

論文95-32A-11-11

외부변조 방식의 광송신기 제작 및 2.5Gbit/s 신호의 150km 광섬유 전송

(Fabrication of an externally modulated optical transmitter and transmission of 2.5Gbit/s signal over a 150 km long nondispersion-shifted fiber)

韓正熙*, 尹泰烈*, 李相受*, 李昌熹*

(Jung-Hee Han, Tae-Yeoul Yun, Sang-Soo Lee, and Chang-Hee Lee)

요 약

외부 변조 방식의 2.5Gbit/s 광송신기 모듈을 설계 제작하였다. LiNbO₃ 간섭계형 변조기와 고출력 증폭기는 상용 부품을 사용하였으며, dithering 신호의 2차 고조파 성분을 이용하여 외부 변조기의 동작점 변화를 보상해 주는 새로운 방식의 바이어스 안정화 회로를 설계 제작하였다. 외부 변조 송신기를 2.5Gbit/s 광수신기와 연결하여 상온에서 6시간 동안 제어회로의 안정 동작을 확인하였다. 광송신기, 광수신기 및 광전력 증폭기를 150km 광섬유와 결합하여 무중계 전송시험을 수행하였다. 광수신기의 수신감도는 BER 10⁻¹⁰ 에서 -34.5dBm 이었고, 광섬유 분산에 의한 페널티는 무시할 수 있었다.

Abstract

An optical transmitter was designed and implemented using a commercially available LiNbO₃ Mach-Zehnder modulator and the power amplifiers. We have adopted a new method to stabilize the bias voltage of the modulator using the second order harmonic component of the dithering signal. This technique has been applied successfully to the 2.5 Gbit/s external modulator for more than 6 hours without bit error rate degradation. We demonstrated a repeaterless transmission of a 2.5 Gbit/s signal over 150 km nondispersion-shifted fiber using the transmitter. The receiver sensitivity was -34.5 dBm at 10⁻¹⁰ bit error rate. No appreciable BER degradation due to fiber dispersion were observed after transmission.

I. 서 론

10Gb/s 급 초고속 광통신 시스템의 광링크는 강도 변조/직접검파 방식을 이용하는 기존의 2.5Gb/s 광링크와 동일한 방식을 채택할 가능성이 높다. 또한 erbium-doped 광섬유 증폭기가 상용화 단계에 접어들어 광섬유 손실에 의한 전송거리 제한 문제가 완전

히 극복되면서, 광섬유의 색분산에 의한 전송거리 제한 문제를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

광송신기에 국한하여 발생하는 문제를 살펴보면, 반도체 레이저에 10Gb/s 전기신호로 직접 변조하는 경우 반송자 밀도 변화에 따른 처핑 현상이 심각하게 나타나게 되므로 색분산에 의한 전송 페널티가 커지게 된다. 전송거리를 증가시키기 위해서는 광원의 처핑을 감소시키거나 조절하여 색분산을 보상해주는 방법¹⁻²⁾과 영(zero)분산 파장이 1550nm 대역으로 이동된 분산전이 광섬유(DSF : dispersion shifted fiber)를 사용하는 방법이 있다.

* 正會員, 韓國電子通信研究所
(ETRI)

接受日字: 1995年5月5日, 수정완료일: 1995年11月8日

처핑에 의한 전송거리 제한을 해결하기 위한 한 방법으로 외부 변조기를 이용하여 송신광원을 변조하는 방식을 들 수 있다. 즉, 반도체 레이저는 CW 상태로 안정하게 발진시키고 광신호의 변조는 LiNbO₃ Mach-Zehnder(LN-MZ) 간섭계형 변조기나 화합물 반도체 변조기를 이용하는 방식이다. 외부변조기를 사용하면 주파수 및 위상 변조가 거의 없이 광의 세기만 변조할 수 있으므로 레이저의 발진 선폭을 좁은 상태로 유지시킬 수 있다. LN-MZ 변조기는 온도, 습도등 외부 환경 변화에 대한 동작점의 불안정, 20년 이상의 long term reliability 등이 미해결 상태로 남아 있다. 따라서 소형으로 온도제어 및 레이저와 집적화가 용이하며, 구동전압이 낮고 처핑량도 적은 III-V 반도체를 이용한 외부변조기 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다¹³⁻¹⁴. 그러나 10Gb/s 고속 변조용 화합물 반도체 변조기는 아직 상용화 단계에 이르지 못하고 있다. 최근에 AT&T Bell 연구소에서 LN-MZ 외부 변조된 2.5Gb/s 신호를 단일모드 광섬유 318 km에 무중계 전송한 결과를 보고한바 있다¹⁵.

