

국내 유통 산업원료광물에 대한 자연방사성핵종 농도 조사 및 사전선량평가

장병욱^{1)*} · 고상모²⁾ · 장호완³⁾ · 노정환⁴⁾

1. 서 론

한국원자력안전기술원과 한국지질자원연구원에서는 지난 2년간 국내산 17종, 수입산 18종을 포함하여 총 28종의 산업원료광물에 대한 자연방사성핵종 농도 준위를 조사하였다. ⁴⁰K과 U, Th 계열로 대표되는 자연방사성핵종은 광물조성과 지구화학적 특징에 따라 매우 다양한 농도로 산업원료광물 내에 포함되어 있으며, 일부 산업원료광물의 경우 매우 높은 농도로 존재하여 간혹 종사자 및 일반대중에게 불필요한 방사선 피폭을 야기하기도 한다. 최근, 자연기원 방사성물질 (NORM ; Naturally Occurring Radioactive Materials)은 중요한 관심의 대상으로 떠오르고 있으며 일부 국가에서는 자연방사성물질로 인한 사회문제가 간헐적으로 발생하기도 한다. 국제원자력기구 (IAEA ; International Atomic Energy Agency)가 2004년 8월 발간한 안전지침 “규제 제외, 면제, 해제 개념의 적용”은 대량으로 취급되는 물질 내에 함유된 저준위 방사성핵종의 방사능농도에 관한 기준으로 자연방사성물질의 방사선방호 범위 및 대량물질의 국제 무역과 자체 처분과 같은 규제해제에 대한 내용을 포함하고 있으며 규제 제외의 개념을 적용할 수 있는 자연방사성핵종의 방사능농도 기준으로 ⁴⁰K의 경우 10 Bq/g, 자연기원의 다른 방사성핵종(붕괴계열에 모 핵종에 적용)의 경우 1 Bq/g을 제시한 바 있다[1]. 1990년, 국제방사선방호위원회 (ICRP ; International Commission on Radiological Protection)에서는 작업종사자의 연간 평균 선량을 20 mSv (5년 평균), 일반인의 연간 평균 선량을 1 mSv로 제한하여 관리할 것을 권고한 바 있다 (ICRP 60)[2].

자연기원방사성물질과 인위적으로 농축된 자연기원방사성물질 (TENORM ; Technically Enhanced NORM)에 대한 규제 접근은 각 나라마다 차이가 있으며 유럽연합 (EC ; European Commission)의 경우 회원국에게 적절한 선량평가에 따른 순차적인 접근의 권고한 바 있다[3]. 순차적인 접근을 위해서는 무엇보다도 기초자료 확보가 중요하나, 관련된 국내의 연구는 매우 미약한 실정이다. 이 연구는 과학기술부 원자력연구개발사업 “국민방사선 위해도 평가”의 세부항목으로 국내 유통 중인 산업원료 광물에 대한 방사선학적 영향을 평가하기 위한 기초자료 확보 차원에서 수행되었다.

2. 시료채취 및 분석방법

대상 시료의 선정은 생산량과 수입량 그리고, 소비량을 기준으로 하였다. 국내산 시료의 경우 대부분 광산현장을 직접 방문하여 채취하였으며 수입의 경우 수입업체나 해당원료의 사용업체를 통해 입수하였고, 일부 시료의 경우 유통시장을 통하여 직접 구매하였다. 채취된 시료는 jaw crusher와 ceramic mortar를 사용, 200 - 300 mesh 크기로 미분쇄하였으며 최종

주요어 : NORM, TENORM, 산업원료광물, 우라늄, 토륨, 자연방사선, 선량평가

- 1) 한국원자력안전기술원 안전대책부 방사선환경평가실 (hafadai@kins.re.kr)
- 2) 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 광물자원연구실 (kohsm@kigam.re.kr)
- 3) 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 (changhow@snu.ac.kr)
- 4) 한국원자력안전기술원 규제기술연구부 (k058rjw@kins.re.kr)

