

A Study on the Development of Thin ESP for High Efficient Air-conditioner

洪寧基* · 申修沈* · 曹井守** · 朴正后**
 (Young-Ki Hong · Soo-Yeon Shin · Jung-Soo Cho · Chung-Hoo Park)

Abstract - In order to develop a thin type ESP(Electrostatic Precipitator) for high efficient air-conditioner with low concentration of ozone generation, collecting electrode spacing should be narrower than that from Deutsch formula and minimizes discharge current in ionizer. In this paper, the effect of applied voltage on the precipitation efficiency and ozone concentration of scroll type ESP was studied. As a result, precipitation efficiency(one pass) was improved by about 30[%] from increment of collector voltage(3.5[kV]). Precipitation efficiency was increased with increasing ionizer voltage. And after some point, the efficiency was saturated. At the point, voltage and ionizer current was 5.2[kV] and 95[μA] per meter respectively. At these applied voltage conditions, ozone concentration was saturated about 0.01[ppm] after 3 hours in 23[m³] closed room test.

Key Words : scroll type ESP, precipitation efficiency, ozone concentration

1. 서론

대기환경의 오염이 심각해지고, 생활환경이 밀폐화됨에 따라 전기 집진장치(이하 ESP)는 가정용 공조기의 공기정화장치로까지 적용되고 있으나, 여러 종류의 가정용 공조기에 설치하기에는 공간적으로 제약이 있어 이를 박형화함으로써 그 적용 범위를 확대시킬 필요가 있다. 또한 대체로 밀폐공간에서 사용되는 ESP는 코로나 방전을 이용한 것이므로 오존이 발생하게 된다. 오존은 농도가 낮은 경우에는 신선감을 주지만 농도가 0.1[ppm] 이상이 되면 인체에 악영향을 끼치게 되므로[1] 오존발생농도를 최소화해야 할 필요가 있다. 그러나 현재까지는 ESP의 집진효율 향상[2]-[4]과 오염전극에 따른 특성 변화[5]-[7]에 관한 많은 연구가 진행되었지만 이를 박형화하면서 오존발생농도를 최소화하기 위한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, ESP의 박형화에 따른 집진효율 변화를 예측해 보면, 전기집진 효율 계산식에 관한 연구[8][9]도 많았지만, 비집진면적(이하 SCA)이 30[s/m] 이하인 소형에서 대체로 잘 일치하는 것으로 알려진[9] Deutsch식으로부터 집진부의 가스유입방향과 동일한 방향으로의 길이(이하 L)가 짧아짐에 따라 SCA가 감소하게 되므로, 집진효율 η도 아래식과 같이 감소함을 알 수 있다.

$$\eta = 1 - \exp[-(\omega f)] \tag{1}$$

여기서,

$$\omega = \frac{E_i E_c D_p}{4\pi\mu} \tag{2}$$

$$f = \frac{A}{Q} \tag{3}$$

ω는 입자이동속도[m/s], f는 SCA[s/m], E_i는 전리부 전계강도[kV/m], E_c는 집진부 전계강도[kV/m], D_p는 입자반경[m], μ는 가스점도[Pa·s], A는 집진전극의 면적[m²]이고, Q는 ESP를 통과하는 유량[m³/s]을 나타낸다.

따라서 본 논문에서는 ESP의 박형화에 동반하는 집진효율의 감소를 최소화하기 위하여, 집진부가 평행평판 전극계로 구성된 ESP나 허니컴형 ESP 등에 비하여 SCA가 큰 스크롤형 ESP[10]를 채택하였고, 전리부 및 집진부에 인가되는 전압을 변화시키면서 집진효율 특성 변화에 미치는 영향과 전리부에서의 오존발생 농도 특성에 대한 실험적 고찰을 실시하였다.

2. 스크롤형 ESP의 구조

스크롤형 ESP는 그림1.에 표시한 바와 같이, 유입되는 먼지입자를 하전시켜주는 전리부와 하전된 먼지입자를 전기적 쿨롱력으로 집진하는 집진부로 구성되었다. 전리부의 코로나 방전선은 두 접지전극 사이 중앙에 설치하였으며, 직경 100[μm]의 텅스텐선으로 하고, 유효방전길이는 315[mm]으로 하였다. 접지전극은 접지전극간 간격을 25[mm], 폭은 13[mm]로 하고, 재질은 아연도금강판으로 하였다. 이상과 같이 코로나 방전선과 두 접지전극으로 구성된 전극계를 1셀로하여 5개의 셀이 병렬로 배치된 구조로 하였다.

