

경수로 원자로 냉각재 CRUD 대표시료 채취 기술에 관한 고찰

김민재 · 김종빈 · 강덕원* · 박종석**
(주)성우이엔티 · 한전 전력연구원* · (주)한국수력원자력**
E-mail: apollo93@naver.com

중심어 (keyword) : 크러드, 부식생성물, 용해성, 불용성, 입자, 원자로냉각재계통, 냉각재시료

요 약

국내 경수로 원전의 경우, 원전의 효율적, 경제적인 운영차원에서 장주기 운전으로 패턴을 바뀌면서 핵연료봉 표면상에 크러드(crud)의 침적량은 점점 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 원자로의 출력 제어와 직결되면서 이에 대한 문제 해결을 위한 대표성이 있는 시료의 채취와 재현성이 있는 부식 생성물의 측정이 요구되어져 왔다. 원자로 계통 내에서 부식생성물의 농도변화에 대한 평가, 특히 입자농도가 증가되어지면 축방향 출력편차(Axial Offset Anomaly, AOA)가 발생할 수 있는 위험에 노출되거나, 핵연료 교체를 위해 발전소 정지시(shut down) 부식생성물의 방출이 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 특히 입자성을 띤 물질은 존재의 특성상 이들 물질에 대한 대표시료의 채취가 어려울 뿐 아니라 grab 채취로 인해, 분석결과에 대한 재현성이 낮으며 계통 선량율의 제어와 작업자 피폭관리에 많은 어려움이 뒤따르고 있어 선진 원전 운영국에서는 앞 다투어 대표시료를 채취 할 수 있는 capillary sampling 법이나 integrated sampling법을 적용해 오고 있다. 본 논문에서는 국내 경수로 원전에서 일반적으로 사용하고 있는 grab sampling 법에 대한 문제점 파악과 해외 원전에서 사용 중인 capillary sampling 법의 국내 적용 가능성에 대해 살펴보았다.

서 론

대부분의 가압경수로에서 부식생성물에 대한 시료채취의 일반적인 방법은 원자로냉각재 계통(RCS)의 고

온관(hot leg)이나 저온관(cold leg)에서 “grab” 시료를 채취하는 것이다. 이 방법은 이상적인 시료 채취법이 아니며 분석 결과물을 종종 10배에서 100배까지 높게 치우치게 할 수 있는 가용성 및 입자 과도현상(transients)이 지배적이게 된다. 시료 채취장치 개선 시 상당 비용이 들기 때문에 이의 대체방법으로, 부식 생성물 시료 채취장소로 화학 및 체적제어계통 유출수 배관(CVCS letdown line)을 고려하고 있다. 본 논문에서는 부식생성물의 분석을 위해 원자로냉각재계통(RCS)과 화학 및 체적제어계통(CVCS) 양쪽 모두에서 채취하도록 사용된 서로 다른 방법들과 직면했던 문제점 및 지속적으로 흐르는 원자로냉각재계통(RCS) 시료채취배관 사용에 따른 이점들에 대한 설명과 해외 원전에서 실 적용했던 경험에 대한 소개와 국내 원전에서 이러한 시료 채취법을 적용하기 위해 시도했던 기술적 검토 내용에 대해 간략히 기술하였다.

방법 및 결과

1. 방사성 CRUD의 정상 분석

원자로 계통 내에 존재하는 크러드의 정상은 계통 내 환경에 따라 달라지며 시료의 포집법에 따라서도 크게 달라진다. 본 실험은 영광원전의 정상 운전 중 주기말 시점에서 CRUD가 시료의 포집환경 변화에 따라 달라짐을 확인하기 위해 시료를 직접 받았을 때와 일정시간 배수 후 받았을 때, 시료를 대기 중에 장시간 개방시켰을 때와 필터의 크기를 변화시켰을 때 등 다양한 환경 하에서 방사능의 농도를 측정하였다.

1.1 CRUD의 입자 구성성분

- 대표적 성분 : 구조물의 방사화로 인해 생성되

는 핵종. (Mn-54/56, Co-58/60, Fe-59, Cr-51., 등)

○ 부수적 성분 : 핵연료봉 및 밀봉재의 결함으로 인해 생성되는 핵종 및 이온. (Ag-110m, Zr, Nb 등)

1.2 분석 결과

○ 필터 pore의 크기가 각기 다른 3개의 필터(0.1, 0.45, 5 μ m)에 시료를 곧바로 통과시켜 측정해 본 결과, 모두 비슷한 농도 값을 나타내 운전 중 CRUD 입자는 환원성 분위기(DH: 40cc/kg)하에서는 입자는 수 마이크로미터 정도의 크기임을 확인됨.

