

원통형 방전소자의 방전특성 연구

Numerical Study on the Discharge Characteristics of Cylindrical Discharge Devices

서 정 현^{*} · 신 범 재^{*}
(Jeong-Hyun Seo · Bhum-Jae Shin)

Abstract - In this paper, the discharge characteristics of ac-type cylindrical discharge devices with diameters (D) in the 50~400 μ m range have been investigated numerically. The cylindrical devices have much lower breakdown voltages compared to the coplanar electrode structures. The breakdown voltage of the cylindrical structures increases with the decrease of diameters in 50~100 μ m range. In 100~200 μ m range, however, the breakdown voltage decreases slightly with the decrease of diameters. Also, as the diameter gets smaller, the electron heating efficiency is greatly improved.

Key Words : Cylindrical structure, Hollow cathode, Firing voltage, Luminance, Luminous efficacy

1. 서 론

최근의 플라즈마 연구의 동향은 고압, 소형화의 방향으로 진행되고 있다. 고압과 소형화는 서로 불가분의 관계로서, 높은 압력에서 방전을 쉽게 일으키고 안정한 플라즈마를 얻기 위해서는 소자의 소형화가 불가피하다. 반대로, 소형 소자에서 플라즈마를 용이하게 얻기 위해서는 높은 압력의 동작 조건이 요구된다. 이러한, 고압에서 동작하는 소형 플라즈마는 매우 작은 방전 체적(<1 picoliter)에서 발생하는 강한 방전으로 단위 체적당 전력밀도가 매우 높은 특징을 가지고 있다[1]. 이러한 방전을 기존 플라즈마 방전과 구분하여 미세방전(microdischarge)라고 하며, 이러한 소자를 미세방전(MD) 소자라고 한다. MD는 피부 질환을 치료하는 특수 파장의 광원이나 각종 자외선 광원, 표면 처리를 위한 상압 플라즈마 등에 다양하게 응용되고 있다[2]. MD 소자는 매우 작은 체적과 고압이라는 환경 때문에 방전을 용이하게 하기 위하여 대부분 공극(cavity) 구조나 원통형 전극구조를 가지고 있다[1-3].

MD 소자의 방전 특성에 대한 수치해석 연구는 최근에 많은 그룹에서 진행되고 있다. Kushner는 유체모형을 이용하여 음극이 공극형상인 구조에서 방전 특성과 구동전압 및 전류에 대한 수치해석을 수행하였고[4], Boeuf는 유체모형을 이용하여 직류형 할로우 캐소드구조에서 I-V 곡선의 특성을 해석하였다[5]. 최근에 Meng은 유체모형을 이용하여 동일평면상에 존재하는 할로우 캐소드 구조에서 방전개시 전압 특성에 대해 발표하였고, 실험 결과와 매우 잘 일치함을 보여주었다[6]. 이전 논문에서 우리는 원통형 전극구조를 갖는 교류형 방전소자에서 시간에 따른 전위분포, 전자 밀도, 이온 밀도, 방전전류의 변화에 대해서 상세히 다루었다[7]. 또

한 기체압력과 원통직경을 가변하면서 전체적인 전자와 이온밀도의 분포가 pD(p:전체 기체압력,D:원통의 내부직경)값의 범위에 따라서 어떻게 변화하는지 방전양상의 차이에 대해서 규명하였다[7]. pD값이 작은 경우에는 원통구조의 중심에 방전이 강하게 형성되어 매우 강한 공간밀도를 갖는 플라즈마가 형성되었고, pD값이 큰 경우에는 방전이 원통의 중심에서는 형성되지 않고 원통의 벽면에 가깝게 형성되는 것을 보고하였다. 그러나 이러한 방전의 양상이 실제 우리가 관심을 갖는 방전전압이나 휘도 효율과의 관계에 대해서는 아직까지 연구되지 않고 있다.

본 연구에서는 원통형 구조를 갖는 방전소자에서 원통직경이 방전 전압과 휘도, 효율에 미치는 영향에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 수치해석 모델

2.1 기본 방정식

MD 소자의 방전 환경을 살펴보면, 대체로 불활성 기체, 상압에 가까운 압력, 수백 μ m 이하의 소자 크기를 갖는다. 이러한 특성은 기존에 PDP(plasma Display Panel)와 유사한 환경임을 알 수 있다. PDP의 방전 해석을 위해서 많은 수치해석적인 연구가 이루어져 왔고, 대부분 LFA(Local Field Approximation) 모델을 기반으로 PDP의 방전해석을 실시하였다. LFA 모델은 PDP의 양전극 상에 나타나는 줄무늬(striation) 현상을 설명하지 못하는 모델의 한계가 있었으나, 전반적으로 PDP의 가스 혼합 효과, 방전 역학, 구조 최적화 등을 하는데 있어서 유용한 모델로 사용되어져 왔다[8].

