

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.1.27

# 순산소 연소 배출 입자 제거용 전식 전기집진장치 운전 특성

김학준\*† · 한방우\* · 오원석\* · 황규동\* · 김용진\* · 홍정희\*\*

\* 한국기계연구원, \*\*KC 코트렐

## Operational Characteristics of a Dry Electrostatic Precipitator for Removal of Particles from Oxy Fuel Combustion

Hakjoon Kim\*†, Bangwoo Han\*, Wonseok Oh\*,  
Gyudong Hwang\*, Yongjin Kim\* and Jeonghee Hong\*\*

\* Environment and Energy Systems Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials

\*\* KC Cottrell Co., Ltd.

(Received September 23, 2009 ; Revised November 24, 2009 ; Accepted November 25, 2009)

**Key Words:** Oxy-PC(순산소 석탄 화력 발전), CO<sub>2</sub>(이산화탄소), Electrostatic Precipitator(전기집진장치), Particle Removal(입자제거), High Flow Rate(대유량)

**초록:** 본 연구에서는 순환방식의 1000 CMH급 전기집진장치 성능평가 시스템 구축하여, 대유량 순산소 연소 장치 없이 순산소 연소가스 모사 조건(고농도 CO<sub>2</sub> 조건)에서 엣지-평판형 전기집진장치를 방전극 형상, 집진판 간격, 유입속도, 가스조성 및 분진 입경에 따라 성능을 평가하였다. CO<sub>2</sub> 70% 조건에서 3종 방전극에 대해 성능 비교를 한 결과, 방전극 편 면적이 넓은 방전극이 상대적으로 높은 포집효율을 나타내었다. 또한 유입속도가 감소할수록, 분진 입경이 증가할수록, 집진판 간격이 좁을수록 분진 집진 효율이 증가하였으나, CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 효율이 감소하였다. 그러므로 CO<sub>2</sub> 농도가 높을 것으로 예상되는 순산소 연소 등 배기가스 조건에 적용되는 전기집진장치를 설계할 경우, 기존과 동일한 단위 가스 체적 당 코로나 전력 조건에서 집진장치 내부 유속을 줄이거나 집진판 간격을 좁히는 설계변화가 요구되며, 방전극의 경우 방전편 면적이 넓으면서 코로나 전류가 높은 방전극이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

**Abstract:** In a test duct with closed configuration, particle removal performance of an edge-plate type electrostatic precipitator (ESP) was evaluated at a high flow rate in CO<sub>2</sub> rich environments by changing gap distances between collection plates, concentrations of CO<sub>2</sub>, particle sizes, types of electrodes, and types of power supplies. At the same experimental conditions, collection efficiency of particles with the mean particle size, 300 nm, decreased as the gap distance and CO<sub>2</sub> concentration increased because of low electrostatic force and low discharged current. In addition, as the particle size increased, the efficiency increased because of high charging rate of the large particles. With the electrode type which has higher surface area of a discharging plate and with the power supply which applied 25 kHz-pulsed DC voltages, the removal efficiency was high even in rich CO<sub>2</sub> condition due to high electrostatic force at the same power consumption.

### 1. 서 론

지난 수세기 동안 화석연료에 대한 지나친 의존으로 인해 대표적인 온실가스인 CO<sub>2</sub> 발생량이 급격히 증가하였다. 또한 이와 같은 온실가스에 의해 발생하는 환경문제의 심각성이 날로 심화되고 있는 실정이다. 현재 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이기 위

하여 화석연료를 대체할 수 있는 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1)</sup> 그러나, 태양 열, 연료전지 및 수소 에너지 등의 대체에너지원들은 그 에너지 생산량이 화석연료로부터 발생되는 생산량에 비해 현저히 적고, 여전히 경제성 및 기술력 측면에서 화석연료를 대체할 수 있을 정도의 수준에 도달하지 못하였기 때문에 기존 화석연료를 효율적으로 활용하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 석유 및 천연 가스 등과 같은 화석연료에 비해 상대적으로 저

† Corresponding Author, diayolk@kimm.re.kr

렵하고, 매장량이 많은 석탄에 대한 관심이 증대되고 있다. 최근 들어 석탄과 산화제로 공기 대신 산소를 사용하는 순산소 석탄 연소기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 순산소 석탄 연소 발전(Oxy-PC)의 경우 배기가스의 대부분이 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 이루어져 있기 때문에 CO<sub>2</sub> 회수가 용이하고, CO<sub>2</sub> 저장 및 재활용 기술을 쉽게 접목시킬 수 있는 장점이 있다.<sup>(2,4)</sup> 그러나, 순산소 석탄 연소의 경우 일반 공기 석탄 연소와 같이 연소 후 다량의 분진이 발생되며, 고농도 오염 분진에 의한 CO<sub>2</sub> 회수 및 배기 가스 재순환 장치의 효율 향상 및 수명 연장을 위하여 연소 후 분진 제거장치가 필수적으로 요구된다. 현재까지 석탄 연소 발전에서 사용되고 있는 분진 제거 장치로 전기집진장치(Electrostatic precipitator, ESP)가 널리 사용되고 있다.<sup>(1,5)</sup> 그러나 순산소 석탄 연소의 경우 일반 공기 석탄 연소에 비해 CO<sub>2</sub> 농도가 매우 높기 때문에 기존 전기집진장치가 적용될 경우, 집진성능 및 전기적 특성이 크게 다를 수 있다.

