

# 침대 평판형 플라즈마장치의 코로나 방전 및 오존발생 특성에 미치는 원통형 3전극의 영향

論 文  
56-5-18

## Effect of a Cylindrical Third Electrode of a Point-Plate Type Plasma Reactor on Corona Discharge and Ozone Generation Characteristics

文 在 德<sup>†</sup> · 鄭 皓 駿<sup>\*</sup> · 鄭 在 勝<sup>\*\*</sup>  
(Jae-Duk Moon · Ho-Jun Jung · Jae-Seung Jung)

**Abstract** - A point-plate type nonthermal plasma reactor, with a grounded cylindrical third electrode which closely-encompasses the needle point, have been investigated with an emphasis on the role of the third electrode. It was found that the point-plate airgap, with the grounded third electrode, had a switching characteristic on its I-V characteristics for negative and positive discharges, which is very different from that of a conventional point-plate airgap without a third electrode. The corona discharge and ozone generation characteristics of the plasma reactor with the grounded cylindrical third electrode, such as the corona onset voltage, the breakdown voltage, the corona current, and the amount of output ozone, were influenced significantly by the height of the third electrode, and these characteristics can be controlled by adjusting the height of the third electrode.

**Key Words** : Point-plate type plasma reactor, Cylindrical third electrode, Third electrode height, Corona discharge, Ozone generation.

### 1. 서 론

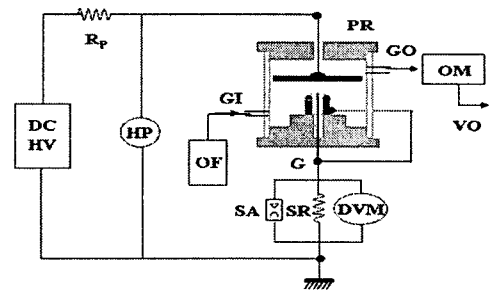
대기 공해는 인류의 삶에 심각한 영향을 주는 환경오염 문제이나, 충분한 해결책은 아직 없는 실정이다. 비열 방전 플라즈마 기술은 대기 오염 가스를 효과적으로 제거할 수 있는 장점 때문에 많은 연구가 수행되어 왔다[1-7]. 즉, 펄스 코로나 방전[2,3], 무성/장벽 방전[2,4], 표면방전[5], 전자빔[6] 등의 방법들이 연구되어 왔다. 유해가스의 효과적 제거를 위해서는 강력한 코로나 방전의 발생이 요구된다[3-5]. 왜냐하면 유해가스들은 코로나 방전의 전기물리화학적 반응으로 제거되며[2], 전기물리적 반응은 방전으로 생성된 활성 전자에 의해 유발되고[7], 전기화학적 반응은 활성전자로부터 생성된 활성종(radicals, O<sub>3</sub>, 등)에 의해 일어나기 때문이다[2,3].

최근에 들어 초소형 오존발생장치가 생활 환경내의 유해 가스 제거용 또는 살균 소독용으로 적용되고 있다. 이 경우, 오존의 생활환경 기준치(우리나라 0.1ppm/8hrs)를 초과하지 않으면서, 적절한 살균력을 갖는 오존량을 갖게 해야 하기 때문에, 오존량을 적정량으로 조절하여야 할 필요가 있다. 즉, 오존량이 많은 경우 살균특성은 우수하지만, 생활환경 기준치를 초과하는 문제점이 있게 된다. 따라서 효과적인 오존발생과 출력 오존량의 적정 제어는 매우 필요하나, 종래의 침대 평판형 오존발생장치로는 효과적인 오존발생도

그리고 제어성도 부족한 실정이다.

본 논문은 기존의 침대 평판형 방전장치의 침전극 주변에 접지된 원통형 3전극을 설치하고, 이 접지된 3전극이 침전단의 방전과 오존발생 특성에 미치는 영향과 발생오존량의 조절 가능성을 연구 검토한 결과이다.

