

탄화규소 캔들형 필터의 제조 및 고온고압 하에서의 성능평가

이상훈* · 이승원* · 이기성 · 한인섭 · 서두원 · 박석주 · 박영욱 · 우상국[†]

한국에너지기술연구원

*충남대학교 금속공학과

(2002년 4월 19일 접수; 2002년 4월 30일 승인)

Fabrication of Silicon Carbide Candle Filter and Performance Evaluation at High Temperature and Pressure

Sang Hun Lee*, Seung Won Lee*, Kee Sung Lee, In Sub Han, Doo Won Seo, Seok Joo Park, Young Ok Park and Sang Kuk Woo[†]

Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

*Department of Metallurgical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received April 19, 2002; Accepted April 30, 2002)

초 록

가압유동층 복합발전용으로 사용 가능한 탄화규소 캔들형 필터를 압출성형법으로 제조하였다. 필터의 기공율을 조절하기 위해 2.5 vol%의 탄소분말을 첨가하였고, 필터의 강도를 부여하기 위해 무기결합제로써 점토와 CaCO₃를 첨가하였다. 평균 기공율이 약 40%, 평균 기공크기가 약 47 μm인 지지체 위에 평균 기공크기가 약 10 μm를 갖도록 탄화규소 분말을 분무 코팅하였고, 이후 대기압 분위기 하에서 1400°C의 온도로 소결하였다. 코팅층이 형성된 캔들형 필터를 500°C, 5 kgf/cm²의 고온, 고압 하에서 성능평가를 행한 결과 입자크기별 집진 성능이 모두 99.999% 이상을 나타내었다. 따라서 제조된 탄화규소 캔들형 필터는 가압유동층 연소가스에 포함되어 있는 미세한 먼지를 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

Silicon carbide candle filters for the pressurized fluidized bed combustion system were fabricated by extrusion process. Carbon black was added to control the porosity. Inorganic additives such as clay and calcium carbonate were added to exhibit appropriate strength. Silicon carbide layer with a finer pore size (mean pore diameter ~10 μm) was coated on the silicon carbide support layer (mean pore diameter ~47 μm, porosity ~40%). After that, the filter was sintered at 1400°C in air. We evaluated the filtration performances of the filter at 500°C and 5 kgf/cm² of pressure. As a result, high separation efficiency, >99.999% was measured. It is expected that silicon carbide candle filter can be successfully used for the pressurized fluidized bed combustion system.

Key words : Pressurized fluidized bed combustion, Silicon carbide, Hot gas filter, Candle typed filter, Extrusion, Separation efficiency

1. 서 론

현재 석유에너지의 고갈이 일어날 것이라는 예견과 청정환경 문제가 대두됨에 따라 석탄의 액화 및 가스화에 관한 연구가 진행되고 있다. 따라서 석탄가스화 복합발전 시스템(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)과 가압유동층 복합발전 시스템(PFBC, Pressurized Fluidized Bed Combustion)이 효율 높은 청정에너지를 생산할 수 있는 차세대 발전 기술로서 제시되고 있다.¹⁻³⁾

이러한 가압유동층 복합발전 시스템이나 석탄가스화 복합발전 시스템에 있어서 집진 기술은 연소공정에서 발생된 고온, 고압의 가스 중에 포함된 분진을 제거하여 가스 터빈을 보호하고 환경보호를 위하여 필수적으로 거쳐야 하는 공정이다.³⁻⁶⁾ 가압유동층 배가스에서 배출된 연료 가스는 가스 터빈으로 유입되어 가스 터빈을 마모, 부식시켜 수명을 저하시킬 수 있기 때문에, 유입되기 이전에 먼지입자 및 응축화학 물질을 효과적으로 제거해야 한다. 또한 고온, 고압의 배기가스 중에는 가스 터빈을 부식시키는 화학물질인 Na, K, V, Ca, Pb 등이 미세한 먼지입자 형태로 존재하고 있기 때문에 가스 터빈에 유입되는 연소 배가스의 고효율 정제는 매우 중요한 공정이다.

[†]Corresponding author : skwoo@kier.re.kr
Tel : 82-42-860-3140 Fax : 82-42-860-3133

현재 가압유동층 복합발전 시스템이나 석탄가스화 복합발전 시스템의 실제 공정에서 사용되고 있는 배가스를 정제하는 방법으로는 일차적으로 사이클론에서 큰 먼지 입자를 제거한 후, 세라믹 필터를 이용한 이차집진을 한다. 이 때 연소 배가스 온도는 600~900°C의 고온이고, 조업압력 역시 6~10기압 정도의 고압의 환경이므로 고온, 고압에서 효과적으로 먼지입자들을 제거할 수 있는 소재와 시스템 개발이 필요하다.^{1,2)} 사용환경이 고온, 고압이므로 집진 필터는 고온, 고압에 내구성이 우수하다고 알려져 있는 소재를 사용하여야 하며, 일반적으로 집진 표면적이 비교적 넓고 압력손실이 적은 캔들형 필터(candle type ceramic filter)가 사용된다.

