

방사선과 광물 IV - 국내 TENORM 현황

장 병 옥

한국원자력안전기술원 안전연구부

앞선 세편의 연재를 통하여 방사선과 광물의 연관성, 그리고 NORM/TENORM과 우라늄과 토륨의 방사능붕괴에 대한 내용, 그리고 이러한 방사성핵종에 의한 피폭에 대한 내용과 이를 저감하기 위한 관리방안 및 이러한 관리가 필요한 산업분야의 사례를 제시한 바 있다. 우리나라는 작은 국토 면적에도 불구하고 이미 갖추고 있는 산업 기반은 세계 경제에 상당한 위치를 차지하고 있으며 이에 따라 연간 소비되는 원료물질의 양 또한 상당한 양에 달하여 많은 양의 원료물질을 수입·가공하고 있다. 따라서 이에 대한 안전관리는 매우 중요한 부분이며 일부 원료물질 내에 포함되어 있는 천연방사성핵종에 기인하여 발생하게 되는 자연방사선도 간과할 수 없는 부분이다.

지난 2008년 1월 입법예고 되었던 “생활주변 방사선 안전관리법”이 두 차례의 공청회와 정부관계 부처 간 의견 수렴 및 법제처 심의 등의 절차를 거쳐 지난 11월 25일 국무회의 의결을 마치고 정부입법안으로서 11월 28일 국회에 상정되었다. 현재 국회 심의를 거치고 있는 동 법안은 원료물질, 공정부산물, 그리고 가공제품에 포함된 천연방사성핵종에서 방출되는 방사선은 물론 우주방사선, 지각방사선 등 자연방사선에 대한 새로운 규제 내용을 포괄적으로 망라하고 있다. 법안의 주요 내용은 생활주변방사선에 대

한 방호계획 수립과 더불어 안전지침의 작성 및 배포, 원료 물질이나 공정부산물 취급자의 등록, 공정부산물의 처리, 처분 및 재활용, 취급·관리 및 가공제품 안전기준, 주요 항만 및 재활용 고철 등의 처리 업체에 대한 방사능 검출기의 설치, 실태조사 및 전문기관의 지정 등의 내용과 더불어 항공기 운항승무원 및 객실 승무원의 우주방사선 피폭에 대한 안전관리에 대한 내용을 담고 있다. 이 법안의 통과와 함께 향후 국내 NORM/TENORM에 대한 조사와 평가를 바탕으로 보다 체계적인 관리시스템이 작동하게 될 것으로 예상된다.

이번 방사선과 광물 네 번째 편에서는 일부분에 불과하긴 하지만 동법안의 수립과 관련하여 일부 산업체에 대한 현장 조사와 함께 과거 수년간 원자력기술개발사업의 세부항목으로 수행된 조사를 통하여 파악된 국내 TENORM 현황에 대하여 간략하게 정리해 보고자 한다.

TENORM(Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials)은 우리말로 “인위적으로 증가된 자연방사성물질”로 번역할 수 있다. NORM 과 구분되는 것은 자연 상태의 물질이 인간의 행위가 개입됨으로써 포함된 천연방사성핵종의 농도가 증가하게 된 것을 의미한다. 이러한 TENORM은 다양한 산업 현장에서 발생할 수 있으며 통상 그 발생

량이 매우 많아서 주변 환경이나 일반 대중에 미치는 영향이 크거나 비록 발생량이 적다하더라도 포함되거나 농축된 천연방사성핵종의 농도가 매우 높아서 일반대중이나 산업계 종사자에게 자연방사선에 의한 피폭을 증가시킬 소지가 있는 경우 TENORM으로 분류하여 관리를 해야 할 필요성이 발생하게 된다. 국내의 대표적인 TENORM은 위와 같은 기준으로 두 가지로 분류할 수 있는데 그 농도는 낮으나 대량의 공정부산물로 볼 수 있는 것으로는

- 무연탄 및 유연탄을 사용하는 화력발전의 부산물인 플라이 애시(Fly Ash)
- 복합비료 생산과 관련된 공정부산물인 인산 석고 (Phosphogypsum)
- 수산화알루미나를 생산하기 위하여 그 원료인 보오크사이트를 처리하면서 발생하게 되는 레드머드(Bauxite Redmud)
- 제철 산업에서 발생하게 되는 슬러지나 슬래그 등의 공정부산물

또, 그 발생량은 적으나 상당이 높은 농도도 간혹 발견되는 것으로는

- 대형 플랜트에서 국부적으로 발견될 수 있는 관석(Pipeline Scale)

- 광물의 선별, 정광 과정에서 농축되게 되는 중광물(광미) 등이 대표적인 예이다.

