

# 해양 퇴적물 조성에 따른 방사성세슘의 흡착 특성

김영규<sup>1)\*</sup> · 김강주<sup>2)</sup> · 강희동<sup>3)</sup> · 김완<sup>3)</sup> · 도시홍<sup>4)</sup> · 김도성<sup>5)</sup> · 이지은<sup>1)</sup>

## 1. 서 론

방사성 Cs의 경우 과거 핵실험 및 원전사고 등으로 자연에 많은 양이 유출되었으며 또한 방사성 폐기물 중 중요한 성분으로서 이 핵종들의 자연에서의 거동은 장기적으로 중요한 관찰 대상 중의 하나이다. 이중 <sup>137</sup>Cs의 경우 반감기가 다른 핵종에 비하여 비교적 길며 주요 관심핵종 중의 하나이다. 이 핵종이 지질학적 환경에 유출되었을 경우 이들과 지질매체를 이루고 있는 광물들 간의 반응은 이러한 핵종의 궁극적인 거동을 좌우하는 중요한 요소가 된다. Kim et al. (2006)은 월성핵발전소 인근의 미세한 해양퇴적물에서 <sup>137</sup>Cs과 해양퇴적물을 구성하고 있는 유기물 및 광물과의 반응을 연구하였다. 연구결과에 따르면 퇴적물 중 일라이트가 주요 점토광물로 산출되었으며 다른 광물과 비교하여 <sup>137</sup>Cs의 양과 가장 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 이는 일라이트의 풍화의 결과로 K이온이 빠져나가고 만들어진 닳은 모서리(frayed edge)에 Cs이 상대적으로 강하게 흡착하여 생긴 결과로 설명하였다. 그러나 또 다른 구성물인 유기물의 경우 일라이트보다 양은 적으나 <sup>137</sup>Cs와 더 좋은 상관관계를 보였으며 이는 유기물이 일라이트를 코팅하고 있어 결과적으로 <sup>137</sup>Cs의 선택적 흡착을 방해하는 결과로 유기물의 높은 상관성을 해석하였다.

해저퇴적물의 경우 각 지역마다 구성광물의 조성 및 특성 등이 다른 관계로 이러한 결과를 모든 해양퇴적물의 특성이라 생각하기는 어려우며 더 많은 데이터를 통하여 해양퇴적물을 구성하고 있는 성분들과 방사성 <sup>137</sup>Cs의 반응에 대한 일반적이고 폭넓은 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 울진원자력발전소 인근 해저퇴적물을 대상으로 하여 88개의 시료를 X-선 회절분석을 이용한 광물정량분석, <sup>137</sup>Cs 농도 분석, 총유기탄소(TOC)분석을 실시하였으며 이 결과를 통하여 다양한 특성의 해양퇴적물에서 여러 요소들이 <sup>137</sup>Cs의 흡착에 영향을 미치는 영향을 조사해 보았다.

## 2. 본 론

본 지역의 퇴적물의 입자크기는 -0.48에서 3.6 Mdφ의 분포를 보였다( $Md\phi = \log_2 \frac{1}{d[mm]}$ ). 이는 월성원자력발전소 인근의 해양퇴적물(-0.82 - 7.82 Mdφ, 주로 실트 크기)에 비하여 입자가 크고 대부분 모래의 크기에 해당하였다. 총유기탄소(TOC)의 경우에 있어서도 0.06 - 1.75 %로 월성원자력발전소 인근의 해양퇴적물(0.11 - 3.28 %) 보다 양이 적었다. 본 지역에서 산출되는 광물들은 퇴적물이 주로 큰 입자로 구성 되어 있는 관계로 점토광물은 거의 발견

---

주요어 : <sup>137</sup>Cs, 해양퇴적물, TOC, 흑운모, 흡착

- 1) 경북대학교 지질학과
- 2) 군산대학교 토목환경공학부
- 3) 경북대학교 물리학과
- 4) 부경대학교 물리학과
- 5) 대구대학교 과학교육학부

되지 않았으며 10Å 피크는 일라이트가 아닌 흑운모로 감정되었다. 이외 산출되는 광물들은 일반적인 조암광물인 석영, 사장석, 미사장석, 그리고 일부 소량의 휘석, 방해석, 각섬석 등이 관찰되었다.  $^{137}\text{Cs}$ 의 양은 최소검출한계 이하부터 4.0 Bq/kg-dry의 양을 보였는데 이는 다른 해역의 퇴적물에서 관찰되는 농도에 비하여 약 반 정도의 값에 해당된다. 월성원자력발전소 인근의 해저토는 검출한계 이하부터 7.19 Bq/kg-dry(Kim et al. 2006), 동해 울릉분지의 경우는 8.3에서 9.2 Bq/kg-dry(Hong et al., 1999), 폐초라해의 경우는 검출한계이하에서 10.4 Bq/kg-dry(Baskaran et al., 2000)로 각각 보고되었다. 본 연구 지역에서 이렇게  $^{137}\text{Cs}$ 의 농도가 작게 나온 이유는 일차적으로 입자 크기에 기인한 것으로 판단된다. 입자가 클수록 흡착할 수 있는 표면적이 작아지고 따라서 흡착량이 감소되기 때문이다. 또한 본 역에 Cs를 선택적으로 흡착할 수 있는 일라이트를 비롯하여 스멕타이트와 같은 점토광물이 산출되지 않는 것도 이러한 적은  $^{137}\text{Cs}$ 양을 보이는 주요 원인으로 판단된다.

