

論文2002-39SD-5-7

# 포화흡수체를 이용한 극미세선폭 FBG 공동 DFB 레이저

## (Ultra-narrow Linewidth FBG Cavity DFB Laser with Saturable Absorber)

金峻源\*, 陳庸玉\*\*, 崔圭南\*\*\*

(Joon Won Kim, Yong Ohk Chin, and Kyoo Nam Choi)

## 요약

DFB 레이저를 이용하여 긴 FBG 공동에서 극미세선폭 레이저광을 발생시키는 새로운 방법을 제시하였다. 63km의 광섬유 지연선로를 사용한 자기헤테로다인 측정장치를 사용하여 레이저 선폭을 측정된 결과 3dB 선폭으로 20kHz를 얻었다. 이 레이저에 포화흡수체로  $\text{Er}^{+3}$ 이 도핑된 광섬유를 사용하여 다시 선폭을 압축한 결과 자기헤테로다인 측정장치의 해상도 한계인 3kHz 이하의 선폭을 얻었다. 이는  $2 \times 10^{-8}$  nm의 선폭에 해당한다.

## Abstract

A novel ultra-narrow linewidth single longitudinal mode DFB semiconductor laser in the extended FBG cavity is proposed. The 3dB linewidth of 20kHz was demonstrated by using self-heterodyne measurement set-up with a fiber delay line of 63km. And this linewidth was further compressed to less than 3kHz, which is resolution limited performance, by inserting  $\text{Er}^{+3}$  doped fiber saturable absorber. This is equivalent to 3dB linewidth of  $2 \times 10^{-8}$  nm.

**Key Words** : Linewidth, DFB, Saturable Absorber, FBG

## I. 서론

단일 주파수를 갖는 극미세선폭 레이저광은 코히런트 광센서와 차세대 고밀도 파장분할 다중화 광통신

\* 正會員, 慶熙大學校 大學院 電子工學科  
(Kyunghee University Graduate School Electronic Engineering)

\*\* 正會員, 慶熙大學校 情報通信大學院  
(Kyunghee University Graduate School of Information and Communications)

\*\*\* 正會員, 텍사스 에이앤엠 大學校 CEMDAS 研究所  
(Center for Electronic Materials, Devices and Systems, Texas A&M University)

接受日字:2002年1月24日, 수정완료일:2002年4月2日

(DWDM) 등의 응용 가능성으로 인하여 각광을 받고 있다. 일반적인 침입자 감시용으로 사용되는 OTDR 방식 분포형침입자광섬유센서(Distributed Intrusion Optical Fiber Sensor)<sup>[1,2]</sup>는 감도가 낮아 장거리에 걸쳐 광섬유를 포설하여 신호를 얻기 위해서는 큰 광출력을 필요로 하였다. 이에대한 보완으로 동일한 길이의 감지용 광섬유와 참조용 광섬유를 이용하여 감지하는 방식<sup>[3]</sup>은 센서를 포설시 정확하게 동일한 길이의 참조용 광섬유를 갖추어야하고 참조용 광섬유에 대한 외부충격의 영향으로 오동작의 가능성이 있었다. 이러한 분포형침입자광섬유센서에 코히런트한 레이저광을 이용<sup>[4]</sup>한다면 진폭변화에 의존하는 기존의 OTDR 방식에 비해 보다 더 적은 광출력으로 더 민감한 반응신호를 얻을 수 있을 것이다. 10 km의 광섬유센서에 사용하기 위해서는 0.1 msec의 기간에 신호를 평균할 회수를 곱하여 최

소 1 msec 이상의 시간동안 레이저광의 위상기억 (phase memory) 효과를 갖는 코히런트한 레이저광을 필요로하며 이러한 코히런트길이(coherence length)가 길수록 보다 더 좋은 감도를 얻을 수 있을 것이다. 극미세선폭 레이저광의 또 다른 응용분야는 파장분할 다중화 광통신 분야이며 광원의 선폭이 좁을수록 사용할 수 있는 광통신 채널수를 증가시킬 수 있기 때문에 더 좁은 선폭의 광원을 개발하기 위한 노력이 진행 중이다. 현재 사용되는 발생된 광출력 스펙트럼에서 필요 파장대역만을 필터링하는 수동적인 방법보다는, 차세대 광원으로서 발생하는 광파장대역을 압축시켜 축소시키는 능동적인 방법을 사용한다면 파장대역 필터의 대역폭 특성의 한계보다 훨씬 더 좁은 선폭을 얻을 수 있으며 광출력이 대폭 약화 되는 것을 피할 수 있게 될 것이다. 그러나 이러한 미세선폭을 갖는 레이저를 차세대 DWDM 용 광원으로 사용하기 위해서는 선폭뿐만 아니라 광원의 중심파장안정도와 주변 극소 협파장대역 수동소자의 개발도 뒤따라야 가능하게 될 것이다.

