

유전체 장벽 방전을 위한 양방향 펄스 전원장치

신완호, 홍원석, 정환명*, 최재호**
한국기계연구원, * 성암전기(주), ** 충북대학교

Bidirectional Pulse Power Supply for Dielectric Barrier Discharge

Wan-Ho Shin, Won-Seok Hong, Hwan-Myoung Jeoung*, Jae-Ho Choi**
Korea Institute of Machinery & Materials, * Sung-Am Electric Co., Ltd., ** Chungbuk Nat'l Univ.

Abstract - High voltage plasma power supply was adopted to control polluted gases and an ozone generation. Bidirectional pulse power supply consisted of power semiconductor switch devices, a high voltage transformer, and a control board adapted switching method. Plasma power supply with sinusoidal bidirectional pulse, which has output voltage range of 0 - 20 kV and output frequency range of 1kHz-20kHz, is realized. Using proposed system, pulsed high voltage/high frequency discharges were tested in a DBD (dielectric barrier discharge) reactor, and the spatial distribution of a glow discharge was observed. The system showed stable operational characteristics, even though the voltage and the frequency increased. Above features were verified by experiments.

전원장치를 사용하고 있으며, 펄스 전류의 안정된 공급을 위해 1800uF/450V의 전해 커패시터 3개를 직렬로 사용하였다. 각각의 커패시터에는 불균등 전압을 없애기 위한 저항 20kΩ-10W을 연결하였다.

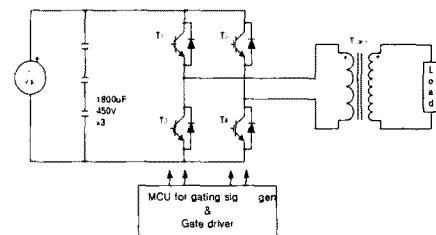


그림 1 양방향 펄스 전원장치 구조

일반적으로 무성방전(silent discharge)으로 알려진 유전체 방전은 글로우 방전과 같이 넓은 방전영역에 여기현상을 일으킬 수 있으며 코로나 방전의 높은 압력 조건을 동시에 충족할 수 있어 저온 유해가스 처리기술 연구에 널리 이용되고 있다.[1-2]

유전체 방전시 방전공간의 한 지점에서 이온화가 일어나면 이동된 전하 물질들은 유전체 장벽에 축적되게 되고 전극 사이의 전기장을 감소시켜 방전현상을 제한하게 된다. 이러한 이유로 유전체 방전에서는 단방향 펄스 전원장치로는 원활한 방전을 기대 할 수 없으며, 사인파 교류전원을 인가함으로써 인가전압의 최대 및 최저점에서 변위전류는 사라지고 미세방전들의 활동은 멈추고, 그 다음 번 사이클의 인가전압이 방전전압에 도달하면 방전이 다시 시작된다.

본 연구에서는 유전체 장벽 반응기에서 높은 전자에너지와 에너지 밀도를 얻고자 기존의 단방향 펄스 전원으로는 방전을 일으키기 곤란했던 단점을 양방향 펄스 전원을 설계 제작함으로써 유전체 장벽 반응기에서 난분해성 유해가스 처리반응을 위한 방전특성 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 양방향 펄스 전원장치 개요

양방향 펄스 전압에 의한 저온 플라즈마 가스처리반응 특성을 실험하기 위한 전원공급장치를 제작하였다. 트랜스포머의 누설인덕턴스와 용량성 기생성분등에 의한 채터링현상은 방전특성에 영향을 미치지 않는다고 가정하며 인버터와 트랜스포머 장치에서 양방향 펄스 전압을 출력하여 펄스 동작특성을 알아보기로 한다.

그림 1은 양방향 펄스 전원장치의 구조를 나타내고 있다. 직류전원은 0-1000Vdc/3A의 출력을 갖는 별도의

단상 풀 브릿지 인버터에 사용한 스위치 T1~T4는 IXYS사의 IXBH42N170 Bipolar MOS Transistor 3개를 각각 병렬로 사용하였으며 PIV는 1700V, 전류값은 90°C에서 42Ampere, 25°C에서 75A, 25°C-1msec-180A의 정격을 갖는다. Bipolar MOS Transistor는 MOSFET에 비해 도통 손실이 작은 것으로 소개되고 있으며 Turn delay time은 45nsec로 매우 작게 나타나 있어 펄스 전원장치에 적합할 것으로 판단된다.

