

석탄회(Fly Ash)를 이용한 하수슬러지의 고화처리

조진규 · 김응호* · 김성호**

김포대학 환경토목과, *홍익대학교 토목공학과, **(주)홍성토연

I. 서론

하수처리장의 최종산물로 발생되는 하수슬러지(탈수케이크)의 양은 전국적으로 '98년말 기준 약 4,000톤/일 정도로서, 현재 이들의 처분은 대부분을 매립에 의존하고 있는데, 높은 유기물 함량과 함수율로 인하여 매립작업의 수행에 어려움을 겪고 있으며 생활수준의 향상 등에 따른 생활쓰레기의 성상변화로 혼합매립도 곤란해지는 등의 많은 문제점을 야기 시키고 있다. 또한 향후 지속적인 하수관거정비 및 하수처리장 건설사업이 추진될 경우 슬러지의 발생량은 급격히 늘어날 것으로 예상되어 이에 대한 적절한 처분대책이 시급한 실정이다. 특히 최근 폐기물관리법 시행규칙이 재개정 됨에 따라 2001년부터는 하수종말처리시설로부터 발생되는 유기성슬러지에 대하여 당초의 직매립 금지조치 및 슬러지 소각처리 위주의 정책 시행 예고에서 함수율 75% 이하로 탈수해야 한다는 조건을 달아 향후 3년간의 한시적인 기간을 정하여 직매립 금지조치 시행을 사실상 유예하고 있다¹⁾. 이런 하수슬러지 처리의 한 방법으로 슬러지를 고화처리하여 위생매립지에서 복토재로 활용하는 방안을 고려할 수 있는데, 위생매립을 위해서는 별도의 많은 양의 복토재가 필요하므로 하수슬러지의 고화처리 및 복토재로의 개발은 하수슬러지의 경제적 처분 뿐 아니라, 위생매립시의 복토재 구입비용도 줄이는 효과도 병행하여 기대할 수 있을 것이다.

한편 이와는 별도로 화력발전시에 폐기물로 발생되는 막대한 양의 석탄회는 '98년도 기준 약 370만톤이 발생되었으며 지속적인 에너지 수요의 증가에 따라 대규모 화력발전소의 건설이 계획되고 있어 2010년경에는 약 600만톤 정도가 발생할 것으로 전망되고 있다. 그러나 '98년도 기준 발생되는 석탄회 가운데 대략 32% 정도만이 재활용되고 있고, 나머지의 대부분은 발전소 인근의 회처리장에 매립 처분되고 있는 실정이다²⁾. 이러한 석탄회는 현재 지정폐기물로는 지정되어 있지는 않으나 현재와 같은 처리방법으로 처리할 경우 상당한 규모의 회처리장 부지가 소요되며, 그에 따른 투자비의 증가, 환경훼손, 민원발생 등 여러 가지 문제점들을 야기 시키고 있어 각국에서는 석탄회의 유효이용을 위해 공공차원에서 연구투자를 계속하고 있다.

이에 본 연구에서는 하수슬러지의 고화처리에 있어서 이미 개발된 제강전로슬래그를 이용한 고화처리 기술을 기초로 전력산업에서 다량 발생하여 상당량이 매립 처분되고 있는 석탄회를 하수슬러지의 고화처리에 고화제로 활용하는 기술을 연구하여 하수슬러지 처리문제에 하나의 대안을 제시하고, 버려지는 폐자원인 석탄회를 유효이용하는 방안을 연구하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료로는 서울 J하수처리장에서 발생한 하수슬러지와 Y화력발전처에서 발생된 Fly Ash 그리고 국내에서 시판되고 있는 공업용 생석회(순도89%)를 사용하였다. 본 실험에 사용한 하수슬러지는 표준활성슬러지법의 1, 2차 슬러지를 혐기성 소화후 탈수한 슬러지로 표 1과 같은 성상을 가지며, Fly Ash는 표 2와 같은 성분조성을 가진 것으로 건조후 사용하였다.

Table 1. Physical properties of digested sewage sludge

Sample	pH	Water content(%)	VS/TS(%)
Dewatered Sludge	7.9	77.5	47.1

Table 2. Chemical composition of Fly ash³⁾

Chemical Component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	etc.
wt(%)	54.34	19.27	5.35	12.84	1.81	0.56	1.11	2.77	0.92	1.03

