

폐기물 가스화 용융시스템의 에너지 이용 효율 향상을 위한
 공정 개선연구

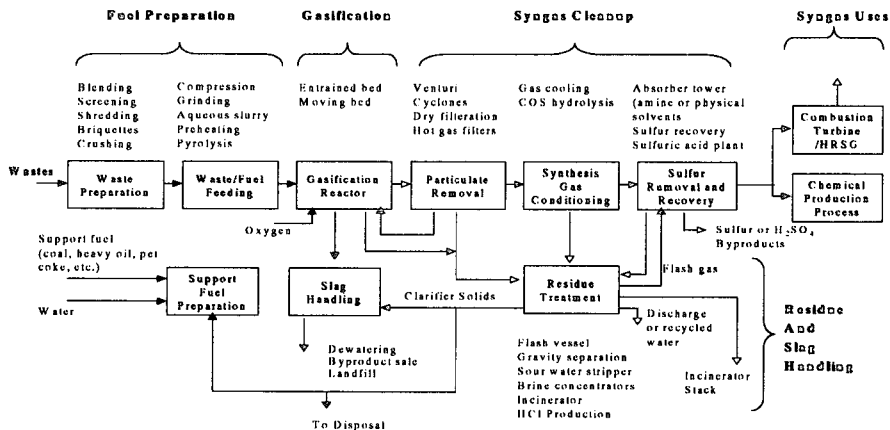
김수현, 유영돈, 이협희*
 고동기술연구원 플랜트엔지니어링 센터, (주)대우건설*

A Study of the Process Improvement of the Waste Gasifier &
 Melting System for raising the Energy Efficiency

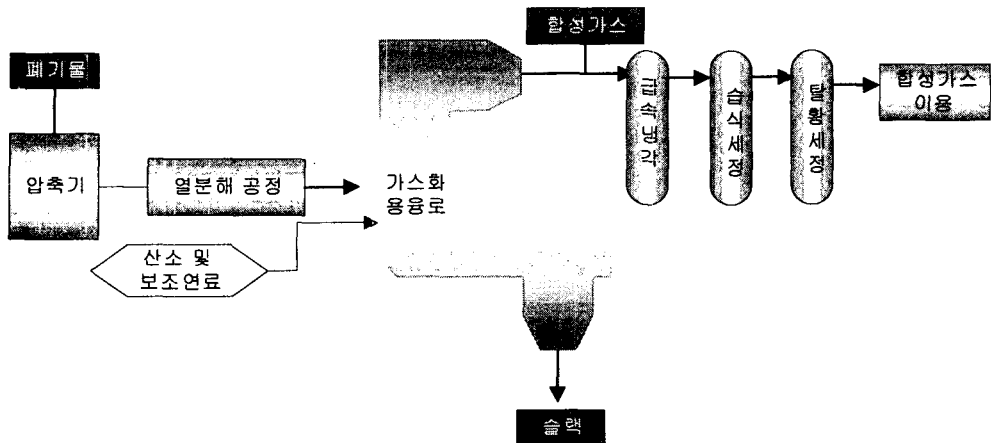
Kim Su Hyun, Yoo Young Don, Lee Hyup Hee*
 Institute for Advanced Engineering, Daewoo E & C*

1. 서론

폐기물의 가스화 용융 기술은 기존 연소 방식으로 폐기물을 처리하는 소각 방식의 기술적인 문제점을 극복하고 소각 후 잔재물들을 매립할 경우 발생하는 지하수, 토양 등의 오염문제를 해결할 수 있는 대안으로 대두되어 선진국에서는 1990년대 중반부터 활발한 개발 및 상업화가 진행되고 있는 기술이다. 이 기술은 폐기물 내의 탄소와 수소 성분은 기상의 가스 연료인 일산화탄소와 수소로 전환하고 불연물은 용융하여 슬래크로 배출함으로써 폐기물의 무해화, 안정화 처리가 가능할 뿐만 아니라, 생성된 연료 가스를 청정 연료 또는 화학 원료로 재활용함으로써 폐기물의 처리 및 이용효율을 극대화 할 수 있는 기술이다. 폐기물 가스화 용융 방식은 제작사 별로 고유한 공정을 구성하고 있으며 이러한 공정의 구성은 폐기물 전처리 시스템, 가스화 방식, 생성가스 처리시스템, 생성가스 활용 방법, 잔류물 처리 방법 등으로 대별될 수 있으며 각각의 공정에 대한 구성의 일반 사항을 [그림 1]에 나타내었다. 이와 같이 폐기물의 가스화 용융 기술에는 여러 가지 방식이 있으나 본 연구에서 대상으로 한 가스화 용융 시스템은 압축기 및 열분해 공정을 거쳐 가스화 용융으로 폐기물이 투입되고 폐기물의 가연성분은 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스로 발생하여 합성가스 세정공정을 거치며 폐기물의 불연분은 용융슬래크로 배출되는 방식으로, 그 구성도를 [그림 2]에 나타내었고 각 공정별 기능을 간략히 살펴보면 다음과 같다.



