

대기압 유전체장벽방전을 적용한 플라즈마오존 공간살균장치에 관한 연구

오희수¹, 이강연², 박주훈³, 정병호^{4*}

¹남부대학교 전기공학과 석사, ²조선이공대학교 전기과 교수, ³남부대학교 전기공학과 교수, ⁴남부대학교 전기공학과 교수

A study of the space sterilization device using atmospheric-pressure DBDs plasma

Hee-Su Oh¹, Kang-yeon Lee², Ju-Hoon Park³, Byeong-Ho Jeong^{4*}

¹Master's degree, Dept. of Electrical Engineering, Nambu University

²Professor, Dept. of Electrical Engineering, Chosun College of Science & Technology

³Professor, Dept. of Electrical Engineering, Nambu University

⁴Professor, Dept. of Electrical Engineering, Nambu University

요약 플라즈마오존은 높은 살균성능으로 인해 다양한 살균분야에서 활용되고 있다. DBD(유전체 장벽방전)에 사용되는 유전체는 주로 석영, 세라믹, 폴리머 등이 주로 사용된다. 유전체로 이루어진 레이어는 공급되는 전하의 양을 제한시키고 플라즈마가 유전체 면 위에서 고르게 발생할 수 있도록 하는 역할을 한다. 이러한 DBD를 이용한 플라즈마, 오존살균은 살균대상이나 주변 환경이 복잡한 구조로 된 경우가 많아 공간살균에 대한 개념을 수립하고 이에 대한 연구와 학문적 체계가 필요하다. 본 연구에서는 플라즈마라디칼과 오존 생성을 위해 대기압에서 DBD방식을 이용한다. 플라즈마오존의 발생을 위한 반응기의 구조는 세라믹 튜브 유전체와 스테인리스 도체를 일정한 간격으로 배치하여 유전체 장벽방전을 발생시키는 형태이다. 공간살균 장치로서의 플라즈마오존 발생은 성능 면에서 우수한 살균장치로 인식되고 있으므로 장치의 설계와 검증을 통해 공간살균 장치의 최적설계를 확립하고자 하며 제안된 방법을 기반으로 다양한 살균 어플리케이션을 개발하는데 기초를 제공한다.

주제어 : 플라즈마, 전위장벽방전, 오존, 살균, 공간살균

Abstract Plasma ozone is utilized in a variety of applications in the field of sterilization due to its high sterilization performance. Dielectric materials used in DBD(dielectric barrier discharges) are mainly polymer, quartz and ceramics. These dielectric layers have the advantage of limiting the amount of supplied electron charge and allowing plasma to occur evenly on the surface of dielectric. Actually, the target or environment for sterilization is often a complex structure, so research and academic study are needed by utilizing the concept of space sterilization. In this study, the device is applied to generate DBD plasma at atmospheric pressure for disinfection due to the effectiveness in producing radicals and ozone. The generator of plasma ozone is a basic structure of dielectric barrier discharge by placing ceramic tube dielectrics and stainless steel electrical conductors at regular intervals. Various applications can be developed based on the proposed design method. Plasma ozone generation for space sterilization device is recognized as an excellent sterilization device. Through the design and verification of the device, we intend to establish an optimal design of the spatial sterilization device and provide the basis data for sterilization applications.

Key Words : Plasma, Dielectric barrier discharges, Ozone, Disinfection, Space sterilization

*This study was supported by research funds from Nambu University, 2021.

*This work was supported by a grant (NIBR201701202) from the "Regional Demand-Customized R&D Project in Jeollanam-do" in 2020 funded by the Jeollanam-do, Republic of Korea.

*Corresponding Author : Byeong-Ho Jeong (energy@nambu.ac.kr)

Received December 25, 2021

Revised February 14, 2022

Accepted March 20, 2022

Published March 28, 2022

1. 서론

대기압 플라즈마(Atmospheric pressure plasma)는 대기압 조건에서 전기방전을 이용하여 발생되며, 일반적으로 전자의 에너지가 이온 및 중성입자 등 다른 입자들의 에너지보다 높으며 플라즈마가 비평형 상태에 있다[1]. 플라즈마의 온도는 상온 $\sim 10^3$ [K]인 것에 비해, 전자의 온도는 $10^4 \sim 10^5$ [K] 정도에 이르므로 플라즈마에 의한 화학반응 및 표면처리 등 다양한 어플리케이션에 적합하다[2]. DBD(Dielectric barrier discharges) 플라즈마 오존 발생장치의 속도 및 멸균은 고가의 진공 장비나 강한 독성 화학물질이 필요하지 않는 상대적으로 저가이며 친환경적이다[2]. 대기압에서 고전압 교류 방전을 이용하여 플라즈마오존을 발생시키는 DBD는 고열이 발생하는 직류 플라즈마에 비해 발열량을 크게 줄일 수 있으며 전극을 감싸는 유전체로 인해 저온플라즈마를 발생시킬 수 있어 플라즈마의 연속 발생이 가능한 장점이 있다[3]. 또한 동일한 대기압 조건에서 발생시키는 플라즈마오존을 팬을 이용한 송풍장치를 통해 적절한 방향으로 분사 시킴으로서 살균대상의 크기와 외형에 대한 제약없이, 분사 방향을 조정하여 활용할 수 있는 장점을 갖는다[4].

