

가스화기 시스템의 비산재 함유 폐수특성 및 처리시스템 연구

함동수, 김문현, 김나랑, 주지선
고등기술연구원 Plant Engineering 센터

A Study on the Characteristics and Treatment System of Waste Water including Fly Ash from Gasification System

Ham Dong Soo, Kim Mun Hyun, Kim Na Rang, Ju Ji Sun
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering(IAE)

1. 서론

가스화용융 기술은 폐기물·폐유·석탄 등 저급의 시료를 가스화하여 활용 가능한 합성가스를 생성하고 잔유물인 무기물은 환경적으로 무해하고 재활용이 가능한 슬래크으로 배출하는 기술로서 환경·에너지·자원 문제에 동시에 접근하는 기술이다. 즉, 가스화반응은 산소가 불충분한 불완전연소로 시료내의 S와 N 성분이 화학반응 자체에서 대표적인 공해물질인 SOx, NOx로 발생하지 않고 대신 H₂S와 NH₃로 대부분 발생되어 이는 후단공정에서 처리하게 되며, 가스화반응의 주요 생성물인 CO와 H₂ 가스는 연료 또는 화학원료로 활용이 가능하여 환경과 에너지 측면에서 매우 유용한 기술이라 판단되어진다.

본 연구센터에서는 국가지정연구실사업으로 가연성 폐기물처리용 가스화용융시스템을 개발중에 있으며 현재까지 개발된 가스화용융시스템은 최대 10기압에서 조업 가능한 분류층(Entrained bed) 방식으로서 폐유, 하수슬러지, 중잔유, 소각재 등의 액상 및 슬러리형태의 폐기물을 대상으로 연구중에 있다.

가연성 폐기물처리용 가스화용융시스템은 기본적으로 가스화공정, 합성가스 냉각공정, 합성가스 처리공정 및 슬래크 배출공정으로 구분되는데, 습식 합성가스 냉각공정에서 다량의 폐수가 발생하게 된다. 이에 본 연구에서는 가스화용융시스템의 합성가스 냉각공정에서 발생하는 폐수의 특성을 파악하고 적합한 처리시스템을 구성한 후, 가스화용융시스템의 후단 폐수처리공정에 적용하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 가스화용융시스템 구성 및 대상시료

본 연구는 가스화용융시스템 운전중 합성가스 냉각공정에서 배출되는 폐수를 대상으로 실험을 진행하였으며 이러한 폐수의 특성은 투입 대상시료 및 가스화용융시스템 운전특성에 따라 큰 영향을 받게 된다.

가스화용융실험에 사용한 시료는 국내 화학공장에서 발생하는 액상폐기물을 폐기물 재활용업체에서 전처리한 것을 사용하였으며, [표 1]에 투입 대상시료에 대한 공업분석, 원소분석을 나타내었다.

가스화기 운전은 최고온도 기준으로 1400~1450℃를 유지하였고, 압력은 1기압으로 조절하였다. 가스화반응 후 가스화기에서 배출되는 고온의 합성가스는 1차 냉각기에서 물을 분사하여 냉각시키고, 비산재등의 입자상 물질은 디미스터(demister)가 부착된 스크러버에서 포집되어 폐수처리시스템으로 유입되게 하였다. [그림 1]에 가스화용융시스템의 구성을 나타내었다.

표 1. 대상시료의 성분분석

분석항목		폐유	액상슬러지
Proximate Analysis (As received, %)	Moisture	0.01	57.88
	Volatile Matter	99.92	35.27
	Ash	0.04	3.39
	Fixed Carbon	0.03	3.46
Ultimate Analysis (Moisture free, %)	C	73.21	41.62
	H	10.49	8.86
	N	0.09	0.44
	S	0.30	1.32