집진부는 접지된 집진전극과 전압을 인가하는 (+)전극을 서로 마주보게 하여 와권형으로 감은 구조이다. 그림2와 같이, 집진부의 (+)전극은 전압이 인가되는 알루미늄 박판 양면을 두께 100[μm]의 절연수지물로 코팅하였다. 접지전극은 두께 120[μm]의 알루미늄 박판으로 나사산 모형으로 하여 (+)전극간의 간격을 유지할 수 있도록 하였다. 이때 절연수지물이 코팅된 (+)전극의

* 正 會 員 : LG電子 홈 어플라이언스 事業本部 研究所
 ** 正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 接受日字 : 1998年 4月 11日
 最終完了 : 1998年 11月 18日

절연내력은 종래 방식[10]에서는 5[kV]를 넘기 힘들었으나, 본 연구에서는 PET 필름을 열압출방식으로 코팅함으로써 10[kV] 이상의 것을 얻을 수 있었으며, L이 각각 10[mm], 25[mm]인 것을 제작하였다.

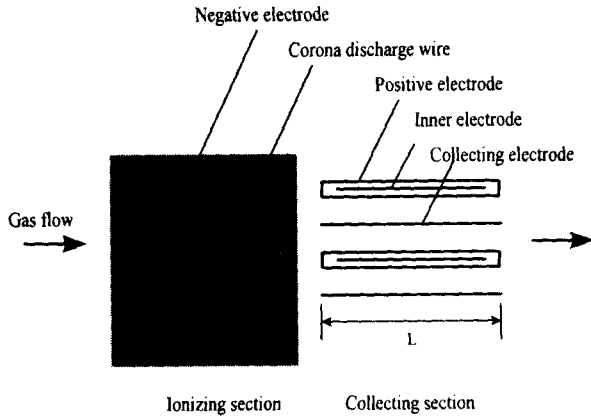


그림 1 스크롤형 ESP의 단면 구조도
Fig. 1 Cross section of scroll type ESP

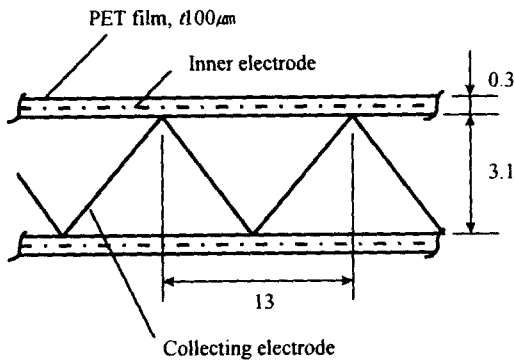


그림 2 스크롤형 ESP 집진부 정면도
Fig. 2 Front view of collector of scroll type ESP

3. 실험장치 및 방법

3.1 집진효율 측정장치 및 방법

집진효율을 통과식(이하 one pass식)으로 측정하는 장치는 그림3.과 같이, 입자발생부, 입자샘플링부, ESP, 풍동부 및 직류 고전압 전원부로 나뉘어진다. 입자의 발생은 직경 0.5[µm]의 단분산 입자만을 발생시키기 위하여 입자발생기(Model 256, ROYCO Instrument Inc.)와 단분산 입자발생용액(0.502[µm], Latex)을 사용하였다. 입자수의 측정은 가스 유입방향에 대한 유로 단면을 정방향으로 9등분하여 ESP의 상·하류측에 각각 9개씩의 입자샘플러를 정방향으로 배치하였고, 이것에 연결된 레이저 파티클 카운터(Laser particle counter, LASAIR 101, PMS)로써 1분간 샘플링하여 각 10회씩 측정하였다. One pass 집진효율은 다음의 식으로써 입경 0.5[µm] 이상인 입자에 대한 것을 구하였으며, 이때 풍속 조건은 0.75[m/s]로 하였다.

