

폐·하수슬러지 건조소각연계처리시스템의 시운전에 의한 성능검토

황진우, 배재근, 고현백*, 고병산*
서울산업대학교 환경공학과, (주) 세화환경*

I. 서론

산업의 발달과 생활수준의 향상으로 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 환경질의 개선에 관한 요구가 증가하게 되었으며, 이에 대하여 주요하천의 수질오염을 방지하기 위하여 기초시설을 점진적으로 확충하게 되었다. 이러한 기초시설중에서 하수처리장은 가장 시급한 사업으로서 대도시는 하수처리장이 거의 완비되었으며, 최근에는 중소도시로 대상이 확대되어 가고 있다. 이러한 하수처리장이 가동됨에 따라 부수적으로 하수슬러지가 발생하게 된다. 이러한 슬러지는 발생량 대부분이 단순매립 처분되고 있는데 최근에는 매립지의 부족으로 해양매립까지 시도하고 있으나, 각종 규제의 강화에 의하여 처리에 많은 문제점을 안고 있다. 하수슬러지와는 달리 산업현장에서 배출되는 폐수슬러지는 사업장폐기물로서 엄격하게 분리되어 처리되어지는데, 최근에 위탁처리비용이 점점 증가하고 있다.

현재 국내에서 발생하는 막대한 양의 슬러지에 대한 처리방안이 시급히 요구되고 있으며, 슬러지의 적매립금지 조치가 시행에 임박해 있는 과정에서 많은 지자체 및 배출업소에서는 합리적인 처리방법에 대한 대안이 없는 상태에서 고민을 하고 있으며, 현재 슬러지처리에 대한 합리적인 대안이 없는 상태에 있으며, 설계에 뒷받침이 될 수 있는 자료의 축적이 충분하지 않은 실정에 있다. 슬러지를 처리함에 있어서 산업장으로부터 발생하는 폐수슬러지에 대해서는 업종별의 특성에 따라 슬러지성상을 파악해두는 것이 필요하며, 또한 하수슬러지는 대부분 생물학적처리에 의존하고 있으나, 폐수슬러지는 화학적처리에 의존하는 것이 많이 있다는 측면에서 대상슬러지의 특성을 사전에 명확하게 파악하여 처리하는 것이 중요하다. 선진국 특히 일본의 경우에는 소각을 위주로 하고 있으며, 특히 유동상층방식의 연소로를 이용하는 사례가 증가하고 있는데, 이러한 외국의 선진기술이 유입되면서, 우리나라의 슬러지성상에 기반을 두지 않은 설계 혹은 시스템에 의하여 많은 혼선을 야기시키고 있으며 초기에 설치된 슬러지연소로는 많은 보조연료를 필요로 하여 대부분 가동이 정지되어 있거나, 시설을 보수하고 있다.

이러한 실정으로부터 우리나라의 슬러지성상에 적합한 형태로의 시스템 개선이 필요하다. 선진국과는 달리 우리나라의 슬러지의 경우에는 수분함량이 높아 슬러지의 직연소가 사실상 불가능한 실정이다. 본 연구에서는 효율적인 처리방안을 구축하기 위해 먼저 하폐수슬러지 일반성상 및 발열량을 토대로 슬러지처리에 있어서 효율적인 시스템을 구축하였고, 슬러지 건조소각연계처리시스템을 설계 및 제작하였으며, 시운전에 의한 시스템의 성능을 검토하였다.

II. 실험방법

1. 대상 슬러지

본 연구를 위하여 하수슬러지의 경우에는 전국의 43개 하수처리장으로부터 46개의 시료를 폐기물 공정시험방법 제2장 1항에 따라 채취하였으며, 폐수슬러지는 폐기물 중간처리업체인 S업체로 위탁처리되어지는 혼합폐수슬러지를 대상으로 하여 직접 현장에서 채취하여 성분분석을 하였다.

【연락처】 (우) 139-743 서울특별시 노원구 공릉동 172 서울산업대학교 환경공학과 배재근, Tel: 02-970-6617, Fax: 02-971-5776, E-mail: phae@plaza1.snut.ac.kr

2. 성상분석방법

채취한 슬러지의 분석은 먼저 수분, 유기물(VS)등의 일반항목과 원소분석, 발열량, 열분석을 하였는데, 함수율, 강열감량의 경우에는 폐기물공정 시험법에 준하여 분석하였으며, 고위발열량은 단열열량계(Parr 1720 Bomb Calorimeter)를 사용하여 측정하였다.

