

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.3.135>  
JIIBC 2020-3-19

## 유해가스 처리를 위한 Confined Plasma Source 개발

# Development of Confined Plasma Source for Hazardous Gas Treatment

윤용호\*

Yongho Yoon\*

**요약** 반도체 공정에서 필수적인 공정가스가 유해가스이기 때문에 이를 친환경적으로 해결하는 것이 필수과제이다. 현재 반도체 공정에서 사용되는 세정기술은 대부분이 1970년대 개발된 과산화수소를 근간으로 하는 습식 세정으로, 표면의 입자를 제거하기 위한 SC-1 세정액은 암모니아와 과산화수소 혼합액을 사용하고 있다. 따라서 환경적 문제를 유발하며, 또한 과도한 용수 사용으로 인한 경제적 문제도 심각하다. 이러한 이유로 본 연구를 통한 개발 제품은 챔버 출구에서 나오는 공정 유해가스를 진공펌프에 입력되기 전 가스를 분해하여 해가 없는 가스로 만들거나 소각과 동시에 펌프에 가스의 성분이 증착되어 반도체 공정의 환경적 문제를 해결하고자 한다. 본 논문에서는 반도체 공정에서 필수 불가결하게 사용되는 유해가스(N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>... 등)를 사람에게 무해한 가스로 치환하거나 플라즈마로 소각하여 환경을 살리고 생산성 향상이 되도록 제안된 CPS (Confined Plasma Source)를 연구하고자 한다.

**Abstract** Since the process gas that is essential in the semiconductor process is a harmful gas, it is an essential task to solve it in an environmentally friendly manner. Currently, the cleaning technology used in the semiconductor process is mostly a wet cleaning based on hydrogen peroxide developed in the 1970s, and the SC-1 cleaning liquid for removing particles on the surface uses a mixture of ammonia and hydrogen peroxide. Therefore, environmental problems are caused, and economic problems caused by excessive water use are also serious. For this reason, the products developed through this study are used to decompose the process harmful gas from the chamber outlet into a harmless gas before entering the vacuum pump, or by incineration and the gaseous components are deposited on the pump. I want to solve the problem. In this paper, CPS (Confined Plasma Source) is proposed to save environment and improve productivity by replacing harmful gases (N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>..., Etc) which are indispensable in semi-contamination process with innocuous gases or incineration with plasma, to study.

**Key Words** : CPS (Confined Plasma Source), Harmful Gases, Power Source, Cleaning Technology

\*정회원, 광주대학교 전기전자공학부  
접수일자: 2020년 3월 17일, 수정완료: 2020년 4월 22일  
게재확정일자 2020년 6월 5일

Received: 17 March, 2020 / Revised: 22 April, 2020 /  
Accepted: 5 June, 2020

\*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr  
School of Electrical and Electronic Engineering,  
Gwangju University, Gwangju, Korea

## I. 서 론

반도체 제조공정 중에 발생하는 각종 독성가스 및 산성 가스, 가연성가스(SiH<sub>4</sub>, SiH<sub>6</sub>, DCS, As<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>), 환경 유해가스(PFC계: SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> 등)로 이를 친환경적으로 해결하는 것이 필수적 과제로 기존의 가스 연료를 사용하는 스크러버(Scrubber)는 화재의 위험이 있고 가스를 관리하는 데 어려움이 많다. 또한, 설비를 유지관리 하는데 시간과 비용이 많이 소모되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이를 플라즈마 방식으로 교체하면 관리가 쉬워지고 화재의 위험성 및 위험물 취급이 없어져 설비 자체가 친환경적으로 될 수 있다<sup>[1]</sup>.

