

건설산업에 재활용하기 위한 보크사이트잔사물의 환경안정성

Environmental Stability of Bauxite Residues for Recycling in the Construction Industry



박용호 Yong-Ho Park
KC(주) 환경안전팀 부장
E-mail: yongho0401@kccorp.co.kr



정영남 Young-Nam Jung
KC(주) 기술연구소 책임연구원
E-mail: beanch@hanmail.net

1. 서론

1.1 기술의 개요

보크사이트 잔사물은 천연 원료에 비해 알루미늄산화물과 탄산나트륨 함유로 알칼리 성태이며 철 성분이 다량 함유되어 있어 진한 붉은색을 나타내므로 심미적 이질감이 있어 활용에 제한을 받고 있지만 알칼리와 적색의 물질특성을 활용한다면 기능성 소재로 전환이 가능할 것으로 충분히 기대되고 있다.

보크사이트 잔사물은 알칼리 성분 외 광물적 구성과 유해성분이 낮아 재활용에 있어서 환경적으로 상당히 안정화되어있는 물질임을 다음에서 확인할 수 있다.

2. 보크사이트 잔사물 특성

[표 1] 화학적 특성

수분	pH	Chemical composition(wt %)					
		Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂
45%	11.5	12.0	25.0	21.8	1.4	23.4	5.7

[표 2] 물리적 특성

평균입경 (μ m)	밀도 (g/cm ³)	비표면적 (m ² /g)	Sieving Test(%)				
			+#50(300 μ m)	+#100(150 μ m)	+#200(75 μ m)	+#325(45 μ m)	-#325(45 μ m)
2.5	3.5	24	1.5	1.1	1.1	1.1	95.2

[표 3] 미량원소 분석결과(폐기물공정시험기준, 토양오염공정시험기준)(mg/l)(16.01.27)

납	구리	비스	수은	시안	6가크롬
불검출	0,055	불검출	불검출	불검출	불검출
카드뮴	유기인	기름성분(%)	테트라크로로에틸렌	트리클로로에틸렌	수은(mg/kg)
불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

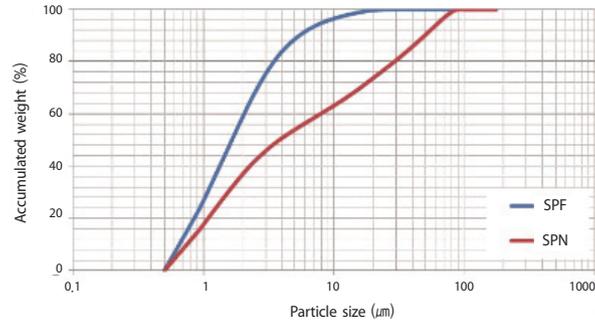
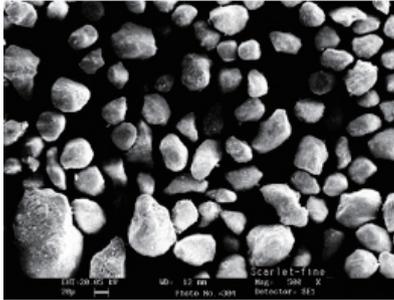


그림 1. SEM 및 입도 분포도

보크사이트 잔사물은 평균입경 2~3 μm를 나타내며 매우 미립으로 구성되어 있다. 15~25 m²/g의 비교적 넓은 표면적을 (specific surface area)를 가지며 다공성의 표면특성을 나타낸다. 광물학적으로 주로 적철석, 침철석, 보헤마이트, 티타늄산화물, 석영, 소달라이트, 알루미늄 규산염, 석고 등으로 구성된다.

이들 방법의 병합 등의 전처리 과정 또는 이를 이용하여 1) 하수 또는 산성광산배수의 중화제, 2) 방사선 차폐재료, 3) 에폭시등과의 복합재료, 4) 세라믹재료, 5) 벽돌, 콘크리트, 시멘트 등 건축재료, 6) 금속회수, 7) 촉매제, 8) 식생복구제, 9) 토양오염 개량제, 10) 수처리제등으로 개발되고 있어 긍정적인 효과를 낼 수 있다.

