

## 액체질소 냉각형 일산화탄소 레이저의 동작특성

김 용 평, 원 종 욱  
한국표준연구소 레이저연구실Operating Characteristics of LN<sub>2</sub>-Cooled CO LaserY. P. Kim and J. W. Won  
Laser Laboratory  
Korea Standards Research Institute

## I 서론

일산화탄소(CO) 레이저는 1965년 Patel [1] 에 의해 처음 개발된 이래 중적외선 영역에서의 고출력, 고효율 레이저의 하나로 큰 기대를 모았으나 유일한 기술상 난점이었던 가스냉각 문제로 거의 동시기에 개발된 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 상대적으로 지지부진한 발전을 해 왔다. 그러나 양자효율(레이저 매질에 주입된 에너지로 부터 레이저 광에너지로 뽑아낼 수 있는 비율)이 거의 100%에 가깝고, 동작 파장 영역도 중적외선 영역에서 4.8 ~ 8.2  $\mu\text{m}$  로 광대역인 점등 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 뛰어난 장점을 갖고 있다. 따라서 CO 레이저는 높은 효율 및 단파장성을 살려 재료 가공분야에서 CO<sub>2</sub> 레이저의 대체 레이저로서 활발히 개발이 진행되고 있고, 넓은 발진 파장영역을 이용하여 분광학연구의 광원으로 연구가 이루어지고 있다.

한국표준연구소에서는 5~8  $\mu\text{m}$  대를 포괄할 수 있는 레이저 자기공명 분광기 시스템의 개발연구를 수행하고 있는데 본고에서는 그 광원으로 시험제작한 액체질소로 냉각하는 방전여기 cw CO 레이저 및 그 동작특성에 대하여 기술한다.

## II 설계 및 제작

## 1. 레이저 방전관

레이저 방전관은 내경 1.5 cm, 두께 2 mm, 길이 120 cm의 pyrex 유리관으로 제작하였는데 Fig. 1에 이를 보인다. 레이저 동작에 기여하는 전극사이의 길이는 110 cm로 하였다. 전극구성은 그림에 표시한 바와 같이 방전관의 중앙에 니켈(Ni) 공동(hollow)으로 된 공동의 음극(cathode)을 설치하고, 방전관의 양단부분의 텅스텐 봉으로 된 음극을 설치하여 균일한 방전을 얻을 수 있도록 하였다. 여기서 중요한 것은 전극의 배치이다. 즉 방전관의 중앙에 위치한 음극은 방전관에 평행한 공동으로 하지 않고 양극과 같은 형태로 수직으로 설치하면 음극부분에서 plasma focusing effect를 일으켜, 레이저 튜브를 고온으로 가열하여 죽게 된다. 방전관의 양단에는 66 x 25.4 x 3 mm의 ZnSe plate를 이용하여 Brewster window 설치 하였다. Brewster angle는 파장 5.3  $\mu\text{m}$  에서 ZnSe의 굴절률이  $n=2.4861$  이기 때문에  $\tan \theta = n$  으로 부터 68.088°이다. 따라서

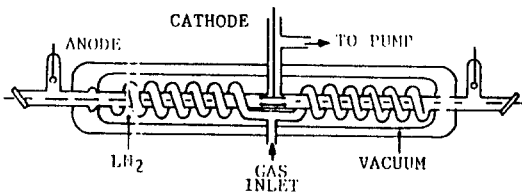


Fig. 1 Laser discharge tube

알루미늄으로 Mount를 제작하여 광축과 Window면이 이루는 각도를 21.91° 가 되도록 하였다.

## 2. 레이저 공진기

공진기는 전반사경으로 직경 1 inch, 두께 3 mm, 곡률반경 4 m 의 Si기판에 금으로 코팅된 오목거울을 사용하고, 출력경으로는 직경 1 inch 두께 3 mm, 반사율 80% (출력 결합율 20%) 의 ZnSe 평면거울을 이용하여 구성하였다.

