

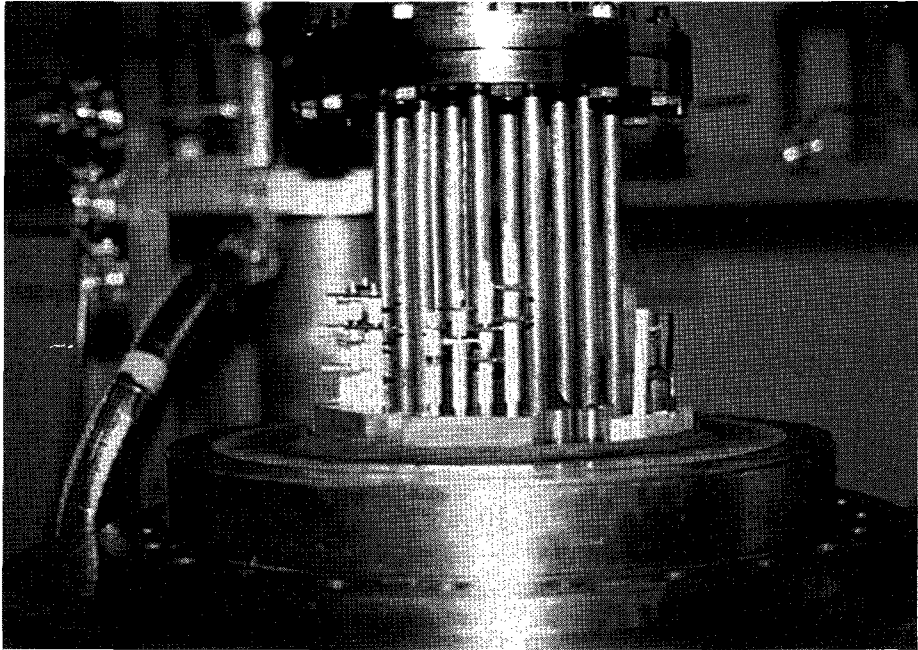
그림 2

Large

Scale

發生機의

모습



蒸氣發生機의 건전성 유지는 原電의 운전 및 安全性에 직접 영향을 미치므로 매우 중요하다. 증기발생기에 Sludge가 퇴적되면, 傳熱管이 손상되므로 이 洗淨작업은 고도의 기술이 필요하다.

## 原電의 安全性과 경제성 向上시킨 증기발생기 洗淨기술 국산화

원자력발전소의 증기발생기(蒸氣發生機)는 원자로에서 생성된 열에너지를 이용하여 터빈을 돌리기 위한 증기를 생산하는 설비로 원자로 용기, 터빈 발전기 등과 함께 매우 중요한 기기가 다.

증기발생기는 좁은 공간에 수 많은 얇은(1mm) 전열관이 설치되어 있고, 항상 고온 고압수와 접촉하고 있어 기계적으로나 화학적으로 매우 취약한 상태에 놓이게 된다. 더욱이 발전소 2차측 급수계통의 재질이 부식 또는 침

식되어 증기발생기내로 유입되면 유속이 낮은 튜브시트(Tube Sheet)나 전열관 지지판(Tube Support Plate) 등에 퇴적(堆積)되고 퇴적된 슬러지(Sludge)에 불순물이 농축( $10^3 \sim 10^6$  배)되어서 Denting(파이는 것), 점식(點蝕), 응력부식균열 등에 의한 전열과 손상원인이 된다.

원전에서는 정기보수점검 기간중에 고압수를 분사하여 퇴적된 슬러지를 제거하고 있으나, 구조상 제거가 어려운 부분이나 경화성(Hard) 슬러지는

잘 제거되지 않아 슬러지 퇴적량은 운전년수에 따라 증가하게 되므로 일정 주기로 화학세정 방법을 이용하여 제거할 필요가 있다.

증기발생기 화학세정은 사전에 안전성에 대한 엄격한 평가 및 철저한 공정관리가 이루어져야 하므로 화력 발전소 보일러 화학세정보다 고도의 세정기술이 요구된다.

