

論文98-35T-9-10

이단식 전기 집진 장치에서 하전부의 상대 위치 변화에 따른 집진 특성

(Precipitation Characteristics with the Relative Position of the Ionizer in a Two-stage Electrostatic Precipitator)

林憲燦*, 李德出**

(Hun-Chan Lim and Duck-Chool Lee)

요 약

이단식 소형 전기 집진 장치는 작업 환경에서 오존 발생이 극히 적은 정극성 코로나를 널리 사용하고 있지 만 이에 관한 과학적 연구보고는 적은 실정이다. 그러므로 이단식 소형전기 집진 장치의 기초 복성에 관하여 연구하였다. 모델 이단식 전기 집진 장치는 이론적 해석이 쉽고 하전부와 집진부의 상대 위치를 이동시킬 수 있는 구조로 제작하여 다음의 실험적 결론을 얻었다. 하전부의 코로나 방전은 집진부 전극의 전계 강도에 영향을 받고, 집진부 후방에서의 입자 농도는 집진부의 고압전극과 접지전극 사이에서 크게 변화하고 있다. 집진 효율은 집진부의 고압전극 후방이 접지전극 후방보다 높다. 측정 범위의 전 구간에서 입자농도를 적분하여 계산한 종합 집진 효율로부터 하전부의 방전극 바로 뒤에 집진부의 고압전극이 위치하는 구조가 접지전극이 위치하는 구조보다 높은 효율을 보이고 있다. 이것은 하전부와 집진부의 상대적 위치 관계가 집진 효율 특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Abstract

A compact ESP of two-stage type is widely used with positive corona discharge in working environment where the production of ozone is extremely prohibited. Since there are few scientific reports on a compact ESP, we have investigated the fundamental characteristics of a two-stage ESP. A model two-stage ESP is made with simple structure in order to simplify theoretical analysis and the relative position of the ionizer and collector section can be changed. The experimental investigation revealed many interesting facts: The electric field in the collector electrodes affects the corona discharge of the ionizer. The concentration of particles after collector remarkably varied in the region between the high voltage and grounded electrodes. The collection efficiency right behind the high voltage electrode is much greater than that behind the grounded one. The total collection efficiency, calculated by integrating the particle concentration in whole measuring region, is greater when the high voltage electrode of the collector is located behind the discharge electrode of ionizer. Thus, the relative position of the ionizer and collector electrodes affects the precipitation characteristics.

* 正會員, 大邱工業大學 電氣科

(Dept. of Electrical Engineering, Taegu Technical College)

** 正會員, 仁荷大學校 工科學 電氣工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Inha University)

接受日字: 1998年8月21日, 수정완료일: 1998年9月23日

I. 서 론

전기 집진 장치는 여과식 집진 장치에 비해 압력 손실이 적고, 보수가 용이하며, 모든 종류의 고체·액체의 더스트(dust), 미스트(mist), 흠(fume) 등의 초미립자까지도 고효율로 포집 할 수 있는 특징이 있기 때문에 여러 산업 분야에 응용되고 있으며, 오염원의 종류나 규모에 따라 여러 가지의 형식이 개발되어 있

다.^[1~5] 대기 오염 방지를 위한 제철소 및 화력 발전소등의 대형 공장에서 사용하는 공업용 전기 집진 장치는 처리능력이 크고 고전압에서도 이상 불꽃방전에 안정적인 부코로나 방전특성을 이용하고 있다. 이들은 하전부와 집진부가 일체형인 일단식이 주로 사용되고 있으며 현재 기술적으로도 매우 발전되어 있다.^[6~7]

그러나 최근 사람들의 환경에 대한 인식이 높아지고 실내에서의 오염방지에 큰 관심을 기울이면서 주택, 사무실, 병원 및 작업장 등의 실내 공간에서 청정한 공기를 유지하기 위하여 소형의 전기 집진 장치의 사용이 증가하고 있다. 특히, 중소기업의 기계공장과 같은 협소한 실내에서는 기계장치가 작업 공간에 개방되어 오염입자가 직접 실내로 튀기고, 튀긴 오염입자는 더욱 공간으로 확산하여 실내를 더럽히며 작업원의 건강을 해칠 뿐만 아니라 공작기계 자체의 수명도 단축시키는 이유 등으로 이들의 사용에 많은 관심을 가지고 있다. 소형 전기 집진 장치는 인체에 해로운 오존의 발생 비율이 적은 정 극성 코로나 방전 특성을 채택하고, 구조는 하전부와 집진부가 분리된 이단식의 집진 장치를 주로 사용하고 있다.^[8~10] 이들은 현재 여러 가지의 형식이 시판되고 널리 보급되어 있지만 이에 관한 연구보고는 적은 실정이며, 특히 코로나를 발생시키는 하전부와 집진부와의 상호 위치 관계가 집진 효율에 미치는 영향에 관한 보고는 전무하다.

