

DWDM용 다채널 파장 가변 레이저 다이오드 모듈을 위한 다수개의 광 수신 소자를 갖는 50 GHz 내장형 파장 안정화 모듈의 파장 미세 조정

박홍우[†] · 윤호경 · 최병석 · 이종현 · 최광성 · 임용성 · 문종태

한국전자통신연구원 광통신소자연구부 집적광모듈팀

Ⓣ 305-350 대전시 유성구 가정동 161

(2002년 7월 18일 받음, 2002년 9월 10일 수정본 받음)

본 논문은 DWDM 응용을 위한 새로운 개념의 파장안정화 모듈을 제안한다. 일반적으로 내장형/외장형 파장안정화기에서는 LD의 파워를 모니터링 하는 모니터 PD 이외에 파장을 모니터링하는 하나의 에탈론 PD가 사용된다. 50 GHz 응용에서 에탈론의 각도를 미세 조정하는 방법이 일반적이다. 그러나, 에탈론의 미세 각도 튜닝으로 인한 파장안정화기 성능에 미치는 영향은 대단히 크며 미세 각도로 정렬하는 공정은 매우 어렵다. 에탈론 PD 배열 블록을 사용함으로써 파장안정화 모듈의 기계적인 에탈론 정렬 오차를 낮출 수 있으며 미세 파장 조정이 가능하다. 파장안정화 모듈의 에탈론 각도 조정에 따른 FSR과 최대 투과 파장의 위치 변화 정도를 계산하였으며 본 실험에 사용된 파장안정화 모듈의 최적화된 초기 에탈론 회전 각도를 보고한다.

주제어 : tunable laser diode, wavelength locker, etalon, fabry-perot, interferometer.

I. 서 론

WDM(wavelength division multiplexing)용 광원 모듈은 기능별 집적화를 통한 다기능 고부가가치화가 세계적 추세이며, 100 GHz 이하의 채널 간격에서는 본격적으로 파장안정화 기능을 요구하게 된다. 이러한 경향에 맞추어 파장안정화 내장형 송수신 모듈은 시스템의 구성을 단순화하여 경제성을 높이고 보다 높은 신뢰성을 확보할 수 있다는 측면에서 우수한 부품으로 주목 받고 있다.^[1-4]

지금까지 송신 레이저의 파장 안정화를 위한 방법으로 reference absorption gas, grating, fiber grating, Fabry-Perot (F-P) 필터를 포함하는 다양한 방법이 사용되어져 왔다.^[5-8] 이 중에서 수십 채널 이상의 DWDM(dense WDM)을 위한 넓은 파장 영역을 수용할 수 있는 경제적이며 효과적인 수단인 F-P 필터를 사용하는 방법이다.^[9-11] 현재까지 개발된 파장안정화 모듈의 파장제어 정밀도는 대략 $\pm 20\sim 50$ pm 정도로 100 GHz 채널 간격의 WDM 시스템까지 수용할 수 있는 단계이다. 또한, 대부분이 외장형 모듈 형태로 구성되어 시스템이 복잡한 단점을 가지고 있으며 내장형에 대한 연구가 진행되어 이제 몇몇 제품이 나오고 있는 실정이다.

LD의 파장을 ITU-T(international telecommunication union-telecommunication) grid에 안정화 시키기 위한 tuning 방법에는 에탈론(etalon) 필터의 각도 tilting, 에탈론 필터의 온도 변화를 통한 cavity length의 변화, 압전 구동(piezoelectric actuation)을 통한 기계적인 cavity length 가변의 세 가지 방법이 있다. 이 중에서 기존에는 주로 두번째 방법인 에탈론을 포함한 파장안정화 모듈을 TEC(thermo-electric cooler) 위에

장착 한 후 모듈의 온도 변화를 통한 파장 가변 기술을 주로 이용하였다.^[12] 이 때 파장 가변 정도는 대략 $0.1 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 로서 100 GHz FSR(free spectral range) 시스템에서는 10°C 안팎에서 파장 안정화 기능을 수행 할 수 있었다. 그러나, 내장형 파장안정화 시스템에서 이와 같은 온도 변화를 통한 파장의 tuning 기능을 수행하게 되면 LD의 동작 조건에 영향을 주게 되어 소자 구동 조건에 상당한 제약을 받게 된다. 이에 본 연구에서는 시스템의 온도를 일정하게 유지하면서 에탈론을 tilting 함으로써 빔의 반사 잡음(reflection noise)을 줄이고 파장안정화를 이룰 수 있는 모듈에 대해 보고한다. 에탈론을 tilting 함으로써 파장을 안정화 하려는 노력은 전에도 있었으며 여러 자료로부터 유추할 수 있는 바와 같이 미세 tilting 각도에 대한 감도는 상당히 높다. 계산에 의하면, 반사 잡음을 줄이기 위해 파장안정화기 모듈을 초기 각도 8° 로 회전시킨 상태에서는 약 0.01도 tilting 으으로써 0.05 nm 정도의 파장 변화 감도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 실제 모듈 제작시 이와 같은 정확도로 파장 안정화기를 정렬하는 것은 상당히 어려우며 수율도 낮고 공정비용도 상당히 높다. 이러한 문제의 해결 방안으로서 PD(photo-diode) array 블록 개념을 새롭게 창안하여 미세 각도 튜닝을 구현하였으며 그 결과를 정리하였다.

