

가압유동층 복합발전용 세라믹 캔들필터의 제조 및 성능평가

이상훈*, 이승원*

충남대학교 금속공학과*

이기성, 서두원, 한인섭, 박석주, 박영옥, 우상국
한국에너지기술연구원

Fabrication and Evaluation of Ceramic Candle Filter for
Pressurized Fluidized-Bed Combustion

Sang Hoon Lee*, Seung Won Lee*

Chungnam University*

Kee Sung Lee, Doo Won Seo, In Sub Han, Joo Seog Park, Young Ok Park
and Sang Kuk Woo

Korea Institute of Energy Research

1. 서 론

현재 석탄의 액화 및 가스화에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 경제성과 환경문제에 우수한 성능을 보이는 석탄가스화 복합발전 시스템(PFBC, Pressurized Fluidized-Bed Combustion)이 부각되고 있다[1,2].

가압유동층 복합발전 시스템은 약 6~10기압 및 석탄 연소열에 의한 750~900°C의 고온고압의 연소기체를 가스터빈에 사용하여 증기터빈과 함께 복합발전을 한다. 하지만 가스 터빈으로 유입되는 연소 배기가스의 먼지 입자가 가스 터빈의 날개를 마모 및 부식시켜 가스 터빈 수명을 저하시키고, 또한 고온고압의 배기가스 중에는 가스 터빈을 부식시키는 화학물질 등이 미세한 먼지입자 형태로 포함되어 있어 연소 배기가스의 고효율 정제는 매우 중요한 공정이다.

현재 가압유동층 복합발전 시스템의 실제 공정에서 배기가스를 정제하는 방법으로는 싸이클론으로 큰 먼지입자를 제거한 후, 세라믹 필터를 이용해서 이차집진을 하고 있다. 이때 사용되는 고온고압용 집진 필터는 대부분이 세라믹 캔들필터(candle type ceramic filter)이다[1,2].

캔들필터는 지지층과 분리막층의 이중 구조로 되어 있다[3,4]. 내부 지지층은 비교적 큰 기공으로 이루어져 연소 배기가스의 흐름을 원활하게 하고 표면 분리막층은 작은 크기의 기공들로 이루어져 있어 연소 배기가스 내의 미세한 먼지입자를 포집제거할 뿐만 아니라 고온에서 휘발된 증기상태 vapour등을 흡착제거하며 먼지입자에 응집된 화학물질도 효과적으로 제거한다[5,6].

본 연구에서는 가압유동층 복합발전용 시스템에서 특성이 상대적으로 우수한 것으로 예상되는 탄화규소를 사용하여 정수압성형과 압출성형으로 지지층을 성형하고 분리막층을 코팅하여 물리적 특성이 양호하고 집진성능이 우수한 다공질 세라믹 캔들필터를 제조하였다. 또한 가압유동층 복합발전 시스템과 유사한 장치를 이용하여 다양한 조건에서 캔들필터의 집진효율을 측정하였다.

2. 실 험

2.1. 세라믹 캔들필터의 제조 및 특성분석

정수압 성형과 압출성형시 평균 180 μ m 사이의 탄화규소(SiC)분말을 무기결합제, 성형보조제 등과 같이 혼합하여 필터를 제조하였다.

정수압성형은 혼합한 분말을 물드에 가압 충전한 후 300kg/cm²의 압력으로 정수압 가압성형(CIP)하여 외경 60cm, 내경 40cm, 길이 50cm의 원통형 지지체를 성형하였다. 한편 압출성형은 혼합한 분말에 압출성형시 윤활성을 좋게하기 위해 탄소분말(carbon black, L30, LG카본)을 첨가하여 외경 60cm, 내경 40cm, 길이 100cm의 원통을 압출성형하고 원통형의 양단에 부착되는 성형체를 동일한 원료로 일축가압성형하여 접착하고 건조시켜 캔들형 지지체를 제조하였다.

표면 분리막층을 코팅하기 위해 평균 14 μ m의 탄화규소(SiC)분말과 소결조제, 분산제, 소포제등을 물에 분산시켜 ball milling으로 코팅용 혼합 슬러리를 제조한 후 제조된 지지체에 자동코팅하였고, 이를 건조시킨 후 1400 $^{\circ}$ C, 대기중에서 소결하였다. 제조 공정도는 Fig. 1에 나타내었다.

