

플라즈마 디스플레이 에서의 가스방전 특성

박헌건, 이석현, 정재상*, 김외동*

인하 대학교 전기 공학과

엘지전자 멀티미디어 연구소*

Gas discharge characteristics for Plasma Display

Hun-Gun Park, Seok-Hyun Lee, Jae-Sang Chung*, Oe-Dong Kim*

Dept. of Electrical Engineering, Inha University

Multimedia Lab. LG Electronics inc. *

1. 서론

최근의 정보화 사회에 있어서 디스플레이의 역할은 점점 더 중요한 위치를 차지하고 있으며, 현재 전성기를 누리고 있는 브라운관을 대체할 새로운 디스플레이 소자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 40"~50" 급 차세대 대화면 평면 디스플레이 소자로서 박형화, 대형화, 경량화, 고해상도, 안전성, 환경적응성, 장수명, 넓은 시야각, 칼라화, 콘트라스트, 다중 구동 특성, 메모리 기능, 논리 기능 등의 장점을 보유한 플라즈마 디스플레이 패널(이하 PDP)이 주목을 받고 있다.^[1]

그러나, 위와같은 장점이 있는 반면 실용화 측면에서 기존 브라운관에 비해 발광휘도, 발광효율등이 떨어져 그 특성을 향상시켜야 할 필요성이 절실히 요구되고 있으나, 미소 방전셀 내에서 발생하는 방전에 대한 정확한 해석이 어렵고, 방전영역 자체가 너무작기 때문에 셀내부의 입자들의 밀도와 전자의 온도 등을 직접 측정하기가 곤란하여, 주로 발광 휘도특성에 대한 개선은 반복적인 실험에 의한 접근방법에 의해 개선되어져 왔다. 이러한 문제점에 대한 효과적인 개선을 위해서는 실험에 앞서서 또는 실험과 병행하여 PDP의 방전, 발광 특성을 예측할수 있고, 방전 기구에 대한 분석이 가능한 시뮬레이션 모델의 구축이 요구 되어지고 있다.

발광 휘도특성 향상을 위한 시뮬레이션 분야로서는 셀 구조 최적화, 가스 압력 및 조성비 최적화, 구동전압 파형의 최적화 등이 있으며, 본 논문은 그 중 가스 조성비 최적화 시뮬레이션으로 사용 가스로는 네온(Ne), 제논(Xe) 과 아르곤(Ar)을 혼합한 삼원 가스에 대해 검토를 하였다.

2. 시뮬레이션 모델과 지배방정식

본 논문은 가스 조성비 최적화 시뮬레이션으로 네온 제논 혼합가스에 아르곤을 혼합한 삼원 가스에 대해 검토를 하였으며, 그결과 PDP 발광특성에 가장 중요하게 관여하는 제논 제 1여기상태 즉 $Xe^*(1S_4 \text{ state})$ 의 밀도가 최적이 되는 네온 제논 혼합가스에 대한 아르곤의 혼합비를 구했다. 구성은 기본적으로 각 입자들 간의 화학 반응식을 기초로 시뮬레이션을 구성했으며, 전자 에너지 변화를 고려하기 위해서 전자 에너지식도 함께 사용했다. 고려한 입자는 Xe, Ne, Ar 기본 입자를 포함하여 여기상

태 이온상태 포함 총 27개 입자들이며, 상호 입자들간의 반응식을 129개 적용했고, 전자의 에너지 방정식은 식(1)^[2]과 같이 표현가능하나 영차원의 경우 식(2)와 같이 표현 할수있다. 여기서 n_e 는 전자의 밀도이고, σ 는 전기 전도도, γ 는 비열, V_e 는 전자 속도, T_e 는 전자 온도, T_n 은 중성입자의 온도, Q_e 는 에너지 전달량, ν_{en} 은 전자와 중성입자 간의 충돌 주파수를 나타낸다.

$$\frac{n_e}{\gamma-1} \left(\frac{\partial T_e}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T_e \right) + n_e T_e \nabla \cdot \vec{V}_e = \nabla \cdot \left(\frac{n_e T_e}{m\nu} \nabla T_e \right) + Q_e \quad (1)$$

$$\frac{n_e}{\gamma-1} \frac{\partial T_e}{\partial t} = Q_e \approx \sigma E^2 - 3 \frac{m_e}{m_n} n_e \nu_{en} (T_e - T_n) \quad (2)$$

화학 반응식을 적용시 각 반응에 대한 반응율의 계산은 식(3)과 같으며 K가 반응 상수로 반응식에서 가장 중요한 상수가 되며 그 값은 식(4)^[3]에 의해서 계산될 수 있다. 식(3)에서 n_a , n_b 는 a, b 입자의 밀도, v_a 는 a 입자의 속도, σ_{ab} 는 a, b 입자간의 충돌 단면적을 의미하고, 식(4)에서 단위는 eV 로 계산했다.

