

폐기물 가스화를 통한 합성가스 생산 및 활용 기술

구 재회¹⁾, 유 영돈²⁾, 이 협희³⁾

Technology of syngas production and utilization by waste gasification

Jae Hoi Gu¹⁾, Young Don Yoo²⁾, Hyup Hee Lee³⁾

Key words : Solid Waste(고상폐기물), Gasification(가스화), Syngas(합성가스), Hydrogen(수소), CO(일산화탄소)

Abstract : 국내에서 발생하는 폐기물을 이용하여 가스화에 의해 생산되는 합성가스의 생산 및 활용기술에 대해 고찰하였다. 폐기물 가스화에 의해 생산되는 합성가스의 조성은 CO, H₂를 주성분으로 하며 부분산화 조건에 CO₂가 함께 생산된다. 생산된 합성가스는 CO 20~35%, H₂ 20~35% 정도의 조성으로 나타나며 발생량은 1,365~2,125 Nm³/hr로 나타났다. 이러한 합성가스는 스팀생산, 전력생산 및 DME, SNG, 메탄올, 수소와 같은 고부가가치의 화학원료를 생산할 수 있다.

1. 서론

국내 폐기물 관리정책에서 나타난 바와 같이 소각, 매립 등의 처리방식에서 폐기물을 자원화할 수 있는 자원순환형 폐기물 재활용기술을 도입하여 폐기물의 재활용율을 증대시키는데 있다. 최근까지는 생활폐기물 뿐 만 아니라 사업장폐기물도 대부분 매립과 소각으로 처리되고 있는 실정이며 매립장 확보 문제 등으로 재활용과 소각 처리 비율을 계속적으로 증가시켜 오고 있으며, 재활용되지 않은 가연성 폐기물은 대부분 소각에 의해 처리 되고 있다. 폐기물을 소각할 경우에는 배출가스 중 다이옥신을 제어 할 수 있는 설비를 갖추어야 하고 2차 오염물질인 소각재가 부산물로서 발생하게 되며 매립등의 처리가 필요하다.¹⁾

최근 국내에서는 유해 산업폐기물, 생활폐기물 및 슬러지를 포함한 가연성폐기물에 대하여 단순 소각 보다 환경친화형 기술인 열분해 가스화 용융기술의 적용을 적극적으로 검토하고 있다. 국내 폐기물 관리체계와 유사한 일본의 경우에는 국내보다 앞서 폐기물 소각기술을 대체할 차세대 기술로서 고온용융시스템을 도입하여 폐기물의 안정적 처리와 동시에 불연물은 무해한 용융 슬랙으로 전환하는 자원 순환형 기술의 보급률이 확대되고 있다.

국내의 경우에도 생활폐기물이 지자체에 의해 관리, 계획되고 있으며 지역주민들의 환경에 대한 관심 고조로 환경친화적인 시설이 요구됨에 따라 고온용융시설의 도입이 시작되고 있고 많은 지자체에서도 이를 많은 검토가 진행 중에 있다. 생활폐기물보다 유해한 사업장 폐기물의 경우에도 기존 소각 처리 기술보다 친환경적인 처리기

술인 열분해 가스화 용융기술의 도입을 검토하고 이에 대한 연구가 여러 연구기관에서 진행되고 있다.²⁾

폐기물의 열분해 가스화 용융처리방법은 폐기물 내의 탄소 및 수소 성분은 일산화탄소 및 수소가 주성분인 가연성 합성가스로 전환함과 동시에 폐기물 내의 불연물은 용융함으로써, 폐기물을 환경적으로 안정하게 처리하고, 다양한 분야로 재활용이 가능하게 하는 새로운 폐기물 처리 개념일 뿐만 아니라 기존 소각 처리의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 처리 대안으로 부각되고 있다.³⁾

본 연구에서는 고정층 폐기물 가스화 용융로에서의 가스화 합성가스의 생산 및 합성가스를 이용한 합성가스 엔진 발전 특성에 대해 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

폐기물 가스화 용융 기술은 폐기물을 친환경적으로 처리할 수 있으며, 고효율 및 고부가가치의 에너지 전환기술이라고 하겠으며 기술의 특징을 Table 1에 나타냈다.

1) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

E-mail : jaehoi@iae.re.kr

Tel : (031)219-2693 Fax : (031)216-9125

2) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

E-mail : ydnyoo@iae.re.kr

Tel : (031)219-2686 Fax : (031)216-9125

3) (주)대우건설 플랜트사업본부

E-mail : imhappy@dwonst.co.kr

Tel : (02)2288-3431 Fax : (02)2288-5288

Table 1. Technology description of waste gasification melting system

구분	특징
폐기물 처리 측면	-폐기물의 탄소 및 수소 성분은 CO, H ₂ 가 주성분인 합성가스로 전환, 청정 연료가스 및 원료가스 등 다양한 방법에서의 재활용 가능
	-폐기물 내의 무기물은 용융하여 슬래크로 전환, 전자재 등으로 재활용 가능
환경적 측면	-가스화 용융로 내에서 유기물질을 완전 분해하여 다이옥신과 같은 독성 유기 물질의 노 밖으로 배출을 원천적으로 방지
	-환원성 분위기로 인해 질소산화물 및 황산화물의 생성 억제
	-합성가스 내에는 산소가 없어 Decon reaction을 억제하여 다이옥신 재합성을 억제
	-슬래크 내에 포함된 중금속은 용출되지 않으므로 환경에 무해하여 재활용 가능
에너지 이용 측면	-합성가스는 보일러, 가스엔진, 가스터빈 및 연료전지의 연료로 다양한 사용 가능
	-합성가스의 이용 방법에 따라 기존 단순 소각에 비해 고효율 발전이 가능
CO ₂ 배출 측면	-합성가스의 주성분인 CO, H ₂ 비의 제어와 촉매를 이용한 합성(synthesis) 과정을 통해 메탄올, DME(Dimethyl Ether), Fischer-Tropsch연료, 수소 등을 제조할 수 있음
	-합성가스를 고효율 발전 설비(가스엔진, 가스터빈, 연료 전지 등)의 연료로 사용할 수 있어 기존 단순 소각에 의한 발전에 비해 전력생산량(kWh)당 CO ₂ 배출량이 적음
	-합성가스 주성분인 CO, H ₂ 를 원료로 C1 chemistry를 이용하여 메탄올, DME과 같은 화학원료를 제조할 수 있어 굴뚝없는 폐기물 처리 설비 실현(CO ₂ 무배출 실현)
	-합성가스 내의 CO ₂ 분압이 소각 배가스내의 CO ₂ 분압보다 높아 CO ₂ 분리 비용이 소각 배가스에서보다 상대적으로 저렴함

2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 폐기물 가스화 용융시스템의 구성은 크게 폐기물 압축 공급을 동시에 진행하는 폐기물 압축기, 폐기물 중 가연물은 가스화하고 불연물은 용융시키는 가스화 용융로와 가스화에 의해 합성된 합성가스 냉각세정설비로 구성되어 있다. 본 실험에 사용한 폐기물 가스화 용융시스템 공정흐름도를 Fig. 1에 나타냈다.

폐기물압축기는 압축과 동시에 압축된 폐기물을 밀폐 조건에서 열분해로 공급하는 공급장치로서의 역할을 한다.

