

수산화알루미늄 제조 전주기 공정부산물 천연방사성핵종 거동특성 분석 및 안전관리 방안 연구

김하임^{1*}, 김재만¹, 심석구¹, 이경진²

¹(주)이엔이티, 대전광역시 유성구 가정로 99

²조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309

*hikim@en2t.com

1. 서론

국내에는 천연방사성핵종이 포함된 Bauxite, 인광석, 모나자이트 등의 광물들을 원료물질로 사용하여 다양한 제조과정을 통해 여러 산업분야에서 대량으로 유통하고 있다. 이와 같은 천연방사성핵종이 포함된 원료물질 및 산업활동 중에 발생하는 공정부산물에 의한 작업종사자 및 일반인 방사선 피폭이 생활방사선 안전현안으로 대두되고 있다.

본 연구에서는 천연방사성핵종이 포함된 Bauxite를 이용하여 수산화알루미늄($Al(OH)_3$) 및 소성알루미나(Al_2O_3)를 제조하는 산업체의 사전조사를 통하여 공정흐름과 작업종사자의 작업환경 및 작업상태를 파악하였다. 그리고 외부 및 내부피폭선량 현장탐색 및 시료분석을 통하여 원료물질과 공정부산물의 방사성핵종 거동특성과 안전관리 현황을 파악하여 국내 원료물질 및 공정부산물 취급 산업체의 안전관리 방안을 제시하였다.

2. 본론

2.1 공정부산물 현장탐색 방법론

$Al(OH)_3$ 제조 전 공정은 총 14곳으로 나뉘어 4가지 방법으로 현장탐색이 진행되었다[1]. 먼저, 시료 채집 표본은 시료의 표면에서 20 cm 정도 안쪽에 위치한 것을 채집하였으며, 천연방사성핵종 및 방사능 정량분석은 한국원자력연구원 및 조선대학교 생활방사선 연구센터에 의뢰하였다.

그리고 외부피폭선량 측정에는 Inspector 1000과 유리선량계 두 가지 방법을 사용하였다. Inspector는 실시간으로 한 장소에서 2대의 계측기를 가지고 2~3회 표면 접촉선량을 측정 및 기록하였으며, 유리선량계는 작업자의 가슴 높이 부근에 부착하여 3개월 계측 후 수거하여 분석을 의뢰하였다.

내부피폭선량 측정에는 Cascade Impactor를 사용하였으며, 대량의 분진이 날리는 작업공간에 설치하고 분진을 포집하였으며, 한국원자력연구원에

분진 포집을 통한 입도별 분포 및 작업자의 호흡을 통한 내부피폭선량의 정량분석을 의뢰하였다.

2.2 공정부산물 현장탐색 위치

Fig. 1은 $Al(OH)_3$ 제조 산업체의 Bayer 공정흐름도에 시료 채집장소, 외부피폭선량 측정을 위한 Inspector 1000 공간감마방사선량률 계측장소와 유리선량계 부착장소 및 내부피폭선량 측정을 위한 Cascade Impactor 포집장소를 보여준다.

시료 채집은 8곳, Inspector 1000 계측은 14곳, 유리선량계 부착은 8곳에서 현장탐색이 진행되었으며, Cascade Impactor는 소성미분알루미나 포장실에 설치하여 분진을 포집하였다.

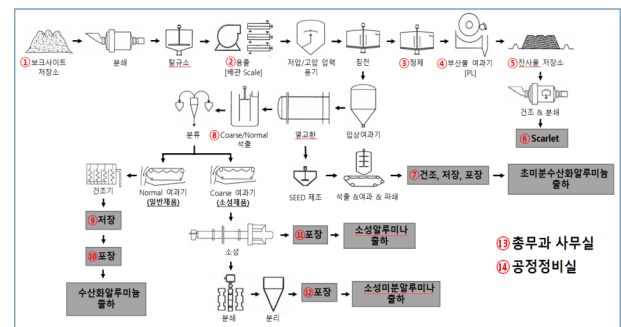


Fig. 1. $Al(OH)_3$ Manufacturing Process and On-Site Radiation Survey.

2.3 공정부산물 방사성핵종 거동특성 분석 및 평가

‘생활주변방사선 안전관리법’[2] 시행령 제4조에 방사능 농도가 1 Bq/g을 초과하는 원료물질 또는 공정부산물을 취급하는 산업체는 연간 취급하는 총량으로부터 산출된 방사능이 핵종별로 1,000 KBq을 초과할 경우 등록 대상자에 해당되는 것으로 정의된다.

그러나 $Al(OH)_3$ 제조 산업체의 시료 분석결과 방사능 농도가 1 Bq/g을 초과하는 원료물질 및 공정부산물이 분석되지 않았으므로, 취급자 등록 대상 산업체에 해당되지 않는 것으로 평가되었다.