필터의 밀도, 기공율, 꺾임강도를 측정하였으며 이들의 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 시편의 파단면을 관찰하였다. 밀도 및 기공율은 각 시험편을 3시간 이상 끓인 후 포수무게, 현수무게, 건조무게를 측정하여 계산하였다. 꺾임강도는 만능강도시험기(UTM)에서 3점 꺾임강도법으로 측정하였다.

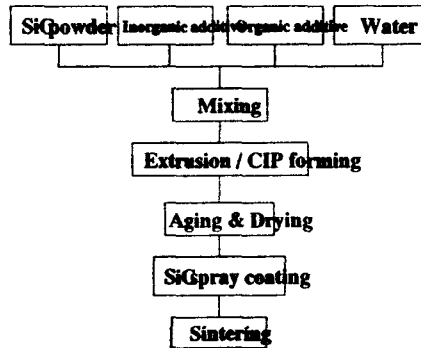


Fig. 1. Experimental procedure for the fabrication of porous SiC candle filter.

2.2 성능평가실험

온도와 압력에 따른 필터의 성능평가실험을 위해서 각각 상온상압과 고온고압 조건의 실험장치를 제작하였다. 또한 보령화력발전소의 석탄 미분탄 연소 후 전기집진기에서 포집된 평균입자크기(MMD)가 17.2 μ m, 비중이 2.22g/cm³인 fly ash를 Jet mill(ALPINE, Model 100AFG)로 분쇄하여 평균입자크기(MMD)가 5.16 μ m인 실험용 먼지를 제조하여 사용하였다.

본 실험의 실험조건은 필터의 크기, 실험장치로 인해 약간의 차이가 있었다. 실험조건을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Experimental condition for filtration evaluation

	CIP Filter	Extrusion Filter	
Vessel temperature ($^{\circ}$ C)	25	25	500
Vessel pressure (kgf/cm ²)	1.0332	1.0332	5
Face velocity(m/s)	0.05	0.020778	0.0267
Inlet concentration (g/m ³)	4	4	10

3. 결과 및 고찰

3.1. 세라믹 캔들필터의 특성

Fig. 2는 정수압 성형과 압출성형으로부터 제조된 원통형 세라믹 캔들필터의 미세구조를 나타낸다. Fig. 2(a)와 (b)는 정수압성형에 의해 제조된 필터의 단면이고 Fig. 2(c)와 (d)는 압출성형으로 제조된 필터의 확대사진이다. 두 필터 모두 기공이 필터 전반에 균일하게 분포 형성되어 있어 필터의 압력손실을 낮춰 효율적인 집진 역할을 원활하게 수행할 것으로 기대되고 SiC 입자와 입자사이의 neck부분의 결합(bond)이 잘 형성돼 가압유동층 복합발전용 시스템에서 사용할 수 있는 높은 강도를 나타낼 것으로 생각되었다.

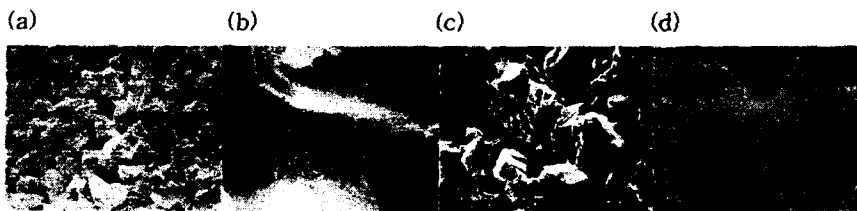


Fig. 2. SEM photographs of microrstructure of SiC candle filter ; (a) and (b) : CIP filter, (c) and (d) : Extrusion filter

제조한 필터의 물리적 특성을 측정된 결과, 성형방법의 차이로 밀도와 기공율에서 약간의 차이를 보였으나 두 필터 모두 가압유동층에서 사용할 수 있을 정도의 높은 강도값을 나타내었다. 측정된 결과는 Table. 2에 나타냈다.

