

## 저온 파장 보상을 위한 히터 내장형 CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing) 광 송수신기에 관한 연구

권윤구<sup>1\*</sup>, 박경수<sup>1</sup>, 이지현<sup>1</sup>, 김창봉<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>(주)빛과전자 광전자연구소, <sup>2</sup>공주대학교 정보통신공학부

### The Research on the Heated CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing) Optical Transceiver for the Wavelength Compensation at the Low Temperature.

Yoon-Koo Kwon<sup>1\*</sup>, Kyoung-Su Park<sup>1</sup>, Ji-Hyun Lee<sup>1</sup> and Chang-Bong Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Opto-electronics R&D Center, Lightron Fiber-optic Devices Inc.

<sup>2</sup>Division of Radio-wave Engineering, Kongju National University

**요약** 본 논문은 광 통신용 CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing) 광 송수신기 레이저에 히터를 내장시켜 저온 파장을 보상하기 위한 연구이다. 일반적으로 DFB(Distributed Feedback) 레이저 파장의 온도 변화량은 약 0.1 nm/°C 정도이다. 즉 온도가 올라가면 파장도 올라가고, 온도가 내려가면 파장도 내려간다. 따라서 각 채널별 기준 중심 파장간의 간격이 20 nm인 CWDM 광 통신망에서는 근접 채널 간의 파장 간섭을 막기 위해서 동작 온도 범위를 넓힐 수 없는 문제를 갖고 있다. 이를 보완하기 위해 히터를 CWDM LD(Laser Diode) TO-CAN 패키지 바닥면에 부착하여 저온에서의 파장을 보상할 수 있다. 따라서 이를 이용해서 산업용 광 송수신기 동작 온도 범위인 -40~+85 °C에서 기준 파장대비 +/-6.5 nm 변화폭에 만족시킬 수가 있었다.

**Abstract** This paper is the research on the heated CWDM optical transmitter for the wavelength compensation at the low temperature. In general, the wavelength deviation of DFB laser is around 0.1 nm/C. The wavelength of DFB laser shifts to longer(shorter) wavelength according to the temperature increase(decrease). Typical CWDM optical communication network has 20 nm channel spacing from reference center wavelength per each channel. There is some limitation problem in the range of operating temperature due to the channel interference. For solving the limited temperature range problem, especially at the low temperature, we use the heater on the DFB laser. As a result, we could realize the CWDM optical transmitter to meet +/-6.5 nm from reference center wavelength in the range of temperature at -40~+85 °C, which is applicable to the industrial field.

**Key Words** : CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing), DFB(Distributed Feedback), Optical Transceiver, Heater

## 1. 서론

일반적으로 사용되는 광 송신기는 언쿨드 레이저 다이오드를 이용하므로, 온도에 따른 파장의 변화 폭이 넓어 사용하고자 하는 동작 온도 범위가 상당히 제한적이다. ITU(International Telecommunication Union) G.694.2에서 정의하는 CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplex)

의 각 채널 중심 파장분포는 1271 nm부터 1611 nm까지 총 18 채널이며, 각 채널의 간격은 20 nm이다.[1] 즉, CWDM의 광 송신기에 사용되는 언쿨드 레이저 다이오드는 온도 1 °C당 약 0.08~0.1 nm의 파장 변화폭을 갖는데, 채널 상호간의 간섭을 받지 않기 위해서는 기준 파장에서 최대 +/-6.5 nm의 변화폭이 허용된다. 이로 인해 산업용 동작 온도 환경인 -40~+85 °C에서 CWDM 레이저

\*교신저자 : Yoon-Koo Kwon

Tel: +82-10-2372-5107 e-mail: ykkwon@lightron.co.kr

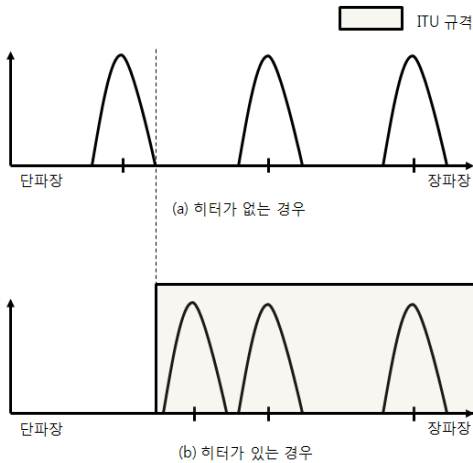
접수일 12년 01월 09일

수정일 (1차 12년 02월 15일, 2차 12년 02월 27일)

