

정적 해석을 이용한 산소 및 증기량 변화에 따른 액상 폐기물 가스화 성능 예측

김수현, 이승중, 주지선
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

Gasification Performance of the Liquid Type Wastes with Oxygen and Steam Feeding Ratios Using Static Modeling

Suhyun Kim, Seung-Jong Lee, Ji Sun Ju
Institute for Advanced Engineering

서론

폐기물의 가스화 공정은 환경오염 물질 배출의 최소화와 에너지 효율 문제에 동시에 접근할 수 있는 공정으로서 기존 연소 방식으로 폐기물을 처리하는 소각 방식의 기술적인 문제점을 극복하고, 매립을 할 경우에 발생하는 지하수 및 토양의 오염문제를 해결할 수 있는 대안으로 대두되어 최근 널리 연구되고 있는 분야이다. 폐기물의 종류에는 여러 가지가 있는데 이 중에서 고형물의 함량이 5% 미만인 폐기물을 액상폐기물로 정의한다. 액상폐기물에는 폐유, 폐윤활유 등이 있는데 본 연구에서는 이 중 고등기술연구원 플랜트 엔지니어링센터에 설치 및 실험 운전 중에 있는 1톤/일급 가스화기에 적용하였던 폐유를 대상으로 산소 및 증기량 변화에 따른 가스화 특성을 정적 해석을 이용해 살펴보았다. 이에 앞서 실제 운전 데이터를 정적 해석 프로그램에 적용하여 그 결과를 실제 운전 결과와 비교하는 과정을 통해 정적 해석의 신뢰성을 확보하여 본 연구에 적용한 폐유뿐만 아니라 다른 액상폐기물에도 적용이 가능하도록 하였다.

본론

본 연구에서 해석의 신뢰성 확보를 위해 적용되었던 폐유의 성상 및 가스화기 운전 조건을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. Table 2에 나타난 가스화기 운전 조건은 실제 실험 조건으로서 전산 해석에도 동일하게 적용되었다.

Table 1. 폐유 분석 Data

Ultimate Analysis (Moisture free basis, wt%)	
C	86.66
H	12.96
O	0
N	0
S	0.21
Ash	0.17

Table 2. 가스화기 운전 조건

연료 주입량	40 kg/h
산소/연료 비	1.14
증기/연료 비	0.125
가스화기 압력	4 kg/cm ²
가스화기 온도	1400~1500℃

정적 해석은 상용 프로그램을 이용하였으며 생성가스의 조성은 Gibbs 자유 에너지 최소화법에 의한 평형 반응임을 가정하여 계산하였다. 가스화기 내에서 일어나는 주요 가스화 반응을 Table 3에 나타내었고 가스화기의 개략도를 Fig. 1에 도시하였다. 가스화기로 유입되는 폐유는 80℃ 이상으로 예열 후 공급되며 공급된 폐유는 산화제 및 증기와 반응하여 CO, H₂, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ 등의 가스가 생성된다. 실제 운전 결과와 정적 전산 해석 결과를 비교하여 Table 4에 나타내었으며 본 연구에서는 가스화기의 온도와 가스화반응으

로 생성된 가스 중 CO, H₂, CO₂에 대해서 결과를 비교하였다.

Table 3. 주요 가스화 반응

C + O ₂	→	CO ₂
C + ½O ₂	→	CO
C + H ₂ O	→	H ₂ + CO
CO + H ₂ O	⇌	CO ₂ + H ₂
CO + 3 H ₂	⇌	CH ₄ + H ₂ O
COS + H ₂ O	⇌	CO ₂ + H ₂ S
S + H ₂	→	H ₂ S
N ₂ + 3 H ₂	⇌	2 NH ₃