반도체 스위칭 소자에 인가되는 게이트 신호는 별도의 발진회로를 사용하지 않고 PC에서 "C"언어로 프로그램을 작성한 후 Prochilid사의 accumulator를 이용 atmel 칩으로 rom 신호로 전송하여 트리거 펄스파와 스위칭 주파수를 임의대로 제어 할 수 있도록 간단히 구성하였다.

Transformer core는 AMOTECH사의 amorphous core로 AMCU-160을 사용하였다. amorphous core는 포화자속밀도가 1.56T로서 페라이트에 비해 약 3-4배 정도로 높고 와전류손실과 히스테리시스 손실이 작아 효율이 높으므로 고주파 전원장치 크기를 크게 가져갈 수 있는 장점이 있다.[3]

전원장치의 게이트 Pulse주기는 1kHz~20kHz, 펄스 폴은 1μs~5μs까지 임의로 가변할 수 있는데, 이것은 고주파 트랜스포머와 부하특성 등에 따라 다양한 출력파형으로 실험이 가능하도록 하기 위함이다.

2.2 양방향 펄스 전원장치 설계 및 동작원리

그림 2는 양방향 전원출력을 위한 게이트 펄스와 다이오드 전류를 나타내고 있다. 상단의 그림은 트랜스2차측에 나타나는 전압을 임의로 표현한 것이다. 그림2 b, c, d, e는 그림2의 구간 ①, ②, ⑤, ⑥의 전류흐름을 각각 나타낸 것이다.

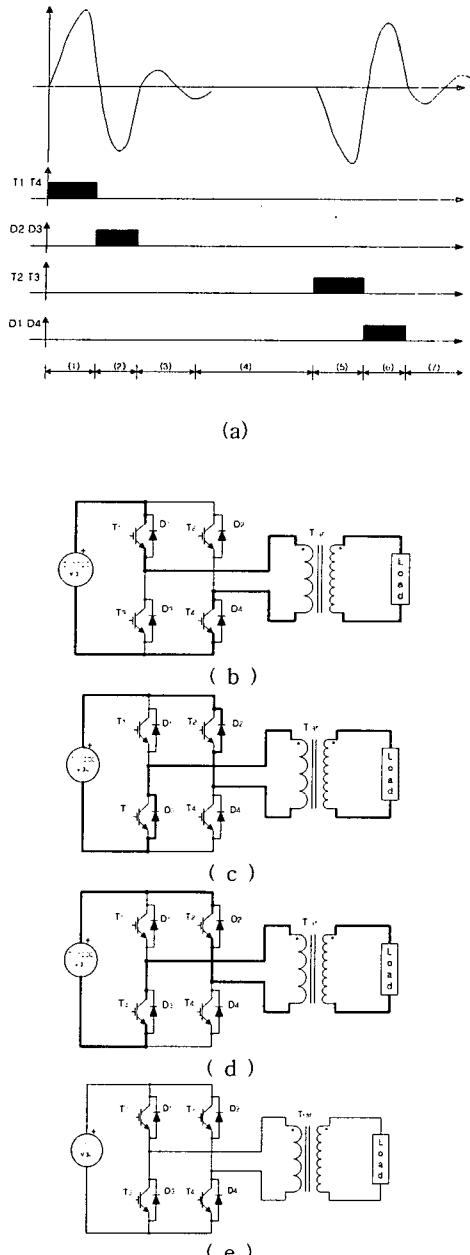


그림 2 양방향 전원장치 모드별 동작

구간①에서는 스위치T1과 T4에 동시에 게이트 신호가 인가되어 직류전류는 T1-Transforemr-T4를 거쳐 흐르게 된다. 구간②에서는 T1,T4의 게이트 신호가 없어지고 트랜스포머의 여자에너지는, 스위치의 역병렬 다이오드 D2, D3를 통해 직류전원측으로 회생됨과 동시에 부하에 인가되게 된다.

구간 ③은 기생용량과 누설인덕턴스와 부하에 의해 회로진동에 의해 나타나는 구간으로 수 사이클 반복하며, 구간④는 진동이 정지된 구간이다. 구간 ⑤, ⑥, ⑦은 구간 ①, ②, ③과 동일하며 단지 반용기 입력전압 대칭을 위해 T2, T3에 게이트 신호를 인가한다. 따라서, 스위치 T1,T2,T3,T4 트리거 펄스신호의 조합과 제어에 따라서 positive-negative극성의 펄스전압과 그 반대의 negative-positive극성의 양방향 펄스전압을 구현 할 수 있다.