3. 건조소각처리장치 시운전에 의한 성능검토

슬러지 처리에 대하여 에너지 사용의 최소화, 열효율의 극대화를 위한 건조소각처리 연계시스템을 설계 및 제작한 뒤, 시운전에 의하여 그 성능을 검토하였으며, 또한 시스템내의 문제점들에 대하여 파악하였다. 슬러지를 소각하였을 때와 경유만 소각하였을 경우에 있어서 소각로의 설정온도까지 승온 시간에 대하여 비교검토하였으며, 소각을 위한 건조슬러지 및 혼합슬러지의 입도분포를 검토하였으며, 소각로로부터 배출되는 배가스내의 O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ 및 분진농도에 대하여 측정하였고, 장기적인 시운전을 통하여 시스템내의 각 part별 문제점에 대하여 검토하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 하·폐수슬러지 성상

전국하수슬러지를 분석한 결과 평균함수율이 74.02%, 평균유기물의 함량이 10.70%, 회분의 평균함량이 15.27%로 나타났으며, 건조고형물내의 유기물의 평균함량은 43.16%를 보였으며 회귀분석을 한 결과 함수율이 높아짐에 따라 유기물의 함량이 증가하는 경향이 나타났다. 폐수슬러지의 경우에는 평균함수율이 55.74%로 다소 낮게 나타났으며, 평균 유기물함량은 21.84%, 회분의 함량이 22.45%로 하수슬러지보다 높게 나타났다. 건조고형물중의 평균 유기물 함량이 44.52%로써 하수슬러지와 비교하여 검토하면 수분은 하수슬러지보다 낮게 나타났으며, 하수슬러지와는 달리 어떠한 경향을 보이지 않았다. 단열열량계를 사용하여 측정한 슬러지 건조고형물의 고위발열량은 하수슬러지는 평균 2,242 kcal/kg, 폐수슬러지는 2087.81kcal/kg으로 나타났으며, 수분함량을 고려한 저위발열량은 상당히 낮게 나타났다.

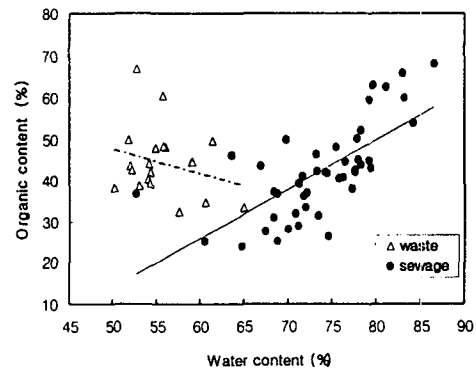


Fig. 1. Water and Organic content of sewage and wastewater sludge

2. 건조소각연계 시스템의 설계 및 제작

1) 건조시스템의 구성

본 연구에서 제작한 장치는 열효율을 극대화시키는 시스템으로 설계 및 제작하였는데, 건조기는 다양한 건조기 type중에서 열효율 높다는 점과 건조슬러지의 형태를 연소시키기 쉬운 상태인 분말상으로 만든다는 점에서 파쇄기식 기류건조기를 선정하였으며, 건조시스템의 구성은 먼저 사전에 건조된 후 반송되어 오는 1차 건조 슬러지를 건조슬러지 분급기를 통하여 공급하여 일정한 비율로 적절히 혼합할 수 있도록 혼합기를 설치하고, 여기에서 충분히 혼합된 슬러지가 고안된 건조기에 투입되어 적절히 건조되도록 하였다. 건조를 위한 열풍은 건조기 하단부로 유입되어 상부로 배출되도록 구조되었으며, 건조기의 하부에는 별도의 동력발생수단을 이용하여 paddle를 설치하였고 그 중간에 chopper(분쇄기)를 설치하여 유입되는 혼합슬러지를 미분화시켜 건조를 용이하도록 하였다. 미분화된 슬러지

는 열풍 및 과열증기에 의하여 1차로 증발건조하고, 유동화되는 미분입자를 순간 건조기(flash dryers), 즉 기류건조기에서 2차로 건조하도록 하였다.

