

## 음이온 생성을 위한 표면 유전체장벽방전의 설계조건 연구

(A Study of The Surface Dielectric Barrier Discharge Design Conditions for Generating Negative Air Ions)

신상문\* · 김정윤 · 김중수 · 최재하 · 최원호\*\*

(Sang-Moon Shin · Jung-Yoon Kim · Jong-Soo Kim · Jae-Ha Choi · Won-Ho Choi)

### Abstract

This paper describes a study of the design conditions of a planar surface dielectric barrier discharge (DBD) reactors for generating negative air ions. The capacity of negative air ion generated by the surface DBD reactor is affected by the shape, area ratio and the location of the discharge and induction electrodes of it. To study the optimal design conditions of DBD reactors, the electrodes printed on the substrate of a PCB board is utilized to conduct kind of experiments: the distance of the each electrode along with the X-Y axis, the area ratio of the discharge electrode to induction electrode, and the symmetrical and asymmetrical location of two electrodes. The ion generation capacity is inverse proportional to the gap increases along with X-Y axis. And the optimum ion concentration generated by the ionizer was inspected when the electrodes area ratio was 3 and 5 times of the symmetrical and asymmetrical experimental condition respectively.

Key Words : Dielectric Barrier Discharge, Ionizer, Ion Generation Reactor

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

실내 공기 질을 개선하기 위한 이온나이저(Ionizer)의 개발은 부유미생물의 제거, 악취 제거, VOC감소 등에 유용성을 보여주고 있으며 이온나이저를 이용하여 공기 질을 개선하는 것은 가스필터, 고체 매질 필터, 전기집진기, 오존발생기나 촉매 등의 기술을 사용하는 것에 비하여 유해물질의 분해에 있어 더욱 다양한 장점을 가지고 있다[1]. 또한 실내공간에서의 인간의 기분을 쾌적하게 할 수 있으며 스트레스의 감소에

---

\* 주저자 : 울산대학교 전기공학부 대학원  
\*\* 교신저자 : 울산대학교 전기공학부 교수  
\* Main author : Doctor course, Electric school of University of Ulsan  
\*\* Corresponding author : Professor, Electric school of University of Ulsan  
Tel : 010-7774-3546, Fax : 052-259-1687  
E-mail : sangmoon.shin@gmail.com  
접수일자 : 2013년 11월 20일  
1차심사 : 2013년 11월 23일  
심사완료 : 2013년 12월 5일

도 기여를 하는 것으로 알려졌다[2].

실내 환경이나 산업용으로 사용되는 이오나이저는 DC나 AC 고전압을 전극에 인가하여 공기를 이온화한다.

이온을 생성하기 위하여 고전압을 인가하는 전극은 침형의 금속 전극[3]이나 탄소섬유[4-5], 그리고 유전체장벽방전(Dielectric Barrier Discharge)방식[6-10]이 있다.

침형 전극의 경우 구조가 간단하고 제작비용이 저렴하다는 장점이 있지만 일정한 DC전압을 지속적으로 인가해야 하므로 많은 에너지가 소비되는 전극구조이며 방전을 일으킬 수 있는 고전압을 인가하기 위한 전원회로는 불필요하게 크게 설계되어야 한다. 또한 금속으로 가공하여 제작하는 침형전극은 제작된 전극의 크기가 일정하지 않아 방전 특성이 전극마다 다르다는 문제가 있다[6].

또한 고전압이 인가되는 전극 주변으로 공기 중의 먼지를 끌어당겨 흡착하게 되고 두꺼워진 먼지 층은 코로나방전을 방해하게 된다. 이오나이저의 사용시간이 길어질수록 두꺼워진 먼지 층으로 인하여 방전을 하지 못하게 되고 이온 발생이 제한되는 문제가 발생한다. 따라서 정기적으로 침형전극의 먼지를 제거해야 하는 문제가 있다. 만약 고전압이 인가된 상태에서 전극을 청소해야 하는 경우 위험과 고장의 원인이 될 수 있다[6].

탄소섬유 전극은 팬을 이용하여 공기의 흐름 가운데 전극을 배치할 경우 비교적 먼지에 의한 오염은 많지 않으나 탄소섬유 자체의 수명이 짧은 것이 문제가 되며, 상용품의 경우 수명을 늘리는 것이 기술개발의 주제가 되고 있다.

반면 표면 DBD 플라즈마 반응기(Surface DBD Plasma Reactor, 이하 DBD반응기)는 동일한 이온 발생량에 대한 전력 소비가 DC를 사용하는 침형 전극에 비해 낮은 장점이 있으며 유전체면의 상단면에 배치된 방전전극에 의해 2차원적인 이온발생이 가능하여 공간 내에서의 이온발생량 변화가 적은 장점이 있다. 또한 침형전극에 비해 낮은 전압에서 방전이 가능하여 먼지 흡착에 의해 오염이 잘되지 않으며 방전전극의 배치에 따라 표면 전체에서 방전을 일으킬 수 있다[6-7].

