

**부극성 직류 코로나 방전에 미치는 자계의 영향**

박 재윤, \*김 익균, 정 장근, 김 건호\*, 김 정달, 고 희석  
 경남대학교 전기공학과 \*현대정공

**Effect of Magnetic Field on Negative DC Corona Discharge**

J.Y.Park, †I.K.Kim, J.G.Jung, G.H.Kim\*, J.D.Kim, H.S.Koh.

Dept of.Electrical Engineering Kyunngnam University \*Hyundai Precision & IND.CO.,LTD

**Abstract** - The effect of magnetic field on NOx removal characteristics from a combustion flue gas has been experimentally investigated for a DC corona discharge reactor with a multipoint - plate geometry in our Lab. Combustion flue gas removal efficiency of this type was much higher than that of the other types.

In this paper, needle-plate geometry discharge system with applied magnetic field at a right angle to the electric field was made. Input power source was used negative DC. The corona discharge characteristics for this system was investigated and compared with the corona characteristics for the corona discharge system without magnetic field.

**1. 서 론**

산업이 공업화로 가속되어 감에 따라 각종 연료를 사용함으로써 대기오염 물질이 연료의 연소 가스로부터 다량 배출되어 대기오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 대기오염의 주된 물질은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 탄소산화물(COx) 및 분진 등이 있고, 이들은 화석연료의 다량 사용으로 인해 날로 증가되고 있다.

비열플라즈마(nonthermal plasma) 기술은 이들 문제에 대한 해결 방안으로 최근 선진각국에서 활발히 연구가 진행되어 크게 발전해 왔으며 다양한 형태의 플라즈마 반응기(plasma reactor)가 대기오염물질의 처리를 위해 개발되었고 기존의 것도 그 성능이 개선되었다.<sup>1-2)</sup>

질소산화물은 화력발전소와 같은 고정발전원, 자동차와 같은 이동발전원으로부터, 연소과정의 고온에 의해 공기 중의 질소(N2)와 산소(O2)가 반응하여 생성되고, 배기가스의 약 95[%] 정도가 NO이며 반응성이 낮기 때문에 제거가 상당히 어렵다. NO는 대기로 배출되면 대기 중의 O3, O2, 수분 등에 의하여 NO2, NO3, N2O4, N2O5 등으로 산화되고, 이들 중의 대부분은 NO2이다. 또한 이들은 공기중에 에어로졸 상태로 녹아서 산성비가 되거나 태양광선에 의하여 광화학 스모그를 형성하여 미연소 탄화수소(HC)가 존재할 경우 태양광선 중 자외선에 의해 광화학반응이 일어나 2차 오염물질인 산화물 [O3, Formaldyde, Acrolein, PAN]을 생성시킨다.<sup>3)</sup> 지금까지 질소산화물 제거기술로는 공기/연료의 혼합비 조성방법, 수세법, 알카리흡수법, 액상환원법 등의 습식법, 그리고 접촉환원법, 무촉매 환원법 등의 건식법이 화력발전소와 같은 대형 고정발전원의 배기가스 정화장치에 이용되어 왔다. 또한 전기방전기술을 이용하는 방법은 반응기의 전극 형태와 전원의 종류에 따라 여러 가지로 분류되며 다양한 오염가스의 처리에 적용될 수 있으며, 특히 공존하는 여러 가지 오염물질의 동시제거특성이 우수하다. 반응기 전극구조는 강한 전계를 발생시켜 코로나 방전 발생을 용이하게 하기 위해 작은 직경의

방전선, 바늘 혹은 날카롭게 처리된 금속 전극을 사용하며, 공급전력은 직류, 교류 및 펄스전원이 사용된다. 방전의 형태로는 코로나 방전(corona discharge)<sup>4)</sup>, 부분방전(partial discharge in ac ferroelectric pellet layer)<sup>5)</sup>, 펄스 스트리머방전(pulse streamer discharge)<sup>6)</sup>, 연면방전(surface discharge) 및 무성방전(silent discharge)<sup>7)</sup> 등이 있다.