$$\eta = (1 - C_2 / C_1) \times 100 \quad (4)$$

여기서, C_1 은 ESP 상류측 입자수이고, C_2 는 하류측 입자수이다. 집진효율을 밀폐실내에서 순환식(이하 circulation식)으로 측정하는 장치는 그림4.에 나타낸바와 같이, 23[m³] 용적의 밀폐실에 스크롤형 ESP가 장착된 패키지 에어컨(이하 PAC)을 설치하고, 입자 발생원으로는 담배(THIS 1개피)를 사용하였으며, 입자 샘플러는 밀폐실 바닥면 중앙의 80[cm] 높이되는 점에 설치하였으며, 입자수의 측정은 레이저 파티클 카운터로 하였다. Circulation 집진효율은 밀폐실내에 담배연기를 발생시킨 후, ESP가 장착된 PAC를 작동시키면서 1분 단위로 30분간 측정하여 다음의 식으로 구하였으며[11], 이때 PAC의 풍량은 18CMM으로 하였다. 여기서 C_i 는 초기입자수, C_m 은 측정시 입자수로써, 입경 0.5[µm] 이상인 입자에 대한 것으로 구하였다.[9]

$$\eta = (1 - C_m / C_i) \times 100 \quad (5)$$

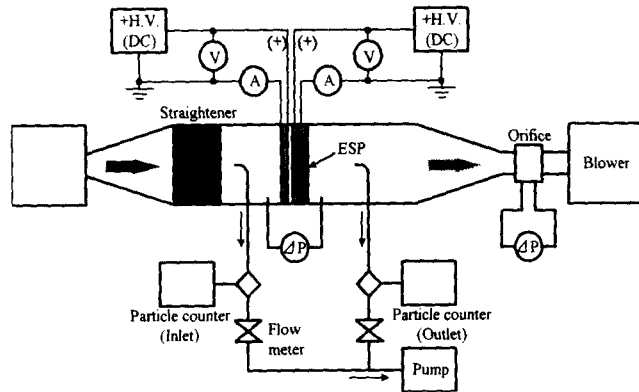


그림 3 집진효율 측정장치
Fig. 3 Setup of precipitation efficiency test by one pass

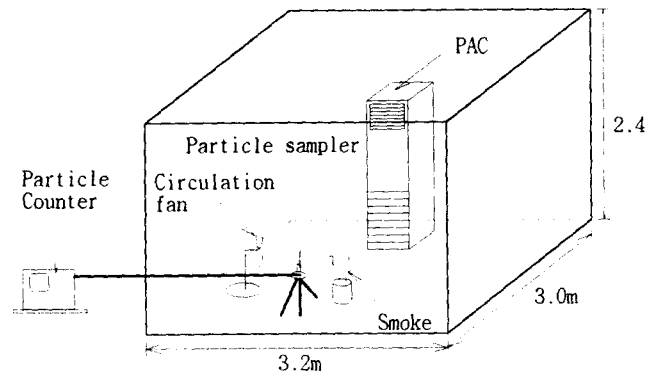


그림 4 집진효율 측정장치
Fig. 4 Setup of precipitation efficiency test in closed room

3.2 오존농도 측정장치 및 방법

오존농도 측정은 그림 3 및 그림 4의 집진효율 측정장치에서 입자샘플러에 연결된 레이저 파티클 카운터 대신 오존모니터(8810, Monitor Labs)를 연결하고, one pass식에서는 각 조건별로 5분간, circulation식에서는 각 조건별로 5시간씩 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

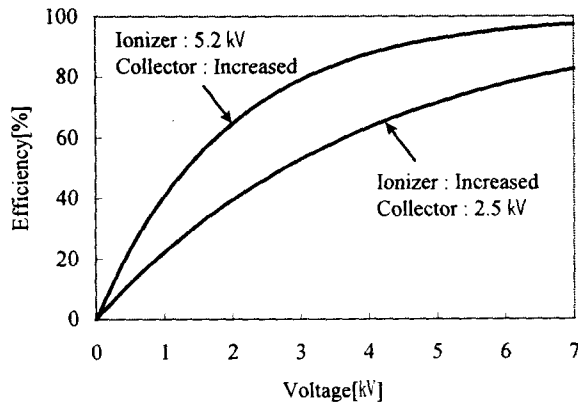


그림 5 인가전압의 변화에 따라 계산된 스크롤형 ESP의 집진효율 특성

Fig. 5 Calculated precipitation efficiency of scroll type ESP according to variation of applied voltage

