

건식 세정기용 전원장치 개발

金 漱 石^{*}, 元 忠 淵, 崔 大 圭, 崔 相 敦

The development of power supply for dry scrubber

Soo-Seok Kim, Chung-Yuen Won, Dae-Kyu Choi, Sang-Don Choi

요 약

반도체 생산 공정에 있어, 저압 화학적 기상 증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)과 플라즈마 강화 화학적 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. 주 전력회로는 1500W, 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 50Ω dummy load 및 chamber 실험을 통하여 다양한 부하조건에서도 플라즈마를 안정되게 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, the development of the power supply for dry scrubber is discussed. 1500W, 100kHz 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 power supply are verified by simulation and experimental results.

Key words: Dry scrubber, power supply, Plasma, FB PWM inverter

1. 서 론

산업 현장에서 사용되는 고주파 전원장치는 그 사용 목적에 따라 수~수십 kHz의 주파수를 사용하고 용량은 수백W~수kW급으로 그 종류가 다양하다. 본 논문은 그중 저압 화학적 기상 증착(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)과 플라즈마 강화 화학적

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 플라즈마 에너지를 이용하여 반도체 가공시 발생하는 유해 환경 가스를 효과적으로 제거하고 부산물을 침전시킬 수 있는 장치로서 그림 1에 나타내었다^[1].

건식 세정기의 구조는 유입된 가스가 다중 권선, 높은 도전성의 나선형 전극으로 구성된 경로를 따라 흐르도록 형성되었으며 챔버내에 플라즈마가 발생된 동

*서울산업대 전기공학과 조교

E-mail : soodol@duck.snut.ac.kr

접수일자 : 2001. 8. 1

1차심사요청일 : 2001. 8. 2

심사완료일 : 2001. 9. 6

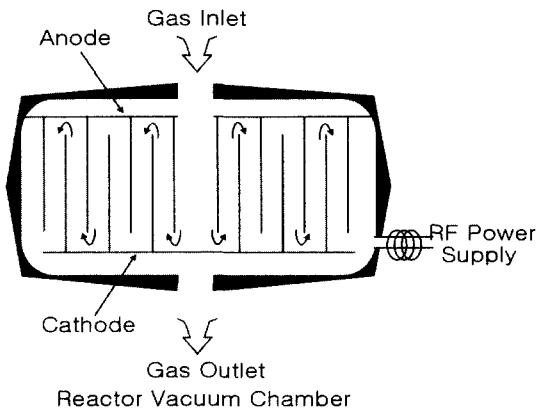


그림 1 건식 세정기
Fig. 1 Dry scrubber system

안 유입된 가스가 지속적으로 화학반응을 발생하기 위하여 플라즈마 에너지는 계속 공급되어야 한다.

이때 전원장치는 챔버 내의 환경(유입 가스의 압력 및 가스의 성분)에 따라 전원장치의 전압과 전류 위상이 변화하게 되고 주 전력회로의 운전조건은 가혹한 상태에 처하게 된다. 즉 임피던스가 부 정합된 상태에서도 전원장치는 정상적으로 동작될 수 있도록 설계되어야 한다^[2].

본 논문에서 주 전력회로는 1500W, 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 50Ω dummy load 및 chamber 실험을 통하여 다양한 부하 조건에서도 플라즈마를 안정되게 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 고주파 전원장치

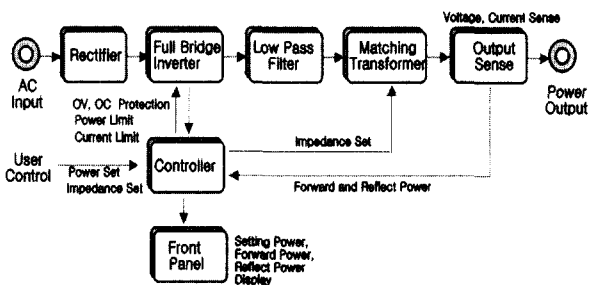


그림 2 건식 세정기용 전원장치 블록도
Fig. 2 Block diagram of generator for Dry scrubber

그림 2는 반도체 가공시 발생하는 유해 환경 가스를 효과적으로 제거하기 위한 건식 세정기용 전원장치의 구성도를 나타내었다.

