

유리화 시험시 캔들형 세라믹 필터를 통과하는 분진의 집진 특성

Characteristics of Particle Collection through Ceramic Candle Filter in a
Vitrification Pilot Plant

김제형 · 양경화 · 이경호 · 박승철 · 하태욱 · 황태원 · 신상운
한전 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

중·저준위 방사성 폐기물 유리화시 발생하는 배기체에 포함된 입자성 물질을 효율적으로 제거하기 위해 유도가열식 저온로(Cold Crucible Melter, CCM) 후단에 캔들형 세라믹 필터를 설치하였다. 세라믹 필터는 고온 및 부식성 가스에 대해 내구성이 좋으며 분진제거 성능 또한 우수한 것으로 알려져 있다. 유리화 시험시 이온교환수지와 잡고체를 혼합하여 모사한 폐기물을 13, 12 kg/hr의 속도로 CCM에 투입하였다. 이 때 세라믹 필터 전·후단을 통과하는 배기체 내 분진의 입경분포를 측정하여 세라믹 필터에 의한 분진 제거 특성을 분석하였다. 필터 통과 전 배기체내 입자성 물질은 1 μm 이하의 입경을 가진 분진이 50 %이상인 것으로 나타났으나 필터 통과 후 그 구성비가 감소하는 것으로 나타났다.

Abstract

Ceramic candle filter was used to remove the particulate generated from the Cold Crucible Melter(CCM) during a vitrification process. It has resistance to attack by aggressive gases and ability to withstand high temperatures up to 900 °C. Its filtration efficiency was higher than those of other treatments. Waste was composed of ion exchange resin and dry active waste. In a vitrification test, waste was fed into CCM at rates of 13, 12 kg/hr, respectively. Off-gas before and after filtration was sampled to analyse size distributions of particles. In particulate matter generated from CCM, the weight proportion of particles under 1 μm was more than 50% of total amount of particulate matters. After filtration by ceramic filter, that of particles under 1 μm was less than 50 %.

1. 서 론

원자력환경기술원에서는 유리화 실증 설비를 건설하였으며 중·저준위 방사성 폐기물의 유리화

기술 상용화 가능성을 입증하기 위해 시험을 수행하고 있다. 이 유리화 기술은 기존의 공정과는 달리 열분해나 하소 등의 전처리 공정을 거치지 않고 직접 유도가열식 저온로(Cold Crucible Melter, CCM)에 폐기물을 투입하는 기술로서 폐기물의 부피 축소 효과 뿐만 아니라 최종 고화물로 생성되는 유리화된 폐기물의 침출율이 매우 낮아, 처분시 환경에 미치는 영향이 거의 없는 처리방법이다.

본 연구는 유리화 상용시설 건설을 위한 설계 자료를 도출하기 위해 원자력 발전 시설에서 발생하는 이온 교환 수지와 연소 가능한 잡고체를 포함하고 있는 유기성 폐기물을 모사하여 시험을 수행하고 있다. 폐기물 연소시 유해 가스와 입자성 물질이 발생하며, 이를 처리하기 위해 CCM 후단에 배기체 처리 장치(Off Gas Treatment System, OGTS)를 설치하였다. OGTS는 그림에서 나타난 바와 같이 구성되어 있다.