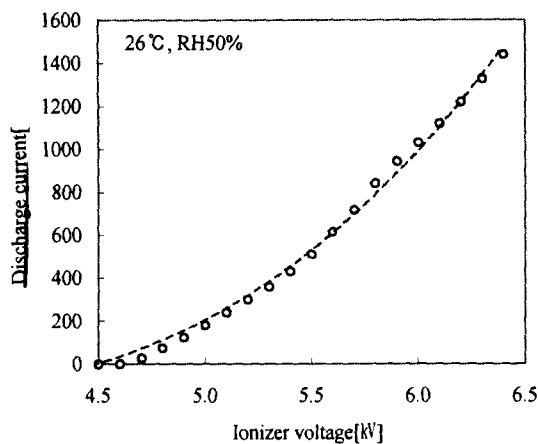


그림 6 스크롤형 ESP의 전압-전류 특성

Fig. 6 V-I characteristics of scroll type ESP

그림 5는 Deutsch식을 이용하여 인가전압의 변화에 따른 스크롤형 ESP의 집진효율을 계산한 그래프이다. 집진효율 계산시 인가전압 조건은 기존의 상용화된 스크롤형 ESP에 인가된 전압을 기준으로 전리부 인가전압을 가변시킬 경우는 집진부 인가전압을 2.5[kV]로, 집진부 인가전압을 가변시킬 경우는 전리부 인가전압을 5.2[kV]로 하였다. 이때 입자 입경은 0.5[μ m], 풍속은 0.75[m/s] 그리고 비집진면적은 25[s/m]로 하였다. 동일전압에서 보면 전리부 인가전압을 가변시키는 경우보다 집진부 인가전압을 가변시키는 경우 집진효율이 높게 나타난다. 이는 집진부 인가전압을 증가시키면 집진부 (+)전극과 접지전극간의 간격이 짧은 스크롤형 ESP에서는 입자이동속도 ω 가 전리부 인가전압을 증가시키는 경우보다 높게 나타나기 때문이다. 이로부터 전리부에 인가하는 전압을 증가시키는 것 보다 집진부에 인가하는 전압을 증가시키는 것이 집진효율을 향상시키기에 유리함을 알 수 있다.

그림 6은 본 연구에서 제작된 스크롤형 ESP의 전압-전류 특

성을 나타낸 것으로 전리부 인가전압을 증가시키기에 따라 4.5[kV] 근방에서 방전 개시된 후 방전전류는 전리부 인가전압이 5.2[kV] 일 때 300[μ A]였다. 그림 7은 전리부 인가전압에 따른 스크롤형 ESP의 집진효율 특성을 나타낸 것이다. 집진부의 길이 L이 10 [mm]인 경우가 25[mm]인 경우에 비하여 집진효율이 현저히 낮게 나타났다. 각각의 SCA가 8.2[s/m], 20.5[s/m]이므로 식(1)의 Deutsch식으로부터 SCA가 작은 경우 집진효율이 낮게 나타남을 알 수 있다. 그리고 두 경우 모두 전리부 인가전압 5.2[kV]에서 변곡점이 생겨 5.2[kV] 이상되는 전압부터는 집진효율 상승 기울기가 완만해지는 경향을 갖는다. 이로부터 본 연구에서 제작된 스크롤형 ESP는 방전전류가 약 95[μ A/m]되는 시점부터 집진효율이 포화됨[10]을 확인할 수 있었다. 이와 같이 집진효율이 전리부 인가전압을 증가시키기에 따라 포화되는 점을 갖는 것은 전계에 의한 입자의 하전량은 전리부 인가전압에 비례하지만 입자의 하전량과 비례관계에 있는 입자이동속도 ω 가 식(1) 우변 2 항의 지수항으로 나타나기 때문이다.