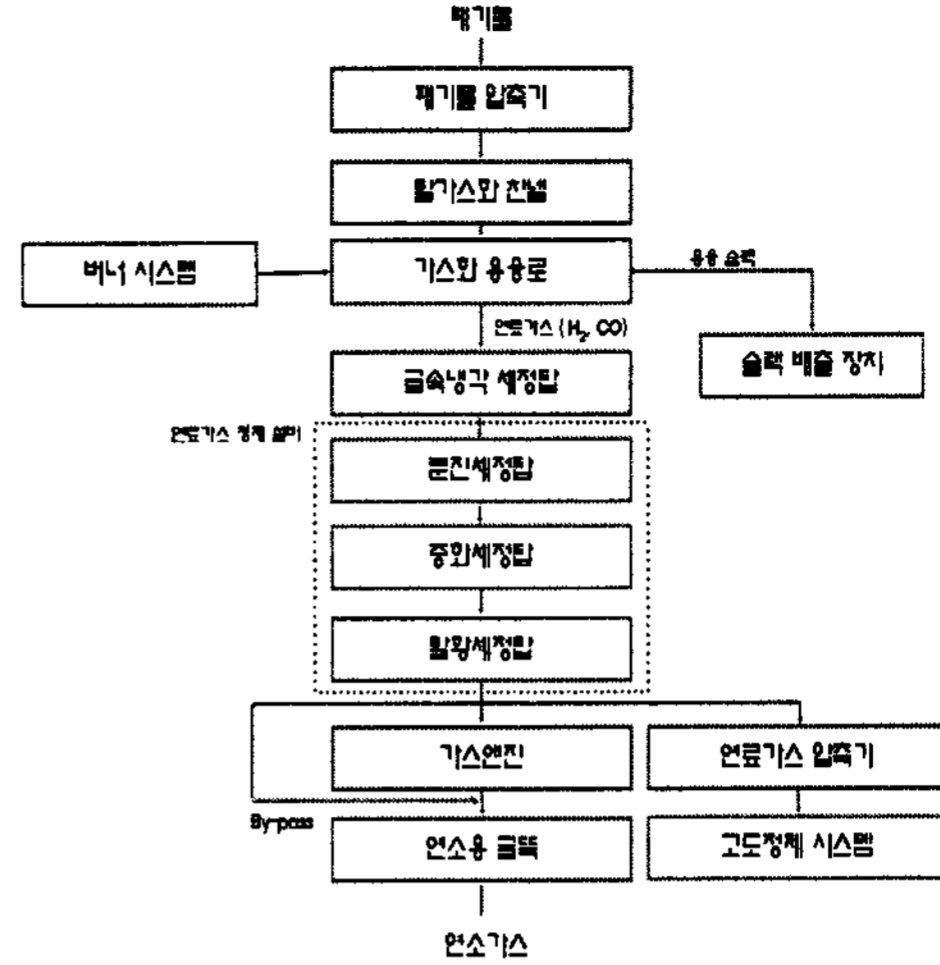


Fig. 1 Flow diagram of waste gasification and melting system

탈가스화채널은 압축된 폐기물을 가스화 용융로에 투입하기 전에 고온의 가스화 용융로 본체로부터 복사 열전달에 의한 열분해를 통해 가스화 용융로에서의 운전 안전성을 도모한다. 가스화 용융로는 폐기물내의 탄소, 수소 성분을 가스상의 CO, H₂로 전환하면서, 무기물은 용융 슬래크로 안정화 시킨다. 합성가스 정제설비는 가스화 용융로 출구에서 1,200℃ 이상으로 배출되는 합성가스를 수분사에 의해 75℃ 이하로 급속 냉각하였다.

2.2 실험방법

폐기물 가스화 용융 시스템의 운전은 크게 예열단계와 가스화 단계로 구분할 수 있다. 예열단계는 폐기물 투입 없이 LPG를 사용하여 가스화 용융로내의 내부 온도를 1,400℃까지 가열하는 단계이며, 가스화 용융단계는 예열이 완료된 후 폐기물을 투입하여 보조연료와 산소량을 조정하여 폐기물 내의 가연물은 합성가스로 전환하고 불연물을 용융하는 단계이다. 폐기물의 불연물을 안정적으로 용융시키는 조건에서 가연분의 가스화 특성을 파악하기 위해 가스화 용융로 운전온도를 1,300 ~ 1,600℃ 범위로 운전하였다.

본 연구에서는 폐기물 가스화에 따른 합성가스의 생산특성을 H₂/CO 생산비율의 관점에서 고찰하였으며, 합성가스의 활용기술에 대해 고찰하였다.

3. 실험조건

본 연구에서 사용한 폐기물 2종의 분석결과를 Table 2에 나타냈으며, 폐기물 가스화 용융시스템의 운전조건을 Table 3에 나타냈다.

Table 2. Analytic results of industrial waste

content		waste	
		I	II
Proximate (wt.%)	Moisture	35.50	5.27
	Combustible	53.43	74.95
	Ash	11.07	19.78
Ultimate (wt.%)	C	31.49	58.46
	H	4.04	5.34
	O	16.86	8.64
	N	0.48	1.08
	S	0.07	0.41
	Cl	0.49	1.02
LHV(kcal/kg)		3,630	5,210

Table 2에서 나타낸 바와 같이 수분함량 4.34, 35.50 wt.%, 회분 11.07, 11.20 wt.%이며, 발열량 3,630, 4,835 kcal/kg인 폐기물을 대상으로 하였다.

