

방사선과 광물 (III)

장 병 옥

한국원자력안전기술원 안전연구부 방사선연구실

I편과 II편을 통하여 광물과 방사선에 대한 일반적인 상식을 알아보았다. III편에서는 일부 외국의 사례와 함께 유의할 만한 수준의 천연방사성핵종을 포함하고 있는 광물들을 보다 안전하게 취급할 수 있는 관리 방법과 그 필요성에 대해 언급하고자 한다. 국내의 경우 아직 산업계의 인식이 충분하지 못하여 이들 원료 광물질의 취급 과정에서 예기치 못한 자연 방사선 피폭을 받을 개연성이 존재하고 있는 것이 현실이라 하겠다. “모르는 게 약이요 아는 것이 병”이라는 말과 같이 자연방사선의 존재를 인지함으로 말미암아 불필요한 오해와 불안감을 야기할 소지 또한 다분히 있다 할 수 있겠으나 이는 어디까지나 제대로 알지 못하기에 발생하는 문제일 뿐이다. 어렵פות이 알게 되면 “모르는 게 약이요 아는 것이 병”이 될 수 있겠으나 보다 정확한 지식을 통한 적절한 관리 방안을 수립하는 것은 바로 “아는 것이 힘이다”라는 격언과 부합하는 것이라 할 수 있겠다. 방사선이라는 단어의 막연한 불안감으로 두려움을 갖기 보다는 이를 보다 정확하게 이해함으로써 보다 안전한 산업 활동을 수행할 수 있을 것이다.

방사선이 인체에 영향을 줄 수 있는 피폭 경로는 외부방사선피폭(External Radiation

Exposure; 이하 외부피폭)과 내부방사선피폭(Internal Radiation Exposure; 이하 내부피폭)으로 구분된다. 외부피폭은 감마방사선이 주된 피폭원이며 통상 대량으로 적재된 광물에 가까이 접근할 경우 발생할 수 있다. 그 정도는 포함된 자연방사성핵종의 농도에 따라 다르지만 특별한 경우를 제외하고는 통상 시간당 수 μSv 이하로 매우 낮은 값이며 대부분 관리가 필요 없는 무시할 수 있는 수준이다. 내부피폭은 인간의 체내에 호흡기를 통해 흡입하거나 음식물 등의 섭취를 통해 발생할 수 있으며 이 경우 알파·베타·감마 방사성핵종 모두가 영향을 미칠 수 있다. 특히, 광물의 분체 공정과 같은 먼지가 많은 작업조건하에서 적은 입자의 자연기원방사성물질(이하 NORM)이 포함되어 있는 분진을 흡입하였을 경우 내부피폭을 야기할 수 있다. 대부분의 경우 분진 내 포함된 방사성핵종의 흡입에 의한 내부피폭보다는 분진 내 일반 독성원소나 석면 등에 의한 영향이 위해성 측면에서 훨씬 높다. 그러나 U, Th과 같은 방사성핵종의 온도가 매우 높은 일부 광물(모나자이트, 저어콘 등)의 경우 방사성핵종에 의한 위해성이 상대적으로 더 증가할 소지가 있다. 이러한 내부피폭은 매우 짙은 먼지 속에서 오랜 시간 작업을 수행하는 작

업장에서는 매우 심각하며 적절한 방호조치가 요구된다. 반면, 방사성위해성 측면으로만 평가해보면 호흡기를 통한 흡입에 비교하여 이들 입자를 음식물이나 경구를 통하여 섭취하여 발생할 수 있는 내부피폭의 정도는 훨씬 더 낮다.

NORM에서는 또한 방사성기체인 라돈을 발생한다. 특히 우라늄과 토륨함량이 높은 광물에서는 상대적으로 라돈의 방출률이 높으며 적재된 광물의 결정구조, 입도, 수분 함량 등과도 밀접한 관계가 있다. 원료광물이 중요한 전략적 산업 자원이 되면서 가격이 상승하게 되었고 또한, 우천 시 문제 등을 고려하여 일반적으로 작업장이나 공장의 실내에 적재하는 경우가 많은데 통상 작업장의 환기 설비 등을 고려할 경우 실내 라돈 농도의 평가 등이 필요하게 된다. 일반적으로 사무실이나 가옥에 비해 실내 공간이 상대적으로 넓고 균일한 공조가 어려운 관계로 공간별 라돈 농도 차이가 많은 것으로 알려져 있다. 작업장에

서의 라돈에 의한 피폭은 많은 양의 광물을 사용하는 제한된 공간에서, 특히 공조 설비가 미약한 장소에서는 매우 중요한 문제이다.