반도체 레이저를 인젝션락킹(Injection-locking)시키는 것이 선폭 축소에 효율적 이라고 알려져 있다.<sup>[5]</sup> DFB 레이저의 선폭은 일반적으로 >10 MHz (10<sup>-4</sup> nm 이상)이므로 이를 광섬유레이저와 상호 인젝션락킹 시켜 1.5 MHz 선폭을 얻는 방법<sup>[6]</sup>이 발표된 바 있다. 또한 두개의 레이저 대신에 하나의 광섬유레이저를 사용하는 자기인젝션락킹(self-injection locking) 방법<sup>[7]</sup>도 제시된 바 있다. 본 논문에서는 하나의 DFB 레이저를 자기인젝션락킹 시켜 kHz 단위의 선폭을 얻는 방법에 대하여 연구하였다. 본 논문의 2장에서는 DFB 반도체를 사용한 극미세선폭 레이저에 대하여 설명하고, 3장에서는 제작된 극미세선폭 레이저를 사용하여 측정된 결과에 대하여 설명하였고, 4장에서 실제 측정된 결과를 논하는 결론으로 끝맺음하였다.

II. DFB 반도체를 이용한 극미세선폭 레이저

Injection-locking 방법은 광통신 분야에서 단일모드를 얻을 수 있고, 진폭강도 변조나 위상변조시 chirping을 줄일 수 있기 때문에 많은 관심을 모으고 있다. 이러한 이유로 광중계기에서 포화흡수체와 같이 사용하여 광펄스를 교정하는 방법도 제시<sup>[8]</sup>된 바 있다. 일반적인 DFB 반도체 레이저는 보통상태에서는 10 MHz 이상의

선폭을 가지고 있기 때문에 이 선폭을 압축하기 위해서는 반도체 레이저내의 증폭매질을 압축 메커니즘에 참여시켜야 한다. 그림 1과 같은 Fabry-Perot 공동 레이저에서 파장폭은 다음 식 (1)과 같이<sup>[9]</sup> 나타내어진다.

$$\Delta\lambda_{FWHM} = \frac{c^2}{2\pi\lambda^2 L} \left| \ln(\sqrt{R_1 R_2}) \right| \tag{1}$$

여기서 R<sub>1</sub> 과 R<sub>2</sub> 는 공동 거울의 반사도를 나타내며 C 는 공동내에서의 광속을 나타낸다. 이 식에서 공동의 거리 L이 클수록 방출되는 레이저광의 파장폭을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

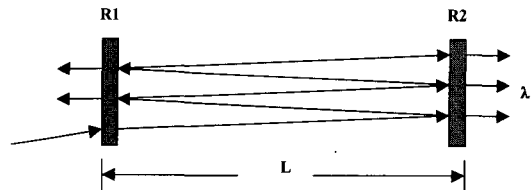


그림 1. Fabry-Perot 간섭계로서의 레이저 공진기  
Fig. 1. Laser resonator as a Fabry-Perot interferometer

위와 같은 레이저에서 방출되는 광의 파장폭은 그림 2와 같이 광경로상에 Δλ<sub>filter</sub>의 좁은 파장대역 특성을 갖는 필터를 삽입하여 손실 V(λ)을 야기함으로써 방출되는 광의 파장폭을 더욱 줄일 수 있다. 이때 필터가 증폭매질의 외부에 있지않고 내부에 있을 경우 광증폭 과정에서의 비직선성으로 인하여 필터 효과가 더욱 효과적으로 되어진다. DFB 반도체 레이저의 경우에는 이 필터가 증폭매질 내에 위치함으로써 효율적으로 파장폭이 줄어들게 된다. 그러나 그림 1과 같은 두개의 거울로 이루어진 공진기에서는 공동내에서 정재파광 (Standing Light) 이 SHB (Spatial Hole Burning) 을 야기하면 인접 모드가 중앙 모드보다 커져 모드 건너

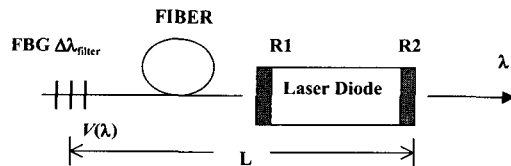


그림 2. 격자를 사용하여 파장폭을 줄인 레이저 공진기  
Fig. 2. Laser resonator with decreased bandwidth using a grating.