### 2. 실험 장치 및 방법



PR	plasma reactor	VO	gas vent out
DCHV	DC high-volt power	Rp	protection resistor
OM	ozone monitor	HP	high-volt probe
OF	oxygen gas feeder	DVM	digital voltmeter
SR	shunt resistor	SA	surge arrester
GI	gas inlet	GO	gas outlet

그림 1 실험 장치 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

그림 1은 본 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로서, 접지된 3전극이 부설된 선대 평판형 방전 플라즈마장치(PR), 고전압 직류전원(DCHV), 산소 공급장치(OF), 오존 측정장치(OM), 그리고, 코로나 전류 및 고전압 측정장치(SR, SA,

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 慶北大 電子電氣컴퓨터學部 教授 · 工博  
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr

<sup>\*</sup> 學生會員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 碩士課程

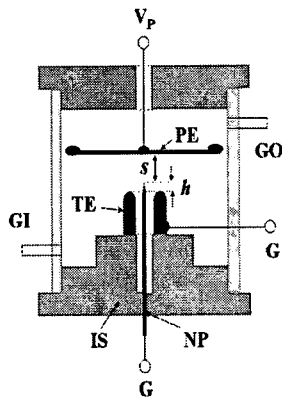
<sup>\*\*</sup> 正會員 : 慶北大 大學院 電子電氣컴퓨터學部 博士課程

接受日字 : 2007年 3月 8日

最終完了 : 2007年 3月 19日

HP, SO)로 구성되어 있다.

그림 2는 원통형 3전극(TE)이 방전침(NP)를 둘러싼 형태로 설치된 침대 평판형 방전 플라즈마장치(PR)의 개략도이다. 방전침 전극은 바늘(needle, 고율반경 0.10mm)로 되어있고, 평판전극(PE)은 스테인리스 원판(SUS plate, 직경 80mm, 두께 0.6mm)으로 제작되었다. 3전극(third electrode, TE)은 상단이 둥글게 처리된 황동관(brass cylinder, 내경 6.0mm, 외경 14.0mm)로 되어있고, 절연체 지지대(IS)로 고정되어 있다. 이때, 3전극(TE)의 상단부에서 침전극(NP) 상단부까지의 높이( $h$ , point-third electrode height)는 1.00~6.00mm로 조절가능하며, 침전극(NP)과 평판전극(PE)간의 간격( $s$ , point-plate gap spacing)은 10.0mm로 고정하여 실험하였다.



PE	plate electrode	NP	needle point electrode
TE	third electrode	IS	insulator supporter
GI	gas inlet	$s$	point-plate gap spacing
GO	gas outlet	$h$	third electrode height

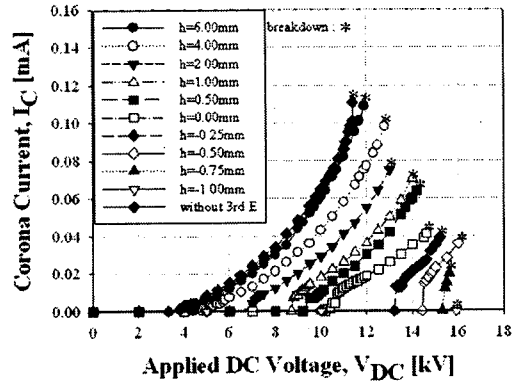
그림 2 제한한 원통형 3전극형 플라즈마장치의 구성도.  
 Fig. 2 Closeup configuration of the plasma reactor with a cylindrical third electrode.

본 실험에서는 전압원은 직류 고전압(0~30kV, 20mA)을 사용하였다. 전압은 전압계(DVM, Fluke 75 Digital Voltmeter), 고전압 프로브(HP, HV probe, Tektronix P6015A, 1000:1)로 측정하였고, 전류는 측정저항(SR=1.000kΩ)과 전압계(DVM)로 측정하였다. 인입 기체로는 산소(99.9% pure)를 1.0ℓ/min의 일정 유속으로 가스 인입구(GI)에 주입하였고, 오존농도는 가스 출구(GO)에서 오존측정장치(OM, ozone monitor, Dasibi DY 1500)로 측정하였다. 모든 실험장치는 전자차폐된 실내에서 수행하였다.