이와 같은 이유 때문에 다수의 연구자들은 Lab scale 순산소 석탄 연소기로부터 발생하는 미세입자의 특성 분석, 고농도 CO<sub>2</sub> 조건에서의 음극 코로나로부터 발생하는 2차 유해물질 특성 분석 그리고 고농도 CO<sub>2</sub> 조건(50 ~ 100% CO<sub>2</sub>)에서 와이어-실린더(wire-cylinder) 형식의 전기집진장치의 성능 분석 등의 연구를 수행하였다.<sup>(2,6-8)</sup> 그러나 앞선 연구들은 소규모 Lab scale에서의 순산소 연소기 혹은 전기집진장치의 특성을 주로 평가하였고, 전기집진장치 역시 실제 석탄 연소 발전소의 후처리 장치로 사용되는 에지-평판(edge-plate) 형식 전기집진장치를 사용하고 있지 않았기 때문에, 실제 순산소 연소 발전에 적용되는 전기집진장치의 성능을 예측하는데 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 1000 CMH급 에지-평판 형식의 전기집진장치를 제작하고, 이를 평가할 수 있는 대용량 순산소 연소 배기가스 모사 성능평가 시스템을 구축하여, 전기집진장치의 운전조건(하전극 구조, 집진극 간격, 인가전압/전류) 및 실험 가스 조건(CO<sub>2</sub> 농도, 유속, 분진 종류)에 따른 전기집진장치의 전기적 특성 및 분진 제거 성능을 평가하였으며, 이를 통해 순산소 석탄 연소 발전 소용 전기집진장치 개발에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다.

Table 1 Specifications of the ESP in the study

Aspect ratio (L/H)	0.95
Specific collection area (SCA)	1.6 m <sup>2</sup> /1000 m <sup>3</sup> /h
Electrical sectionalization	1
Gas passage	1
Corona power /gas volume	55 ~ 333 watts/1000 m <sup>3</sup> /h
Corona current / plate area	2.0 ~ 3.9 miliamps/ m <sup>2</sup>

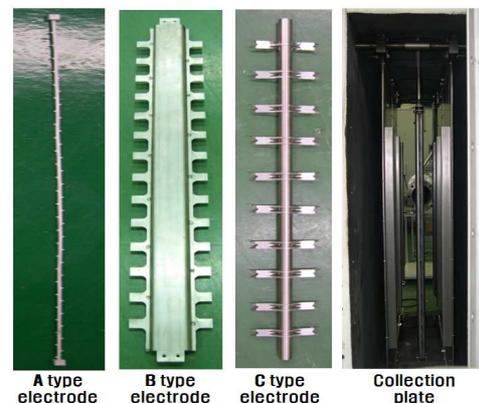


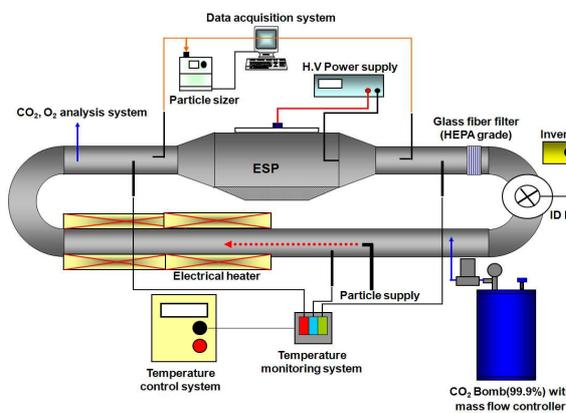
Fig. 1 Three types of the discharge electrodes and the collection plate used in this study

## 2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 Oxy-PC용 건식 집진장치의 분진 포집효율을 향상시키기 위한 최적의 방전형상을 도출하기 위하여 3종류의 방전극(A, B, C 방전극)을 사용하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 3종류 방전극과 집진극 모습을 나타내었다. A 방전극은 와이어형 에지 방전극으로, 얇은 방전편 외주면의 왼쪽과 오른쪽에 22개와 23개의 튕니 모양의 방전편이 서로 대응되지 않도록 되어 있다. B 방전극은 방전편 각 외주면에 14개의 사각핀 방식 방전극이 등간격으로 부착되어 있는 구조를 가지며, 특히 방전편이 사각형상으로 제작되어 방전극에서 코로나 방전이 일어남과 동시에 방전편과 집진판 사이에 강한 정전기력이 발생하는 구조를 가지고 있다. C 방전극은 방전편 각 외주면에 10개의 에지 방전극이 등간격으로 장착되어 있고, 일반 와이어형 에지 방전극인 A 방전극과는 다르게, 방전 전류를 높이기 위하여 에지 부가 보다 날카롭게 제작되었으며, 하나의 방전

