

# 주입광원에 따른 WDM-PON 에서의 통신 품질 특성 연구

## Study of Signal Characteristics in WDM-PON using Injection Locked Fabry-Perot Laser Diode.

배준기\*, 신현종, 이재환  
(Junkye Bae, Hyunjong Shin, Jaehwan Lee)

**Abstract :** We study signal characteristics of the injection-locked Fabry-Perot laser diodes(FP-LDs) for the development of a cost-effective WDM-PON solution. The output power and system performance of WDM-PON using injection locked FP-LD are depend on optical characteristics of injection source. The effect of optical power and polarization state of the injection source experimentally investigated. We also measured BER characteristics of the directly modulated FP LD and its power penalty at the BER of  $10^{-9}$ .

**Keywords:** WDM-PON, Injection Locked, Fabry-Perot, Laser diode.

### I. 서론

정보통신 기술의 발달은 고품질의 VoD 서비스나 초고속 인터넷 서비스와 같은 초고속, 광대역 통신망을 요구하게 되었다. 장거리 통신의 비약적인 발전을 이끌어온 광 통신 기술은 부품 가격의 하락과 함께 가입자 망에도 사용되기 시작하였으며, 이로 인해 FTTB, FTTC, FTTH등 가입자 까지 광으로 전달하는 서비스로 진화되어가고 있으며, 신호를 주고받는 기지국과 광 가입자간 전원공급이 없는 수동 광소자로 구성된 수동 가입자망 (PON : Passive Optical Network) 는 경제적인 광 네트워크 기술로 많은 관심이 집중되고 있다.

PON은 그 다중화 방식에 따라 시간분할 다중방식 (TDM : time-division-multiplexing)과 파장분할 다중방식 (WDM : wavelength-division-multiplexing)으로 분류할 수 있는데, WDM-PON은 TDM-PON에 비하여 상대적으로 가격이 고가이나, 광 송수신기 사이에 논리적인 점대점(point-to-point) 통신을 하므로, 통신의 보안성이 높고 전송형태에 제약이 없을 뿐만 아니라, 가입자에 따라 독립적인 서비스 제공이 가능하며, 통신용량의 확대를 쉽게 수용할 수 있다는 장점이 있다.

WDM-PON이 TDM-PON에 비해 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 아직까지 WDM-PON이 연구실 수준에 머무르게 하는 주된 원인은 경제적이고, 안정적인 WDM 광원을 제공하기 어렵다는 문제점이 있어, 가입자망에 적용하기 위해서는 저가의 광소자 확보가 핵심 사안이며, 특히 광원은 전체 시스템 구현에서 차지 하는 비중이 상대적으로 높기 때문에 저가의 광원 개발이 필수적이다.

Injection-locking 방식은 주입 광원의 우수한 광학적 특성을 이용하여 FP-LD의 출력특성을 파장 분할 다중 방식의 광가입자망에 적합한 출력 특성을 가지도록 하는 방식이다. 주입된 광원에 의해 사용되는 파장이 선택되는 Colorless WDM-PON 시스템은 시스템 적용면에 있어서 사용이 용이할 뿐만 아니라, 송수신기의 비용이 상대적으로 저렴하기 때문에, 경제적인 WDM-PON을 위한 통신 광원으로서 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 WDM-PON 시스템에서 주입 광원의 특성은 시스템 전체의 효율과 성능을 결정짓는 주요한 요소가 되므로, 본 논문에서는 주입 광원의 종류, 세기,

편광 특성과 함께, 광 송신기와의 연계 동작 특성을 연구하며, 시스템 전체의 효율과 시스템 안정성 향상을 위한 주입 광원 및 광 송신 광원의 최적화 기술을 연구하였다.

### II. 실험 구성 및 결과

Injection Locked FP LD는 파장 잠김되는 파장 범위가 넓기 때문에, 사용가능한 파장 대역이 넓고, 주입 파장에 따라, 한정된 파장 영역만을 사용하기 때문에 파장분할 다중화 방식의 수동 광 네트워크를 위한 경제적인 광원으로 널리 연구가 진행되고 있다. 그림 1은 injection-locking 방식의 광원 구성도를 나타낸다.

