

Bench급 분류층 폐유가스화기의 운전특성

주지선, 나혜령, 김원배, 정석우
고등기술연구원 Plant Engineering센터

Operation Characteristics of Waste-Oil in Bench-Scale Entrained-Bed Gasifier

Ji Sun Ju, He Reung Na, Won Bae Kim, Seok Woo Jung
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

1. 서 론

가스화용융기술은 폐기물이나 저급의 시료로부터 CO, H₂ 등의 연료가스로 에너지를 회수함과 동시에 잔류물인 무기물을 환경적으로 무해한 슬래크으로 처리하여 재활용이 가능하도록 하는 복합기술로, 환경/에너지/자원문제에 동시에 접근하는 기술이다[1].

본 센터에서는 이러한 고온가스화용융기술을 이용하여 “가연성 폐기물처리용 5톤/일급 가스화용융 공정기술개발”의 과제를 과학기술부 국가지정연구실사업을 통해 수행중에 있는데, 현재의 연구개발은 액상폐기물중 열량이 높고 연료가스의 회수가 용이한 폐유를 대상으로 하고 있으며, 향후 폐수슬러지, 오폐수, 폐유기용재등의 액상 폐기물로 연구 범위를 확대할 계획으로 있고, 이에 필요한 설비의 제작작업과 시운전을 수행중에 있다.

이 연구 발표에서는 본 연구센터에서 자체 설계/제작한 1톤/일급 분류층 가스화기를 이용하여 정제된 폐유허유를 1400-1450℃, 4기압의 운전조건에서 가스화반응 시켰을 때 나타난 가스화기의 운전특성을 고찰하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 가스화기는 분류층 형태의 가스화기로서, 액상폐기물의 저장설비와 공급설비, 유틸리티공급설비, 가스화기 본체 및 발생가스의 처리설비로 구성되어 있다[그림 1 참조].

본 실험에서는 저장조의 시료를 80℃ 내외로 예열한 후, 고압펌프 및 유량계를 이용하여 가스화기 상부에 설치된 버너에서 공기를 이용하여 분무시켜 가스화기 내로 공급하였다. 버너는 본 연구센터에서 액상폐기물의 가스화를 위해 설계한 것으로, 가스화에 필요한 산화제, 수증기 등도 이 버너를 통해 반응기 상부에서 투입하였다. 가스화에 사용한 반응기는 직경 300mm, 길이 1500mm로, 본 연구에서는 가스의 체류시간을 4-5sec 정도 유지할 수 있는 조건으로 실험을 실시하였다. 가스화기에서 배출되는 1200℃ 이상의 배출가스는 water spray에 의해 냉각되고, Wet scrubber에서 soot가 제거되며, 최종 배출된 가스는 flare stack을 이용하여 처리하였다. 이러한 시스템의 공정흐름도를 [그림 1]에 나타내었다.

실험에 사용된 시료는 정제된 폐유허유를 사용하였는데, 발열량은 10,724 kcal(HHV)의 값을 보였고, 시료의 조성은 [표 1]에 가스화조건 등과 같이 나타내었다. 발생가스의 조성은 가스분석기로 연속측정 하였으며, 발생된 가스량은 Orifice meter와 V-cone meter를 이용하

여 측정하였다.

가스화기의 예열은 LPG를 이용하여 24시간 이상 실시하였으며, 예열시 가스화기 내부 내화재의 온도는 1400℃ 범위로 가열하였다. 가스화기내 반응 조건은 폐유를 10~40 kg/h 범위에서 투입하면서 단열제에서의 최고온도를 1450-1500 ℃ 범위로 유지하였고, 압력은 4 kg/cm²로 조절하였다.

