

슬러지의 재활용 기술동향

1. 슬러지 재활용 기술의 종류

대부분의 슬러지는 수분과 부패하기 쉬운 유기성분을 다량 함유하고 있으므로 감량화 혹은 무해화를 목적으로 다양한 전처리가 필요하다. 폐기대상 슬러지의 중량을 감소시켜서 뒤의 처리단계를 용이하도록 하기 위하여 슬러지를 농축하며 중력농축, 원심농축, 부상분리 등의 방법이 사용되며 슬러지 내의 유기산균과 메탄균을 이용하여 슬러지를 분해하는 혐기성 소화법이 안정화법으로 사용되고 슬러지의 운반비용을 감소시키기 위하여 탈수하며 여과탈수와 기계식탈수가 주로 사용된다.

유기성 슬러지의 재활용 기술은 건조 및 발효를 통한 안정화에 의해 비료 혹은 토양개량제로 사용하는 방법과 메탄발효, 건조, 소각 등을 통하여 에너지를 회수하는 방법 등이 일반적이다. 하수처리 슬러지 등 유기성 슬러지는 탈수하여 연료로 사용할 수 있으며 혐기성 발효를 통하여 메탄가스를 얻기도 한다. 이렇게 메탄 발효 시킨 후의 슬러지를 소화슬러지라고 하며 소화슬러지는 소각하거나 콤포스트하여 원예용으로 이용되고 있으며 하수처리장에서 얻은 메탄가스로 발전하여 하수처리장에서 필요로 하는 전력을 조달하는 예도 있다. 소각은 슬러지를 감량화하며 동시에 안정화할 수 있기 때문에 유효한 슬러지 처리방법으로 평가받고 있으나 소각장 건설에 따르는 비용 때문에 매립이나, 해양투기, 재활용보다 재정의 부담이 크며, 대기오염 등의 2차 오염을 유발시킬 위험성과 소각장 설립지에 대한 주민들의 집단민원을 야기하는 등의 문제점이 있다.

무기성 슬러지의 재활용 기술은 건설자재로 활용하기 위한 것이 많으며 소각 후 조립 및 소성을 거쳐 시멘트 원료, 아스팔트 충전재, 콘크리트 2차제품, 노반재, 경량골재, 타일, 블록 등으로 활용하거나 용융 슬래그를 성형하여 노반재, 골재, 타일, 장식재 등으로 재활용하는 것이 일반적이다. 수은, 크롬, 니켈, 아연 등 중금속을 포함한 슬러지는 안정화를 위하여 고체화하거나 금속 제련용으로 재활용하는 것이 바람직하다.

안정화(Stabilization) 및 고형화(Solidification)는 유해성분이 포함된 슬러지의 전처리 방법으로 적합하다. 안정화는 유해폐기물 중 유해물질을 분해 또는 무해화하여 슬러지 내의 독성을 제거하며, 고형화는 경화제를 첨가시켜 고형물질을 형성시킨다. 고형화에는 콘크리트 고형화, 아스팔트 고형화, 플라스틱 고형화, 소결, 용융 등이 있으나 경화제의 첨가에 따른 증량에 의해 운송비 및 유지비가 높아지며, 결국에는 매립을 해야 하는 문제가 있다.

(1) 퇴비화

녹농지 이용을 주목적으로 하는 퇴비화 기술에 의해 탈수슬러지에 통기개량제를 혼합하여 발효시켜 안정화 시키는 방법이다. 하수 중에 유해물질이 존재하는 경우에는 퇴비화 이후에도 이들 유해물질이 슬러지비용에 잔류할 가능성이 있는 문제점이 있다. 일본의 경우에

는 Minami Tama 폐수처리장에 퇴비화시설을 가동하여 Minami Tama Odei라는 상품명으로 비료를 생산하고 있으며, 미국은 톱밥이나 덩불 조각 등과 혼합하여 처리하는 슬러지 퇴비화 시설이 200개 소가 넘으며 일반가정의 정원용 및 공공시설용 비료로 공급하고 있다.

