

# 토양제염 성능평가 시 Code 분석을 이용한 수행에 필요한 입력인자 분석 연구

김선일, 송종순\*

조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309

\*kingdom17c@naver.com

## 1. 서론

발전소 해체 및 의도치 않은 핵종노출 시 원자력 관련 시설 주변의 토양은 환경복원 및 공업용지로의 재사용을 위해 토양제염이 불가피하다. 본 연구에서는 토양제염이 이루어진 후 성능평가 방법 중 하나인 Code를 이용한 성능평가를 수행하기 위해 필요 입력인자에 대해 분석하였다.

## 2. 본론

### 2.1 토양제염 공정

토양제염 방법은 다양한 방법이 제시 되어있으나 효율적인 토양제염 방법은 제염 후 발생폐기물량이 적어야 하며 토양제염 성능 또한 우수해야 한다. 방사성 물질 중 Cs는 노출되었을 때 반감기가 약 30.2 년에 달하고, 흡입시 체내에서 포타슘과 유사한 거동을 보이기 때문에 체내에 흡수될 경우 장기와 근육에 쉽게 축적되어 배출이 잘 되지 않고, 골수암, 폐암 등 각종 암을 유발할 수 있는 인체에 치명적인 방사성 물질이다. 이로 인해 Cs은 방사성 우 물질이 환경으로 노출되었을 시 가장 중요하게 고려되는 물질이다.

Cs로 오염된 토양을 제염하기 위해 식물재배, 동전기법, 토양세척법 등의 다양한 제염기술이 개발되었으나 현장투입 및 대량의 토양을 처리 하기하기에는 기술의 완성도가 미흡한 상황이다.

이러한 기술의 제염효율을 높이기 위해서는 방사성물질 흡착성능이 뛰어난 흡착제를 사용하는 방법이 있다. 토양제염 공정 중 흡착제를 사용하게 되면 흡착제의 최대 흡착능을 분석하여 토양제염기술의 제염 성능을 평가할 수 있다.

### 2.2 흡착 성능평가

일반적으로 흡착제의 최대 흡착량을 평가는 방법은 흡착평형(Absorption Equilibrium)을 이용하여 나타낼 수 있다. 흡착평형은 흡착물질의 농도와 흡착제의 흡착되는 흡착양과의 평형관계를 나타내는 것으로 흡착등온식(Adsorption Isotherm)으로 표현한다.

흡착평형 계산이 가능한 Code에는 PHREEQC, WATEQ, MINTEQA2 등이 있으며 흡착등온식(Langmuir, Freundlich, Extended Freundlich 등) 기능이 포함되어 있고 인터페이스가 Window인 Visual MINTEQ가 흡착등온을 계산하기 적합하다.

Table 1. Feature of Chemical Equilibrium Model

capabilities	WATEQ	Visual MINTEQ	PHREEQC
ion speciation	●	●	●
K at system temp	●	●	●
Redox equilibrium	●	●	●
Gas phase equilibrium	●	●	●
Saturation indices	●	●	●
Database	●	●	●
Mass transfer		●	●
Ion exchange		●	●
Adsorption isotherm		●	
Surface complexation		●	●
Titration		●	●
Reaction path			●

### 2.3 Code 입력인자 분석

Visual MINTEQ Code로 흡착제의 흡착등온을 계산하기 위해 흡착제와 Cs의 molal 단위의 Component가 필요하다. 따라서 선행적으로 흡착제의 성분을 MSDS (물질안전보건자료)으로 화학성분(%)을 분석하였다.

흡착제는 '원전 사고로 인한 광역의 Cs 오염토양 무산(Non-Acid)제염 공정기술 및 장비개발 개발'과제 중 개발한 J-AF 이다.

