

50톤/일급 폐유 가스화 시스템의 전산해석 연구

이승중, 윤용승
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

Simulation study of 50 ton/day waste oil gasification system

Seung-Jong Lee and Yongseung Yun
Institute for Advanced Engineering

1. 서 론

가연성 폐기물을 대상으로 하는 가스화용융 기술은 환경문제와 에너지 및 자원 문제를 동시에 접근할 수 있는 기술로 SOx와 NOx의 발생량을 최소화하고, 시료내의 열량의 대부분을 가스화 반응을 통하여 고급 에너지로 전환시키는 환경 친화적인 기술로써, 폐기물 처리시 잔존에너지의 재활용과 다이옥신의 발생이 없고 SOx 및 NOx의 발생도 현저히 감소시키는 환경적합적인 기술로서 환경·에너지·자원 문제에 동시에 접근하는 기술이다^[1]. 가스화용융 기술은 주로 에너지 분야에 적용되어 개발되어 온 기술로서^{[2][3]}, 최근에 폐기물 분야에 적용하기 시작한 기술로, 폐기물을 대상으로 할 경우 환경문제와 에너지효율 문제를 동시에 접근할 수 있는 장점이 있어 향후 연소반응에 근거한 공정을 점차 대체할 것으로 예측되고 있다. 가스화 반응의 연소반응에 대비한 가장 큰 장점 중 하나는 시료내 유황 성분이 연소 반응에서는 공해 물질인 SOx로 발생되나 가스화 반응에서는 유황으로 회수가 가능한 H₂S의 형태로 생성된다는 점이다^[4].

상기와 같이 환경오염 물질 감소와 잔존에너지의 재활용이라는 측면에서 가연성폐기물을 가스화용융 기술에 적용시키는 연구가 스위스, 독일, 일본 등을 중심으로 진행되고 있으며 상용급의 대용량설비에 대해 실증단계에 있다. 국내에서는 선진국에 비해 기초 및 소규모 적용단계에 있는 상태로, 상용화기술 확보를 위해 여러 업체와 기관에서 연구 개발 중에 있으며, 본 연구팀에서도 상용화급 가연성폐기물 처리용 가스화용융 시스템의 개발을 위하여 연구 중에 있다. 본 연구에서는 ASPEN (Advanced System for Process ENgineering) 공정 해석 프로그램을 사용하여, 상용급 규모인 50톤/일급 폐유정제유 가스화용융 설비에 대한 공정 및 계통에 대한 특성을 파악하기 위하여, 50톤/일급 가스화용융 시스템에 대한 공정을 구성하였으며, 각 구성 공정에 대한 성능을 예측하였다. 본 연구 결과는 향후 50톤/일급 가스화용융 플랜트의 개념설계에 반영하고자 한다.

2. 50톤/일급 폐유정제유 가스화용융 시스템 구성

50톤/일급 가스화용융 시스템은 폐유정제유를 가스화하는 가스화용융로, 합성가스의 냉각 및 숯(soot) 제거시스템, 산성가스 제거시스템, 합성가스를 이용한 발전시스템 및 가스화용융로에 필요한 산소를 생산하는 산소분리공정으로 구성하였다. 가스화용융로 유입되는 폐유