Table 3. Operation parameters and conditions

Operation parameters	Operation condition
waste feeding rate	2.22~2.87 ton/day
oxygen/waste weight ratio	0.5~1.0
melting furnace temperature	1300~1600 °C
furnace outlet temperature	above 1200 °C

Table 3에서는 가스화 용융시스템의 운전조건인 폐기물 투입량은 각각 2.22 ton/day, 2.87 ton/day 용량으로 처리하였다. Oxygen/Waste Ratio는 무게비로 0.5~1.0을 적용하였고 산화제는 순산소를 사용하였다. 가스화용융로 내부 반응온도는 1,300~1,600 °C를 유지하여 가스화 반응과 동시에 용융 슬래그 배출이 용이하도록 하였다. 가스화 용융로 출구온도는 폐기물관리법상 고온용융로의 기준인 1,200 °C 이상이 유지되도록 운전하였다.

4. 결과 및 고찰

폐기물 열분해 가스화 용융로의 대표적인 운전특성은 가스화 용융로의 로내 온도와 에너지 자원화를 위한 합성가스의 조성 및 생산량과 같은 생산 특성이라 하겠다.

본 연구에서는 폐기물 가스화 합성가스 생산 특성과 폐기물로부터 생산된 합성가스를 이용하여 가스엔진의 발전 특성을 고찰하였다. 폐기물 가스화 합성가스의 생산에 의한 합성가스 조성은 Fig.2에 나타냈다.

Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 waste I의 경우 일반적으로 배출되는 고상 사업장 폐기물로서 수소 함량이 20~40%, 일산화탄소 함량 25~35%로 생산되었으며, waste II의 경우는 자동차 파쇄폐기물(ASR)의 혼합폐기물로서 수소 함량이 25~

30%, 일산화탄소 함량 39~46%로 생산되는 특성을 나타냈다. Waste I과 waste II 2가지 가스화 합성가스 생산 특성은 모두 수소 및 일산화탄소의 조성 합계가 약 45~60%정도로 생산되었으며 폐기물중 수분함량이 높은 waste I이 waste II보다 수소 생산율이 높게 유지됨을 알 수 있었다.

