

# 고전압 플라즈마 전기집진기를 위한 고전압 저속 스위칭의 작동 특성

정구영, 전형근, 오현준, 노정욱  
국민대학교 전자공학과

## Performance characteristics of low frequency pulsating voltage power supply for DC Plasma Electric Precipitator

Ku Young. Jeong, Hyeong Geun. Jeon, Hyeon Jun. Oh, Chung Wook. Roh  
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

### ABSTRACT

최근 미세먼지(PM10 또는 PM2.5)로 인한 인체 유해성 및 실제 피해사태가 인터넷, TV 매체 등에 의해 화두가 됨에 따라 각종 제조, 사업장 및 발전소에서는 미세먼지 배출기준을 충족하기 위한 고효율 집진 기술이 필요로 되고 있는 상황이다. 고압 코로나 방전에 의해 미세먼지를 포집하는 고전압 하전방식 집진장치의 경우 전류를 광범위로 조절 가능하며 역전리 방지에 탁월하여 고효율의 집진이 가능하다. 본 논문에서는 기존의 단전원(펄스전원, 기본전원)을 이용한 마이크로 펄스 하전방식이 아닌 공진형 컨버터와 고압 트랜스포머, 배전압 회로를 적용한 고전압 단전원 제어 하전방식 및 이를 이용한 고전압 전압원의 저속 스위칭 제어기법을 제안하고, 실제 측정을 통해 제안 방식의 실효성을 검증하였다.

### 1. 서 론

대기 중에 부유하는 물질을 입자상 물질을 먼지라고 하며, 입자크기가 매우 작은 먼지를 미세먼지(Particulate matter, PM)라고 한다. 미세먼지는 대표적인 대기오염물질의 하나로써 입자크기에 따라 직경 10 m 이하 크기의 미세먼지(PM10)와 직경 2.5 m 이하의 초미세먼지(PM2.5)로 구분된다.

고농도 미세먼지의 노출 시 인적, 물적인 피해는 국가의 동력을 떨어뜨리는 원인이므로, 100~135 g/m<sup>3</sup> 범위의 농도에서는 만성 호흡기 질환자의 사망률이 증가하며 그보다 더 높은 140~350 g/m<sup>3</sup>의 범위의 농도에서는 폐기능 손상, 300 g/m<sup>3</sup> 농도에서는 병약자, 노인의 사망이 증가될 수 있는 위험을 초래한다. 미세먼지는 대기 중에 무작위로 존재하며 연중 상시 나타나는 문제로서 국민 전체의 주요 관심사로 시급히 해결되어야 할 과제이다. 이러한 대기 중의 미세먼지를 저감하기 위해, 혹은 미세먼지 배출을 줄이기 위해 여러 집진 기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 중력을 이용한 사이클론 집진장치나 고압을 이용한 전기집진 방식인 DC직류하전 방식을 예로 들 수 있다. 일반적인 DC직류하전 방식 전기집진기의 경우 설정된 고전압 전력을 순시로 소모하기 때문에 소비전력이 비교적 크고 고전압에 의한 오존발생이 지속되어 일반적인 사업장에서 사용하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 고전압 단전원 저속 스위칭 방식의 전기집진기의 경우 고전압 전압단을 컨트롤하여, 집진 셀에 가해지는 전압이 고압과 저압 사이를 일정 주파수와 듀티로 스위칭하고, 전류를 실시간

으로 조절하여 기존 전기집진기보다 소비전력을 대폭 낮추고, 집진 효율은 DC직류하전 방식과 동등한 수준을 유지할 수 있다.