(2) 에너지회수

탈수슬러지는 3,000~5,000kcal/kg의 발열량을 갖고 있으며 국내 무연탄의 발열량과 비슷한 수준으로 발전 및 난방용 연료로 전환이 가능하다. 슬러지로부터 에너지를 회수하는 방법은 효율적인 건조 방법에 의해 수분을 제거한 후 직접 고체연료를 생산하는 기술, 용매 등에 의해 유용한 화학물질을 추출하는 기술, 건조 슬러지를 고온에서 열분해 하여 액체연료를 얻는 열분해 기술, 함수슬러지를 고온고압 하에서 반응하여 액체연료로 전환하는 액화 기술, 슬러지를 탈수하기 전에 혐기성 소화의 방법으로 메탄가스를 얻는 소화법, 그리고 소각으로 열에너지를 얻는 방법 등이 있다.

이론적으로는 함수율 80%의 슬러지를 건조하여 1kg의 건조 슬러지를 얻기 위해서는 2,500kcal 정도의 에너지가 필요하지만, 실제 소요되는 에너지는 이보다 배이상 많은 것으로 예상되며, 슬러지의 처리에서 건조에 소요되는 에너지가 가장 많기 때문에 건조 공정을 배제한 상태에서 슬러지를 처리하는 것이 경제적이다. 일본의 동경시는 효율적인 건조방법을 개발하여 슬러지의 연료화의 가능성을 입증하여 1989년에 동경의 Nambu Sludge Plant에 탈수슬러지를 하루에 250톤 처리할 수 있는 고체연료화 시험시설을 건설하여 가동하고 있다. 슬러지로부터 액체 연료를 회수하는 방법으로는 슬러지에 포함된 고분자 유기물을 분해하여 오일을 회수하는 열분해 기술과, 고온·고압에서 가수분해 등 여러 복합적인 반응을 통해 오일을 얻는 액화기술로 분류할 수 있다. 열분해 기술은 석탄의 열분해 기술과 같이 비교적 낮은 압력, 400℃~800℃의 온도 범위에서 가동하며, 슬러지에 포함된 고분자 유기물이 열에 의해 경질의 유분으로 분해하고 다시 기상 균질반응에 의해 지방족이 많은 오일물질로 전환되는 방법이다. 이에 비하여 슬러지의 액화는 단백질, 섬유질, 지방질, 탄수화물 등의 유기물이 액화반응에 의한 알칼리 촉매에 의해 저분자의 반응성이 높은 물질로 분해함과 동시에 탈산소반응에 의해 평균 분자량 350전후의 오일성분으로 중합반응이 이루어진다. 슬러지의 80%이상이 수분이기 때문에 소각하기 전에 탈수의 과정을 거치거나 슬러지 자체의 발열량이 낮기 때문에 별도의 폐기물과 혼합하여 처리하기도 한다. 슬러지의 부피를 1/100로 줄일 수 있다는 장점 때문에 일본이나 독일의 경우에 슬러지 발생량의 80%이상을 소각으로 처리하고 있다.

(3) 건설자재화

슬러지 소각재를 아스팔트필라, 노상 및 노반재, 시멘트 원료, 연화재료 등으로 사용한다. 석회 슬러지 소각재의 성분은 CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ 가 80% 정도를 차지하기에, 단독으로 시멘트를 만들 수는 없지만, 종래의 시멘트 원료에 적당량 첨가하여 사용하는 것이 가능하다. 소각재 중에 CaO함유량이 적고, 규산의 함유량이 높으면 연와의 소성이 충분하

게 가능하여 소각재에 일정량의 점토 또는 규사를 첨가하면 보통의 연와의 주원료로서 이용이 가능하지만 소각재로부터 생성된 건설자재의 사용에 있어서 장기적인 안정성 문제와 제조비용 등의 문제점들이 있다. 슬러지 소각재인 회분은 실리카(30-40%), 알루미나(15-20%), 철(5-10%) 및 인산, 칼슘 등으로 구성되어 있으므로 슬러지의 무기물을 활용하여 경량 골재 등의 건축자재의 제조에 활용하고 있다. 그 밖에도 슬러지를 이용하여 폐광지대 등 토양오염지대의 표토를 복원하는 방법이 호주와 미국에서 시행되고 있다.

