

## 활성탄으로 코팅된 전극에서 분진의 제거

### Removal of Dust in Positive and Negative Plates of Electrode Coated with Activated Carbon

김광수\* · 박현철<sup>1)</sup> · 전태환<sup>1)</sup> · 이주행<sup>1)</sup> · 남상철

한국건설기술연구원 환경연구실, <sup>1)</sup>과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과  
(2013년 10월 11일 접수, 2013년 10월 22일 수정, 2013년 11월 18일 채택)

Kwang Soo Kim\*, Hyun Chul Park<sup>1)</sup>, Tae Hwan Jun<sup>1)</sup>,  
Ju Haeng Lee<sup>1)</sup> and Sang Chul Nam  
*Korea Institute of Construction Technology,*  
*<sup>1)</sup>University of Science and Technology*

(Received 11 October 2013, revised 22 October 2013, accepted 18 November 2013)

#### Abstract

The purposes of this research are to know the dust removal efficiency according to the changes of gab between positive and negative plates in dust removal chamber. The experiments for dust removal efficiencies were conducted with changing the electrode-plate gab from 2 cm to 1 cm while the electric pressure, influent flow, and linear velocity were kept 5 kV, 80 L/min, and 6 cm/sec, respectively. From the experimental results of the electrode-plate gab of 2 cm, dust removal efficiencies were decreased to as low as about 50%. Attached dust on the surface of electrodes was released due to a reverse electric charge of dust. From the experimental results of the electrode-plate gab of 1 cm, dust removal efficiencies were increased to as high as about 80% due to the dust attachment velocity to the electrodes to be far more fast than influent linear velocity. Finally, to protect a attached dust from occurring a reverse electric charge it is needed to install the non-conductor between positive and negative electrodes and also to remove air humidity.

**Key words** : Activated carbon electrode, Dust removal efficiencies, Reverse electric charge, Linear velocity

#### 1. 서 론

도로 교통량의 증가와 함께 도로에서 발생하는 환경오염물질로는 소음, 분진, 휘발성 물질 세 가지로

구분할 수 있으며, 이중 장대터널에서 발생하는 물질 중 가장 큰 오염물질은 매연 등에 의한 분진물질이다. 종래의 분진물질을 제거하는 대표적인 방법으로 전기집진 (electrostatic precipitator) 방법이 있다. 전기 집진장치는 1 $\mu$ m 이하의 입자도 높은 제거효율로 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 에너지 소모와 압력손실이 적으며 비교적 높은 온도의 가스도 취급할 수 있다는 장점이 있다 (Wang *et al.*, 2008). 그러나 전기집

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)31-910-0299, Email : kskim@kict.re.kr

진장치에서는 코로나(corona) 방전 시 고압의 직류전류가 요구되어 많은 전기가 대량 소요되는 문제점이 있고, 전기집진장치의 전극판은 통상 스테인레스 스틸 또는 철판 등을 이용하는데, 철판은 분진이 부착할 수 있는 비표면적이 낮고 전류밀도가 전극판의 엣지(edge)에만 집중되어, 전극판 표면에 고르게 부착되지 않는 문제점이 있다(Chai *et al.*, 2009). 이와 같은 전기집진장치의 문제점 때문에 정전기를 이용하여 분진제거효율을 높이는 방법으로 습식세정(wet scrubber) 또는 부직포를 이용하는 백필터(bag filter) 등의 공정에서는 유입되는 공기를 방전시켜서 분진을 대전시켜 사용하는 방법으로 기술의 흐름이 전환되었다(Haibo and Zheng, 2008; Mazumder *et al.*, 2006). 코로나 방전을 수행하는 전기집진장치에서 전극간격 및 전극의 비표면적은 중요한 요소는 아니지만 코로나 방전이 없는 공정에서는 전기장을 형성하는 전극의 간격과 전류의 밀도가 가장 중요한 요소이다(Chai *et al.*, 2009). 이에 대한 대안으로 전극판에 전류를 골고루 분포시키고 전극판의 비표면적을 증대시키는 방안으로 알루미늄판에 활성탄을 박판으로 코팅한 전극을 이용하여 코로나 방전없이도 분진제거가 탁월한 활성탄 박판전극을 개발하였다(Kim and Park, 2010).

