

고온플라즈마를 이용한 원전 증기발생기 화학세정폐액 처리 경험

강덕원, 김진길, 김석태
 한전전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65
 *비츠로테크(주) 경기도 안산시성곡동 605-2
 dwkang@kepri.re.kr

1. 서론

원자력발전소의 장기 운전에 따라 증기발생기내에는 다량의 슬러지가 쌓이게 되어 증기발생기 세관의 건전성을 저해시키기 때문에 세관의 건전성 확보를 위해서는 주기적인 화학세정을 실시해야 한다. 국내에는 그간 세정폐액 처리기술의 미확보로 전 원전에서는 화학세정 자체를 억제해 왔으나 최근 들어 증기발생기 2차측 균열부식(ODSCC)이 빈번히 발생되면서 화학세정의 필요성에 공감대를 이루어 왔다. 증기발생기 화학세정폐액 처리기술의 확보는 발전소 운영과 직결된다는 인식이 팽배해지면서 원전의 주요 관심기술로 대두되어 왔으며 국내 최초로 자체개발한 플라즈마 처리기술을 이용해 고리원전 증기발생기 2차측 전열관 지지대(TSP, tube support plate)에 퇴적된 슬러지 제거 과정에서 발생한 222톤의 ASCA(Advanced Scale Conditioning Agents) 세정 폐액을 진공 증발·농축기술과 고온 플라즈마 기술을 적용하여 단기간에 영구 처분 조건에 적합하게 감용 처리 한 결과를 소개하고자 한다.

2. 수행 결과

원전 증기발생기 화학세정 폐액 처리장치는 증발·농축장치, 플라즈마 열분해 산화장치 및 배기체 처리장치로 구성되어 있다. 고리 원전에서 2차측 화학세정시 발생한 총 220톤의 EDTA 폐액은 65일 동안 처리하였다. 발생한 세정폐액은 방사능 측정결과, 극미량의 Co-60만 일부 감지되었을 뿐 오염이 되지 않은 것으로 나타났다. 플라즈마 처리시 발생하는 배기체는 1차적으로 NOx, SOx, CO등을 환경기준치 이하로 처리할 수 있는 배기체 정화처리 설비에서 처리 후 발전소 HVAC 정화처리 장치를 거쳐 대기로 보내지도록 처리공정을 구성하였다. 옥외의 중화조 탱크에 저장된 220톤의 폐액은 1차적으로 감압증발·농축장치(처리용량: 100 l/분)에서 1/13인 17톤으로 농축시킨 후 플라즈마 처리장치(플라즈마 온도: 5,000℃, 처리용량: 65 l/hr분)로 이송시켜 열분해, 산화처리하였으며(사진1 참조) 최종적으로 총 5드럼의 고형폐기물(Ash 발생량: 1324.3Kg)이 발생되었다(사진2 참조). 발생하는 배기체는 실시간 감시하였으며 처리공정을 거친 모든 방출기체는 환경 기준치 이하임을 확인하였다.

가. 처리수질 및 배기체 분석 결과

표1은 제 1단계인 증발·농축 단계를 거친 응축수의 수질결과이며 다음 표 2는 농축액의 플라즈마 열분해·산화처리 후 발생한 응축수질을 분석한 결과이다. 증발·농축 단계에서 발생한 응축수질과는 달리 TN 농도가 0.3 ppm으로 매우 낮으며, pH 또한 5.9로 비교적 약산성인 것을 알 수 있다. 이는 농축액을 플라즈마 처리할 때 발생하는 $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ 물질에 의한 것으로 판단된다.

