

# Sidemode Optical Injection 을 이용한 직접 변조된 DFB 레이저의 Second Harmonic Distortion 의 억제 Suppression of Second Harmonic Distortion in Directly Modulated DFB Lasers by Sidemode Optical Injection

00 - / 0

\*서준혁, 서영광, 최우영  
연세대학교 전기 전자 공학과

### Abstract

The suppression of second harmonic distortion (SHD) in directly modulated semiconductor Distributed Feedback (DFB) lasers by sidemode optical injection has been experimentally demonstrated. About 20dB reduction of SHD can be obtained using sidemode optical injection.

**Introduction:** Microwave Subcarrier Multiplexing (SCM) 을 이용한 광 전송 시스템은 광대역 무선 LAN, 케이블 방송, fiber-radio 시스템 등 많은 응용 분야가 있다. SCM 시스템은 레이저를 직접 변조 하거나 외부 변조기를 이용하는 방법을 이용하여 신호를 전달한다. 이때 레이저를 직접 변조하여 RF 신호를 전송하는 방법은 외부 변조기를 사용할 필요가 없으므로 구현이 용이하며 적은 비용으로 시스템을 구축할 수 있는 장점이 있다. 그러나 수 GHz 의 높은 주파수로 레이저를 변조할 경우 레이저의 비선형성으로 인하여 변조한 RF 주파수의 harmonic 성분들이 발생하게 된다. 이 성분들은 인접 채널에 영향을 미치게 되므로 전체 시스템의 성능을 감소시킨다. 따라서 레이저의 비선형성에 의한 비선형 왜곡을 감소시키는 방법이 많이 연구되고 있다.

비선형 왜곡의 가장 주된 원인은 반도체 레이저 내에서의 전자와 광자의 상호 작용의 비선형성과, relaxation oscillation 에 의한 공진 매

문이다. 최근에는 레이저의 비선형 특성을 optical injection locking 으로 감소시킨 논문들이 발표 되고 있다 [1], [2]. 이를 응용하여 본 논문에서는 DFB 레이저의 sidemode 에 광 주입을 하여 비선형 성분의 하나인 SHD 를 억제하였다.

**Experiments and Results:** 그림 1 은 사용한 실험 구성을 보여 준다. Tunable 레이저 다이오드 (TLD) 를 master laser (ML) 로 사용하였으며, slave laser (SL) 로는 isolator 가 없는 DFB 레이저 (SAMSUNG SLD-24) 를 사용하였다. SL 은 약 1552nm 에서 동작하는 레이저이다. 먼저 Tunable 레이저의 출력을 -5dBm, 0dBm 으로 하고, SL 에 인가될 파장을 1550nm 에서 1553nm 까지 변화 시켜 보았다. 이 때 SL 은 변조하지 않았다. 그림 2 에서 볼 수 있듯이 SL 의 1550.2nm, 1552.9nm 주변에 TLD 의 빛이 들어 가면 SL 의 fundamental mode 의 크기가 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다. 이 지점들은 SL 의

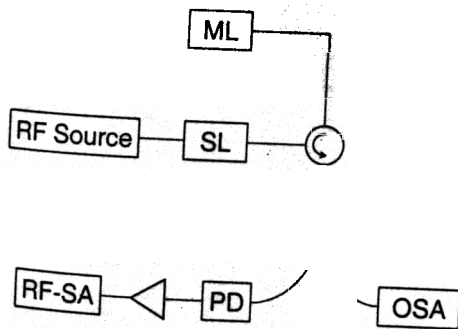


그림 1. 실험 구성도  
OSA (Optical Spectrum Analyzer), RF-SA (RF Spectrum Analyzer), PD (Photodiode),  $I_{bias, SL} = 20mA (2.9I_{th})$