본 논문에서는 LN-MZ 외부변조 방식의 광송신기를 설계하고 제작하여, 2.5Gb/s 광수신기와 결합하여 전송실험을 수행하므로 10Gb/s 광전송시스템의 송신용 광원으로 활용 가능성을 확인하였다. 2절에서는 송신기의 고속 변조부와 저속 제어 회로부의 설계에 관해서, 3절에서는 송신기 제작 및 특성 측정, 그리고 4절에서는 광전력증폭기 및 광수신기와 결합하여 전송실험을 수행한 결과를 기술하였다.

II. 광송신기 설계

외부 변조 방식의 광송신기는 10Gb/s 광전송을 목표로 설계하였으며, 크게 전/광 변환부, 고속 구동 회로부, 반도체 레이저 제어 회로부 및 외부변조기 제어 회로부로 구성되어 있다. 그림 1에 광송신기의 기능 블록도를 나타내었다.

전/광 변환부는 고속 전기신호를 광신호로 변환해주는 부분으로 일정한 광출력을 발생시키는 반도체 레이저 모듈과 광신호를 ON/OFF 강도 변조하는 Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder 간섭계형 변조기 모듈로 구성되어 있다. 반도체 레이저 모듈은 단일파장 발진이 가능한 레이저, 광출력 감시를 위한 monitor PD, 온도제어를 위한 TEC/thermistor, 그리고 레이저로 되

돌아오는 광을 차단하기 위한 광 isolator를 내장하고 있다. 실험에 사용된 반도체 레이저는 발진 중심파장 1550nm 영역의 DFB-LD 이다¹⁶. 외부변조기는 LiNbO₃ 기판에 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하여 전기광학효과에 의한 위상변조를 진폭변조로 변환하는 방법으로 신호광원의 ON/OFF가 가능하다. LN-MZ 변조기는 표 1에 나타낸바와 같이 미국 AT&T 사의 m2123C 모델로 co-planar waveguide형 전극 구조를 가지며, 변조대역폭(-3dB)이 10.2GHz, 삽입손실 3.7dB, 스위칭 전압(V_π)은 7.8V 이다.

고속 구동 회로부는 다중화기에서 입력되는 고속 전기신호를 받아서 증폭한 후 LiNbO₃ 외부변조기의 ON/OFF 스위칭 전압을 제공해주는 부분이다. 본 설계에서는 상용화된 Hybrid 형 대전력 증폭기를 사용하여 LN-MZ 간섭계형 변조기를 구동하였다. LN-MZ 간섭계에서 180°의 위상 변화를 얻기 위해서는 약 8V의 높은 스위칭 전압(V_π)이 요구되고 있다. 따라서 표 2에 나타난 증폭기 2개를 push-pull 방법으로 간섭계의 두 RF 신호 입력단에 4Vp-p. 씩 고속 변조신호를 인가하였다.

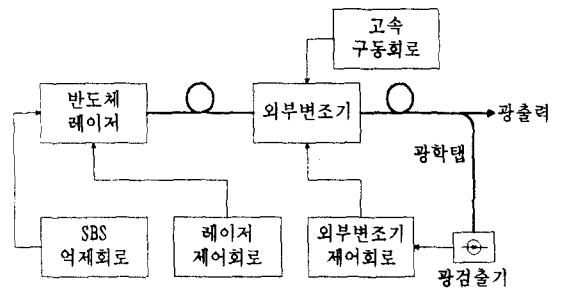


그림 1. 외부변조 방식의 10 Gb/s 광송신 모듈의 기능 블록도

Fig. 1. Block diagram of the 10 Gb/s externally modulated optical transmitter.

반도체 레이저 제어 회로부는 외부 환경의 변화나 레이저 칩의 특성 열화와 무관하게 반도체 레이저의 동작 온도와 평균광출력을 일정하게 유지시키는 기능을 수행한다. DFB-LD 모듈에 내장된 온도 감지용 thermistor와 TEC(thermo-electric cooler)를 이용하여 칩의 온도 변화를 0.1°C 이하로 일정하게 유지하도록 피이드백 회로를 구성하였다. 또 모듈 내부에 설치된 monitor PD의 전류를 이용하여 평균광출력

변동률이 0.1dB 이하로 안정화 되도록 LD의 구동 전류를 변화시키는 자동광출력 조정회로를 설계하였다.