우라늄과 토륨은 지구의 생성 이후 다른 여러 원소들과 함께 존재하여 왔다. 암석 및 광물 내 NORM의 함량은 그들의 지역적인 또는 지질학적인 특성에 따라 매우 다양하다. 그림 1에 대표적인 우라늄 토륨 함유 광물과 그 활용도를 우라늄과 토륨의 농도와 함께 간단한 그림으로 요약해 보았다.

고농도의 NORM을 사용하는 작업장에서의 방사선학적 위해성을 체계적으로 평가하기 위해서는 우라늄과 토륨의 붕괴계열 내에 있는 방사성핵종의 농도를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 이는 대개 해당 물질에 대한 정밀한 방사능 분석이 요구되며 이들 물질의 공급자 또는 수요자는 해당 물질을 안전하게 사용하기 위해서는 이러한 정보를 보유하거나 제공할 수 있어

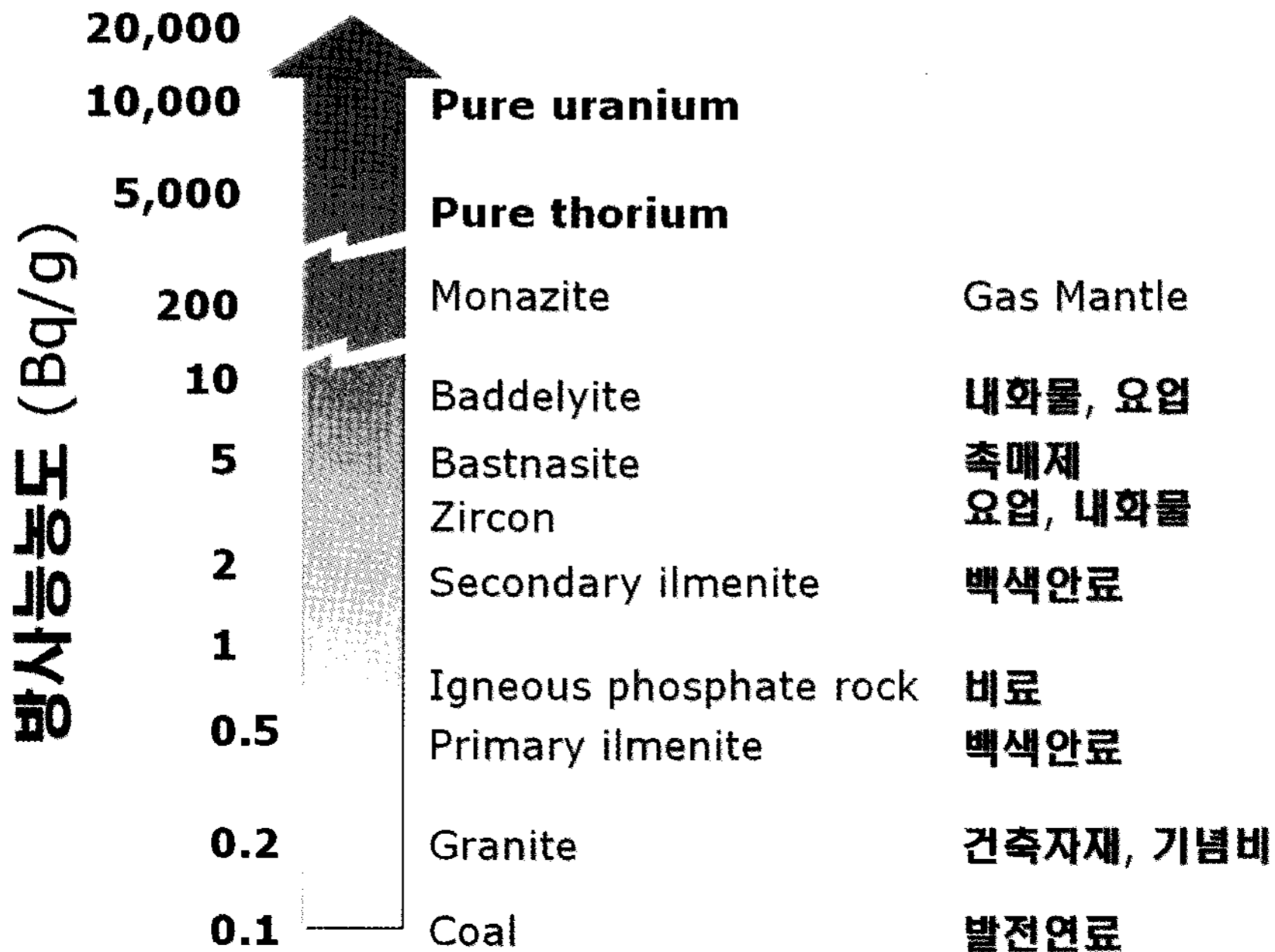


그림 1. 대표적인 우라늄과 토륨 함유 광물들의 대략적인 방사능농도 범위와 그 활용도.

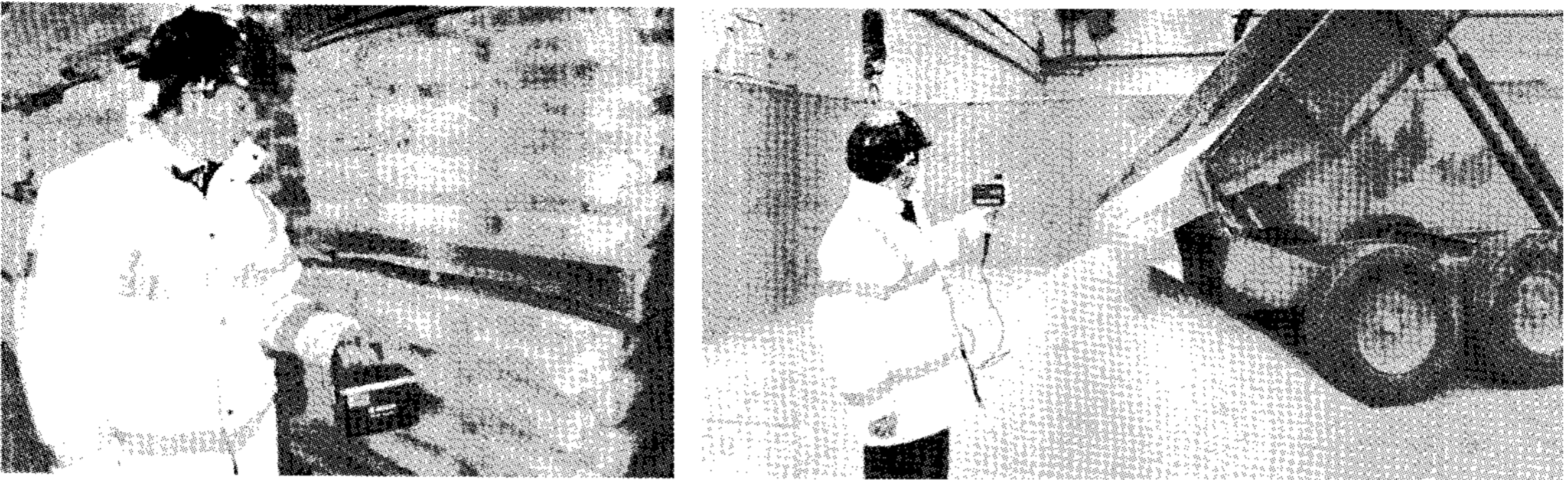


그림 2. 적재과울의 외부선량을 측정 및 실시간 분진 측정기를 이용한 작업장내 분진농도 측정(영국 HPA 자료).

