

Alec 반응을 이용한 하수슬러지의 고화처리에 관한 기초 연구

김남찬[†] · 김익현 · 엄민섭
광운대학교 환경공학과

A Basic Study on the Solidification Treatment of Sewage Sludge Using a Alec Reaction

Nam-Chan Kim[†], Eek-Hyeon Kim, and Min-Seop Eom

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

The solidification experiments were performed to determine a applicable possibility of a alec reaction for eco-friendly treatment of sewage sludge. As the results, the solidification process was simple by the alec reaction because the manufacture process of solidification agents was not necessary. During the alec reaction, dehydration effects, a hydroxide generation, odors control and a virus elimination can expected in solidification process. The optimum mixing rate for solidification was a sulphate compounds 20~35 wt% and a alkali compounds 10~15 wt% on the weight basis of sewage sludge.

Key words : Solidification, Sewage sludge, Alec Reaction

1. 서 론

우리나라에서 가동중인 하수처리장은 2003년말 기준으로 242개소에 시설용량 20,885천톤/일이며 하수도 보급률이 78.8%로서 선진국인 스웨덴(2003년도 81%), 프랑스(76.6%)와 비슷한 수준이며 지난 1991년도의 하수도 보급률 33%에 비해 괄목할 만한 향상을 보이고 있다.¹⁾ 국내 하수처리장의 침전, 농축과정에서 발생하는 액상, 반고상 또는 고상의 하수슬러지는 2003년 기준 하루 평균 약 6,200톤이 발생하고 있으며 이 중 약 72%는 해양투기에 의존하고 있으며 소각 12%, 재활용 7% 및 매립 5%로 처리되고 있다. 하수슬러지의 경우 재활용이 가능한 유기성 폐기물임에도 불구하고 대부분 해양투기함에 따라 유기성 폐기물의 재활용을 권장하는 정부의 폐기물 관리정책에 반해 왔으며 96년 발효된 런던협약에 의해 하수슬러지의 해양투기가 2011년부터 사실상 불가능하게 됨에 따라 이를 대체할 육상처리방안에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.²⁾ 따라서 본 연구에서는 실제 하수처리장에서 채취한 하

수슬러지를 이용하여 Alec 반응을 통해 신규 고화제의 성능 및 향후 복토재 및 부속토로 활용가능한 고화물의 생성 가능성을 판단하고자 한다.

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.

2.2. 실험과정

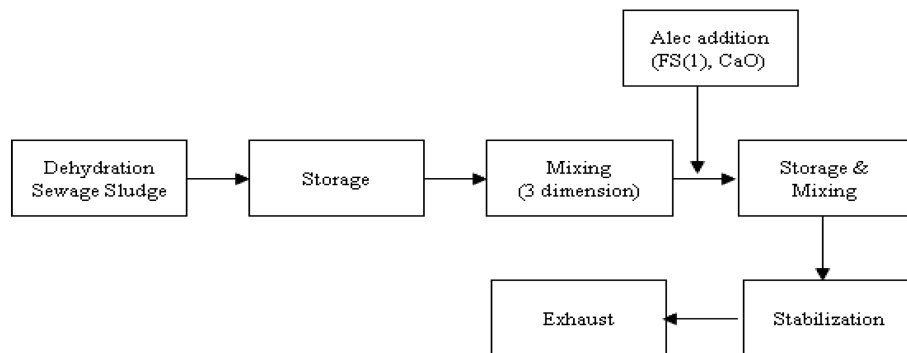
본 연구에서 Alec 반응의 고화처리 가능성을 확인하기 위해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 하수슬러지를 고화처리 하였다. 각 지역에서 채취한 하수슬러지를 탈수한

[†]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	
Organic Compound [%]	12.2	14.6	13.5	13.4
Organics/Nitrogens	13.9	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

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

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.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기존 고화처리와의 비교

기존의 황산염 화합물과 강알칼리 물질을 반응시켜 유기성 폐자원을 처리하는 방법은 먼저 화학반응을 통해 고화제를 제조한 후, 제조된 고화제를 유기성 폐자원에 도포하여 이를 고화시킨 후, 유기성 폐자원의 종류와 사용목적에 따라 복토재, 부속토 및 퇴비 등의 원료로 사용하였다. 그러나 이러한 기존의 고화처리 방법은 분쇄, 혼합, 방열, 2차 분쇄 및 2차 혼합단계 등의 여러 단계를 거쳐 고화제를 제조해야 하며 이를 다시 유기성 폐자원에 도포함에 따라 공정관리에 어