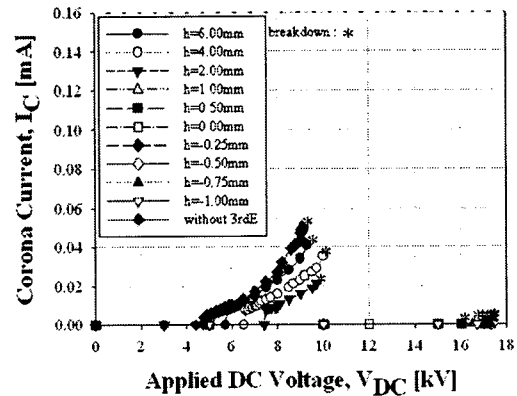
3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 침대 평판형 방전 플라즈마 장치의 침전극 부근에 접지된 원통형 3전극의 설치 유무와, 3전극의 높이( $h$ )를 변수로 하였을 때의 코로나 방전 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 3전극이 설치된 경우가 설치되지 않은 경우보다 코로나방전 시작 전압과 절연파괴 전압이 증가하며, 방전 전류는 작아지는 등, 침전극상의 방전이 3전극에 매우 크게 영

향을 받는 것을 보여준다. 특히, 부극성 코로나의 경우  $h=-1.0\sim 1.0\text{mm}$ , 정극성 코로나의 경우  $h=2.0\sim 6.0\text{mm}$ 에서 코로나 방전전류가 영(zero)에서 갑자기 상승하는 현상을 보인다. 그리고 3전극이 설치되면, 부극성 코로나의 경우 강한 코로나 방전이 발생하지만, 정극성 코로나의 경우에는 3전극의 높이가 작을 경우( $h\leq 1.0\text{mm}$ ) 코로나가 점차 사라짐을 보여준다.



(a) negative corona



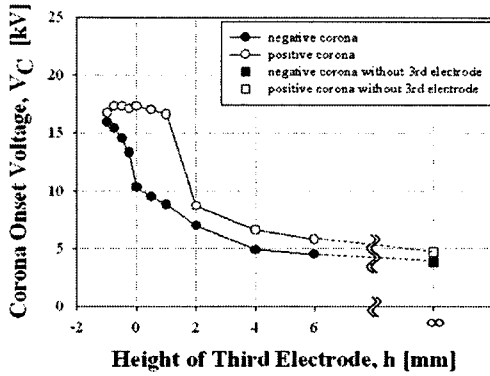
(b) positive corona

그림 3 3전극 높이 변화에 따른 제한한 플라즈마장치의 I-V 특성

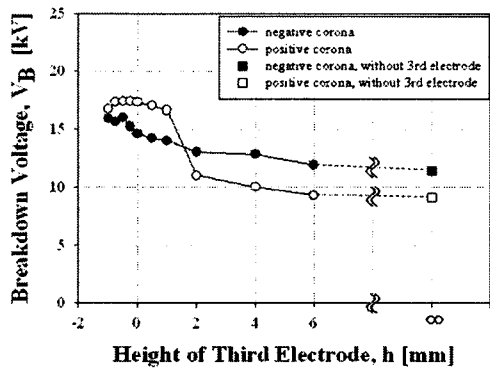
Fig. 3 I-V characteristics of the plasma reactor at various third electrode heights.

전형적인 침대 평판 전극간의 방전은 dark current mode → glow corona mode → prebreakdown streamer corona mode → arc의 과정으로 전전한다[8]. 그러나 그림 3과 같이 접지된 3전극이 설치된 침대 평판 전극간의 경우,  $h$ 가 작은 영역에서는 glow corona mode는 없고, dark current mode → prebreakdown streamer corona mode → breakdown의 순서로 방전이 진행되는 것처럼 보인다.  $h$ 가 큰 영역에서는 normal glow corona 과정이 나타나는 하지만, 3전극이 없는 일반적인 침대 평판형에서의 방전보다는 약하게 나타남을 보여준다. 또한, 3전극이 설치된 경우, 방전 전류가 그림 3에서 나타난 것처럼 특정 전압에서 급증(current jumping) 현상이 나타난다. 이는 부성저항(negative

resistance) 특성을 갖는 반도체 제어소자(semiconductor thyristor)의 전류-전압 특성과 같은 현상을 나타내며, 이는 본 제안한 장치로도 방전 특성을 제어할 수 있을 가능성을 나타낸다.



(a)  $V_c-h$  characteristics



(b)  $V_b-h$  characteristics

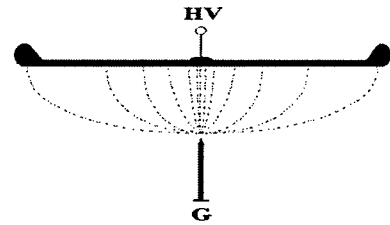
그림 4 3전극 높이 변화에 따른 침대 평판 플라즈마 장치의  $V_c$  및  $V_b$  특성

Fig. 4  $V_c$  and  $V_b$  characteristics of the plasma reactor as a function of the third electrode height.

