

ALC(Autoclaved Light-weight Concrete)를 이용한 생물학적 반응벽체에 관한 연구

박근민¹ · 이재영¹ · 오병택² · 최상일³

¹서울시립대학교 환경공학부, ²한림대학교 환경생명공학과, ³광운대학교 환경공학과

요 약 문

The physical and chemical characteristics of ALC were analyzed and showed 2.2 of specific gravity and 9.05 of pH. The results of leaching tests with standard method for soil and waste indicated heavy metals(Cu, Cd, Pb, Cr⁶⁺) were under maximum concentration level. The anaerobic digestion sludge was attached in the surface of ALC within 90 hours. As the results of batch test, pH of the ALC and Bio-ALC were decreased from initial pH of ALC to 8.7 and 7.8 respectively. Also, the concentration of heavy metals was rapidly eliminated in the solution with the batch test. The result of column experiment indicates that the removal efficiency of ALC was showed 66% of T-P, 60% of T-N, and 67% of CODcr. Also, removal efficiency of Bio-ALC was slightly higher than that of ALC in T-N (64%) and CODcr (74%).

key word : ALC, Biobarrier, Closed Landfill, Adsorption, Microbial Immobilization

1. 서론

현재 국내 토양오염 우려지역은 최소 2,402개소에서 최고 7,256개소에 달한다. 토양오염 우려지역 유형별로는 폐기물매립지 1,445개소, 광산지역 502개소, 유류저장시설 255~5,109개소, 과거 군부대 주둔지역 200개소 등으로 나타나, 폐기물매립지가 최저치 기준으로 볼 때 60.2%를 차지하고 있어 토양오염 사전예방을 위해서는 폐기물매립지 관리의 중요하다. 폐기물은 잠재적 환경위해성이 크기 때문에 위해정도에 따라 크게 일반폐기물과 지정폐기물로 분류하여 발생에서부터 최종처분까지 폐기물관리법에 의거 엄격하게 처리하고 있다. 현재 국내에는 운영 중인 생활폐기물 매립지가 333개소, 사용종료매립지가 1,170개소가 있다. 운영 중인 매립지의 위생매립률은 비교적 높지만 수도권매립지가 포함되어 있어 대부분의 매립지가 침출수 차수, 집수 및 처리시설, 매립가스 포집 및 처리시설 등 환경오염방지시설을 제대로 갖추지 못한 비위생매립지이다.

본 연구는 토양 및 지하수 오염 복원 방법으로 반응벽체 공법을 이용하고, 보다 친환경적인 처리 방안을 위하여 미생물을 이용한 생물학적 반응벽체 공법을 적용하고자 하였다. 미생물 부착 매질로는 최근 사용량이 증가하고 있는 경량기포콘크리트(Autoclaved Light-weight Concrete, ALC)를 사용하였으며, 이를 통해 물리·생물학적 반응을 통해 사용종료매립지 침출수를 처리하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

ALC는 다공성 물질로서 표면에 미생물이 부착하여 성장할 수 있는 환경을 조성하며, 비표면적이 27.66 m²/g으로 높은 흡착능을 나타내어 물리적 흡착을 통해 중금속 처리에 효과적이다.

ALC는 S사의 ALC block(600×400×100mm, 16.6kg)으로 겉보기밀도는 0.692 g/cm³이며, 블록을 파쇄 후 체걸음하여 2~10 mm 크기를 사용하였고, 미생물은 J하수처리장의 혐기성 반응슬러지와 영양액을 혼합한 후 ALC를 첨가하여 4일간 배양하였다. 미생물에 의한 처리 효율 변화를 보기 위해 ALC와 미생물이 부착된 ALC(Bio-ALC)의 두 가지로 구분하여 실험하였으며, 반응매질로서 적용가능 여부를 판단하기 위해 환경공학적인 분석을 통해, ALC의 물리·화학적 특성을 파악하였고, 용출 실험으로 토양에 적용시 잠재유해성을 판단하였다.

회분식 실험에서는 미생물 고정화 실험을 통해 미생물 고정 담체로의 효율성을 알아보고 ALC와 Bio-ALC의 오염물질별 제거 특성을 파악하기 위해, 각 오염물질 용액에 두 매질을 적용하여 수평진탕교반기로 교반하면서 시료를 시간별로 분석하여 제거 특성을 알아보았다.

