

마이크로 프로세서를 이용한 레이저 다이오드 파장 안정화에 관한 연구

염진수*, 허창우*

*목원대학교 대학원

A Study on the Stabilization Scheme of Laser Diode Wavelength Using the Microprocessor

Jin-su, Yeom · Chang-wu Hur*

*Mokwon University · Electronics and Telecommunications Research Institute.

요 약

본 연구는 광 전송 시스템에 레이저 다이오드의 안정되고 고정된 출력 파장의 광원을 제공하기 위한 것이다. 레이저 다이오드를 구동하기 위하여 안정된 정전류 회로를 설계하려 했으며, 레이저 다이오드 자체의 온도센서와 TEC(Thermo Electric Cooler)를 이용하여 레이저 다이오드 내부의 온도를 제어하는 온도 제어 회로를 구성하였다. 또한 광 출력에 Wavelength Locker를 이용하였다. 최종적으로 이들을 제어하기 위하여 A/D, D/A 컨버터와 마이크로 프로세서를 사용하였다.

1. 서론

최근 인터넷의 대중화는 인터넷을 초기 Shell 기반에서 그래픽, 동영상, 네트워크 게임, 전자 상거래 등으로 다양하게 발전시키고 있으며 또한, 대용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 시스템을 요구하고 있다. 이용자들이 기존 전화망에서 ISDN, ASDL, 케이블망등 보다 빠른 통신망으로 이동하고 있다. 이와 같은 상황은 회선의 부족으로 이어지고 있다. 그래서 이를 해결하기 위한 여러 가지 방안이 각급 기관에서 연구되고 있다. 첫 번째로 네트워크 자원을 늘리는 것을 들 수 있지만 이 방법은 많은 자금과 시간을 요구하고 이용자의 요구에 빠르게 대처 할 수 없으므로 장기적으로 추진 할 수 밖에 없다. 다음으로 빠른 하드웨어 기술들을 연구하여 현재의 네트워크 자원으로 전송량과 전송속도를 향상시키는 방안이 있다. 이러한 것으로 기존 하나의 광전송 회선에 보다 많은 데이터를 전송하는 기술로 파장분할다중화(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 방식이 활발히 연구되고 있다[1, 2, 3, 4, 5]. 파장분할다중화방식은 여러 파장으로 분할된 레이저를 하나의 파이버 안에 넣어 전송하여야 하므로 각 파장의 분리가 매우 중요하다. 즉, 인접한 파

장에 영향을 주지 않기 위해서 각 레이저 파장이 안정하고 고정되어야 하는 것이다. 광 통신에서 사용되고 있는 레이저 다이오드의 파장을 안정화시키기 위해서는 레이저 다이오드를 구동시키는 전류와 온도가 안정화되어야 한다. 본 논문은 레이저 다이오드의 파장을 안정화시키고 WDM에서 사용될 수 있는 광원(Optical Source)을 제공할 수 있는 시스템을 구성하려 하였다. 먼저 반도체 레이저의 전류를 안정화시키는 방법을 연구하는데 있어서 통신분야에서는 Anode(+) 접지 방식을 사용하므로 레이저 다이오드의 정 전류회로를 구성하는데 있어서도 Anode(+) 접지 방식으로 구성하려 하였다. 이러한 방식으로 본 연구에서는 전류의 안정도는 되먹임을 걸지 않은 상태에서도 10uA 미만으로 설계하려 하며 전원전압이 낮아도 많은 전류의 공급이 가능하도록 내부 전압 강하가 적은 소자를 선택하였다. 또한 레이저 다이오드에 온도는 0.05도 이하로 안정화시키려 하며 내장된 온도센서와 TEC를 이용하여 반도체 레이저 내부의 온도를 제어하는 TEC 제어회로 구성하였다. 최종 출력에서는 Wavelength Locker를 사용 온도를 제어하여 레이저의 파장을 제어할 수 있게 하였다. A/D, D/A 컨버터와 마이크로 프로세서를 사용하여 레이저의 파장을 고정시킬

수 있도록 각 부분을 제어하였으며, 각종 정보를 사용자가 알 수 있도록 Serial 통신이 가능하도록 하였다.

II. 반도체 레이저의 파장 안정화 방법

절대 주파수 표준광원을 구성하기 위해서는 광섬유의 손실과 광 증계기 또는 증폭기의 이득대역 등에 설정된 파장대역과 기체 흡수선의 파장을 고려하여 표준 주파수를 설정하고 이에 대하여 레이저의 발진 주파수를 높은 안정도와 신뢰도를 갖도록 안정화 시켜야 한다. 이제까지 광통신의 절대 파장 표준광원을 구성하기 위하여 사용된 안정화 방법들을 알아보았다.

1. 전류와 온도제어에 의한 방법

외부에 다른 장치를 사용하지 않고 가장 단순히 반도체 레이저에 흐르는 전류와 온도만을 안정화 시켜서 주파수를 안정화시키는 방법으로 다른 어떤 방법보다도 간단하게 구현할 수 있다는 것이 장점이며, 간단히 구성할 수 있는 만큼 안정도를 향상시키는데 한계가 있다는 단점도 갖고 있다. 그러나 단순한 광통신 등에는 이 방법만으로도 충분한 효과를 얻을 수 있다. [그림 1]에 전류와 온도제어에 의한 안정화 방법을 제시하였다.