표 1. 증발·농축시 발생한 응축수중의 수질분석 결과

항 목	pH	Cond ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	COD (ppm)	TN (ppm)	EDTA (ppm)	방사능 농도 (Bq/m ³)	비고
환경기준	5.8~8.6	-	90 이하	60 이하	-	BKGD	
평 균	8.3	474.5	17.4	48.1	N/D	N/D	

표 2. 플라즈마 열분해·산화처리 후 발생된 응축수중의 수질분석 결과

항 목	pH	Cond (μs/cm)	COD (ppm)	T/N (ppm)	EDTA (ppm)	방사능 농도 (Bq/m ³)	비고
환경기준	5.8~8.6	-	90 이하	60 이하	-	BKGD	
평 균	5.9	24.21	7.4	0.3	N/D	N/D	

2단계 플라즈마 열분해·산화처리 공정을 거치며 발생된 배기가스는 3단계 정화처리 단계를 거쳐 배출 환경기준에 맞게 처리한 다음, 연료건물등의 HVAC 계통을 통해 배출하였으며 배기체 농도는 환경기준치 이하로 매우 안정적으로 처리되었다.

표 3. 배기가스 분석 결과

항 목	NOx (ppm)	SOx (ppm)	CO (ppm)	O ₂ (%)	방사능 (Bq/m ³)	비고
환경기준	150(12) 이하	100(12) 이하	300(12) 이하	-	BKGD	
평 균	52.5	0.0	0.2	7.9	N/D	

나. 고체 폐기물 분석 결과

ASCA 세정폐액 농축액을 플라즈마 열분해·산화 처리 후 발생된 재(Ash)에 함유된 철산화물은 주로 헤마타이트(Fe₂O₃, Hematite) 형태로 존재하며, 그 비율은 30~50%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 뷔스티테(FeO, Wustite)가 7wt%, 기타 철산화물이 9~29wt% 수준인 것으로 나타났다

