

# 광음향효과에 의한 CO<sub>2</sub> 레이저 주파수 및 출력 안정화 방법

論文

53C-11-7

## Frequency and Power Stabilization of CO<sub>2</sub> Laser Using a Photoacoustic Effect

崔鐘云<sup>†</sup> · 劉炆鍾<sup>\*</sup> · 崔成雄<sup>\*\*</sup> · 徐壕成<sup>\*\*\*</sup>

(Jong-Woon Choi · Moon-Jong Yu · Sung-Woong Choi · Ho-Sung Seo)

**Abstract** - We stabilized the frequency and power of a high voltage excited CW CO<sub>2</sub> laser on the peak of the Doppler broadened gain curve using the photoacoustic effect generated from the laser itself. The photoacoustic signal is directly coupled from an radio frequency discharge chamber via a capacitor microphone into a detector and a lock-in stabilizer. The frequency stability is estimated to be better than  $1.2 \times 10^{-7}$  at the transition P(20) line. The stabilized output power variation was reduced to from 77 % to 3.3 %.

**Key Words** : Photoacoustic Effect, CO<sub>2</sub> Laser, Frequency, Power, Stabilization

### 1. 서론

CO<sub>2</sub> 레이저는 원적외선 영역에서 정밀한 광주파수 표준으로 사용되고 있으며<sup>[1]</sup>, 고분해 적외선 분광학에서도 중요한 도구로 사용되고 있다<sup>[2]</sup>. 이와 같은 분야에 응용하기 위해서는 레이저의 주파수와 출력이 안정된 광원이 필수적인 장치이다.

레이저의 광주파수는 공진기를 구성하는 두 개의 반사경 사이의 간격에 의해서 결정된다. 따라서 공진기의 광학적 길이를 주위 환경조건에 관계없이 일정하게 안정시키면 레이저의 주파수가 안정화된다. 일반적으로 CO<sub>2</sub> 레이저와 같이 가스압력에 의한 선폭확장이 일어나는 레이저의 이득곡선은 로렌츠형의 모양에 근사한 Voigt형 곡선을 갖는다. 열팽창이나 진동에 대응하여 공진기의 광학적인 길이를 일정하게 하기 위해서, 레이저의 공진기의 광학적 길이를 조정하여 이득곡선의 꼭짓점에서 레이저가 공진하도록 공진기의 광학적인 길이를 안정화를 시키게 된다<sup>[3]</sup>. 이득곡선의 꼭짓점에서 레이저가 발진하도록 하면 이득곡선의 꼭짓점 부근에서는 공진기의 광학적 길이가 조금만 변화하여도 레이저 출력도 변화된다. 이와 같은 레이저 이득곡선의 고유한 특성을 이용하여 레이저의 광주파수가 흔들리는 것을 방지할 수 있으며, 이와 함께 레이저의 출력 안정도가 크게 향상된다.

레이저의 광주파수와 출력을 안정화시키기 위해서는 안정화 시키고자 하는 레이저 주파수 분별곡선을 얻어야한다.

이를 얻기 위한 방법으로 다음과 같은 세 가지 방법이 일반적으로 사용된다. 첫째 방법은 레이저 공진기의 한쪽 반사경에 PZT (Piezo electronic transducer)를 부착한 뒤 임의의 진동수로 공진기의 광학적 길이를 변화시키면, 이에 따라서 레이저 출력의 크기도 진동을 하게 된다. 이때 레이저 출력의 일부를 광분할기로 분할한 뒤 광 검출기로 검출한 출력 변화를 안정화를 위한 기준신호로 사용하여 이득곡선의 꼭짓점에 안정화 시키는 방법이다. 이 방법은 레이저 출력의 일부를 사용하므로 출력이 감소되며, 레이저 광로에 광분할기를 설치하므로 광분할기의 광축정렬에 어려움이 있고 레이저 횡모드의 변화 우려가 있다. 둘째 방법은 레이저 공진기 내부 혹은 외부에 고전압 직류 방전관과 같은 기준관을 설치하여 방전관에서 발생하는 진동신호를 기준신호로 사용하는 방법이다<sup>[4]</sup>. 이 경우는 레이저 공진기 내외부에 기준관 설치로 인하여 레이저 발진 효율이 저하될 수 있고 레이저 구조가 복잡하게 된다. 셋째 방법은 공진기 자체에서 발생하는 광전류효과(opto-galvanic) 혹은 광음향(photoacoustic) 효과와 같은 물리적인 현상을 이용하는 방법이다. 광전류효과는 DC 고전압 방전을 이용한 CO<sub>2</sub> 레이저는 공진기 속의 복사선 세기가 변화할 때 레이저 방전관 양단에서 발생하는 전압 혹은 전류변화이고, 광음향효과는 공진기 속의 압력변화이다. 광전류효과를 이용하면 비교적 간단한 장치로 레이저의 주파수를 안정화시킬 수 있다<sup>[5,6]</sup>. 그러나 광전류효과는 안정화 장치의 구조가 대단히 간단한 장점을 가지고 있으나 고전압 방전에 따른 전기 잡음 발생에 의해서 안정화가 떨어지는 단점을 가지고 있다.

