제 출 문

경남지역환경기술개발센터장 귀하

본 보고서를 “하수슬러지 펠렛화 및 생활폐기물 혼합소각 기술개발 상용화”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 창원대학교

연구책임자 : 배성근 교수(창원대학교 환경공학과)

연 구 원 : 이호수, 김광수, 이원수, 박병준

공동연구기관명 : 한라산업개발 주식회사 창원지점

요 약 문

Ⅰ. 제 목

하수슬러지 펠렛화 및 생활폐기물 혼합소각 기술개발 상용화

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

하수처리장에서 발생하는 슬러지는 하수중의 오염물질을 고형분으로 분리 처리하는 과정에서 필연적으로 발생하는 부산물로써 약 80% 정도의 높은 함수율과 유기물질을 다량 함유하고 있어 부패하기 쉬운 특성을 가지고 있다. 따라서 슬러지를 처리하는 과정에서 악취 및 가스와 해충발생 등으로 인한 환경피해가 우려되므로 하수슬러지의 생화학적 및 위생적 안정화와 유기물의 유효이용 및 매립지 사용기간 연장을 위한 고액분리, 감량화 등 중간처리가 필수적이다. 2001년 현재 국내에는 183개소의 하수처리장(시설용량 19,014천톤/일)이 가동되고 있고, 슬러지는 습량기준으로 하수 1톤당 274g인 5,216톤/일이 발생되며, 그 중 73.2%인 3,817톤이 해양투기, 12.3%인 640톤이 매립, 7.5%인 392톤이 소각, 7.0%인 367톤이 재이용되고 있는 상태이다. 산업 발달과 인구 증가 및 생활수준의 향상에 따라 하수 발생량이 증가함으로써 하수처리시설의 보급율이 계속적으로 증가될 것으로 예상되며, 2005년까지 260여개소(처리용량 1,293천톤/일)의 처리장이 신설 및 증설되어 총 하수슬러지 발생량은 약 8,482톤/일로 증가할 것으로 예측되고 있다.

이와 같이 발생되는 하수슬러지는 대부분 도시생활폐기물과 혼합매립처분 및 해양투기가 적용되고 있지만, 슬러지 직매립에 따른 2차 오염의 발생을 방지하기 위하여 2003. 7. 1. 부터 시설용량 10,000㎥ 이상의 시설에서 발생하는 하수슬러지의 직매립을 금지하였으며, 슬러지의 해양투기 또한 국제 협약에 따라 점차 어려워질 것으로 예측되어 하수슬러지의 대부분을 소각 및 퇴비화 등으로 적정처리한 후 매립 또는 재이용하는 연구가 매우 시급한 실정이다.

이와 같은 추세에 따라 2001년 현재 구리, 안산, 성남, 곤지암, 청주, 구미 등에 슬러지 전용소각로가 설치되어 있으며 해운대, 김해, 인천 신국제공항에서 MSW와 하수슬러지를 혼합소각하고 있다. 소각처리의 경우 보조연료의 사용에 따라 매립 및 해양투기에 비해 2배 이상의 비용이 소요되므로 생활폐기물과의 혼합소각이 비용 경제적이다. 그러나, 하수슬러지의 높은 함수율 및 각종 기술적인 문제 등으로 인해 도시쓰레기 스토카 소각로에서의 혼합소각율은 5～10% 정도에 불과하여 발생하는 하수슬러지 전량을 처리하기에는 무리가 따르므로 슬러지의 혼합소각율을 제고시키기 위한 방안을 시급히 마련하여야 한다.

일반적으로 하수처리장에서 발생되는 슬러지의 경우 건량기준 고위발열량이 약 2,500㎉/㎏이상이 되지만, 높은 함수율(70～85%)을 지니고 있기 때문에 저위발열량은 100～300㎉/㎏으로 상당히 낮아지게 된다. 저위발열량이 낮은 물질을 보조연료 없이 연소시키기에 가장 적합한 것으로 알려져 있는 유동층 소각로일 경우에도 대상물질의 저위발열량은 최소한 700㎉/㎏ 이상이 되어야만 한다.