정제유는 산화제(O_2 95% 순도)와 반응하여 CO , H_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 등의 가스가 생성되며 가스화용융 시스템의 운전실험 중 steady state의 운전조건을 위하여 50톤/일급 폐기물 가스화용융 시스템 모델에 반영하여 전산해석을 하였다. 가스화용융로에서의 가스화 과정을 살펴보면, 열분해 반응, 가스화 반응 및 수성 가스 전환 반응(water gas shift reaction) 등 여러 단계가 복합적으로 진행된다^{[7][8]}. 대상 혼합시료, 증기, 산소, 공기가 가스화용융로로 주입되면 가스화 반응의 결과로 CO , H_2 , CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 , H_2O 등의 가스가 생성되어 배출되며, 가스화용융로 하단부로는 대상 시료 내의 회재가 용융되어 슬래크로 배출된다. 슬래크의 응고를 방지하기 위하여 메탄 버너를 가스화용융로 하부에 설치하여 가스화용융로 하부를 고열로 유지시키도록 하였다. 가스화용융로에서 생성된 합성가스는 quenching 시스템에서 냉각된 후 스크루버와 demister에서 soot과 수분이 제거된 후 산성가스 흡수탑에서 황화수소가 제거된다. 산성가스가 제거된 정제가스는 보일러로 유입되어 증기를 생성한 후 대기중으로 방출되며 생성된 증기를 이용하여 증기터빈에서 전기를 생산하도록 하였다. 이와 같이 정적 simulation의 대상이 된 폐기물 가스화용융 연계 시스템의 공정 구성도를 Fig. 1에 나타내었으며, 전산해석시 반영한 각 단위공정에 대한 구성 모델을 Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다.

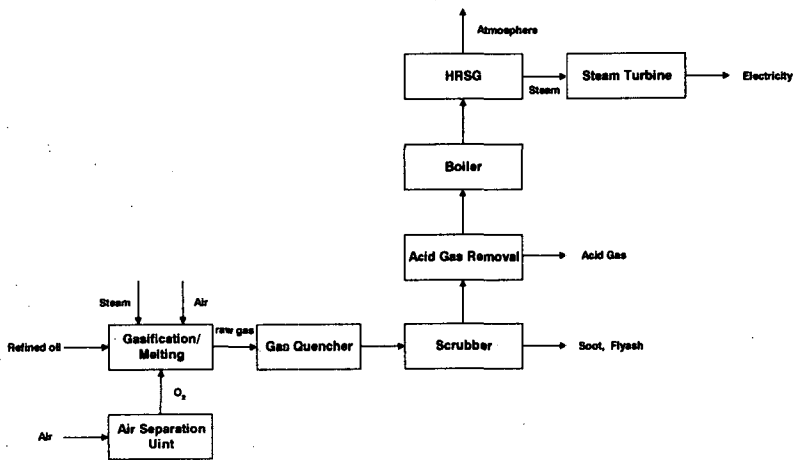


Fig. 1. 50톤/일급 폐기물 가스화용융 시스템에 대한 공정 구성도.

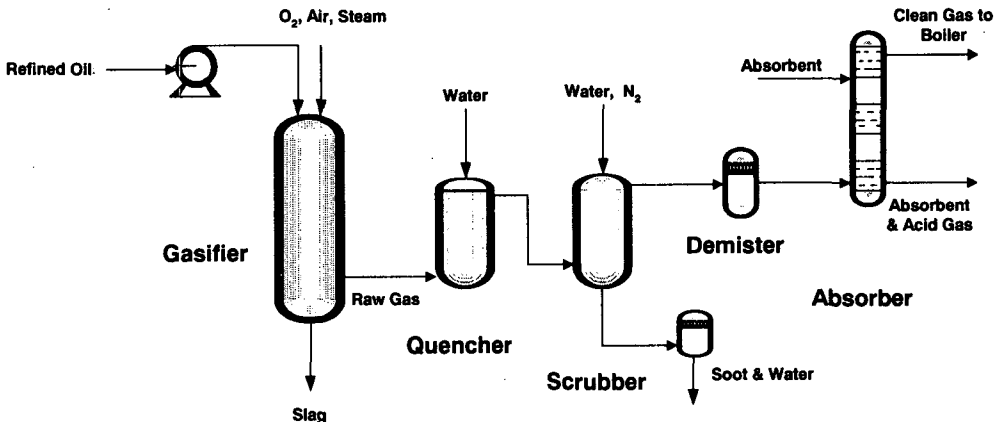


Fig. 2. 폐기물 가스화용융 시스템 및 세정 시스템의 구성 모델.