현재까지 연소배가스 집진용 필터에 관한 국내의 연구는 상온·상압조건(25°C, 1.0 atm)의 집진 실험에서 99% 이상의 높은 집진 효율을 얻은 필터의 제조 및 성능평가에 관한 결과들에 대한 보고가 있었다.⁷⁻¹¹⁾ 그러나 고온, 고압의 조건에서 내구성을 갖는 세라믹스 필터를 제조한 후 이의 성능을 고온, 고압의 조건에서 평가한 결과는 없었다. 고온, 고압에서는 고온에서의 집진 및 탈진, 압력손실과의 관계가 상온, 상압의 조건의 경우와 차이가 있을 뿐만 아니라, 고온, 고압에서의 열 충격 등으로 인한 파손, 압력손실의 과다, 필터 내부에 침투된 먼지제거의 어려움 등으로 고효율의 집진 및 탈진성능을 갖는 집진 필터의 개발이 매우 중요하다.^{8,12,13)} 따라서 본 연구에서는 고압조건에서 내구성이 우수한 비산화물계 세라믹스인 탄화규소(SiC)를 출발물질로 하여 압출성형 기술을 이용하여 캔들형 필터를 제조하였으며, 가압유동층의 환경에 가까운 고온, 고압 하에서 제조된 필터의 집진 및 탈진 실험을 수행하였다.

2. 실험방법

2.1. 필터의 특성평가 실험

2.1.1. 압출성형에 의한 탄화규소 캔들형 필터의 제조

80 mesh로 체가름한 175~250 μm 의 크기를 갖는 SiC 분말(#80, (주)제일연마)과 1 μm 이하 크기의 탄소(carbon black, L30, LG카본)분말, 무기결합제(binder)등을 분말 유기첨가제와 함께 약 30분동안 건식혼합하였다. 탄소분말의 함량은 SiC 분말에 대해 0~15 vol%의 함량비 내에서 조절하였다. 그 후 분산제(dispersant), 가소제(plasticizer) 등의 액상 유기첨가제를 증류수와 함께 투입하여 약 2시간 동안 추가로 혼련하였다. 무기결합제로는 점토(Gairome clay, Japan)와 CaCO₃(Junsei, Japan)를 각각 3 wt%와 1 wt% 첨가하였고, 유기첨가제로는 메틸셀룰로오스계 결합제인 65MP4000과 M4000(Matsumoto Yushi-Seiyaku Co., Japan), 분산제로는 세로졸과 DG(중경유지, Japan), 이형제로는 R30(제일공업주식회사, Japan)을 첨가하여 원료를 조합하

였다.

혼합된 시료는 상온에서 24시간 숙성(aging)하였다. 원통형 몰드를 압출성형기에 부착한 후 숙성된 시료를 투입하였고 진공상태로 탈기하면서 외경 60 mm, 내경 40 mm, 길이 1m의 원통형상으로 압출하였다. 직진도를 유지하면서 상온 또는 건조기에서 150°C의 온도로 24시간이상 건조하였다. 원통형 필터를 캔들형으로 제조하기 위하여 동일한 원료를 사용하여 일축가압성형한 성형체를 필터 양단에 실리카 졸(silica sol)과 증류수의 혼합용액을 접촉면에 도포해서 집착한 후 상온에서 건조하였다.

코팅액은 평균 14 μm 의 크기의 SiC 분말에 소결조제로 점토를 첨가하였고 슬러리를 분산시키기 위해 분산제를 첨가하였다. 또한 소결촉진제로 CaCO₃를 첨가하였고, 성형성을 향상시키기 위해 CMC(Carboxy Methyl Cellulose, Na-CMC, #6800, Korea Jinseng Products, Korea)를 소량 첨가하고 알코올과 ZrO₂ ball을 폴리에틸렌 용기에 넣고 ball mill을 이용하여 24시간 동안 혼련하여 코팅용 혼합 슬러리를 제조하였다.

이렇게 제조된 혼합 슬러리를 미리 제조한 원통형 캔들 필터의 성형체에 자동분무 장치를 이용하여 균일하게 코팅한 후, 대기 중에서 승온시켜 800°C에서 3시간동안 유기물을 열분해 시킨 후 최고온도 1350~1425°C에서 5시간동안 소결하였다. 이러한 제조 공정을 Fig. 1에 나타내었다.

2.1.2. 필터의 특성 평가방법

필터의 물리적 특성을 평가하기 위해서 소결밀도 및 기공율을 측정하였다. 측정방법은 각 샘플을 수중에서 3시간 이상 끓인 후, 현수무게(suspended weight), 포수무게(saturated weight) 및 건조무게를 칭량하여 측정하는 Archimedes법을 이용하여 계산하였고, 기공크기 및 분포는 수은을 가압하여 기공 내에 침투시키는 방법을 이용하는 mercury porosimeter(micromeritics, PoreSizer9320,

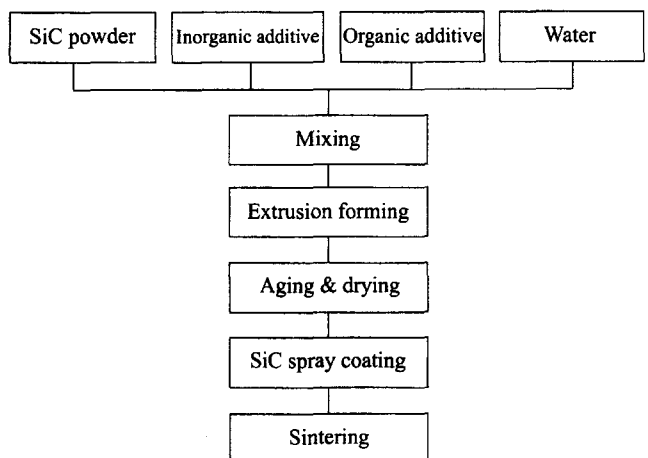


Fig. 1. Fabrication process of SiC filter by extrusion process.

