

ICCD Camera를 이용한 NO입자의 Image관측

(Image Observation of NO Particles Using ICCD Camera)

전용우* · 하장호** · 박원주* · 이광식* · 이홍식***

(Yong-Woo Jun · Jang-Ho Ha · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Hong-Sik Lee)

요 약

본 연구는 전기적 방법인 선대원통형 전극구조에서 발생하는 비열플라즈마를 이용하여 반응장치내에서의 NO의 제거율을 측정하고, 또 방전시의 방전 Image와 수평방향과 수직방향의 신호강도를 ICCD카메라를 이용하여 관측하였다. NO입자의 제거율은 NO농도가 낮을수록 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 수평방향의 신호강도와 수직방향의 신호강도는 NO농도가 낮을수록 큰 것을 확인할 수 있었다. 특히 방전에 의해 발생하는 비열플라즈마를 이용했을때의 교류방전시의 Image를 관측함으로써 NO입자의 방전 메커니즘을 보다 명확하게 규명하고자 하였다.

Abstract

In this paper, the removal rate of NO in a reactor is measured first using nonthermal plasma generated from a wire-cylinder type reactor, then the discharge image and horizontal signal strength and vertical signal strength of NO particles is observed using ICCD(Intensified Charged Coupled Device) camera. It was found that NO removal rate was increased with NO concentration decreasing, and that horizontal signal strength and vertical signal strength were also increased with NO concentration decreasing. Especially, this research is aimed at clarifying the discharge mechanism of NO particles by observing the images of AC discharge when the nonthermal plasma generated by an discharge was used.

1. 서 론

최근, 화석연료 등의 연소에 의해 생기는 탄소산화물(COx), 유황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx)에 의한 대기오염이 매우 큰 문제가 되고 있어, 근래에

방전을 이용하여 이들 대기오염물질을 분해·무해화 하려는 시도가 행해지고 있다.[1] 대기오염의 요인 중 NOx는 최근 급속히 증가하고 있는 차량의 배기 가스의 대부분을 차지하고 있다. NOx를 줄이기 위한 대책으로, (1) 엔진본체에서 생성되는 NOx를 제어하기 위해 에멀전(emulsion) 연료를 사용하거나, (2) 엔진 내에서의 연료의 분사시기를 늦춘다든지, (3) 배기되어진 NOx를 암모니아 탈소법에 의해 처리하거나, (4) 전기방전에 의해 생성되는 비열플라즈마를 이용한 처리법 등의 방법이 있다.

* 정회원 : 영남대학교 대학원 전기공학과 박사과정

* 정회원 : 영남대학교 공과대학 전자정보공학부 · 교수
공학박사

** 정회원 : 삼척대학교 제어계측공학과 · 겸임교수 · 공학박사

*** 정회원 : 한국전기연구소 전기물리연구팀 · 공학박사

접수일자 : 2000년 12월 7일

이 중 비열플라즈마인 코로나방전을 이용한 NOx의 분해기술은 저 에너지, 저 비용, 공간을 적게 차지하는 등의 이점을 가지고 있어 화학적인 처리법에 비해 상당히 효과적이라고 알려져 있다[1]~[3].

본 연구에서는 선대 원통형 전극구조에서 발생하는 비열플라즈마를 이용하여 교류전원 인가시의 NO의 제거율을 측정하였다. 또, 리액터 내에서의 방전시의 Image와 NO의 공간적인 밀도분포를 ICCD Camera[4]~[6]를 사용하여 측정하였다. 측정된 데이터로부터 리액터 내부에서 일어나는 현상의 Image와 신호강도를 확인할 수 있었다. 이는 비열플라즈마의 방전메카니즘을 파악하는데 많은 자료를 제공하며 나아가서 NOx제거 상당한 기여를 할 것으로 생각된다.