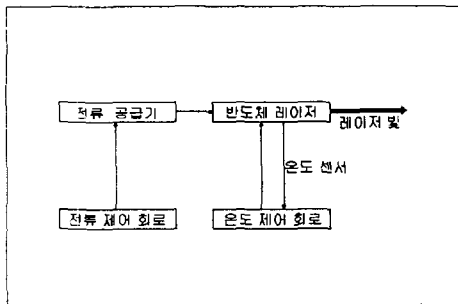


그림 1. 전류와 온도제어에 의한 레이저 파장 안정화 방법

본 연구에서 이 방법으로 실험한 결과 전류는 5 μ A, 온도는 0.005 $^{\circ}$ C 이내로 안정된 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 개발 연구에서 사용한 반도체 레이저가 온도 1 $^{\circ}$ C가 변화하면 파장(Wavelength)은 0.092 nm가 변화하는 것이므로 이것을 기준으로 파장의 안정도를 환산해 보면 0.00046 nm 정도가 되는 것을 확인할 수 있다.

2. 구동전류 변조에 의한 방법

앞에서 언급한 것은 간단하게 레이저의 발진 파장을 안정화시키는 방법이며 이번에는 외부 신호로 피드백(Feed Back) 방법을 사용하여 안정화

시키는 것이다. 이를 위해서는 흡수선의 중심 주파수 근방에서 주파수 변위에 대하여 선형적으로 변하는 주파수 편별을 위한 오차신호가 필요하다. 이를 위해서 지금까지는, 주기적으로 주파수 변조나 위상 변조된 레이저 빛을 흡수셀에 투과시킨 후, 투과하여 변화된 빛의 세기의 변화를 변조신호와 동기시켜 측정하는 방법이 사용되어 왔다 [6]. 여기서 주기적으로 변조된 레이저 빛의 주파수 ω' 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega'(t) = \omega + \omega_0 \cos \omega_m t \quad (1)$$

여기서 ω 는 레이저의 각주파수이고, ω_0 는 각주파수의 변조폭을, ω_m 은 변조 주파수를 나타낸다. 초기 상태의 레이저 빛의 세기가 I_0 라고 하면, 길이가 l 이고 흡수계수가 $a(\omega')$ 인 흡수셀을 투과한 후, 광 다이오드로 검출한 레이저 빛의 신호 세기는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_s(\omega') = \eta I_0 e^{-a(\omega')l} \quad (2)$$

$$= \eta I_0 \left[-a(\omega')l + \frac{1}{2} (-a(\omega')l)^2 + \dots \right]$$

여기서 η 는 광 다이오드의 반응도(responsivity)를 나타낸다. 광 다이오드로부터의 출력 신호를 변조주기와 동일한 주파수를 갖는 기준 주파수(reference)와 동기 시키면 이 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = i_s \cos \omega_m t \quad (3)$$

즉, 레이저 빛의 진동수가 주기적으로 변조된 경우 흡수셀을 투과한 신호를 변조주기와 동기시켜 lock-in amplifier로 측정하면 흡수선의 하모닉 신호를 얻을 수 있다. 기체의 흡수선은 선평확대 요인에 따라 Gauss 또는 Lorentz 모양을 갖기 때문에 흡수선의 중심주파수 근방에서의 하모닉스는 주파수 변화에 대하여 선형함수로 근사될 수 있으며, 중심주파수에서는 0이 되므로 이를 피드백(Feed Back) 안정화에 대한 오차(error)신호로 사용할 수 있다. 레이저 빛의 주파수를 주기적으로 변조시키는 방법 중 가장 간단한 것은 레이저에 공급하는 전류를 주기적으로 변화시켜 직접 변조시키는 방법이다. 이때 높은 주파수로 직접 변조시키기 위해서는 반도체 레이저의 문턱 전류가 낮은 것을 선택하여야 한다. [그림 2]에서와 같이 레이저의 공급 전류를 외부 발진기를 이용하여 정현파(sinusoidal)적으로 변하는 신호를 가해 주면 레이저의 전류는 식(1)과 같이 주기적으로 변조된다. 따라서 흡수셀을 투과한 빛의 세기를 광 다이오드로 검출하여 이 신호와 외부 발

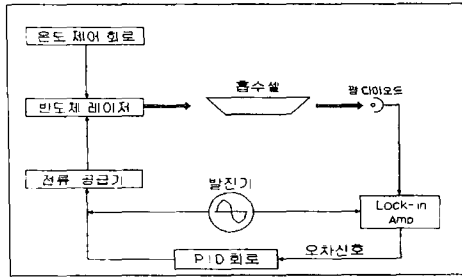


그림 2. 구동전류 변조에 의한 레이저 파장 안정화 방법

진기 신호를 Lock-in Amp를 이용하여 오차 신호를 만들었다. 이 오차 신호를 PID 회로를 사용하여 전류 공급기에 되먹임(Feed Back) 시킴으로써 레이저의 주파수를 안정화시킬 수 있다. 이 방법은 광학계통의 구성이 간단하다는 장점을 갖고 있으나, 이를 절대 주파수 표준광원으로 사용할 경우에는 주파수 자체가 발진기의 주파수 변조폭 만큼 흔들리고, 구동전류의 변화에 따라 레이저 빛의 세기가 주기적으로 변하기 때문에 절대 광 주파수 표준으로 사용하기에는 부적합하다. 이러한 직접변조에서 야기되는 여러 가지 문제점들을 피하기 위해 LiNbO₃와 같은 외부변조기를 이용하여 주파수를 변조시키는 방법이 연구되어 왔다.