[그림 1] 폐기물 가스화 용융 공정의 구성 개략도



[그림 2] 대상 폐기물 가스화 용융 시스템 구성 개략도

폐기물 압축기는 공급되는 폐기물의 부피를 1/5~1/8정도로 압축하여 폐기물 내의 수분을 균일하게 분포시켜 후단 공정인 열분해 공정에서의 열분해 시간을 단축시키는 역할을 한다. 열분해 공정은 압축된 폐기물을 가스화 용융로에 투입하기 전에 고온의 가스화 용융로로부터 방출되는 복사 열전달에 의한 폐기물에 대한 열분해를 통해 가스화 용융로 운전의 안정성을 도모한다. 가스화 용융로에서는 폐기물 내의 탄소, 수소 성분은 가스상의 CO, H₂로 전환하고, 폐기물 내의 무기물은 1500℃ 이상의 분위기에서 용융시킨다. 특히, 용융된 슬랙은 5분이상 고온상태를 유지함으로써 용융된 슬랙의 질을 높이며, 미용융물 배출을 방지한다. 가스화 용융로 출구에서 1200도로 배출된 합성가스는 수분사에 의한 급랭 및 NaOH 분사에 의한 세정으로 다이옥신 재합성 방지 및 중금속을 냉각수에 포집시키는 역할을 할 뿐만 아니라 수분사에 의한 집진역할을 한다. 급속냉각기와 습식세정탑 및 탈황세정탑을 거친 합성가스는 연소하여 증기 등으로 전환되어 에너지원으로 이용한다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 폐기물 가스화 용융 시스템은 환경오염문제를 해결하고 다양한 분야에 응용이 가능한 합성가스를 생산하는 장점이 있지만 가스화 용융로 출구에서 나온 고온의 합성가스를 급속 냉각시키는 방식을 사용함에 있어 온도의 급격한 하강으로 인한 현열 손실과 폐기물의 발열량에 따라 보조연료를 사용한다는 특징이 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 개선하기 위한 목적으로 50톤일급 폐기물 가스화 용융시스템에 대하여 에너지 이용 효율 향상을 위한 공정 개선 방안에 대하여 검토하였다.

2. 이론

본 연구에서 대상으로 한 가스화 용융 시스템은 50톤일급으로, 대상 폐기물은 Y사에서 발생한 생활폐기물을 적용하였고 보조연료는 LPG를 사용하는 경우에 대하여 검토하였다. 대상폐기물의 조성은 <표 1>에 나타내었다. 폐기물 가스화 용융 시스템의 에너지 이용 효율 향상을 위한 가스화 용융 시스템의 공정 개선 방안으로 급속 냉각기 전에 열회수 장치를 두어 버려지는 열을 회수하는 방안과 발생되는 합성가스 중 일부를 순환하여 연료로 활용함으로써 보조연료 사용량을 저감하는 방안에 대하여 검토하였다.