II. Fabry-Perot 간섭계(에탈론)

F-P 필터는 정밀한 파장 측정, 가스의 굴절을 측정, 파장 측정기의 보정(calibration) 등을 위한 가장 적절한 도구로서 널리 사용되고 있다. 간섭계의 성능을 결정하는 중요한 변수는 반사계수, 굴절을, 두 반사면 사이의 간격(cavity length), 빔의 입사 각도으로써 두 거울 사이의 간격이 고정된 F-P 간섭계를 일

[†]E-mail: hwp@etri.re.kr

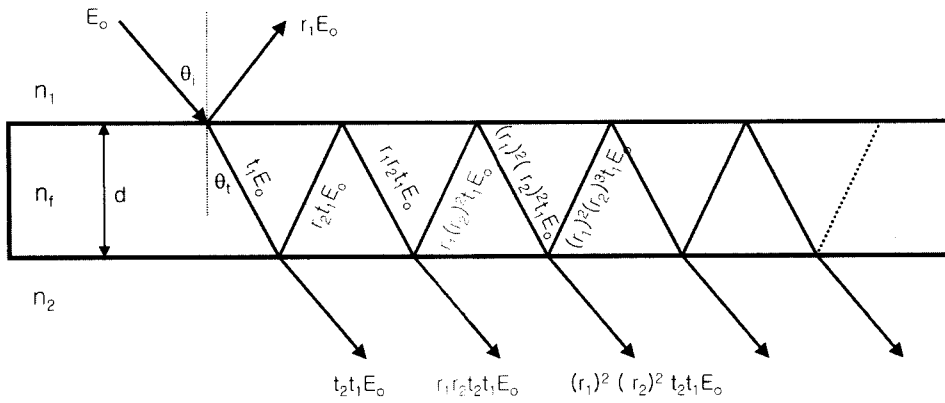


그림 1. 두께 d 인 F-P 에탈론에서 빛의 간섭 현상.

반적으로 에탈론(etalon)이라 부른다. 에탈론은 두 평판 거울 사이를 공기로 채운 air-spaced etalon과 solid plate의 양면에 박막을 코팅한 솔리드 에탈론(solid etalon)이 사용되며, 솔리드 에탈론의 경우 작은 크기로 고정밀 두께 제어와 두 거울면 사이의 우수한 평형성을 얻을 수 있어 많이 사용되고 있다.

F-P 필터는 다중 반사 빔 간의 위상차에 의해 투과광의 간섭 무늬를 얻기 위한 도구로써 공동(cavity) 양단의 반사율(reflectance)이 같은 경우에 그림 1과 같은 형태를 가지고 평판 내부에서 다중 반사와 굴절을 일으킨다.

각 계면에서의 반사, 투과 계수를 각각 $r_1(n_f \rightarrow n_i$ 일 때), $t_1(n_i \rightarrow n_f$ 일 때), $r_2(n_2 \rightarrow n_f$ 일 때), $t_2(n_f \rightarrow n_2$ 일 때)로 나타낼 때, 먼저 F-P의 transmittance를 살펴보면 F-P 공동 내부에서 연속적인 반사 빔들 사이의 위상차를 δ 로 하고, $E_0 e^{i\omega t}$ 로 표현되는 입사 평면광에 대하여 연속적으로 반사 굴절된 후 투과되어 나오는 빔들 중에서 N 번째 빔을 E_N 이라 하면 모든 투과광의 합 E_T 는 다음 식으로 표현된다.

$$\delta = 2n_f d \cos(\theta_t) = \frac{4\pi n_f d \cos(\theta_t)}{C}$$

$$E_N [t_1 t_2 (r_1 r_2)^{(N-1)} E_0] e^{i(\omega t - (N-1)\delta)}$$

$$E_T = \sum_{N=1}^{\infty} E_N = t_1 t_2 E_0 e^{i\omega t} \sum_{N=1}^{\infty} (r_1 r_2)^{(N-1)} e^{-i(N-1)\delta} = \frac{t_1 t_2 E_0 e^{i\omega t}}{1 - r_1 r_2 e^{-i\delta}}$$