3. 외부 변조기를 이용한 방법

외부 변조기를 이용한 레이저의 주파수를 안정화시키는 방법을 [그림 3]에 나타내었다. 각주파수가 $\omega_m = 2\pi f_m$ 인 전기장을 외부 변조기에 인가하면, 이를 전파한 빛의 위상은 식 (4)와 같다.

$$\Phi(t) = \omega_0 t + A_m \cos \omega_m t \quad (4)$$

여기서 ω_0 는 입사된 빛의 각 진동수를 나타내며, A_m 은 인가된 전기장의 세기와 변조기 상수에 의해 결정되는 상수이다. 이와 같이 위상변조된 빛의 순간 주파수는 식(5)과 같다.

$$\omega(t) = \frac{d\Phi}{dt} = \omega_0 - A_m \omega_m \sin \omega_m t \quad (5)$$

식(5)에서와 같이 시간에 따라 주기적으로 주파수가 변하는 변조된 빛살을 얻을 수 있다. ω_0 가 흡수선의 중심주파수 부근에서 변할 경우 흡수셀을 투과해 나온 빛의 세기를 광 다이오드로 검출하여 이 신호와 외부 발진기 신호를 Lock-in Amp를 이용하여 오차 신호를 만들었다. 이 오차 신호를 PID 회로를 사용하여 전류 공급기에 되먹임(Feed Back) 시킴으로써 레이저 주파수를 안정화시킬 수 있다. 따라서 직접변조의 단점을 보완

할 수 있으나 외부변조기를 광학계통에 첨가시킴으로써 광학계통의 구조가 복잡하게 되는 문제가 있다. 이를 보완하기 위한 논문[7, 8]에서는 레이저 빛의 주파수를 변조시키는 대신 다음 장에서

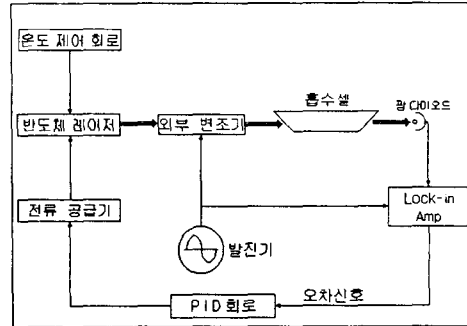


그림 3. 외부 변조기를 이용한 안정화 방법

언급한 흡수선의 중심주파수를 주기적으로 변조시켜 주는 방식을 적용하였다.

4. 흡수셀에 자기장을 이용한 방법

[그림 4]에서와 같이 외부 발진기를 이용하여 주기적으로 변하는 자기장을 증폭기를 통하여 Kr 램프에 인가해 주게 되면 Zeeman 효과에 의해 1.5244 μm 에 해당하는 Kr 원자의 원형 편광된 빛에 대한 중심흡수 주파수를 주기적으로 변화시킬 수 있다[9]. 이는 레이저 빛의 주파수를 변조시켜 주는 효과적인 방법이다. 흡수셀을 투과한 레이저 빛의 세기를 광 다이오드로 검출하여 이 신호와 외부 발진기 신호를 Lock-in Amp를 이용하여 오차 신호를 만들었다. 이 오차 신호를 PID 회로를 사용하여 전류 공급기에 되먹임(Feed Back) 시킴으로써 레이저 주파수를 안정화시킬 수 있다. 이들은 이 방법을 이용하여 3MHz의 주파수 안정도를 얻을 수 있었다. 이 방법이 높은 신뢰도를 갖기 위해서는 흡수셀을 투과하는 레이저 빛이 항상 높은 원형편광도를 유지해야 하고 편광상태가 외부 환경 조건에 따라 변하지 말아야 한다.

III. 시스템 설계

1. 시스템 구성 및 개요

[그림 5]는 레이저 다이오드 파장 안정화 시스템의 전체 구성도를 나타낸 것으로 레이저 다이오드를 구동하기 위한 전류 및 온도 안정화 회로, Wavelength Locker 회로, 마이크로 프로세서 제어 회로로 구성되었다. 온도조절은 10 ~ 40°C가 가능하도록 구성하였으며, 정도는 0.05도 미만이 되도록 하였다. 레이저 다이오드의 전류 공급은 0 ~ 300mA 까지 가능하고 안정도는 $\pm 0.05\%$ 미만이다. 온도 조절을 위한 TEC 드라이버의 성능은 5V/1.5A으로 7.5W까지 가능하다. 온도 및 전류