향후 레이저 유기형광법(LIF)[7],[8]을 사용하여 이들을 검증하여 NOx 제거용 리액터 제작 및 분해 프로세스에 관한 연구에 체계적인 정보를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

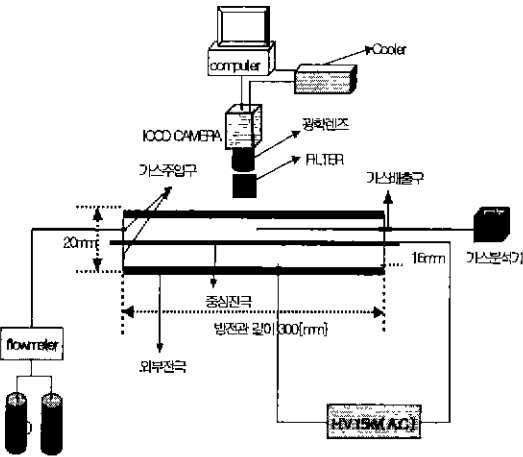


그림 1. 실험장치의 구성도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

실험장치는 크게 3부분으로 구성된다. 첫 번째로, 방전리액터부분으로 리액터는 두께 2[mm], 내경 16[mm]의 석영관을 사용하였고 전극은 두께 4[mm]의 스테인레스 재질을 사용하였으며 가스공급부와

가스배출부를 고려하여 설계하였다[9]. 두 번째로 측정부로서 NO입자들을 측정하기 위해서 ICCD Camera를 사용하였다. ICCD카메라의 렌즈는 UV대역까지 측정할수 있는 석영재질의 렌즈를 사용하였으며 NO입자만을 측정하기 위해서 NO의 형광파장 중 신호강도가 크다고 알려진 248[nm]의 band pass filter를 렌즈앞에 삽입하였다. 세 번째로, 가스탱크와 flowmeter로 구성된 가스공급부이다. 실험에 사용된 모의가스는 순도 99[%]의 NO가스를 사용하였고 초기농도는 NO 1820±20[ppm]로 하였다. 농도는 N2가스를 적절히 혼합하여 조절하였고, 공급유량은 1 [l/min]하여 flowmeter를 통해서 일정하게 공급하였다. 또한, NO의 농도 측정은 가스분석기를 사용하여 측정을 행하였다. 공통적인 실험조건은 방전관의 직경 20[mm], 중심전극의 두께 [4mm]로 하여 실험을 행하였다.

또, 방전관 속으로 모의가스를 주입한 후 AC 전원 15[kV]를 인가하여 방전을 일으켜 NO 입자들의 신호강도를 ICCD Camera를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과

교류방전시의 농도에 따른 NO입자의 제거율 측정을 행하였고, 방전시의 방전 Image와 그 수평과 수직방향의 신호강도를 관측하였다.

그림 2는 NO농도를 100[ppm]~300[ppm]까지 변화시켰을 때 교류방전시의 NO입자의 제거율을 나타낸 것이다. 측정은 모의가스의 농도를 조절하여 방전관안으로 일정하게 공급한 후 교류전원 15[kV]를 인가하여 방전을 진전시킨후 가스분석기에서 NO의 농도가 더 이상 제거되지 않을때를 기준으로 측정하였으며 각각 5회 측정한 평균값이다.

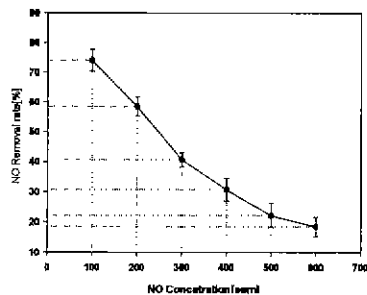


그림 2. 농도에 따른 NO입자의 제거율
Fig. 2. NO Removal rate by NO Concentration

그림 2에서 알 수 있듯이 초기의 NO농도가 높아 질수록 제거율은 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 NO가 제거되는 것은 고에너지전자에 의해 분해되거나, 또는, NO₂로 산화되고 다시 고에너지전자에 의해 직접분해되거나, 기타의 작용으로 제거되는 것으로 볼때, 초기가스농도가 100[ppm]~300[ppm]으로 증가될 때, 방전에 의해 근원적으로 생성되는 고에너지전자가 처리해야 할 NO량에 비해 현저하게 적기 때문이라고 생각된다[10].

그림 3은 NO 농도에 따른 교류방전시의 방전 Image를 나타낸 것으로 shutter time을 10[ms]로 조절하여 방전개시 후 5초경과시의 방전Image를 관측한 것이다.

