

송신단의 온도 의존성이 고려된 광연결 시스템의 성능분석  
 Performance Analysis of Optical Interconnection Systems Including  
 Transmitter Temperature Dependence

\*김 유 근, 이 승 우, 최 우 영  
 연세대학교 전자공학과

## Abstract

A SPICE model for optical interconnection systems is developed that includes transmitter temperature dependence. Using the model, optical interconnection system performance is evaluated.

최근 들어 광연결 시스템은 전기적 연결 시스템이 갖는 한계성의 해결책으로 떠오르고 있다. 특히, 고속의 데이터 전송을 요구하는 ATM, Gigabit Ethernet 등에서는 광연결 시스템이 전체 시스템의 성능을 좌우한다. 송신단의 광원인 레이저 다이오드(LD)와 구동회로의 온도에 따른 특성 변화는 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 기존에 발표된 레이저 다이오드의 회로모델[1]에 온도 의존효과를 첨가하여 온도변화(0°C-80°C)에 따른 송신단의 전력 소모와 BER(bit-error-rate)과의 관계를 고려한 시스템 성능 분석을 수행하였다.

본 논문에서는 board-to-board 수준의 광연결 시스템을 기본 구조로 삼는다. 먼저, 단일 양자우물(SQW) LD에서 캐리어 밀도의 다이내믹스를 나타내는 비율방정식은 다음과 같다[1].

$$\frac{dN_{SCH}}{dt} = \frac{I}{qV_{SCH}} - \frac{N_{SCH}}{\tau_r} - \frac{N_{SCH}}{\tau_{ns}} + \frac{N_w(V_w/V_{SCH})}{\tau_s}$$

$$\frac{dN_w}{dt} = \frac{N_{SCH}(V_{SCH}/V_w)}{\tau_r} - \frac{N_w}{\tau_n} - \frac{N_w}{\tau_{nr}} - \frac{G(N_w \cdot S) \cdot S}{1 + \epsilon S}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{IG(N_w \cdot S) \cdot S}{1 + \epsilon S} - \frac{S}{\tau_p} + \Gamma \beta \frac{N_w}{\tau_n}$$

$$S = \frac{\Gamma r_p \lambda_0}{V_w \eta h c} \cdot P_i = \theta \cdot P_i$$

여기서,  $I$ 는 주입된 전류,  $S$ 는 광자 밀도,  $P_i$ 는 광출력을 나타낸다. 나머지는 비율방정식에서 일반적으로 쓰이는 값을 의미한다. 이 비율방정식을 이용하여 레이저 다이오드를 회로적으로 모델링한 것[1]에 온도 의존효과를 추가하였다. 이를 위해서 온도에 의존하는 주요 파라미터를 찾아 각각을 온도에 의존하게 표현했다. 이들 온도에 의존하는 파라미터 중 가장 중요한 파라미터는 광학적 이득이라 할 수 있다. 온도 변화에 따른 광학적 이득의 계산을 회로모델에 적용하기 위해서 복잡한 수치 해석적 접근보다는 비교

적 간단하고 적용하기 쉬운 2-band 모델[2]을 적용하였다. 그 밖에, 온도변화에 따른 차동양자효율은 [3]의 실험 값을 이용하였다.

본 논문에서 모델링된 LD의 레이징 파장은 980 nm이고, InGaAs/ GaAs SQW 구조이다. LD 구동회로[4]는 저전력을 위해서 0.6 $\mu$ m CMOS technology를 이용하였고 1Gb/s에서 동작이 가능하도록 설계하였다. 그리고 광섬유는 dispersion은 고려하지 않고 coupling loss만을 고려하였다. 이는 본 논문이 board-to-board 수준의 단거리 광연결 시스템을 기본 구조로 삼기 때문이다. 그리고 광검출기(PD)는 [5]에서 제시한 MSM구조의 PD 회로 모델을 사용하였다. 그림2는 온도의존 파라미터를 고려했을 때의 레이저 다이오드의 DC특성을 나타낸 것이다.