각 항목에 대하여 현재까지 조사된 국내 현황을 차례로 간략하게 요약하면 다음과 같다.

플라이 애시 (Fly Ash)

한국은 일본에 이어 세계 2위의 유연탄 수입국이며 이들은 주로 발전용과 제철용으로 사용되고 있다. 한국원자력안전기술원과 한국지질자원연구원에서는 공동으로 국내 발전용 연료인 유연탄 및 무연탄과 그 부산물로서 발생된 플라이 애시에 대한 자연방사능 평가를 수행한 바 있으며 그 현황과 그 관리방안에 대해서는 이미 지질학회지에 논문(장병욱 외, 2008)으로 발간된 바 있으므로 여기서는 상세한 언급은 생략하도록 하겠다.

인산 석고 (Phosphogypsum)

전 세계적으로 가장 많은 인구가 모여 살고 있는 한국, 중국, 일본이 포함된 동아시아 지역은 높은 인구 밀도로 인하여 단위면적당 많은 양의 곡물을 수확해야 하는 처지에 있으며 이에

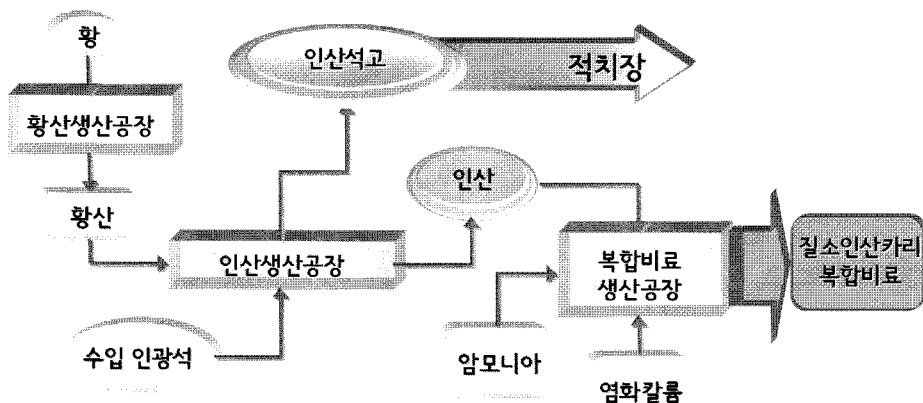


그림 1. 복합비료 및 인산 생산을 위한 대략적인 공정 흐름도.



그림 2. 남해화학 인산석고 적치장.

따라 단위 면적당 비료의 사용량도 인구가 적고 국토 면적이 넓은 나라들에 비하여 압도적으로 많다. 국내의 경우, 가장 큰 복합비료 생산업체인 남해화학의 인산 석고 적치장이 많이 알려져 있다. 주로 복합비료와 인산의 생산을 위한 대략적인 공정 흐름도는 그림 1과 같다.

수입 인광석은 그 산지에 따라 다양한 천연 방사성핵종의 농도 범위를 가지고 있으며 일부의 경우 그 원산지에 따라 상당히 높은 농도를 갖기도 한다. 생산 공정을 거치는 동안 인광석 내에 포함된 천연방사성핵종 중 라듐(^{226}Ra , ^{224}Ra)은 대략 90% 이상이 인산석고로 농축되며 우라늄(^{238}U , ^{235}U)은 대략 95% 이상이 인산으로 농축되게 된다. 조사 결과, 인산석고의 ^{226}Ra 의 농도 범위는 대략 0.5~0.8 Bq/g, 인산 내 포함된 ^{238}U 의 농도 범위는 대략 0.8~1.4 Bq/g 이다. 또한 복합비료 제조공정에 필수적인 수입 정제 염화칼륨(KCl)의 경우는 ^{40}K 의 함량이 상당히 높았다(~17 Bq/g).