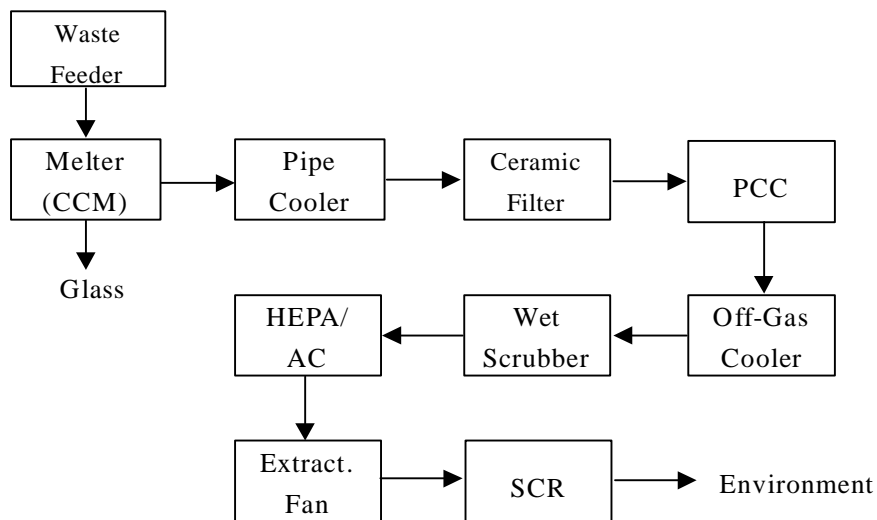


Fig. 1 Schematic Diagram of OGTS in a Vitrification Pilot Plant

배출되는 유해 물질 중 특히 입자성 물질의 경우 OGTS나 배관 내 침적으로 인한 방사성 오염을 막기 위해 CCM 후단에 분진제거 설비를 설치하여 제거하고자 하였다. 배기체에 함유되어 배출되는 분진을 제거하기 위해 일반적으로 사용되는 장치로는 전기 집진기, 사이클론형 집진기, 백필터 등이 있으나 유리화 시설에서 배출되는 배기체의 경우 고온이며 또한 고농도의 산성기체를 포함하고 있다는 조건을 감안하여 캔들형 세라믹 필터(Ceramic Candle Filter)를 설치하였다. 세라믹 필터는 백필터(Bag filter)의 일종으로서 700~900 °C의 고온 조건에서도 사용 가능하며 분진제거 효율 역시 99 % 이상으로 다른 제거 설비에 비해 우수한 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 유리화 실증 시설에서 발생하는 입자성 물질의 효율적인 제거를 위해 세라믹 필터 통과 전후의 분진 입경 분포를 측정하여 입자성 물질의 거동 및 제거 특성을 파악하고자 하였다.

2. 세라믹 필터

세라믹 필터는 백필터의 일종으로 분진 제거 성능, 고온 및 부식성 기체에 대한 내구성 등이 우수한 것으로 알려져 있다. 현재 필터 시스템에 장착된 세라믹 필터는 Madison Filter사의 제품으로 44 %의 Al₂O₃와 50 %의 SiO₂ 그리고 6 %의 유기성 고착제(Organic Binder)로 구성되어 있으며 섬유형태로 소결되어 있으나 고온 운전시 유기성 고착제의 산화로 인해 무게 손실이 발생하

기도 한다. 하지만 세라믹 재질을 가지고 있어 900 °C의 고온에서도 운전 가능하며 일반적인 백필터와 달리 탈진 조작시 형태의 변화가 없고 고정틀 없이 그 형태를 유지할 수 있다. 필터의 길이는 1 m이고 외경과 내경은 각각 60, 40 mm이다. 필터는 튜브시트(Tube Sheet)로 고정되어 있으며 각 필터의 여과면적은 0.19 m²이다. 튜브시트에 의해 지지되고 있는 세라믹 필터는 세라믹 재질의 가스켓과 평형고정틀로 밀봉되어 있다.

Fig. 2는 유리화 시설에 설치된 세라믹 필터 시스템으로 그 내부에 총 32개의 세라믹 필터가 4열 8행으로 설치되어 있다. CCM에서 배출된 고온의 배기체는 배관 냉각기(Pipe Cooler)를 거치면서 냉각된다. 배관 냉각기를 거쳐 필터 하단으로 유입된 배기체는 캔즐형 세라믹 필터를 통과하여 후단 배기체 처리 공정으로 이동하며, 배기체가 필터를 통과하는 동안 침적된 분진은 필터 안쪽에서 분사되는 압축공기에 의해 필터 표면으로부터 탈착된다. 제거된 분진은 필터 장치 하단에 위치한 콘(Cone) 형태의 호퍼와 로터리 밸브를 거쳐 분진회수용 드럼에 쌓이게 된다. 배기체내 수분 응축을 방지하기 위해 필터 시스템의 외부를 감싸고 있는 열선을 이용하여 시험 시 필터 시스템의 내부를 가열시킬 수 있도록 되어 있다