앞에서 설명한 LD 회로 모델을 이용하여 온도 변화에 따른 전체 시스템을 SPICE 시뮬레이션 하였다. 광소자의 경우 온도 특성을 고려한 LD 회로 모델과 앞에서 언급한 PD의 회로 모델을 사용하였다. PD를 통해 변환된 전류는 수신단의 회로를 통하여 전압으로 변환된다. 이 때 사용된 수신단 회로는 간단히 전달 임피던스 증폭기만을 고려한 이상적인 회로모델 [6]을 이용하였다. 이용된 수신단의 전달 임피던스는 3k $\Omega$ 이고, 열잡음(thermal noise)만을 고려한 시스템이라고 가정하였다. 또한, LD와 구동회로 및 PD와 수신회로 사이에는 기생효과를 고려하였다. 그림 3은 온도에 따른 LD의 광출력과 수신단의 출력전압에 대한 transient 해석 결과이다. 0°C의 경우 전반적으로 큰 광출력을 보인다. 이는 bias 전류( $I_b$ )와 modulation 전류( $I_m$ )가 구동회로의 온도 특성에 의해 0°C에서 80°C까지 약 10% 정도 증가하지만, LD의 온도 의존성에 의해 결과적으로 80°C일 때 더 낮은 광출력을 갖게 된다. 그림에서와 같이 80°C일 때, turn-on delay가 0°C일 때보다 더 크고 settling time이 더 긴

것을 알 수 있다. 그림 4는 0°C, 40°C, 80°C 일 때의 BER과 송신단의 소비전력의 관계를 나타낸 것이다. BER은 계산량을 줄이기 위하여 '1110001010'의 신호를 가한 후 수신단의 신호가 최대 같을 때 샘플링하여 계산하였다. 일정한 바이어스 전류를 가한 후 송신단 회로와 LD의 온도가 증가하면 동일한 BER을 얻기 위해서는 더 많은 변조 전류가 필요함을 알 수 있다. 그림 4의 결과를 보면 0°C에서 80°C의 온도 변화에 약 15% 정도의 전력 소비가 늘어났음을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구에서는 SPICE를 이용하여 송신단의 온도 의존 효과를 고려한 광연결 시스템의 simulation을 수행하였고, 이를 이용하여 성능분석을 하였다. 이 결과를 통해 원하는 BER을 얻기 위해 온도 보정 회로의 필요 여부를 판단할 수 있고, 온도 변화에 따른 안정적인 시스템을 위한 적절한 송신단의 전력을 예상할 수 있다.

[참고문헌]

- (1) 이승우, 김대숙, 최우영, 전자공학회논문지, 35권-D권, 1호, pp. 49-58, 1998.
- (2) N. Bewtra, et al., IEEE JQE, vol. 1, pp. 331-340, 1995.
- (3) P. L. Derry, et al., IEEE PTL, vol. 4, pp. 1189-1191, 1992.
- (4) L. P. Chen, et al., IEEE PTL, vol. 9, pp. 997-999, 1997.
- (5) A. Xiang, et al., IEEE JLT, vol. 14, no.5, pp.716-723, 1996
- (6) M. Yoneyama, et al., IEEE JLT, vol. 14, no.1, pp. 13-21, 1996

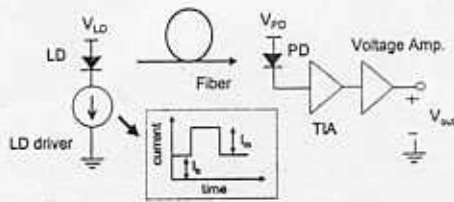


그림 1. 본 논문에서 사용한 광연결 시스템의 블록다이아그램

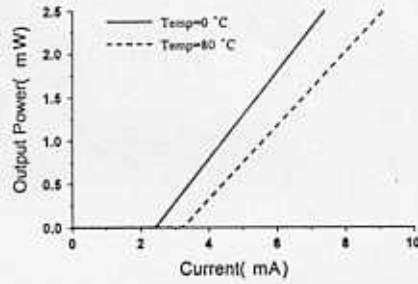


그림 2. 온도 변화에 따른 LD의 DC 특성

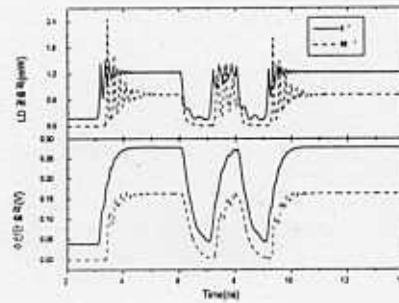


그림 3. 0°C와 80°C에서의 LD의 광출력과 수신단 출력전압의 transient 해석

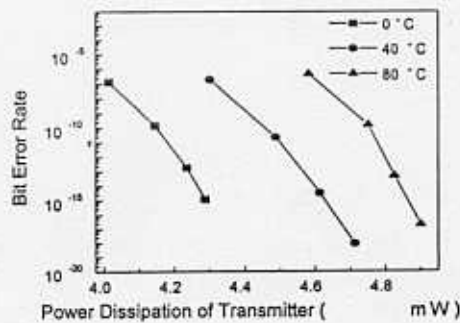


그림 4. 온도 변화에 따른 BER과 송신단의 소비전력 관계