보오크사이트 레드머드 (Bauxite Redmud)

알루미늄의 가장 중요한 원료광석인 보오크사이트(Bauxite)는 주로 열대지방의 알루미늄이 풍부한 암석이 풍화되어 생성되는 수산화알루미늄광물이 모인 집합체이다. 통상 이 보오크사이트에는 우라늄과 토륨계열의 천연방사성핵종이 포함되어 있는데 인광석과 마찬가지로 그 산지에 따라서 다양한 농도 범위를 보인다. 보오크사이트는 깁사이트(gibbsite : $\text{Al}(\text{OH})_3$), 보에마이트(boehmite : AlOOH) 및 다이아스포아(diaspore : AlOOH) 광물로 구성된다. 호주산은 깁사이트와 보에마이트로 구성된 것이 특징이나 중국산 보오크사이트는 다이아스포아와 강옥으로 주로 구성된다. 따라서 중국산 보오크사이트는 소성온도를 높여야 되는 단점으로 인해 호주산 보오크사이트가 선호되고 있다(고상모 외 2008). 이러한 광물학적 특징은 천연방사성핵종 함량의 차이로도 구분되며, 통상 호주산의 경우 낮은 농도를 중국산의 경우 높은 농도를 보인다.

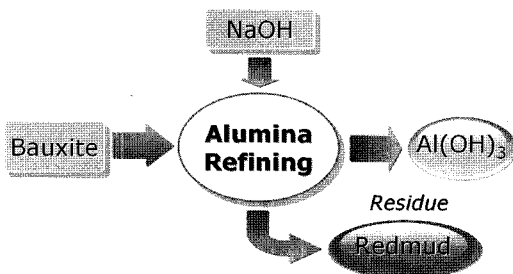


그림 3. 수산화알루미나 생산 공정 흐름도.

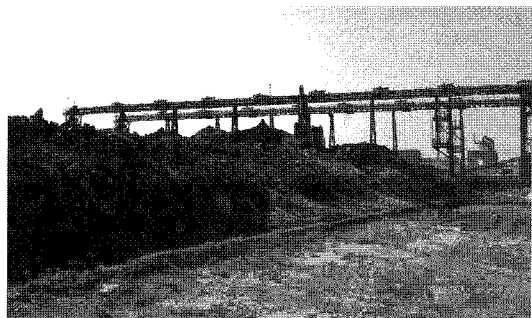


그림 4. (주)KC의 Redmud 임시 적치장.

그림 1에 개략적인 수산화알루미늄의 생산 공정 흐름도를 나타내었다. 보오크사이트는 이 공정을 거친 후 산화철이 많이 포함된 규산알루미늄(Alumino-silicate)로 이루어진 부산물을 남기게 되는데 통상 이를 레드머드(Redmud)로 칭하고 있다. 이 레드머드에는 통상 그 원료인 보오크사이트에 비하여 다소 높으며 대략 3배 이상 천연방사성핵종이 농축된다. 레드머드 시료 2종의 분석결과, 방사성핵종의 농도는 토륨 계열이 대략 0.3 Bq/g 우라늄 계열이 0.2 Bq/g 정도이다. 그림 4는 (주) KC의 Radmud 임시 적치장 모습이다.

제철 슬래그 (Iron Smelting Slag)

반면 현재까지의 조사결과, 국내에서 채취된 제철 및 제련 슬래그의 경우 천연방사성핵종의 농도가 매우 낮아 크게 주의를 기울일 필요는 없는 것으로 판단된다. 그러나, 이 결과는 상당히 규모가 큰 제철 공정 전반을 조사한 결과가 아니고, 제철공정의 원료 물질에는 원광인 철광

석은 물론 재활용 고철 등 매우 다양한 NORM이 포함되어 있는 점을 고려해 볼때에 보다 체계적인 조사와 평가가 필수적이다. 3개의 제철 슬래그 및 2개의 비철 슬래그의 분석결과, 천연방사성핵종의 농도는 그램 당 0.1 Bq 이하의 매우 낮은 농도를 보였다.

관석 (Pipeline Scale)

2006년 재활용고철을 취급하는 한 업체에 설치된 방사능 문형 검출기(Radiation Portal Monitor)에서 상당히 높은 농도의 관석이 발견된 사례가 있다. 분석결과, 매우 높은 226Ra (약 125 Bq/g)을 함유하고 있었으며 한국원자력안전기술원 조사팀의 추적조사가 수행된 바 있다. 조사 결과, 그 기원은 파악할 수 없었으나 국내 TENORM Scale로 보고된 첫 번째 사례에 해당한다. 두 번째 사례는 남해화학 인산석고 적치장에서 현장조사를 수행하고 있던 필자를 포함한 현장조사 팀에 의해 발견된 것이다. 인산 생산 공정에서 부산물로 생성된 인산석고