Table. 2. Characteristics of SiC filter used in the filtration test

	Density(g/cm ³)	Porosity(%)	Flexural strength(MPa)
CIP Filter	1.99	33.68	23.7
Extrusion Filter	1.84	40.3	22.5

3.2. 필터의 성능평가

상온상압 조건에서 정수압성형 필터와 압출성형한 필터에 대해 집진효율을 측정된 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3과 같이 정수압성형한 세라믹 캔들필터의 먼지부하 변화에 대한 집진효율은 상온상압 조건에서 99.99% 이상으로 높게 나타났으며 압출성형한 필터에 대해서는 Fig. 4와 같이 약간의 실험조건의 차이는 있으나 정수압성형한 필터와 같이 상온상압의 조건에서 99.99% 이상의 집진효율을 보였고, 0.5~15.0 μ m의 먼지크기에 대하여 별다른 차이를 보이지 않았다.

압출성형한 필터를 고온고압의 조건에서 성능평가하여 집진효율을 측정된 결과를 먼지크기에 대하여 Fig. 5에 나타내었다. 전반적으로 먼지크기별 집진성능이 99.999% 이상인 것을 알 수 있고

1 μ m미만 크기의 미세먼지는 99.994% 이상으로 집진이 이루어짐을 알 수 있다. 특히 0.5~1 μ m 범위의 미세먼지는 집진효율이 상대적으로 낮고 입자크기가 증가할수록 집진효율이 약간 감소하는 경향을 보이는데 이는 집진장치로 공급되는 입자의 농도분포에서 큰 먼지가 작은 먼지에 비해서 수 농도가 아주 작기 때문에 생기는 상대적 실험오차에 기인한 것이라 생각된다.

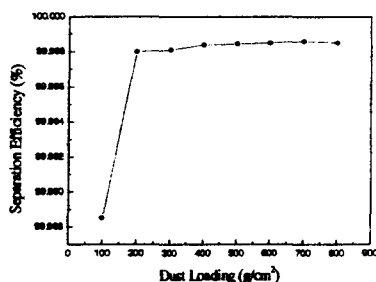


Fig. 3. Separation efficiency of SiC candle filters(CIP) as a function of dust loading(25°C, 1atm).

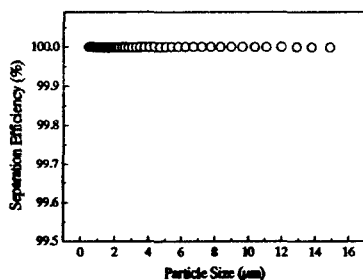


Fig. 4. Separation efficiency of SiC candle filters(Extrusion) as a function of particle size(25°C, 1atm).

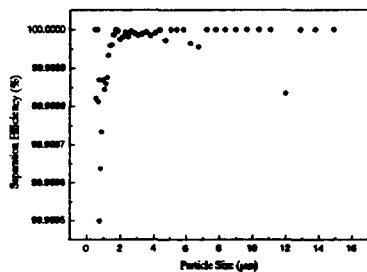


Fig. 5. Separation efficiency of SiC candle filters(Extrusion) as a function of particle size(500°C, 5atm).

4. 결 론

각각 정수압성형과 압출성형에 의해서 길이 50cm, 100cm의 세라믹 캔들필터를 제작하여 특성을

비교해본 결과, 두 개의 필터 모두 실제 시스템에서 사용할 수준의 22MPa 이상의 높은 강도를 나타내었다. 즉 필터의 강도는 입자간의 결합력에 의해서 지배된다고 생각되었다.

제조된 세라믹 캔들필터를 상온상압, 고온고압 조건에서 집진성능을 평가한 결과, 모든 조건의 평가실험에서 99.99% 이상의 높은 집진효율을 얻을 수 있었다. 따라서 제조된 세라믹 캔들필터는 실제의 시스템에 사용하여도 연소배가스에 포함되어 있는 미세한 먼지 및 화학물질을 효과적으로 제거할 수 있다고 판단된다.

5. 참고문헌

1. J. H. Choi, S. M. Keum and J. D. Chung, " Operation of Ceramic Candle Filter at High Temperature for PFBC Application," *Korean. J. Chem. Eng.*, **16** 823 (1999).
2. 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 (1999).
3. K. S. Lee, D. W. Seo, I. S. Han, S. K. Woo, K. Bai, K. S. Hong, J. H. Lim and Y. O. Park, "Development of Silicon Carbide Filters for Cleaning of Combustion Gas from Coal," The Korean Energy Engineering Soc., Spring Meeting, p159~164 (2000).
4. 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*, vol. 2, 725 (1996).
5. 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** 742 (2001).
6. 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.*, in press (2002).