

## Bench급 가스화기에서 폐유/비산재 가스화용융 특성연구

주지선, 나혜령, 정석우, 구재희  
고등기술연구원 Plant Engineering센터

### Gasification and Melting Characteristics of Waste-oil/Fly-ash mixture in Bench-Scale Gasifier

Ji Sun Ju, Hye Ryung Na, Seok Woo Chung, Jae Hoi Gu  
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

#### 1. 서론

폐기물을 처리대상으로 하는 가스화용융공정은 환경문제와 에너지효율 문제를 동시에 접근할 수 있는 공정으로서 향후 연소반응에 근거한 공정을 점진적으로 대체할 것으로 예측되고 있다.

본 센터에서는 “가연성 폐기물처리용 5톤/일급 가스화용융 공정기술개발”의 과제를 과학기술부 국가지정연구실사업을 통해 수행중에 있으며, 1톤/일급 가스화 용융로의 설계/운전, 폐기물별 가스화용융특성 Database화, 5톤/일급 scale-up 설계 등을 주요 연구목표로 폐기물의 가스화용융기술을 개발중에 있다.

본 논문에서는 연구센터에서 자체 설계/제작한 1톤/일급 분류층 가스화기를 이용하여 생활폐기물 소각장에서 발생하는 비산재와 폐유의 혼합시료를 1450-1500℃, 3기압의 운전조건에서 가스화용융 시켰을 때 나타난 실험결과를 고찰하였다.

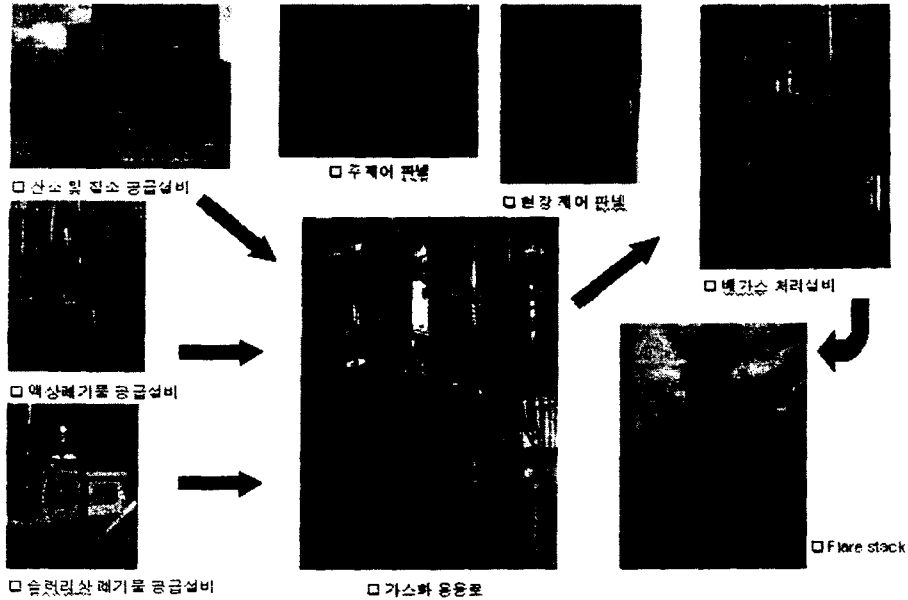
#### 2. 실험방법

실험에 사용된 가스화기는 분류층 형태의 가스화기로서, 액상폐기물 및 슬러리상(액상과 입자상의 혼합물) 폐기물 공급설비, 유틸리티공급설비, 가스화기 본체 및 발생가스의 처리설비로 구성되어 있다[그림 1 참조].

본 실험에서 대상으로한 입자상 폐기물은 생활폐기물 소각장에서 발생하는 비산재로서 용융점이 1240℃ 이고, 평균입경은 67.3 μm 의 물성을 가진다. 비산재의 투입은 폐유와 혼합하여 80℃ 내외로 예열한 후, 고압펌프를 이용하여 가스화기 상부에 설치된 버너를 통해 공기를 이용하여 분무시켜 가스화기 내로 공급하였다. 폐유는 양질의 정제된 윤활유로서 발열량이 10953 kcal/kg 인 것을 사용하였다.

