

펄스 CO2 레이저 출력의 CO 해리 영향에 대한 해석

(THEORETICAL ANALYSIS ON CO DISSOCIATION EFFECT OUTPUT POWER OF PULSED CO2 LASER)

조순천, 이주의
(Cho, Soon Chen, Lee, Choo Hie)

경희대학교 공과대학 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, College of Engineering, Kyung Hee Univ.)

1. 서론

방전 여기 CO2 레이저는 1964년 Patel 에 의해 발전이 성공된 이후 20여년이 지나는 동안 고효율(전기적효율 30%, 양자효율 40%) 및 대출력을 얻을수 있었을 뿐만아니라 사용 매질의 저렴한 가격과 최급의 용이함 때문에 재료 가공 및 의학, 레이저 핵융합 분야와 대기중에서 흡수가 적어 통신 분야등에 폭넓게 사용되고 있다. 이러한 CO2 레이저에서 효율을 높이기 위한 여러 첨가가스의 영향에 대해 보고[1]가 되어있다. 전형적 비활성 가스인 He와 N2는 각각 가스 자체를 냉각시키는 작용과 효율적인 에너지 전달작용을 하며, H2(5%)와 NO(0.2%) 등은 소량의 첨가에 의해 출력이 증가되지만 NO, O 등은 출력을 감소시킨다. 그러나 펄스나 CW CO2 레이저에서는 전자와의 충돌에 의해 해리작용을 일으켜 CO 분자가 생성되며 이러한 CO 분자에 대해 CO2 레이저의 영향에 관한 보고[2]가 있었으며, 특히 Sealed-Off CO2 레이저에 많은 연구[3,4]가 있었다. 본 보고에서는 펄스 CO2 레이저에서의 CO의 해리 과정 및 CO 해리율에 의한 밀도 반전 및 비 대칭(001)진동 레벨의 완화 시간(Relaxation Time)에 따른 출력의 영향에 대한 이론적 해석을 하였다.

2-1. 시뮬레이션 코드

이론적 해석을 위하여 A.R.DAVIES[5] 등이 제안한 방법을 사용하였다. 그림[1]은 CO2, N2, CO 분자의 진동레벨을 나타내고 있으며 1, 2, 3은 CO2 분자의 대칭(Symmetric), 굽곡(Bending), 비

대칭(Asymmetric) 진동모드이고 4, 5는 각각 N2와 CO의 진동레벨을 표시한다. 각 진동레벨의 에너지를 시간의 함수로 표현하였고 덧붙여 광자비율 방정식을 포함하여 출력을 계산하였다. 전자에 의한 CO와 N2의 진동레벨은 직접 여기가 되며 CO2의 (00v) 레벨과 N2의 진동레벨, 그리고 CO2의 (00v)와 (110) 레벨과 CO의 진동레벨이 공진 결합을 하고 있다. 자세한 설명은 [5]에 보고되었다.

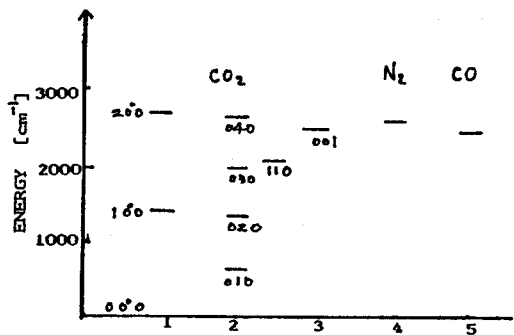
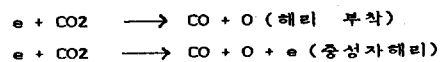


그림 1. Schematic diagram of the vibrational levels of the CO2, N2, and CO molecule.

