

## Alec 반응을 이용하여 생성된 하수슬러지 고화물의 용출특성에 관한 연구

김남찬<sup>†</sup> · 김익현 · 엄민섭  
광운대학교 환경공학과

### A Study on the Extraction Characteristics of Sewage Sludge Solidification Material Using a Alec Reaction

Eek-Hyeon Kim<sup>†</sup>, Nam-Chan Kim, and Min-Seop Eom

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

The solidification experiments were performed to determine a soil improvable possibility of solidified sewage sludge generated from Alec reaction. Also, the concentration of heavy metals and various organics were analysed. The concentration of heavy metals were as follows; Cd : 0.7~2.2 ppm, Cr : 35.6~92.3 ppm, Cu : 110.8~187.1 ppm and Pb : 49.6~61.4 ppm. As the results, the concentration of heavy metals and various organics in solidified sewage sludge were satisfied to compost and soil improvement standards.

**Key words:** Solidification, Sewage sludge, Alec Reaction

#### 1. 서 론

하수처리장의 최종산물인 하수슬러지의 양은 전국적으로 하수관거의 보급 및 처리장의 증설에 따라 계속적으로 증가하고 있으나 대부분이 해양투기에 의존하고 있어 육상처리에 대한 관심이 증가되고 있다.<sup>1)</sup> 하수슬러지를 소각처리할 경우 기존의 소각시설을 이용하여 위생처리 및 안정화가 가능한 장점에도 불구하고 할 수 있는 장점이 있으나 유기성 폐기물의 자원화가 아니며 경제성 확보 및 민원발생의 가능성이 매우 높아 현실적으로 어려움이 많은 것이 사실이다. 유럽의 경우 하수슬러지를 퇴비 등으로 재활용하고 있으며 미국은 하수슬러지를 고형물 함량이 50% 이상이고 하수슬러지와 토양을 1:1로 혼합하면 복토재로 사용이 가능하도록 하고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 상대적으로 국토면적이 협소한 우리나라의 경우 주거지역과 멀리 떨어진 지역에 매립 부지를 확보하기가 어려우며 년 강우량 중 절반 이상이 7~8월에 집중하는 기후적인 특성상 단순 건조공정만으로는 하수슬러지의 친환경적 처리가 불가능한 것

이 사실이다. 따라서 복토재 등으로 재활용하기 위해 일반 양질토와 유사한 토질로 하수슬러지를 개량하는데 가장 적합한 것이 고화처리로 알려져 있다.

본 연구에서는 실제 각 지역의 하수처리장에서 채취한 하수슬러지를 이용하여 Alec 반응을 통해 고화처리한 후 생성된 최종 부산물의 복토재 및 부속토로서의 활용가능성을 판단하고자 중금속 용출특성을 고찰하였다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1. 시료

본 연구에 사용된 하수슬러지는 충남의 C시, O시 및 경북 P시의 하수종말처리장에서 각각 채취하였다. 각 지역에서 채취한 하수슬러지의 조성은 Table 1에서 보는 바와 같이 평균 유기물 함량 13.44%, 질소함량 1.01%, pH 6.57, 염분 0.18% 및 함수율 81.25%로 일반적인 조성을 보여 본 실험결과를 대부분의 하수슬러지에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 비소(As)나 수은(Hg)은 검출되지 않았으나 카드뮴(Cd), 크롬

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kimnc@kw.ac.kr

**Table 1.** Composition of sewage sludge collected from different area

Classification	Sampling Area			Mean.	
	'P' city	'C' city	'O' city		
Heavy Metals	As [ppm]	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cd [ppm]	7.4	2.0	1.8	3.7
	Cr [ppm]	68.2	35.0	31.8	45.0
	Cu [ppm]	325.8	482.4	230.4	346.2
	Pb [ppm]	175.0	74.7	118.7	122.8
	Hg [ppm]	N.D	N.D	N.D	N.D
etc.	Organic Compound [%]	12.2	14.6	13.5	13.4
	Organics/Nitrogens	13.8	12.5	13.7	13.3
	Nitrogen [%]	0.9	1.2	1.0	1.0
	pH (1:10)	6.4	5.9	7.4	6.6
	Salinity [%]	0.4	0.1	0.1	0.2
	Moisture Content [%]	79.8	80.3	83.7	81.3

\* N.D : Not Detected

(Cr), 구리(Cu) 등의 중금속이 다소 검출되었다.

6401F)를 이용하여 측정하였다.