DBD반응기의 방전전극은 다양한 형태의 패턴으로 설계가 가능하다. 기존에 소개된 전극 패턴은 동일한 전력을 공급했을 때 더 많은 이온을 발생시킬 수 있는 형태로 연구되고 있다. 표면 DBD방식의 구조로 설계된 DBD반응기의 경우 방전전극의 형태와 유도전극의 형태, 위치, 전극의 재료와 두께에 따라 이온의 발생량에 차이가 있다는 것을 알 수 있다[6-9,11].

본 논문에서는 PCB를 이용하여 표면 DBD방식의 DBD반응기를 설계하여 방전전극과 유도전극의 형태, 배치에 따라 달라지는 이온발생량을 실험을 통해 확인하고 기존에 발표되었던 연구를 종합하여 최적의 이온발생 조건을 정리하고자 한다.

## 1.2 관련 연구

표면 DBD의 전극은 유전체 기판의 상단 면에 방전 전극(Discharge electrode)을, 반대 면에 유도전극(Induction electrode)을 배치시킨 평판형 구조로 이루어져 있다. 유전체 기판은 세라믹, 유리 등의 소재로 구성할 수 있으며 전극은 유전 장벽의 재료에 따라 후막성형이나 에칭을 이용하여 표면에 인쇄할 수 있다[8-9].

이온의 발생량은 인가된 전압의 크기가 동일한 조건이라면 방전전극과 유도전극의 형태에 따라 달라진다. Seto et al.[6]은 긴 막대형태의 유전체 기판 위에 전극을 배치시킨 구조를 이용하여 음이온을 생성한다. 직사각형의 긴 막대형태의 유도전극의 좌우 경계에 침형 돌기를 추가한 형태의 전극을 이용하여 DBD반응기를 제작하였고 Sekoguchi et al.[7]은 유전체 기판위에 망사형태(grid)의 전극구조를 제시하였다. 망을 이루는 격자 사이사이에 돌기를 추가하여 방전전압을 낮추면서 오존의 발생량을 줄일 수 있는 전극 구조를 제시하였다. Dong-Hun Yeo et al.[8]은 방전전극과 유도전극의 위치가 세라믹 기판의 위, 아래에 있을 때 접치는 면적에 비례하여 이온 발생량이 증가하며, 세라믹 기판의 두께, 전극 보호 층의 두께에 비례하여 음이온의 발생량이 줄어드는 것을 확인하였다. Rae Eun Park et al.[9]는 기판의 외곽과 내부에 망사와 침 형태

를 조합한 구조의 전극을 제시하여 이온의 발생량을 측정하였다. 본 문헌에서는 전극 구조의 복잡함, 즉 격자의 내 외부에 추가한 침 형태의 전극이 많고 적음에 따라 이온의 발생량이 달라지는 것이 아닌 방전전극과 유도전극의 면적 비에 따라 이온의 발생량이 달라진다는 것을 기술하고 있다.

본 논문에서는 전극 구조에 따라 달라지는 이온의 발생량을 확인하기 위하여 전극의 형태를 돌기나 침 형태를 추가하지 않은 가장 단순한 형태인 직사각형의 막대 모양의 전극 구조를 이용하여 실험하였다. 방전전극과 유도전극의 크기, 상대위치, 대칭, 비대칭의 조건을 달리하여 음이온 발생량을 비교 분석하였다.

## 2. 이오나이저의 개발

### 2.1 이오나이저의 설계

실험을 위해 설계한 이오나이저는 그림 1과 같이 ON/OFF스위칭 제어부(1차 함수 발생기), 2차 함수 발생기, 고전압 변환부, DBD반응기로 구성된다.

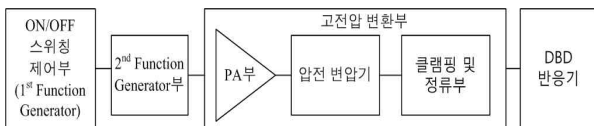


그림 1. 이오나이저의 구조  
Fig. 1. The structure of ionizer

ON/OFF 스위칭 제어부는 구형파(Square pulse)를 만드는 목적으로 설계한다. 12V의 전압을 20~25%의 On duty ratio가 되도록 설계하였다. DBD반응기는 전압이 인가 될 때 커패시터처럼 동작하게 된다. 이 반응기에 약 25% 이상의 On duty ratio로 구형파를 인가하면 반응기 내에 전하를 축적하게 되어 방전전극과 유도전극 사이의 전위차가 방전을 일으킬 수 있는 전위차 이하가 될 수 있다. 이 조건에서는 방전이 이루어지지 않으므로 이온이 발생되지 않게 된다. 따라

서 25% 이하의 On duty ratio가 되도록 설계하는 것이 중요하다[9].