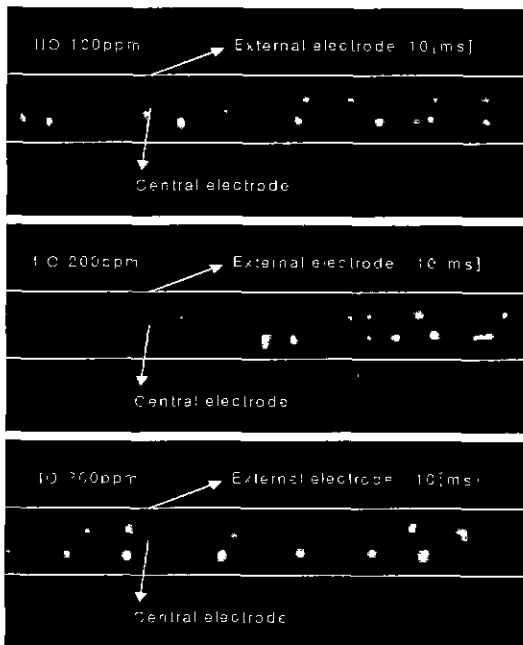


그림 3. 교류방전시의 Image (5초경과)
Fig. 3. Image of AC discharge (After 5seconds)

그림에서 나타난 것 같이 밝게 표시된 곳이 신호강도가 크고 입자들의 움직임이 활발하다고 생각된다[10].

그림 4는 그림 3에서 나타난 방전의 Image를 NO 농도에 따른 수평방향의 신호강도로 나타낸 것으로서, ICCD카메라에서 받아들인 신호강도값을 ASCII 데이터 형식으로 변환시켜 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 NO농도 100[ppm]일때의

신호강도(counts)가 가장 높고 200과 300[ppm]에서는 큰 변화가 없는 것을 나타낸다. 이는 NO농도 100[ppm]에서 입자들의 움직임이 활발하고 따라서 신호강도가 크게 나타나는 것이라고 생각된다. 또한, 그림 3의 Image에서 밝게 빛나는 곳의 수평방향의 위치를 알 수 있었다

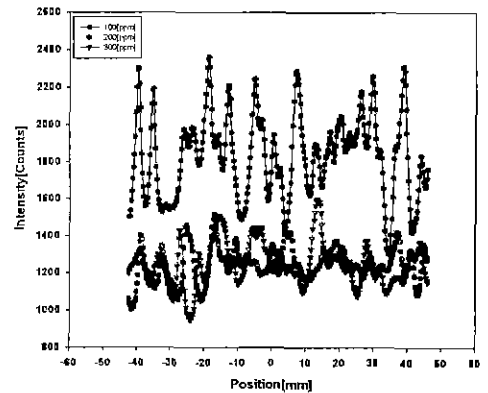


그림 4. NO 농도에 따른 수평방향의 신호강도
Fig. 4. Horizontal signal strength with NO concentration

그림 5는 수직방향에서의 NO입자의 신호강도를 나타낸 것이다.

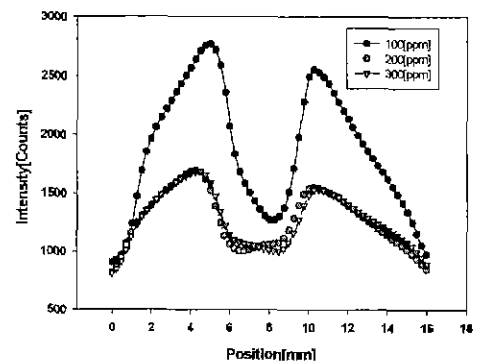
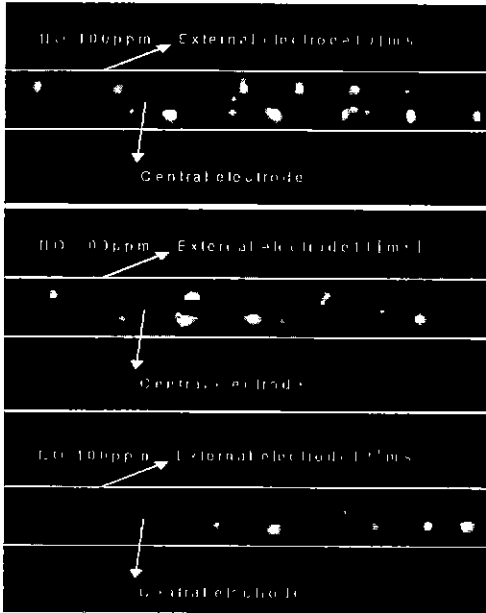