$$R = n_a \nu_{ab} = n_a n_b \langle v_a \sigma_{ab} \rangle = K n_a n_b \quad (3)$$

$$K = \langle \sigma(v) v \rangle = \frac{1}{n} \int_0^\infty \sigma(v) v f(v) dv = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^\infty v^3 \sigma(v) e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv \quad (4)$$

우선 전자의 탄성충돌에 대한 반응상수 값은 전자 에너지와 충돌단면적의 실험치 값^[4]을 적분하여 사용하였으며, 전자와의 충돌에 의한 이온화의 충돌단면적은 적분식 식(4)로 계산 하였다. 또한, 에너지 방정식에서는 전기 전도도와 충돌 주파수의 계산이 중요하며 전기 전도도에는 전자의 충돌항, 여기항, 이온화항, 탄성 충돌항 등을 고려했으며, 충돌 주파수는 제논, 네온 및 아르곤에 대한 충돌 단면적 값과 맥스웰 볼츠만 분포를 가정한 평균속도와의 곱을 적분하여 계산 하였으며 수치 해석기법은 Runge-Kutta방법 중 가장 많이 사용되고 있는 Fourth - Order Runge - Kutta Method^[5]를 사용하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검증

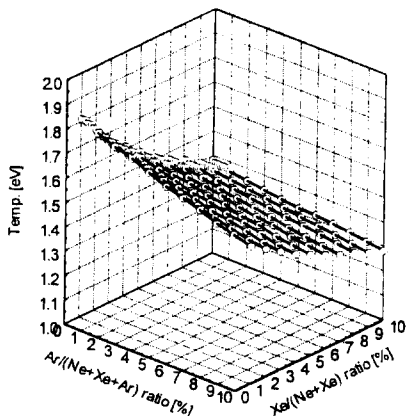


그림 1 Ne,Xe,Ar 혼합비에 따른 전자온도

그림1은 제논 및 아르곤의 혼합비에 따른 전자의 온도를 나타낸 그래프로, 네온에 대해 제논의 혼합비가 증가하고, 네온-제논에 대해 아르곤의 혼합비가 증가할수록 전자의 온도는 감소하게 된다. 이것은 즉 네온 분자의 크기보다 상대적으로 큰 아르곤, 제논의 혼합비가 높아질수록 계 내의 평균 이동 거리가 작아져서 전자의 에너지가 감소하는 것을 나타내고 있다

그림 2는 네온 제논 이원기체만 사용했을 경우부터 아르곤의 혼합비 10%까지의 전자밀도를 나타내고 있다. 네온-제논 이원가스를 사용했을때의 전자밀도 보다 아르곤 첨가했을 경우의 전자밀도 값이 0.5%까지 증가하다가 아르곤의 혼합비가 0.5% 보다 커지면 다시 감소하는 현상이 나타났다. 이것은 초기에는 아르곤 첨가에 의한 페닝효과의 영향이 평균 이동거리의 감소로 인한 전자의 온도 감소에 따른 전자의 밀도 저하보다 크게 나타나기 때문이고, 아르곤의 혼합비가 증가 하면서 아르곤 첨가에 의한 전자의 온도 감소 효과가 페닝 효과보다 크게 나타나기 때문에 다시 밀도가 감소하게 되는 것이다.

