

2차원, 2유체 MHD 식을 이용한 플라즈마 디스플레이 패널의 미소 방전 특성 해석

최 경철^o, 황 기웅
서울 대학교 전기 공학과

Numerical Analysis of Micro-Discharge in Plasma Display Panel Using 2-Fluid, 2-Dimensional MHD equations

Kyung Cheol Choi, Ki-Woong Whang
Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

We have investigated the micro-discharge in plasma display panel using 2 dimensional 2 fluid MHD equations. Plasma display utilizes the physical phenomena of the normal glow or abnormal glow and is considered to be able to provide the largest display area among various flat panel. 2 fluid, 2 dimensional Magneto-Hydro-Dynamic equations are applied to Computational field of $100 \times 800 \mu\text{m}^2$. Time varying glows and after-glows were investigated for 11 μsec . We obtained the distributions of the microscopic variables such as the density, temperature, velocity of Ne+Ar0.1% gas plasma. During the first 6 μsec , glow discharge due to DC pulse was investigated. Time varying phenomena of after-glow was also investigated during the last 5 μsec . From results, it was found that the driving efficiency of a DC Plasma Display Panel could be improved when the diffusion of ions and electrons are controlled by the pulses applied to the auxiliary anode.

1. 서론

고선명 (High-Definition) TV 用 디스플레이 소자로 CRT 를 대체하기 위한 평판 디스플레이의 기술 개발 경쟁이 치열하며, 이들 중 플라즈마 디스플레이 패널은 대면적 (40 inch 이상) 디스플레이 소자로 유망하다. 그러나 플라즈마 디스플레이 패널은 그 효율성 때문에 상업적 성공에 많은 문제점을 갖고 있다. (1) 또 상업화를 위한 연구 에 치우친 플라즈마 디스플레이 소자 개발 경쟁은 그 패널 내부의 미소 방전인 글로우 및 애프터 글로우 (after-glow) 에 대한 정확한 해석을 못 하고 있으며, 그 방전 영역이 수 백 μm^2 정도의 작은 영역 방전 이기 때문에 그 측정에서도 어려움이 따르고 있다. 70 년대와 80 년대 그 미소 방전을 AC 플라즈마 디스플레이에 적용하여 해석한 논문이 있으나 (2, 3, 4) 그 이후로 이에 대한 논문이 거의 나오지 않고 있다.

본 논문은 DC 펄스 방전으로 발생하는 글로우를 해석하여 시간에 따른 하전 입자들의 각 변수 즉 밀도, 온도, 속도등을 계산하였으며, 보조 전극에 가해 주는 펄스가 미치는 영향에 관심을 두어 살펴 보았다. 미소 방전 해석에는 2차, 2유체의 MHD식을 유한 차분법 (Finite Difference Method) 에 적용하였다.

2. 플라즈마 디스플레이의 모델

1) 계산 영역 및 계산 펄스 파형

고선명 TV에 적용되는 플라즈마 디스플레이 패널 한 셀 (cell) 의 구조를 살펴 보면 여러 가지 형태가 있다. 예를 들면, NHK 에서 개발한 DC펄스 메모리 (pulse memory) 플라즈마 디스플레이의 planar구조 셀 (5, 6)과 히로시마 대학에서 개발된 면 방전형 (Surface Discharge) 형 구조 (7) 등이 있다. 본 논문에서는 DC 펄스에 의해 구동되는 플라즈마 디스플레이의 한 셀을 선택하여 해석하였다. (8, 9)

한 셀의 구조를 그림 1 (a)에 나타 내었으며 그 것에 대한 계산영역을 그림 1 (b)에 나타 내었다. 전체 계산 영역을 $100 \times 800 \mu\text{m}^2$ 로 취하였고 양극을 중심으로 그 단면을 직각 좌표로 분할하였다. 그림 2는 양극 및 음극에 가해주는 펄스 파형을 나타낸 것이다. 그림 2 (a)는 양극에 가하는 펄스로 100KHz을 기준으로 하였다. 펄스 한 주기인 10 μsec 중 duty ratio를 반으로 하여 5 μsec 동안은 글로우 현상을 나머지 5 μsec 동안은 애프터 글로우 현상을 계산하였다. 그 전에 write 펄스와 음극에서 가해주는 scan 펄스의 전압차에 의해 초기 방전이 형성되게 하였다. 그 시간은 1 μsec 으로 제한 하였다. 그림 2 (b) 가 음극에 가해 주는 scan 펄스의 파형과 전압을 나타 내고 있다.