본 연구에서도 원통구조의 방전 특성을 해석하기 위하여 LFA 모델을 채택하였다. 아래 식들은 본 연구에서 사용되어진 식을 나타내고 있다.

$$\nabla \cdot (\epsilon \vec{E}) = \sum_i q_i n_i \quad (1)$$

[†] Corresponding Author : Dept. of electronics engineering, Incheon national university, Korea

E-mail : pdpsunya@incheon.ac.kr

* Dept. of electronics engineering, Sejong university, Korea

Received : February 21, 2013; Accepted : June 10, 2013

$$\vec{u}_i = \alpha \mu_i \vec{E} + D_i \nabla n_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \nabla \cdot (n_i \vec{u}_i) = S_i \quad (3)$$

식(1)은 포아송 방정식을 나타낸다. 여기서, ϵ 는 유전 상수, E 는 전기장, q_i 는 하전입자의 전하량, n_i 는 입자밀도를 나타낸다. 식(2)는 LFA에 의해 간략화된 입자의 유체속도식을 나타낸다. 식(2)의 우변의 첫째항은 드리프트(drift) 속도이다. 여기서 α 는 전자의 경우에는 -1 , 이온의 경우에는 $+1$, 중성 입자는 0 을 갖는다. 두 번째 항은 확산속도로서 D_i 는 입자의 확산계수를 나타낸다. 식(3)은 입자에 대한 연속방정식을 나타낸다. 첫째 항은 시간에 따른 입자의 밀도 변화, 두 번째 항은 주어진 지점에서의 입자의 플럭스의 변화량, 우변 항은 소스 항을 나타낸다.

포아송 방정식의 경계조건은 전극이 존재하는 부분을 제외하고는 모두 경계에서 대칭조건을 사용하였다. 연속 방정식의 경계조건은 다음과 같은 조건을 이용하였다.

중성입자: $\Gamma_i = \frac{1}{4} n_i v_{i,th}$

하전입자: $\Gamma_i = b n_i v_i + \frac{1}{4} n_i v_{i,th}$ $v_{i,th}$: thermal velocity..

$b=0$ (입자의 드리프트 속도가 벽면 방향이 아닐 때)

$b=1$ (입자의 드리프트 속도가 벽면 방향일 때)

유전체 표면에서의 이차전자 방출은 이온의 경우만을 고려하였다. 이차전자 방출 계수는 Ne 이온의 경우에는 0.3, Xe 이온의 경우에는 0.03을 가정하였다.

본 모델에서는 기본적으로 Ne-Xe(7%) 혼합가스에 대해서 수치해석을 수행하였다. 본 모델에 사용된 입자의 종류는 Ne의 경우에 6개, Xe 가스의 경우에는 8개를 고려하였다. 이들 기체간의 자세한 반응식은 참고문헌[8]에 자세히 기술되어 있다.

2.2 수치해석 조건

그림 1은 본 연구에서 다루고 있는 원통형 소자의 수치해석 모델을 나타내고 있다. 방전셀의 구조가 원통축(z축)을 중심으로 대칭이기 때문에 원통구조의 한 단면을 계산함으로써 방전셀의 특성을 파악할 수 있다. 방전공간 내부의 전체 홀의 깊이는 200 μ m이며, 홀의 직경은 50,70,100,150,200 μ m로 가변하였다. 하면과 윗면은 막힌 구조로 되어 있고, 원통의 측면을 따라서 20 μ m 두께의 유전체로 덮인 전극이 링 형태로 존재한다. 전극의 폭은 50 μ m이며, 두 전극간의 간격은 60 μ m이다. 실험에 사용된 가스는 Ne-Xe(7%)를 사용하였고 압력은 조건에 따라 30~700Torr로 가변하였다.

원통 구조는 만약 원통의 직경이 무한히 커진다면, 평면상에서의 면방전 형태로 수렴하게 될 것이다. 따라서 원통구조와 평면에 존재하는 면방전 구조와의 비교를 위하여 평면상의 면방전에 대해서도 수치해석을 수행하였다. 그림 2는 면방전 구조의 개략도와 세부적인 수치를 나타내었다. 원통구조와 비교를 위해서 원통구조에서 사용한 전극간격, 전극폭, 유전체 두께와 동일한 값을 사용하였다.

본 논문에서 방전전압은 교류형 플라즈마 표시기에서의

방전전압 측정법을 활용하였다. 즉, 각 조건에서 벽전압 전달 곡선을 계산하여 기울기 2인 직선과 만나는 전압을 측정하였다[9].