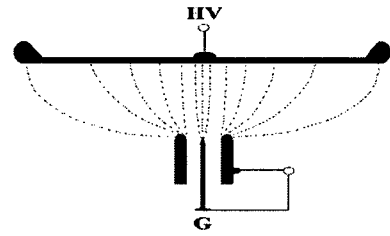
그림 4는 3전극의 높이( $h$ )에 따른 코로나 개시전압( $V_c$ )과 절연과피전압( $V_b$ )을 나타낸 것으로,  $V_c$ 와  $V_b$ 는 3전극에 매우 큰 영향을 받는 것을 보여준다. 즉,  $V_c$ 와  $V_b$ 는 3전극이 없는 경우보다 3전극이 있는 경우가 매우 높아진다.  $V_c$ 와  $V_b$ 는 3전극의 높이가 낮을수록 더욱 높아져서 각각 약 3배와 1.5배로 증가하나,  $h$ 가 더욱 증가하면 결국 3전극의 침전극에 대한 영향은 작아지고, 마침내는 3전극이 없는 침대 평판전극의 값(그림 4의  $h=\infty$ 인 점의 값)으로 포화됨을 보여준다.

이와 같은 결과는 그림 5로 설명할 수 있다. 즉, 그림 5(a)의 3전극이 없는 경우의 침전극 선단의 전기력선 수에 비해서, 그림 5(b)에서처럼 접지된 3전극이 침전극의 주변에 설치된 경우, 침전극 선단의 전기력선 수가 상대적으로 작아지게 되어, 침전극의 전속밀도가 감소하게 된다. 따라서 방전이 일어나기 위한 그림 3(a)의 3전극이 없는 침상의 전속밀도와 동일한 전속밀도가 되기 위해서는 인가전압이 더욱

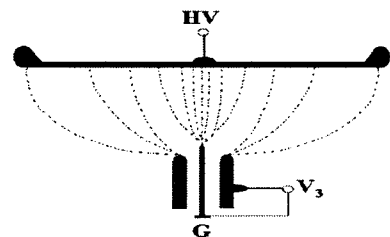
증가되어야 한다. 이와 같은 이유로, 3전극이 있는 경우의  $V_c$ 와  $V_b$ 가 더 높아지는 것으로 사료된다. 그림 5(c)에서처럼 3전극의 높이가 더욱 높아지면 침전극에 대한 3전극의 영향이 상대적으로 작아져서 침전극의 전속밀도는 증가하게 되고, 따라서  $V_c$ 와  $V_b$ 는 낮아지게 될 것이다. 이상의 결과는 3전극의 높이로 침전극상의 전속밀도(electric flux density)를 바꿀 수 있고, 방전 특성도 조절(제어)할 수 있음을 보여준다.



(a) electric flux without the third electrode



(b) electric flux with the third electrode



(c) electric flux with the third electrode for higher  $h$

그림 5 3전극의 부설 유무에 따른 침대 평판전극간의 전속 모양

Fig. 5 Sketch of electric flux of the plasma reactor with and without the third electrode.

그림 6은 3전극이 설치된 경우의 최대 코로나 전류( $I_c$ )를 3전극의 높이( $h$ )에 따라 나타낸 것이다.  $I_c$ 는  $h$ 가 증가함에 따라 같이 증가하여 포화되게 된다. 이때 포화 값은 3전극이 설치되지 않은 침대 평판전극간의 최대 코로나 전류 값(그림 4의  $h=\infty$ 인 점의 전류 값)에 수렴하게 됨을 보여준다. 이는  $h$ 가 더욱 높아지면 침전극에 대한 3전극의 영향이 상대적으로 작아져서 침상의 전속밀도는 증가하게 되고, 따라서 방전전류도 높아지게 되는 것은 그림 3, 4에서 전술한 바와 같다. 반면에  $h$ 가 더욱 작은 경우( $h \leq 1.0\text{mm}$ )에는 침전극에 대한 3전극의 영향이 상대적으로 커져서, 그림 3과 같이 코로나 방전이 나타나지 않게 되고 방전전류도 없게 된다.