본 연구에서는 활성탄 전극을 실용화 함에 있어서 가장 중요한 것은 전극간의 간격이라고 판단하여 전극간의 간격을 변화시켜서 제거효율을 알아보고, 각 간격 별 분진 유입구로부터 출구까지의 거리에 따른 분진부착량을 측정하여 활성탄 전극에서의 분진제거 효율 및 효율에 관련된 분진의 탈·부착특성을 알아보고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 활성탄 전극의 제조

활성탄 전극 제조시 가장 중요한 점은 전극에 활성탄을 부착시키기 위해서는 바인더(binder)가 필요하며, 바인더제 주입시 활성탄 세공이 막히는 문제점이 있다. 접착제는 불소계로는 PTFE (polytetrafluoroethylene) 및 PVdF (polyvinylidene fluoride) 등(Pawn and Bhatti, 2010)이 있으며 이들은 수중에서는 부착력이 있으나 대기중에서 건조시에는 부스러지는

문제가 있었으며 비닐계인 PVA (poly vinyl acetate)는 분진제거용으로 사용하기 위하여 다음과 같이 전극을 제조하였다(Kim and Park, 2012). 이를 위해서 본 연구에서는 분말활성탄 세공에 접착제의 용매제인 메탄올을 충전시키고 접착제(PVA)와 혼합 후 세공에 메탄올을 휘발시키기 위하여 메탄올 휘발점보다 훨씬 높은 약 100°C서 약 1시간 건조시켰다. 건조과정에서 활성탄 세공은 그대로 살아 있고, 접착제는 굳어짐을 이용하는 방법으로 제작하였다. 활성탄과 PVA와의 배합무게비는 1 : 0.2~0.3이 적당하였고 black carbon은 전기전도도를 향상시키기 위하여 주입하였다.

## 2.2 실험장치 및 내용

### 2.2.1 실험장치

실험장치는 분진발생장치, 먼지홀더, 유입유량계, 분진제거 활성탄 전극조, 그리고 처리공기 유출부로 구성되어있다.

분진발생장치는 일본 kanomax사의 Model 3211 fluidized bed dust generator를 사용하였다. 실험에 사용한 분진(Association powder process industry. Eng., Japan)의 주성분은 실리카이고, 크기는 1~8 μm였다. 분진발생원리는 컨베이어에 의해 이송된 분진은 콤프레서의 유압에 의해 유동되는 sand bed로 유입되어, 분진이 발생되며 발생된 분진은 홀더로 유입된 후, 홀더에서는 추가로 blower에 의해 발생하는 주입 공기량을 이용하여 농도를 조절하였다. 분진제거 활성탄 전극조는 분진유입부와 분진제거 전극조로 구성하였다. 분진 유입부는 유입된 공기가 45°로 확산되도록 콘(cone)형태로 제작하였고, 전극조는 10개의 모듈(W 15 cm×H 15 cm×L 10 cm)로 구성하고, 각각의 모듈은 2개의 셀(cell, W 14.5 cm×H 14.5 cm×L 4.5 cm)이 안착될 수 있도록 하였으며, 각 셀에는 0.5 cm 간격으로 전극판(알루미늄 판 두께 1 mm, H 14.5 cm×L 4.5 cm)이 설치될 수 있도록 하였다. 그리고 유출부는 유입부 마찬가지로 콘 형태로 제작하였다.

그림 1은 실험장치 전체모형, 모듈, 셀 그리고 전극의 크기에 대하여 나타낸 것이다.