### 2. 플라즈마 전기집진기를 위한 고전압 전력변환 공진형 컨버터

#### 2.1 고전압 공급을 위한 전력변환회로

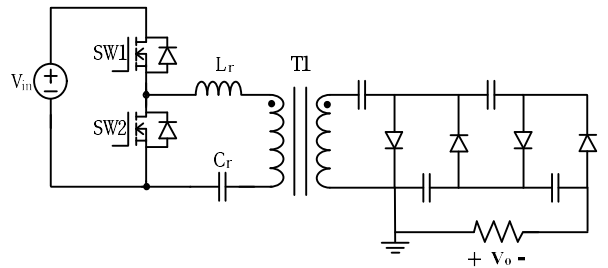


그림 1 배압회로를 갖는 공진형 컨버터 회로

공진형 컨버터는 그림1과 같이 두 개의 스위치와 각각 한 개의 공진인덕터, 공진커패시터, 그리고 트랜스포머로 이루어져 있으며 출력 단계는 전압을 4배로 승압시켜주기 위해 각각 4개의 다이오드와 커패시터로 이루어져 있다. 이러한 배전압 회로에 의해 1차측 회로 소자들의 내압 스트레스를 줄일 수 있고 기존 공진형 컨버터보다 높은 승압이 가능하게 된다.

#### 2.2 고전압 공급을 위한 전력변환회로 모의실험

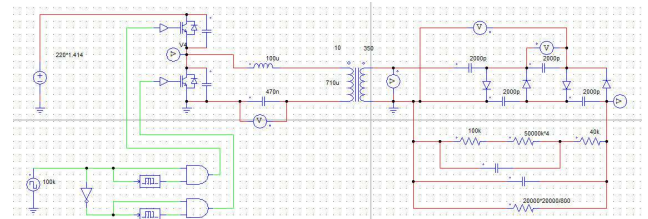


그림 2 배압회로를 갖는 공진형 컨버터 회로(PSIM)

그림2는 최적의 고전압 공진형 컨버터 모의실험 회로도를 PSIM 시뮬레이션 프로그램으로 나타낸 것이다. 모의실험 파라미터는 아래의 표1에 나타내었다.

1 시뮬레이션 주요 파라 터

Table 1 values of the system parameters for simulation

실험 조건			
Input Voltage	320V DC	Trans Llk	10uH
Trans Lm	720uH	Trans Turn Ratio	10 : 350
Resonant Capacitor	Cr = 470nF	Resonant Inductor	Lr = 100uH
Switching Frequency	27kHz	Output Voltage	-19.2kV
Switching Frequency	100kHz	Output Voltage	-5.7kV

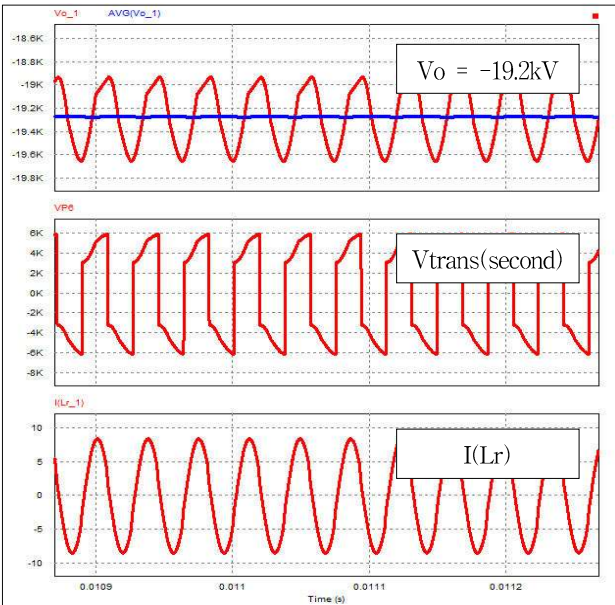


그림 3 컨버터 회로의 모의실험 파형 (고전압)

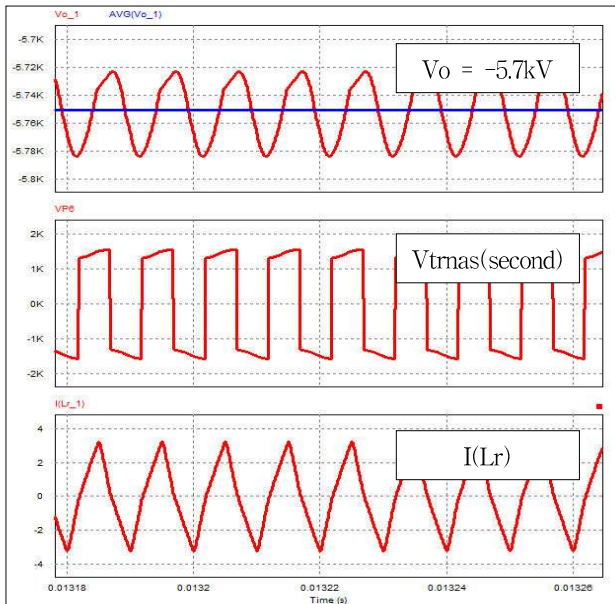


그림 4 컨버터 회로의 모의실험 파형 (저전압)

그림 3, 4를 통해 스위칭 주파수에 의해 공진형 컨버터의 최종 출력이 -19.2kV에서 -5.7kV까지 변화하는 것을 확인하였다.