2. 외국의 슬러지 재활용 동향

(1) 주요 기술선진국의 슬러지 재활용 연구추이

슬러지 재활용 기술에 대하여 1969년도부터 2001년까지 발간된 저널 및 논문 등을 대상으로 검색식을 제목으로만 제한한 검색건수는 573 건이었다.

아래의 그림1. 은 연도별 논문건수 추이를 나타낸 것으로서 70년대 말과 80년대 중반이후 그리고 90년대 전반기에 일시적인 소강상태를 보이지만, 90년대에 들어서는 93년을 고비로 계속하여 증가하는 추세를 보이고 있으며 90년대 후반기에는 매우 활발한 연구결과들이 발표되었음을 알 수 있다. 2001년의 감소추이는 기술문헌의 DB화에 대한 시간적 간격이 약 1년 정도 소요되기 때문에 발생하는 현상으로 보인다.

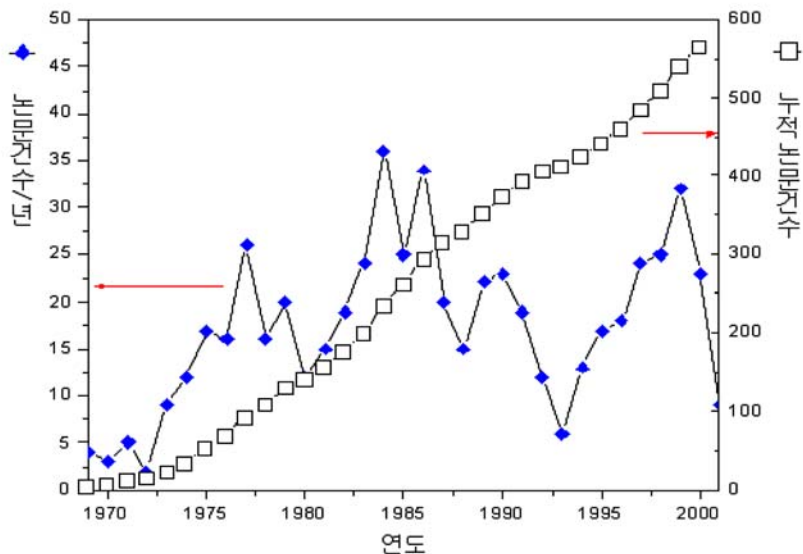


그림1. 연도별 논문건수와 누적논문건수

그림2.에 나타난 바와 같이 1983년부터 2001년까지 발표된 연구결과에 대한 국가별 연구

추이를 보면, 미국, 캐나다, 일본, 독일의 4개국이 전체 분석대상 결과의 53%를 차지하였다. 이 중에서 미국이 약 25%를 차지하고 있으며, 이것은 11% 대의 연구결과를 보이고 있는 캐나다, 일본 보다 두배 이상의 수치이다. 그러나 90년대 후반기에는 기타국가의 논문건수가 급격히 증가하여, 실질적으로는 미국을 비롯한 상위국의 비중이 낮아지는 결과를 보였다. 즉, 96년부터 2000년까지 5년간의 슬러지 재활용 기술에 대한 연구결과분석에 의하면 상위4개국의 비율이 전체의 39%, 그리고 미국은 10%의 비중으로 각각 감소하여, 90년도 후반기의 미국의 연구활동이 기타국가에 비해 감소하였으며, 상대적으로 기타국가의 연구활동이 활발했음을 알 수 있다.