전원장치의 주 전력회로는 위상 변위 방식을 이용한 풀 브리지 PWM 인버터로 구성되어있으며 4개의 주 스위치 모두 영전압 스위칭으로 동작한다.

5개의 L, C 수동 소자로 구성된 저역 통과(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 부 정합 상태로 나타나고 그 결과로 반사전력이 증가하게 된다. 그러므로 임피던스 변환기는 반사 전력을 줄이고 챔버내로 플라즈마 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 보호등의 기능이 있다. LCD 표시부는 설정 전력, 전파 전력, 반사 전력 표시 기능이 있다.

2.1 풀 브리지 인버터^[4,5,6]

그림 3은 위상 변위 방식을 이용한 풀 브리지 인버터의 회로와 변압기 1차 측 전압 파형 V_{AB} 와 전류파형 I_o 를 나타내었다. 인버터의 출력은 공진 탱크에 공급되는 구형파의 시비율을 변화시킴으로 제어할 수 있다. 브리지회로에서 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 의 gate 구동신호는 각각 50%의 시비율을 유지한다. 시비율의 변화는 그림 3과 같이 Q_1 과 Q_2, Q_3 와 Q_4 gate 신호 사이의 위상 변위에 의하여 이루어진다.

2.1.1 모드별 운전특성^[3,7]

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

인버터의 정상 상태에서의 동작을 해석하기 위하여 그림 3에 나타낸 바와 같이 한 주기를 6개의 동작 모드로 구분 할 수 있다. 그러나 한 주기 동안의 동작 중 1-3 모드 동안의 반주기 동작은 스위치 쌍 Q_1, Q_2 와 Q_3, Q_4 의 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.

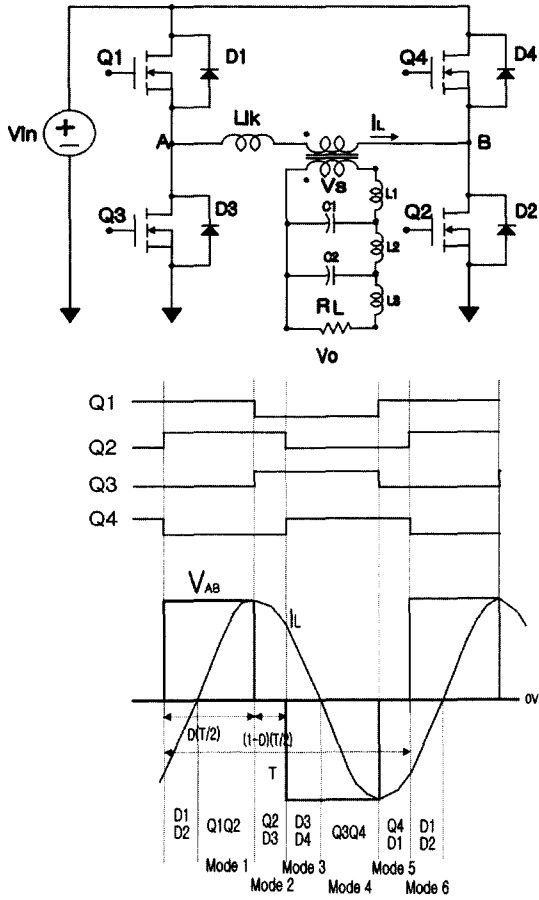


그림 3 고주파 전원장치의 회로도와 변압기 전압 전류 파형
 Fig. 3 Voltage and current wave form of transformer and Power stage Circuit of power supply

◆ 모드 1 : 이전 모드에서 스위치의 역 병렬 다이오드 D_1 과 D_2 로 흐르던 전류 I_L 이 스위치 Q_1 과 Q_2 를 통해 흐른다. 이때 스위치 Q_1, Q_2 는 영전압 스위칭을 이루고 변압기 2차 측으로 에너지가 전달된다.

◆ 모드 2 : 스위치 Q_1 이 턴 오프 되고 스위치 Q_3 의 역 병렬 다이오드 D_3 와 스위치 Q_2 가 도통되며 누설 인덕턴스 L_{lk} 의 에너지는 이 도통 경로를 통하여 환류 된다.

