2009년도 춘계 학술발표회 논문집
대한방사선방어학회

해외 원전의 가압경수로 계통 내 아연주입기술 현황

이명우*, 김현구*, 정현주, 강덕원*
(주)한일종합산업,*전력연구원,
E-mail: dwkang@kepri.re.kr

중심어 : 아연주입기술, 방사선량 저감, IGSCC, 아연주입장치, 원자로냉각재

서 론

원전 냉각재 수질관리 기법 중 아연주입 기술은 원전 1차 냉각재 내에 수십 ppb 이하 미량의 아연을 첨가함으로써 계통 내 주요재질의 건전성 향상과 방사선량의 저하 효과를 동시에 얻을 수 있는 기술이다. 냉각재 내에 5-15 ppb의 아연을 함유한 냉각수를 사용하는 비등수로형 원자로(BWR; Boiling Water Reactor)의 배관표면 방사선량율이 아연을 함유하지 않는 발전소에 비해 낮은 이유를 조사한 결과, 냉각재 내의 아연이 계통 내 스테인레스강의 부식을 억제시키는 효과에 기인되는 것으로 밝혀졌다. 현재 전 세계적으로 40기 이상의 원전에서 적용되고 있다[1].

PWR의 경우에는 2009년 3월 현재 총 41기 원전(미국 35기, 독일 3기, 브라질 1기, 일본 2기)에서 아연주입을 실적용하고 있거나 주입을 검토 중에 있다.

독일 원전의 경우는 증기발생기 세관재질로 Alloy-800을 채택하여 사용하고 있기 때문에 아직까지 PWSCC는 별반 문제화되어 있지 않으며, 주로 방사선 작업자 보호를 위한 계통 방사선량 저감화에 초점을 맞추어 극미량(5 ppb 수준)의 아연을 계통에 주입하는 연구를 해오고 있다. 일본의 경우는 일본중앙전력연구소(CRIEPI)에서 아연주입에 대한 광범위한 연구를 전담 수행해오고 있다. 향후 국내 원전에 대한 기술 적용을 고려함에 있어서 위의 상용 PWR 적용결과와 노내 성능평가 결과가 가장 큰 관심사라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이들 발전소에서의 적용경험과 관련 기술에 대한 소개를 하고자 한다.

아연주입의 이론적 배경

아연과 용존산소만을 고려한 동일한 조건의 실험결과에서 전위차 변화 요인이 냉각재 계통 재질 SCC 발생율 저감의 주요 원인으로 보고 있다. 금속산화물 결정이론의 설명에 따르면 아연 주입에 의한 주요재질의 부식억제와 계통 내 방사선량 감소효과는 산화막 구조변화 이론과 결정입계 확산억제라는 두 가지 이론으로 설명되고 있으나 현재까지 이 이론들이 명확하게 검증되고 있지는 못하고 있다.

아연주입 적용성 실험 및 효과 평가

1. 방사선량 저감측면

304 SS 시편에 대하여 NaOH를 이용해 조성된 고전도도 환경(0.5 μS/cm)에서의 아연주입에 따른 방사선량 축적경향의 평가를 실시함.

2. IGSCC 완화측면

시편들은 60-100 ppb의 고농도 아연에 최대 2,000시간까지 노출되는 실험 조건하에서 입계 응력부식균열에 대한 저항성이 측정되었다. 실험 결과 재질 건전성 측면에서 아연주입으로 인한 부정적인 영향이 전혀 없는 것으로 조사함.

3. 경수로 원전 실 적용 경험

가. 냉각재 화학

Farley 2호기의 아연주입 시범적용 프로그램을 통해

아연주입으로 인한 ^{65}Zn 농도변화, 방사성 코발트의 농도 변화 및 화학 및 체적제어계통의 이온교환기 성능에 미치는 영향 등을 평가하였다.

