고, 방송 신호인 BLS 출력은 스펙트럼 분할되어 각 가입자들에게 전달된다. 이는 다시 가입자단의 WDM 필터에서 방송 신호와 하향의 데이터 신호로 분리되어 각각 제1 광수신기 (Rx1)와 제2 광수신기 (Rx2)로 전달된다. 상향의 데이터 전

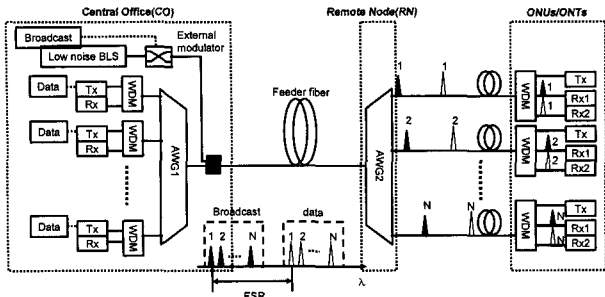


그림 9. 방송과 통신의 통합서비스를 제공하는 WDM-PON
 Fig. 9. WDM-PON for the convergence of broadcasting and data service.

송은 일반적인 WDM-PON의 경우와 동일하다. 이러한 방식은 3장에서 제안된 DWDM-PON뿐만 아니라 다른 WDM-PON 시스템에서도 적용 가능하다.

각 가입자에게 스펙트럼 분할된 광신호가 전달되기 위해서는 저잡음 BLS를 구성하는 F-P LD의 모드 간 간격이 AWG 2의 채널 간격과 일치해야 한다. 또한, BLS의 파장 대역은 그림 9과 같이 하향 데이터 신호를 위한 파장 대역에서 AWG의 free spectral range (FSR)의 정수배 만큼 떨어져 있어야 한다. 마찬가지로 상향 데이터를 위한 광신호의 파장도 위와 동일한 방법으로 파장 대역을 할당하면 하나의 AWG로 지역노드를 구현할 수 있다. 따라서 이러한 방송 및 통신의 통합 서비스 구조는 각 가입자에게 하나의 광선로로 방송 서비스와 데이터 서비스를 동시에 제공할 수 있으므로 설비 비용 및 유지 보수 비용을 절감할 수 있다.

한편, BLS를 광원으로 하여 외부 변조되는 방송 신호는 기존의 CATV 시스템에서 사용된 부반송파 다중 방식 (subcarrier multiplexing)으로 인가된다. 따라서 전송 가능한 방송 신호의 데이터 포맷과 채널수는 수신되는 광신호의 파워가 충분히 크면 열잡음의 영향을 무시할 수 있으므로 주로 RIN과 광원의 비선형성, 클리핑 (clipping)에 의해서 결정된다. 특히 RIN은 BLS를 광원으로 하여 스펙트럼 분할된 광신호를 방송 신호로 이용하는 경우에 가장 중요한 요소이다. BLS 광원으로 ASE 기반의 EDFA를 사용하는 경우, 채널 간격이 100 GHz이면서 가우시안 (gaussian) 모양의 AWG로 스펙트럼 분할된 광의 RIN은 약 -108.8 dB/Hz이다. 그리고 외부 변조기를 사용하는 경우, 편광 의존성에 의해 RIN은 3 dB 더 증가한다. 즉 스펙트럼 분할된 광신호의 RIN은 필터의 대역폭이 좁아질수록 증가하므로, 잡음 특성을 좋게 하기 위해서는 넓은 대역폭을 가진 필터를

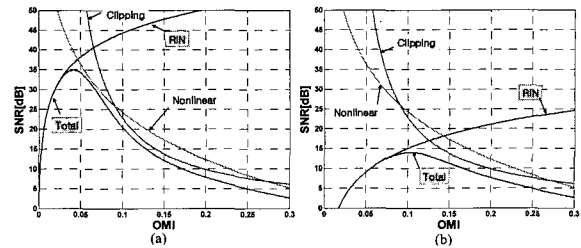


그림 10. 40 채널의 경우 신호 대 잡음비 (a) 저잡음 BLS, (b) ASE 기반의 BLS
 Fig. 10. SNR of 40-channel with use of (a) low noise BLS, (b) ASE based BLS.

표 1. 여러가지 광원에 대한 최대 전송 가능한 채널수
 Table 1. The number of channels for different source.