**Table 2** Physical and chemical informations about the Lab ash in the study

Source	Hoppers in ESPs installed in Hadong coal-fired power plant
Type of boiler	Pulverized coal boiler
Resistivity	$10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$
Chemical compositions	SiO <sub>2</sub> (48%), Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (28%), CaO (10%), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (5%) etc
Morphology	Spherical, Porous
Size distribution	0.2 ~ 10 μm (Number based)



**Fig. 2** Experimental setup for the evaluation of the particle removal performance of ESP

극에 2개의 예지가 서로 대향하도록 되어있다. 각각의 방전극 전체 길이는 모두 1200 mm이었다. 또한, 본 연구에 사용된 집진극의 전체길이와 높이는 1150 × 1200 mm이었고, 집진극 형상은 직삼각형의 절곡된 면이 돌출되도록 하였다. 이와 같은 집진극 형상은 전기집진장치 내부의 집진이 일어나는 부분에서 유동이 국부적으로 난류화되어 유입되는 분진과 코로나 방전 시 발생하는 이온 간의 혼합 정도를 향상시키며, 포집면적 또한 일반 평판 집진극에 비해 크게 증가시킬 수 있는 장점이 있다. Table 1은 본 연구에 사용된 전기집진장치의 사양을 나타내고 있다.

Fig. 2는 Oxy-PC용 전기집진장치의 성능을 평가하기 위하여 제작된 밀폐식 가스순환 방식(Closed loop)의 대용량 모의 성능평가 시스템을 나타내고 있다. CO<sub>2</sub> 농도는 액화된 고순도 CO<sub>2</sub> 저장 탱크로부터 발생하는 CO<sub>2</sub> 가스를 전용 Regulator(100℃이상 가열) 및 유량계로 조절하여 일정하게 공급시키면서 조절하였고, 밀폐 덕트 내 CO<sub>2</sub> 농도가 특정 농도에

도달하면 CO<sub>2</sub> 공급을 중단하여 가스농도가 일정하게 유지되면서 순환하도록 하였다. 가스 농도는 연소가스 전용 가스 측정 시스템(CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> gas analyzer, IR-200, Total Engineering, Korea)으로 실시간 모니터링 하였다. 분진 입경에 대한 전기집진장치의 포집 성능을 평가하기 위하여 시험 분진으로 KCl과 Fly ash를 사용하였다. KCl 분진은 고압 분무장치 (Atomizer, Model 3076, TSI, USA)를 이용하여 발생 시켰고, Fly ash 분진은 KC 코트렐에서 제공한 것으로 Table 2에 나타낸 것과 같이 하동 화력발전소 내 최종단 전기집진장치에서 채취한 분진으로 자체 제작한 이송식 분진 공급 장치를 이용하여 덕트 내부로 발생시켰다. 전기집진장치 전단의 시험 분진 농도를 항상 일정하게 유지하기 위하여 전기집진장치 후단에 고효율(HEPA, High Efficiency Particulate Air filter, 0.3 μm 99.7 % 이상 제거) 유리섬유필터를 장착하여 전기집진장치를 통과한 잔류 시험 분진이 제거되도록 하였다. Fly ash의 경우 분진 입경이 submicron급과 micron급 영역에 존재하기 때문에, 전기집진장치 전·후단 분진 농도는 광학 계수기(Optical Particle Counter, 0.25 ~ 20 μm, Dust monitor 1.109, Grimm, Germany)와 공기역학적 분진 입경 분석기 (Aerodynamic Particle Sizer, 0.5 ~ 20 μm, APS 3321, TSI, USA)를 이용하여 측정하였다. 한편, KCl 분진의 경우 submicron급 미세한 분진이 대부분이기 때문에 KCl 입자 포집효율 측정 시에는 DMA (Differential Mobility Analyzer, Model 3081, TSI, USA)와 UCPC(Ultrafine Condensation Particle Counter, 0.01 ~ 0.6 μm, Model 3776, TSI, USA)를 사용하여 입경별 수농도 분포를 측정하였다. 또한, 고속(~10 m/s)의 덕트 내부 유동으로부터 분진을 등속 (isokinetic) 샘플링하기 위해 4종류의 샘플링 프루브 (2 ~ 25 m/s)를 제작하여 분진 농도 측정의 오차를 최소화하였고, 고농도 분진 유입에 의한 측정시스템의 오차를 최소화하기 위해 시험 완료 시마다 고효율 필터를 입자계수기 전단에 장착하여 계측기를 세척하였다. Fig. 2에서 보는 것과 같이, 200℃이상에서 외부로 공기 누수가 없는 송풍기에 인버터를 장착하여 덕트 내부 시험 가스 유량을 300 ~ 1400 CMH 까지 조절 되도록 하였으며, 압력계 (Micromanometer, Model FCO510, Furness Controls Limited, UK)를 이용하여 송풍기 회전율에 따른 유량 보정곡선을 산출한 후 보정된 식을 활용하여 송풍기 유량을 조절하였다. 고온(100℃이상)의 Oxy-PC