현재, 유동층소각로내에서 하수슬러지를 50톤/일 연소시킬 경우 보조연료로써 경유를 150ℓ/hr 공급하고 있다. 2000년도 하수슬러지 발생량인 4,771톤/일을 대상으로 경유대신 대체연료로써 도시쓰레기를 혼합소각할 경우, 그 에너지 대체효과는 약 315TOE/일이 된다고 하겠으며, 폐수슬러지까지 포함시킨다면 그 대체효과는 보다 크게 될 것으로 예상된다. 향후 음식물 쓰레기의 감량화로 인하여 수분함량이 감소되어 생활폐기물의 발열량이 증가할 것으로 예상되고, 생활폐기물과 슬러지의 공동처리에 대한 요구가 커질 것으로 예상되므로, 기존 설치되어 있는 도시쓰레기 전용 스토카 소각로에 슬러지의 혼합소각을 적용함으로써 보조연료의 절감 뿐 만 아니라 안정적이고 효율적인 운전관리와 건설 및 유지관리비의 절감 등이 예측된다.

슬러지를 입상화장치를 사용하여 성형하게 되면, 일정 크기의 슬러지가 안정적으로 얻어지게 되며, 기존에 설치되어 있는 도시쓰레기 스토카 소각로에 널리 채용할 수 있으며, 건조슬러지 자체를 소각할 경우 발생할 수 있는 비산먼지와 낙진문제점 등을 보완할 수 있는 장점 등이 있다고 하겠다. 또한, 슬러지의 입상화를 통해 현재 5%정도로 진행되고 있는 슬러지의 혼합소각율을 향상시킬 수 있게 될 것이므로 각 지방자치단체에서 발생하는 하수슬러지의 대부분을 지방자치단체내에서 처리할

수 있게 되어 슬러지의 처리처분을 위한 별도 시설비가 필요 없어지므로 그 대체효과가 크다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 하수슬러지의 펠렛화에 따른 각종 연료특성을 실험 분석하여 생활폐기물과 하수슬러지의 원활하고 안정적인 연소와 혼합소각율을 제고시키기 위한 하수슬러지의 펠렛 제조 및 혼합소각기술을 개발하여 신기술을 확보한 후, 현재 하수슬러지와의 혼합소각을 계획하고 있는 경남지역의 밀양시와 진해시 등에 적용하고 국내의 중소도시에 확대 보급하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

◎ 연차별 연구내용 및 범위

본 연구의 최종목표는 생활폐기물과 하수슬러지의 원활하고 안정적인 혼합소각을 위한 하수슬러지의 펠렛 제조 및 혼합소각기술 개발 상용화로서, 3차년도 총 2년간(2002. 2 ~ 2004. 1)에 걸쳐서 수행하는 것으로 계획되어 있으며, 연차별 주요 연구내용 및 범위는 <표 1>과 같다. 1·2차년도(2002. 2 ~ 2003. 1)에는 하수슬러지 펠렛화에 따른 생활폐기물과의 혼합소각을 위한 실험실적 기초연구를 연구 수행하고, 3차년도(2003. 2 ~ 2004. 1)에는 현장적용실험과 함께 환경신기술을 확보하여 상용화하고자 한다.

<표 1> 연차별 연구내용 및 범위

년 도	주요 사업내용 및 범위	제품의 목표. 사양. 성능 등
1 차 년 도 (2002. 2 -2002. 7)	·국내외 자료수집 및 현황조사 ·하수슬러지 조성 및 열적 특성 파악 ·펠렛화 장치설계 및 제작 ·슬러지의 적정 함수율 및 혼합비율 산정 ·슬러지 전처리 및 혼합공정 요소기술	·20㎏/hr장치 제작
2 차 년 도 (2002. 8 -2003. 1)	·고정스토카로를 이용한 연소실험 ·유동층소각로를 이용한 연소실험 ·소각 및 후처리공정 요소기술 ·최적 혼합소각시스템 선정	·1kg 소각로 제작 ·1㎏/hr 장치 (기소유)
3 차 년 도 (2003. 5 -2004. 2)	·대형 슬러지 펠렛화 장치 설계 및 제작 ·실제 도시생활폐기물 소각장 현장적용 ·신기술 신청 및 확보	·500㎏/hr 펠렛화장치 ·50～200톤/일 소각로

◎ 당해연도 연구내용 및 범위

당해 연도(1·2차년도)의 연구목표는 하수슬러지와 생활폐기물의 혼합소각시 로내 원활한 연소 및 슬러지의 안정적인 공급을 위한 슬러지의 전처리 및 혼합공정 요소기술을 확보하고, 소각 및 후처리공정 요소기술 확보에 따른 최적 혼합소각시스템을 구성하는 것으로서 당해 연도 연구내용 및 범위는 <표 2>와 같다.

