

## MCNP Code를 이용한 방사성 핵종에 의해 오염된 철제에 대한 오염부위 평가 및 방사능 분석법 개발

변종인<sup>1</sup>, 윤주용<sup>1,2</sup>, 임성아<sup>2</sup>

과학기술연합대학원대학교<sup>1</sup>, 한국원자력안전기술원<sup>2</sup>

komuzul@hotmail.com

### 1. 서론

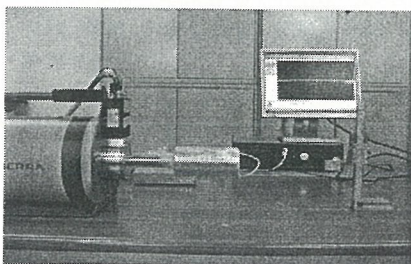
방사성 동위원소 또는 방사성 물질에 의해 오염된 철제는 원자력 및 방사성 동위원소 이용시설 또는 무적선원으로서 생활환경 주변에서 발견될 수 있다. 이때, 선원의 내·외부에 대한 오염부위 평가 및 방사능 분석은 환경복원을 위한 제염작업이나 선원의 발생원을 추적하는 과정에 중요한 정보를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 Monte Carlo Simulation Method를 이용하여 철제의 내·외부에 대한 오염부위를 평가하는 방법과 방사능 분석법이 소개된다.

### 2. 실험 및 결론

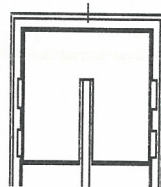
철제 시편에 대한 오염부위는 검출기에 대한 시편의 상대적인 위치변화에서 발생될 수 있는 기하학적 구조 및 자체흡수에 의한 효율변화에 의해 평가될 수 있다. 먼저, 시편에 대한 내·외부 오염부위 평가를 수행하기 위해 시편과 검출기에 대한 기하학적 구조 및 물성에 대하여 MCNP Code를 이용하여 시편의 위치에 따른 효율을 결정한다. 이때, 시뮬레이션에 의한 효율은 계측결과에 대한 평가수단으로서 내부와 외부 오염에 대하여 계산되었다. 또한, 검출기에 대한 시편의 상대위치를 변화시켜 효율비를 결정하게 되며, MCNP Code에 의한 효율비와 계측에 의한 효율비를 비교하여 상대편차 이내로 일치되는 효율을 결정한다. 방사능 분석은 결정된 효율을 적용하여 이루어지며, 표면오염으로 평가될 경우 유도된 식 (1)을 이용하여 각 면에 대한 방사능을 결정한다.

$$A_1 = (C_1 - \epsilon_2 I_r (\epsilon_1 C_2 - \epsilon_2 C_1)) / (\epsilon_1^2 I_r - \epsilon_2^2 I_r) / (\epsilon_1 I_r) \quad A_2 = (\epsilon_1 C_2 - \epsilon_2 C_1) / (\epsilon_1^2 I_r - \epsilon_2^2 I_r) \quad (1)$$

이때,  $A_i$ ,  $I_r$ ,  $\epsilon_i$ ,  $C_i$  는 각각 방사능, 감마선 방출율, 효율, 그리고 계수율이다. 방법론 증명을 위해 세 개의 철제 시편을 이용하였다. 그 중 두 개의 시편은 한국원자력안전기술원에 의해 시중에서 회수



(a)



(b)

Fig 1. The portable HPGe gamma-ray spectrometry system with the iron sample (a) and MCNP modeling for the detector (b).

된 무적선원으로서 철제의 일부를 채취하여 준비하였다. 다른 하나는 외부오염 평가에 대한 방법론을 증명하기 위해 철제 시편의 외부에 필터를 붙여 액상의  $^{137}\text{Cs}$  선원을 흡착시켰다. 방사선 계측을 위해 그림 1의 (a)에서 보이는 Portable HPGe 감마선분광분석 시스템(상대효율 : 30 %)을 이용하였다. 계측방법은  $^{60}\text{Co}$  으로부터 방출되는 1173.2 keV 와 1332.5 keV 에 의한 측차우연동시합성효과 (Cascade coincidence summing effect)에 의한 효율감소 현상을 배제하기 위해 검출기 중앙으로부터 22 cm 떨어진 지점에 시편을 위치시켜 계측하였다. 검출기와 시편의 거리 결정은 준비된 시편에 비해 기하효율이 높은 표준선원에 의해 결정된 효율과 MCNP Code에 의해 결정된 효율비가 계수율에 대한 표준편차 이내로 만족되는 위치로서 결정되었다.  $^{137}\text{Cs}$ 을 흡착시킨 시편에 대해서는 측차우연동시합성효과가 발생하지 않기 때문에 계측효율을 높이기 위해 검출기 표면으로부터 6 cm 거리에서 계측하였다. 시편에 대한 방사능은 내·외부에 대한 오염부위 평가결과에 만족되는 효율을 적용하여 산출하였다. 본 연구에 의한 방사능 결과를 검증하기 위해 시편 중 일부를 취한 후

분쇄하여 왕수에 완전히 분해시켰다. 분해된 시료는 재건고물이 생기지 않도록 주의하면서 증발농축 하였다. 그림 2는 철제시편(a)과 왕수에 의해 분해된 액상선원(b)을 보여준다. 농축된 시료는 산 농도를 낮추기 위해 증류수로 증탕하여 감마선 에너지대 효율이 교정된 용기 (U8 vial)에 충전하였으며, 납으로 차폐된 HPGe 감마선분광분석 시스템을 이용하여 계측하였다.

