

## 20 Ton/day 동축형 2단 Cyclone 용융소각로에서 하수슬러지 처리 연구

이경학, 임준혁\*  
 부경대학교 응용화학공학부 화학공학과  
 (jhlm@pknu.ac.kr\*)

**Investigation of the Sewage Sludge Treatment  
 by Using 20ton/day Two-phase Coaxial Melting Incinerator**

Kyoung-Hag Lee, Jun-Heok Lim\*  
 Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea  
 (jhlm@pknu.ac.kr\*)

**서론**

최근 우리나라는 산업과 문화가 성장하고, 생활수준이 향상됨에 따라 생활하수 발생량이 증대되어 정부는 하수처리시설을 꾸준히 신설하고 있다. 이로 인해 하수슬러지 발생량이 매년 급속도로 증가하여 이러한 하수슬러지를 처리하는데 관심이 집중되고 있는 상황이다. 우리나라의 슬러지 총 발생량은 2007년 말 기준으로 전국에 가동 중인 공공하수처리시설(347개소)에서 1일 평균 7,631톤의 하수슬러지가 발생되고 있으며, 2011년에는 전국의 공공 하수처리시설 신·증설 등으로 인해 460개소 처리장에서 1일 약 10,259톤에 이를 것으로 전망하고 있다.

현재 국내의 하수슬러지 처리방법으로는 해양투기, 매립, 소각, 재활용 등이 있으나 재활용은 위생적으로 다소 불안정하며, 수요처가 불확실하다는 단점이 있다. 그리고 토양 매립은 처리 단가가 저렴해 가장 널리 이용되어 왔으나 2003년 7월, 정부의 유기성오니 매립 금지규정의 시행에 따라 매립할 수 있는 슬러지가 대폭 감소하였다. 또한 수분이 다량 존재하는 하수슬러지를 매립할 경우에는 지반침하, 유기물에 의한 악취, 중금속 침출로 인한 2차 오염을 유발시킬 수 있고, NIMBY(Not In My Back Yard)현상으로 인한 새로운 매립지의 선정 및 확보에도 많은 어려움이 있다. 그래서 2007년을 기준으로 슬러지 중의 대부분인 68.5%를 해양배출로 의존하고, 매립(2.1%), 소각(0.9%), 재활용(18.5%) 순으로 처리하고 있는 상황이다.

하수슬러지를 해양배출로 처리하는 경우에도 2012년 정부의 해양배출 금지 정책에 따라 근본적인 대책이 될 수 없다. 이에 대비하여 정부는 하수슬러지 관리 기본계획 및 종합대책을 수립하였다. 또한 2011년 말까지 하수슬러지 육상처리시설을 완비할 수 있도록 국고 지원 및 여러 가지 정책을 내놓고 있다.

슬러지 처리·처분방법을 개선하기 위하여 여러 연구결과가 제시되었는데, 그 중에서도 유해성 유기물질과 중금속 물질이 다량 함유되어 있는 하수슬러지의 문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 기술로서 고온에서 처리하는 용융고형화 방법이 가장 적합한 것으로 인식되고 있다.

본 연구에서는 국내 자체적으로 개발된 동축형 2단 하수슬러지 용융소각 기술에 대해서 소개하고, 하수슬러지를 효과적으로 처리할 수 있는 가능성을 검토하고자 한다.

**실험**

하수슬러지 용융 소각처리 및 자원화 기술에 관한 국내의 연구 개발 역사는 매우 짧으며, 1990년 중후반에 들어와서야 본격적인 연구가 진행되기 시작하였다. 본 연구에서 사

용된 하수슬러지 용융소각 기술은 국내 자체적으로 개발된 것으로 상용화를 목표로 연구가 진행되고 있는 단계이다. 동축형 2단 용융소각 기술은 Fig.1과 같이 가연성 가스 또는 전기에너지를 사용하는 기존 용융기술과 달리 1차 연소실에서 1,000℃ 전후의 연소가스와 공기를 2차 연소실에 공급함으로써 별도의 에너지를 열원으로 사용하지 않고 건조된 하수 슬러지를 용융 소각할 수 있다는 장점이 있다.

