

N₂ 가스에서 전자의 수송현상에 대한 입자적 해석

The particle analysis on electron transport coefficient at N₂ gas atmosphere

⁰이용신, 심재학, 고팡철, 강형부

한양대학교 전기공학과

⁰Yong-Sin Lee, Jae-Hak Shim, Kwang-Cheol Ko, Hyung-Boo Kang

Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

Electron transport coefficients are calculated in nitrogen over the E/p range 50~700 V cm⁻¹ Torr⁻¹ by a Monte Carlo method, using a set of electron collision cross sections measured by authors.

고려해야 하지만, 본 연구에서는 전자와 중성기체 사이의 충돌만을 가정한다. 사용하는 난수는 계산기로 발생시킨 [0,1]사이의 의사난수이다.

해석모델은 갭 길이가 1cm인 평행판전극으로 하였고, TOF법을 사용하여 50 ≤ E/p ≤ 700 사이의 범위에서 계산을 수행하였다.⁽¹⁾

1. 서론

기체의 방전을 해석하는데 있어서 주로 고려되는 방전기구로는 전자에 의한 전리, 팽전리 및 이온에 의한 이차전리등이 제안되어 왔다. 이중 전자에 의한 전리가 방전을 일으키는 일차요소로서 가장 중요하게 고려되어 왔다. 따라서 전자에 의한 전리를 정량적으로 해석해야 할 필요가 있으며, 이를 실험이나 Boltzmann equation 등을 사용하여 구할 수 있으며, 이외에 난수를 이용하여 전자의 거동을 해석하고 전리계수를 구하는 방법도 제안되었다. 본 연구에서는 이 방법을 사용하여 전리계수를 구하고 실험치와 비교하여 그 타당성을 고찰한다.

2. 계산방법

몬테칼로법은 계산기에서 발생된 난수를 사용하여 대상을 확률적으로 해석하는 방법이다. 전자의 수송현상을 해석하는 방법은

i) 인가된 전계에 의해 운동하는 전자의 궤도를 계산

ii) 충돌까지의 거리 또는 시간을 결정

iii) 충돌의 종류 판정

iv) 충돌후 충돌 종류에 따라 전자의 산란방향과 에너지를 결정

등으로 구성된다. 위의 과정중 ii)~iv)의 과정 중에 난수가 사용된다. 실제 전리과정은 여기분자의 작용을

2.1. 전자의 궤적계산

전계가 인가된 공간에 위치한 전자는 전계의 반대 방향으로 가속된다. 이때 전자는

$$m \frac{dv}{dt} = qE \quad (1)$$

단, m:전자의 질량, q:전자의 전하량, E:전계에 의해 기술된다.

2.2. 충돌의 판정

전자가 운동중에 기체분자와 충돌할 확률은

$$P_{dt} = Nq_T(v) \Delta t = \nu(v) \Delta t \quad (2)$$

단, N:기체의 분자수밀도, q_T(v):충돌 단면적,

ν(v):충돌 주파수

이며, 이 충돌확률이 발생된 난수보다 크면 충돌했다고 판정한다.

2.3. 충돌 종류의 판정

충돌의 종류는 탄성충돌, 비탄성충돌(여기,전리,부착 등)로 나뉘며, 충돌시 전자의 속도(또는 에너지)에 의해 정해진다. 입사전자의 에너지 ε에서 탄성충돌 단면적을 Q_s(ε), 전리충돌 단면적을 Q_i(ε), 여기충돌 단면적을 Q_e(ε)이라 하면, 전충돌 단면적은

$$Q_T(\epsilon) = Q_s(\epsilon) + Q_i(\epsilon) + Q_e(\epsilon) \quad (3)$$

이며, 각 충돌 단면적의 비와 난수 ξ를 대응시켜

$$\xi \leq Q_s(\epsilon) / Q_T(\epsilon) \dots \dots \dots \text{탄성충돌}$$

$$Q_s(\epsilon) / Q_T(\epsilon) < \xi \leq (Q_s(\epsilon) + Q_e(\epsilon)) / Q_T(\epsilon)$$

... 여기충돌 (4)

$\xi \langle (Q_e(\epsilon) + Q_{ex}(\epsilon)) / Q_T(\epsilon) \rangle \dots$ 전리충돌로 판정한다.

