

고형화 슬러지의 공학적 특성 및 현장적용성 분석

Engineering characteristics and field demonstrations of solidified sludges

고용국¹⁾ Yong-kook, Koh

¹⁾ (주)퓨트라 사장, President, Futura Co., Ltd

SYNOPSIS : The special amendment agent used in this study is mainly composed of inorganic metal salts such as sodium chloride, magnesium chloride, potassium chloride, calcium chloride, thus is friendly to the environment, and has a function of soil-cement-agent solidification. In this study, a series of laboratory and field experiments including unconfined compressive strength, permeability, pH test, constituent analysis, leaching test were carried out to analyse engineering and environmental characteristics of solidified sludge. The results of this research showed that the solidified sludge could be efficiently used in covering, filling, and planting materials.

Keywords: Amendment agent, Solidification, Sludge, Engineering, Field, Treatment

1. 서론

슬러지에는 광산슬러지, 산업슬러지, 하수슬러지, 상수슬러지, 퇴적슬러지 등이 있다. 이들은 매우 연약하고 유기물질이나 중금속 등으로 오염되어 있는 경우가 많다. 이와 같은 슬러지를 처리하고자 할 경우에는 함수비가 높고 유해물질이 존재하기 때문에 이의 처리 및 안정을 위하여 고형화 및 안정화 작업이 요구된다. 슬러지의 처리방법에는 매립, 소각, 재활용 등이 있는데 많은 슬러지를 매립방법으로 처리하고 있다. 슬러지를 폐기물 매립지에 매립하는 경우에는 현재는 별도 처리를 하지 않고 직매립을 하고 있으나 향후에는 1차 처리를 하여 함수비를 저감시킨 다음에 매립을 하여야 한다. 1차 처리로는 고형화, 소각 등의 방법이 있으나 소각에 비하여 고형화가 경제적인 것으로 나타났다. 슬러지를 재활용하고자 하는 경우에는 재활용 목적에 따라 슬러지를 고형화하는 것이 필요하게 된다.

본 연구에서는 10년 이상의 개발을 통하여 특수하게 고안된 친환경적 고화제를 이용하여 슬러지를 고형화하여 이의 현장시험시공 특성 및 공학적, 환경적 특성을 살펴보았다. 이를 토대로 슬러지의 고형화 및 재활용 방안을 모색하였다. 고형화 된 슬러지의 공학적 및 환경적 특성을 살펴보기 위하여 일축압축 강도시험, 투수시험, 함수비시험, pH시험, 성분분석, 용출시험 등을 실시하였다. 시험결과 특수하게 고안된 친환경적 고화제로 처리된 슬러지는 소정의 강도, 투수계수, 환경 기준을 만족하여 매립지의 복토재, 식생재, 성토재 등으로 재활용할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 고화제의 고화 원리

본 연구에 사용된 고화제는 고함수비, 고유기물질, 오염물질이 함유된 슬러지 및 토양을 개량하기 위하여 개발된 것으로 산화칼슘, 2산화규소, 산화알루미늄, 산화제2철, 산화마그네슘, 산화유황, 산화칼륨, 무

수석고, 탄산나트륨, 구연산 등의 성분을 조합한 것이다. 사용시에는 시멘트, 플라이애쉬에 고화제를 약 1%정도 첨가한다.

슬러지에 시멘트, 플라이애쉬 및 고화제를 첨가하면 슬러지의 수분과 접촉하여 수화반응 및 포졸란반응이 발생하고 첨가제에 존재하는 양이온 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} 등과 이온교환반응을 일으키게 되며 결합 못한 중금속은 침상결정의 공극속에 잡혀 불용출화 된다. 고화제는 후민산, 유기산, 지방산 등 슬러지 주위에 둘러싸인 고화저해 분자의 쌍극자 모멘트를 환원해 분열을 일으키게 한다. 슬러지 입자사이에는 에트링가이트(ettringite)의 침상결정구조가 생성되어 토립자를 서로 연결하여 활성탄, 제올라이트 등과 같은 오염흡착기능을 가지게 된다. 플라이애쉬는 고온에서 소성되어 $SiO_2 \cdot Al_2O_3$ 가 활성화된 미세입자의 결정이 공극(porous)의 이중구조로 형성되어 있으며 중심의 핵과 바깥의 외피가 침상결정으로 연결되어 있는 2중구조로 되어 있어 중심의 핵과 외피의 사이가 커다란 공극으로 되어 있어서 수분이 쉽게 들어가 공극을 수분으로 채울 수 있기 때문에 고풍수비의 오히려 수분을 빨리 흡수하여 유동성을 없앨 수가 있다.