게재확정일 12년 03월 08일

를 적용하기가 쉽지 않다. 이로 인해 상용 CWDM 광 송신기는 0~+70℃에서 동작하는 제품이 대부분이다.[2][3]

본 논문에서는 온도 1℃가 올라가면 약 0.08~0.1 nm의 파장이 올라가거나, 온도 1℃가 떨어지면 약 0.08~0.1 nm의 파장이 내려가는 DFB 레이저의 온도 특성을 이용하여 제한적인 동작 온도범위를 -40~+85℃ 온도 범위에서도 사용할 수 있도록 확장하고자 하였다.[4] 이는 그림 1에서 비교해서 볼 수가 있는데, X축의 오른쪽으로 갈수록 장파장이며, 왼쪽으로 갈수록 단파장을 의미한다. 그리고 온도 범위를 -40~+85℃로 하고, 히터가 없는 경우는 저온에서는 단파장이 ITU규격을 만족하지 못하고, 히터가 있는 경우는 ITU 규격 안으로 모든 파장이 들어오는 것을 알 수 있다. 저온 몇℃ 이하에서 히터를 켜는 것은 상황에 따라 다르겠지만, 본 논문에서는 0℃ 이하에서 켜는 것으로 하였다. 장파장 쪽은 온도보상을 할 수 없어서 25℃ 기준 파장에서 +0.5 nm 마진을 갖는 DFB 레이저 칩만 사용해야 한다. 즉 25℃에서 85℃까지 60℃ 차이이므로, 약 6 nm 정도의 파장이 증가한다고 보면 0.5 nm 정도의 마진을 포함한다. 그림 1은 히터가 없는 경우는 저온에서는 단파장이 ITU규격을 만족하지 못하고, 히터가 있는 경우는 ITU 규격 안으로 모든 파장이 들어오는 것을 나타내며, 봉우리 모양은 DFB 레이저의 주 모드를 의미한다.

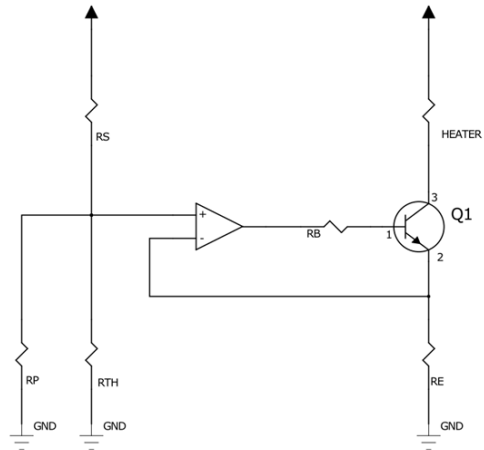


[그림 1] 온도 변화에 따른 파장 변화  
[Fig. 1] Wavelength changes according to temperature changes.

히터를 적절하게 적용하기 위해서는 CWDM DFB 레이저와 가장 가까운 위치에 히터를 부착하여 열을 발생하여 레이저의 온도를 올려줌으로써 저온에서 레이저 파장이 내려가는 것을 막아 줄 수 있다. 이와 같이 히터를

이용하여 저온에서의 파장 보상이 가능하며 이로써 저온대역에서의 CWDM 파장의 변화 폭을 줄일 수 있었다. 즉, 산업용 동작 온도 환경인 -40~+85℃ 범위에서도 CWDM 광 송신 파장의 범위가 기준 파장에서 +/-6.5 nm 이내에 들어 올 수 있도록 구현하여 온도 범위가 확장된 광 송신 모듈을 개발 하였다.