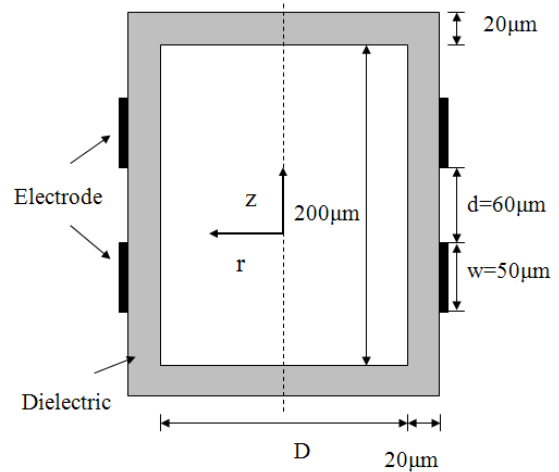


그림 1 원통구조의 단면도와 상세스펙

Fig. 1 Schematic diagram in cross section of the cylindrical structure

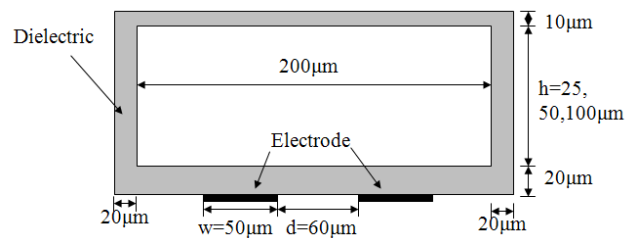


그림 2 면방전 구조의 단면도와 상세스펙

Fig. 2 Schematic diagram in cross section of the coplanar structure

3. 수치해석 결과

일반적으로 글로우 방전에서 방전 개시전압은 pd(압력과 두 전극 사이의 거리의 곱) 값의 함수로 표현된다. 이는 기체 내에서 전자의 충돌에 의한 이온화 확률이 전자들의 평균적인 운동에너지에 의존한다는 것에 기초한다. 그림 3은 평면방전 구조의 방전개시전압 특성이다. 비교를 위하여 상하판의 간격을 25,50,100 μ m로 가변하였고 가스 압력은 40~700Torr까지 가변하였다. 전반적인 그래프의 개형은 Paschen 곡선의 형태를 보여주고 있다. 방전개시전압이 최소가 되는 pd값을 중심으로 방전 전압은 증가하고 있고, pd값이 커지는 쪽에서 보다는 작아지는 쪽으로 갈수록 방전전압은 크게 상승하는 결과를 보여주고 있다. 가장 주목할 만한 특성은 상하판 거리에 따른 방전 전압의 변화이다. 상하판의 간격이 100 μ m의 경우에는 pd값이 대략 0.5~0.7근처에서 가장 낮은 방전 개시전압 특성을 보여주다가 25 μ m로 갈수록 최소값이 결정되는 pd값이 조금씩 상승하였다. 또한 상하판의 간격이 좁아질수록 전체적인 방전전압이 크게 상승하였다. 상하판의 간격이 작아질수록 방전이 발생할 때 하전입자

는 상판 쪽으로 손실될 가능성이 많아지고, 또한 상하판의 좁은 간격은 두 개의 면전극간에 방전경로를 제한하게 된다. 따라서 상하판 간격이 작아질수록 방전 전압은 급격하게 증가하는 특성을 갖는 것으로 보인다.

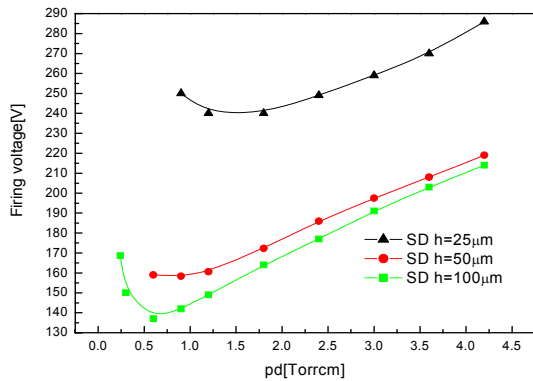


그림 3 면방전 구조의 Paschen 곡선. Ne-Xe(7%)
 Fig. 3 Paschen curve of the coplanar structure. Ne-Xe(7%)

그림 4는 원통 구조에서 홀의 직경과 압력이 가변될 때 방전 개시전압을 pd의 곱의 함수로 도시한 것이다. 면방전 구조와의 비교를 위하여 면방전에서의 방전개시전압을 함께 도시하였다. 원통구조에서 100µm와 200µm의 방전개시전압은 pd영역에 따라서 약간의 크고 작음에 차이가 나타났다. 그러나 원통의 직경이 50µm인 경우에는 다른 두 구조에 비해서 방전전압이 크게 증가하였다. 전체적으로는 높은 pd 값에서는 세 결과가 차이가 줄어들었고, 낮은 pd에서는 서로간의 차이가 더 크게 나타났다. 원통구조에서 우리가 생각해 봐야 할 점은 원통 구조는 구조적인 특성상 원통의 중심축을 중심으로 방전형상이 대칭으로 나타난다. 따라서 원통의 측면에 존재하는 두 개의 전극 간에 방전이 발생할 때 측면전극에서 원통의 중심축까지의 거리(D/2)가 면방전에서 상하판 간격처럼 방전을 제한한다는 것이다. 다만 면방전에서 상판의 역할과 다른 점은 원통의 중심축에서는 전하의 손실이 없다는 것이다. 방전영역을 제한하는 변수가 면방전에서는 h라고 하면 원통구조에서는 D/2에 해당하므로, h=25,50,100µm인 경우는 D=50,100,200µm인 경우와 각각 비교될 수 있다. D=200µm와 h=100µm를 보면, 원통 구조의 방전개시전압이 약간은 낮게 나타났으며 그 차이는 크지 않았다. 반면에 D와 h가 작아질수록 원통구조와 면방전 사이에는 방전 개시 전압의 차이가 더 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 우리가 직관적으로 예측할 수 있듯이, 원통직경이 커질수록 원통 중심의 영향은 작아질 것이므로 원통구조가 면방전과 유사 해진다는 것을 의미한다. 또한 원통직경이 작아질수록 원통 중심의 역할은 크게 중요하게 되며, 원통직경이 작아지면 방전 영역을 제한함에도 불구하고 평면구조와는 달리 전하손실이 없기 때문에 방전전압의 증가가 면방전보다는 작게 나타난다고 생각된다.