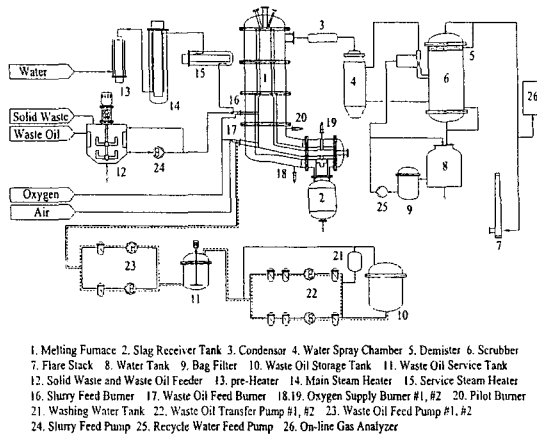


그림 1. 가연성 폐기물 가스화용융 공정 흐름도

2.2 실험방법

2.2.1 폐수 특성 분석 실험

발생 원폐수의 특성을 살펴보기 위하여 가스화용융시스템 운전중 합성가스 냉각공정에서 배출되는 폐수를 4ℓ 폴리프로필렌 용기에 포집하여 입도, 부유물질, COD 및 중금속을 분석하였다.

2.2.2 Jar-Test 실험

최적 응집제 주입량을 결정하기 위하여 응집실험 중 Jar-test를 이용하였다. 원폐수 500 ml를 비이커에 취하여 급속교반, 완속교반, 자연침강을 시킨 후 상등액을 일정량 취하여 부유물질을 분석하였다.

2.2.3 Pilot급 폐수처리시스템 구축 실험

본 실험에 사용된 Pilot급 폐수처리시스템은 폐수의 특성을 고려하여 급속교반장치, 응집제 투입장치, 응집/침전장치, 입자상물질 제거장치(백필터, 원심분리기)로 구성하였으며, 시스템의 개략도는 [그림 2]에 나타낸 바와 같다.

스크러버에서 발생한 폐수는 일정량의 응집제가 공급되는 교반조로 이송되어 응집제와 급속교반 후 3등분된 응집/침전조의 한 부분으로 이송된다. 일정시간 경과 후 응집/침전이 완료되면 응집/침전조 상부의 상등수는 백필터로 이송하여 미세 입자상 물질 제거후 깨끗한 처리수로 방류된다. 응집침전조 하부에 침전된 고농도 슬러지는 원심분리기로 이송되어 탈수 후 입자상물질은 탈수케익으로 배출되며 배출수는 다시 교반기로 이송되어 재순환하게

된다.

폐수처리시스템의 효율을 측정하기 위하여 원폐수, 응집/침전조 상등수, Bagfilter 후단 처리수를 일정량 포집하여 입도분석, 부유물질, COD 및 중금속을 분석하였다.

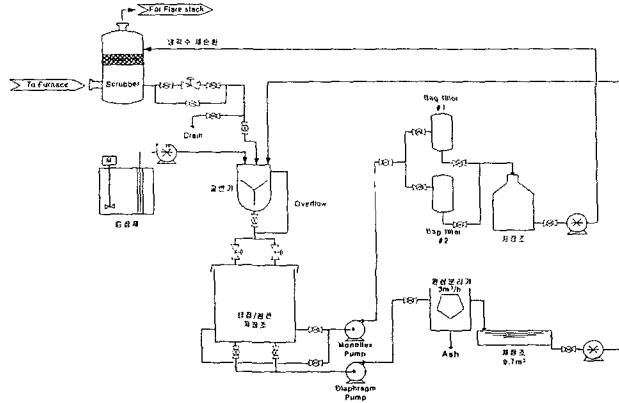


그림 2 폐수처리 공정 흐름도

2.2.4 탈수케의 성분분석 실험

원심분리기에서 분리된 탈수케의 성상을 파악하고 연료로의 재사용 유무를 판단하기 위하여 탈수케의 일정량을 포집한 후 공업분석, 원소분석, 중금속 함량 및 용출 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐수 특성분석 결과

원폐수(스크리버 폐수)는 짙은 검은색 폐수로 입도분석 결과, 0.5~120 μ m의 입자 size를 가지며 10 μ m 전후에서 최빈 분포도를 보였다. 1~50 μ m 사이의 입자가 전체의 98%를 차지하였으며 1 μ m이하의 미세한 콜로이드물질은 전체의 1%정도로 나타났다. 원폐수를 일정시간 비이커에 넣고 정체시킨 결과, 자연침강에 의해 어느 정도 층분리가 발생하였다. 발생 원폐수에 대한 입도분석 결과를 [그림 3]에 나타내었다.