장거리 전송을 위해서는 LN-MZ 변조기 출력단에 광전력증폭기를 연결하여 변조기 내부에서의 삽입손실을 보상해주고 출력 신호광의 세기를 12dBm 정도로 강한 출력을 얻는다. 이러한 강한 빛이 광섬유에 결합되면, 특히 모드필드 직경이 일반 단일 광섬유보다 적은 분산천이 광섬유를 이용하여 전송시험을 수행할 경우 광섬유에서 발생하는 비선형 현상인 SBS (Stimulated Brillouin Scattering)에 의해 신호광의 왜곡이 발생한다¹⁷⁾. 따라서 반도체 레이저를 수백 kHz, 3mAp-p. 정도로 주파수 변조하여 레이저 발진 선폭을 넓혀주므로, SBS가 나타나는 임계 광세기를 높일 수 있도록 SBS 억제회로를 설계하였다.

외부변조기 제어회로는 간섭계를 구동하는 DC 옴셋 전압의 변화에 의해 변조된 광신호의 소광비, 평균광출력 등이 변화되는 것을 보상해주는 역할을 하는 바이어스 안정화 회로를 말한다. LN-MZ 변조기의 간섭계 두 전극에 인가된 전압 차이에 의한 광위상 변화는 아래와 같이 주어진다¹⁸⁾.

$$\Delta\phi = \Delta B \cdot L = - \frac{\pi n^3 \gamma_{33} \Gamma V L}{\lambda d} \quad (1)$$

여기서 n은 매질의 굴절률, γ_{33} 은 전기광학계수, V는 인가한 전압, d는 전극 사이의 간격, L은 전극의 길이, λ 는 신호광원의 자유공간에서 파장, 그리고 Γ 는 전기장과 광도파 모드 사이의 중첩적분을 나타낸다. 간섭계 두 경로에서의 위상변화가 π -분기 끝에서 동위상으로 만나면 기본 모드가 형성되고, 역위상으로 만나면 고차모드가 형성되어 단일모드 광도파로를 전파할 수 없다. 위상변화 $\Delta\phi = \pi$ 가 되는 인가전압(V_π)은 1550nm 파장 영역에서 $V_\pi \cdot L = 5 [V \cdot cm]$ 정도로 알려져 있다¹⁹⁾.

그림 2에 LN-MZ 간섭계형 변조기의 변조 응답 특성을 나타내었다. 우선 특성 곡선의 선형성이 가장 좋은 지점에 - 투과율이 0.5($V_0=0.5V_\pi$)인 지점 - DC 바이어스 전압을 인가하여 동작점(V_0)을 잡고 고속 변조전압(m(t))을 인가한다. 동작점을 제어하기 위한 저속 dithering 소신호 전압(d(t))도 m(t)와 함께 인가한다. 이때 출력 신호광의 세기(I(t))는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I(t) = \sin^2\{V_0 + m(t)+d(t)\} \quad (2)$$

(2) 식을 다시 정리하면

$$I(t) = \sin^2 V_0 \left\{ \cos^2 d(t) \cdot \frac{1 + \cos 2m(t)}{2} \sin^2 d(t) \cdot \frac{1 - \cos 2m(t)}{2} - \frac{\sin 2m(t)}{2} \cdot \frac{\sin 2d(t)}{2} \right\} + \cos^2 V_0 \left\{ \cos^2 d(t) \cdot \frac{1 - \cos 2m(t)}{2} \sin^2 d(t) \cdot \frac{1 + \cos 2m(t)}{2} - \frac{\sin 2m(t)}{2} \cdot \frac{\sin 2d(t)}{2} \right\} + \sin 2V_0 \left\{ \frac{\sin 2m(t)}{2} \cdot \frac{\cos 2d(t)}{2} + \frac{\cos 2m(t)}{2} \cdot \frac{\sin 2d(t)}{2} \right\} \quad (3)$$

$m(t) = I_m \sin \omega_m t, d(t) = I_d \sin \omega_d t$ 라 하면, $\omega_0 \gg \omega_d$ 이므로

$$\begin{aligned} \cos 2m(t) &= \cos(2I_m \sin \omega_m t) = J_0(2I_m) - 2J_2(2I_m) \cos 2\omega_m t \dots \\ \sin 2m(t) &= \sin(2I_m \sin \omega_m t) = J_1(2I_m) \sin \omega_m t + 2J_3(2I_m) \sin 3\omega_m t \dots \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $J_i(2I_m)$ 은 Bessel 함수의 i번째 차수를 나타내며, $\sin 2m(t)$ 에는 DC 성분이 존재하지 않는다. 즉, 천천히 변화하는 출력 신호광의 성분($I(t)_{slow}$)은 (3) 식에 $\cos 2m(t) = J_0(2I_m)$, $\sin 2m(t) = 0$ 을 적용하고, $V_0 \gg d(t)$ 이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I(t)_{slow} &= \frac{1 - J_0(2I_m)}{2} + J_0(2I_m) \sin^2 \{ V_0 + d(t) \} \\ &\cong \frac{1 - J_0(2I_m)}{2} J_0(2I_m) \{ \sin^2(V_0) + \sin(2(V_0)d(t) + \cos(2V_0)d^2(t) + \dots \} \end{aligned} \quad (5)$$

표 1. LN-MZ 변조기(M2123C)의 특성
Table 1. Performance data for the LN-MZ modulator.