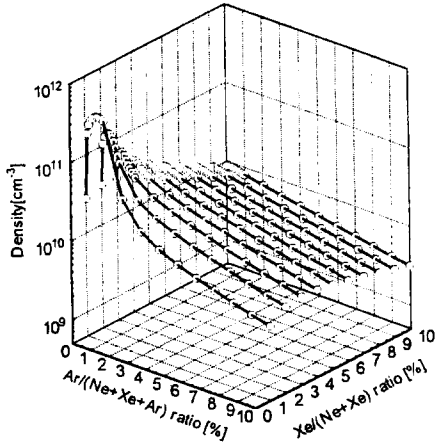


그림2 Ne,Xe,Ar 혼합비에 따른 전자 밀도

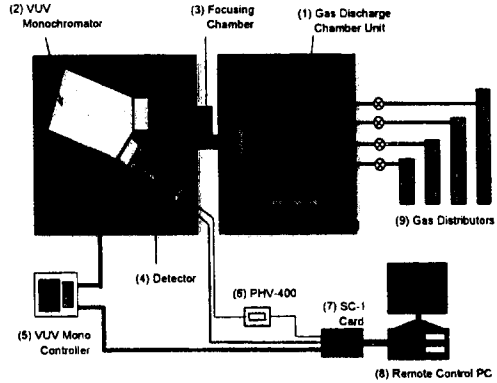


그림 3 진공자외선 측정장비 구성도

이러한 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 면방전형 구조를 가지는 단면 패널을 이용 그림 3과 같이 VUV 측정장비를 이용 아르곤 혼합비에 따라 140nm부터 180nm까지의 진공자외선을 측정 하였다. 장비 구성을 보면 진공자외선 intensity 측정용 monochromator와 방전 chamber가 focusing chamber를 통해 연결되어 있다. VUV monochromator와 controller가 연결되어 monochromator의 grating을 조정할 수 있도록 RS-232 cable로 SC-1 card에 연결되어 있다. Monochromator에 부착된 검출기가 PC와 연결되어 VUV intensity를 전기적 신호로 변환해준다. 프로그램에서 scan 명령을 주면 선택된 grating을 회전시키면서 파장 대역에 대해 VUV의 intensity를 검출기를 통해 검출하고, PMT에 의해 VUV intensity가 전기적인 신호(전류 또는 전압)로 변환, 증폭된다. 이 전기적 신호값이 컴퓨터에 의해 방사광의 상대적 스펙트럼 intensity로 출력된다.

그림 4는 측정 결과를 나타낸 그래프로 PDP의 발광휘도 및 효율에 가장 크게 관련된 파장, 즉 147nm의 단위 power[W]에 대한 발광 강도와 시뮬레이션 결과와 비교 하였다. 그림 4(a)는 147nm를 발생 시키는 Xe*의 밀도값에 대한 시뮬레이션 결과이고 4(b)는 진공자외선 147nm의 세기를 측정 한 값이다. 두 경우 모두 네온-제논 혼합가스에 대한 아르곤의 혼합비가 0.5%에서 최대값을 나타냈고 경향성 또한 일치하였다.

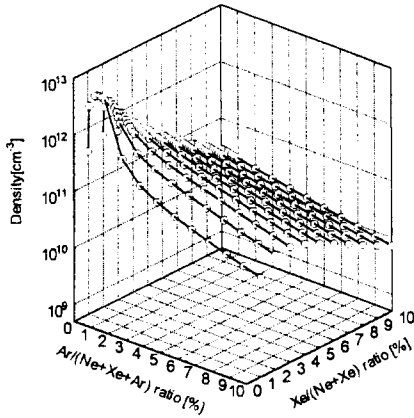


그림 4 Ne,Xe,Ar 혼합비에 따른 Xe* 밀도 (시물레이션 값)

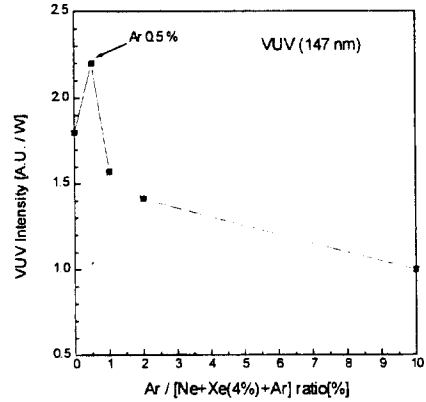


그림 5 Ne,Xe,Ar 혼합비에 따른 147nm 세기 (측정값)

4. 결 론

전자의 온도를 고려한 영차원 시물레이션을 이용하여 네온-제논-아르곤 삼원 혼합 가스를 이용한 플라즈마 디스플레이 내에서의 방전현상을 해석한 결과는 다음과 같다.

- 첫째, 네온에 대해 제논의 혼합비가 증가하고, 네온-제논에 대해 아르곤의 혼합율이 증가할수록 평균 자유 행정의 감소로 인한 효과로 전자의 온도는 감소하게 된다
- 둘째, 네온에 대해 제논의 첨가에 의한, 네온-제논에 대해 아르곤 첨가에 의한 페닝효과를 확인했고
- 셋째, 147nm를 발생시키는 제논 제 1여기 상태인 Xe*의 시물레이션에 의한 밀도값과 진공자외선 측정기를 이용한 147nm의 단위파워[W]당 세기가 Ne-Xe에 대한 Ar의 혼합비가 0.5%에서 최대값을 나타냈다.

5. 참고문헌

- [1] 御子紫茂生, “플라즈마 디스플레이 최신기술”, ED리서치社, 1996, pp. 9~18.
- [2] 최경철, 황기웅, “Numerical Analysis of the Microdischarge in a DC Plasma Display Panel by 2-Dimensional Multifluid Equations”, IEEE Transactions on plasma science, vol. 23, No.3, pp. 399~404, June 1995.
- [3] Blake E. Cherrington, “Gaseous electronics and gas lasers”, Pergamon press, 1979, pp. 49~55.
- [4] Yuri P. Raizer, “Gas discharge physics”, Springer-Verlag, 1991, p 10.
- [5] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, “Numerical methods for engineers”, MacGraw-Hill Book Company, 1996, pp. 596~606.