본 연구실에서는 전기방전을 위해 인가된 전계와 직각 방향으로 자계를 인가한 다중 침-평판형 전극구조의 플라즈마 반응기에서 코로나방전에 의한 NOx제거특성에 관한 연구를 진행하여 왔으며, 이때 NOx 제거효율이 자계를 인가하지 않은 반응기의 제거율보다 10~20% 상승되는 것으로 나타났다.<sup>8-9)</sup> 따라서, 자계가 코로나 방전 현상에 미치는 영향을 근본적으로 조사하기 위하여 침-평판형 전극구조의 코로나방전 장치를 제작하고 자계가 인가된 경우 코로나 방전전류, 코로나의 형태 및 절연파괴 특성을 조사하여, 코로나 방전에 미치는 자계의 영향을 분석하였다. 이 중에서 정극성 직류전원을 사용한 연구결과는 이미 발표하였으며<sup>10)</sup>, 본 연구에서는 부극성 직류전원을 사용하여 코로나 방전에 미치는 자계의 영향을 분석하였다.

**2. 본 론**

**2.1 실험장치 및 방법**

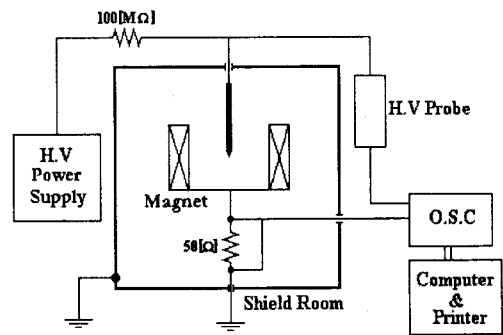


그림1. 실험장치 개략도  
 Fig. 1 Experimental Set-up

본 실험에 사용한 실험장치의 개략도는 그림 1과 같고 코로나발생 및 측정의 용이성을 고려하여 침-평판형으로 전극구조를 하였다. 전압원은 일본 Pulse사가 제작한 직류전원장치(±DC 100[kV], 5[mA])이고, 부극성을 사용하여 100[MΩ]의 전류제한 저항을 거쳐 침전극에 연결되어 있고 대향전극인 평판전극은 직경 40[mm]의 동판을 사용하였으며 접지되어 있다. 침전극은 직경

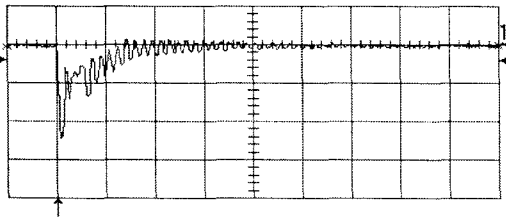
1[mm], 길이90[mm]의 스테인레스 재질의 침을 사용하였다. 자계는 전계방향과 직각방향으로 인가하였으며, 이때 사용된 자석은 잔류자속(Br)이 1[Tesla], 표면자속이 5000[Gauss]인 Samarium-Cobalt 재료로 만들어진 50×50×25[mm]의 영구자석을 사용하였다. 인가전압의 측정은 고전압 Probe를 사용하여 디지털 전압계로 측정하였으며 코로나 전류펄스의 측정은 대향전극인 평판전극에 저항50[Ω]을 연결하여 미국 Lecroy LC334 500[MHz] 오실로스코프 시스템으로 측정 분석하였다.

코로나 펄스 측정시 외부노이즈를 차폐하기 위해 140×140×180[cm]의 Shield Room내에 방전기구를 설치하였고, 내부의 상대습도는 42[%]였으며, 실리카겔(Silicagel)을 사용하여 습도를 조절하였다. 실험방법은 전압을 인가하고, 최초 코로나가 발생한 이후 1[kV]씩 상승시키며 이때 발생하는 코로나 펄스파형 및 방전상태를 측정하였고, I-V특성을 측정하고 분석하였다. 또한 전극간 간극을 5, 10, 15, 20[mm]로 변화시키며 절연 파괴특성을 조사하였다. 모든 실험은 상온 대기압에서 행하여 졌다.

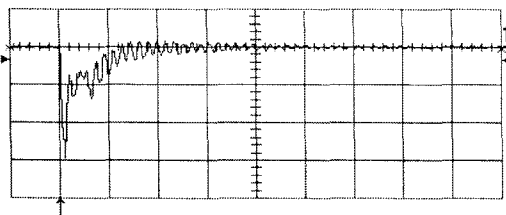
## 2.2 실험결과

### 2.2.1 코로나 펄스특성과 코로나성장 형상

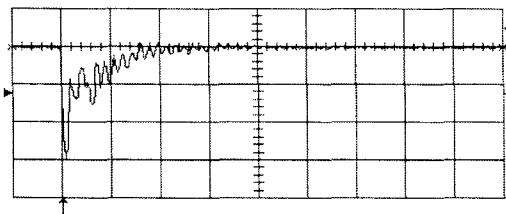
그림 2는 전극간극을 20[mm]로 고정시키고 자계인가 경우와 비인가 경우의 최초 발생 코로나 펄스 파형을 비교하였다. 최초 코로나 펄스는 자계를 인가했을때나 인가하지 않았을때나 같은 -3[kV]에서 발생했으며, 파괴전압은 각각 -40[kV], -38[kV]로 자계비인가시 높았다.