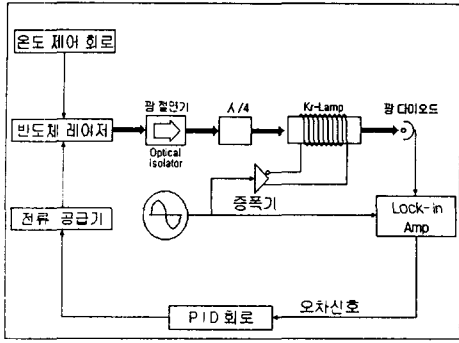


그림 4. 흡수셀에 자기장을 이용한 레이저 파장 안정화 방법

조절은 디지털 제어가 가능하도록 A/D 및 D/A 컨버터를 사용하여 마이크로 프로세서를 통하여 제어된다. Wavelength Locker 회로는 레이저 다이오드에서 출력되는 파장의 변화를 전압으로 출력하는 회로로 마이크로 프로세서에서는 A/D 컨버터를 통해 이 값을 읽어 D/A 컨버터로 레이저 다이오드 내부 온도를 컨트롤하여 레이저의 파장을 고정시킨다. 사용자가 시스템을 제어할 수 있

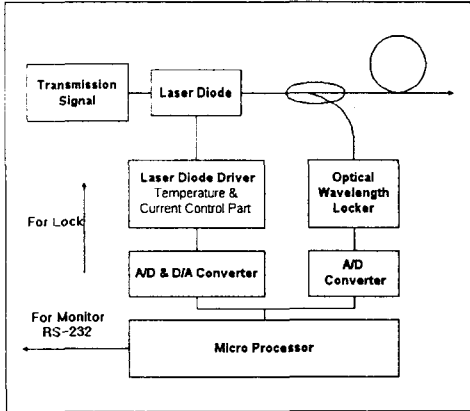


그림 5. 전체 구성도

도록 인터페이스로 컴퓨터로 제어 할 수 있는 RS-232 호환 통신포트와 통신명령을 내장하였다.

2. 전류 제어회로 구성

레이저 다이오드의 전류를 안정화시키기 위한 회로로서 전류 안정화 부분을 [그림 6]에 나타내었으며 전류의 안정도는 $\pm 0.05\%$ 미만이 되도록 설계하였다. [그림 6]에서 TP3에 입력되는 전압에 의해서 Q1의 FET가 동작하게 되며 Q1은 내부 전압강하가 적은 것으로 적은 전압으로도 많은 전류를 흘릴 수 있으며 전류에 따른 내부 손실이

적어 열이 적게 발생한다. R1, R2 ($1\Omega/1W$)는 되먹임 전압검출용으로 사용하며 이를 U1에 의해

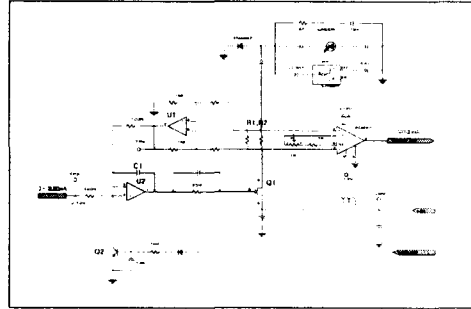


그림 6. 전류 안정화 회로

증폭되어 U2로 되먹임 된다. U1의 증폭도는 약 10배로 레이저 다이오드에 100mA가 흐르면 R1, R2 양단에는 0.1V의 전압 강하가 생기며 U1의 출력에는 $0.1V \times 10\text{배} = 1000\text{mV}$ 가 되어 1V/100mA의 반도체 레이저의 전류를 얻을 수 있다. C1은 적분 콘덴서로 이 값이 너무 크면 입력전압에 따른 전류 조절이 늦어지며 안정도가 낮아지게 되고 너무 작게 되면 내부 발진이 일어나게 된다. 레이저 다이오드에 공급되는 전류를 측정하기 위하여 AD620을 사용하였다.

증폭도(G)는 :

$$G = 1 + \frac{49.4\text{K}\Omega}{R_G} \quad (6)$$

로 정의된다.

회로에서 $R_G = VR1 + R3$ 으로 이득을 10배로 하였다. 이는 A/D 컨버터로 입력되어 마이크로 프로세서는 이 값을 다시 되먹임하여 레이저 다이오드에 항상 일정한 전류가 흐르도록 한다. 레이저 다이오드는 최대 공급 전류가 있는데 이를 초과 하면 고가의 레이저 다이오드가 망실 될 수 있다. 그러므로 전류를 제한하여 레이저 다이오드를 보호 할 수 있는 회로를 필요로 한다. [그림 7]은 레이저 다이오드의 전류 제한 회로이다. 이 회로는 U1(LM393 : 비교기)에 입력되는 AD620에서 출력되는 전압과 사용자가 설정한 제한전압 ($0 \sim 3V : 1V/300\text{mA}$)을 비교하여 설정전압 이상이 되면 U2의 전류조절 입력이 0V가 되면서 전류가 흐르지 않게 된다. 제한전압은 사용자의 입력에 의해 D/A 컨버터를 통하여 컨트롤러에서 출력하게 된다. 이 전류 제한 신호는 컨트롤러의 신호로도 입력되어 사용자에게 알려준다.