항 목	주 요 특 성
1. 스위칭 전압(V_π)	2 * 3.9 volt
2. 소광비	15 dB 이상
3. 변조대역폭	10.2 GHz
4. 삽입손실	3.7 dB
5. 전극 길이	2 cm
6. 입력 임피던스	43 ohm
7. 동작 파장대역	1.5 μ m
8. 동작온도 범위	0oC < T < 60oC
9. pigtail fiber	입력단 : PMF
	출력단 : SMF

표 2. 변조기 구동용 대전력 증폭기의 특성
Table 2. Performance data for the modulator driving amplifier.

항 목	주 요 특 성
1. 전압이득	24 dB
2. 변조대역폭(f-3dB)	DC - 9.6 GHz
3. 상승/하강 시간	35 ps 이하
4. 잡음지수(NF)	8 dB 이하
5. VSWR	1.5 이하
6. 입출력 임피던스	50 ohm
7. gain flatness	1.8 dB 이하
8. 동작온도 범위	-25°C < T < 75°C

기존의 제어회로는 dithering 신호를 이용하여 $I(t)_{slow}$ 의 기본파신호를 lock-in 증폭기로 검출하여 동작점을 제어하는 방식을 사용해 왔다. 이 방식은 동작점을 선형성이 가장 좋은 지점으로 하기때문에 아날로그 통신에 적합하다. 그러나 디지털 통신의 경우 변조 전압의 크기가 V_{π} 일때 출력 신호광의 소광비가 최대로 된다. 그러므로 고속 변조전압의 크기가 감소하더라도 선형성이 가장 좋은 지점에 동작점이 위치하게 되면 소광비가 나빠져서 수신기의 수신감도가 저하되는 문제점이 있다. 식(5)에서 $I(t)_{slow}$ 의 2차고조파 성분의 진폭은

$$J_0(2I_m)\cos(2V_0)\left\{\frac{1-\cos 2\omega d}{2}\right\}$$

임을 알 수 있다. 만약 dithering 신호를 주파수 체배하여 $2\omega d$ 신호로 $I(t)_{slow}$ 의 2차 고조파신호를 lock-in 증폭기로 검출하면, 선형성이 가장 좋은 지점을 중심으로 오차신호의 부호가 바뀐다. 즉, $V_0 = V_{\pi}/2$ 에서 dithering 신호의 2차고조파 크기는 영이 되고, 그 보다 커지거나 작아지면 부호가 바뀌게 된다.

고속 ON/OFF 변조신호와 함께 정현파 발생기에서 나오는 수 kHz의 저속 dithering 신호로 변조된 광신호는 광학탐(8:2)을 거쳐 저속 광검출기(PIN PD)에서 전기신호로 변환된다. 변환된 전기신호 중에서 DC 성분은 차단하고 저잡음증폭기로 신호 레벨을 증폭한 다음 lock-in 증폭기로 $I(t)_{slow}$ 의 2차고조파 신호만 검출한다. 따라서 lock-in 증폭기 출력 신호중 DC 성분을 검출한 후 오차신호의 부호에 따라 비교회로의 기준 전압만 조절하면, 동작점의 위치를 선형성이 최대인

지점에 국한하지 않고 임의의 원하는 지점에서 안정화시킬 수 있다.^[10]

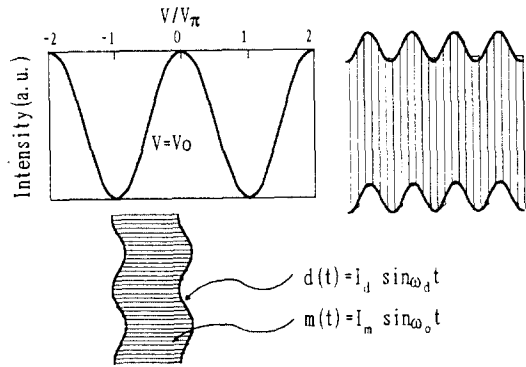


그림 2. LN-MZ 변조기의 변조 응답특성
Fig. 2. Modulation response of the LN-MZ modulator.