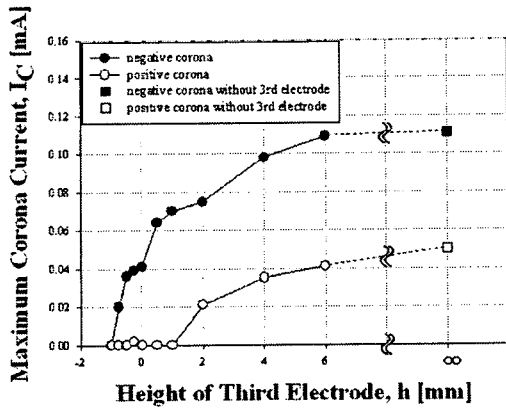


그림 6 3전극 높이 변화에 따른 침대 평판 플라즈마장치의 최대 코로나 방전전류 특성  
 Fig. 6 Maximum corona current characteristics of the plasma reactor as a function of the third electrode height.

그림 7은 3전극이 설치된 경우의 3전극의 높이( $h$ )에 따른 오존발생량( $O_3$ ) 특성을 나타낸 것이다. 오존은 방전개시전압( $V_C$ )서부터 발생되기 시작하며, 그 발생량은 인가전압의 증가에 따라 증가하다가, 절연파괴전압( $V_B$ )직전에서 최대 발생량이 나타남을 보여준다.

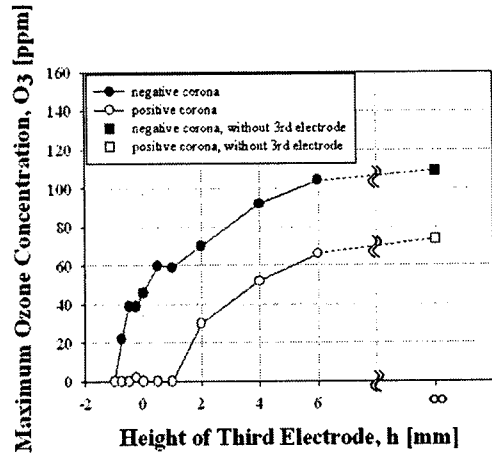
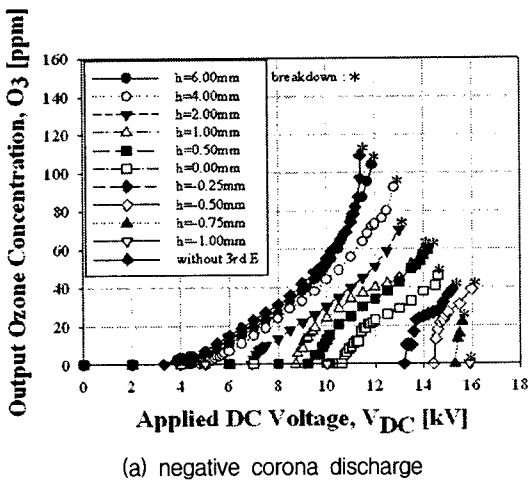
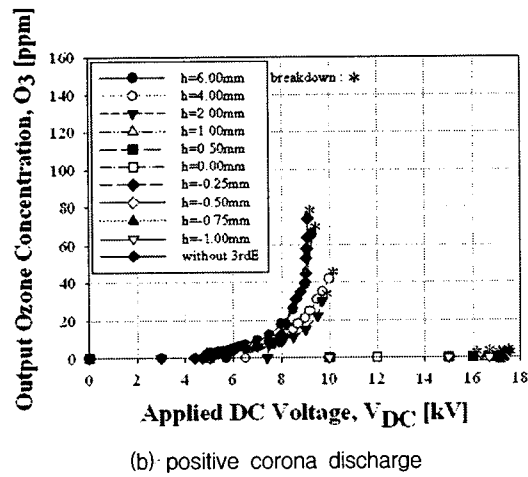


그림 8 3전극 높이 변화에 따른 침대 평판 플라즈마장치의 최대 오존발생량 특성  
 Fig. 8 Maximum output ozone of the plasma reactor as a function of the third electrode height.



(a) negative corona discharge



(b) positive corona discharge

그림 7 3전극 높이 변화에 따른 침대 평판 플라즈마장치의 오존발생량 특성  
 Fig. 7 Output ozone characteristics of the plasma reactor at various third electrode heights.

그림 8은 최대 오존발생량( $O_{3M}$ )을 3전극의 높이( $h$ )에 따라 나타낸 것으로,  $O_{3M}$ 은  $h$ 가 증가함에 따라 증가하며, 그 값은 정 및 부극성 모두 3전극이 설치되지 않은 경우의 값에 수렴하게 되는데, 이와 같이 수렴하는 이유는 그림 4에서 전술한 것과 같다.