3. 온도 제어회로 구성

레이저 다이오드는 온도가 안정되지 않으면 레이저의 파장이 변화하게 된다. 온도에 따른 파장의 변화를 측정하기 위하여 항온조에 넣고 온도를 $0\text{ }^\circ\text{C} \sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ 까지 변화시키면서 Wavemeter를 이용하여 파장의 변화를 직접 측정해 본 결과

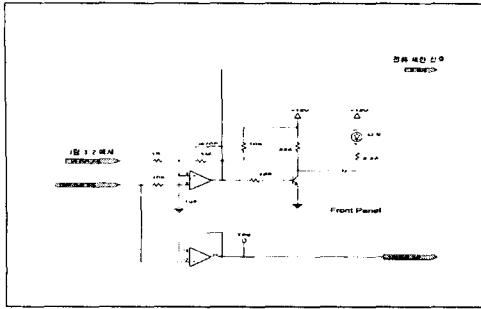


그림 7. 레이저 다이오드 전류제한 회로

0.092nm/℃로 측정되었다. [그림 8]에 온도에 따른 레이저 파장의 변화를 나타내었다. 즉 온도 1℃가 변화하면 파장(Wavelength)은 0.092nm가 변화하였다. WDM 시스템이나 각 종 광시스템에서 가장 중요한 것이 파장이 안정해야 하므로 이는 결국 레이저 다이오드의 전류 및 온도가 안정되어야 가능한 것이다. [그림 9]에 구성한 온도 검출 회로를 보였다.

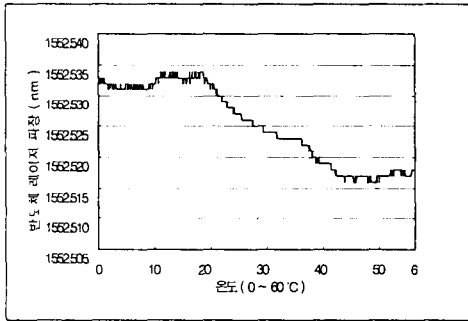


그림 8. 온도에 따른 레이저 파장의 변화

[그림 9]는 서미스터로부터 온도변화에 따른 저항변화를 읽어서 선형적인 전압 변화로 바꾸어 준다. 회로에서 설정온도는 사용자에게 의해서 마이크로 프로세서와 D/A 컨버터를 통하여 설정된다. 설정온도는 1℃/100mV로 최대 40℃ /4000mV 까지 설정 할 수 있다. 설정온도와 현재온도 전압 값은 TEC 구동회로 입력된다. 레이저 다이오드에 내장된 서미스터는 YSI사의 44016형이다. 반도체 레이저에서 온도센서로 서미스터를 사용하는 가장 큰 이유는 온도변화에 따른 응답속도가 빠르기 때문이다. [표 1]에 온도에 따른 저항값과 [그림 9]의 회로를 이용하여 검출된 서미스터 값에 대응하는 선형화한 전압(그림 9, TP)을 6 1/2 자리수를 갖은 디지털 전압계를 사용하여 측정할 결과이다. [표 1]에서 볼 수 있듯이 [그림 9]의 회로를 사용하여 서미스터를 선형화 했을 경우 최대 0.3℃ 범위 내에서 온도의 절대값을 측정할 수 있었다. 서미스터는 온도에 따른 저항변화가 적절

온도 (°C)	서미스터저항 (kΩ)	TP 전압 (V)
10	19.9	0.500
15	15.71	0.747
20	12.50	0.998
25	10.00	1.248
30	8.06	1.499
35	6.53	1.750
40	5.33	2.000

표 1. 온도에 따른 서미스터 저항 값과 검출전압

적이지 않기 때문에 정확하게 실제온도를 읽어 내기가 쉽지 않다. 그러나 온도 변화에 따른 반응속도가 빠르고 온도에 따른 저장변화가 크기 때문에 온도제어 회로에 많이 사용되고 있다. 레이저 다이오드의 온도 구동 소자로는 TEC(Thermo Electric Cooler, 또는 Peltier Cooler)가 사용되고 있다. 이는 펠티어 효과를 이용한 것으로 흐르는 전류에 따라 가열과 냉각을 한 면에서 가능하게 한 소자로 응답속도도 빠르고 소형화가 가능하기 때문에 모든 반도체 레이저의 온도 구동소자로 사용되고 있다. [그림 10]에 TEC 구동회로를 나타



그림 11. Wavelength Locker 회로

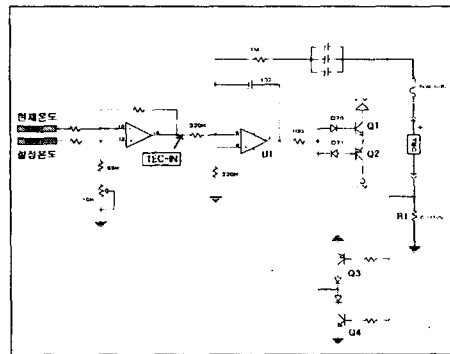


그림 10. TEC 구동 회로

내었다. TEC-IN은 [그림 9]에서 발생된 설정온도와 현재온도의 차 전압 즉 오차 전압이 들어오게 되고, U1으로 구성된 피먹임 증폭기와 Q1, Q2로 구성된 전류증폭 회로를 통하여 TEC에 전달되게 된다. TEC 전류는 최대 1.5A로 설계되어 있으나, 실제 실험 결과 최대 $\pm 300\text{mA}$ 정도면 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 까지의 제어가 가능하였다. 하지만 레이저 다이오드의 종류와 방열되는 정도에 따라 달라질 수 있다.

