

PARAFIX를 이용한 하수슬러지 고형화 방안 Solidification of Sewage Sludge by PARAFIX

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 조진우²⁾, Jin-Woo Cho, 임재상³⁾, Jae-Sang Lim, 김상길⁴⁾, Sang-Gil Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Dept. of Civil Eng., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT

³⁾ (주) 한미 상무이사, Managing Director, Han Mee Co., Ltd

⁴⁾ (주) 상길테크 대표, President, Sang Gil Tech.

SYNOPSIS : Increased quantities of sewage sludge coupled with stringent regulations make it important to develop alternatives for residuals management. The use of PARAFIX as a solidifying agent for sewage sludge was investigated by several tests. Basic physicochemical characteristics, strength, permeability, and leaching characteristics were examined. PARAFIX was found to be very effective in reducing permeability, increasing strength, and immobilizing heavy metals. Based on the tests, it is ascertained that PARAFIX enhances the solidification of sewage sludge. Also sewage sludge solidified with PARAFIX may be used effectively for construction materials.

Key word : PARAFIX, Solidification, Sewage sludge, Construction materials

1. 서론

슬러지란 하·폐수처리 과정에서 수중의 오탁물질이 침전해서 생긴 진흙과 같은 상태의 물질을 말하는데, 슬러지는 오염농도가 높고 함수비가 많아서 취급이나 운반 및 처리에 어려움이 있다. 현재 하·폐수 슬러지 처리방안으로는 매립, 소각, 해양투기, 퇴비화, 토양살포, 안정화/고형화처리 등의 여러 가지 방안이 제시/실시되고 있으나, 각 방법마다 고유의 장단점이 있다. 현재 대부분의 하수슬러지는 매립지에 최종 처분되거나 해양투기 되고 있는데 슬러지의 단순매립은 매립지 내 작업차량 진입곤란, 매립부지의 과다소요, 침출수 발생, 지하수오염 및 지반의 불안정화 등 많은 문제점을 내포하고 있다. 또한 해양투기 역시 슬러지에 포함되어 있는 구리, 납 등의 중금속 오염과 부영양화를 가져와 적조현상을 일으킬 위험이 크다. 또 다른 대안인 슬러지 소각방법은 부피의 감량화 측면에서는 매우 효율적이지만 처리비용의 과다증가 및 소각시 발생하는 대량의 대기오염(SOx, NOx, Dioxin 등)을 처리해야한다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 PARAFIX를 이용한 하수슬러지 적정처리방안을 제시하기 위하여 고형화된 슬러지의 물리화학적 특성, 강도, 투수, 용출특성, 그리고 미시구조를 분석하였다.

2. PARAFIX의 고형화 이론

고형화 기술은 중금속 등의 오염물질을 함유하는 슬러지 등을 안정화시키는 방법으로 최종적으로 고체상의 구조체로 고정시키거나 일정한 피막을 형성하여 외부로의 중금속 용출을 억제 및 차단시키는 동시에 폐기물의 역학적 특성을 개선하는 처리방법이라 할 수 있다. 중금속 등의 오염물질을 포함하는 폐기물의 처리에 사용되는 고형화 기술은 사용되는 혼합재에 따라 무기성공정과 유기성공정으로 분류된

다. 무기성 고화재료는 대개 시멘트 반응성을 가지고 있는 물질로서 적절한 함수율의 무기성 슬러지의 고형화에 적합하다. 유기성공정은 높은 비용과 적용상의 문제점 때문에 무기성공정에 비해 제한적으로 사용되고 있으며 특정 방사성 폐기물이나 유기성 오염물질을 처리하는데 이용되고 있다. 특히 포졸란 및 시멘트 고형화로는 처리할 수 없는 용해성이 높은 독성물질을 효과적으로 고형화할 수 있는 장점이 있다. 파라핀과 시멘트를 이용한 본 고화제는 무기성 고형화를 응용하면서 유기성 고형화를 함께 적용시킨 고화제이다. 즉 무기성 고화제인 시멘트의 여러 장점을 그대로 이용하는 동시에 시멘트의 한계를 보완하기 위하여 파라핀을 이용하여 유기성 고형화로 오염물질을 고형화 시키는 방법이다. 이를 위하여 고행 파라핀을 수용성으로 포화시켜 에멀전화하여 시멘트와 함께 사용함으로써 시멘트의 물리적 및 화학적반응 외에 파라핀의 작용으로 시멘트의 반응을 촉진 및 지속화하며 피막을 형성하여 조직이 치밀해지고 고결되면서 중금속 용출억제 및 역학적 성질이 개량되게 된다.