## 3. 레이저 가스 주입장치

레이저 가스는 Fig. 1 에 표시한 바와 같이 레이저관의 양단으로 주입되도록 하였고, 중간의 음극부분을 통하여 배출되도록 하였다. 가스의 혼합은 레이저관에 가스가 도달하기 전 online line system 으로 예비혼합(premixing) 되도록 하였다. 여기서 사용한 가스배관은 유기성 관에서는 outgasing의 우려가 있기 때문에 모두 동파이프 및 스테인레스 파이프를 사용하였다. 견실한 바와 같이 각종 파장에서의 가스 혼합비율은 서로 다르기 때문에 micro valve를 설치하여 각각의 최적치를 손쉽게 조절할 수 있도록 하였다.

방전관 속의 진공도는 rotary pump를 이용하여 40 mTorr 정도를 유지하게 한 다음, 레이저 가스를 주입 하였는데, 이용된 압력계는 < 1 Torr 에서는 pirani gauge를 > 1 Torr 에서는 0 ~ 100 mbar 까지 눈금이 매겨져 있는 Swiss Balzer사의 제품이다.

## 4. 가스 냉각 시스템

CO 레이저에 있어서 가스냉각은, 레이저의 고효율 동작뿐만 아니라 광대역 동작을 위해서는 필수적인데, 특히 동작중 온도의 변화는 출력의 변화로 곧바로 연결되기 때문에 안정된 냉각시스템은 CO 레이저 설계에 필수적 사항이다.

여기서는 냉매로 액체질소(LN<sub>2</sub>)를 사용하였는데, Fig. 1 에 보인 바와 같이 레이저 방전관의 가스의 입력부는 효율적인 냉각을 위해 LN<sub>2</sub> 와의 접촉면적을 가능한 크게해 나선형으로 하였다. 또한 레이저의 장시간 연속동작에 의한 LN<sub>2</sub>의 가스분출을 보충하기 위해 LN<sub>2</sub>의 automatic discharging system을 채용, 항상 일정한 양의 LN<sub>2</sub>가 유지되도록 하였다.

Fig. 1 에 보인 바와 같이 LN<sub>2</sub>를 담는 냉각조는 공기와의 직접 접촉을 피하기 위해 이중구조로 하고 있다. 이는 공기와의 직접접촉에 의한 LN<sub>2</sub>의 급속한 증발을 억제하는 것과 냉각조의 표면이 공기 중 수분에 의해 얼어붙는 것을 방지하기 위한 2가지의 의미가 있다. 이런 이중구조에 있어서 중요한 것은, LN<sub>2</sub> 냉각조와 공기와의 접촉면 사이에 둔 진공부분 속의 레이저 방전관이 열팽창계수의 차이에 의해 피열되는 것을 방지하는 것이다. 이를 위해 흔히 사용되는 방법은 진공부분속의 레이저 방전관에 주류를 주는 것이다. 이는 pyrex 유리관과 같은 재료에서 효과적인 방법이 못된다. 따라서 여기서는 공기와 접촉하는

부분과 레이저 방전관 사이에 O-ring을 설치하므로써 이 문제를 해결하였다. 즉 레이저 방전관은 냉각조의 액체 질소에 의해 냉각되면, 부피가 줄어 관의 중심을 향해 끌리게 되는데, 진공조는 액체 질소와 직접 접촉하지 않으므로 그 팽창정도가 다르다. 따라서 진공조와 레이저 방전관과의 사이에 O ring을 설치 하여 이 차이를 보상함으로써 파열을 방지하게 된다.

III 동작 특성

방전실험은 먼저 CO/N<sub>2</sub>/He 의 3종 혼합가스로 하였는데 어떤 가스 조성비에서도 단시간의 방전으로 양전극 및 레이저관이 다갈색의 물질로 심하게 오염되어서 안정된 방전유지가 어려웠다. 이 물질은 CO 분자가 해리되어 생성된 탄소(C)로 생각되어 지는데, 이 현상을 제어하기 위해 미량의 산소(O<sub>2</sub>)를 첨가한 결과 전극 및 레이저관의 오염이 눈에 띄게 개선돼 안정된 방전을 얻을 수 있었다. 그러나 다량의 산소를 흘리면 또 다시 암청색의 물질이 생성되며 안정된 방전유지가 어려웠다.

