

### 건식 세정용 전원장치 개발

김수석, 최대규\*, 최상돈\*, 원충연\*\*  
서울산업대학교, 뉴파워 프라즈마\*, 성균관대학교\*\*

### The development of LF power supply for dry scrubber

Soo-Seok Kim, Dae-Kyu Choi\*, Sang-Don Choi\*, Chung-Yuen Won\*\*  
Seoul National Univ. of Technology, New Power Plasma co\*. Sungkyunkwan Univ.\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, the development of the LF power supply for dry scrubber is discussed. 1500kW, 100kHz LF power supply is designed and tested.

The main power stage is used for the FB PWM inverter with an LC filter in the secondary circuit. The operation characteristics of LF power supply are verified by simulation and experimental results.

#### 1. 서 론

산업 현장에서 사용되는 고주파 전원장치는 그 사용 목적에 따라 수~수십kHz의 주파수를 사용하고 용량은 수백W~수kW급으로 그 종류가 다양하다. 본 논문은 그중 저압 화학적 기상 증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)과 프라즈마 강화 물리적 기상 증착(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 공정 후 발생된 환경 유해 가스를 효과적으로 세정하기 위한 장비인 건식 세정기(dry scrubber)의 전원장치에 대한 연구이다.

건식 세정기는 노(furnace) 또는 챔버(chamber)와 진공 펌프 사이에 설치된 플라즈마 강화 화학 반응기(Plasma Enhanced Chemical Reactors)로서 프라즈마 에너지를 이용하여 반도체 가공시 발생하는 유해 환경 가스를 효과적으로 제거하고 부산물을 침전시킬 수 있는 장치로서 그림 1에 나타내었다.

건식 세정기의 전극은 가스가 경로를 따라 흐르도록 형성된 다중 권선, 높은 도전성의 나선형 전극으로 구성되었다.

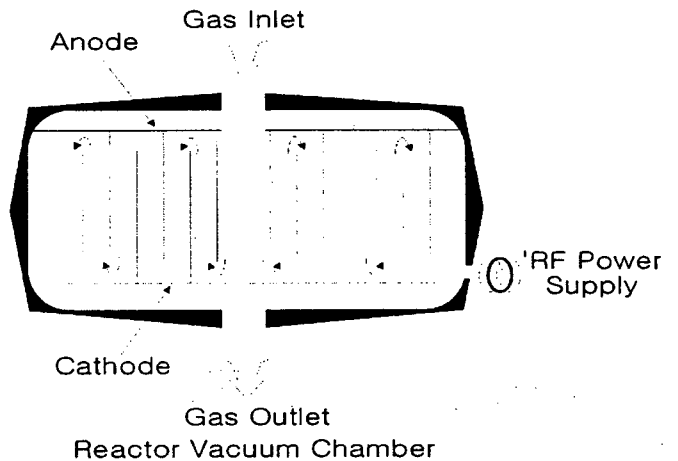


그림 1 건식 세정기  
Fig. 1 Dry scrubber system

챔버내에 프라즈마가 발생된 동안 긴 경로를 따라 유입된 가스가 화학반응을 지속적으로 발생하기 위하여 프라즈마 에너지는 계속 공급되어야 한다. 이때 전원장치는 챔버 내의 환경에 따라 전원장치의 전압과 전류 위상이 변화하게 되고 주 전력 회로의 운전조건은 가혹한 상태에 처하게 된다. 임피던스가 부정합된 상태에서도 전원장치는 정상적으로 동작될 수 있도록 설계되어야 한다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서 주 전력회로는 스위칭주파수 100kHz의 위상 변위 풀 브리지(Phase Shift Full-Bridge)방식의 인버터와 100kHz 저역 통과 필터 및 임피던스 변환기로 구성되었다. 모드해석과 모의실험을 통하여 회로방식의 타당성을 확인하였고 50 Ω dummy load 및 chamber 실험을 통하여 다양한 부하조건에서도 프라즈마를 안정되게 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

## 2. 고주파 전원장치

그림 2는 반도체 가공시 발생되는 유해 환경 가스를 제거하기 위한 고주파 전원장치의 구성도를 나타내었다.