3. 실험개요

3.1 사용시료

본 연구에 사용된 하수슬러지는 경기도의 K하수처리장에서 발생하는 슬러지를 사용하였으며 고화제로는 파라핀과 시멘트가 주성분인 PARAFIX를 사용하였다. 실험에 사용한 슬러지 케익은 표준활성오니법에 의해 슬러지를 호기성 미생물에 의해 처리한 후 탈수한 슬러지로서 표 1과 같은 성질을 가지며 국내 하수슬러지를 대표한다고 볼 수 있다.

표 1. 하수슬러지의 기본 특성

시료	함수비(%)	비중	200번체 통과량(%)	통일분류	유기물함량 (%)	pH
슬러지	460	1.89	38.79	Pt	38	8.1

3.2 시험 종류 및 방법

PARAFIX를 이용한 하수슬러지 처리 기술의 적용성을 알아보기 위하여 본 연구에서는 pH, 용탈, 강도, 투수, 용출, 미시구조 특성을 분석하였다.

4. 분석 및 고찰

4.1 pH 특성

슬러지의 안정화는 첨가제의 주입량을 충분히 가하여 오랫동안 보관 후에도 요구 pH 이하로 감소하지 않아 병원균의 사멸과 부패방지, 냄새를 억제할 수 있어야 하는데, 최소한 pH 12 이상으로 2시간 이상 유지시킬 수 있을 때 이러한 효과를 얻을 수 있다(Shumm & Heydinger, 1994). 본 실험에서는 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 안정화 정도를 살펴보기 위하여 시간에 따른 pH 변화 특성을 파악하였다. 실험결과 원시료인 슬러지의 pH는 8정도로 약알카리성을 나타내었으며, PARAFIX를 혼합한 슬러지는 24시간 후에도 대략 pH 12를 만족하여 병원균의 사멸과 부패방지, 냄새 억제효과를 나타낼 것으로 예상되며 목표 pH인 12를 만족하는 PARAFIX 배합비는 20% 이상임을 알 수 있다.

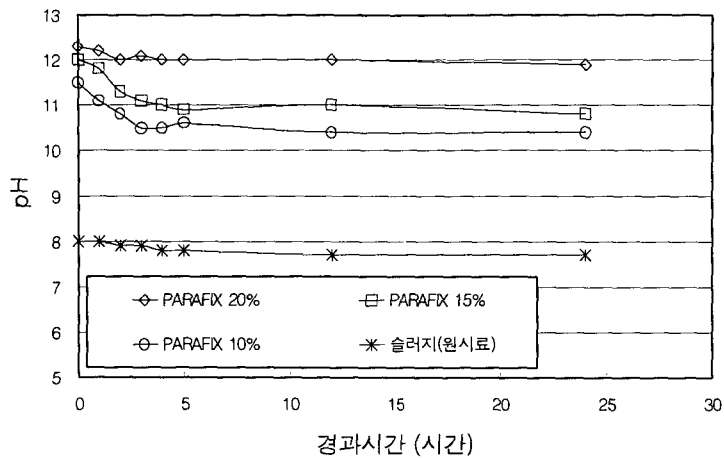


그림 1. 시간경과에 따른 pH

4.2 용탈 특성

슬러지 직매립의 가장 큰 문제중의 하나는 용탈현상으로서 매립지의 안정성 문제 및 주위환경의 오염 문제 등 여러 가지 공학적, 환경적 문제점을 야기시킬 수 있다. 따라서 PARAFIX로 고화처리된 슬러지가 물과 반응하였을 때 물에 재용해되어 용탈되는 정도를 관찰하기 위하여 고화된 슬러지를 물에 침수시켜 용탈특성을 알아보았다.

그림 2에 제시한 바와 같이 PARAFIX를 혼합하지 않은 슬러지는 시간이 지남에 따라 다시 물에 용해되어 용탈되는 현상을 보였지만 PARAFIX를 혼합한 경우에는 장시간동안 고화된 형태를 유지함을 알 수 있었다. 이는 파라핀 피막의 형성으로 입자들이 피막에 의해 포집되었기 때문이라 판단되며 따라서 PARAFIX로 고화된 슬러지는 물과 반응했을 때 용탈되지 않아 각종 오염물질의 용출 및 장기적인 안정성면에서 큰 효과가 있으리라 예상된다.