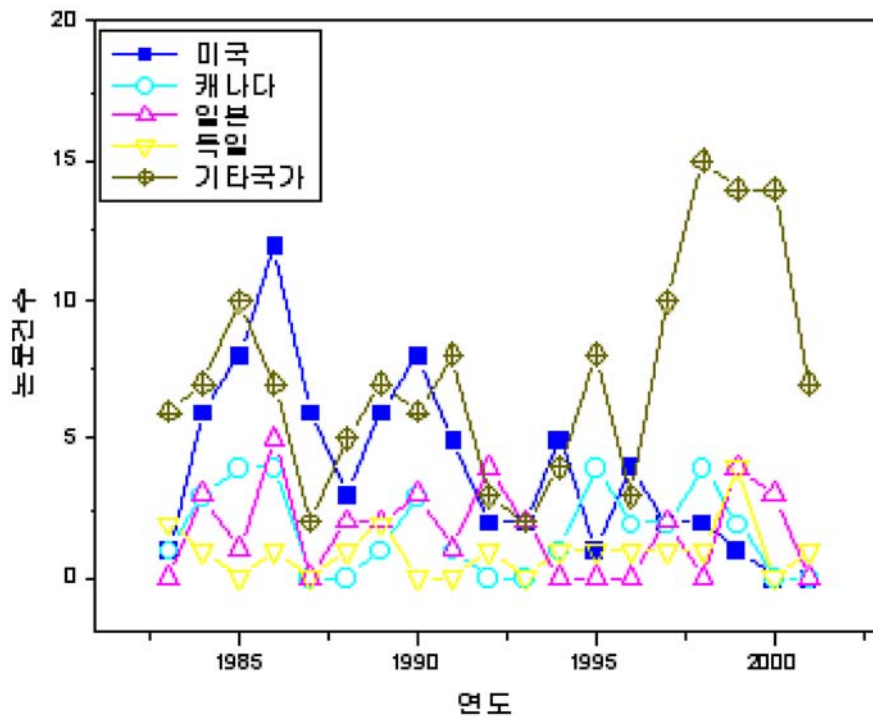


그림2 국가별 추이 분석

이러한 논문발표동향을 분석하면 슬러지 재활용 기술은 1982-84년에 최고의 발전기를 맞이하였으며, 1985-87년에는 성숙기를 맞이하고 1988-93년까지 쇠퇴기를 거친 후 1994년 성장기를 거쳐 90년대 후반까지 관련 연구가 다시 활발히 지속되고 있음을 알 수 있다. 한편, 게재형태를 보면, 전체적으로는 저널논문이 70%로 압도적인 비율을 차지하였으며, 학술회의 발표가 28% 기타 2%의 비율이다. 슬러지 재활용 기술이 주로 게재되는 잡지 상위 10개의 논문건수를 비교하면 그림3.과 같다.