Fig. 1. 가스화기 개략도

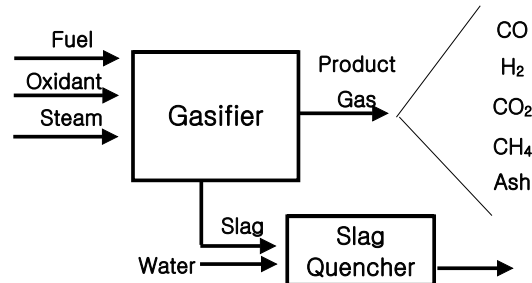


Table 4. 가스화기 실험 결과와 정적 전산 해석 결과(생성가스는 dry, N₂ free basis)

운전 항목	실험 조건	전산 해석 조건	운전 결과	실험 결과	전산 해석 결과
가스화기 압력(kg/cm ²)	3.5~4.2	4	가스화기	1293 ~ 1312	1299
산소/연료비	1.04~1.24	1.14	출구 온도(°C)		
증기/연료비	0.125	0.125	CO(mol%)	46.6 ~ 48.2	47.5
가스화기 열손실률(%)	-	7	H ₂ (mol%)	44.5 ~ 47.0	46.9
			CO ₂ (mol%)	5.0 ~ 6.5	5.5

폐유를 대상으로 한 가스화기 운전 결과와 전산 해석 결과를 비교해서 살펴보면 실험 운전에는 가스화기의 압력 및 공급되는 산화제 양의 변화가 있을 수 있는데 실험 조건 범위에서 기준이 될 수 있는 값을 선정하여 전산 해석에 반영하였다. 가스화기 열손실률은 실제 실험에서는 예측하기가 어려우나 통상적인 가스화 반응기의 열손실률을 고려하여 7%로 적용하였다. 이 경우 실험 결과와 전산 해석 결과를 살펴보면 가스화기 온도 및 주요 생성가스인 CO, H₂, CO₂의 조성이 실제 실험 결과 범위 내에 있는 것을 알 수 있으며 본 실험 설비에 대해서는 전산 해석 결과의 적용이 가능함을 보여준다.

이를 바탕으로 본 연구에서는 산소 및 증기량 변화에 따른 폐유의 가스화 성능을 예측하였다. 산소 및 증기의 유량 변화에 따라 생성되는 가스의 발생량 및 조성을 Fig. 2 ~ Fig. 4에 나타내었다. 산소/연료 질량비(이하 산소/연료비)는 0.5 ~ 1.5, 증기/연료 질량비(이하 증기/연료비)는 0.1 ~ 0.7의 범위에서 변화시켰을 경우의 결과이며 증기/연료비보다 산소/연료비가 가스화 반응에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. CO의 생성량 및 조성은 산소/연료비 0.5 ~ 1.0 범위에서 급격히 증가하며 산소/연료비 1.0 ~ 1.5 범위에서는 CO 생성량은 서서히 감소하고 조성은 서서히 증가하는데 이러한 원인은 산소/연료비의 증가로 인한 연소반응의 진행으로 절대적인 CO 생성량은 감소하지만 CO의 연소와 H₂의 연소로 인해 발생한 수분의 정제로 CO의 조성은 오히려 증가하기 때문이다. H₂는 산소/연료비 0.5 ~ 1.0에서 조성은 높으나 생성량은 작게 나타나는데 이는 탄화수소의 가스화 반응이 이 범위에서 충분히 진행되지 않아 탄화수소 중의 탄소보다는 수소가 먼저 가스화 반응이 진행되어 상당량의 탄화수소가 미반응으로 남아 있기 때문이다. 그러나 산소/연료비가 증가할수록 미반응 탄화수소의 가스화 반응이 진행되어 수소의 생성량이 증가하여 0.9 ~ 1.1의 범위에서 최대치를 나타낸다. 산소/연료비 1.1 ~ 1.5의 범위에서는 가스화 반응보다