2.3 고압 고주파 트랜스포머 구성

본 실험에 사용하는 트랜스포머의 경우 1차 에너지가 순시적으로 트랜스포머를 통해 2차측에 전달되는 형태이므로 펄스 전력전달을 위한 트랜스포머의 설계에서 가장 중요한 부분은 core를 선정하는 일일 것이다. 수 μ s의 펄스폭일지라도 순간 전력이 크기 때문에 트랜스포머는 쉽게 포화 될 수 있으며 인버터 스위치의 소손을 초래할 수 있다. 또한 인가 전압이 고주파이므로 와류손실과 히스테리시스손실 즉 철손이 증가하여 core를 과열 시킬 수 있다. 분말소결 Ferrite core의 경우 고주파 특성은 양호하지만 포화자속밀도Bm이 약 0.4-0.5T이기 때문에 매우 큰 core를 사용하여야 자기 포화를 방지하는 단점이 있다. 적층 규소강판의 경우 Bm값은 매우 높지만 고주파에서 철손이 매우 증가하므로 사용하기 곤란하다. 이러한 경우 amorphous core는 대안이 될 수 있으며 유사한 전원공급장치에서 가장 많이 사용하는 것으로 알려져 있다. 가격 면에서 아직 폐리아이트와 비교할 수 없을 정도로 높은 단점은 있지만 국내 생산이 증가하고 있으므로 이 부분도 점차 개선되리라 본다. Transformer core는 AMOTECH사의 amorphous cut core로 AMC-160을 사용하였다. 한편, 권선은 skin effect를 작게 하기 위해 1차와 2차에 USTC #0.10/170 strand와 #0.05/170strand를 각각 사용하고 권선은 누설인덕턴스를 줄이기 위해 내철형구조로 하였다.

표 1 Transformer specification

1차 Turn 수	4[Turn]
2차 Turn 수	80[Turn]
core	AMCU-160
core gap	0.5[mm]
1차 peak current	100[A]
2차 peak current	5[A]
Lm	200[uH]
Winding	solenoid
Magnetizing force_max	700[Ampere-Turn]
Maximum pulse width	10[usec]
Input voltage_max	1000[Vdc]

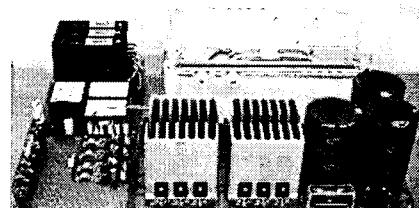


그림 3 설계제작된 펄스 전원장치 및 고압 트랜스포머

2.4 실험 및 결과

본 실험에서는 설계제작된 양방향 펄스 플라즈마 전원 장치를 사용하여 유전체 반응기에서의 방전 특성 실험을 수행하였다. 방전 실험에 사용된 반응기는 2개의 전극 중 한 부분만 유전체(pyrex)로 덮여 있는 실린더 형태의 반응기이다. 실린더 반응기의 사양은 길이 270mm, 외경 30mm이고, 방전갭은 2mm로 하였다. 높은 주파수에 따른 유전가열로 인한 반응기의 냉각을 위해 전극봉과 pyrex실린더를 수냉구조로 제작하여 쿨링을 하도록 하였다.

그림 4는 방전실험을 위해 구성된 실험장치의 반응기 사진이다.