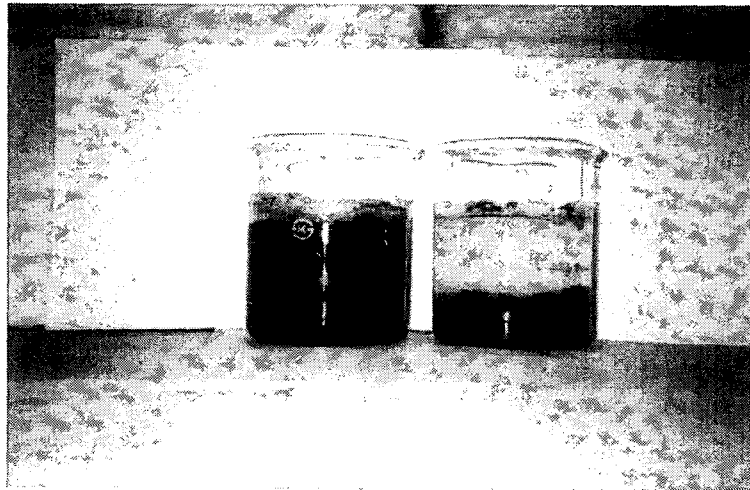


그림 2. 용탈특성

4.3 강도 특성

본 실험에서는 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 양생일 및 배합비에 따른 강도 특성을 파악하였다. 실험 결과 원시료인 슬러지에 비해 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 강도가 6배까지 증가했음을 알 수 있다. 이는 PARAFIX 중의 CaO 등에 의한 이온교환, 포졸란반응에 의해 미립자인 점토, 콜로이드 성분이 단립

화 되고, 이에 따른 입도분포의 변화로 양질토로 개량되며, 슬러지 케익 중의 부패하지 않는 성분과 이것을 매체로 한 혼합물의 상호결합으로 인한 고결도의 증가, 그리고 파라핀에 첨가된 반응 촉진제의 영향과 파라핀의 경화성질로 인하여 슬러지의 강도가 증가된 것으로 판단된다.

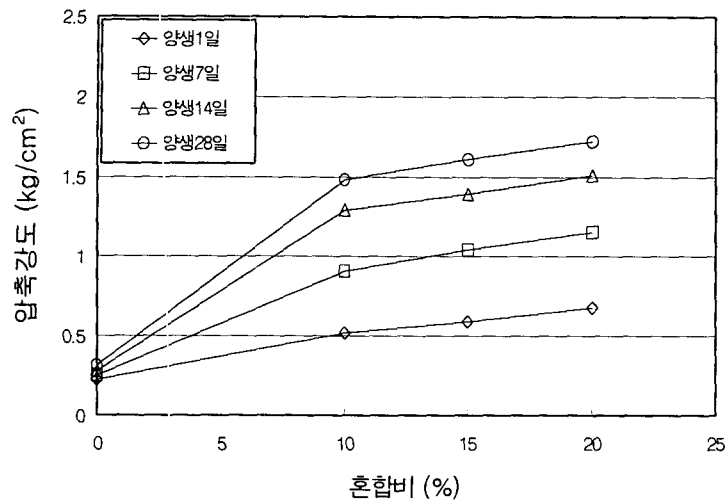


그림 3. PARAFIX 배합비 및 양생일별 일축압축강도

4.4 투수 특성

PARAFIX를 혼합한 슬러지의 양생일 및 배합비에 따른 투수특성을 알아보기 위하여 PARAFIX의 배합비를 0, 10, 15, 20%로 변화시켜 투수실험을 실시하였다.

실험결과 그림 4에서와 같이 원 슬러지의 경우 $3\sim 4 \times 10^5$ cm/sec의 투수계수를 보였으나 PARAFIX를 혼합한 경우 양생 28일의 투수계수가 $3\sim 5 \times 10^6$ cm/sec으로 10배정도 감소함을 알 수 있었다. 이는 파라핀 고화제의 CaO 성분에 의한 포졸란반응 등의 화학반응과 파라핀의 경화에 의한 피막작용으로 인하여 슬러지의 투수계수가 감소된 것으로 판단된다.