2.4. 충돌후 전자의 에너지 및 산란방향

충돌후 전자가 갖는 에너지는 탄성충돌인 경우에는 에너지 변화가 없는 것으로 하였고, 비탄성 충돌인 경우에는 각 충돌의 threshold에너지 만큼의 에너지를 입사시 에너지에서 뺀 에너지를 갖고 운동하는 것으로 하였다. 각 충돌의 threshold에너지는 전리 충돌 16[eV], 해리 충돌 10[eV], C^2N_v 여기 충돌 11[eV], $B^2\Sigma_v^+$ 여기충돌 18.75[eV]로 하였다.⁽²⁾ 계산에 사용된 단면적을 그림1에 나타내었다.

충돌후 전자의 산란은 등방산란으로 가정하여, 산란방향이 입사방향에 영향을 주지 않으므로 난수를 사용하여 계산하였다.

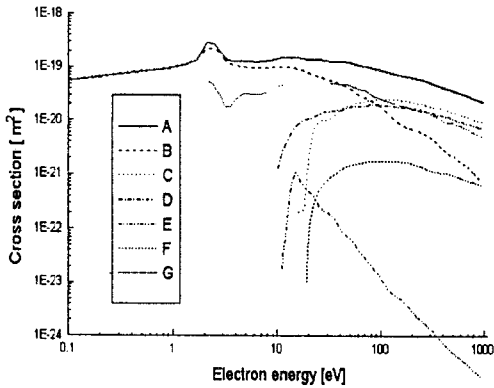


그림 1. 계산에 사용한 충돌 단면적. A : 전 충돌 단면적, B : 운동량 변환 단면적, C : 전리 단면적, D : 해리 단면적, E : 2nd positive emission 단면적, F : 1st negative emission 단면적, G : 전 충돌 단면적에서 B~F 단면적을 뺀 단면적

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림2는 MCS에 의해 구한 전자의 전리계수와 실험값을 비교한 것이다.

$E/p > 100$ 인 구간에서는 실험값과 일치하고 있으나 $E/p < 100$ 인 구간에서는 차이가 나타나고 있다. 이는 전자가 갖는 에너지가 작은 구간에서는 계산에 사용한 단면적 이외에, 진동·회전 여기 충돌 등의 충돌이 일어나는 경우가 많은데, 이런 단면적을 고려하지 않은

결과로 이해된다.

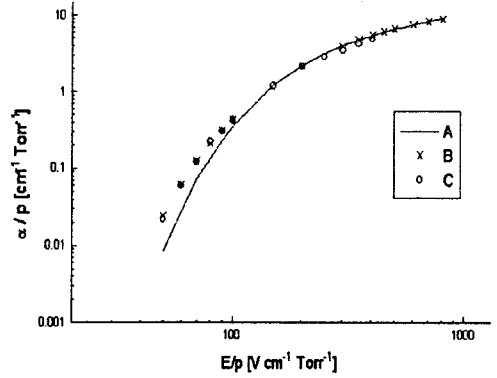


그림 2. N₂가스에서 전자의 충돌에 의한 전리 계수. A : present (MCS), B : Haydon et al.⁽³⁾, C : Kontoleon et al.⁽⁴⁾

그림3은 전자의 drift속도를 나타낸 것이다. 실험에 의한 측정치보다 작은 결과를 나타내는데 이는 계산에서 전자의 산란이 등방산란이라고 가정한 것이 주된 요인인 것으로 생각된다.

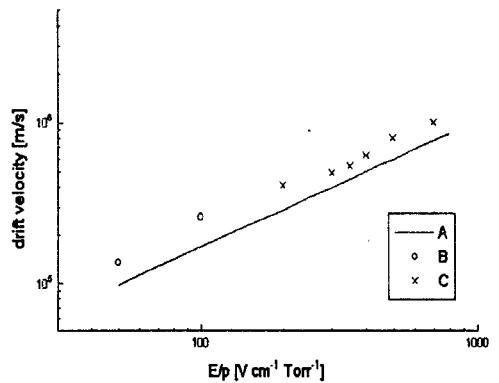


그림 3. 전자의 drift 속도. A : present (MCS), B : Blevin et al.⁽⁵⁾, C : Schlumbohm⁽⁶⁾

그림4는 전자가 충돌 사이에 갖는 평균 에너지를 나타낸 것이다. $E/p < 100$ 인 범위에서는 실험치보다 크고 $E/p > 100$ 범위에서는 실험치보다 약간 작다. 이는 전리계수의 경우와 같이 진동·회전 여기 단면적 등의 많은 충돌 단면적을 고려하지 않은 결과로 풀이된다.