<표 1> 대상 폐기물의 조성 및 발열량

폐기물 조성								발열량(kcal/kg)	
C	H	O	N	S	Cl	Moisture	Ash	저위	고위
27.73%	5.26%	22.00%	1.48%	0.27%	0.47%	38.44%	4.35%	2603	3110

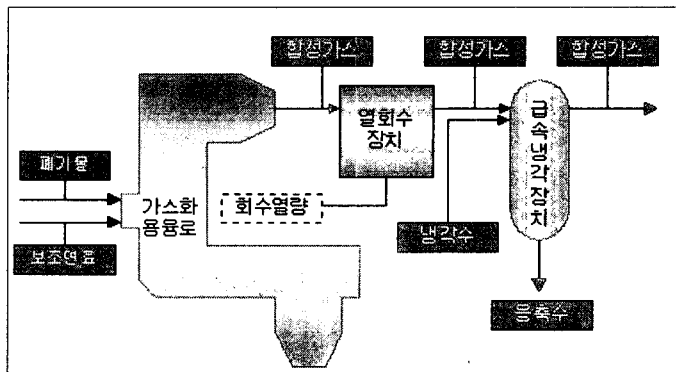
열회수 장치를 적용한 경우에 대해서는 열회수 장치 출구의 합성가스 온도를 열회수 장치를 적용하지 않았을 경우의 1200℃를 포함하여 800℃, 600℃, 400℃, 200℃로 변화시킴에 따라 열회수 장치에서 회수되는 에너지량과 그 때의 에너지 회수율, 회수되는 에너지를 이용한 스팀발생량 및 급속냉각장치에서의 냉각수 사용율을 계산하였다. 또한 합성가스 재순환의 경우에는 보조연료 사용량을 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 까지 감소함에 따라 보조연료 감소열량을 합성가스로 충당할 경우의 합성가스 재순환율과 전체 합성가스 발생량 및 합성가스 조성, 합성가스 재순환량을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

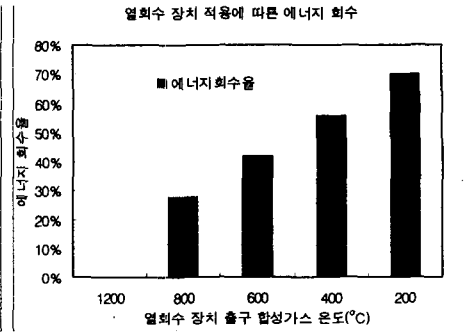
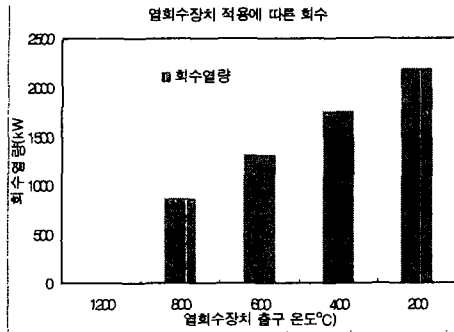
1) 열회수 설비 적용

기존 시스템은 가스화 용융로에서 발생하는 1200℃ 정도의 고온 합성가스를 급속냉각장치에서 냉각수 분사에 의해 70℃까지 온도를 떨어뜨리는 방식을 사용하였으나 이 경우 고온의 가스가 가지고 있는 현열(sensible energy)은 온도가 낮은 응축수로 전환되어 에너지의 이용범위가 제한되게 된다. 이러한 합성가스의 급속 냉각에 의한 에너지 이용의 제한을 개선하기 위하여 급속냉각장치 전에 열회수 장치를 설치함으로써 에너지 이용 효율을 높이는 방안을 고려했다. 이 방안은 가스화 용융로 출구에서 발생하는 고온의 합성가스가 가지고 있는 열에너지의 일부를 회수하여 증기 발생 등으로 활용함에 따라 에너지 이용 효율을 증가시킬 수 있다. 급속냉각장치 전에 설치되는 열회수 장치를 통하여 회수되는 열량은 열회수 장치를 거쳐 나가는 합성가스의 유출온도에 따라 달라지게 되는데 본 연구에서는 열회수 설비 후단의 합성가스 유출온도를 기존 방식의 1200℃를 포함하여 800℃, 600℃, 400℃, 200℃로 변화함에 따른 에너지 회수량, 에너지 회수율, 에너지 손실율을 살펴보았다. 아울러 회수되는 에너지의 활용의 예로 증기를 발생시키는 경우의 증기발생량과, 열회수 장치 적용에 따른 급속냉각기의 냉각수 사용율을 살펴보았다.