2차 함수 발생기(Function generator)는 압전변압기의 동작 주파수를 생성하는 역할을 수행한다. 가장 단순하게는 비안정 멀티바이브레이터와 같은 구형파 발생기를 사용할 수 있으며 사인파를 발생하기 위한 OP-AMP회로를 사용할 수 있으며 회로를 단순하게 하면서 압전변압기의 출력 전압을 입력으로 케환하여 압전변압기에 의한 승압의 변화를 보상하는 회로를 사용할 수 있다. 본 설계에서는 주파수, On duty ratio를 실험의 조건에 맞추어 조정하기 위해 비안정 멀티바이브레이터를 이용하였다.

전력증폭기(Power amplifier)는 압전변압기에 승압을 위한 충분한 전력을 공급하기 위해 사용한다. 압전변압기를 구동하기 위한 전력증폭기의 종류로는 Push-Pull, Half-Bridge, Class-E 구조가 사용되고 있으며 본 논문에서는 좁은 면적의 보드상에서 최소의 부품 수로 구현할 수 있는 Class-E 구조를 사용하였다[12-13].

승압을 위해 이용한 압전변압기는 압전소재의 압전, 역압전현상을 이용하여 인가되는 AC 입력 전압을 기계적인 진동에너지를 변환한 후 출력단에서 다시 전기에너지로 변환하여 승압/감압하는 변압기이다. 압전변압기는 권선형 변압기에 비하여 EMI의 문제 및 연소의 문제가 없으며 소형으로 높은 변압을 할 수 있는 특성이 있다[12]. 사용한 압전변압기는 로젠(Rosen)형의 승압용 압전변압기로 상용품인 MPT2805C00R2 (Konghong, 중국)를 사용하였으며 5×28×2.75mm의 사이즈에 공진주파수 120kHz에서 50배의 승압을 하는 변압기이다[14].

클램핑 및 정류부는 두 개의 다이오드와 하나의 저항으로 구성되어 있다. 다이오드는 최소 4kV 이상에서도 동작할 수 있는 고전압 다이오드를 이용하여 압전변압기를 통해 승압된 교류 전압 성분에서 양의 전압이나 음의 전압을 정류하여 사용하였다.

그림 2는 제작한 이오나이저이며 그림 3은 DBD반응기에 인가되는 파형을 1000:1 프루브인 P6015A (Tektronix, 미국)를 이용하여 측정한 사진을 보여주고 있다.

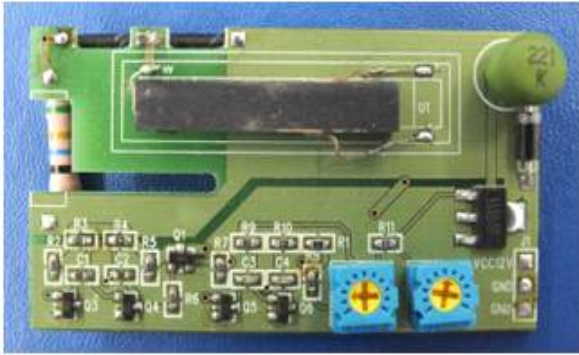


그림 2. 제작된 이온나이저  
Fig. 2. The fabricated ionizer

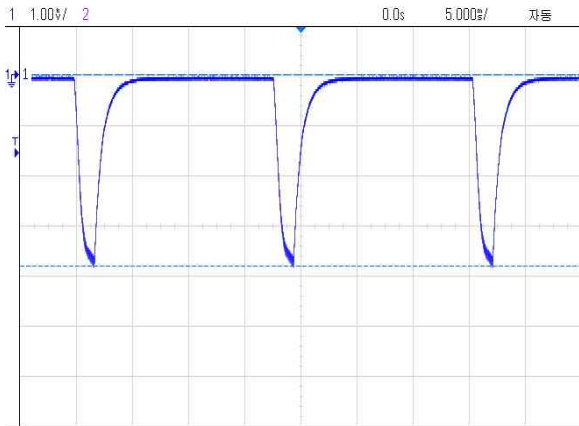


그림 3. 이온나이저의 출력전압  
Fig. 3. The voltage output waveform of the fabricated ionizer

## 2.2 DBD 반응기의 설계

DBD 반응기는 표면 DBD방식의 방전을 일으킬 수 있도록 유전체 평판의 양 면에 금속 전극을 배치한 구조로 제작하였다. 상용으로 소개된 이온나이저의 경우 세라믹 재료에 후막 기술을 이용하여 제작되어 있으나 본 논문에서는 다양한 방전조건에서 실험하기 위하여 반응기를 PCB로 제작하여 실험하였다. PCB를 이용하여 DBD반응기를 구현할 경우 세라믹 재료를 이용한 후막성형 기술에 비하여 더욱 경제성이 있으며 제작 공정에 따라 최소  $0.1[\mu\text{m}]$ 의 선폭으로도 제작이 가능하며 다양한 전극 패턴의 설계가 가능하다는 장점이 있다.