뎀 (mode hopping) 현상이 일어나 레이저 동작이 불안정 하게 되므로 이에 대한 방지책을 마련하여야 한다.

따라서 그림 3에 도시된 것과 같은 제안된 미세선폭 레이저의 구조는, 레이저 공동의 길이를 늘려 파장폭을 줄이기 위해서 광섬유 지연선로를 공동내에 설치하고, 공동의 한쪽거울 대신  $\Delta\lambda_{filter}$ 의 좁은 파장대역 특성을 갖는 광섬유격자 (FBG: Fiber Bragg Grating) 필터를 삽입하여 손실  $V(\lambda)$ 을 야기함으로써 방출되는 광의 파장폭을 더욱 줄이고, 공동의 다른 한쪽거울에는 DFB 레이저 다이오드를 사용하여 증폭매질의 역할과 내부의 격자 (Grating)로 인하여 또다른 손실을 야기함으로써 파장폭 축소에 추가로 기여하도록 하였다. 그러나 두개의 격자(Grating)로 이루어진 공동내에서 정재파장이 형성되어 SHB(Spatial Hole Burning)를 야기하면 단일모드 동작이 이루어지지 않으므로 제한되는 광의 양을 조정하기 위하여 광회전기(Optical Circulator)와 가변광감쇄기를 사용하여 SHB 가 일어나지 않는 범위 내에서 제한되는 광의 양을 최대로 조정하도록 하였다. 이때 제한되는 광의 양을 모니터 하기위하여 두개의 10%/90% 탭커플러(Tap Coupler)를 사용하는 구조로 하였다. 그림 3의 광제한 구조에서는 가변광감쇄기가 0dB 감쇠일때 DFB 레이저로부터 방출되는 광의 최대 2.25% 만이 제한되게 되어있다. 제한되는 광의 양을 추가로 줄이기 위해서는 광가변감쇄기의 감쇄량을 증가시키면 된다. 제한되는 광의 양을 모니터하는 그림 3의 Feedback Monitor 에 표시되는 광제한량은 가변광감쇄기가 0dB 감쇠일때 DFB 레이저로부터 방출되는 광의 최대 2.5% 만이 제한되므로 표시되는 양의 90%가 실제 광제한량이 된다. 여기서 광섬유격자의 사용하지 않는 반대편에서 허용 파장대역 이외의 광이 반사되어 단일모드 동작을 방해 하는것을 방지하기 위하여 굴절률정합액에 함침시킨다. 레이저 공동내에서 효율적인 공진이 일어나기 위해서는 레이저 공동기의 양쪽 거울이 정합되어야 하는데 이를 위해서는 사용되는 외부 광섬유격자의 중심반사파장이 DFB 레이저의 발진 중심파장과 일치하는것이 필요하다. 따라서 외부광섬유격자의 중심 반사파장을 DFB 레이저의 통상 동작온도에서의 발진파장과 일치시키고, DFB 레이저는 동작온도가 변화되어 발진파장이 변경되지 않도록 설정된 동작온도에서 작동될 수 있도록 온도조절기를 사용하여 온도를 일정하게 유지시켜준다. 외부 광섬유격자도 온

도가 변화되면 중심 반사파장이 변화되므로 외부온도 변화에 대한 영향을 차단할 수 있는 보온용기내에 설치한다.

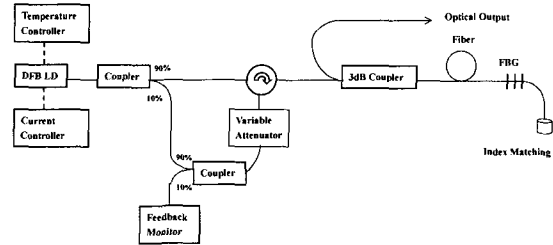


그림 3. 극미세선폭 FBG 공동 DFB 레이저  
Fig. 3. Ultra-narrow linewidth FBG cavity DFB laser.

본 실험에서 사용된 DFB 레이저는 광아이소레이터 (isolator)가 내장 되지않은 AT&T 사의 Model 225 를 사용하였고, FBG 는 측정된 DFB 레이저의 발진 중심 파장과 일치하는 3M 사의 대기온도 섭씨 23.5도에서 중심파장이 1531.32 nm 이고 3 dB 파장폭이 0.99 nm 이며 반사광/투과광의 비가 50 dB 인것을 사용하였다. FBG 의 중심 반사파장의 변화는 잘 알려진 다음 식 (2)와<sup>[10]</sup> 같이 표시된다.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial T} = \left( \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} + \alpha_{fiber} \right) + \lambda(1 - P_c) \frac{\partial \epsilon_{applied}}{\partial T} \quad (2)$$