칼럼 실험에서는 직경 50mm, 높이 120mm의 Stainless 재질의 칼럼을 설치하여 각각 ALC와 Bio-ALC를 채워 침출수를 상향류 방식으로 통과시키면서 오염물질의 저감 경향을 보았다.

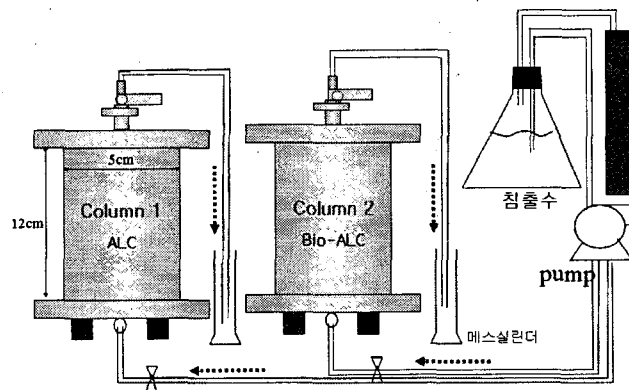


Fig. 1. Schematic Diagram in the study

3. 결과 및 고찰

3.1 ALC 특성분석

입경에 따른 영향을 알아보기 위하여 입경별 pH를 측정하였다. 2~4.75 mm에서 pH 9.03, 4.75~10 mm의 pH 9.07로 입경에 차이 없이 pH 9의 값을 나타내었다. 유해성 분석은 토양오염공정 시험법과 폐기물공정시험법의 두 방법에 따랐으며, 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Leaching tests of ALC

구 분		Cu		Cd		Pb		Cr ⁶⁺	
		기준	측정값	기준	측정값	기준	측정값	기준	측정값
폐기물공정시험법 (mg/L)	10~4.75mm	3	0.184	0.3	0.064	3	0.306	1.5	0.003
	4.75mm~	3	0.231	0.3	0.060	3	0.175	1.5	0.000
토양오염 공정시험법 (mg/kg)	10~4.75mm	50	2.68	1.5	0.38	100	3.03	4	2.38
	4.75mm~	50	0.64	1.5	0.39	100	3.07	4	0.00

3.2 회분식 실험

ALC에 혐기성 반응슬러지 내 미생물을 고정화시켜 주사 전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 측정하였다.

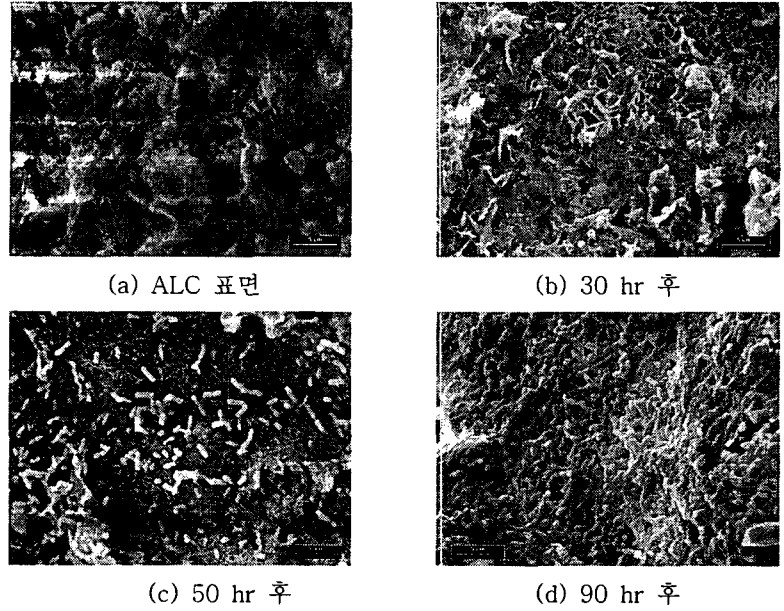


Fig. 2. Structures of Bio-ALC(SEM x3500)

두 매질에 대한 시간별 pH 변화, 중금속 농도를 측정하였다. pH는 초기에 빠른 변화를 보이며, 24 hr 이후에 ALC는 8.7, Bio-ALC는 7.8에서 평형을 이루는 것으로 나타났다. Table 2에는 제거반응을 1차 흡착반응으로 가정하고, 속도상수 k와 반감기를 구한 값이다.