CPS (Confined Plasma Source)에서 처리하는 가스의 종류는 CF<sub>4</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub> 등이며 유도결합 플라즈마(ICP, Inductively Coupled Plasma) 고주파 전원장치로 가스를 분해하여 용량결합 플라즈마(CCP, Capacitive Coupling Plasma) 방식에 비하여 높은 효율로 가스를 분해할 수 있는 장점이 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 반도체 공정에서 필수 불가결하게 사용되는 유해가스(N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>... 등)를 사람에게 무해한 가스로 치환하거나 플라즈마로 소각하여 환경을 살리고 생산성 향상이 되도록 유해가스 처리를 위한 CPS (Confined Plasma Source) 개발을 목적으로 한다. 또한, 플라즈마 방식 중 유도결합 플라즈마 방식(ICP), 용량결합 플라즈마(CCP) 방식에서는 각각의 장단점이 있는데 용량결합 플라즈마(CCP) 방식은 점화가 잘되지만, 가수 분해율이 낮고, 유도결합 플라즈마 방식(ICP) 방식은 분해율이 높기 때문에 유도결합 플라즈마 방식(ICP) 방식으로, 기존에 단점인 점화문제는 반응기(리액터)구조를 개선하고 초기 전원을 적절히 조절하여 해결하고자 한다.

CPS (Confined Plasma Source)는 출력주파수를 가변할 수 있는 구조로 부하의 특성변화에 능동적으로 주파수를 가변하여 매질의 기능을 간접적으로 구현하여 최대 효율로 운전할 수 있음과 동시에 공정용 챔버 지름이 다양하므로 이에 대응이 쉽도록 구조를 설계하여 설치 및 시운전이 용이하도록 리액터를 개발하는 데 목적이 있다. 반응기(리액터) 구조는 챔버의 출구 지름이 다양하여 100mm에서 200mm까지 분해율이 확보될 수 있는 구조로 설계하며 제어기는 32Bit DSP를 사용하여 디지털 처리를 함으로써 소프트웨어에 의한 개발 제품의 업그레이드가 쉽고 최신의 알고리즘으로 장비의 성능향상을 기대할 수 있다.

## II. 국내외 기술 현황<sup>[3-4]</sup>

1970년대 초에서 1980년대 중반까지 한 종류의 플라즈마 소스를 사용하였으며 당시 모든 장치는 13.56MHz의 전원장치에 사용한 용량결합 플라즈마(Capacitively Coupled Plasma : CCP) 형태의 소스를 사용하였다. 그러나 최근 10년 동안 전통적인 13.56MHz CCP 소스를 대체할 여러 가지 형태의 플라즈마 소스가 연구 개발되었다. Electron Cyclotron Resonance(ECR) 플라즈마, Helicon 플라즈마, Helical Resonator 플라즈마, Surface Wave(SW) 플라즈마, Very High Frequency Capacitively Coupled 플라즈마, Dual Frequency Capacitively Coupled 플라즈마 등이 고밀도 플라즈마 소스로 추천되었다.

국내에서 플라즈마 관련 제품을 생산하는 N사의 경우는 고정 주파수 PWM 제어방식을 채택하고 있어 부하변동 시 출력전력이 동시에 변화하는 단점을 가지고 있다. 따라서 성능이 일정하지 않아 주로 챔버 청소 등에 사용되고 있으며 가스의 분해율이 낮아서 공정용 장비로는 사용이 거의 없는 실정이다. 반면에 국외의 경우 세계적으로 반도체 장비에 탑재되는 Remote Plasma Source 제품은 미국 MKS사(그림 1 참조), 미국 AES사 및 일본, 독일의 일부 회사가 시장을 독점하고 있다. 국내시장은 공정용 경우 미국 MKS사, 챔버 크린용은 외국사와 국내 NPP가 시장을 선점하고 있고 이 분야의 플라즈마는 분해율 측면에서 유리한 유도결합 플라즈마(ICP) 방식으로 개발하고 있다.

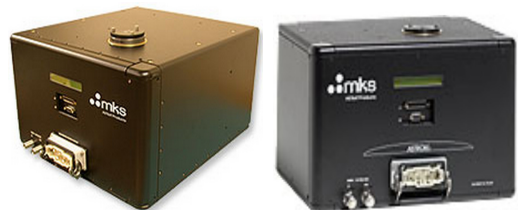


그림 1. Confined Plasma Source 제품 (MKS社)  
Fig. 1. Confined Plasma Source products (MKS)

기존의 스크러버(Scrubber)는 LPG 등을 이용하여 진공펌프에서 나오는 유해가스를 소각하는 방식인데 이는 화재 및 취급 등에 문제가 많이 내포하고 있어 이를 해결하고자 하는 노력이 많이 추진되고 있으나 그 해결방법이 현재까지는 없는 상태이다. 따라서 연료소각 방식을 대체하여 플라즈마나 아크방전을 적용하는 연구가 진행 중이며 플라즈마 방식은 가수 분해율이 높은 장점이 있다.