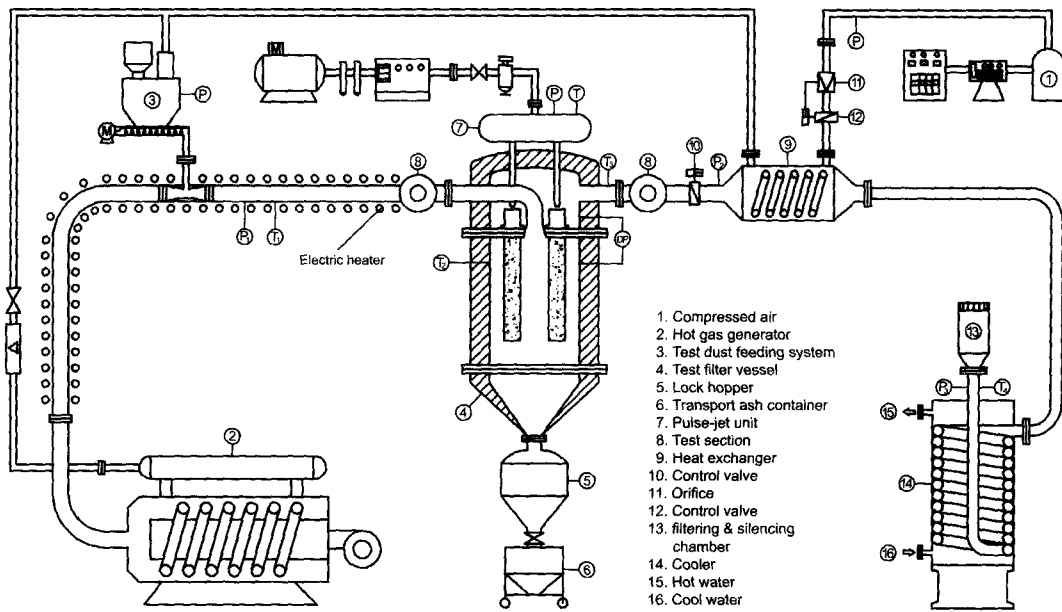


Fig. 2. Schematic diagram of filtration test equipment of SiC filter at high temperature and pressure.

U.S.A.)를 사용하였다. 또한 기계적 특성을 알기 위해서 만능강도시험기(Hounsfield, S-series, U.K.)에서 10 mm×5 mm×40 mm 크기로 절단 및 가공한 시편들에 대해 30 mm/min의 속도로 3점 꺾임강도를 측정하였으며 필터의 미세구조를 관찰하기 위해서 소결체의 단면을 SEM으로 관찰하였다.

2.2. 고온고압 성능평가 실험

2.2.1. 실험장치

가압유동층 연소배가스 조건을 모사한 bench-scale 고온, 고압 배가스 처리용 실험장치의 주요 구성은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 상온의 고압공기를 간접방식으로 가열시켜 고온, 고압의 공기로 만들어 주는 열풍발생장치, 압출성형으로 제조한 캔들형 필터의 여과성능을 실험하기 위한 filter vessel, 고온의 기체 내에 먼지농도를 조절하기 위한 실험용 먼지공급 및 분산장치, 탈진성능을 규명하기 위한 pulse jet cleaning system, 고온으로 배출되는 기체의 냉각을 위한 cooler, 자료획득 및 처리부분 등으로 구성되어 있다.

실험에 사용될 먼지는 전처리 과정을 거쳐서 준비하였다. 먼저 보령화력발전소의 석탄 미분탄을 연소시킨 후 전기 집진기에서 평균입자크기(MMD, Mass Median Diameter) 17.2 μm, 비중 2.22 g/cm³인 fly ash를 포집하였다. 이것을 Jet Mill(ALPINE, Model 100AFG)로 분쇄하여 Fig. 3과 같이 평균입자크기(MMD)가 5.2 μm인 입자분포를 갖는 실험용 분진을 제조하였다. 실험용 먼지는 screw type 먼지 정량공급장치에서 정량화 되어 공급되도록 하였고, 먼지의 공급량은 screw의 회전수로 조절하였다.

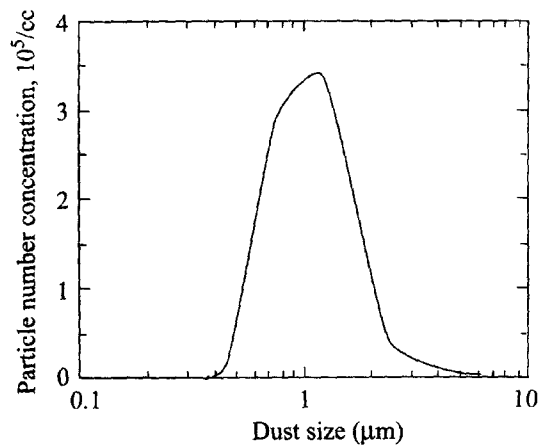


Fig. 3. Size distribution of test dust.