플라즈마오존을 이용한 살균은 물리적 또는 화학적 과정을 통해 오존의 산화성을 이용하여 SO_x , NO_x , 프레온(Fluorocarbon), CO_x , 할로젠계 유해가스, 휘발성 유해가스 등과 같은 대기오염물질에 대한 저감 뿐만 아니라, 바이러스, 박테리아 등의 살균, 오폐수처리, 상수 및 하수처리, 탈색, 탈취, 탈미, 표면활성화, 어류의 성장촉진, 호수의 부영양화, 난치성 의료분야, 수중 잔류 농약 처리 등의 환경개선분야나 반도체 세정을 비롯한 산화공정기술을 비롯하여 광산업분야에 광범위하게 활용되고 있다[5]. 특히, 최근 플라즈마오존의 살균기능을 활용하여 채소와 과일을 보관하는 저온 창고에 적용함으로써 식품의 안전성 확보, 친환경성, 살균 잔여물의 부재, 전자제어의 효율성 등에 기초하여 높은 활용도를 보이고 있다.

본 연구에서는 공간살균을 목적으로 하는 대기압에서 플라즈마라디칼과 오존 생성을 위해 효과적인 DBD 장치의 설계방식을 제안한다. 플라즈마오존의 발생장치를 설계하기 위하여 해당 어플리케이션에 적합한 구조를 최적화하는 설계과정이 필수적이다. 이를 위해 제안된 최적화 설계를 위한 설계흐름을 통해 시스템의 안

정화와 성능 최적화를 위한 최적설계방법을 확립해야 한다. 플라즈마오존발생시스템의 설계는 적용하고자 하는 어플리케이션에 대한 기술 및 환경분석, 시스템 구조설계, 기술적인 지향, 구성요소의 모델링, 시뮬레이션과정을 통한 설계방법을 제안하였다. 또한 DBD에 의한 플라즈마오존발생장치의 시스템 최적화를 위한 고전압 전원공급 토폴로지에 대한 최적설계에 관한 연구를 기반으로 시제품을 제작하고 그에 따른 온도와 플라즈마오존의 발생성능을 분석하였다.

2. 플라즈마오존발생 시스템

2.1 공간살균의 개념

공간살균의 개념은 농산물 저장창고와 같은 일정한 크기의 공간 내에서 공중 부유균 또는 낙하균으로부터 실내공기를 무균화하는 살균방법을 그 개념으로 한다. 플라즈마오존을 이용한 살균방법은 기존의 화학살균 방법과는 달리 인적관리가 필요하지 않고 플라즈마오존의 연속발생에 따른 살균작용이 지속적으로 이루어지므로 대상물질에 대한 오염물질을 제거하는 우수한 공간살균 특성을 갖는다[6]. 오염은 대상물질을 기준으로 주변 공기에 의한 오염, 사람에 의한 오염, 원재료 자체의 오염 등으로 분류될 수 있다[7]. 이러한 세 종류의 오염형태는 모두 공기를 매개로 한 오염발생이기 때문에 이에 대응한 공간살균 장치에 대한 기술이 필요하다. 식품회사, 제약회사, 병원, 동물병원, 육류저장 시설, 급식 조리실, 요식업소, 가축사육장 등 바이러스나 세균이 다량 번식 확률이 높은 밀폐 환경이나 건축물 내의 각종 사무공간, 교회, 가정집의 밀폐공간, 건물의 지하실 등의 환기가 원활하지 않는 다습한 환경에서는 곰팡이나 각종세균 등의 번식을 방지하고, 보관물의 장기보존하기 위해 오염에 대한 살균시스템이 활용될 수 있다[8]. 일정공간에서 오존의 발생과 시간이 지남에 따라 오존의 농도에 대한 경향성은 Fig. 1에 나타난 바와 같다[9].

Fig. 1과 같은 오존 농도의 경향성으로 인해 일정 공간 내에서 살균을 위한 방식으로 우수한 특징점을 갖는다고 할 수 있다.