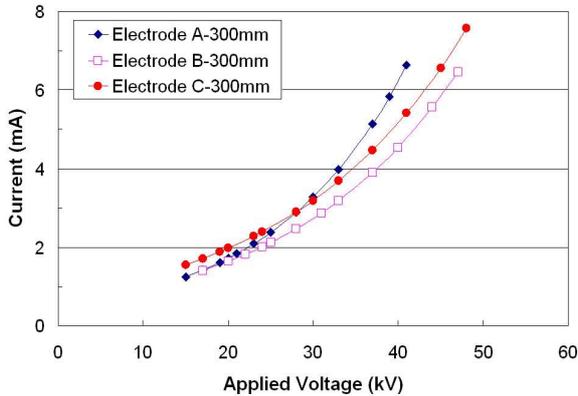


Fig. 3 Applied voltage versus corona current curves with three types of discharge electrodes (900 CMH, CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, 0.7 m/s)

용 전기집진장치 전단부 가스 온도를 모사하기 위하여 자체 제작된 전기 히터 방식의 가열장치를 사용하여 시험 가스를 120°C까지 가열하였으며, 시험 덕트 6곳에 온도 모니터링 장치를 설치하여 전기집진장치 전단 온도가 120°C로 일정하게 유지되도록 하였다. 또한, 시험 덕트 및 집진장치 외부를 단열재로 보온하여, 시험 덕트 및 전기집진장치로부터 외부로의 열손실을 최소화하였다. 끝으로, 방전극 및 집진극 사이에 코로나 방전을 일으키기 위하여 최대 인가 전압/전류가 100 kV/70 mA인 DC 고전압 발생장치(Conventional H.V., NWL Pacific, USA)를 전기집진장치 상단부에 연결하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 3종 형상 방전극 성능 평가

Fig. 3은 시험유량 900 CMH, 온도 120°C, 유속 0.7 m/s, 집진판 간격 300 mm 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70 % 및 7% 일 때 방전극 종류에 따른 코로나 전압/전류곡선을 나타내었다. 인가된 전압/전류는 상용 오실로스코프 (Digital Oscilloscope, DL 1720, Yokogawa, Japan)의 1000:1 고전압 프로브를 방전극에 연결하고, 전기집진장치 접지부에서 고전압 발생장치 사이에 저항을 직렬로 연결하여 전압과 전류를 계측하였다. A 방전극과 C 방전극이 동일 인가전압에서 B 방전극에 비해 코로나 전류가 높게 나타났다. 또한, C의 경우 최대로 인가할 수 있는 전압 및 코로나 전류가 가장 높게 나타났다. 방전 전류는 방전극 에지부분이 날카롭고 개수가 많을수록 높기 때문에 에지 수가 45개로 가장 많은 A 방전극과 에지부분이 A 방전극에 비해 날카롭고, 대향구조로 제작된 C 방전극의 코로나 전류가 상대

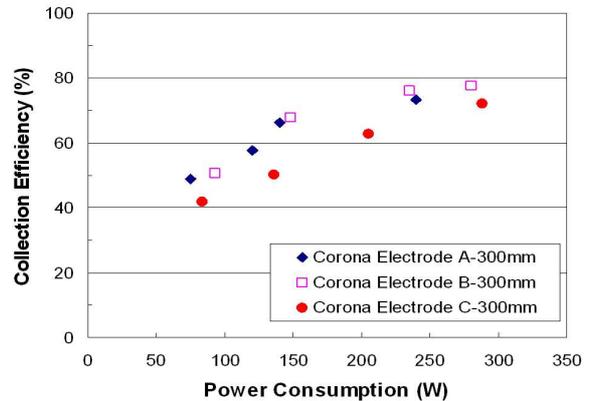


Fig. 4 Collection efficiency with three types of electrodes, as a function of power consumption (900 CMH, CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, 0.7 m/s)

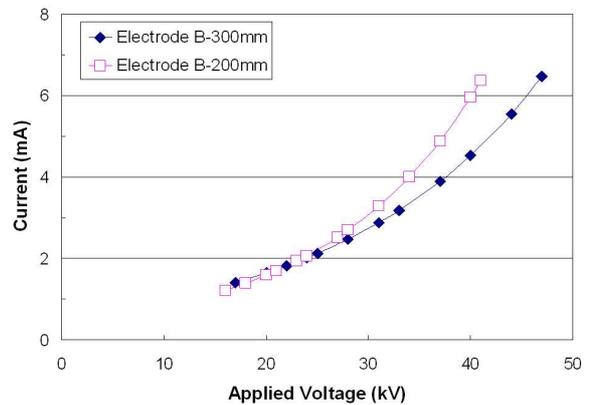


Fig. 5 Applied voltage versus corona current curves with different distance between collection plates (CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, 0.7 m/s)

적으로 B 방전극에 비해 높은 것으로 나타났다.

