

천연방사능 핵종을 함유한 일부 소비제품에 대한 광물학 및 화학적 특성조사

Investigation for some of the consumer goods which contain radioactive materials
on the viewpoint of mineralogical and chemical characteristics

유장한(Jang Han Yoo)¹ · 고상모(Sang Mo Koh)¹ · 김용욱(Yong Ug Kim)¹

장병욱(Byung Uck Chang)²

¹한국지질자원연구원(jhyoo@kigam.re.kr)

²한국원자력안전기술원

1. 서언

본 연구는 일상생활에서 많이 이용되는 일부 소비제품 등이 포함할 수 있는 방사성물질의 구성광물 및 화학적 특성을 조사하고 유사한 외국제품의 특성 및 국제적 규제기준 등과 비교하여 앞으로 수행할 고방사성 함유물질 취급 대량시설의 환경조사 등을 위한 기초자료 수립과 저선량규제 기반구축의 자료를 확보하는 것이다. 방사성물질을 포함하는 산업물질에 대한 연구는 원자력에 대한 국민의 관심이 증대되면서 민감한 사안의 하나로 대두되고 있기 때문에 환경적 관점에서 신뢰성있는 현황조사와 함께 사후대책을 마련할 수 있는 기반을 확립하여야 할 것이다.

자연계에서 산출되는 방사능물질(NORM: naturally occurring radioactive materials)이 포함하는 핵종은 지각 및 광물에 자연적으로 포함된 초생적인 것(primordial radionuclides), 지구 및 대기권에서의 반응에 의해 생성되는 우주 핵종(cosmogenic radionuclides)으로 탄소-14(carbon-14)와 삼중수소(tritium; hydrogen-3) 등이 있으며, 인공 핵종은 가속기, 원자로 등에서 만드는 cobalt-60, strontium-90 및 cesium-137 등이 있다. 우주 핵종을 포함하는 물질류는 NORM에 속하며, 방사능농도가 미미하기 때문에 위험도는 낮은 편이다. NORM은 모든 곳에 존재할 수 있고, 우리가 접하는 지구의 생성시부터 있는 것이며, 모든 생명체는 우리 주변에서 확인되는 정도의 방사능에는 적응이 되어 있다.

NORM과 달리, TENORM (Technically-enhanced, naturally-occurring radioactive materials)은 원자력에너지 시행령(Atomic Energy Act)에 의해서 규제를 받지 않지만 인간활동으로 만들어지며, 자연상태의 방사능 농도보다 높을 수 있는 우라늄광산, 하수처리, 방사능물질 농축 및 석유생산 등을 통하여 광석, 토양, 물 및 다양한 자연계 물질로 부터 생성 및 농집될 수 있는 모든 핵종(radionuclides)들을 포함한다(US EPA, 2000 및 US EPA-3, 2009). TENORM은 방사능오염이 될 것 같지 않은 각종 금속, 스러지, 체련후 스택 등을 취급하는 전통 산업분야에서도 존재가 확인되고 있다. TENORM의 대부분은 U과 Th의 붕괴과정에서 확인되는 것들이며 그 형태, 붕괴 및 방사능 농도(levels)에 변화가 크며, 우리가 접하고 노출되어 있는 자연방사능의 가장 큰 근원은 Rn의 붕괴산물이며, NORM과 TENORM의 측정에 주로 이용되는 물질도 Ra과 Rn이다. 또한, TENORM으로서 자연환경에서 흔히 확인되는 핵종인 radium-226은 U과 Th의 붕괴산물로서, 반감기가 1,600년이나 된다. TENORM에 대한 통제 및 규제는 산업에 따라 일관성을 가질 수 없으며, 국가에 따라 일관성 있는 규제가 불가능하며, 지금까지 약 12개국 정도만이 TENORM의 규제에 대한 규정을 가지고 있는 정도이며, 우리나라도 이에 대한 시작단계에 있다고 할 수 있다.

2. 시료채취 및 실험방법

연구를 위한 시료취득 및 실험방법은 다음과 같다.

- 1) 방사능을 포함하는 산업물질류의 국내 수급 및 유통실태를 알기 위하여,
 - (1) 저어콘, 모나자이트, 인회석 등 원광석류의 세계적 수입국 및 주요 용도파악
 - (2) 방사능포함 산업물질류의 국내 유통현황 등을 파악하였다.
- 2) 방사능 포함 광물류를 이용하여 제조한 각종 산업제품류 취득
 - (1) 일상 소비제품(유약사용 내장용 타일 4 종, 위생도기 2 종, 치과용 재료 2 종),
 - (2) 농업, 산업용 소비제품 및 원료(내화벽돌 2 종, 단열재 1 종, 비료 2 종, 동정련공장의 동 정광 1 종),
 - (3) 건강 보조제품 3 점(아이 마스크, 음이온 모자, 바이오 방사선목걸이 및 팔찌) 등 20여 개에 대한 시료를 제조업체 및 산업체 등을 통하여 취득하였다. 이들에 대한 방사능물질 포함 광물류의 판정을 위하여 X-선 회절분석, 편광현미경관찰 및 주성분 10원소 분석 등을 하였으며, 방사선특성 평가는 한국원자력 안전기술원에서 수행되었다.
- 3) 식수를 정수하는 과정에서 남게 되는 슬러지류의 방사능물질 포함유무의 파악을 위해 전국 30 여개 정수장 중, 3개 지역 시료에 대한 특성을 분석하였다.