◆ 모드 3 : 스위치 Q_2 가 턴 오프 되고 스위치 Q_4 의 역 병렬 다이오드 D_4 가 턴 온 되면서, 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 축적된 에너지는 역 병렬 다이오드 D_3 과 D_4 의 도통 경로를 통해 전원으로 환원된다.

각 모드의 등가회로는 그림 4에 나타내었다.

이상의 과정을 통해 스위치 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 모두 영전압 스위칭이 이루어짐을 확인할 수 있으며 C_o 는 변압기에 존재하는 등가 커패시터 성분이다.

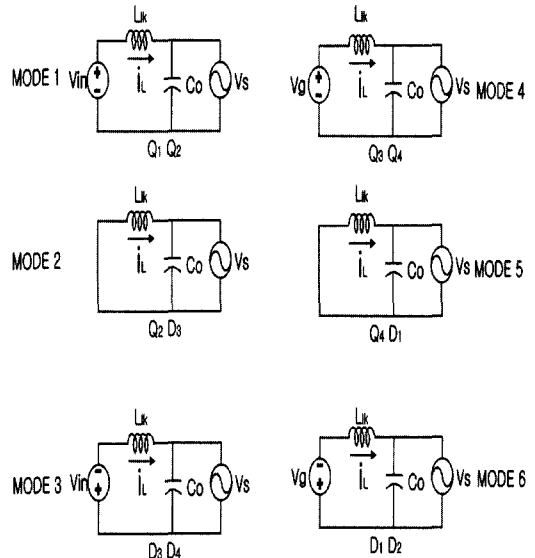


그림 4 운전 모드
 Fig. 4 Operation mode

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.

표 1 전원 시스템 사양 및 적용 변수 값
 Table 1 System specifications and parameters

입력전압 (V_{in})	220V _{AC}	필터 L1	145uH
정격 출력(P_o)	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

모의실험은 80% 시비율에서 수행하였으며 실험은 최대 출력시(1500W)의 정상상태 특성 과 기동특성, 그리고 챔버 실험 시에는 다양한 임피던스 상태에서 플라즈마 발생에 따른 효율특성 실험을 수행하였다.

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

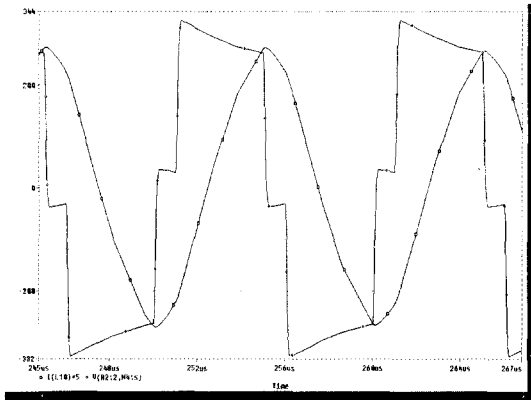


그림 5 변압기 1차 측의 전압, 전류 모의 실험 파형
Fig. 5 Voltage and current simulation wave form of transformer

그림 7과 그림 8은 모의 실험 파형으로 전원장치의 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 나타내었으며 그림 9와 그림 10은 50Ω 부하시 실험 파형으로 전원장치의 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 나타내었다.

그림 11은 전원장치의 기동시 출력 전압 파형을 나타내었고 그림 12는 챔버 압력이 120m Torr, 단상 220V_{AC}에서 전원의 임피던스를 200Ω, 300Ω, 450Ω, 600Ω으로 변화시켰을 때의 효율특성을 나타내었다.

이상의 모의실험 및 실험 결과에 의해 전원장치의 주 스위치 Q₁, Q₂, Q₃, Q₄ 모두 영전압 스위칭이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있으며 모의실험 및 실험 결과에 의하여 전원장치의 출력 전압 고조파성분이 제거됨을 확인함으로 저역 필터의 설계가 적절함을 확인하였고 전원장치의 기동시 소프트 스타트가 원활히 이루어짐으로 기동시 발생될 수 있는 돌입전류가 확실히 제한됨을 확인할 수 있다.