본 연구에서는 집진 특성의 해석이 용이하도록 소형의 모델 이단식 전기 집진 장치를 제작하고, 하전부와 집진부의 전극 배치와 상호 위치 관계에 따른 집진 효율을 측정하여 이단식 전기 집진 장치의 집진 특성을 조사하였다.

II. 실험장치 및 방법

실험장치는 이론적 해석이 용이하고 전극의 상대적 위치 관계의 영향을 조사할 수 있도록 하전부를 좌우로 이동할 수 있는 구조의 모델 이단식 전기 집진 장치를 제작하여 그림 1에 나타내었다. 하전부는 텅스텐 재질의 직경 100 μ m 방전선 1선과 폭 20mm, 간격 40mm인 황동 재질의 2개의 대향 평판전극으로 제작하였고, 집진부는 5개의 평판전극으로 간격 20mm로 하여 고압전극과 접지전극을 교대로 구성하였다. 하전

부와 집진부의 이격거리는 10mm이고, 하전부는 집진부에 대해 중앙위치에서 좌우로 각각 20mm의 범위에서 이동할 수 있도록 하였다.

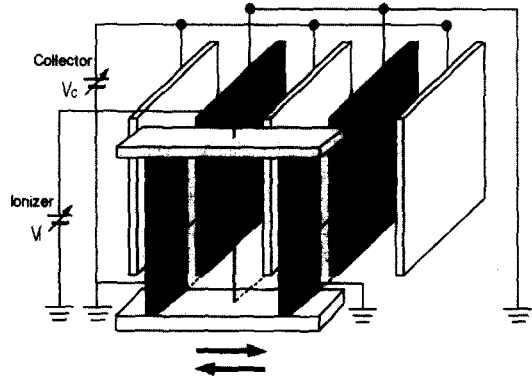


그림 1. 이단식 전기 집진 장치
Fig. 1. Two-stage electrostatic precipitator.

부 하전부는 방전선에 정(+)의 고전압(V_i) 12kV를 인가하고 대향전극은 접지시켰으며, 집진부는 3개의 전극에 정(+)의 고전압(V_c) 6kV를 기본으로 인가하고 나머지 2개의 전극은 접지를 하였다. 이 전기장치부는 원통형의 아크릴 파이프 내부에 배치하였고, 집진 장치 내부에서 유속분포가 일정한 층류를 형성하도록 전기장치부의 상부와 하부에 정류용 판(honeycomb board)을 배치하였으며 실험장치의 개략도는 그림 2와 같다. 오염입자 대응의 더스트는 JIS규격 JIS Z8901에서 규정된 시험용 더스트 14종의 DOP (Dioctyl Phthalate)유를 사용하였고^[11], 이를 입자 발생장치에 의해 DOP 입자를 발생시켜 장치로 보내

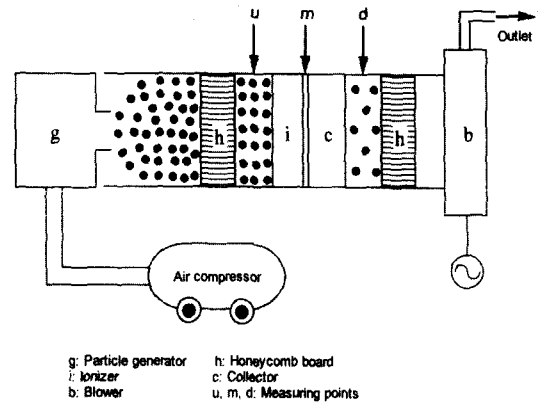


그림 2. 실험장치 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

도록 하였다. 장치내부의 풍속은 전압을 가변시켜 변화시켰다.

