

FEM-FCT 기법을 이용한 AC PDP 2차원 시뮬레이션에 관한 연구

김용진, 민웅기*, 이석현
 인하대학교 전기공학과, 서울대학교 전기공학부*

A study on 2-dimensional simulation of AC PDP using FEM-FCT method

Kim Yong-Jin, Min Woong-Gee*, Lee Seok-Hyun

Dept. of Electrical Eng., INHA University, School of Electrical Eng., Seoul National University*

Abstract- In this paper, the discharge characteristics of AC PDP, one of the leading technologies currently under development for large-area flat displays, is computed by using Finite Element Method(FEM) combined with Flux-corrected Transport(FCT) algorithm. Up to now, many simulations of AC PDP have been mainly done by Finite Difference Method(FDM). But we simulated the AC PDP by using FEM-FCT method which discretizes the region of interest with unstructured grids. FEM-FCT method can reduce the computational cost because of refining locally where the physical quantities have steep gradients and is more efficient in solving discharge problems, such as a AC PDP.

Results are presented in Ne-Xe(4%) gas mixture for a gas pressure of 400 Torr and as the discharge proceeds, the space and time variations of the electron and ion densities, potential and wall charges on the dielectric are described. Results from our simulation by FEM-FCT are similar to those from simulation by FDM and are more efficient in computational cost reduction.

1. 서 론

최근 들어 대형 평판 디스플레이에 대해 관심이 높아지면서 다양한 종류의 디스플레이들의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 PDP(Plasma Display Panel)는 고화질 및 대화면의 디스플레이를 요구하는 디지털 방송시대에 가장 적합한 디스플레이가 되었다. 그러나, PDP는 휘도와 효율에 있어서 여전히 극복해야 할 많은 문제점들을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보다 정확히 PDP의 방전 현상을 이해 할 필요가 있으며 지금까지 PDP 방전 현상을 시뮬레이션 한 결과들이 많이 나왔다[2][3][4][5].

본 논문에서는 지금까지 PDP 시뮬레이션에 적용된 유한차분법(Finite Difference Method)과는 달리 유한 요소법(Finite Element Method)과 FCT 알고리즘을 결합하여 적용하였다[1]. 유한 요소법은 물리량들이 급변하는 곳을 국부적으로 세분화하여 불필요한 절점을 줄일 수 있기 때문에 계산량을 현저히 줄일 수 있으며 PDP 방전과 같이 좁은 영역에서 전자와 이온의 밀도가 급변하는 문제를 다루는데 있어서 효과적이다. 또한, 수치해석상 발생하는 수치확산(numerical diffusion) 및 수치진동(numerical ripple)이 없는 해를 얻기 위해 FCT 알고리즘을 적용하여 보다 정확한 방전 현상을 규명하고자 하였다.

2. 시뮬레이션 모델

본 논문에서 적용한 방전 조건은 Ne-Xe(4%)의 혼합 가스이며, 압력은 400Torr이다. PDP 방전 시뮬레이션에 적용한 지배 방정식은 하전입자의 연속방정식과 포아송(Poisson) 방정식이다. 지배 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_e = \alpha n_e |v_e| + S \tag{1}$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_p = \alpha n_e |v_e| \tag{2}$$

$$\Gamma_e = n_e \mu_e E - D_e \nabla n_e \tag{3}$$

$$\Gamma_p = -n_p \mu_p E - D_p \nabla n_p \tag{4}$$

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon} (n_p - n_e) \tag{5}$$

$$E = -\nabla \phi \tag{6}$$

연속방정식인 식(1)~(4)에서 t는 시간, n_e, n_p 는 각각 전자, 이온의 밀도, Γ_e, Γ_p 는 전자, 이온의 flux, μ_e, μ_p 는 전자, 이온의 mobility, D_e, D_p 는 전자, 이온의 diffusion coefficient 이며 식(5)~(6)은 포아송(Poisson)방정식이다. 식 (1)~(2)의 우측항은 이온화에 의해서 생성되는 항이며 식 (1)의 S는 2차 전자에 의해 생성되는 항이다.

이온화 계수 α 및 전자와 이온의 mobility는 E/P에 대한 함수로서 Boltzmann equation으로부터 얻어진다. 여기서 E는 electric field이며, P는 가스의 압력이다. Diffusion coefficient인 D_e, D_p 는 Einstein relation으로 부터 얻어진다. 전자인 경우는 전자온도를 2eV로 하였고 이온인 경우는 가스의 온도인 300K로 하였다.