III. 송신기 제작 및 특성 측정

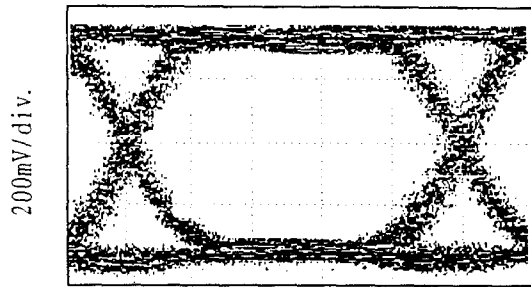
광송신기 모듈은 크게 두 부분으로 나누어 제작하였다. 외부 광변조기와 전력 소모량이 많은 고속 구동회로부, 그리고 8:2 광학탐을 알루미늄 케이스에 실장하였다. 반도체 레이저 제어회로부, 외부변조기 제어회로부, DC 광원용 DFB LD 모듈 및 외부 광검출기를 포함하는 저속 제어회로부는 PCB 기판 상에서 구현하였다. 재질은 epoxy이고 4층 배선으로 하였으며, 칩 저항과 칩 캐패시터를 사용하고 표면 실장형 부품을 사용하여 크기를 가능한 줄이도록 하였다. 기판의 크기는 170*135mm²이다. 송신기 조립을 완료하기 전에 각 기능 블럭의 특성을 측정하였다.

고출력증폭기(DC10000H24)의 특성을 파악하기 위하여 Network Analyzer(HP 8510C)를 이용하여 입출력단에서의 반사계수(S_{11}, S_{22})와 증폭기의 소신호 이득(S_{21})을 측정하였다. 입출력 반사 계수는 약 -8dB 이하이고, 소신호 이득은 약 23dB이며, 변조대역폭은 9.47GHz 이었다. 또 실험에 사용한 2개의 증폭기에 대한 최적의 오프셋 조건하에서 출력 신호의 크기는 약 $4V_{p-p}$, 상승/하강시간은 각각 45ps 였다.

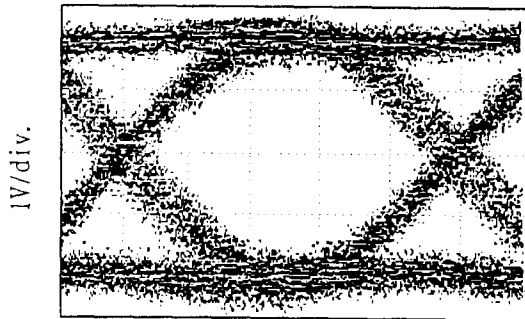
LN-MZ 변조기의 소신호 대역폭을 측정하기 위하여 HP Lightwave Test Set(83420A)을 HP8510C와 결합하고 83420A의 광수신기를 기준 수신기로 사용하였다. 변조기에 DC 3V를 인가하고 두 곳의 RF 소신

호 입력단자에 대한 소신호 응답 특성을 측정한 결과 -3dB 대역폭은 약 10.2GHz 였다. 외부변조기의 대신 호 응답 특성을 측정하기 위하여 고출력증폭기를 push-pull 방식으로 접속하였다. 사용된 변조기는 TM mode를 전파하지 못하도록 설계된 것으로, 입력 단에는 편광유지광섬유가 연결되어 있다. 그러므로 단 일모드 광섬유가 pigtail된 레이저 광원의 출력단 광컨넥터와 외부변조기 입력단 광컨넥터 사이에 편광조절기를 설치하였다.

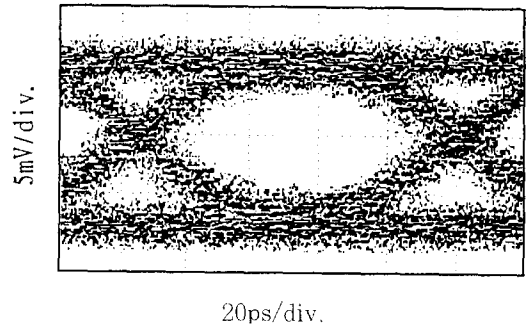
고속변조 신호원으로는 Advantest 사의 12Gb/s pulse pattern generator (D3185K)를 사용하였으며, 외부변조된 광신호는 대역폭 20GHz의 InGaAs PIN 광검출기로 수신하여 CSA 803A communication signal analyzer를 이용하여 특성을 분석하였다. PRBS(pseudo random binary sequence) $2^{23}-1$ 의 NRZ(non-return to zero) 신호로 외부 변조했을 때 펄스패턴 발생기 출력, 외부변조기 구동용 증폭기 출력 및 외부변조기 출력단에서 측정한 10Gb/s eye diagram을 그림 3에 각각 나타내었다.