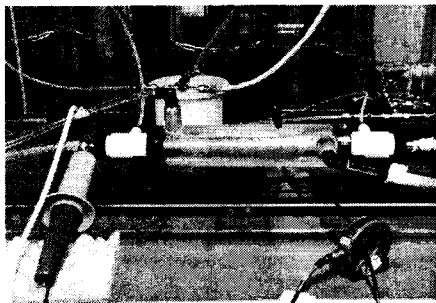


그림 4 실험장치 반응기구성 사진

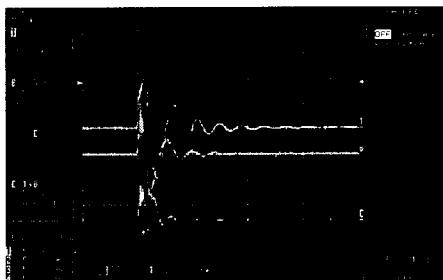


그림 5 positive-negative 양방향펄스

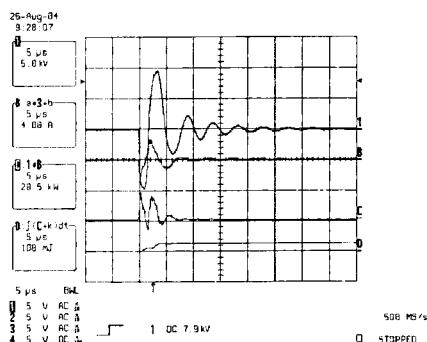


그림 6 negative-positive 양방향펄스

그림 5, 6은 유전체 반응기에서 양방향 펄스 방전시 전압, 전류 및 전력 과형이다. 트리거 펄스의 세이에 의해 positive-negative 및 negative-positive의 양방향펄스를 구현하였다. 펄스 전압 및 전류 계측은 1000:1 고전압 포로브(Tektronix P6015)와 CT(Stangenes Inc.)을 사용 디지털 오실로그래프(Lecroy LT344)로 측정하였다. 전압 V_p 는 $\pm 5\text{-}20\text{kV}$, 펄스폭 1-5μs, 펄스 주파수는 1-20kHz 범위내에서 실험을 하였다. 이때 반응기에 공급되는 전류

펄스당 전기에너지는 30-100mJ로 계산 되었다. 전압 전류 과형에서 보면 ± 양방향 펄스가 형성된 후 과형이 약간의 oscillation되는 것을 보여주고 있는데 이는 고압 트랜스퍼머 2차측 권선의 stray capacitance성분과 leakage inductance성분에 기인하는 것으로 보여진다.

그림 7은 DBD cylinder 반응기에 양방향 펄스 전원을 인가 하였을 때 발생하는 방전현상을 디지털 카메라(Fuji M603)를 이용 활용한 방전 사진이다. 반응기에 10kV의 양방향 펄스 전압에서 펄스폭 1-3μs, 주파수 1-10kHz로 인가시 원활한 방전 현상을 관측 할 수 있었다.



그림 7 양방향 펄스전원 인가시 활용한 방전 현상

3. 결 론

유전체 장벽 반응기에서 펄스 플라즈마 방전 특성 실험을 위하여 양방향 펄스 플라즈마 전원장치를 설계 제작하였다.

기존의 단방향 펄스 전원으로는 유전체 반응기에서 원활한 방전현상이 곤란 하였던 것을 유전체 장벽 반응기의 양방향 펄스 전원을 인가하여 원활한 방전 현상을 구현 하였다.

반도체 스위칭 소자에 인가되는 게이트 트리거 신호는 컴퓨터에서 "C"언어로 프로그램을 작성한 후 Prochild사의 accumulator를 이용 atmel 칩으로 rom 신호로 전송하여 트리거 펄스폭과 스위칭 주파수를 임의대로 세어 할 수 있도록 간단히 구성하였다. 고전압 고주파 트랜스퍼머는 amorphous cut core와 skin effect를 작게 하기 위해 Litz wire를 사용 제작함으로써 시스템의 부피를 줄일 수 있었으며, 실린더형 유전체 반응기에서 $V_p=0\text{-}\pm 20\text{kV}$, 펄스폭 1-5μs, 펄스 주파수 1kHz-20kHz로 구동되는 양방향 펄스 전원을 구현 하였다.

DBD 반응기에서 양방향 펄스 전원을 인가하고, 반응기의 형상 및 종류에 따라 펄스폭을 조절하며 균일한 방전 현상을 실험을 통하여 관측 할 수 있었다.

HV/HF 트랜스퍼머의 capacitance성분과 inductance 성분에 기인하는 것으로 보여지는 펄스 과형의 oscillation 문제와 펄스 과형의 불균형이 관측되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Penetrate, B.M. "Comparison of Electrical Discharge Techniques for Non-thermal Plasma Processing of NO in N₂", IEEE Trans. Plasma Sci. Vol. 23, pp. 679-687, 1995.
- [2] T.Yamamoto, "VOC destruction by nonthermal plasma processing-A new approach," J. Electros- tatics, Vol 42, pp. 227-238, 1997.
- [3] W. Chou, Y. Mori, M. Muto, "Design and test of a beam transformer as a chopper," Proceedings of the 1999 Particle Accelerator Conference, New-York, pp. 363-367, 1999.