본 지역에서 산출되는 광물들에 대하여 측정된  $^{137}\text{Cs}$ 의 양과의 상관관계를 보면 점토광물이 아님에도 불구하고 흑운모(1-7 wt%)가 양의 상관관계를 보인다( $R=0.55$ ). 기존의 광물에 대한  $^{137}\text{Cs}$ 의 흡착 연구에 있어서 일라이트나 스멕타이트와 같은 점토광물에 대한 연구는 많이 이루어져 있으나 흑운모와 같은 조암광물에 대한 연구는 전무하였고 흑운모와  $^{137}\text{Cs}$ 과의 상관관계는 본 연구에서 최초로 보고되었다. 이러한 상관관계는 아마도 흑운모의 경우 일라이트와 비슷하게 풍화에 의하여 K가 빠져나간 닳은 모서리(frayed edge)가 Cs의 크기와 비슷해져서 다른 어떤 흡착자리보다 선택적으로 Cs를 쉽게 흡착할 수 있기 때문으로 생각된다. 많은 양으로 산출되는 석영과 미사장석의 경우 반대로  $^{137}\text{Cs}$ 와 음의 상관관계를 보이며 특히 이러한 현상은 석영의 경우 더욱 뚜렷하다. 이는 석영은 풍화에 가장 광물이며 일반적으로 석영이 입자가 큰 시료에서 주로 산출되는 것과 관계있을 것으로 생각된다. 한편 흑운모와  $^{137}\text{Cs}$ 의 상관관계에서 흑운모가 적은 시료에서는 이의 상관관계가 훨씬 높고( $R=0.84$ ) 이러한 시료는 유기물을 적게 포함하고 있는 시료로서 유기물이 적은 시료에 있어서는 흑운모의 역할이 다른 시료에 비하여 더욱 중요해짐을 보여준다. TOC만 비교하였을 경우 TOC와  $^{137}\text{Cs}$ 의 함량과의 상관관계는 다른 어떤 단일 광물보다도 높은 상관관계를 보인다( $R=0.83$ ).

이러한 TOC의 영향과 흑운모의 영향을 정량적으로 밝히기 위하여 이들을 독립변수로 사용하여 다중회기분석을 실시하였다. 분석결과  $R^2$ 값의 경우 각각 단독의 변수를 사용하였을 경우에 비교하여 흑운모와 TOC 두 개의 변수를 사용하였을 경우 훨씬 잘 설명됨을 알 수 있었다. TOC와 흑운모를 사용한 회기모델은  $^{137}\text{Cs}$  농도 (Bq/kg-dry) =  $1.712 \cdot \text{TOC wt\%} + 0.202 \cdot \text{흑운모 wt\%} - 0.097$ 로 표시되며 이러한 결과는  $^{137}\text{Cs}$ 의 단위무게 당 흡착능력은 TOC가 흑운모에 비하여 약 8.5배정도 큼을 보여준다. 그러나 흑운모의 경우 실제 흡착 가능한 부분이 전체 광물 표면이 아닌 모서리 부분에 집중됨을 고려하면 흑운모의 중요성은 더욱 커질 수 있다. 또한 본 해역의 경우만을 예로 들면 흑운모의 양은 TOC의 양에 비하여 약 12배가 많기 때문에 총 무게를 고려하면  $^{137}\text{Cs}$ 의 흡착에 있어서 흑운모가 훨씬 더 중요한 요소가 될 수도 있다.

### 3. 결 론

울진원자력발전소 인근에서 채취한 해저퇴적물에 대하여 광물정량분석, TOC 분석,  $^{137}\text{Cs}$  농도분석 등을 통하여 입자가 큰 퇴적물에 대하여  $^{137}\text{Cs}$ 의 흡착에 영향을 미치는 요소들에 대하여 연구하였다. 광물의 경우 흡착에 중요한 영향을 미치는 점토광물이 발견되지 않았으며 동정된 광물 중 흑운모의 경우 다른 광물에 비하여 가장 큰 양의 상관관계를 보였다. 이는 아

마도 일라이트와 같이 흑운모의 풍화에 의하여 K가 빠져나가서 만들어진 닳은 모서리(frayed edge)에 Cs이 선택적으로 흡착되어 생긴 결과라 생각된다. 그러나 단일관물에 비하여 TOC의 경우 더욱 높은 선형의 상관관계를 보여주며 해양퇴적물에서  $^{137}\text{Cs}$ 의 흡착에 있어서 유기탄소의 중요성을 보여준다. 다중회기분석의 결과 흑운모와 TOC가 모두  $^{137}\text{Cs}$ 의 해양퇴적물 흡착에 중요한 요소임을 보여주며 단위 무게만 고려하였을 경우 TOC의 흡착력이 흑운모 보다 더욱 우세하나 두 요소의 총 양을 고려하였을 경우는 흑운모가 더욱 중요한 요소가 될 수 있음을 보여준다.

#### 참고문헌

- Baskaran, M., Asbill, S., Schwantes, J., Santschi, P., Champ, M.A., Brooks, J.M., Adkinson, D., Makeyev, V. (2000) Concentrations of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in sediment samples from the Pechora Sea and biological samples from the Ob, Yenisey Rivers and Kara Sea. *Mar. Poll. Bull.* 40, 830-838.
- Hong, G.H., Lee, S.H., Kim, S.H., Chung, C.S. (1999) Sedimentary fluxes of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in the East Sea (Sea of Japan). *Sci. Total Environ.* 237/238, 225-240.
- Kim, Y. Cho, S., Kang, H.D., Kim, W. Lee, H.R., Doh, S.H., Kim, K., Yun, S.G., Kim, D.S., Jeong, G.Y. (2006) Radiocesium reaction with illite and organic matter in marine sediment. *Mar. Poll. Bull.* 52, 659-665.