### III. Confined Plasma Power Source

#### 연구<sup>[5-6]</sup>

반도체 공정에서 필수적인 공정가스가 유해가스이기 때문에 이를 친환경적으로 해결하는 것이 필수과제이다.

현재 반도체 공정에서 사용되는 세정기술은 대부분이 1970년대 개발된 과산화수소를 근간으로 하는 습식 세정으로, 표면의 입자를 제거하기 위한 SC-1 세정액은 암모니아와 과산화수소 혼합액을 사용하고 있다. 따라서 환경적 문제를 유발하며, 또한 과도한 용수 사용으로 인한 경제적 문제도 심각하다. 이러한 이유로 본 연구를 통한 개발 제품은 챔버 출구에서 나오는 공정 유해가스를 진공펌프에 입력되기 전 가스를 분해하여 해가 없는 가스로 만들거나 소각과 동시에 펌프에 가스의 성분이 증착되어 반도체 공정의 환경적 문제를 해결하고자 한다.

그림 2는 본 연구에서 제안한 유해가스 처리를 위한 Confined Plasma Source(CPS) 구성도로 각 구성별 개발내용은 다음과 같다.

- 직류전원 제어기 개발 : DSP에 의한 고효율 제어기 구성
- 3kW FET Power Module 및 고주파 FET Gate Driver 개발  
 FET Power Amp Module 기술개발 : 용량에 따른 직렬구조로 확장기술 개발
- 출력 필터링 기술 : 구형파를 사인파로 변환하는 고조파 필터 설계기술 및 진폭 크기 최적화 구현

#### 기술개발

- 주파수 제어 : 부하의 임피던스 변화에 능동적으로 대처하는 디지털 주파수 가변기술 개발
- 고주파 전력센서 개발 : 고주파에 최적인 센서를 개발 (Forward Power/Reflected Power)
- Power Source 보호 기술 : 개발 센서를 기준으로 부하변동을 피드백 제어기술을 통하여 전력 소자인 FET가 소손되지 않고 적절하게 ICP (inductively coupled plasma) Reactor가 운전될 수 있는 알고리즘 개발
- 플라스마 Power 실시간 모니터링 기술개발

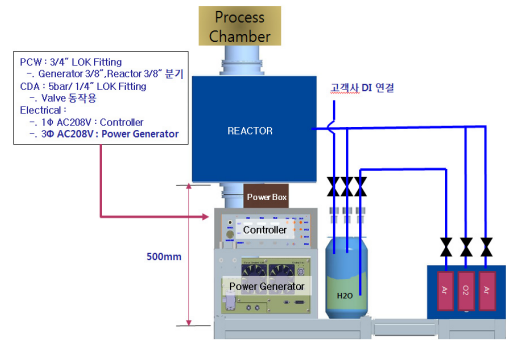


그림 2. 유해가스 처리를 위한 Confined Plasma Source 구성  
 Fig. 2. Confined Plasma Source (CPS) configuration for hazardous gas treatment

그림 3은 Confined Plasma Source (CPS) 블록도로 CPS 전원 시스템은 출력주파수를 가변하도록 제어하여 부하의 특성에 따른 임피던스를 자동으로 가변하여