는 연소 반응이 진행되어 수소의 생성량이 서서히 감소하는 것으로 나타난다. 증기/연료비가 증가할수록 CO의 생성량은 서서히 감소하고 H₂의 생성량은 서서히 증가하는 것으로 나타났는데 이는 water gas shift reaction의 영향 때문이다. CO₂는 산소/연료비가 증가할수록 생성량 및 조성이 감소하다가 0.9를 기준으로 다시 증가하는데 이는 산소/연료비에 따른 가스화 반응과 연소반응의 기여도에 의한 것이며 증기/연료비에 따라서는 점차 생성량 및 조성이 증가하는데 이는 water gas shift reaction의 영향 때문이다. 산소 및 증기의 유량변화에 따른 가스화기온도, 냉가스효율, 탄소전환율의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 가스화기의 온도는 산소/연료비가 1.0이상에서 급격히 증가하고 증기/연료비가 증가할수록 감소한다. 냉가스효율은 60~80%로 산소/연료비 0.9~1.0에서 최대를 나타내며 탄소전환율은 산소/연료비가 증가함에 따라 점차 증가하다가 0.9~1.0 이상에서는 98%이상으로 일정하다. 냉가스효율과 탄소전환율 모두 증기/연료비가 증가할수록 서서히 증가하는 경향을 보인다.