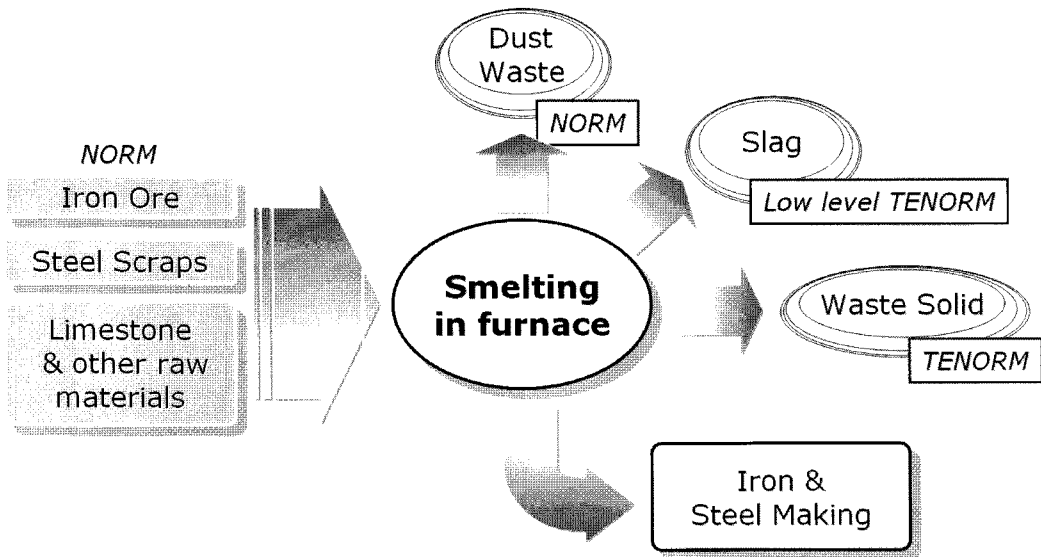


그림 5. 제철 공정에서의 원료물질과 공정 부산물인 NORM/TENORM의 생성 흐름.



그림 6. 재활용고철 취급업체에 설치된 방사능 문형 검출기.



그림 7. 인산석고 적치장에서 발견된 관석.

를 적치장으로 이송하는 데 이용되었던 파이프 라인 내의 관석에서 ^{226}Ra 이 비교적 높은 농도 (12.2 Bq/g)로 검출된 것이다(그림 6). 극히 낮은 천연방사성핵종을 포함하고 있는 원료를 사용하는 시설이라 할지라도 오랜 플랜트의 운영으로 인하여 이러한 관석은 배관 내나 배관의 압력경계부에 침적되어 존재할 가능성이 있고 또한 대부분의 관석은 상당히 높은 천연방사성 핵종을 포함하는 경우가 대부분이기 때문에 보다 많은 관심을 기울일 필요가 있다.

이나 정광 과정을 거친 광미(Ore Tailing)내에서 상당히 높은 농도의 천연방사성핵종이 검출되기도 한다. 이 경우 통상 단위 그램당 수~수십 Bq에 이르기 때문에 해당 광미가 다량 포함되어 있을 경우 상당한 주의를 요하기도 한다. 일부 광산에 대한 조사결과, 습식 및 건식 광미 더미에서 일반적인 배경값의 서너 배에 달하는 높은 선량률이 측정되기도 하였다. 조사된 장식 광산의 광미에서 분석된 결과, ^{226}Ra 이 3.6~8.7 Bq/g, ^{232}Th 이 1.5~3.1 Bq/g으로 비교적 높은 편에 속하였다.

광미 (Ore Tailing)

극히 일부의 경우이긴 하지만 광상의 정광 과정에서 채광 대상 암석 내에 중광물(주로 모나자이트)을 불순물로서 다량 함유하고 있는 경우, 선풍

기타

그 외에도 현재까지 국내에서는 발견되지 않았으나 조사가 진행 중이거나 진행될 예정으로 있는 TENORM은 수처리 시설에서 발생할 수

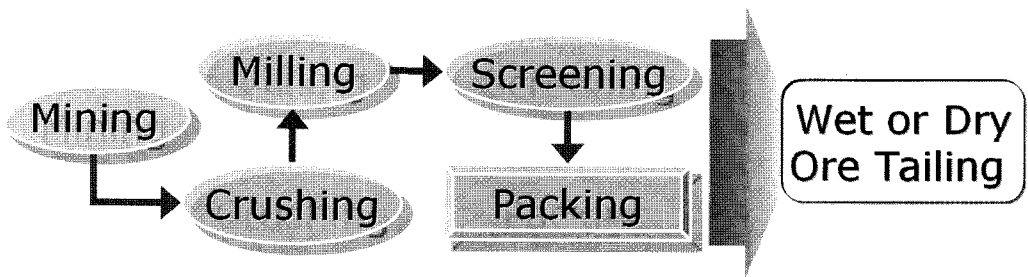


그림 8. 정광 공정에 대한 대략적인 흐름도.