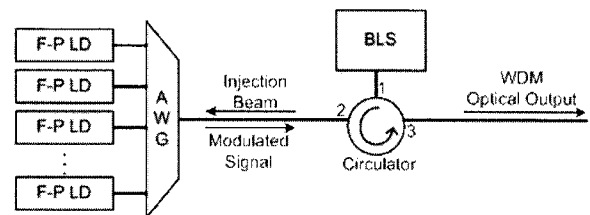


그림 1. BLS 기반 Injection-Locking

그림 1은 BLS를 WDM 필터로 slicing 한 후에 각각의 FP-LD를 주입하는 방식의 구성도이다. FP-LD의 여러 개의 피크 파장 중 주입되는 광원과 일치하는 파장만이 선택되어, 신호가 커지고 나머지 피크 파장들은 신호가 줄어들게 함으로써 output으로 출력되는 광 출력은 SMSR(Side Mode Suppression Ratio)이 높은 우수한 광학적 특성을 가지게 된다. 주입 광원의 세기, 온도, 편광 특성에 따른 출력 특성을 검토하고, WDM 전송을 위한 주입 광원의 최적화를 위해 고려할 사항을 검토한다.

#### 주입 광원 세기에 따른 LD 출력 특성:

파장 잠김을 이용한 광원의 구현을 위해서는 주입 광원으로 사용될 광대역 광원이 필수적이다. FP-LD는 강한 편광 특성을 가지고 있으며, 그 출력은 주입 광원의 편광에 대단히 민감한 특성을 가지고 있기 때문에, EDFA의 자연방출광과 같이 편광특성이 적은 비간섭성 광대역 광원이 주입 광원으로

서 유리하다. 아래의 그림 2은 주입 광원 세기에 따른 FP-LD의 출력 특성을 시험하기 위한 시험 구성도이다.

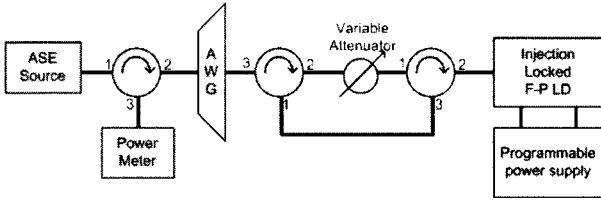


그림 2. 주입 광원의 세기에 따른 LD 출력 변화 측정을 위한 실험 구성

주입 광원으로는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier) 기반의 자연 방출광(spontaneous emission light)을 AWG로 필터링하여, Fabry-Perot LD 에 주입하였으며, 가변 감쇄기(Variable Attenuator)를 이용하여 주입 광의 세기를 조절하며, 전원 공급 장치를 통해 LD의 구동 전류를 제어하였다. LD의 구동 전류는 5mA ~ 100mA까지 5mA 단위로 측정하였으며, 운용 온도는 -4°C, 25°C, 53°C에서 각각 측정되었다. 그림 3는 측정된 주입 광원의 세기에 따른 광 출력의 변화를 나타낸다. 고온(그림 3-a) T = 53°C)에서는 LD 구동 전류에 따라 출력 광의 세기가 선형적인 특성을 보이고 있는데 반해, 상온(그림 3-b) T = 25°C) 및 저온(그림 3-c) T = -4°C)에서는 낮은 주입 광원 ( $P_{inj} < -12\text{dBm}$ )에서 비선형적인 광 출력을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다.