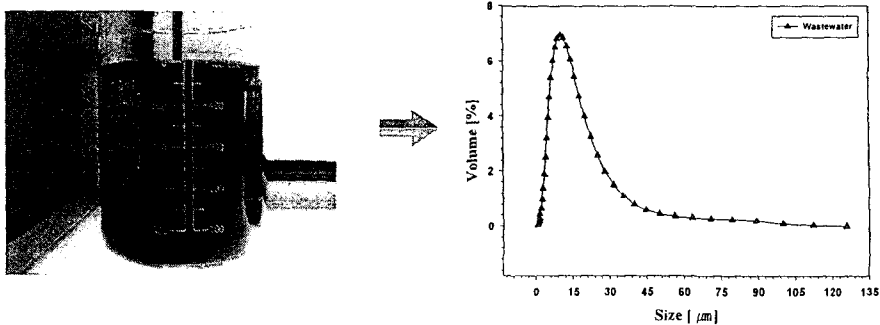


그림 3. 원폐수내 입자상물질의 입도분석 결과

원폐수내에 있는 입자상물질은 1,698mg/l, 화학적산소요구량은 42.4mg/l로 분석되었다. 중금속 농도를 분석해 본 결과, Cd는 검출되지 않았으며 Pb, Cu, As, Cr은 각각 0.08mg/l, 0.19mg/l, 0.03mg/l, 0.04mg/l 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이 값들은 국내에서 적용되

는 폐수의 배출허용기준치(청정지역)와 비교해 볼 때 Hg를 제외한 나머지 항목은 기준치보다 낮게 측정되었다. 원폐수에 대한 성상분석 자료를 [표 2]에 나타내었다.

표 2. 원폐수 성상분석

구분	SS (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	중금속(mg/ℓ)					
			Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr
원폐수	1,698	42.4	0.08	0.19	0.03	0.0113	N·D	0.04
배출허용기준 (청정지역)	40	50	0.2	0.5	0.1	N·D	0.02	0.1

3.2 Jar-Test 결과

3.2.1 응집제 선정

응집(Coagulation)이란 진흙입자, 유기물, 세균, 조류, 색소, 콜로이드 등 탁도를 일으키는 콜로이드 상태의 물질과 부유고형물질을 제거하기 위하여 각종 폐수처리에 많이 이용되는 화학적 처리로 응집제를 첨가하여 불안정화된 입자끼리 상호 부착을 이루게 하는 것이다.

현재 주로 사용되고 있는 Aluminium계(무기응집제)를 과다 사용할 시 노인성 치매(Alzheimer's Disease)의 원인인 잔류알루미늄이 많이 남게 되는데 고분자응집제를 사용함으로써 예방할 수 있고, 넓은 범위의 pH(5~10)에 적용가능하며, 무기응집제 사용시에는 많은 양의 슬러지가 발생하는데 고분자응집제를 사용하게 되면 정수슬러지 발생량을 감소시켜, 그에 따른 탈수처리가 용이하므로 본 실험에서는 [표 3]과 같이 에멀전(Emulsion)상태의 폴리아크릴아마이드(Polyacrylamide)가 주성분인 고분자응집제를 사용하였다.