2.2.2. 성능실험 방법

이전 연구에서 상온·상압 집진 실험에서는 vessel 온도를 25°C, 압력을 1.0332 kgf/cm²의 조건으로 설정하였다.^{7,8)} 그러나 본 실험에서는 vessel의 온도를 500°C, vessel의 압력을 5 kgf/cm²으로 높여서 고온, 고압의 조건을 설정하였고 유입 공기를 140 Nm³/hr로, 먼지농도를 10 g/Nm³으로 공급하면서, manometer를 사용하여 세라믹 캔들형 필터의 운전시간에 따른 압력손실 변화를 측정하였다. 한편 탈진에 사용되는 압축공기의 게이지 압력은 15 kgf/cm²이며, 분사시간은 100 ms였고 세라믹 캔들형 필터의 압력손실이 1500 mmH₂O에 도달하였을 때 자동으로 탈진조작을 수행하도록 하였다.

먼지농도 측정에는 출구영역에서 APS(TSI, Model 3310A)

를 사용하였으며, 공급되는 먼지농도는 screw feeder로부터 공급되는 분진량과 Fig. 3의 입자크기 분포로부터 계산한 후 공급유량을 보정하여 구했다. 집진효율, η 는 입구의 먼지농도 C_{in} 과 출구의 농도 C_{out} 으로부터 다음 식 (1)에 의해 구하였다.

$$\eta = \{(C_{in} - C_{out}) / C_{in}\} \times 100 \quad (1)$$

한편 공급유량은 지속적으로 관찰할 수 있게 하였으며, 집진 용기 내의 압력과 온도 그리고 필터 양단의 압력손

Table 1. Experimental Condition for Filtration Evaluation

Parameters	Conditions
Vessel pressure, kgf/cm ² gauge	5
Vessel temperature, °C	500
Inlet concentration, g/Nm ³	10
Flow rate, Nm ³ /hr	140
Cleaning conditions	
· Cleaning pressure, mmH ₂ O	1500
· Pulse pressure, kgf/cm ²	15
· Pulse duration, msec	100
· Pulse interval, sec	10

실은 data acquisition system을 통해 PC에 저장되었으며, 탈진에 의한 압력손실의 변화를 충분히 검출할 수 있도록 측정간격을 10초로 하였다. 본 연구에서 수행한 성능 평가의 실험조건을 Table 1에 요약하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄화규소 캔들형 필터의 특성

Fig. 4는 압출성형으로 제조된 원통형 탄화규소 필터의 미세구조를 나타낸다. Fig. 4(a)는 제조한 캔들형 필터의 단면을 확대 관찰한 사진으로 지지층과 코팅층의 경계부분을 구분할 수 있고, 거의 일정한 두께의 코팅층(250~300 μm)을 확인할 수 있으며 지지층에 코팅층이 양호하게 결합되어 있음을 알 수 있다. Fig. 4(b)는 필터 지지체의 미세구조를 나타낸다. 비교적 큰 기공이 균일하게 형성되어 있어 필터의 압력손실을 낮춰주는 역할을 원활하게 수행할 것으로 기대되며, SiC 입자간의 결합이 잘 이루어져 있어 높은 강도를 나타낼 것으로 생각되었다. Fig. 4(c)는 코팅층 부분을 고배율로 확대한 사진으로서 역시 입자와 입자사이의 neck부분의 결합(bond)이 잘 형성되어 있음을 알 수 있으며, Fig. 4(d)는 코팅표면을 확대한 미세구조로서 일정한 크기와 분포의 기공들로 이