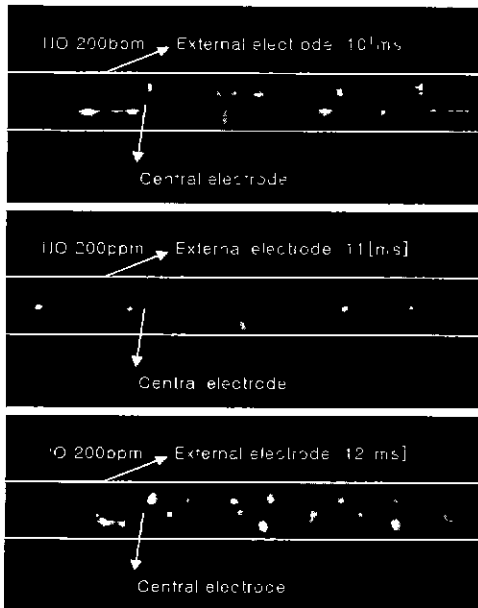
그림 5. NO농도에 따른 수직방향의 신호강도
Fig. 5. Vertical signal strength NO Concentration

리액터의 내경 16[mm]중에서 중심전극(6~10[mm])이 차지하는 부분을 기준으로해서 거의 좌우 대칭형을 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 완전히 좌우 대칭형이 되지 않는 이유는 전극위치의 불균형과 전

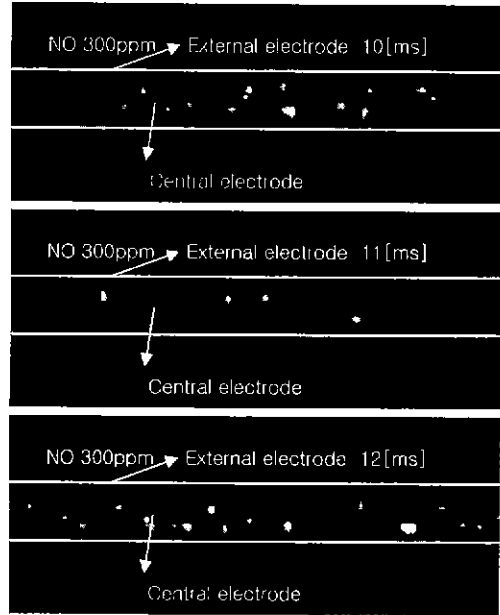
극자체의 불순물 또는 전극표면 연마에 따른 불균일에 기인한다고 생각되나 이는 추후 보강실험과 분석을 행하여 좀더 고려해야 될 부분이다. 신호강도는 중심전극이 위치하고 있는 부분에서는 전극의 영향으로 신호강도가 낮게 나타나며, 갭중심부에서 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.



(a) 100 [ppm]



(b) 200 [ppm]



(c) 300 [ppm]

그림 6. 교류방전시의 Image
Fig. 6. Image of AC discharge

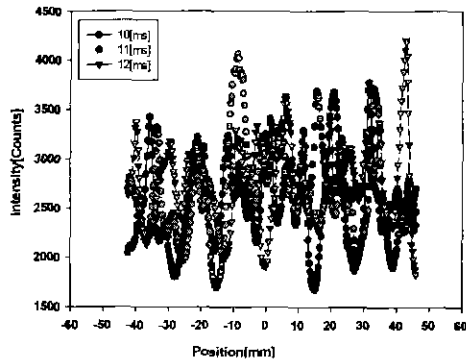
그림 6의 (a), (b), (c)는 각각 NO농도 100[ppm], 200 [ppm], 300[ppm]에서의 교류방전시 shutter time 을 10[ms]~12[ms]로 조절하여 관측한 이미지를 나타낸 것이다. 관측시간은 방전개시후 5초경과시를 기준으로 하였다. 그림 6의 (a), (b), (c)의 Image를 비교해보면 시간이 경과함에 따라서 방전점이 계속해서 이동하고 있는 것을 알 수 있다.

또한 이를 바탕으로 방전의 진전현상을 관측할 수 있었으며, 얻어진 데이터는 그림 7, 그림 8의 수평과 수직방향의 신호강도를 나타냄으로써 Image상의 밝은 곳의 위치를 확인할 수 있었다.