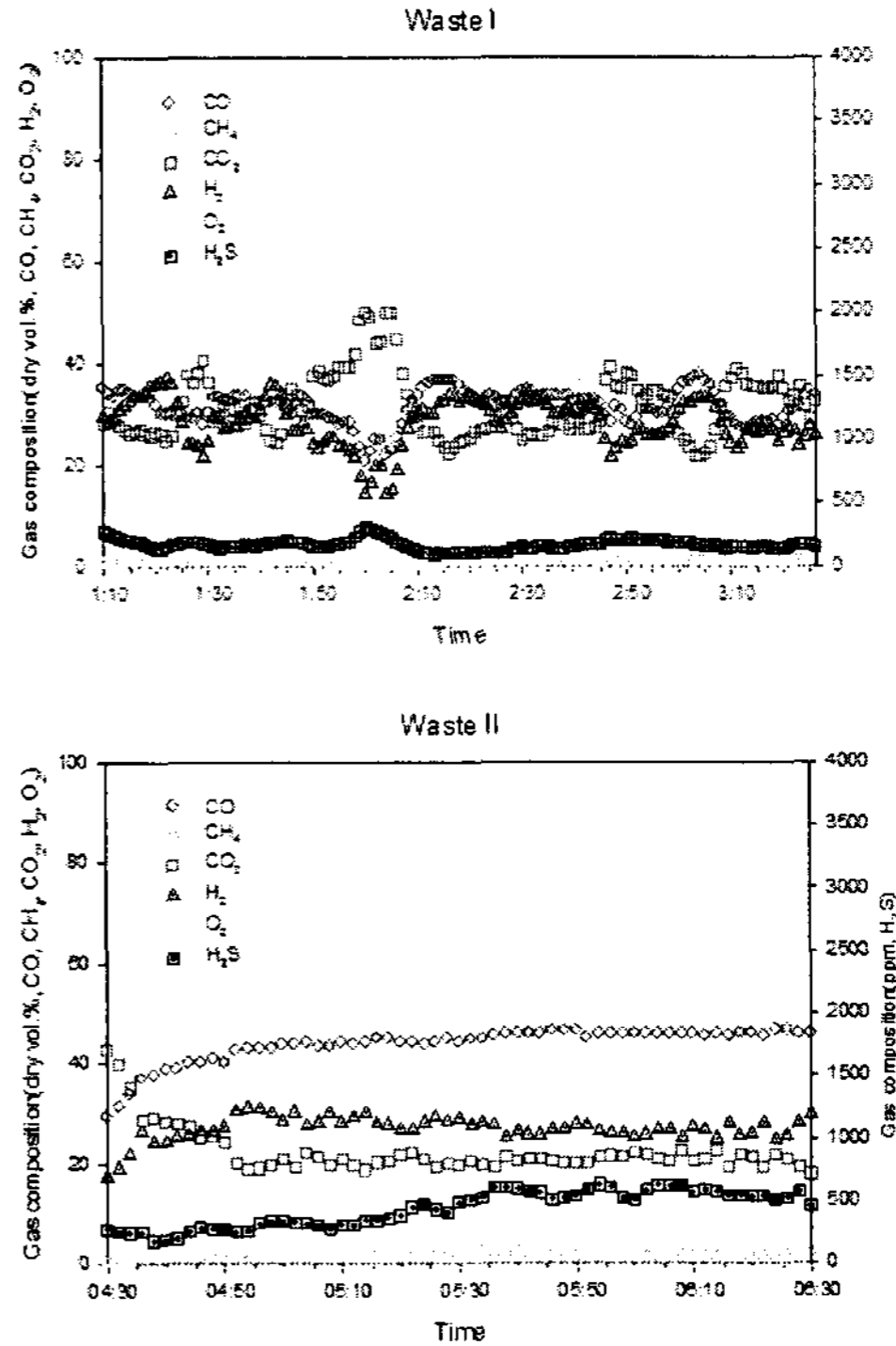


Fig. 2 Syn gas composition such as CO, H₂ and CO₂ with regard to the operation time

Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 waste I의 경우 수소 함량이 20~40%, 일산화탄소 함량 25~35%로 생산되었으며, waste II의 경우는 수소 함량이 20~30%, 일산화탄소 함량 25~35%로 생산되는 특성을 나타냈다. Waste I과 waste II 2가지 가스화 합성가스 생산 특성은 상이한 결과가 나타났으며, 수분함량이 낮은 waste II는 일산화탄소 함량이 높게 나타났으며 상대적으로 수소 함량이 낮게 생산되었다. Waste I의 경우는 Waste II보다 수분함량이 높은 35.5%로 높음에 따라 수소 생산량이 일산화탄소보다 다소 높게 생산된 것으로 판단된다.

폐기물 가스화 용융로에서 가스화에 의해 생산된 합성가스의 발생량은 각각 223 Nm³/hr, 209 Nm³/hr로 생산되었다. 이때 waste I의 가스화 용융로 처리량은 2.22 ton/day이며 waste II의 가스화 용융로 처리량은 2.87 ton/day이었다.

폐기물 가스화에 의해 생산되는 합성가스의 조성을 H₂/CO ratio기준으로 볼때 Waste I 경우에는 0.7~1.1로 나타났으며, waste II의 경우에는 0.5~0.7로 나타났다. 이러한 합성가스

의 생산 조성비는 합성가스를 이용하는 데 많은 영향을 끼친다.