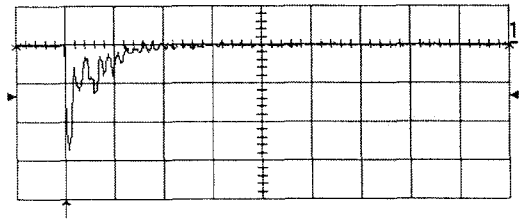
(a)자계비인가



(b)자계인가(자속밀도:0.31[T])



(c)자계인가(자속밀도:0.41[T])



(d)자계인가(자속밀도:0.46[T])

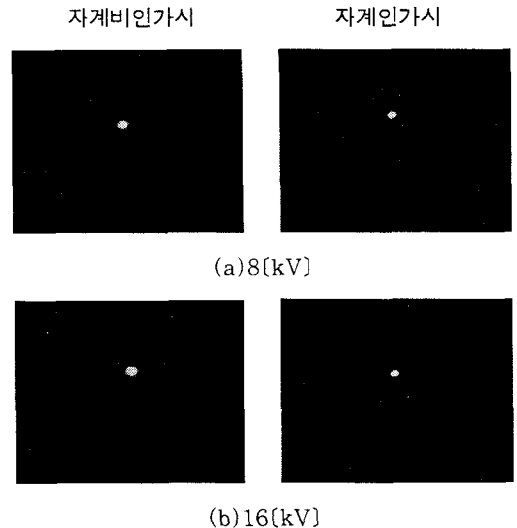
그림 2. 초기 코로나 펄스 파형  
(0.1[μs/div], 20[mV/div])

Fig. 2 Corona Pulse waveform

또한 그림에서 보는바와 같이 펄스의 폭과 형태는 거의 같지만 피크값은 자계를 인가한 경우가 인가하지 않은 경우보다 약간 크며 자속밀도 증가에 따른 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 3은 Shield room 내에서 카메라를 사용하여 전극간극 20[mm]에서 자계인가시와 비인가시에 침전극 선단에 나타나는 코로나 광을 촬영한 사진이다. 카메라 노출시간은 매순간 5초로 하고 인가전압을 2kV 씩 상승시키며 코로나 성장 과정을 관찰하였으며, 본 사진은 8[Kv], 16[Kv]에서 촬영한 사진이다.

그림에서처럼 자계인가시나 비인가시 모두 전압상승에 따라 코로나가 현저히 성장되지 않고 브러시상태에서 불꽃으로 바로 옮겨가며 광은 자계를 인가하지 않았을 때 가 조금 더 큰 것으로 나타났다.



(a)8[kV]

(b)16[kV]

그림 3. 인가전압에 따른 코로나광  
Fig. 3 Light of Corona on applied voltage

### 2.2.2 전류(I)-전압(V) 특성

전극간극이 20[mm] 일때 인가전압 변화에 따른 자계인가시와 인가하지 않았을 때 코로나방전의 I-V특성을 그림 4에 나타내었다. 이때 전류값은 오실로스코프에서 측정된 실효값을 사용하였다.

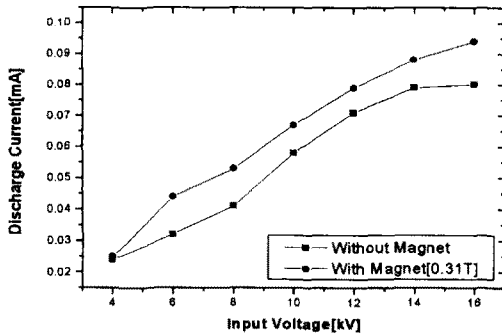


그림 4. I-V 특성곡선  
Fig. 4 I-V Curve

그림에서 전체적으로 자계를 인가하지 않았을 때의 전류값이 작은 것으로 나타났다. 이는 정극성 직류전원을 사용하였을 때와 반대되는 결과이다. 따라서, 전자계 응용 플라즈마 반응기를 이용한 유해가스 제거 시스템에서 부극성 직류전원을 사용하여서는 문제되고 있는 소비전력 감소에 기여하지 못할 것으로 생각된다.