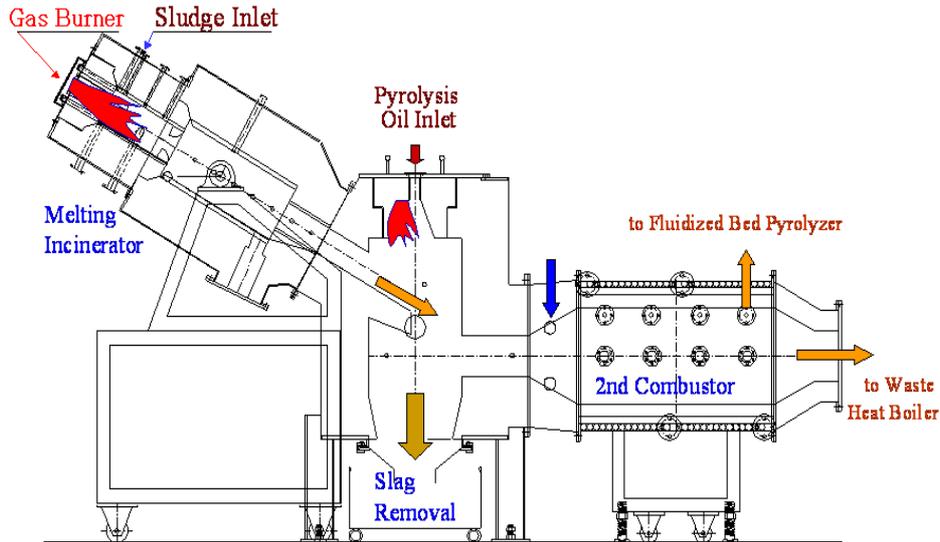


Fig 1. 하수슬러지 Cyclone 용융소각로 및 2차 연소로

용융소각로의 1차연소실은 Thermal NO<sub>x</sub>의 발생 억제를 위해 공기비 0.7로 운전되고, 고온의 연소용 공기를 2차 연소실에 투입하여 2차 연소실의 냉각 방지효과를 발생 시킨다. 2차 연소실은 고가의 순 산소 또는 전기에너지를 사용하지 않고 1차 연소실에서 생성된 고온의 공기와 보조 연료인 메탄가스를 이용하여 1,500℃를 유지한다. 원료인 하수슬러지는 공기와 혼합되어 3중 선회 흐름으로 투입되고, 기체화된 용융물이 벽면을 타고 유동되어 분진 발생을 억제시킨다.

본 연구에서 사용된 용융소각로는 슬러지 소각과 동시에 소각재를 용융시킴으로써 시스템을 간소화 했으며, 소각재의 중금속 침출에 의한 수질과 토양오염을 방지할 수 있는 특징을 가지고 있다. 그리고 동축형 2단 용융소각로는 보조연료의 사용을 최대한 감소시키고 고온의 용융공정에 필요한 에너지 비용을 절감시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 순산소와 고전류를 사용하지 않으므로 용융소각로의 제작과 설치가 간단하고 설치 후 취급과 운전이 안전하다.

동축형 2단 용융소각 기술은 함수율 80% 이상의 하수슬러지가 건조기를 거쳐 10% 미만의 함수율을 가진 건조슬러지로 만들어서 고온의 용융로에서 연소되어 환경적으로 안전한 용융슬래그를 부산물로 만든다. 전체 공정이 Fig 2에 나타나 있다.

3중 선회 유동의 효과에 의해 유동의 경계층에서 발생하는 연소용 공기와 소각 대상 물질의 급속한 혼합에 따라 고밀도 연소효과를 얻을 수 있으며, 결과적으로 고온의 연소 분위기를 형성함으로써 원활한 소각과 함께 슬러지에 포함된 회분을 높은 온도에서 용융시킬 수 있다.

소각로에서 용융된 회분은 slag 형태로 연소가스와 함께 소각로에서 배출되어 slag 제거를 위해 마련된 slag pot에서 수냉식 냉각 방식으로 처리되며 회분은 용융처리에 의해 안정화되므로 이후 중금속 성분의 용출을 방지할 수 있게 된다.