본 연구를 수행하기 위해 PCB를 이용하여 방전전극과 유전체, 유도전극과 유전체를 각각 따로 제작한 후 전극이 인쇄된 기판의 조합을 이용하여 각각 다른 조건에서 이온생성 실험을 하였다. 방전전극, 유전체 기판, 유도전극의 위치와 크기에 따라 달라지는 이온의 발생량을 측정하여 최적의 이온발생 조건을 찾기 위한 실험을 수행하였다.

그림 4는 실험을 위해 설계한 DBD반응기이다. 실험을 위해 상단면(혹은 하단면)에만 전극을 설계하였으며 표면 DBD 구조를 이루기 위해서는 그림의 PCB 보드의 한 쪽을 상단면에, 다른 쪽을 하단면에 배치하여 구현한다. PCB보드의 크기는  $105 \times 15\text{mm}$ 의 크기이며 보드의 중앙에 길이 25mm에 폭 1~10mm의 크기를 가지는 구리전극을 배치하였다. PCB기판의 재료물질은 FR-4이며 유전율은 4.6이다. 기판의 두께는 0.2mm로 제작하였다. 제작한 PCB의 전극에 전압을 인가하기 위한 전선을 붙인 후 전극보호 및 절연을 위해 우레탄 절연물질을 전극이 있는 면에 도포하였다. 방전전극으로 사용한 전극의 크기는  $25 \times 1\text{mm}$ 의 구리 전극이며 우레탄 전극보호층의 두께는 약 0.06mm이다.

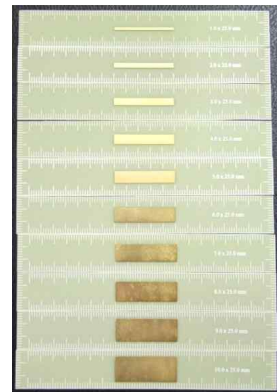


그림 4. PCB DBD 반응기  
Fig. 4. The PCB DBD reactor

DBD반응기의 구성은 아래의 그림 5와 같이 구리 전극의 길이 25mm이며, 폭은 그림에서 'w'로 표시하였다. 실험을 위해 사용한 전극의 폭 'w'는 1~10mm의 크기로 증가시키며 측정하였다.

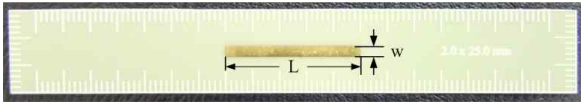


그림 5. 전극의 구조  
Fig. 5. A structure of the printed electrode

### 3. 이온발생량 실험

이온발생량 실험은 크기 290×290×270mm인 아크릴 챔버 내에 제작한 이온나이저를 그림 6와 같이 설치하여 이온 농도를 측정하였다. 이온카운터는 IM-806(U.H GmbH, 독일)을 이용하였으면 전원은 12V의 DC 전압을 입력하기 위해 파워 서플라이 GP-4303TP (LG, 한국)을 이용하였다. DBD 반응기는 알루미늄 관을 통해 챔버 외부의 이온카운터로 생성된 이온이 전달되며 알루미늄 관과 DBD반응기 사이의 거리는 5cm를 유지하여 실험하였다.

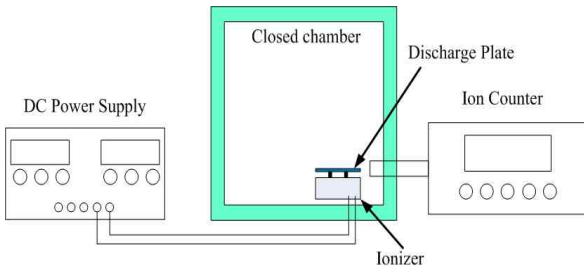


그림 6. 실험 설정  
Fig. 6. Experimental setup

#### 3.1 X-축 방향(Length 방향) 실험

그림 7과 같이 제작한 PCB를 하나는 상단면에 다른 하나는 하단면에 배치하여 표면 DBD 구조가 되도록 배치한다. 상단면에 있는 전극을 방전전극으로, 하단면에 있는 전극을 유도전극으로 설정하고 방전전극에 3.9kV의 전압을 인가한 후 X-축 방향으로 거리 'dx'를 5mm씩 증가시키며 이온카운터로 측정한 이온발생량을 그림 9에 나타내었다. 그림 8의 거리'dx'가 5mm일 때 최대의 음이온이 발생하며 dx가 늘어날수록 음이온의 발생량이 줄어들다가 25mm 이상 차이가 나면 이온 발생량이 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다.

