

회전반사체를 이용한 탄산가스 레이저의 Q-스위칭

李 憲 周

Q-Switching of the CO₂ Laser Using Rotating Reflector

Lee Heon-ju

Summary

To increase the peak power of CO₂ laser, Q-Switching by the rotating reflector was Performed. The laser was constructed with ID 13mm, 1m length discharge tube and 1.6m long resonator cavity. At the condition of total pressure 6 torr, CO₂:N₂:He=2:3:8 and 15KV, 10mA electric input, the output power was 1.3W. By rotating the total reflector at the speed of 200rps, peak power of 0.55KW and pulse width of 200nsec (FWHM) was observed. The peak power increase was 420 times that of CW case.

序 論

레이저 공진기의 quality factor (Q)를 발전의 문턱치 이하에서 갑자기 문턱치 이상으로 증가시켜 펄스형의 출력을 얻는 Q-스위칭은 높은 첨두출력을 얻기 위해서 뿐만 아니라 분자의 진동 및 회전준위의 특성연구에도 유용하다.(Flynn, et. al., 1966, McCubbin, et. al, 1966) Q-스위칭 방법에는 A-O(Acousto-Optic) 스위치, E-O

(Electro-Optic) 스위치, 가포화흡수체, 회전반사체를 이용한 방법들이 있다. 이중 회전반사체를 이용한 방법은 1966년 탄산가스레이저에 대해 성공한 이래(Kovacs, et. al., 1966), 그 장치의 간편성 때문에 꾸준한 연구의 대상이 되고 있다.(Nundy and Chatterjee, 1982)

본 연구에서는 10.6μm 파장에서 높은 첨두출력을 얻기 위하여, 연속출력 탄산가스레이저 공진기의 전반사경을 회전반사체로 대체하여 Q-스위칭 실험을 수행하였고 그 출력특성을 조사하였다.

實驗裝置 및 方法

실험에 사용된 장치의 개요를 그림1에 보인다.

레이저 발진관은 내경 13mm, 길이 1m인 석영관을 사용하였고, 외부에 냉각수관을 부착하여 관벽의 온도를 항상 일정하게(18°C) 유지되도록 하였다. 전극은 알루미늄으로 제작하여 발진관과 동축으로 설치하였고, 기체분자의 여기를 위하여 인가하는 전압은 포화형 변압기와 정류장치를 조합하여 최고 15KV DC가 되도록 하였으며 변압기의 입력을 슬라이더로 조절할 수 있게 하였고, 전류는 ballast resistor를 통해 최고 10mA로 제한하였다.

레이저 발진을 위한 반투과거울은 투과도 30%, 곡률 반경 10m concave인 ZnSe를 사용하였고, 방전관의 한쪽은 무반사코팅이 된 ZnSe창으로 막았다. 이 반투과거울과 창은 고온의 레이저 매질과 이온충돌 등에 의한 손상을 방지하기 위해 전극에서 20cm를 빼어 설치하였고, 반투과거울은 bellows를 사용한 홀더에 설치하여 마이크로메타로 평행을 조절할 수 있게 했다.

회전반사체는 곡률반경 10m concave로 가공한 유리판에 금을 증착하여, 직경이 3.5cm이고 양면을 대칭이 되도록 납작하게 가공한 높이 2.5cm의 알루미늄 로우터에 접착하여 제작하였다. 이 로우터는 440Hz로 구동되는 동기전동기의 축에 직결조립하였으며, 속도조절은 440Hz 발전기를 구동시키는 직류전동기