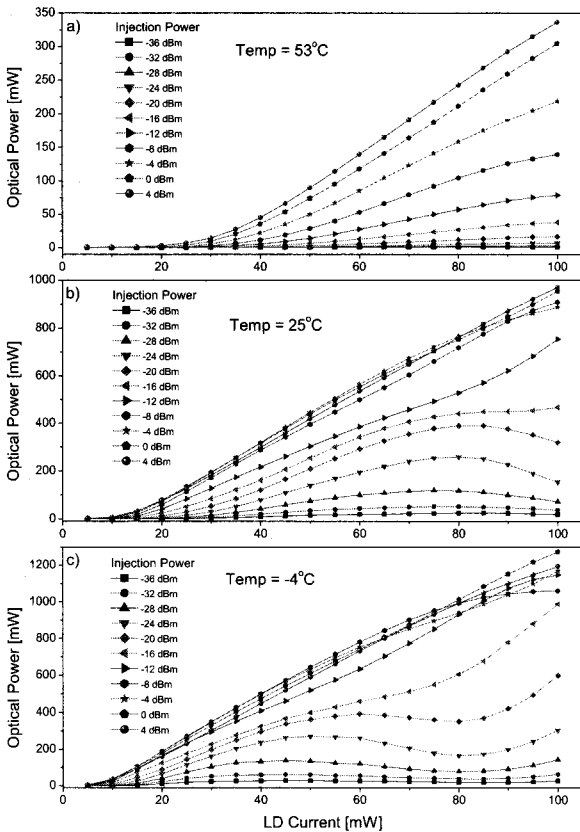


그림 3. 주입 광원 세기에 광 출력 따른 LI Curve의 변화 : a) 운용 온도 T=53°C, b) 운용 온도 T=25°C, c) 운용 온도 T=-4°C.

이는 아래 그림 4에서 보는 바와 같이, 낮은 주입 광원에서 LD의 구동전류가 지나치게 높게 운용되는 경우, FP-LD의 Fabry-Perot cavity에 의해 발생되는 광 출력이 증가하게 됨으로써(그림 4-b)에서 1525nm 파장 부근의 출력 증가), 주입 광에 의한 유도 발광을 억제하고, 주입광원에 의해 선택된 파장 성분으로 LD의 에너지가 집중되지 못하기 때문이다. 이때, 단순히 광 출력 효율의 저하뿐만 아니라, 다른 채널 신호와의 간섭을 예상할 수 있다.

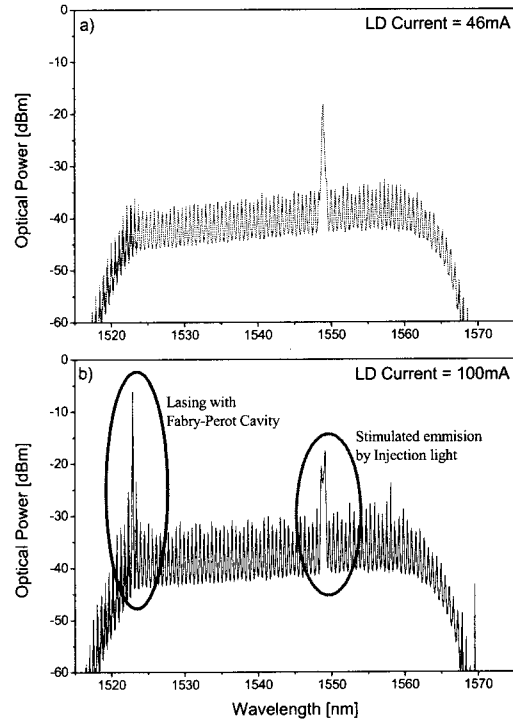


그림 4. LD 구동 전류에 따른 LD의 출력 스펙트럼 : 주입 광원의 세기  $P_{inj} = -22\text{dBm}$ , LD current = a) 46mA, b) 100mA)

주입 광원의 편광 특성에 따른 LD 출력 특성:

FP-LD는 강한 편광 특성을 가지고 있으며, 주입 광원과 그 편광 특성이 일치할 때, 최대 출력을 가지게 된다. 아래의 그림 5는 주입 광원의 편광에 따른 FP-LD의 출력 변화를 시험하기 위한 시험 구성이다.

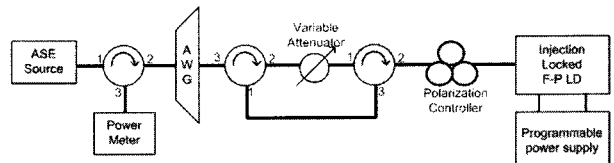


그림 5. 편광 상태 변화에 따른 출력 변화 특성 측정을 위한 실험 구성

시험에 사용된 편광 제어기는 편광기와 편광 제어기로 구성되어있으며, 비간섭 광원은 편광기를 통해 선형 편광 특성을 가지며, 편광 제어기를 통해 FP-LD로 입사되는 편광이 바뀌게 된다. 그림 6은 주입 광원의 편광 특성에 따른 광 출력

의 변화를 나타내고 있다. FP-LD은 강한 편광 특성을 가지고 있기 때문에, 주입 광원의 편광 변화에 따라, 출력이 최대 12dB 이상 매우 크게 변화함을 확인할 수 있다.