그림5는 전자의 특성 에너지를 나타낸 것이다. 특성

에너지는 D_T/μ 로 정의된다. D_T 는 횡방향 확산계수이며 μ 는 전자의 이동도이다. $E/p < 200$ 인 범위에서는 이론값보다 약간 작고 $E/p > 200$ 인 범위에서는 이론값보다 약간 크게 나타난다.

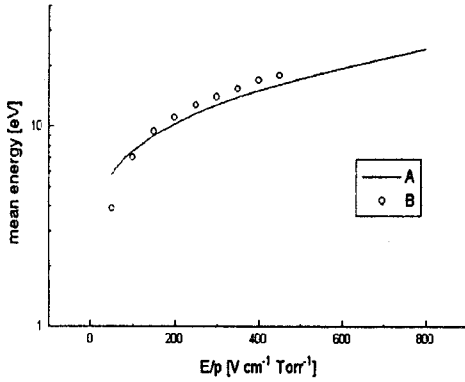


그림 4. 전자의 평균 에너지. A : present (MCS), B : Kontoleon et al.

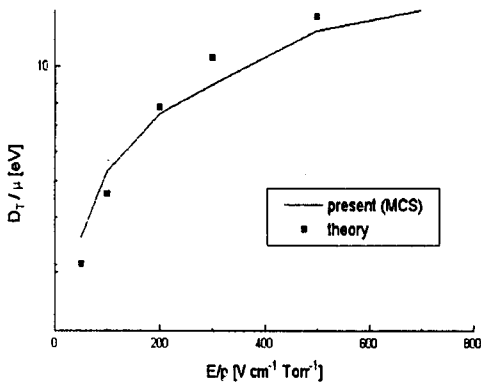


그림 5. 전자의 특성 에너지

그림 6은 $E/p = 50$, $E/p = 500$ 에서 전자가 갖는 에너지 분포를 나타낸 것이다. E/p 가 작은 곳에서는 분포의 범위가 좁게 나타나고 E/p 가 큰 곳에서는 분포가 넓게 퍼짐을 알 수 있다.

4. 결론

몬테칼로법을 사용하여 전자의 전리계수, 평균에너지, drift속도, 에너지 분포를 구하였다. 실험치와 약간의 오차가 발생하는 부분이 있으나 보다 많은 충돌 단

면적을 고려하고 비등방 산란의 경우를 고려하면 더욱 정확한 값을 얻을 수 있다고 생각된다.

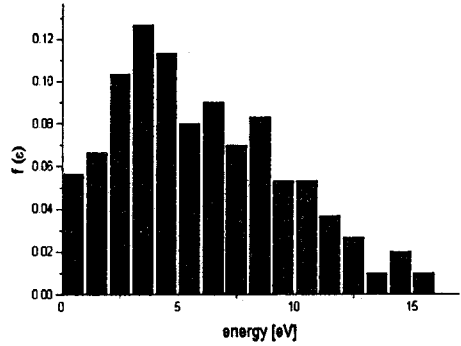


그림 6(a). $E/p = 50$ [$V\text{cm}^{-1}\text{Torr}^{-1}$]에서의 에너지 분포

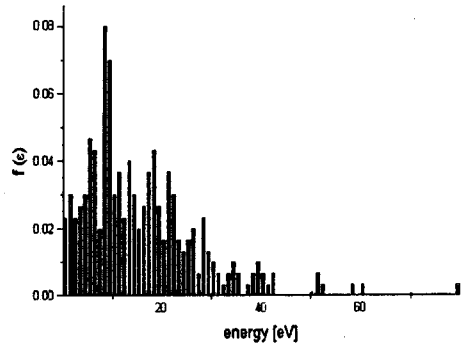


그림 6(b). $E/p = 500$ [$V\text{cm}^{-1}\text{Torr}^{-1}$]에서의 에너지 분포

5. 참고문헌

1. 氣體放電 シミュレーション 140호 (1974)
2. Y. Itikawa, M. Hayashi, A. Ichimura, K. Onda, K. Sakimoto, K. Takayanagi, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 15, No. 3, 985-1010, (1986)
3. S. C. Haydon, O. M. Williams, J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 9, 523-536, (1976)
4. N. Kontoleon, J. Lucas, L. E. Virr, J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 6, 1237-1246, (1973)
5. J. Fletcher, I. D. Reid, J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 13, 2275-2283, (1980)
6. H. Schlumbohm, Z. Phys., Vol. 184, p. 492 (1965)