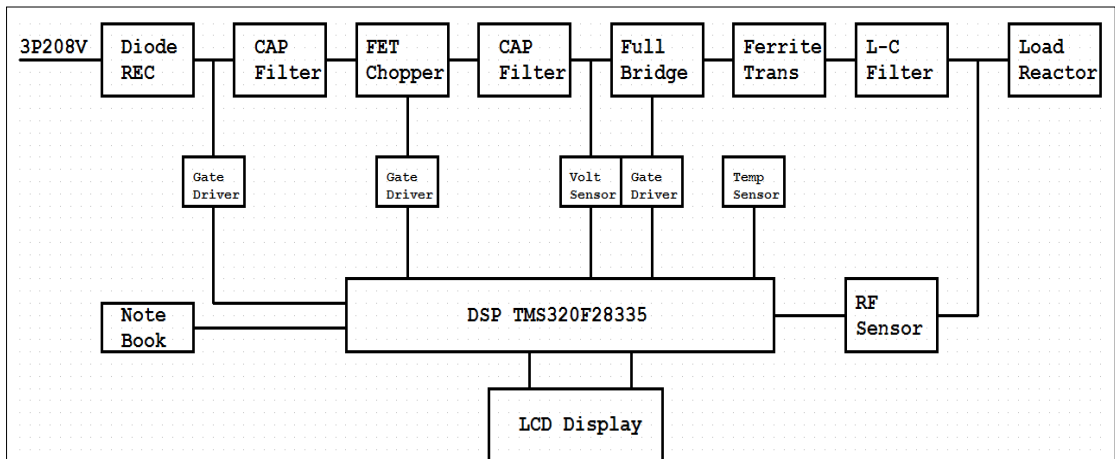


그림 3. 유해가스 처리를 위한 Confined Plasma Source(CPS) 블록도  
 Fig. 3. Block diagram of Confined Plasma Source for hazardous gas treatment

(230kHz~350kHz) 최대출력이 나가도록 제어하여 부하 상태와 관계없이 광범위하게 유해가스를 분해할 수 있도록 설계하였다. 개발 제품의 공정 가스의 분해율을 87% 이상으로 목표를 설정하고 배기구의 지름이 120~160 ∅ 가능한 구조로 설계 제작하며, 제어는 32 Bit DSP로 디지털 제어를 하여 알고리즘 업그레이드가 가능하도록 설계하였다. 또한, 출력변동을 일정하게 제어하는 방식으로 부하변동에 따른 임피던스를 자동으로 추적하여 출력전력을 일정하게 제어할 수 있도록 하였다.

표 1. Confined Plasma Source(CPS) 전원 시스템 설계 사양  
Table 1. Confined Plasma Source (CPS) power system design specifications

| Power Source |                          |
|--------------|--------------------------|
| 항 목          | 성 능                      |
| 입력전원         | 3상 208V 60Hz             |
| 정격출력         | 230kHz ~ 350kHz / 5kW    |
| 제어용 소자       | 32Bit DSP (TMS320F28335) |
| DC_Link제어    | Chopper                  |
| 통신방식         | RS-485                   |
| 모니터링         | PC 실시간 모니터링              |

#### IV. 연구결과

그림 3의 Confined Plasma Source(CPS) 블록도와 표 1의 전원 시스템 설계 사양을 기본으로 하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였으며 그림 4, 5는 풀 브리지 방식을 적용한 Confined Plasma Source(CPS) 전원 시스템의 Power Amp 및 내부구조와 제어 보드를 보여주고 있다.

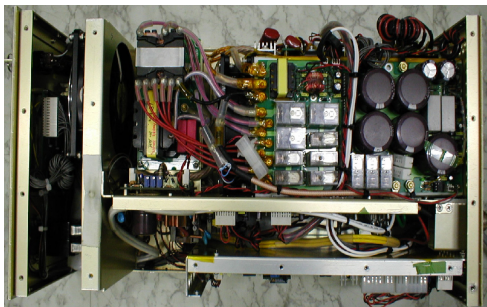


그림 4. CPS (Confined Plasma Source) 전원장치  
Fig. 4. Confined Plasma Source (CPS) power supply

그림 6은 시뮬레이션 결과로 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 파형, 그림 7은 실험 파형으로 출력 시 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 실험 파형을 각각 보여주고 있다.