려움이 많은 단점이 있었다.³⁾ 또한 방열의 단계를 통해 유용하게 사용할 수 있는 열에너지를 낭비함에 따라 결과적으로 운전비용의 상승을 초래하며 이에 따라 유기성 폐자원의 재처리 단가를 상승시켜 경제적인 유기성 폐자원의 재처리를 어렵게 하는 요인으로 작용하였다. 또한 실 공정에서 사일로에 기존의 고화제를 저장할 경우 적절한 환경을 유지하지 못할 경우 하수슬러지와 같은 유기성 폐자원이 급격하고 강하게 고화됨에 따라 저장 사일로의 기능을 마비시키는 문제점이 자주 발생하였다. 그러나 본 연구에 사용된 Alec 반응을 이용한 고화처리의 경우 기존의 고화처리와는 달리 고화제를 제조하지 않고 하수슬러지에 황산염 화합물과 강알칼리계 분말을 동시에 투입하여 이때 발생하는 반응열을 통해 하수슬러지에 함유되어 있는 수분을 증발시켰으며 투입물(Alec)과 하수슬러지 간의 자연적인 화학반응을 통해 고화처리가 가능하였다. 또한 pH를 6~8로 조절하여 암모니아 발생을 효과적으로 억제함에 따라 민원발생의 원인인 악취의 제거가 가능하였다.

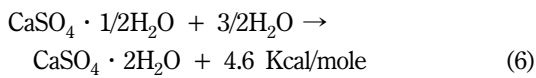
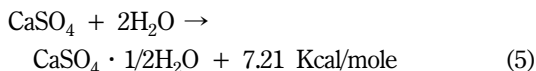
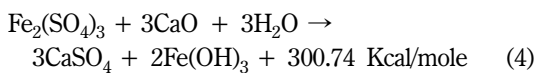
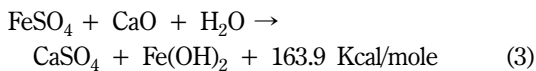
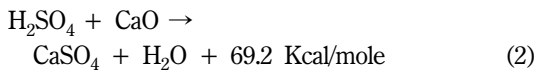
본 연구에 사용된 고화처리의 화학반응식은 다음과 같다.

1) Alec과 암모늄염의 반응



식 (1)의 반응을 통해 하수슬러지와 황산의 전 반응을 통해 하수슬러지 내의 암모늄염과 반응하여 황산암모늄의 생성. 알칼리 물질의 첨가 시 발생하는 암모니아와 같은 악취발생을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2) Alec의 주반응



식 (2)에서 (3)에서 보는바와 같이 황산과 생석회, 2가 황산철 및 3가 황산철의 반응에서 대략 70, 164, 300 Kcal/mol의 열이 방출되며 이에 따라 상당한 수분 증발 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 잔류수분으로 인한 수산화물의 생성(또는 산화철 생성·색상의 변화 유발)에도 효과적으로 작용하며 상기 반응으

로 인해 발생·유지되는 높은 발열온도는 미생물의 사멸을 가져와 하수슬러지의 부패를 방지할 것으로 판단된다.

3.2. 고화처리를 위한 적정 투입비율

고화처리를 위한 최적의 황산염 대비 강알칼리계 분말의 혼합비율을 도출하고자 황산제일철과 산화칼슘을 이용하여 조건에 따른 함수율 및 암모니아 농도를 측정하여 대표적인 결과들을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 전체적으로 황산제일철과 산화칼슘의 투입량이 증가할수록 함수율과 암모니아 농도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 산화칼슘의 경우 투입 하수슬러지 대비 10 wt% 미만으로 혼합할 경우 Alec 반응이 충분히 발현하지 못하여 약 10 wt% 미만의 수분건조효과만이 관찰되었다. 또한 황산제일철과 산화칼슘이 과다 투입될 경우 함수율과 암모니아의 농도가 감소되기는 하였으나 5 wt% 이상 과다 투입된 고화제의 양에 비해 그 효과는 매우 미미하였다.