히터 제어를 위해서는 써미스터( $R_{th}$ )를 적용하여 원하는 온도 이하가 되면 자동으로 히터를 켤 수 있는 Op-Amp와 트랜지스터로 간단히 구현 가능하면 된다. 구동 회로의 히터 구동 전류를 계산하기 위한 공식은 아래와 같이 정의 할 수 있다. 즉, 온도가 내려 갈수록 써미스터( $R_{th}$ )값이 증가하여 일정 온도이하에서만 히터가 켜질 수 있다는 것을 알 수 있다.



$$R_{th} // R_p = \frac{R_{th} \times R_p}{R_{th} + R_p}$$

$$V_+ = \left( \frac{R_{th} // R_p}{R_{th} // R_p + R_s} \right) \times V_{ref}$$

$$V_+ = \left( \frac{\left( \frac{R_{th} \times R_p}{R_{th} + R_p} \right)}{\left( \left( \frac{R_{th} \times R_p}{R_{th} + R_p} \right) + R_s \right)} \right) \times V_{ref}$$

$$V_+ = V_- = V_e$$

$$I_e = V_e / R_e = V_+ / R_e$$

$$I_{Heat} = I_c \approx I_e = V_+ / R_e$$

$$\therefore I_{Heat} = \frac{\left( \frac{\left( \frac{R_{th} \times R_p}{R_{th} + R_p} \right)}{\left( \left( \frac{R_{th} \times R_p}{R_{th} + R_p} \right) + R_s \right)} \right) \times V_{ref}}{R_e}$$

- $I_{heat}$  : 히터구동전류
- $V_{ref}$  : 2.5 V
- $R_p$  : 82 kΩ
- $R_s$  : 100 kΩ
- $R_e$  : 10 Ω
- $R_{th}$  : 써미스터, 10 kΩ (@25℃)

## 2. 본론

### 2.1 히터 제작 및 조립

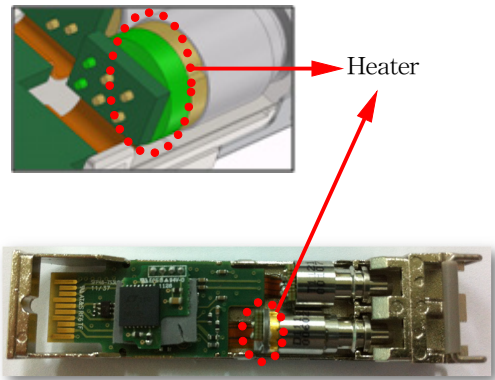
히터의 재질은 주위 온도에 따라 자체 저항이 변경되어 발열량을 조정하는 소재로 제작하여 적용하였으며, 구동회로가 간단하고, 가격이 저렴해서 광 송수신 모듈의 가격 경쟁력을 높일 수 있다. 일부 업체에서는 다양한 방법으로 다양한 재질의 히터를 이용하여 동작 온도 환경  $-40\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 사용 가능하도록 하고 있지만, 복잡한 구동회로와 높은 소비 전력의 단점을 가지고 있다. 본 논문에서 사용된 히터는 온도가 일정 온도 이하로 내려가면 자체 저항 값이 작아져서 적정온도로 발열하고 일정 온도 이상이 되었을 경우에는 자체 저항 값이 급격하게 상승하여 발열을 멈추게 된다. 따라서 저온에서만 발열하여 LD 칩에 열을 가하여 LD 칩의 온도를 상승하게 한다. 결국 주변 온도가 하강한 만큼을 히터가 발열하여 온도를 보상해 주는 것인데, 이는 레이저 다이오드의 주변 온도에 따른 파장 변화폭을 줄일 수 있는 것이다.

본 논문에 사용되는 히터 형상은 기존 언콜드 LD-TO 스템 바닥면에 부착할 수 있도록 최대 직경 6 mm, 두께 1 mm의 원형 모양으로 그림 2와 같이 제작 하였다. 이런 형상은 상용 TO-56 또는 TO-46을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 보통 LD-TO의 경우, LD 어노드, LD 캐소드, 모니터 PD 어노드, 모니터 PD 캐소드로 총 4개의 핀을 갖고 있으므로, 히터는 총 4 개의 홀을 뚫어 가공했고, 윗면에 전원을 인가하고, 바닥면에 그라운드를 잡아주면 작동이 가능하며, 전원의 방향성은 없기 때문에 쉽게 조립할 수 있다.