표 1. Experimental Condition

가스화기 치수	직경(mm)	300	시료	C	86.2
	길이(mm)	1500		H	13.0
조업조건	예열용 LPG(L/min)	120	원소분석치 (wt%)	O	0.59
	Waste oil(kg/h)	10-40		N	0
	O ₂ (kg/h)	10-33		S	0.21
	수증기(kg/h)	5		수분	0.2
	Oil 분무용공기(Nm ³ /h)	12-15	공업분석치 (wt%)	휘발분	51.6
	최대온도(℃)	1450 ℃		고정탄소	48.0
	압력(Kg _f /cm ²)	4		회분	0.2

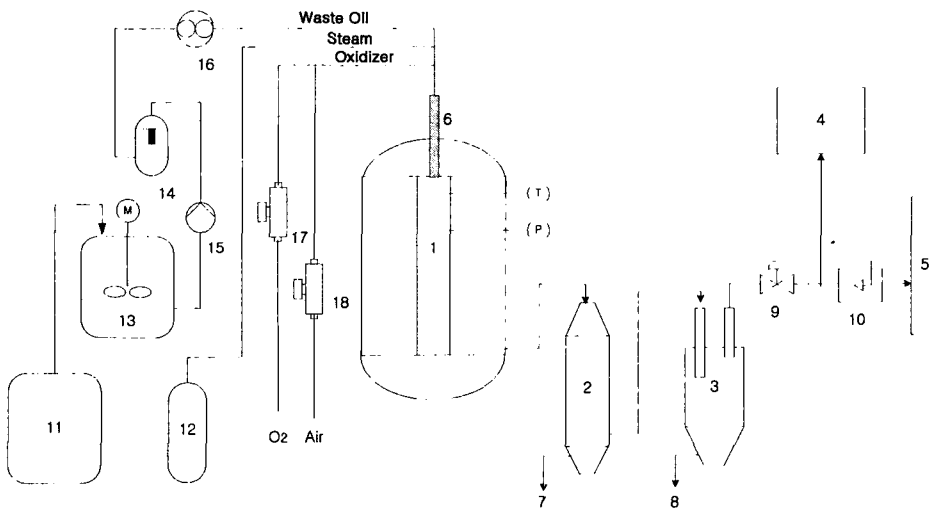


그림 1. Bench 급 가스화기 시스템의 구성도

- (1. 가스화기 2. Water Spray 3. Wet scrubber 4. On-line Gas analyser
5. Flare stack 7. 8 Lock hopper 9. 압력조절밸브 10. V-cone meter
11. 폐유저장조 12. 스팀발생기 13. 폐유공급탱크 14. Filter 15. 폐유공급펌프
16. 유량제어밸브 17.18 O₂ 및 공기공급 MFC)

3. 결과 및 고찰

가스화 실험은 가스화기 예열후 8시간 이상 연속적으로 수행하였는데, 실험 기간중의 전

반적인 가스화 특성을 살펴보기 위해 [그림 3]에 시간에 따른 시료투입량과 가스화기내 온도 및 CO, CO₂, H₂ 의 농도분포를 나타내었다. 가스화 실험은 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 별다른 공정상의 문제 없이 안정적으로 진행할 수 있었으며, 가스화기 운전온도는 폐유 투입량과 O₂ 량의 조절을 통하여 단열제에서의 최고온도를 1400-1450℃ 내외로 유지할 수 있었다.

이러한 안정적인 가스화기의 운전은 여러번의 설비개선을 통하여 가능하였는데, 가스화기 시운전 초기에 가장 큰 문제점으로 파악된 것은 미반응된 카본이 soot의 형태로 배출되는 것으로, 실험시 발생한 soot에 의해 가스화기 후단의 압력조절 valve나 유량측정용 orifice등과 분석기 line에서의 막힘현상으로 인하여 연속적인 운전에 어려움이 있었다. 이러한 Soot 발생은 상용급 중간유 가스화기의 운전에서도 보고되고 있다[2].

이러한 문제점을 해결하기 위한 설비 개선의 한 방향으로 반응기 L/D 증대도 한방안이 될 수 있었으나, 이 연구에서는 반응기 크기를 최소로 하고 가장 높은 효율을 거두는 목적으로 투입버너에 대한 개선의 연구가 주로 이루어졌다. 투입버너의 개선은 다음과 같은 내용으로 수행되었다.