해석 영역의 좌우 경계는 neumann 경계조건으로 하여 좌우 경계의 전계와 밀도의 gradient는 zero이다. 방전 공간과 유전체 사이의 경계 조건은 다음과 같다.

$$\Gamma_e = n_e \mu_e E + 0.25 n_e v_{th_e} - \gamma_{se} \Gamma_p \tag{7}$$

$$\Gamma_p = n_p \mu_p E + 0.25 n_p v_{th_p} \tag{8}$$

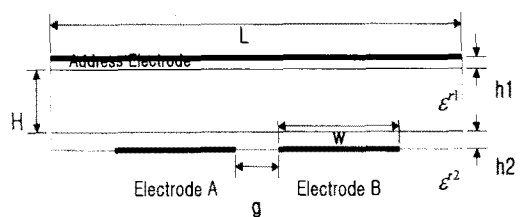


그림 1. 수치해석에 적용된 전극 구조

여기서 $v_{th,e}$, $v_{th,i}$ 는 각각 전자와 이온의 thermal velocity이고 γ_{se} 는 이온 충격에 의한 2차 전자 계수이다. 여기서 사용한 이차전자의 계수는 네온 이온인 경우 0.5를, 제논 이온인 경우는 0.05를 사용하였다. 유전체위에 쌓이는 벽전하량은 식 (7)~(8)을 적분함으로써 계산된다.

그림1은 수치해석에 사용된 전극 구조를 나타낸 것이다. 셀피치 L은 $1080\mu m$, 격벽높이 H는 $150\mu m$, 방전유지 전극 폭 w는 $340\mu m$, 전극 간격 g는 $80\mu m$, h1은 $10\mu m$, h2는 $30\mu m$, 유전상수 ϵ_{r1} , ϵ_{r2} 는 각각 15를 적용하였다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 전자와 이온의 direct ionization에 의한 물리적인 현상만을 고려하였다. 그림2는 본 논문에서 적용한 전극 구조의 요소망을 나타낸 것이다. 그림과 같이 비 구조화된 요소망(unstructured grid)으로 인해 전자와 이온의 밀도 변화가 심한 전극과 전극 사이를 국부적으로 세분화 할 수 있기 때문에 해석상 중요하지 않은 영역의 절점을 줄일 수 있어 계산량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

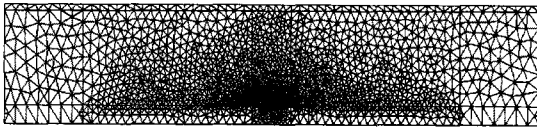


그림2. 적용된 전극 구조의 요소 분할도

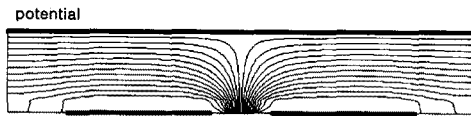


그림3. 인가된 전압에 의한 전위 분포

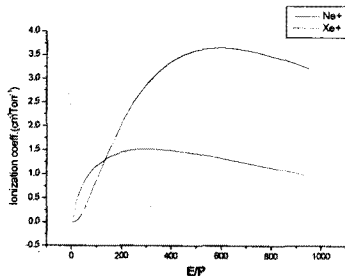


그림4. E/P에 따른 이온화 계수

그림3에서는 인가 전압에 의한 전위 분포 및 전자와 이온의 밀도 분포를 나타낸 것이다. 전압은 방전 유지 전극에 250V, 어드레스 전극에는 125V를 인가했다. 그림에서와 같이 방전 유지 전극 사이의 전계의 세기가 다른 영역보다 강하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 방전 초기에는 방전 유지 전극 사이에서 먼저 방전이 일어남을 알 수 있다. 그림4는 E/P에 따른 이온화 계수를 나타낸 것이다. 전자에 의한 direct ionization에 의해 네온이온과 제논이온이 생성되는데 E/P가 약 120 정

도까지는 제논이온의 이온화 계수가 네온이온의 이온화 계수보다 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 제논의 이온화 에너지가 네온의 이온화 에너지보다 작기 때문이며, 방전 초기에는 제논이온이 네온이온 보다 더 많이 생성됨을 알 수 있으며 그림5에서와 같이 방전 공간에서 제논의 peak density가 네온의 peak density보다 더 큰 것을 볼 수 있다.