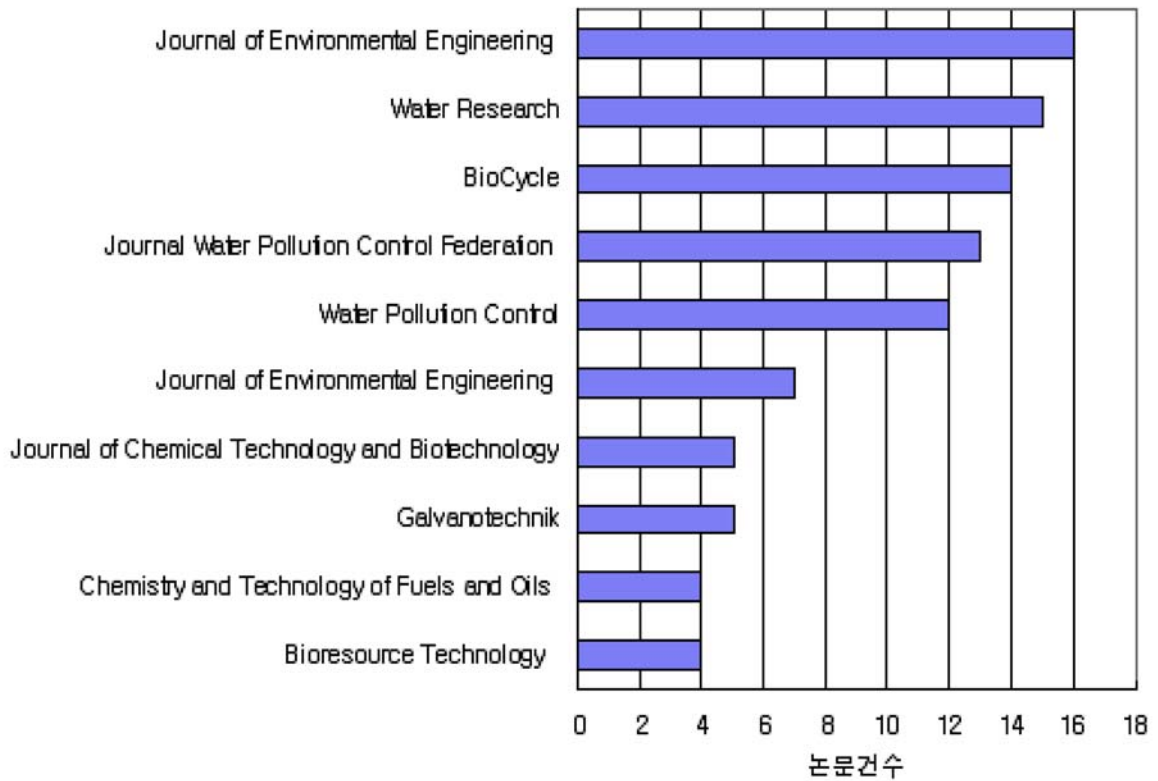


그림 3. 주요 게재잡지 분석

(2) 일본의 슬러지 재활용

일본의 경우 시멘트산업에 사용되는 원료 및 연료의 20%가 폐기물의 재활용에 의하며, 재활용한 산업폐기물 중 슬러지가 차지하는 비율은 6.8%이다(1999년 기준).

슬러지는 고체 산업 폐기물중에서 발생량이 가장 많으며 처리 기술에 관한 출원 건수도 가장 많다. 1971년부터 1995년까지의 특허, 실용신안의 합계출원 건수는 약 12,000건으로서 기계, 전기, 조선, 중기 등이 상위를 차지하고 있다. 구보타(久保田) 철공은 슬러지의 건조, 탈수, 농축, 소각, 용융, 발효, 퇴비화, 소화 등의 폭넓은 기술 분야에 출원하고 있다. 에바라(荏原) 인필코도 모든 분야에 출원하고 있으며 구리타(栗田) 공업은 탈수, 냄새제거 기술에 관한 기술의 출원이 많다. 미쯔비시(三菱) 전기는 탈수, 발효 기술 등이 주요하지만, 특히 동결 용해 탈수 기술에 특징이 있다. 탈수건조농축에 관한 기술은 생물처리, 산화, 열분해 등 유기성 슬러지의 전처리적인 성격을 갖는다. 생물 처리, 열분해는 유기성 슬러지로부터 유기 성분을 제거하는 기술이고 산화는 그 후의 슬러지(소화슬러지 등)을 한층 더 무해화하는 최종 처리 기술이다. 덧붙여 종래의 기술개발은 가연성 가스의 채취나 소화 슬러지의 무해화를 목적으로 하고 있지만, 최근에는 단지 무해화 하는 것이 아닌 벽돌 제조나 슬래그화와 같이 유용물화의 기술에 대한 출원이 많아지고 있다. 에바라(荏原)

인필코, 구보타(久保田) 철공, 구리타(栗田) 공업, 미쯔비시(三菱)중공업, 히타치(日立) 플랜트 건설, 히타치 금속, 히타치 조선 등의 대기업들과 이시가키(石垣) 기공, 니시하라(西原) 환경위생연구소 등도 출원수 상위권에 들어있다. 유기성 슬러지의 생물화학적 처리는 가연성 가스, 퇴비 등 유가자원을 회수하기 위하여 시행하는 것이 일반적이지만, 가스화에 의한 단순한 감량화도 포함하며 메탄발효 기술이 대표적인 예이다. 건설 슬러지로 대표되는 무기성 슬러지는 그다지 유해하지 않으므로 대부분은 탈수 후에 재활용하거나 매립한다. 다만, 중금속 등을 포함한 경우는 고도의 처리를 필요로 하며 도금 폐수 등의 크롬함유 슬러지와 알루미늄의 제조 시에 발생하는 적니(red mud)가 대표적이다.