본 논문은 DC 고전압 방전 여기식 CO<sub>2</sub> 레이저를 공진기 자체에서 발생하는 광음향효과를 사용하여 레이저의 출력과 주파수를 안정시키는 방법에 관하여 기술하였다. 즉 레이저 공진기 내부에 레이저 가스 압력변화를 검출하기 위한 콘덴서 마이크로폰을 설치하여 레이저 공진기 자체에 발생하는 광음향효과에 따른 미세한 압력변화를 전기신호로 변환하고

<sup>\*</sup> 교신저자, 正會員 : 湖南大 工大 情報通信工學科 教授  
E-mail : woon@honam.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 湖南大 工大 情報通信工學科 教授

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 電子通信研究原 디지털 放送研究團 研究員

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 韓國標準科學研究原 責任研究員

接受日字 : 2004年 7月 30日

最終完了 : 2004年 10月 5日

이를 안정화에 이용하였다. 레이저 이득곡선의 꼭짓점에서 발전하도록 레이저의 공진기의 광학적 길이를 고정시켜 고전압 방전 여기식 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력과 주파수를 안정화시키는 방법에 관하여 기술하였다.

## II. 광음향효과에 의한 주파수 안정화 방법

### 1. 고주파 방전관의 광음향효과

연속발전 CO<sub>2</sub> 레이저는 높은 효율을 가지고 있고 레이저 복사선의 세기가 크므로 복사선의 세기를 변화시키면 거시적 매개 변수들에 변화를 줄 수 있다<sup>[7]</sup>. 만일 공진기 내부에 설치된 변조기를 사용하거나 공진기의 정렬을 바꾸는 방법 등을 이용하여 공진기 내부의 레이저 복사선 세기를 변화시키면 광의 세기, 스펙트럼 분포, 가스압력, 방전 전류와 방전 임피던스 등의 모든 것이 함께 변하게 된다.

공진기 속의 복사선 세기가 변화할 때 연속발전 하는 레이저의 매질가스 압력이 변화하는 현상을 광음향효과라 한다<sup>[8]</sup>. 따라서 레이저 공진기의 광축상에 놓인 PZT 위에 반사경을 설치하고, PZT를 임의의 주파수로 진동을 가하면 공진기의 광학적 길이는 임의의 주파수로 진동하게 된다. 이때 공진기 속의 복사선의 세기는 그림 1과 같이 레이저 이득곡선을 따라서 같은 진동수로 변조되게 된다. 공진기 속의 복사선의 세기가 1% 정도만 변화하여도 방전관 속의 가스압력이 상당한 변화(~0.1%)를 일으키게 된다<sup>[7]</sup>. 이와 같은 레이저 방전관의 미세한 압력 변화를 콘텐서 마이크를 사용하여 검출하면 순수한 가스압력 변화량, 즉 공진기 내부의 복사선 변화를 측정할 수 있다.

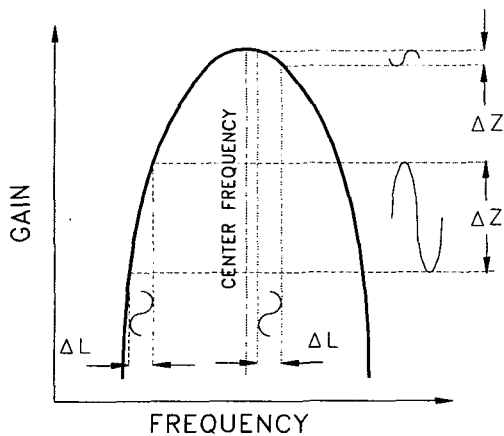


그림 1. 대표적인 CO<sub>2</sub> 레이저 전이에 대한 주파수 변조 및 이득 곡선.