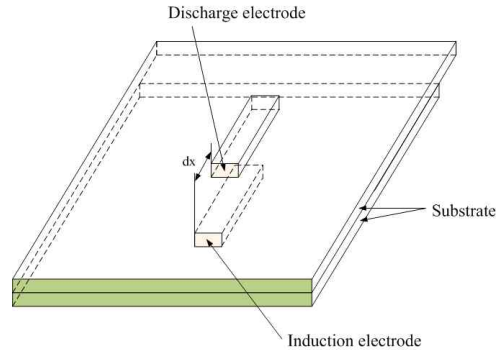


그림 7. X-축 실험, DBD구조의 경사도  
Fig. 7. X-Axis test, perspective view of DBD structure

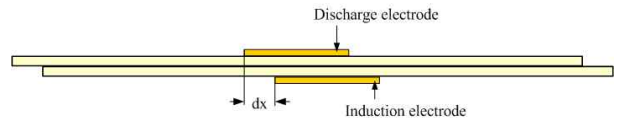


그림 8. X-축 실험, DBD구조의 단면도  
Fig. 8. X-Axis test, side view of DBD structure

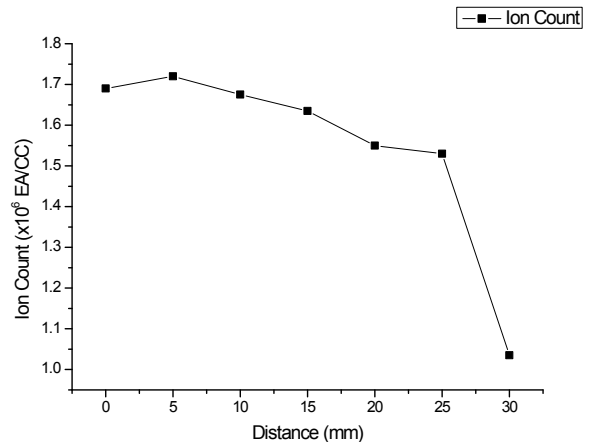


그림 9. X-축 실험, 음이온 농도  
Fig. 9. X-Axis test, negative ion concentration

#### 3.2 Y-축 방향(Width 방향) 실험

전극을 Y-축 방향으로 이동할 때의 이온 발생량을 측정하였다. 그림 9는 15×1mm의 전극을 상단면에 배치하고 동일한 크기의 전극을 하단면에 배치하여 간격 'dy'를 상단-하단 전극이 대칭일 때(-1mm)와 'dy'를 0mm부터 5mm까지 증가시키면서 이온발생량을 측정하였다. 측정결과는 그림 12와 같이 간격 'dy'가

0mm부터 증가 될수록 이온발생량이 줄어들며 5mm가 넘어서면 이온이 발생하지 않았다.

### 3.3 방전전극과 유도전극의 면적비 실험

방전전극과 유도전극의 면적에 따른 이온발생량을

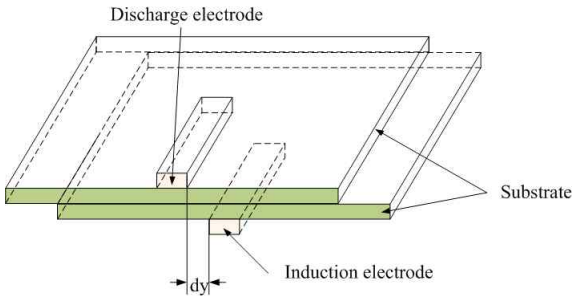


그림 10. Y-축 실험, DBD구조의 경사도  
Fig. 10. Y-Axis test, perspective view of DBD structure

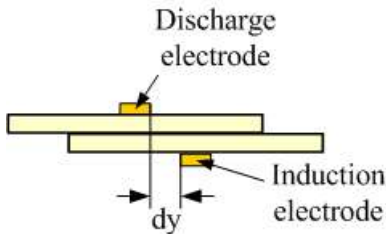


그림 11. Y-축 실험, DBD구조의 단면도  
Fig. 11. Y-Axis test, side view of DBD structure

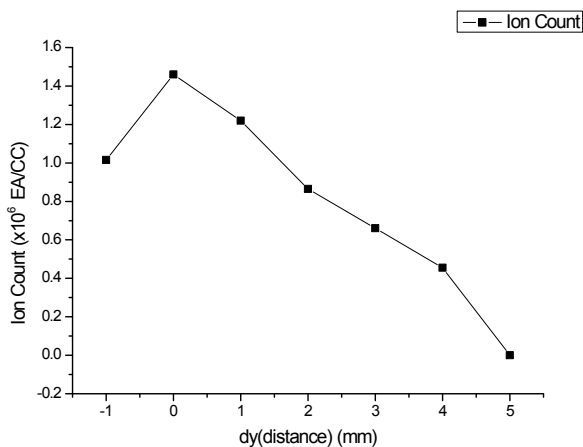


그림 12. Y-축 실험, 음이온 농도  
Fig. 12. Y-Axis test, negative ion concentration

측정하였다. 그림 13과 같이 25×1mm의 전극을 상단면에 배치하여 방전전극으로 이용하고, 하단면에는 고정된 길이 25mm에 폭 's-w'를 1mm부터 9mm까지 2mm씩 증가할 경우에 이온발생량을 측정하였다. 이