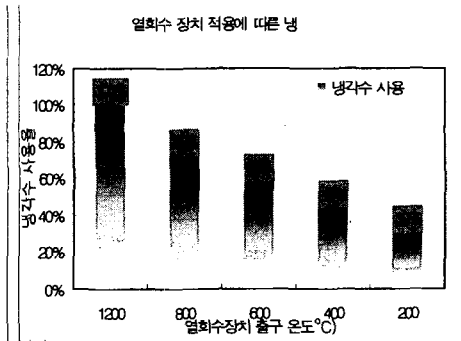
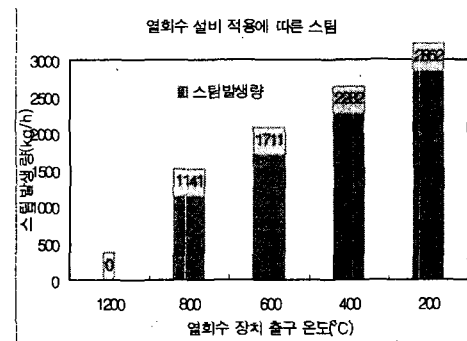
본 연구에서 공정 개선을 위한 방안으로 고려한 열회수 설비의 시스템 적용 방안을 [그림 3]에 나타내었고 열회수 장치 후단의 합성가스 유출 온도 변화에 따른 에너지 회수량과 에너지 회수율, 에너지 손실 및 회수되는 에너지를 이용한 스팀발생량과 급속냉각장치에서 사용되는 냉각수 사용율에 대한 결과를 [그림 4]~[그림 7]에 나타내었다.



[그림 3] 열회수 설비 적용 방안



[그림 4] 열회수 설비 적용에 따른 에너지회수량 [그림 5] 열회수 설비 적용에 따른 에너지 회수율



[그림 6] 열회수 설비 적용에 따른 스팀발생량 [그림 7] 열회수 설비 적용에 따른 냉각수 사용율

본 연구에서 대상으로 한 폐기물 가스화 용융시스템의 공정 개선을 위한 방안의 하나로 고려한 열회수 설비 적용에 따른 결과를 살펴보면 열회수 장치를 적용하지 않았을 경우 즉, 1200°C의 합성 가스가 급속냉각기로 유입되어 70°C로 냉각되는 경우와 비교하여 열회수 장치 후단의 합성가스 온도를 200°C로 하였을 때 2000 kW 이상의 에너지를 회수 할 수 있는 것으로 나타났다. 회수되는 에너지를 비율로 환산한 회수에너지율은 열회수장치를 적용하지 않았을 경우의 현열에 대하여 열회수 장치 출구 온도가 800°C 일 경우는 28%정도의 에너지를 회수할 수 있는 것으로 나타났고 열회수 장치 출구 온도가 200°C 일 경우에는 70% 정도의 에너지를 회수할 수 있는 것으로 나타났다.

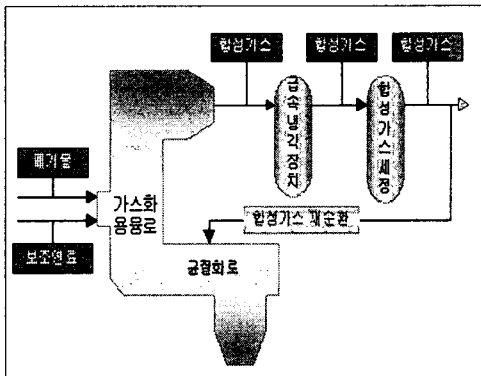
열회수 장치에서 회수되는 에너지를 증기를 발생시키는데 활용하는 경우를 예로 하여 열회수 장치의 출구온도에 따라 회수되는 에너지를 이용한 증기발생량을 살펴보았다. 열회수장치 출구온도를 800°C, 600°C, 400°C, 200°C로 변화시키기에 따라 각각 1141kg/h, 1711kg/h, 2282kg/h, 2852kg/h의 증기를 발생시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 열회수 장치를 적용하기 전 급속냉각장치에 유입되는 냉각수량 역시 열회수 장치를 적용하였을 경우 크게 감소하는 것으로 나타났다. 열회수 장치를 적용하지 않았을 경우에 가스화 용융로에서 발생하는 1200°C의 고온 합성가스를 급속냉각장치에서 70°C로 급속냉각시키기 위하여 유입되는 냉각수량을 100으로 하였을 경우에 대하여 열회수 장치를 적용하였을 경우 열회수장치 출구 온도에 따른 냉각수 사용율을 살펴보면 열회수 장치에서의 합성 가스 출구온도를 800°C로 하였을 경우의 냉각수 사용율은 72%로 열회수 장치를 적용하기 전보다 28%정도 감소하였고 열회수 장치에서의 합성가스 출구온도가 감소할 수록 냉각수 사용율은 점점 낮아져 열회수 장치 출구온도를 200°C로 하였을 경우의 냉각수 사용율은 30%로 열회수 장치를 적용하지 않았을 경우의 냉각수 사용량에 비하여 70%정도 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 합성가스 재순환