식 2에서 첫번째 괄호내의 첫번째 항이 온도변화가 굴절률을 변화시키는 부분이고 변화중 95 % 의 요인으로 작용하므로 FBG 는 온도를 일정하게 유지시켜 주는것이 필요하다. 3M 사의 FBG 는 외부온도가 섭씨 1도 증가시 중심파장이 0.01 nm 길어지므로<sup>[10]</sup> 외부온도가 45도 변화시 중심파장이 0.45 nm 이동하게 되고

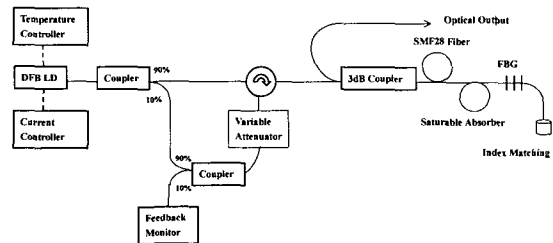


그림 4. 포화흡수체를 이용한 극미세선폭 FBG 공동 DFB 레이저  
Fig. 4. Ultra-narrow linewidth FBG cavity DFB laser with saturable absorber.

변화가 10% 이내에 들기 위해서는 섭씨 4.5도 이내로 온도변화가 이루어 지도록 유지시켜 주면 된다.

레이저 공진기 내에서는 광섬유격자 외에도 손실매체로 작용할 수 있는 광도파로를 삽입하면 파장폭을 추가로 더 압축할 수 있을 것이다. 이러한 목적으로 포화흡수체 이면서 광도파로 역할을 할 수 있는  $\text{Er}^{3+}$  이온이 도핑된 광섬유를 삽입하는 구조를 그림 4와 같이 구상하였다.

포화흡수체는 길이가 길어지면 손실이 증가하므로 파장폭을 압축시키는데는 효과적이지만 전체적인 광출력을 감소시키므로 필요로하는 광출력과 파장폭 간에 최적화된 길이를 가져야한다. 본 실험에서는 1530 nm 에서 -7.5 dB/m 의 손실을 갖는 3M 사의 Erbium doped 광섬유를 사용하였다.

이렇게 발생한 극미세선폭 레이저의 파장폭을 측정하기 위해서는 일반적인 광스펙트럼분석기로는 해상도가 약 0.1 nm 에 불과하여 kHz 대의 극소 미세선폭을 측정할 수 없으므로 고해상도를 갖는 그림 5와 같은 자기헤테로다인(self-heterodyne) 측정장치<sup>[11]</sup>를 사용하여 측정하였다. 이 측정방식은 입력광의 위상이나 주파수의 변동폭을 Mach-Zehnder 형식의 광간섭계에서 진폭변화로 변화시켜 스펙트럼 분석기로 해독할 수 있게 한 방식이다. 즉 광간섭계내에서 입력광신호는 자신과 동일하나 광지연선로에서 지연된 광신호와 고속 수광소자에서 만나게 된다. 이때 수광소자에서 입력광의 선폭은 광전변화된 수신전류의 전력스펙트럼으로 바뀌어 나타나게 된다. 이때 수신된 신호중에 포함된 직류성분을 제거하고 일반 스펙트럼분석기를 사용할 수 있게 하기 위하여 EO 변조기에 고주파 변조신호  $\omega_m$  (본 연구에서는 100 kHz)를 인가하여 광전변화된 수신전류의 전력스펙트럼을 고주파 변조신호  $\omega_m$  만큼 이동시켜 스펙트럼분석기에 나타나게한다. 이때 광섬유지연선로의 길이는 측정하고자 하는 입력광의 코히런스시간(coherence time) 보다 길게하여 충분한 해상도를 갖게 한다. 이 측정방식의 한계는 해상도를 좋게하기 위하여 지연선로의 길이를 증가시키면 지연선로의 길이가 너무 길어지고 여기에서 발생되는 광전송손실이 커져 비현실적이 된다. 광지연선로의 길이가 코히런스시간보다 같거나 짧을 경우 간섭전계의 위상변화가 부분적으로 교차(correlated)되기 때문에 해석이 어려워지게된다.