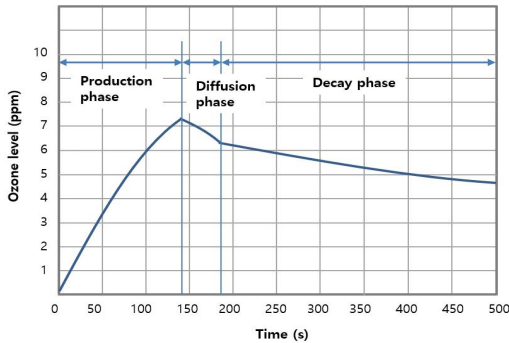


Fig. 1. Tendency of ozone concentrations over time in confined spaces

2.2 DBD에 의한 플라즈마오존 발생시스템 설계

플라즈마오존발생시스템의 설계는 적용하고자 하는 어플리케이션 및 환경분석과 분석 데이터에 기반한 모듈 구조설계, 기술적인 지향방향, 모델링, 시뮬레이션과정을 통해 설계될 수 있다. DBD는 플라즈마방전을 발생시키는 다양한 방법 중 하나로 그 특징은 캐패시터와 유사한 구조로 두 개의 전극 사이에 유전체가 삽입되며 전극에 교류 전압을 인가한다[10]. DBD는 한쪽 또는 양쪽방향 전극에 유전체가 붙어 있거나 두 전극 모두와 분리되어 두 전극 사이에 유전체를 끼워 넣는 형태로 구성한다. 유전체로 사용되는 일반적인 물질로는 폴리머, 유리, 석영 및 세라믹 등이 사용되고 유전체 두께와 유전상수에 따라 변위전류값이 달라진다. DBD 소자는 변위전류와 비교하여 방전전류의 비율이 높은 특수한 캐패시터로 간주할 수 있다. Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 유전체 장벽방전에 따른 형태에는 플라즈마 발생위치와 전극의 형태에 따라 볼륨 DBD, 표면 DBD, 공면 DBD, 환형 DBD, 극미소공진어레이 등의 형태가 있다[11].

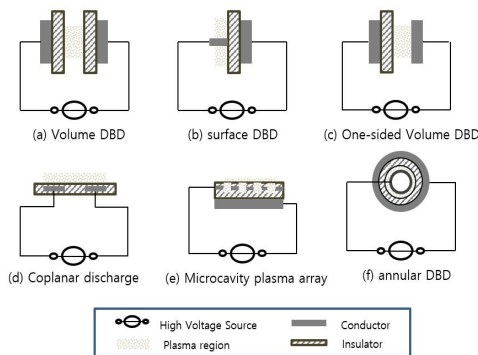


Fig. 2. Various structures of DBD configuration

가장 일반적으로 구조적인 면에서 간단하고 상압플라즈마에서 활용되기 용이한 볼륨 DBD 형태의 플라즈마오존발생 모듈이 일반적으로 활용된다. 유전체 레이어는 공급되는 전하의 양을 제한시킬 수 있고, 플라즈마가 유전체 면 위에서 고르게 발생할 수 있도록 해주는 장점을 갖는다. 또한, 플라즈마 방전이 아크로 전이되는 것을 억제하여 처리 대상체의 손상을 줄일 수 있는 구조를 갖는다. 플라즈마발생장치의 반응기를 설계하기 위하여 그 어플리케이션에 적합한 형태를 최적화하는 설계과정이 필요하다. 최적화 설계를 위한 플로차트를 통해 시스템의 안정화와 최적화를 위한 성능의 안정화를 도모해야 한다. 플라즈마오존발생시스템의 설계는 Fig. 3과 같이 적용대상에 대한 어플리케이션에 대한 분석과 수집된 데이터에 기반한 구조설계, 기술요건 반영, 스케일 결정, 시스템 모델링 및 시뮬레이션과정, 생산 계획을 통해 설계 가능하다.

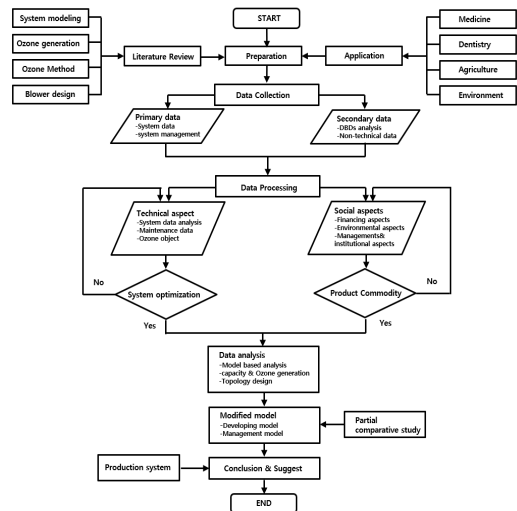


Fig. 3. Plasma ozone generation system design flow diagram

오존살균시스템을 설계하는데 있어서 적용대상에 대한 시스템 설계요소가 반영되어야 하며 수집된 데이터를 기반으로 시스템의 최적화와 안정성을 확립해야 한다. 이를 위해 시스템에 대한 성능실험을 통해 확립된 데이터 분석을 통해 시스템의 성능안정화를 도출해야 한다. DBD는 플라즈마의 방전 과정에서 고농도의 전자와 고에너지와의 충돌에 의해 반응 활성종이 생성되는데, 이 전자들은 입자와 유해 가스를 제거하는 데 사용된다. 이때 발생하는 플라즈마의 온도는 1,000[K]로 낮

지만 전자에너지를 1~10[eV] 정도로 높게 유지해 입자 상 물질과 기체상 물질을 동시에 줄일 수 있다[12].