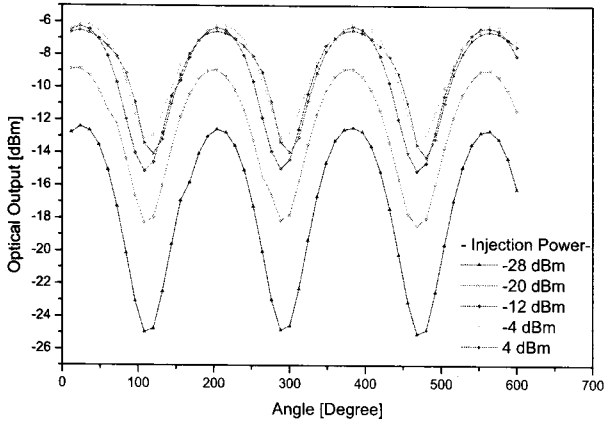


그림 6. 주입 광원의 편광 변화에 따른 FP-LD 광 출력 세기의 변화

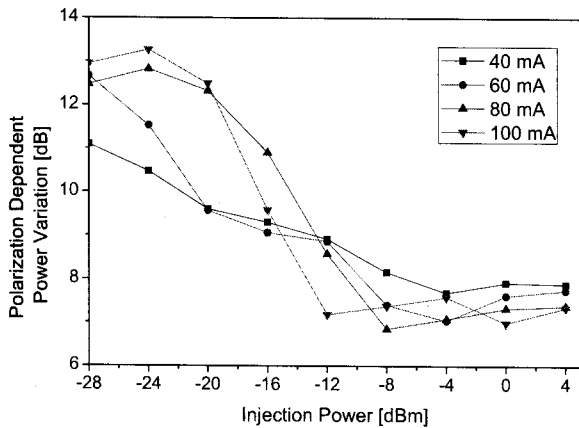


그림 7. 주입 광원 세기의 변화에 따른 FP-LD 출력의 편광 의존도의 변화

그림 7은 주입 광원의 세기에 따른 FP-LD 출력의 편광 의존도의 변화를 나타내고 있다. 주입 광원의 세기가 증가함에 따라 편광 변화에 따른 FP-LD 출력이 감소하고 있으나, 일정 세기 이상의 주입 광원에서도 약 6dB 이상의 편광 의존도를 가지고 있는 것을 관찰할 수 있다.

**주입 광원의 세기에 따른 BER 특성 변화:**

일반적으로 LD는 온도나 노화등에 의하여 임계 전류 (threshold current)와 기울기 효율(slope efficiency)가 변화하므로, LD 드라이버를 사용하여, APC(automatic Power control) 또는 AMC(Automatic Modulation control)등의 기법을 통해 안정적인 LD의 출력과 소광비(ER : Extinction ratio)를 유지하게 설계된다. 그러나, 주입 광원에 의해 그 출력 특성이 현저하게 변화하는 FP-LD는, 단순히 온도나 노화뿐만 아니라, 주입 광원의 세기에 따라 임계 전류와 기울기 효율(slope efficiency)등 LD의 특성이 현저하게 변화하게 되며, 신호의 불안정을 야기시킬 수 있다. 아래 그림 8은 주입 광원의 세기 변화에 따른

에러 특성 변화를 시험 하기 위한 실험 구성이다.

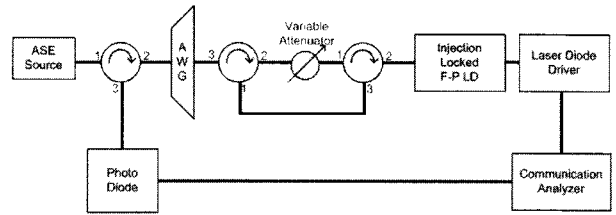


그림 8. 주입 광원 세기에 따른 BER 변화 측정을 위한 실험 구성

송신기 모듈은 상용 LD 구동칩을 통해 125M 속도로 변조되어 APC 루프를 통해 온도 및 노화 특성에 대해 일정한 광 출력을 가질 수 있도록 설계되었다. 커뮤니케이션 애널리저를 송수신 특성을 측정하였다. 그림 9와 10에서 보는 바와 같이 주입 광원의 세기가 증가함에 따라 파워 페널티가 감소하고, 수신 감도가 증가하는 것을 관찰할 수 있으나, 어느 이상의 세기(>13dBm)주입 광에 대하여 오히려 BER이 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