Fig. 4는 공기유량 900 CMH 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70%, 7% 일 때 방전극 종류별 코로나 방전 소비전력에 따른 0.3 μm 입径의 분진 포집효율 변화를 나타내고 있다. 3종 형상 방전극 중 A와 B 방전극을 장착하였을 경우, 포집효율이 높게 나타났다. 코로나 방전전류가 상대적으로 낮음에도 불구하고 방전극 B의 포집효율이 높게 나타난 이유는 방전극 편 형상이 직사각형으로 넓기 때문에 에지에서 방전이 일어나는 동시에 방전편 면과 집진판 사이에 추가 정전기력이 발생하여 하전된 분진이 쉽게 포집되었을 것으로 판단된다.<sup>(9)</sup> 본 방전극별 성능실험을 통해 3종 방전극 중 상대적으로 고효율 특성을 보이는 B 방전극을 전기집진장치에 설치하여 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 조성, 집진판 간격, 유속 등의 변수에 따른 실험을 진행하였다.

#### 3.2 집진판 간격별 성능평가

Fig. 5는 전기집진기 내부 유속 0.7 m/s, 온도

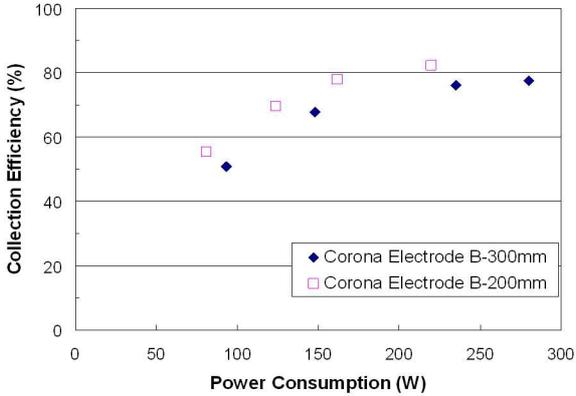


Fig. 6 Collection efficiency with different distance between collection plates, as a function of power consumption (CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, 0.7 m/s)

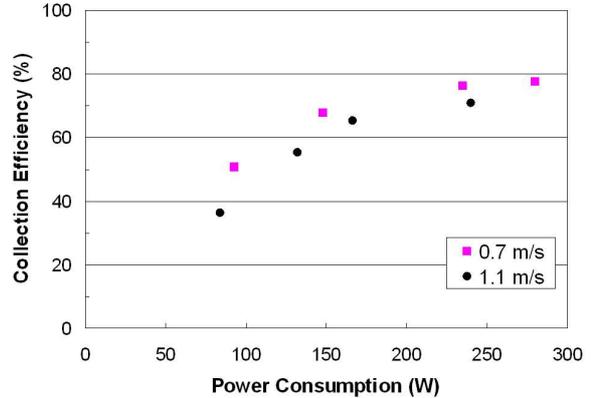


Fig. 8 Collection efficiency with different face velocity at front area of ESP, as a function of power consumption (CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, gap 200 mm)

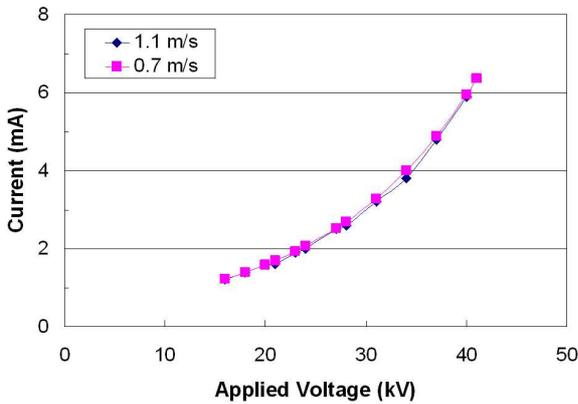


Fig. 7 Applied voltage versus corona current curves with different face velocity at front area of ESP (CO<sub>2</sub> 70%/ O<sub>2</sub> 7%, 120 °C, gap 200 mm)

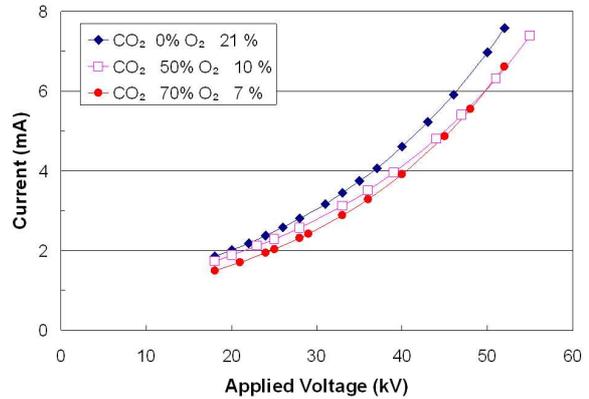


Fig. 9 Applied voltage versus corona current curves with different gas composition in test duct (900 CMH, 0.7 m/s, 120 °C)