3. 건설산업 재활용

보크사이트 잔사물은 알칼리성을 나타내지만 부식성 (corrosive), 반응성 (reactive), 가연성 (ignitable), 독성 (toxic) 등 4가지 유해폐기물 평가기준을 적용하여 평가한 미국 EPA에서는 유해성 폐기물로 분류하지 않고 있다. 적토의 알칼리성으로 인해 재활용방안은 산중화, 세척, 열처리 또는

4. 건설산업에 재활용을 위한 환경평가 자료

상기 기술된 바와 같이 보크사이트 잔사물은 알칼리 성분 외 미량원소의 함량이 낮고 광물성 산화물로 구성되어있어 재활용시 환경적 영향이 적음을 다음 환경적 평가 Data로 설명할 수 있다.

[표 4] 폐기물관리법 시행 규칙에 따른 재활용범위

분류번호	폐기물 종류	재활용 유형	사전분석 확인여부
51-02-09	보크사이트 잔재물	R-3-1, R-3-2, R-4-7, R-10	해당 없음
		R-4-2, R-7-3, R-10	해당
재활용유형	재활용 유형별 세부분류		
R-3-1	단순 해체, 분리, 파쇄, 선별 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수하는 유형		
R-3-2	용융, 용해, 반응, 추출, 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수하는 유형		
R-4-7	유·무기성 화합물, 산화물 등의 화학물질이나 안료나 도료, 페인트, 착색제 등 화학제품을 제조하는 유형		
R-4-2	골재, 유리, 시멘트, 콘크리트 및 레미콘, 내화물, 요업제품, 각종 석제품 등 비금속광물제품이나 아스콘, 아스팔트, 고화제 등 기타		
R-7-3	폐기물매립시설의 복토재 또는 바다와 인접한 폐기물매립시설의 복토재, 차수재로 사용하는 유형		
R-10	R-3부터 R-9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간가공 폐기물을 만드는 유형		

* 상기와 같이 폐기물관리법에 의해 건설산업을 포함한 다양한 산업으로 활용이 가능함을 알 수 있다.

[표 5] TCLP(미국폐기물관리규정)에 의한 적토분석결과

(단위 : mg/ℓ)

시료	Initial pH	Final pH	Pb	Cu	As	Cd	Cr	Ni
BXR 1-1	2.88	5.82	0	0	0	0	0	0
BXR 1-2	2.88	5.86	0	0	0	0	0	0
BXR 1-3	2.88	5.90	0	0	0	0	0	0
Avg	2.88	5.86	0	0	0	0	0	0
BXR 2-1	2.88	6.01	0	0	0	0	0	0
BXR 2-2	2.88	6.02	0	0	0	0	0	0
BXR 2-3	2.88	5.98	0	0	0	0	0	0
Avg	2.88	6.00	0	0	0	0	0	0
BXR 3-1	2.88	4.99	0	0	0	0	0	0
BXR 3-2	2.88	4.97	0	0	0	0	0	0
BXR 3-3	2.88	4.97	0	0	0	0	0.02	0
Avg	2.88	4.98	0	0	0	0	0.01	0
BXR 4-1	2.88	4.67	0	0	0	0	0.02	0
BXR 4-2	2.88	4.68	0	0	0	0	0.02	0
BXR 4-3	2.88	4.68	0	0	0	0	0.02	0
Avg	2.88	4.68	0	0	0	0	0.02	0
기준치			5.0	-	5.0	1.0	5.0	7.0

* BXR 1 : 보크사이트 잔사물, BXR 2 : 보크사이트 잔사물(3개월 적치),
 BXR 3 : 보크사이트 잔사물 50% + 토양 50% 혼합, BXR 4 : 보크사이트 잔사물 50% + 토양 50% 혼합
 보크사이트 잔사물 및 토양을 혼합한 물질 모두 미량원소 용출 없이 무해함을 알 수 있다.