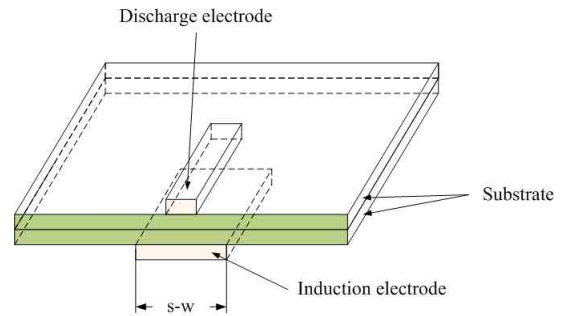


그림 13. 대칭 실험, DBD구조의 경사도  
Fig. 13. Symmetrical test, perspective view of DBD structure

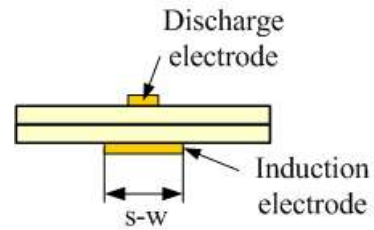


그림 14. 대칭 실험, DBD구조의 단면도  
Fig. 14. Symmetrical test, side view of DBD structure

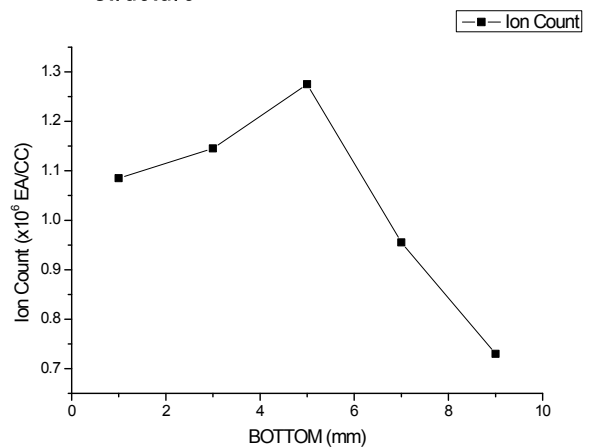


그림 15. 대칭 실험, 음이온 농도  
Fig. 15. Symmetrical test, negative ion concentration

실험은 상단면의 방전전극과 하단면의 유도전극의 배치를 y축 방향에서 대칭으로 실험하였다. 실험 결과는 그림 15와 같이 유도전극의 폭이 1mm, 3mm일 때 음이온 발생량이 증가하다가 5mm일 때 가장 많은 음이온이 발생하였고 7mm부터는 발생량이 줄어들었다. 즉 방전전극과 유도전극의 면적비가 5배(5mm)일 때 음이온의 발생량이 최대가 되는 것을 확인하였다.

### 3.4 방전전극과 유도전극의 비대칭 면적비 실험

상단면에 배치한 전극의 크기를 25×1mm로 고정하고 하단면의 전극을 고정된 길이 25mm에 폭 'a-w'를 1mm부터 5mm까지 1mm씩 증가할 때의 이온 발생량을 측정하였다. 이 실험에서는 '대칭 면적비 테스트'와는 달리 방전전극과 유도전극이 그림 16처럼 비대칭으로 배치되는 경우이다. 실험을 통해 측정한 이온발생량은 폭 'a-w'가 1mm에서 3mm까지 증가하다가 3mm가 될 때, 즉 방전전극과 유도전극의 면적비가 3배가 될 때 최대의 이온이 발생하였으며 거리를 늘리면 늘릴수록 음이온의 발생량이 줄어드는 것을 확인하였다.

## 4. 결과 및 논의

표면 DBD의 전극 구조와 배치에 의해 음이온 발생량이 어떻게 달라지는지를 실험을 통해 확인하였다. 길이방향의 X축 실험에서는 dx의 간격이 늘어날수록 음이온의 발생량이 줄어들었으며 Y축 실험에서는 dy가 0일 때 음이온의 발생량이 가장 많은 것을 알 수 있다.

또한 방전전극과 유도전극을 X축 기준으로 대칭으로 배치하고 유도전극의 폭을 넓혀 주었을 때 본 실험에서는 유도전극이 1mm이고 방전전극이 5mm일 때, 즉 두 전극의 면적비가 5배일 때 가장 많은 음이온이 발생하는 것을 알 수 있었다. 본 실험결과는 참고문헌 [9]에서 소개하고 있는 실험의 경우 방전전극과 유도전극의 면적비가 2~3배일 때 이온의 발생량이 가장

많은 실험 결과를 보여주고 있으나 본 실험에서는 5배의 면적 비에서 가장 많은 이온이 발생하였다. [9]의 경우 세라믹 재료의 기판으로 제작한 것이며 본 연구는 FR-4기판을 이용하여 실험하였기 때문에 유전체