나. 아연주입 방법, 분석법 및 분석주기

1) 아연주입 방법과 주입위치

미국 Farley 2호기, 10주기 아연주입 시범적용 프로그램에서는 아연주입액 탱크, 주입펌프, 아연공급 카트리지 및 분석장치 등으로 구성된 아연주입 및 감시장치아연주입 및 감시장치를 사용하여 체적제어탱크(VCT) 하단에 아연용액(약 40 ppm)을 주입하였다. 미국 Diablo Canyon 1, 2호기에서는 수동식 배치 시스템으로 개량해 사용하였다. Palisades 원전에서는 이러한 아연주입장치를 소형의 전기 계량 펌프와 20 리터 크기의 아연주입액 탱크로만 구성된 간단한 시스템으로 대체하였으며, 냉각재 내 아연농도의 분석은 채취된 시료에 대한 수작업으로 진행하였다. 한편 독일의 Obrigheim 원전에서는 원자로 압력용기의 고온관 출구노즐(reactor pressure vessel hot-leg outlet nozzle)을 통해 아연주입을 실시하였다.

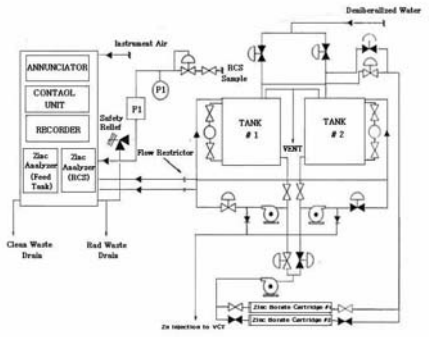

그림 1.아연주입 및 감시장치 개략도

1) 아연 농도의 분석법

아연중입 초기에는 다양한 분석법이 검토되었으나 최근에는 한 분석을 수작업으로 진행되는 flame AAS로 변경하기로 결정하였다.

한편 1996년 9월부터 방사선량 저감측면에서 아연을 독일의 Biblis-B 원전과 Obrigheim 원전은 AAS를 이용하여 아연농도의 분석법으로 수행하였으나, 냉각재 내 아연의 함량이 극미량(5 ppb 수준)으로 유지되기 때문에 분석의 신뢰성을 높이기 위해 ICP-MS로 분석을 선호함.

3) 아연농도 거동과 주입량 조절

PWSCC의 방지 목적시는 아연농도를 30-40 ppb , 계통 방사선량의 저감만을 목적으로 할 경우에는 5 ppb 수준으로 아연을 주입해 오고 있다. 방사선량의 저감에 초점을 맞추고 있는 유럽 원전의 경우는 계통 내 아연의 목표 농도를 5 ppb로, 시간당 1000 mg의 아연을 주입하였으며, 그 다음부터는 시간당 250 mg 정도의 아연을 주입해오고 있다. 미국의 Farley 2호기의 10주기에는 4 g Zn/h의 주입 유량을 선택하였으나, 40 ppb의 목표 농도를 유지하기에는 1-2 g Zn/h의 유량으로도 충분하였기 때문에 이후 주입 유량을 감소시켜 운전하였다.

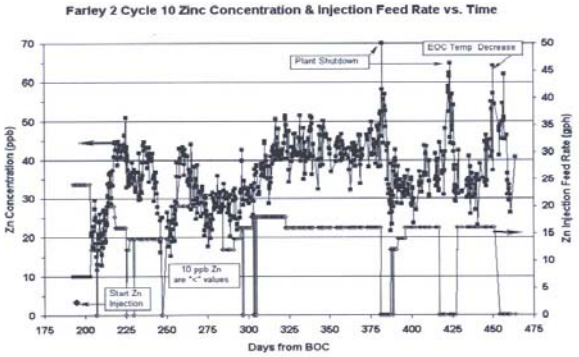

그림 2. Farley 2호기 10주기 아연농도 및 주입유량

결 론

○ 현재까지 원자로냉각재내 아연주입으로 인한 어떠한 운전 제한조건도 나타나지 않음

○ 아연주입으로 인한 정화계통 필터 및 핵연료의 부식 거동이 발견되지 않음.

○ 선량 거동평가를 위한 별도의 감시장치 사용 요구

참 고 문 헌

1. 아연주입기술 적용성 평가보고서.2005.5전력연구원