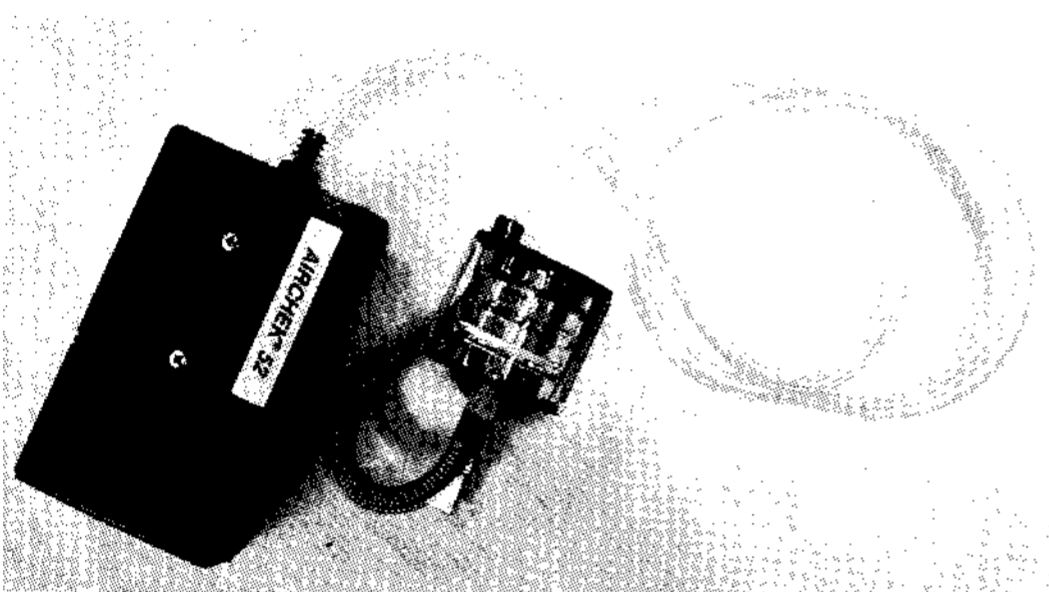


그림 3. 개인 호흡물에 맞춰 공기시료 채취가 가능한 Lapel air sampler.

야 한다. 그러나 통상 방사능 분석에 소요되는 장비나 전문 인력의 문제와 상대적으로 높은 소요 비용 등으로 인하여 일반 사업장에서 적용되기에는 현실적인 어려움이 있다. 이러한 이유로 비교적 간단한 측정 방법들을 적용하게 되는데 통상 방사선량률 측정과 같은 방법이 사용되며 선량률과 해당 광물의 정확한 동정을 통해 어느 정도 추정이 가능하다. 또한 분체 작업 공정이나 분체 광물의 포장 이송 등의 공정과 같이 대량의 분진을 발생시킬 소지가 있는 작업에 대해서는 작업 중 분진농도 측정이 필요하며 일부 분진농도가 유의할 수준의 방사선피폭(특히 내부피폭)을 야기할 가능성이 있는 작업 공정에 따라서는 개인 공기시료 포집기(Personal air sampler)를 이용한 정확한 내부피폭선량에 대한 평가가 필요하기도하다(그림 2 및 그림 3).

방사선방호의 측면에서 외부피폭에 대한 세가지 기본 원칙은 “거리”, “시간” 및 “차폐”로 매우 단순하다. 첫 번째 거리는 방사선원으로부터의 거리를 의미하며 선원을 점으로 본다면 선량률은 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 방사능 농도가 높은 적재 광물로부터의 일정한 거리를 유지하는 것만으로도 피폭을 충분히 저감화 할 수 있다. 두 번째는 방사선에 피폭되는 시간을 단축하는 것으로 NORM을 이용하는 사업장에서는 합리적인 작업계획의 수립을 통해 개인당 작업시간을 단축하는 것으로 방사선피폭을 효과적으로 저감화 할 수 있다. 당연히 작업자가 받는 선량률은 해당 작업장에 작업자가 머무르고 있는 시간에 직접 비례한다. 세 번째는 방사선원과 작업자 사이의 차폐효과를 활용하는 것인데 통상 NORM 작업장에서는 원자력시설이나 동위원소 이용시설의 경우와 다르게 감마방사선원이 차폐체의 사용을 요구할 정도로 강하지 않기 때문에 거리와 시간의 조합만으로도 충분한 저감화를 이룰 수 있다.