그림 5는 원통 직경이 50,100,150,200µm이고 압력이 100~500Torr까지 변하는 조건에서 전자밀도 분포를 도시한 결과이다. 원통의 위에서 내려다보았을 때 전자들의 밀도분포가 원통 내부에서 어떤 식으로 분포하는지를 알아 보기 위하여, 한주기 동안에 평균적인 전자밀도를 계산하고 z축 방향

으로 적분하여 평균한 값을 나타내었다. 구동전압은 그림4의 결과에서 방전 개시전압과 유지전압의 중간 값을 사용하여 구동하였다 (D=150µm인 경우 인가전압은 압력에 따라 133V,143.7V,156V,170V,181.5V). 이전 결과와 유사하게 원통 구조에서 하전입자의 분포는 조건에 따라서 두 가지 특징을 보여주었다[7]. 첫째는 원통의 크기가 작거나 압력이 낮은 경우에 하전입자들의 분포가 원통 중심에 위치하는 경우로, 그림 5의 결과에서는 (D=50µm,100~500Torr), (D=100µm, 100~500Torr), (D=150µm, 100~300Torr), (D=200µm, 100Torr)인 조건들이 해당한다. 두 번째는 입자들의 분포가 도우넛 형상을 갖게 되는 경우로, (D=150µm, 500Torr), (D=200µm, 200~500Torr)인 조건들이 해당한다. 직경이 100µm 이하인 경우에는 계산된 모든 압력 조건에서 원통 중심에 전자들이 분포하고 있으며, 직경이 더 큰 경우에는 압력 조건에 따라서 다른 양상을 보이고 있다. 이러한 현상이 발생하는 핵심적인 원인은 음극 쉬스의 두께와 원통 구조의 전위분포와 크게 관련되어 있다. 예를 들어 원통의 직경이 고정되었을 때 압력이 높아질수록 음극 쉬스의 폭은 얇아지게 되며 부글로우 영역은 전극 표면에 가까워지게 된다. 이렇게 되면 원통 구조를 위에서 내려다 보았을 때 입자들의 분포는 전극 표면에 가까운 도우넛 형상을 갖게 된다. 압력이 낮은 경우에는 음극쉬스의 폭이 두꺼워지면서 부글로우 영역은 원통 중심에 가까워지게 되고 압력이 더 낮아지면 부글로우 영역이 합쳐져서 하전입자들이 실린더 축 상에 분포하게 된다. 원통 축에 분포하는 입자들은 방사상(radial) 방향의 전계가 존재하지 않고 z축을 따라서 움직이므로 하전입자의 손실이 훨씬 줄어들게 된다.

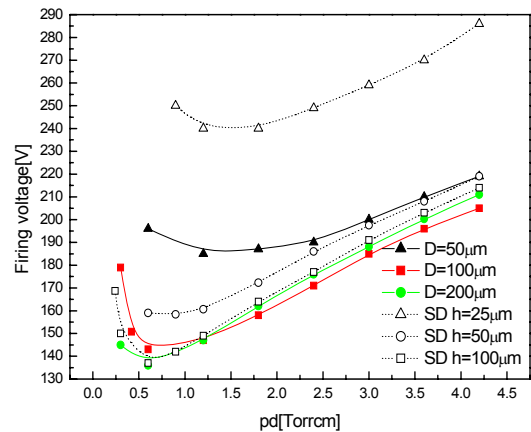


그림 4 원통구조와 면방전 구조의 Paschen 곡선 비교.
 Fig. 4 Comparison of Paschen curve between cylindrical and coplanar structures.

이상적으로 방전개시전압은 방전공간에서의 이온화 정도와 음극에서의 이차전자의 방출량과 관련되어 있다. 그러나 실제적으로는 방전공간에서의 전하의 손실분도 함께 고려되어야 한다. 즉, 방전공간에서 아무리 전자에 의한 이온화가 잘 일어난다 하더라도 생성된 하전입자들이 전극에 도달하기 전에 벽면으로의 확산이나 재결합에 의해 손실되어 버린다면 방전전압은 증가할 수밖에 없다. 그런 면에서 원통구조의 중심축은 하전입자의 손실을 크게 줄일 수 있으며, 이

러한 성질은 방전전압을 낮추는 방향으로 연결될 것이다. 원통구조의 중심은 전하의 손실을 최소화할 수 있는 방전 경로이지만, 그 경로를 이용하기 위해서는 D를 줄이거나 압력을 낮춰서 방전이 원통중심에 집중되도록 만들어 한다. 하지만 D나 압력의 감소로 방전이 원통중심에 집중되도록 하는 것은 방전경로를 제한하는 역효과가 발생할 수 있다.