본 연구에서 가스화에 사용한 반응기는 직경 300mm, 길이 3000mm로, 가스의 체류시간을 4-5sec 정도 유지할 수 있는 조건으로 실험을 실시하였다. 가스화기에서 배출되는 1200℃ 이상의 배출가스는 냉각탑에서 물을 분사하여 냉각하였고, 입자상 물질은 Demister 가 부착된 Scrubber와 Bag Filter를 이용하여 제거하고, 최종 배출된 가스는 Flare Stack을 통과시켜 처리하였다. 발생가스의 조성은 가스분석기로 연속측정 하였으며, 발생된 가스량은 Orifice meter와 V-cone meter를 이용하여 측정하였다. 용융되지 않고 비산된 Dust의 발생량은 실험후 Filter Bag 및 Dimister에서 포집된 양으로부터 계측하였다.

가스화기의 예열은 LPG를 이용하여 24시간 이상 실시하였으며, 예열시 가스화기 내부 내화재의 온도는 1400℃ 범위로 가열하였다. 가스화기내 반응 조건은 폐유와 비산재의 혼합물을 투입하면서, 폐유를 이용하여 단열재에서의 최고온도를 1450-1500℃ 범위로 온도를 유지하였고, 압력은 3kg/cm<sup>2</sup>로 조절하였다.



[그림 1] Bench 급 가스화용융시스템 구성

[표 1] 폐유 및 비산재의 물성치

폐유 물성치	공업분석(%), As-received				원소분석(%)						발열량 (kcal/kg)
	수분	휘발분	Ash	고정탄소	C	H	N	S	O	Ash	
	0.0	99.82	0.17	0.01	87.6	11.31	0.18	0.21	0.53	0.17	10953

비산재	공업분석(%), As-received				용유점 (℃)	Volume 평균입도(μm)
	수분	휘발분	Ash	고정탄소		
	0.35	0.65	98.5	0.17	1240	67.28

[표 2] 실험조건

가스화기 치수	직경(mm)	300	투입량	비산재(kg/h)	10.35
		길이(mm)		3000	폐유(kg/h)
조업조건	최대온도(℃)	1500℃	O <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /h)	36.9	
	압력(Kg/cm <sup>2</sup> )	3	Air(Nm <sup>3</sup> /h)	13.6	
	체류시간(sec)	4-5	N <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /h)	14.8	
	예열온도(℃)	80	Steam(kg/h)	22.9	
	스팀온도(℃)	200	Methane(Nm <sup>3</sup> /h)	5.3	

### 3. 실험결과

비산재와 폐유의 혼합비는 펌프로 수송 가능한 범위까지 비산재의 양을 증가시키면서 결정하였는데 비산재/폐유의 비가 1:1 정도까지는 수송에 문제가 없었으나, 그 이상 비산재가 혼합되는 경우는 점성이 급격히 증가하여 이송에 문제가 발생되었다.

실험시 투입버너는 비산재/폐유 혼합물을 투입하는 버너와 폐유만을 투입하는 버너 2 가지를 사용하였는데 폐유/비산재 투입용버너에서의 투입량을 20 kg/h정도 유지하면서 폐유투입용 버너를 이용하여 단열재에서의 최고온도를 1450-1500 ℃ 범위로 유지할 수 있는 운전 조건을 도출한 결과 비산재 투입량 10.35kg/h의 조건에서 총 폐유투입량이 32.7kg/h 일때 안정적인 운전을 수행할 수 있었다.

실험결과 측정된 생성가스 조성 및 용융슬래크 발생량은 [표 3]에 나타내었으며, 발생된 생성가스량은 시간당 137 Nm<sup>3</sup> 로 CO 28.9% 와 H<sub>2</sub> 41.6% 의 가연성 가스조성을 얻을 수 있었다. 이때 탄소전환율 및 냉가스효율은 각각 92.5 %, 71.9 %로 계산되었다.