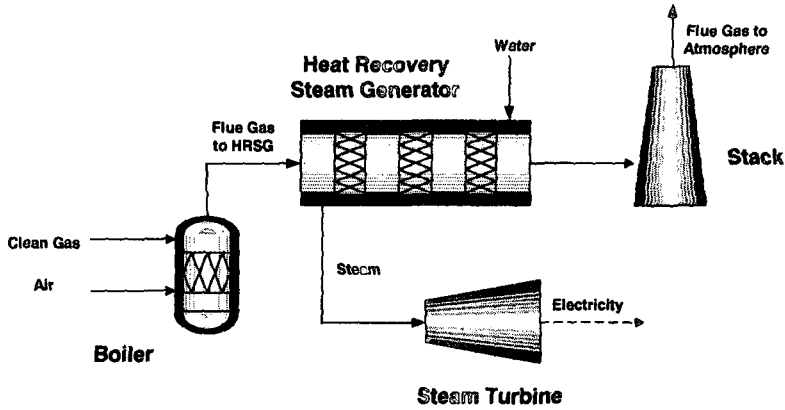


Fig. 3. 정제가스 연소 보일러, 배열회수보일러 및 증기터빈 시스템의 구성 모델.

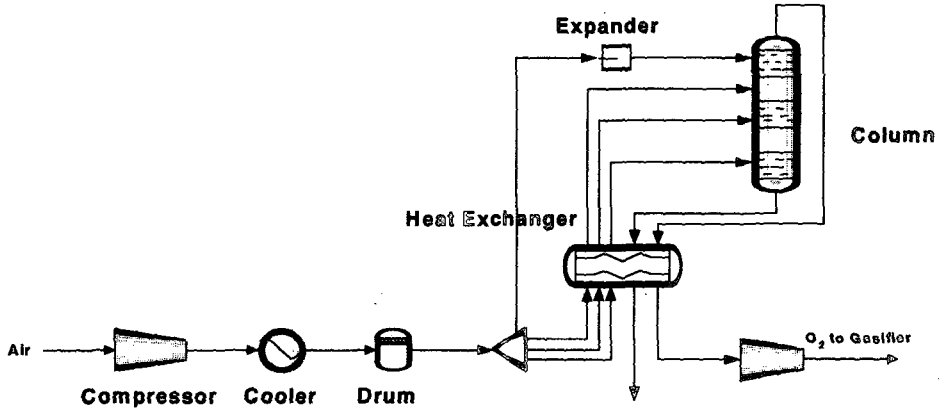


Fig. 4. 산소분리공정 시스템의 구성 모델.

본 연구에서는 50톤/일급 상용급 시스템에 대한 정적해석을 위하여 폐유정제유를 대상연료로 하여 3일/급 폐기물 가스화용융 시스템의 운전조건과 동일하게 운전조건을 설정하였으며, 보조연료로는 메탄을 사용하였다. Table 1과 Table 2에 simulation시 사용한 폐유정제유의 분석 자료와 운전조건을 나타내었다.

Table 1. 폐유정제유 분석 Data.

Ultimate Analysis (MF basis, wt%)	
C	87.60
H	11.31
O	0.53
N	0.18
S	0.21
Ash	0.17

Table 2. 가스화용융로 운전조건.

항 목	운전조건
정제유 주입량 (톤/일)	50.0
산소주입량 (톤/일)	61.2
공기주입량 (톤/일)	15.7
보조연료주입량 (톤/일)	4.4
운전압력 (kg/cm ²)	4.3
운전온도 (°C)	1490