(a) 펄스패턴 발생기 출력 파형
(a) Out of the Pulse pattern generator.



(b) 변조기 구동용 증폭기의 출력 파형
(b) Output of the modulator driving amplifier.



(c) 외부변조된 10Gb/s 광신호 파형
(c) Optical output at the LN-MZ modulator.

그림 3. 10Gb/s 광송신기 각 부분의 출력 파형
Fig. 3. Eye diagram of the each part in 10 Gb/s optical transmitter.

외부 변조된 출력 신호광의 파형은 구동회로의 변조대역폭($f_{-3dB} = 9.56GHz$)에 의해 거의 좌우되며, 상승/하강시간이 약 40ps이고 소광비는 12dB로 나타났다.

외부환경 변화에 의한 외부변조기 제어회로의 안정 동작을 확인하기 위해서 2.5Gb/s 광수신기와 back-to-back으로 연결하여 상온에서 6시간 동안 결합실험을 수행하였다. LN-MZ 변조기의 바이어스 전압, 송신기의 평균광출력, 그리고 수신기의 수신감도를 매 30초 마다 컴퓨터로 GPIB 인터페이스하여 변동률을 관찰하였다.

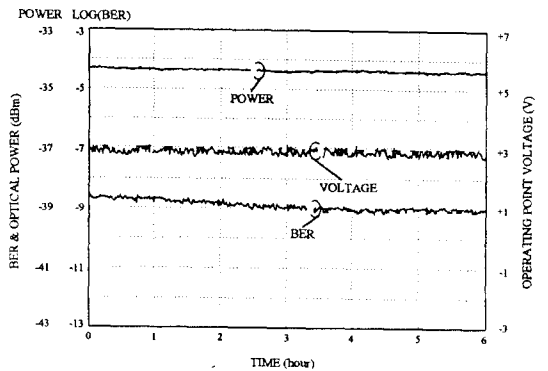


그림 4. 외부 변조기의 동작점, 평균 광출력, 그리고 광수신기의 수신감도 변화

Fig. 4. Time average fluctuation of the operating point of the modulator, average optical power, and receiver sensitivity.

그림 4에서 알 수 있듯이 변조기 제어회로가 외부 온도 변화에 따른 동작점 전압 드리프트를 보상해주는

에러신호의 변동률은 $100mV_{p,p}$ 였다. 또 50:50 광분배기의 한쪽 출력단에서 측정된 평균광출력 변동률은 0.2dB 이하였다. 에러신호의 변동과 동작점 변화에 의한 광수신기의 수신감도 열화는 0.5dB 이하로 무시할 수 있었고, 수신광의 세기를 $-30dBm$ 으로 고정하여 수신감도를 측정한 결과 3시간 동안 에러가 발생하지 않았다.

IV. 광전송 실험

제작된 광송신기의 성능을 평가하기 위하여 광송신기, 광전력증폭기, 그리고 광수신기를 결합하여 전송시험을 수행하였다. 그림 5에 광링크 결합 전송 실험의 구성도를 나타내었다. 신호원으로는 PRBS $2^{23}-1$ 의 2.5Gb/s 펄스 패턴 발생기를 이용하였다. 송신광출력을 높여주기 위해서 실험에 사용된 광전력 증폭기는 두개의 $1.48\mu m$ 고출력 반도체 레이저를 여기광원으로 하는 양방향 여기구조로 제작되었다. 광송신기의 출력 레벨에 무관하게 광전력증폭기의 출력은 $+10dBm$ 으로 설정하도록 자동광출력 조정회로를 사용하였다^[11]. 광전력 증폭기 출력단에 단일모드 광섬유(분산계수: $17ps/nm.km$) 150km를 연결하였다. 광섬유의 융착 접속 손실을 포함하는 총손실은 약 37.5dB 였다. 실험에 사용된 광수신기는 InGaAs APD와 GaAs IC transimpedance 형의 전치증폭기, 광대역 주증폭기 그리고 클락 및 데이터 재생회로가 하이브리드 집적화된 것으로 수신광 범위(dynamic range)가 20dB 이상이다^[12].

