

하수슬러지 고화처리에 의한 토목재료 개발에 관한 연구

남영우 · 박태욱 · 박주양* · 박경태**

승실대학교 환경화학공학과 · 한양대학교 토목공학과* · E&C Tech.**

I. 서론

'98년 말 현재 전국 하수슬러지 처리량은 연간 1,413천톤¹⁾으로 이중에서 육상매립지 793톤, 해양투기가 552천톤으로 약 95%이상이 육상매립과 해양투기에 의존하고 있고 재활용은 2.4%로 미미한 실정이므로 재활용 용도 개발에 따른 활성화가 요구되는 실정이다. 하수슬러지의 토목재료로서의 재활용과 관련하여 외국에서는 하수슬러지를 석회계열 및 시멘트 계열로 안정시키거나 다른 물질과 혼합하여 매립지의 토목재료로 사용한 예가 있다. 즉, 벨기에의 Flanders 지방에서는 슬러지를 모래와 혼합하여 쓰레기 매립장의 복토재 대용으로 사용하고 있고, 미국에서는 탈수슬러지를 석회로 안정화시켜 매립지의 복토재 대용²⁾으로 사용하고 있다. EPA에서는 하수슬러지를 쓰레기 매립장의 일일복토재 또는 최종 복토재의 자원으로서 사용을 적극 권장하고 있는 실정이다.³⁾ 그러나 생석회 계열을 사용하여 하수슬러지를 처리하면 pH가 증가되어 강알칼리에 의한 부식⁴⁾ 및 주변 토양을 통한 지하수 오염을 발생시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 생석회 만을 사용한 것과, 제조된 다성분 고화재를 사용하여 양생한 고화체를 비교하여 토목재료로 사용함에 있어서 환경에 미칠 수 있는 강알칼리 및 중금속 문제를 최소화하면서 재활용 가능성을 평가하여 하수슬러지의 재활용의 확대에 기여코자 한다.

II. 실험재료 및 방법

실험대상시료는 서울시에서 표준활성슬러지공정으로 처리되고 있는 G하수처리장의 1, 2차 슬러지를 혐기성 소화, 농축, 탈수과정을 거치고 나오는 탈수오니로 밀폐용기에 보관 후 물성을 알아 본 결과 함수비는 389~422%, pH는 7.5~8.2, VS/TS 34~39%을 각각 나타내었다. 실험대상시료를 처리하기 위하여 생석회 혼합비 20%("계열 1"로 명기)와 30%("계열 2"로 명기)인 경우에는 순도 99%인 B회사의 제품을 사용하였고, 생석회를 기초로 하여 플라이애쉬, pH조질재료, 중금속이온교환재료 등을 계량하여 자체 제조한 재료 25%("계열 3"로 명기)사용 하였으며 화학적 구성성분은 CaO 53.2%, SiO₂ 18.8%, Al₂O₃ 18.8%, Fe₂O₃ 5.0%, SO₃ 0.647% 및 기타 3.6%이다. 이를 이용하여 탈수오니를 처리한 후 개량일에 따른 pH, 함수비, 압축강도 및 용출시험을 실시하였다. pH, 함수비 및 용출시험은 폐기물 공정시험법에 의하여 실시하였으며 여기에서 용출시험은 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy, Labtam, 8440)을 사용하였고, 압축강도는 토질시험공정⁵⁾에 따라 실시하였다.

남영우, [연락처] (우)156-743 서울특별시 동작구 상도 5동 1-1 승실대학교 환경화학공학과, Tel. : 02-820-0626, Fax : 02-812-5378, E-mail : ywnam@saint.soongsil.ac.kr

III. 결과 및 고찰

1. pH 변화

pH의 경시변화를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 결과 “계열 1”보다 “계열 2”가 pH가 약간 높은 경향을 보이고 있으나 모두 pH가 12.1~12.8의 범위로서 강알칼리의 상태를 유지함 따라 고화물을 토목재료인 성토재로 이용할 경우 주변 토양을 거친 지하수 오염을 예방할 수 있다. “계열 3”인 경우에는 양생 1일째 pH가 12.4로 가장 높았고 양생 4일째 pH가 12.3으로 증가되다가 양생 5일째 급격히 감소되어 이후부터는 pH가 8.1~9.1의 상태로 유지됨에 따라 양생 5일 이후에 토목재료인 성토재로 이용할 경우 pH로 인한 주변의 환경오염은 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 함수비 변화

함수비의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 실험 결과 “계열 1인” 경우 양생 1일째 163.5%에서 양생 14일째는 50.5%로 69%의 감소를 보였고, “계열 2”인 경우 양생 1일째 128.3%에서 양생 14일째 27.8%로 78%의 감소를 보였다. 그리고 “계열 3”인 경우 함수비는 양생 1일째 152.7%에서 양생 5일, 7일, 11에서 약간 증가 하지만 양생 14일째의 함수비는 27.9%로 81.3%의 감소를 보였다. 이는 수화반응에 의한 함수비의 감소로 토목재료로서 이용시 취급이 용이 할 뿐 아니라 압축강도 증가에 기여할 것으로 판단된다.