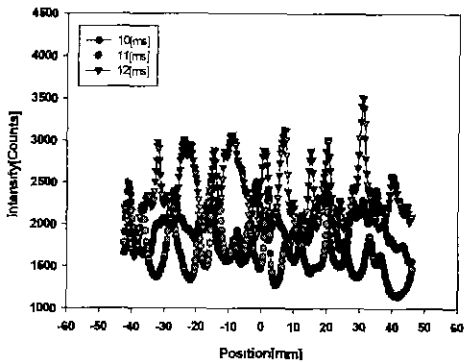
그림 7의 (a), (b), (c)는 각각 그림 6의 (a), (b), (c)의 Image에 대한 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 신호강도는 시간이 지남에 따라서 조금씩 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 6의 Image에서 볼 수 있듯이 시간이 지남에 따라서 방전점이 이동하고 이는 방전현상이 진전되고 있음을 나타내는 것이다. NO농도에 따라서는 그림 4와 같이 NO농도가 증가할수록 신호강도는 낮아지는 경향을 볼 수 있다

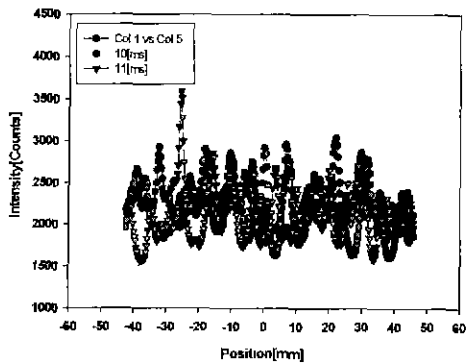
ICCD Camera를 이용한 NO입자의 Image관측



(a) 100 [ppm]

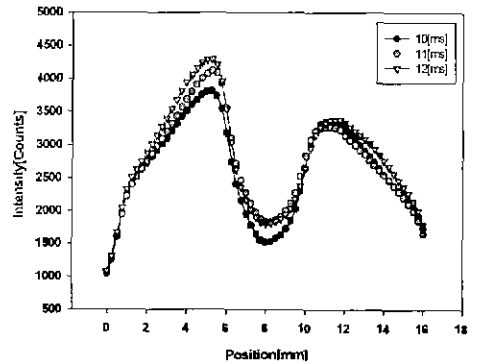


(b) 200 [ppm]

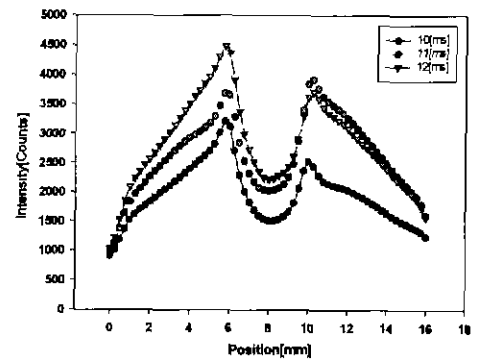


(c) 300 [ppm]

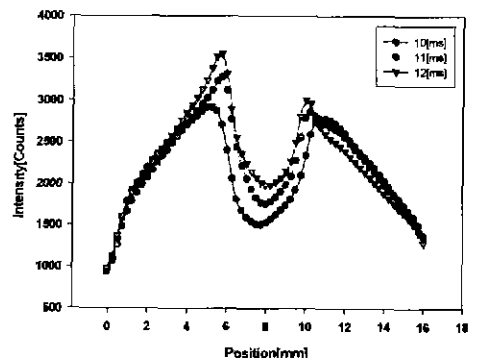
그림 7. Shutter time에 따른 수평방향의 신호강도
Fig. 7. Horizontal signal strength with shutter time variable



(a) 100 [ppm]



(b) 200 [ppm]



(c) 300 [ppm]

그림 8. Shutter time에 따른 수직방향의 신호강도
Fig. 8. Vertical signal strength with shutter time variable

그림 8의 (a), (b), (c)는 각각 그림 6의 (a), (b), (c)의 Image에 대한 수직방향의 신호강도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시간이 경과함에 따라서 방

전이 진전되어 신호강도는 조금씩 증가하는 것을 볼 수 있다. NO농도에 따라서는 그림 4와 그림 7의 결과와 같이 NO농도가 증가할수록 신호강도는 낮아지

는 경향을 볼 수 있다.

