

< 논 문 >

세라믹캔들필터 집진 이후 Ash의 크기 및 분포에 관한 연구

정진도* · 이종범* · 김종영*

(1995년 7월 18일 접수)

A Study on Ash Size and its Distribution on Cleaning of Ceramic Candle Filter

Jin-Do Chung, Joong-Beom Lee and Chong-Young Kim

Key Words : Distribution of Ash Size, Aerodynamic Diameter of Ash, Ash Characteristics, Pore Size, IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle), Ceramic Candle Filter,

Abstract

Protection of gas turbine blade from its erosion and abrasion at high temperature and pressure is the first goal to cleanup the hot gas upstream for IGCC and PFBC. Ceramic filters represent an attractive technology for particle removal at high temperature and high pressure condition. They have demonstrated being a good system for improvement of thermal efficiency and reduction of effluent pollutants in advanced coal-based power systems such as IGCC and PFBC. Ceramic filter elements currently being developed were evaluated in the previous paper. In this paper, we measured the ash size and distribution on cleaning of ceramic candle filter. The results are as follows : in this experimental range, ceramic candle filter was shown to be fully adequate for the removal process of dust under high temperature and pressure. Also filtration efficiency of ceramic candle filter was higher than 98% compared with the regulation limit of particle size in gas turbine inlet.

1. 서 론

석탄가스화 복합발전(IGCC)은 열효율을 향상시키고 환경오염을 최소화하는 최신 에너지 전환 시스템으로서 전세계적으로 상용화를 위해서 많은 노력을 기울이고 있다. IGCC에서 집진은 가스터빈의 보호와 분진배출 방지를 위해서 필수적인 공정이다.⁽¹⁾ IGCC에서 고도의 열효율과 시스템의 최적화를 위해서 고온, 고압하에서 집진이 수행되어야 한다.

IGCC 가스터빈 연소기에 입력되는 가스의 온도

는 공정과 설계에 따라서 다소 다르지만 약 430°C와 25bar가 권장된다.⁽²⁾ 이 조건은 가압유동층 연소의 가스터빈 유입 조건인 800~900°C와 25bar보다는 저온이다.⁽³⁾

IGCC의 경우는 환원가스를 정제하여 가스터빈 연소실에서 재연소를 하기 때문에 재연소를 하지 않는 PFBC보다 저온에서 집진이 운전될 수 있다는 이점이 있다. IGCC 집진 조건은 시스템의 열효율과 재료 적합성 그리고 복합적인 경제성을 고려해서 현재의 기술수준과 재료 충당여부에 의해 정해진 것이다. 차후에 집진기술과 내열성 재료가 더욱 발전되면 집진 온도와 시스템의 효율은 더욱 높아질 것이다.^(1,3)

석탄가스화 공정에서 10,000ppmw 이상으로 배

*한국전력공사 전력연구원

출되는 분진을 10ppmw 이하로 제거하기 위해서 현재 도입을 검토하고 있는 집진 시스템으로는 세라믹 필터, 입자층 여과기, 전기집진기, 건식 또는 습식 스크러버, 그리고 여러가지 Barrier 필터가 있다. 각 시스템은 나름대로 장단점을 가지고 있으며 개발 상태도 다르다. 세라믹 필터 집진기에는 캔들 필터, 튜브필터, 그리고 cross flow 필터의 형태로 나뉘어 개발되고 있다.

1983년까지 개발된 열 개의 집진 시스템 중에서 세라믹 cross flow 필터가 성능과 경제성 등의 면에서 최적인 시스템으로 평가되었다.^(4,5) 그 이후에 Coors, 3M, 그리고 Westinghouse와 EPRI를 중심으로 cross flow 필터 개발을 위해 많은 노력이 경주되었다. 오랫동안의 많은 노력에도 불구하고 cross flow 필터 집진기술은 아직까지 파이롯트급 개발 상태에 머물고 있다. 이에 비해 세라믹 캔들 필터 시스템의 개발은 급속히 진행되어 현재 상용화 도입 단계에 있다. 캔들 필터는 25년 전부터 독일의 Schumacher사에 의하여 SiC 소재로써 개발되어 왔으며 전세계적인 집진공정에서 다양한 규모의 시험 단계를 거쳐 현재 네덜란드 Buggenum의 250MWe급 IGCC를 상용규모로 시험중이다.^(4,5) 캔들 필터의 개발은 미국의 Refractron사와 일본의 NGK사 등에서도 최근에 개발을 착수하여 큰 성과를 보이고 있다.

필터의 개발도 중요하지만 상용규모에서 수천 개의 필터를 효과적으로 설치하는 기술이 중요하다. 이와 같은 설계 기술은 독일의 LLB사, 미국의 EPRI와 PALL사, 일본의 MHI사 등이 주축이 되어 개발하고 있다.⁽⁵⁾

입자층 여과기(GBF)는 입자층의 재생과 입자순환에 공정상의 분쇄가 발생할 수 있다. 즉 재비산에 의한 집진효율의 저조와 고온에서 입자순환의 기술개발이 큰 과제이다. 미국의 Westinghouse와 일본의 KHI에서 GBF의 개발을 주도하고 있으나 아직까지 파이롯트급 수준이다.^(6,7)

현재의 기술개발 상황, 세계적인 흐름, 시스템의 성능, 신빙성, 그리고 안정성을 고려하였을 때 SiC 캔들 또는 튜브형 필터가 IGCC 최적 집진공정 시스템으로 판단되었다.^(5,8)