- 1) 폐유와 산화제 및 수증기의 버너 Channel 별 투입방법 변경
- 2) 폐유의 예열 및 분무속도의 변경
- 3) 산화제의 swirl 강도 증가

이러한 설비 개선을 통해 현재에는 Soot의 발생량이 현저히 감소되었고, 가스화기 하부에 설치된 Water spray 및 Wet scrubber를 통해 soot를 대부분 제거하여 후단의 압력조절 valve나 유량측정용 orifice 등의 폐색현상은 발생하지 않았다. 그러나, 장시간 운전시에는 배관의 막힘 현상이 발생할 가능성이 크므로, soot의 발생량을 근원적으로 줄임과 동시에 가스화기 후단에서 soot를 적절히 처리할 수 있는 시스템에 대한 연구개발이 필요할 것으로 판단되었다.

[그림 4]에 가스화기의 위치에 따른 단열제에서의 온도분포를 나타내었는데, 최대온도 구간은 버너선단으로부터 0.6 m 위치에서 1350~1450 ℃의 범위로 나타났으며, 버너선단으로부터 1.2 m 위치에서는 1250~1350 ℃의 온도를 보였다.

[그림 5]는 수증기를 투입했을 경우 온도 및 가스 조성의 변화를 나타낸 것이다. 수증기 투입량은 5kg/h로 온도는 1450℃에서 1410℃로 40℃ 정도 감소하였고, H₂는 3% 정도 증가하였으나, CO는 커다란 변화를 보이지 않았다.

O₂/Oil ratio의 변화에 따른 가스화 특성을 살펴보기 위해, Oil 투입량 20 kg/h 내외의 조건에서 O₂/Oil 비를 0.6에서 1.2 까지로 변화시키면서 가스농도 변화를 측정하였다. [그림 6]에서 보면, CO₂, H₂S는 O₂/oil ratio가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, NH₃ 및 CH₄는 반대의 경향을 나타내었다. CO 및 H₂는 각각 0.9 ~ 1.1 범위 및 0.7 ~ 0.8 범위에서 높게 발생하였고, 그 외의 범위에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

[그림 7]는 O₂/Oil ratio를 1로 유지시키면서 Oil량의 변화에 따른 가스 발생량을 나타낸 것이다. 이 경우 CO와 H₂는 각각 14~33.36% 까지, H₂는 12.7~31% 의 합성가스를 생성할 수 있었다. 이 발생량에서 폐유분무용 및 water spray 용으로 공급되는 질소의 영향을 배제하기 위해 N₂ free basis를 계산해 본 결과, CO는 40.6~48.5%, H₂는 36.8~45.1의 범위를 나타내었다.

이 경우에 탄소전환율 및 냉가스효율을 계산한 결과를 [그림 8]에 나타내었는데, 탄소전

환율은 폐유중의 탄소가 얼마나 가스상으로 전환 되었나를 나타내는 값이고, 냉가스효율은 투입폐유의 발열량과 생성가스인 H₂, CO 의 발열량의 비로서 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{탄소전환율(\%)} = \frac{\text{발생가스 } CO, CH_4, CO_2 \text{ 에서의 탄소부계(kg/h)}}{\text{투입탄소량(kg/h)}} \times 100$$

$$\text{냉가스효율(\%)} = \frac{\text{발생가스 중 } CO, H_2 \text{의 발열량(Kcal/h)}}{\text{투입폐유의 발열량(Kcal/h)}} \times 100$$

그림과 같이 oil량의 증가에 따라 탄소전환율 및 냉가스효율이 증가하는 경향을 보여 주었으며, 각각 최대 93.3%, 71.4% 의 값으로 계산되었다. 이러한 경향은 oil량의 증가에 따른 반응 온도 및 분무 속도가 증가함에 따른 것으로 사료되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 폐유를 대상으로 본 센터에서 설계 제작한 1톤/일 처리규모의 가스화기를 이용하여 1450~1500℃, 4 kg/cm²의 운전조건에서 가스화 반응 특성을 조사하였다.