4. 결 론

ICCD Camera를 이용한 방전의 Image관측과 수평방향과 수직방향에 대한 NO입자의 신호강도 측정을 행하였다. 이는 기존의 방전현상의 규명과 입자들의 거동을 파악하는데 있어서 중요한 데이터로서 사용될수 있으리라고 생각된다. 또한, 차후 NOx 제거용 리액터 제작시 보다 체계적인 자료로 활용될 수 있으리라 생각된다.

본 논문에서 나타난 실험결과는 다음과 같다.

① NO농도에 따른 제거율 측정을 행한 결과 NO농도가 높을수록 제거율은 감소하는 것을 알 수 있었다.

② NO농도와 ICCD Camera의 shutter time에 따른 교류방전시의 NO입자의 Image 측정을 할 수 있었다.

③ 수평방향과 수직방향에서 NO입자의 신호강도는 NO농도 100[ppm]에서 가장 높게 나타났다.

④ ICCD Camera의 shutter time을 증가시켰을 때의 NO입자의 신호강도는 조금 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge University, England, Sept. 21-25, pp. 1-8, 1992.
- [2] M. Higashi, S. Uchida, N. Suzuki and K. Fujii, "Simultaneous reduction of soot and NOx in a diesel engine exhaust by discharge plasma", T.IEE Japan, Vol.111-A, No.5, pp. 467-473, 1991.
- [3] A. C. Gentile, M. J. Kushner, "Microstreamer dynamics during plasma remediation of NO using atmospheric pressure dielectric barrier discharge", J. Appl. Phys., Vol.78, No.3, pp. 2074-2085, 1995
- [4] Gregory J. Roth and Martin A. Gundersen "Laser-Induced Fluorescence Images of NO Distribution After Needle-Plane Pulsed Negative Corona Discharge", IEEE transactions on plasma science. vol. 27, NO 1. pp. 28-29
- [5] Makoto Kosuge, Masanori Fujiwara, Masayoshi Ishida "Anayses of Pulse Duration Influence on the NOx Removal by a Pulsed Corona Discharge with Luminescence Measurement", Transactions of Institute of Electrical Engineers of Japan Part A, pp. 184-189, 1999.
- [6] Keiji Goto, Yoshiki Noma, Yukihiko Yamagata, Tomoaki Ikegami, Kenji Ebihara " ICCD Study of High-Frequency Silent Discharge in Mixture Cases" 1999 J-K Joint Symposium on ED & HVE, pp. 293-296
- [7] Roth GJ, Gundersen MA, "Laser-induced fluorescence images of NO distribution after needle-plane pulsed negative corona discharge", IEEE Transactions on Plasma Science, V.27 N.1, pp. 28-29, 1999.
- [8] 레이저응용 연소진단기술 연구회, "레이저 응용 연소진단기술", pp. 129.
- [9] Yong-Woo Jun, Jang-Ho Ha, Sang-Tae Choi, Won-Zoo Park, Hong-Sik Lee, " The Measurements of NO(Nitro Oxide) Distribution Using ICCD Method" International Symposium on Pulsed Power and Plasma Applications" pp. 112-115, 2000. 10.
- [10] 문제덕, 이근택, "선대원통령 비열플라즈마 반응장치의 방전 및 NO제거 특성", 대한전기학회 논문지 45권, 9호, pp. 1324-1330. 1996년 9월.

◇ 저자소개 ◇

전 용 우 (全容佑)

1969년 9월25일생. 1996년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1998년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 영남대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 당학회 정회원.

하 장 호 (夏長鎬)

1961년 3월17일생. 1989년 경일대학교 전기공학과 졸업. 2000년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 삼척대학교 제어계측공학과 겸임교수. 당학회 정회원.

박 원 주 (朴元柱)

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(공학박사). 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수 당학회 대구·경북지회 연구조사이사, 대한전기학회, 일본전기학회, 일본응용물리학회, 일본 플라즈마핵융합학회 정회원.

이 광 식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수 1995~1998년 당학회 대구·경북지회장 역임. 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 당학회 부회장 대한전기학회 방전·고전압 연구회 간사장.

이 홍 식 (李弘植)

1953년 9월 13일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업(공학사) 1990년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구소7 전기물리연구팀 책임연구원.