Source	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
BLS by mutual injection	> 125	> 125	> 125	42
BLS by mutual injection	> 125	> 125	> 125	125
Nonlinearity Compensation				
EDFA	23	4	2	1
EDFA	28	4	2	1
Nonlinearity Compensation				

사용해야 한다 [4]. 하지만, 이 경우 색분산에 의한 영향이 커질 뿐만 아니라 전송 채널수도 줄어드는 단점이 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 저잡음 BLS는 그림 3과 같이 저주파 영역을 제외하고는 -135 dB/Hz의 RIN을 가지므로 ASE 기반의 BLS에 비해 우수한 잡음 특성을 지닌다. 특히 기존의 CATV 채널은 50 MHz부터 시작하기 때문에 저주파 대역의 1/f 잡음은 무시할 수 있다.

ASE 기반의 BLS와 저잡음 BLS를 광원으로 사용하는 경우, 전송 가능한 채널수를 비교하기 위해 광변조지수 (OMI: Optical Modulation Index)에 따라 계산된 SNR을 그림 10에 나타냈다. 이때, 채널수는 40이고 채널당 대역폭은 디지털 방송 신호 전송을 가정하여 6 MHz로 계산하였다. 또한 외부 변조기를 사용하는 경우를 고려하여 광원의 비선형성은 외부변조기의 비선형성을 고려하여 계산하였고, 클리핑 (clipping)은 Saleh의 수정된 모델을 이용하였다 [5]. 제안된 저잡음 BLS를 광원으로 사용한 경우는 채널당 광변조지수가 0.041일 때 SNR이 34.8 dB로 최대였으며, 이는 256 QAM 신호로 10⁻⁹의 BER을 얻기 위한 34.6 dB의 SNR 값 보다 높다. 반면, ASE 기반의 BLS의 경우 최대 SNR이 13.9 dB였고, 이는 QPSK 신호로 BER 10⁻⁹을 만족하기 위한 SNR인 15.6 dB보다 낮다. 여러 가지 데이터 포맷에 따라 최대 전송 가능한 채널수를 사용된 광원에 따라 정리하여 표 1에 나타냈다. 이때, predistortion, feed-forward 등의 방법으로 외부변조기의 비선형성을

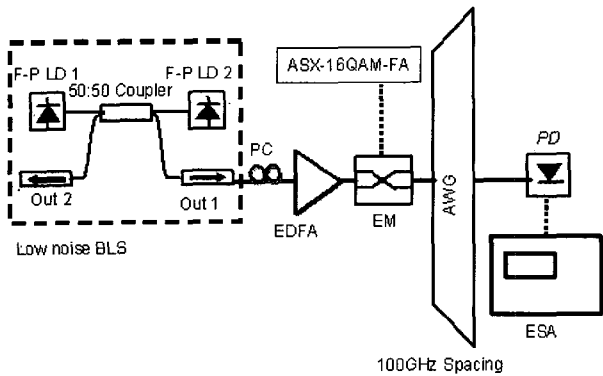


그림 11. 디지털 방송 채널을 위한 실험 구성도
Fig. 11. Experimental setup for the digital broadcasting channel.

보상하여 전송 용량을 증가시킨 경우에 대해서도 고려해보았다. 저잡음 BLS의 경우 비선형성에 의한 영향을 보상해 주면 256 QAM 신호를 125 채널까지 전송할 수 있다. 또한 64 QAM, 16 QAM 신호의 경우는 그 이상의 전송이 가능하다. 하지만 기존의 ASE 기반의 BLS로는 외부변조기의 비선형성을 보상해 주더라도 채널수의 증가 효과는 거의 볼 수 없었다. 따라서 방송 신호 전송을 위한 광원으로 저잡음 BLS를 사용함으로써 전송 채널수와 전송 용량을 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이를 이용하여 HDTV 신호 전송을 고려해보자. HDTV 한 채널을 위한 전송 속도는 약 19.2 Mb/s이므로 6 MHz 대역폭 내에서 HDTV 한 채널을 전송하기 위해서는 16 QAM 이상의 신호가 필요하다. 따라서 표 1의 결과에 따라 저잡음 BLS를 방송 신호 전송을 위한 광원으로 사용하는 경우는 16 QAM의 데이터 포맷으로 125 채널 이상을 전송할 수 있다. 특히 256 QAM 신호는 6 MHz 대역폭 내에서 40 Mb/s를 전송할 수 있기 때문에, 비선형성 보상 시 750 MHz (6 x 125) 대역폭 내에서 250 채널의 HDTV 신호를 전송할 수 있다. 이는 다양한 방송 채널 신호를 전송하는 데 충분히 큰 수이다.