내부 피폭의 경우 방호의 원칙은 좀 더 복잡하며 해당 방사성핵종의 특성과 체내로의 섭취경로에 따라 매우 다양한 방호방법이 필요하게 된다. 통상 NORM 사업장의 경우 우라늄과 토륨에 의한 피폭과 더불어 라돈에 의한 내부피폭의 관리

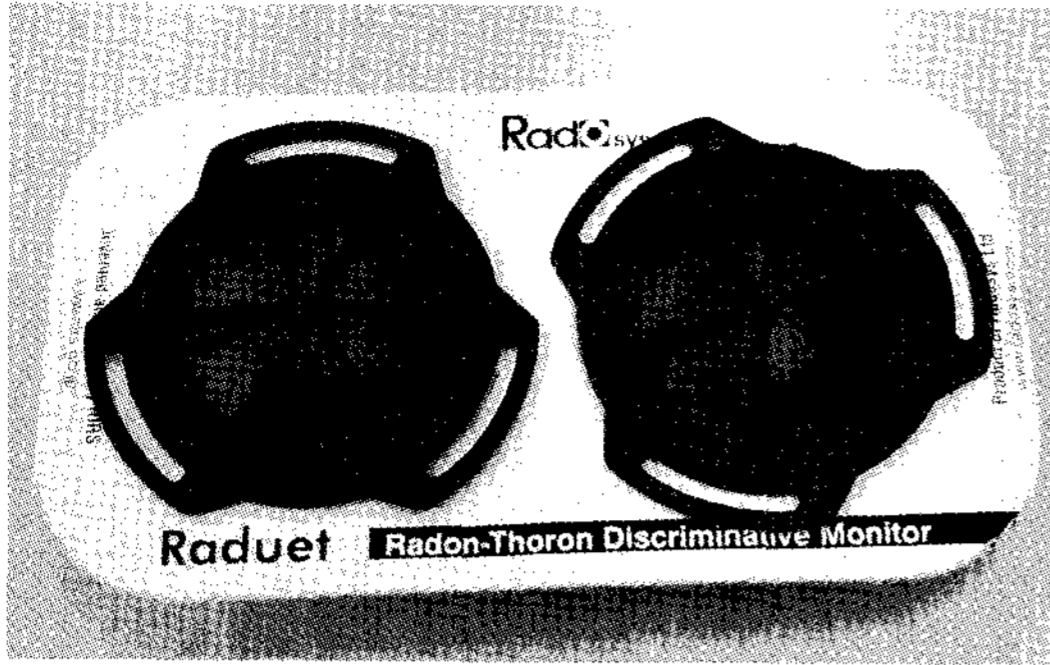


그림 4. 수동형 라돈검출기 (Raduet, 헝가리 Radosys사 제품).