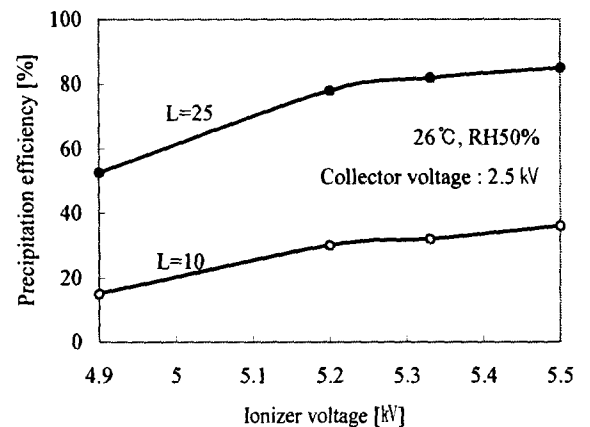


그림 7 전리부 인가전압에 따른 스크롤형 ESP의 집진효율

Fig. 7 Precipitation efficiency of scroll type ESP according to variation of ionizer voltage by one pass

그림 8은 전리부 인가전압 증가에 따른 오존발생농도 특성을 나타낸 것이다. 전리부 인가전압의 증가에 따라 오존의 발생량이 증가하는데, 이는 다음 식(6)과 같이 방전전류와 오존발생농도가 비례 관계에 있기 때문이다.[11] 여기서, I_c 는 코로나 방전 전류, n_e 는 방전화학에 관여하는 전자밀도, O 는 산소라디칼, O_3 는 오존발생농도이다.

$$I_c \propto n_e, n_e \propto [O], [O] \propto [O_3] \quad (6)$$

이로부터 주로 밀폐실에서 사용되는 가정용 전기식 공기정화 장치에 있어서 집진효율 향상을 위하여 전리부 인가전압을 증가시키면 오존발생농도가 증가함을 알 수 있다.

그림9는 집진부 인가전압에 따른 스크롤형 ESP의 집진효율 특성을 나타내고 있다. L=25[mm]인 경우, 집진부 인가전압의 증가에 따라 집진효율 상승율이 약 5[%/kV]로 완만하고, L=10[mm]인 경우, 집진부 인가전압이 3.5[kV]되는 점까지는 집진효율 상승율이 약 40[%/kV]로 급격히 상승하고 3.5[kV] 이후부터는 집진효율의 상승이 거의없는 특성을 보이고 있다. 이로부터 비집진면

적이 작은 L=10[mm]인 경우, 집진효율 향상을 위해서는 전리부 인가전압을 증가시키는 것보다 집진부 인가전압을 증가시키는 것이 유리함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 그림 7, 8 및 9로부터 가정용 공조기 제품의 공기정화용 ESP의 전리부 인가전압은 집진효율이 포화되는 5.2[kV]로 하고, 집진부 인가전압 역시 집진효율이 포화되는 3.5[kV]로 하므로써, L=10[mm]인 박형의 경우, 기존의 상용화된 스크롤형 ESP와 동일 조건으로 비교 시 one pass 집진효율 측면에서 30[%] 상승효과를 얻을 수 있었다. 그림10은 스크롤형 ESP의 전리부 및 포집부 인가전압을 각각 5.2[kV], 3.5[kV]로 하고 사용하지 않은 ESP와 60일간 사용한 ESP에 대한 밀폐실에서의 오존발생농도를 나타낸 것으로 3시간이 경과한 후부터 0.01[ppm]이하 수준으로 포화되는 특성을 나타냈으며, 60일간 사용한 것의 경우가 사용하지 않은 필터의 경우보다 약간 높은 경향을 보이지만 오존발생농도 최고치는 0.012[ppm]이었고, 사용하지 않은 필터의 경우 최고치는 0.008[ppm]으로 UL기준 0.05[ppm]에 훨씬 못미치는 수준이며, 오존의 취기농도 0.02[ppm][1]에도 미치지 않는 수준이었다. 이로써 오존발생농도를 최소화하면서도 집진효율의 향상을 도모할 수 있었다.

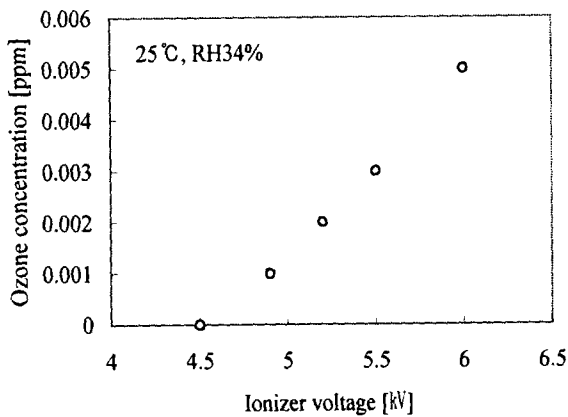


그림 8 전리부 인가전압 증가에 따른 오존 발생농도
Fig. 8 Ozone concentration according to increment of ionizer voltage by one pass