### 2.2.2 분진제거 효율 및 분진의 이동실험

전극판의 간격에 따른 분진제거효율을 알아보기 위하여 유입전압, 유입분진속도 및 선속도는 각각 5

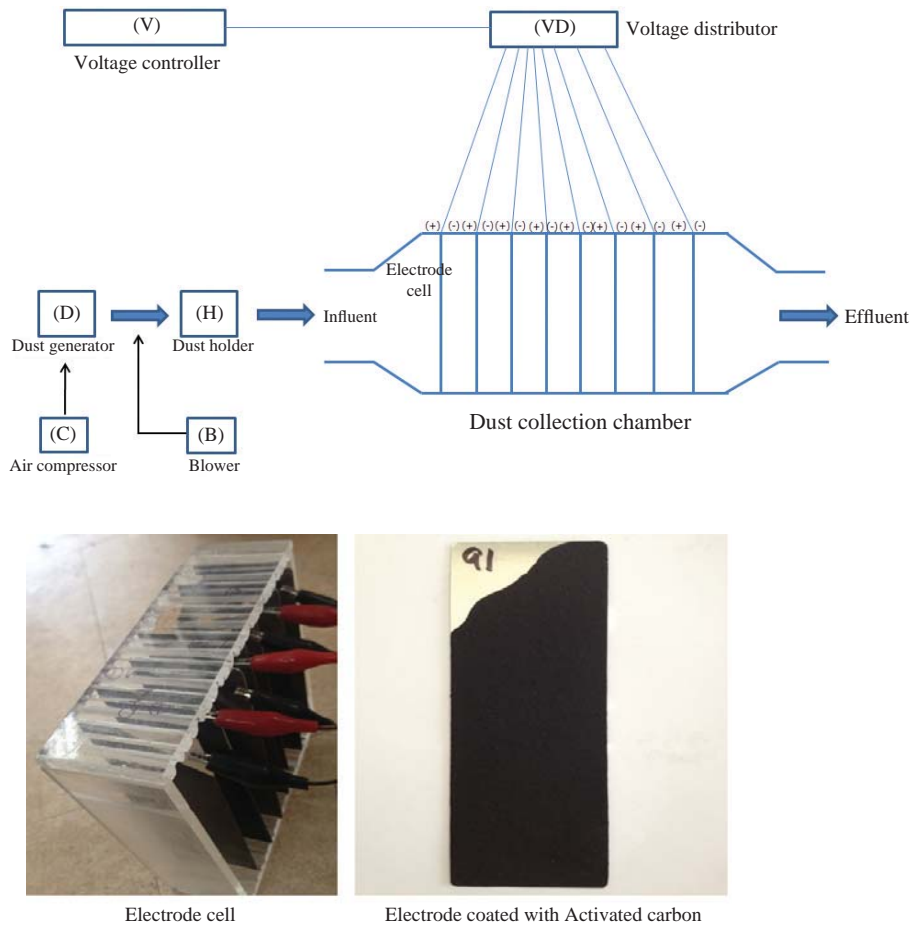


Fig. 1. Schematic diagram of dust removal chamber installed with activated carbon coated electrode-plate.

kV, 80 L/min, 6 cm/sec로 고정시키고, 전극판의 간격은 2 cm 및 1 cm로 변화시켜 수행하였다. 전극간격 2 cm의 경우는 각 셀에 8개의 전극을 삽입하고 6개의 셀을 직렬로 설치하여 총 64개의 전극판으로 운전하였으며, 전극간격 1 cm의 경우는 각 셀에 11개의 전극을 설치하고 마찬가지로 직렬로 6개의 셀을 설치하여 88개의 전극판으로 운전하였다.

전극판에서 분진의 이동을 알아보기 위하여 각각의 전극간격에서 분진주입 입구부터 최종 처리 후의 유출구까지 거리별로 분진의 농도를 알아보고, 각 전극판에 부착된 분진량을 측정하였다. 그리고 양전극 및 음전극만을 한 쌍으로 설치한 단전극에서의 분진 이동을 미세하게 알아보았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전극간격 2 cm에서의 분진제거

그림 2는 전극간격 2 cm에서 측정된 유입분진 농도 및 유출분진농도 그리고 제거효율을 나타낸 것이다.

유입분진 농도는 약 9 mg/m<sup>3</sup>으로 유입되고 유출농도는 약 4 mg/m<sup>3</sup>로 제거효율은 초기에는 약 68%로 유지되다가 점차 저하되어 제거효율은 53%에 이르렀다.