Fig. 1. Frequency modulation and gain curve above the threshold level for a typical CO<sub>2</sub> laser transition.

### 2. 공진기의 광학적 길이 안정화 방법

패브리페로(Fabry-Perot) 공진기로 동작하는 기체 레이저의 발전 주파수와 출력은 공진기의 광학적 길이에 의해서 결정된다. 따라서 레이저의 발전 주파수와 출력을 안정화시키려면 공진기의 광학적 길이가 사용 환경으로부터 영향을 받지 않도록 이에 의해 변환된 값을 보상해 주어야 한다.

즉 방전관 주위온도의 변화, 기계적인 진동, 레이저가스 압력의 변화 등 주위 환경에 따라 변화하는 레이저 공진기의 광학적 길이가 일정하게 유지되도록 해 주어야 한다.

본 연구에서는 레이저 공진기의 광학적 길이를 일정하게 유지하는 방법으로 그림 1과 같은 레이저의 이득곡선을 이용하였다. 가스 레이저의 이득곡선은 가우스형 분포로 나타나는 도플러 넓어지기(Doppler broadening), 로렌츠형 분포로 나타나는 압력 넓어지기(pressure broadening) 및 레이저 천이선의 자연선폭의 합으로 나타나게 된다. 즉, 레이저 이득곡선은 이들 넓어지기가 종합되어 있는 Voigt profile로 주어진다<sup>[7,8]</sup>. 선모양 함수(line shape function)  $g(\nu)$ 를 2차 함수로 근사하면

$$g(\nu) = -\alpha(\nu - \nu_0)^2 \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서  $\nu$ 는 레이저 주파수를 나타내고,  $\nu_0$ 는 이득곡선의 중심 주파수, 즉 CO<sub>2</sub> 레이저 천이 중심 주파수가 되고,  $\alpha$ 는 레이저 출력에 비례하는 상수이다. 이 때  $g(\nu)$ 는  $\nu = \nu_0$ 에서 최대출력을 가져야 하므로  $\alpha$ 는 항상 양의 값만 갖는다. 또 레이저 주파수 안정화를 위해  $\nu = \nu_0$ 에 레이저 주파수를 고정하면 레이저 출력도 동시에 안정화 할 수 있다. 이때 이득곡선의 최대치에 레이저 주파수를 안정화 시키려면 분산형 주파수 분별곡선을 얻어야 한다. 즉 어떤 기준 주파수 보다 레이저 주파수  $\nu$ 가 클 때와 작을 때 각각 다른 부호의 출력을 갖는 분별곡선을 얻을 수 있어야 한다. 선모양 함수  $g(\nu)$ 를 미분하면

$$\frac{dg(\nu)}{d\nu} = -2\alpha(\nu - \nu_0) \quad (2)$$

이 된다. 식(2)는  $\nu = \nu_0$  근방에서 영점을 지나는 분별곡선이 된다. 실험에서는  $g(\nu)$  곡선을 록인앰프를 이용하여  $dg(\nu)/d\nu$  곡선을 얻을 수 있는데, 이 때 변조 폭을 이득곡선의 선폭보다 작게 해야 한다.

공진기 한쪽의 반사경을 정현파로 진동시키면 레이저 발전 주파수 변조가 이루어지고 레이저 출력곡선은

$$\begin{aligned} g(\nu + \nu_m \sin(\omega_m t)) &= -\alpha[\nu - \nu_0 + \nu_m \sin(\omega_m t)]^2 + \beta \quad (3) \\ &= \alpha[(\nu - \nu_0)^2 + \frac{\nu_m^2}{2} + 2(\nu - \nu_0)\nu_m \sin \omega_m t \\ &\quad - \frac{\nu_m}{2} \sin 2\omega_m t] + \beta \\ &= A_0 + A_1 \sin \omega_m t + A_2 \sin 2\omega_m t \end{aligned}$$