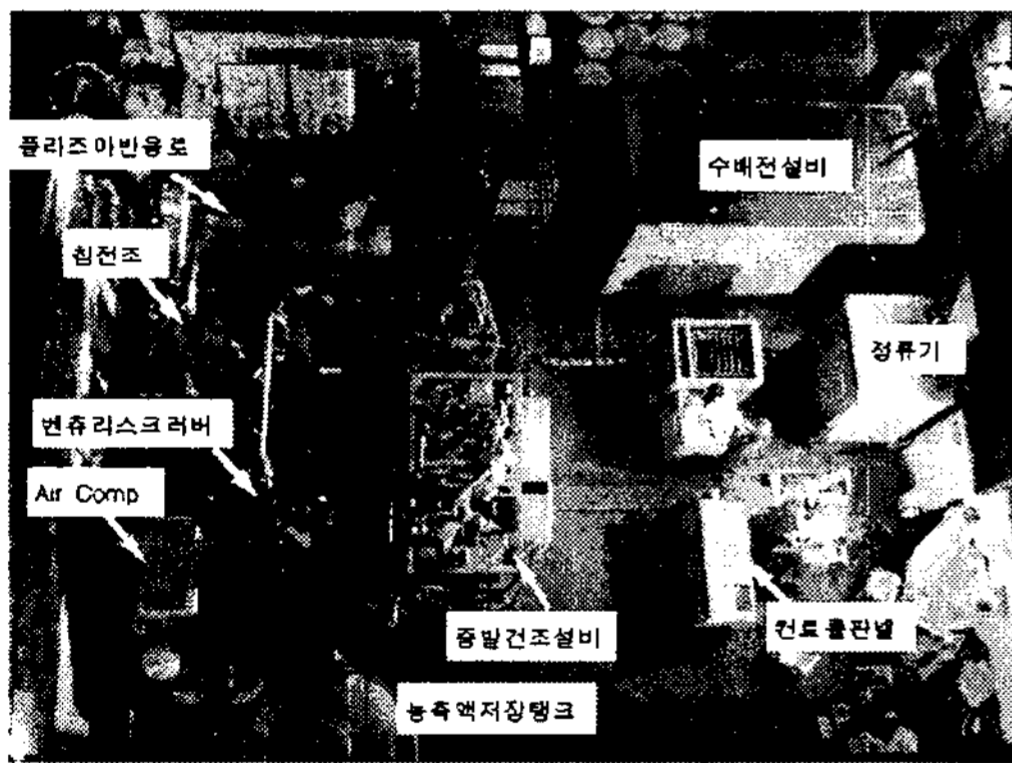


사진1. 플라즈마 열분해·산화설비 장치

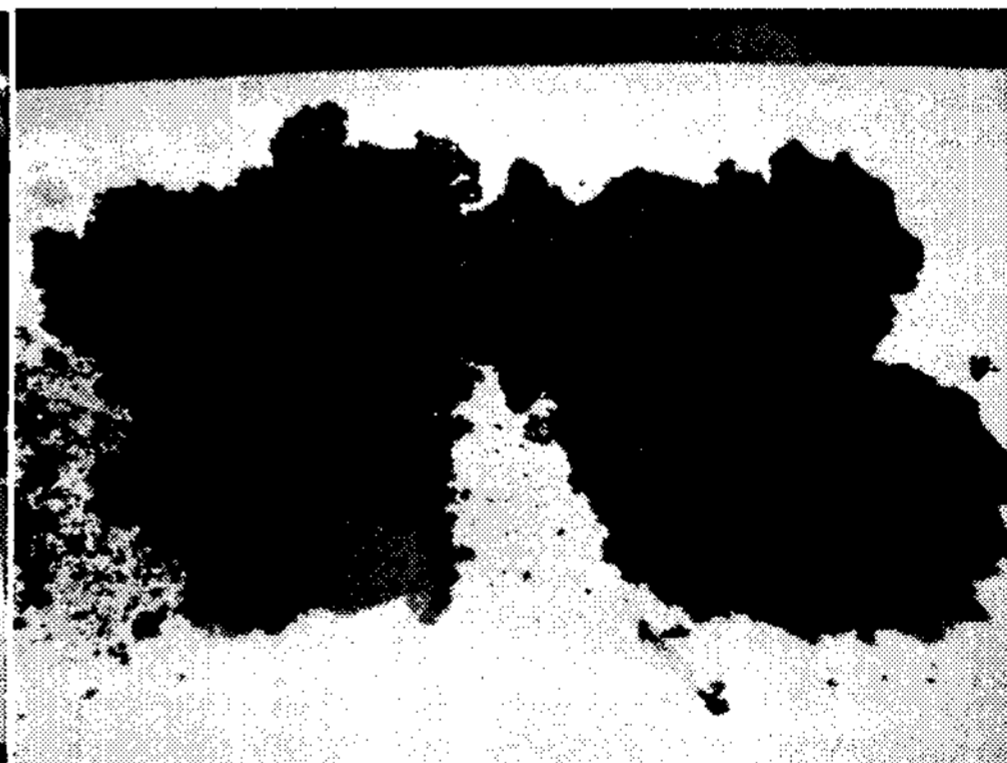


사진2. 고형물 호퍼에 포집된 Bottom Ash

3. 결 론

○ 국내 최초로 원전 2차측 증기발생기 세정폐액 처리시 발생된 처리수 및 배가스는 환경보존법에서 정하는 기준치 이하로 1차 처리한 다음, Fuel BLDG 내부 Nor. Sump와 HVAC로 배출하여 2차 처리 단계를 거침으로써 방사성 물질 관리에 대한 신뢰성을 높임.

○ 초기 ASCA 세정폐액 원액은 약 222톤 이었으며, 증발·농축설비를 이용해 17톤으로 농축하였고, 농축된 폐액을 플라즈마 열분해·산화 설비를 이용해 고체 폐기물로 안정화 시켜 5드럼(약 1.3톤)에 저장,처리하였음.

○ 세정폐액 원액 중에는 Co-60이 주를 이루었고 미량의 방사능은 미량이지만 9.16×10⁵Bq 이었으며 원수중의 농도는 4.13 × 10³ Bq/m³, 농축액 3.68 × 10⁴ Bq/m³, Bottom ash 5.52 × 10⁵ Bq/m³으로 모두 1,324 kg의 바닥재(Bottom ash)에 농축되는 것으로 평가됨.

○ 최종 고형폐기물중 69.1wt%는 중금속이며, 그중 Fe의 함량은 66.1 ± 0.6wt%였으며 30~50wt%는 헤마타이트(Fe₂O₃), 7wt%는 뷔스티테(FeO), 기타 철산화물이 9~29wt% 수준인 것으로 나타남.