그림 3은 그림 2의 연속 실험 후 추가로 분진 유입구에서 거리에 따른 분진농도의 분포를 약 30분씩 측정하여 거리별로 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는

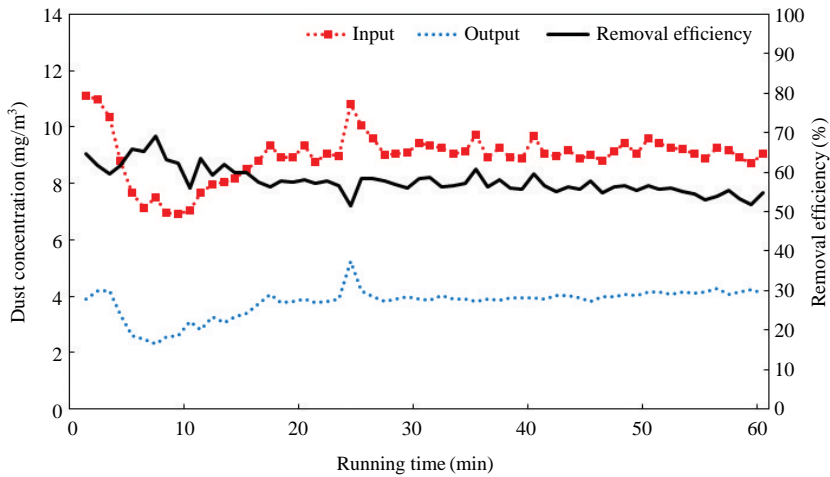


Fig. 2. Observation of influent and effluent dust concentration under the running condition of the electrode-plate gab of 2 cm.

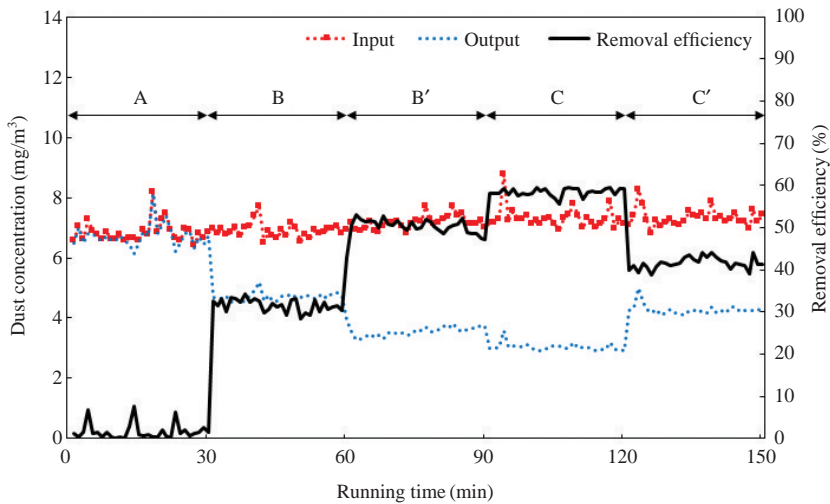


Fig. 3. Dust removal efficiency and effluent concentration at different distances from the mouth of dust inlet under the running condition of the electrode-plate gab of 2 cm (A: 20 cm far from inlet, B: 30 cm far from inlet, B': 40 cm far from inlet, C: 50 cm far from inlet, C': 60 cm far from inlet).

바와 같이 유입부 초기에서는 거의 제거되지 않다가 거리가 멀어질수록 다시말하여 전극수가 늘어날수록 제거효율은 점차적으로 증가하며 그 효율의 증가폭도 매우 유사하였으나, 마지막 후단에서는 반대로 효율이 저하됨을 보여주었다. 그림 2의 연속실험 결과에서 시간에 따라 제거효율이 저하되는 현상은 마지막 후단에서 부착되었던 분진이 탈착되었기 때문인

것으로 사료되었다.

