

경수로 원자로 냉각재 CRUD 대표시료 채취 기술 연구

김민재, 정성엽, 강덕원*

(주)성우이엔티, 서울특별시 강동구 천호1동 34-2, 화성빌딩 8층

*한전 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16

apollo93@naver.com

1. 서론

국내 경수로 원전의 경우, 원전의 효율적, 경제적 운영차원에서 장주기 운전으로 패턴이 바뀌면서 핵연료봉 표면상에 크리드(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 법과 해외 원전에서 사용 중인 capillary sampling 법을 비교 분석함으로써 capillary sampling 법의 국내 적용 가능성에 대해 살펴 보았다.

2. 본론

2.1 부식생성물 시료채취

대부분의 가압경수로에서 부식생성물에 대한 시료채취의 일반적인 방법은 원자로냉각재 계통(RCS)의 고온관(hot leg)이나 저온관(cold leg)에서 "grab" 시료를 채취하는 것이다. 이 방법은 이상적인 시료 채취법이 아니며 분석 결과물을 중

중 10배에서 100배까지 높게 치우치게 할 수 있는 가용성 및 입자 과도현상(transients)이 지배적이게 된다. 시료 채취 장치 개선시 상당 비용이 들기 때문에 이의 대체방법으로 부식생성물 시료 채취 장소로 화학 및 체적제어 계통 유출수 배관(CVCS letdown line)을 고려하고 있다. 본 논문에서는 부식생성물의 채취와 분석을 위해 국내 원자력 발전소의 시료채취배관에 설치된 capillary tube를 이용하여 채취된 시료와 lab scale 장치를 제작 및 설치하여 채취된 시료를 비교 분석하였다.

2.2 실험방법

본 논문에서 사용된 방사화 부식생성물 포집장치는 기존의 grab 시료채취법으로 해 오던 시료 채취를 capillary를 이용한 시료채취법으로 대체하여 대표성 있는 방사화 부식생성물을 채취하도록 하였다. 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

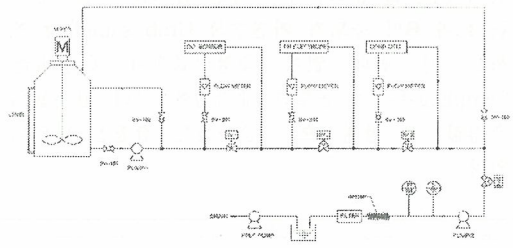


Fig. 1. Schematic of Radioactive Crud Sampling System

경수로 원전의 계통수 중에 함유된 금속이온의 농도와 유사한 조건의 모의 시료를 혼합, 순환시키면서 용기의 상단에는 용기내의 혼합 시료들이 잘 섞여져 용해될 수 있도록 교반기가 장착된 저장용기와, 저장용기에 저장된 시료들이 순환될 수 있도록 전체유량을 조절하는 순환펌프를 설치하였다. 각각 단계마다 용존산소, pH, conductivity 측정장치, 그리고 온도계를 설치하였으며, 각 단계에서의 유량을 조절할 수 있는 개폐밸브와 유

량을 설치하였다. 또한 capillary tube 전 단계에는 고압의 소량 시료를 조절할 수 있는 고압펌프를 연결하여 극미량의 시료를 조절할 수 있게 하였다.

2.3 실험조건

원자로 냉각재 계통 내의 Li과 B의 농도를 고려하여 모의 시료 용액에 Li 농도 1, 2.2, 2.2 ppm, B 농도 50, 600, 1200 ppm으로 변경하면서 모의 시료를 제조하여 사용하였다. 또한 고압펌프를 사용하여 Capillary Tube를 통과하는 유량을 4.0~5.0 mL/min으로 설정하고 총 1 L씩 시료를 채취하였다. Capillary Tube 하단에는 지름 47mm의 Membrane Filter Holder를 장착하여 0.45 μm Membrane Filter와 그 위에는 Cation Filter를 넣고 시료를 여과, 채취하였다. 채취된 시료는 건조기에서 수분을 없앤 후에 Microwave Digestion System을 이용하여 산 분해하였다. 용액화된 시료는 유도결합 플라즈마 원자방출 분광기(ICP-AES)를 이용하여 원소들을 분석하였다.

2.4 실험결과

위의 방사화 부식생성물 포집장치를 이용하여 채취한 시료들의 분석값을 Fig. 2에 나타내었다. 또한 Grab sampling에 의해 채취된 시료들의 분석값을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 Li과 B 농도변화에 따른 원소들의 분석결과는 Li과 B의 농도가 커질수록 Grab sampling에서는 큰 변화 없이 측정되었으나, Capillary Sampling에서는 농도가 증가함에 따라 원소들의 측정값들이 상대적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

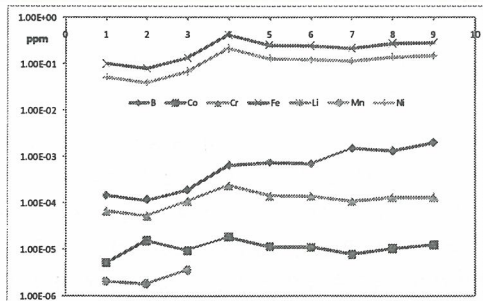


Fig. 2. Measurements of each elements(B, Co, Cr, Fe, Li, Mn, Ni) on Grab sampling

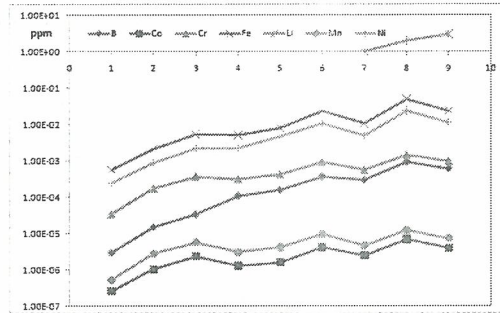


Fig. 3. Measurements of each elements(B, Co, Cr, Fe, Li, Mn, Ni) on Capillary sampling

3. 결론

본 논문에서는 Lab scale 방사화 부식생성물 포집장치를 제작, 설치하여 모의 시료를 이용한 Capillary Sampling에 대한 연구를 수행하였다. 원자력 발전소의 원자로 냉각재 계통내의 조건을 고려해 볼 때 실험조건이 정확하게 일치하지는 않지만, 실험값들을 비교해 본 결과 실험조건에서의 차이에 따른 Grab Sampling과의 차이점을 참고로 추후 실험서는 더 확실한 결과값을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 참고문헌

[1] P.Cake and J.Brunning, Elemental Radiochemical 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] Pressurized Water Reactor Primary Water Chemistry Guidelines, EPRI, 1014986, Volume 1, Revision 6, December (2007)