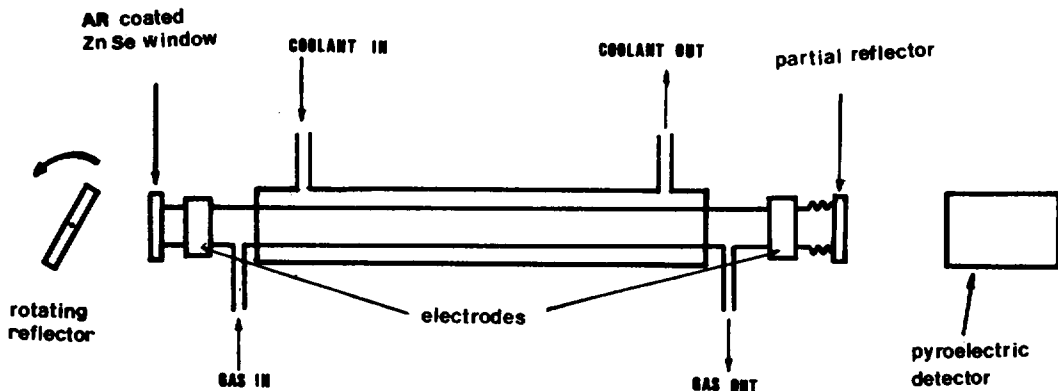


Fig. 1 Schematic Diagram of the Q-Switching Experiment by Rotating reflector

의 전압을 조정하여 행했다. 회전반사체와 전동기는 안전을 고려하여 직경 2cm의 구멍이 뚫린 철판에 넣었고, 이 통의 아랫 부분에는 나사를 장치하여 회전반사체의 높이와 광축정렬이 용이하도록 하였다. 회전반사체와 반투과거울로 이루어진 공진기의 길이는 1.6m이다.

레이저 매질은 CO_2 와 N_2 그리고 He의 혼합기체로서 전체압력 6Torr에서 실험을 수행했고, rotameter와 진공펌프 선단의 밸브를 조절하여 유량비가 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=2:3:8$, 유량은 5 l/min가 유지되도록 하였다.

출력의 측정은 Sciencetech. model 36-0001 thermopile detector와 동사의 362 power/energy meter를 사용하였고, 출력 파형은 Molelectron사의 P3-00 pyrometer를 사용하여 측정하였다. 레이저 발진 스펙트럼은 Optical Engineering사의 CO_2 Spectrum Analyser로 확인하였고, oscilloscope는 Tektronix 466 저장형 oscilloscope를 사용하였다.

실험은 상기한 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=2:3:8$, 전압력 6Torr의 조건에서, 15KV 10mA의 전력에 의해 레이저 매질을 여기시키고, He-Ne 레이저를 써서 광축을 정렬시키고 공진기를 구성하는 회전반사체와 반투과거

울의 평행도를 맞춘 상태에서 회전반사체를 고정시키고 연속출력으로 발진을 시킨 다음, 회전반사체의 회전 속도를 변화시켜가면서 출력펄스의 형태와 에너지, 스펙트럼등을 조사하는 방식을 취했다.

結果 및 考察

탄산가스 레이저에서는 (001) 상태인 상위레이저 준위의 spontaneous lifetime이 수백 μsec 로 stimulated radiative lifetime 보다 길다. 따라서 방전여기에 의해 (001) 상태의 회전준위에 축적된 에너지는 Q값이 스위칭되어 발진상태로 되면 짧은 시간에 (100) 상태로의 천이를 통해 $10.6\mu\text{m}$ 의 레이저 광 펄스로 나타난다. 상위레이저 준위의 분자밀도를 N_2 , 하위레이저 준위의 밀도를 N_1 이라 하고 발진이 일어나지 않을 때의 밀도반전을 $(N_2 - N_1)_0$ 라 하면 stimulated radiative transition을 일으킬 수 있는 분자의 최대수는 $(N_2 - N_1)_0/2$ 가 되고 최대 펄스에너지는

$$Q_{\max} = 1/2 (N_2 - N_1)_0 V h\nu$$

이다. 여기서 V는 매질의 방전체적이고, $h\nu$ 는 방출되는 광자의 에너지로 약 0.125eV에 해당한다.

밀도반전은 이득과 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\alpha = Sh\nu (N_2 - N_1)$$

이고, S는 유도방출의 천이단면적이다. S는 회전평형온도 300°K에서 480cm/J로 주어지는데 (Moore, et. al, 1967), 본 연구의 레이저에 이 관계를 적용하면 $Q_{\max} = 0.8\text{mJ}$ 의 값을 얻는다.

회전반사체의 회전속도는 섬광속도계로 측정한 결과 20rps - 250rps 범위에서 가변적으로 얻었다.

상기한 레이저의 발진조건에서 회전반사체를 고정하고 얻은 연속출력값은 1.3W였는데, 이 값은 기체 조성이나 방전전류 등 변수가 최적화된 것은 아니었다.

반사체의 회전속도를 변화시키면서 출력을 측정한 결과 20rps에서 10mJ/sec였고 속도 증가와 더불어 평균출력도 단조 증가하여 200rps 이상에서는 22mJ/sec로 수렴하였다. 출력 측정시에 시간에 따른 출력 변화가 특히 저속일 때 심하여 최대 40% 정도로 되었

는데 이것은 회전반사체의 진동에 의한 발진조건의 변동에 기인한다고 생각된다. 또 방전여기를 교류로 한 경우에 비해 직류방전의 경우는 반사경 각도가 출력에 미치는 영향이 컸다. 그림2에 Q-스위칭된 출력펄스를 보인다.