4. Wavelength Locker 회로 구성

Locker로 SANTEC의 OWL-10을 사용하였으며 PD1과 PD2에서 나오는 레이저의 파워를 각각의 PD Amp회로를 거쳐 마이크로 프로세서의 A/D 컨버터로 입력하였다. Locker의 특성은 중심 파장에서 파장이 낮아지면 PD1(Short PD)은 증가하고 PD2(Long PD)는 감소하며, 반대로 파장이 높아지면 PD1은 감소하고 PD2는 증가하는 특성을 가지고 있다. 즉, 마이크로 프로세서는 이 값을 읽어서 비교하여 두 값이 같아지도록 제어하는 것

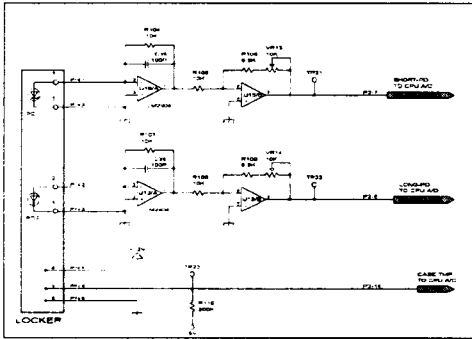


그림 11. Wavelength Locker 회로

이다.

5. 마이크로 프로세서 회로 구성

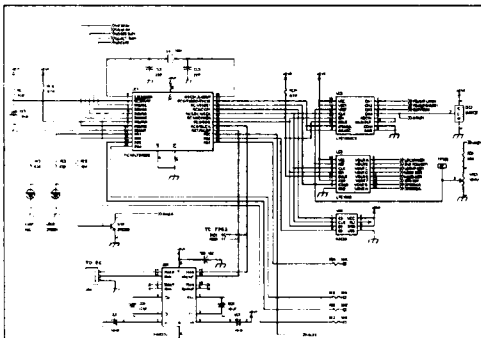


그림 12. 마이크로 프로세서 구성회로

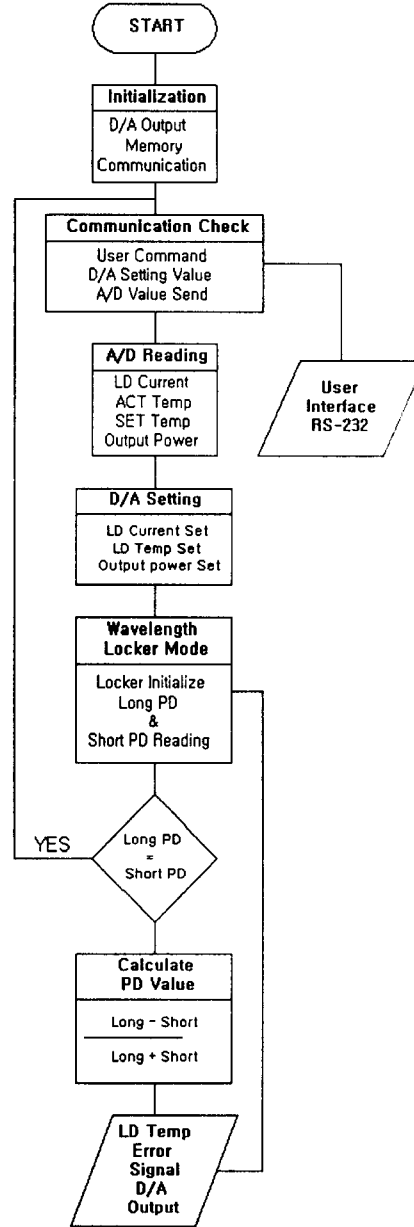


그림 13. 제어 프로그램 흐름도

마이크로 프로세서 회로는 하나의 원칩 프로세서와 12비트 4 채널 A/D 컨버터, 10비트 8채널 D/A 컨버터로 구성하였으며, 사용자의 설정 파라미터를 저장하기 위하여 128X16비트 시리얼 EEPROM을 내장하였다. [그림 12]에 구성된 회로를 나타내었다. 제어 프로그램의 흐름은 [그림

13]에서와 같다.

IV. 평가 결과

1. 레이저 다이오드의 전류 안정도 측정

제작한 회로로 전류 안정도를 측정하였다. 실온에서 측정한 결과를 [그림 14]에 나타내었으며, 레이저 다이오드의 전류를 0℃에서 61mA로 설정한 상태에서 항온조를 이용하여 온도를 0℃~60℃까지 변화시켜가면서 레이저 다이오드의 전류 변화를 측정한 결과를 [그림 15]에 나타내었다.