2.3 플라즈마 전기적 모델

전력을 인가하여 생성된 플라즈마는 전기적으로 도체와 부도체의 특성을 둘 다 가진 상태의 물질이라고 정의할 수 있다. 2차원 플라즈마구조에서 전자들의 이동에 의해 전기장이 형성되면, 전자속도 u_x 와 전류밀도 J_x 는 볼츠만 방정식 (Boltzmann Equation)을 통해 각각 식 (1), 식 (2)과 같다[13].

$$u_x = -\frac{e}{m} \frac{1}{j\omega + v_m} E_x \quad (1)$$

$$J_x = j\omega\epsilon_0 E_x - en_0 u_x \quad (2)$$

낮은 에너지에서 전자 가열은 주로 벌크 전기장이 강화된 데 기인한다. 플라즈마와 쉬스 사이에 전류가 보존되며 플라즈마벌크전류는 대부분이 전도 전류이다. 플라즈마벌크전기장 E_b 는 식 (3)과 같다.

$$E_b = \frac{J_D m_e \sqrt{\omega + v_m^2}}{e^2 n_0} \quad (3)$$

여기서 J_D 는 방전전류, m_e 는 전자질량 ω 는 인가주파수, v_m 은 전자-중성종 충돌주파수, ϵ_0 는 진공의 유전상수, n_0 는 전자밀도, e 는 전하량을 나타낸다. 플라즈마의 발생 메카니즘은 전기적으로 저장, 인덕터 및 커패시터 성분을 고려하여 해석할 수 있다. Fig. 4는 플라즈마의 단순화한 전기적인 등가회로로 모델링하여 나타냈다.

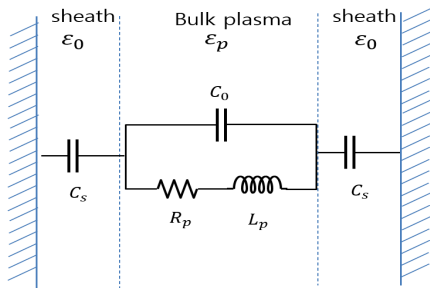


Fig. 4. Plasma equivalent circuit through the electrical model

플라즈마영역과 쉬스영역에 대한 전기장에 대한 해석은 각각 식 (4), 식 (5)과 같다.

$$E_x (Sheath) = \frac{J_{Tx}}{j\omega\epsilon_0}, \quad (4)$$

$$E_x (Plasma) = \frac{J_{Tx}}{j\omega\epsilon_p} \quad (5)$$

여기서, $\epsilon_p < 0$ $|\epsilon_p| \gg \epsilon_0$ 조건을 고려하면, 플라즈마에는 인가되는 전기장이 낮고, 대부분의 전기장이 쉬스영역에 인가된다. 이는 플라즈마발생영역 내에서는 약한 전기장으로도 전자가 가속되고, 기체 이온화에 따른 플라즈마를 유지할 수 있다는 것을 의미하며 저주파수 영역($\omega \ll v_m$)에서의 전도도는 식 (6)과 같다.

$$\sigma_p = \frac{\epsilon_0 \omega_{pe}^2}{j\omega + V_m} \quad (6)$$

플라즈마의 발생에 따른 소비 전력 P_{abs} 은 저주파수 영역($\omega \ll v_m, \omega_{pe}$)에서 식 (7)과 같다.

$$P_{abs} = \frac{1}{2} J_{Tx}^2 \frac{1}{\sigma_{dc}} \quad (7)$$

플라즈마의 발생에 따른 등가회로를 표현하면 Fig 4에서 나타난 등가회로에서와 같이 플라즈마저항 $R_p = v_m / \omega_{pe}^2 C_0$ 와 플라즈마인덕턴스 $L_p = 1 / \omega_{pe}^2 C_0$ 가 직렬로 연결되고 커패시터 C_0 가 병렬로 연결된 구조로 해석된다. 이때, 유전체의 축전용량은 식 (8)과 같다.

$$C = \epsilon_0 k \frac{A}{t} \quad (8)$$

여기서, ϵ_0 은 진공의 유전율(Permittivity) $8.854 \times 10^{-12} [F/m]$, k 는 유전체의 유전상수(Dielectric constant), A 는 유전체의 면적 $[m^2]$, t 는 두께 $[m]$ 를 나타낸다.