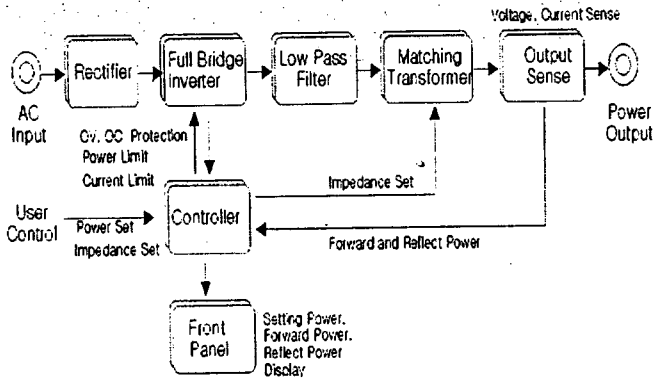


그림 2 건식 세정기용 전원장치 블록도  
Fig. 2 Block diagram of LF generator for Dry scrubber

주 전력회로는 위상 변위 방식을 이용한 풀 브리지 PWM 인버터로 구성되어 있으며 4개의 주스위치 모두 영전압 스위칭으로 동작한다. 7개의 L, C 수동 소자로 구성된 low pass 필터는 풀 브리지 인버터 출력의 고조파 성분을 제거하여 주파수 특성을 좋게 한다. 챔버 내 가스의 압력은 다양하게 변한다. 이러한 가스 압력의 변화는 전원 측에서 보면 임피던스의 부정합 상태로 나타나고 그 결과로 반사전력이 증가하게 된다. 그러므로 임피던스 변환기는 반사 전력을 줄이고 챔버내로 프라즈마 에너지를 손실 없이 전달하도록 한다. 출력 검출회로는 CT와 PT를 이용하여 전파 전력과 반사 전력을 검출하여 제어부로 보낸다. 제어부는 PWM 제어 IC와 80C196KC를 사용하여 출력 전력 설정, 임피던스 변환 값 설정, 과전압 보호, 과전류 보호 등의 기능이 있다. LCD 표시부는 설정 전력, 전파 전력, 반사 전력 표시 기능이 있다.

### 2.1 풀 브리지 인버터

그림 3은 위상 변위 방식을 이용한 풀 브리지 인버터의 회로와 변압기 1차측 전압 파형  $V_{AB}$ 와 전류 파형  $I_L$ 를 나타내었다. 인버터의 출력은 공진 탱크에 공급되는 구형파의 시비율을 변화시킴으로 제어할 수 있다. 브리지회로에서 Q1, Q2, Q3, Q4의 gate 구동신호는 각각 50%의 시비율을 유지한다. 시비율의 변화는 그림 3과 같이 Q1과 Q2, Q3와 Q4 gate 신호 사이의 위상 변위에 의하여 이루어진다.

### 2.1.1 모드별 운전특성<sup>[2],[3]</sup>

그림 3의 회로에서 영전압 스위칭을 위한 공진 소자는 변압기의 누설 인덕턴스  $L_{lk}$ 와 MOSFET의 출력 캐패시턴스가 된다.

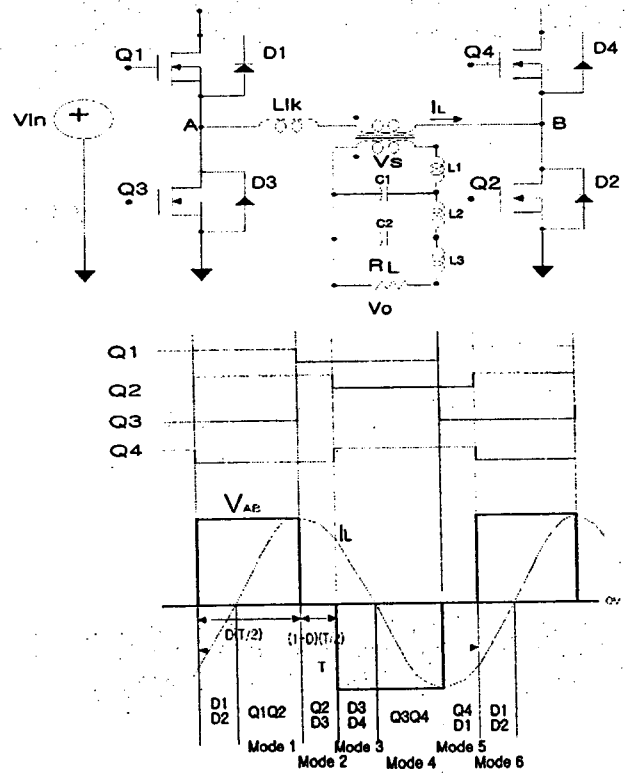


그림 3 고주파 전원장치의 회로도 및 변압기 전압 전류 파형  
Fig. 3 Voltage and current wave form of transformer and Power stage Circuit of LF power supply