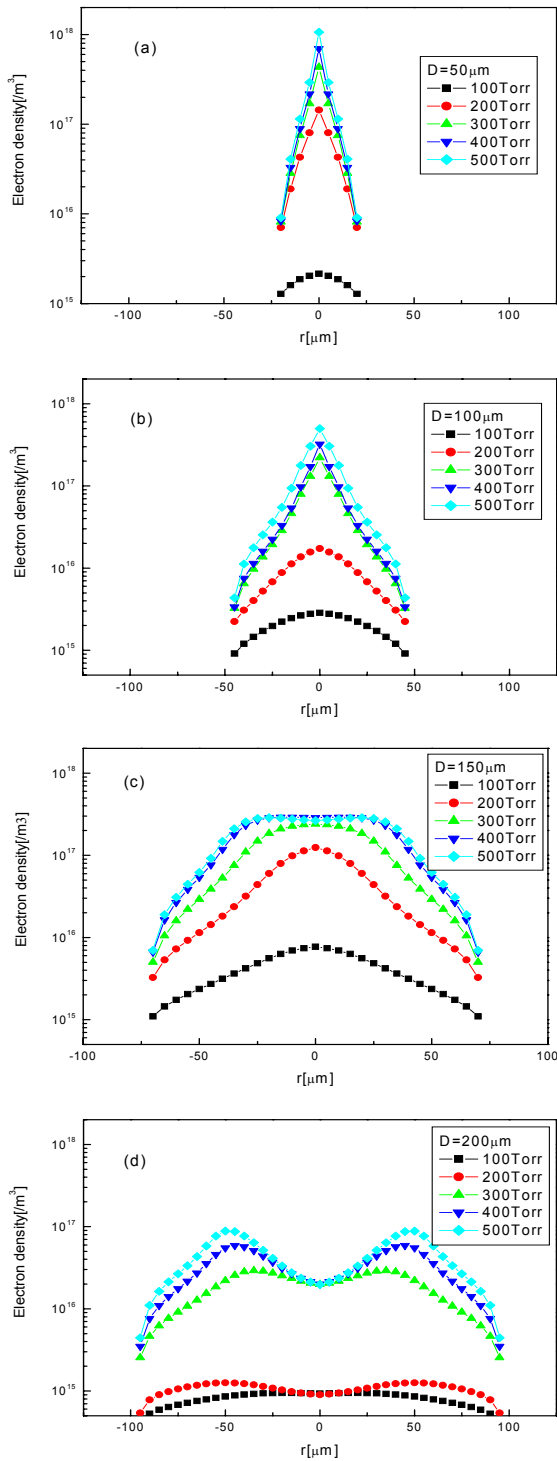


그림 5 압력과 원통직경에 따른 전자들의 공간밀도분포
Fig. 5 Spatially resolved electron density produced in different diameters and pressures

그림 6의 결과는 동일 압력에서 원통직경을 가변 시키면서 계산한 방전개시전압이다. 전반적으로 원통직경이 감소하면서 방전 개시 전압이 수 볼트 정도 감소하다가 특정한 원통 직경값 이하에서 방전개시전압이 급격하게 증가하는 일관된 경향을 보였다. 원통직경이 감소하면서 방전개시전압이 수 볼트 정도 감소하는 것은 원통의 직경이 작아지면서 방전이 원통중심에 모이는 효과 때문으로 생각된다. 그러나 앞에서 설명한 것처럼 D가 너무 작아져서 방전 경로를 제한하게 되는 경우 방전개시전압이 급격하게 상승됨을 확인할 수 있다. 100Torr의 경우를 보면, 대략 150μm보다 원통직경이 작아지면 방전개시전압이 상승하였고, 300Torr 이상에서는 100μm에서 최소값을 갖고 그 보다 원통직경이 작아지면서 방전개시전압이 상승하는 경향을 보여 주었다. 이와 같은 차이는 압력에 따라서 음극쉬스의 두께가 달라지고, pd값이 변화하면서 방전의 최적 경로가 달라지기 때문인 것으로 보인다.