2-2. CO의 해리과정

CO의 해리과정은 Sono [6] 등이 제안한 방법을 이용하였다. CO2 분자는 전자의 해리 부착(dissociative attachment)과 중성자(neutral) 해리에 의해 CO가 생성되며 이들의 반응식은 다음과 같다



중성자 해리 계수는 해리 부착 계수보다 크며 또한 초기의 음이온 (negative ion)은 two-body 해리 부착 반응과 three-body 부착반응에 의해 생성된다. CO의 해리과정을 계산하기 위해 모두 63개의 반응식을 사용하였으며, Runge-Kutta 방법을 이용하여 방정식을 시간 변화에 대해 풀었다. 그림[2]는 입력 변화에 따른 CO의 생성을 나타낸 것으로 입력의 증가에 따라 CO도 증가하였다.

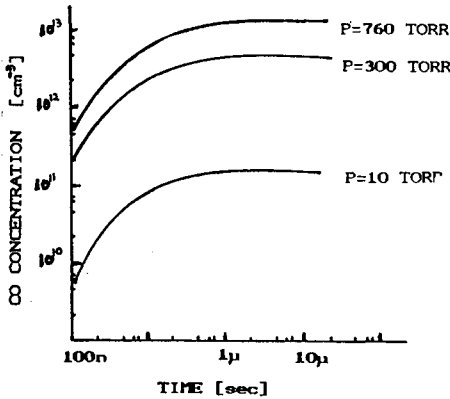


그림 2. Variation with time of the CO concentration in a 1-1-8 CO₂-N₂-He mixture.

2-3. CO의 영향

CO₂ 분자의 수 밀도에서 CO의 해리는 CO₂ 분자 수밀도를 감소시키며 또한 그에 따른 CO의 형성은 레이저 동작에 중요한 영향을 미친다. 이것은 Sealed Off 레이저의 밀도반전과 승력이 flowing 시스템의 밀도반전과 승력보다 작은 것으로도 알 수 있다. 해리율 δ 를

$$\delta = N_{CO} / (N_{CO} + N_{CO2}) * 100 [\%]$$

로 표현하면 그림[3]은 δ 의 변화에 대한 CO₂의 상준위 레벨과 하준위 레벨의 밀도반전과 최고승력(peak power)을 나타낸다. δ 가 커짐에 따라 밀도반전은 $\delta = 1\%$ 에서 1.7% 증가한 후 그 이상의 계속 감소하여 $\delta = 30\%$ 에서는 23% 감소하며 밀도반전에 대한 최고승력의 변화는 $\delta = 1\%$ 에서 2% 증가하나 $\delta = 30\%$ 에서는 40% 감소한다.

또한 그림[4]는 방전시간에 대한 CO₂(0 0 1) 레벨의 완화시간(Relaxation time)을 δ 에 대해 나타낸 것이다. 그림에서도 알수있듯이 δ 의 값이 커

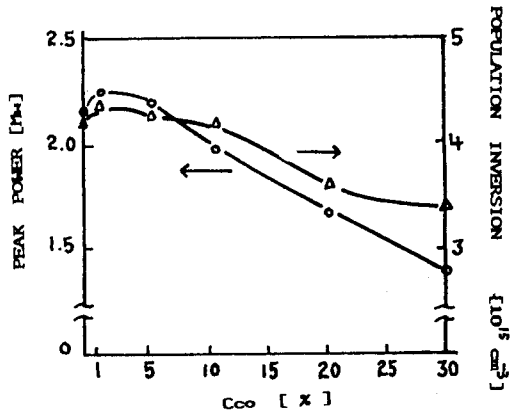


그림 3. Dependence of the Population Inversion and Peak Power upon the Percentage of the CO Concentration in the Discharge 1:1:8 CO₂:N₂:He Mixture.
 $[C_{CO} = N_{CO} / (N_{CO} + N_{CO2}) * 100]$

질수록 완화시간도 증가한다.