C 는 빛의 속도이며 $I_T = |E_T|^2 = E_T E_T^*$, $I_i = |E_i|^2 = E_i E_i^* = E_0^2$ 의 관계식에 의해

$$I_T = \frac{|t_1 t_2|^2}{(1 - r_1 r_2 e^{-i\delta})(1 - r_1 r_2 e^{i\delta})} I_i = \frac{|t_1 t_2|^2}{1 + (r_1 r_2)^2 - 2r_1 r_2 \cos \delta} I_i$$

$$= \frac{|t_1 t_2|^2}{(1 - r_1 r_2)^2 + 4r_1 r_2 \sin^2(\delta/2)} I_i$$

여기서, $\cos \delta = 1 - 2\sin^2(\delta/2)$ 이다.

$$T = \frac{I_T}{I_i} = \frac{T_{max}}{1 + (2F/\pi)^2 \sin^2(\pi v/v_F)} \quad (1)$$

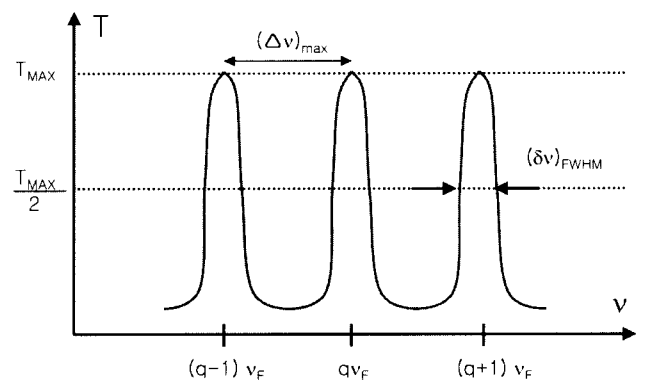


그림 2. Fabry-Perot의 spectral response 특성을 결정하는 resonant frequency spacing과 resonant spectral width의 개념도.

여기서, $T_{max} = \frac{|t_1 t_2|^2}{(1 - r_1 r_2)^2}$, $F = [\pi(r_1 r_2)^{1/2} / (1 - r_1 r_2)]$, $v_F = \frac{C}{2n_f d \cos(\theta_t)}$ 이다.

수식 (1)로 부터 평면광의 입사 조건 하에서 transmittance가 빔의 입사각, 에탈론의 두께, 굴절율, 공동 양단에서의 투과반사 계수의 함수임을 알 수 있다.

위 식에서 $T = T_{max}$ 의 조건은 $v = qv_F$, $q = 1, 2, 3, \dots$ 일 때이므로, resonance frequency spacing은 v_F (FSR)임을 알 수 있다. $T = T_{max}/2$ 의 조건에서 resonance peak의 반치폭(FWHM: full width half maximum), 즉 resonance spectral width를 구할 수 있다. F-P 간섭계의 spectral response 특성을 결정짓는 두 가지 파라미터는 그림 2에서 보듯이 바로 resonance frequency spacing과 resonance spectral width이다. 관계식을 요약하면 다음과 같다.

$$(\Delta v)_{max} = v_F = \frac{C}{2n_f d \cos(\theta_t)} \quad (2)$$

$$(\delta v)_{FWHM} = \frac{2v_F}{\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\pi}{2F}\right) \quad (3)$$

여기서 F 는 finesse라고 불리는 파라미터로써 F-P 에탈론 공동 내부의 반사율에 의해 결정되며, 그 물리적 의미는 거울 손실이 작을수록 resonant spectral width는 작아진다는 것이다. 즉, finesse가 클수록 resonance peak는 예리해지고 wavelength 선택성은 커진다. 또한, 위의 식에서 F-P 필터의 두께와 굴절율이 작을수록 resonance frequency spacing은 커지고 spectral width는 작아짐을 알 수 있다. 또한, 입사 빔의 각이 커짐에 따라서도 같은 현상이 발생한다.

반사계수와 투과계수 또한 입사각에 의존하는 파라미터므로 이에 대한 고려가 있어야 한다. Fresno 식에 의해 n_o 인 매질에서 n_o 인 매질로 수직면에 각 θ_i 를 가지고 입사하는 빔에 대하여 반사, 투과 계수는 각각 다음과 같이 입사각에 의존한다.