2.4 하프브리지 드라이브 토폴로지

플라즈마발생동작을 위한 하프브리지 전력공급 회로 동작은 푸시풀 방식과 동일하지만, 트랜스포머에 인가되는 전압이 입력 전압의 1/2 정도로 낮기 때문에 스위칭

소자의 내압이 상대적으로 낮은 부품을 사용가능한 장점이 있다[14]. 또한, 출력 전력 용량이 큰 드라이브에 적용 가능하며 1[kW] 정도까지의 전력을 드라이브하는데 활용된다[14]. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 하프브리지 컨버터 토폴로지는 High-side와 Low-side를 갖는 2개의 스위칭 소자를 통해 고전압 직류전류를 교류전류로 변환하여 변압기의 변압비로 전압을 변환시킨다. SW1과 SW2의 스위칭 동작에서 충분한 데드타임을 갖고 이들 스위치 사이에 전력이 공급한다.

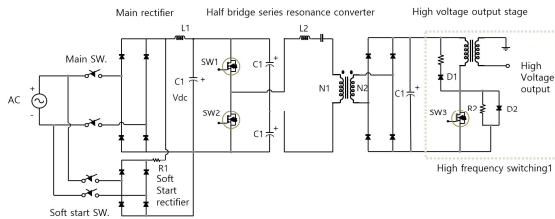


Fig. 5. Half bridge converter topology

Fig. 6은 하프브리지 동작파형을 나타내며 공진주파수보다 약간 높게 작동하여 유도동작과 에너지 반향을 극대화시키는 인덕터를 고려하지 않는 하프브리지의 정상 상태 동작을 나타낸다. 스위칭 상태에 따른 2차 측 인덕터에 인가되는 전압은 식 (9)과 같다.

$$V_L = \frac{nV_i}{2} - V_0 \quad (9)$$

인덕터에 작용하는 전압은 voltage-second 평형 조건을 적용하고, 입력 전압과 출력 전압에 대한 관계식을 정리하면 식 (10)과 같다.

$$DT \left(\frac{nV_i}{2} - V_{out} \right) = V_{out} \left(\frac{T}{2} - DT \right) \quad (10)$$

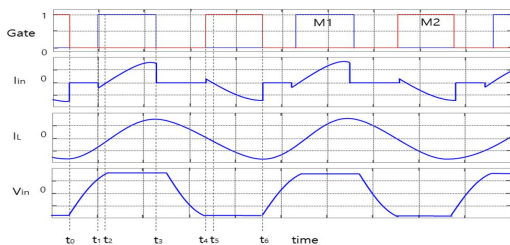


Fig. 6. Half bridge converter waveforms

하프브리지 토폴로지에 대한 시뮬레이션은 National Instruments의 MultiSim Live를 이용하여 실시간으로 수행하였고 토폴로지는 180V, 25W 정격을 기준으로 하프브리지 동작으로 시뮬레이션 설정하였다. Fig. 7은 시뮬레이션 토폴로지의 설계를 나타낸다.

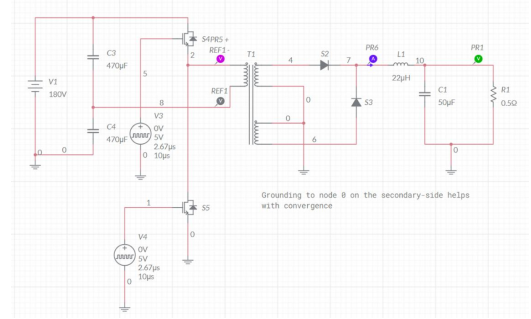


Fig. 7. Simulation of half bridge topology

Fig. 8은 하프브리지 토폴로지의 고전압 발생에 따른 시뮬레이션 출력파형을 나타낸다.



Fig. 8. Simulation results

2.5 플라즈마오존 발생기 모듈

볼륨 DBD 방식을 적용한 플라즈마오존발생을 위한 반응기(Reactor)의 구조는 Fig. 9에 나타냈다. 유전체로 알루미늄산화물(Al_2O_3)을 이용하였다. 알루미늄산화물의 유전율은 1[MHz]에서 9.2[V/m], 기계적 강도는 610 [MPa], 경도는 18[GPa], 열전도율은 27[W/mK]고, 밀도는 3.8[g/cm³], 두 전극 사이의 방전 간격은 2[mm]로 설계하였다. 플라즈마방전 시에 전극부위나 방전영역에 발생하는 온도는 DBD 방식을 채택함으로써 낮출 수 있으나 온도상승을 고려하여 지지대를 테프론을 가공하여 적용하였다. 플라즈마오존 반응기의 형상설계에 따른 사진은 Fig. 9에 나타냈다. 외경이 10[mm]인 알루미늄

세라믹을 중앙에 배치하고 STS304전극을 양쪽에 배치하여 간극사이에서 플라즈마오존이 발생하도록 설계하였다.