인버터의 정상 상태에서의 동작을 해석하기 위하여 그림 3에 나타낸 바와 같이 한 주기를 6개의 동작 모드로 구분 할 수 있다. 그러나 한 주기 동안의 동작중 1-3 모드 동안의 반주기 동작은 스위치 쌍 Q1, Q2와 Q3, Q4의 도통·차단에 대응하여 4-6 모드 동안의 다른 반주기 동작과 대칭을 이루게 된다. 따라서 반주기 동안의 해석을 가지고도 전체 동작 설명이 가능하며 이하 각 구간별 동작 해석을 나타낸다.

◆모드 1 : 이전 모드에서 스위치의 역 병렬 다이오드 D1과 D2로 흐르던 전류  $I_L$ 이 스위치 Q1 과 Q2를 통해 흐른다. 이때 스위치 Q1, Q2는 영전압 스위칭을 이루고 변압기 2차 측으로 에너지가 전달된다.

◆ 모드 2 : 스위치 Q1이 턴 오프 되고 스위치 Q3의 역 병렬 다이오드 D3와 스위치 Q2가 도통되며 누설 인덕턴스  $L_{lk}$ 의 에너지는 이 도통 경로를 통하여 환류 된다.

◆ 모드 3 : 스위치 Q<sub>2</sub>가 턴 오프 되고 스위치 Q<sub>4</sub>의 역 병렬 다이오드 D<sub>4</sub>가 턴 온 되면서, 누설 인덕턴스 L<sub>lk</sub>에 축적된 에너지는 역 병렬 다이오드 D<sub>3</sub>과 D<sub>4</sub>의 도통 경로를 통해 전원으로 환원된다.

이상의 과정을 통해 스위치 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub> 모두 영전압 스위칭이 이루어짐을 확인 할 수 있으며 Co는 변압기에 존재하는 등가 커패시터 성분이다.

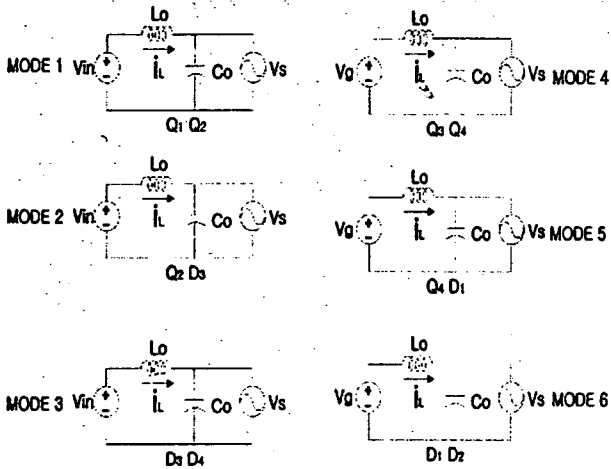


그림 4 운전 모드  
Fig. 4 Operation mode

### 3. 모의 실험 및 실험 결과

그림 3의 회로를 이용하여 건식 세정기용 고주파 전원장치의 PSPICE 모의 실험 및 실험을 수행하였으며 모의 실험 및 실 제작한 시스템에 사용된 변수 값은 표 1과 같다.

모의실험은 80% 시비율에서 수행하였으며 실험은 최대 출력시(1500W) 정상상태 특성과 기동특성, 그리고 챔버 실험시 다양한 임피던스 상태에서의 효율특성 실험을 수행하였다.

표 1 전원 시스템 사양  
Table 1 System specifications.

입력전압 (Vin)	220V <sub>AC</sub>	필터 L1	145uH
정격 출력(Po)	1500W	필터 L2	83uH
변압기 권수비	1: 2.9	필터 L3	90uH
주스위치	APT5020	필터 C1	56PF
스위칭 주파수	100 kHz	필터 C2	41PF
누설 인덕턴스	12uH	부하	50Ω 무유도 저항
PWM IC	uc3879	챔버시험시 임피던스 설정값	200Ω, 300Ω 450Ω, 600Ω

그림 5는 모의 실험 파형으로 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 파형을 나타내었고 그림 6은 최대출력시(1500W) 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 실험 파형을 나타내었다.