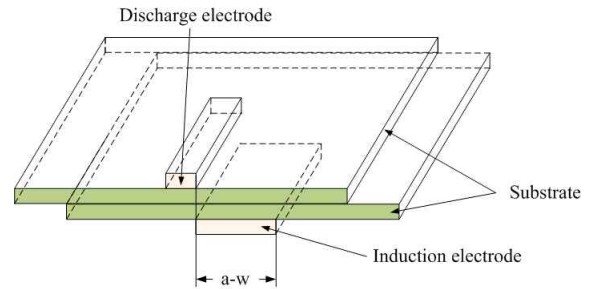


그림 16. 비대칭 실험, DBD구조의 경사도  
Fig. 16. Asymmetrical test, perspective view of DBD structure

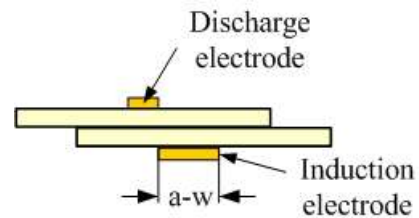


그림 17. 비대칭 실험, DBD구조의 단면도  
Fig. 17. Asymmetrical test, side view of DBD structure

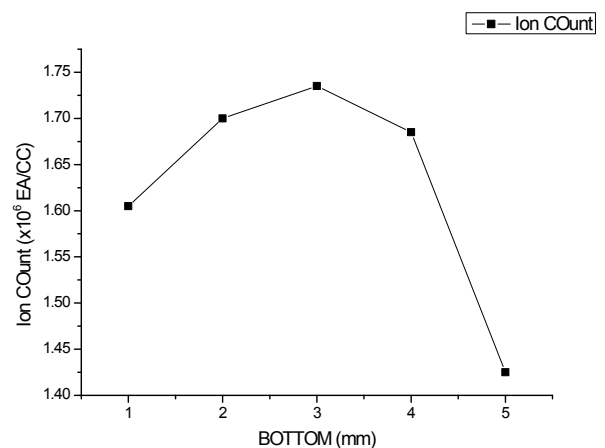


그림 18. 비대칭 실험, 음이온 농도  
Fig. 18. Asymmetrical test, negative ion concentration

의 유전율이나 재료의 특성에 의해 방전 조건이 동일하지 않다. 또한 방전전극의 형태가 망(grid)과 침상(pointed needle like)이 조합된 형태이기 때문에 본 연구에서 실험한 것과 동일한 조건에서 비교하기에는 어려움이 있다. 하지만 두 전극의 겹치는 면적비에 의해 이온 발생량의 차이가 있다는 것은 기존의 연구와 본 연구의 결과를 통해 동일하게 발생하는 것을 확인하였으며 전극을 설계할 때 참조할 수 있는 중요한 정보를 알 수 있다.

비대칭 전극실험의 경우 상단면의 방전전극을 폭 1mm로 고정하고 하단면의 폭(a-w)을 증가시킨 경우 a-w가 3mm일 경우일 때(즉, 면적비가 3배일 때) 음이온의 발생량이 가장 많은 것을 알 수 있다. 비대칭 구조는 DBD 방전을 이용한 액츄에이터에 관한 연구에서 소개되고 있다. 액츄에이터의 경우 많은 량의 플라즈마를 발생하기 위한 구조 및 재료가 연구의 주제가 된다[11].

본 실험과 기존의 연구 결과를 정리하면 다음표 1과 같이 이온을 발생하기 위한 표면DBD 구조의 설계 조건을 찾을 수 있다.

**표 1. 이온발생을 위한 DBD구조의 설계요인**  
**Table 1. The design factors of the surface DBD structure for generating air ions**

설계 조건	이온발생량과의 관계	출처
방전전압	비례	[6-9]
유전체 기관의 두께	반비례	[8]
전극보호층의 두께	반비례	[8]
전극의 겹치는 면적비	2배 이상	[8]
	2~3배 일 때 최대	[9]
전극의 겹치는 면적비(대칭)	5배 일 때 최대	본 연구
전극의 면적비(비대칭)	3배 일 때 최대	본 연구
전극의 상대위치	거리에 따라 반비례	본 연구
방전전극에 침형돌기 추가	이온발생량 증가	[7]
	상관없음	[9]

## 5. 결 론

본 논문에서는 평판형 표면DBD 방식으로 음이온을 발생하는 DBD반응기의 설계 조건을 확인하기 위한 연구를 수행하였다. 단 면에 인쇄된 전극 구조를 상하로 겹쳐 표면DBD 방전 구조를 구성하여 길이방향(X-축 방향), 두께방향(Y-축 방향), 방전전극과 유도전극을 대칭하여 방전전극의 면적을 넓혔을 때와 두 전극을 비대칭으로 배치하여 유도전극의 면적을 넓혔을 때의 음이온 발생량을 측정 및 비교하였다. 길이 방향과 두께 방향으로 두 전극의 거리가 멀어질수록 음이온의 발생량이 줄어들었다. 두 전극의 위치가 대칭이고 면적비 5배일 경우에 최대가 되었으며, 비대칭일 경우 3배의 면적비일 때 음이온의 발생량이 최대가 됨을 알 수 있었다. 기존에 다수의 연구자에 의해 발표된 연구 결과와 본 연구의 결과를 종합하여 향후 최적의 음이온을 생성하기 위한 DBD 반응기의 설계 시 이용할 수 있는 설계 요인을 확보하였다. 본 연구의 설계 요인을 응용하여 다양한 전극 형태의 DBD 반응기를 설계하고 결과를 확인하는 것은 향후의 연구를 통해 확인하고자 한다.

