

중·저준위 방사성 폐기물 유리화설비의 고온필터 시스템에서 사용한 금속필터의 표면특성 연구

황태원, 조강욱, 박승철, 박병철, 양경화

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

twhwang@khnp.co.kr

1. 서론

산업현장의 여러 공정에서 발생하는 배기체(Off-Gas)로부터 먼지를 제거하기 위하여 통상 필터(Filter)는 섬유상 물질을 직포 또는 부직포 형태로 제작한 여재를 사용한다. 여과포를 이용한 입자의 포집 및 제거는 높은 집진 효율을 얻을 수 있는 장점이 있으나 열적·화학적 내구성이 약하다. 플라이트($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) 재질 및 SiC 재질의 세라믹 필터 element가 산업현장에서 사용된다. SiC element의 경우 플라이트 재질의 element보다 고온 및 고압에서 운전이 가능하며 역세정에 의한 탈진효율도 매우 높으나 분진 특성에 따라 급격한 압력손실 및 기계적 충격, 열적충격에 의한 기공막힘 및 필터파손의 가능성이 있고, 장시간 안전운전 및 필터수명 예측이 어려워 이를 극복하는 것이 궁극적인 과제로 인식되고 있다. 한편 반면에 금속소결 필터는 열적·화학적 물성이 우수하며 높은 내구성을 가지며 온도에 의한 성능의 저하가 현저히 낮다. 금속필터에 관한 연구는 뛰어난 입자제거 효율과 낮은 압력손실 및 재사용을 위한 역세정 공정의 최적화 방향에서 진행되고 있다. 본 논문에서는 중·저준위 방사성 폐기물 유리화설비에서 발생하는 분진을 제거하기 위한 고온필터시스템에 금속필터 element를 적용하기 위한 일련의 실증시험을 모의 방사성폐기물을 이용하여 실시하고, 기공막힘 등 표면특성을 파악하여 개선점을 제시하고자 하였다.

2. 실험 및 방법

배기체 발생을 위해 유리 용융로에 투입한 폐기물은 원자력발전소에서 발생하는 잠고체와 폐수지의 성분분석을 통해 실제와 유사한 발생비로 혼합한 모의폐기물을 사용하였다. 고온필터시스템에 장착한 필터 element는 19개(AISI 316L 7개, AISI 904L 3개, Inconel 600 9개)였다. 실험 후 기계적 인장강도시험(Ring Tensile Test) 및 주사전자현미경(SEM-EDS)를 이용하여 금속필터 element의 membrane 및 support layer의 표면 및 단면에 대한 미세조직 및 화학적 조성을 분석하였다. 필터표면 및 단면의 화학특성은 에너지 분산 X-선 분광분석기(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)를 이용하여 성분분석을 실시하였다.

1) 금속 고온필터 element에 대한 기계적 인장강도시험(Ring Tensile Test) 결과

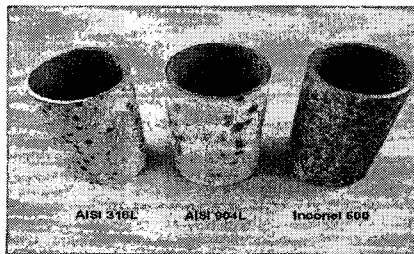


Fig. 1. Dark Spots on the Surface of Metal Filter Elements.

금속필터 element를 인출하여 육안 검사를 수행한 결과 Fig. 1에서 보는 것처럼 금속필터 element 표면에서 갈색반점이 관찰되었다. 금속필터 element 표면에서 갈색반점의 생성원인이 부식에 의한 것인지 침적물에 의한 기공막힘(plugging)인지에 대한 분석을 위해 기계적 인장강도시험(Ring Tensile Test)을 ring 모양 금속필터 element 시편에 대해 수행하였다. 결과 Table. 1에서와 같이 시험에 사용한 금속필터 element들의 강도가 정상값(60 Mpa) 이상으로 나타나서 금속필터 element에는 부식이 없고, 갈색반점은 침적물에 의한 기공막힘으로 판명되었다.

