울진 중·저준위 방사성폐기물 유리화설비의 배출가스 특성 분석

양경화, 박병철, 지평국
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1번지
khyangbb@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서 발생되는 가연성잡고체와 폐이온교환수지를 유리고화하기 위한 국내 최초의 상용 유리화설비가 2007년 말 울진 5,6호기 내에 설치되었다. 설치된 유리화설비는 폐기물 처리용량이 20 kg/h이며, 유도가열식 저온용융로와 배기체처리설비, 기타 보조계통 및 유틸리티 공급계통 등으로 구성되어 있다.

설비 운영 중 환경으로 배출되는 배기체의 특성은 작업자뿐만 아니라 지역 주민의 건강과 환경에 영향을 미치는 중요한 설계 요건 중의 하나이다. 유리화설비의 배기체처리계통은 교육과학기술부고시 제2008-62호 '중·저준위 방사성폐기물 소각 규정'과 일반 소각시설에 대해 규정한 '대기환경보전법' 및 '잔류성유기오염물질 관리법'을 준용하여 유해 물질의 배출을 최소화할 수 있도록 설계되었다. 유리화설비를 설치한 후 한국수력원자력(주)에서는 설비의 운전성능 확인과 환경 안전성 입증을 위하여 2008년 4~5월 모의 폐기물을 이용한 비방사성 성능시험을 수행하였다. 본 논문은 성능시험 기간 동안 수행되었던 배기체 성분 분석 결과를 기술한 것이다. 유리화설비는 현재 시운전과 성능시험이 완료된 상태로, 운영허가 취득 이후에는 발전소에서 발생되는 방사성폐기물을 유리화함으로써 처분안전성과 감용 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

2. 시험 내용

가. 배기체처리설비 구성

폐기물을 약 1,150℃의 용융로에서 처리할 때 발생되는 배기체에는 방사성 분진과 유해가스가 포함되어 있다. 배기체를 인체 및 환경에 영향이 없는 수준으로 정화하기 위하여 유리화설비는 용융로에서 폐기물 처리시 발생되는 방사성 분진을 주로 제거하는 필터류와 배기체 내의 미연소 유기물, 산성가스 및 방사성 옥소 등 유해물질을 처리하는 설비를 갖추고 있다. 2대의 직렬 고온필터와 고온 HEPA필터는 각각 1,000 및 100의 제염효율을 가지도록 설계되었다. 환경 유해물질은 후단연소기, 배기체냉각기, 세정기, 고효율습분제거기, 활성탄/HEPA필터, 배기팬, 및 선택적촉매환원반응기 등을 거치면서 정화 또는 제거된다. 배출 가스는 최종적으로 배기체처리설비의 가장 후단에 설치된 CO, NOx, SOx, HCl 및 먼지 분석기를 통과하는데, 제어실에서는 각 물질에 대한 분석값을 실시간으로 확인, 조치할 수 있도록 설계되어 있다.

나. 성능시험 조건

성능시험은 비방사성 모의 폐기물을 사용하여 200여 시간 동안 수행되었다. 가연성잡고체와 모의 폐이온교환수지를 용융로에 시간당 18kg의 속도로 투입하여 유리화하였다. 용융로는 약 1,150℃로 유지되었으며, 7시간 마다 용융로 내부의 유리를 하단의 몰드에 배출하는 방식으로 운전하였다.

운전 중 환경으로 배출되는 가스 채취를 위하여 선택적촉매환원반응기 후단의 시료채취구에 장비를 설치하고 대기오염 공정시험법에 따라 25종의 유해물질 시료를 채취하였다. 시험의 정확성을 위하여 시료채취 및 분석은 다이옥신공인시험기관인 환경관리공단에서 수행하였다. 배기체 시료는 폐기물이 용융로로 투입되는 동안에만 채취하였으며, 물질의 특성에 따라 채취 시간을 20분 ~ 4시간으로 조절하여 수행하였다. 채취구에서의 배기체 유량은 약 200 Sm^3/h, 온도는 236℃, 수분함량은 약 3.4%였다.

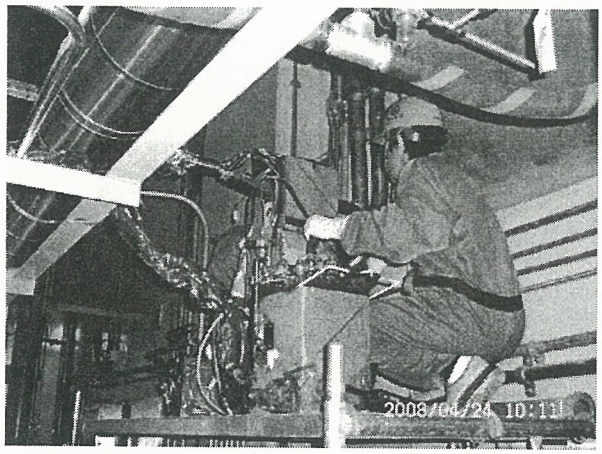

그림 1. 유리화설비 배출구에서의 배기체 시료 채취 모습

3. 결과

유리화시설에서 배출되는 환경 유해물질의 농도를 분석한 결과, 모든 물질이 관련 법규에서 규정하고 있는 배출 제한치를 충분히 만족하였다(표 1). 또한, 측정값이 법적 제한치 보다 낮은 설계 기준치도 만족하고 있어, 본 시험을 통해 유리화설비의 배기체 처리성능이 우수함을 확인하였다. 이러한 결과는 유리화설비의 환경 안전성을 입증할 수 있는 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 유리화설비 배출가스 분석 결과

환경 유해물질	대기환경보전법상 배출제한치 [1]	유리화설비 설계기준	유리화설비 측정값
일산화탄소 / ppm	≤ 300	≤ 50	0.3
질산화물 / ppm	≤ 150	≤ 100	32.2
황산화물 / ppm	≤ 100	≤ 50	2.3
염화수소 / ppm	≤ 50	≤ 40	0.825
먼지 / mg/Sm^3	≤ 100	≤ 50	2.635
다이옥신 / $ng\text{-}TEQ/Sm^3$	≤ 5 [2]	≤ 0.5	0.001
암모니아 / ppm	≤ 100	≤ 100	2.6
불소화합물 / ppm	≤ 10	≤ 10	4.80
염소 / ppm	≤ 3	≤ 3	1.911
카드뮴 외 15종	-	-	미검출

1) 200 kg/h 미만의 소각설비인 경우
2) 잔류성유기오염물질 관리법 시행규칙 [별표 3]

4. 사사

본 연구는 지식경제부에서 시행한 전력산업연구개발사업(관리번호 : R-2002-A-214)으로 수행되었다.