[표 6] SPLP(인공강우 용출시험법)에 의한 적토분석결과

(단위 : mg/ℓ)

시료	Initial pH	Final pH	Pb	Cu	As	Cd	Cr	Ni
BXR 1-1	4.2	11.55	0	0	0.18	0	0	0
BXR 1-2	4.2	11.49	0	0	0.18	0	0	0
BXR 1-3	4.2	11.53	0	0	0.18	0	0	0
Avg	4.2	11.52	0	0	0.18	0	0	0
BXR 2-1	4.2	11.50	0	0	0.19	0	0	0
BXR 2-2	4.2	11.48	0	0	0.19	0	0	0
BXR 2-3	4.2	11.51	0	0	0.19	0	0	0
Avg	4.2	11.5	0	0	0.19	0	0	0
BXR 3-1	4.2	11.56	0	0	0.08	0	0	0
BXR 3-2	4.2	11.59	0	0	0.08	0	0	0
BXR 3-3	4.2	11.55	0	0	0.08	0	0	0
Avg	4.2	11.57	0	0	0.08	0	0	0
BXR 4-1	4.2	11.29	0	0	0.05	0	0	0
BXR 4-2	4.2	11.31	0	0	0.05	0	0	0
BXR 4-3	4.2	11.28	0	0	0.05	0	0	0
Avg	4.2	11.29	0	0	0.05	0	0	0
기준치(TCLP)			5.0	-	5.0	1.0	5.0	7.0

* BXR 1 : 보크사이트 잔사물, BXR 2 : 보크사이트 잔사물(3개월 적치),
 BXR 3 : 보크사이트 잔사물 50% + 토양 50% 혼합, BXR 4 : 보크사이트 잔사물 50% + 토양 50% 혼합
 용출된 중금속 원소들의 함량으로 인한 지표수 및 지하수 주변 환경오염은 매우 낮음을 알 수 있다.

[표 7] 산 농도 변화에 따른 보크사이트잔사물의 pH변화 및 중금속 용출량(BXR,1DAY) (단위 : mg/l)

Initial pH0	시료	pH	Eh	Pb	Cu	As	Cd	Cr	Ni
0	BXR 1-1	1,3	688.3	0	0.55	0	0	0.56	0.12
	BXR 1-2	1,26	698.1	0	0.56	0	0	0.55	0.12
	Avg	1,28	693.2	0	0.56	0	0	0.56	0.12
1	BXR 1-1	6,67	305.5	0	0	0	0	0	0
	BXR 1-2	6,8	286.9	0	0	0	0	0	0
	Avg	6,74	296.2	0	0	0	0	0	0
2	BXR 1-1	10,74	148	0	0.04	0.23	0	0	0
	BXR 1-2	10,78	125	0	0	0.24	0	0	0
	Avg	10,76	136.5	0	0.02	0.24	0	0	0
3	BXR 1-1	11,15	102.5	0	0	0.27	0	0.02	0
	BXR 1-2	11,13	72.7	0	0	0.26	0	0.02	0
	Avg	11,14	87.6	0	0	0.27	0	0.02	0
4	BXR 1-1	11,14	98.4	0	0	0.27	0	0.02	0
	BXR 1-2	11,14	93	0	0	0.28	0	0.02	0
	Avg	11,14	95.7	0	0	0.28	0	0.02	0
5	BXR 1-1	11,14	82.7	0	0	0.29	0	0.02	0
	BXR 1-2	11,15	91.3	0	0	0.3	0	0.02	0
	Avg	11,15	87	0	0	0.3	0	0.02	0
6	BXR 1-1	11,06	54.8	0	0	0.27	0	0.02	0
	BXR 2-2	11,09	80.2	0	0	0.3	0	0.02	0
	Avg	11,08	67.5	0	0	0.29	0	0.02	0
폐기물 공정 시험 규제기준				3	3	1.5	0.3	1.5	-

* BXR 1 : 보크사이트 잔사물, BXR 2 : 보크사이트 잔사물(3개월 적치)
산성비 및 극한 산성환경에서 매립한 적토가 지구화학적으로 반응하여도 용출 가능한 각 중금속 함량이 규제농도를 초과하지 않는 것을 알 수있다.