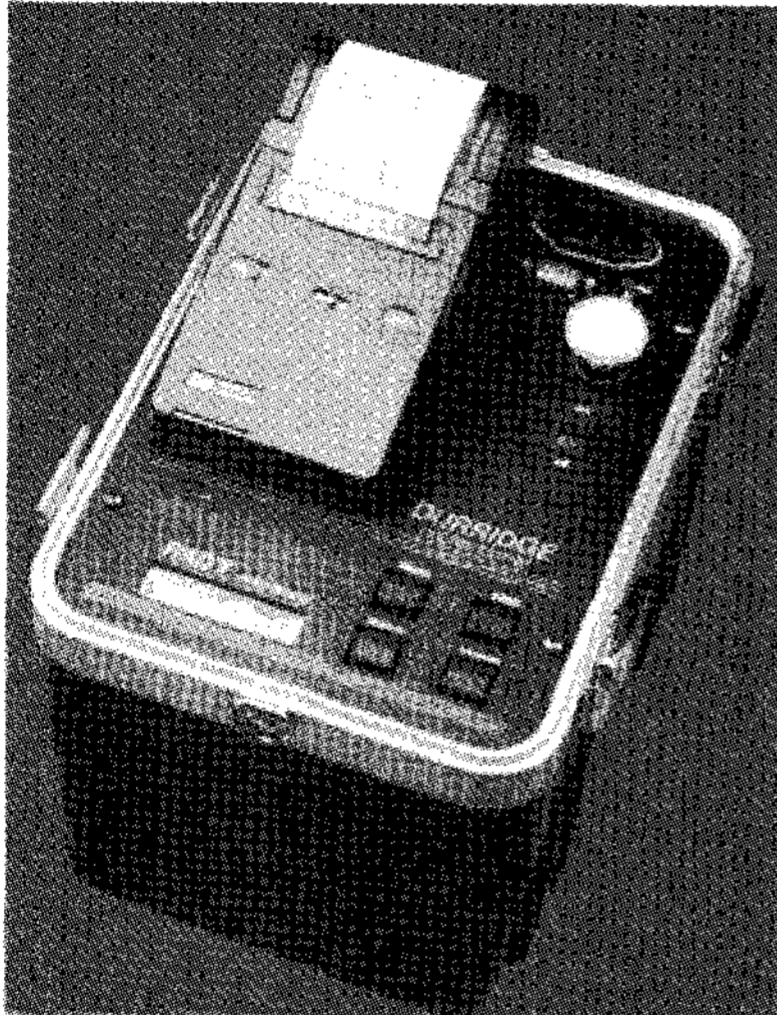


그림 5. 능동형 라돈검출기 (Rad7, 미국 DurrIDGE사 제품).

가 매우 중요한 저감화의 필요 요인이라 할 수 있겠다. 이 중 중요한 것이 작업장에서의 분진의 적절한 관리와 작업장 내 실내 라돈 농도의 관리라 볼 수 있다. 분진의 호흡기로의 흡입을 방지하는 방법은 통상적인 방진 마스크와 작업장내의 분진 제어 설비 등으로 충분하다. 또한, 진공청소기 등을 사용하는 작업에서 적절한 장비의 사용과 그 관리방법의 수립 또한 매우 중요하다. 라돈 피폭의 경우는 분진과는 큰 관계가 없으며 더불어 실내의 환기 여부가 매우 중요한 인자가 되기 때문에 적절한 공기 순환 유지해주는 작업장 내 공조 시스템 설계가 중요하다. 주기적인 작업장 내 라돈 농도 평가도 필수적이다.

통상 작업장내의 라돈농도의 측정은 두가지 방법으로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 평균적인 라돈 준위의 측정을 위하여 수동형 라돈 검출기(그림 4)를 이용한 3개월 주기 이상의 장기 측정이며, 두 번째는 능동형 연속 라돈 측정기(그림 5)를 활용한 단기 측정이다. 통상 NORM 작업장에서는 장기 측정은 근무시간이나 작업시간을 고려할 경우 적절치 않으며 단주기 라돈 준위 측정 장비를 사용하여 작업 유형별 농도 평가가 보다 적절하다 할 수 있다.

