

차폐 ICP-AES를 이용한 방사화된 Zr-Nb 피복관 주성분 분석

최광순, 표형열, 조동건, 한선호, 송규석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
nkschoi@kaeri.re.kr

1. 서론

우리나라 원자력발전은 1978년 고리에서 최초로 전기를 생산한 것을 시작으로 현재 20기의 원자료가 가동 중이며, 20기 원자로 중 월성에 있는 4기는 가압중수로이고 고리, 영광 및 울진에 있는 16기는 가압경수로이다. 정부의 전력생산 및 수급에 관한 기본계획에 의하면 2022년까지 12기의 원자로를 더 건설하여 원자력발전이 차지하는 비율을 현재 약 30%에서 47.9%까지 증가하려고 계획하고 있다. 가압중수로 원자로는 농축하지 않은 천연 우라늄을 사용한다는 장점이 있으나 삼중수소의 발생과 같은 단점이 더 크게 부각되고 있다. 또한 우리나라가 아랍 에미리트에 수출한 원자력도 가압경수로이므로 2014년까지 추가로 건설할 6기의 원자로는 가압경수로 계획하고 있다.

원자로 해체 폐기물의 선원 항은 (source term) 해체 및 제염 기술을 결정하거나 종사자의 피폭을 예측하거나 또는 해체한 다음 방사능 붕괴 기간을 결정할 때 필요하다. 이와 같은 사항들은 원자료를 해체할 때 드는 비용을 산출할 경우 직접 관계되는 인자들이다. 따라서 합리적인 선원 항 평가는 과도한 예산을 배제하고 보수적인 처분 시스템을 설계하기 위하여 반드시 필요하다. 최근에는 해체에 필요한 비용을 평가하기 위한 연구가 시작되었다 [1, 2]. 해체 폐기물 선원 항 평가를 위한 분석 시스템을 개발하고 있으며, 발전소로부터 방출된 조사 중수로 압력관에서 핵종 목록 (nuclide inventory) 작성을 위한 핵종의 방사능을 측정함으로써 측정 시스템 검증에 필요한 표준자료를 작성하기 위하여 핵종정량분석을 수행하였다.

방출된 시점에서 핵종의 방사능 세기를 측정함으로써 초기로부터 현재까지 방사정도를 계산할 수 있으나, 이를 위해서는 초기 재료물질의 조성을 알아야 한다. 따라서 본 연구에서는 조사전의 압력관 주성분 함량을 알기 위하여 조사된 압력관을 용해한 다음, Zr, Nb, Fe 및 Ni을 차폐 ICP-AES로 측정하였다.

2. 본론

2.1 실험

조사 압력관 튜브를 6 mm 두께로 자르고 3등분으로 구분한 다음, 3등분한 부분에서 각각의 무게가 약 0.9 그램 되게 hot cell에서 잘랐다. 이 때 시료의 표면선량률은 2.6 mSv/h이었다. 압력관을 용해하기 위하여 질산 9 mL 및 플루오르화수소산 2 mL을 가하여 흔들어서 주고 다시 플루오르화수소산 1 mL을 가한 다음 테프론 덮개를 덮고 흔들지 않고 방치하였다. 격렬한 반응이 완료된 다음 염산 6 mL을 가하고 반응이 끝난 후 플루오르화수소산 3 mL을 가하여 저온에서 가열하여 완전히 용해한 다음 증류수로 20 mL로 맞추었다.

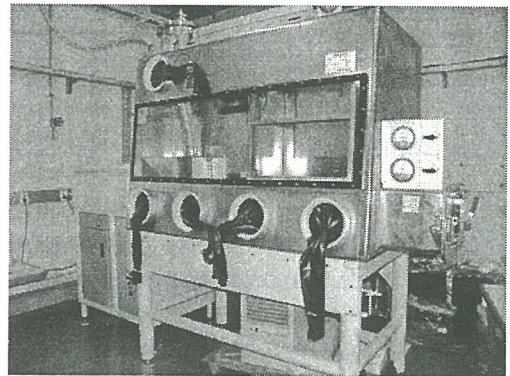


Fig. 1. Photo of shielded inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.