한국전력공사에서는 한국원자력연구소와 공동으로 증기발생기 화학세정 공정개발에 착수하여 1단계(88년

## 한국전력 기술연구원 水化學연구팀

## 화학세정 기술동향

표 1 : KWU 및 EPRI 화학세정 공정 비교

구분	KWU 공정	EPRI 공정
세정장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>발전소 본설비 이용</li> <li>가설비 최소화 (약품혼합, 폐액저장조)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>외부순환장치 설치</li> <li>세정약품 순환 및 가열</li> <li>약품혼합, 폐액저장조</li> <li>부식감시장치 설치</li> </ul>
적용공정 및 표준공정 조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>제철공정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>160~182℃</li> <li>pH &gt; 9.5(NH<sub>4</sub>OH)</li> <li>2~6% NTA</li> <li>1~2g/ L N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> <li>소요시간 : 10시간</li> </ul> </li> <li>제동공정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 71℃</li> <li>pH &gt; 8.5(NH<sub>4</sub>OH)</li> <li>0.5% EDA</li> <li>Alkaline Activator [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>]</li> <li>Aeration</li> <li>소요시간 : 24시간</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제철공정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>93℃</li> <li>pH 7.0(NH<sub>4</sub>OH)</li> <li>10~20% EDTA</li> <li>1% N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> <li>0.75% CCl-801</li> <li>소요시간 : 24시간</li> </ul> </li> <li>제동공정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>38℃</li> <li>pH 7.0(NH<sub>4</sub>OH)</li> <li>pH 9.5(EDA)</li> <li>3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></li> <li>소요시간 : 4~8시간</li> </ul> </li> </ul>
주요적용 사례	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almaraz</li> <li>Ringhals</li> <li>Tihange</li> <li>Ohi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oconee 1, 2</li> <li>Millstone 2</li> <li>Maine Yankee</li> <li>Kori 1</li> </ul>
방청공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>방청공정</li> <li>제동공정에서 방청 결합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>방청공정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>93℃</li> <li>300ppm N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> <li>pH 10(NH<sub>4</sub>OH)</li> </ul> </li> </ul>

~92년에는 각종 화학세정 기술의 장단점 평가, 화학세정 이론 규명 및 공정개발 시험, 품질보증체계 수립 등을 통하여 화학세정 기술을 개발하였다.

그리고 2단계 연구에서 화학세정에 대한 검증시험(Qualification Test)을 거쳐 순수한 자체기술만으로 고리 2호 기 증기발생기 화학세정을 성공리에 수행한 바 있으며, 그 내용을 소개한다.

원전 증기발생기 2차측에 퇴적된 슬러지 제거를 위한 상용화 화학세정 기술은 KWU공정이 있으며 각 공정의 특징은 표 1과 같다.

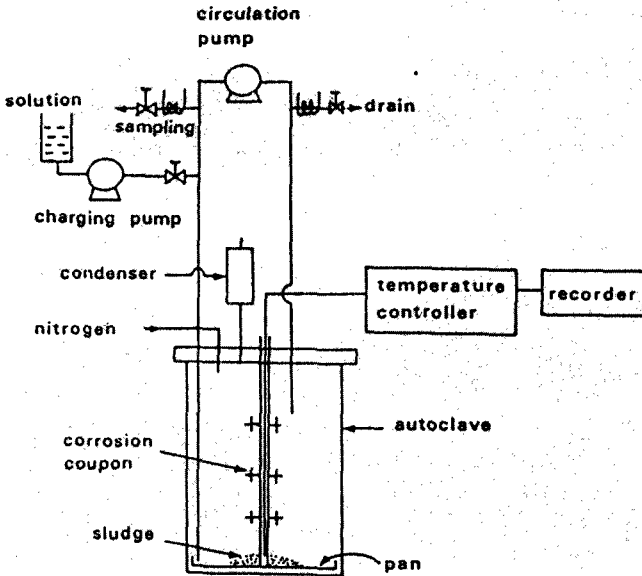
독일의 KWU공정은 발전소의 기존 계통을 이용하여 Soaking(침투)방식으로 화학세정을 실시하는 것으로, 1985~1990년 기간중에 유럽 및 일본의 13개 발전소에서 약 30회 수행된 바 있다. KWU공정에서 제철(製鐵)공정은 통상 160~180℃에서 약 10시간 진행되며 주세정제(Chelate)는 NTA(Nitritoltriactic Acid)를 사용한다.

