

중·저준위 방사성 폐기물 유리화설비의 배기체 처리계통 특성

지평국, 양경화, 신상운

한국수력원자력(주), 대전광역시 유성구 장동 25-1번지

malon@khnp.co.kr

1. 서론

울진 제3발전소에 건설중인 중·저준위 방사성폐기물 유리화설비(그림 1)의 배기체 처리계통은 저온용융로로부터 발생하는 배기체 내의 방사성 분진 및 환경유해물질 등을 처리하여 대기로 배출하는 계통이다. 배기체 처리계통은 저온용융로로부터 배출되는 입자상 방사성물질을 포함한 분진을 제거하는 1차 배기체 처리계통과 방사성옥소 및 환경유해물질을 제거하는 2차 배기체 처리계통으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 1, 2차 배기체 처리계통을 구성하고 있는 각 기기들의 공정 및 제염 특성을 논하였다.

폐기물투입기

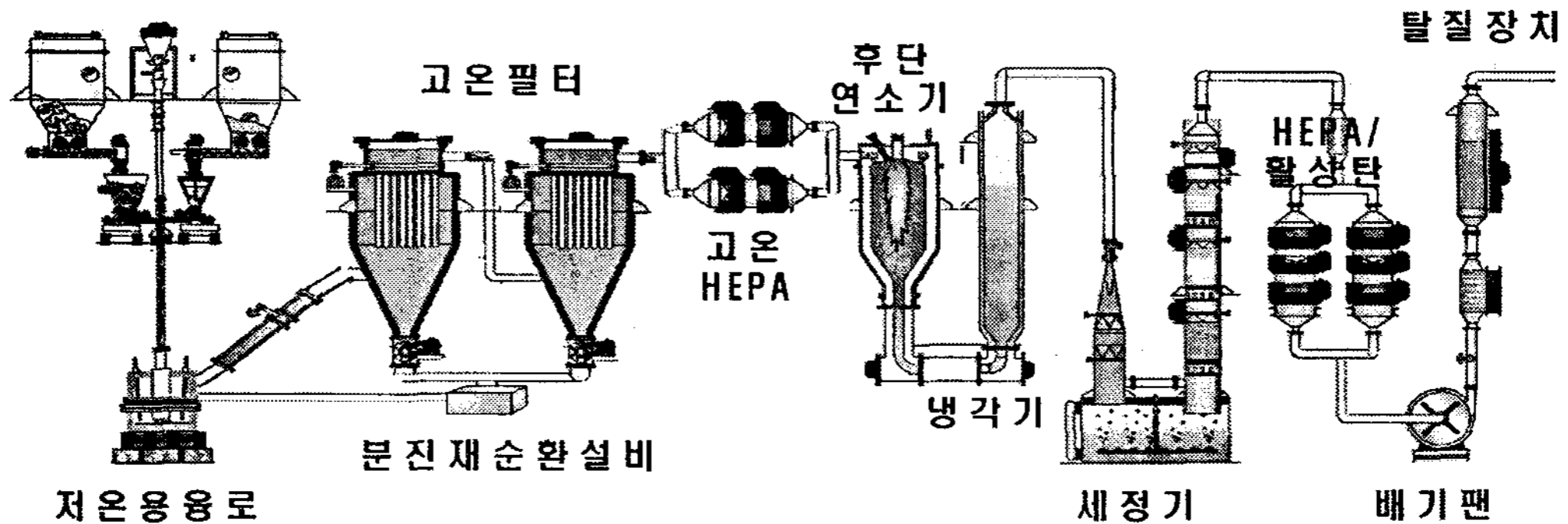


그림 1. 유리화설비 주요 공정도

2. 1차 배기체 처리계통

1차 배기체 처리계통은 그림 1의 유리화설비 공정도에서 배관냉각기, 고온필터 및 고온해파필터까지를 나타낸다. 배관냉각기는 수냉식으로 저온용융로와 고온필터 사이에 설치되어 방사성핵종이 효과적으로 제거될 수 있도록 배기체를 냉각해주는 역할을 한다. 배관냉각기 후단에는 압력계와 온도계가 설치되어 배관냉각기 내부의 분진침적을 평가하며, 침적된 분진을 제거하기 위한 제진설비가 설치되어 있다. 고온필터는 세라믹 캔들형으로 배관냉각기 후단에 위치하며, 배기체에 포함된 분진 및 방사성물질을 1차로 포집하는 기능을 수행한다. 고온필터는 분진의 포집효율을 증가시키고 운전 중 발생할 수 있는 캔들의 손상에 대비하여 2대를 직렬로 설치하였다. 고온필터에 포집된 분진은 질소가스로 탈진되어 분진 재순환계통으로 배출된다. 고온필터를 통해 여과된 배기체의 미세분진 및 방사성물질은 고온해파필터에서 제거된다. 고온해파필터는 연속운전을 고려하여 2대를 병렬로 설치하였다. 1차 배기체 처리계통의 여과계통은 입자상 방사성물질의 배출을 최대한 억제함으로써 2차 배기체 처리계통의 방사성물질 오염 및 환경방출을 최대한 억제하고 있으며, 또한 각 여과 단계별로 차압을 감시하여 필터 파손을 조기에 감지함으로써 안전성에 대한 신뢰도를 확보하고 있다.