고화반응이 진행되는 과정에 응결력이 강화되어 불용성을 증가시켜 안정성이 높은 고화체가 된다. 고화체는 통기성, 투수성이 개량되어 비표면적이 약 $200m^2/g$ 로 매우 크게 증가하여 오염물질의 흡착, 용출방지, 탈취 등의 효과를 동시에 발휘하게 된다.

3. 고형화 슬러지의 공학적 특성

본 연구에서 사용한 고화제로 처리된 슬러지의 공학적 및 환경적 특성을 살펴보았다. 공학적 특성으로는 일축압축강도시험, 투수시험, 함수비시험 등을 실시하였고, 환경적 특성으로는 pH시험, 성상분석, 용출시험 등을 실시하였다. 이 중에서 대표적으로 공학적 특성으로는 일축압축강도, 환경적 특성으로는 용출특성을 언급하고자 한다. 하수슬러지, 시멘트, 플라이애쉬, 토분, 고화제를 혼합한 시료에 대한 일축압축강도 특성을 살펴보면 표 1과 같다. 표에서와 같이 시간이 경과함에 따라 일축압축강도가 증가함을 알 수 있으며 최종적으로 약 $10kg/cm^2$ 의 값을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 하수슬러지, 시멘트, 플라이애쉬, 고화제를 혼합한 시료에 인위적으로 구리, 크롬, 납을 각각 $10,000mg/kg$ 을 집어넣어 혼합시료의 중금속 흡착성능을 살펴보기 위하여 용출시험결과를 표 2에 제시하였다. 표에서와 같이 고화제로 처리된 슬러지에 중금속을 인위적으로 넣은 결과 약 95%이상의 중금속이 흡착 및 제거됨을 알 수 있다.

표 1. 고형화 슬러지의 강도특성

고형화후 강도 (kg/cm^2)				
3일 경과	7일 경과	14일 경과	21일 경과	28일 경과
0.63	4.64	10.1	-	8.28

표 2. 고형화 슬러지의 오염용출특성

오염물질	고형화후 용출농도 (mg/kg)					초기농도(mg/kg)
	3일 경과	7일 경과	14일 경과	21일 경과	28일 경과	
Pb	0.2	2.55	0.41	0.37	0.28	10,000
Cu	26.0	16.0	22.8	22.8	21.8	
Cr ⁶⁺	620	314	265	228	167	

4. 고형화 슬러지의 현장적용성 분석

슬러지의 고형화 작업은 현장작업전에 대상물의 성분을 분석하고 실내시험을 통하여 배합비를 선정 한 후에 함수비, 목표강도, 양생시간을 사전에 설정하여 야만 경제적이고 안정된 고화를 얻을 수가 있다. 본 연구에서는 슬러지의 고형화에 대한 시험시공을 실시하였다. 시험시공은 하수슬러지 준비, 첨가제 계량 및 혼합, 슬러지와 토분 혼합, 자연상태 양생, 성토재 재활용, 식생토 재활용 등의 순서로 진행을 실시하였다. 이상과 같은 공정을 거쳐 완성된 슬러지 고화체는 매립지의 복토재, 식생재, 성토재 등으로 재활용할 수 있는 것으로 나타났다.