3. 해석결과 및 평가

가스화용융로부터 생성된 합성가스와 산성가스 정제시스템 후단의 정제된 합성가스의 유량과 조성을 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었으며, 전산해석 자료를 토대로 50톤/일급 폐유 가스화용융 플랜트 각 공정의 적정단 위에 대한 일일 용량을 Table 3에 요약하였다. 폐유정제유의 처리용량 50톤/일을 기준으로, 가스화용융로 운전온도를 1450℃~1500℃를 만족시키기 위한 산소소요량은 61톤/일로 전산해석 되었다. 가스화용융로 외에 타 공정에서 소요되는 산소를 감안하면, 공기분리공정에서의 산소 생성량은 65~70톤/일로 판단되며 이를 공기주입량으로 환산할 경우 270~300톤 규모의 공기를 처리할 수 있는 산소분리공정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 보일러에서 생성되는 23 kg/cm²의 중압 증기량은 158톤/일로 나타났다. Table 4에는 50톤/일급 폐기물 가스화용융 시스템을 구성하고 있는 주요 공정에 대한 해석결과를 나타내었다.

항 목	용 량 (톤/일)
폐유정제유	50
가스화용융로	158
산소(95%) 소요량	61
슬랙생성량	65 kg/일
Soot 생성량	27 kg/일
정제가스 유량	137
산소분리공정의 공기 유입량	270~300
산성가스처리공정	141
보일러 용량	1464
중압증기 (23 kg/cm ²)	158

중압 증기량은 158톤/일로 나타났다. Table 4에는 50톤/일급 폐기물 가스화용융 시스템을 구성하고 있는 주요 공정에 대한 해석결과를 나타내었다.

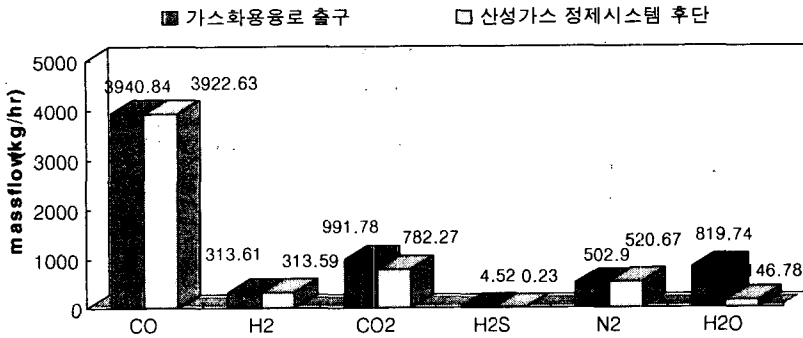


Fig. 5. 폐유정제유로부터 생성된 합성가스의 유량 (kg/hr)

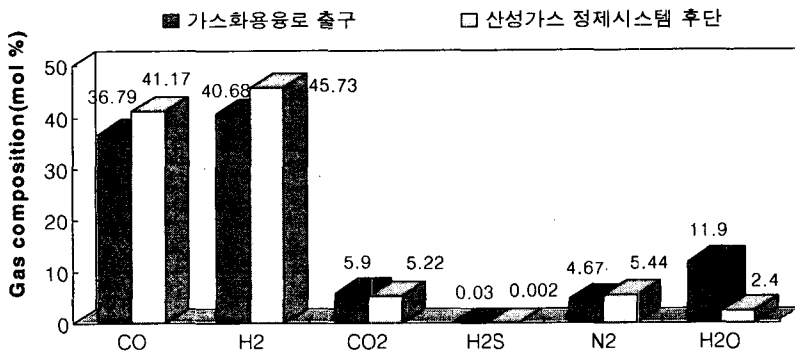


Fig. 6. 폐유정제유로부터 생성된 합성가스의 조성 (mol%)

Table 4. 폐기물 가스화용융 시스템의 열 및 물질수지(50톤/일급, 정적 simulation결과).