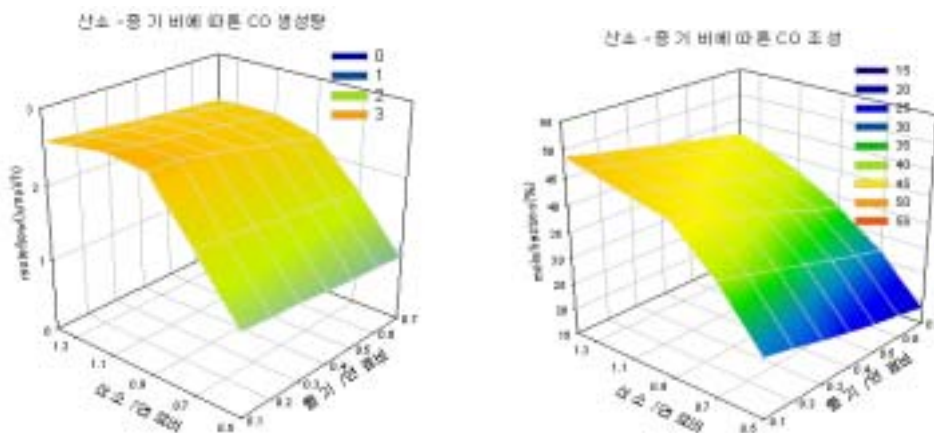


Fig. 2 산소-증기비에 따른 CO 생성량 및 조성

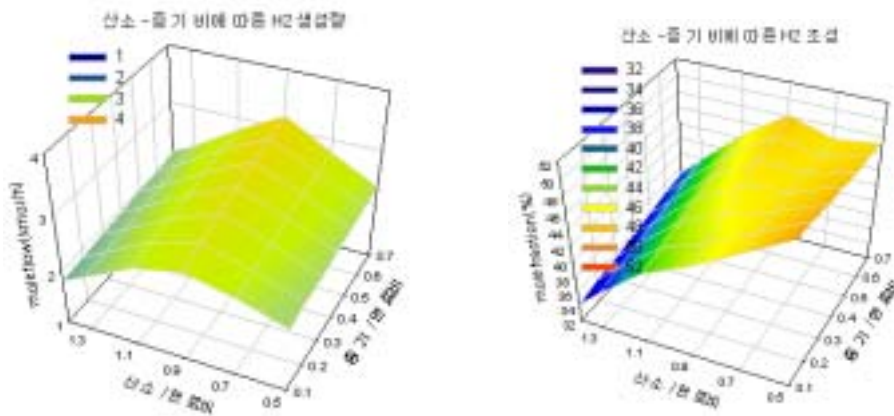


Fig. 3 산소-증기비에 따른 H₂ 생성량 및 조성

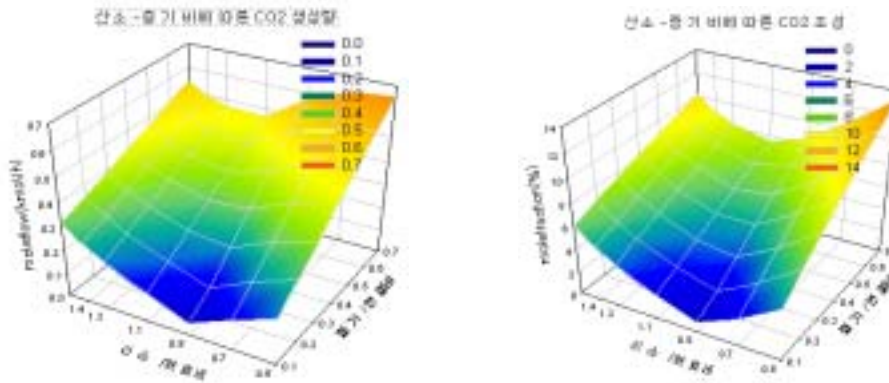


Fig. 4 산소-증기비에 따른 CO₂ 생성량 및 조성

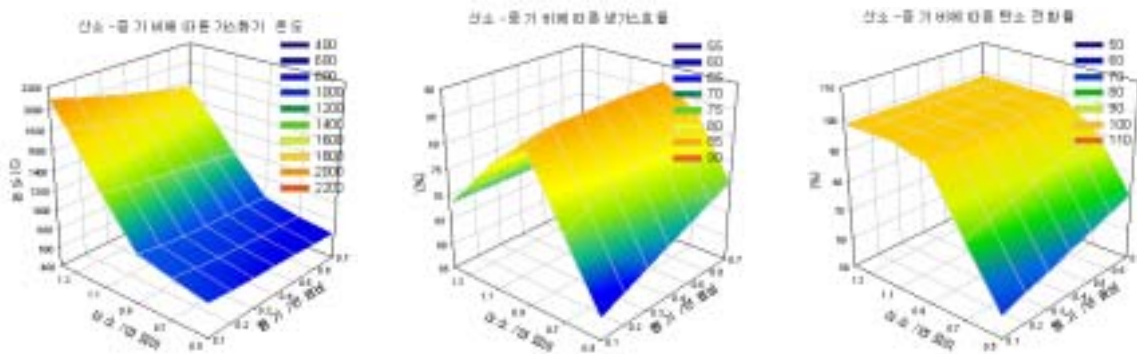


Fig. 5 산소-증기비에 따른 가스화기 온도, 냉가스효율, 탄소 전환율

결론

이상에서 액상폐기물인 폐유에 대하여 산소 및 증기량 변화에 따른 CO, H₂, CO₂의 조성 및 생성량과 가스화기 온도, 냉가스효율, 탄소전환율을 살펴보았다. 본 연구의 결과를 이용하면 가스화 생성물들의 활용 목적에 따라 적절한 가스화 운전 범위를 선택할 수 있고 또한 다른 액상 폐기물에 대해서도 산소 및 증기량의 변화에 따른 가스화 성능을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

감사

본 연구는 과학기술부 산하 한국과학기술기획평가원에서 지원한 국가지정 연구실 “가연성폐기물처리용 5톤/일급 가스화용융 공정기술개발” 과제의 일환으로 추진되었습니다. 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 김수현, 이승중, 윤용승, “ 폐유/슬러지 혼합 시료 가스화반응에서 산소 및 증기 공급비 변화의 영향”, 에너지공학회, 2002
2. 이승중, 윤용승, “중간유 사용시 주요 운전 변수에 따른 가스화 성능 예측”, 에너지공학회, 2000
3. Y.C Choi al. "Numerical Study on the coal gasification characteristics in an entrained flow coal gasifier" Fuel, 2001