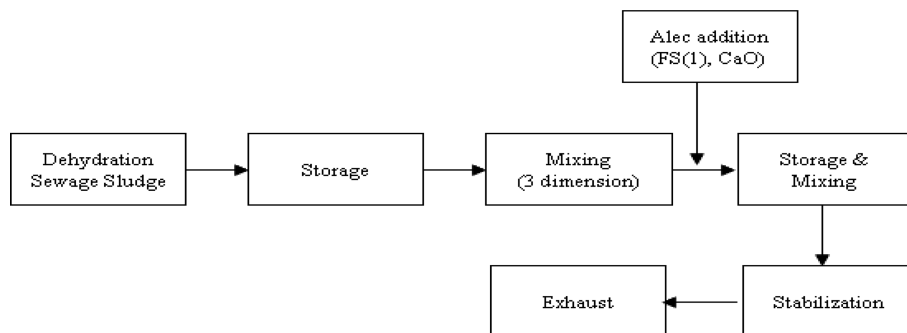
## 2.2. 실험과정

본 연구에서 Alec 반응의 고화처리 가능성을 확인하기 위해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 하수슬러지를 고화처리 하였다. 각 지역에서 채취한 하수슬러지를 탈수한 후 3차원 교반기를 통해 Alec과 탈수슬러지를 충분히 교반하여 야적 및 재교반을 통해 충분히 반응시켰다. 하수슬러지와 Alec을 혼합할 때 최적의 수분증발 효과를 유지하기 위해 부상식 3차원 믹싱을 통해 입도 다공성 및 공극을 부여하고 공기의 투과성을 향상시켜 수분증발뿐만 아니라 발열 및 적정 pH의 조정도 가능하도록 하였다. 하수슬러지와 Alec을 충분히 반응시킨 후 부속을 위해 안정화를 거친 후 최종적으로 고화물을 생성하였다. 생성된 고화물을 폐기물 공정시험법에 의해 용출시킨 후 중금속 농도를 AA(SHIMADZU, AA-

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 중금속 용출 특성

최적의 고화처리를 위해 하수슬러지 10kg당 황산제 일철 3 kg과 산화칼슘 1.2 kg(황산염 화합물 대비 강알칼리계 화합물 비 약 7:3)을 혼합하여 Alec 반응을 통해 생성된 하수슬러지 고화물의 중금속 용출특성을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 본 연구에 사용된 3개 지역 슬러지 모두 폐기물 공정시험법<sup>3)</sup>에 의거하여 용출실험을 수행한 결과 As와 Hg은 검출되지 않았다. Cd의 경우 P시가 2.2 ppm, C시가 0.9 ppm 및 O시가 0.7 ppm이 검출되었다. 하수슬러지를 부속도로 적용하기 위해서는 지역별 특성에 따라 '가' 또는 '나'등급의 적용이 가능한데 '가'등급의

**Fig. 1.** The flow diagram of experimental.

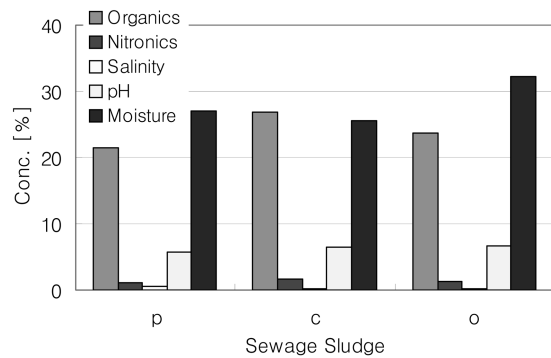
**Table 2.** The concentration of Heavy metal extracted from sewage sludge solidification

Classification	Grade		Sampling Area			Mean.	
	'Ga'	'Na'	'P' city	'C' city	'O' city		
Heavy Metals	As [ ppm]	≤50	≤50	N.D	N.D	N.D	-
	Cd [ ppm]	≤5	≤8	2.2	0.9	0.7	1.3
	Cr [ ppm]	≤300	≤370	35.6	62.4	92.3	63.4
	Cu [ ppm]	≤500	≤750	117.6	187.1	110.8	138.5
	Pb [ ppm]	≤150	≤225	49.6	54.1	61.4	55.0
	Hg [ ppm]	≤2	≤3	N.D	N.D	N.D	-

경우 Cd 5 ppm 이하, '나'등급의 경우 8 ppm 이하가 유지되어야 한다. 따라서 본 연구에서 얻어진 고화물의 Cd 농도는 기준을 만족하는 것으로 나타났다. Cr의 경우 P시가 35.6 ppm, C시가 62.4 ppm 및 O시가 92.3 ppm이 검출되었다. P시의 경우 고화처리 후 Cr의 농도가 감소하였으나 나머지 C와 O시의 경우 오히려 증가하였다. 하수슬러지의 종류에 따른 Cr 농도의 증감현상은 본 연구만으로는 정확한 이유를 알 수 없었으나 부숙도의 제품기준을 만족하므로 우선 무시하기로 하였다. Cr의 기준은 '가'등급이 300 ppm 이하, '나'등급이 370 ppm 이하이다. Cu는 P시가 117.6 ppm, C시가 187.1 ppm 및 O시가 110.8 ppm이 검출되었다. Cu의 기준은 '가'등급이 500 ppm 이하, '나'등급이 750 ppm 이하이다. Pb는 P시가 49.6 ppm, C시가 54.1 ppm 및 O시가 61.4 ppm이 검출되었다. Pb의 기준은 '가'등급이 150 ppm 이하, '나'등급이 225 ppm 이하이다. 따라서 본 실험에 사용된 Alec 반응에 의해 생성된 하수슬러지의 고화물은 등급의 차이는 다소 존재하나 모두 농경지, 목본과 수지, 화훼재배지, 묘목장 및 식용작물재배지등을 제외한 정원, 공원, 임야, 간척지, 개간지, 도로절개지, 폐광지 및 토양식생 복원 사업지 등의 토양개량제 또는 매립지복토용으로 충분히 사용가능할 것으로 판단된다.