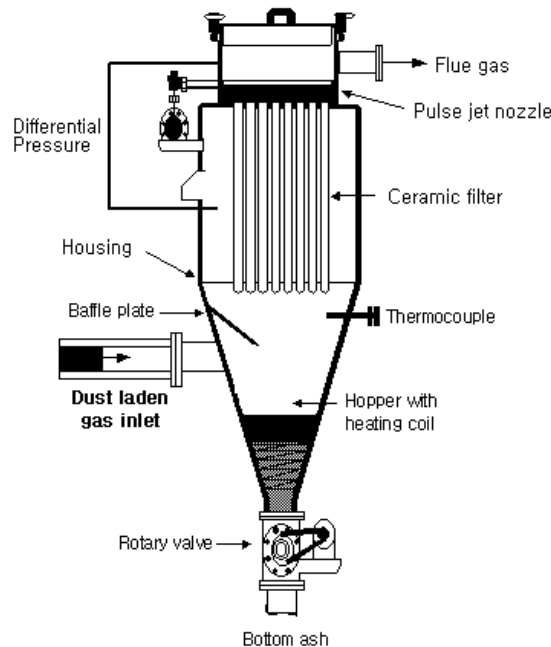


Fig. 2 Schematic Diagram of Particle Removal System in a Vitrification Pilot Plant

3. 시험

3.1 운전인자

유리화 시험시 세라믹 필터의 분진 제거 성능을 평가하기 위해 이온 교환 수지와 잡고체의 혼합물을 폐기물로 모사하여 CCM에 투입하였다. 이온 교환 수지는 원자력 발전소에서 발생하는 폐수지를 모사하였고, 잡고체는 원전에서 사용하는 것과 동일한 작업복, 제염지, 비닐 봉지 등을 파쇄하여 사용하였다. 이온교환 수지와 잡고체의 혼합비는 시험에 따라 변화시켰다. 이온 교환 수지와 잡고체는 5 : 8과 4 : 8 의 2가지 비율로 혼합한 후 각각 13, 12 kg/hr로 CCM에 투입되었다.

세라믹 필터 시스템의 운전인자는 다음 표와 같이 설정하였다.

Operation Parameters	Temperature	Pulse jet duration time	Cleaning frequency	Cleaning pressure
Conditions	200 °C	0.25 sec.	3 min	4 bar

Table 1 Operation Parameters of Vitrification Tests

3.2 측정 방법

투입된 폐기물의 유리화가 진행되는 동안 입경 분포를 측정하였다. 측정은 공정시험법에 의거하여 세라믹 필터 시스템 전·후단에서 폐기물 투입속도 별로 각각 1, 2 회씩 이루어졌다. 분진 입경분포는 분진 입경 분리 장치(Cascade Impactor)를 사용하여 측정하였다. 필터 시스템의 운전안정성을 평가하기 위해 압력손실과 필터를 통과하는 배기체의 온도를 필터 시스템 내 설치된 압력계와 열전대(Thermo-couple)를 사용하여 측정하였다.

4. 결과

Fig. 3은 측정된 필터 통과 전후의 분진 입경 분포이다.