[그림 2] TO-CAN에 적합한 원형 히터 형상  
[Fig. 2] Round heater shape was designed to TO-CAN

히터가 부착된 LD-TO CAN을 조립하기 위해서는 LD Stem의 바닥 면에 히터를 붙여야 LD와 가장 가까워지므로, 열전달에 효과적이다. 실제 SFP(Small Form-factor Pluggable) 광 송수신기에 적용된 히터는 그림 3와 같이 구현 할 수 있다.



[그림 3] SFP 제품에 조립된 히터  
[Fig. 3] Assembled heater on SFP product

### 2.2 실험 결과

본 히터를 적용한 광 송수신 모듈을 제작하여 실험을 통해 검증 하였으며, 실험 조건 및 제품 사양은 최근 CPRI(Common Public Radio Interface)용으로 사용되는 2.5 Gbps 광 송수신기를 기준으로 하고 있으며 아래와 같이 실험 조건과 주요 사양을 요약 할 수 있다.

- \* 실험 조건 및 주요 사양
- 전송 속도: 2.5 Gbps
- 데이터 패턴: PRBS  $2^{23}-1$
- 온도 범위:  $-40\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 소비 전력: 최대 1.5 W
- 사용 전원: 3.3 V  $\pm 5\%$
- 광 파워:  $-2\sim+3\text{ dBm}$
- 광 소광비: 최소 8.2 dB
- 송신 파장: 1464.5~1477.5 nm
- 수신 감도: 최대 -21 dBm
- LOS(Loss of Signal) : 최대 -22 dBm

위의 실험 조건에서와 같이  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 부터  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 온도를 변화시키면서, 각 사용전원 3.3 V  $\pm 5\%$ 인 3.135, 3.3 및 3.465 V에서 주요 파라미터를 실제 측정을 통해 확인 하였다.

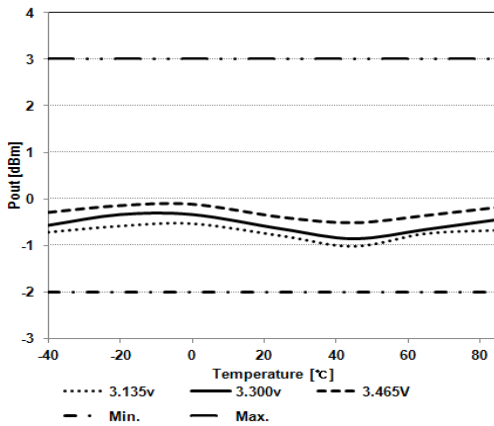
송신 광 파워는 모든 온도 범위에서  $-2\text{ dBm}\sim+3\text{ dBm}$ 을 만족했고, 광 소광비(Optical Extinction Ratio) 역시 최소 8.2 dB 이상의 값을 유지하면서 문제없이 동작하는 것을 확인하였다. 또한 본 논문에서 가장 중요한 송신 파장 변화에 관한 실험에서는 아래쪽 파장은 1468.16 nm로 약 4 nm 정도의 마진을 확보하였고, 위쪽 파장은 1476.06으로 약 2 nm 정도의 마진 확보가 가능하다는 것을 확인했다. 이는 1464.5~1477.5 nm를 만족하는 결과이다. 결

국은 상온 +25 °C 기준에서 LD 칩을 선별 할 수 있는 파장 폭을 확대 할 수 있는데, 히터가 부착된 제품에서는 -3 nm 및 +1 nm 범위로 LD 칩 선별이 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만 히터가 없다면 -1 nm 및 +1nm 정도의 작은 파장 범위로 LD 칩을 선별해야 하는데, 생산 수율이 나빠지기 때문에 양산할 수 없는 수치이다. 송신 실험 결과를 요약하면 아래의 표 1과 같고, 사용전원 및 온도 변화에 따른 광 파워, 광 소광비, 송신파장의 시험결과는 그림 4, 5, 6에 나타나 있다.