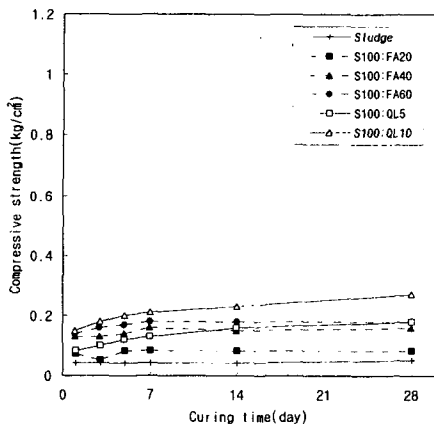
2. 실험방법

본 연구에서는 하수슬러지와 각 고화제를 목적 혼합비(고화제/슬러지케익의 중량비)로 혼련한 후 Mold (Φ 5cm × 10cm)를 이용하여 3층 다짐한 후 즉시 탈형하여 양생하였다. 이때 시편을 양생하는 방법은 실제 현장에서 하수슬러지와 고화제를 혼합한 후 야적하는 상황을 가정하여 20℃ 항온조건으로 기밀양생하는 방법을 채택하였고, 양생일수 1, 3, 7, 14, 28일의 일축압축강도와 pH를 조사하였으며, 재령 7일의 고화체에 대한 중금속 용출시험을 폐기물공정시험법에 준해 실시하였다. 또한 고화반응의 미시적인 규명과 고화반응 생성물 및 반응에 관여하는 성분을 조사하기 위해 XRD, SEM 및 EDS 분석을 실시하였다.

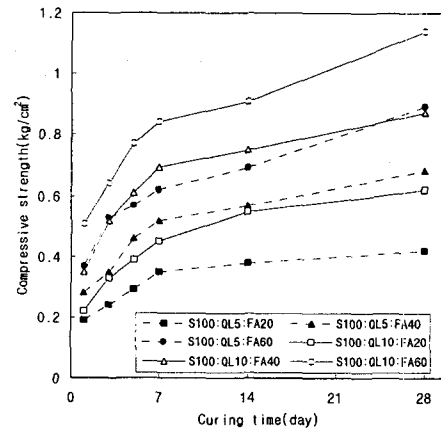
III. 결과 및 고찰

1. 일축압축강도 및 pH의 변화

각 혼합체의 양생기간에 따른 일축압축강도의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 (a)는 석탄회를 단독으로 혼합한 경우로 석탄회 60%나 생석회 10%를 혼합한 시료에서도 28일 양생강도가 0.18kg/cm², 0.27kg/cm²를 나누어 석탄회나 생석회만을 고화제로 이용하기는 어려운 것으로 판명되었다.



(a) mixing with fly ash or quicklime



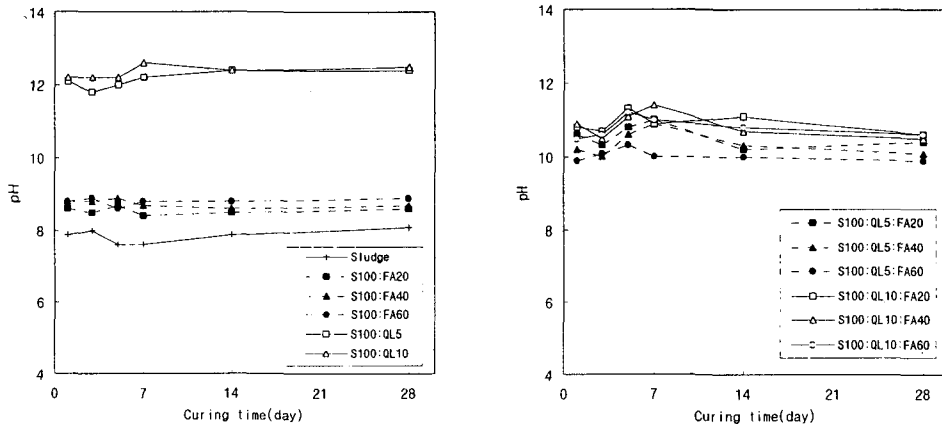
(b) mixing with fly ash and quicklime

Fig. 1 Unconfined compressive strength of the mixture by curing days

Fig. 1의 (b)는 석탄회와 생석회를 동시에 혼합한 경우의 압축강도 증가를 나타내고 있는데, 석탄회나 생석회를 단독으로 사용한 경우와는 달리 둘을 함께 혼합했을 때에는 압축강도가 크게 증가하였다. 예를 들면 석탄회 40%와 생석회 10%를 혼합한 경우는 양생 3일째에 0.52kg/cm^2 의 압축강도를 나타내어 소량의 생석회를 고화보조제로 주입한다면 석탄회는 우수한 고화효과를 나타냄을 알 수 있다.

일반적으로 매립작업을 원활히 하기 위한 최소일축압축강도는 0.5kg/cm^2 이상으로 제시하고 있으므로 하수슬러지 중량에 대하여 석탄회 30% 이상과 생석회 5~10%를 적정비율로 혼합하여 3~7일간의 기밀양생을 시킬 경우 원활한 매립을 위해 요구되는 충분한 강도를 발현하는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 각 고화체의 양생기간에 따른 pH변화를 나타낸 것으로 결과에서 보면 생석회만을 혼합한 경우에 비하여 석탄회와 생석회를 동시에 혼합한 시료에서 pH 11 이하의 낮은 값을 나타내어 pH로 인한 유해성은 문제되지 않을 것으로 판단된다.