TE mode :

$$r_2 = E_r/E_i = \frac{\cos \theta_t - \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_t + \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}}$$

$$t_2 = E_t/E_i = \frac{2 \cos \theta_t}{\cos \theta_t + \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}}$$

TM mode :

$$r_2 = E_r/E_i = \frac{(n_o/n_f)^2 \cos \theta_t - \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}}{(n_o/n_f)^2 \cos \theta_t + \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}}$$

$$t_2 = E_t/E_i = \frac{(2(n_o/n_f)) \cos \theta_t}{(n_o/n_f)^2 \cos \theta_t + \sqrt{(n_o/n_f)^2 - \sin^2 \theta_i}} \quad (4)$$

이상의 수식으로부터 결국 F-P 필터의 transmittance는 굴절율, 두께와 빔의 입사각에 대한 정보만 있으면 파장에 따른 spectral response 특성을 정확하게 예측할 수 있음을 알 수 있다.

특히 에탈론 양면의 반사계수가 같게 설계된 이상적인 에탈론의 경우, $R \equiv r^2 = (r_1)^2 = (r_2)^2$ 이고, $R+T=1$ 의 조건에 의하여 $t_1 t_2 = 1 - r^2$ 이므로 식 (1)에서 finesse와 T_{max} 를 R 로 나

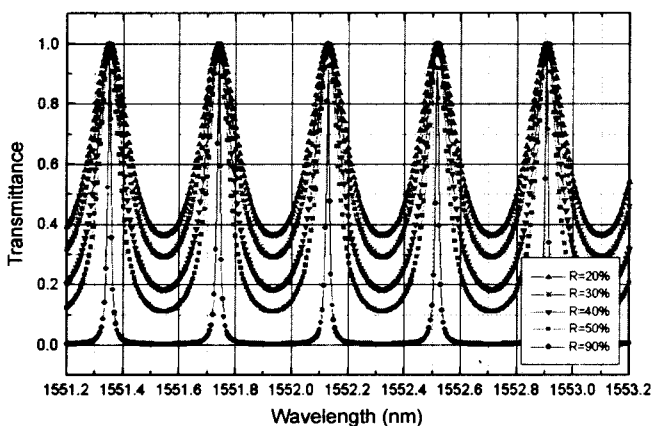


그림 3. 반사율(R) 변화에 따른 F-P 간섭계의 transmission 변화 그래프

타내면, $T_{max}=1$, $F=[\pi\sqrt{R}/(1-R)]$ 로 표현된다. 이로부터 에탈론의 두께, 굴절율과 빔의 입사각이 일정한 경우에 resonance spectral width는 완전히 에탈론 거울면의 반사계수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그림 3에 이상적인 에탈론 코팅 박막의 반사율 변화에 따른 투과광의 파장 의존 특성 그래프를 나타내었다. 반사율이 커짐에 따라 투과광의 폭이 작아지며 더욱 예리해지는 것을 알 수 있다. 파장안정화기에 사용할 에탈론의 반사계수를 정함으로써 파장 안정화 locking range와 locking 안정성이 변하게 된다. 일반적으로 파장 안정화기에 사용되는 반사계수는 40~50%가 많이 사용된다.

III. 에탈론 회전

파장안정화기에서 레이저로부터 방출된 빔은 그림 4에 보인 바와 같이 collimating 렌즈에 의해 평행광으로 바뀌게 되고 beam splitter를 거친 후 에탈론을 통과하게 된다. 이 때 본문에서 사용한 collimating 렌즈의 초점거리와 렌즈, beam splitter의 크기 및 간격 등을 고려하여 계산하면 collimating 렌즈로부터 에탈론 표면까지의 거리는 3.6 mm이다. 에탈론을 빔에 대해 수직으로 놓았을 경우에는 에탈론으로부터 반사된 빔이 레이저 다이오드로 반사되어 반사 손실이 발생한다. 이를 방지하기 위하여 에탈론을 tilting 하게 되며 광학 시뮬레이션에 의하면 4° 이상으로 tilting 하면 반사 손실이 거의 없는 것으로 계산되었다. 그러나, 본 논문에서는 그림 6에 나타난 바와 같은 결과로부터 초기 tilting 각도를 8°로 정하였다.

그림 5는 수직 입사 조건에서 50 GHz FSR을 갖는 에탈론을 tilting 하였을 경우의 FSR 변화 정도를 보여주는 계산 결과이다. 에탈론을 tilting 함으로써 FSR이 변하게 되며 수직 입사 조건에서 50 GHz FSR을 갖는 에탈론을 8°로 tilting 하여 사용하게 되면 FSR이 현저히 바뀌게 되어 중심파장에서 ITU grid에 맞도록 정렬하여도 사용 가능한 채널의 수가 현저히 감소한다. 이를 보정하기 위해서는 8°로 tilting 하였을 때 FSR이 50 GHz가 되도록 에탈론을 제작하여야 하며 이렇게 계산한 결과는 49.51~49.52 GHz이다.

