

회전 다면경을 이용한 도파관 CO₂ 레이저의 Q-스위칭

최종운 · 김용평

한국표준과학연구원 레이저그룹

강응철 · 김재기

국방과학연구소

(1994년 11월 18일 받음)

연속출력 1.2W인 도파관 CO₂ 레이저를 설계 제작하고 회전 다면경을 이용하여 Q-스위칭 동작시킴 그 특성을 측정하였다. 내경 2mm, 길이 200mm인 BeO 튜브를 사용하여 도파관 CO₂ 레이저를 제작한 뒤, Q-스위칭을 수행하기 위해서 레이저의 전반사경 위치에 회전 다면경을 설치하였다. 다면경을 7,559 RPM으로 회전시킬 때 발생된 Q-스위칭된 레이저의 펄스폭은 120 ns이고, 각 펄스의 첨두출력은 250 W이었다.

I. 서 론

CO₂ 도파관 레이저는 비교적 소형의 장치로도 높은 동작효율에 고출력이 얻어지기 때문에 휴대가능한 소형의 적외선 광원으로 많이 개발되어 사용되고 있다.^[1,2] 특히 발전파장이 대기 상에서 흡수율이 작은 소위 "광학적인 창(8~14 μm)"에 위치하기 때문에 지구 대기에 관한 한 실험 및 측정을 위한 LIDAR용 광원으로 각광 받고 있다.^[3,4] 이와 같은 측정시 목표물이 멀리 떨어져 있는 경우에는 큰 출력을 갖는 레이저를 사용하거나 높은 감도를 갖는 검출기를 사용해야 한다. 그러나 대기의 잡음 환경 하에서 높은 감도의 검출기를 사용하는 것은 잡음도 함께 검출되어 신호처리계에 부하로 작용할 수 있으므로, 큰 출력의 레이저를 사용하는 것이 유리하다. 출력이 큰 값을 갖는 대출력의 펄스를 만들기 위해서는 레이저에서 나오는 에너지를 크게 하거나 레이저 펄스의 시간 폭을 짧게 해야 한다. 이와 같은 목적으로 레이저에서 펄스형 출력을 얻을 수 있는 방법 중의 하나가 Q-스위칭 기술이다. CO₂ 레이저를 Q-스위칭 하는 방법으로는 회전다면경식,^[5] 포화흡수식,^[6] 전기광학식,^[7] 광음향식^[8] 등이 사용되고 있다. 이 방법 중에서 회전다면경식은 레이저 공진기 내의 고정된 반사경 위치에 다면경이나 프리즘을 두고 이를 회전시키는 Q-switching 기술로서, 비교적 쉽게 동작시킬 수 있어 여러 Q-switching 방법 중에 가장 먼저 시도되었다. 이 방법은 장치 자체가 대상이 되는 레이저의 발전파장에 민감하지 않아

같은 장치로 여러 종류의 레이저에 쉽게 적용할 수 있고, 기타 방식에 비하여 기구적으로 튼튼하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법은 모터의 회전속도에 한계가 있으므로 다른 방법에 비하여 낮은 스위칭 속도를 가지므로 효율이 낮고 모터의 회전으로 인하여 진동이 발생하므로 다른 광학계에 영향을 줄 수 있는 단점을 가지고 있다.

Q-스위칭을 펄스형의 레이저 레이더에 응용할 경우, 영상 레이더와 같은 용도를 위해서는 전기광학식이나 광음향식과 같은 고반복율의 Q-스위칭이 요구되나,^[9] 거리측정과 같이 낮은 반복율의 Q-스위칭이 요구되는 응용분야에서는 구조가 간단한 회전다면경식을 적용할 수 있다. 이를 도파관 CO₂ 레이저에 적용할 경우에는 회전경의 반사면 폭이 작아지므로, 회전경을 구동시키기 위한 모터도 작은 것을 사용할 수 있다. 이와 함께 회전에 의한 진동발생도 현저히 줄어들게 된다.