[표 1] 송신 실험 결과

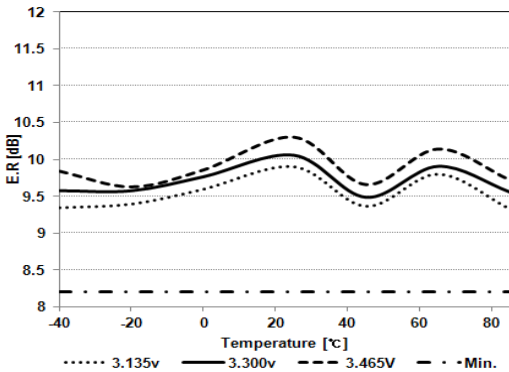
[Table 1] Transmitter test results

측정 항목	최소	최대	차이
광 파워	-0.86 dBm	-0.34 dBm	0.52 dB
광 소광비	9.43 dB	10.30 dB	0.87 dB
송신 파장	1468.16 nm	1476.06 nm	7.9 nm



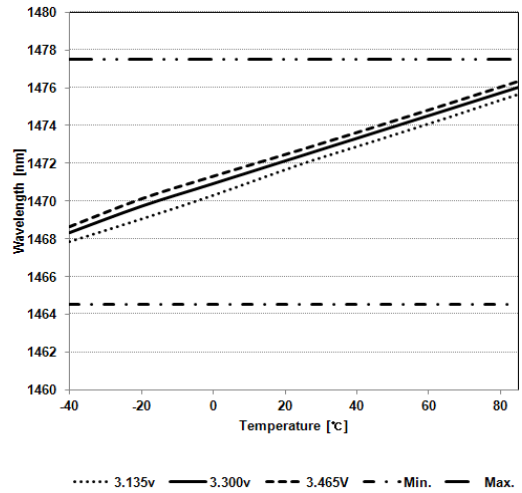
[그림 4] 광 출력 시험결과

[Fig. 4] Test results of optical output



[그림 5] 광 소광비 시험결과

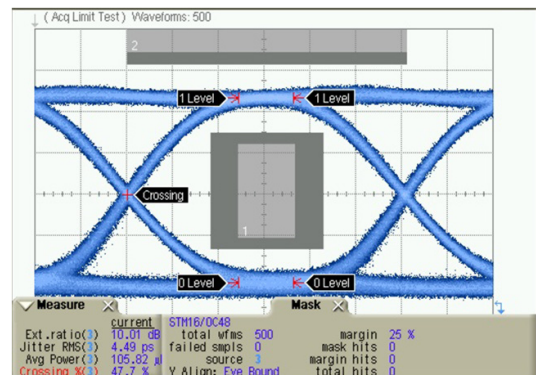
[Fig. 5] Test results of optical extinction ratio



[그림 6] 송신 파장 시험 결과

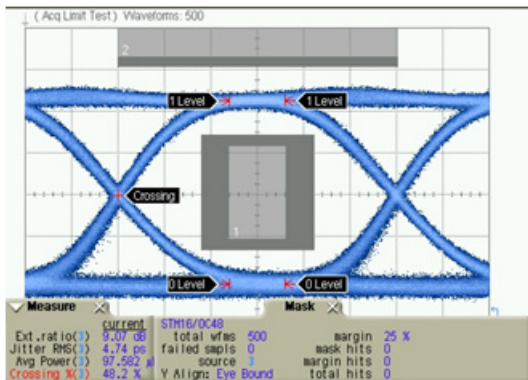
[Fig. 6] Test results of transmitter wavelength

또한, -40, +25, +85 °C의 각각의 온도에서 2.5 Gbps 광 송신 Eye 패턴 다이어그램을 IEEE OC-48 기준으로 확인 했으며, 모든 온도 대역에서 깨끗한 Eye 모양을 확인 할 수 있었다. 이것으로 광 송수신기의 외부 온도가 변화더라도 히터 사용으로 송신 Eye 다이어그램 특성에 영향을 주지 않음을 입증 할 수 있는 것이다. 실제 온도 별 Eye 다이어그램의 측정 결과는 그림 7, 8, 9에서 확인할 수 있으며, 아래 그림에서와 같이 마진 25 %를 설정할 수 있는데, 이보다 충분히 큰 마진을 확보가 되고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 온도에 따른 Eye 다이어그램은 전 온도에서 약 10 dB의 광 소광비를 설정한 상태이므로 모두 유사한 모양이다.