실험결과 폐유 40kg/h, O₂/ratio 1의 조건에서 CO 48.5 %, H₂ 45.1 %(N₂ free basis)의 가스조성을 얻을 수 있었으며, 탄소전환율 및 냉가스효율은 각각 93.3 %, 71.4 %로 나타났다. O₂/oil ratio 에 따른 영향을 살펴본 결과 CO 및 H₂는 각각 0.9~1.1 범위 및 0.7~ 0.8 범위에서 가장 높게 발생하였고, 그 외의 범위에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

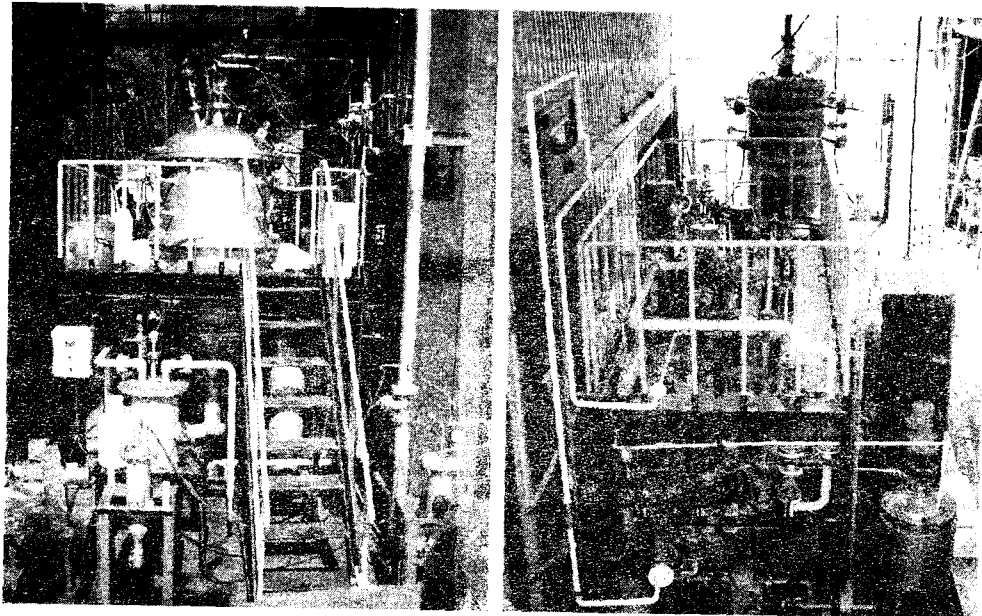
폐유의 가스화실험중 가장 큰 문제점으로 파악된 것은 미반응된 카본이 soot의 형태로 배출되는 것으로서, 장시간 연속운전 시에는 soot의 발생에 의한 배관의 막힘 현상이 발생할 가능성이 크므로, soot의 발생량을 근원적으로 줄임과 동시에 가스화기 후단에서 soot를 적절히 처리할 수 있는 시스템에 대한 연구개발이 향후 필요할 것으로 판단되었다. 이에 따라 향후 반응기형상 변화, 투입방식의 변경 등에 따른 가스화특성 연구를 수행해 나갈 계획이다.

감 사

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

참고문헌

1. Fumihiko Tamamushi, Mikio Shimojo and Naggatoshi Fujii, "Study of Heavy Oil Gasification for IGCC", JSME International Journal, Series B, Vol.41, No. 4, 1998.
2. Manfred Gross, Joachim Wolff, "Gasfication of Residue as a Source of Hydrogen for Refining Industry in India", 2000 GTC, San Francisco, Oct 8-11, 2000.



