

고정층 가스화 용융로에서의 고상폐기물 가스화 합성가스 생산 및 가스엔진 발전 연구

구 재회¹⁾, 김 수현²⁾, 유 영돈³⁾, 윤 용승⁴⁾, 이 협희⁵⁾, 남 상익⁶⁾, 윤 재관⁷⁾

Studies on syngas production and gas engine generation of solid waste gasification in the fixed bed gasification melting furnace

Jae Hoi Gu¹⁾, Su Hyun Kim²⁾, Young Don Yoo³⁾, Yongseung Yun⁴⁾, Hyup Hee Lee⁵⁾,
Sang Ik Nam⁶⁾, Jae kwan Yoon⁷⁾

Key words : Solid Waste(고상폐기물), Gasification(가스화), Syngas(합성가스), Gas Engine(가스엔진)

Abstract : The 3 ton/day-scale pilot plant consists of compressor, feed channel, fixed bed type gasification & melting furnace, quench scrubber, demister, flare stack and gas engine. Syngas composition of gasification using the 35.50(waste I), 4.34%(waste II) moisture-containing solid waste showed waste I CO 25-35%, 20-40% hydrogen, waste II 25-35%, 20-30% hydrogen. Gasification melting furnace was operated 1,500~1,600°C. Gas engine was generated 35~40 kW as waste gasification syngas.

1. 서 론

국내 폐기물 관리정책에서 나타난 바와 같이 소각, 매립 등의 처리방식에서 폐기물을 자원화 할 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 처리되고 있다. 폐기물을 소각할 경우에는 배출가스 중 다이옥신을 제어할 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 처리기술인 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⁾

1)~4) 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

E-mail : jaehoi@iae.re.kr

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

5) (주)대우건설 플랜트사업본부

E-mail : imhappy@dwonst.co.kr

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

3) 슈퍼다인

E-mail : sinam@superdyne.co.kr

Tel : (031)434-9185 Fax : (031)434-9779

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

2. 실험장치 및 실험방법

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.