Table 1. Ring Tensile Strength Test

Base Material	Cross section [mm ²]	Fm [N]	Σmax [Mpa]	Specification
AISI 316L(1.4404)	113,05	9402	83	
AISI 904L(1.4539)	107,18	8780	82	> 60 Mpa
Inconel 600(2.4816)	127,35	9257	73	

2) 필터 element 표면 및 단면에 대한 SEM-EDS 분석결과

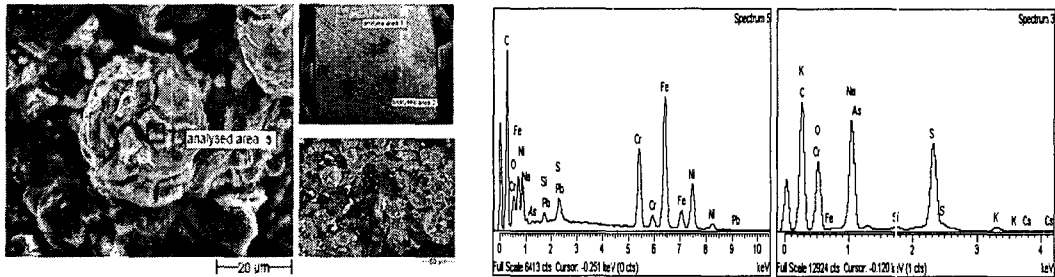


Fig. 2. SEM Micrograph of Dark Spot Area of Membrane Surface(AISI 316L, left). EDS Analysis Spectrum of the Sintered Metal Filter(AISI 904L, right).

그리고 금속필터 element의 표면조직을 분석한 결과 Fig.2에서와 같이 일반적인 stainless steel의 조성인 Fe, Cr, Ni 등 전형적인 AISI 재료의 특성을 보였으며 표면에 침적된 물질의 주요 구성성분은 폐기물에서 발생된 sodium 및 sulfur와 미량의 silica 등으로 이루어진 결정체였다.

3. 결론

중·저준위 방사성 폐기물 유리화 시설에서 발생하는 배기체 중 분진의 제거를 위해 고온필터 시스템에서 기존 세라믹 재질을 대체하여 금속필터의 적용 시험결과 필터시스템 운전에 특별한 문제점은 발견되지 않았다. 다만, 일련의 시험을 수행한 후 필터 element를 인출하여 관찰한 결과 필터 element 표면에서 갈색반점들이 관찰되었다. 특히 AISI 316L에서 많이 나타난 반점은 국부적 부식이라기보다는 배기체 중 응축물질의 침적에 의한 부분막힘(plugging)으로 판단된다. 이런 침적의 생성은 운전 중단시 공기 중의 수분이 필터 표면에 응축되고, 이 수분에 운전 중 생성되는 ash 성분 중에서 수용성 물질이 용해되어 필터 wall로 모세관현상에 의해 스며들어 건조된 것으로 추정된다. 이러한 금속필터 element의 침적은 운전 중 발생하는 배기체가 지공하는 조건 즉 200~300 ℃이상의 고온, 산성가스, steam, 산소 분위기 등에 의한 직접 발생하는 것은 아닌 것으로 판단된다. 실험결과 금속필터 element의 침적을 방지하기 위해서는 element 재질보다는 element 표면에서 수분이 응축되지 않도록 하는 것이 중요함을 알 수 있었다. 특히 유리화운전을 중단한 시기에도 필터 하우징 내부의 온도를 이슬점 이상으로 가열할 필요가 있다. 하우징 내부를 질소로 채운 후 공기의 유통을 차단하는 방법을 고려할 수 있는데 이 경우 시험전에 차가운 금속필터 element의 예열이 필요하다.