그림 6은 에탈론을 초기각도 8°로 tilting 하였을 경우 FSR이 50 GHz가 되도록 설계한 에탈론에 있어서 초기 tilting 각도로부터 미세하게 각도 튜닝할 수 있는 정도를 보여주는 그래프이다. 그림 6(a)에 보인 바와 같이, 초기각도 8°로 tilting

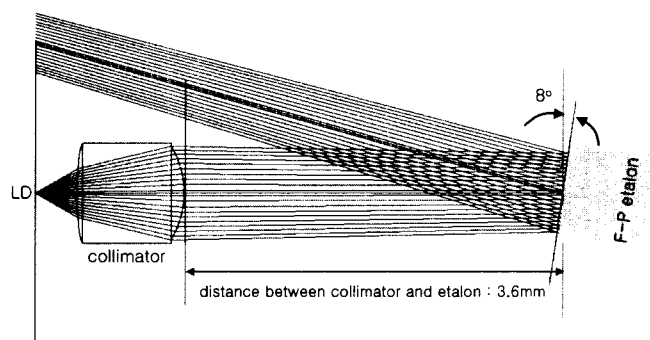


그림 4. 반사 잡음 평가를 위한 빔 경로 광학 시뮬레이션.

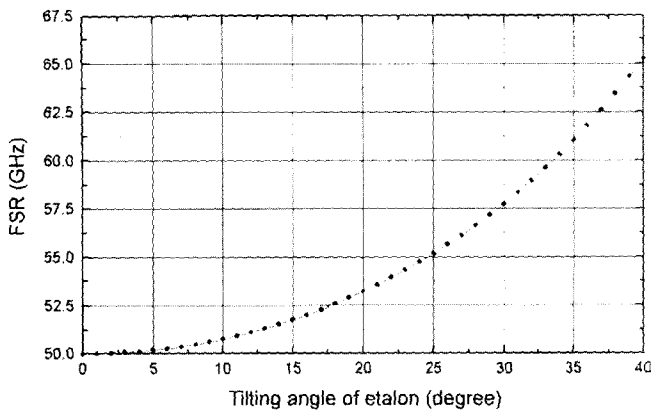


그림 5. 에탈론 회전 각도 변화에 따른 50 GHz 에탈론의 FSR 변화 그래프.

한 에탈론에 있어서 0.1° 단위로 tilting 할 경우 0.1°씩 증가시킬 경우 파장은 장파장 쪽으로 약간 변이하며 반대로 0.1°씩 감소시킬 경우 단파장쪽으로 등간격으로 변이한다. 또한 그림 6(b)에보인 바와 같이, 0.01° 단위로 tilting 할 경우에는 0.1° 단위로 tilting 할 경우와 반대로 0.01°씩 증가시킬 경우

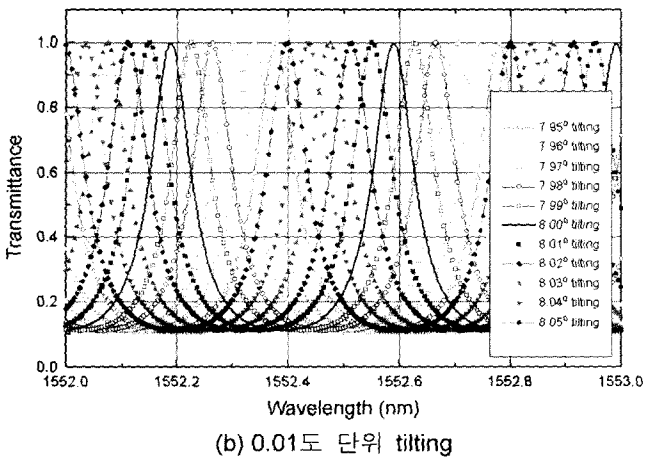
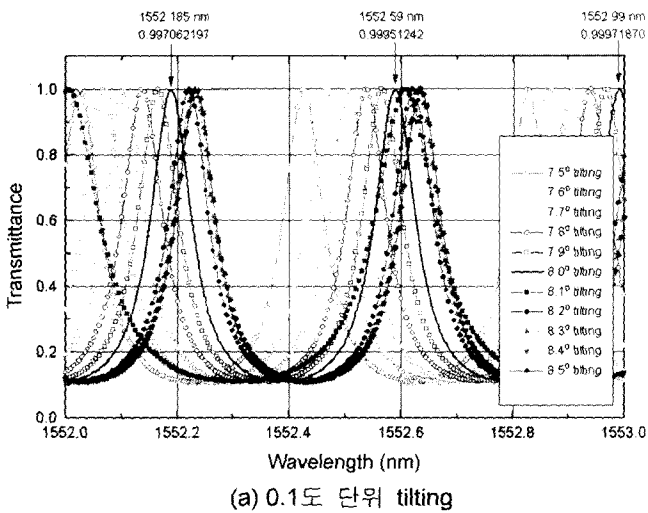


그림 6. 에탈론 회전에 따른 파장 변화 그래프(초기 회전 각도 : 8°).