3. 압축강도 변화

양생일수에 따른 압축강도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 실험 결과 “계열 1”의 경우 양생 1일째 압축강도가 0.3kg/cm²에서 양생 7일째 압축강도가 급격히 증가하여 양생 14일째는 1.6kg/cm²으로 5배 증가를 보였고, 마찬가지로 “계열 2”의 경우 양생 1일째 압축강도가 0.3kg/cm²에서 양생 7일째 압축강도가 급격히 증가하여 양생 14일째는 2.0kg/cm²으로 6배 증가를 보였다. 또한 “계열 3”의 경우 양생 1일 압축강도가 0.6kg/cm²으로 3일까지는 완만하게 증가하다가 7일째 급격히 상승하여 개량 14일 압축강도가 5.6kg/cm²으로 9배까지 상승하였다. 이는 Fig. 4의 양생기간별 SEM-EDS결과에서 볼 수 있듯이 Si, Al 및 Ca가 관련이 되어 고형화가 이루어 졌고, Fig. 5의 생성물의 결과로서 CSH, CAH 및 Ettringite의 생성됨으로서 압축강도를 증가의 요인으로 판단된다. 고화체를 토목재료인 성토재로서 사용하기 위해서는 1.0kg/cm²이상의 강도가 요구됨⁶⁾에 따라 개량 3일 후에는 토목재료로의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

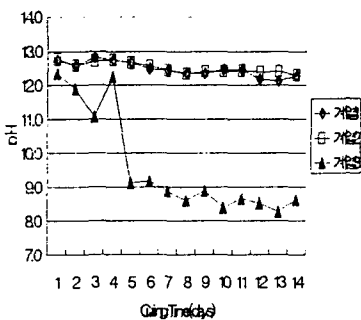


Fig. 1. Relationships between pH and curing times.

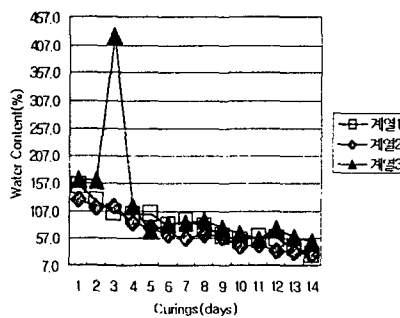


Fig. 2. Relationships between water contents and curing times.

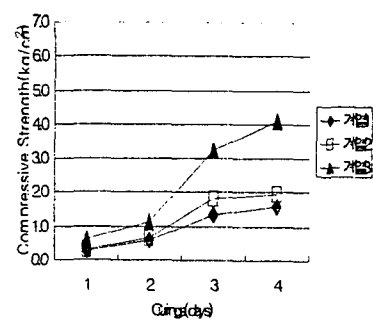


Fig. 3. Relationships between compressive strength and curing times.