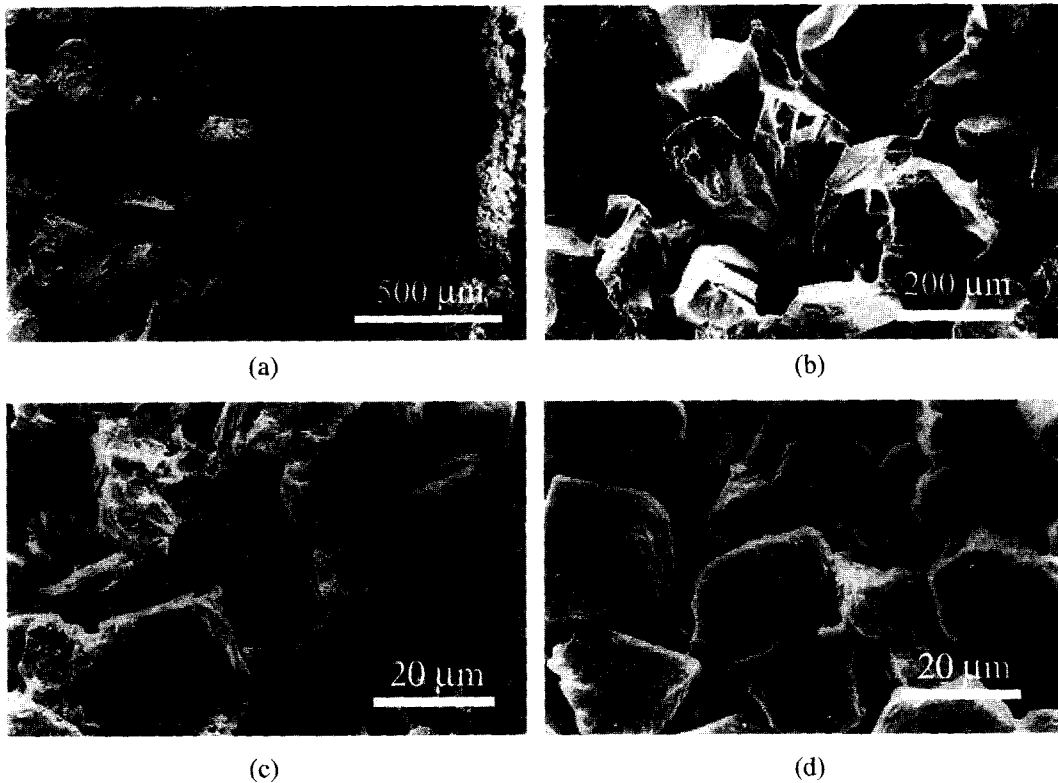


Fig. 4. SEM photographs of SiC filter; (a) cross section of filter, (b) support section of filter, (c) cross section of coating layer and (d) surface of coating layer.

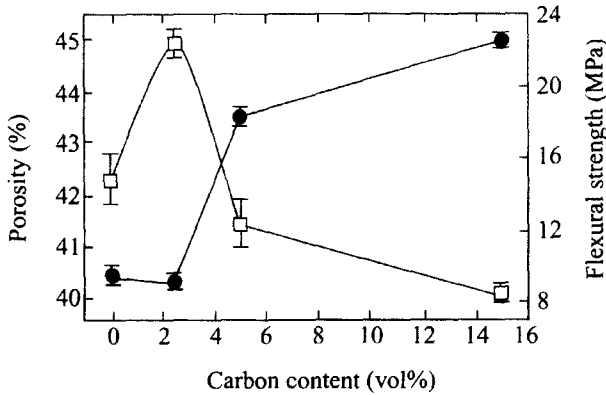


Fig. 5. Flexural strength of SiC filter as a function of carbon content. Circular points represent porosity and rectangular for strength.

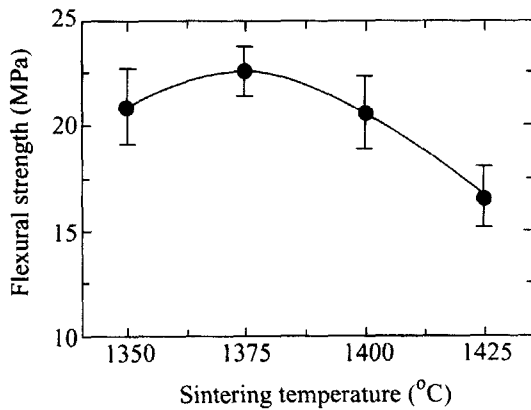


Fig. 6. Flexural strength of SiC filter as a function of sintering temperature.

루어져 있음을 알 수 있다. 코팅층에서는 이전 연구에서 살펴본 바와 같이 효율 높은 집진이 이루어지도록 지지층에 비해 상대적으로 적은 크기의 기공들로 구성된다.⁷⁾

압출성형에 의해 제조한 원통형 캔들 필터의 초기 탄소함유량에 따른 기공율 및 꺾임 강도의 측정값을 Fig. 5의 그래프에 나타내었다. 탄소함유량이 증가함에 따라 점진적으로 기공율이 증가하였으며 탄소함유량에 의해서 기공율의 제어가 가능함을 알 수 있었다. 탄소함유량에 따른 강도변화는 2.5 vol%까지는 증가하다가 그 이후 잔류탄소의 영향 등으로 급격하게 감소함을 알 수 있었다. Fig. 6에는 탄소함유량이 2.5 vol%인 원통형 캔들 필터의 소결온도에 따른 강도 값을 나타냈다. 소결 온도에 따라서 특별한 강도변화를 보이지 않고 1350~1400°C의 소결온도에서 약 20 MPa 내외의 강도 값을 보이고 있다.

따라서 탄소함유량이 2.5 vol%이고 소결온도가 1350~1400°C인 경우, 고온, 고압 하에서 사용할 수 있는 최적

Table 2. Characteristics of SiC Filter Used in the Filtration Test

Mean pore size (μm)		Porosity (%)	Density (g/cm^3)
Support	Coating layer		
47	10	40.3	1.84

의 기공율과 강도를 가지는 세라믹 캔들형 필터를 제조하였다. 고온, 고압의 성능평가에 사용한 탄화규소 캔들형 필터의 물리적 특성을 측정된 결과를 Table 2에 나타냈다.

3.2. 고온고압 성능평가 결과

이전 연구에서는 탄화규소 캔들형 필터를 상온상압 조건에서 여과속도를 변화시키며 먼지부하에 따른 캔들형 필터의 압력손실 특성, 운전시간에 따른 압력손실 특성, 총괄 집진 효율 등을 측정 분석하였다. 그 결과, 여과속도와 먼지부하가 늘어남에 따라 압력손실이 증가하였으며 지지체의 기공율과 형상이 탈진성능에 큰 영향을 준다는 것을 보고한 바 있다.^{7,8)} 그러나 지지체의 기공율과 형상에 관계없이 집진효율은 99.9% 이상으로 높게 유지되어 집진 효율은 코팅층에 의해 좌우되는 것으로 생각되었다.

