

원전 방사성폐기물 중  $^{59}\text{Ni}$  및  $^{63}\text{Ni}$  방사능 측정

송병철, 김영복, 이창현, 전영신, 한선호, 손세철  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지  
 nbcsong@kaeri.re.kr

원자력 시설의 재료물질에 포함되어 있는 니켈 성분은 중성자 조사에 의해  $^{58}\text{Ni}(n,r)^{59}\text{Ni}$  및  $^{62}\text{Ni}(n,r)^{63}\text{Ni}$ 의 핵반응을 일으키며, 방사화물로서  $^{59}\text{Ni}$ 와  $^{63}\text{Ni}$ 이 생성된다.  $^{59}\text{Ni}$ 는 반감기가  $7.6 \times 10^4$ 년으로 전자포획에 의해 에너지가 6.9 keV인 X-ray를 방출하며,  $^{63}\text{Ni}$ 는 에너지가 66.9 keV의 베타선을 방출한다.  $^{58}\text{Ni}$ 와  $^{62}\text{Ni}$ 의 자연 존재비가 일정하기 때문에  $^{59}\text{Ni}$ 와  $^{63}\text{Ni}$ 의 생성율의 비는 거의 일정하다. 그러므로 원자로에서 중성자 플루언스 나 코아의 위치에 관계없이  $^{63}\text{Ni}$ 에 대한  $^{59}\text{Ni}$ 의 방사능 비는 대략 0.01 정도이다. 본 연구에서는 원전 방사성폐기물 중  $^{59}\text{Ni}$ 의 방사능을 측정하기 위하여 얇은창 NaI(Tl) 검출기, 파고분석기 및 Gammavision 소프트웨어를 사용하여 저에너지 분광분석기를 구성하였다.  $^{59}\text{Ni}$  실험실 표준물을 하나로 조사공에서 니켈을 조사하여 제조하였으며, 이를 이용하여 에너지 보정 및 계측효율을 구하고 실제 시료에 적용하였다. 또한  $^{63}\text{Ni}$ 의 방사능을 측정하기 위하여 액체섬광계수법을 이용하였으며,  $^{63}\text{Ni}$ 의 방사능 측정에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 한국표준과학원과 비교 시험을 수행하였다.

## - 저에너지분광분석기의 작동 및 계측효율 측정

저에너지분광분석기는 NaI(Tl) 결정의 두께가 0.04 inch로 매우 얇고 0.005 inch의 Be 창으로 되어 있는 검출기와 HV Supply 및 파고분석기등으로 구성되어 있다. 검출기의 고전압을 850~1200 V 까지 변화시키면서 계수율을 구하여 동작전압을 설정하였으며, 적정 전압은 950 V로 설정되었다. 본 시스템의 에너지 보정을 위하여  $^{55}\text{Fe}$ (5.9 keV) 및  $^{109}\text{Cd}$ (23 keV) 표준물을 사용하여 그림 1. 과 같은 에너지 스펙트럼을 얻었으며, 에너지 보정식은  $E(\text{keV}) = 0.623 + 0.0488 * (\text{CH})$ 로 계산되었다. 또한  $^{59}\text{Ni}$  실험실 표준물(1138 Bq/mL, 10mg Ni/mL)을 이용하여 계측효율을 측정하였으며, 본 측정 시스템의 계측효율은 9.8 %로 결정되었다.

## - 액체 섬광계수기의 계측효율 보정곡선

소광효과에 따르는 액체섬광계수기의 계측효율을 보정하기 위하여 10개의 계측병에  $^{63}\text{Ni}$  표준물( $1.685 \times 10^4$ , 2007-04-01)을 일정하게 넣고 소광제로서 니트로메탄을 0~0.2 mL 까지 점진적으로 늘려가면서 가한 다음 섬광제로 Ultima Gold LLT를 14 mL 가하고 잘 흔든 후 계측하였다. 소광효과에 따른 보정곡선은 그림 2에 나타내었으며, 보정식은  $\text{Eff.} = 0.75254 - 0.90908 * \text{EXP}(t\text{SIE}/-158.79)$ 로 계산되었다.

## - 시료 측정

방사성폐기물 시료 일정량을 회화, 산분해등으로 용액화한 후 니켈을 dimethylglyoxime을 사용하여  $\text{Ni}(\text{DMG})_2$  침전으로 회수하여 아세톤으로 정제하고, 계측용 프란켓에 옮겨 저에너지 엑스선 분광분석기를 이용하여  $^{59}\text{Ni}$  방사능을 측정하였다. 또한 동일한 시료에 대하여  $^{63}\text{Ni}$  방사능 측정을 위하여  $\text{Ni}(\text{DMG})_2$  침전을 1M 질산으로 용해한 후 증발건고하고 0.7 M HCl로 녹인 후 계측용 20 mL 플라스틱 바이알에 넣고 Ultima Gold LLT 14 mL를 넣고 액체 섬광계수기로 50분간 측정하였다.