3. 2차 배기체 처리계통

2차 배기체 처리계통은 후단연소기, 배기체냉각기, 세정기 및 선택적촉매환원반응기 등으로 구

성되어 미연소 유기물, SO_x, NO_x 및 방사성옥소 등을 제거하여 대기로 방출하는 기능을 수행한다. 1차 배기체 처리계통에서 배출된 배기체는 후단연소기로 유입되어 미연소 유기물이 완전 연소된다. 후단연소기는 원통형으로 등유를 연료로 사용하며, 냉각자켓에 의해 냉각된다. 후단연소기에서 배출된 고온(1100℃)의 배기체는 배기체냉각기에서 400~500℃로 냉각되어 세정기로 유입된다. 세정기는 분사형 세정기와 충전형 세정기로 구분되어 있다. 분사형 세정기는 다이옥신의 재생성을 방지하고, 충전형 세정기 내에서의 산성가스 제거효율을 높이기 위하여 배기체의 온도를 급속히 떨어뜨리는 기능을 수행한다. 충전형 세정기는 HCl 및 SO_x 등을 제거하는 장치로서 배기체와 가성소다의 원활한 화학반응을 위하여 2단의 충전단으로 구성되어 있다. 고효율습분제거기는 후단의 활성탄필터를 보호하기 위하여 세정기로부터 배출되는 배기체에 포함된 미세액적을 제거하는 역할을 한다. 고효율습분제거기에서 배출된 배기체는 재열기에서 가열되어 활성탄/해파필터로 유입되며, 배기체에 포함된 분진, 다이옥신, 입자상 방사성물질 및 방사성옥소 등이 최종적으로 제거된다. 활성탄/해파필터 후단에 위치한 배기팬은 저온용융로에서 발생된 배기체를 대기로 배출하고 저온용융로 및 배기체 처리계통의 부압을 유지해준다. 배기팬으로부터 배출된 배기체는 2차 재열기에서 탈질온도인 270~400℃로 가열되어 선택적촉매환원반응기로 유입되며 그곳에서 질소산화물이 제거된다. 배기체 처리계통을 통해 처리된 배기체는 대기로 배출되기 전에 유리화구역 배기계통과 병합되어 방사성폐기물건물의 배기구를 통하여 배출된다. 배기체는 대기로 방출되기 전에 환경유해물질 및 방사능 감시설비에 의해 연속 감시되며, 설정치 이상의 농도 감지시 경보와 함께 저온용융로의 폐기물공급이 중단되도록 설계되어 있다.

4. 기기별 제염 특성

표 1에는 유리화 공정의 제염특성을 나타내었다. 표 1에 나타낸 것처럼 고온필터는 1μm 분진 입자에 대한 집진효율 99.9%를 고려하여 제염계수 1000을 적용하였다. 고온해파필터는 0.3μm 분진입자의 제거효율이 99.97%이나, 고온필터 후단에 위치하는 것을 고려하여 제염계수는 100을 적용하였다. 계통 후단에 위치한 저온해파필터는 안전상의 보완 기능만을 고려하여 보수적으로 제염효율을 고려하지 않았다. 휘발성인 Ru 핵종에 대해서는 저온에서의 기화 특성을 고려하여 모든 기기에 대해 제염효율을 고려하지 않았으며, 방사성옥소의 경우 세정기 및 세정기 후단의 활성탄필터에 대해 Nuclear Air Cleaning Handbook에 따라 각각 10의 제염계수를 적용하였다. 따라서 Ru 및 방사성옥소를 제외한 배기체 처리계통만의 제염효율은 10⁶이었으며, 실험적으로 결정된 저온용융로에서의 제염효율을 추가로 고려할 경우 유리화 공정의 총 제염계수는 핵종별로 휘발성핵종인 Tc의 1×10⁶부터 W1폐기물 비휘발성 핵종의 3.3×10⁷까지로 나타났다. 유리화 공정의 제염계수는 방사성 성능시험시 동위원소를 사용하여 검증할 계획이다.

표 1. 저온용융로 및 배기체 처리계통의 제염계수

기기구분	휘발성 핵종					비휘발성 핵종		방사성요 오드
	가연성잡고체		W1 폐기물			가연성 잡고체	W1 폐기물	
	Cs	Tc	Te, Cs	Tc	Ru			
저온용융로	2.86	1	1.54	1	1	6.67	32.99	1
고온필터	1000					1	1000	1
고온해파필터	100					1	100	1
세정기	10					1	10	10
활성탄/해파필터	1					1	1	10
총제염계수	2.9E+06	1.0E+06	1.5E+06	1.0E+06	1	6.7E+06	3.3E+07	100