제동(制動)공정은 EDA, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH를 주입하여 pH는 8.5로 유지하며 산화제를 주입하지 않고 Aeration(通氣)하여 70℃ 이하에서 통상 24시간 실시한다.

미국의 경우 CE, B&W, PNS사 등이 공동참여하여 외부순환장치를 사용하는 EPRI/SGOG 화학세정공정을 개발하였으며, Millstone-2, Main Yankee, Oconee 원전 등에서 적용한 바 있다.

EPRI 공정에서는 제철공정시에 부식억제제(Inhibitor)를 제동공정시에 산화제(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 사용하며, 화학세정 후에 방청(防鏽)공정(Passivation)을 실시한다. EPRI공정의 주세정 약품인 EDTA(Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid, C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)는 물에 대

그림 1 : Bench Scale 화학세정 시험장치 개략도



한 용해성이 0.5g/L로 매우 낮지만 염 (Salt) 상태로 되면 용해도가 높으므로 증기발생기 화학세정시(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>EDTA-A를 사용한다.

제철공정은 하이드라진(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 주입 및 질소봉입(窒素封入)을 하여 환원성 분위기에서 실시한다. 환원성 분위기를 유지하는 것은 Fe<sup>+3</sup>이온이 수용액에서 Fe(OH)<sub>3</sub>를 형성하여 침전하고, Fe<sup>+3</sup> - EDTA가 모재를 부식시키기 때문이다.

제동공정은 산화성 분위기를 유지하는데 금속상의 동을 산화동으로 산화, 이온화시켜 주세정제와 킬레이트 결합하여 제거할 수 있기 때문이다.

한편, 이 연구에서는 KWU공정과 EPRI공정의 장단점을 비교 검토한 후 EPRI공정을 채택하였다.

이는 EPRI공정에서는 세정액 가열 및 순환을 위한 외부순환장치를 사용함으로 발전소 보수공정에 영향이 없고, 슬러지 제거효율, 모재(母材) 부식율, 제동공정의 세정효과가 KWU공정 보다 우수하며, 재질부식 연속감시장치를 사용하여 화학세정 공정감시가 용이하기 때문이다.

### 화학세정기술 국산화 연구

1978년 상업운전을 개시한 고리 1호기는 복수기 및 급수가열기의 전열관(傳熱管)을 동합금으로 설치하여 88년도에 전열관을 강관으로 교체하기 전

까지는 동합금 부식생성물이 증기발생기로 유입되어 슬러지중에 동성분이 많이 포함되어 있었다.

슬러지중에 동성분이 포함되면 철합금의 전열관 사이에 전위차(電位差)가 생겨 점식(Pitting)이 발생하여 전열관 손상의 원인이 된다. 따라서 증기발생기 슬러지를 제거하기 위하여 1990년 10월에 미국의 화학세정 전문회사인 ABB/PNS사 기술용역으로 화학세정을 실시한 바 있다.

한편, 고리 2호기는 복수기관은 티타늄, 급수가열기 전열관은 스테인레스틸로 건설되어 증기발생기 슬러지중에 구리성분은 미량 포함되어 있었으나, 납성분(Pb)과 Fe Cylinder가 함유되어 있고, 축적된 슬러지량이 많아 일부 전열관이 튜브시트 상단에서 Denting과 응력부식균열에 의한 손상이 발견되었다.

따라서 국내기술로 증기발생기 TSP(Tube Support Plate) 1단 이하의 부분적인 화학세정으로 슬러지를 제거하기로 결정하였고, 화학세정을 위한 사전 검증시험 및 안전성 검토를 다음과 같이 실시하였다.

고리 2호기 증기발생기에 축적된 슬러지량과 특성을 평가하여 Bench Scale 예비시험과 현장세정 조건을 모사한 Large Scale 검증시험을 실시하였다.

검증시험 공정설계를 위한 슬러지 (Sludge) 축적량(蓄積量) 평가는 증기발생기 와전류(渦電流)탐상(ECT) 검사기의 슬러지 높이 측정자료를 이용하

여 단순 원뿔 모델의 보수적 방법으로 증기발생기 A/B가 각각 174kg인 것으로 계산하였다.

