

**창 립**  
 40주년학술대회  
 논문 87-K-20-9

**헬스 CO2 레이저의 Kinetics에서  
N2분자의 영향**

조 순 천<sup>\*</sup>, 이 주 희  
경희대학교 전자공학과

The Effect of N2 Molecules on Kinetics of Pulsed CO2 Laser

CHO, SOON - CHEON , LEE, CHOO - HEE

Dept. of Electronic Eng. Graduate School Kyung Hee University

**Abstract**

Theoretical studies of concentration for negative ion and neutral species in electrical excitatoin discharge have been conducted at  $CO_2-N_2-He=1-7-12$ , total pressure 20torr. With a computer model of neutral and negative ion processes we have calculated that the concentration of co was less than 20% when expected molecular.

**I. 서 론**

전기 방전어기 CO2 레이저는 최근 가급 및 근사용의 대출력으로부터 의료용과 같은 저출력까지 폭넓게 응용되고[1-2] 있음은 잘 알려져있으며 이렇게 응용되는 레이저는 대부분 Sealed-off 형태를 사용하고있다. 그러나 Sealed-off 형태를 사용할때 전자와의 충돌에 의한 해리반응으로 인하여 생성되는 분자와 해리분자에 전자와의 부각으로 쉽게 생성되는 음이온종이 계속 축적되므로 출력을 감소시키며 방전특성을 불안정하게 하는 등의 문제점[3]이 제시되어 왔으며 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 상당히 많은 연구[4-6]들이 활발히 진행되어 왔었다.

J.F.Prince[6] 등은 저압력(~20 torr)의 CO2 - N2 - He 혼합가스에서 중요한 음이온 종류 ( $NO_2^-, O_2^-, CO_2^-$  등) 등을 관찰하였으며 H<sub>2</sub>와 CO 분자를 혼합가스에 첨가모 CO<sub>2</sub> 분자의 해리평형(Dissociation Equilibrium)을 할수 있다고 [9] 제시하였다.

본 논문에서는 CO2 - N2 - He 혼합가스에서 N2분자에 대한 영향을 무시한 수평모를 계산하여 N2분자를 포함하였을 때와의 차이를 비교하여 수평모에 대한 N2분자의 영향을 조사하였다.

**II. 본 론**

CO2 레이저의 CO2 - N2 - He 혼합가스는 CO2 와 N2분자가 전자와의 충돌에 의해 CO , O 그리고 N 분자가 생성되는 해리반응과 해리된 분자와 전자와의 부각(Attachment)에 의한 음이온 생성반응이 일어나 저출의 CO2 - N2 - He가스 분자이외에 많은 종류의 분자(CO , O, N, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub> 등) 와 음이온( $CO_2^-, CO_2^-, O^-, O_2^-$  등) 등을 포함[4] 하게된다. 이러한 많은 종류의 생성분자 및 이온종을 해석하기 위하여 이온화, 해리, 해리부각, 재결합, 이방종의 반응을 고려하였으며 표1 에 나타내었다.

Table 1. The various reaction and their typical rate constants used for calculation  
T<sub>g</sub> = 300 K; T<sub>e</sub> = 1 eV