이 된다. 이 식에서  $\sin \omega_m t$ 의 계수  $A_1$ 을 계산하면

$$A_1 = -2\alpha \nu_m (\nu - \nu_0) \quad (4)$$

이 된다. 즉, 출력곡선의 1차 하모닉 계수  $A_1$  은  $g(\nu)$  를 미분한 식 (2)에 비례하는 값이 됨을 알 수 있다. 따라서 록인증폭기를 이용하여 출력곡선 변조신호의 1차 하모닉 계수  $A_1$  을 측정하여 주파수 분별곡선으로 이용할 수 있다. 레이저 주파수 분별곡선에 의한 레이저 주파수 안정화에 있어서 케환 회로의 오차신호의 최대 폭을  $\Delta V$ 라 하면, 레이저 주파수 분별함수  $A_1(\nu)$  의 기울기  $-2\alpha \nu_m$  과  $\Delta V$  를 이용하여 레이저 주파수 흔들림  $\Delta \nu$  를 구할 수 있다. 즉 식 (5)가 됨을 알 수 있다.

$$\Delta \nu = \Delta V / (-2\alpha \nu_m). \quad (5)$$

따라서 레이저 공진기의 광축상에 놓인 PZT 위에 반사경을 설치하고, PZT를 임의의 주파수로 진동을 가하면 공진기의 광학적 길이  $L$  은 임의의 주파수로 진동하게 된다. 광의 세기는 레이저 이득곡선을 따라서 같은 진동수로 변조되게 된다. 레이저의 출력이 변동하면 광음향효과에 의해 레이저 매질에 압력변화가 발생하게 된다. 레이저의 주파수가 이득곡선의 중심 주파수 보다 낮다면, 광의 세기와 레이저 매질 가스의 압력변화  $\Delta P$  의 위상은 반대이고, 중심선 주파수 보다 높으면 압력변화의 크기는 발진선 중심으로부터 주파수 차와 같이 증가한다. 이와 같은 레이저 공진기의 광학적 길이 변화에 따라서 레이저 매질가스의 압력도 변화하게 되므로, 압력변화를 측정하면 레이저 출력변화를 알 수 있다. 공진기 속의 압력변화를 측정하기 위해서 공진기 속에 콘덴서 마이크로폰을 부착하였다. 고전압에 감전되는 것을 방지하기 위해서 레이저 방전관의 양극 반대 방향에 있는 음극 쪽에 콘덴서 마이크로폰을 위치시켰다. 콘덴서 마이크는 자체 증폭기를 가지고 있기 때문에 단순히 외부 전원을 가해 주는 것만으로 공진기 내부의 복사선 세기 변화에 따른 압력변화를 검출할 수 있다. 이와 같은 광음향 신호를 록인증폭기의 주파수 분별기(discriminator)를 이용하여 오차신호로 만든 뒤, 이를 다시 PZT에 케환 시키는 방법으로 레이저 공진기의 광학적 길이를 안정화 시켰다. 레이저 공진기의 광학적 길이 안정화에 의해서 레이저 광주파수와 광출력도 함께 안정화 된다.

### III. 실험 및 결과

#### 1. 실험장치

주파수 안정화에 사용한 CO<sub>2</sub> 레이저의 구성도는 그림 2와 같다. 본 실험에 사용한 CO<sub>2</sub> 레이저는 수냉식의 가스 순환형으로 제작한 것이다. 길이가 80 cm의 공진기는 출력경(M2)으로 반사율이 70 %인 ZnSe 재질의 평면 반사경을 사용하였고, 전반사경(M1)으로는 금코팅된 150 line/mm 평면 회절격자(Jobin-Yvon사)를 사용하였다. 공진기의 광학적

길이를 변화, 즉 레이저 주파수를 변화시키기 위해서 최고 13  $\mu\text{m}/1600\text{V}$  의 변이를 줄 수 있는 PZT를 회절격자 뒤쪽에 부착하였다. 방전관에는 매질용 가스인 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He의 분압 비율을  $P(\text{CO}_2)+P(\text{N}_2)+P(\text{He})=2+3+16$  [torr] 로 공급하였다. 혼합 가스는 총 21 torr 압력을 유지하도록 연속적으로 공급하였다. 직류 고전압 전원공급기를 사용하여 700 mm 길이의 방전관 양쪽에 가하여 방전여기를 하였다. 방전용 전극은 고전압 방전할 때 발생하는 스퍼터링(sputtering)을 감소시키기 위해서 텅스텐 봉을 양극으로 사용하였고, 음극은 텅스텐 봉에 니켈 판을 원통형으로 만들어 부착하였다. 출력광에서 선형편광을 얻고, 또 반사경을 방전관과 분리하기 위하여 방전관 양쪽에 ZnSe 재질의 브루스터 창(Brewster window)을 부착하였다.