Table 2. Percent(%) of J-AF Components

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
21.74	0.12	18.75	18.01	8.13
K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	OH
2.12	11.62	6.29	0.13	13.08

Table 3. Weighting Percent(%) of Components

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.74	K <sub>2</sub> O	2.12
Al <sub>2</sub>	52.9251%	K <sub>2</sub>	83.0148%
O <sub>3</sub>	47.0749%	O	16.9852%
SiO <sub>2</sub>	0.12	Na <sub>2</sub> O	11.62
Si	46.7435%	Na <sub>2</sub>	58.9645%
O <sub>2</sub>	53.2565%	O	41.0355%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.75	SO <sub>3</sub>	6.29
Fe <sub>2</sub>	69.9426%	S	40.0496%
O <sub>3</sub>	30.0574%	O <sub>3</sub>	59.9504%
CaO	18.01	Cl	0.13
Ca	71.4691%	Cl	100%
O	28.5309%		
MgO	8.13	OH	13.08
Mg	60.3036%	OH	100%
O	39.6664%		

흡착제의 성분을 분석하여 Visual MINTEQ의 Component에 입력하고자 할 때, 원하는 원소가 database에 없는 경우가 있다. 그럴 경우에는 원소들 간의 결합을 아래와 같이 이용하여 필요한 원소들을 molal 단위로 환산한 후 적용할 수 있다.

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ mole wt} = 101.9612\text{g} \quad (1)$$

3 species in reaction



$$\log K = 19.652400 \quad \Delta H = -258.590100 \text{ kJ} \quad (3)$$

## 2.4 향후 실험 계획

흡착제 성능평가를 계획함에 있어 모의폐액의 제조는 토양과 방사성물질이 토양세척법을 이용하여 제염공정이 이루어진다고 가정하였다. 모의폐액은 세슘(Cs), 니켈(Ni), 카드뮴(Cd)을 각 10 ppm이 되게 제조하고 토양에 중금속 및 방사성 물질이 흡착을 가정하기위해 체거름(Sieving)을 통해 고운 황토를 약 1,000 ppm 추가 투여하여 약 24 시간 연속 혼

합한다. 혼합된 모의폐액에 J-AF를 100 ppm, 500 ppm, 1,000 ppm의 농도로 주입한 후 400 rpm으로 2 분간 급속교반하고 150 rpm으로 완속 교반한다. 교반이 끝난 모의 폐액은 침전 후 상등액만 소량 분취하여 필터링 후 ICP-OES로 측정하여 방사성물질의 잔류농도를 측정한다.

ICP-OES로 측정한 실험 조건과 동일한 pH, I.C, 흡착제와 Cs의 molal 등을 Code에 적용하여 도출된 결과 값을  $R^2$ 을 적용하여 비교할 예정이다.

## 3. 결론

원전사고 또는 원전 해체 시 토양제염은 필수적이다. Visual MINTEQ Code의 입력 인자의 분석을 통해 흡착등온을 계산하여 토양제염 공정중 하나인 흡착제의 성능을 정확히 평가할 수 있다면 추후 중금속 및 방사성물질로 오염된 토양에 가장 적합한 흡착제를 제시할 수 있을 것이다. 또한 토양제염 공정장치의 효율을 증진 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 4. 참고문헌

- [1] 김선일, 이상헌, 송종순 “토양제염 방법의 현장 적용을 위한 기술평가 및 성능평가 Code 분석” 한국방사성폐기물학회지 13(1) 241-242 (2015).
- [2] 김계남, 원휘준, 김민길, 정종현, 박진호, 오원진 “동전기적방법을 이용한 방사능 오염토양 내의 방사성핵종 제거” 한국원자력학회 2004 춘계학술발표회 논문집.
- [3] 장세은, 이민희 “우라늄 함량이 높은 국내 토양에 대한 토양학적 특성 규명 및 토양세척법의 적용성 평가” 한국지하수토양환경학회지13(5) 8-19 (2008).
- [4] “원자력시설 제염해체기술 개발” 기술보고서 KAERI/PR\_3121/2009.