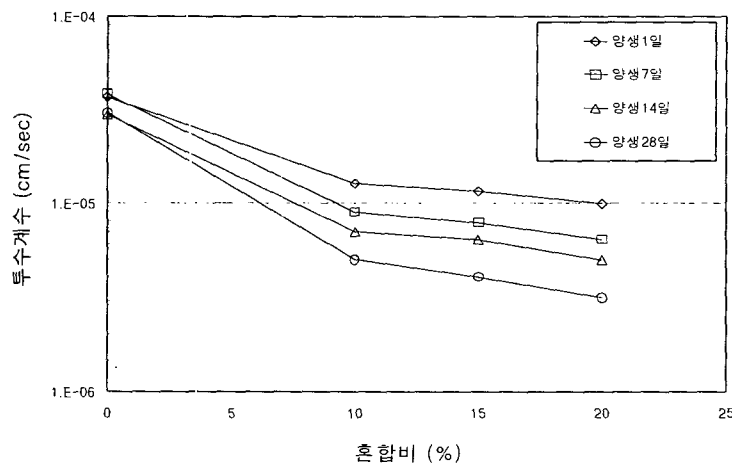


그림 4. PARAFIX 배합비 및 양생일 별 투수계수

4.5 용출 특성

본 실험에서는 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 환경적 유해성을 평가하고자 폐기물 공정법에 의한 용출 실험을 실시하였다. 이때 시멘트만을 혼합한 경우의 용출실험을 병행하여 비교분석을 수행하였다.

크롬은 전 시료에서 검출되지 않았으며 구리와 납의 경우 용출 초기에만 높은 농도를 보이며 2, 3회

후부터는 농도가 급감함을 보인다. 카드뮴은 대체적으로 일정한 농도가 용출됨을 보인다. 특히 PARAFIX로 처리한 시료의 경우 일정한 농도를 보이며 이는 고화제 처리가 원소용출을 지연시키는 때문으로 생각된다. 시멘트로 고형화 한 경우 구리농도가 기준을 초과하였으나 PARAFIX로 처리한 경우 농도가 4.6에서 1.8 ppm으로 감소, 기준치 이내로 용출됨을 알 수 있으며 이는 PARAFIX 처리가 원소 용출 지연에 효과가 있음을 시사한다.

표 2. 용출특성

	용출횟수	원슬러지	시멘트 고화	PARAFIX 고화
Cd	1	0.04	0.04	0.00
	2	0.04	0.04	0.00
	3	0.05	0.05	0.00
	4	0.05	0.05	0.00
	5	0.05	0.05	0.00
Pb	1	0.70	0.60	0.10
	2	0.40	0.60	0.30
	3	0.60	0.60	0.10
	4	0.00	0.00	0.20
	5	0.00	0.10	0.30
Cu	1	0.00	4.60	1.80
	2	0.00	1.00	0.10
	3	0.00	0.50	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
Cr	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00

4.6 미시구조 분석

본 실험에서는 PARAFIX를 이용한 고화처리에 따른 반응과정 및 미시적 내부구조를 알아보기 위하여 SEM분석과 XRD분석을 실시하였다. 그림 5(a)는 원시료인 슬러지의 XRD 실험결과이다. 그림으로부터 시료에 존재하는 결정성물질은 주로 quartz임을 알 수 있다. 그림 5(b)는 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 XRD 실험결과이다. quartz와 함께 calcite가 존재함을 알 수 있다.