배경 가스의 압력은 500 torr를 기준으로 하였으며 중성 기체의 흐름은 없는 것으로 가정 하였다. 또 초기의 글로우가 일정하게 분포 하도록 가정하여 초기화 한 후 write 펄스에 의한 방전을 1 μsec 동안 계산하였다.

2) 하전 입자의 지배 방정식

글로우 방전으로 발생하는 하전 입자들은 LTE (Local Thermal dynamic Equilibrium) 상태를 유지 하지 못 하므로 이온과 전자의 운동을 각각 따로 고려해야만 한다.

먼저 전자의 동적 운동을 지배하는 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot (n_e V_e) = S_e \quad [1]$$

$$n_e m_e \left(\frac{\partial V_e}{\partial t} + (V_e \cdot \nabla) V_e \right) = -en_e E - \nabla P_e - R_e \quad [2]$$

$$\frac{n_e}{\gamma - 1} \left(\frac{\partial T_e}{\partial t} + V_e \cdot \nabla T_e \right) + n_e T_e \nabla \cdot V_e = \nabla \cdot (k_e \nabla T_e) + Q_e \quad [3]$$

식 (1)은 전자의 연속 방정식 (Continuity equation) 을 나타낸다. 이 때 전자의 이온화와 재결합에 대한 값을 $N_e \cdot Ar 0.1\%$ 혼합 가스의 값으로 주었다. (10) 식 (2)는 전자의 운동량 보존을 나타내는 식이다. 이 식의 왼쪽 첫 번째 항은 시간 변화에 따른 전자 속도의 변화를 나타내고 있다. 이 항은 $\Delta t = 10^{-9}$ sec 이고 또 펄스 방전 형태이므로 다른 항에 비하여 작은 값이므로 무시할 수 있다. 왼쪽의 두 번째항은 convection항이고 오른쪽의 첫 번째항은 전기장에 의해 전자가 받는 힘을 나타낸다. 오른쪽의 두 번째항은 압력 차에 의해 전자가 받는 힘이고 세 번째 항은 충돌에 의한 운동량 전달을 나타낸다. 식 (3)은 전자의 에너지 보존을 나타내는 식이다. 오른쪽의 첫 번째 항은 열전도에 의한 손실을 두 번째는 충돌에 의한 에너지 전달을 나타내고 있다. 위의 식 (2), (3)에서 점도 (Viscosity) 에 의한 운동량 변화와 에너지 변화는 무시하였다. 그리고 위 식에서 사용된 전달 계수 및 충돌에 관계된 항은 뒤쪽에서 설명하겠다.

다음은 이온을 기술하는 방정식을 나타내었다.

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \nabla \cdot (n_i V_i) = S_i \quad [4]$$

$$n_i m_i \left(\frac{\partial V_i}{\partial t} + (V_i \cdot \nabla) V_i \right) = e n_i E - \nabla P_i - R_i \quad [5]$$

$$\frac{n_i}{\gamma - 1} \left(\frac{\partial T_i}{\partial t} + V_i \cdot \nabla T_i \right) + n_i T_i \nabla \cdot V_i = \nabla \cdot (x_i \nabla T_i) + Q_i \quad [6]$$

이온을 기술하는 방정식 역시 앞에서 설명한 전자를 기술하는 방정식의 구성과 같다.

다음은 위의 전자 및 이온을 기술하는 방정식에 사용된 전달 계수 및 충돌에 관한식과 그 외에 계산에 필요한 식들을 나열하였다. (10, 11)

$$\nabla \cdot E = e / \epsilon (n_i - n_e) \quad [7]$$

$$P_a = n_a T_a \quad [8]$$

$$S_a = n_a \nu_i - \alpha_a n_e n_i \quad [9]$$

$$R_a = -m_a n_a \nu_{an} v_a \pm m_e n_e \nu_{ei} (V_e - V_i) \quad [10]$$

$$Q_a = \sigma E^2 - 3 m_e / m_n n_n \nu_{an} (T_e - T_n) - 3 m_e / m_i n_i \nu_{ei} (T_e - T_i) \quad [11]$$