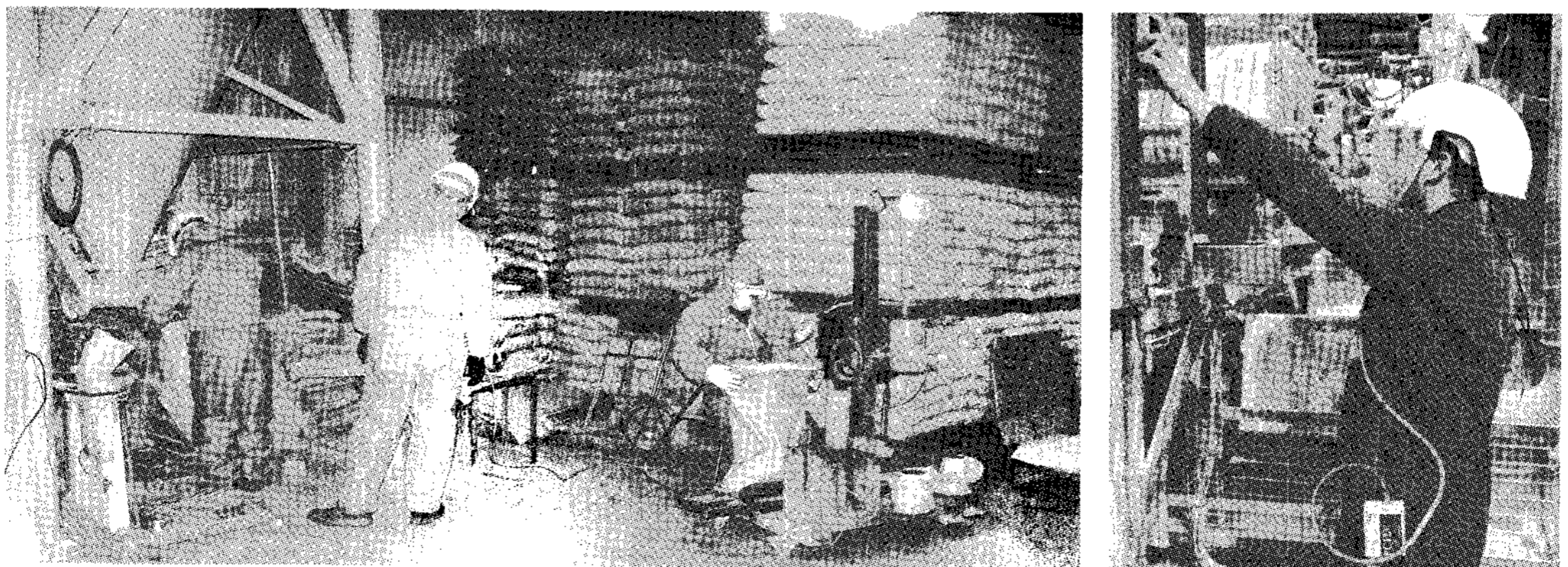


그림 6. NORM 작업공정에서의 방호장비의 착용의 예.

일반적으로 다량으로 적재된 광물이라 하여도 선량률은 통상 매우 낮다. 일상적인 작업영역 내에 광물을 저장하지 않고 격리시키는 간단한 조치만으로도 충분히 종사자들을 보호할 수 있으며 간단한 분진 제어 시스템과 방진마스크와 같은 방호장비의 적절한 사용만으로도 내부피폭을 효과적으로 방지할 수 있다(그림 6). 그러나 이러한 간단한 방법도 적절한 작업절차와 설비 검사와 유지보수 프로그램 등을 통한 관리가 필수적이다. 작업장의 청결을 유지하는데 주로 사용되는 진공청소기가 오히려 세립의 미세 먼지는 다른 공간으로 확산시키는 경우도 비일비재하다. 적절한 배기 필터를 갖춘 진공청소기를 사용하는 것이 무엇보다 중요하다 할 수 있겠다. 일부 환경에서는 종사자를 보호하기 위해 호흡에 대한 방호장비가 필수적이게 된다. 통상

이는 짧은 기간 동안 제한된 작업에 한해 적용하게 되는데 대개 작업의 불편함 등을 호소하며 무시하는 경우가 많다. 이러한 이유로 보다 체계적인 작업절차 등을 수립하고 이를 준수하도록 하는 것이 매우 중요하며 이를 위하여 적절한 방호장비의 선택과 착용에 대한 주기적인 교육 역시 필수적이다.

국내의 경우 작업장의 피폭선량을 평가한 사례가 극히 드물기 때문에 영국의 사례를 빌어 NORM 작업과 관련된 대략적인 피폭선량수준을 가늠해보았다. 영국의 경우 일반인의 연간평균피폭선량은 대략 2.6 mSv으로 우리나라 평균값(2.99 mSv, 한국원자력안전기술원, 2005) 보다는 낮은 수준이고 전세계 평균값 2.4 mSv (UNSCEAR, 2000) 보다는 높은 수준이다. 대부분이 자연방사선원에 의한 피폭이며 NORM과 관련된 일을 하

표 1. 자연방사선 배경값을 포함한 다양한 작업종사자들의 평균적인 추가피폭선량 - 영국의 경우 (NRPB, 2003)