2) 건조소각 연계시스템의 제작

생슬러지와 건조되어 반송되는 1차 건조 슬러지가 혼합기로 투입되어 슬러지가 멎쳐지는 현상이 일어나지 않는 비율까지 상호 혼합된 후 교반패들 기류건조장치로 유입되고 건조기에서 슬러지는 미분화 건조되어 사이클론에 포집되며, 이 건조물이 이송수단을 경유하여 분급기를 통해 일부는 혼합기로 나머지는 소각로에 유입, 소각하도록 하였으며, 슬러지를 건조후 다량의 수분을 포함한 폐가스는 배기가스의 일부는 전술한 것과 같이 소각로 배기가스의 온도 조절용으로, 나머지는 덕트 스크러버를 통해 베이퍼 응축기에서 최대한 응축시켜 수분을 제거한 뒤에 소각로의 유입공기와 혼합하여 유입, 소각시켜 건조기에서 발생하는 악취등을 재연소에 의하여 완전히 제거시키고, 최종적으로 발생하는 소각로의 배기가스는 에어필터에서 공급된 상온의 에어와 혼합되어 냉각된 후에 백 필터에서 여과된 뒤 배출되도록 하였으며, 건조슬러지의 수분함량은 10%, 혼합슬러지 수분함량은 35%, 건조슬러지의 반송율 및 혼합율은 90%, 슬러지 소각량은 60kg/hr, 소각로의 설정온도는 850℃로하여 제작하였다.

3. 건조소각처리장치 시운전에 의한 성능 검토

1) 소각로의 승온시간

소각로가 설정온도까지 소요되는 시간이 건조소각처리장치의 효율에 큰 영향을 미치게 되는 것으로 부터 소각로의 설정온도인 850℃까지 승온에 걸리는 소요시간에 대하여 총 4차례에 걸쳐 분석한 결과, 1차시운전에서는 소각로를 제작후 처음 승온한 관계로 서서히 승온시켰으며, 2,3차 승온에서는 경유만을 사용하여 승온시켰으며, 4차 승온에서는 약 700℃까지는 경유만을 소각시켜 승온시킨 뒤, 건조슬러지를 소각로로 유입, 소각시켰을 때의 승온에 대하여 Fig. 2에 나타내었다.

2,3차시운전의 경우에는 소각로 승온시간이 약 4시간 30분이 소요되었으며, 소각로의 온도가 700℃까지 상승할 때까지 승온시간은 약 2시간이 소요되었으며, 850℃까지 승온시에서는 700℃까지의 승온 시간보다 약 2배이상 소요되어 장시간이 소요되는 것으로 나타났다. 2,3차 시운전에서 장시간이 소요되는 것에 대하여 4차 시운전에서는 700℃에서 건조된 슬러지를 소각시켜 운전한 결과 700℃이후 850℃까지 승온시간이 약 15분이 소요되어 총 2시간 30분정도가 소요된 것으로 나타나 건조된 슬러지를 소각시켰을 경우에 슬러지가 소각의 열원으로 적합한 것으로 판단되었다.

2) 슬러지의 입도분포 및 수분함량

본 연구에서 고안한 건조소각장치 중 건조시스템인 교반패들 기류건조기의 특징은 슬러지를 미분화시켜 슬러지의 소각을 활성화하는데에 있는데, 일반적으로 기류건조기에서 건조된 건조물의 입경분포