본 연구 결과를 바탕으로 도출된 하수슬러지의 고화처리를 위한 최적의 투입비율은 하수슬러지 중량기준 100 wt%에 대하여 황산염 화합물 20~35 wt%, 강알칼리계 분말 10~15 wt%가 효과적인 것으로 나타났다. 고화처리를 위한 첨가제의 적정 투입비율은 실험결과 황산염 화합물 대비 강알칼리계 분말 6:4 또는 7:3의 비율을 유지하는 것이 적합하며 pH는 6~8을 유지해야 하는 것으로 나타났다. 적정 투입비율은 하수슬러지를 고화시키는 날의 기상조건 및 하수슬러지의 물성에 따라 다소 차이가 있으므로 하나의 투입비율을 선정하기

Table 2. Moisture and NH₃ concentration as mixing condition of solidification agent

No.	Solidification agents	Mixing amount [kg]	Mixing rate [wt%]	P Sludge	
				Moisture conc. [wt%]	NH ₃ conc. [ppm]
1	FeSO ₄	2	20:3	79.5	21.7
	CaO	0.3			
2	FeSO ₄	2.5	25:6	72.3	18.9
	CaO	0.6			
3	FeSO ₄	3	30:12	54.8	11.9
	CaO	1.2			
4	FeSO ₄	3.5	35:15	55.3	12.3
	CaO	1.5			
5	FeSO ₄	4	40:20	55.9	10.2
	CaO	2			

*All mixing tests based on 10 kg-sewage sludge.

에는 다소 무리가 있었다.

본 연구결과에 따르면 황산염 화합물은 강알칼리 분말과 산염기 반응을 통해 반응열을 생성할 수만 있다면 종류 및 입경의 크기에 제한이 없으나, 황산칼슘, 황산칼륨, 황산나트륨, 황산제일철 및 황산제이철로 구성되는 군으로부터 선택되는 하나 이상인 것을 사용하며, 그 중 부산물의 일종인 황산제일철을 사용하는 것이 자원의 재활용 및 비용절약의 측면에서 더욱 바람직할 것으로 판단된다. 강알칼리게 분말도 강산성을 띄는 황산염 화합물과 산염기 반응을 통해 반응열을 생성할 수 있는 것이면 종류 및 입경의 크기에 제한이 없으며 산화칼슘, 산화마그네슘, 생석회, 소석회, 석회석 및 시멘트 중에서 하나를 선택하여 사용이 가능할

것으로 판단된다.

3.3. 고화처리의 예

본 연구에서 Alec 반응을 이용하여 각 지역에서 채취한 하수슬러지를 고화처리한 예를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 (a)는 각 지역에서 채취한 하수 슬러지이고, (b)는 하수 슬러지에 적정비율의 황산염과 산화칼슘을 동시에 투입한 사진이다. 또한 (c)는 발열반응을 진행하는 사진이며 (d)는 반응 후 1일 경과 후에도 지속적으로 발열반응이 유지되는 것이며 (e)는 최종적으로 생성된 하수슬러지 고화물의 모습이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 기존의 처리방법과는 달리 고화제를 따로 제조하지 않고 하수슬러지에 직접투입하여 공정을