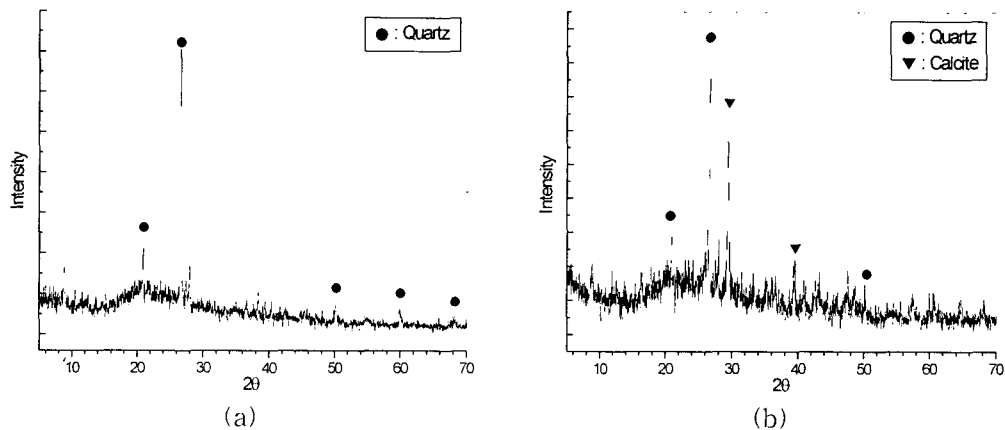


그림 5. XRD 분석결과 (a) 원슬러지, (b) PARAFIX를 혼합한 슬러지

그림 6(a)는 원슬러지의 SEM사진으로 시료중에는 약 300 μm 정도의 크기를 가지는 입자부터 몇 십 μm 의 입자까지 존재하며 입자의 형상은 일정하지 않음을 알 수 있다. 그림 6(b)는 PARAFIX를 혼합한 슬러지의 SEM사진이다. 여러 입자들이 모여 있는 중에 끈모양의 물체가 보이며 이는 파라핀으로 판단된다. 이러한 파라핀의 피막효과에 의해 슬러지 처리 및 재활용 시 강도의 증가, 용탈/용출방지 등의 효과가 있을 것으로 예상된다.

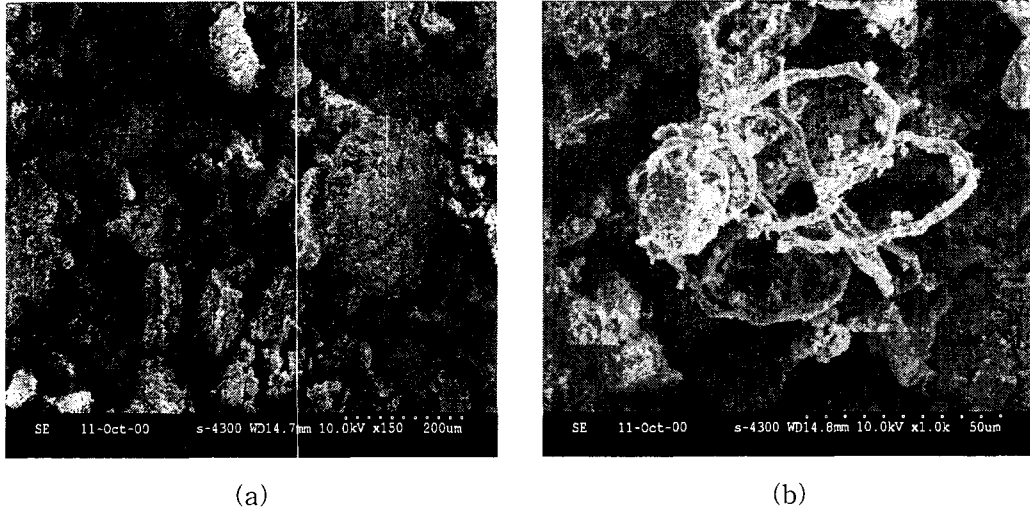


그림 6. SEM 분석결과 (a) 원슬러지, (b) PARAFIX를 혼합한 슬러지

5. 결론

PARAFIX를 이용한 하수슬러지 고형화에 관한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) PARAFIX 20%를 혼합한 슬러지는 24시간 후에도 대략 pH 12를 만족하여 병원균의 사멸과 부패방지, 냄새 억제효과를 나타낼 것으로 판단된다.
- 2) PARAFIX를 혼합한 슬러지는 물에 침수되어서도 장시간동안 고화된 형태를 유지하며 재용탈되지 않아 각종 오염물질의 용출 및 장기적인 안정성면에서 큰 효과가 있으리라 판단된다.
- 3) PARAFIX를 혼합한 슬러지는 CaO 등에 의한 이온교환, 포졸란반응 및 파라핀의 피막형성으로 강도가 증가하고 투수계수가 감소하여 슬러지 고형화에 효과적인 것으로 판단된다.
- 4) PARAFIX를 혼합한 슬러지에 대한 반복용출시험결과 PARAFIX는 중금속 용출 지연에 효과가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 서울특별시(1992), “하수슬러지 최종 처리, 처분방안 개선 연구”, 한국건설기술연구원.
2. Means, Jeffrey L. et al., “The Application of Solidification/Stabilization to Waste Materials”, Lewis Publishers, 1995.
3. Shumm and Heydinger(1994), “Properties of Stabilized Sludge/Dredge Material Admixtures”, proceedings of the 2nd Annual Great Lakes Conference, pp. 138~154.
4. U. S. EPA, “Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal”, EPA625/1-79-011, Cincinnati, Ohio, 1979.