고전압 방전을 위해 스위칭형 전원공급기(Glassman Inc.)를 사용하였다. 스위칭형 전원공급기는 부하에 따라서 전류가 변화하므로, 방전관에 과다한 전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 벨러스트 저항 없이 방전이 가능하여 벨러스트 저항에서 소모되는 에너지를 줄일 수 있다. 실험을 위해 사용한 전원은 7 kV, 8.5 mA 이고, 이때 레이저 연속출력은 약 1.8 W를 얻었다. 기본적인 횡 모드와 중심파장이 10.59  $\mu\text{m}$  P(20)의 전이선에서 단일 종모드로 동작함을 레이저 스펙트럼 분석기(Optical engineering: 16A)를 사용하여 확인하였다.

광음향효과에 따른 방전관 내부의 압력변화를 검출하기 위해서 음극과 브루스터 창 사이에 80 mm 길이의 광음향 검출부를 부착하였다. 검출부 중앙에 직경이 5 mm 인 콘덴서 마이크로폰을 설치하였다.

주파수 안정을 위해 사용한 록인안정기(Lansing research: 80.215)는 PZT를 직접 구동할 수 있는 고전압 증폭기와 참조 신호용 신호발생기를 함께 가지고 있는 록인증폭기를 이용한 제어기의 일종이다.

#### 2. 공진기의 광학적 길이 변화에 따른 광음향효과 신호

레이저 출력변화에 따른 광음향 신호 유무를 검출하고 공진기의 광학적 길이변화에 대한 광음향 신호의 추종성을 확인하기 위해서, PZT를 이용해서 공진기의 광학적 길이를 변화시켰다. 공진기 변화에 따라 변조된 광의 세기는 광음향(Photoacoustic, PA)효과에 의해서 미세한 압력변화로 나타나므로 그림 2의 공진기 속에 설치된 콘덴서 마이크로폰의 양단에 전위차로 나타나게 된다. 여기에서 직류값을 커패시터를 사용하여 제거한 뒤 다이내믹 신호 분석기(SRS: SR785)를 사용하여 도플러 주파수의 변화를 측정하였다. 광음향 신호 발생을 확인을 위해 그림 2에서와 같이 PZT에 0 - 1600 V의 DC 바이어스 전압을 가하여 공진기의 광학적 길이 변화에 따라 발생하는 P(20) 전이선에 대한 광음향 신호를 검출하였다. 광음향 신호를 유도하기 위해 522 Hz의 정현파 변조신호(50 Vpp)를 PZT에 가하였다. 여기에서 정현파의 주파수는 PZT의 공진 주파수 영역 내에서 선택하면 되는데, 미약한 광음향 신호와 상용전원 주파수와의 간섭을 피하기 위해서, 상용주파수 60 Hz의 고조파를 제외한 주파수중에서 선택하여 사용하였다.

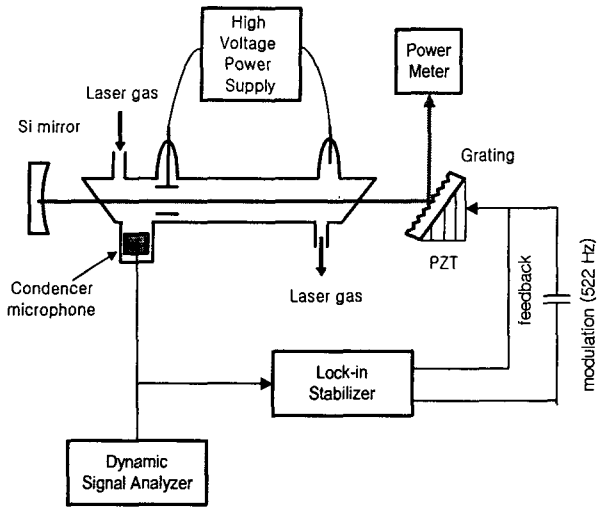


그림 2. 광음향효과를 이용하여 고전압 방전식 CO<sub>2</sub> 레이저의 주파수와 출력을 안정화하기 위한 실험 장치 구성도.

Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup for the stabilization of HV excited CO<sub>2</sub> laser using the photoacoustic effect.