DOP 입자농도는 질량농도로 나타내는 입자농도 측정기(ATI사, TDA-2EL)에 의해 측정하였고, 측정 위치는 그림 3과 같이 하전부의 상류 측(점 u)과 집진부의 하류 측(점 d) 및 하전부와 집진부의 사이(점 m)의 3점으로 정하였다. 실험은 주로 측정위치 u 및 d에서 측정하였다. 그림 3(a)의 $X_i=0$ 은 하전부의 방전선 위치가 집진 전극 부의 고압이 인가되는 중앙 위치의 전극과 일치하는 경우이고, 그림 3(b)의 $X_i > 0$ 은 집진부에 대해 하전부의 상대 위치가 우측으로 이동한 경우를 의미한다. 점 u 및 점 d에서의 입자농도 분포는 하전부의 접지전극 사이($x=0 \sim 40\text{mm}$)를 측정범위로 하여 입자농도 측정기의 프로우브를 5mm 간격으로 이동하면서 측정하였다.

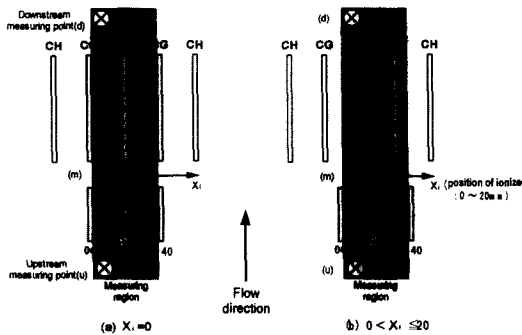


그림 3. 측정 범위 설명도
Fig. 3. Explanation of measuring region.

각각의 측정 프로우브의 집진 효율(η)은 집진 장치에서의 상류 측 입자농도(C_i)와 하류 측 입자농도(C_o)로부터 다음의 식(1)에 의해 구하였다.

$$\eta = \frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100[\%] \quad (1)$$

η : 집진 효율, C_i : 점 u에서의 입자농도, C_o : 점 d에서의 입자농도

III. 실험 결과

1. DOP 입자의 입도 분포

분진입자의 대응으로 사용한 DOP 입자의 입도 분포를 입자카운터(MET ONE사)로 측정하여 그림 4에

나타내었다. 입도 분포는 입자경 0.2~0.3 μm 에서 최대 값을 나타내며 평균값의 입자경은 1 μm 정도이고, 5 μm 이상도 약 4.4%를 포함하고 있다. 이것을 정규분포에 의해 입자의 평균 입경을 구하면 1.0~5 μm 의 범위에서 변화하고 있다.

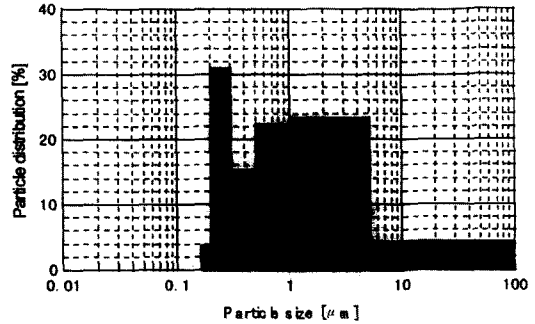


그림 4. DOP 입자의 입도 분포
Fig. 4. Particle distribution of DOP.

2. 하전부의 코로나 방전특성

하전부의 위치는 방전선의 하부에 집진부의 중앙에 있는 고압 전극이 위치할 때, 집진부의 전극에 전압을 인가하지 않은 경우와 6kV를 인가한 경우의 정 코로나 방전특성을 그림 5에 나타낸다. 하전부의 코로나 전류는 일반적으로 선-평판전극과 유사하게 나타나지만 집진부에 전압을 인가한 경우가 약간 낮은 경향을 보이고 있다. 코로나 방전 개시전압도 집진부에 전압을 인가한 경우는 5.9kV, 인가하지 않은 경우는 5.5kV이며 전압을 인가한 경우가 약간 높다. 이 값으로부터 하전부에서의 코로나 방전은 하부에 설치된 집진부의 인가 전계로 인하여 영향을 받고 있는 것을 알

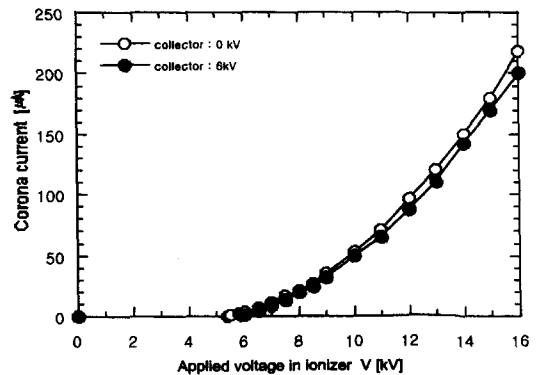


그림 5. 하전부의 V-I 특성
Fig. 5. V-I characteristics of ionizer.