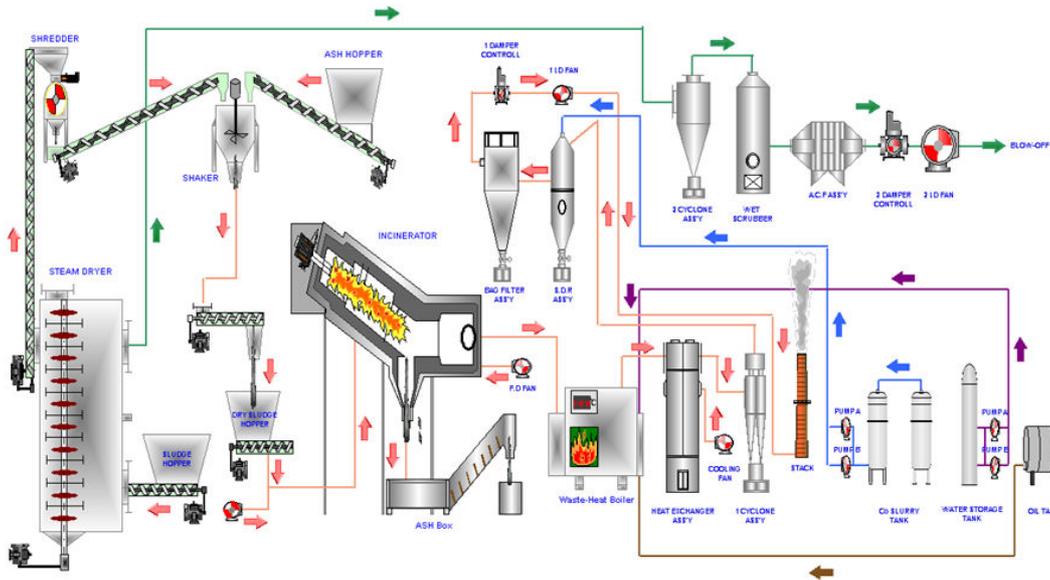


Fig 2. 동축형 2단 Cyclone 용융소각기술 전체 공정도

$NO_x$  저감을 위하여 고온의 용융소각로의 공기비는 0.75 전후로 낮게 유지함으로써 환원성 분위기를 유지하며 이때 발생하는 일산화탄소 등 미연소 성분의 완전 연소를 위하여 2차 연소로를 설치하여 이용한다. 2차 연소로에서 배출되는 배기가스의 열은 폐열보일러에서 회수되며 이때 생성되는 증기의 열을 이용하여 하수 슬러지를 건조할 수 있다.

**결과 및 토론**

전체 용융소각 처리 공정은 Fig 2와 같이 진행되었다. 최종 부산물인 용융슬래그의 중금속 용출 특성을 알아보기 위해서 환경오염 공정시험법의 중금속 용출시험 방법 (Batch Leaching Test)을 사용했다. 중금속 성분은 원자흡수분광법(Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS)을 이용하여 분석하였다. 그리고 용융슬래그의 환경 친화적인 활용 기술로 개발하기 위해서 여러 가지 물성분석을 수행하였다.

하수슬러지를 용융시켜 얻은 슬래그 중금속 용출 실험 결과 카드뮴, 납, 육가크롬, 비소 수은 등 대부분의 중금속은 기준 농도 이하의 용출 결과를 나타내었다(Table 2). 이는 선행 연구에서도 확인된 것으로 하수슬러지를 용융시켜 만들어지는 부산물이 환경적으로 매우 안정하다는 사실을 확인 할 수 있었다.

Tabl 1. 용융 슬래그 물성 분석 결과 - 화학시험 연구원

시 험	항 목	결 과	시 험 방 법
입도 분포(%)	10 mm	100	KSF 2502
	5 mm	98	
	2.5 mm	81	
	1.2 mm	48	
	0.6 mm	13	
	0.3 mm	4	
	0.15 mm	1	
조 립 율		3.56	KSF 2526
단위용적질량(kg/L)		1.68	KSF 2505
비중(23/4℃)	다짐봉시험	2.60	KSM 0602

Table 2. 용융 슬래그 중금속 용출 실험 결과

(단위 : mg/L, Hg ppb)

	Cr	Pb	As	Zn	Cu	Cd	Ni	Hg
1	0.009	0.004	0.003	0.017	0.006	0.005	0.002	0.1406
2	0.014	0.004	0.004	0.028	0.018	0.005	0.001	0.0599
3	0.161	0.003	0.005	0.094	0.027	0.006	0.004	0.0546
4	0.192	0.002	0.007	0.119	0.035	0.006	0.005	0.0421
5	0.005	0.004	0.002	0.014	0.007	0.005	0.002	0.0911
6	0.003	0.005	0.004	0.007	0.005	0.005	0.002	0.0238
7	0.011	0.005	0.005	0.007	0.010	0.005	0.002	0.0110
8	0.009	0.004	0.001	0.034	0.087	0.005	0.016	0.0313
9	0.011	0.003	0.003	0.019	0.063	0.005	0.014	0.0387
10	0.010	0.005	0.006	0.006	0.060	0.005	0.009	0.0582

물성 분석 결과는 비교적 규정에 잘 적합하지만, 콘크리트용 잔골재 규정보다는 다소 입도가 큰 것으로 나타났다. 이는 실험 변수의 조정을 통해서 충분히 조절 가능할 것으로 여겨지며 충분히 만족스러운 결과로 생각된다. 조립률은 3.56으로 규정 2.3~3.1에 비해서 약간 벗어났으나, 비중은 규정 2.5이상을 만족하는 결과를 나타냈다.

단위용적중량은 1.68kg/L로 KSF 2534 “구조용 경량 골재”의 규정 1.12kg/L에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 수냉식 냉각방식으로 생산된 용융슬래그의 물리적 특성이 다른 냉각방식에 비해서 낮기 때문인 것으로 판단된다.

### **Acknowledgment**

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임

### **참고문헌**

1. Sakai, S. and Masakatsu, H, Municipal Solid Waste Incinerator Residue Recycling by Thermal Processes, Waste Management, 20(2-3), pp.249-258(2000).
2. Takaoka, M., Takeda, N. and Miura, S., The Behavior of Heavy Metals and Phosphorous in an Ash Mating Process, Wat. Sci. Technol., 36(11), pp. 275-282(1997).
3. 김진범, 이우근, 도시쓰레기 소각잔사 중에 함유된 중금속의 용출특성에 관한 연구, 대한환경공학회지, 19(4), pp. 481-490(1997).
4. 김기현, 김삼권, 송금주, 도시폐기물 소각시설에서의 금속배출특성 연구, 한국연소학회지, 8(1), pp. 1-8(2003).