그림 7과 그림 8은 모의 실험 파형으로 LF 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 나타내었으며 그림 9과 그림 10은 50Ω 부하시 실험 파형으로 LF 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 나타내었다. 그림 11은 LF 전원기동시의 출력 전압 파형을 나타내었고 그림 12는 챔버 압력이 120m Torr, 단상 208Vac에서 전원의 임피던스를 200Ω, 300Ω, 450Ω, 600Ω으로 변화시켰을 때의 효율특성을 나타내었다.

이상의 모의실험 및 실험 결과에 의해 LF 전원장치의 스위치 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub> 모두 영전압 스위칭이 이루어짐을 확인할 수 있으며 모의실험 및 실험 결과에 의하여 LF 출력 전압의 고조파성분이 제거됨을 확인함으로 저역 필터의 설계가 적절함을 확인하였고 LF 전원 기동시 소프트 스타트가 이루어짐으로 기동시 발생할 수 있는 돌입전류가 확실히 제한됨을 확인할 수 있다.

챔버 실험시 효율 특성은 120m Torr, 임피던스 200Ω의 상태에서 반사 전력은 141[W], 90%이상의 효율을 예시 얻었다.

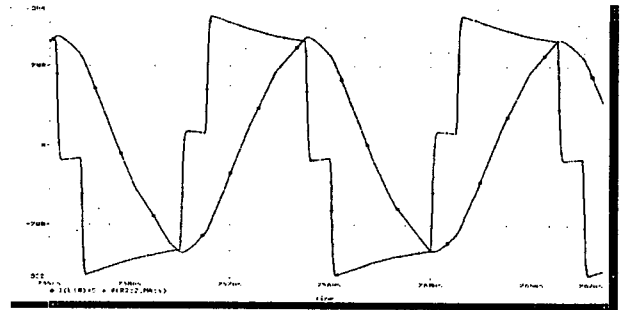


그림 5 변압기 1차측의 전압, 전류 모의 실험 파형  
Fig. 5 Voltage and current simulation wave form of transformer