Description		Raw Gas from Gasifier		Raw Gas from Quencher		Raw Gas to CGCU*		Clean Gas to Boiler	
구분	MW	mol %	kg/h	mol %	kg/h	mol %	kg/h	mol %	kg/h
CO	28	36.79	3940.84	35.40	3940.84	67.01	3940.83	41.17	3922.63
H ₂	2	40.68	313.61	39.14	313.61	5.33	313.60	45.73	313.59
CO ₂	44	5.90	991.78	5.67	991.78	16.86	991.66	5.22	782.27
CH ₄	16	0.03	1.90	0.03	1.90	0.03	1.90	0.03	1.80
O ₂	32	0	0	0	0	0.01	0.63	0.006	0.62
N ₂	28	4.62	494.54	4.44	494.54	8.71	512.41	5.38	512.39
H ₂ O	18	11.90	819.74	15.22	1089.74	1.81	106.64	2.40	146.78
H ₂ S	34	0.03	4.52	0.03	4.52	0.08	4.51	0.002	0.23
NH ₃	17	0.003	0.19	0.003	0.19	0.002	0.10	trace	trace
AR	40	0.05	8.36	0.05	8.36	0.14	8.34	0.06	8.28
COS	60	0.001	0.23	0.001	0.23	0.004	0.23	trace	0.18
Total Gas		100.00	6575.71	100.00	6845.71	100.00	5880.85	100.00	5688.77
Pressure, kg/cm ²		4.3		4.3		4.3		3.9	
Temperature, °C		1130		100		44		48	

Description		Air to Boiler		Flue Gas to Atmosphere		Steam to Turbine		Air to ASU	
구분	MW	mol %	kg/h	mol %	kg/h	mol %	kg/h	mol %	kg/h
CO	28	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂	2	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	44	0.03	26.55	7.52	6976.98	-	-	0.03	5.33
CH ₄	16	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂	32	20.75	12726.64	11.84	7990.31	-	-	20.75	2552.38
N ₂	28	77.34	41525.44	71.15	42037.83	-	-	77.34	8328.11
H ₂ O	18	0.95	329.69	8.64	3283.08	100	6608.17	0.95	66.12
H ₂ S	34	-	-	-	-	-	-	-	-
NH ₃	17	-	-	-	-	-	-	-	-
AR	40	0.92	708.05	0.85	716.33	-	-	0.92	142.00
COS	60	-	-	trace	0.18	-	-	-	-
Total Gas		100.00	55316.37	100.00	61005.14	100.00	6608.17	100.00	11093.94
Pressure, kg/cm ²		2.0		1.7		23.4		1.0	
Temperature, °C		15		120		400		15	

* CGCU: Cold Gas Clean-Up, ** HRSG: Heat Recovery Steam Generator

4. 결 론

50톤/일급 폐유 가스화용융 플랜트에 대한 공정구성 및 전산해석을 수행하여 가스화용융

플랜트의 적정단위에 대한 용량을 예측하였다. 폐유정제유를 대상연료로 하였으며, 보조연료로는 메탄을 사용하였고 산화제로는 95% 순도의 산소를 사용하였다. 대상 플랜트에서의 산소 소요량은 하루 약 61톤이며, 슬랙은 각각 65 kg/일 생성되는 것으로 나타났으며, 보일러로 유입되는 정제된 합성가스의 유량은 하루 137톤이었으며, 이를 이용하여 생성되는 증기는 톤/일 생성되는 것으로 조사되었다.

감 사

본 연구는 과학기술부 산하 한국과학기술기획평가원에서 지원한 국가지정연구실사업 “가연성 폐기물 처리용 가스화용융 공정기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Tamamushi F., Shimojo M. and Fujii N.: “Study of Heavy Oil Gasification for IGCC”, JSME International Journal, Series B, 41, 1067-1070 (1998).
2. 조성무: “IGCC Technology”, 한·미 발전설비기술협력 workshop (1996).
3. Liebner W. and Hauser N.: “Optimizing/Costing Study for a 500MW IGCC Power Plant based on the Shell Gasification Process”, 1996 Gasification Technologies Conference, San Francisco (1996).
4. Wetherold B., Maxwell D. and Orr D.: “A Comparison of Gasification and Incineration of Hazardous Waste”, DOE report (2000).
5. 한국석유재활용협회: “폐유재활용업계 업무현황” (2000).