

원전 방사성폐기물 중 ^{55}Fe 방사능 측정

송병철, 김영복, 손세철, 지광용

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

nbcsong@kaeri.re.kr

원자력 시설의 재료물질에 포함되어 있는 철 성분은 중성자 조사에 의해 $^{54}\text{Fe}(n,r)^{55}\text{Fe}$ 및 $^{58}\text{Fe}(n,r)^{59}\text{Fe}$ 핵반응을 일으키며, 방사화물로서 ^{55}Fe 와 ^{59}Fe 가 생성된다. ^{55}Fe 는 반감기가 2.73년으로 전자포획에 의해 에너지가 5.9 keV인 X-ray를 방출하며, ^{59}Fe 는 에너지가 1099와 1292 keV의 감마선을 방출하나 자연 존재비가 0.3 %로 매우 작고 반감기 또한 44.5일로 매우 짧으므로 방사성폐기물 중에 존재하기는 어려울 것으로 보인다. 감마선 에너지를 방출하는 ^{59}Fe 의 방사능을 측정하기 위하여는 감마분광분석법이 적용되고 있으며, ^{55}Fe 의 방사능을 측정하는 방법으로는 시료를 전처리하여 용액화한 후 저에너지분광분석기를 이용하는 방법과 액체섬광계수기를 이용하는 방법이 적용되고 있다. 본 연구에서는 원전 방사성폐기물 중 ^{55}Fe 의 방사능을 측정하기 위하여 저에너지분광분석기를 이용한 방법과 액체섬광계수기를 이용한 방법을 비교검토하고, 이를 원전 방사성폐기물의 ^{55}Fe 방사능 측정에 적용하였다.

저에너지분광분석기는 얇은창 NaI(Tl) 검출기와 파고분석기 및 계산을 위한 소프트웨어로 PCA-II를 사용하였으며, ^{55}Fe 표준물을 사용하여 에너지 보정 및 계측효율을 구하고 실제 시료에 적용하였다. 액체섬광계수법에서는 섬광체로서 Ultima Gold 섬광용액을 사용하였으며, ^{55}Fe 표준물을 이용하여 소광효과를 보정한 계측효율을 구하고, 시료의 방사능량을 계산하였다. 이상의 두 방법에서 시료를 1 g 취하였을때 저에너지분광분석기를 이용한 방법은 계측효율이 4 %로 매우 낮고 백그라운드가 122 cpm으로 매우 높아 검출하한은 0.42 Bq/g 이었으며, 액체섬광계수법은 백그라운드 24 cpm, 계측효율 28.4 %로 최소 검출하한은 0.04 Bq/g 이었다.

- 저에너지분광분석기의 작동 및 계측효율 측정

저에너지분광분석기는 NaI(Tl) 결정의 두께가 0.04 inch로 매우 얇고 0.005 inch의 Be 창으로 되어 있는 검출기와 PCA-II 카드가 장착된 파고분석기로 구성되어 있다. 검출기의 동작전압을 설정하기 위하여 고전압을 850~1200 V 까지 변화시켰으며, 적정 전압은 950 V로 설정 되었다. 본 시스템의 에너지 보정을 위하여 ^{55}Fe (5.9 keV) 및 ^{109}Cd (23 keV) 표준물이 사용되었으며, 그림 1에 보인바와 같이 에너지 보정식은 $E(\text{keV}) = 0.623 + 0.0488 * (\text{CH})$ 로 계산되었다. 또한 ^{55}Fe 표준물(1.685×10⁴, 2007-04-01)을 이용하여 계측효율을 측정하였으며, 본 측정 시스템의 계측효율은 3.96 % 이었다.

- 액체 섬광계수기의 계측효율 보정곡선

^{55}Fe 에 대한 액체섬광계수기의 계측효율을 측정하기 위하여 10개의 계측병에 ^{55}Fe 표준물(1.685×10⁴, 2007-04-01)을 일정하게 넣고 소광제로서 니트로메탄을 0~0.2 mL 까지 점진적으로 늘려가면서 가한 다음 섬광제로 Ultima Gold를 14 mL 가하고 잘 흔든 후 계측하였다. 소광효과에 따른 보정곡선은 그림 2에 나타내었으며, 보정식은 $\text{Eff.} = -53.975 + 51.08 * \text{EXP}(t\text{SIE}/839.55)$ 로 계산되었다.

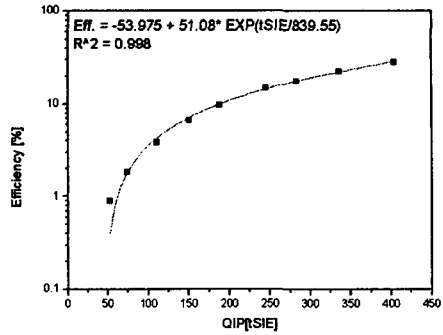
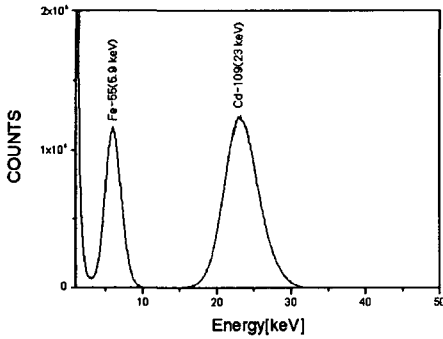


그림 1. 저준위 감마분광분석기의 ^{55}Fe 스펙트럼 그림 2. 액체섬광계수기의 ^{55}Fe 계측효율 보정곡선

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 원전에서 발생하는 방사성폐기물 중의 ^{55}Fe 방사능 측정을 위한 방법을 비교 검토 하였으며, 저에너지분광분석기를 이용한 방법은 계측효율이 4 %로 매우 낮고 백그라운드가 122 cpm으로 매우 높아 최소 검출하한은 0.42 Bq/g 이었으며, 액체 섬광계수법은 백그라운드 2.4 cpm, 계측효율 28.4 %로 최소 검출하한은 0.04 Bq/g 이었다. 향후 방사성폐기물중의 ^{55}Fe 방사능 측정의 경우에는 소광효과를 보정한 액체섬광계수기를 사용하는 방법을 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.