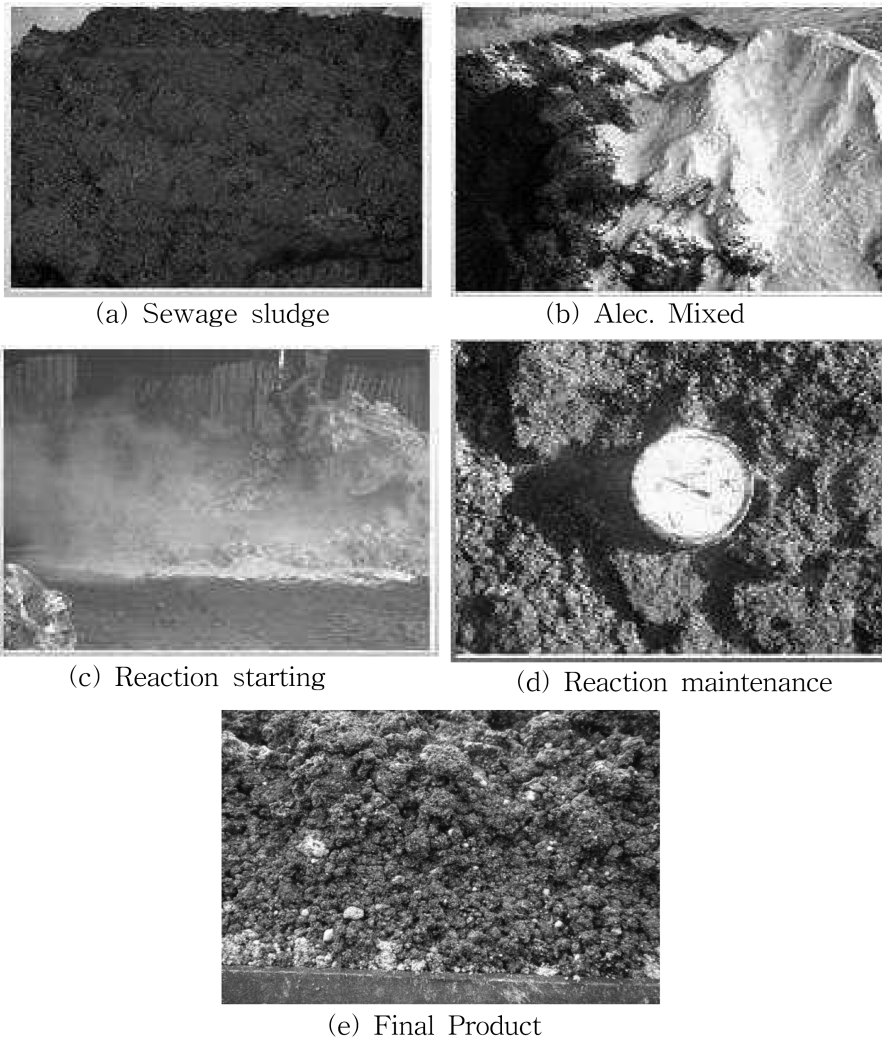


Fig. 2. The Examples of sewage sludge solidification using Alec Reaction.

단순화시켰으며 반응열에 의해 수분증발 및 온도유지가 가능하므로 앞서 기술한 함수율 감소 및 미생물 사멸에 따른 부패 방지 등의 효과를 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. 야적시간에 따른 변화

앞서 기술한 바와 같이 Alec 반응을 이용한 하수슬러지 고화처리의 최적조건인 30:12의 혼합비에서 생산된 하수슬러지 고화물을 이용하여 야적시간에 따른 물성변화를 관찰하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 야적시간이 경과할수록 함수율이 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. Alec 반응이 종료된 직후의 함수율은 20회의 실험결과 평균 약 53 wt%이었으며 야적된 후 72시간이 경과함에 따라 함수율이 약 35 wt%로 감소하였다. 이는 Alec 반응이 최초 하수슬러지와 고화제가 반응하여 발생하는 순간적인 발열에 의한 수분제거와 함께 후숙공정이 매우 중요함을 보여주는 결과이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 24시간이 경과한 후 고화처리된 대부분의 하수슬러지가 50 wt% 이하의 함수율을 보였다. 따라서 복토재 등으로 사용하고자 할 경우 함수율 50 wt% 이하의 조건을 만족해야 하므로 최소 24시간의 후숙공정이 요구될 것으로 판단된다. No. 7과 No. 16의 실험결과의 경우 다른 함수율 결과에 비해 매우 낮은 초기 함수율을 보였다. 이는 최초 고화제를 하수슬러지와 교반하는 과정에서 실험자의 착오로 인해 교반시간이 많아서 발생한 실험상의 오류로 판단된다.

암모니아는 대표적인 악취물질로서 민원발생 등 처

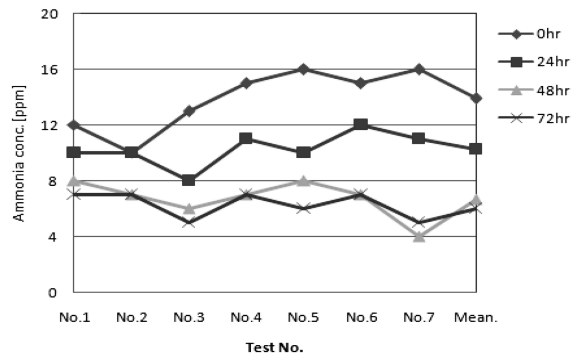


Fig. 4. The variation of ammonia concentration with maturation tim.