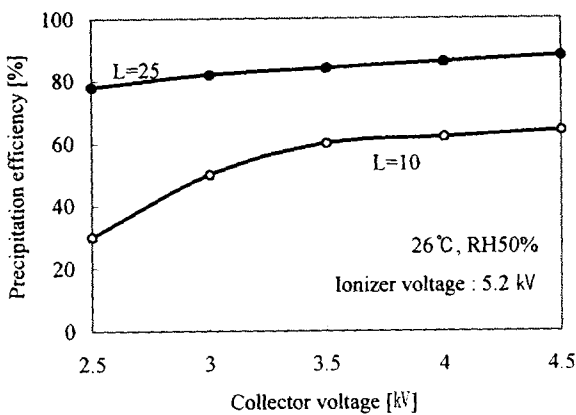


그림 9 집진부 인가전압에 따른 스크롤형 ESP의 집진효율
Fig. 9 Precipitator efficiency of scroll type ESP according to variation of collector voltage by onepass

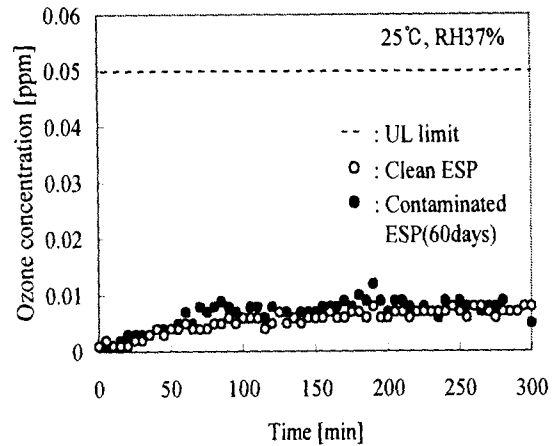


그림 10 밀폐실에서 스크롤형 ESP의 오존발생농도
Fig. 10 Ozone concentration of scroll type ESP in closed room

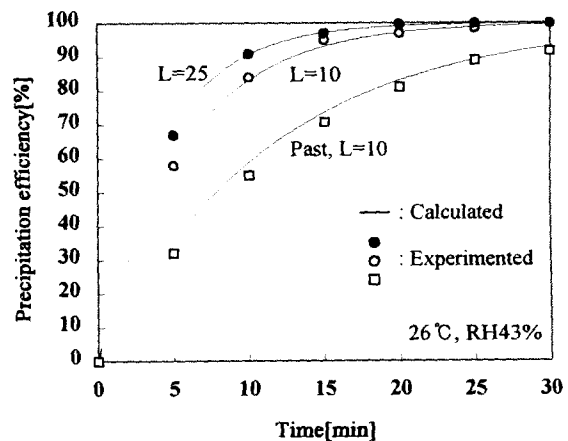


그림 11 밀폐실에서 스크롤형 ESP의 집진효율
Fig. 11 Precipitation efficiency of scroll type ESP in closed room

그림11은 3평형 밀폐실에서 스크롤형 ESP의 집진효율을 측정 한 것으로 L=25[mm]의 경우, 20분만에 100[%]에 가까운 효율을 보이고, L=10[mm]의 경우 30분이 경과한 후 100[%]에 가까운 효율을 나타내었으며, 식(7)과 같은 밀폐실에서의 효율계산식으로 계산한 값과도 대체로 잘 일치하고 있다. 또한 기존 ESP와 대비하여 30분 시점에서 약 10[%] 정도의 집진효율 향상을 볼 수 있었다. 여기서, V_0 는 실내용적, Q 는 유량, η 는 집진효율, $C(0)$ 는 실내용도 초기치, C 는 실내용도이다.

$$C = C(0) \cdot \exp\left(-\frac{Q\eta}{V_0}\right)t \quad (7)$$

5. 결론

가정용 스크롤형 ESP를 박형화하면서도 집진효율의 저하 및 오존발생량을 최소화하기 위하여 ESP의 전리부 및 포집부에 인

가하는 전압을 변수로 행한 실험결과 및 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Deutsch식에 의한 집진효율 계산과 집진효율 실험에 의하여 스크롤형 ESP에서는 전리부 인가전압을 증가시키는 것 보다 집진부 인가전압을 증가시키는 것이 오존발생 농도를 최소화하면서 집진효율을 향상시키는데 유리함을 알 수 있었다.