있는 슬러지, 중광물 또는 산화티타늄(TiO₂) 취급 산업체에서 발생할 수 있는 폐기물, 연·아연 등 금속 제련에서 발생될 수 있는 폐기물 또는 슬러지, 가스전 등에서 사용된 파이프라인 스케일 등이 있다. 또한, 일부 천연방사성핵종이 높게 검출된 가능성이 있는 폐광산지역의 광미에 대한 조사도 수행될 필요가 있다. 국내 TENORM 에 대한 조사는 현재 진행형이다. 또한, “생활주변방사선 안전관리법”의 제정 이후에는 이러한 조사, 분석, 평가가 보다 활발해지리라 짐작된다.

맺는말

필자가 지난 4년간 NORM/TENORM 분야의 연구를 수행하는 동안 느꼈던 가장 큰 어려움은 막연한 두려움에 의한 거부감이다. 조사와 평가를 수행함에 있어 관련 업체 등에서는 불안감과 비용 증가에 대한 막연한 우려, 그리고 정부의 규제 개입에 대한 걱정 등으로 인하여 원활한 협조가 상당히 어려워 조사자체를 거부하는 사례가 다반사였다. 그나마 근래 법제정 움직임과 두 차례에 거친 공청회, 관련업체 설명 등을 거치면서 보다 이해하고자 하는 모습이 보이는 것은 다행이라 할 수 있겠다. 필자가 형편없는 글 솜씨를 무릅쓰고 또, 원고 마감기한에 쫓겨 가면서 굳이 “광물과 산업”에 이 글을 꾸준히 연재하고 있는 이유도 조금이나마 관련 업계의 이해를 돕고자 함이다.

해당 원료나 부산물에 천연방사성 핵종이 검출되었다고 해서 불안해하거나 산업활동의 변화나 영향을 걱정할 필요가 없다. 농도가 높으면 높은 대로 또 낮으면 낮은 대로 적절한 안전관리 방안을 확보한 채 산업 활동을 수행하면 그만인 것이다. 더구나 플라이애시, 인산석고, 그리고 레드머드 같은 대량 부산물은 충분한 재활용 영역을 갖고 있는 또 하나의 자원이다. 이러

한 재활용 가능한 자원의 합리적인 활용방안을 찾는 것 또한 매우 중요한 일이다.

대부분의 원료 물질을 수입하고 있는 우리로서는 보다 체계적인 관리 시스템이 필수적으로 요구된다. 이러한 시스템을 구축하고자 하는 목적은 결코 관련 업계의 부담을 주고자 함은 더 더욱 아니며 보다 체계적인 관리를 통한 안전성 확보를 기반으로 국가 산업의 경쟁력을 업그레이드 하고 우리의 생활을 보다 윤택하게 하고자 함인 것이다.

참고문헌

- 고상모 외 (2008) 천연방사성 산업물질 실태조사년차 보고서, 한국지질자원연구원, KINS/HR-858
- 노정환 외 (2007) 국민 방사선 위험도 평가 보고서, 한국원자력안전기술원, KINS/GR-355
- 장병욱, 고상모 (2007) NORM/TENORM 국내 현황, 제 6 회 방사선안전심포 지음.
- 장병욱, 김용재, 고상모, 장호완 (2008) 국내 화력발전소에서 사용하는 석탄과 부산물인 플라이애시(Fly Ash)에 대한 자연방사능평가, 지질학회지 44-4, 479-488.
- Chang, B.U., Koh, S.M., Kim, Y.J., Seo, J.S., Yoon, Y.Y., Row, J.W. and Lee, D.M. (2008) Nationwide Survey on the Natural Radionuclides of Industrial Raw Minerals in South Korea, Journal of Environmental Radioactivity, 99, 455-460.
- Chang, B.U., Koh, S.M., Kim, Y.J., Lee, H.Y. and Cho, K.W. (2008) Evaluation of the Radioactivity Levels in Several TENORM Industries in South Korea, SPERA 2008 Conference.