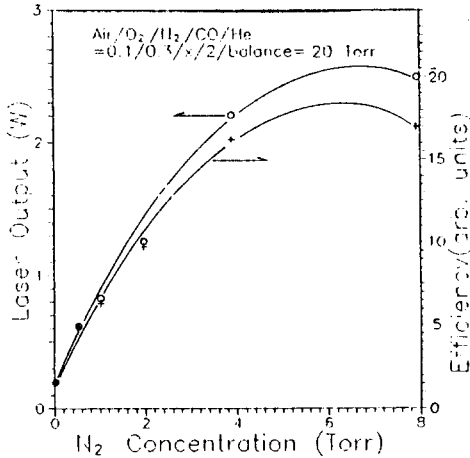


Fig. 2 Dependence of the laser output power and conversion efficiency on the N<sub>2</sub> mole fraction

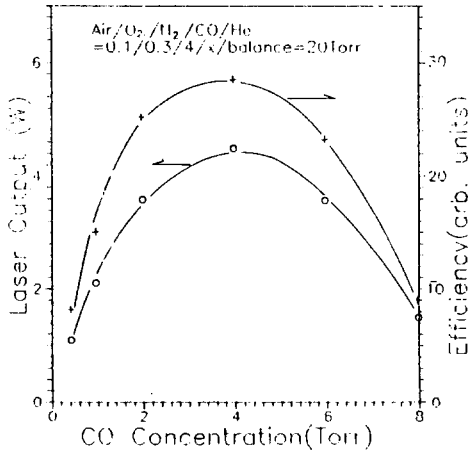


Fig. 3 Dependence of the laser output power and conversion efficiency on the CO mole fraction

그림2는 전압 20 Torr에서 CO, O<sub>2</sub>의 조성비를 일정하게 하고, N<sub>2</sub>의 농도를 변화시킨 경우 (He은 balance)의 레이저 출력과 전기 변환효율의 변화를 나타낸 것이다. N<sub>2</sub>를 첨가하지 않았을 때와 4 Torr 첨가했을 때를 비교하여 보면 출력에서 11배, 전기변환효율에서 10배의 증가를 보이고 있다. 그러나 그 이상 N<sub>2</sub>를 첨가하면 출력 및 효율도 어느정도 증가하나 양쪽 모두 포화되고 있는 것을 알 수 있다.

그림3은 전압 20 Torr에서 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>의 조성비를 일정하게 하고 CO의 농도를 변화 시킨 경우 (He은 balance)의 레이저 출력과 전기 변환효율의 변화를 나타낸 것이다. 레이저 출력 및 효율은 모두 CO 분압의 증가에 따라 상승하나 분압 4 Torr에서 최대치를 보이며 그 이상에서는 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 방전유지 전압 상승에 따른 가스온도의 상승 때문인 것으로 생각되어진다.

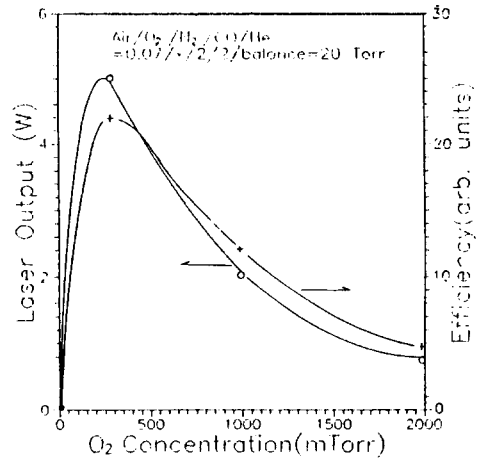


Fig. 4 Dependence of the laser output power and conversion efficiency on the O<sub>2</sub> mole fraction