기존의 화력발전 시스템의 공해 방지책으로 널리 사용되고 있는 전기 집진기는 고온고압에서의 전극 개발과 운전상의 기술문제가 해결되어야 할 과제이다. 우리나라는 3~4년 전부터 에너지 기술연구소

에서 석탄가스화의 상용화를 위한 기초 연구가 진행되어 현재 0.5T/D급 설비가 가동중이고 고등기술연구원은 3T/D급 가스화기설비의 제작을 완료한 단계이다. IGCC 집진연구는 1994년부터 한전주도의 G7 연구과제로 시작하여 상용화 도입전략과 더불어 집진 공정의 국산화를 위한 요소기술 기초 연구가 전력연구원을 주축으로 국내 엔지니어링사와 경상대학교에서 공동연구되고 있다.^(7,8)

본 연구에서는 집진 공정의 부분 국산화와 집진 시스템의 실험을 위하여 Si-C계 세라믹 캔들 필터(길이 1m, 내경 40mm 외경 60mm) 세 개를 설치하여 집진 용량이 1T/D 용량인 벤치급(Bench Scale Unit) 규모 집진 시스템의 자체제작을 완료하였다.^(4,5,8) 20시간 연속 실험 후 실험전과 후의 세라믹 캔들 필터의 표면 분석을 수행하였다. 또한 석탄의 연소시 발생하는 Ash를 이용하여 분진입자의 크기 및 분포 특성을 파악하고자 하였으며 이때 분진 채취는 dust feeder부, system hopper부, 필터를 통과한 출구 측 가스터빈 입구의 세 부분에서 이루어졌다. 세라믹 필터의 집진효율과 본 실험에 사용된 세라믹 캔들 필터가 가스 터빈의 입구 분진 허용한계치를 만족하는지를 동시에 수행하여 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 장치의 개략도가 Fig. 1이다. Pulse Air 공급 계통은 먼저 공기 압축기를 나온 공기가 습기제거 필터를 통과하면서 공기 중에 함유된 습기가 제거되며, 압력 조정기(Pressure Regulator)에서는 필터를 통과한 공기가 실험에 적합한 정압을 유지할 수 있도록 on/off 밸브를 통하여 Receiving Tank로 들어간다.

바로 이곳에서 공기압축기에서 발생한 압축공기의 변동성분이 보상되어 솔레노이드 밸브로 이송된다. 솔레노이드 밸브에서의 공기는 여기에 연결된 데이터 처리 시스템의 제어명령에 따라 밸브의 개폐주기 및 압력이 조절되어 역세(Pulse jet)된다. 세라믹 캔들 필터 내부 및 외부에 적층되어 있던 분진이 급속히 강하게 분출되는 역세(Pulse Jet) 공기에 의해 제거되면 시험부 하단에 설치된 호퍼에 쌓이게 된다. 미세분진은 세 개의 세라믹 캔들 필터를 통과한 후에 외기로 배출된다. Fig. 2는 단일 세라믹 캔들 필터의 상세한 형상도이다.

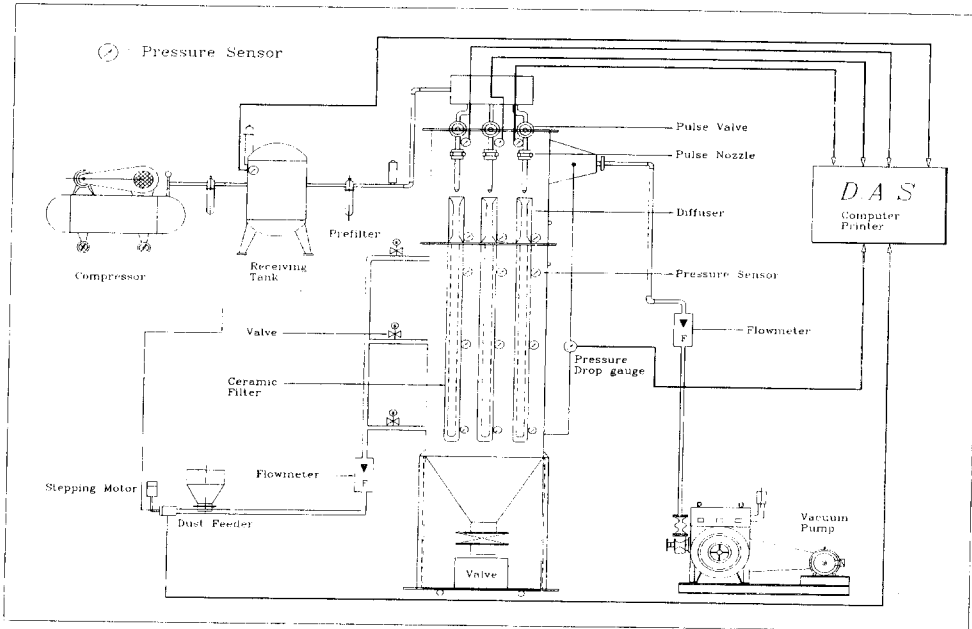


Fig. 1 Schematic Diagram of Dust Removal System for IGCC

필터 모듈은 높이 1.8m 압력 용기 속에 1m용 세라믹 캔들 필터가 120° 간격으로 세 개 설치되어 있으며, 주요 세 부분으로 구성되어 있다. 필터를 감싸고 있는 압력용기부, 단위 필터 고정부, 역세 (pulse-jet) 부이며, 압력 용기부 아래에는 30° 각도로 Ash hopper가 설치되어 있다. 120° 간격으로 설치된 단일 필터는 튜브시트에 고정되어 있으며, 튜브시트 위에는 필터의 떨림을 방지하기 위해 세 개의 고정대(counter weight)를 각각 설치하였다.