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

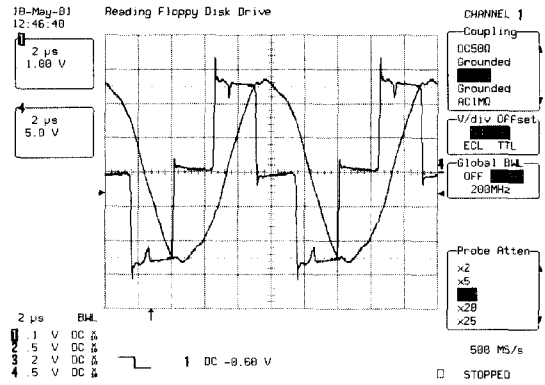


그림 6 변압기 1차 측의 전압, 전류 실험 파형
Fig. 6 Voltage and current experimental waveform of transformer

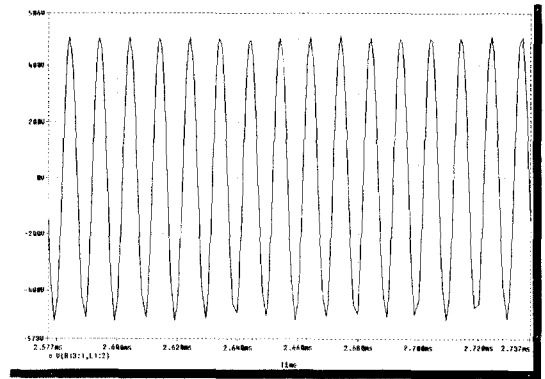


그림 7 전원장치의 출력 전압 모의실험 파형
Fig. 7 Output voltage simulation waveform of power supply

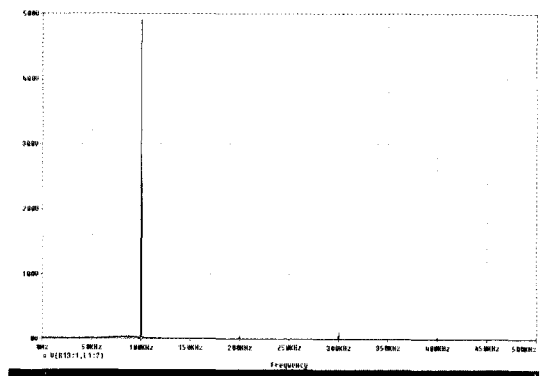


그림 8 출력 전압의 고조파 분석 모의 실험 파형
Fig. 8 Spectrum analysis simulation waveform of output voltage