### 2.2.3 절연파괴특성

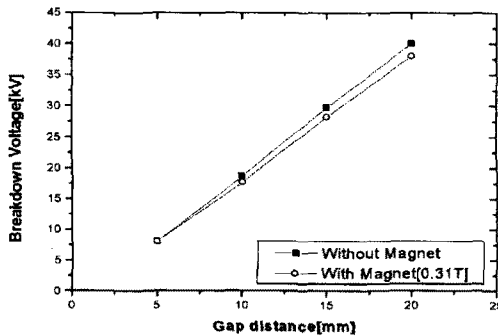


그림 5. 절연파괴전압특성  
Fig. 5 Breakdown voltage characteristics

그림 5는 전극간극 변화(5, 10, 15, 20(mm))에 따른 자계인가시와 자계비인가시의 절연파괴전압을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전극간극이 넓어짐에 따라 파괴전압이 높아졌으며 전극간극이 넓어질수록 자계를 인가하지 않았을 때와 자계를 인가했을 때 파괴전압이 점점 높아지는 것으로 나타났으며 자속밀도 변화에 따라서는 거의 변화가 없었다.

## 3. 결 론

침-평판형 전극구조에서 자계를 전계와 직각으로 인가했을 때와 자계를 인가하지 않았을 경우의 부극성 직류 코로나 방전현상을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 파괴전압은 자계비인가시가 인가시의 파괴전압보다 전극간극이 커짐에 따라 점점 높아졌으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.
  - (2) 코로나전류는 자계비인가시가 인가시의 전류값보다 작게 나타났다.
  - (3) 코로나 방전은 자계인가시와 비인가시 모두 브러시 상태에서 스트리머 상태로 진전되지 않고 곧바로 파괴로 이어졌다.
- 위와 같은 결과로써 코로나 방전을 이용한 유해가스 제

거 시스템의 전자계 응용 플라즈마 반응기에 부극성 직류전원을 사용 할 경우에는 소비전력과 제거효율에 크게 기여하지 못 할 것으로 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- (1) J. S. Chang, "Energetic electron induced plasma processes for reduction of acid and greenhouse gases in combustion flue gas", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.1-32, 1993.
- (2) 水野 彰, "放電プラズマによる排気ガス浄化技術の研究開発", SUT BULLETIN, No.5, pp.29-34, 1993.
- (3) 최의소, 조광명, 환경공학, 청문각, 1993.
- (4) Alokumar Chakrabarti, Akira Mizuno, Kazuo Shimizu, Tsutomu Matsuoka, and Satoshi Furuta, "Gas cleaning with semi-wet type plasma reactor", IEEE transactions on industry application. VOL. 31, NO.3, PP.500-505, 1994.
- (5) G. J. Pietsch, D. Braun, and V. I. Gibalov, "Modeling of dielectric barrier discharges", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub.Co., PP.279-286, 1993.
- (6) Kazuo Shimizu, Hiroyuki Sone, Akira Mizuno, "Effect of water on NOx removal using pulsed discharge plasma", 静電氣學會講演論文集, PP.355-358, 1993.
- (7) J. S. Chang et al, The effect of ammonia mixing concentration on the reduction of NOx in a combustion flue gas by superimposing surface/silent discharge plasma reactor, 放電プラズマによるガス状 環境汚染物質の処理技術に関する総合的研究 PP.59~68, 1994.
- (8) 박재윤, 김건호, 교회석 "펄스 스트리머 방전을 이용한 NOx 제거", 전기전자재료학회, Vol 10, NO 8, PP.807-812, 1997
- (9) Jae-yoon.Park, Geon-ho.Kim, Jong-dal.Kim "NOx Removal Using DC Corona Discharge with Magnetic Field", Combust. Sci. and Tech., Vol. 133, PP.65-77, 1998.
- (10) 박재윤, 김익균, 정장근 외, "고전계하에서 자계가 정극성 직류 코로나 방전에 미치는 영향", 대한전기학회 춘계학술연구 발표회 논문집, PP.347-349, 1999