Fig. 2에서 나타난 것처럼 단위 필터 구성을 보면 다공층(porous media layer)은 실리콘-카바이드(SiC)로 지지되고 외부의 미세 다공층은 세라믹 격막(diaphragm)으로 코팅되어 있는데 이 필터를 통칭 Dia-schumalith로 불리어지고 길이는 1m이고 외경/내경은 60/40mm이다.

각 필터가 갖고 있는 여과 면적(Filtration area)

은 0.16m²이며 세 개의 필터가 고유하게 갖고 있는 면속도에 대한 압력 강하 Data가 Fig. 3이다.⁽¹⁵⁾ 튜브 시트(tube sheet)에 지지되고 있는 세라믹 필터의 밀봉을 위해 ceramic gasket과 counter weight에 의해 밀봉(sealing)되어 있다.

Dust Feeder에 설치된 Stepping Motor는 데이터 처리 시스템에 의해 제어되며 분진부하는 모터 회전수에 따라 자동적으로 조절될 수 있다. Test section은 집진 및 세라믹 필터 세척시에 내부의 유동을 가시화하여 분진 낙하 기구(Dust Falling Mechanism)의 규명과 PDPA에 의한 속도 측정이 가능하도록 투명하게 제작되었다. 본 연구에서 사용된 운전조건은 Table 1과 같다.

본 실험에서 압력은 매우 중요한 변수로 TASCO CO., LTD. 의 2000/B 4 20mA를 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 Pulsing시와 Pulsing 전후

Table 1 Conditions of experimental parameters

Operating Temperature	Ambient	Face Velocity	2-3cm/s
Operating Pressure	Ambient	Pulsing Pressure	3-5kgf/cm ²
Dust Loading	3-5 g/Nm ³	Kind of Dust	Coal Ash
Dust Size Range	1-30μm		

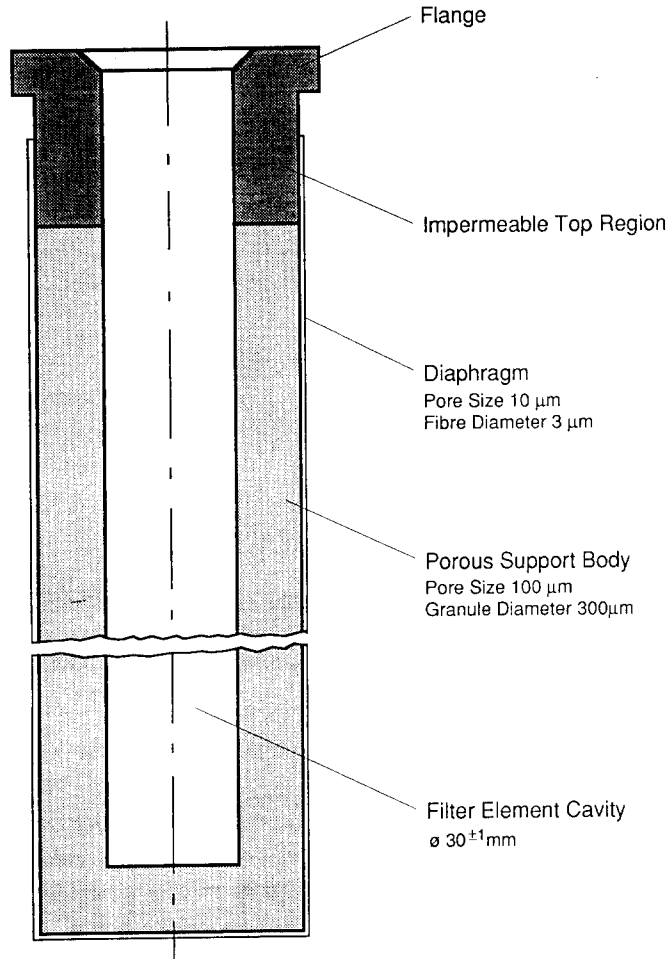


Fig. 2 Composition of the Dia-Schumalith Ceramic Filter Element

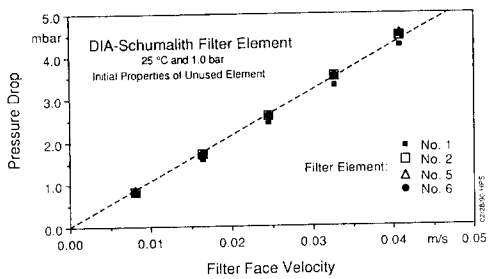


Fig. 3 Pressure drop Data of unused Dia-Schumalith Filter Element at 250°C and 1.1bar⁽¹⁵⁾

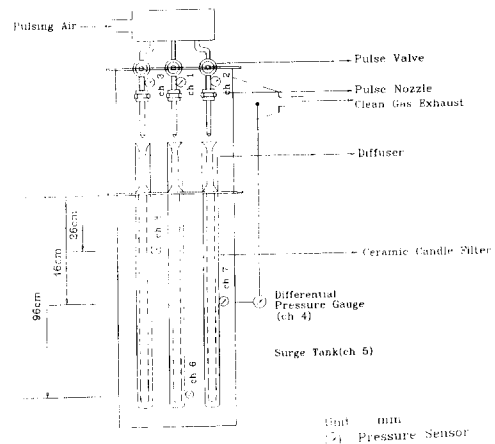


Fig. 4 Schematic Diagram of Cleaning and Pulsing System for Pressure Acquisition

의 미세 압력 변화를 측정하기 위한 장치이다. Fig. 4에서 나타난 바와 같이 필터 내부 26, 46, 96cm 위치의 세 개 지점에 설치된 Pressure Transducer를 설치하여 측정된 압력 신호는 DAS에 저장된다. 본 실험과 같은 장치에서 매우 짧은 시간동안의 압력변화가 역세 압력설정, 실험장치의 설계, 운용 및 유량제어에 매우 중요하기 때문에 정교한 데이터의 취득을 위해 Data Acquisition System(D. A. S)을 사용하였다.