$$Q_i = 3 m_e / m_i n_i \nu_{ei} (T_e - T_i) \quad [12]$$

$$\nu_{an} = 4/3 n_n \sigma_{cr} (8 T_{an} / \pi m_a)^{0.5} \quad [13]$$

$$x_{an} = \text{const. } n_a T_a / m_a \nu_{an} \quad [14]$$

$$\sigma = n_e e^2 / m_e \nu_{en} \quad [15]$$

$$\nu_i = 4\gamma(2/\pi m) n_n a (k T_e)^{1.5} \times \text{Exp}(-\epsilon_i/kT_e) [1 + \epsilon_i/kT_e] \quad [16]$$

식 (7)은 poisson 식을 나타내며 방전에 의한 플라즈마 내부의 전기장을 재분포 시키는 역할을 한다. 식 (8)은 상태 방정식을 나타낸다. 여기서 이온 및 전자의 온도는 [eV] 단위로 사용된다. 위 식들의 첨자 a는 이온일 경우 i로, 전자일 경우 e로 표현하면 된다. 식 (9)의 이온화 및 재결합을 나타내는 식이다 (10). 식 (10)은 전자 및 이온이 얻고, 잃은 운동량에 관한 식이다. (10, 11) 이 때 '-'는 전자가 운동량을 잃은 것을 나타내며 '+'는 이온이 운동량을 얻은 것을 나타낸다. 약 전리된 플라즈마 내에서는 하전입자와 중성 기체 사이의 충돌이 지배적이다. 식 (11)은 전자의, (12)는 이온의 충돌에 의한 에너지 전달을 나타낸다. 이 때 $T_i = T_n$ 이므로 이온과 중성 기체 사이의 에너지 전달은 무시하였다.

식 (13)은 충돌 주파수를 나타내며 이 식은 약전리된 플라즈마를 기술하는 경우에 해당하는 식이다 (11) 식 (14)는 열전도도를 나타내며 식 앞의 상수 값은 3.16의 값을 사용하였다. (11) 식 (15)는 약전리된 플라즈마의 전기 전도도를 나타낸다. 식 (16)은 전자 및 이온의 이온화 주파수를 나타낸다. 이 때의 ϵ_i 는 기체의 이온화 에너지를 나타낸다.

3 계산 결과

앞 절에서 설명한 모델을 유한 차분법을(12) 이용, 글로우 및 애프터 글로우를 11μsec 동안 계산하였다. 그림 3은 플라즈마가 없는 상태에서의 초기 전압 분포 및 전기장을 나타낸다. 이 초기 전압 분포는 그림 2의 펄스를 각 전극에 가할 때 디스플레이 한 셀 내에 나타나는 전압 분포이다. 이 초기 전압 분포와 초기의 균일한 플라즈마 분포를 초기값으로 설정하였다.

그림 4 (a)는 글로우 초기 1μsec 되는 상황에서의 글로우 플라즈마의 온도 분포를, (b)는 글로우 후기 6μsec 펄 때의 온도 분포를 각 나타내고 있다. DC 펄스 방전에 의한 온도 분포이므로 그 분포의 모양은 거의 차이가 없으며 글로우가 정상 상태로 되면서 그 값도 (b)에 나타난 값으로 포화된다.

그림 5는 애프터 글로우 상태에서의 전자 온도 분포를 보여주고 있다. (a)는 애프터 글로우의 초기 상황이다. 전자의 온도 분포는 외부 전기장에 민감하게 반응하여 펄스의 반주기 (전압 0 V) 동안에는 전자의 모든 에너지 준위가 낮아지게 된다. 이것은 애프터 글로우 후기까지 계속됨을 그림 5 (b)가 보여주고 있다.

그림 6은 글로우 초기와 후기의 전자 밀도 분포를 보여주고 있다. 전자의 분포는 양극을 중심으로 분포되어 있고 그 분포의 형태는 펄스 방전 동안 계속된다. 펄스의 반주기 (전압 0 V) 동안 하전 입자가 decay하면서, 전자 온도 분포의 변화와는 달리 전자 밀도 분포는 서서히 확산하기 시작한다. 애프터 글로우 초기 10^{16} [/m³] 정도의 전자 밀도는 10μsec 되면 10^8 [/m³] 정도의 값으로 서서히 확산하고 있다. 이 현상을 그림 7이 설명하고 있다.