외부피폭선량 측정에 사용된 Inspector 1000과

유리선량계의 경우 대체적으로 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 Scarlet과 수산화알루미늄 저장실 외 2곳은 Inspector 1000으로 표면 접촉선량을 계측한 값보다 유리선량계로 표면으로부터 1m 이상의 높이에서 계측한 값이 더 낮게 측정되었다. 그 이유는 해당 공정의 공간이 밀폐되어 있지 않고 개방됨에 따라 선원의 균질성이 낮아지기 때문으로 판단된다. 표면 접촉선량이 가장 높게 측정된 지점은 잔사물(Red Mud) 저장소로 0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 이며, 보수적인 작업시간(8시간 * 5일 * 50주)으로 가정하여 계산하면 연간 방사선량은 0.46 mSv/y이다. 또한, 유리선량계 분석 값이 가장 높은 지점은 보크사이트 저장소로 0.44 mSv이다. 모두 '생활주변방사선 안전관리에 관한 규정' 제4조 가공제품에 의한 피폭방사선량 및 IAEA 생활방사선 참조 선량기준인 연간 1 mSv를 넘지 않는 것으로 평가됐다.

마지막으로 ^{238}U 및 딸핵종이 모두 방사평형을 이루었다는 가정하에, 작업자의 호흡을 고려하고 ICRP 권고의 선량환산치를 이용하여 계산한 내부 피폭선량은 0.056 mSv/y로 분석되었다. Table 1은 현장탐색과 시료분석을 통하여 분석된 평가 결과 [3]를 종합적으로 보여주고 있다.

Table 1. On-Site Radiation Survey and Sample Analysis Evaluation Result

No	공정	방사능 농도 (Bq/g)		피폭선량		
		^{238}U	^{232}Th	외부피폭 (mSv/y)		
				Inspector 1000-NaI	유리 선량계	Cascade Impactor
1	Bauxite 저장소	0.11	0.16	0.3	0.44	-
2	용출	0.86	0.22	0.3	-	-
3	정제	-	-	0.26	-	-
4	부산물 여과기	0.02	<M	0.22	-	-
5	잔사물 저장소	0.18	0.32	0.46	0.32	-
6	Scarlet	0.20	0.28	0.42	0.04	-
7	건조, 저장 포장	0.05	0.13	0.08	0.04	-
8	석출	-	-	0.18	-	-
9	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 저장	0.01	<M	0.22	0.04	-
10	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 포장	-	-	0.096	-	-
11	Al_2O_3 포장	0.01	<M	0.14	-	0.056
12	미분 Al_2O_3 포장	-	-	0.1	0.04	-
13	총무과 사무실	-	-	0.22	0.04	-
14	공정정비실	-	-	0.14	0.04	-

2.4 공정부산물 안전관리 방안

연구결과 내부피폭선량보다 외부피폭선량이 대체적으로 높은 경향을 보여주고 있으나, 작업자의 연간 피폭선량에는 영향을 끼치지 않는 정도로 판단되었다. 현재 문제의 소지는 없으나 향후 누적될 수 있는 외부피폭선량의 저감을 위하여 Bauxit의 수입처를 다변화하고, Bauxite 하역 및 운송 작업 시 근접작업에 유의하여야 하며 작업자는 작업시간을 최소화해야 한다.

또한, 공정 중 다량의 미세분진이 대기 중에 확산하기 쉬움으로 현재 작동하고 있는 공기 정화 및 공조 시스템의 정기적인 점검을 지속적으로 해야 한다.

3. 결론

본 연구에서는 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 을 생산하는 산업체의 현장 탐색을 수행하여 시료의 방사능 농도와 작업자의 피폭선량을 정량적으로 분석하였다. 정량분석을 통하여 공정부산물 방사성핵종 거동특성과 안전관리 현황을 파악하였다.

또한, 전 공정에서 기준치를 넘어 문제가 되는 시료는 발견되지 않았으며, 대체적으로 내부피폭선량이 외부피폭선량 보다 미미하게 작은 값을 나타냈으며, 이에 따른 외부피폭선량의 최소화 방안을 제시하였다.

본 연구결과를 통하여 차후에 여러 국내 주요 산업체의 원료물질과 공정부산물의 안전관리 방안 제시에 활용되고, 국민의 생활방사선 이해와 소통을 통한 사회갈등 문제해결에 기여할 수 있기를 기대한다.

4. 참고문헌

- [1] 이엔이티, "산업별 공정부산물 현장탐색 방법론 기술보고서", 4-29 (2016).
- [2] 원자력안전위원회, "생활주변방사선 안전관리법", (2016).
- [3] 이엔이티, "산업별 공정부산물 특성분석 기술보고서", 29-50 (2016).