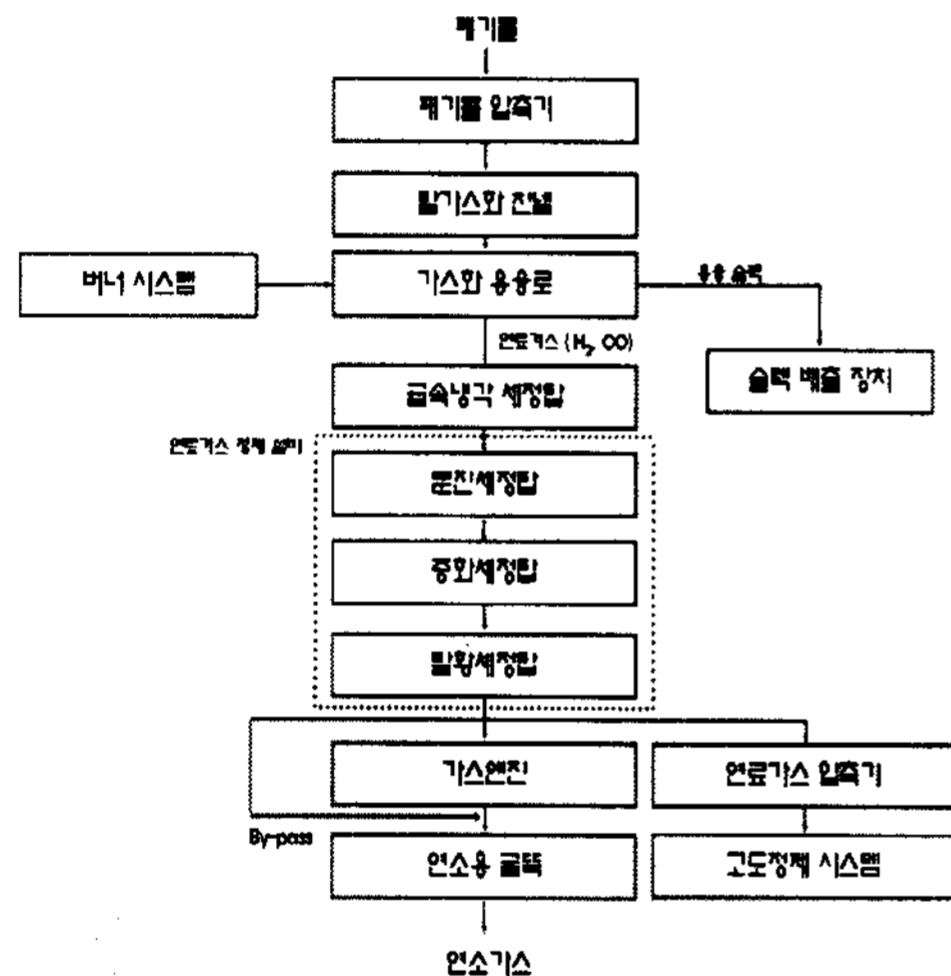


Fig. 1 Flow diagram of waste gasification and melting system

폐기물 압축기에서 폐기물을 압축시키면 폐기물의 부피를 1/5 ~ 1/8 정도로 압축하여 폐기물 내의 수분을 균일하게 분포시키며 열분해 시간을 단축시킨다. 폐기물압축기는 압축과 동시에 압축된 폐기물을 밀폐 조건에서 열분해로로 공급하는 공급장치로서의 역할을 한다. 열분해로는 압축된 폐기물을 가스화 용융로에 투입하기 전에 고온의 가스화 용융로 본체로 부터의 복사 열전달에 의한 열분해를 통해 가스화 용융로에서의 운전 안전성을 도모한다. 가스화 용융로는 폐기물내의 탄소, 수소 성분을 가스상의 CO, H₂로 전환하면서, 무기물은 용융 슬래그로 안정화 시킨다. 합성가스 정제설비는 가스화 용융로 출구에서 1,200℃ 이상으로 배출되는 합성가스를 수분사에 의해 75℃ 이하로 급속 냉각하였다. 본 연구에 사용한 폐기물 가스화 용융 공정에 대한 설명을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Process description of gasification melting system

공정구성	가스화 용융 시스템
폐기물 공급	· 폐기물 압축 및 공급 장치
가스화 용융	· 일체형 열분해 가스화 용융로 · 슬래그의 균질화를 위한 균질화 영역 · 슬래그 냉각수조 및 슬래그 배출 장치
합성가스 냉각세정	· 급속 냉각 · 합성 가스 연소

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. 정량공급 상태에서 산업폐기물 열분해 가스화 용융 조건이 정상상태에서 도달한 조건에서 합성가스 조성, 합성가스중 오염물질 측정, 슬래그 시료 채취, 급속냉각폐수 시료채취 등을 진행하여 운전 상태 및 분석결과를 도출하였다. 폐기물 가스화 용융로 운전은 고상 사업장폐기물 단독 운전 및 폐유 혼합운전의 두 가지 경우에 대해 수행하였다.

3. 실험조건

본 연구에서 사용한 고상 사업장폐기물의 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	4.34
	Combustible	53.43	84.46
	Ash	11.07	11.20
Ultimate (wt.%)	C	31.49	49.04
	H	4.04	7.36
	O	16.86	26.96
	N	0.48	0.33
	S	0.07	0.23
	Cl	0.49	0.54
LHV(kcal/kg)		3,630	4,835

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	2.2 ~ 3.75 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 3톤/일 용량으로 실험하였다. 대상폐기물의 가스화 용융조건에서 발생하는 합성가스 중에 포함된 대기오염물질 및 슬래그에 함유된 중금속, 급속냉각세정폐수 특성을 분석하였다. 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 생산특성과 폐기물로부터 생산된 합성가스를 이용하여 가스엔진의 발전 특성을 고찰하였다. 폐기물 가스화 합성가스의 생산에 의한 합성가스 조성은 Fig.2에 나타냈으며, 2가지 폐기물에 대한 가스화 용융로의 운전온도는 Fig.3에 나타냈다.