본 연구에서는 상온, 상압이 아닌 고온, 고압의 조건에서 압력손실 및 집진 성능, 탈진성능에 대한 기본적인 고찰을 수행하였다. 먼저 상온 조건에서 고압 compressor를 이용하여 $5 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 의 일정한 게이지 압력으로 집진 용기 내부를 맞춘 후, 열풍공급장치를 이용하여 간접적으로 공급 공기를 가열시켜 온도를 상승시켰다. 집진 용기 내의 온도 상승에 따른 탄화규소 캔들형 필터 양단의 압력손실을 측정된 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 먼지가 공급되지 않았음에도 탄화규소 필터 자체에 의해 압력손실이 발생되며 이러한 압력손실은 온도가 증가함에 따라 Fig. 7과 같이 선형적으로 증가한다. 이것은 온도가 증가함에 따라 공급된 공기의 비체적이 증가하여 필터 표면을 지나는 공기의 면속도(face velocity)가 증가하기 때문이며, 이러한 결과는 고온에서의 압력손실의 증가와 관계되므로 고온에서 필터를 지속적으로 사용하기 위해서는 잦은 탈진이 수반되어야 함을 의미한다.

압력이 $5 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 이고 온도가 500°C 인 고온, 고압 조건이 이루어지면 집진 용기 내로 $10 \text{ g}/\text{Nm}^3$ 의 입구농도분포로 분진을 공급하게 된다. 이후 운전시간의 경과에 따른 압력손실 변화를 살펴보면 Fig. 8과 같다.

초기 입자가 공급되기 직전의 캔들형 필터 양단에 걸리는 압력손실은 $1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ 이었으며, 입자가 공급됨에 따라 필터 표면에 분진층이 형성되어 분진층으로 인해 필터 양단에 걸리는 압력손실은 점점 증가하게 된다. 상온, 상압의 조건에서 측정된 경우와는 다르게 압력손실의 증가 기울기가 일정하지 않고 변동을 보이는 것은 입구 유

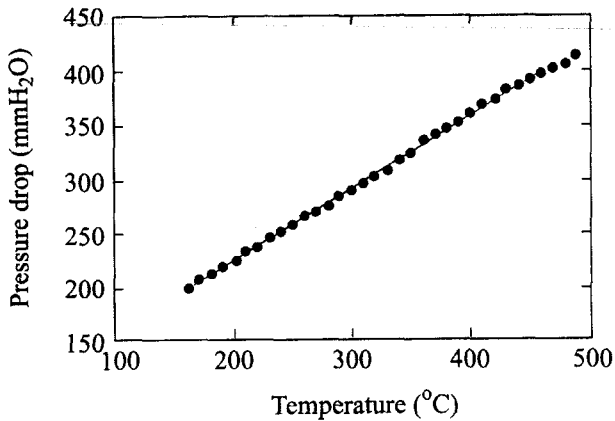


Fig. 7. Pressure drop change of SiC filter as a function of temperature.

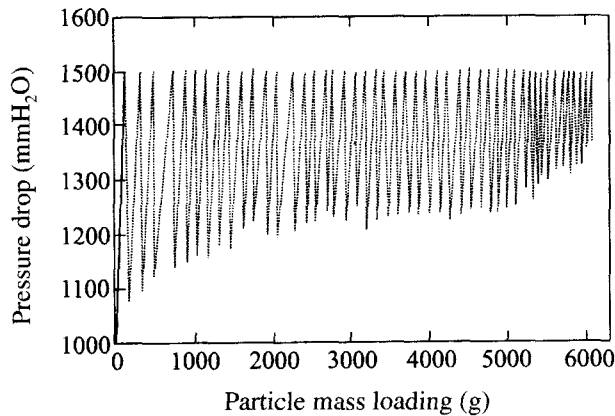


Fig. 8. Pressure drop change of SiC filter as a function of particle mass loading.

입관에서의 입자부착 및 부착된 입자의 유실에 따라 시간에 따른 screw feeder로부터 공급되는 먼지의 양이 일정치 않을 수 있다는 점, 그리고 집진 용기 내벽이나 필터 목 부분 근처에 부착되어 있던 입자층의 중력에 의한 유실로 생긴 재비산 등의 이유로 인하여 발생된다고 생각된다.^{14,15)}

필터 양단의 압력손실이 설정된 펄스 가동압력 1500 mmH₂O에 도달하게 되면, 순간적인 pulse jet이 필터 출구에서 유동의 역방향으로 분사되어 필터에 부착된 분진층들이 제거된다. 그러나 강력한 pulse jet으로도 완전한 탈진이 이루어지지 않기 때문에 초기 입자층이 전혀 부착되어 있지 않았을 때의 압력손실 값까지 도달하지 못하게 된다. 입자층의 두께를 알기 위해서 인위적으로 스크래치를 한 결과, 입자층의 두께는 위치마다 약간의 차이는 있으나 대략 2~3 mm 정도였다. 탈진이 일어난 후 공급되는 입자들이 표면에서 재집진되어 압력손실은 다시 증가하게 된다. 압력손실이 탈진 압력에 도달하여 탈진이 일어난 후 압력손실 증가 기울기를 살펴보면 이전의 경