3. 결과

국내에서 이용되는 국내외 제조 소비제품 및 산업원료 등의 시료에 대한 광물류 감정을 위하여 X-선 회절분석, 편광현미경관찰, 주성분 10원소 및 방사능물질 특성에 대한 분석 등을 종합한 결과는 다음과 같다.

1) 저어콘의 용도에서 요업이 가장 많은 물량을 차지하며, 건축용 타일 및 위생도기제조 등에서 백색도를 높이고 흡수율을 낮추기 위해 표면에 바르는 유약원료로 중량대비 10% 내외를 사용한다. 피막(glaze)을 형성하는 유약은 요업체 대비 중량비가 낮기 때문에 X-선 회절분석에 의한 저어콘 피크는 극히 약하거나, 나타나지 않는 경우도 있다. 그러나, 피막 부분을 선택적으로 채취한 시료는 피크가 훨씬 강하여 짐을 확인할 수 있다.

국내 타일 및 위생도기류는 ^{226}Ra 치가 0.00475에서 0.0809 Bq/g로서 외국(Chu, 2007) 등에서 일반적으로 허용되는 건축재(0.17 Bq/g내외)의 방사성물질 방출량에 비해서도 낮은 것으로 확인된다.

2) 저어콘포함 단열재는 저어콘을 중량비 30% 내외로 혼합하여 제조되나, 공정 중 2,00 $^{\circ}\text{C}$ 소성에 의한 결정구조의 파괴에 의해 X-선의 특징적 피크는 나타나지 않는다.

방사능물질 중, ^{226}Ra 는 0.0571 Bq/g 로 낮으며, 다른 방사성물질류도 미약하게 확인된다. 저어콘(ZrO_2)함량이 60(wt%) 내외로 포함되는 내화벽돌류는 일부 방사능물질 방출량은 낮으나(^{226}Ra 및 ^{232}Th), Hex 및 ^{40}K 는 2.63-2.64 및 9.41-9.95로 다른 종류의 소비제품 등에 비해 월등히 높게 확인된다.

3) 중국 및 북아프리카산 인광석을 주로 사용하는 국내산 복합비료에서 카리성분은 실바이트(Sylvite, Kcl)이다. 질소성분은 요소 암모니아가 사용되며, 인(P)을 함유하는 원료암석은 인광석(phosphate rock)을 분말화하여 투입되는 것으로 알려져 있으나, 인(P)포함 광물종은 확인되지 못하였다. 방사성 물질 중 ^{226}Ra 함량은 0.075 Bq/g으로서 EU 및 사우디아라비아(Khater et al., 2008)의 0.075 Bq/g, 그리고 인회석(phosphorite), 인산석고(phosphogypsum) 및 인산질 비료 등에서의 ^{226}Ra 함량, 1.7 및 1.0 Bq/g 등보다 다소 낮게 나타난다.

4) 정수장에서 음용수가 되는 원천수는 지하 심부, 파쇄대 등 지하수면(aquifers)을 이동하

거나, 하천, 호수, 저수지 등에서 주변암석에서 유래한 미세입자 등을 포함할수 있다. 국내 정수장 슬러지는 석영, 장석, 운모, 고령토 및 14Å 광물류 등이며 방사능포함 광물류는 확인되지 않는다.

방사능물질 중 ^{226}Ra 함량 등은 0.0276~0.0355 Bq/g정도에 불과하며, 음용수와는 차이가 있을 수 있지만, 미국에서 오수의 정수과정에서 남는 슬러지는 2-47 [pCi/l] 정도까지 보고 되고 있다.

5) 임플란트(implant) 등에서 치과용 보조재료로 쓰이는 저어콘 포함물질은 산화지르코니아이며, ZrO 함량이 91.9(wt%)인 것에 비해 방사성 물질의 검출결과가 아주 낮으며(0.00360~0.171 Bq/g), 인회석을 주성분으로 하는 치아재생용 보조재의 주성분 광물은 수산화 인회석[Hydroxyl-apatite; $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$]이나, 방사성 물질의 검출결과는 보류되었다.

6) 목걸이, 안대, 모자 등 모나자이트를 포함하는 건강 보조제품 3개 종은 암석 등 광물시료가 아니라, 섬유 및 플라스틱 등으로 가공한 인체부착 소비제품으로서 X-선회절 등 광물감정은 불가능하다. 이들에 대해 측정된 방사성 물질 방출치는 다른 소비제품에 비해 월등히 높아 이들의 이용에 유의해야할 필요가 있음을 확인하였다.

7) 외국에서 정광(concentrators)상태로 수입되는 LS-Nikko사의 동원광은 동(Cu), 철(Fe) 및 유황성분 등이 주성분이며, 주성분 광물은 황철석, 휘수연석 및 황동석 등으로 구성된다. 이들에 대한 방사성 물질의 검출결과는 아주 낮으며(0.00490~0.0997 Bq/g), 우려할 수준은 아니다.

8) 금번에 조사된 9개종 19개 소비제품 등 시료에 대해서는 광물특성, 지화학 특성 및 방사성 물질 방출특성 등에 대한 자료를 일정한 형식의 표로 data base화 하여 첨부하였다.