표 1. 필터 변경 사용에 따른 CRUD 방사능 농도 변화

Sample	채취일자	여과/측정 일자	방사능(uCi/cc)	비고
5 μ m 필터 여과	2008.10.24	2008. 10. 24	$\Sigma = 3.2 \times 10^{-1}$	
0.45 μ m 필터 여과	2008.10.24	2008. 10. 24	$\Sigma = 3.0 \times 10^{-1}$	
0.1 μ m 필터 여과	2008.10.24	2008. 10. 24	$\Sigma = 5.5 \times 10^{-2}$	

○ 채취한 시료를 대기 중에 개방시켜 4일 정도 방치한 후에 0.45 μ m 필터에 통과 시킨 후 측정해 본 결과, 즉시 여과 후 측정한 시료에 비해 방사능 농도가 약 1/6 수준으로 낮아졌으며, 음이온수지(R-OH)에 여과 시킨 후 수지를 측정해 본 결과, 방사능 농도가 100배 이상 높게 나타난다.

1.3 방사성 CRUD 분석결과

원자로 계통내의 크러드(CRUD) 거동을 파악하기 위해 매 월별로 영광 5, 6호기를 대상으로 방사능 농도를 분석을 수행하였다. 그림1에서와 같이 운전초기(BOL)에는 크러드의 농도가 낮게 유지되다가 운전중기(MOL)에는 비교적 일정한 농도로 안정적으로 유지해 오다가 노심말기(EOL)에는 계통의 화학환경이 급격히 변화하면서 CRUD의 농도도 크게 높아짐을 확인할 수 있었음.

2. 계통 크러드 시료채취 설비의 문제점 분석

2.1 Delay coil의 통과로 인한 머무름 시간에 의한 지체와 주기적인 rod drop 시험, 출력변동 및 기타 밸브 조작 시 배관 벽면에 부착되어 있는 크러드의 탈착으로 인해 약 1시간 이상 VCT를 통해 순환되거나 기존 배관에 체류되어 있었던 시료가 충분히 배수

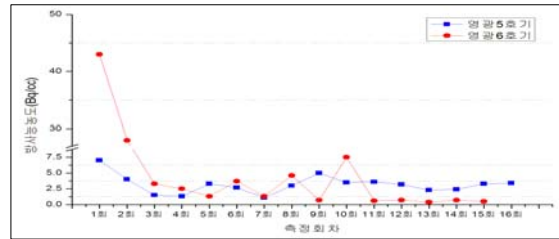


그림 1 .영광5&6호기 계통수 중의 CRUD농도 변화 추이

되지 않으면 재현성 있는 CRUD 시료의 채취가 불가능함.

2.2 실제 동일 조건하에서 시료의 연속퍼지, 밸브차단 후 채취 및 4시간 퍼지 후 시료를 분석해 본 결과, CRUD의 농도가 채취 조건에 따라 각기 다르게 나타난다.

3. 시료채취기 설치 가능성 검토

○ 시료채취기 설치 지점에 연속 감시가 가능한 DO/DH 측정기가 설치되어 있어 capillary sampler를 T자로 연결하면 별도의 설계변경 없이 연속적으로 밀폐된 시료의 채취가 가능할 것으로 여겨짐.

○ CVCS 탈염기 입구측에서의 시료 채취도 원자로냉각재 시료로 대표성을 지닐 수 있다고 판단함

결론

- 정지화학 처리시 원자로내 수화학 환경이 크게 바뀔 것으로 grab 시료채취법은 오차 유발 가능성 매우 높음.
- 산화성 분위기하에서는 미세한 콜로이드가 (+) 전하를 띠므로 R-OH 수지에서 상당량 제거됨을 확인함.
- 운전 중 CRUD 입자는 환원성 분위기(DH: 40cc/kg)하에서는 입자는 수 마이크로미터 정도의 크기임을 확인됨.

참고 문헌

1. P.Cake and J.Brunning, Elemental, Eadio-chemical and Particle Population Measurements Carried out on the Primary Coolant at Ringhals 2 During Steady Operation November -December 1992, AEA RS 2364, March(1993)
2. Pressurizes Water Reactor Primary WATER Chemistry Guidelines, EPRI, 1014986, Volume 1, Revision 6, December (2007)