시료량은 대략 500 내지 600 g 정도였다. 분쇄된 시료는 ^{226}Ra 의 딸핵종인 ^{222}Rn 의 확산유출을 막기 위해 알루미늄캔에 충전하고 Can Seamer를 사용하여 완전 밀봉시켰다. ^{226}Ra 와 ^{222}Rn 간의 방사평형이 이루어지도록 3주 이상 방치한 뒤 감마분광분석법을 이용, 대표적인 자연방사성핵종인 ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th 의 농도를 분석하였다. ^{40}K 는 1461 keV의 감마선을 직접 측정하였으며 ^{226}Ra 와 ^{232}Th 는 각각 ^{214}Bi 의 609 keV과 ^{228}Ac 의 911 keV 감마선을 고순도게르마늄검출기(HPGe)로 측정하여 구하였다. 사용된 게르마늄검출기의 상대효율은 30% 였으며 계측시간은 80,000초였다. 분석은 한국원자력안전기술원과 한국지질자원연구원에서 나누어 수행하였으며 분석신뢰도 확보를 위하여 사용한 알루미늄캔에 대한 효율 교정을 동일시기에 동일한 교정선원을 사용하여 동시에 수행하였으며 대략 15%의 시료에 대한 중복교차분석을 통하여 양기관간 분석품질관리를 병행하였다.

3. 분석결과

국내산 원료광물의 분석결과 IAEA 안전지침에서 제시한 기준을 초과한 경우는 없었다. 수입 원료광물의 경우에도 저어콘과 모나자이트를 제외하고는 등기준을 초과한 경우는 없었으나, 점토의 경우 국내산이나 인도네시아산에 비하여 중국산이 상대적으로 ^{226}Ra 와 ^{232}Th 의 농도가 높았다. 수입원료 중 점토, 보오크사이트, 일메나이트, 루틸, 인광석 등이 상대적으로 높았으며, 이들 산업원료광물들의 자연방사성핵종 농도는 해당원료의 광물학적, 지구화학적 특성을 그대로 반영하고 있다. 4종의 저어콘 시료의 경우 ^{226}Ra 와 ^{232}Th 의 농도가 각각 2.26 - 11.0 Bq/g (평균 4.7), 0.402 - 1.97 Bq/g (평균 0.921) 였으며 수입 모나자이트 시료 1종의 경우 18.1 Bq/g과 180 Bq/g으로 매우 높았다. 반면, 과거 일부 국가의 점토 등 비금속 광물 자원에서 보고된 바 있는 ^{137}Cs 과 같은 인공방사성핵종의 검출은 없었다.

4. 사전선량평가

2년간의 조사 결과, 방사성 핵종 농도가 상대적으로 높은 점토, 보오크사이트, 인광석, 저어콘과 모나자이트를 선정, 자연방사성핵종 농도를 근거로 이론적 연간피폭선량을 계산하였다. 작업종사자의 연간 피폭선량을 구하기 위해 UN 방사선과학위원회 (UNSCEAR ; United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation)의 2000년도 보고서에서 제시한 선량환산계수 (dose conversion coefficient) 0.7 Sv/Gy을 적용하였다[4]. 종사자 작업시간은 작업 공정이나 사업장 특성 및 취급물질 등에 따라 차이가 있을 수 있으므로 점토, 보오크사이트, 인광석의 경우 연간 2000 시간, 저어콘의 경우 연간 1000 시간, 모나자이트의 경우 연간 300 시간을 적용하였다. 또한, 실제 모나자이트 분말화 공정 작업 시 조사를 수행하고, 그 결과를 근거로 하여 종사자에 대한 내·외부피폭선량을 평가하였다. 조사된 작업장은 대형 레이몬드 밀을 사용한 분쇄작업과 20 kg 단위의 포장작업이 동시에 진행되는 곳이었으며, 조사당일 총 4 시간 (분쇄기 2 시간 작동) 작업이 이루어 졌다. 외부피폭선량을 구하기 위해 작업장에서 측정된 1 m 거리의 방사선량률을 기준 (0.0062 mSv/h)으로 외부피폭선량을 계산하였다. 인간의 평균 호흡률에 맞춘 Lapel Air Sampler를 분쇄작업자 (Lapel 1)와 포장작업자 (Lapel 2)에게 착용시켜 채취된 공기 필터의 ^{238}U 과 ^{232}Th 의 농도를 분석(HR ICP-MS)하고 이 농도를 기준으로 흡입에 의한 내부피폭선량을 계산하였다. 모나자이트 분쇄 및 포장작업은 매일 이루어지는 작업이 아니므로 연간 300 시간을 가정하였다.