그림 1. 하수슬러지 준비

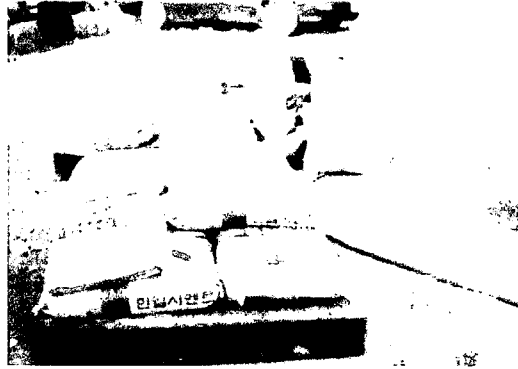


그림 2. 첨가제(시멘트, 플라이애쉬, 고화제) 준비



그림 3. 슬러지와 첨가제의 인력 혼합



그림 4. 슬러지와 첨가제의 장비 혼합



그림 5. 고형화 슬러지의 성토재로의 재활용

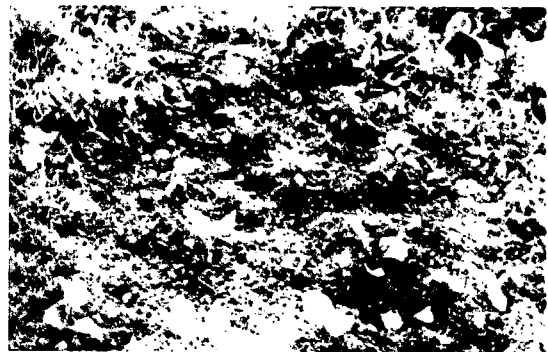


그림 6. 고형화 슬러지의 식생재로의 재활용

5. 결론

본 연구에서는 특수하게 고안된 친환경적 고화제를 이용하여 슬러지를 고형화하여 이의 현장시험시공 및 공학적, 환경적 특성을 살펴보았다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- 1) 고화제로 처리된 슬러지 고화체는 시간이 경과함에 따라 일축압축강도가 증가하고 최종적으로 약 10kg/cm^2 의 값을 나타냈다.
- 2) 고화제로 처리된 슬러지에 중금속을 인위적으로 넣은 결과 약 95%이상의 중금속이 흡착 및 제거되어 고화체는 중금속 처리효과가 뛰어난 것으로 나타났다.
- 3) 시험시공결과 본 고화제로 처리된 슬러지 고화체는 매립지의 복토재, 식생재, 성토재 등으로 재활용할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Futura Co., Ltd, Scientific approaches to the soil environment.
2. Futura Co., Ltd, ECO-CURE Process.
3. A. K. Minocha, Neeraj Jain and C. L. Verma(2003), Effect of organic materials on the solidification of heavy metal sludge, Construction and Building Materials, Volume 17, Issue 2, March 2003, Pages 77-81.
4. R. Cioffi, M. Lavorgna and L. Santoro(2002), Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge, Journal of Hazardous Materials, Volume 89, Issues 2-3, 28 January 2002, Pages 165-175.
5. X. D. Li, C. S. Poon, H. Sun, I. M. C. Lo and D. W. Kirk(2001), Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified/stabilized waste materials, Journal of Hazardous Materials, Volume 82, Issue 3, 20 April 2001, Pages 215-230.
6. S. Valls and E. Vazquez(2000), Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement, Cement and Concrete Research, Volume 30, Issue 10, October 2000, Pages 1671-1678.
7. R. D. Spence, T. M. Gilliam, C. H. Mattus and A. J. Mattus(1999), Laboratory stabilization/solidification of surrogate and actual mixed-waste sludge in glass and grout, Waste Management, Volume 19, Issues 7-8, November 1999, Pages 453-465.
8. A. Andres, R. Ibanez, I. Ortiz and J. A. Irabien(1998), Experimental study of the waste binder anhydrite in the solidification/stabilization process of heavy metal sludges, Journal of Hazardous Materials, Volume 57, Issues 1-3, January 1998, Pages 155-168.
9. Gordon C. C. Yang and Kai-Lun Kao(1994), Feasibility of using a mixture of an electroplating sludge and a calcium carbonate sludge as a binder for sludge solidification, Journal of Hazardous Materials, Volume 36, Issue 1, January 1994, Pages 81-88.