120 °C 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70 %, 7% 일 때 집진판 간격에 따른 코로나 전압/전류곡선을 나타내었다. 그림에서와 같이 집진판 간격이 좁을수록 동일 인가전압에서 코로나 전류가 높았으나, 최대 인가전압은 집진판 간격이 300 mm일 때 48 kV 까지 인가되었다. 집진판 간격이 좁을수록 방전극과 집진극 사이의 간격이 좁아지고, 전기장의 세기는 이 간격의 제곱근에 반비례하기 때문에 간격이 좁아질수록 전기장이 급격히증가한다.<sup>(10)</sup> 반면, 간격이 넓을수록 전기장의 세기가 약해지기 때문에 높은 전압을 인가하더라도 스파크가 발생하지 않는다. Fig. 6은 집진판 간격별 코로나 소비전력에 따른 분진 포집효율을 나타내었다. 간격이 좁을수록 전기장의 세기 및 코로나 전류가 높기 때문에 분진 하전률 및 정전기력이 증가하여 포집효율이 최대 80% 이상까지 증가하였으며 집진판 간격이 300 mm일 때 보다 약 5% 이상 포집효율이 상승하였다.

### 3.3 전기집진장치 유입 속도별 성능평가

Fig. 7은 집진판 간격 200 mm, 온도 120 °C 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70 %, 7% 일 때 전기집진장치 내부 유속별 코로나 전압/전류곡선을 나타내었다. 유속에 따른 코로나 발생 특성의 변화는 매우 미미하였으나, Fig. 8에서 보는 것과 같이, 유속이 0.7 m/s에서 1.1 m/s로 증가시켰을 때, 집진효율은 5 ~ 10% 이상 감소하였다. 이는 유속이 증가할수록 분진 및 이온의 전기집진장치 내부 체류시간이 급격히 감소하여 분진 하전률과 하전 분진의 집진률이 감소하였기 때문이다.<sup>(10-12)</sup>

### 3.4 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 조성에 따른 성능평가

Fig. 9는 집진판 간격 200 mm, 온도 120 °C, 유속 0.7 m/s 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub>별 코로나 전압/전류곡선을 나타내었다. 그림에서와 같이, CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 코로나 전압/전류가 감소하였다. 이는 CO<sub>2</sub> 이온화 에너지가 O<sub>2</sub> 이온화 에너지

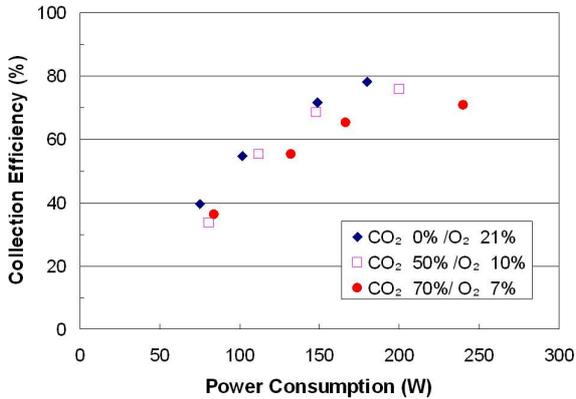
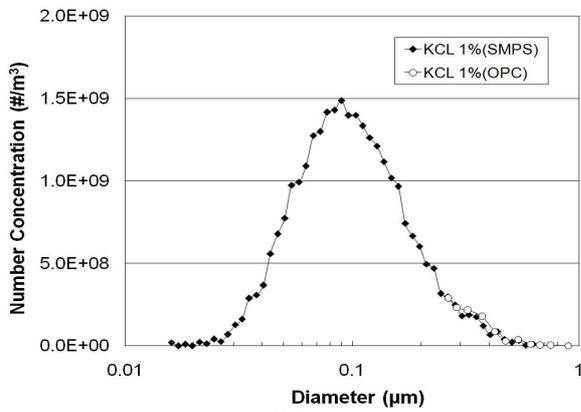
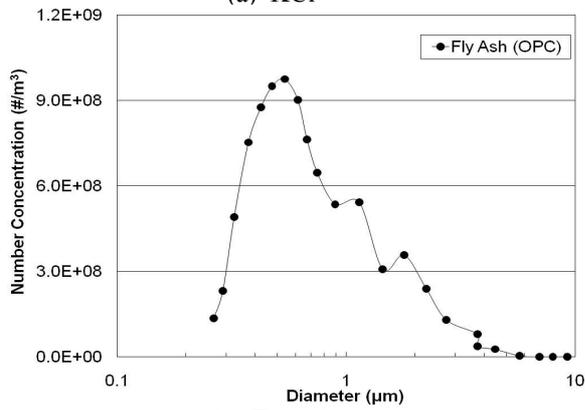