디지털 방송 신호 전송의 가능성을 확인하기 위해 그림 11의 구성도를 이용하여 SNR을 측정하고 이를 이론값과 비교하였다. 사용된 AWG의 채널 간격 (100 GHz)과 동일한 모드 간격을 지닌 F-P LD간의 상호 주입 원리로 구현된 저잡음 BLS를 광원으로 사용하였다. 이때 BLS에서 출력은 편광 조절기를 거쳐 EDFA에서 증폭되어, 외부 변조기에서 방송 신호로 변조된다. 외부 변조기로 인가된 방송 신호는 5 채널의 256 QAM 신호이

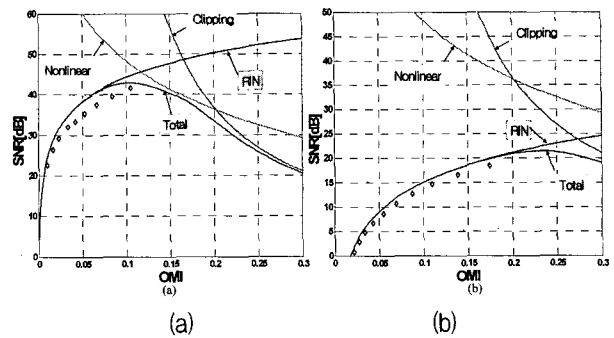


그림 12. 5채널 전송의 경우 이론적인 SNR과 측정된 SNR (a) 저잡음 BLS의 경우 (b) ASE 기반의 BLS

Fig. 12. The theoretical and measured SNR at 5-channel transmission using (a) a low noise BLS, (b) ASE based BLS.

며, 변조된 광신호는 AWG를 지나 광 수신기 (PD: PhotoDiode)로 전달된다. 전기 스펙트럼 분석기 (ESA: External Spectrum Analyzer)를 이용하여 수신된 신호의 SNR을 측정한 결과는 그림 12와 같다. 저잡음 BLS를 광원으로 사용한 경우 측정된 SNR은 그림 12(a)에, ASE 기반의 BLS의 경우는 그림 12(b)에 도시하였다. 이때 점선으로 표시된 SNR의 측정값은 이론값을 나타내는 실선과 잘 일치함을 알 수 있다.

V. 토 의

III장에서 언급된 채널 간격이 50 GHz인 64 채널의 DWDM-PON을 구현하기 위해 요구되는 BLS의 파워는 18 dBm (-12 dBm (주입파워) + 12 dB (링크손실) + 18 dB (64 채널 분기손실))이며, 필요한 이득 대역폭은 26 nm이다. 따라서 이득 스펙트럼이 넓은 고효율 F-P LD를 상호 주입에 이용하면 추가의 EDFA 없이도 충분한 출력을 내는 저잡음 BLS를 구현할 수 있으리라 생각한다. 또한 상호 주입에 이용되는 두 F-P LD 사이의 간격을 8 cm 이하로 줄임으로써 전송 가능한 데이터율을 증가시켜 1.25 Gb/s 이상의 고속 전송을 위한 WDM-PON의 구현도 가능할 것이다.

4장의 실험에서 저잡음 BLS를 위해 사용된 두 F-P LD 간의 간격이 약 0.5 m이기 때문에 주기가 213 MHz인 잡음 성분이 생성되었다. 이러한 주기적인 잡음 성분과 방송 신호간의 간섭에 의한 영향을 피하기 위해서는 주기적인 잡음 성분이 방송 신호 대역밖에 존재하도록 두 F-P LD간의 간격을 좁혀야 한다. 특히 광원의 비선형적인 특성으로 인해 발생하는 주기적인 잡음 성