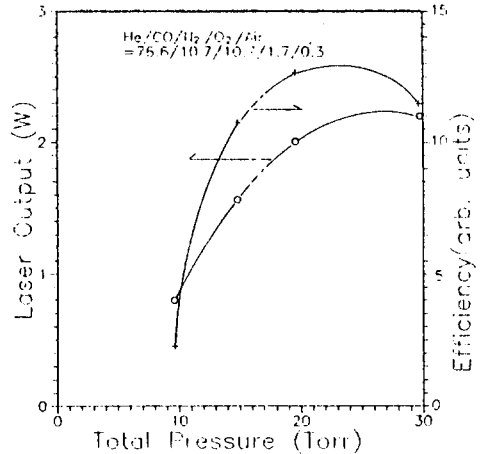


Fig. 5 Dependence of the laser output power and conversion efficiency on the total pressure.

$O_2$  는 그농도가 다른 첨가 가스에 비해 극히 낮음에도 불구하고 출력 및 효율에 미치는 영향이 매우 크다. 그림 4에는 전압 20 Torr 에서  $CO$ ,  $N_2$  의 조성비를 일정하게 하고,  $O_2$  의 농도를 변화시켰을 때 (He 은 balance) 레이저 출력과 전기변환 효율의 변화를 측정한 결과이다.  $O_2$  를 첨가 하지 않았을 경우는 전술한대로 양전극 및 레이저관이 심각하게 오염에 이끄는 방전이 이루어지지 않고 레이저 관을 타고 실험기 끝의 레이저 발진을 관측할 수 없었다. 그러나 이 현상은 소량의  $O_2$  를 첨가함에 의해 극적으로 개선되어 농도 300 mTorr 에서 출력, 효율 모두 최고치를 보이고 있다. 그러나 그 이상의  $O_2$  농도에서는 양쪽 모두 급격히 감소되고 또다른 암갈색의 오염물질이 관측되었다. 출력 효율이 저하는  $O_2$  분자 또는 해리 하여 생긴 0원자에 의한 V-T 완화 때문에 진동에너지가 손실되기 때문인 것으로 생각된다.

실험에 의해 얻어진 최적혼합가스비 Air/  $O_2$  /  $N_2$  /  $CO$  / He = 0.3/1.7/ 10.7/ 10.7/ 76.6 (%)를 이용하여 가스 압력을 변화시키며 레이저 출력 및 효율의 변화를 측정하였는데 그 결과를 그림5에 보인다. 레이저 출력은 가스압력의 상승에 따라 비교적 단조롭게 증가하나 전기변환 효율은 전압 약 20 torr 에서 최고치를 보이며 그 이상에서는 감소하는 것을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 토대로 최대 출력 추출을 시도한 결과 Air/  $O_2$  /  $N_2$  /  $CO$  / He = 0.07/ 0.5/ 6/ 4/ balance = 23 Torr에서 방전전류 33 mA, 방전전압 10.5 kV 에서 출력 16.5 W, 전기변환효율 약 5%를 얻었다.

#### IV 결 론

레이저 자기공명 분광기의 광원으로 이용하기 위해 액체질소로 냉각하는 방전여기 cw  $CO$  레이저를 시험 설계 제작하여 그 동작특성을 조사하였다. 레이저 출력 및 전기 변환효율의 변화를 각 가스압력에 대하여 조사한 결과를 토대로 Air/  $O_2$  /  $N_2$  /  $CO$  / He = 0.07/ 0.5/ 6 / 4 / balance = 23 Torr 의 혼합가스를 이용하여 최대 16.5 W 의 출력 및 효율 5%를 얻을 수 있었다.

본 연구는 과학기술처 시행 특정연구과제의 일환으로 수행되었음.

#### <Reference>

[1] C.K.N. Patel, Appl. Phys. Lett. 7, 246(1965)