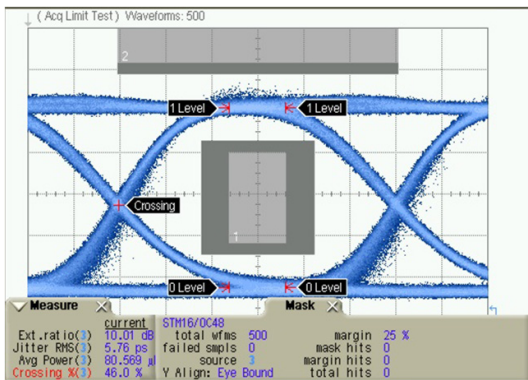


[그림 7] -40 °C에서의 Eye 다이어그램 시험결과

[Fig. 7] Eye diagram test results at -40 °C



[그림 8] +25 °C에서의 Eye 다이어그램 시험결과  
[Fig. 8] Eye diagram test results at +25 °C



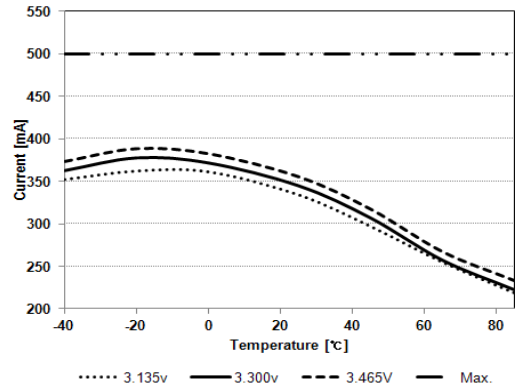
[그림 9] +85 °C에서의 Eye 다이어그램 시험결과  
[Fig. 9] Eye diagram test results at +85 °C

하지만 광 송수신기에 히터를 사용함에 따라 소비 전력이 증가되는 것이 우려되는데, 히터가 없는 일반적인 광 송수신기의 소비 전력은 1 W 이하가 되어야 하지만, 히터가 있는 광 송수신기의 소비 전력은 1.5 W까지는 통상적으로 허용이 가능하다. 소비 전력을 줄이기 위해서는 히터의 저항 값을 키우면 되겠지만, 히터의 저항 값이 커지면 히터 효율이 같이 떨어지기 때문에 파장 마진을 가질 수 있는 적절한 히터 저항 값을 찾아서 선택하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 위의 송신 파장 실험 결과에 따라 히터 저항 값은 11.7 Ω으로 선정하여 사용 하였다. 이때의 광 송수신기의 최대 소비 전류는 그림 10과 같이 최대 379 mA이며, 최대 소비 전력으로는 1.31 W임을 확인 하였는데, 이는 1.5 W의 소비 전력 기준에 만족한다. 소비 전력 실험 결과를 요약하면 아래의 표 2과 같고, 사용 전원 및 온도변화에 따른 최대 소비 전류 시험결과는 그림 10에 나타나 있다.

[표 2] 소비 전력 시험 결과

[Table 2] Power consumption test results

측정 항목	측정 값
히터 저항	11.7 Ω
최대 전류	379 mA
소모 전력	1.31 W



[그림 10] 최대 소비 전류 시험 결과

[Fig. 10] Test results of maximum power supply current

그리고 그림 11는 위와 동일한 샘플로 전송 속도 2.5 Gbps에서 비트 에러 시험기를 이용하여 얻은 수신감도와 BER(Bit Error Rate)결과 그래프 시험 결과이다. 이때의 광 수신기는 PIN-PD(Photo Diode)이다. 본 시험 결과를 얻기 위해서는 광 수신기에 입력되는 광 파워를 광 감쇄기로 조정하면서 비트 에러를 확인해야 한다. 이 BER 커브를 통해 선형성 있는 수신감도 특성 확보가 되는지와 히터의 영향으로 특성 저하가 일어나는지를 확인 할 수 있으며, BER 커브를 통해 광 입력 범위에 따라 선형적으로 기울기가 형성되는 것을 볼 수 있었다. 이는 수신되는 광 입력을 -30 dBm부터 -20 dBm까지 0.5 dB 간격으로 조정하면서 BER 카운트를 1E-3부터 1E-12까지 분석하여 얻어낸 수치를 그래프로 그린 것이다. 2.5 Gbps의 BER 1E-12에서 PIN-PD를 사용하는 조건에서는 사양 -21 dBm 이하의 수신감도 특성을 만족하여야 하는데, 표 3에서 보듯이 본 실험 결과에서는 모든 조건에서 대략 -26.9 dBm에서 -26.2 dBm 수준의 매우 좋은 수신감도 결과를 얻을 수 있었다. LD가 켜질 때와 꺼질 때의 수신감도를 비교하여 전기적인 크로스톡(Cross-Talk)을 측정해 보니 약 0.04 dB의 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 히터와 송신기의 전원이 켜져 있더라도 수신기에 영향을 주지 않는 것을 의미한다. 또한, LOS(Los of Signal)의 설정에도 문제없이 최대 -22 dBm을 여유 있게 만족할 수