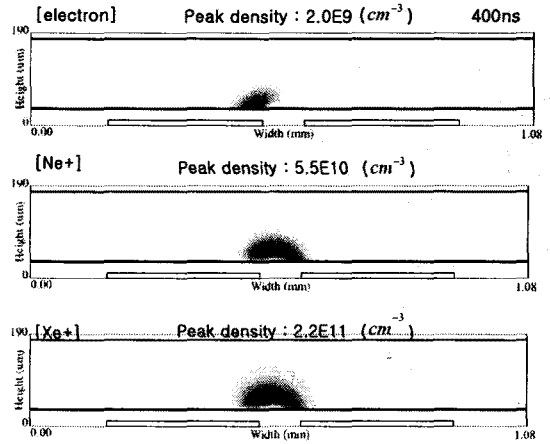


그림5. 전자와 이온의 밀도 분포

그림6은 시간에 따른 벽전하 분포를 나타낸 것이다. 방전 초기에는 전자의 속도가 이온의 속도 보다 훨씬 크기 때문에 전자가 이온보다 anode쪽으로 더 빨리 도달하므로 cathod쪽의 이온에 의한 벽전하보다 더 많은 벽전하가 쌓인다는 것을 알 수 있다. 그러므로 방전 공간 내에는 이온이 더 많이 존재하게 되어 이온이 포텐셜을 왜곡시킬 만큼의 밀도까지 증가하면 방전 공간내의 포텐셜을 왜곡 시키게 된다.

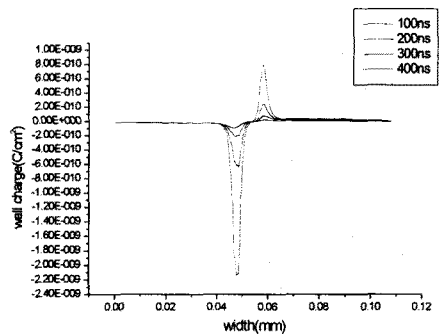


그림6. 벽전하 분포

3. 결론

본 논문에서는 PDP 방전 시뮬레이션을 지금까지 시도되지 않았던 유한 요소법을 통해 접근하여 보았다. 그동안 유한 차분법을 통해 많은 PDP 방전 시뮬레이션의 결과들이 있지만 유한 차분법은 구조화된 요소망(structured grid)을 이산화함으로써 불필요한 계산시

간의 증가를 피할 수 없었다. 그러나 유한 요소법은 비구조화된 요소망(unstructured grid)을 사용하여 해석 영역을 이산화 하기 때문에 물리량들이 급변하는 곳을 국부적으로 세분화 할 수 있어 계산량을 현저히 줄일 수 있다. 이는 3차원으로 확장할 경우 유한 요소법으로 적용하는 것이 더욱 효과적일 것으로 예상된다. 그러므로 이러한 유한 요소법의 장점을 이용하는 것은 PDP와 같은 방전 수치해석에 유리하다고 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 민용기, 김형석, 이석현, 한송엽, "FEM-FCT기법을 이용한 코로나 방전 시뮬레이션에 관한 연구", Trans. KIEE, vol 48 no. 3, pp 200-208, 1999
- [2] O. Sahni, C. Lanza, W. E. Howard, "One-dimensional Numerical Simulation of ac Discharge in a High Pressure Mixture of Ne+0.1%Ar confined to a Narrow Gap between Insulated Metal Electrodes", J. Appl. Phys., vol.49(4), pp 2365-2375, 1978
- [3] J. Meunier, Ph. Belenguer, J. P. Boeuf, "Numerical model of an ac plasma display panel cell in neon-xenon mixtures", J. Appl. Phys., 78(2), pp 731-745, 1995
- [4] Shahid Rauf, Mark J. Kushner, "Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel cell. Basic operation", J. Appl. Phys., vol 85, pp 3460-3469, 1999
- [5] Heui-Seob Jeong, Buhm-Jae Shin, Ki-Woong Whang, "Two-Dimensional Multifluid Modeling of the He-Xe Discharge in an AC Plasma Display Panel", IEEE. Trans. on Plasma Science, vol 27, pp 171-181, 1999