본 연구에서는 열전도율이 뛰어나면서 도파관 손실이 극히 작은^[10] BeO를 사용하여 도파관 CO₂ 레이저를 제작한 뒤, 회전다면경을 이용하여 Q-스위칭을 하고 그 특성을 조사하였다.

II. Q-스위칭 레이저 장치의 설계 및 제작

1. 도파관 CO₂ 레이저 설계 및 제작

도파관 레이저는 기존의 레이저와는 달리 공진기 내에서 도파손실(waveguide loss)과 결합손실(coupling

loss)이 있으므로,^[11,12] 이 두 가지 손실의 합이 가장 적게 일어나도록 설계 해야한다. 즉 도파관 CO₂ 레이저는 비유전체로된 도파관 속에서 방전을 유지시킬 뿐만 아니라 도파관을 따라서 레이저광이 전파하는 레이저이다. 그러나 일반적인 광섬유 도파관 경우와 달리, 공동 유전체 도파관 경우에는 코어부분의 굴절률이 클래딩 부분보다 낮으므로 광전파는 부분반사를 통해서 진행된다. 이때 발생하는 손실을 도파손실이라 하는데, 본 실험에서는 10.6 μm에서 도파손실이 극도로 작은 BeO(Beryllia, 99.5%)를 도파관으로 사용하였다. 또한 BeO는 열전도(thermal conductivity)가 20℃에서 260~300 Wm⁻¹K⁻¹ 정도로 뛰어나므로 CO₂ 레이저를 공냉식으로 동작시킬 수 있는 장점이 있다.

결합손실은 도파관 끝에서 출발한 광의 위상면과 반사경의 곡률면이 일치하지 않아 발생하는 손실로써, J. J. Degnan 등이 발표한 공진기 구조와 결합손실에 대한 조건을^[11,12,13] 적용하였다. 즉 도파관 입구에서 결합손실을 최소화하는 방법은 다음 3가지 경우이다.

1. 도파관에 거의 밀착되는 큰 반경의 거울 경우 (거의 평면경일 경우)
2. 큰 반경을 갖는 거울의 곡률 중심이 도파관 입구에 있을 경우
3. α=2.415 값 근처에서 도파관 입구에서 곡률의 절반되는 위치에 놓였을 경우

위 방법에 따라서 레이저 반사경의 위치에 대한 조건을 살펴보면, 출력경의 경우에는 손실을 가장 적게 할 수 있는 방법은 Degnan의 스칼라 회절이론 case 1에 준하여 도파관 입구에서 9.9 mm 이내로 설치하면 되는데, 본 실험에서는 반사도 80%, 직경 24.5 mm인 ZnSe 반사경을 도파관 입구에서 9 mm 떨어진 곳에 설치하였다.

Q-스위칭용 회전다면경을 설치하기 전에 도파관 CO₂ 레이저의 발진 유무를 확인하기 위하여 회전다면경 대

신에 평면반사경을 사용하였다. 평면반사경은 도파관 입구에 멀리 떨어진 곳에 위치하게 되므로 Degnan의 스칼라 회절이론 case-3에 준하여 설치하였다. 또한 회전다면경의 경우에 각반사면에 곡률을 줄 수 없으므로 도파관과 평면반사경 사이에 ZnSe 렌즈를 설치하였다. ZnSe 렌즈의 위치는 기존 상용의 ZnSe 렌즈를 사용해야 하는 관계로 공진기 결합 손실이 1.3% 보다 크게 될 초점거리 254 mm, 반경 12.7 mm인 ZnSe 렌즈를 도파관 입구에서부터 127 mm 떨어진 위치에 고정시켜서 사용하였다. 또한 렌즈의 중심과 공진기의 광축을 일치시키기 위해서 XY translator 윗면에 부착하여 사용하였다.

선편광모드만 발진하도록 ZnSe Brewster 창을 도파관 한쪽 끝에 부착하였다. Brewster 창은 2 mm 두께의 ZnSe 결정평행판을 20×20 mm²로 가공한 뒤 NORLAND사의 optical adhesive 61을 사용하여 Marco 세라믹 위에 부착시켰다.