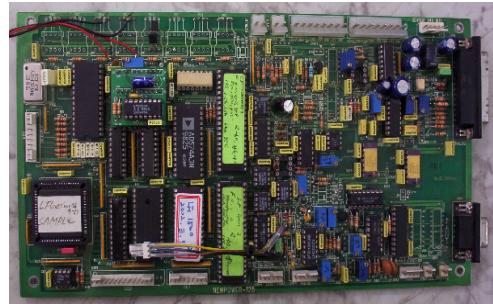


그림 5. CPS (Confined Plasma Source) 전원장치 제어 보드  
Fig. 5. Confined Plasma Source (CPS) Power supply control board

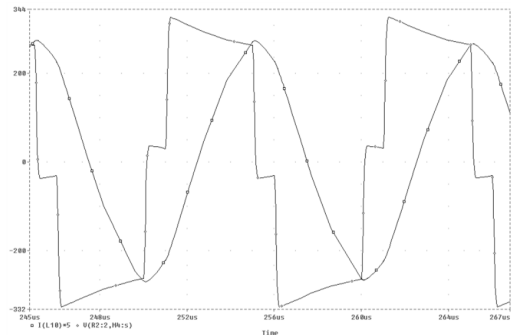


그림 6. CPS (Confined Plasma Source)의 변압기 1차측 전압, 전류 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. Transformer primary side voltage and current simulation results of confined plasma source (CPS)

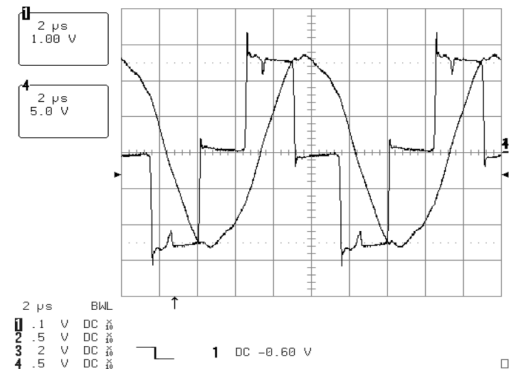


그림 7. CPS (Confined Plasma Source)의 변압기 1차측 전압, 전류 실험결과  
Fig. 7. Transformer primary voltage, current test result of CPS (Confined Plasma Source)

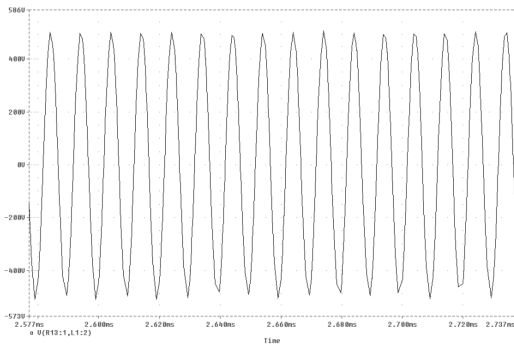


그림 8. CPS (Confined Plasma Source)의 출력전압 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Output voltage simulation results of CPS (Confined Plasma Source)

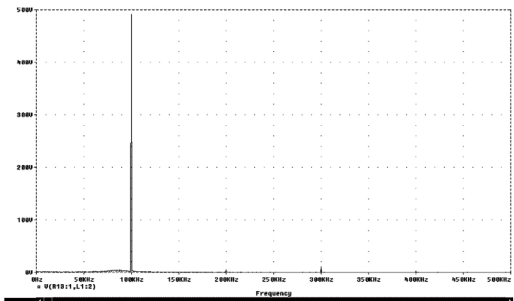


그림 9. CPS (Confined Plasma Source)의 출력전압 고조파 분석 실험결과

Fig. 9. Results of harmonic analysis of output voltage of CPS (Confined Plasma Source)

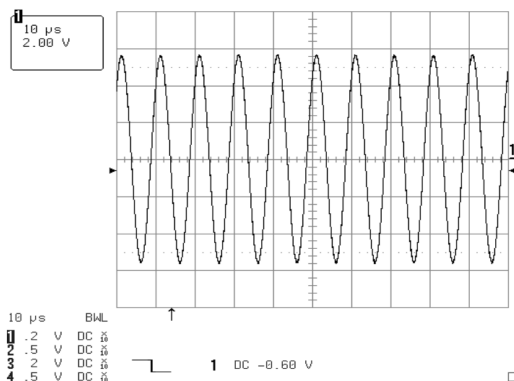


그림 10. CPS (Confined Plasma Source)의 출력전압 실험결과

Fig. 10. Output voltage test result of CPS (Confined Plasma Source)