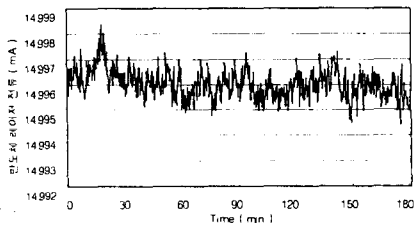


그림 14 실온에서 레이저의 전류 안정도

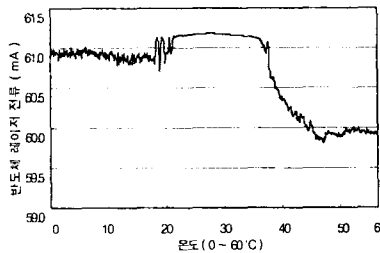


그림 15. 온도변화에 따른 레이저의 전류 안정도

레이저 다이오드에서 전류의 변화는 광 세기와 파장의 변화를 일으키는 요인이 된다. 이러한 광 세기 변화를 줄이기 위해 전류를 안정화시키는 것이다. 제작한 회로를 이용하여 레이저의 전류 안정도를 측정한 결과 [그림 14]에서 볼 수 있듯이 실온에서의 전류 변화는 최대 4 μ A 정도로 측정되었으며, [그림 15]에서 볼 수 있듯이 온도를 0℃~60℃까지 변화시켰을 경우에는 최대 1.5mA 미만으로 측정되었다. 본 논문에서 사용한 레이저의 전류 특성은 0.168 mW/mA의 비율로 광 세기를 변화시키며, 0.005 nm/mA(약 600 Mbz/mA)의 비율로 파장을 변화시킨다. 제작한 회로를 사용한 경우 전류의 변화 폭이 최대 4 μ A이므로 광의 세기는 0.00067mW의 변화가 있으며 파장은 0.02 pm(약 2.5 Mbz)가 변화하는 것으로 상당히 좋은

결과를 나타냈다.

2. 온도 안정도 측정

제작된 회로의 온도 안정도를 측정하였다. 실온에서 레이저의 온도를 약 24.77℃로 설정한 뒤 디지털 전압계를 컴퓨터와 인터페이스 시켜서 측정한 결과이다. 측정 결과를 [그림 16]에 나타내었으며, 이때 TEC에 흐르는 전류를 [그림 17]에 나타내었다. 레이저의 온도를 0℃에서 약 24.8℃로 설정한 상태에서 항온조를 이용하여 온도를 0℃~60℃까지 변화시켜가면서 레이저의 온도 변화를 측정한 결과를 [그림 18]에 나타내었으며, 이때 TEC에 흐르는 전류를 [그림 19]에 나타내었다. 측정방법은 실온에서의 측정방법과 동일하게 하였다. [그림 16], [그림 17], [그림 18] 그리고 [그림 19]에서 볼 수 있듯이 온도변화에 따라 TEC 전류가 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 오차신호에 따라 피먹임이 잘되는 것을 알 수 있다.

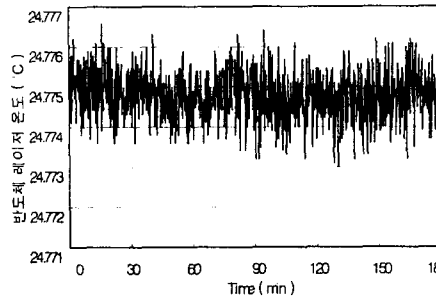


그림 16. 실온에서 레이저의 온도 안정도

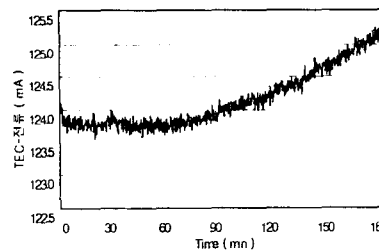


그림 17. 실온에서 TEC 전류 변화

레이저의 온도 안정도를 측정한 결과 [그림 16]에서와 같이 실온에서 온도 변화는 최대 0.004℃ 정도로 측정되었으며, 그때의 TEC 전류는 [그림 17]에서와 같이 약 123mA ~ 125mA가 변화하는 것을 볼 수 있다. [그림 18]에서 볼 수 있듯이 온도를 0℃~60℃까지 변화시켰을 경우에는 최대 0.1℃ 정도로 측정되었으며, 그때의 TEC 전류