Fig. 10 Collection efficiency with different gas composition in test duct, as a function of power consumption (900 CMH, 0.7 m/s, 120 °C)



(a) KCl

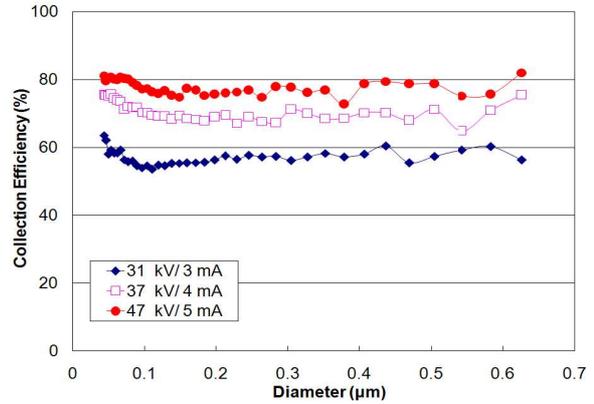


(b) Fly ash

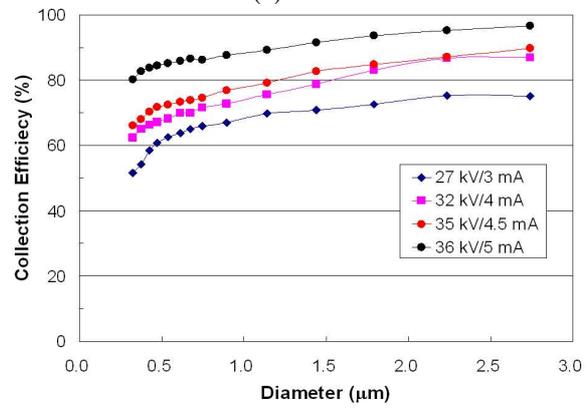
Fig. 11 Size distribution of particles used for the performance test of ESP : (a) KCl, (b) Fly ash

에 비해 높고, 코로나 방전은 O<sub>2</sub> 농도에 의존하기 때문에 CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 O<sub>2</sub> 농도가 감소하여 코로나 전류가 감소한다.<sup>(2)</sup>

또한, CO<sub>2</sub> 농도가 증가함에 따른 Ion mobility 변화를 확인 한 결과, Ion mobility가 CO<sub>2</sub> 농도가 증가할수록 감소하였다. 이와 같은 원인으로 인해 Fig. 10에서 보는 것과 같이, CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 분진



(a) KCl



(b) Fly ash

Fig. 12 Collection efficiency with different types of particles, as a function of particle diameter : (a) KCl, (b) Fly ash

하전율이 감소하기 때문에 CO<sub>2</sub> 70%일 때의 전기집진기 분진 포집 효율이 CO<sub>2</sub> 50% 일 때에 비해 약 5% 감소하였고, CO<sub>2</sub> 0% 일 때에 비해 5 ~ 10% 까지 감소하였다.

### 3.5 분진 종류 및 입경에 따른 성능평가

Fig. 11은 집진관 간격 200 mm, 온도 120 °C, 유속 0.7 m/s 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70%, 7% 일 때 전기집진장치 전단부로 공급되는 KCl 분진 및 Fly ash 분진의 입경별 수농도 분포를 나타내고 있다. 그림에서와 같이, KCl 분진의 경우 최대 농도 입경(mode diameter)은 0.1 µm 부근이었으며, 대부분의 분진들은 1 µm 이하 영역에 분포하였다. 한편 Fly ash의 경우 최대 농도 입경은 0.5 ~ 0.7 µm이었으나, 수농도 분포가 KCl과 달리 10 µm 급 영역까지 넓게 분포하였다.

Fig. 12 (a)와 (b)는 분진 종류에 따른 입경별 포집효율 변화를 나타내었다. 두 종류 분진 모두 0.1 ~ 0.3 µm 크기 영역에서 포집효율이 가장 낮았으며, 0.1 µm 이하의 크기영역 및 0.3 µm

이상의 크기영역으로 갈수록 포집효율이 상승하였다. 이는 입자 하전은 입자 크기가 클수록 증가하나, 기계적 이동도(mechanical mobility)는 입자 크기가 작을수록 증가하기 때문에, 이 두 가지 영향이 중첩되는  $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$  크기 영역에서 입자 하전이 가장 어렵고, 이로 인해 포집효율이 가장 낮다.<sup>(10)</sup>

#### 4. 결 론

본 연구에서는 순환방식의 1000 CMH급 전기 집진장치 성능평가 시스템 구축하여, 대용량 순산소 연소 장치 없이 순산소 연소가스 모사 조건(고농도 CO<sub>2</sub> 조건)에서 전기집진장치를 실험적으로 평가할 수 있었고, 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 집진판 간격 200 mm, 온도 120 °C, 유속 0.7 m/s 조건에서 CO<sub>2</sub> 농도가 0에서 70%로 증가할 때, 포집효율이 5 ~ 10% 감소하였다. 이로부터 현재 적용되고 있는 전기집진장치를 고농도 CO<sub>2</sub> 조건의 배기가스 처리용으로 적용할 경우 집진효율 감소를 예상할 수 있다.