### 3.2. 기타 유기물 함량 특성

Alec 반응을 통해 생성된 하수슬러지 고화물 내 질소 성분을 포함한 각종 유기물의 농도를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 유기물 함량의 경우 P시가 21.56%, C시가 26.85% 및 O시가 23.63%가 검출되었다. 부숙도 제품기준의 경우 유기물 함량은 최소 25% 이상이어야 한다. 유기물 대 질소의 비율은 P시가 20.14, C시가 16.88 및 O시가 17.24로 나타났으며 부숙도 제품기준은 50 이하가 유지되어야 한다. 염분의 경우 P시가 0.51%, C시가 0.2% 및 O시가

**Fig. 2.** The organics concentration of solidified sewage sludge.

0.19%였으며 부숙도 제품기준은 1% 이하이다. 하수슬러지 고화물의 질소함량은 각각 1.07%, 1.59% 및 1.37%였다. pH의 경우 5.75, 6.57 및 6.60로 나타났으며 함수율은 P시가 27.01%, C시가 25.49% 및 O시가 32.2%인 것으로 나타났다. 부숙도 제품기준의 경우 유기물 함량, 유기물 대 질소비 및 염분에 대한 기준만이 존재하며 본 연구에서 얻어진 하수슬러지 고화물의 경우 앞서 기술한 중금속 용출특성과 같이 모두 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 제품기준 중 부숙도의 경우 반응완료 후 실온보다 20°C이상의 재발열이 없는 것으로 볼 때 충분히 안정화되어 고화처리된 것으로 판단된다.

### 3.3. 복토재로서의 특성

일반적으로 고화처리된 하수슬러지를 복토재로 사용하기 위해서는 투수계수, 압축강도, 우수배제율 및 유실율과 같은 토질학적 기준의 만족이 매우 중요하다. 고화처리를 통해 함수율이나 악취에 대한 조절성이 뛰어나다 하더라도 토질학적 기준이 미흡할 경우 매립지 등의 지반약화에 따른 붕괴 또는 밀림현상에 의해 침출수 및 지하수 배제에 심각한 영향을 주게 된다<sup>4)</sup>. 본

**Table 3.** The characteristics of solidified sewage sludge for application as landfill cover

	Landfill cover standard	Solidified sewage sludge
pH		8.0~7.65
Moisture content [wt%]	≤50	42
NH <sub>3</sub> [ppm]		≤5
Permeability coefficient [cm/sec]	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-6</sup>	0.276×10 <sup>-5</sup>
Compressive strength [kgf/cm]	≥0.5	0.78
Rainwater exclusion [%]	41	60.3
Freezing/Thawing		≥7/Good
Loss rate in raining [%]	6	2

실험을 통해 생성된 하수슬러지 고화물의 복토재 적용 가능성을 판단하기 위해 토질학적 실험을 수행하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 Alec 반응을 통해 생성된 하수슬러지 고화물은 투수계수, 압축강도 등 복토재로서의 모든 기준<sup>5)</sup>을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 강우시 지반약화를 유발하는 유실율<sup>6)</sup>의 경우 일반 흙보다 약 3배정도 우수한 것으로 나타났다. 이는 하수슬러지를 고화 후 부숙하는 과정에서 발생하는 열과 야적된 하수슬러지 고화물의 무게가 일종의 다짐 역할을 하여 고화물 입자간의 결합력을 향상시켜 결과적으로 다져진 흙과 같은 물성을 유발하기 때문으로 판단된다.

## 4. 결 론

전국 각 지역에서 채취한 하수슬러지를 Alec 반응을 이용하여 고화처리한 결과 중금속 및 유기물 함량 등이 모두 부숙토 원료기준을 만족하는 것으로 나타났으며 반응완료 후 실온보다 20°C 이상의 재발열이 없는 것으로 볼 때 충분한 고화가 이루어진 것으로 판단된다. 또한 매립지 등의 복토재로 사용하기 위한 제품기준을 모두 만족하는 것으로 볼 때 Alec 반응을 통해 생성된 하수슬러지 고화물은 토양개량제 또는 매립복토재로 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 수도권매립지공사, '하수슬러지 고화물의 복토재 활용에 대한 타당성 조사보고서', 2001.
2. 김응호, 조진규, 조태룡, *한국물환경학회지*, 1999, 15, 277-282.
3. 김민길, 이증명, 박성훈, 현재혁, 김지훈, 정병두, *한국폐기물학회 춘계학술대회 초록집*, 2007, 1, 152.
4. 유남재, 김영길, 박병수, 정하익, *한국지반공학회*, 1999, 15(2), 43-71.
5. 송중희, 장연수, 류지협, 신동준, *한국지반공학회 추계 학술발표회 초록집*, 1998, 1, 329-337.
6. 김규문, *대한공업교육학회*, 1982, 7(2), 86-91.