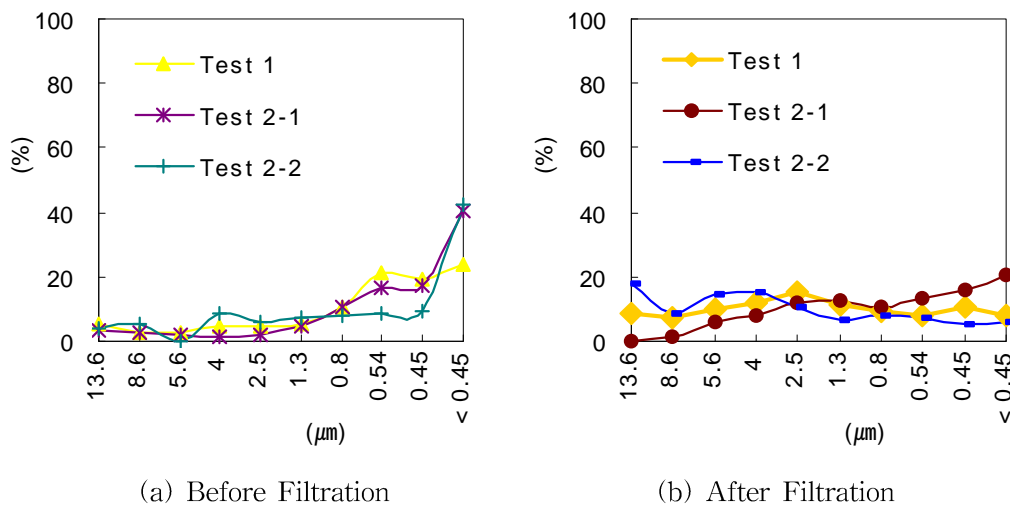


Fig. 3 Particle Size Distribution of Vitrification Tests

위의 결과에서 나타난 바와 같이 폐기물 투입 속도의 변화에도 불구하고 필터 통과 전의 분진 입경 분포는 유사한 경향성을 보여주었다. Fig. 3의 (a)에 나타난 바와 같이 세라믹 필터 유입 전 배기체 내 입자성 물질은 1 μm 이하의 입경을 가진 분진이 50 %이상의 구성분율을 차지하고 있었다. Fig. 3의 (b)에 따르면 세라믹 필터를 통과한 후 배기체에 포함되어 있는 1 μm 이하의 분진은 세라믹 필터에 의해 상당수 제거된 것으로 나타났다. 일반적으로 사용되고 있는 백필터의 경우 필터 표면 통과 전·후의 분진 입경분포가 실험을 통해 유사한 경향을 보인다는 결과가 보고된 바 있으나 세라믹 필터 통과 전·후의 입자성 물질 입경 분포는 이와는 다른 경향성을 보여주었다.

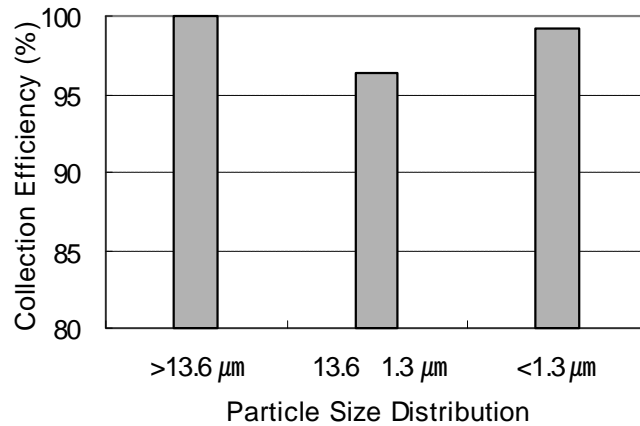


Fig. 4 Particle Collection Efficiency of Vitrification Test 2

분진 입경별 제거효율의 경우 Fig. 4 에서 나타난 바와 같다. 전체 분진 무게 분포에서 13.6 μm 이상의 분진이 차지하는 비율이 적다는 것을 고려해 볼 때 1 μm 이하인 분진의 제거효율이 1 μm 이상인 분진의 제거효율보다 높은 수치임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 캔들형 세라믹 필터를 통과하는 분진의 입경분포 측정을 통해 분진 제거 특성을 파악하였다. 폐기물 연소시 발생하는 입자성 물질의 경우 입경 1 μm 이하의 미세 분진이 50 %이상 차지하는 것으로 나타났다. 1 μm 이하의 미세 분진은 세라믹 필터 통과 후 상당수 제거되는 것이며 통과 전·후의 분진 입경 분포는 일반적인 백필터 통과 전·후의 입경 분포와는 다른 경향을 보여 주었다. 입경별 분진 제거 효율면에서도 1 μm 이하의 분진 제거 효율이 더 높은 것으로 나타났다. 차후 시험을 통해 세라믹 필터에 의한 입경 1 μm 이하의 분진 제거 메카니즘과 운전 인자 변경에 따른 집진 효율 변화에 대한 연구가 수행될 예정이다.

참고 문헌

1. Kyung-Hwa Yang, Vitrification of Simulated Combustible Dry Active Wastes in a Pilot Facility, Waste Management '01 (2001)
2. 김혜숙 외 7명, “유리화 공정의 분진 제거 설비 특성평가”, 한국원자력학회 춘계학술발표회, (2001)
3. Kyung-Hwa Yang, Off-Gas Characteristics During the Vitrification of Simulated Mixed Wastes of Ion Exchange Resin and Dry Active Waste, ISRSM (2001)
4. 정진도 외 2명, 세라믹 캔들 필터를 이용한 석탄가스화 및 연소가스용 집진장치 설계, 대한환경 공학회 춘계학술연구발표회 (1995)

5. R. Dennis and H.A. Klemm, Fabric Filter Model Format Change, Vol. I : Detailed Technical Report, EPA-600/7-79 0432, U. S. EPA, Research Triangle Park, NC, National Technical Information Service(NTIS) PB-293-551 (1979)
6. Wayne. T. Davis, Air Pollution Engineering Manual, Air & Waste Management Association (2000)
7. Jin-Do Chung, Operation of Ceramic Candle Filter at High Temperature for PFBC Application, Korean Journal of Chemical Engineering.,16(6),823-828 (1999)