(2) 전기집진장치의 포집효율을 높이기 위하여 동일한 전압에 높은 코로나 전류를 발생시킬 수 있는 날카로운 에지형 방전극 형상과 추가적인 정전기력을 발생시키고 및 집진면적 넓힐 수 있는 사각 형상의 방전극 편을 가지는 방전극 구조가 고농도 CO<sub>2</sub> 내 분진을 처리하는데 적합할 것으로 판단된다.

(3) 전기집진기 내부 유속 0.7 m/s, 온도 120 °C 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70 %, 7%일 때 집진판 간격이 300 mm에서 200 mm으로 좁아질 경우, 포집효율은 5% 이상 포집효율이 상승하였다. 또한, 집진판 간격 200 mm, 온도 120 °C 조건에서 CO<sub>2</sub> 및 O<sub>2</sub> 농도가 각각 70 %, 7% 일 때 전기집진장치 내부 유속이 1.1 m/s에서 0.7 m/s로 감소시켰을 때, 집진효율이 5 ~ 10% 이상 증가하였다.

이로부터 CO<sub>2</sub> 농도가 정상시에 비해 현저히 높을 것으로 예상되는 순산소 연소 등의 배기가스 조건에 적용되는 전기집진장치를 설계할 경우 기존과 동일한 Corona power/gas volume 조건에서 집진장치 내부 유속을 줄이거나 혹은 집진판 간격을 좁히는 설계 변화가 필요할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 “에너지 자원 기술개발 사업”의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

- (1) Buhre, B.J.P., Elliott, L.K., Sheng, C.D., Gupta, R.P. and Wall, T. F., 2005, "Oxy-Fuel Combustion Technology for Coal-Fired Power Generation," *Process in Energy and Combustion Science*, Vol. 31, pp. 283~307.
- (2) Suriyawong, A., Hogan C.J. Jr, Jiang, J. and Biswas, P., 2008, "Charged Fraction and Electrostatic Collection of Ultrafine and Submicron Particles Formed During O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> Coal Combustion," *Fuel*, Vol. 87, pp. 673~682.
- (3) Ahn, J., Kim, Y.J. and Choi, K.S., 2007, "Oxy-Fuel Combustion Boiler for CO<sub>2</sub> Capture: 50 kW Class Model Test and Numerical Simulation," *KSME*, Fall Annual Conference, pp. 519~524.
- (4) Kim, H.J., Choi, W.Y., Bae, S.H., Hong, J.G. and Shin, H.D., 2008, "A Study on Oxy-Fuel Combustion System with Multi-Jet Burner-Numerical Simulation with PDF Combustion Model," *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 32, No. 7, pp. 54~512.
- (5) Park, H.J., 1992, "Experience of Electrostatic Precipitator Application at Fossil Power Plant," *Journal of air-conditioning and refrigerating engineers of Korea*, Vol. 21, No. 1, pp. 40~47.
- (6) Sheng, C., Li, Y., Liu, X., Yao, H. and Xu, M., 2007, "Ash Particle Formation During O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> Combustion of Pulverized Coals," *Fuel Processing Technology*, Vol. 88, pp. 1021~1028.
- (7) Mikoviny, T., Kocan, M., Matejcik, S., Mason, N.J. and Skalny, J.D., 2004, "Experimental Study of Negative Corona Discharge in Pure Carbon Dioxide and Its Mixtures with Oxygen," *Journal of physics D: Applied physics*, Vol. 37, pp. 64~73.
- (8) Zhuang, Y. and Biswas, P., 2001, "Submicrometer Particle Formation and Control in a Bench-Scale Pulverized Coal Combustor," *Energy & Fuels*, Vol. 15, pp. 510~516.

- (9) Turner, J.H., Lawless, P.A., Yamamoto, T., Coy, D.W., Greiner, G.P., Mckenna, J.D. and Vatauvuk, W.M., 1992, Electrostatic precipitators. in Buonicore, A. J. and Davis, W.T.(Eds), *Air pollution Engineering Manual*, Air and Waste Management Association, New York, pp. 89~113.
- (10) Hinds, W.C., 1999, *Aerosol Technology*, Awiley-Interscience Publication, New York, pp. 316~345.
- (11) White, H.J., 1963, *Industrial Electrostatic Precipitation*, Addison-Wesley Publication, Portland, pp. 331~333.
- (12) Oglesby, S. and Nichols, G.B., 1978, *Electrostatic Precipitation*, Marcel dekker, INC., New York, pp. 97~104.