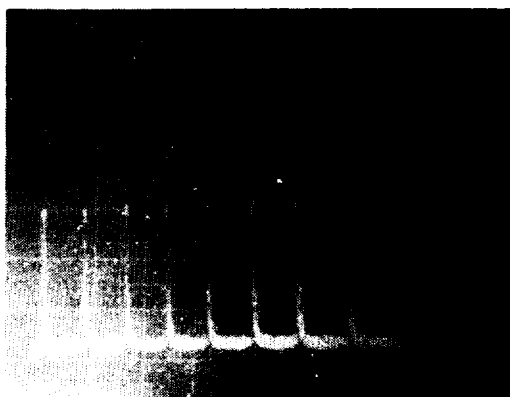


Fig. 2 Q-Switching pulse train. 5m sec/div.

본 연구에 사용된 레이저의 공진기 감쇄시간(cavity decay time) τ 는

$$\tau = \frac{2\ell c}{c L_n(1-L)}$$

로 주어지는데, 여기서 ℓ 은 공진기의 길이(1.6m)이고 c는 광속, L은 공진기 손실(약 0.3)로서, $\tau = 30\text{nsec}$ 로 된다. τ 보다 긴 출력펄스에 있어서는 밀도반전이 출력광으로 효율적으로 전환된다.

레이저 발진이 일어나기 위해서는 회전반사체가 완전 정렬상태에 가까운 허용각도 $\phi/2$ 이내에 들어와야 한다. Sinclar의 계산에 의하면 본 레이저의 경우는 ϕ 가 약 0.5mrad 정도로 되는데 200rps의 경우에 회전반사체가 이 각도를 선회하는데 걸리는 시간은 약 400n sec이다.

그림3(a)는 200rps의 회전속도에서 얻은 펄스 모양으로 500ns/div.의 sweep속도에서 약 200ns의 FWHM을 볼 수 있다. 이때 펄스의 폭이 예측보다 줄어든 것은 회전반사체의 진동에 의한 정렬상태의 변동에 기인하는 것으로 생각된다. 실제 He-Ne 레이저를 회전반사체에 비추었을 때 160rps 이상에서는

반사광이 상하로 넓어지는 것이 관측되었다. 200rps의 경우에 펄스당 에너지는 0.11mJ 정도로 계산이 되는데, 이것은 Q_{max} 로 부터 계산된 0.8mJ보다 적은 값이다. 이 차이는 Q_{max} 가 공간적으로 균일한 이득을 가정했고, 실제 회전반사체에 의한 Q-스위칭에서는 회전반사체가 반투과거울과 정렬이 되어 펄스가 생성되는 기간에도 반사체는 계속 회전이 되고 따라서 모우드 채적도 변동이 있으며 전방전영역을 효율적으로 발진에 참여시키지 못하기 때문이다. 200rps에서는 펄스당 에너지 0.11mJ와 반복치 200ns에서 첨두출력 0.55kw를 얻었다.

그림3(b)는 회전반사체의 주기를 60rps로 했을 때의 출력파형을 나타내고 있다.

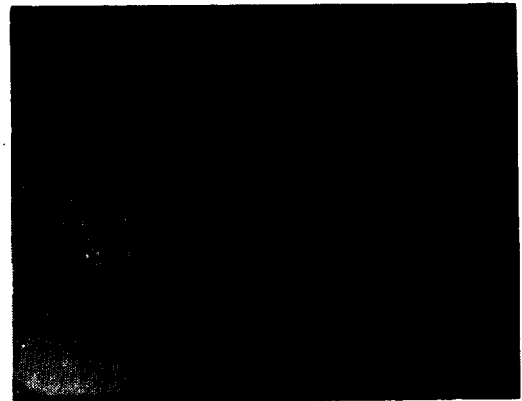
Hellwarth(Hellwarth, 1966)의 계산에 의하면 20τ 이상의 turn-on time에서 이 그림과 같은 두개의 파고를 갖는 펄스가 나타난다고 했는데, 본 레이저의 경우는 $20\tau = 600\text{nsec}$ 이고 turn-on time은 약 1300nsec로서 이 조건에 부합되는 것이다. 이때 나타나는 두번째 파고는 상위레이저 준위의 회전천이와 레이징 매질을 구성하는 질소분자로 부터의 에너지의 공명전달에 의해 나타나는 것으로 생각되는데, 모우드 스위칭 효과를 고려하여 펄스형 방전과 적당한 시간의 지연을 시켜서 Q-스위칭을 행한다면 그 과정의 기구(mechanism)을 더욱 명확히 할 수 있을 것이다.