2.3 전기집진기의 집진 원리

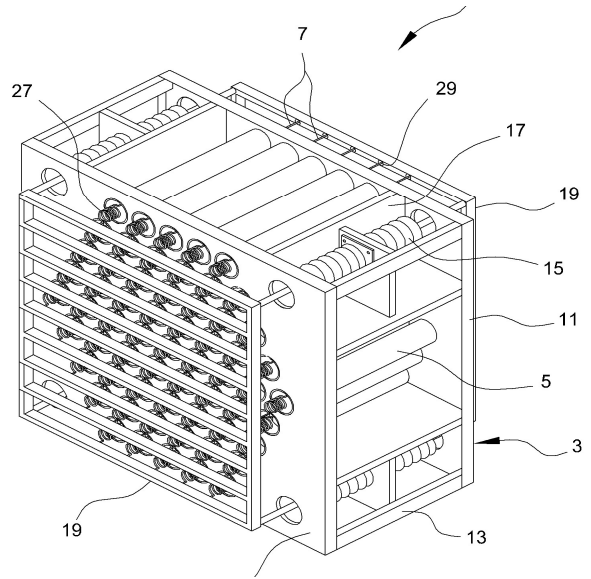


그림 5 미세먼지 제거를 위한 대용량 집진 필터

공진형 컨버터의 출력으로 전기집진기를 구동하기 위해선 그림5와 같은 금속으로 이루어진 집진 필터에 고전압을 걸어주어 전계를 형성시켜야 한다.

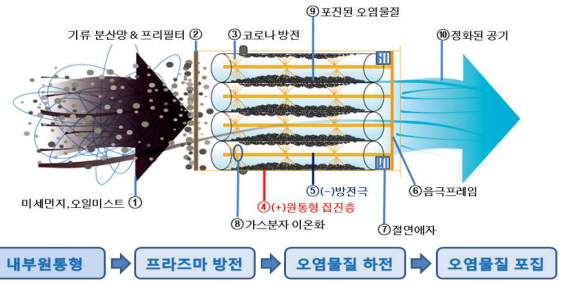


그림 6 플라즈마 전기집진기의 필터 내 집진과정

집진 필터에 고전압을 걸어주게 되면 그림6과 같이 코로나 방전에 의해 집진과정이 진행된다. 하지만 아무리 강력한 고전압을 걸어서 미세먼지를 포집한다고 해도, 전기집진기의 성능은 집진된 미세먼지를 회수하지 못하면 즉시 무력화된다. 왜냐하면 내부를 지나가는 미세먼지가 많을수록 직류 고전압을 걸어주게 되면 정전기에 의해 먼지가 떨어지지 않고 계속 쌓이는 현상이 발생하게 되고 집진 필터로부터 먼지가 회수되지 못하기 때문이다. 따라서 집진 필터에 가해지는 전압을 변동시켜주기 위해 다음의 고전압 저속 스위칭의 작동을 제안하는 바이다.

3. 고전압 저속 스위칭

3.1 공진형 컨버터의 주파수 제어 방안

본 논문에서는 공진형 컨버터의 구동을 위해 ST사의 L6599 공진 컨트롤러를 이용하였으며, L6599(A)컨트롤러의 경우 외부 편 입력을 통해 컨버터의 스위칭 주파수를 가변시킬 수 있다. 따라서 외부에서 적절한 신호를 인가하면 집진 필터의 고전압과 저전압을 저속으로 스위칭 할 수 있게 된다. 또한 스위칭

신호를 만들고 외부 인터페이스와 통신하기 위해서 Microchip사의 8Bit MCU인 AT90CAN128을 이용하였다.