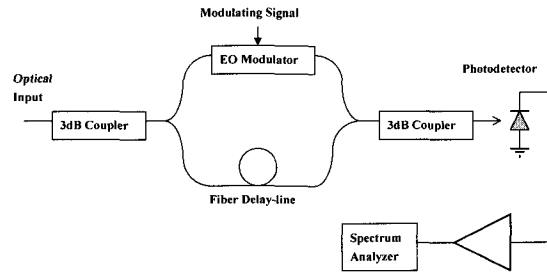


그림 5. 파장폭 측정에 사용된 자기헤테로다인 측정장치 구성도

Fig. 5. Self-heterodyne measurement set-up for linewidth measurement

### III. FBG 공동 DFB 레이저 선폭 측정

두개의 FBG 로 구성된 레이저 공동내에서 레이저 선폭을 압축시키기 위하여 삽입된 손실매체가 광출력

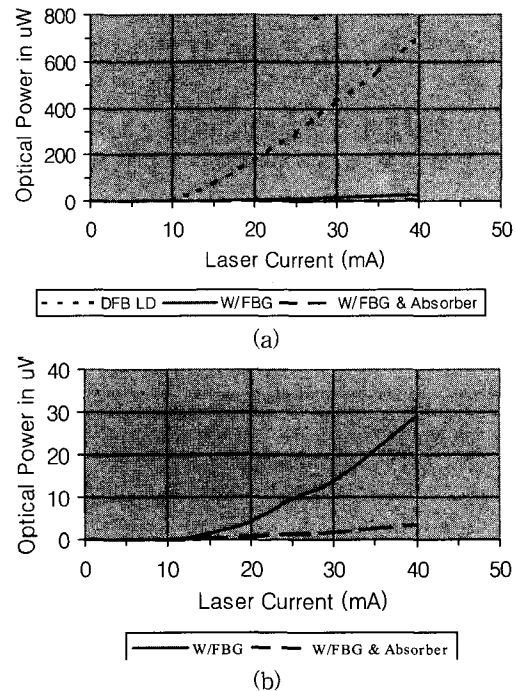


그림 6. FBG 공동 및 포화흡수체 이용 DFB 레이저의 전류 대 광출력 특성; (a) DFB 레이저, FBG 공동 삽입시, 포화흡수체 추가 삽입시, (b) FBG 공동 삽입시, 포화흡수체 추가 삽입 경우를 확대

Fig. 6. Current vs optical power characteristics of DFB laser diode. (a) Plot of DFB LD, with FBG cavity, with FBG and saturable absorber, (b) Expanded plot with FBG cavity, with FBG and saturable absorber.

에 미치는 영향을 조사하기 위하여 레이저 구동전류와 광출력의 관계를 측정하였다. 그림 6에서 한개의 FBG를 레이저 공동에 삽입시 출력은 그렇지 않았을 경우와 비교하여 4 %로 감소하였다. 여기에 다시 포화흡수체를 손실매체로 삽입시 FBG 공동만의 경우와 비교하여 13 %로 다시 감소하였다. 이는 원래 DFB LD만을 사용하는 경우와 비교하여 0.5 %로 감소된 것이다. 이 손실분이 DFB 레이저의 선폭을 축소시키는 이용되므로 그 영향을 알아보기 위하여 그림 3에 도시된 FBG 공동만을 갖는 경우에 대하여 측정하였다.

그림 3의 가변 광감쇄기의 감쇄량을 아주 크게하여 케환량이 없게 하면 이는 DFB 레이저가 단독으로 있는 경우와 마찬가지로 되어 레이저의 선폭이 수십 MHz가 될 것이다. 가변 광감쇄기의 감쇄량을 적게하면 케환량이 커져서 SHB(Spatial Hole Burning) 현상이 일어나 레이저에 모드건너뛰기(mode hopping) 현상이 일어나 단일모드에서 다중모드로 레이저로 바뀌며 레이저의 작동이 불안정하게 될 것이다. 따라서 본 실험에서는 가변 광감쇄기를 조정하여 레이저의 광케환량을 조절함으로써 모드건너뛰기 현상이 일어나지 않으면서 레이저 선폭이 최소가 되는점을 찾았다.

DFB 레이저의 구동전류를 40 mA에 고정하였다. 이때 DFB 레이저의 출력은 710  $\mu W$ 이었다. 가변 광감쇄기의 감쇄량을 조절하여 케환량을 모니터링하는 광출

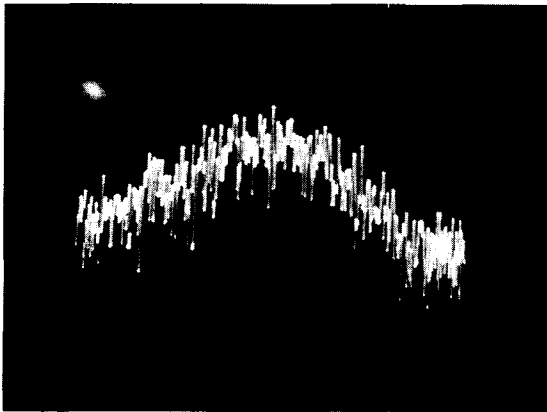


그림 7. 케환량이 0.02%일때의 FBG 공동만을 갖는 레이저의 자기헤테로다인 측정장치로 부터의 스펙트럼, 수평축=10kHz/div, 수직축=10dB/div.