표 3. 응집제 특성

주요성분	외관	이온성/ 전하밀도	비중	0.2%용액 pH	유효 pH 적용범위	동결	인화점(℃)
Polyacrylamide	유백색의 에멀전	음이온/강	1.00±0.04	6~8	4~10	-18	>93

3.2.2 최적 응집제량 결정

5개의 500ml-비이커에 시료 500ml를 넣고 고분자응집제(회석 2%)를 0~2%까지 주입농도를 변화시켜 동시에 첨가한 후 1분간 급속교반(150rpm)과 15분간 완속교반(25rpm)으로 플럭을 형성시킨 후 30분간 침강시켜 상등액의 입자상물질을 분석하였다. 입자상물질 분석결과, [그림 4]에서와 같이 고분자응집제 0.5%(100mg/ℓ) 주입시 최적 응집조건을 보였다.

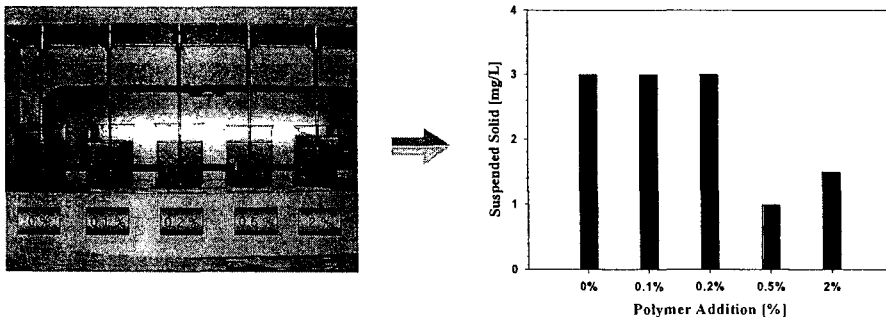


그림 4. Jar-Test 및 상등수 입자상물질(SS) 분석결과

3.3 Pilot급 폐수처리시스템 구축 실험 결과

스크러버에서 배출되는 원폐수 분석결과, 다량의 입자상물질을 함유하고 비교적 쉽게 침강하는 특성이 있으므로 응집/침전장치, 상등수 여과장치(Bagfilter), 침전슬러지 탈수장치(원심분리기)를 주요 장치로 설치하였으며, 실제 가스화기 운전시 적용시험을 진행하였다.

응집/침전조 상등수 입도분석결과, 1~90 μ m의 입자 size를 가지며 25 μ m 전후에서 최빈 분포도를 보였다. 따라서 상등수 입자상물질 제거를 위해 후단 백필터 선정시 1 μ m이상 입자상물질을 포집할 수 있는 부직포를 사용하였다.

입자상물질(SS) 분석결과, 원폐수 1,698mg/l, 상등수 31mg/l, 처리수 25mg/l로 분석되었다. 응집/침전에 의한 입자 제거효율은 98.1%이며 전체 폐수처리시스템 효율은 98.5%로 나타났다. 처리수 분석결과, [표 4]와 같이 COD 감소율은 45%로 나타났으며, 중금속 감소율은 62.5~91.1%로 배출허용기준(청정지역)보다 낮게 나타났다.

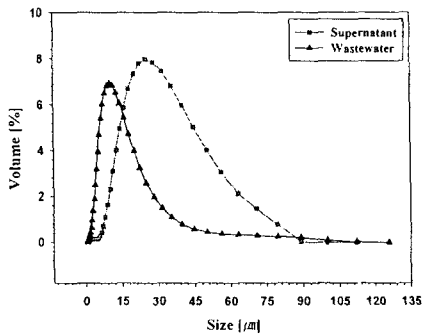


그림 5. 원폐수 및 상등수 입도분석

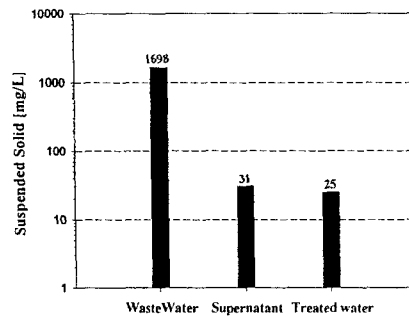


그림 6. 폐수/상등수/처리수 SS분석

표 4. 처리수 분석결과

구분	SS (mg/l)	COD (mg/l)	중금속(mg/l)					
			Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr
원폐수	1,698	42.4	0.08	0.19	0.03	0.01	N·D	0.04
처리수	25	23.2	0.03	0.06	0.01	<0.005	N·D	0.01
배출허용기준 (청정지역)	40	50	0.2	0.5	0.1	불검출	0.02	0.1