에는 단파장 쪽으로 변이하며 0.01°씩 감소시킬 경우에는 장파장쪽으로 변이한다. 이와 같은 결과는 초기 tilting 각도를 8°로 하였을 때에만 얻어지는 결과이다. 초기 각도를 8°가 아닌 5°~10°로 하는 것도 가능하나 이때에는 이와 같은 경향성이 사용하고자 하는 FSR 값을 넘어서게 되어 단위 각도 tilting에 대한 파장 변화 규칙이 복잡해지며 규칙이 없어진다. 이런 이유로 본 논문에서는 에탈론의 초기 tilting 각도를 편의상 8°로 정하여 사용하였다.

IV. 미세 파장 안정화를 위한 PD 배열

그림 7은 본 논문에서 사용한 파장안정화기의 개략도를 보여주는 그림이다. 기존의 DFB(distributed feed-back)-LD의 경우에는 TEC(thermo-electric cooler)를 이용하여 소자의 동작 온도를 변화시킴으로써 파장 변화를 이루었으나 SG(sampled grating)-DBR(distributed bragg reflector)을 이용하는 tunable LD와 같은 다채널 파장 광원의 경우에는 온도 변화를 통한 파장 튜닝 방법을 사용하지 않는 것이 일반적이다. DBR-LD를 이용한 tunable LD의 경우에는 아래 그림에 나타낸 바와 같이 TEC와 thermistor가 외부 제어신호 입력 없이 독립적인 블록으로서 동작하며 항상 일정한 온도를 유지하도록 되어 있다. 이렇게 함으로써 LD 소자의 온도별 동작 조건을 체크하고 이를 메모리에 모두 기억하고 있어야 하는 단점을 극복할 수 있으며 외부 온도 변화로 인한 소자 동작 조건의 영향을 최소화 할 수 있다.

LD의 후면부로 나온 빔을 이용하여 파장 안정화를 이루게 되며, 파장 안정화기는 빔을 평행광으로 만들어주는 collimator, 빔을 분기하는 beam splitter, 파장 선택 소자인 etalon, 광신호를 검출하는 monitor PD와 etalon PD로 구성되어진다.

여기서, etalon과 etalon PD는 하나의 서브마운트 위에 정렬하여 블록화 한 뒤, 이를 레이저 빔에 대하여 8°가 되도록 정렬하였다. 하나의 etalon PD를 사용하는 것이 일반적이거나 본 논문에서는 4개의 array 형태로 일렬로 배열된 etalon PD를 사용하였을 경우에 대하여 연구하였다.

그림 8에 나타낸 바와 같이, 본 연구에서는 collimating 렌

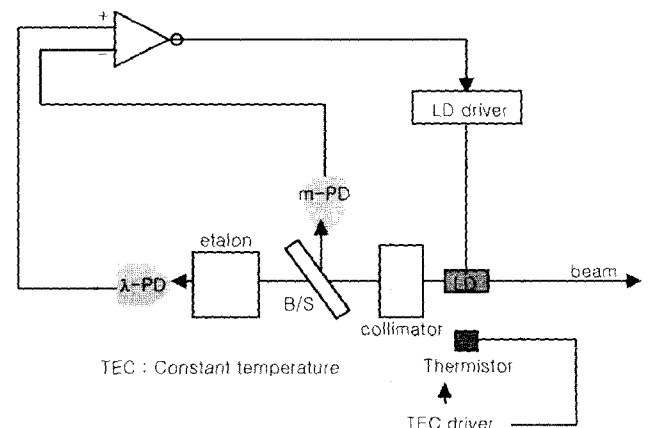


그림 7. 파장 안정화 장치의 개략도.