그림 7은 원통직경이 50, 100, 150 및 200μm인 경우, 압력을 100~500Torr까지 가변하면서 방전개시전압과 최소 방전유지전압을 구하여 pD의 함수로 표현한 결과이다. 기본적으로 원통직경이 감소할수록, 압력이 증가할수록 방전개시전압과 최소유지전압이 증가함을 볼 수 있다. 특히, D=50μm의 경우에는 압력이 특정값 이하로 감소하면 방전 경로가 제한되어 방전개시전압 및 최소유지전압이 급격하게 상승함을 알 수 있다. 특히, 그림 6에서 중요한 점은 전압마진(방전개시전압과 최소유지전압의 차) 특성이다. 기본적으로 압력이 높아질수록 전압마진이 커졌으며, 특히 원통 직경이 작을수록 전압마진은 크게 증가하였다. 압력의 증가에 따라 전압마진이 증가하는 것은 면방전 구조에서도 동일하게 관측되는 현상이다[9]. 원통 직경이 감소하면서 전압마진이 증가한다는 것은 방전개시전압 대비 최소 방전유지전압이 크게 감소한다는 것을 의미한다. 실제적인 관점에서 최소 방전유지전압은 일단 방전이 개시된 상태에서 전압이 감소하더라도 방전이 계속 유지되는 최소한의 전압을 의미한다. 따라서 방전 개시전압과는 달리 음극쉬스가 형성되는 있는 상태이며, 결국 음극 쉬스가 유지될 수 있는지의 여부가 최소 방전유지전압을 결정하게 된다. 음극 쉬스가 유지되기 위해서는 음극의 앞쪽에 매우 강한 밀도의 이온이 존재해야 하며, 이러한 관점에서 원통직경이 작을수록 방전이 원통중심에 집

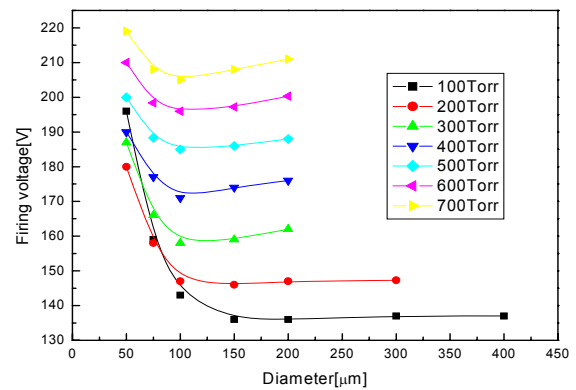


그림 6 원통직경에 따른 방전 개시 전압
Fig. 6 Firing voltage as a function of diameter at various pressures

속되면서 이온들의 밀도가 높아지기 때문에 최소 방전유지 전압이 감소하는 것으로 생각된다.

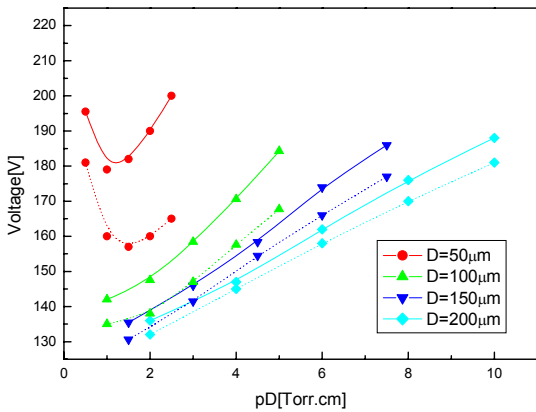


그림 7 pD 따른 방전개시전압과 최소유지전압
Fig. 7 Firing and sustain voltage as a function of pD

그림 8은 원통직경이 50, 100, 150 및 200µm인 경우에 압력을 100~500Torr까지 가변하면서 단위체적당 Xe의 여기종이 방출하는 UV(ultra violet)의 출력 전력을 나타낸 것이다. 인가전압은 그림 6에서 얻어진 방전개시전압과 최소 유지전압의 중간값을 적용하였다. 원통직경에 따른 전체 UV 출력은 직경이 클수록 당연히 커질 것이므로, 여기서는 UV 출력 밀도를 비교하여 얼마만큼 밀도가 증가할 수 있는지를 살펴보았다. 압력이 증가하면서 출력전력밀도는 증가하였고, 원통직경이 200µm에서 50µm로 감소하면서 압력이 500 Torr인 경우 최대 17배 정도의 출력전력밀도가 증가하였다. 이것은 원통직경이 커지면서 전체 방전 영역이 원통 전체의 면적으로 활성화되기 어렵기 때문으로 관찰되었다.

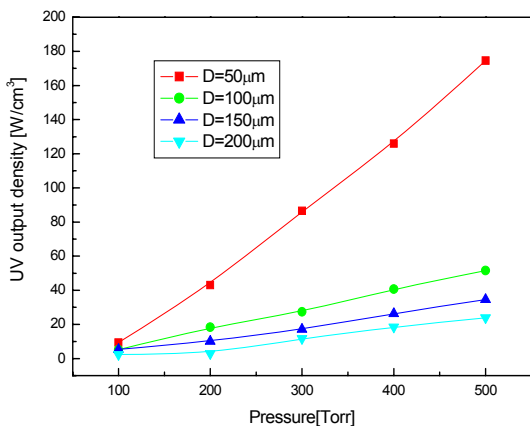


그림 8 압력과 원통직경에 따른 UV 출력전력 밀도
Fig. 8 UV output density according to the pressures and diameters

그림 9는 그림 8의 결과에 대해서 UV 효율을 계산한 결과이다. 압력에 따른 변화를 보면, 원통직경이 작은 경우에는 압력이 증가하면서 효율이 급격하게 증가하지만, 원통직경이 커질수록 압력에 따른 효율 증가가 둔화되는 양상을

보였다. 일반적인 면방전 구조에서는 방전공간이 감소할수록 전하 및 여기종의 손실이 커지기 때문에 효율이 감소하는 경향을 보인다. 그러나 원통형 방전구조에서는 낮은 압력에서는 직경이 큰 구조가 효율이 좋았지만 500Torr에서는 오히려 직경이 작은 경우가 효율이 훨씬 높아지는 결과를 보여주었다.