한편 그림 4는 그림 2 및 그림 3의 실험 종료 후 거리별로 각 셀의 전극에 부착된 무게를 측정하여 나타낸 것이다. 유입구에 설치된 2번째 셀에서 평균 부착량은 약 8mg, 네 번째 셀에서는 10mg, 다섯 번째 셀에서는 6mg, 마지막 여섯 번째 셀에서는 5.5mg으로 전반부에는 부착량이 많고, 후단으로 갈수록

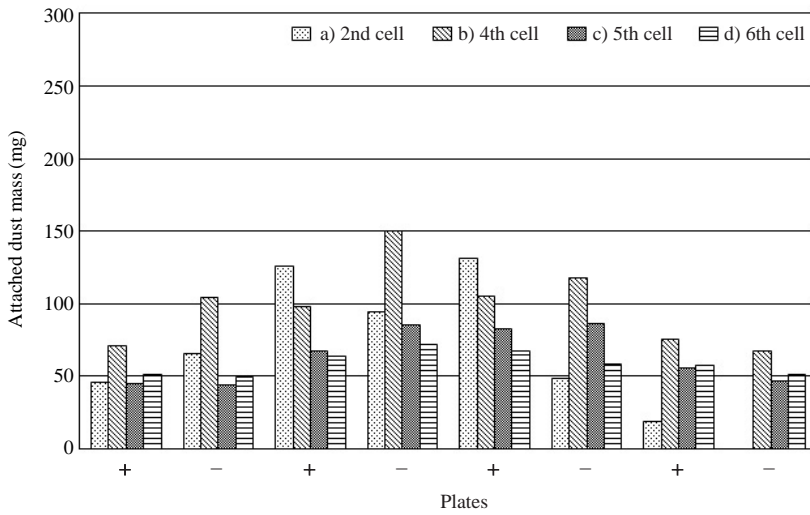


Fig. 4. Attached dust mass at different distances from the mouth of dust inlet under the running condition of the electrode-plate gab of 2 cm.

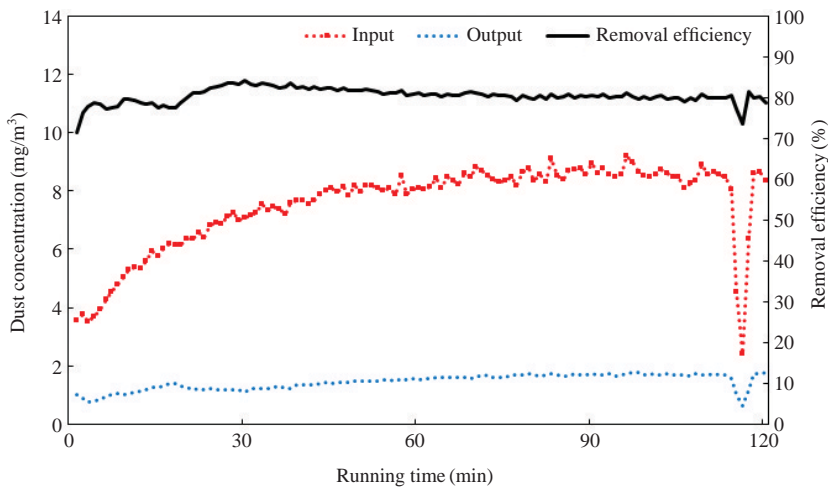


Fig. 5. Observation of influent and effluent dust concentration under the running condition of the electrode-plate gab of 1 cm.

부착량이 다소 저하되는 경향을 보여 주었다. 하지만, 거리에 따른 각 셀별 부착된 분진무게의 추세를 살펴보면 각 셀별로 부착량은 감소는 하지만 그 차이가 매우 미미함을 알 수 있다. 이는 전극 간격 2 cm는 간격이 너무 넓어서 발생하는 정전기량이 충분하지 못하여 유입분진이 그대로 패싱 (passing)되거나 (Calle *et al.*, 2009) 또는 부착된 먼지도 탈착되

어 후단으로 이동하기 때문에 탈착에 의해 분진제거 효율이 낮고 동시에 셀전반에 걸쳐서 분진이 부착되었다고 판단되었다.