Fig. 7. Plot from self-heterodyne setup when measured FBG cavity DFB laser having 0.02% optical feedback, Horizontal=10kHz/div, Vertical=10dB/div.

력계가 0.15  $\mu W$ 를 가리킬때 그림 7과 같이 3dB 기준으로 최소선폭인 20 kHz 선폭을 얻을 수 있었다. 이는 케환량이 당초출력의 0.02 % 일때이다. 이 주파수로 표시되는 FSR 선폭을 식 (3)에 대입하여 파장쪽으로 환산<sup>[12,13]</sup>하면  $1.5 \times 10^{-7}$  nm의 3 dB 파장폭에 해당한다.

$$FSR = \frac{1}{\tau_c} = \frac{c_{mat}}{l_c} = \frac{c_{mat}}{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \ln 2 \frac{\lambda_c}{|\Delta\lambda_{FWHM}|}} \quad (3)$$

식 (3)에서  $\tau_c$ 는 코히런스시간,  $l_c$ 는 코히런스거리,  $c_{mat}$ 는 매질에서의 광속,  $c_{mat}$ 는 레이저의 중심발진파장,  $\Delta\lambda_{FWHM}$ 은 3 dB 파장폭을 각각 나타낸다. 그림 7의 스펙트럼분석기에서 수평축은 한눈금이 10 kHz이고 수직축은 한눈금이 10 dB이다.

가변 광감쇄기의 감쇄량을 증가시켜 케환량을 모니터링하는 광출력계가 0.017  $\mu W$ , 케환량이 당초출력의 0.002%, 를 가리키도록 케환량을 감소시키면 그림 8과 같이 선폭이 증가하였다. 따라서 케환량을 감소시키면 선폭이 증가하는것을 알 수 있었다.

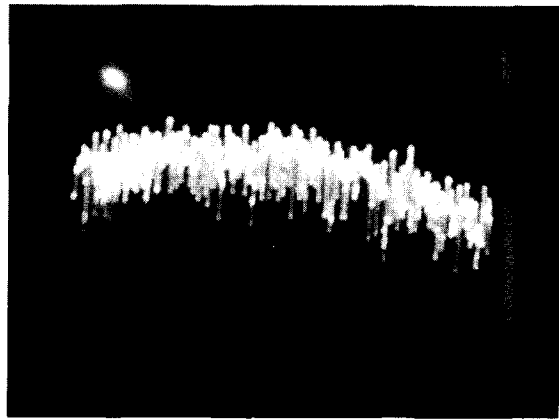


그림 8. 케환량이 0.002%일때의 FBG 공동만을 갖는 레이저의 자기헤테로다인 측정장치로 부터의 출력, 수평축=10kHz/div, 수직축=10dB/div.

Fig. 8. Plot from self-heterodyne setup when measured FBG cavity DFB laser having 0.002% optical feedback, Horizontal=10kHz/div, Vertical=10dB/div.

FBG 공동내의 손실을 더 증가시킬때 레이저 선폭에 대한 압축효과를 알아보기 위하여 그림 3에 나타난 FBG 공동 레이저 구조에 포화흡수체를 공동내에 포함시킨, 그림 4과 같은 포화흡수체를 이용한 FBG 공동

DFB 레이저에 대하여 선폭을 측정하였다. DFB 레이저의 구동전류를 40 mA 에 고정하고 가변 광감쇄기의 감쇄량을 조절하여 케환량을 모니터하는 광출력계가 0.15  $\mu W$  를 가리킬때 그림 9와 같이 3 dB 기준으로 최소선폭인 3 kHz 선폭을 얻을 수 있었다. 이는 케환량이 당초출력의 0.02 % 일때이다. 이 주파수로 표시되는 선폭 FSR을 식 (3)에 대입하여 파장폭으로 환산하면  $2 \times 10^{-8}$  nm 의 3 dB 파장폭에 해당한다. 이는 포화 흡수체를 사용하면 FBG 공동만 있는 경우보다 선폭이 추가로 1/8 로 감소함을 알 수 있었다.