(a) mixing with fly ash or quicklime

(b) mixing with fly ash and quicklime

Fig. 2 pH of the mixture by curing days

3. 중금속 용출

각각의 혼합비에 있어서 7일 양생고화체를 대상으로 하수슬러지에 함유되어 있어 용출의 우려가 있는 Cd, Cr^{6+} , Pb, Cu 4항목에 대한 중금속 용출시험을 실시하였다. 시험결과 Cd은 검출되지 않았고 Cr^{6+} 와 Pb은 0.1mg/L 이하로 미량 검출되었다. Cu는 $0.2\sim 1.2\text{mg/L}$ 로 다소 검출되었으나 측정 전항목에 걸쳐 지정폐기물 판정기준 이내로 검출되어 석탄회와 생석회를 고화제로 이용할 경우 중금속용출로 인한 2차오염은 우려되지 않을 것으로 판단된다.

4. 미세구조분석

석탄회 40%와 생석회 5%를 혼합한 고화체를 대상으로 XRD 분석을 수행한 결과, 주된 고화생성물은 CSH화합물이었으며, 고화처리된 하수슬러지의 미세구조를 관찰하기 위한 SEM 관찰에서는 다수의 벌집모양과 침상결정이 관찰되었다. 또한, EDS분석 결과 이들의 주성분은 Ca와 Si인 것으로 나타났다.

IV. 결 론

하수슬러지의 고화처리를 위해 주고화제로 석탄회(Fly Ash)를 사용하고 보조고화제로 소량의 생석회를 첨가·혼합한 경우에 대한 고화특성을 연구하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 석탄회만을 혼합한 경우 40% 혼합시 7일 양생 강도가 0.16kg/cm^2 에 불과하였으나 추가로 생석회를 5% 혼합하면 0.52kg/cm^2 , 10%를 혼합하면 0.69kg/cm^2 를 나타내어 소량의 생석회를 고화보조제로 이용한다면 석탄회는 고화제로 이용 가능한 것으로 나타났다.
2. 석탄회를 혼합하여 고화처리시킨 하수슬러지는 전반적으로 지정폐기물의 판정기준인 pH 12.5 보다 낮은 pH 11 이하의 수치를 나타내고 있으므로 고화처리된 하수슬러지의 매립에 있어서 pH에 의한 제약은 문제되지 않을 것으로 판단된다.
3. 7일 양생 고화체를 대상으로 하수슬러지에 함유되어 있어 용출의 우려가 있는 Cd, Cr⁶⁺, Pb, Cu 4 항목에 대한 중금속 용출시험 결과 측정 전 항목에 걸쳐 지정폐기물 판정기준 이하로 검출되어 석탄회와 생석회로 고화처리된 하수슬러지로부터의 중금속용출로 인한 2차오염은 우려되지 않을 것으로 판단된다.
4. 고화체에 대한 XRD분석 결과 주된 반응생성물은 CSH화합물이었으며, SEM을 이용한 미세구조 관찰에서는 고화가 진행됨에 따라 침상결정과 벌집구조의 반응생성물이 다수 관찰되었다. 또한 EDS 분석을 통하여 이들 반응생성물의 주성분이 Ca와 Si 등임을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 환경부 : 폐기물관리법시행규칙(2000)
- 2) 오재현, 오성원 : 우리나라 석탄회(Fly ash)의 이용현황, 자원리싸이클링, Vol.8, No.1, pp.60~65 (1999)
- 3) 한전산업개발(주) : FLY ASH(2000)
- 4) 김용호, 조진규 : 제강전로슬래그를 이용한 하수소화슬러지의 고화처리, 대한상하수도학회지, Vol.9, No.3, pp.108~115(1995)
- 5) 김용호 : 고화처리 하수슬러지의 매립복토재 활용, 첨단환경기술, Vol. 7, No. 1, pp.2-9(1999)
- 6) 김영관, 조홍재 : 석회 안정화 슬러지와 플라이 애쉬 혼합재의 매립지 복토재료의 이용타당성에 대한 연구, 한국폐기물학회지, Vol.12, No.4, pp.410~420(1995)
- 7) 전완기, 이관호 : 안정처리된 도시하수슬러지의 건설재료활용을 위한 기본연구, 대한토목학회지, Vol.20, No.4-C, pp.315~324(2000)
- 8) Lue-Hing, C. *et al.* : Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal, Technomic, pp.483~499(1992)
- 9) 大谷聰 外 3人 : 脱水汚泥のセメント系固化材による混練とその固化特性, 下水道協會誌, Vol.34, No.418, pp.57~75(1997)