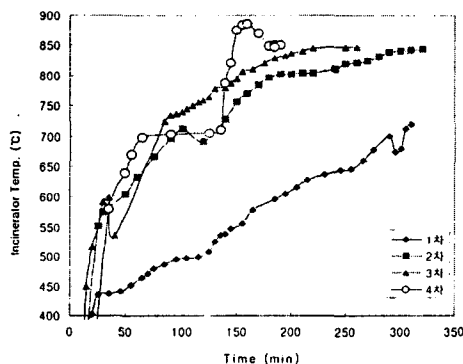


Fig. 2. Change of Incinerator Temperature

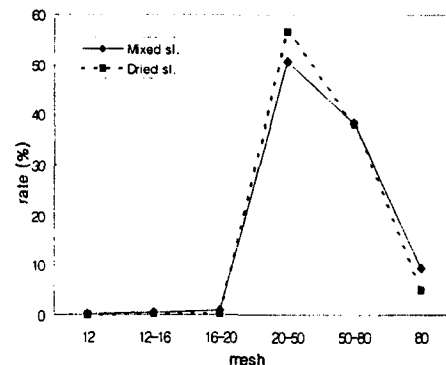


Fig. 3. Particle size of Mixed sludge and Dried sludge

는 1-2mm 이내로 나타나게 되는 것으로부터 건조 후 포집된 건조슬러지의 입경과 혼합기내에서 생슬러지와 혼합되어진 혼합슬러지와 건조슬러지의 입도분포를 한 결과 95% 이상이 1mm이하로 나타나 건조가 활성화되고 있는 것으로 확인되었으며 Fig. 3에 나타내었으며, 처리장치내의 단계별로 슬러지 수분함량을 분석한 결과, 건조슬러지의 수분함량은 1.61% 혼합기내 혼합슬러지의 수분함량은 16.04%로 설계치인 10%와 35%에 적합한 것으로 나타났다.

3) 소각로 배가스의 성상

소각로로부터 배출되는 배가스의 성상은 CO, NO_x, SO₂ 등을 검토하였는데, 경유만을 소각시켰을 때에 생성되는 배출가스의 성상과 건조슬러지를 소각로로 투입하는 배관에 생성하는 결로현상으로 인해 건조슬러지를 주입하는 초기에 건조슬러지와 결로로 인해 생성되는 수분이 함께 소각될 때 발생하는 배출가스의 성상, 정상적으로 슬러지의 분말만이 소각될 때 배출되는 가스의 성상을 분석한 결과를 Table 2에 나타냈으며 CO, NO_x, SO₂의 농도는 경유만을 소각하였을 때, 평균 108.7, 44.3, 50.7ppm으로 나타났으며, 소각시에 수분과 같이 슬러지가 같이 소각하였을 때는 평균 317.9, 43.4, 0 ppm으로 나타났으며, 건조 분말 슬러지가 소각되었을 때에는 평균 433.7, 46.9, 0.16ppm으로 세 경우 모두다 배출허용농도 보다 낮게 나타났으며, 배가스내의 분진농도는 416.7mg/m³으로 다소 높게 나타났다.

Table 2. 소각로로부터 배출된 배가스의 성상

시간 \ 항목	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	배출가스 온도(℃)
배출 농도			600	200	300	
경유만 소각	13.03	4.38	9.5	13.5	0.83	308
건조슬러지 및 수분 소각	14.13	3.78	352.16	42.5	0	331.3
분말슬러지 소각	14.7	3.48	438.3	46.5	0.16	319

4) 건조소각연계처리장치의 문제점

본 연구에서 제작한 슬러지 처리장치를 시운전하여 다양한 문제점을 도출하였는데, 생슬러지 유입 hopper에서 슬러지의 뭉침현상으로 인해 투입이 원활하게 이루어지지 않았으며, 건조슬러지의 분급량의 조절이 불가능하였으며, 배기가스내 다량의 분진이 함유되어 배출되어 대기오염방지시설중 분진대책이 시급한 것으로 판단되었다. 또한, 응축기내부와 응축기로부터 배기팬 사이의 배관내에 슬러지가 축적되어 막힘으로서 전체적으로 순환되는 열풍의 양이 감소되어 건조기의 온도가 상승이 되지 않는 문제점도 발생하였다.

IV. 결 론

이상의 결과로부터 슬러지의 일반성상은 하수슬러지는 수분함량이 높을수록 유기물함량 또한 비례하여 나타나는 경향을 나타냈으며, 폐수슬러지는 경향이 보이지 않았다. 건조소각연계장치물 설계 및 제작하여 시운전하여 분석하였는데, 입경분포를 측정된 결과 슬러지의 건조가 활성화된 것으로 나타났으며, 경유만을 사용하였을 때와 건조슬러지를 곁하여 소각하였을 때의 승온시간을 비교검토한 결과, 슬러지가 소각의 열원으로 충분함을 확인할 수 있었으며, 소각의 처리에 있어서 전단계로 건조를 수행하였을 경우, 처리시 에너지소모의 최소 및 열효율의 극대화가 가능함을 확인하였다. 허나, 본 연구에서 설계제작한 장치는 아직 개발중인 상태로 배기가스내에 다량의 분진의 처리대책이 고려되어야 하고 응축기내부와 배관내에 슬러지의 축적현상등의 다양한 문제점들이 선과제로 해결되어야 할 것이며 현재 계속하여 시운전중에 있다.