그림 8은 이온 밀도의 분포를 보여 주고 있다. 이온 밀도 분포도 양극을 중심으로 분포되어 있지만 전자 밀도 분포보다는 음극쪽으로 더 널리 분포되어 있다. 펄스 방전 동안의 이온 분포는 약간의 확산을 동반하지만 전자에 비하여 음극쪽으로 좀더 널리 분포한다. 애프터 글로우 동안의 이온은 전자보다 늦게 확산을 하고 그 분포도 한정된 범위를 벗어나지 않는다. 이것은 전자와 이온의 확산 속도 차이에 의한 것이다. 그림 8 (b)에서 보듯 초기에 같은 값으로 발생된 전자와 이온의 밀도는 애프터 글로우 후기에 가면 그 차이가 2 order 정도 발생한다. 이러한 이온의 늦은 확산 속도를 이용하면 주 방전의 효율을 높일 수 있을 것이라 추측된다.

실제로 음극과 양극 이외의 보조 양극을 두어 그 곳에 다른 전기장을 가하면 그 이온의 확산 속도를 더욱 늦추어 보조 양극이 없을 때 비하여 더 많은 이온이 남아 있을 수 있는 결과를 얻을 수 있다. 이 경우를 그림 10에 나타내었다. 이 때 주 양극 오른쪽에 보조 양극을 두어 방전이 유지되지 않을 정도의 전기장을 가한다. 이러한 보조 양극에 의한 효과는 실험으로도 입증한 바 있다. (8, 9)

그림 11 (a)는 펄스 방전에 의한 글로우 상태의 전자 운동을 나타낸 그림이다. 전기장에 의해 양극쪽으로 향하는 전자의 운동을 나타내고 있다. 이것은 그림 12 (a)의 이온 운동과 그 대조를 이루고 있다. 그림 11 (b)는 애프터 글로우 상태에서의 전자의 확산을 보여주고 있다. 그림 12는 글로우 및 애프터 글로우 상황에서의 이온의 확산을 나타내어 주는 그림이다.

4. 결론

본 논문은 플라즈마 디스플레이 한 셀 내에서 발생하는 미소 글로우 방전 현상을 2 유체, 2 차원 MHD식을 사용하여 해석하였다. 본 논문의 결과는 앞선 실험을 논문 (8,9)을 해석하기 위한 것으로 설명할 수 있다.

계산 결과 필스 방전에 의한 글로우 상태를 시간적으로 변화되어 가는 과정을 규명하였고 애프터 글로우 상황에서의 전자와 이온의 운동을 고찰할 수 있었다. 앞선 논문의 실험 결과에서도 밝혀지지만 보조 양극의 전기장으로 이온의 확산 속도를 조절하여 디스플레이의 효율을 증대시킬 수 있음을 확인하였다.

5 References

[1] P.S.Friedman, R.A.Stoller, D.K.Wedding, Proc.SID, vol.32, No.2, 1991, p99
 [2] O.Sahni, C.Lanza, W.E.Howard, J.Appl.Phys, vol.49, No.4, 1978, p2365
 [3] O.Sahni, C.Lanza, W.E.Howard, IBM, J.Res.Develop, vol.22, No.6, 1978, p641

[4] H.Uchike, et.al, SID 81 Digest, 1981, p162
 [5] H.Murakami, et.al, IEEE, Trans., ED Vol.36, No.6, 1989, p1063
 [6] H.Murakami, et.al, SID 91 Digest, 1991, p713
 [7] H.Uchike, et.al, SID 88 Digest, 1988, p146
 [8] 최 경철, 신 범재, 황 기웅, 대한 전자 공학회 논문집-B, vol.29-B, 1992, p62
 [9] K.C.Choi, B.J.Shin, K.W.Whang, SID 92 Digest, 1992, p539
 [10] B.E.Cherrington, Gaseous electronics and gas lasers, Pergamon Press, 1979
 [11] S.I.Braginskii, Review of plasma physics Vol 1, Consultant, N.Y., 1970
 [12] D.E.Anderson, et al, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, McGraw Hill, 1984, NY