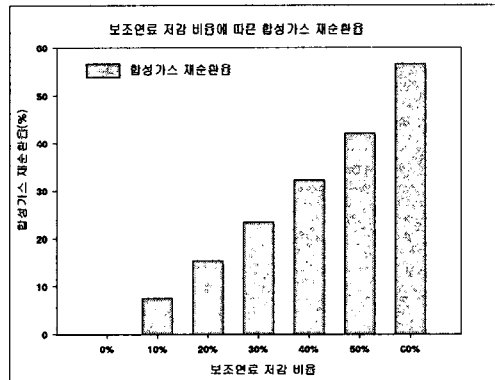
본 연구에서 대상으로 하는 폐기물 가스화 용융 시스템에서 보조연료 사용량을 저감할 수 있는 방안으로 합성가스의 일부를 재순환하여 사용하는 방안을 검토하였다. LPG를 보조연료로 사용하는 경우에 대하여 보조연료 사용량을 줄이고, 줄어든 보조연료 사용량에 해당하는 열량을 합성가스의 재순환으로 충당하는 개념이며 그 적용 방안을 [그림 8]에 나타내었다. 또한 합성가스를 재순환하지 않는 기존 방식에서 사용되는 보조연료량을 100으로 하였을 경우에 대하여 보조연료 사용량을 감소시켰을 때의 합성가스 재순환과 관련된 결과를 정리하여 <표 2>와 [그림 9]~[그림 11]에 나타내었다.

<표 2> 보조연료 사용 감소에 따른 합성가스 재순환 계산 결과

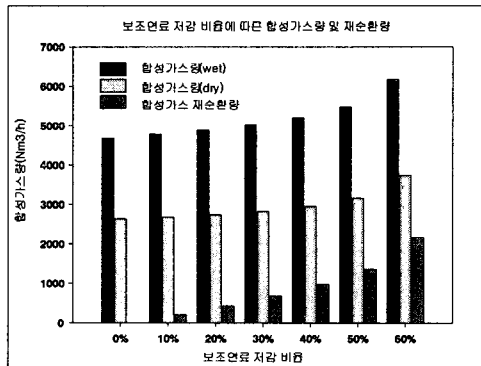
보조연료 사용률 (%)	합성가스 재순환율 (%)	합성가스 조성 (dry vol. %)				합성가스 발생량 (용융로 출구기준) (Nm ³ /h)		재순환합성 가스량 (Nm ³ /h)
		CO ₂	CO	H ₂	N ₂	wet	dry	
100	0	28.89	32.23	34.47	4.03	4,689	2,637	0
90	7.53	30.76	32.15	32.41	4.27	4,780	2,684	207
80	15.32	33.02	31.99	30.01	4.55	4,888	2,746	431
70	23.48	35.80	31.66	27.19	4.88	5,023	2,832	681
60	32.19	39.39	31.04	23.78	5.29	5,202	2,956	975
50	42.03	44.58	29.70	19.34	5.83	5,475	3,163	1362