이상의 결과들은 침전극의 코로나 방전 특성을 결정하는 전속밀도와 오존 발생량은 접지된 3전극에 매우 큰 영향을 받으며, 3전극의 높이를 적정 값으로 조절함으로써 코로나 방전특성, 방전 전류특성, 절연 파괴전압특성, 그리고, 오존 발생특성 및 오존발생량까지도 조절(제어)할 수 있음을 보여준다.

#### 4. 결 론

침대 평판형 비열 방전 플라즈마장치에서 접지된 원통형 3전극을 침전극 외측에 설치하고, 이 3전극의 침으로부터의 높이 변화에 따른 코로나 방전 및 오존 발생 특성과, 이들 특성의 조절 가능성을 실험적으로 연구 검토한 결과는 다음과 같다.

- (1) 3전극이 설치된 침대 평판형 방전장치에서 방전 전압은 반도체 스위칭 소자의 전류-전압 특성이 갖는 부성저항(negative resistance) 특성이 나타남을 보여주었다
- (2) 침대 평판형 비열 방전 플라즈마장치의 3전극의 부설 유무 및 3전극 높이에 따른 코로나 개시전압과 절연파괴전압은 3전극에 매우 크게 영향을 받으며, 3전극의 높이가 낮을수록 더욱 높아져서 코로나 개시전압은 3배, 절연파괴전압은 1.5배로 높아짐을 보여주었다.

(3) 최대 코로나 전류와 최대 오존발생 특성은 3전극의 높이가 증가함에 따라 같이 증가하며, 3전극이 설치되지 않은 통상의 침대 평판전극간의 최대 코로나 전류 및 최대 오존발생 값으로 포화하며, 이 값들은 접지된 3전극의 높이에 따라 적정 조절(제어) 가능함을 보여주었다.

**감사의 글**

“이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”  
(KRF-2006-521-D00189)

**참 고 문 헌**

[1] U. Kogelschatz, Ozone generation and dust collection, in electrical discharge for environmental purposes: Fundamentals and Applications, edited by E. M. van Veldhuizen, Nova Science Publishers, Inc., New York 11743.(2000)

[2] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge Univ, England U.K. (Sept 21-25, 1992) 1-8.

[3] G. Sathiamoorthy, et al, Chemical reaction kinetics and reactor modeling of NOx removal in a pulsed streamer corona discharge reactor, Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 38, No. 5, (1999) 1944-1855.

[4] S. Park, et al, Effective ozone generation utilizing a meshed-plate electrode in a dielectric-barrier discharge type ozone generator, Journal of Electrostatics, Vol. 64, No. 5, (2006) 255-262.

[5] T. Oda, et al, Decomposition of gaseous organic contaminants by surface discharge induced plasma chemical processing-SPCP, IEEE Trans on IA, Vol. 32, No. 1, (1996)118-123.

[6] T. Hakoda, et al, Effect of water and oxygen contents on the decomposition of gaseous trichloroethylene in air under electron beam radiation, Bull. Chem. Soc. Japan, Vol. 75, (2002) 2177-2183

[7] M. G. Nickelsen, et al, Removal of benzene and selected alkylsubstituted benzene from aqueous solution utilizing continuous electron radiation,

Environmental Science Technology, 26 (1992) 144-152.

[8] E. E. Kunhart and L. H. Luessen, Electrical Breakdown and Discharges in Gases, NATO ASI Series B: Physics, 89b, 1-64 (1981).

**저 자 소 개**



**문재덕 (文在德)**

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 과학교육과(물리전공) 졸업. 1975년 동대학원 전자공학과 졸업(공석). 1982년 日本 東京大學 대학원 전기공학전문과정(공박). 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터 학부 교수.

Tel : 053-950-5601  
Fax : 053-950-5508  
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr



**정호준 (鄭皓駿)**

1979년 11월 29일생. 2006년 영남대 전자공학과 졸업. 현재 경북대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 053-940-8601  
Fax : 053-950-5508  
E-mail : hojuni79@nate.com



**정재승 (鄭在勝)**

1978년 4월 14일생. 2004년 경북대 공대 전자전기공학부 졸업. 졸업. 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(공석). 현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학과 박사과정.

Tel : 053-940-8601  
Fax : 053-950-5508  
E-mail : bucstual@empal.com