(2) 오존발생 농도를 최소화하면서 집진효율을 상승시키기 위하여 ESP의 전리부 인가전압은 증가시키지 않고, 집진부 인가전압만 기존 2.5[kV]에서 3.5[kV]로 증가시킴에 의하여 동일조건에서 one pass 집진효율이 종래 대비 약 30[%] 향상되었다. 이를 통하여 ESP의 박형화에 동반하는 비집진면적의 감소로 인한 집진효율의 저하를 최소화할 수 있었다.

(3) 스크롤형 ESP에 있어서 전리부 인가전압을 증가시킴에 따라 전리부 방전전류가 약 95[μ A/m]되는 5.2[kV]에서 집진효율이 포화됨을 확인할 수 있었으며, 23[m] 밀폐실에서의 오존농도는 0.01[ppm]에서 포화되었으며 이 값은 UL 기준보다 훨씬 낮은 농도임을 확인하였다.

이상의 결론들로부터 스크롤형 ESP에 대한 설계기법을 적용하면 신뢰성 있는 박형 ESP가 설계 가능하게 되어 보다 폭넓은 범위의 공조기 제품에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 石橋多聞, "オゾン利用の 新技", 三琢術書房, pp.176-177, 1986.
 [2] H. J. White, "Industrial Electrostatic Precipitation", Addison-Wesley, pp.155-195, 1963.
 [3] Jack R. McDonald et al, "A Mathematical Model for Calculating Electrical Conditions in Wire-duct Electrostatic Precipitation Devices", *J. Appl. Phys.*, vol. 48, no. 6, pp. 2231-2243, 1977.
 [4] J. S. Chang et al, "Handbook of Electrostatic Processes", Marcel Dekker, pp.441-479, 1995.
 [5] Judy A. Dorsey, Jane H. Davidson, "Ozone Production in Electrostatic Air Cleaners with Contaminated Electrodes", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 30, no. 2, pp.370-376, 1994.
 [6] 홍영기, 강광욱, 이성화, 손상철, "장시간 사용한 공조용 전기집진필터의 특성", *대한전기학회 추계학술대회*, pp.453-455, 1995.
 [7] Seiji Kanazawa et al, "Simultaneous Measurements of Wire Electrode Surface Contamination and Corona Discharge Characteristics in an Air-Cleaning Electrostatic Precipitator", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 33, no. 1, pp.279-285, 1997.
 [8] P. Cooperman, "A New Theory of Precipitator Efficiency", *Atmospheric Environment Pergamon Press*, vol. 5, pp.541- 551, 1971.
 [9] 藤村謙祐, 足立宣良, 赤崎正則, "任意のSCAにおけるMatts의 式の定數と見かけの粒子移動速度の推算", *靜電氣學會誌*,

vol. 14, no. 6, pp.487-493, 1990.

[10] 足立宣良 外 6名, "スクロール型電氣集塵装置の性能實驗", *靜電氣學會講演論文集*, pp.293-296, 1989.
 [11] 이성화, 염만오, 홍영기, 강광욱, "공기정화용 소형 전기집진장치의 집진효율에 관한 연구", *한국정밀공학회지*, vol. 14. no. 1, pp.84-89, 1997.
 [12] G. S. Peter Castle, Ion I. Inculet, K. Irwin Burgess, "Ozone Generation in Positive Corona Electrostatic Precipitators", *IEEE Trans. Ind. Gen. Appl.*, vol. IGA-5, no. 4, pp.489-496, 1969.

저 자 소 개



홍영기 (洪寧基)

1965년 11월 20일생. 1988년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1990~현재 LG전자 홈 어플라이언스 사업본부연구소 선임연구원.



신수연 (申修沆)

1968년 12월 24일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994~현재 LG전자 홈 어플라이언스 사업본부연구소 주임연구원.



조정수 (曹井守)

1935년 2월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 공대 전기공학과 졸업(공학박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.



박정후 (朴正后)

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~1983년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.