### 3. 2 전극간격 1 cm에서의 분진제거

그림 5는 전극간격 1 cm에서 측정된 유입분진 농도 및 유출분진농도 그리고 제거효율을 나타낸 것이

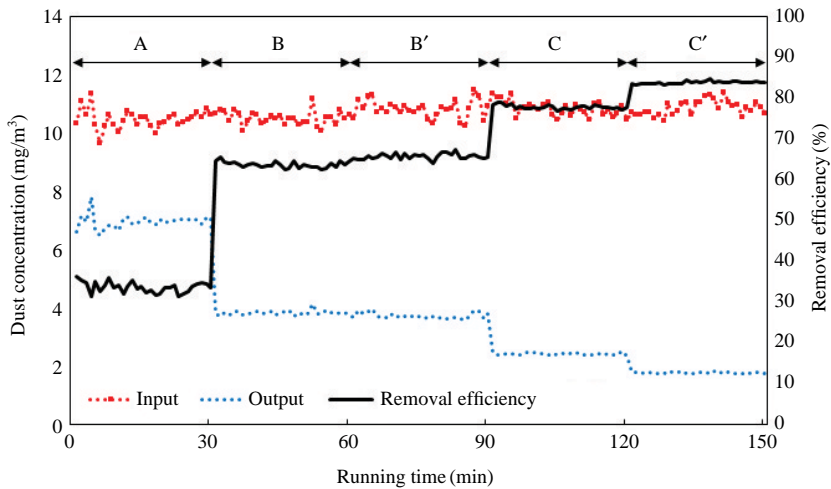


Fig. 6. Dust removal efficiency and effluent concentration at different distances from the mouth of dust inlet under the running condition of the electrode-plate gab of 1 cm (A: 20 cm far from inlet, B: 30 cm far from inlet, B': 40 cm far from inlet, C: 50 cm far from inlet, C': 60 cm far from inlet).

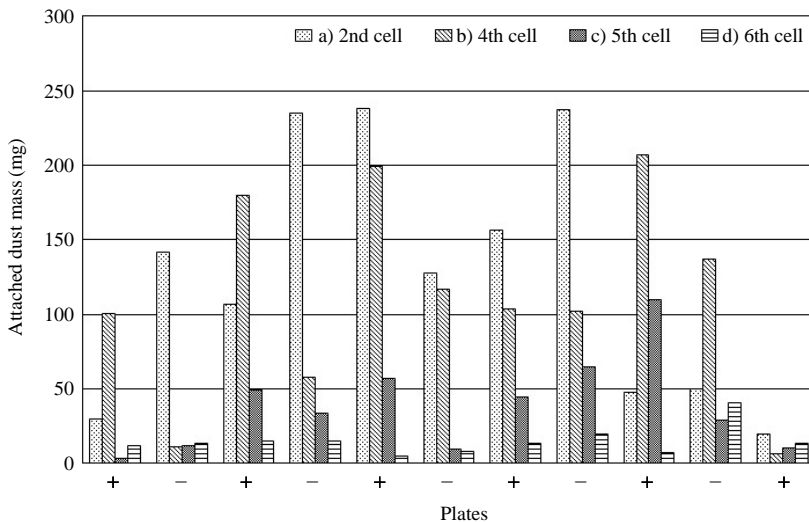


Fig. 7. Attached dust mass at different distances from the mouth of dust inlet under the running condition of the electrode-plate gab of 1 cm.

다. 유입 분진농도는  $4 \text{ mg/m}^3$ 에서 점차적으로  $9 \text{ mg/m}^3$ 까지 증가하고 유출 분진농도는  $1 \sim 2 \text{ mg/m}^3$  범위로 안정되게 유출되어 제거효율은 약 80%까지 이르렀다.

그림 6은 그림 5 실험 종료 후 먼지 유입구로부터 거리에 따라서 약 30분씩 운전 후 유입, 유출농도를

측정한 결과로서 유입구에 설치된 셀에서 약 35%, 중간 셀에서 65% 그리고 후단에서는 약 80% 이상으로 거리가 길어질수록 제거효율이 높아지는 전형적인 처리모형을 보여주었다.