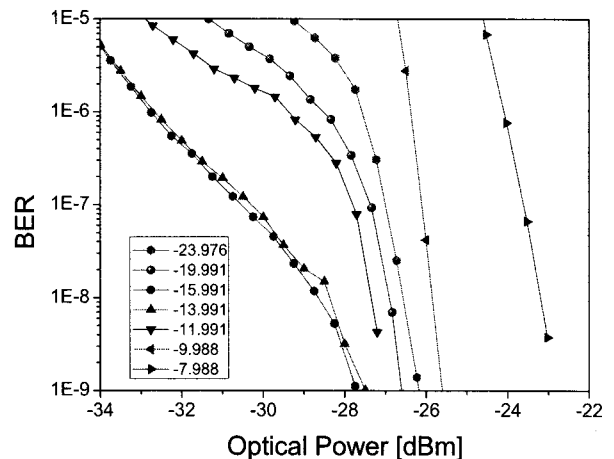


그림 9. 주입 광원의 세기에 따른 BER의 변화

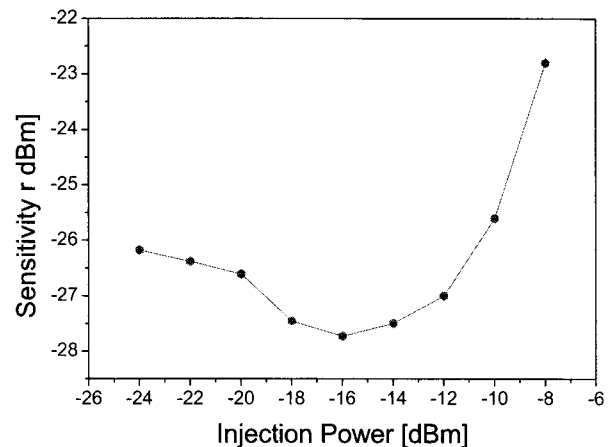


그림 10. 각각의 주입 광원에 따른 수신단 민감도의 변화 (BER = 10<sup>-9</sup>)

주입 광원의 세기의 변화에 따라 어려움이 현저하게 변화하게 되며, 중심국과 가입자단 시스템의 안정 및 신호 품질의 향상을 위해 최적화된 주입 광원을 고려한 LD 구동 회로의 적용이 필수적이다.

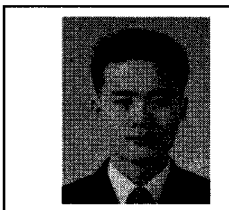
### III. 결론

주입 광원에 따라 사용되는 통신 파장을 선택되는 Colorless WDM-PON은 주입 광원의 세기 및 편광 특성에 따라 시스템 전체의 안정성, 성능 및 비용면에서 현저한 차이를 가지며, 상용 시스템 구성을 위해서는 이에 대한 LD 자체의 특성화 및 LD 구동 회로에 대한 최적화 기술이 요구된다.

본 논문에서는 주입 광원이 FP-LD 출력 및 신호 품질에 미치는 영향을 검토하였으며, 이를 통한 광 송수신기의 최적화 기술을 통해, 안정적인 WDM-PON 구현에 기여할 수 있기를 바란다.

### IV. 참고문헌

- [1] "Fabry-Perot LD를 이용한 저가형 WDM-PON 전송 시스템 개발" 정보통신산업 기술개발사업 보고서, 2003. 5. 30.
- [2] 박재동, 정의석, 김봉규, 김태연, 유정주, 김범희, 김봉태, "WDM PON 기술," 전자통신동향분석 제 19권 제 6호, pp. 43-54, 2004. 12.
- [3] 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
- [4] 한상진, 정구익, 권혁춘, 한상국, "CO에 FP LD를 이용한 WDM-PON 구조 연구," 2001 광자기술 학술회의, 논문 T1A3, pp.9-10, 2001
- [5] H. D. Kim, S. G. Kang and C. H. Lee, "A low-cost WDM source with an ASE injected Fabry-Perot semiconductor laser," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1067-1069, 2000.



배준기

1997년 중앙대학교 전기공학과(공학사), 2003년 한양대학교 전기전자 제어계측공학과(공학석사), 2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사), 2008년 ~ 현재 LG-Nortel 선임

연구원. 관심분야는 광 센서 및 필터, 광 가입자 시스템 등임.