3.4 탈수케익 성분분석 결과

원심분리후 탈수케익에 대한 공업분석, 원소분석 및 중금속 분석결과를 [표 5, 6]에 나타내었다. 용출시험 결과, As, Hg, Cd는 용출되지 않았으며, Pb, Cu, Cr은 각각 0.10mg/l, 0.05mg/l, 0.04mg/l 용출된 바 일반 매립이 가능한 것으로 나타났다.

표 5. 탈수케익 성분특성

분석항목		탈수케익	폐유	액상슬러리
Proximate Analysis (As received, %)	Moisture	59.55	0.01	57.88
	Volatile Matter	2.39	99.92	35.27
	Ash	1.02	0.04	3.39
	Fixed Carbon	38.41	0.03	3.46
Ultimate Analysis (Moisture free, %)	C	50.22	73.21	41.62
	H	0.09	10.49	8.86
	N	0.00	0.09	0.44
	S	0.24	0.30	1.32

표 6. 탈수케익 중금속 분석

구분	중금속(mg/ℓ)					
	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr
중금속 함량	13	17	3	N·D	N·D	50
중금속 용출	0.10	0.05	N·D	N·D	N·D	0.04
환경기준 (지정폐기물)	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5

4. 결론

국내 화학공장에서 발생하는 액상폐기물을 대상으로 자체 개발한 5톤/일급 가스화용융실험을 실시하여, 합성가스 냉각공정에서 발생하는 폐수의 특성분석 및 폐수처리시스템을 구축하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 원폐수는 소수성 입자상물질의 자연침강에 의해 어느정도 층분리가 일어나는 특성이 있으며, 입자상물질(SS) 1,698mg/ℓ, COD 42.4mg/ℓ 및 소량의 중금속류를 함유하고 있어 폐수의 적정처리가 필요함을 알 수 있었다.
- 2) Jar-Test결과 고분자응집제(화석 2%) 주입량이 0.5%에서 응집/침전이 가장 잘 일어났으며, 고분자응집제 주입과 동시에 쉽게 플러키 형성되어 침전됨을 알 수 있었다.
- 3) 폐수의 특성을 고려하여 응집/침전장치, 상등수 여과장치(Bagfilter), 침전슬러지 탈수장치(원심분리기)를 주요장치로 구성하여 가스화용융실험시 적용한 결과, 입자상물질 제거 효율 98.5%, COD 감소율 45%, 중금속 감소율 62.5~91.1%을 나타내었으며 국내 폐수 배출허용기준을 만족하는 값을 확인할 수 있었다.
- 4) 원심분리 후 배출되는 탈수케익은 국내에서 적용되는 지정폐기물 기준치 이하의 비교적 안정한 물질로 배출되었으며, 향후 가스화기시스템으로 재투입하여 환경적으로 무해한 처리시스템의 연구를 진행할 계획이다.

5. 감사

본 연구는 과학기술부 산하 한국과학기술평가원에서 지원한 국가지정연구실 “가연성 폐기물 처리를 위한 가스화용융 공정기술개발” 과제의 일환으로 추진되었습니다. 지원에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. 주지선, 정석우, 변용수, 김문현: "1톤/일급 분류층 가스화기에서 혼합액상폐기물의 가스화용융 특성", 한국에너지공학회 추계학술발표회, (2003)
2. 김동민, 김선희: "폐수처리공학", 동화기술, (2001)