이 논문은 2012년도 울산대학교 교비 연구비의 지원을 받았음.

## References

- [1] Daniels, S.L, "On the ionization of air for removal of noxious effluvia" (Air ionization of indoor environments for control of volatile and particulate contaminants with nonthermal plasmas generated by dielectric-barrier discharge)", IEEE Trans on, Plasma Science, Vol. 30, pp. 1471-1481, 2002.
- [2] H Nakane, "Stress-Reducing effect of negative air ions on physiological", R&D Review of Toyota CRDL, Vol.38, No.2, 2003.
- [3] Ikeuchi, Toru, et al. "Neutralization by a corona discharge ionizer in nitrogen atmosphere." Electrical Engineering in Japan 177.3 (2011): 1-8.
- [4] Park, Jae-Hong, et al. "Removal of submicron aerosol particles and bioaerosols using carbon fiber ionizer assisted fibrous medium filter media." Journal of mechanical science and technology 23.7 (2009):



1846-1851.

[5] Han, Bangwoo, et al. "Unipolar charging of fine and ultra-fine particles using carbon fiber ionizers." *Aerosol Science and Technology* 42.10 (2008): 793-800.

[6] Seto et al., "Ion generator and neutralizer", United State Patent, US 7,612,981 B2.

[7] Sekoguchi et al., "Ion generating element and ion generator, air conditioning apparatus, cleaner and refrigerator containing the same", United State Patent, US 7,254,006 B2.

[8] Dong-Hun Yeo, Hyo-Soon Shin, Youn-Woo Hong, "Thick film type cluster in Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>/glass composite ceramics for anion generation", *JKIEEME*, vol. 23, No.2, P.118~123, Feb. 2010.

[9] Rae Eun Park, Eun Ju HA, Jun-Hyoun Kwon, "Ceramic electrode structure for generation ions, and ion generating apparatus using the same", United State Patent, US 7,485,265 B2, Feb. 3, 2009.

[10] Ulrich Kogelschatz, "Dielectric-Barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Vol. 23, Number 1, March 2003.

[11] Seung Yeob Lee, You Hwan Shin, "Experimental Study on Effect of Electrode Material and Thickness in a Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator Performance", *Journal of fluid machinery*, v.15 no.3, pp.46 - 50, 2012.

[12] AV Carazo, "50 Years of Piezoelectric Transformers: Trends in the Technology", *MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM*, 2004.

[13] Yang, Yujia, et al. "Comparison of Inductor-Half-Bridge and Class-E resonant topologies for piezoelectric transformer applications." *Energy Conversion Congress and Exposition*, 2009. ECCE 2009.

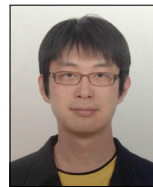
[14] MPT2805C00R2 Product specification, [http://www.konghong.com/english/Content.asp?id=27&n\\_id=24&subs\\_\\_type=6&subs\\_\\_id=66&urls=zuzhi.asp](http://www.konghong.com/english/Content.asp?id=27&n_id=24&subs__type=6&subs__id=66&urls=zuzhi.asp)

◇ 저자소개 ◇



**신상문 (申相文)**

1977년 7월 15일생. 2000년 울산대학교 졸업. 2002년 울산대학교 대학원 졸업(석사). 2014년 울산대학교 대학원 졸업(박사).



**김정윤 (金正潤)**

1978년 9월 7일생. 2004년 울산대학교 전자공학 졸업. 2006년 울산대학교 전기전자정보시스템학부 졸업(석사). 2013년 PhD, College of Information Sciences and Technology, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, United States. 2013년~현재 Research Fellow, TCS-iCity Lab, School of Information Systems, Singapore Management University, 178902, Singapore.



**김종수 (金李朴)**

1952년 5월 30일생. 1976년 연세대학교 졸업. 1978년 연세대학교 졸업(석사). 1990년 University of Arizona(석사). 1994년 University of Alabama in Huntsville(박사). 1980년~현재 울산대학교 전기공학부 교수.



**최재하 (崔在夏)**

1953년 3월 23일생. 1976년 연세대학교 졸업. 1978년 연세대학교 졸업(석사). 1980년~현재 울산대학교 전기공학부 교수.



**최원호 (崔源昊)**

1956년 2월 9일생. 1978년 연세대학교 졸업. 1980년 연세대학교 졸업(석사). 1990년 연세대학교 졸업(박사). 1986년~현재 울산대학교 전기공학부 교수.