작은 손실로 공동 유전체 도파관에 광을 전송하기 위해서는 도파로의 크기는 전송파의 파장의 100배 이상의 직경이어야 한다. 따라서 10 μm 전후의 파장에서 발진하는 CO₂ 레이저를 제작하기 위해서는 1 mm 이상의 직경을 갖는 도파로를 사용해야 한다. 본 실험에서는 가공상의 편리성을 고려하여 외경 20 mm, 길이 200 mm인 BeO 봉에 2 mm 직경의 도파로가 뚫린 형태로 미국의 Goodfellow사에 주문 제작하여 사용하였다.

방전용 전극은 BeO 도파관에 직접 설치하는 것이 결합효율면에서 유리하나, BeO 도파관을 가공할 때 발생하는 분말이나 먼지들의 독성이 대단히 강하기 때문에, 본 실험에서는 그림 1에서와 같이 BeO 도파관의 양끝에 기계 가공이 쉬운 Marco 세라믹(Machineable ceramic)을 부착한 뒤 전극을 설치하였다. 전극은 도파관의 양쪽 끝에서 6 mm되는 위치에 양극과 음극을 설치하여 글로우(glow) 방전이 일어나도록 제작하였다. 전극의 재질은 방전 기계와의 반응 및 sputtering이 매우 작은 것으로

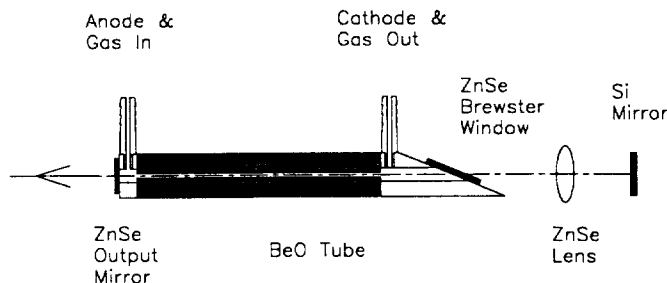


그림 1. Schematic diagram of waveguide CO₂ laser.

알려진^[10] 스테인레스 스틸 ST-304를 사용하였고, 전극의 중앙에 2 mm의 구멍을 뚫어 레이저 매질용 가스의 입출구로도 사용할 수 있도록 하였다. 전극, 도파관, Marco 세라믹 부품사이에 기밀(seal)을 유지하기 위해서 torr-seal을 사용하여 서로 접착하였다.

레이저 방열판은 BeO 도파관을 200×80×20 mm 크기의 알루미늄판 2장 사이에 반경 10 mm의 도파관용 홈을 판 뒤, 도파관을 위치시키고 두장의 판을 볼트를 사용하여 고정하였다. 알루미늄 판은 레이저 방열판 뿐만 아니라 도파관 지지대로 역할을 하도록 하기 위해서, BeO 도파관과 알루미늄판 사이에 열전도성 실리콘 그리스를 칠하여 도파관에서 발생하는 열이 잘 전도되도록 하였다.

이와 같은 조건하에서 설계 제작된 레이저의 개략도는 그림 1과 같다. 가스 주입장치는 고압가스 실린더, 레귤레이터, 가스 밸브, 유량조절용 Niddle 밸브, 압력계, 로터리식 진공펌프 등으로 구성되어 있다. 레이저 매질용 가스는 CO₂, N₂, He를 사용하였고, 가스주입은 실린더에 담긴 고압가스를 레귤레이터를 사용하여 약 20 psi 정도의 압력으로 낮춘 뒤, 가스밸브와 Niddle 밸브를 사용하여 혼합비를 정밀 조절한 다음 공진기 내로 주입하였다. 가스 혼합비율을 조절하는 방법은 가스 밸브를 열어 한가지의 가스만을 흘리면서, 각 가스의 혼합비율과 비례하는 압력이 되도록 니들밸브를 조절하는 방법을 사용하였다. 혼합된 가스는 레이저 공진기 내에서 방전되고, 사용이 끝난 가스는 진공펌프를 통과하여 대기 중으로 흘려보내도록 하였다. 그리고 모든 가스가 흐르는 상태에서 공진기 입구에서 압력과 출구에서 압력의 평균값을 레이저 매질가스의 총압력으로 기록하였다.