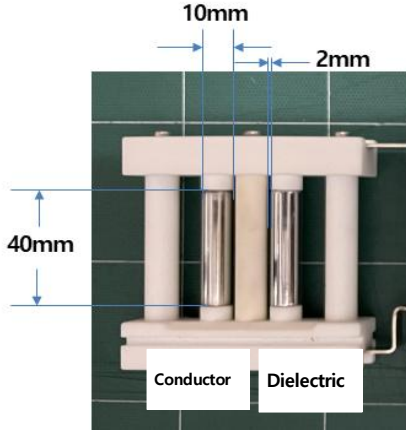


Fig. 9. Photo of plasma ozone generation reactor

STS304전극은 표면을 전해연마, 광휘열처리를 통해 표면 정도가 높고 화학적인 안전성이 향상된 전극으로 적용하였고 저항율은 740[n.Ω.m]이다.

3. 플라즈마오존발생 장치의 실험결과

제안된 플라즈마오존의 발생시스템의 설계방법에 따라 소형 저온창고나 식자재 보관장소와 같은 규모, 즉 18~30[m²]공간 내 살균을 위한 장치설계를 수행했고 그에 따른 발생장치의 시스템을 구성하였다.

일반적인 볼륨 DBD의 반응기 구조는 전극 사이에 있는 전극 하나 또는 두 개의 표면은 세라믹이나 수경과 같은 높은 유전율을 갖는 유전체로 둘러싸여 있으며 전극 사이의 간격은 수 [mm]정도이다. 전극에 교류전압을 인가하고 전극 간에 직접 방전을 차단하면 유전체에 전하가 축적되고 전극과 유전체사이에서 균일한 글로우 플라즈마방전이 발생한다. 방전 과정에서 고농도의 전자와 고에너지와의 충돌에 의해 반응 활성종이 생성되는데, 이 전자들은 살균이나 오염입자와 유해 가스를 제거하는 데 사용된다. 또한 교류 교류전기장을 이용해 DBD 장치 내에 적재된 입자의 크기를 늘림으로써 기존 전기 집진 방식의 공기청정방식보다 입자 제거 효율을 향상시킬 수 있다. 플라즈마오존 기반 공간살균은 상온에서 고압배출에 의해 플라즈마오존을 발생시키는 전자 및 반응 활성종으로 VOCs, NOx, CFCs, 악취 등 유해

가스물질은 물론 오염입자까지 제거할 수 있다.

제안된 설계흐름에 따라 DBD 플라즈마발생장치는 교류전압 3[kV], 10[kHz]이 전원 공급기에 의해 생성되며 주파수 대역은 3[kV]~20[kV]까지 조정 가능한 전원 형태를 활용하였다. 생성된 플라즈마를 최적화하기 위해 주파수를 조정하여 전류의 세기를 조절하는 구조이다. Fig. 10은 실험을 위한 플라즈마오존의 전원장치와 발생 반응기의 실험장치 세트를 나타낸다.

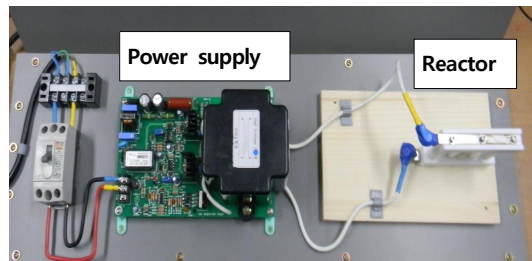


Fig. 10. Configuration of the plasma ozone generation module

Fig. 11은 플라즈마오존 발생모듈의 공급전원의 출력 파형을 나타내고 있다. 측정은 고전압 디퍼런셜프로브를 이용하여 때문에 실제 파형은 Math로 나타난 파형이다. 출력전압은 파형에서 나타난 바와 같이 20[kHz], 3[kV]의 정현파가 인가됨을 확인할 수 있다.

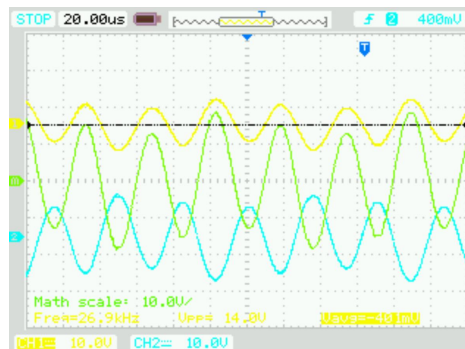


Fig. 11. Applied voltage waveform provided for space sterilizers

Fig. 11은 플라즈마발생에 따른 공급전원의 파형을 나타내고 있다. 전극과 유전체 사이의 2[mm] 간격에서 플라즈마 고르게 발생되는 형상을 확인할 수 있다. 40[mm] 전극 × 2조에서 발생되며 80[mm] × 2[mm]의 발생영역을 나타내고 있다.