그림 1

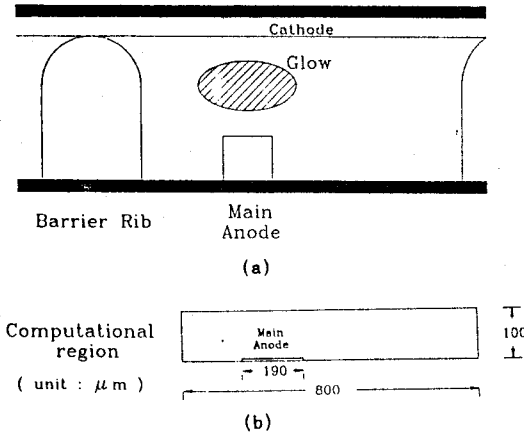


그림 1 플라즈마 디스플레이의 계산 모델
 (a) DC 플라즈마 디스플레이 한 셀의 단면도 (b) 계산 영역

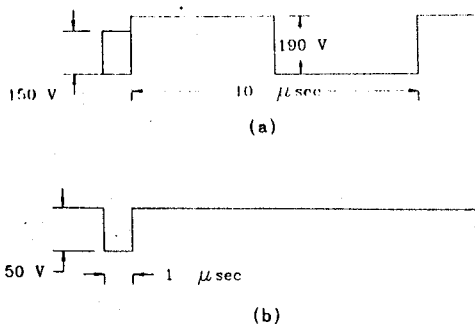


그림 2. 각 전극에 가하는 펄스의 파형 및 전압
 (a) 양극에 가하는 유지 펄스 (b) 음극에 가하는 scan 펄스

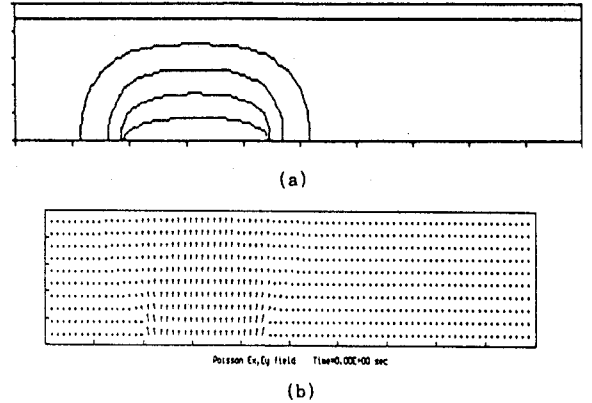


그림 3. 초기 전압 분포 및 전기장 분포
 (a) 전압 분포 (b) 전기장 분포

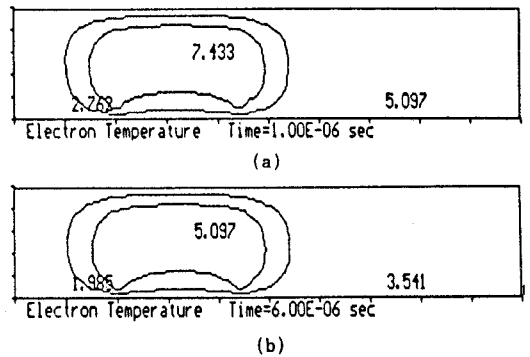
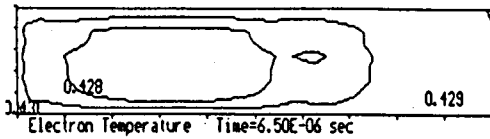
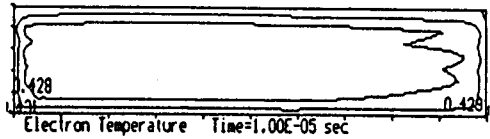


그림 4. 글로우 상태에서의 전자 온도 분포
 (a) 글로우 초기, 1μsec (b) 글로우 후기 6μsec

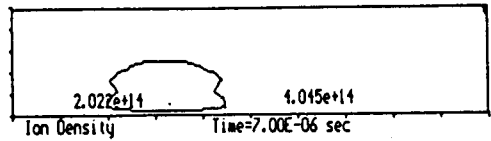


(a)

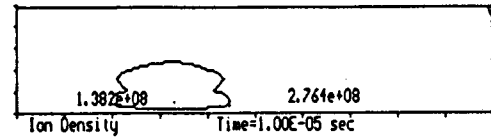


(b)