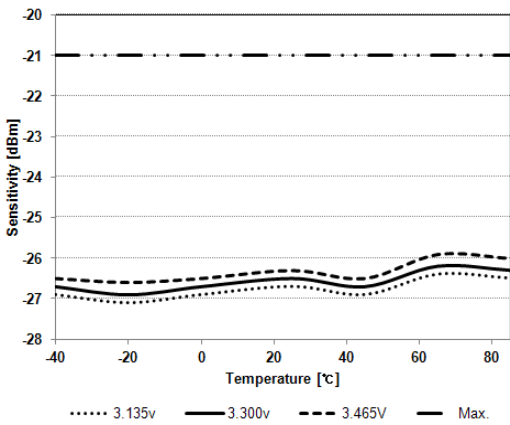


있었다. 결과적으로 히터의 사용으로 수신 특성에 전혀 영향을 주지 않고 문제없이 좋은 특성을 만족시킬 수 있다는 것을 증명해 주는 것이다.

[표 3] 수신 실험 결과

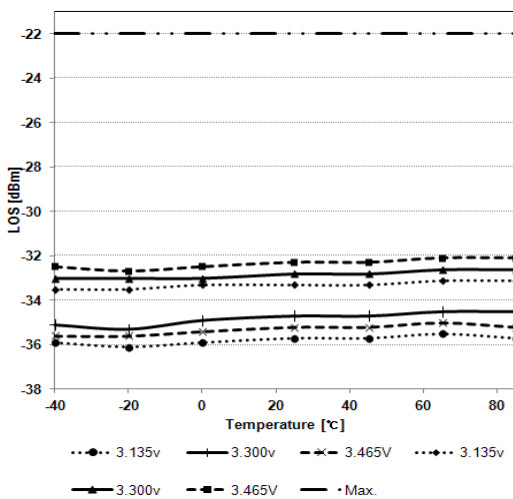
[Table 3] Receiver test results

측정 항목	최소	최대	차이
수신감도	-26.9 dBm	-26.2 dBm	0.7 dB
LOS	-33.0 dBm	-32.6 dBm	0.4 dB
X-talk	-26.63 dBm (LD On)	-26.67 dBm (LD Off)	0.04 dB



[그림 11] 수신 감도 시험 결과

[Fig. 11] Test results of sensitivity



[그림 12] LOS 시험 결과

[Fig. 12] Test results of LOS

### 3. 결론

광 송수신기 설계하고 생산하는 대부분의 제조업체에서는 ITU G.694.2에서 정의하는 각 채널의 CWDM LD사용에 있어서 +/-6.5 nm 파장 범위의 제한으로 온도 범위 확장에 가장 큰 문제를 갖고 있었다. 따라서 CWDM LD 칩의 파장범위를 선별해서 사용 할 수 밖에 없는데, 이는 제품 설계를 어렵게 하고 생산 수율을 떨어뜨리는 주요 요인이 될 수 있다. 따라서 히터를 광 송수신기 내부에 적용함으로써 사용 온도범위를 -40에서 +85 °C까지 확장시킬 수 있다는 것을 본 논문을 통해 입증하였다.

다시 말하면, 히터를 광 송수신기에 적용하였을 때, 광 출력 파워, 광 소광비, 송신 파장, 수신감도 등 주요 특성에 영향을 받는지의 여부를 확인하기 위하여, 각종 실험을 수행하였고, 각 결과를 분석하였다. 본 논문의 결과에 따라 히터를 적용하더라도 주요특성에 문제가 없다는 것을 검증 하였다. 결국 현실적으로 CWDM 광 송수신기에서는 히터를 적용함으로써 사용 온도범위를 -40에서 +85 °C까지 확장 시키는 것이 좋은 방안이 될 수 있다.