슬러지의 조성 및 특성 평가는 현장 채취 슬러지를 왕수 및 제철세정액 (10% EDTA)에 용해시켜 분석하였다.

슬러지의 주성분(主成分)은 철산화물(Magnetite)로 94.75%가 포함되어 있었다.

그 밖에 0.017%의 동성분(銅成分)과, 미량의 납(Pb) 성분, 1.93%의 불용성(不溶性)물질이 포함되어 있었다. 화학세정액에 잘 용해되지 않는 Hematite(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 복합물은 적게 포함되어 슬러지의 95% 정도를 화학세정으로 제거 가능할 것으로 평가하였다.

Bench Scale 시험장치는 3L 용량의 Autoclave를 이용하여 그림 1과 같이 제작하여 현장모사 검증시험에 필요한 자료 취득을 위한 예비시험에 사용하였다.

시험에 사용된 슬러지는 증기발생기에서 채취한 슬러지를 분말상 및 Hard 슬러지로 만들어 장입하였고, 재질부식 측정용 시편은 I-600의 6종을 설치하였다. 주 세정제인 EDTA 주입농도는 20%, 세정온도는 93℃를 유지하며 세정약품을 순환하면서 2시간 간격으로 세정액을 분석하여 슬러지 용해거동을 평가하였다.

시험에는 24시간이 소요되었고 이때의 슬러지 용해율은 87%이었다. 시험완료후 장비를 해체하여 슬러지 용해상태를 점검하고 부식시편(腐蝕試片)에 대한 부식을 측정 및 부식형태

표 2 : 화학세정공정 조건 및 세정약품 조정

공정 부분	약품조성 및 공정조건
Checkout rinse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demi water, pH 10 ± 0.3 with NH<sub>4</sub>OH</li> </ul>
Iron solvent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 ± 2% EDTA(Fe- I)</li> <li>and 10 ± 2% EDTA (Fe- II)</li> <li>• 1.0 ± 0.2% N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> <li>• pH 6.8 ± 0.2 with NH<sub>4</sub>OH</li> <li>• 1.0 ± 0.1% CC I -801</li> <li>• 93 ± 3℃</li> </ul>
Rinse water	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demi water, pH 10 ± 0.3 with NH<sub>4</sub>OH</li> </ul>
Final rinse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demi water</li> </ul>
Passivation water	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 ± 30ppm N<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li> <li>• pH10.0 ± 0.2with NH<sub>4</sub>OH</li> <li>• 93 ± 3℃</li> </ul>

를 조사한 결과, 모재의 부식율이 낮고 Hard슬러지도 와해되어 세정후 고압수 살수에 의하여 제거될 수 있는 것으로 평가되었다.

Large Scale 규모의 현장모사 시험장치는 25L의 모델 증기발생기(그림 2)와 세정액 순환설비로 구성되었다.

시험에 필요한 다량의 증기발생기 슬러지 확보가 어려워 Aldrich사의 시약급 Magnetite 1.15kg을 분말상과 Hard Type의 모의 슬러지를 만들고, 모델 증기발생기 전열관 사이에 Hard 슬러지와 분말상 슬러지를 장입하여 증기발생기내의 슬러지 퇴적상태와 유사하도록 하였다.

세정액의 분석, 제거효율 및 재질별 부식율의 평가방법은 Bench Scale 시험과 동일하게 하였다. 주세정제인 EDTA농도를 20%로 하여 제철공정

을 약 22.5시간 실시하였으나, 장입 슬러지의 57.5%가 제거된 상태에서 슬러지 용해속도가 낮아 공정을 중지하고 세정액을 배수시킨 다음 다시 EDTA 농도를 10%로 하여 2차제철 공정을 11.7시간 실시하여 총 슬러지의 29.3%를 제거하였다.

1, 2차 공정을 통한 총 슬러지제거율은 86.8%였다.

시험완료후 모델 증기발생기를 해체하여 육안 관찰한 결과, Soft Sludge는 완전히 제거되었고 일부 용해되지 않은 Hard Sludge는 Disk Type의 형상이 와해되어 있었다.

부식시편 14개의 부식율은 0~0.23mils로서 EPRI/SGOG의 부식허용범위인 I-600의 0.25mils 이하, 기타 재질의 10mils 이하를 만족하였다.