4.1 어류독성시험

어독성 실험결과 노출기간 96시간동안, 음성대조군 및 시험물질 처리군인 100.0 mg/l 농도군에서 치사 및 어떠한 중독 증상도 관찰되지 않았다.

최근 흙 포장재 첨가제로 활용을 통한 재활용에 있어 담수 어류에 대한 급성 독성시험 결과는 다음과 같다.

[표 8] Cumulative mortality of Cyprinus carpio

Nominal concentration ^a (mg/L)	Number of fish	Cumulative mortality				
		0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
Control	10	0	0	0	0	0
100.0	10	0	0	0	0	0

[표 9] Abnormal response of Cyprinus carpio

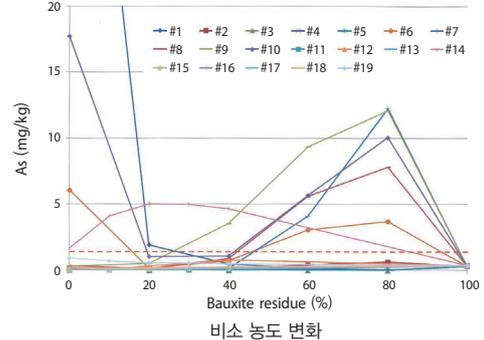
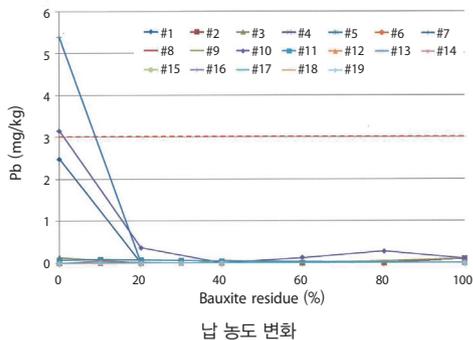
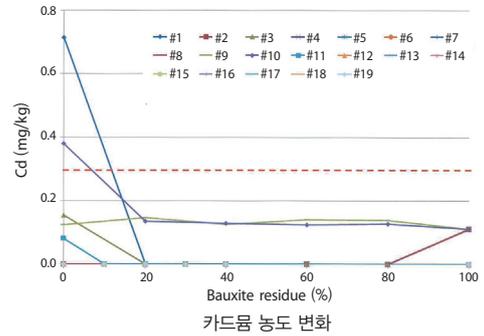
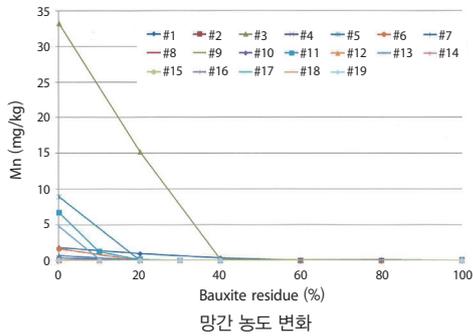
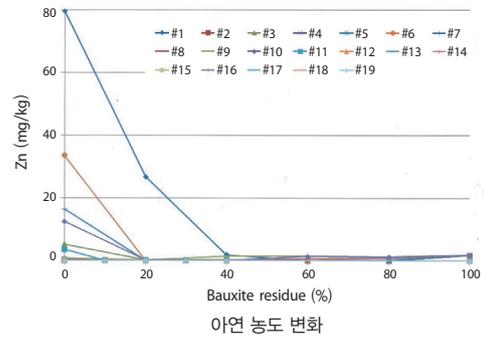
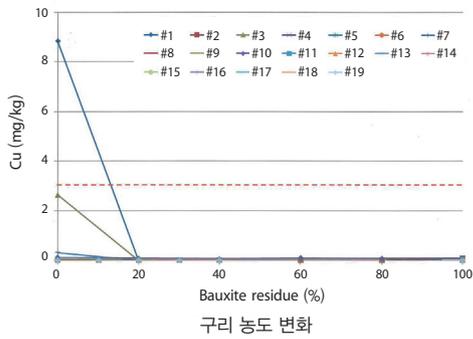
Nominal concentration ^a (mg/L)	Number of fish	Cumulative mortality			
		24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
Control	10	0	0	0	0
100.0	10	0	0	0	0