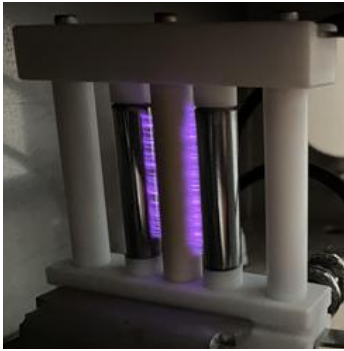


Fig. 12. Operational status of the plasma reactor

대기압 플라즈마발생의 특성상 10분 이상 동안 동작 시켰을 때, 최고 온도가 74℃ 정도로 상대적으로 낮게 나타나 온도의 안정성을 유지했다.

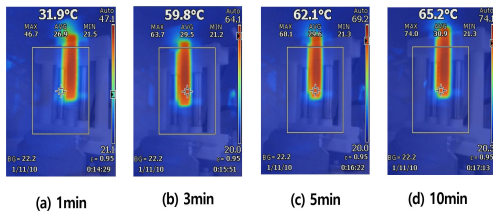


Fig. 13. Thermal images of plasma ozone generation

플라즈마오존 발생 반응기 내부의 재료 선정에 있어 내열성(용융점 335℃)과 내마찰성 및 내부식성이 뛰어난 테프론소재를 반응기 모듈의 서포터로 활용하였다.

Fig. 14는 공간살균을 위한 기능을 갖춘 플라즈마오존 발생장치의 외형을 나타내고 있다. 반응기 모듈의 반경 100[mm]이내의 오존발생량은 500[mg/m³/h]이상의 발생을 통한 살균성능을 나타냈다.

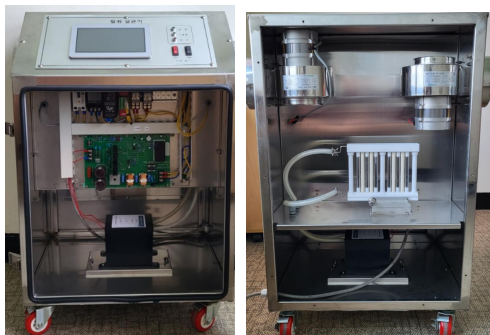


Fig. 14. Photo of Prototype

4. 결 론

대기압에서 유전체 장벽 방전을 통하여 발생시키는 플라즈마오존은 하프브리지 인버터 교류전력을 공급하여 오존을 생성함으로써 발열량을 줄이는 대기압 저온 플라즈마를 구현할 수 있다. 플라즈마발생장치 구조는 알루미늄세라믹 재료를 이용하여 환형으로 제작된 유전체를 전극에 감싸 저온플라즈마를 발생하는 장치세라믹 튜브 유전체와 스테인리스 전기 도체를 수직으로 배열하고 간격을 두어 고온 다습한 농업용 저온 창고 환경에서 플라즈마발생이 가능하도록 한 구조다. 대기 중 산소에 반응해 발생하는 플라즈마 가스와 같은 산소 활성종은 냄새 등 오염물질과 함께 시간이 지나면 산소로 환원되며 2차 오염물질이 발생하지 않는다. 이러한 연속처리 는 대기압에서 발생시킨 플라즈마오존을 공기의 유동을 제어하는 송풍장치를 활용하여 분사시키는 장치로 일정 영역의 공간을 살균대상으로 할 수 있다[15]. 살균하고자 하는 대상의 크기와 외형에 대한 제약이 없고 발생 방향을 조정하는데 유용한 장점이 있어 기존의 살균방식과 비교할 때 큰 장점을 갖는다.

본 논문에서는 공간살균을 위한 플라즈마오존의 발생 장치의 설계 및 시작품 제작을 위한 설계흐름을 제안하였고 이를 통해 플라즈마오존의 발생과 이를 이용한 공간살균을 위한 장치로 활용하고자 하였다. 제안된 장치를 이용한 플라즈마오존의 살균방법은 복잡한 구조물을 대상으로 하거나 광조사가 어려운 장소인 야채나 식자재등과 같은 보관장소를 목적으로 다양한 형태의 공간에 폭넓은 적용이 가능한 특징을 갖는다. 제안된 시스템 설계방법과 최적화된 고전압, 고주파토폴로지를 토대로 다양한 어플리케이션을 개발하고 다양한 기능추가를 통해 효과적인 공간살균을 목적으로 하는 어플리케이션에 적용가능성을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] D. Vasic, F. Costa & E. Sarraute. (2006). Piezoelectric Transformer for Integrated MOSFET and IGBT Gate Driver. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, 21(1), 56-65. DOI : 10.1109/TPEL.2005.861121
- [2] M. J. Johnson, D. R. Boris, T. B. Petrova & S. G. Walton. (2019). Characterization of a Compact, Low-Cost Atmospheric-Pressure Plasma Jet