D.A.S. 사양은 9채널까지 사용되며 본 연구에서 Test section으로 유입되는 유량, Receiving Tank에서의 시간에 따른 압력 변동, Pulsing시 노즐(nozzle) 압력, 세라믹 필터 내부에서 측방향에 따른 압력, 그리고 세라믹 캔들 필터를 통한 압력손실(DP) 등을 측정하기 위하여 각각의 유량계, 압력계와 차압계가 장치 내부에 설치되었다. 측정된 물리량은 DAS에 의해 모니터에 출력되고 Computer에 저장 가능하도록 설계되었다. 그리고 순간적인 물리량은 Indicator에 그 값이 나타나도록 하였다.

세 부분에서 측정된 Ash의 입자 크기 및 분포를 분석하기 위한 장치는 Light diffraction과 Light scattering의 원리를 이용한 TSI사의 APS 측정기기(모델명 APS33, 3302 Diluter, 미국)를 채택하였다. Hopper에 쌓인 ash를 샘플링하여 측정할 경우 응집에 의한 입자의 오차를 줄이기 위해 Hopper 윗부분의 butterfly valve 밑에 연속 측정할 값을 취했다.

Ash 입자의 원소 분석은 Electron probe micro-analysis(EPMA)으로 수행하였다. 이 장비는 시편에 전자빔을 조사하여 이곳에서 발생하는 X-선을 분석하는 대표적인 표면분석 장비이다. 이때 X-선의 에너지를 분석하는 EDAX와 X-선의 파장을 분석하는 WDX의 두 종류로 대별된다.⁽⁶⁾

20시간 사용전후 세라믹 필터의 표면 분석은 SEM을 사용하였다. 실험은 먼저 전체 시스템을 확인하고 DAS에 의해 Motor Speed를 10%~90%까지 원하는 분진량을 설정한 후 공기압축기를 동시에 압축시킨다. 압축된 공기는 솔레노이드 밸브에 대기되어 있고 압력 용기 내부의 압력과 튜브 시트 위의 압력의 차이를 차압계에 의해 감지하고 이 차압계가 120mmbar 이상이 되면 DAS 명령에 의해 솔레노이드 밸브①에서 자동적으로 역세(pulse-jet)된다. 계속 분진이 주입되면 차압계의

압력이 일정한 값 이상으로 되어 지는데 이때는 솔레노이드 밸브②가 열리어 역세되며 다음에는 솔레노이드 밸브③이 열리게 되면서 계속 반복하게 된다. 이 역세가 진행되는 동안에 세 개의 세라믹 필터 중 두 개는 집진을 계속 수행하게 되고 한 개만 역세(pulse-jet)되므로 연속 운전이 된다는 것이 장점이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 예비실험 결과

역세 압력 설정과 필터 길이 설계 등에 활용코자 역세시 압력 측정 신호를 분석하여 세라믹 필터 내부의 미세 압력을 측정하였다. Fig. 5는 pulsing시 DAS를 통한 압력 신호를 측정한 결과이다. Receiving tank에서 압축된 고압의 공기가 Diffuser를 통해 필터 내부로 분사될 때 분사압력에 따른 압력 피크 현상이 매우 민감하게 나타나고 있다. 또한 압력별 변화 및 주기 등에 대해서 타당한 결과가 나타났으며 세 개의 솔레노이드 밸브에서 지연시간 특징이 약간 다르게 나타났으며 압력 센서는 신뢰성 있는 데이터를 제공할 수 있었다.

압력 지연 현상, 실시간 압력 변화, 필터 내부와 필터 주위에서의 압력변화 등에 대해서는 향후 계속 연구되어야 할 것이다.

본 실험장치의 예비실험 결과 아래의 사항을 고찰할 수 있었다.

1) 집진 및 역세시에 진공펌프와 공기압축기에서 발생하는 진동이 필터 베셀 내부의 분진 입자에 영향을 주지 않도록 효과적으로 진동을 차단하는 것이 필요했다. 또한 분진이 함유된 유량을 측정하기

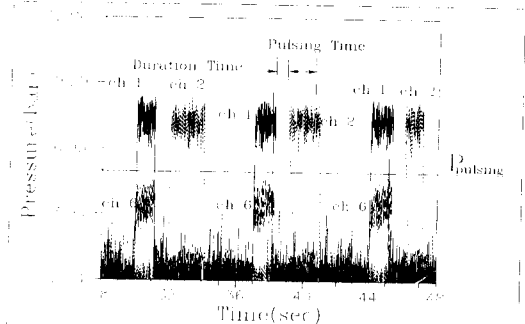


Fig. 5 Signals of Instantaneous Pressure when Pulsing Jet

위해서 고정밀 유량계를 입구와 출구 두 곳에 설치하여 유량을 보정하였다.