전체가 슬러지에 묻힌 시편의 부식

표 3 : 증기발생기 화학세정 결과 비교

구 분		고리 1호기	고리 2호기*
수행기관		ABB/ PNS	한전
실수행기간		1990.11. 3 ~ 11.14	1993. 9.14 ~ 9.19
소요예산		약 20억원	< 5억원
적용공정		EPRI/ SGOG 공정	EPRI/ SGOG 공정
화학세정에 의한		SG-A : 184kg	SG-A : 94kg
슬러지 제거량		SG-B : 212kg	SG-B : 84kg
슬러지 제거효율		95% 수준	95% 수준
세정회수	증기발생기 A	제철공정 : 1회	제철공정 : 2회
		제동공정 : 6회	
	증기발생기 B	제철공정 : 1회	제철공정 : 1회
		제동공정 : 6회	제동공정 : 1회
재질부식 (SG-A/B, mils)	I-600(Tube)	0/ 0	0/ 0
	SA 285(Wrapper)	0.50/ 0.71	0.05/ 0.08
	SA 533 A(Shell)	0.84/ 2.97	0.02/ 0.10
	SA 508(TS)	0.69/ 1.25	0.02/ 0.09
	SA 106(BD pipe)	0.63/ 0.78	0.02/ 0.09
화학세정 사유		슬러지중 Cu함량이 높아 Pitting에 의한 전열관 손상 발생	슬러지 퇴적부위인 TS 상단에서의 Denting 및 응력부식균열 발생

울은 문헌 시편의 경우는 용액에 완전히 노출된 시편과 비슷한 부식율을 나타내었다.

한편, 화학세정 공정감시를 위해 현장에서 사용될 On-Line 부식감시장치를 설치하여 장비의 성능시험 및 장비에서 측정된 부식율과 무게감량에 의한 부식율을 비교하여 복합부식인자(K-factor)를 1.94로 평가하였다.

Bench Scale 및 Large Scale 검증 시험 자료를 이용하여 고리 2호기 증기발생기 화학세정의 공정조건 및 세정액 조성(표2), 화학세정 종료시점, 약품 소요량 및 폐액 발생량 등을 평가하였다.

화학세정 안전성 검토는 화학세정시 증기발생기 모재의 부식, 공정제어상 예상되는 문제점 및 일부 세정액이

잔류하는 경우 부식억제제인 CCI-801 중에 약 1% 함유된 유황분이 재질에 미치는 영향 등에 대하여 검토하였다.

또한, 슬러지 제거효율을 높이고 세정액의 처리비용절감을 위한 다음과 같은 방안을 제시하여 현장세정에 반영하였다.

- ① Checkout Rinse 후 배수시에 잔류 Rinse 용액량을 가능한 줄여 화학세정약품이 희석되는 것을 방지하여야 한다. 고리 1호기 화학세정시 배수 후 잔존용액은 증기발생기 A/B가 각각 510L 및 390L이었다.
- ② 세정액의 순환유속이 높을수록 슬러지 제거효율이 향상되므로 세정액 순환 속도를 현장여건을 고려하여 최대한 높여야 한다.
- ③ Checkout Rinse 공정으로 증기발생기 Tubesheet가 충분히 열되어야 하며 세정액 순환중 열손실은 가능한 억제되어야 한다.
- ④ 세정전에 고압수 세정으로 Soft Sludge를 제거하는 것이 슬러지 제거효율 및 세정시간 단축을 위하여 바람직하다. 이는 최근에 수행된 Sludge Lancing시 약 100kg/SG의 Soft Sludge가 제거되고 있으며, 증기발생기 슬러지 추정량이 174kg/SG임을 감안할 때 1/2 이상을 물리적으로 제거한 후에 화학세정을 수행하면 Hard Sludge 제거효율이 향

상되기 때문이다.

## 연구결과의 현장적용

연구결과의 현장적용은 고리 2호기 증기발생기를 대상으로 철저한 사전 준비를 거쳐 제9차 계획예방정비 기간중(1993.9.14~9.19)에 한전 자체기술로 실시되었다.