전원공급기는 최대 15 kV, 25 mA의 용량을 가진 Glassmarm High Voltage사의 Er Series를 사용하였고, 800 k Ω , 80 W의 Ballast 저항을 공진기와 직렬로 연결하여 사용하였다.

2. Q-스위칭 장치

회전다면경은 알루미늄 판이나 유리판을 회전축에 평행한 다면체로 잘라 각면을 반사면으로 만든 것으로, 반사면의 수는 6, 8, 12, 24, 48면 등이 있는데, 본 실험에서는 6면경을 사용하여 실험하였다. 회전다면경을 도파관 레이저에 적용할 경우에는 반사면 폭이 3 mm 정도의 작은 것을 사용가능하므로, 회전다면경을 구동시키기 위한 모터도 작은 것을 사용할 수 있다. 따라서 회전에 의한 진동발생도 현저히 줄어들게 된다.

레이저의 전반사경 위치에 회전다면경을 설치하고 이

를 회전시키면, 회전다면경의 반사면이 공진기의 광축에 대하여 수직이 아닌 경우에는 레이저 공진기의 손실이 대단히 크므로 밀도반전이 되더라도 발진하지 못한다. 그러나 회전경의 어느 한 면이 광축에 대해 수직이 되는 순간에는 공진기 손실이 급격히 작아지면서 Q 값은 커지므로 쌓여진 에너지가 한순간에 출력된다. 회전다면경을 사용한 경우에는 위와 같은 과정을 통하여 Q-switching이 일어난다.

도파관 레이저를 Q-스위칭 하기 위해서 도파관 CO₂ 레이저에 설치된 전반사경을 회전다면경으로 교체하였다. 다면경의 위치는 Degnan의 회절이론 case-3에 준하여 곡률반경이 254 mm인 ZnSe 렌즈를 도파관 입구로부터 127 mm 떨어진 곳에 설치하고, 그 뒤쪽에 회전다면경을 설치하였다. 또한 3축을 조절할 수 있는 고정대를 사용하여 회전다면경을 레이저 광축에 정렬 시켰다.

본 실험에 사용한 회전다면경은 레이저 프린터(금성사, 300DPI) 용도로 개발된 것으로 직경 34.6 mm인 원통 주위에 폭이 3 mm인 6개의 반사면을 가지고 있고, 다면경의 회전수는 7,559 RPM으로 고정된 것을 사용하였다. CO₂ 레이저의 발진 파장인 10.6 μ m 전후에서 반사율을 높이기 위해서 다면경의 각면에 금을 증착하여 사용하였다. 이 다면경을 사용하여 발생시킬 수 있는 Q-switching 펄스의 최대 반복율은 7,559/60×6=800 Hz이다. 그림 3은 완성된 Q-스위칭된 도파관 CO₂ 레이저의 사진이다.

III 실험 및 측정

제작된 도파관 CO₂ 레이저는 별도의 냉각장치를 사용하지 않고 BeO 도파관의 주위를 알루미늄 방열판을 부착하는 정도의 방열만으로도 충분한 냉각효과를 얻었다. 발진 초기에는 공진기 열팽창으로 출력변동이 심하였으나 40분 정도 경과 후에는 약 16%의 출력변동이 있었다. 평면경을 사용하여 도파관 CO₂ 레이저의 동작을 확인후 Q-스위칭 동작을 위해서 평면경을 회전다면경으로 대체하여 실험하였다.