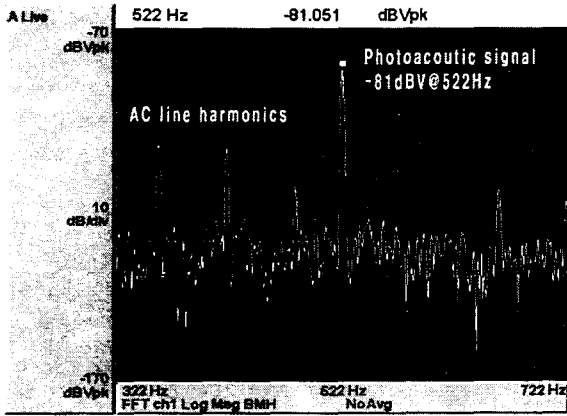


그림 3. 레이저 공진기 진동에 의해서 발생된 광음향 신호의 스펙트럼(522Hz).

Fig. 3. Spectrum of photoacoustic signal (522 Hz) by the vibration of laser resonator.

PZT 진동에 따라서 레이저 출력이 변조가 되고, 레이저의 출력변화는 공진기속의 압력 변화로 나타난다. 압력변화는 공진기 속에 설치한 콘덴서 마이크론을 사용하면 전위차로 검출할 수 있다. 그림 3은 PZT를 정현파로 진동시킬 때 공진기에 발생되는 광음향 신호를 콘덴서 마이크론과 DSA(Dynamic Signal Analyzer)를 사용하여 관찰한 스펙트럼이다.

레이저 이득곡선에 따른 광음향 신호의 크기 변화를 관찰

하기 위하여, PZT에 정현파와 함께 1600 V의 램프(ramp)신호를 가하여 파장으로 나타낸 FSR(Free Spectral Range) 5.3  $\mu\text{m}$ 의 2배 이상의 길이인 약 13  $\mu\text{m}$  만큼 공진기의 광학적 길이를 변화시켰다. 공진기의 광학적 길이가 변화하게 되면 발진선의 이득곡선은 그림 4(b)와 같이 변화하게 된다. 또한 광출력 변화에 대응하는 방전전류는 광음향효과에 의해서 콘덴서 마이크론 양단에 전위차로 나타난다. 그림 4(c)는 레이저 이득곡선에 따른 광음향 신호의 크기 변화를 관찰한 것이다. 광음향 신호의 크기는 이득곡선의 기울기에 비례하며, 공진기 길이 800 mm에 해당하는 FSR 187.5 MHz (5.3  $\mu\text{m}$  값에 해당함)마다 선택한 발진선인 P(20)선의 이득곡선이 2번 이상 반복됨을 확인 할 수 있다.

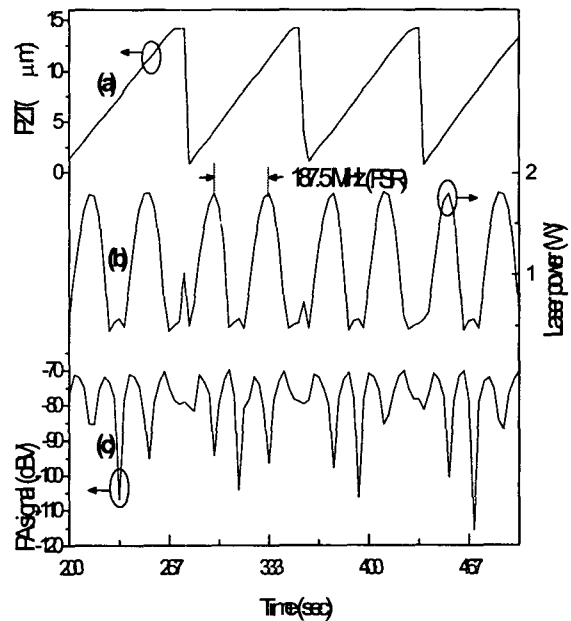


그림 4. (a) PZT 길이 변화에 따른 레이저 공진기 길이 변화, (b) 공진기 길이 변화에 따른 레이저 출력 변화, (c) 공진기 길이 변화에 따른 광음향 신호의 변화.

Fig. 4. (a) Variation laser cavity length by PZT-signal, (b) Variation of laser power as a function of laser cavity length, (c) Variation of photoacoustic signal as a function of laser cavity length.