세정방법은 EPRI/SGOG 표준공법을 사용하여 TSP 1단 이하인 튜브 시트 상단 75cm 부위까지 세정하였다. 화학세정 전, 후에 고압수에 의한 Sludge Lancing을 실시하였으며, 화학세정 공정조건 및 세정약품 조성은 표 2와 같다.

세정장치는 그림 3과 같이 순환펌프, 열교환기, 여과기, 부식감시조, 폐액저장탱크 등으로 구성되어 있다. 화학세정액은 순환펌프 → 열교환기 → 여과기 → 격납용기(CV) Hatch 관통 → Handhole → Flexible Hose → 증기발생기 → SG취출수 배관 → 순환펌프 순으로 순환하도록 하였으며, 순환율은 약 15분/Cycle이었다.

증기발생기-A의 화학세정 공정은 Checkout Rinse, 제철공정, Rinse, 중화방청의 순으로 진행되었으며, 세정액 총량은 증기발생기(4.5m<sup>3</sup>)와 세정장치를 포함하여 5.56m<sup>3</sup>이었다.

화학세정 약품주입은 주 세정제인 EDTA를 약품주입탱크에서 순수로

희석혼합후 상온에서 증기발생기로 주입하면서 동시에 부식억제제인 CCI-801 및 N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>은 순환펌프 Suction으로 분리주입하여 혼합시켰다.

세정약품을 분리 주입하면서 혼합한 것은 고리 1호기 화학세정시 사용하였던 폐액저장탱크를 약품주입탱크로 개조 사용하였기 때문에 상부에 질소를 봉입할 수 없었고, 화학약품을 상온에서 주입한 후 순환장치를 이용하여 세정온도(93℃)까지 가열하는 방법을 채택하였기 때문이다.

세정약품 가온에 사용된 열교환기는 열공급원으로 보조증기를 이용하여 93℃로 가열하는데 약 2시간이 소요되었으며, 폐액 배수시에는 냉각기도 사용하였다. 증기발생기 상부는 재질부식을 방지하고 세정액 순환펌프의 흡입수두를 유지시키기 위하여 화학세정 기간중에 질소를 봉입하였다.

세정액을 93℃로 가온하여 약 10시간 지속된 상황에서 격납용기(CV)내에 설치된 임시 질소공급관 연결부위에서 소량의 세정제 누설이 발견되어 세정을 중지하고 신속히 세정액을 배수하였다. 이때의 Fe농도는 10,688ppm으로 제철공정이 거의 완료시점에 도달한 것으로 추정되었으나, 세정시간이 너무 짧아 Hard Sludge 잔존 가능성을 완전히 배제할 수 없었기 때문에 2차 제철공정(10% EDTA)을 실시하였다.

2차세정 종료시 Fe농도는 772ppm으로 매우 낮았으며 증기발생기에 축

적된 거의 모든 슬러지가 화학세정으로 제거된 것으로 판단되었다. 제거된 슬러지량은 총 94kg(1차세정 : 88kg, 2차세정 : 6kg)으로 평가되었다.

증기발생기-B의 세정약품주입 및 세정방법은 증기발생기-A와 동일하게 실시하였다. 세정공정은 순조롭게 진행되어 14시간만에 세정종말점에 도달하였다.

세정종료시점의 Fe농도는 9,539 ppm이었으며, 총 84kg의 슬러지가 제거되었다. 세정종료후 부식시편의 육안검사에서 예상외의 Cu Plate 현상이 발견되어, 고리 1호기 화학세정시 여러번 수행된 바 있는 EPRI/SGOG 표준 제동공정을 추가로 실시하였다.

제동공정의 세정액 조성은 EDTA : 5%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 1.5%, pH : 9.5(NH<sub>4</sub>OH, EDA)로 하였다. 제동공정은 상온에서 약 2시간 진행되었고 Cu제거량은 약 60g 정도로 매우 적었다.

증기발생기 A에서 Cu Plate가 발생되지 않은 것은 제철공정을 2회 실시하였고 특히 2차 제철공정이 4시간으로 매우 짧았기 때문으로 추정되는데 제철공정 완료시 배수폐액의 Cu농도가 증기발생기 A는 7.34ppm인데 비하여 증기발생기-B는 0.19ppm으로 적게 나타난 것에서도 입증되고 있다.