회전다면경에 의한 Q-switching을 관찰하기 위한 실험 장치의 구성은 그림 2와 같다. Q-switching펄스의 모양을 관찰하기 위해서 미국 EG & G Judson사에서 제작한 액체질소 냉각형 MCT(Mercury Cadmium Telluride)검출기를 사용하였다. 발진선을 관찰하기 위해서 레이저 스펙트럼 분석기를 설치하였으나 Q-스위칭 시에는 스펙트럼 분석기가 검출가능한 광량보다 작은 광량이 입사되어 Q-스위칭시의 발진선은 확인하지 못하였다. 레이저

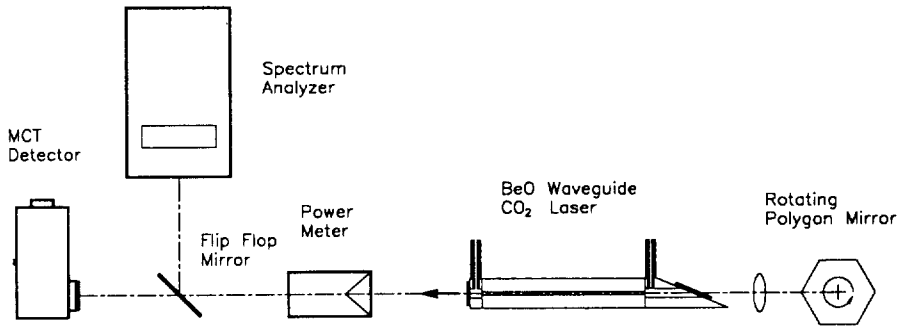


그림 2. Schematic diagram of Q-switched laser using a rotating polygon mirror.

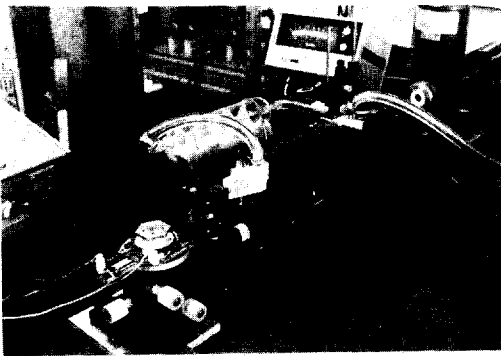


그림 3. Picture of Q-switched laser using a rotating polygon mirror.

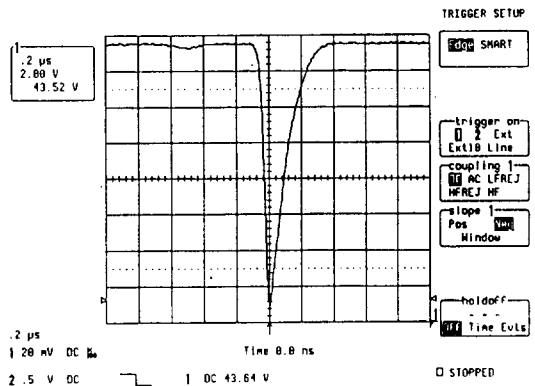


그림 5. Pulse shape of a Q-switched pulse Pulse width : 120 ns, Peak Power: 250 W Gas mixing ratio: He:N₂:CO₂=5:3:2, 85 torr Power supply: 12 kV, 13 mA

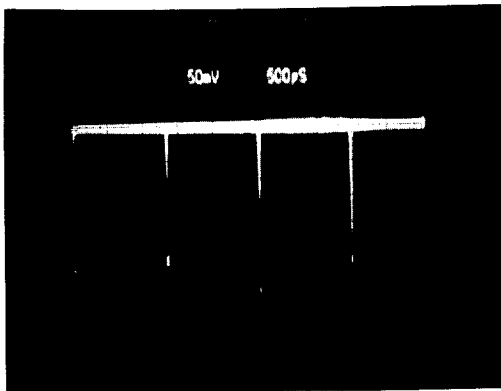


그림 4. Pulse shape of a Q-switched pulse RPM of polygon mirror: 7,559 RPM, Interval of pulsE: 13.8 μ m.

방전을 위해 공급된 전원은 12 kV, 13 mA이고, 매질용 가스는 He, N₂, CO₂를 일반적인 연속발진 도파관 레이저에서의 적정 혼합비인 5:3:2의 비율로 85 torr 정도로 공급하였다.