L6599 외부 핀 입력의 제어는 칩에서 제공되는 최소주파수 파라미터를 정하는 Rfmin 핀에 보이는 등가저항을 가변 하는 방식으로 주파수를 제어하였다.

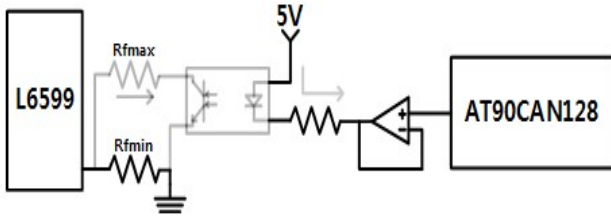


그림 7 AT90CAN128 High 출력 시 6599 작동

MCU에서 High를 출력하게 되면 그림7에서 보이듯이, 1차 측 전력단에 구성된 L6599 회로에서 포토커플러가 차단되어 등가저항은 최소주파수 구동을 위한 Rfmin뿐만이 보이게 되어 공진형 컨버터가 하드웨어적으로 구성된 최소주파수로 구동하게 된다. 즉 집진 필터에 고전압이 걸리게 된다.

(1)

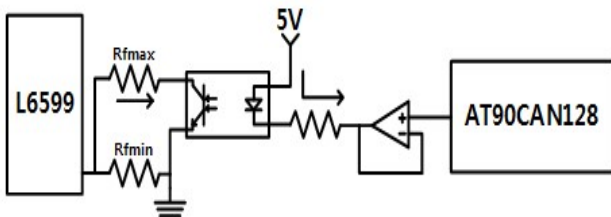


그림 8 AT90CAN128 Low 출력 시 6599 작동

반대로 MCU에서 Low신호가 나가게 되는 경우 그림8에서 보이듯 1차측 전력단에 구성된 포토커플러가 도통하게 되어 등가저항으로 Rfmax와 Rfmin이 병렬로 보이게 된다. 이 때는 L6599가 공진형 컨버터를 최대주파수로 구동하게 되어 집진 필터에 저전압이 걸리게 된다.

(2)

### 3.2 PBA 구현 및 실험 결과



그림 9 제안 고전압 저속 스위칭 전력단 PBA 및 트랜스



그림 10 미세먼지 집진 실험 시행

2 실 정 시 비고  
Table 2 Comparison of recipitator

집진처리설비	처리량 (Nm <sup>3</sup> /h)	입력손실 (mmHg)	집진효율 (%)	100% 통과 입경(μm)	5μm포집 효율(%)	배출농도 (ppm)	비고
사이클론	2340	20-70	99.0	15	70	376	2 단
캔들 필터	440	60-230	99.9+	3	100	5 이하	
cross flow 필터	800	20-80	99.9+	3	100	5 이하	
순환층 여과기	340	60	99.4	10	95	20 이하	2 단
전기집진기	220	125	99.5	10	95	20 이하	3 단

## 4. 결 론

본 논문에서는 전기집진기의 고전압 저속 스위칭 작동이 실제로 집진효율에 도움이 되는지 실험을 통해 알아보았으며, 일반 생산 공정 중에 발생하는 미세먼지, 악취, 백연, 블랙카본 및 오일 미스트 등의 대기오염물질을 제거하고, 특히 현재 대기환경에서 대두되고 있는 미세먼지(PM10, PM2.5)로 인한 스모그현상 등의 문제를 해결하며, 온실가스 또한 감축하여 대기환경개선에 큰 기여를 할 수 있음을 확인하였다. 또한 이러한 저속 스위칭 작동을 적용한 전기집진기의 가동으로 생산 현장의 작업 환경이 개선되어 유해성물질로부터 작업자들의 건강을 보호할 수 있고, 업무 능률 또한 향상될 수 있으며, 전기집진기 가동 후 측정 결과 미세먼지 집진 후의 평균적인 농도는 미세먼지 환경기준과 예보기준에서 좋음에 해당하는 2μg/m<sup>3</sup> 정도임을 실험적으로 확인하였다.

본 연구는 (주)NIT Korea의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] Tae-Cheol, Yang. "Design of high voltage resonant converter and application of plasma electrostatic precipitator" 2018