분과 방송 신호 간의 비선형 왜곡을 방지하기 위해서는, 주기적인 잡음 성분의 주파수가 방송 신호 대역의 두 배 이상이 되도록 두 F-P LD 사이의 간격을 좁혀야 한다. 따라서 50 MHz ~ 800 MHz까지를 방송 신호 대역으로 사용하는 경우, 주기적인 잡음 성분의 주기는 1600 MHz 이상이 되도록 하여야 하며 이는 두 F-P LD 사이의 간격을 6.2 cm 이하로 좁힘으로써 구현 가능하다. 이를 통해 다수 채널의 전송이 가능할 것이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 궁극적인 가입자망 기술인 WDM-PON 구조에서 파장 잠김된 F-P LD를 광원으로 하여 통신 서비스를 제공하면서, 또한 오버레이 방식으로 현재의 방송 서비스를 수용할 수 있는 경제적인 광원인 저잡음 특성의 BLS를 구현하였다. 제안하는 BLS는 구성이 간단하고 저가의 비용으로 구현할 수 있는 장점이 있으며 ASE 기반의 다른 BLS에 비해 우수한 잡음 특성을 가진다. 따라서 경제적인 가입자망의 구현 및 가입자 수의 증대에 용이하게 응용될 수 있다.

저잡음 BLS를 파장 잠김된 F-P LD를 위한 외부 주입 광원으로 이용하고 Manchester 데이터를 변조 포맷으로 하여 파장 무의존성을 지닌 가입자용 장치를 구현하였다. 이를 바탕으로 50 GHz의 채널 간격을 가진 DWDM-PON에서 100 Mb/s의 3 채널 신호를 전송함으로써 경제적인 DWDM-PON의 구현 가능성을 보였다.

또한, 저잡음 특성의 BLS를 광원으로 하여 오버레이 방식으로 방송 신호를 전송할 수 있는 방법을 제안하였고 이의 가능성을 확인하였다. 저잡음 BLS를 사용하고 외부 변조기의 비선형성 보상시에는 750 MHz 대역폭 내에서 250 채널의 HDTV를 전송할 수 있음을 보였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 저잡음 특성의 BLS는 영상 및 데이터, 음성의 통합 서비스를 위한 궁극의 광가입자망인 WDM-PON의 가장 큰 문제점인 고가의 광원과 파장 무의존성을 해결함과 동시에 기존의 방송 서비스 융합을 위한 경제적인 해결책을 제시함으로써, 국내뿐만 아니라 세계 시장을 선도할 수 있는 경제적인 광대역 통합망의 실현을 앞당길 것이다.

참 고 문 헌

[1] Hyun Deok Kim, Seung-Goo Kang, and Chang-Hee Lee, "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.

- [2] D. J. Shin, D. K. Jung, J. K. Lee, J. H. Lee, Y. H. Choi, Y. C. Bang, H. S. Shin, J. Lee, S. T. Hwang, and Y. J. oh, "155 Mbit/s transmission using ASE-injected Fabry-Perot laser diode in WDM-PON over 70°C temperature range," *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 18, pp. 1331-1332, Sep. 2000.
- [3] P. P. Iannone, K. C. Reichmann, and N. J. Frigo, "High-speed point-to-point and multiple broadcast services delivered over a WDM passive optical network," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1328-1330, no. 9, Sep. 1998.
- [4] E. Desurvire, Chapter 3 in *Erbium-doped fiber amplifiers*, Wiley, New York, 1994.
- [5] Thomas E. Darcie, "Subcarrier Multiplexing for Lightwave Networks and Video Distribution Systems", *IEEE J. on Selected Areas in Communication*, vol.8, no.7, pp.1240-1248, July, 1990.

저 자 소 개



최 기 만(학생회원)
 2002년 경북대학교 전자공학과
 공학사.
 2002년~2004년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 공학석사
 2004년~현재 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 박사과정 재학 중.

<주관심분야 : 광네트워크 시스템과 파장분할 다
 중방식 수동형 광 가입자망>



문 정 형(학생회원)
 2003년 부산대학교 전자전기통신
 공학과 공학사.
 2003년~2005 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 공학석사
 2005년~현재 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 박사 과정 재학 중.

<주관심분야 : 광네트워크 시스템과 광 가입자
 망>



이 창 희(정회원)
 1979년~1983년 한양대학교
 전자공학과 공학사.
 1983년~1985년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 공학석사.
 1985년~1989년 한국과학기술원
 전기및전자공학과
 공학박사.

1989년~1990년 Bellcore 연구소(미국) 박사후
 연구원.
 1990년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원.
 1997년~현재 한국과학기술원 전자전산학과
 교수.
 <주관심분야 : 전광전송망, 광네트워크 시스템,
 반도체 레이저, 광전 소자, 및 광 가입자망>