폐기물 가스화를 통해 얻어진 합성가스는 CO, H₂가 주성분으로서 적절한 공정을 거쳐 합성하면 다양한 원료물질의 제조가 가능하다. 현재 폐기물, 석탄 등의 다양한 원료의 가스화 반응에 의해 발생한 합성가스로부터 생산 가능하거나 상업화 가능성이 있는 원료물질의 예를 Fig. 3에 나타내었다. 주요 생산 가능한 물질은 F-T (Fischer-Tropsch) 합성을 통한 인조합성석유, Non Fischer-Tropsch 합성을 통한 메탄올, DME(Dimethyl Ether) 등이 있으며, 합성가스는 발열량이 천연가스의 1/4 이하이므로 합성가스를 직접 천연가스용 연소기에 공급하여 사용할 수는 없지만, 합성가스를 메탄화 반응을 통해 대체 천연가스(SNG, Substitute Natural Gas)로 제조하여 활용하는 방안도 가능하다. 또한 현재 상업용 규모의 수소 제조 방법 중에서 가장 경제적인 방법으로 천연가스를 개질하여 CO, H₂가 주성분인 합성가스를 만든 다음 수성가스 전환, PSA (Pressure Swing Adsorption)통해 CO₂와 H₂를 분리하여 생산하고 있으며, 천연가스 가격의 상승 및 다양한 시료로부터 향후 경제성 확보가 가능한 수소 제조 방법에 대한 연구가 진행되고 있으며, 석탄 가스화 및 폐기물 가스화를 통해 얻어진 합성가스로부터의 수소 제조 공정이 개발 및 상업화 추진되고 있다.

25~35%로 생산로 생산되는 특성을 나타냈다. Waste I과 waste II 2가지 가스화 합성가스 생산 특성은 상이한 결과가 나타났으며, 수분함량이 낮은 waste II는 일산화탄소 함량이 높게 나타났으며 상대적으로 수소함량이 낮게 생산되었다. Waste I의 경우는 Waste II 보다 수분함량이 높은 35.5%로 높음에 따라 수소 생산량이 일산화탄소보다 다소 높게 생산된 것으로 판단된다.

References

- [1]환경부, 2차 폐기물관리 종합계획(2001)
- [2]환경기술진흥원, 열분해 용융관련 연구과제 수행 현황 홈페이지 자료(2004)
- [3]구재희 등, 고정층 열분해 가스화 용융시스템에서의 폐기물 가스화 특성 연구, 한국에너지공학회 추계학술발표회 (2003)

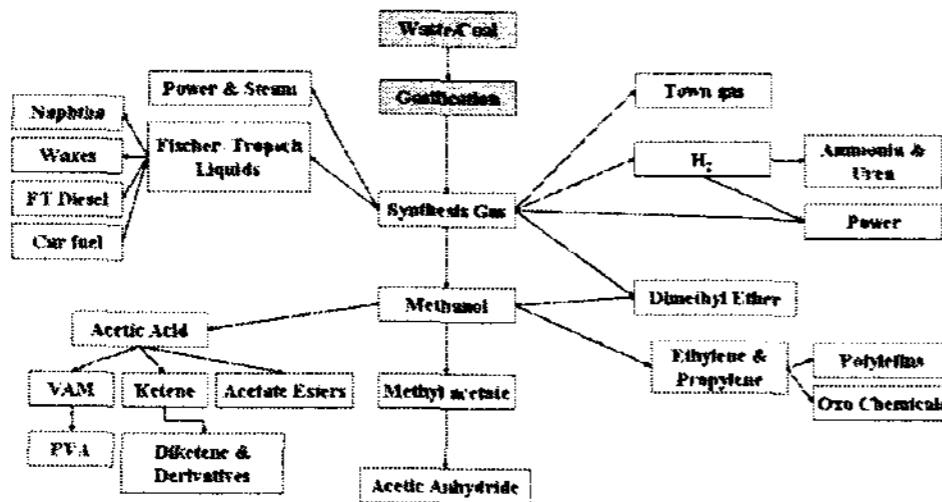


Fig. 3 Applicable production material from syngas

합성가스의 주성분인 CO, H₂를 이용하여 유용한 원료물질을 제조하는 공정은 수성가스 전환 반응(Water gas shift reaction)을 이용한 H₂/CO 비 조정, CO₂ 분리, 촉매를 이용한 원료물질 합성으로 구성된다. 즉, 합성가스 내에 포함된 CO와 H₂의 합성을 통해 요구되는 원료물질을 얻기 위해서는 합성에 적합하도록 합성가스 내의 CO, H₂의 비율 조정이 필요하다.

5. 결론

고정층 폐기물 가스화 용융로에서 폐기물의 가스화 합성가스 생산특성과 가스엔진 발전 연계 운전 결과는 다음과 같다.

waste I의 경우 수소 함량이 20~40%, 일산화탄소 함량 25~35%로 생산되었으며, waste II의 경우는 수소 함량이 20~30%, 일산화탄소 함량