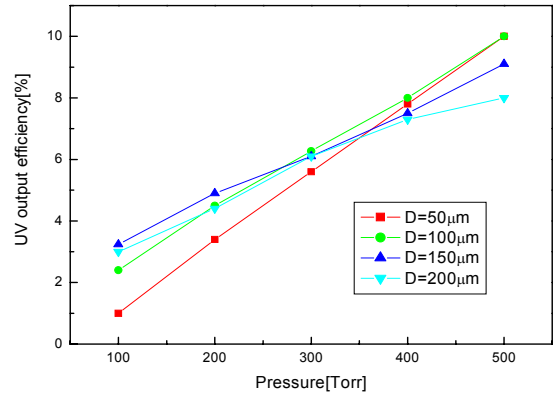


그림 9 압력과 원통직경에 따른 UV 출력효율
Fig. 9 UV output efficiency according to the pressures and diameters

이 결과를 해석하기 위하여 그림 9의 (a),(b)에 전체 에너지 중에 전자의 에너지 획득비율(electron heating efficiency)과 전자가 얻은 에너지 중에 Xe의 여기종을 만드는데 소모된 에너지 비율(Xe excitation efficiency)을 나타내었다. 그 결과 전체적으로 원통의 직경이 작을수록 전자의 에너지 획득 비율이 크고, 전자가 Xe의 여기종에 소모하는 에너지 비율은 작은 것으로 나타났다. 또한 압력이 높아지고 원통직경이 작아질수록 이러한 값들의 증가율은 크게 나타났다. 전자가 Xe를 여기 시키는데 쓰는 에너지의 비율은 방전 내에서 전자의 에너지에 가장 크게 의존한다. 직경이 클수록 방전공간 내에서는 강한 전계뿐만 아니라 약한 전계 영역도 많이 존재하며 이러한 조건이 여기 효율을 좋게 만든 것으로 생각된다.

전자의 에너지 획득 비율은 좀 더 복잡한 메카니즘으로 이루어져 있다. 기존의 면방전 구조를 살펴보면, 전자의 에너지 획득 비율은 보통 압력이나 Xe의 분압 비율이 증가할수록, 양광주의 영향이 커질수록 증가한다. 특히 압력 및 Xe의 분압 증가의 영향에 대해 정우준 박사가 발표한 논문에서 따르면, 압력이나 Xe의 분압이 증가할수록 공간 전하밀도가 증가하여 음극쉬스 내에 매우 강한 전계를 형성하게 된다. 이러한 강한 전계는 음극쉬스를 지나고 전자의 에너지를 증가시켜서 부글로우 영역에서 Ne 이온의 밀도가 상대적으로 증가하게 된다. 결과적으로 Ne 이온의 증가에 의해서 이차 전자의 방출이 증가하여 전자의 에너지 획득 비율이 증가한다고 설명하고 있다[9]. 원통의 직경이 작아지면 원통 중심에서의 하전입자 밀도가 매우 높아지게 되며, 압력의 증가는 하전입자의 밀도를 더욱 증가시킨다. 이것은 면방전에서의 고 Xe, 고 압력에서의 효율향상 메카니즘과 동일한 현상을 유발할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 원통 중심의 대칭적인 전계분포는 이온에 비해 상대적으로 손실되기 쉬운 전자

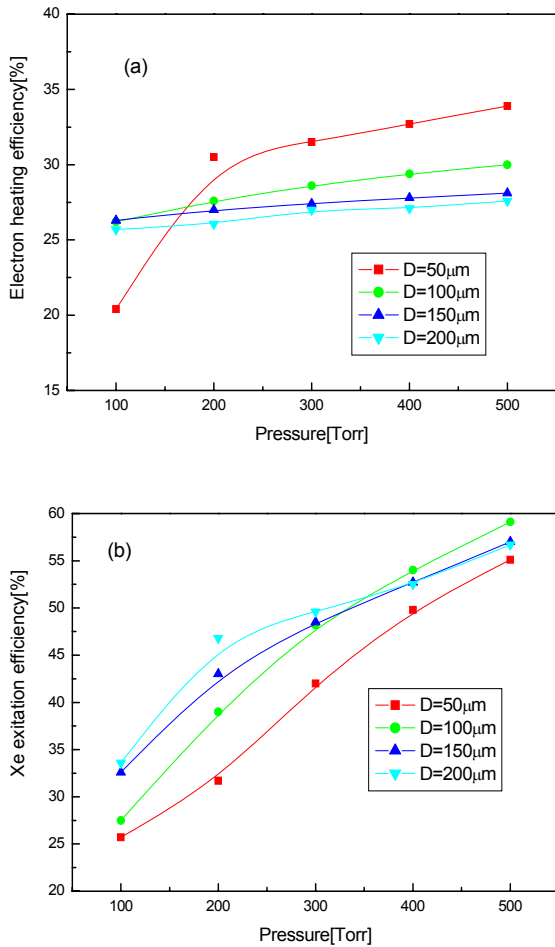


그림 10 전자의 에너지 획득 비율(a)과 전자가 Xe 여기종 생성에 소모하는 에너지 비율(b)
 Fig. 10 Electron heating efficiency(a) and Xe excitation efficiency(b)