2) Dust Feeder에서 시간에 따른 균일한 분진 공급이 이루어지지 않아서 정밀 Feeder를 설계 제작하여 설치하였다. 또한 Feeder에서 스크류 회전수에 의해 Feeder Box내 입자층 사이에 간헐 구멍이 생겨서 일정한 입자의 양을 공급하기 어려워서 Box 위에 Impeller를 부착하여 Box 내부의 빈공간을 제거하였다. 이 Feeder는 DAS의 Controller에서 제어되는 stepping 모터의 회전수에 따라 회전수의 변화를 10%-90%까지 변화할 수 있게끔 설치하였다. 모터 회전수와 분진투입량은 수회 보정하여 사용하였다.

3) 본 장치의 필터 베셀에는 세 개의 필터가 장착되어 있으며 각각의 필터에 동등한 양의 분진 부하가 형성되는 최적의 유체 유입 위치를 결정하기 위하여 원통압력부에 세 곳의 유입구를 설정하였다. 각각의 유입 위치에 따른 유체유동해석은 PDPA를 이용하여 향후 보완 연구할 계획이다.

3.2 SiC계 세라믹 필터 기공(Pore Size)측정

세라믹 필터의 기공 분석은 Adsorption Isotherm 원리를 이용하여 액체질소흡착 등온선을 얻었으며, 사용 기기의 모델명은 ASAP 2000이다. Fig. 6은 세라믹 캔들 필터의 입자기공 분포도를 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 세라믹 캔들 필터의 내부 구조는 20-100Å 사이의 미세한 기공에 밀집되어 있음을 알 수 있다.

3.3 Feeder Box부 분진의 크기 및 분포

본 실험에 사용된 분진은 석탄의 연소시 발생된 Ash를 이용하였다. 이 Ash의 입경분포는 1-20 μ m로 이는 일반적으로 IGCC에서 생성되는 Ash 입경 범위(1-15 μ m)와 비슷하다.

Fig. 7은 Feeder Box 안에 있는 분진의 크기 및 입자분포를 APS(TSI사, APS33, 3302 Diluter) 기기로 10여 회 분석한 결과이며, Fig 7(a)는 입경에 따른 질량 분포를 나타낸 그림이다. 평균입경은 8.21 μ m이고 이때의 입경표준편차는 2.346이었다.

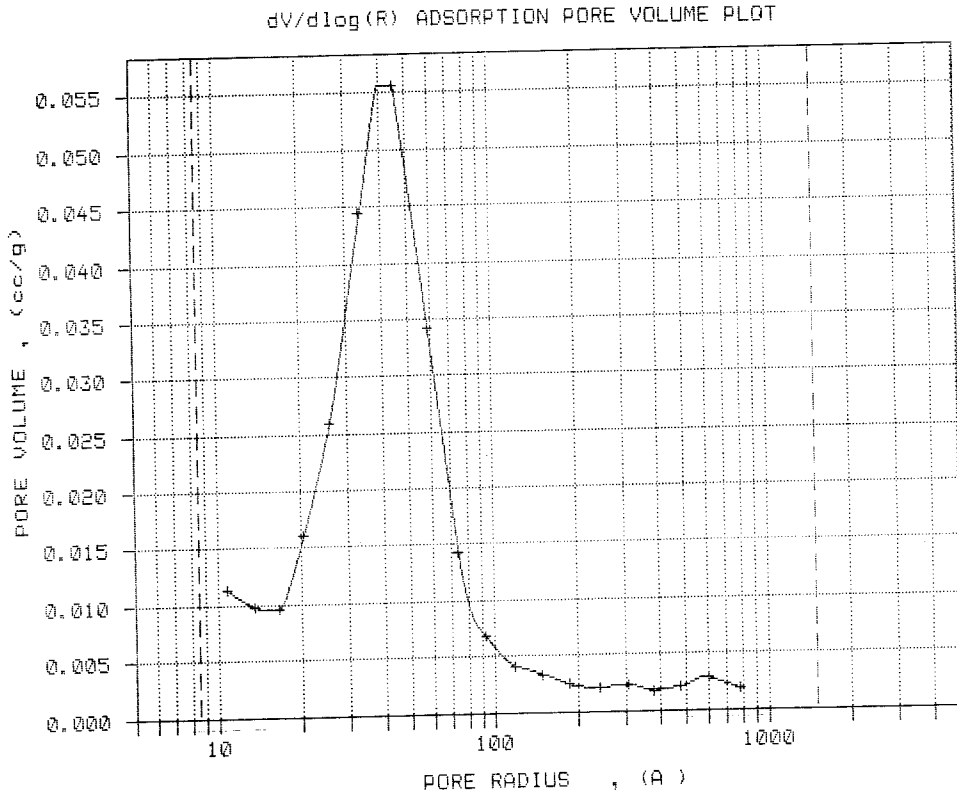


Fig. 6 Measurement of Pore Size in Ceramic Candle Filter Surface

석탄 연소에서 발생한 Ash는 800mesh 이하로 이 입자를 Feeder Box안에 넣어서 사용하였다. 이 그림에서 보면 정상적인 Gaussian 분포가 아니고 0.5 μ m에서 30 μ m 이상 넓은 범위에 걸쳐서 분포되어 있음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 7(b)는 입경을 백분율 분포로 분석측정한 결과이다. 이 그림에서 나타난 바와 같이 5 μ m 이상이 전체에서 75% 이상이고 10 μ m 이상은 40%을 넘게 분포되어 있고 7 μ m 이하는 Table3에서와 같이 40.8% 이하였

다.