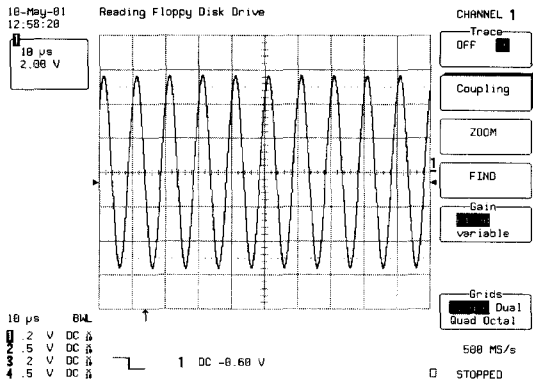


그림 9 출력 전압 실험 파형
Fig. 9 Experimental waveform of output voltage

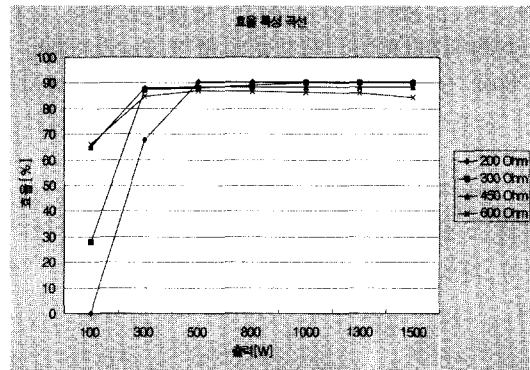


그림 12 챔버 실험시 전원장치의 효율특성
Fig. 12 Efficiency of power supply during chamber test

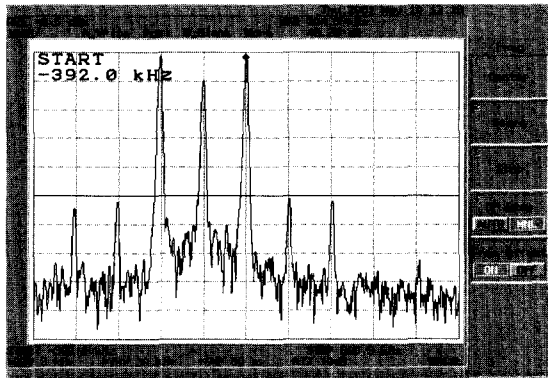


그림 10 출력 전압의 고조파 분석 실험 파형
Fig. 10 Spectrum analysis experiment waveform of output voltage

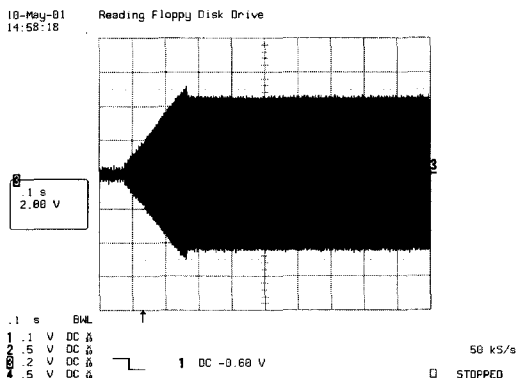


그림 11 기동특성
Fig. 11 Starting characteristic

4. 결 론

환경 유해 가스를 효과적으로 세정하기 위한 장비인 건식 세정기(dry scrubber)의 전원장치에 대해 연구하였다.

개발된 전원장치는 챔버 내의 환경(가스 압력 및 가스의 성분)의 변화에 따라 임피던스 변환기를 이용하여 적절히 전원의 임피던스를 조절할 수 있음으로 최대 전력 공급시 90% 이상의 효율을 얻을 수 있었다.

개발된 전원장치는 전원 장치의 전압과 전류 위상이 변할 경우(임피던스가 부 정합된 상태)에서 누설인덕턴스 L_{lk} 에 충분한 에너지가 축적됨으로써 4개의 주 스위치 모두 영전압 조건에서 운전이 이루어지며 이때 전원장치는 안전 운전 영역에서 정상적으로 동작될 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 에너지 관리공단의 에너지 자원 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] "Dryscrub® System Plasma Trap" Electrochemical technology corporation.
 [2] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF Circuit Design" Prentice-Hall, Inc.
 [3] J. A. Sabate, F. C. Lee, "Offline Application of the

Fixed Frequency Clamped Mode Series Resonant Converter", *Proceeding of the VPEC*, pp. 13~17, March 1989.

- [4] J. A Sabate, F. C. Lee, "Zero-Voltage Switching With Fixed-Frequency Clamped-Mode Resonant Converters" *,Proceeding of the VPEC*, pp. 83~91, September 1989.
- [5] 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, September 1991.
- [6] J. A Sabate'R. Gean, M. M. Jovanovic' and F. C. Lee, "Design of LLC Resonant Inverter for High Frequency AC Distributed Power System", *Proceeding of the VPEC*, pp. 406~415, May 1992.
- [7] 김희준, "스위치 모드 파워서플라이", 성안당, 1996.

저 자 소 개



김수석(金滋石)

1959년 1월 16일생. 1984년 서울 산업대 전기공학과 졸업. 1989년 한양대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984년~2001년 현재 서울 산업대학교 전기공학과 조교.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수. 당 학회 편집이사.



최대규(崔大圭)

1987년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2000년 서울산업대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 3월~현재 성균관대학교 대학원 메카트로닉스와 박사과정. 1992년 5월~1993년 11월 영진정보통신 전무이사. 1993년 12월~1999년 10월 뉴파워 대표이사. 1999년 10월 ~현재 (주)뉴파워 프라즈마 대표이사.



최상돈(崔相敦)

1978년 철도고등학교 졸업. 1977년 12월 ~ 2000년 3월 철도청 서울전자통신사무소 분소장. 2000년 4월~현재 (주)뉴파워 프라즈마 기술연구소 소장 근무.