의 손실을 줄이는 역할을 함으로써 전자의 에너지 획득 비율을 증가시킨 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 원통구조 방전 소자의 방전전압과 휘도 및 효율 특성을 유체식을 이용한 수치해석 기법을 이용하여 해석하였다. 기본적으로 방전 개시 전압의 측면에서 원통형 방전 구조가 면방전 구조에 비해 효과적인 특성을 나타내었다. 특히, 원통형 방전 소자의 경우 방전 개시 전압을 결정하는 인자가 압력(p)과 전극간 거리(d) 뿐만 아니라 원통직경(D)이 매우 중요함을 밝혀내었다. 즉, 원통형 방전 소자의 경우, 적절한 동작 조건에서 방전을 원통 중심으로 모이게 하여 입자의 손실을 최소화 하여 방전 개시전압을 감소시키는 특성을 보였으나, 원통 직경이 너무 감소하는 경우 방전 경로가 제한되어 방전 개시 전압이 급격하게 증가하였다. 또한, 원통직경이 작아지면 방전이 원통중심에 집중되면서 이온들의 밀도가 높아져서 방전 개시전압과 최소 방전유지

전압의 차이가 증가하여 전압마진이 증가하였다. 특히, 원통의 직경이 작아질수록 전자의 에너지 획득 비율이 향상되어, UV 방출전력 밀도 및 효율이 향상됨을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 인천대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

- [1] K. H. Schoenbach, A. El-Habachi, W. Shi, M.Ciocca, "High-pressure hollow cathode discharge", Plasma sources Sci. Technol. vol. 6, pp.468-477, 1997.
- [2] K. H. Schoenbach, A. El-Habachi, M. M. Moselhy, W. Shi, R. H. Stark, "Microhollow cathode discharge excimer lamps", Physics of Plasma, vol.7, no.5, pp.2186-2191, 2000.
- [3] S. -J. Park, K.S. Kim, A. J. Price, P.A. Tchertchian, P. -Y. Chen, J. K. Yoon, J. G. Eden, " Large scale arrays of microcavity plasma devices based on encapsulated Al/Al2O3 electrodes: Device characteristics as a plasma display pixel and low cost wet chemical fabrication processing", Digest of Technical Papers - SID International Symposium, vol. 38, no 1, pp. 538-541, 2007.
- [4] M.J.Kushner, "Modeling of microdischarge devices: Pyramidal structures", J. Appl. Phys., vol. 95, no.3, pp. 846-858, 2004
- [5] J.P.Boeuf, L.C.Pitchford, K.H.Schoenbach "Predicted properties of microhollow cathode dischargee in xenon", Appl.Phys.Lett., vol.86, 071501,2005
- [6] L. Meng, J. Xing, Y. Liang, and C. Liu, "Simulation of breakdown voltage of coplanar electrodes microplasma devices", IEEE trans. on plasma science, vol. 41, no.1, pp.12-16, 2013
- [7] J. Seo, J. G. Eden, "Two-dimensional simulation of ac-driven microplasma confined to 100-300μm diameter cylindrical microcavities in dielectric barrier devices", J. Appl. Phys., vol. 100, pp. 123302, 2006
- [8] J. Seo, W. Chung, C. Yoon, J. Kim, K. Whang, "Two dimensional modeling of a surface type alternating current plasma display", IEEE trans. on plasma science, vol. 29, issue 5 Part: 2, pp.1038-1043, 2001
- [9] W. J. Chung, B. J. Shin, T. J. Kim, H. S. Bae, J. H. Seo, and K. Whang, "Mechanism of high luminance efficient discharges with high pressure and high Xe-content in AC PDP", IEEE trans. on plasma science, vol. 31, no.5, pp. 1038-1043,2003

저 자 소 개



서 정 현 (徐正炫)

1971년 7월 12일생. 1993년 서울대 전기 공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학 부 졸업(공박). 2000년 9월~2002년 8월 삼성 SDI PDP 개발센터 과장. 2002년 9월~현재 인천대학교 전자공학과 부교수.

Tel : 032-835-8442

Fax : 032-835-0774

E-mail : pdpsunya@incheon.ac.kr



신 범 재 (慎范宰)

1967년 6월 14일생, 1990년 서울대 전기 공학과 졸업, 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(공석), 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(공박), 1997년~2000년 삼성 SDI PDP팀 선임연구원, 2000년~2001년 Stevens Institute Technology Research scholar, 2002년~2003년 서울대학교 전기공학부 연구원, 2003년~현재 세종대학교 전자공학과 부교수

Tel : 02-3408-3905

Fax : 02-3408-3902

E-mail : hahusbj@sejong.ac.kr