3.4 Ash hopper부 분진의 크기 및 분포

Fig 8은 Ash를 정상적으로 주입시켜 Table 1의 운전조건으로 운전시 Pulse Jet 압력이 5kg/cm²로서 세 개의 필터를 교대로 역세시킬 때 호퍼에 떨어진 분진의 크기 및 분포도를 측정된 값이다.

이 분포의 특성을 알아보기 위해 통계처리하여 얻어진 특성치들을 요약하면 Table 2와 같다.

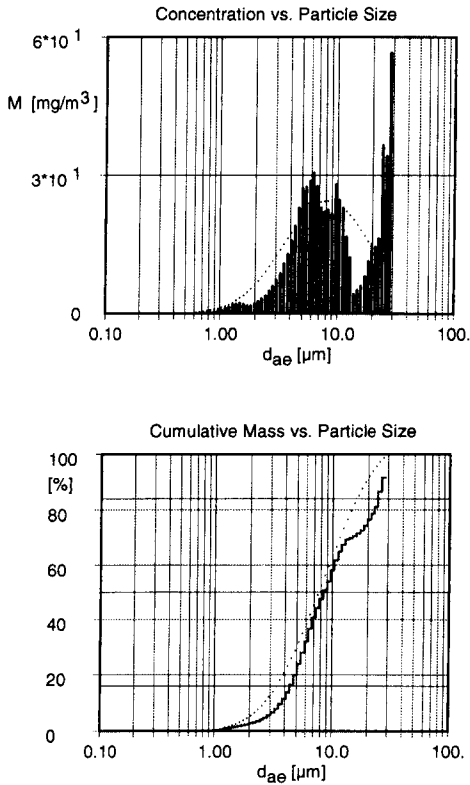


Fig. 7 Measurement of Ash Size and Distribution from Feeder Box

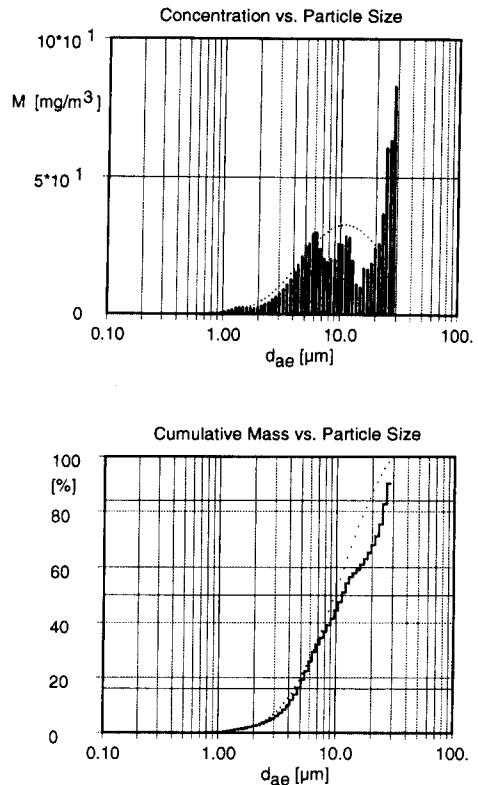


Fig. 8 Measurement of Ash Size and Distribution from Ash Hopper

Table 2 Summary of ash size and distribution test results

Items	Measurement Position	Feeder	Hopper	After Filterating
Mean Diameter (μ m)		8.21	10.90	4.42
Number Basis($d < 7\mu$ m) (%)		97.6	97.8	99.5
Mass Basis($d < 7\mu$ m) (%)		40.8	32.2	83.0
Mean Diameter Deviation		2.346	2.313	1.861

Table 2에서 나타난 바와 같이 석탄회의 평균입경은 $10.90\mu\text{m}$ 으로 원래 투입 분진에 비해 약 32% 정도 증가하였으며 직경 $7\mu\text{m}$ 이하의 입자수는 전체의 97.8% 분포였으며, 질량을 기준으로 하였을 때는 32.2% 이하였다.

Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 뒷부분에서 $20\mu\text{m}$ 전후의 피크치는 세라믹 역세 (pulse-jet) 시 발생되는 공기의 힘으로 Dust Cake 층에서 떨어지는 분진과 투입되는 분진과의 상호접촉으로 인해 생기는 Van der Waals 힘에 의해서 입자들간의 응집 (coalescence) 때문이라고 사료된다.

미세입자영역 ($0-5\mu\text{m}$)의 값은 매우 작게 나타나 있음을 알 수 있다. 이 결과는 Dust Cake 층에서 세라믹 캔들 필터 내부의 기공이 $5\mu\text{m}$ 이하이기 때문에 이 층을 통과하지 못하고 형성된 분진이 순간적으로 강하게 분사된 Pulse Jet 압력에 의해 분진이 하강하여 떨어진 결과임을 알 수 있다. 즉, 이 결과는 기공내의 입자 증착으로 인하여 필터 내부의 압력차가 큰 경우 $5\mu\text{m}$ 이하의 입자가 통과하지 못하고 filtering된다고 사료된다.

3.5 세라믹 필터를 통과한 분진의 크기 및 분포

Fig. 9는 Ash를 정상적으로 주입시키고 운전할 때 Pulse Jet 압력이 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 세 개의 필터를 교대로 역세시 20시간 동안 연속 실험후 세라믹 필터를 통과한 분진을 측정된 값이다.

이 분포의 특성을 알아보기 위해 통계처리하여 얻어진 특성치들을 요약하면 Table 2와 같다.