그림 8과 9는 시뮬레이션 결과 Confined Plasma Source(CPS) 전원 시스템의 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 나타내었으며 그림 10과 11은 50Ω 부하 시험 파형으로 Confined Plasma Source(CPS) 전원 시스템의 출력 전압 파형과 고조파 분석 파형을 각각 보여주고 있다. 이상의 시뮬레이션 및 실험결과에 따라 CPS (Confined Plasma Source) 전원 시스템의 주 스위치 Q1, Q2, Q3, Q4 모두 영전압 스위칭이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있으며 출력 전압의 고조파 성분이 제거됨을 확인함으로 저역 필터의 설계가 적절함을 확인하였다.

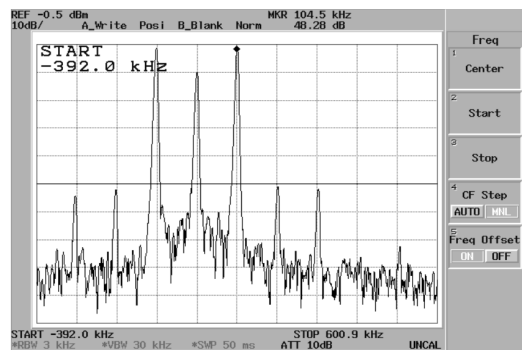


그림 11. CPS (Confined Plasma Source)의 출력전압 고조파 분석 실험결과

Fig. 11. Results of harmonic analysis of output voltage of CPS (Confined Plasma Source)

## V. 결 론

본 논문에서는 반도체 공정에서 필수 불가결하게 사용되는 유해가스(N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>...) 등을 사람에게 무해한 가스로 치환하거나 플라즈마로 소각하여 환경을 살리고 생산성 향상이 되도록 제안된 CPS (Confined Plasma Source)를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제안된 CPS (Confined Plasma Source)에 대해 시뮬레이션 및 실험 결과를 통해 전원 시스템의 전압 및 전류의 특성을 확인함과 동시에 영전압 스위칭을 통한 고조파가 저감됨을 확인하였다.
2. 플라즈마를 32 Bit DSP로 제어하므로 기존에 아날로그 제어기와 차별화하고 제품을 획기적으로 성능 향상 및 신뢰성을 높여 경쟁력을 확보할 수 있다.

## References

- [1] J. R. Roth, "Industrial Plasma Engineering Applications to Nonthermal Plasma Processing", Institute of Physics, Vol. 2, pp. 37~73, 2001.
- [2] Schoenbach, K, Barker, R, Liu, S "Special Issue on Nonthermal Medical/Biological Treatments using Electromagnetic Fields and Ionized Gases", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 28 No. 1, pp. 25, 2000.
- [3] S. Raoux, J. G. Langan, "Remote NF<sub>3</sub> Chamber Clean Virtually Eliminates PFC Emission from CVD Chamber and Improves System Productivity" Semiconductor Fabtech-9th Edition.
- [4] N. Krishnan, R. Smate, S. Raoux, D. Dornfeld "Alternatives to Reduce Perfluorinated Compound (PFC) Emissions from Semiconductor Dielectric Etch Processes: Meeting Environmental commitments while minimizing costs, Electronics and the Environment, 2003. IEEE International Symposium on, 2003.
- [5] B. S. Chae, J.W. Min, Y. S. Suh, and H. B. Kim, "Current Source Type Pulse Generator with Improved Output Voltage Waveform for High Voltage Capacitively Coupled Plasma System", The Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol. 24, No. 3, pp. 153~160, 2019.  
<https://doi.org/10.6113/TKPE.2019.24.3.153>
- [6] K. C. Ho, "Nano-scale Power Splitters by using Plasmonic Multimode Interference Couplers", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), Vol. 11, No. 4, pp. 47~52, 2011.

### 저 자 소 개

#### 윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

※ 이 연구는 2020년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.