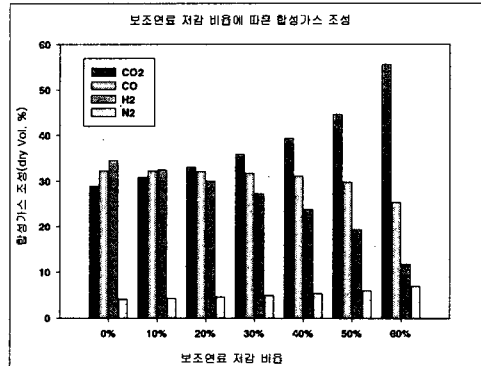
[그림 8] 합성가스 재순환 적용 방안



[그림 9] 보조연료 저감비율에 따른 합성가스 재순환율



[그림 10] 보조연료 저감비율에 따른 합성가스 발생량



[그림 11] 보조연료 저감 비율에 따른 합성가스 조성

<표 2>에서 나타난 바와 같이 보조연료 사용량이 10% 줄어들면 재순환되는 합성가스의

양은 발생하는 합성가스의 7.53% 정도이고 보조연료 사용량이 20% 줄어들면 재순환되는 합성가스의 양은 발생하는 전체 합성가스 양의 15%가 되며 보조연료 사용량이 줄어들수록 재순환되는 합성가스량은 증가하여 보조연료 사용량을 50%로 줄였을 경우는 발생하는 합성가스의 42% 정도를 재순환해야 하는 것으로 나타났다. 또한 보조연료 사용량에 따른 가스화 용융 시스템에서의 전체 합성가스 발생량을 살펴보면 보조연료 사용량이 줄어들 수록 재순환되는 합성가스의 양이 증가함에 따라 발생하는 전체 합성가스 발생량이 늘어나 보조연료 사용량이 50%로 줄어들었을 경우에는 합성가스를 재순환 하지 않을 경우보다 약 16% 정도 합성가스 발생량이 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 보조연료 사용량의 감소와 합성가스의 재순환에 따른 합성가스 조성의 변화를 살펴보면 보조연료 사용 저감 비율이 높아질수록 합성가스 조성 중 CO₂의 비율은 높아지고 CO와 H₂의 비율은 낮아지는 것으로 나타나 합성가스를 재순환 하지 않을 경우는 CO₂ 28.89%, CO 32.23%, H₂ 34.47%에서 보조연료 사용량을 10% 줄이고 합성가스를 재순환 하는 경우에는 CO₂는 30.76%로 증가하고 CO는 32.15%, H₂는 32.41%로 감소하는 것으로 나타났고 보조연료 사용량이 50%로 줄어든 경우에는 CO₂ 44.58%, CO 29.70%, H₂ 19.34%로 나타났다.

4. 결론

폐기물 가스화 용융 시스템에서 에너지 효율 향상을 위한 공정 개선의 방안으로 열회수 장치 적용 및 보조연료 사용량을 줄이고 합성가스를 재순환하는 경우에 대하여 검토하였다. 열회수 장치를 적용하였을 경우에는 열회수 장치 출구 온도에 따라 정도의 차이는 있지만 열회수 장치를 적용하지 않았을 경우와 비교하여 에너지 활용도를 높일 수 있는 것으로 나타났다. 급속냉각장치에서 소모되는 냉각수의 사용량도 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 또한 합성가스를 재순환하는 방안을 적용함으로써 보조연료 사용량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 향후 열회수 장치 적용 및 합성가스 재순환에 의한 폐기물 가스화 용융 시스템의 공정 개선을 통하여 에너지 효율 향상 운영비 절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 유보선, 이계봉, 김수현, 변용수, 윤기수, 이협희: "생활폐기물 가스화 용융 슬래크 및 중금속 회수물 내에서의 중금속 거동", 한국폐기물 학회 추계학술대회 (2003)
2. 허일상, 김우봉: "세계의 폐기물 처리기술 동향과 DAEWOO-TS 열분해 가스화 용융기술", KOR.J.ENVIRON.Toxicol Vol.16, No.2, 103-114(2001)
3. 윤용승, 유영돈: "국내 도시 생활폐기물을 대상으로 한 가스화 용융기술", 첨단환경기술, 70-80 (2003년7월호)
4. 김재호: "폐기물 가스화 공정의 특성과 개발 현황", ETIS, 197-209