Q-스위칭된 출력펄스를 스펙트럼 분석한 결과, 10.6 μm 대의 P(18)선에서 발진이 일어남을 확인하였다. 이것은 낮은 이득을 갖는 발진선들에서도 발진이 일어난다는 타문현과 상치되는 결과이다.

본 연구에서는 200rps의 회전반사체 주기에서 연속출력의 경우보다 약 420배에 해당하는 첨두출력을 얻었는데, 이러한 첨두출력의 증가는 높은 첨두출력을 요구하는 동위원소 분리등에 이용할 수 있고, 적절한 감지장치와 조합하면 거리측정제나 레이저레이더 등에도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

結 論

탄산가스레이저의 첨두출력을 증강시키기 위해서



(a)



(b)

Fig.3 Oscilloscope traces of Q-switched pulse 50ns/div.

(a) Rotation speed: 200rps

(b) Rotation speed: 60rps

회전반사체를 이용한 Q-스위칭을 수행했다. 내경 13mm, 길이 1m의 방전관에 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 2:3:8$ 의 비율로 혼합기체를 채우고 매질의 전압력을 6Torr로 한 다음, 직류방전입력 15KV, 10mA의 조건에서 연속출력 1.3W를 얻었고, 회전반사체의 속도를 20-250rps로 변화시키며 출력을 측정하여 평균출력이 단조 증가하는 것을 알았으며 200rps에서의 평균출력이 22mJ/sec. 펄스당 에너지가 0.11mJ 첨두치는 0.55KW로 약 420배의 첨두치증가가 관측되었다.

낮은 회전속도에서는 두개의 피크를 가진 펄스가 나타났는데, 이것은 다른 문헌과도 일치하는 결과로서 주로 질소분자로 부터의 에너지전달에 의한 것으

로 생각된다.

회전반사체를 이용한 Q-스위칭의 장치의 간편성, 높은 침투치 증가는 동위원소 분리, 레이저 레이더 등에 활용이 기대된다.

摘 要

CO₂ 레이저의 침투출력을 높이기 위해 회전반사체

를 이용한 Q-스위칭을 행하였다. 레이저는 내경 13mm, 길이 1m인 방전관과 1.6m 길이의 공진기로 구성하였다. 전압력 6Torr, CO₂:N₂:He=2:3:8의 조건에서 15KV, 10mA의 방전입력으로 1.3W의 출력을 얻었다. 전반사경을 200rps로 회전시켰을 때, 펄스폭 200nsec 침투출력 0.55kw의 펄스를 얻었다. 이때 발진 파장은 10.6μm대의 P(18)에 해당되었고, 침투치는 연속출력에 비해 420배 증가되었다.

引 用 文 獻

- Flynn, G. W., M. A. Kovacs, C. K. Rhodes and A. Javan, 1966. Vibrational and rotational studies using Q switching of molecular gas lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 8; 63-65.
- Hellwarth, R. W., 1966. Q modulation of lasers, in *Lasers*, Vol.1, A. K. Levine, Ed., pp.255-276. M.Dekker, Inc., New York
- Kovacs, M. A., G. W. Flynn and A. Javan, 1966. Q-switching of molecular laser transitions. *Appl. Phys. Lett.*, 8; 62-63.
- McCubbin, T. K. Jr., R. Darone and J. Sorrell, 1966. Determination of vibrational-rotational line strengths and widths in CO₂ using a CO₂-N₂ laser. *Appl. Phys. Lett.*, 8; 118-119.
- Moore, C. B., R. E. Wood, B. L. Hu and J. T. Yardley, 1967. Vibrational energy transfer in CO₂ lasers. *J. Chem. Phys.*, 48; 4222-4229.
- Nundy, U. and U. K. Chatterjee, 1982. Theory of rotating mirror Q-switching in a helical transversely excited CO₂ laser. *J. Appl. Phys.*, 53; 8501-8507.
- Siclair, D. C. 1964, Choice of mirror curvatures for gas laser cavities, *Appl. Opt.*, 3; 1067-1071.