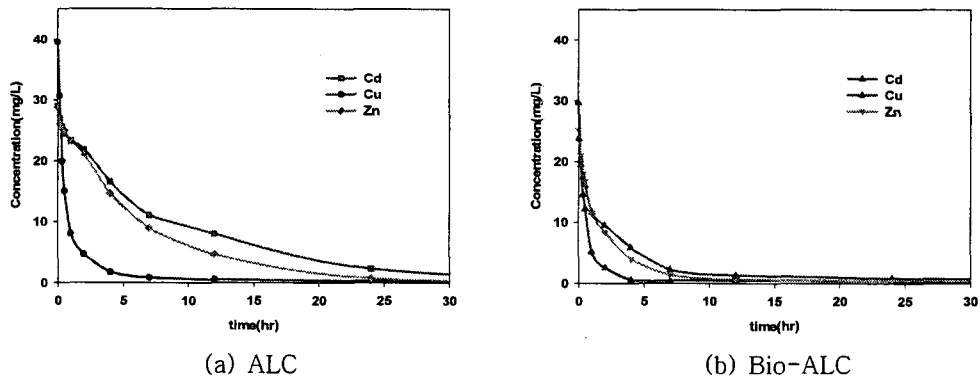


Figure 3. Batch experiment of heavy metal

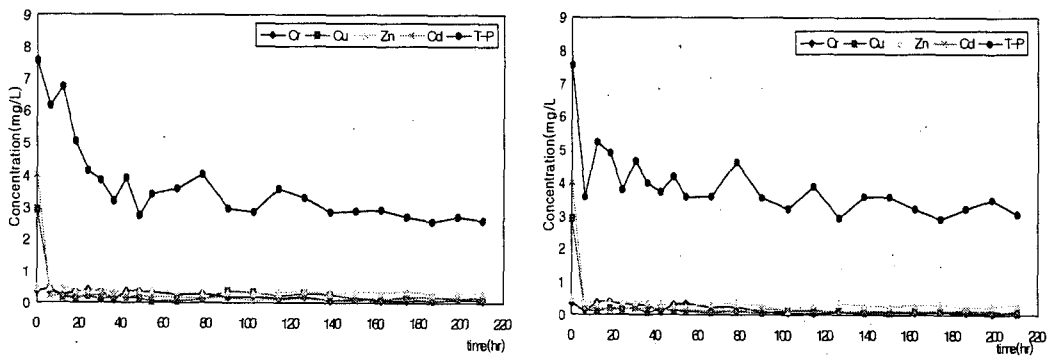
Table 2. First-order rate constants

구 분	First-order rate constant, k (hr ⁻¹)			Half-life, t _{1/2} (hours)		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
ALC	1.7824	0.1692	0.1374	0.3889	4.0959	5.0442
Bio-ALC	1.9448	0.6858	0.5511	0.3564	1.0108	1.2578

3.3 컬럼 실험

Column 1은 ALC로, Column 2는 Bio-ALC로 충전하였다. 유입유량은 5.6 cm^3/hr 으로, 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)은 18.86 hr로 운전하였으며, 시료 채취는 6시간 단위로 채취하였다. 시간에 따른 유출수의 pH 변화는 column 1에서 8.7, column 2가 8.3에서 평형을 나타내었다.