반면에 일반적인 SFP 제품은 전력 소모량은 1W 이하인데, 본 논문과 같이 히터를 적용함으로써 전력 소모량이 커지게 되므로, 최대 1.5 W이하까지는 허용 되어야한다. 요약하면 히터를 이용한 제품과 일반 제품 간에 비교가 되는 내용은 단지 온도범위와 소비전력으로 압축할 수 있고, 이에 대해서는 아래 표 4와 같이 정리 할 수 있다.

[표 4] 히터에 따른 CWDM 광 송수신기 비교

[Table 4] CWDM optical transceiver comparison according to heater

비교 항목	히터 미적용	히터 적용
온도 범위	0~+70 °C	-40~+85 °C
소비 전력	<1.0 W	<1.5 W

또한 향후에는 히터 대신에 LD-TO CAN에 TEC (Thermoelectric Cooler)를 내장한 Cooled LD-TO CAN을 적용하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다. 하지만, 현재는 히터 타입보다는 소비 전력이 훨씬 크고, 제작 공정이 까다로우며, TEC 가격이 높아서 CWDM용 제품으로는 적용이 어렵다. 참고로, TEC를 사용하는 경우에 소모 전력이 큰 이유는 약 +35~40 °C 정도의 일정한 TEC 온도에 모든 주변 온도에서도 고정해야 하므로, 주변 온도가 변화하면 TEC의 일정 온도를 유지하기 위해서 TEC의 전류가 크게 늘어나게 된다. 결론적으로 소모전력 뿐만 아

나라 TEC 가격이 비싸고, LD-TO CAN 내부에 내장해야 하므로, 제작이 어려워 제작 단가가 올라 갈 수밖에 없는 구조이다. 따라서 일부 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplex) 광 송수신기와 같은 고가의 제품에만 적용이 가능할 수 있고, 지속적인 연구 개발이 필요하다.[5]

### References

- [1] International Telecommunication Union, "Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid", ITU-T G.694.2, pp.2-3, 2003.12
- [2] United States Department of Defense, "Test Method Standard for Environment Engineering Considerations and Laboratory Tests", MIL-STD-810G, 2008.10.31
- [3] Written by Hyun-bum Choi et al. "Temperature Characteristics of CWDM system" Optical Society of Korea Summer Meeting, 2004
- [4] Joseph C. Palais, "Fiber Optics Communications" Third Edition, Prentice-Hall International Editions, pp.159-161, 1992
- [5] Written by Jong-duck Kim et al. "Wavelength stabilized high power cw DFB laser module for DWDM transmission" Journal of the Optical Society of Korea, Volume 11, Number 3, pp.206-209, June 2000

### 권 윤 구(Yoon-Koo Kwon)

[정회원]



- 1998년 2월 : 공주대학교 정보통신공학 (공학사)
- 2000년 2월 : 공주대학교 대학원 전기전자공학 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 정보통신공학 박사과정
- 2004년 1월 ~ 현재 : (주)빛과전자 연구소장

<관심분야>

광소자, 광트랜시버, 광전송, CATV

### 박 경 수(Kyoung-Su Park)

[정회원]



- 2003년 8월 : 강원대학교 전기전자 정보통신공학부 전기전자 전공 (공학사)
- 2005년 8월 : 강원대학교 대학원 전자공학 (공학석사)
- 2005년 8월 ~ 현재 : (주)빛과전자 연구원

<관심분야>

광소자, 광트랜시버, CATV

### 이 지 현(Ji-Hyun Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 공주대학교 정보통신공학 (공학사)
- 1999년 8월 : 공주대학교 대학원 전기전자공학 (공학석사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : (주) 빛과전자 연구소 팀장

<관심분야>

광트랜시버, 광전송

### 김 창 봉(Chang-Bong Kim)

[정회원]



- 1988년 6월 : 미국 Florida Institute of Technology 전기전자공학 (공학석사)
- 1992년 5월 : 미국 Texas A&M University 전기전자공학 (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 미국전기전자공학회(IEEE) Senior Member
- 1993년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 전파전공 정교수

<관심분야>

광소자, 광전송, 태양전지