이는 제철공정이 환원성 분위기에서 수행되므로 슬러지중에 미량 함유된 Cu가 세정초기에는 EDTA와 결합하여 용해된 후, 공정시간이 지속되

## 〈 연구 논문 〉

면서 저합금강에 동이 Plate되기 때문으로 생각된다.

화학세정중 증기발생기 구성재료의 부식평가는 검증시험에서와 같이 전기 화학적인 Linear Polarization 방법에 의한 연속 부식을 측정법과 증기발생기의 주요재질 10종에 대한 부식시편의 무게감량 측정법을 병행하여 수행하였다.

연속 부식율측정장치는 미국 CORTEST사의 M-6010 장비를 현장사용이 용이하도록 개조, 보완한 것으로 시험전극(Test Electrode), 기준전극(Reference Electrode), 보조전극(Auxiliary Electrode)을 장착하여 시험전극과 기준전극 사이의 전위차를 측정하고 시험전극과 보조전극 사이에 이보다 높거나 낮은 전위차(電位差)를 부여해 주었다.

이 때 두 전극 사이이 흐르는 전류를 측정하여 부식율을 계산하는 장비로서 3가지 재료의 부식율을 동시에 측정할 수 있다.

무게감량에 의한 재질별 부식을 측정하는 증기발생기 주요재질 10종류의 시편을 부식감시조의 시편걸이 상하에 각각 1개씩 장착하여 화학세정 전, 후의 무게감량을 측정하였다. 증기발생기 전열관 재질인 I-600은 부식감량이 전혀 없었으며, 다른 재료의 부식율도 낮게 나타났다.

고리 2호기 증기발생기 화학세정결과를 고리 1호기 화학세정결과와 비교한 것을 표 3에 나타내었다. 두 발전소 모두 EPRI-SGOG 공정을 적

용하였고 슬러지제거효율은 95% 수준으로 비슷하였다.

세정시의 재질부식은 EPRI-SGOG 제한치인 I-600 0.25mils 이하, 기타재질 10mils 이하를 만족하고 있으며, 고리 2호기가 고리 1호기의 1/10 수준으로 낮았다.

이는 고리 2호기의 경우 슬러지(Sludge)중에는 Cu성분이 0.02%로 매우 낮아서 제철공정중(製鐵工程中) Cu에 의한 Galvanic부식(腐蝕)이 거의 발생하지 않았으며, 세정시간도 짧았기 때문으로 생각된다.

## 맺음말

우리나라 최초의 원자력발전소인 고리 1호기가 1978년에 상업운전을 시작한 이래, 우리나라의 원전 운영기술은 세계적 수준에 도달하여 중국에 기술을 수출하는 비약적인 발전을 이룩하였다.

그러나 일부 중요설비의 보수 및 운영기술은 아직도 해외 의존도가 높아 原子力발전소의 경제성 및 안전성 제고를 위하여 증기발생기 건전성 확보, 핵연료 노심설계, 차세대 신형로 개발 등에 대한 증장기 연구가 진행되고 있다.

증기발생기의 건전성 유지는 원전의 운전 및 안전성에 직접 영향을 미치므로 매우 중요하다.

증기발생기에 슬러지가 퇴적되면

불순물이 농축되어 전열관 손상원인이 되므로, 고압수 분사의 기계적 방법으로 잘 제거되지 않는 경화성 슬러지는 일정주기로 화학세정으로 제거하는 것이 바람직하다.

증기발생기 화학세정은 사전 안전성에 대한 철저한 평가가 필요하고 모재부식을 최소화하며 슬러지만을 효과적으로 제거하여야 하므로, 고도의 세정기술이 요구되어 고리 1호기의 경우 외국의 전문회사에 의뢰하여 실시한 바 있다.

한전 기술연구원에서는 국내 가동 원자력 발전소 기수와 운전년수의 증가에 따라 증기발생기 화학세정이 더욱 요구될 것에 대비하여 관련 기술을 개발하였다.

또한, 연구결과를 자체 기술만으로 고리 2호기에 성공적으로 적용함으로써, 기술의 국산화를 이룩하고 연간 약 15억원의 외화절감은 물론 증기발생기 건전성 향상에도 이바지할 것으로 생각된다.

그림 3 : 고리 2호기 증기발생기 화학세정장치 설치개략도