### 3. 주파수 및 출력 안정화

이득곡선의 중앙에 레이저 주파수를 안정화 시키는 방법은 먼저 회절격자를 회전시켜 전이선을 선택하고, PZT에 가하는 DC 바이어스 전압을 가변 하여 이득곡선의 꼭짓점 주위에서 레이저가 동작하도록 한 다음, 록인안정기의 케환 루프를 작동시킨다. 이때 PZT에 가해지는 3가지 신호는 다음과 같다. 동작점을 찾기 위한 DC 바이어스전압, 레이저 공진기의 길이를 변조하면서 록인중폭기의 참조 신호인 정현파 신호 전압, 오차신호를 적분한 뒤 증폭한 제어신호전압

이다. PZT에 정현파를 가하면 레이저의 출력은 정현파로 변조된다. 또한 광음향효과로 인하여 방전관의 압력도 변조된다. 정현파를 기준으로 해서 압력변화 신호를 동시 검파하면 이득곡선의 기울기에 비례하는 전압을 구할 수 있고, 이득곡선의 꼭짓점의 위치를 알 수 있다. 동시 검파된 신호는 적분된 뒤 DC 전압으로 바뀌어 PZT에 다시 공급된다. 이때 적분 값은 동시 검파된 신호의 크기가 영이 될 때까지 레이저 공진기 길이를 계속 변화시켜 레이저가 이득곡선의 꼭짓점에서 발진하도록 한다.

그림 5는 레이저를 광음향효과를 이용하여 주파수 안정화 시킨 것이다. 록인안정기에 의해서 주파수 안정화가 이루어지면서 레이저의 출력도 안정화됨을 알 수 있다.

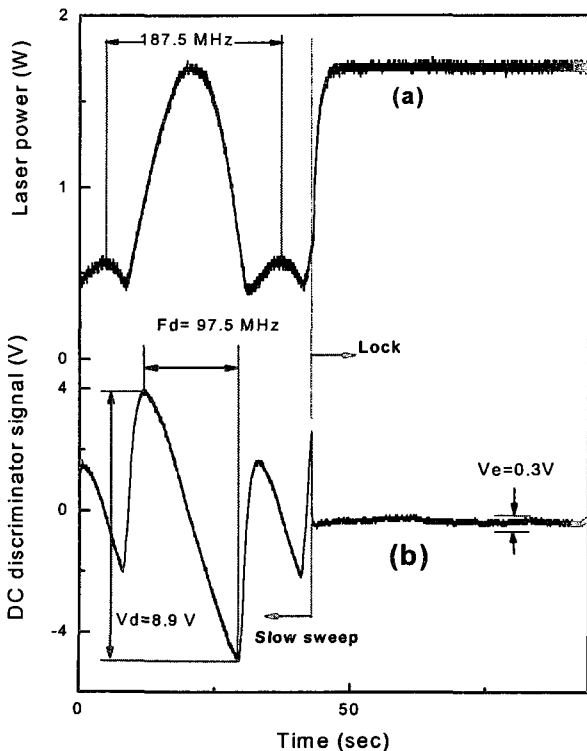


그림 5. (a) 레이저 출력 변화 및 안정화. (b) 레이저 주파수와 출력이 안정화된 전후의 록인앰프의 오차 신호. 레이저 발진선은 P(20)-전이 이고, 출력은 최대 1.8 와트 이다.

Fig. 5. (a) Variation of laser power and stabilization. (b) DC discriminator signal, before and after the laser frequency and power is locked. Here, the laser line is P(20)-transition and the power is 1.8 W at peak.

#### 4. 안정도 평가

그림 5(a)는 공진기 길이 변화에 따른 이득의 분포곡선이 고, 5(b)는 록인중폭기에서 검출한 이득곡선의 1차 하모닉 신호이다. 레이저 주파수의 흔들림 폭  $\Delta\nu$ 는 식 (5)와 같이 이득분포의 최대치에 발진 주파수를 안정화 시키지 않았을 때의 최대오차신호 진폭 V와 안정화 시켰을 때의 주파수

흔들림폭  $\Delta\nu$ 의 비를 이득분포의 폭 F에 곱해준 값, 즉 오차함수의 기울기 F/V와  $\Delta V$ 의 곱으로 주어진다. 식 (5)의  $-\frac{1}{2\alpha V_m}$  값이 측정에서는 F/V 값으로 나타난다.

$$\Delta\nu = \frac{F}{V} \Delta V. \tag{6}$$

으로 표시된다. 따라서 본 실험에서 얻어진 주파수  $\frac{F}{V} = 19.96 \text{ MHz/V}$  이고 주파수 흔들림 폭  $\Delta\nu$ 는 약 3.3 MHz이다. 이 값은 발진주파수 28.3 THz (10.6  $\mu\text{m}$ )에 대하여  $1.2 \times 10^{-7}$ 의 주파수 상대안정도  $\Delta\nu/\nu$ 를 의미한다. 한편, 레이저를 자유 동작시켰을 때의 출력 변동률은  $\Delta P/P$ 로 표시되는데, 실험에 사용된 레이저는 공진기 길이가 변화시 출력변동이 대단히 커서 본 실험에서는 최고출력에 대한 변동률이 77%로 나타났다. 이에 대하여 레이저가 안정화 되었을 때는 변동률은 3.3%로 개선됨을 알 수 있다.