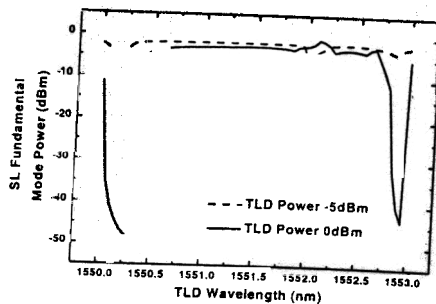


그림 2. TLD 파장 변화에 따른 SL 의 광 출력

Fabry-Perot 모드 주변에 해당한다. 이 현상은 optical injection locking 에 의해 나타나는 결과로 생각된다 [3]. 한편 TLD 출력이 0dBm 으로 SL 에 광 주입을 할 경우 -5dBm 을 주입할 때 보다 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이번에는 SL 의 Fabry-Perot 모드 주변으로 TLD 의 파장을 고정 시키고 TLD 의 광 출력을 변화 시켜 보았다. TLD 의 파장은 SL 의 fundamental mode 의 광 출력이 급격히 감소하는 부분인 1550.2nm 로 고정시키고, TLD 의 광 출력을 변화 시켜 보았다. 그림 3 은 이 때의 SL 의 fundamental mode 의 광 출력을 나타낸다. TLD 의 출력이 -1dBm 에서 2dBm 사이일 때 SL 의 광 출력이 급격히 줄어들었다. 이와 같은 현상들을 바탕으로 DFB 레이저의 sidemode 에 광 주입을 했을 경우에도 Fabry-Perot 레이저에 optical injection locking 한 경우와 유사하게 레이저의 비선형성을 억제할 수 있다고 예상할 수 있다 [2].

레이저의 비선형의 정도를 알아보기 위한 한 가지 방법으로 레이저를 변조했을 때 나타나는 harmonic 성분의 크기를 살펴보았다. 실험에서는 second harmonic 의 출력을 측정했고, 이로부터 SHD 를 계산해 비선형 정도를 가늠해 보았다. 여기서 SHD 란 변조 주파수의 출력에 대한 변조 주파수의 second harmonic 출력의 비를 나타낸다. 실험에서 주파수 변조를 위해 RF-source 의 주파수를 3GHz 로 고정시키고 출력을 -16dBm 에서 0dBm 까지 2dBm 씩 증가시키며 경향을 살펴 보았다. 이때 비교의 수단으로 외부 광 주입을 하지 않은 경우(free running)의 second harmonic 의 크기를 측정하였고, 외부 광

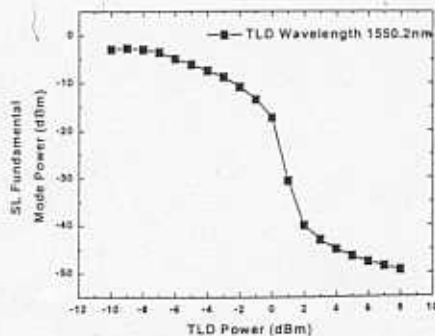


그림 3. TLD 의 출력에 따른 SL 의 출력

주입을 DFB 레이저의 sidemode 주변인 1550.2nm 에 가했을 때의 second harmonic 의 크기를 살펴보았다. 이때 외부 광 주입을 위해 사용한 TLD 의 출력은 그림 3 의 결과를 바탕으로 -10dBm, 1dBm, 8dBm 으로 하였다. 그림 4 는 측정된 결과를 바탕으로 한 SHD 를 나타낸 것이다. TLD 출력이 -10dBm 인 경우는 free running 의 경우보다 SHD 가 오히려 2dB 정도 더 커졌으며, 1dBm 의 광 주입을 했을 경우 free running 과 비교했을 때 약 20dB 의 비선형 성분을 억제 할 수 있었다. 또한 8dBm 을 SL 에 주입한 경우는 SHD 가 작아졌지만 1dBm 을 주입한 경우와 비교했을 때는 크게 비선형 성분을 억제 하지 못했다. 이와같이 광 출력에 따라 비선형 성분의 억제 정도가 다를 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 DFB 레이저의 sidemode 에 광 주입을 함으로써 레이저의 비선형 성분을 크게 억제할 수 있음을 보였다.

#### References

- [1] X. J. Meng, T. Chau, D. T. K. Tong, and M.C. Wu, 'Suppression of second harmonic distortion in directly modulated feedback lasers by external light injection', *Electron. Lett.*, 34 (21), P. 2040, 1998.
- [2] H. -K. Sung, Y. -K. Seo, W. -Y. Choi, 'Dependence of semiconductor laser intermodulation distortions on fiber length and its reduction by optical injection locking', *MWP'2000*, p. 186
- [3] J. -M. Luo, M. Osinski, 'Sidemode injection locking of semiconductor lasers', *IEE Proc.*, 136 (1), p. 33, 1989.

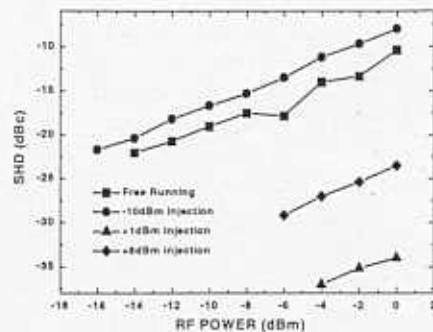


그림 4. 입력 RF 출력에 따른 SHD (Second Harmonic Distortion)