- Driven by a Piezoelectric Transformer. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 47(1), 434-444. DOI : 10.1109/TPS.2018.2870345
- [3] S. Portugal, S. Roy & J. Lin. (2017). Functional relationship between material property, applied frequency and ozone generation for surface dielectric barrier discharges in atmospheric air, *Sci Rep* 7, 6388. DOI : 10.1038/s41598-017-06038-w
- [4] K. Shimizu & M. Blajan. (2015). Basic study on force induction using dielectric barrier microplasma array, *Japanese Journal of Applied Physics*, 54(1S), 01AA07 . DOI : 10.7567/JJAP.54.01AA07
- [5] M. Babija, T. Gotszalka, Z.W. Kowalskia, K. Nitscha, J. Silberringb & M. Smoluchb (2014). Atmospheric Pressure Plasma Jet for Mass Spectrometry. *Proc. of the 8th International Conference NEET 2013, Zakopane, Poland*, 1821-2013. DOI : 10.12693/APhysPolA.125.1260
- [6] M. J. Johnson, D. R. Boris, T. B. Petrova & S. G. Walton. (2019). Characterization of a Compact, Low-Cost Atmospheric-Pressure Plasma Jet Driven by a Piezoelectric Transformer. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 47(1), 434-444. DOI : 10.1109/TPS.2018.2870345
- [7] S. J. Choi, K. C. Lee & B. H. Cho. (2005). Design of Fluorescent Lamp Ballast With PFC Using a Power Piezoelectric Transformer. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 52(6). 1573-1581. DOI : 10.1109/TIE.2005.858726
- [8] C. Tendero, C. Tixiera, P. Tristanta & J. Desmaisona & P. Leprince. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review, *Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2006, 2-30. DOI : 10.1016/j.sab.2005.10.003
- [9] L. Gan, S. Zhang, D. Poorun, D. Liu, X. Lu, M. He, X. Duan & H. Chen. (2018). Medical applications of nonthermal atmospheric pressure plasma in dermatology. *JDDG, J. Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 16(1), 7-13. DOI : 10.1111/ddg.13373
- [10] S. Portugal, S. Roy & J. Lin. (2017). Functional relationship between material property, applied frequency and ozone generation for surface dielectric barrier discharges in atmospheric air. *Scientific REPOrtS*, 1-11. DOI : 10.1038/s41598-017-06038-w
- [11] Y. Ju, J. K. Lefkowitz & C. B. Reuter et al. (2016) Plasma Assisted Low Temperature Combustion. *Plasma Chem Plasma Process*, 36, 85-105. DOI : 10.1007/s11090-015-9657-2
- [12] Y. Setsuhara. (2016). Low-temperature atmospheric-pressure plasma sources for plasma medicine. *Archives of biochemistry and biophysics*, 605, 3-10. DOI : 10.1016/j.abb.2016.04.009
- [13] H. X. Wang, Y. Long & Y. Y. J. (2020). Design of New Submerged Ozone Generator, *ICAEER 2020, Volume 194*, 1-4. DOI : 10.1051/e3sconf/202019405011
- [14] N. Mastanaiah, P. Banerjee, S. Roy A. Johnson & Subrata Roy. (2013) Examining the Role of Ozone in Surface Plasma Sterilization Using Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma. *Plasma Process Polymer*, 10(12), 1120-1133. DOI : 10.1002/ppap.201300108
- [15] E. Grignani et al. (2021). Safe and Effective Use of Ozone as Air and Surface Disinfectant in the Conjunction of Covid-19. *Gases*, 1(1), 19-32. DOI : 10.3390/gases1010002

오 희 수 (Hee-Su Oh)

[정회원]



- 2011년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학사)
- 2021년 8월 : 남부대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2011년 4월 ~ 2013년 9월 : 성운 에스티 연구원

- 2019년 3월 ~ 현재 : 테크로스위터에너지 연구원
- 관심분야 : 의공융합, 전력전자공학, 신재생에너지
- E-mail : khshs5@naver.com

이 강 연 (Kang-Yeon Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 전기과 교수

- 관심분야 : 신재생에너지, 전력전자, 의료융합
- E-mail : space122@cst.ac.kr

박 주 훈 (Ju-Hoon Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 동신대학교 물리학과 (이학사)
- 2000년 2월 : 동신대학교 대학원 물리학과(이학석사)
- 2006년 2월 : 전남대학교 대학원 광공학과(공학박사)

- 2005년 3월 ~ 현재 : 남부대학교 전기공학과 교수
- 관심분야 : 의료기기, 의공학, 의광학
- E-mail : jhpark@nambu.ac.kr

정 병 호 (Byeong-Ho Jeong)

[정회원]



- 1999년 8월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 조선대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 2009년 2월 : ㈜기영 미다스 선임연구원

- 2009년 3월 ~ 현재 : 남부대학교 전기공학과 교수
- 관심분야 : 의공융합, 전력전자공학, 신재생에너지
- E-mail : energy@nambu.ac.kr