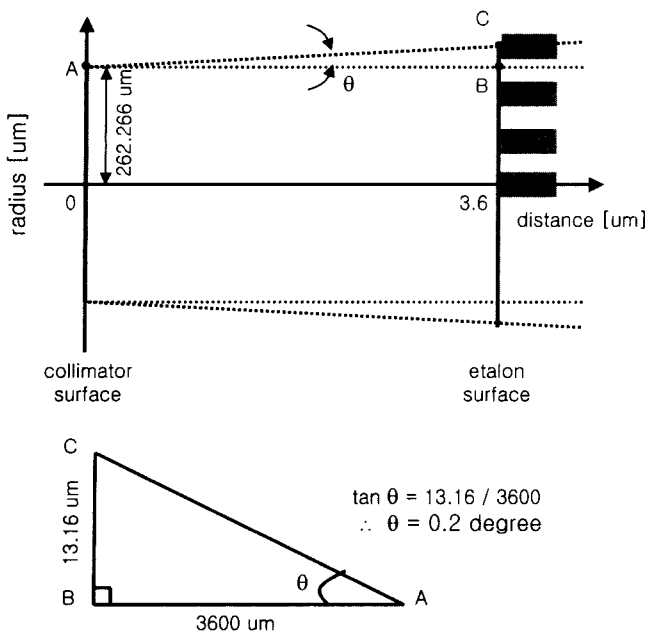


그림 8. 평행화 된 빔 경로 및 에탈론으로의 입사각 계산.

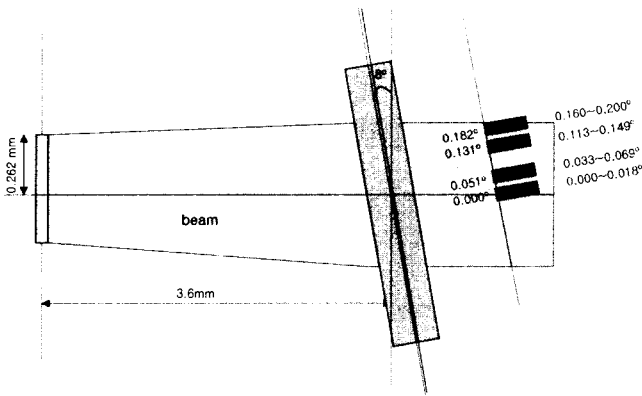


그림 9. 미세 파장 안정화를 위한 PD 배열 블록 개념도.

즈와 etalon 사이의 거리가 3.6 mm이었으며 초점거리에 정확하게 렌즈를 위치하였을 경우 렌즈 표면에서의 빔 반경은 262 μm이었으며 etalon 표면에서의 빔 반경은 275 μm였다. 즉, 렌즈를 지난 빔은 약 0.2° 정도의 각도를 가지며 퍼지는 것을 알 수 있었다. 이는 각자의 목적에 따라 파장 안정화기에 사용하는 collimating 렌즈를 바꿈으로써 약간씩 바뀔 수 있으며 또한 초점거리에 어떻게 정렬하느냐에 따라서도 약간씩 바뀔 수 있다.

그림 9는 그림 8에서 설명한 현상을 파장안정화기에 적용한 예를 보여주는 그림이다. Etalon 뒤에 일렬로 위치한 4개의 파장 모니터링 etalon PD 소자를 마운트하였다. 각 PD는 50 × 200 μm²이며 간격은 20, 60, 20 μm이다. 이렇게 배열함으로써 각 PD는 빔 진행방향에 대하여 각각 0°, 0.051°, 0.131°, 0.182°의 입사각을 가진다. 이는 앞의 그림 6에서 설명한 효과에 의하여 각각 0 nm, 0.2 nm, 0.1 nm, 0.3 nm 정도의 파장 변이 효과를 나타낸다. 4개의 PD를 배열함으로써 0.4 nm

파장 간격의 50 GHz FSR을 갖도록 전 대역에서 파장 안정화를 이룰 수 있다. 즉, 0.01° 단위로 에탈론을 tilting 해야 하는 어려움을 multi-PD를 이용함으로써 극복 가능한 것이다. 실제 응용에 있어서는 multi-PD 블록을 배열한 후 레이저 다이오드 모듈의 전방으로 나오는 빔을 wavelength meter로 모니터링 하면서 레이저 다이오드 후방의 파장안정화기의 파장 모니터링 PD 배열의 각도를 동작시키면서 원하는 파장에서 안정화 특성을 갖는 PD만을 사용하면 된다. 이는 각각의 모니터링 PD 4개를 이용하여 하는 작업이 아니라 4개 배열 형태로 제작되어진 소자를 이용함으로써 추가적인 비용 상승이나 장치 없이 이용 가능한 장점이 있다.