#### IV. 결론

연속 발진하는 이산화탄소 레이저의 공진기 자체에서 발생하는 광음향효과를 이용하여 도플러 이득분포의 최대 값에 레이저의 주파수를 안정화 시켰다. 레이저 공진기 내부에서 발생하는 광음향효과를 측정하기 위하여 공진기 내부에 신호 검출용 콘덴서 마이크로폰을 설치하였고, 이와 같은 단순한 구조를 가지고 레이저 주파수 안정화와 동시에 출력도 최대값에 안정화 시킬 수 있었다.

$P(\text{CO}_2)+P(\text{N}_2)+P(\text{He})=2+3+16$  [torr]의 혼합가스를 사용하여 P(20) 전이성의 중심에 주파수를 안정화 시켰을 때 주파수 흔들림은 3.3 MHz 이다. 이를 발진파장에 대하여 환산하면  $1.2 \times 10^{-7}$   $\Delta\nu/\nu$ 의 안정도를 나타낸다. 또한 레이저 주파수를 안정화 시키면 출력도 함께 안정화 되는데 평균출력에 대한 출력안정도는 77%에서 3.3%로 개선됨을 알 수 있었다. 또한 본 방법은 고전압 혹은 고주파로 여기 되는 대부분의 기체레이저의 주파수 및 출력 안정화에도 똑같이 적용이 가능할 것이다. 또한 제작된 주파수와 출력이 함께 안정화된 CW  $\text{CO}_2$  레이저는 원적외선 영역의 분광학이나 광계측 분야의 광주파수(파장)표준 광원이나 출력 안정화 광원으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 과학기술부의 국제공동연구 지원사업(M60142000007-03A0100-08910)에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Alain Van Lerberghe, Sigrid Avrillier, and Christian J. Borde, IEEE QE-14(7), 481 (1978).
- [2] F. R. Petersen, E. C. Beatty and C. R. Pollock, J. Mol. Spectrosc. 102, (1983).
- [3] Rohrbeck, A. Hinz, P. Nelle, M. A. Gondal and W. Urban, Appl. Phys. B31, 139 (1983).
- [4] L. Zink, F. S. Pavone, R. Meucci, and M. Inguscio, Optics Comm., 77(1), 41 (1990).
- [5] 최중운, 김용평, 김윤명, 새물리, 36(4), 339 (1996).
- [6] Chin-Chun Tsai, Tyson Lin, Cherng-Yn Shieh, Tsu-Chiang Yen, and Jow-Tsong Shy, Appl. Opt., 30(27), 3842 (1991).
- [7] A. L. S. Smith and S. Moffatt, Optics comm., 30, 409 (1975).
- [8] P. E. Jackson, K. M. Abramsik, and D. R. Hall, Appl. Phys. B 47, 149 (1988).

저 자 소 개



**최 중 운(崔 鐘 云)**

단국대학교 전자공학과 학사, 석사, 박사.  
1988년 한국표준과학연구원 책임연구원,  
2000년 호남대학교, 정보통신공학과 교수  
E-mail : woon@honam.ac.kr



**최 성 응(崔 成 雄)**

1997년 경북대 전자공학과 학사, 석사.  
2000년~현재 한국전자통신연구원 디지털  
방송연구단 연구원.  
관심분야: 무선망 설계, 디지털방송 채널  
배치  
E-mail : swchoi@etri.re.kr



**유 문 종(劉 爨 鍾)**

1982년 전남대 물리학과 학사. 2002년 호  
남대 대학원 정보통신 석사, 현재 동 대  
학 정보통신공학과 겸임교수.  
E-mail: caobr@chol.net



**서 호 성(徐 壕 成)**

1980년 영남대학교 물리학과 학사, 석사,  
박사. 1982년~현재 한국표준과학연구원  
광기술표준부 책임연구원.  
관심분야: 레이저 주파수 안정화, 광통신  
측정표준  
E-mail : hssuh@kriss.re.kr