세 개의 세라믹 필터를 통과한 분진의 질량평균 입경은 $4.42\mu\text{m}$ 이고 이때 표준편차는 1.861이었다. $7\mu\text{m}$ 이하의 입자의 수농도는 전체의 99.5%였으며, 질량평균으로는 83%임을 알 수 있었다. Fig. 9에서 나타난 결과는 앞의 그림에서 알 수 있는 바와 같이 세라믹 캔들 필터 외부의 Diaphragm 막을 통과할 수 있는 입성 범위인 $5\mu\text{m}$ 이하의 값을 대부분 만족시키고 있다. Fig. 9(a)에서 미세입자영역 ($1-5\mu\text{m}$)의 값이 가장 많이 분포되어 있고, 아주 정상적인 Gaussian 분포를 즉 log-normal 분포를 나타내고 있다.

주입 분진 중 $4.42\mu\text{m}$ 이하는 필터의 기공 크기가 $5\mu\text{m}$ 이므로 세라믹 필터의 기공을 통과한 것을 알 수 있었다. 이 값은 Schumalith⁽¹⁵⁾가 제공한 값과 거의 일치함을 알 수 있었고 가스터빈 보호영역 기준치 이하의 값으로 집진장치 설계값과도 일치함

을 알 수 있다.

Fig. 10은 세로축을 입자수로 편성하여 세 지점에서 입자의 분포를 상호 비교 고찰한 결과이다.

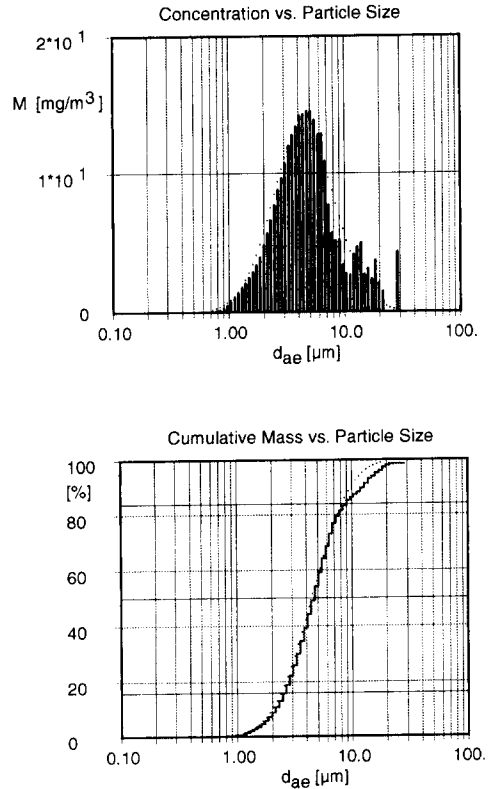


Fig. 9 Measurement of Ash Size and Distribution from Filtration Part

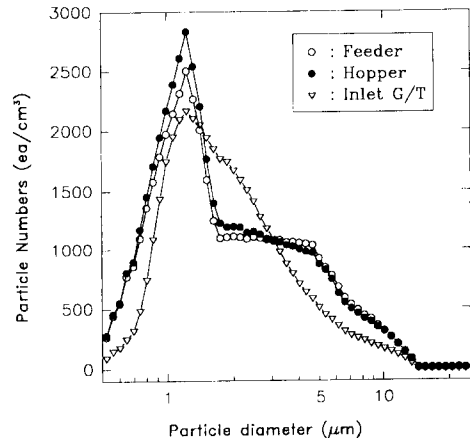


Fig. 10 Comparison of Ash Size and Distribution on Three Points Measurement

이 결과에서도 역시 Hopper 부위에는 큰 입자의 존재가 나타나고 있다. 세 개의 세라믹 캔들 필터를 통과한 입자는 본 연구의 목적인 가스터빈 날개의 입자허용 한계치인 $5\mu\text{m}$ 을 만족하는지를 기준으로 했을 때 Feed부와 Hopper부에 비해 $5\mu\text{m}$ 이상의 값이 월등히 적게 존재함을 알 수 있다.

또한 $1.5\sim 3\mu\text{m}$ 영역에서 다른 두 곳보다 입자수가 많은 이유는 세라믹 필터의 Pore size가 $5\mu\text{m}$ 이나, 시간이 지나면서 필터링이 반복되면서 이 미세 입자층 사이를 미세 입자가 통과한 숫자가 다른 두 곳보다 증가한 때문이다.

3.6 세라믹 필터 사용 전후 표면분석

Fig. 11은 Schumalith-20 세라믹 캔들 필터를 Table 1에 제시한 실험조건에서 20시간 실험하여 SEM 사진으로 분석한 결과이다.



(a) Unused filter



(b) After 20 hours used filter

Fig. 11 Composition of SEM micrographs of ceramic candle filter sampled from the Bench Scale Unit at filtration test facility after 20hrs test.

Fig. 11(a)는 사용전의 필터의 SEM 사진이고 Fig. 11(b)는 20시간 실험 후의 SEM 사진이다. 이 사진 분석에서 나타난 결과를 보면 세라믹 필터 다공층(porous media layer)은 실리콘-카바이드(SiC)로 지지되고 외부 미세 다공층은 세라믹 격막(diaphragm)으로 코팅되어 있다. 집진이 진행되면서 일부분의 미세기공층에 Ash이 나타난 결과로 보아서 이 Membrane 막을 지나던 $5\mu\text{m}$ 이하의 Ash가 통과되면서 난 일부가 잔류되어 있음을 알 수 있었다. 이 Fig. 11(b)에서 흰 부분이 Ash로 판단되었다.