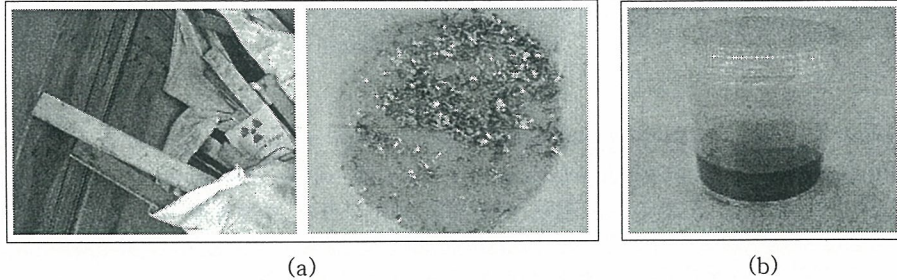


Fig 2. The iron sample (a) and liquefied sample dissolved in aqua regia (b).

Table 1. Comparison of the results by MCNP Simulation and melting method.

Sample	Nuclide	Energy (keV)	F/S Ratio				Radioactivity (Bq/g)			
			By real count		By MCNP		By MCNP		By Melting	
			By real count		Bulk	Surface	By MCNP		By Melting	
Fe-1	<sup>60</sup> Co	1173	1.51 ± 0.06		1.54 ± 0.05	1.16 ± 0.03	32.8±1.2		33.7±0.6	
		1333	1.57 ± 0.04		1.54 ± 0.05	1.27 ± 0.04	33.3±1.1		33.2±0.6	
Fe-2	<sup>60</sup> Co	1173	1.43 ± 0.17		1.37 ± 0.04	1.04 ± 0.03	33.2±0.8		32.3±0.4	
		1333	1.37 ± 0.05		1.31 ± 0.04	1.04 ± 0.04	33.7±0.8		32.4±0.4	

Sample	Nuclide	Energy (keV)	F/S Ratio				Radioactivity (Bq), k=1			
			By real count		By MCNP		By MCNP		Reference	
			For S <sub>A</sub>	For S <sub>B</sub>	Bulk	Surface	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>
Fe-3	<sup>137</sup> Cs	662	1.07 ±0.03	0.675 ±0.031	1.01 ±0.01	0.876 ±0.006	125 ±3	-1.22 ±2.73	124 ±3	0

Table 1 은 본 연구에 의한 방법과 왕수에 의해 분해된 시편을 정량적 방법에 의해 산출된 방사능 비교 결과를 보여준다. 'Fe-1' 과 'Fe-2' 의 경우 내부와 외부오염의 계측결과에 대한 기하 효율비(F/S)는 전체오염(Bulk)과 표준편차 범위 내에서 일치함을 보이고 있다. 결정된 오염부위에 대한 효율을 적용하여 방사능을 산출한 결과 액상시료를 정량분석(By Melting)한 결과와 2 % 내에서 일치함을 보였다. 'Fe-3'의 경우 HPGe 검출기에 대한 시편의 면의 방향에 따라 전체 오염 또는 표면오염의 'F/S'에 근접함을 보였다. 전체오염의 경우 시편의 면의 방향에 의존하지 않아야 하므로 표면오염으로 평가될 수 있으며, 식 (1)을 적용한 결과 Table 1 에서 보이는 것처럼 참고 방사능(Reference)과 잘 일치함을 보였다.

### 3. 결론

Monte Carlo Simulation method를 이용하여 방사성동위원소 또는 방사성물질에 의해 오염된 철제시편에 대한 외부 또는 전체오염 여부를 평가하고 방사능 분석을 수행한 결과 참고 값과 2 % 이내로 일치하는 좋은 결과를 얻었으며, Mathematical method 또는 반실험에 의해 임의로 변화시킨 기하효율에 대한 비율을 결정할 수 있을 때 다양한 시료에 적용될 수 있을 것이다. 또한, 본 방법은 내·외부 오염도 평가에 대한 신뢰성 있는 수치를 제시함으로써, 환경복원을 위한 철제의 제염여부 판단 및 무적선원의 근원을 규명하기 위한 수단으로서 활용될 수 있을 것이다.

### Reference

[1] George S. Brady & Henry R. Clauser, McGraw-Hill, Materials Handbook, 13th Edition, (1991).