그림 7은 각 셀 별 분진부착량을 나타낸 것으로 대부분의 분진은 전단계의 셀에서 부착량이 많고, 후



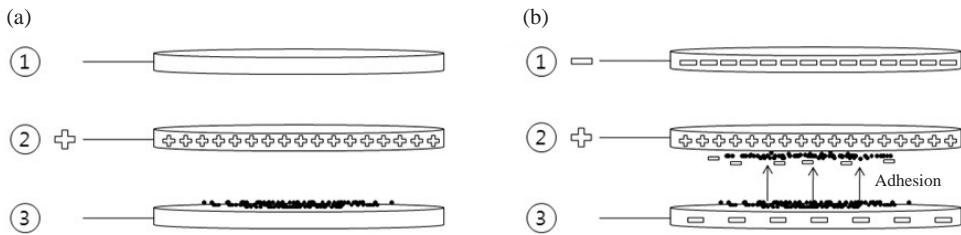


Fig. 8. Movement of dust to the way of positive plate when the current of negative plate is off (a) and on (b) (①, ③: conductor).

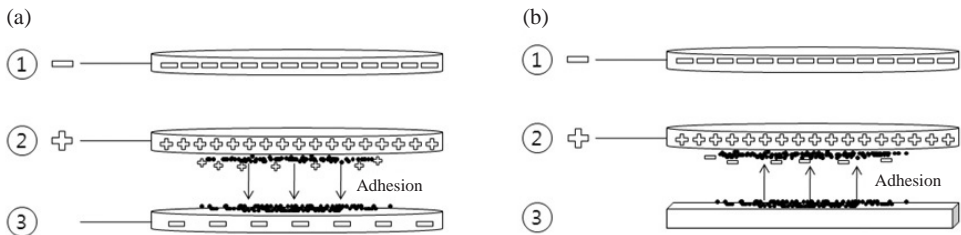


Fig. 9. Reverse charge from positive plate to negative plate (a) and movement of dust to the way of positive plate from non conductor (③: non conductor).

단에서는 거의 부착량이 없음을 알 수 있었다.

이는 전극간격 2 cm에서는 전극간격이 멀어서 정전기력에 의한 부착속도보다는 선속도가 빨라서 부착 및 탈착이 반복되었을 것으로 판단되었으나, 전극간격 1 cm에서는 발생하는 정전기력에 의한 분진부착력이 유입선속도보다 높기 때문에 탈착 없이 가능한 것으로 사료되며 전압 5 kV, 유입선속도 6 cm/sec에서 적절한 전극간격은 1 cm임을 알 수 있었다.

### 3. 3 전극에서 분진의 탈, 부착

그림 3의 전극간격 2 cm에서 분진의 부착 및 탈착의 원인을 알아 보기 위하여 3개의 알루미늄판 전극을 병렬로 배치하여 분진의 이동을 알아보았다.

우선 그림 8의 a에서와 같이 양전극을 중앙에 두고 양전극에만 전압을 5 kV로 대전시킬 경우 분진의 부착은 일어나지 않았다. 그림 8의 b에서는 양전극 및 음전극에 대전을 시켰을 경우 양전극으로 많은 분진이 이동하였다. 그리고 한번 부착 후에는 음전극의 전원을 끊어도 전기장이 남아 있어서 부착은 계속 진행되었다. 통상 미세분진의 표면은 음전하를 띠어서 양전극에 용이하게 부착될 것으로 예측하였으

나 양전극과 음전극 양쪽 전극의 전기장의 교차형성되어야 분진을 정전기에 의해 제거할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 정전기에 의한 분진제거장치인 전기집진장치의 경우 코로나 방전조에서는 분진을 음이온화하여 제진실에서는 양전극의 정전기를 이용하여 분진을 부착시켜 제거하지만, 그림 8의 b에서와 같이 양전극의 정전기만으로는 부착량이 적어서, 결과적으로 제진실에서 분진제거 효율을 보다 더 높이기 위해서는 양전극과 음전극의 교차설치가 더욱 바람직한 것으로 사료되었다. 하지만 음전극의 전원을 다시 가동 시켰을 경우 그림 9의 a에서와 같이 양전극에 부착되었던 먼지는 음전극으로 이동되는 전하의 역전현상(reverse ionization)이 일어났으며 (Kim and Park, 2012; Kim *et al.*, 1998) 이는 양전극에 분진이 장기간 부착되어 분진입자의 표면이 양전하로 대전됨으로 음전하를 띠고 있는 알루미늄판으로 재부착하는 것으로 사료되었다. 전기집진장치의 경우 제진실의 양전극에서 제거되어 호퍼에 쌓인 분진이 다시 양전극으로 역류되어 재부착되는 것이 가장 큰 문제점으로 대두되어 있다 (Inculet, 1985). 한편 그림 9의 b에서는 ③번의 전극판을 없애고 부도체를 사용

하여 실험하였다. 그 결과 전극판에 부착된 분진을 장시간 체류시켜도 분진의 탈착 및 부착은 진행되지 않음을 확인할 수 있었다.