4.2 광산 광미의 중금속 제거실험

광산개발 과정에서 발생하는 부산물인 광미는 개발 광물의 종류 및 지질학적 특성에 따라 다양한 특성을 갖는다. 현재 발생하는 대부분의 광미는 매립하여 처분하는데 별도의 안정화 작업을 수반하지 않는 경우 환경적 문제를 일으킬 수 있다. 안정화라고 하면 유해물질이 용출될 가능성이 높은 물질을 대상

으로 pH를 조절하여 용해도를 최소화 시키거나 고형화하여 외부에 대한 노출정도를 저감시키는 방법을 말한다.

보크사이트 잔사물의 알칼리 성분으로 광미를 중성 및 약 알칼리로 조절한다면 광미에서 발생하는 유해물질을 흡착을 통한 용출 가능성을 낮출 수 있으므로 광미의 잠재적 환경에 유해성을 낮출 수 있음을 다음과 같이 알 수 있다.



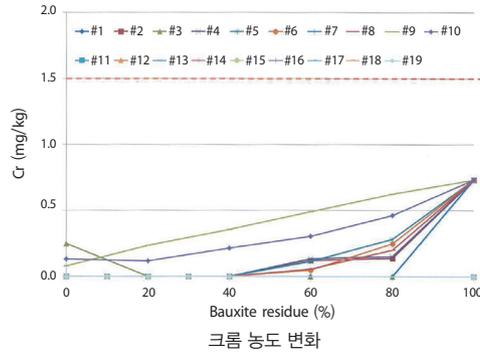


그림 2. 적토 혼합비율에 따른 용출액의 구리 농도 변화

5. 결론

다양한 용출실험과 어독성 테스트에서 보여지듯이 보크사이트 잔사물에 의한 환경오염 가능성은 낮은 것으로 평가된다. 따라서 다양한 재활용방안이 개발되더라도 2차적인 환경문제에서 안정성이 높다고 할 수 있다.

오히려 중금속의 제거나 산성 폐산등의 중화, 수질의 인을

흡착하는 등의 장점으로 재활용 제품에 많은 기능성을 부여하므로 자원의 순환과 환경의 개선에 도움을 주리라 사료된다.

현재까지 많은 활용방안이 기술적 효율성을 보여주지만 대규모로 적용하기에는 아직 경제적이지 못한 것이 현실이다. 향후 다양한 산업의 기술과 보크사이트 잔사물 특성이 융합하여 재활용 된다면 국가와 산업의 발전에 크게 기여할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 보크사이트 광물학적 용해도 평가 및 시료의 대표성 검토방법-한국지질자원연구원(KC 연구용역논문)
2. 폐기물 매립지 중간 복토재 및 가행광산 광미처리제로서 적토의 적용가능성 연구-한국지질자원연구원(KC 연구용역)
3. 자원재활용기술개발사업-무기계 폐기물을 이용한 기능성 흡착제 상용화기술 개발-21C 프론티어연구개발사업

담당 편집위원 : 김원기(아세아시멘트)