REACTION	RATE CONSTANT	SOURCE
<b>Dissociation attachment</b>		
$CO_2 + e \rightarrow CO + O^-$	$K_1 = 5.0 E-13$	[7]
$O_2 + e \rightarrow O + O^-$	$K_2 = 3.0 E-12$	
<b>Negative ion detachment</b>		
$CO + O^- \rightarrow CO_2 + e$	$k_3 = 7.0 E-10$	[7]
$O + O^- \rightarrow O_2 + e$	$k_4 = 2.0 E-10$	
$CO_2^- + CO \rightarrow 2CO_2 + e$	$k_5 = 5.0 E-13$	
$O_2^- + O \rightarrow O_3 + e$	$k_6 = 3.0 E-10$	
<b>Negative ion body reaction</b>		
$CO_2^- + O \rightarrow O_2^- + CO_2$	$k_7 = 8.0 E-11$	[7]
$O_2^- + O \rightarrow O_2 + O^-$	$k_8 = 1.0 E-11$	
$CO_2^- + O \rightarrow CO_2^- + O_2$	$k_9 = 2.0 E-10$	
<b>Negative ion threebody reaction</b>		
$O^- + CO_2 + N \rightarrow CO_2^- + N$	$k_{10} = 1.3 E-28$	[7]
$O_2^- + CO_2 + N \rightarrow CO_2^- + N$	$k_{11} = 1.5 E-29$	
<b>Neutral dissociation</b>		
$CO_2 + e \rightarrow CO + O + e$	$k_{12} = 1.6 E-11$	[7]
$O_2 + e \rightarrow O + O + e$	$k_{13} = 1.9 E-12$	
<b>Neutral recombination</b>		
$O + CO + N \rightarrow CO_2 + N$	$k_{14} = 2.0 E-36$	[4]
$O + O + N \rightarrow O_2 + N$	$k_{15} = 3.0 E-33$	
$O + O_3 \rightarrow O_2 + O_2$	$k_{16} = 9.0 E-15$	
$O + O_2 + N \rightarrow O_3 + N$	$k_{17} = 5.0 E-34$	
$CO + O \rightarrow CO_2 + hv$	$k_{18} = 2.0 E-20$	[4]
<b>Charged particle recombination Electron positive ion dissociative recombination</b>		
$NR + e + E \rightarrow N + R$	$NR = 6.6 E-7$	[7]
<b>Positive ionnegative ion body recombination</b>		
$PNR + e \rightarrow P + R$	$PNR = 2.0 E-7$	
<b>Positive ionnegative ion threebody recombination</b>		
$KNR + e + E \rightarrow K + NR$	$KNR = 1.0 E-25$	[7]

또한 전자종의 보존 방정식[5] 은

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = n_e n k_i - n_e n_p k_r^e - n_e n k_a + n_n n k_d + n_s$$

- $k_a$  : 전자 부착 비율상수
- $k_i$  : 전자 이온화 비율상수
- $k_d$  : 전자 이탈 비율상수
- $k_r^e$  : 전자- 양이온 재결합 비율상수

으로 나타낸다. 그리고 균일 방전에서 벽으로 확산되는 영향을 무시하고 수밀도가 각각 종류들의 생성과 소멸에 의해서 평형된다고 하면 음이온과 양이온의 비율방정식은

$$\frac{\partial n_n}{\partial t} = n_e n k_a - n_n n k_d - n_n n_p k_{ir}$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = n_e n k_i - n_e n_p k_r^e - n_n n_p k_{ir}$$

$k_{ir}$  : 음이온과 양이온의 재결합 비율상수  
 과같이 표현된다. 표1의 반응상수들과 전술한 방정식을 결합하여 시간전계에 대한 함수로서 각 종류들의 수밀도를 계산할수 있는 비율 방정식을 형성하여 그 결과를 그림1과 2에 나타내었다.

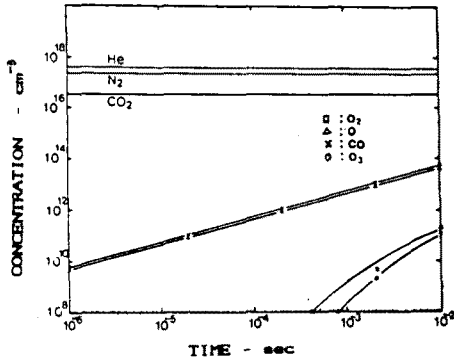


FIG. 1. Calculated temporal evolution of neutral species in a 20 torr CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> - He mixture in the proportions 1 - 7 - 12.

그림1은 CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> - He = 1 - 7 - 12 인 혼합비로 전체 20 torr일때 중성입자들의 수밀도를 표현한 것이다.

CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He 분자들의 수밀도 변화는 없는 것으로 하였으며 CO<sub>2</sub> 분자와 전자의 충돌에 의한 해리반응으로 발생하는 CO와 O의 수밀도는 10<sup>-6</sup> 부터 선형적인 증가를 하여 10<sup>-2</sup> 시간에서 CO<sub>2</sub> 분자 수밀도의 약 0.8 X까지 된다. 또한 중성입자와 이온과의 반응에 의해 생성되는 O<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 수밀도는 약 ~10<sup>11</sup> 정도를 갖는다. 이런 종류들은 재반응 및 전자교환이 빠르기 때문에 전자 수밀도보다 큰 수밀도를

갖는데 이러한 반응과정은 혼합가스를 고관할 때 필요하다.