결과적으로 그림 2의 실험결과에서 분진의 탈부착은 전극판에 부착된 분진의 역전하 때문에 일어난 것으로 판단되었으며, 이를 방지하기 위해서는 종래의 전기집진장치에서는 유입가스의 온도를 높혀서 공기의 수분에 의한 전류가 유전되는 것을 방지하거나, 본 연구에서와 같은 양전극과 음전극이 교차된 경우 전하의 역전을 방지하기 위해서는 유전상수가 적은 부도체의 설치가 필요하다고 사료되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 유입전압, 유입분진속도 및 선속도는 각각 5 kV, 80 L/min, 6 cm/sec로 고정시키고, 전극판의 간격은 2 cm 및 1 cm로 변화시켜 전극판에서 분진의 거동에 대하여 알아보았다.

전극간격 2 cm에서는 분진제거효율이 매우 낮았으며, 전극판 후단에서는 분진의 탈착현상이 발생되었으며 이는 전극에 부착된 분진의 역전하 현상때문인 것으로 사료되었다. 반면에 전극간격 1 cm에서는 분진제거효율이 우수하였으며, 이는 정전력에 의한 분진의 부착속도가 유입분진속도보다 빠르기 때문인 것으로 판단되었고, 역전하에 의한 탈착문제를 극복하기 위해서는 유입공기의 온도를 높이거나 부도체의 설치에 의해 유전을 방지하는 방안이 필요하다고 사료되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 기관고유임무형사업 “(2013-0048) 폴리머 기반 경량 방음벽 및 활성탄

박판 전극을 이용한 분진 제거 기술 개발(2)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Calle, C.I., C.R. Buhler, J.L. McFall, and S.J. Snyder (2009) Particle removal by electrostatic and dielectrophoretic forces for dust control during lunar exploration missions, *J. Electrostatics*, 67(2-3), 89-92.
- Chai, M., M. Lu, T. Keener, S.J. Khang, C. Chaiwatpong-sakorn, and J. Tisch (2009) Using an improved electrostatic precipitator for poultry dust removal, *Journal of Electrostatics*, 67(6), 870-875.
- Haibo, Z. and C. Zheng (2008) Modeling of gravitational wet scrubbers with electrostatic enhancement, *Chem. Eng. Technol.*, 31(12), 1824-1837.
- Inculet, I.I. (1985) Industrial application of static electricity, *Journal of Electrostatics*, 16, 287-298.
- Kim, K.S. and J.O. Park (2010) Soundproofing Plate with Thin Activated Carbon Film for Removal of Road Pollutants, Research report, KICT.
- Kim, K.S. and J.O. Park (2012) Dust Removal by Electrode Plates Coated with Activated Carbons, Research report, Research report, KICT.
- Kim, Y.J., J.S. Hyun, and W. Suck (1998) An experimental study on moving electrode electric precipitator, *J. KOSAE 1998 conference*, 1, 223-224.
- Mazumder, M.K., R.A. Sims, A.S. Biris, P.K. Srirama, D. Saini, C.U. Yurteri, S. Trigwellc, S. De. and R. Sharma (2006) Twenty-first century research needs in electrostatic processes applied to industry and medicine, *Chemical Engineering Science*, 61, 2192-2211.
- Pawan, S. and T.S. Bhatti (2010) A review on electrochemical double-layer capacitors, *Energy Conversion and Management*, 51, 2901-2912.
- Wang, Y., K. Gui, M. Shi, and C. Li (2008) Removal of dust from flue gas in magnetically stabilized fluidized bed, *Particology*, 6(2), 116-119.