수 있다.

3. 하전부에서의 집진 특성

집진부의 전극사이에서 포집 되는 과정의 입자 궤적을 확인하기 위하여 하전부 자체의 상부와 하부에서의 평판전극 범위 내에서 DOP 입자 분포를 조사하였다. 그림 6은 입자발생 농도 30mg/m^3 , 풍속 0.5m/s 의 조건하에서 그림 3(a)와 같이 하전부의 상부와 하부(측정위치 u와 m)에서 측정된 입자농도 분포를 나타낸 것이다. 하전부를 통과하면서 포집 되는 DOP 입자의 집진 효율은 식 (1)로부터 약 20~25%이었고 하전부의 평판전극 범위($0 \leq x \leq 40\text{mm}$)에서의 DOP 입자 분포는 거의 일정하게 나타났다. 이것으로부터 하전부를 통과한 DOP 입자는 집진부에 균일한 농도로 들어오고 있음을 확인할 수 있었으며, 집진부 전극 구간에서의 입자 궤적을 조사하는데 중요한 요소가 된다.

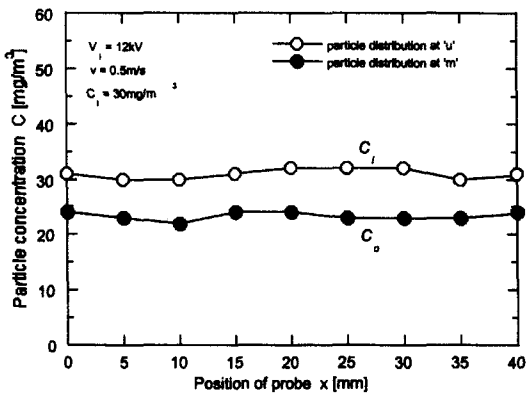


그림 6. 하전부의 상부와 하부에서의 입자농도 분포
Fig. 6. Particle concentration before and after ionizer.

4. 입자농도와 집진 효율

그림 7은 그림 3(a)와 같이 하전부 위치 $X_i=0\text{mm}$ 인 경우, 전기장기부의 상부(측정점 u)와 하부(측정점 d)의 측정 범위($0 \leq x \leq 40\text{mm}$)에서 프로우브를 5mm간격으로 DOP 입자농도를 측정된 것이고, 그림 8은 풍속변화에 대하여 측정된 입자농도를 식 (1)에 대입하여 구한 집진 효율을 나타낸 것이다. 그림 7과 그림 8에서 ∇ 는 집진부의 고압전극(CH), \blacktriangledown 는 접지전극(CG)의 위치를 나타내며, 방전극은 $x=20\text{mm}$ 의 위치에 있다. 이들은 모두 하전부 상부의 입자농도는

거의 일정하지만 집진부 하부에서는 감소하고 측정 범위의 중앙($x=20\text{mm}$)에서 최소의 농도 분포를 나타내고 있다. 또 집진 효율도 $x=20\text{mm}$ 즉, 집진부의 고압전극 후방에서 최대이며, 풍속이 낮을 수록 높은 일반적인 현상을 보이고 있다.

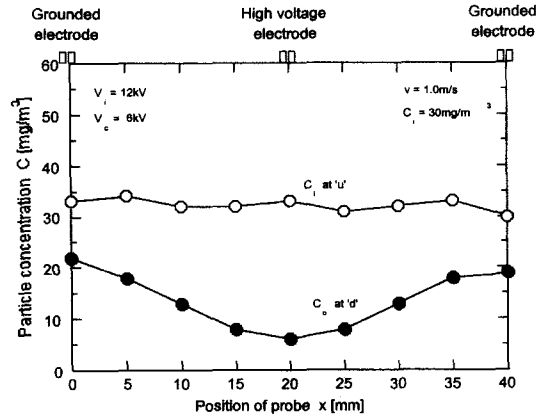


그림 7. 하전부 위치 $X_i=0\text{mm}$ 에서 집진장치의 상부와 하부에서의 입자농도 분포

Fig. 7. Particle concentration before and after ionizer of precipitator in the position of $X_i=0\text{mm}$.