리시설의 운영에 영향을 주게 된다⁴). 유기성 폐기물의 부숙도⁵를 판단하는 기준은 함수율을 포함하여 pH, 온도 변화 등 여러 가지가 있으며 암모니아도 이에 해당된다. 고화제와의 혼합 후 야적시간에 따른 부숙도를 판단하고자 암모니아의 농도를 분석하였으며 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 부숙시간이 증가할수록 암모니아의 농도가 감소함을 볼 수 있었다. 그러나 48시간 이후에는 암모니아 농도의 감소폭이 매우 작아 부숙효과를 기대하기는 어려울 것으로 판단된다. 실험 No.에 따라 암모니아의 농도가 차이를 보이는 것은 야적 후 동일한 조건에서 암모니아 가스를 채취하는 것이 다소 어려웠기 때문으로 판단된다. 복토재 기준의 경우 암모니아 농도에 대한 기준은 현재 없으나 악취 등을 고려한 최적의 부숙기간은 48시간으로 판단된다.

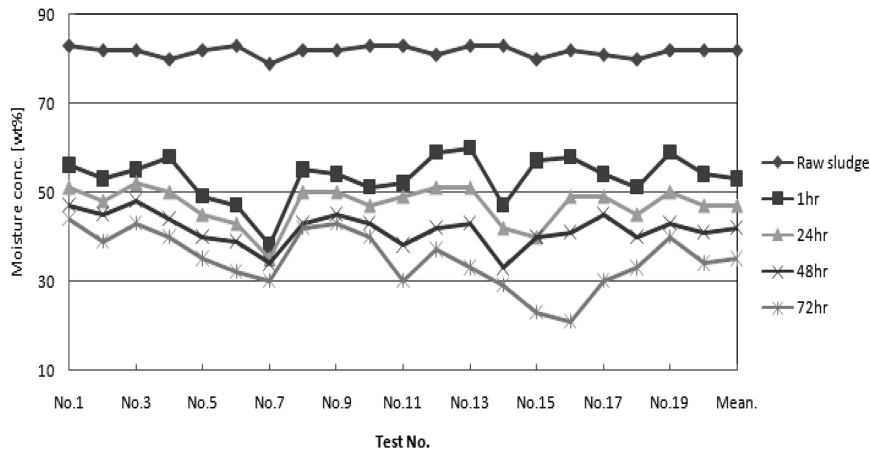


Fig. 3. The variation of moisture concentration with maturation time.

4. 결 론

Alec 반응을 이용하여 고화처리할 경우 하수슬러지에 직접 투입한 황산염 화합물과 강알칼리계 분말을 통해 수분증발, 잔류수분으로 인한 수산화물의 생성 및 악취 제어가 가능하며 반응동안 유지되는 발열온도에 의해 미생물의 사멸이 가능하여 하수슬러지의 부패방지를 충분히 기대할 수 있었다. 또한 최적의 고화처리를 위한 투입비율은 하수슬러지 중량기준 100%에 대하여 황산염 화합물 20~35%, 강알칼리계 분말 10~15%가 요구되는 것으로 나타났다. 또한 야적시간에 따른 부속도를 실험해본 결과 최적의 부속시간은 48시간으로 판단된다.

참고문헌

1. 최문영, *한국폐기물학회 심포지움 초록집*, 2004, 2, 81-111..
2. 김응호, 이기석, 조진규, *상하수도학회지*, 2000, 14, 303-310.
3. 허순철, 김광수, 송호면, 지재성, *한국폐기물학회 추계 학술대회발표논문집*, 1992, 77-78.
4. 박상철, 김진철, 이정갑, 이상현, 오화수, 조동일, *한국폐기물학회 춘계 학술대회발표논문집*, 2005, 1, 207-211.
5. 배재근, 조재경, 홍주경, 심혁성, *유기성자원학회 춘계 학술대회 초록집*, 1999, 1, 1-13.