사업장		일반인의 연간평균피폭선량	추가피폭
인광석처리공장		2.6 mSv	0.3 mSv
광물처리공장			1.0 mSv
Zircon milling plant	방사선방호체계가 있는 경우		0.5 mSv
	방사선방호체계가 없는 경우		4.0 mSv
석탄 채광			1.0 mSv

표 2. 작업유형별 추정종사자 선량 (IAEA, 2006)

작업유형	추정종사자 연간선량 (mSv)
모나자이트에서 희토류 추출	1~8 (일부 선량한도 ¹⁾ 초과)
토륨화합물생산	6~15
일부 지하광산 및 유사환경	<1~선량한도
석유, 가스 생산 시설	<1~선량한도
TiO ₂ 안료생산	<1~6
인산비료생산	0.2~5
Fused Zirconia 생산	0.25~4.5

1) 선량한도 외부에 피폭하는 방사선량과 내부에 피폭하는 방사선량을 합한 피폭방사선량의 상한값을 의미하며 국가별로 종사자 유형별로 차이가 있다. (우리나라의 경우 원자력법시행령 제2조제5호, 별표1에 규정)

는 사람의 경우 직업상의 추가적인 피폭을 받기도 하는데 대부분이 복합적인 외부 감마선에 의한 피폭과 분진의 흡입에 따른 내부 피폭이다. 영국의 경우 일부 NORM 작업장에서 평가된 추가 피폭을 표 1에 정리하였다.

국내 모나자이트 분체공정 작업자에 대한 선량평가를 수행한 결과 적절한 방호장비를 갖추지 않았다고 가정할 경우 분진의 흡입에 의한 내부피폭은 작업자의 위치나 작업 내용에 따라 차이가 있으며 일부 종사자의 경우 연간종사자 선량한도를 초과할 가능성이 있는 것으로 평가되었다(장병욱 외, 2007). 표 2는 국제원자력기구의 보고서에서 인용된 NORM 작업유형별 추정종사자 연간선량범위이다.

NORM은 자연환경 내에서 광범위하게 존재하고 있는 것이긴 하나 특정한 상황에서는 통제가 요구되기도 한다. 특히 방사선학적 위해성이 높은 일부 물질의 사용과 처분에 대해서는 종사자 보호나 폐기물 처분과 같은 환경보호에 관련된 규제가 요구되기도 하며 유럽연합이나 미국 호주 등의 국가에서는 다양한 규제체도가 마련되어 시행되고 있다. 유럽연합의 경우 NORM의 방사능 함량보다는 각 개인에 대한 방사선위해성 평가를 근거로 규제를 적용하고 있으며 연간방사선량에 적용되는 규제의 기준은 1 mSv의 초과에 대한 가능성이다. 환경보호 측면에서의 규제는 영국의 경우 NORM 물질은 통상 방사성물질의 처분에 적용되는 규제에서 면제되게 된다. 예를 들면 저어콘이나 티탄철석 등의 광물은 통상 면제가 된다. 그러나 규제기관으로부터 면제를 승인받기 위해서는 다양한 전제조건들을 만족시켜야 한다. 이러한 전제조건에는 적

절한 방호대책을 통한 종사자 보호, 주기적인 조사 및 평가 자료를 바탕으로 안전성에 대한 입증에 포함된다. 국내에서도 NORM에 대한 체계적인 관리 방안 수립을 위한 노력이 이루어지고 있다. NORM에 대한 관리 방안을 포함하고 있는 “생활주변방사선관리법”은 두차례의 공청회와 정부 관련 부처 간의 의견수렴을 마치고 2008년 6월 현재 정부규제개혁심의회 심사가 진행 중이다.

참고문헌

- 장병욱, 고상모, 장호완, 노정환 (2007) 국내 유통 산업원료광물에 대한 자연방사성핵종농도 조사 및 사전선량평가. 2007년 춘계지질과학기술 공동학술대회 논문집, 140-142.
- 한국원자력안전기술원 (2005) 국민 방사선 위험도 평가 보고서. KINS/GR-300.
- IAEA (2006) Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials. Safety Reports Series No. 49.
- NRPB (2003) Minerals Containing Natural Radioactivity. National Radiological Protection Board, United Kingdom.
- UNSCEAR (2000) SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.