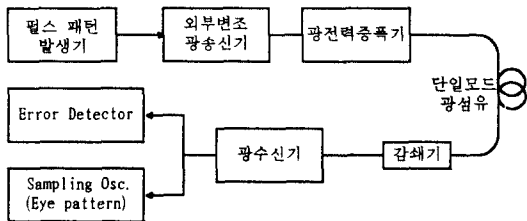
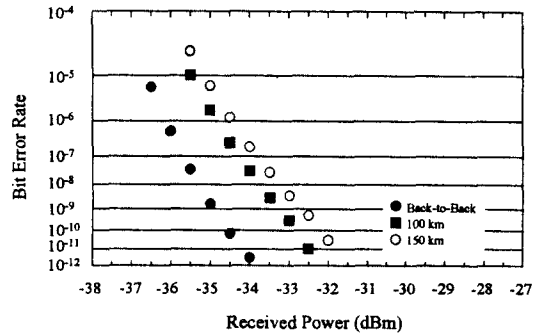


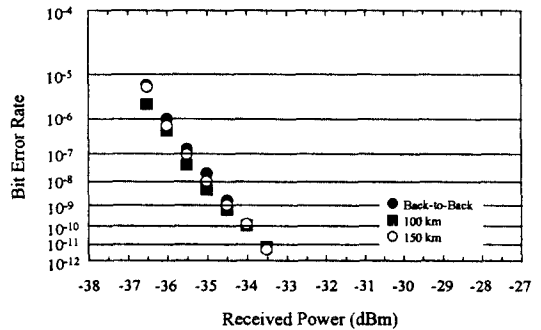
그림 5. 전송 실험을 위한 광링크의 구성도
Fig. 5. Block diagram of the optical link for the transmission experiment.

그림 6에 광송신기 변조방식에 따른 BER(bit error rate) 특성 곡선을 나타내었다. 우선 외부변조 방식의 광송신기 대신에 반도체 레이저 직접 변조 방

식의 광송신기를 연결하고 측정한 BER 곡선을 그림 6(a)에 나타내었다. 레이저의 DC 바이어스는 발진임계전류의 1.5배로 인가하였고, 변조 전류의 크기는 25mA 였다. 이 때 광신호의 $-20dB$ 발진 선폭은 0.6nm 이고, 신호의 소광비는 10dB, 그리고 평균광출력은 $-1dBm$ 이었다. 광섬유 100km, 150km 전송 후 레이저 처핑 및 광섬유의 분산에 의한 페널티는 각각 1.0dB와 2.2dB로 나타났다. 직접변조 송신기를 LN-MZ 외부변조 광송신기로 바꾸어 측정한 2.5Gb/s 광신호의 $-20dB$ 발진 선폭은 0.23nm 이고, 신호의 소광비는 12dB, 그리고 평균광출력은 $-8dBm$ 이었다. 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 150km 전송 후에도 수신감도의 열화는 발생하지 않았으며, 광섬유를 연결하지 않은 back-to-back 실험에서도 직접변조 방식과 비슷한 $-34.5dBm$ 의 수신감도를 얻었다.



(a)



(b)

그림 6. 광송신기 변조 방식에 따른 BER 특성 곡선과 eye 패턴
(a) 반도체 레이저 직접 변조 방식 (b) LN-MZ 외부 변조 방식

Fig. 6. Measured BER curves and eye diagram at 2.5 Gb/s. (a) Directly modulated laser diode, (b) Externally modulated LN-MZ modulator.

V. 결 론

LN-MZ 외부변조 방식의 광송신기를 두개의 모듈로 설계 제작하였다. 외부변조기와 이를 고속으로 구동하는 증폭기는 상용소자를 이용하였으며, 외부환경 변화에 의한 외부변조기의 동작점 드리프트를 보상해주는 새로운 방식의 바이어스 안정화 회로를 설계 제작하였다. 본 회로는 동작점의 위치를 선형성이 최대인 지점에 국한하지 않고 광송신기의 소광비가 우수한 지점에서 동작점을 안정화시킬 수 있었다.

제작된 송신기 모듈의 성능을 파악하기 위하여 광전력증폭기 및 광수신기와 결합시험을 수행하였다. 단일 모드 광섬유 150km를 연결하여 전송시험을 수행한 결과 BER 1×10^{-10} 에서 -34.5dBm의 수신감도를 얻었고, 광섬유의 분산에 의한 페널티는 무시할 수 있었다.

본 논문에서 설계제작한 광송신기는 10Gb/s 신호의 전송을 목표로 하였으며, 광수신기와 결합시험 및 광전송 실험을 수행 중에 있다. 10Gb/s 전송 실험 결과는 차후에 논문으로 제출될 것이다.