그림[5]는 δ 값 변화에 따른 최고 승력의 완화시간을 보여주고있다. 역시 여기에서도 δ 값의 증가에 따라 완화시간도 1%까지는 감소하다가 그 이상의 값에서는 증가한다. CO₂ 방전 레이저에서 에너지 전달을 위한 버퍼가스로 쓰는 N₂분자와 비슷한 승률단면적을 가지고, CO₂(0 0 1)레벨과 공진 감압을 하므로 CO₂-CO-He일때는 CO분자는 펄핑가스로 작용한다. 하지만 CO₂-CO일때보다 CO₂-N₂의 밀도반전이 1.5 - 2 배 정도[5] 크다.

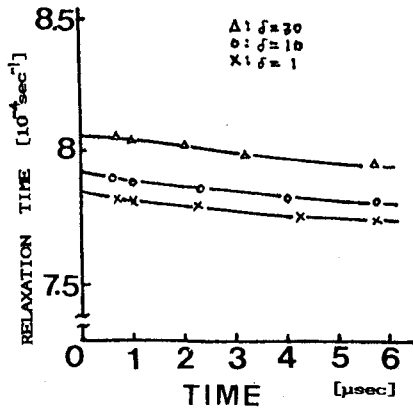


그림 4. Dependence of the relaxation time of CO₂(0 0 1) level for the discharge time at different CO concentration. (1-1-8 CO₂-N₂-He, 1 atm)

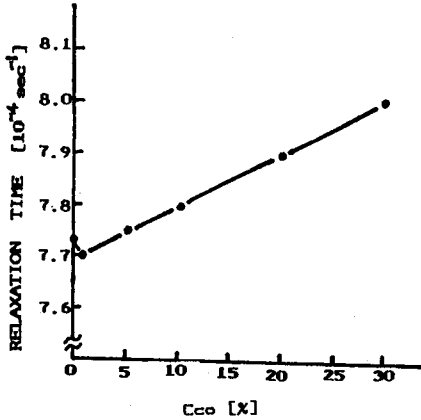


그림 5. Dependence of CO Concentration for the Relaxation Time of (0 0 1) Level at Different Peak Power.

그러므로 CO₂-CO-N₂-He의 혼합 가스에서는 CO분자가 1%일때까지는 슬러율을 증가시키지만 그 이상에서는 CO₂의 밀도수를 감소시키는 원인도 있지만 CO₂(0 0 1) 레벨의 완화시간을 크게하여 슬러율을 감소시킨다.

3. 결 론

펄스 CO₂ 레이저에서 CO분자의 영향을 조사하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 만들었고, CO₂:N₂:He=1:1:8, 1atm에서 레이어를 δ를 0 - 30%까지 변화시켜 상준위 (0 0 1)레벨과 하준위 (1 0 0)레벨과의 밀도반전과 최고슬러율, 그리고 (0 0 1)레벨의 완화시간에 대하여 구하였다. δ = 1%일때 δ = 0보다 밀도반전은 1.7%, 최대슬러율은 2% 증가하였고, δ = 30%일때는 밀도반전은 22%, 최대슬러율은 40% 감소 하였다.

참 고 문 헌

1. P. Biftzinger, D.A. Laborde, et al., IEEE J.QE., vol. QE-11, pp317-323, July, 1975
2. E.N. Lotkots, V.N. Ochkin, and N.N. Sobolev, IEEE J.QE, vol. QE-7, pp396-402, Aug 1971.
3. A L S Smith and J M Astin, J. phys. D vol. 7, pp314-322, 1974.
4. D.S. Stark, P.H. Cross, and H. Forster, IEEE J.QE, vol. QE-11, No9, pp774-778 SEPT, 1975.
5. A.R. Davies, K. Smith and R.H. Thomson, Comp. Phys. Comm. 10, pp117-132, 1975
6. S. Ono and S. Teii, J. Phys. D: Appl. Phys vol. 17, pp1999-2008, 1984.
7. B.F. Gordietz, N.N. Sobolev, et al, IEEE J.QE, vol. QE-4, pp796-802, NOV, 1968.