자연방사성핵종농도에 근거한 선량평가 결과 점토, 보오크사이트, 인광석의 경우 일반인 연

간선량한도인 1 mSv이하 였으나 저어콘의 경우 1 ~ 5 mSv/y 정도로 일반인 선량한도를 초과할 가능성이 있는 것으로 평가되었다. 모나자이트 사용 작업장의 경우 연간 24 mSv 로 종사자 선량한도를 초과할 가능성이 매우 높은 것으로 평가되었다. 작업자의 흡입에 의한 내부 피폭선량 평가 결과, 적절한 방호장비를 착용하지 않고 작업을 수행할 경우 상당히 높을 것으로 평가되었다.

5. 결 론

조사 결과 일부 수입 산업원료광물(점토, 보오크사이트, 티타늄광물, 인광석, 저어콘과 모나자이트)을 제외하고는 대부분의 산업원료광물 이용에 따른 방사선학적 위해도는 무시할 수 있는 수준이었다. 방사선에 대한 국민들의 정서로 볼 때 규제차원의 불필요한 접근은 관련 산업계를 위축시킬 여지가 있다. 저어콘은 주로 내화물이나 주물용 연마재 등으로 활용되고 있는 전통적인 산업원료광물에 해당하며 모나자이트의 경우 주로 희토류 생산을 위해 수입되었으나 근래에 이르러 원적외선 및 음이온을 발생시키는 원료물질로 인식하여 일부 건강관련 제품에 활용되기도 한다. 최근 문제가 된, 일부 건강보조 제품에서는 모나자이트를 과다하게 함유, 토륨계열의 방사능 농도가 1 Bq/g을 훨씬 초과하여 사용시간에 따라 연간 1 mSv를 넘는 경우도 있었다.

일부 자연방사성핵종농도가 높은 수입 원료 광물들에 대한 이론적인 사전 선량평가에서는 모나자이트만이 종사자에 대한 연간 피폭선량 제한치를 초과하였다. 또한, 모나자이트 분쇄 작업장에서 측정된 선량률 값과 공기시료에 대한 분석결과를 기준으로 수행된 선량평가 결과 흡입에 의한 내부피폭선량은 종사자 제한치를 상당히 초과한 값으로, 실제 작업장에서 과피폭될 우려가 있다. 그러나, 이러한 평가 결과는 현장상황을 극히 일부 고려하여 가정한 이론적인 평가일 뿐이므로 해당 물질을 취급하는 작업종사자 선량평가와 합리적인 연간 작업시간 산정을 위해 보다 체계적인 조사가 수행되어야 한다. 보다 자세한 현장 조사 결과를 토대로 자연방사성핵종을 과다 함유 하고 있는 일부 산업원료광물에 대해서는 관련 작업장 및 사업장 종사자에 대한 보다 적극적인 관리가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력중장기 연구개발사업의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] International Atomic Energy Agency, 2004. Application of the Concepts of Exclusion Exemption and Clearance, Safety Standards Series, Safety Guide No. RS-G-1.7
- [2] ICRP PUBLICATION 60, 1990, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
- [3] European Commission, 1999, Reference levels for workplaces processing materials with enhanced levels of naturally occurring radionuclides, European Commission Radiation Protection No. 95
- [4] UNSCEAR, 2000, Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, United Nations, New York