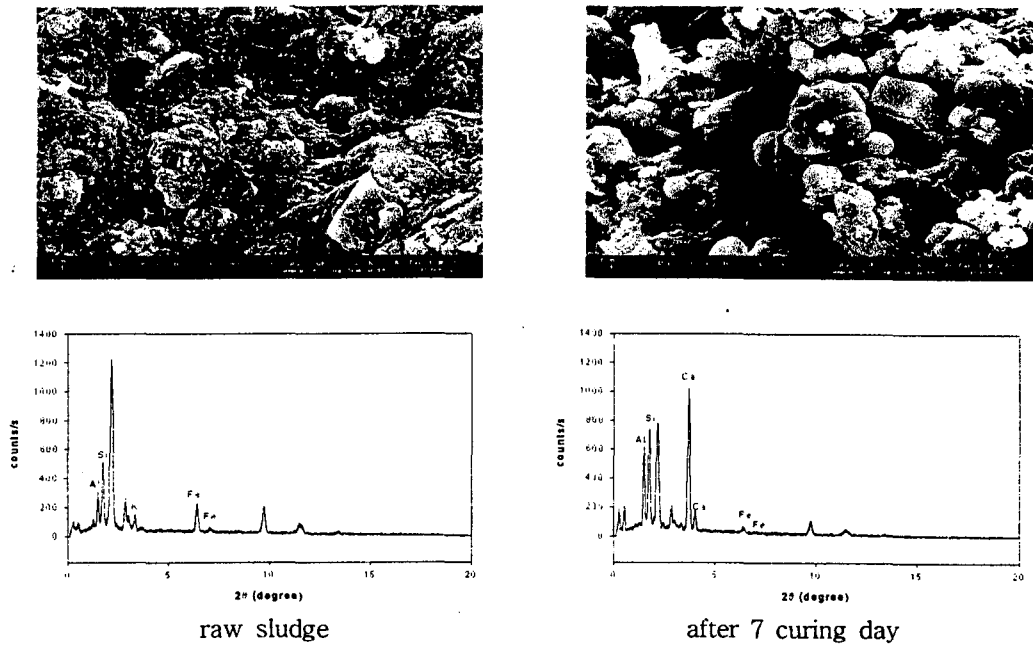


Fig. 4. Relationships between SEM-EDS and curing times

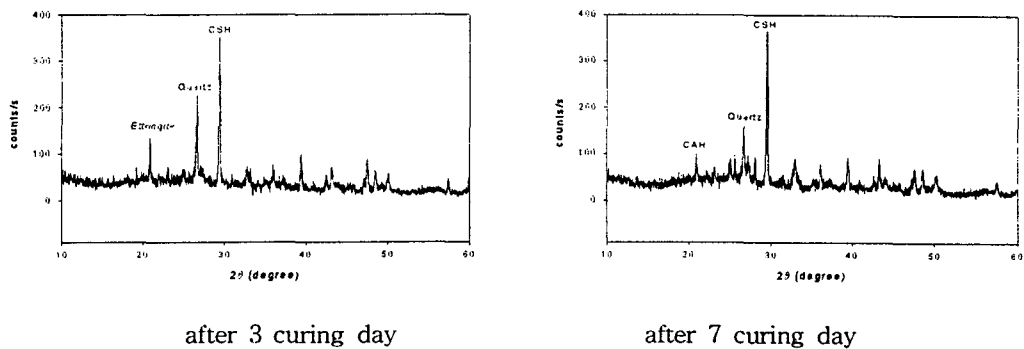


Fig. 5. Relationships between XRD and curing times

4. 환경유해성 평가

양생일수에 따른 용출실험 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험 결과 "계열 1"과 "계열 2"의 경우 Cu의 용출이 양생기간에 따라 증가하는 경향을 보였으나 "계열 3"의 경우는 Cu가 감소하는 경향을 보였는데 이는 이온교환반응재료에 의한 이온교환반응에 기인한 것으로 이것을 토공재료로 이용시 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Relationships between Leaching and curing times(mg/L wet basis)

Items		Cd	Cr	Cu	Pb
계열1	3 day	0.001	0.007	2.37	0.002
	7 day	0.001	0.013	3.21	0.045
	14 day	N.D.	N.D.	3.67	0.002
계열2	3 day	N.D.	0.005	1.95	0.002
	7 day	0.001	0.005	2.30	0.036
	14 day	N.D.	0.006	3.39	N.D.
계열3	3 day	0.001	0.007	2.30	N.D.
	7 day	N.D.	0.011	1.60	N.D.
	14 day	N.D.	0.007		N.D.

IV. 결론

하수슬러지를 생석회 및 제조된 고화재로 고화시켜 토공재료서의 재활용 가능성을 연구한 결과 생석회 20~30%를 혼합 개량한 pH가 12~13의 강알칼리로 토목재료로 이용시 부식 및 토양을 거친 지하수의 오염이 예상되고 용출실험결과 Cu의 농도가 증가함에 따라 생석회만으로 처리할 경우는 고려의 여지가 있다. 그러나 제조된 고화재 25%를 혼합하여 양생 5일 이후에는 pH가 8.1~9.1로서 환경에 미치는 영향이 미미할 것이고, 함수비가 약 60%로 취급이 용이 할 것으로 판단된다. 또한 압축강도가 양생 3일 쯤 1.1kg/cm²으로 작업차량의 진입이 가능하고 고화체의 용출실험 결과 Cu가 감소되는 경향을 보이고 환경기준에 만족하고 있음에 따라 토목재료인 성토재로 사용해도 무리가 없을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 환경부, '98하수도 통계(1999).
- 2) Rhew, R.D. and Barlaz, A., Effect of Lime-Stabilized Sludge as Landfill Cover on Reuse Decomposition, Jour. of Env. Eng. 99, 499~505(1995).
- 3) U.S. EPA, 40CFR Parts 503, Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge Rule, Federal Register, Vol. 58, No. 32, pp 9247~9420(1993).
- 4) 日本石灰協會, 石灰系安定材(固化材)技術資料(1993).
- 5) 김용필, 정경환, 송용선, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사(1997).
- 6) 이승무 외 4인, 유해중금속함유 슬러지의 고화처리에 관한 연구, 한국폐기물학회지, Vol. 6, No. 2(1989).