우들에 비하여 조금 더 높아지는 경우가 있다. 이것은 탈진에 의하여 필터 표면으로부터 제거된 입자층들의 붕괴와 호퍼로부터의 재부유에 의한 재비산으로 인하여 일정 시간동안 집진 용기 내의 입자농도가 높아졌기 때문이다. 이러한 현상들은 Duo *et al*와 Smith 등 여러 연구자들^{16,17)}에 의하여 현재에도 많이 연구되고 있다. 압력손실 증가 과정 중 압력손실의 증가율이 줄어드는 현상이 일어나는 경우도 있는데, 이것은 screw feeder의 screw 나사산 사이에 입자들이 고밀도로 엉겨붙거나 또는 screw 영역과 그 인접한 상부 저장용기 사이에 입자가 존재하지 않는 rat hole이 만들어져서 일시적으로 입자의 공급량이 줄어들기 때문이다. 이 문제는 외부의 강한 충돌력이나 기계적 처리에 의하여 처리되었으며, 그 이후 압력손실의 점진적 증가로부터 입자의 공급이 원활하게 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 집진 용기를 지난 후 출구에서의 입자농도 분포를 측정된 결과이다. 운전시간 경과에 따른 집진 장치 내로 입자들이 공급되어 필터표면에 입자층이 형성됨에 따라 필터 양단에 걸리는 압력 차에 따른 집진 장치 출구를 빠져나오는 입자크기별 수농도를 보여준다. 측정결과, 필터 양단의 압력 차가 증가함에 따라 집진 용기를 빠져나오는 입자의 농도는 점점 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 입자의 필터에 의한 집진으로 생성된 분진층이 또 다른 필터로써 작용하기 때문에 집진 성능이 향상되어 집진 장치 출구를 빠져나가는 입자의 양이 감소하기 때문이다.

출구 입자농도 분포를 살펴보면, 입자의 총 농도는 다르지만 분포 형상은 유사한 것을 알 수 있다. 이로부터 필터의 입자크기별 집진 성능의 양상은 주위조건에 지배

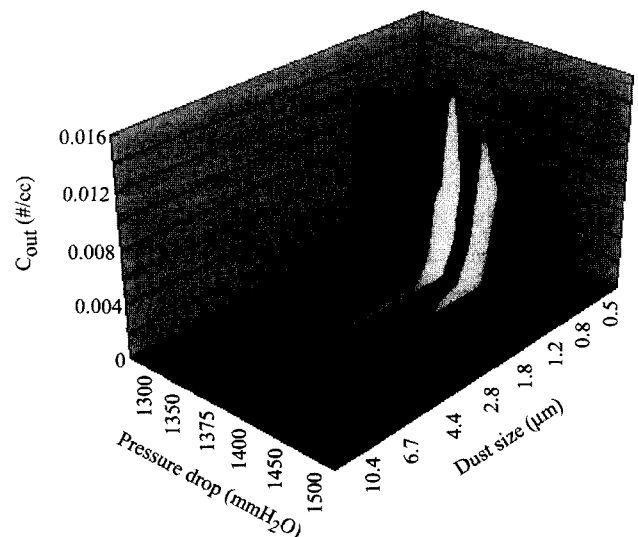


Fig. 9. Distribution of dust concentration in the outlet of collector.

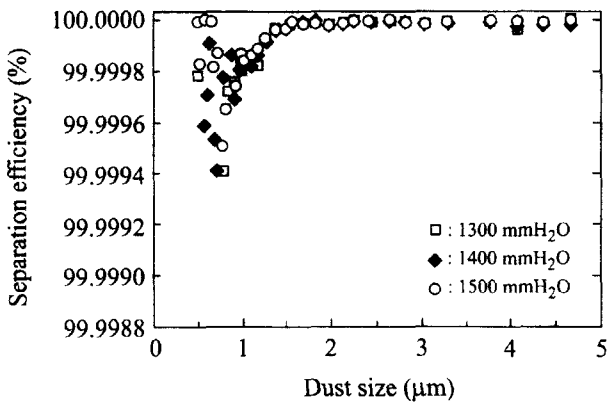


Fig. 10. Separation efficiency of SiC filter as a function of dust size.

되지 않고 거의 일정하다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 10은 먼지크기에 따른 탄화규소 캔들형 필터의 집진 효율을 나타낸다. 전반적으로 입자크기별 집진 성능이 99.999% 이상인 것을 알 수 있고, 특히 0.8 μm 미만크기의 미세 먼지는 99.9994% 이상으로 집진이 이루어짐을 알 수 있다. 다만 그래프에서 0.5~1 μm 범위의 미세먼지의 집진 효율이 상대적으로 낮고 입자크기가 증가할수록 집진 효율이 다소 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 집진 장치로 공급되는 입자의 농도분포 중 큰 입자일수록 수농도가 작은 입자에 비하여 아주 작기 때문에 일어나는 상대적 실험오차에 기인한 것으로 생각된다. 또한 그래프에서 알 수 있듯이, 압력손실의 차이에 따른 집진 효율의 차이는 아주 미미하였다.