<표 2> 3차년도 연구내용 및 범위

항 목	연구내용 및 범위(당초)	기업체 협의 (변경)
◦ 자료수집 및 현황조사	- 국내외 혼합소각 현장 조사 및 적용가능성 수집분석 (공급 및 소각방식)	
◦ Pneumatic 수송실험	- pilot-plant(공기 공급부 (10HP, Blower), 펠렛 수송부 (100Φ, 12,000H), 유체 분리부로 구성)를 제작하여 본교에 설치한 후 현장적용 전에 장치구성의 적합여부를 확인함. - 교내에서의 실험이 끝난 후 50~200ton/d 규모의 소각현장에 제작된 Plant를 운반하여 hopper로의 투입을 통해 현장적용 test를 함.	
◦ 산업재산권 출원	- Pneumatic 수송실험에 대하여 교내 pilot-plant실험 및 현장검증을 통해 산업재산권을 획득함	※ 현장설치가 지자체의 사정으로 4월로 연기됨에 따라 일정변경이 불가피함.
◦ 펠렛의 특성파악 실험	- 현재 펠렛의 물리적 특성과 연소특성은 1,2차 연구를 통해 확인되었으며, 이후 펠렛의 이송에서 발생할 수 있는 해체도 및 관내 부착력 test 등을 건조 및 생슬러지의 이송시 발생가능한 문제점의 보완여부를 확인해 봄.	
◦ 연소실험 및 후처리 공정 요소기술선정	- 현재 MSW/하수슬러지 펠렛 혼소의 적정조건은 1,2차 실험실 규모의 연소실험을 통해 확인되었으며, 3차년도에 현장적용을 통해 적정 슬러지펠렛의 함수율과 직경, MSW/슬러지 혼합비율 등을 재검증할 예정임. - 본 실험에 필요한 펠렛제조기 및 대용량 건조기는 본교에서 기보유중인 500kg/hr Pelletizer 대용량 열풍순환형 건조기를 사용할 예정임. - 본 실험을 통해 얻어진 결과들을 토대로 MSW/하수슬러지 펠렛 혼소에 필요한 후처리공정 요소기술을 검토 및 선정할 계획임.	※ 현장적용실험은 시운전기간이 4월이 연기됨에 따라 추후 진행 예정임. ※ 추가내용 배가스(SO_2)제어를 위한 적정기술 연구.
◦ 최적혼합소각 시스템선정	- 슬러지 전처리/혼합공정 요소기술 및 소각/후처리공정 요소기술의 확보에 따른 열정산 및 물질수지 계산 및 시스템 구축	