감사의 글

논문의 저자들은 본 연구를 지원해 주신 한국전자통신연구소 이만섭 부장님과 심창섭 실장님께 감사 드리며, HAN/B-ISDN 출연과제중 10Gb/s SDH 광전송 장치 개발의 일환으로 수행되었음을 알려드립니다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Jopson, "Dispersion compensation in amplified systems," paper ThA1, Topical meeting on optical amplifiers and their applications, pp. 50-52, Aug. 3-5, 1994.
- [2] T. Kashiwada, K. Nakazato, M. Shigematsu, C. Fukuda, M. Onishi and M. Nishimura, "2.4 Gb/s repeaterless transmission over 210 km nondispersion-shifted fiber using high output preamplifier and dispersion compensating fiber," paper WB2, Topical meeting on optical amplifiers and their applications, pp. 7-9, Aug. 3-5, 1994.
- [3] T. Kataoka, Y. Miyamoto, K. Hagimoto, K. Wakita, and I. Kotaka, "Ultra-high speed driverless MQW intensity modulation, and 20 Gbit/s, 100 km transmission experiments," *Electron. Lett.*, Vol. 28, pp. 897-898, 1992.
- [4] M. Aoki, H. Sano, "High-performance modulator/integrated light source grown by an in-plane band-gap energy-control technique," *OFC '95 Technical Digest*, paper TuF5, pp. 25-26, 1995.
- [5] Y. K. Park, S. W. Granlund, T. W. Cline, L. D. Tzeng, J. S. French, J.-M. P. Delavaux, R. E. Tench, S. K. Korotky, J. J. Veselka, and D. J. DiGiovanni, "2.488 Gb/s-318 km repeaterless transmission using Erbium-doped fiber amplifiers in a Direct-detection system," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 4, No. 2, pp. 179-182, 1992.
- [6] 박경현, 강승구, 송민규, 이중기, 조호성, 장동훈, 박찬용, 김경수, 김홍만, 박형무, 한정희, 심창섭, "2.5 Gbps 광통신용 Distributed Feedback Laser Diode(DFB-LD) 모듈 제작 및 광송신 실험," *한국광학회지*, Vol. 5, No. 3, pp.423-430, 1994
- [7] H. Kawakami, Y. Miyamoto, T. Kataoka and K. Hagimoto, "Overmodulation of intensity modulated signals due to stimulated Brillouin scattering," *Electron. Lett.*, Vol. 30, pp. 1507-1509, 1994.
- [8] S. Korotky and R. C. Alferness, "Waveguide electro-optic devices for optical fiber communication," in *Optical Fiber Communication II*, New York: Academic, 1988, ch. 11.
- [9] D. A. Fishman, "Design and Performance of Externally Modulated 1.5- μ m Laser Transmitter in the Presence of Chromatic Dispersion," *J. of Lightwave Technol.*, Vol. 11, No. 4, pp. 624-632, 1993.
- [10] 한정희, 이창희, 심창섭, "LiNbO₃ 외부 광변조기 바이어스 제어회로 설계 및 제작," *대한전*

자공학회 추계종합학술대회 논문집 제17권, 제 2호, pp.683-686, 1994

[11] 이상수, 한정희, 이창희, 심창섭, "광전력증폭기 모듈 제작 및 특성 측정", 제3회 광자기술 학술회의 논문집, pp. 22-23, 1994

[12] 윤태열, 한정희, 이창희, 심창섭, "2.5 Gbps 신호의 98 km 무중계 광섬유 전송", 대한전자 공학회 논문지 제31권, 제2호, pp. 26- 38, 1994

— 저 자 소 개 —



韓正熙(正會員)

1964년 3월 30일생. 1986년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업. 1988년 2월 동대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1993년 3월 ~ 현재 KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정 재학. 1988년

2월 ~ 현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 반도체 레이저 응용, 광증폭, 광송수신기, 초고속광전송 등임.

李相受(正會員)

1965년 8월 25일생. 1988년 2월 인하대학교 응용물리학과 졸업. 1990년 2월 동대학원 응용물리학과 석사학위 취득. 1990년 7월 ~ 현재 한국전자통신연구소 광파통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 광증폭, 초고속광전송 등임.



尹泰烈(正會員)

1964년 12월 6일생. 1987년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1989년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사학위 취득. 1989년 3월 ~ 현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 초

고속광링크, 초고주파 집적회로 등임.

李昌燾(正會員)

1961년 9월 23일생. 1983년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업. 1985년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사학위 취득. 1989년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사학위 취득. 1989년 7월 ~ 1990년 6월 Bellcore (Red Bank) Post Doc. 1989년 3월 ~ 현재 한국전자통신연구소 광파통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 광통신(광링크), 반도체 레이저, 광증폭, 극초단 광펄스 생성 등임.