[표 3] 생성가스 조성 및 슬래크 발생량

생성가스조성(%),Moisture free basis								생성가스 유량 (Nm <sup>3</sup> /h)	슬래크 발생량 <sup>1)</sup> (kg/h)	포집 Ash 량 <sup>2)</sup> (kg/h)
CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>			
28.9	41.6	10.4	0.38	0.015	0.067	0.03	18.7	137.0	7.92	0.72

주 1) : Slag Quencher 에서 채취된 량    2) : Filter 및 Demister 에 포집된 Ash 량



[그림 2] 생성슬래크사진



[그림 3] 생성슬래크 단면(배율 : x1000)

생성된 용융슬래크는 가스화용융로 하부에 설치한 Slag Quencher에서 실험후 채취하였는데 10-50mm 크기로 반구형의 형상을 나타내었다(그림 2 참조). Slag Quench에서 채취한 량과 Filter 및 Demister 에 포집된 Ash 량을 기준으로 계산한 결과 슬래크화율은 76.5 % 에서 93.1% 의 범위로 나타났다.

$$\text{슬래크화율1(\%)} = \frac{\text{Slag Quencher 내의 슬래크량}}{\text{공급된 시료중의 ash 량}} \times 100 = 76.5 \%$$

$$\text{슬래크화율2(\%)} = \frac{(\text{공급된 시료중의 ash 량} - \text{포집된 ash 량})}{\text{공급된 시료중의 ash 량}} \times 100 = 93.1 \%$$

생성된 용융슬래크를 이용하여 중금속 용출실험을 한 결과는 [표 4]에 나타내었다. 원시료인 비산재의 용출량과 비교해 볼 때 용융슬래크에서의 용출량이 매우 적음을 알 수 있었으며, 국내용출기준치와 비교해 볼 때 규제치를 만족함을 알 수 있었다.

[표 4] 비산재 및 용융슬래크의 중금속 용출량

구분	비산재(mg/l)	용융슬래크(mg/l)	국내기준치(mg/l)
Hg	0.2090	N.D.	0.005
Cd	64.868	0.001	0.30
Pb	2.096	0.008	3.00
Cr	0.7180 (Total-Cr)	0.088(Total-Cr)	1.50 (Cr <sup>6+</sup> )
As	0.067	0.001	1.00
CN <sup>-</sup>	-	N.D.	1.00
PCB	-	N.D.	-
Zn	35.359	0.056	-
Ni	0.195	0.006	-
Fe	20.813	0.322	-
Mn	2.625	0.007	-

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자체 설계 제작한 1톤/일 처리규모의 가스화기를 이용하여 1450~1500℃, 3 kg/cm<sup>2</sup>의 운전조건에서 생활폐기물 소각장에서 발생하는 소각재와 폐유를 시료로 하여 가스화용융특성을 조사하였다.

실험결과 비산재 투입량 10.35 kg/h, 총 폐유투입량 32.7kg/h 의 조건에서 CO 28.9%, H<sub>2</sub> 41.6% 의 조성을 가진 생성가스를 시간당 137 Nm<sup>3</sup> 얻을 수 있었고, 이때 탄소전환율 및 냉가스효율은 각각 92.5 %, 71.9 %로 계산되었다.

비산재의 슬래크화율은 Slag Quench 에서 채취한 양과 Filter 및 Demister 에 포집된 Ash 량을 기준으로 볼 때 76.5 에서 93.1 % 의 범위에 있음을 알 수 있었다. 생성된 용융슬래크를 이용하여 중금속의 용출실험을 한 결과 원시료인 비산재의 용출량과 비교해 볼 때 용융슬래크에서의 용출량이 매우 적음을 알 수 있었으며, 국내기준치와 비교해 볼 때 규제치를 충분히 만족함을 알 수 있었다.

#### 감 사

본 연구는 과학기술부 산하 한국과학기술평가원에서 지원한 국가지정연구실 “가연성 폐기물처리용 5톤/일급 가스화용융 공정기술개발” 과제에 일환으로 추진되었습니다. 지원에 감사드립니다.