그림 5. 에프터 글로우 상태에서의 전자 온도 분포
(a) 에프터 글로우 초기, 6.5 μ sec (b) 에프터 글로우 후기 10 μ sec

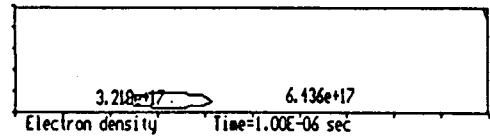


(a)

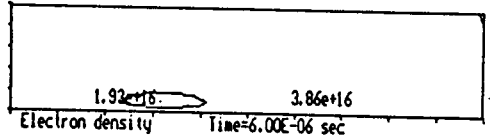


(b)

그림 9. 에프터 글로우 상태에서의 이온 밀도 분포
(a) 에프터 글로우 초기, 7 μ sec (b) 에프터 글로우 후기 10 μ sec

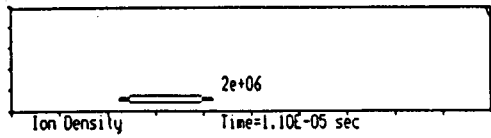


(a)

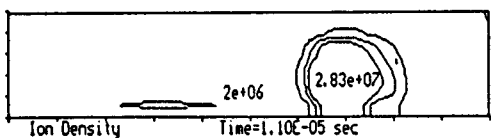


(b)

그림 6. 글로우 상태에서의 전자 밀도 분포
(a) 글로우 초기, 1 μ sec (b) 글로우 후기 6 μ sec

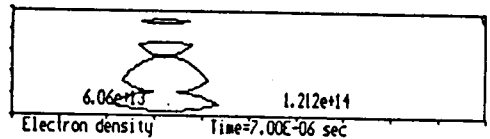


(a)

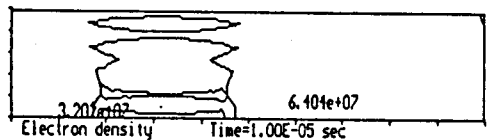


(b)

그림 10. 11 μ sec 일 때 보조 양극의 펄스 유 무에 따른 이온 밀도 분포
(a) 보조 양극이 없을 때 (b) 보조 양극이 있을 때

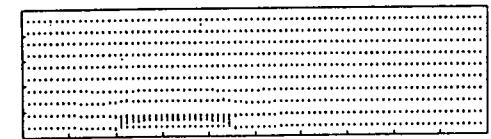


(a)

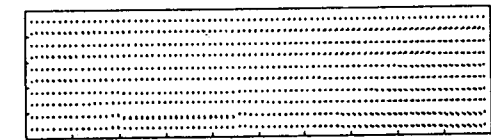


(b)

그림 7. 에프터 글로우 상태에서의 전자 밀도 분포
(a) 에프터 글로우 초기, 7 μ sec (b) 에프터 글로우 후기 10 μ sec

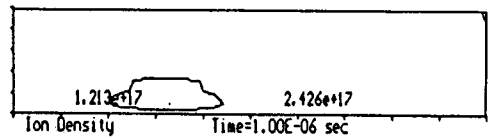


(a)

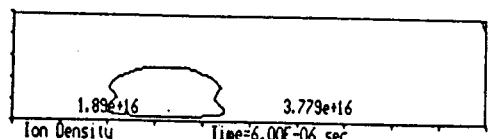


(b)

그림 11. 전자 속도 분포
(a) 글로우 상태 (b) 에프터 글로우

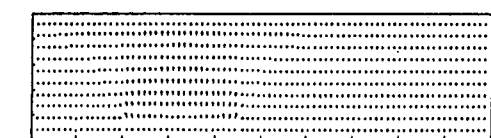


(a)

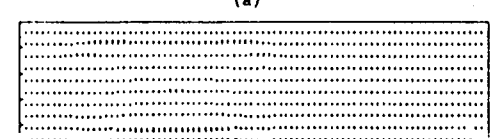


(b)

그림 8. 글로우 상태에서의 이온 밀도 분포
(a) 글로우 초기, 1 μ sec (b) 글로우 후기 6 μ sec



(a)



(b)

그림 12. 이온 속도 분포
(a) 글로우 상태 (b) 에프터 글로우