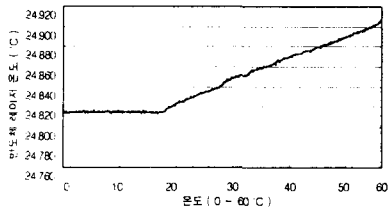


그림 18. 온도 변화에 따른 레이저의 온도 안정도

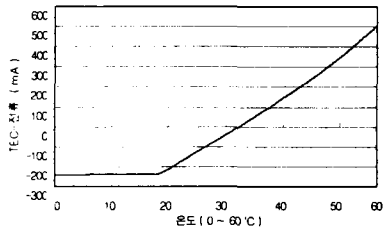


그림 19. 온도 변화에 따른 TEC 전류 변화

는 [그림 19]에서와 같이 약 -250mA ~ +500mA가 변화하는 것을 볼 수 있다. 레이저 다이오드에서 온도 변화는 레이저 파장의 변화를 일으키는 가장 큰 요인이 된다. 이 요인은 다른 어떤 요인에 의한 것 보다 파장의 변화 폭이 크다. 그러므로 온도를 안정화시키는 것은 필수적이다. 본 논문에서 사용된 레이저 다이오드는 온도 변화에 따른 파장의 변화가 0.092 nm/°C(약 10.8GHz)였다. ITU의 권고에 따르면 WDM에서 채널 간격이 1.6nm(약 200GHz)일 때 최대 중심주파수 변동폭은 ±40GHz(±0.32nm)이다. 이 결과로 볼 때 온도 안정도는 충분히 만족한 것이었다. WDM용 광 송신기 개발시 가장 크게 고려해야 할 부분이 온도 안정도이다. 온도의 변화는 가장 많은 파장의 변화를 일으키는 요인이 되기 때문이다. 더불어 외부 온도 변화에 대한 레이저 온도 변화를 최소화하는 것도 필수적이다. 또한 이점을 이용하여 파장을 고정시키는 것이다.

IIV 결론

레이저 다이오드를 WDM시스템과 같은 통신시스템에서 사용하기 위해서는 파장을 안정화해야 한다. 파장이 안정화되지 않으면 인접 채널에 간섭을 주게 되므로 통신시 많은 에러가 발생한다. 본 논문에서는 레이저 다이오드의 파장을 안정화시키는 방법 중에 가장 기본이 되는 반도체 레이저의 전류와 온도를 안정화시키고 Wavelength Locker를 사용하여 파장의 변화를 읽어 마이크로 프로세서를 사용하여 파장을 제어하였다. 전류는

애노드 접지방식을 사용하여 안정화 시켰으며, 온도는 서미스터와 TEC를 이용하여 안정화 시켰다. 제작한 레이저 다이오드 드라이버와 Wavelength Locker 모듈은 레이저의 파장을 안정화시킴으로써 광통신연구분야와 광 전송 시스템 개발에 적용이 가능하도록 하였다. 제작하여 측정한 결과 레이저의 전류는 4μA 이내로 안정되었으며, 온도는 0.005 °C 이내로 안정된 것을 확인할 수 있었다. 각 채널의 주파수 안정도는 15 MHz 이내로 안정되어 ITU(International Telecommunication Union)에서 권고한 것 보다 훨씬 안정되어 WDM 시스템과 같은 통신시스템연구에 적용하는데 문제가 없음을 확인하였다. 하지만 외부 인터페이스에서 통신 지연으로 인한 문제점이 발견되었다. 앞으로도 통신시스템에서는 많은 채널을 수용하기 위해서는 안정된 파장을 얻는 것이 필요하므로 이 분야의 연구를 꾸준히 진행하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Seo Yeon Park, Hyang Kyun Kim, Gap Yeol Lyu, Sun Mo Kang, Sang-Yung Shin, "Dynamic Gain and Output Power Control in a Gain-Flattened Erbium-Doped Fiber Amplifier", IEEE Photonics Technology Letters, VOL. 10, NO. 6, June 1998.
- [2] H. Taga, : "Long distance transmission experiments using the WDM technology", J. Lightwave Technol. , LT-14, 1996, pp. 1287-1298.
- [3] S. Bigo, A. Bertaina, M. Chbat, S. Gurib, J. Da Loura, J-C. Jacquinet, J. Hervo, P. Bousselet, S. Borne, L. Gasca, and J-L. Beylat, : "320 Gbit/s WDM Transmission over 500km of conventional single-mode Fiber with 125-km Amplifier spacing", in Proc. ECOC'97, Edinburg, UK, 1997, Postdealine Paper pp. 17-20.
- [4] J-M. Delavaux, P. Nuyen, O. Mizuhara, S. Granlund, P. Yeates and A. Yeniay, : "WDM repeaterless bi-directional transmission of 73 channels at 10 Gbit/s over 126 km of True Wave fiber", in Proc. ECOC'97, Edinburg, UK, 1997, Postdeadline Paper pp. 17-20.
- [5] H. K. Kim, S. Y. Park, , Y. G. Lee, D. H. Lee, and C. S. Park, : "Influence of the span loss variation in cascaded EDFAs on the receiver dynamic range in the WDM systems", to be published in IEEE Photon. Technol. Lett.
- [6] "光學", 応用物理學會, 제13권, 제2호, Japan, 1984. 4.

- [7] 조 규만, 이 용구, 김 종희, 강 민희, "광동기 신호 발생기술에 관한 연구", 서강대학교 기초과학 연구소, Jan, 1995.
- [8] Tetsuhiko Ikegami, Shoichi Sudo, Yoshihisa Sakai, "Frequency Stabilization of Semiconductor Laser Diodes" (1995).
- [9] 류 갑 열, "빛살 되먹인 반도체 레이저의 분광 특성 연구", 서강 대학교, 박사학위 논문 (1992).