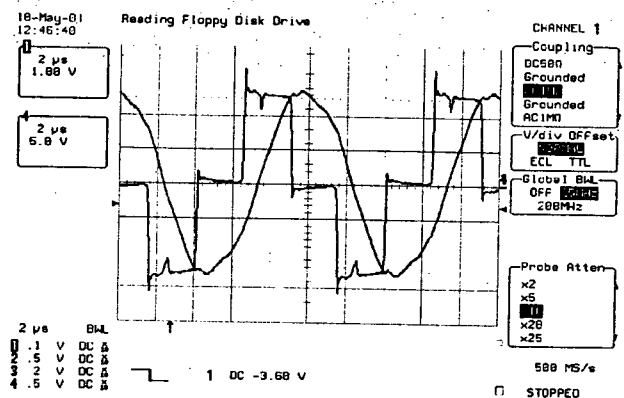


그림 6 변압기 1차측의 전압, 전류 실험 파형  
Fig. 6 Voltage and current wave form of transformer

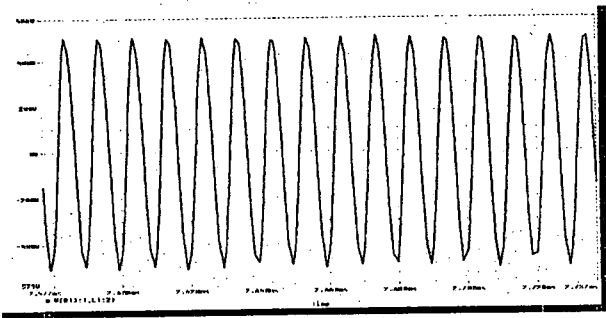


그림 7 LF 출력 전압 모의실험 파형  
Fig. 7 Simulation output waveform of LF generator

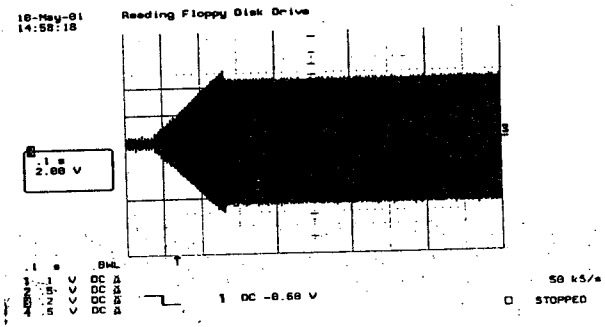


그림 11 기동특성  
Fig. 11 Starting characteristic

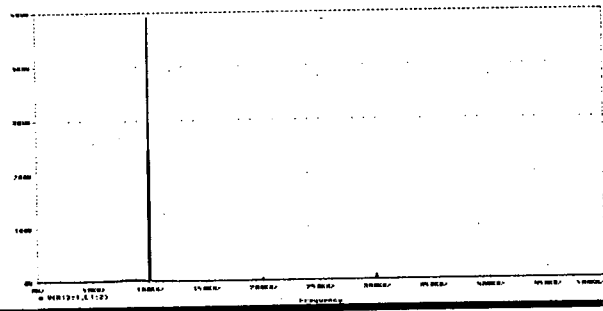


그림 8 LF 출력 전압의 고조파 분석 실험 파형  
Fig. 8 Simulation waveform of spectrum analysis for LF generator

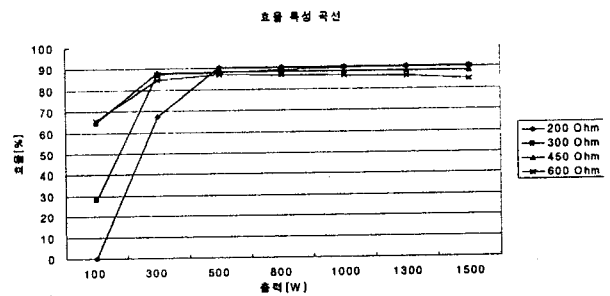


그림 12 챔버 실험시 LF 전원장치의 효율특성  
Fig. 12 Efficiency of LF generator during chamber test

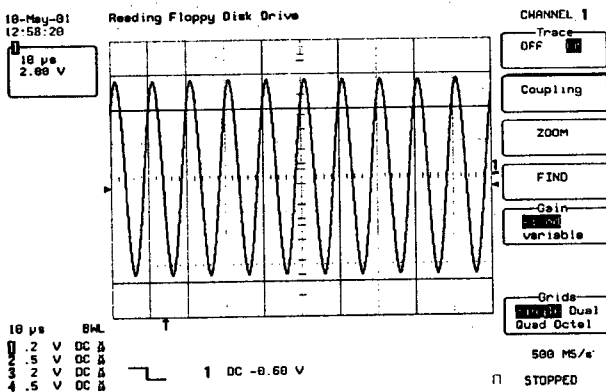


그림 9 LF 출력 전압 실험 파형  
Fig. 9 Experimental output waveform of LF generator

#### 4. 결 론

환경 유해 가스를 효과적으로 세정하기 위한 장비인 건식 세정기(dry scrubber)의 전원장치에 대해 연구하였다. 개발된 전원장치는 챔버 내의 환경(압력)의 변화에 따라 적절히 전원의 임피던스를 조절할 수 있으므로 최대 전력 공급시 90% 이상의 효율을 얻을 수 있었다. 전원장치의 전압과 전류 위상이 변할 경우(임피던스가 부정합된 상태)에도 4개의 주 스위치 모두 영전압 조건에서 운전이 이루어짐으로 정상적으로 동작될 수 있음을 확인하였다.

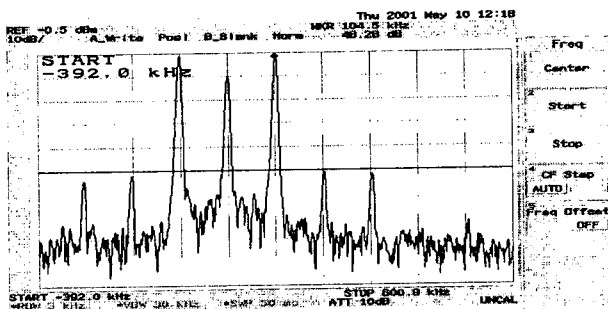


그림 10 LF 출력 전압의 고조파 분석 실험 파형  
Fig. 10 Experimental waveform of Spectrum analysis for LF generator

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF Circuit Design" Prentice-Hall, Inc.
- [2] J.A Sabate' and F.C.Lee, "Zero-Voltage Switching With Fixed-Frequency Clamped-Mode Resonant Converters", Proceeding of the VPEC, pp .83~91, 1989, September.
- [3] J.A Sabate'R.Gean, M.M. Jovanovic' and F.C. Lee, "LLC Resonant Inverter with Fixed-Frequency Clamped- Mode Operation", Proceeding of the VPEC, pp. 131~141, 1991, September.