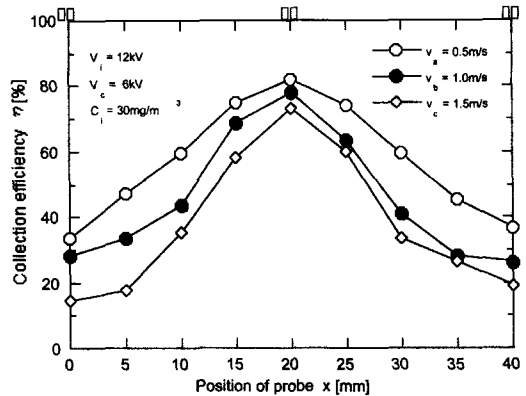


그림 8. 집진효율의 풍속 의존성

Fig. 8. Wind velocity dependence on collection efficiency η .

5. 하전부의 상대 위치에 따른 집진 효율

그림 9는 집진부에 대한 하전부의 상대적 위치 변화에 따른 집진 효율로써, 하전부와 집진부에 각각 12kV, 6kV의 전압을 인가한 상태에서, 그림 3(b)와 같이 하전부의 집진부에 대한 상대 위치를 중앙에서

우측으로 5mm씩 수평 이동($X_i=0\sim 20\text{mm}$)하면서 입자농도를 측정하여 식(1)에 의해 구한 각각의 집진 효율을 나타낸다. 이 결과 입자농도는 집진부의 후방에서 일정하지 않고, 집진 효율은 X_i 의 상대적 위치 변화에 관계없이 모두 고압전극 후방이 접지전극 후방보다 높은 경향을 보이고 있다. 이것은 하전부와 집진부의 상대적인 위치 관계가 집진 효율에 영향을 미치고 있는 가능성을 알 수 있다.

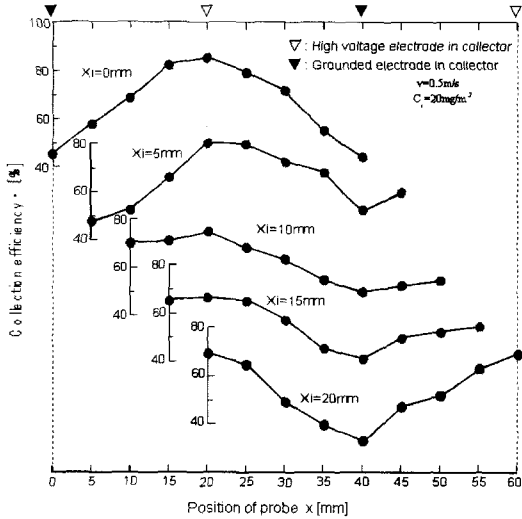


그림 9. 하전부 상대 위치 X_i 와 집진 효율 η 과의 관계

Fig. 9. Relationships between collection efficiency η and position of ionizer X_i .

6. 하전부의 상대 위치와 종합 집진 효율의 관계
전기장치부의 상부와 하부에서 측정된 DOP 입자농도를 측정 범위의 전 구간($x=0\sim 40\text{mm}$)에 걸쳐 각각 적분하고 그 값으로부터 식(1)에 의해 종합 집진 효율을 구하였다. 그림 10은 집진부에 대한 하전부의 상대 위치(X_i)와 종합 집진 효율(η)과의 관계를 나타낸다.

종합 집진 효율은 $X_i=0\text{mm}$ 의 위치에서 대체로 높고, X_i 의 증가와 더불어 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 동일 조건하에서 방전선의 바로 뒤에 집진부의 고압전극이 위치($X_i=0\text{mm}$)하는 범위의 종합 집진 효율은 $X_i=20\text{mm}$ 보다 6~10%정도 높은 값을 보이고 있다. 이 결과로부터 방전선의 바로 후방에 접지전극이 위치하면 전기력선 분포가 변화하여 코로나 방전에 의해 생성된 이온이 직접 집진 전극으로 누설되어

DOP 입자의 하전에 일부가 이용되지 않을 가능성이 있고, 하전부와 집진부의 상대적 위치 관계가 집진 효율 특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

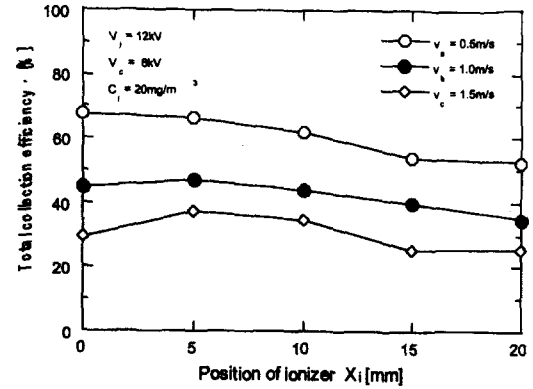


그림 10. 하전부의 상대 위치 X_i 와 종합 집진 효율 η 과의 관계

Fig. 10. Relationships between total collection efficiency η .