4. 결 론

점토와 CaCO₃의 무기결합체가 첨가된 캔들형상의 필터를 압출성형법으로 제조한 후 1400°C의 온도에서 대기 중에서 소결하여 탄화규소 필터를 제조하였다. 기공율과 강도를 고려하여 2.5 vol%의 탄소가 첨가된 필터가 상대적으로 적절한 특성을 나타내어 이와 같이 제조된 필터의 3점 꺾임강도 값은 약 23 MPa이었다. 제조된 탄화규소 캔들형 필터는 자체 제작한 고온, 고압용 배가스 처리용 실험장치에서 그 성능이 평가되었다. 그 결과 제조된 탄화규소 캔들형 필터는 실제 가압유동층 복합발전의 고온, 고압공정에 적용되어 가압유동층 연소가스에 포함되어 있는 미세한 먼지들을 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 판단되나, 가압유동층 복합발전 시스템에서 보다 효율적인 사용을 위해서는 필터의 탈진성능의 개선이 필요함을 알 수 있었다. 상온, 상압의 실험에서와 마찬가지로 고온, 고압하의 실험결과에서도 99.999% 이상의 우수한 집진 효과를 나타낸 결과로부터 집진 성능에 가장 영향을 많이 미치는 요소는 코팅층의 상대적으로 적은 크기

의 기공과 적절한 기공율에 의해 이루어지는 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. J. Stringer and A. J. Leitch, "Ceramic Candle Filter Performance at the Gremethopre (UK) Pressurized Fluidized Bed Combustor," *J. Eng. Gas Turbines Power-T ASME*, **114** 371-79 (1992).
2. R. A. Newby, T. E. Lippert, M. A. Alvin, G. J. Burck and Z. N. Sanjana, "Status of Westinghouse Hot Gas Filters for Coal and Biomass Power Systems," *J. Eng. Gas Turbines Power-T ASME*, **121** 401-08 (1999).
3. J. H. Choi, S. M. Keum and J. D. Chung, "Operation of Ceramic Candle Filter at High Temperature for PFBC Application(in Kor.)," *Kor. J. Chem. Eng.*, **16** [6] 823-28 (1999).
4. W. Duo, J. R. Grace, C. J. Lim, C. M. H. Brereton, A. P. Watkinson and K. Laursen, "The Role of the Filter Cake in Hot Gas Cleaning with Ceramic Filters," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38** 260-69 (1999).
5. S. Hajek and W. Peukert, "Experimental Investigations with Ceramic High-temperature Filter Media," *Filtration & Separation*, Jan, 29-37 (1996).
6. R. R. Judkins, D. P. Stinton, R. G. Smith, E. M. Fischer, J. H. Eaton, B. L. Weaver, J. L. Kahnke and D. J. Pysker, "Development of Ceramic Composite Hot-gas Filters," *J. Eng. Gas Turbines Power-T ASME*, **118** 495-99 (1996).
7. S. K. Woo, K. S. Lee, I. S. Han, D. W. Seo and Y. O. Park, "Role of Porosity in Dust Cleaning of Silicon Carbide Ceramic Filters," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **109** [9] 742-47 (2001).
8. K. S. Lee, S. K. Woo, I. S. Han, D. W. Seo, S. J. Park and Y. O. Park, "Filtering Characteristics of Porous SiC Filter with High Surface Area," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **110** [7] in publication (2002).
9. J. C. Lee and I. H. Kook, "Studies on the Oxide Bonded Silicon Carbide Porous Materials(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **27** [2] 179-86 (1990).
10. B. H. Kim and Y. H. Na, "Fabrication of Porous Mullite Ceramics and its Properties(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **31** [3] 275-81 (1994).
11. J. Yang, "Studies on the Control of Porosity and Mean Pore Size in Cordierite Ceramics(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **35** [4] 399-405 (1998).
12. C. Kanaoka and T. Kishima, "Analysis of Hot Gas Filtration by Rigid Ceramic Candle Type Filter and Dust Release Mechanism," *Proceedings of the 4th Japan-Korea Symposium on Separation Technology*, **2** 725 (1996).
13. S. Ito, T. Tanaka and S. Kawamura, "Changes in Pressure Loss and Face Velocity of Ceramic Candle Filters Caused by Reverse Cleaning in Hot Coal Gas Filtration," *Powder Tech.*, **100** 32-40 (1998).
14. K. V. Thambimuthu, "Gas Cleaning for Advanced Coal-base Power Generation," IEACR/53, IEA Coal Research, London (1993).

15. R. Clift and J. P. K. Seville, "Gas Cleaning at High Temperature," Blackie Academic & Professional, New York (1993).
16. W. Duo, N. F. Kirkby, J. P. K. Seville and R. Clift, "Patch Cleaning of Rigid Filters. II. Experimental and Model Validation," *Chemical Engng. Sci.*, **52** 153-64 (1997).
17. D. H. Smith, V. Powell, G. Ahmadi and M. Ferer, "Analysis of Operational Filtration Data-Part III: Re-entrainment and Incomplete Cleaning of Dust Cake," *Aerosol Sci. Technol.*, **29** 224-35 (1998).