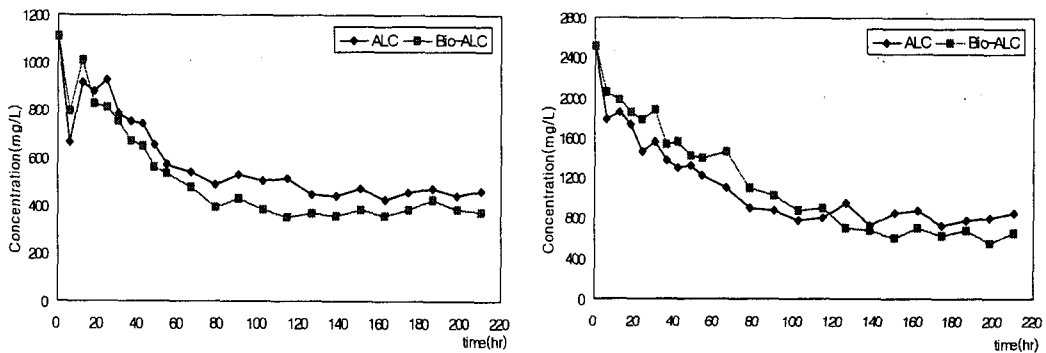
Cd, Cu의 초기농도가 각각 4, 3 mg/L로 나타났으나 6시간 후 두 컬럼에서 0.2~ 0.5 mg/L로 감소하였다. T-P는 유입 침출수 농도 7.6 mg/L에서 200 hr 후 column 1에서 유출농도 2.6 mg/L(제거율 66%), column 2에서 3.3 mg/L(제거율 57%)을 나타내었다. T-N은 column 1, 2 모두 시간에 따라 감소하는 경향을 나타내며, 제거율은 column 1이 60%, column 2가 64%로 미생물에 의한 차이가 명확히 나타나지 않았다. 또한 CODcr도 시간에 따라 감소하며, column 1이 67%, column 2가 74%의 제거율을 나타내었다.



(a) Column 1(ALC)

(b) Column 2(Bio-ALC)

Figure 4.7 Heavy metal and T-P of column experiment



(a) Variation of T-N

(b) Variation of CODcr

Figure 4.8 T-N and CODcr of column experiment

4. 결론

회분식 실험과 컬럼 실험을 통해 물리·화학적 특성을 파악하고 각 오염물질의 제거특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 갖기로 한다.

- 1) 물리·화학적 특성으로 ALC 비중은 2.2, 함수비 8.1%로 나타났으며, pH 9로 약염기성을 나타내었다.
- 2) 혐기성소화슬러지 내 미생물을 이용한 미생물 부착실험에서 주사현미경(SEM) 측정결

과 90 hr 이후에 ALC 표면에 Biofilm이 형성되었다.

3) 회분식 실험에서 ALC보다 Bio-ALC의 pH 평형이 0.5~1 낮은 값을 나타내며, 중금속 제거율은 ALC의 경우 12 hr 내 86%, Bio-ALC 95%를 나타내며, Zn, Cd의 반응상수 k 값은 ALC가 각각 0.1692, 0.1374 hr⁻¹, Bio-ALC 각각 0.6858, 0.5511 hr⁻¹로 4~5 배 큰값을 나타내었다.

4) T-P, T-N, CODcr의 제거율은 column 1에서 각각 66%, 60%, 67%로 나타났으며, column 2는 각각 57%, 64%, 74%를 나타내었다.

ALC와 Bio-ALC의 비교실험에서, Bio-ALC는 ALC보다 T-P를 제외한 중금속, T-N, CODcr 등에서 제거효율이 비교적 높게 나타났다. ALC는 표면에 미생물이 부착된 Bio-ALC를 형성하므로, 향후 반응벽체에서 새로운 반응물질로서 ALC와 Bio-ALC는 매우 유용할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 1) 김건하·송영우·구동영(2000) '미생물 토양 주입을 통한 Bio-barrier 형성', J. of Korean society of Environmental Engineering, Vol.22, No.5, pp. 927~938
- 2) 박상현·이재영(2003) '과쇄페타이어를 이용한 반응벽체에 관한 연구'
- 3) 최영화·오재일·배범한·이태호·류희옥(2003) '탈질환경에서 투과매질 내 생물벽체 형성', J. of Korean society of Environmental Engineering
- 4) Anushree Malik(2004) 'Metal bioremediation through growing cells', Environment International 30, pp. 261~278
- 5) G. A. James·B. K. Warwood·A. B. Cunningham·P. J. Sturman·R. Hiebert 'Evaluation of Subsurface biobarrier formation and Persistence' Proceeding of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research
- 6) N.Y. Mostafa(2005) 'Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete', Cement and Concrete Research 35, pp. 1349~1357
- 7) Y. Roh·S. Y. Lee·M. P. Elless(2000) 'Characterization of corrosion products in the permeable reactive barriers', Environmental Geology