V. 결 론

시스템의 온도를 일정하게 유지하면서 에탈론을 tilting 함으로써 빔의 반사 잡음을 줄이고 파장안정화를 이룰 수 있는 모듈을 설계하였다. 반사 잡음을 줄이기 위해 파장안정화 모듈을 초기 각도 8°로 회전시킨 상태에서 약 0.01도 tilting으로써 0.05 nm 정도의 파장 변화 감도를 얻을 수 있음을 확인하였다. 그러나, 실제 모듈 제작시 이와 같은 정확도로 파장 안정화기를 정렬하는 것은 상당히 어려우며 수율도 낮고 공정비용도 상당히 높다. 이러한 문제의 해결 방안으로서 4개 파장 모니터링 PD array 블록 개념을 새롭게 창안하여 각각의 PD가 FSR/4 만큼씩 파장 변이 하도록 설계하여 미세 각도 튜닝을 구현하였다. Multi-PD를 이용함으로써 전 대역에서 파장 안정화가 가능하며 파장 안정화 모듈 정렬의 어려움을 극복할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. M. Adams *et al.*, "Module-packaged tunable laser and wavelength locker delivering 40 mW of fibre-coupled power on 34 channels," *Electron Letters*, vol. 37, pp. 691-693, 2001.
- [2] A. Frenkel and C. Lin, "Angle-tuned etalon filters for optical channel selection in high density wavelength division multiplexed systems," *J. of Lightwave Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 615-624, 1989.
- [3] K. Tatsuno *et al.*, "50 GHz spacing, multi-wavelength tunable locker integrated in a transmitter module with a monolithic-modulator and a DFB-laser," in *Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001.*, vol. 2, pp. TuB5-T1-4, 2001.
- [4] K. J. Park, S. K. Shin, H. C. Ji, H. G. Woo, and Y. C. Chung, "A multi-wavelength locker for WDM system," in *Optical Fiber Communication Conference 2000*, vol. 2, pp. 73-75, 2000.
- [5] M. S. Whalen *et al.*, "Wavelength-tunable single-mode fiber grating reflector," *Electron Lett.*, vol. 22, pp. 1307-1308, 1986.
- [6] J.-S. Moon and A. M. Shkel, "Performance limits of a micromachined tunable-cavity filter," in *Modeling and Simulation of Microsystems 2001*, pp. 278-281, 2001.

- [7] F. Heismann, L.L. Buhl, and R. C. Alferness, "Electrooptically tunable, narrow-band Ti-LiNbO₃ wavelength filter," *Electron Lett.*, vol. 23, pp. 572-574, 1987.
- [8] P.-L. Chen *et al.*, "Analysis of a liquid crystal fabry-perot etalon filter: A Novel Model," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 9, no. 4, pp. 467-469, 1997.
- [9] L. Y. Lin *et al.*, "Tunable three-dimensional solid fabry-perot etalons fabricated by surface-micromachining," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 101-103, 1996.
- [10] J. H. Jang *et al.*, "A cold-start WDM system using a syn-chronized etalon filter," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 9, no. 3, pp. 383-385, 1997.
- [11] Y. C. Chung *et al.*, "Standardization of optical frequencies for WDM networking applications," in *Proc. of SPIE*, vol. 2378, pp. 230-235, 1995.
- [12] Y. C. Chung and L. W. Stulz, "Synchronized etalon filters for standardizing WDM transmitter laser wavelengths," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 186-189, 1993.

Fine tuning of wavelength for the internal wavelength locker module at 50 GHz composed of the photo-diode array block with the multi-channel tunable laser diodes in DWDM application

Heung-Woo Park[†], Ho-Kyung Yun, Byung-Seok Choi, Jong-Hyun Lee,
Kwang-Sung Choi, Yong-Sung Eom, and Jong-Tae Moon

*Integrated Optical Module Team, Optical Communication Devices Dept., Telecommunication
Basic Research Lab., ETRI, Daejeon 305-350, KOREA*

[†]E-mail: hwp@etri.re.kr

(Received July 18, 2002; Revised manuscript received September 30, 2002)

A new idea of the wavelength locking module for DWDM applications was investigated in the present research. Only one etalon photo-diode is generally used in the internal/external wavelength locking system. For the internal wavelength locking module with 50 GHz applications, an angle tuning method of the etalon is commonly applied. However, the alignment process of the etalon with the angle tuning method is limited because the lock performance is extremely sensitive according to the change of the tilting angle. In an optical viewpoint, the alignment tolerance of the locker module with the etalon PD array block was good, and the precise tuning of the wavelength was possible. The characteristics of free spectral range (FSR) and peak shift of wavelength according to the tilting angle with the locker module was investigated. For the present module, the optimized initial tilting angle was experimentally obtained.

Classification codes : DI.020, FO.060, OE.050.