이와 같은 조건하에서 다면경의 면이 공진기의 광축에 대해서 수직이 되도록 조절하고, 레이저를 연속 발진시키면 약 1.2 W의 레이저 출력을 얻을 수 있었다. 같은 조건하에서 다면경을 7,559 RPM(레이저 프린터 내에서 사용속도)으로 회전시킬 때 그림 4와 같이 펄스반복율 13.8 μ s, 펄스폭 120 ns로 Q-switching됨을 확인하였다. 그림 5는 연속적으로 Q-switching된 펄스중 1개의 펄스만을 관찰한 것으로 펄스폭이 120 ns(FWHM)임을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 연속출력 1.2 W인 BeO 도파관 CO₂ 레이저를 제작한 뒤, 회전 다면경을 사용하여 제작한 도파관 레이저를 Q-스위칭 하였다. 회전다면경은 레이저 프린터용으로 개발된 것을 사용하였고, 6개의 반사면을

가진 회전다면경이 고정속도인 7,559 RPM으로 회전될 때 Q-스위칭된 레이저의 펄스폭은 120 ns(FWHM)이고, 첨두 출력은 250 W이었다. 사용한 회전다면경의 특성으로 인하여 7,559 RPM 이외의 회전속도에서 Q-스위칭 현상을 관찰하는데 어려움이 있었으나, 가변속도를 필요로 하지 않는 Q-스위칭 응용분야에는 본 실험에서 사용한 방법이 충분히 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 말

본 연구 수행을 위하여 회전다면경을 제공하여 주신 금성사 정보시스템연구소 최훈부씨에게 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Degnan, Appl. Phys., **11**, 1(1976).
 [2] S. Marcus and J. W. Caunt, Rev. Sci. Instrum.

49(10), 1410(1978).
 [3] M. J. Mayor *et al.*, Appl. Opt., **17**, 885(1978).
 [4] C. Bradley Moore, Applied Optics, **4**, 2, 252(1965).
 [5] M. A. Kovaes, G. W. Flynn and A. Javan, Appl. Phys. Lett., **8**, 62(1966).
 [6] O. R. Wood, and S. E. Schwarz, Appl. Phys. Lett., **11**, 88(1967).
 [7] J. E. Kiefer and A. Yariv, Appl. Phys. Lett., **15**, 26(1969).
 [8] D. T. Davis, D. L. Smith, and J. S. Koval, IEEE J. Quantum Electron., **QE-8**, 846(1972).
 [9] R. J. Hull and S. Marcus in National Aerospace and Electronics Conference, 662(IEEE, New York, 1978).
 [10] 김창우, 김재기, 새물리, **31**, 3, 248(1991).
 [11] J. J. Degnan and D. R. Hall, IEEE J. Quant. Electron., **QE-9**, 901(1973).
 [12] 이민희, 새물리, **23**, 2, 148(1983).
 [13] 조재홍, 강선모, 채경, 장수, G KRAMER, 새물리, **31**, 3, 242(1991)

Simple Q-switched Waveguide CO₂ Laser Using Polygon Mirror

Jong Woon Choi and Yong Phyng Kim

Laser Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea

Eung Cheol Kang and Jae Ki Kim

Agency for Defense Development, P.O. Box 35, Daejeon 300-600, Korea

(Received: November 18, 1994)

Q-switched Waveguide CO₂ laser using polygon mirror were constructed and their output characteristics were measured. Waveguide was made of the beryllium oxide tube of inner diameter of 2 mm, outer diameter of 20 mm, and length of 200 mm. A flat ZnSe output coupler of 80% reflectivity was placed on the 9 mm distance from the end of the waveguide. Convex lens was used to reduce the coupling loss between the polygon mirror and the waveguide. The polygon mirror was located behind of convex lens. With this condition, continuous output of the laser were measured as 1.2 W. In the Q-switched mode, pulse width 120 ns were measured with rotational speed 7,559 RPM, and peak power of up to 250 W.