2.2 결과 및 논의

방사성 시료이므로 용해한 다음 압력관 중 지르코늄, 니오븀 및 철의 함량은 그림 1과 같은 차폐 ICP-AES로 측정하였다 [3]. 압력관의 주성분 원소는 지르코늄과 니오븀이며 소량의 철은 분리하지 않고 바로 측정할 수 있었다. 그러나 니켈은 미량으로 존재하여 지르코늄이 분광학적 간섭을 주므로 니켈과 지르코늄을 분리하지 않고 바로 측정할 수 없었다. 니오븀 함량의 규제값은 2.0~3.0%이며 상부와 하부에서 니오븀 함량은 각각 2.52 및 2.66%로 알려져 있다. 실제로 측정된 니

니오븀 함량은 2.44~2.63%이었다. 또한 철과 크롬 함량을 합한 규제값은 0.2%이며 상부와 하부에서 철과 크롬 함량을 합한 값은 각각 0.054 및 0.056% 이하로 알려져 있다. 실제로 측정된 철의 함량은 0.041~0.047%이었다. 측정된 지르코늄, 니오븀 및 철의 결과는 표 2에 나타내었다.

Table 1. Analytical results of pressure tube activated

	Zr(%)	Nb(%)	Fe(%)	Total
1-1	97.8±2.9	2.57±0.08	0.047±0.005	100.4
1-2	98.5±3.4	2.58±0.09	0.044±0.006	101.1
1-3	97.3±2.3	2.44±0.12	0.047±0.002	99.8
평균	97.9	2.53	0.046	100.4
2-1	98.0±2.9	2.46±0.07	0.045±0.006	100.5
2-2	97.9±3.2	2.63±0.11	0.045±0.006	100.6
2-3	97.8±1.8	2.48±0.10	0.046±0.004	100.3
평균	97.9	2.52	0.046	100.5
3-1	98.1±2.4	2.49±0.03	0.041±0.003	100.6
3-2	98.1±2.2	2.51±0.07	0.045±0.006	100.7
3-3	98.1±2.2	2.50±0.07	0.041±0.003	100.6
평균	98.1	2.50	0.042	100.6

표 1에서 알 수 있듯이 측정된 성분원소의 백분율은 99.78에서 101.12%로 100%에 근접하므로 신뢰할 수 있는 분석결과로 사료된다. 한편 압력관을 6 mm로 자른 다음 3등분한 3개의 시편에서 지르코늄의 평균값과 표준편차는 97.9±0.6, 97.9±0.1 및 98.1±0.0%이었다. 즉 원통 모양의 시편을 3등분한 다음 측정된 지르코늄의 함량은 커다란 차이가 없었다. 또한 니오븀의 평균값과 표준편차는 2.53±0.08, 2.52±0.09 및 2.50±0.01%으로 큰 차이는 없었으나, 1번 1-3 및 2번 2-2에서 니오븀 측정값은 평균값으로부터 각각 -0.09 및 0.11% 차이가 있었다. 표 1에서 알 수 있듯이 지르코늄과 니오븀의 상대표준편차는 각각 1.8~3.5% 및 1.2~4.7%이었다. 한편 소량으로 존재하는 철의 상대표준편차는 3.9~14.4%이었다.

3. 결론

방출된 시점에서 핵종의 방사능 세기를 측정함으로써 초기로부터 현재까지 방사정도를 계산할 수 있다. 이를 위하여 재료물질의 초기 조성을 알아야 하므로 차폐 ICP-AES로 이들 조성원소의 함량을 측정하였다. 측정된 성분원소의 백분율은 99.78~101.12%로 100%에 근접하므로 신뢰할 수 있는 분석결과로 사료된다. 지르코늄은 97.3~98.5% 범위로 존재하였으며, 니오븀은 2.44~2.63%이었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 출연금 주요사업의 일환으로 수행하였음.

5. 참고문헌

- [1] H.S. Kim, H.Y. Yang, D.K. Cho, et al., "Development Plan on Cost Estimation System for Decommissioning of Nuclear Reactor in Korea." Transactions of the American Nuclear Society and Embedded Topical Meetings Isotopes for Medicine and Industry, Anaheim, California, June 8-12, 2008, (2008).
- [2] H.S. Kim and T.W. Hwang, "Major Cost Items for Decommissioning Cost Estimation," Proceedings of International Symposium on Radiation Safety Management, Daejeon, Republic of Korea, November 4-6, 2009, (2009).
- [3] 이창현, 서무열, 최계천, 박양순, 지광용, 김원호, "유도결합 플라즈마 원자방출분광기/차폐 시스템의 특성 및 방사성물질 분석에 대한 적용성 평가", 분석과학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 474-483, 2000.