(a) 가스화기 본체

(b) 공급설비

그림 2. Bench급 폐유가스화기 진경

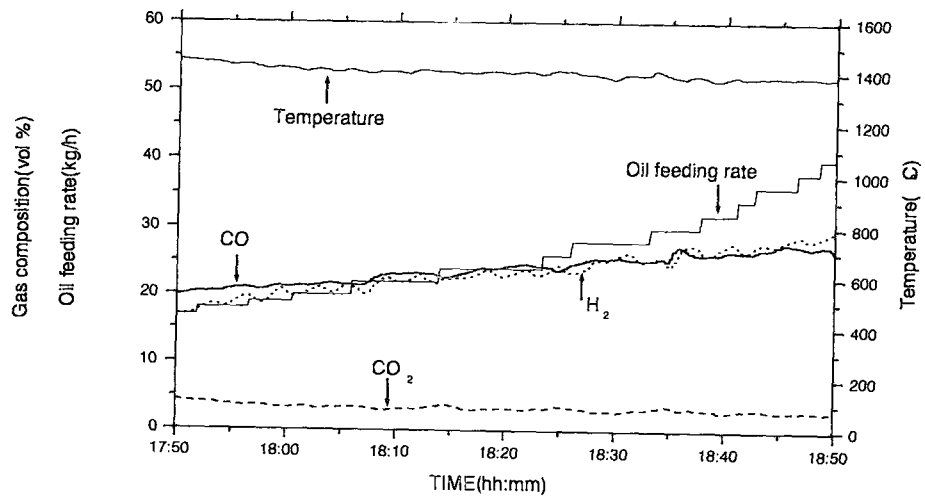


그림 3. 연속운전 가스화기의 운전특성

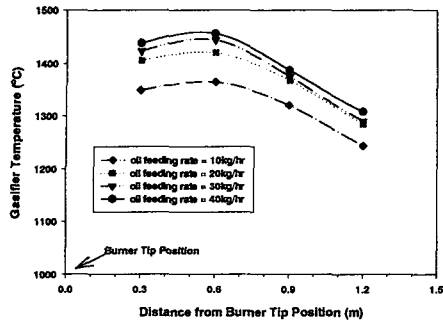


그림 4. 가스화기 위치에 따른 온도 분포

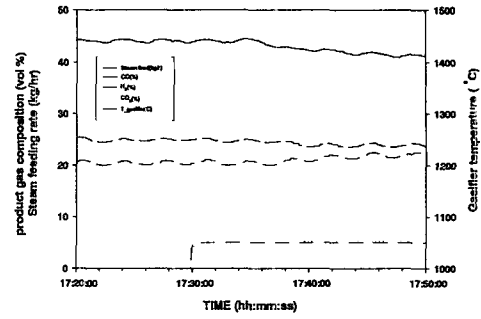


그림 5. 수증기 투입시 가스화특성의 변화

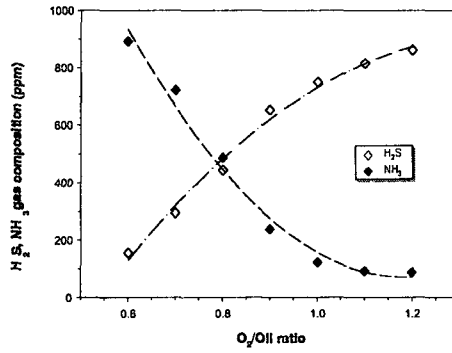
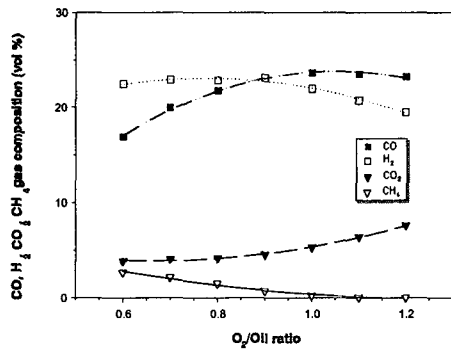


그림 6. O₂/Oil ratio 에 따른 발생가스의 조성

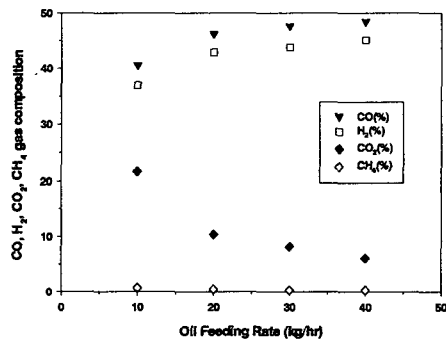


그림 7. 폐유투입량에 따른 발생가스조성 (N₂ Free basis)

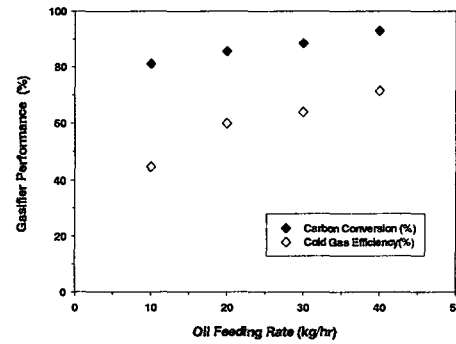


그림 8. 폐유투입량에 따른 탄소전환율 및 냉가스효율