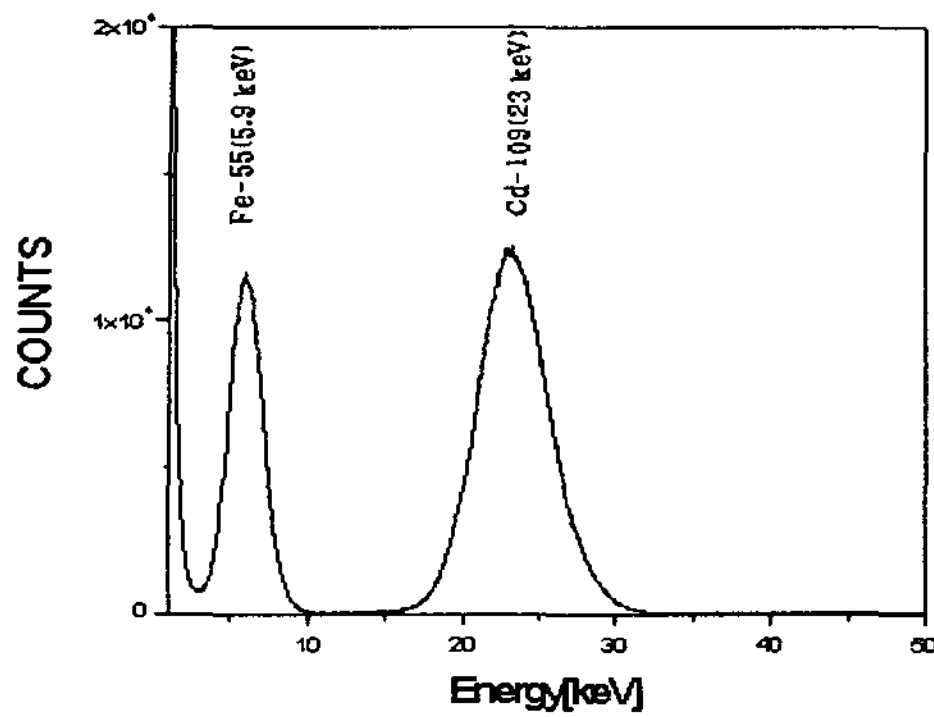


그림 1. 저에너지엑스선 분광 스펙트라

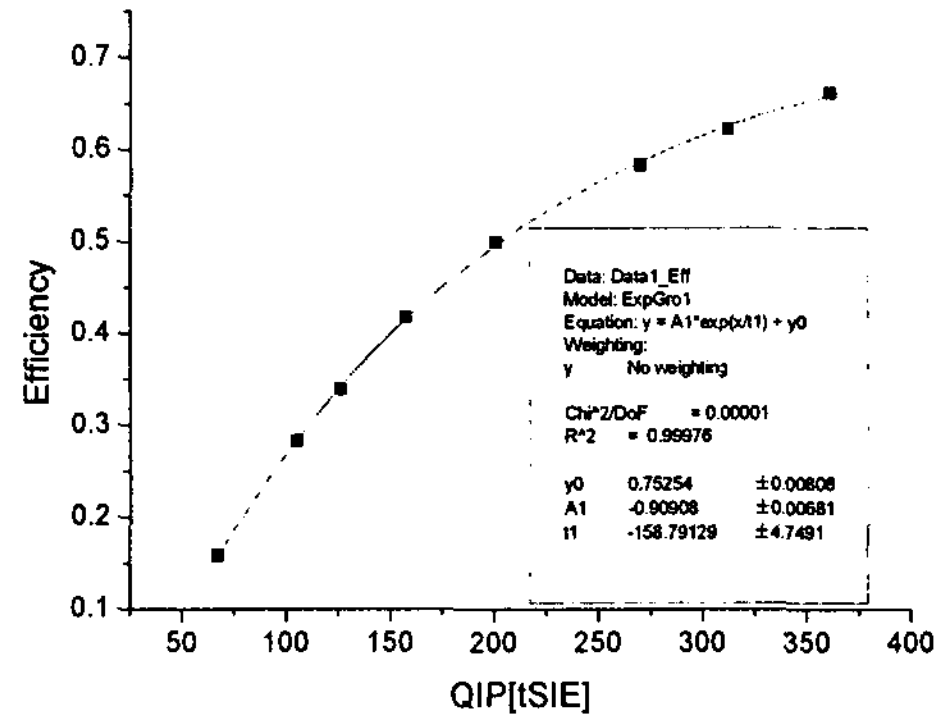


그림 2. 소광효과에 따른 계측효율 보정 곡선

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 원전에서 발생하는 방사성폐기물 중의  $^{59}\text{Ni}$  및  $^{63}\text{Ni}$  방사능 측정 방법을 검토 하였으며, 저에너지분광분석기를 이용한  $^{59}\text{Ni}$  방사능 측정 방법은 계측효율이 9.8%, 백그라운드 135.5 cpm이었으며, 최소 검출하한은 0.33 Bq/g 이었다. 액체 섬광계수기를 이용한  $^{63}\text{Ni}$ 의 방사능 측정 방법은 백그라운드 36.7 cpm, 계측효율 60 % 정도로 최소 검출하한은 0.03 Bq/g 이었다. 향후 방사성폐기물중의  $^{59}\text{Ni}$  및  $^{63}\text{Ni}$  방사능 측정의 경우에는 저에너지 분광분석기 및 소광효과를 보정한 액체섬광계수기를 사용하는 방법을 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

- 참고 문헌

1. Michael F. L'Annunziata, A Handbook of Radioactivity Analysis, pp. 366, Academic press, San Diego(1998).
2. C. W. Thomas, V. W. Thomas, D. E. Robertson, Radioanalytical Technology for 10 CFR Part 61 and Other Selected Radionuclides, U. S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-6230