또한 사용후의 세라믹 필터 성분 분석 결과 Ash의 주성분을 이루고 있는 탄소(C), Al_2O_3 및 SiO_2 피크가 성장되어 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 세라믹 캔들 필터를 사용하여 석탄가스화 및 연소가스용 벤치급 집진장치를 설계/제작하였다. 본 집진장치의 효율적인 제어 및 연속 운전 실험을 위하여 자동제어 시스템을 이용하였고, 또한 세라믹 필터의 역세시 미세 압력 변화신호를 얻을 수 있었다. 예비 시운전을 통하여 최적 집진장치의 설계시 고려되어야 할 사항들을 파악하였으며 세라믹 필터를 이용한 집진 전후 분진의 크기 및 분포 특성에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 예비실험결과 실험범위에서 역세 압력이 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 세라믹 필터 세 곳 모두 일정한 압력을 보였으며 또한 세라믹 필터 내부 미세압력 신호를 측정할 결과 큰 차이는 나타나지 않았다.

② 본 실험에 사용된 분진의 크기는 $0\sim 20\mu\text{m}$ 범위였으며, Ash 분석 결과 평균입경은 $8.21\mu\text{m}$ 이고, 수입자 평균 크기는 $7\mu\text{m}$ 이하가 97.6%였고 질량평균 입자 크기를 기준으로 했을 때는 40.8%였다.

③ 주입 분진에 비해 호퍼에 낙하된 분진의 크기는 32% 증가했으며, 평균입자 크기는 $10.90\mu\text{m}$ 로 주입분진에 비해 증가함을 알 수 있었다.

④ 세 개의 세라믹 캔들 필터를 통과한 분진의 크기 및 분포 특성결과 입자 크기는 $4.42\mu\text{m}$ 였고 이 값은 schumacher사가 제시하는 $5\mu\text{m}$ 이하의 값과 일치했으며 가스터빈 보호 허용 한계치 이하의 값을 얻었다.

⑤ 20시간 연속 실험후 세라믹 캔들 필터의 표면을 분석한 결과 미세층 사이에 Ash의 존재를 확인하였다.

참고문헌

- (1) 지평삼, 정진도, 이중범, 위영호외, 1994, "석탄가스 고온정제 기술개발," 한국전력공사 기술연구원, 통상산업부 보고서(G7 과제)보고서, pp. 355~603.
- (2) Laux, S., Schiffer, H. -P. and Renz, U., 1991, "Performances of Ceramic Filter Elements for Combined Cycle Power Plant High Temperature Gas Clean-Up," *Proceedings 11th. Int. Conference on Fluidized Bed Combustion*, pp. 959~969.
- (3) Tassicker, O. J., Burnard. G. K., Leitch, A. J. and Reed, G. P., 1989, "Performance of a Large Filter Module Utilizing Porous Ceramics on a PFBC," *Proceedings 10th. International Conference on Fluidized Bed Combustion*, pp. 479~486.
- (4) 정진도, 이중범, 김종영, 1995, "세라믹 캔들 필터를 이용한 석탄가스화 및 연소가스용 집진장치 설계," 대한환경공학회 춘계학술대회 논문집, D-13, pp. 278~281.
- (5) 정진도, 최주홍, 1995, "석탄가스화 및 연소가스의 집진을 위한 세라믹 필터 집진기술 평가 (1)," 대한환경공학회논문집, 제17권 8호.
- (6) 최주홍, 박영철, 정진도, 김종영, 1995, "1 T/D Bench급 석탄가스화 복합 발전용 고온고압 집진 공정 설계," 한국에너지공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 24~27.
- (7) 최주홍, 지평삼, 정진도, 이중범 외, 1994, "석탄가스화 복합발전용 고온고압 집진 기술개발," 한국전력공사 기술연구원보고서, pp. 15~256.
- (8) 정진도, 지평삼, 1995, "석탄가스화 및 연소가스의 집진을 위한 세라믹 집진기술 평가(1)," 대한환경공학회 춘계학술대회 논문집, D-14, pp. 282~285.
- (9) John, S., 1992, "Grimethorpe High-Temperature/High-Pressure Gas Filter Experimental Program," *EPR I TR-100499*, Vol. 2, pp. 5~25.
- (10) 손재익, 1992, "대기오염 방지를 위한 분진 제어 기술 (I)," KE-91032S, pp. 2~34.
- (11) Giliberti, D. F. and Lippert, T. E., 1986, "Gas Cleaning at High Temperatures," *The Inst. of Chem. Eng. Symposium*, Vol. 99, No. 331, pp. 3~23.
- (12) Durst, M., Reinhardt, A., Vollmer, H. and Koch, W., 1994, *Filtration & Separation*, Academic Press, Lonon, pp. 25~30.
- (13) Withers, C. J., West, A. A., Twigg, A. N., Courtney, R. S., Seville, J. P. K. and Clitt, R., 1990, *Filtration & Separation*, Academic Press, London, pp. 32~37.
- (14) Zievers, E. C., Zievers, J. F., Eggersted, P., and Aguilar, P., 1993, "Substitution of Light-Weight Ceramics for Alloy and Silicon Carbide in a Hot Gas filter," *2nd Int. Symp. on Gas Gleaning at HT*, U of Surrey, Guildford UK, pp. 27~29, 142~157.
- (15) H. P. Schiffer et al., 1992, "High-Temperature Gas Filtration," *EPR I Report GS-6489*, Vol. 2.