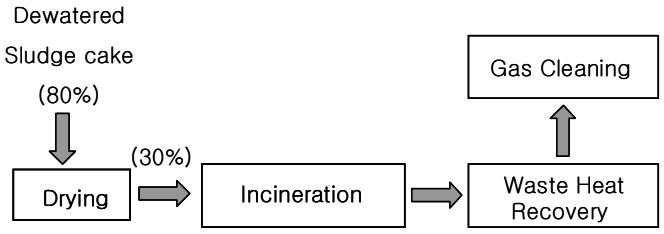
Ⅳ. 연구결과

하수슬러지 펠렛화 및 생활폐기물 혼합소각 기술개발 상용화에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 하수슬러지 펠렛의 공기이송장치에서 펠렛주입시 발생할수 있는 해체현상을 최소화하기 위해 공급부의 직경을 펠렛의 약 5배정도(ϕ160mm)로 확대하고 무축형태의 스크류를 사용하여 실험해본 결과 분말상태의 슬러지는 전체공급량의 3.5%정도로 우수한 효율을 보여, 펠렛의 공급에 아주 적합한 것으로 나타났다.
2. 하수슬러지의 펠렛화로 인해 이송시 발생할 수 있는 관막힘 현상등은 거의 나타나지 않았으며, 이러한 결과는 하수슬러지의 펠렛화로 인해 비표면적이 감소함으로써 상대적으로 벽면과의 접착효율이 낮아지기 때문인 것으로 보여진다.
3. 공기이송설비의 마지막 단계인 기·고분리 시스템에서는 펠렛자체의 밀도가 상당히 큼으로 인해 일반적인 규격의 분리장치를 사용하지 않더라도 상당히 우수한 효율을 보였다.
4. 하수슬러지 펠렛의 단독연소시 발생하는 고농도의 NO와 SO_2를 제어하기 위해 흡수제피복과 혼합의 2가지 방식으로 펠렛을 제조하여 실험해본 결과 흡수제를 피복하는 경우가 혼합에 비해 SO_2제어에 있어 효율적이었으며, 소석회가 생석회에 비해 더욱 효과적인 것으로 관찰되었다.
5. 배가스제어를 위한 흡수제의 최적사용량을 알아보기 위해 Ca/S몰비(흡수제의 Ca함량/슬러지의 S함량)를 1~9/1까지 조절하여 실험해본 결과 제조된 하수슬러지 펠렛의 외벽에 소석회를 피복하는 경우 Ca/S몰비 3에서 최적의 제거효율이 나타났으며, 이때 제거효율은 약 80% 정도인 것으로 관찰되었다.
6. 소각잔재물의 S 고정정도를 알아보기 위해 실시한 SEM, XRD, 원소분석결과, 배가스제어효율이 좋을수록 최종생성물인 $CaSO_4$의 형성 및 S의 함량이 높은 것으로 나타나 실제 배가스로의 배출이 억제되었음을 확인할 수 있었다.
7. 이상의 연구결과 연구결과 하수슬러지를 펠렛화함으로써 MSW와의 혼합소각시 배가스제어 및 혼합소각율의 향상(1/2차년도 연구결과)을 기대할 수 있을뿐만 아니라 단독소각시설 적용에서도 상당히 우수한 효율을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서, 향후 현장검증을 통해 효율검토를 한 후 경남 및 전국의 하수슬러지 처리대책에 좋은 guideline을 제공하고자 한다.

Ⅴ. 연구결과의 활용계획

국내의 슬러지의 혼소 설비로는 일반적으로 유동상 소각 방식보다는 스토카 방식의 화격자 소각 설비를 사용하고 있으며 현재 슬러지를 혼소하고 있는 국내의 해운대, 일원, 김해 소각설비가 모두 화격자 방식이다. 현재로서는 이러한 설비들은 대부분 <그림 1> 에서와 같이 수분 함수율 30% 수준의 건조 과정을 거친 후의 건조 슬러지를 소각로에 투입하는 방식이다.



<그림 1> 전형적인 슬러지 소각처리 공정

이러한 방식에서 문제가 되는 것은 건조와 소각 양측면에서 모두 발생하는데, 슬러지 건조설비의 경우 건조 중간 단계의 수분 40~50%의 슬러지는 점성이 매우 높아서 가동부가 있는 건조 설비의 경우 mixer ribbon이 손상될 정도로 처리가 어렵고 동력이 과다하게 소요된다는 점이 문제이다. 한편 소각로에 투입되는 수분 30% 수준의 건조 슬러지의 상태는 거의 밀가루 수준으로 아주 미세하므로 투입된 이후 소각로 내에서 분진으로 발생하여 2차 연소실로 즉시 날아가며 배출가스 후처리 설비 중 분진 제거 시설인 백 필터의 용량을 30~40% 정도 크게 설계하여야 하는 원인이 된다. 슬러지 투입이 없는 상태에서의 배출가스 중의 분진량은 약 2~5g/Nm^3 수준인 반면, 슬러지를 혼합 소각하는 경우 4~20g/Nm^3 수준으로 거의 3~4배 정도로 분진 발생량이 많은 것으로 알려져 있으며 슬러지 혼소 시에는 백 필터의 재생 주기가 1/4정도로 짧아진다고 보고하고 있다.

따라서, 하수슬러지를 입상화함으로써 건조슬러지가 가지는 이송 및 로내투입시 발생하는 분진 및 집진장치의 부하를 최소화 시킬 수 있을 것이며, 건조슬러지의 이송에 있어서도 기존의 처리장에서 문제시되고 있는 슬러지의 관부착으로 인한 막

힘현상 등을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 슬러지의 단독소각처리시설의 경우 슬러지내 함유되어 있는 고농도의 S함량으로 인해 배가스 중 SO_2의 제어가 문제시될 수 있지만, 본 연구를 통해 SO_2의 발생원 제어대책을 살펴볼수 있었다.

지금까지의 연구결과를 토대로 하수슬러지의 단독소각 및 MSW와의 혼합소각시설에서 보다 효율적인 처리의 가능성을 확인할 수 있었으므로 향후 경남지역에 도입될 중·대형 슬러지 전용 및 혼합소각로에 본 기술을 적용하여 슬러지처리의 효율을 극대화시킬 계획이다.