그림2는 그림1과 같은 조건에서 음이온에 대한 수밀도를 나타낸것이다. 그림에서 알수있듯이 기본적인 음이온은 CO<sub>2</sub> 분자에 전자가 해리부착에 의해 생성되는 O<sup>-</sup>이다. 또한 O<sup>-</sup>와 CO<sub>2</sub> 분자와의 삼체충돌(Three body Collision)에 의해 CO<sub>2</sub><sup>-</sup>를 형성하게된다.

큰 낮은 조건에서는 CO<sub>2</sub><sup>-</sup>가 가장 큰 수밀도를 가지는 음이온임을 알수있었다

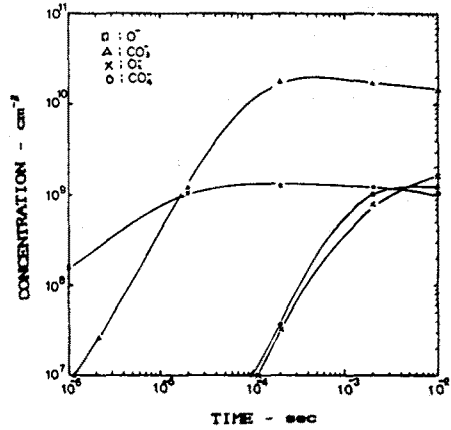


FIG. 2. Calculated temporal evolution of negative ions for the conditions of FIG. 1.

### III. 결 론

전기 방전어기 CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> - He 혼합가스에서 CO<sub>2</sub> 분자의 해리 및 이온화에 의해 생성되는 중성입자 및 음이온들의 수밀도를 계산하였고 N<sub>2</sub>분자의 영향을 포함하였을때의 수밀도와의 차이를 비교하였다. N<sub>2</sub>분자에 의해 생성되는 NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O의 중성입자와 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등의 음이온 수밀도를 포함시키지않고 CO<sub>2</sub> 분자만을 고려했을때의 CO, O의 수밀도는 20 X 정도 감소하였고 O<sub>2</sub>나 O<sub>3</sub>는 상당히 큰값으로 감소되었다. 또한 음이온들의 수밀도 비교에서도 CO<sub>2</sub><sup>-</sup>도 O<sub>2</sub>나 O<sub>3</sub>의 수밀도 차이만큼 감소되었으나 O<sup>-</sup>는 오히려 증가하였다. 이것은 CO<sub>2</sub> 분자의 해리부착에 의해 생성된 O<sup>-</sup>가 N<sub>2</sub>분자와의 반응이 없어 소멸되지 않았기 때문이다.

### IV. 참 고 문 헌

1. L.V.Sutter, "The Advent of Portable CO<sub>2</sub> Laser Offers New Capabilities in Many Surgical Areas", Laser & Applications, pp101 - 104, 1985

2. "Guide to Commercial Laser" Laser & Applications, 1986
3. R.A. Haas, "Plasma Stability of Electric Discharges in Molecular Gases", Phys. Rev A8, pp1017-1043, 1973
4. W.J. Wiegand and W.L. Nighan, "Plasma Chemistry of CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He Discharges", Appl. Phys. Lett 22, pp583-586, 1973
5. W. L. Nighan and W.T. Wiegand, "Influence of Negative Ion Processes on Steady-State Properties and Striations in Molecular Gas Discharges", Phys. Rev A10, pp922-945, 1974
6. J.F. Prince and A. Garecadden, "Negative Ion Species in CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He Discharge", Appl. Phys. Lett 27, pp13-15, 1975
7. H. shields, A.L.S. Smith and B. Norris, "Negative Ion Effects in TEA CO<sub>2</sub> Laser", J. Phys. D: Appl. Phys 9, pp1587-1603, 1976
8. P.W. Pace and M. Lacombe, "A Sealed High-Rep etition-Rate TEA CO<sub>2</sub> Laser", IEEE, J. QE-14, pp263-274, 1978