IV. 결론

본 연구는 전기 집진 장치에서 하전부의 위치 변화에 따른 입자의 집진 특성을 연구하기 위한 것으로 해석이 용이하도록 장치를 제작하여 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 하전부의 코로나 방전특성에서 코로나 개시전압은 집진부에 전압을 인가한 경우(5.9kV)가 인가하지 않은 경우(5.5kV)보다 높고, 코로나 전류는 집진부에 전압을 인가한 경우가 약간 낮게 나타났다. 이것으로부터 하전부의 코로나 방전특성은 하전부의 하부에 설치된 집진부의 전계 분포에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.
2. 풍속이 빠를 수록 집진 효율은 낮아진다. 이것은 하전부에서 대전된 입자가 집진부에서 편향력을 얻어 포집되기 전에 통과하기 때문으로 생각된다.
3. 균일한 분포로 유입된 입자농도는 집진부의 후방에서 크게 감소하고 집진 전극 간의 수평 방향으로 균일하지 않은 입자농도 분포를 나타내고 있다. 입자농도는 집진부의 고압전극 후방이 접지전극 후방보다 적음을 알 수 있다.
4. 측정 범위 전 영역에 걸쳐 적분한 종합 집진 효

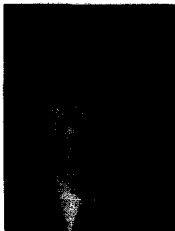
올로부터 하전부의 방전극 바로 뒤에 고압전극이 위치하는 구조가 집진전극이 위치하는 구조보다 약 10% 정도 높은 효율을 보이고 있다. 이것은 하전부와 집진부의 상대적 위치 관계가 집진 효율 특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

이상의 실험 결과로부터 집진부에 대한 하전부의 상대적 위치 변화는 집진 성능에 중요한 영향을 미치고 있고 집진 장치의 설계시 하전부의 방전극과 집진부 전극의 배치 관계도 고려해야 할 요소임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

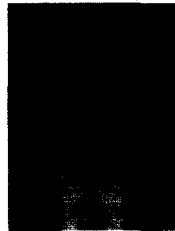
- [1] 靜電氣學會編, 靜電氣ハンドブック, オ-ム社, 第 16章, 日本, 1981.
- [2] 日本空氣清淨協會編, 空氣清淨ハンドブック, オ-ム社, pp.247~248, 1981.
- [3] 高分子學會編, 靜電氣ハンドブック, 地人書館, 第 4章, 日本, 1967.
- [4] H. J. White; Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley, Reading, Mass, 1963.
- [5] S. Oglesby and G. B Nichols; Electrostatic Precipitation, Marcel Dekker, New York, 1978.
- [6] 淺野和俊, 大橋朝夫; 靜電氣工學演習, 朝倉書店, pp.73~81, 1985.
- [7] Jean Cross; Electrostatics : Principle, Problem and Applications, Adam Hilger, pp.161~163, Australia, 1987.
- [8] G. W. Penny; Elect. Eng., 56, 159, 1937
- [9] 鳥山四男, 斗ヶ澤賢治, 市村豊; 日本電氣學會誌, 58, 629(1938).
- [10] K. Asano et al; 日本靜電氣學會講演論文集'97, pp199~202, 1997.
- [11] 日本工業規格; 試驗用粉体及び試驗用粒子, JIS Z8901, 1995.

저 자 소 개



林憲燦(正會員)

1960년 3월 26일생. 1984년 2월 인하대학교 전기공학과(공학사). 1986년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1991년 3월 ~ 현재 인하대학교 대학원 전기공학과 박사 수료(재료 및 물성전공). 1992년 8월 ~ 현재 대구공업대학 전기과 조교수. 1997년 3월 ~ 1998년 2월 일본 山形大學 電子情報工學科 객원연구원



李德出(正會員)

1939년 1월 22일생. 1963년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1966년 2월 인하대학교 전기공학과 석사. 1976년 9월 일본 나고야대학 전기공학과(공학박). 1981년 8월 일본 나고야 대학 전기공학과 방문교수. 1998년 ~ 현재 인하대학교 전기공학과 교수. 1998년 ~ 현재 대한전기학회장