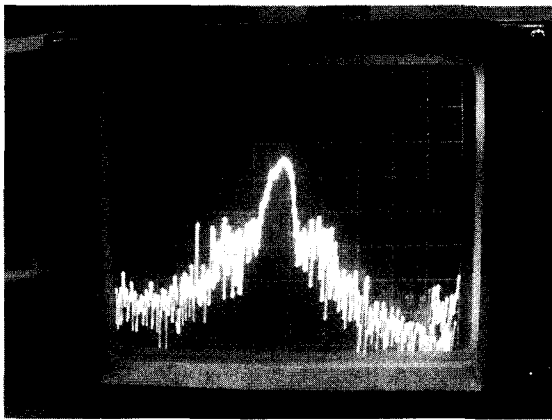


그림 9. 케환량이 0.02%일때의 FBG 공동안에 포화흡수체를 갖는 레이저의 자기헤테로다인 측정장치로 부터의 출력, 수평축=5kHz/div, 수직축=10dB/div.

Fig. 9. Plot from self-heterodyne setup when measured FBG cavity DFB laser with saturable absorber having 0.02% optical feedback, Horizontal=5kHz/div, Vertical=10dB/div.

여기서 자기헤테로다인 측정장치의 해상도는 광섬유 지연선로의 길이에 비례하는데 측정에 사용된 지연선로의 길이는 63 km 이므로 이는 315  $\mu sec$  의 지연시간에 해당한다. 이를 주파수로 환산하면 3.17 kHz 가 된다. 따라서 이 측정장치의 해상도 한계인 3.17 kHz 보다 좁은 선폭은 레이저광의 위상관계가 교차관계 (correlated)를 갖으므로 측정결과의 해석이 어려워진다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 DFB 레이저를 사용한 FBG 공동에서 kHz 단위의 극미세선폭 레이저광을 발생시키는 새로운

방법을 제시하였다. 일반 DFB 레이저의 선폭은 일반적으로  $>10$  MHz ( $10^{-4}$  nm 이상)이므로 이를 외부 FBG 를 이용하여 공동의 길이를 길게하고 외부에 연결된 FBG로 공동내에 손실을 유도하므로써 선폭을 압축하는 방법을 사용하였다. 이렇게 만들어진 FBG 공동 DFB 레이저에서 발생하는 레이저광을 63 km 길이의 광섬유 지연선로를 사용한 자기헤테로다인 측정장치를 사용하여 레이저 선폭을 측정한 결과 3 dB 선폭으로 20 kHz 를 얻었다.

또한 이 FBG 공동내에 포화흡수체로  $Er^{3+}$  이 도핑된 광섬유를 사용하여 추가로 손실을 유도하여 다시 선폭을 압축한 결과 8배 더 압축된 3dB 선폭으로 3 kHz 인 레이저광을 얻었다. 이는  $2 \times 10^{-8}$  nm 의 선폭에 해당한다. 측정에 사용된 63 km 길이의 광섬유지연선로를 갖는 자기헤테로다인 측정장치의 해상도가 3 kHz 이므로 실제 발생하는 레이저광의 선폭은 해상도 한계인 3 kHz 이하의 선폭인 것으로 생각된다.

3kHz인 레이저 광폭측정은 자기헤테로다인 측정장치 내의 마크젠더 광간섭계의 한쪽 광경로에 사용된 63 km 길이의 광섬유 지연선로로 인하여 315 sec 의 시간지연이 생기므로 이를 주파수로 환산하면 약 3 kHz 에 해당된다. 이러한 63 km 길이의 마크젠더 광간섭계에서 한쪽 광경로의 약 3 kHz 보다 더 긴 coherence 거리를 갖는 레이저 신호는 다른쪽 광경로를 통하여 오는 신호와 일부 동일한 위상관계를 가지므로 교차상관(cross-correlation)시 실제선폭보다 더 좁게 나타나게 된다. 따라서 이러한 실제선폭보다 더 좁게 측정되는 것을 피하려면 광섬유 지연선로의 지연시간에 대한 주파수보다 더 높은 선폭을 측정할때만 측정의 정밀도가 유지된다. 따라서 본 측정에 사용된 자기헤테로다인 측정장치는 63 km 길이의 광섬유 지연선로를 사용하였으므로 선폭측정해상도 한계가 약 3 kHz 라 할 수 있다.

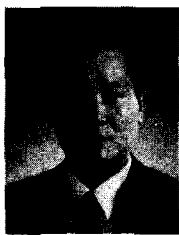
추가로 본 연구에서 제안된 FBG 에 대해 능동온도 제어회로를 추가하면 보다 더 향상된 안정도를 얻을 수 있을것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

[1] I.F. Caviglia and V. C. D. Biase, "Optical maintenance in PONs, "24th European Con-

- ference on Optical Communication, Vol. 1, pp. 621~625, 1998.
- [2] M. Sumida, "OTDR performance enhancement using a quaternary FSK modulated probe and coherent detection," IEEE Phot. Tech. Lett., Vol. 7, No. 3, pp. 336~338, Mar. 1995.
- [3] M. Kobayashi, J. Noda and H. H. Taylor, "High spatial-resolution and sensitivity interferometric OTDR," 8th Optical Fiber Sensor Conf., pp. 65~68, 1992.
- [4] W. Seo, "Fiber optic intrusion sensor investigation," Dissertation, Texas A&M Univ., Aug. 1994.
- [5] A. Takada and W. Imajuku, "Linewidth narrowing and optical phase control of mode-locked semiconductor ring laser employing optical injection locking," IEEE Phot. Tech. Lett., Vol. 9, No. 10, pp. 1328~1330, Oct. 1997.
- [6] L. W. Liou, M. Yu, T. Yoshino and G. P. Agrawal, "Mutual injection locking of a fibre laser and a DFB semiconductor laser," Electron. Lett., Vol. 31, No. 1, pp. 41~42, Jan. 5, 1995.
- [7] S. Yamashita, K. Hsu and T. Murakami, "Performance of single-frequency miniature fiber fabry-Perot laser with self-injection locking," IEEE CLEO Pacific Rim Conf., pp. 509~510, 1999.
- [8] K. Weich et al, "Fast all-optical switching using two-section injection-locked semiconductor lasers," Electron. Lett., Vol. 30, No. 6, pp. 493~494, Mar. 1994.
- [9] G. Stephan, "An airy function for the laser," J. Nonlinear Opt. Physics Mat., Vol. 5, pp. 551~557, 1996.
- [10] K. O. Hill and G. Meltz, "Fiber bragg grating technology fundamentals and overview," J. Lightwave Tech., Vol. 15, No. 8, pp. 1263~1276, Aug. 1997.
- [11] W. H. Loh, B. N. Samson, D. Dong, G. J. Cowle and K. Hsu, "High performance single frequency fiber grating-based Erbium-Ytterbium-codoped fiber lasers," J. Lightwave Tech., Vol. 16, No. 1, pp. 114~118, Jan. 1998.
- [12] E. Wolf, "Coherence properties of optical fields," Rev. Mod. Phys., Vol. 37, pp. 271, 1965.
- [13] R. F. Wuerker, J. Munch, L. O. Heflinger, "Coherence length measured directly from holography," Appl. Opt. Vol. 28, pp. 1015~1017, 1989.

## 저자 소개



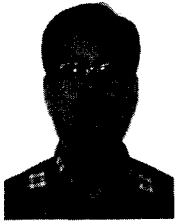
金坡源(正會員)

경희대 산업정보대학원 공학석사/ 경희대대학교 대학원 전자공학과 박사수료/KBS방송제작기술근무(전)/방송위원회 기술자문위원(전)/서울산업대학교 매체공학과 강사(전)/청운대학교 방송산업과 겸임교수(전)/경희대 정보통신대학원 강사(현)/(주) 미주 mbc 월드 TV 위성방송사 초대 사장(전)/(주) 유럽 채널썬 위성방송사 초대 사장(전)/정보통신부 디지털방송 전문가위원회 위원(현)/[사단법인] 위성방송기술협회 회장(현). 연구분야 : 광전송/방송멀티미디어



陳庸玉(平生會員)

연세대학교 전기공학과(공학사)/연세대학교 전자공학과(공학석사). 연세대학교 전자공학과 (Ph. D.) / 경희대학교 전자공학과 교수. 한국음향학회 회장 / 국어정보학회 회장 / KBS 경영평가위원 및 위원장. 경희대 정보통신대학원 교수. 연구분야 : 정보통신공학 / 방송통신멀티미디어시스템



崔圭南(正會員)

1976년 서울대학교 공과대학 졸업 (공학사), 1989년 미국 Texas A&M 대학교 전기공학과 공학석사, 1992년 미국 Texas A&M 대학교 전기공학과 공학박사, 1979년-1987년 (주)대우 유선통신 엔지니어, 1992년-1994년 금성중앙연구소 연구실장, 1994년-현재 인천전문대학 교수, 2000년-현재 미국 Texas A&M 대학교 부설 미국과학재단(NSF) 지정 전자재료/소자및시스템(CEMDAS)연구소 연구원, 연구분야 : 현재 주연구분야는 초고속/Coherent 광통신용 소자/시스템 및 Coherent 광섬유센서 시스템임, 기타 연구분야로는 초고속 박막 반도체 광통신소자, 초고속 광통신용 광원, 마이크로웨이브/밀리미터파 수광소자, 평판디스플레이 등