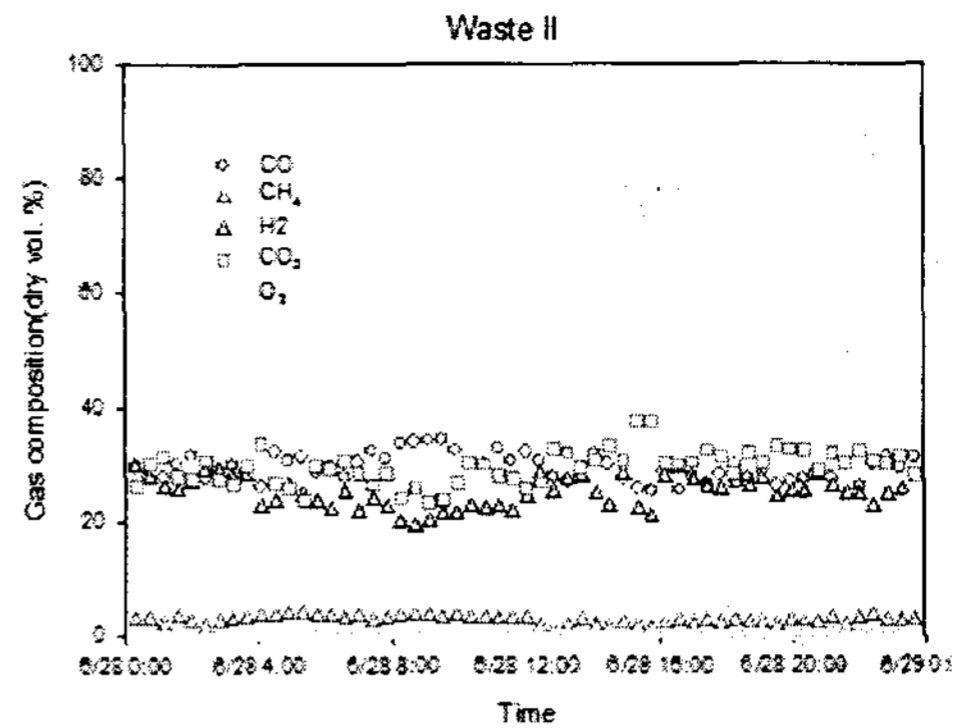
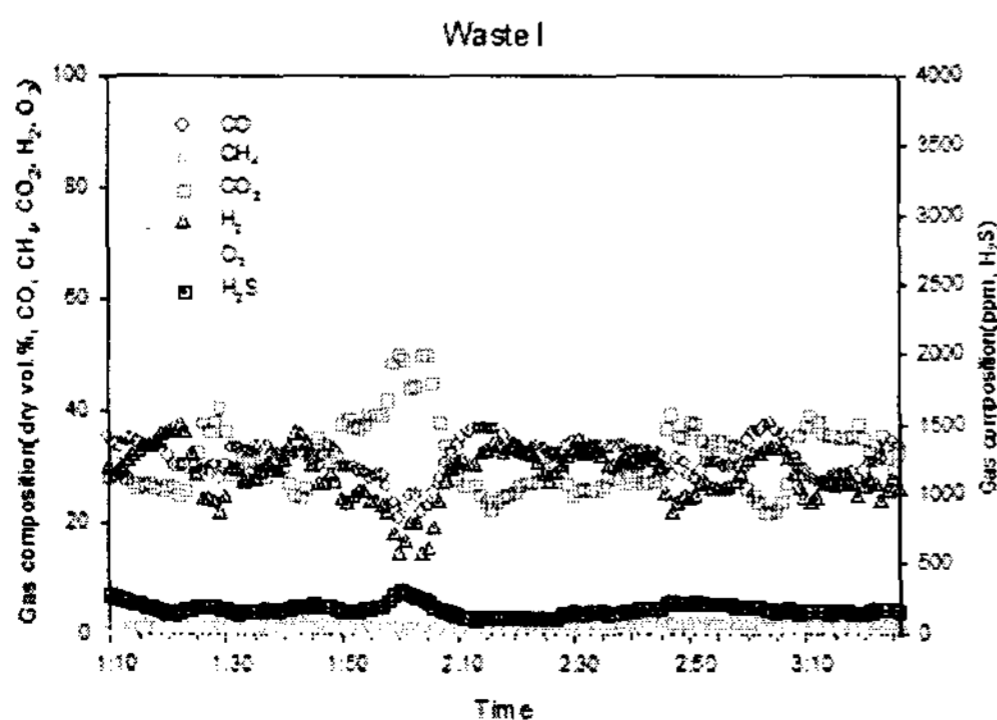


Fig. 2 Syn gas composition such as CO, H₂ and CO₂ with regard to the operation time

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 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.

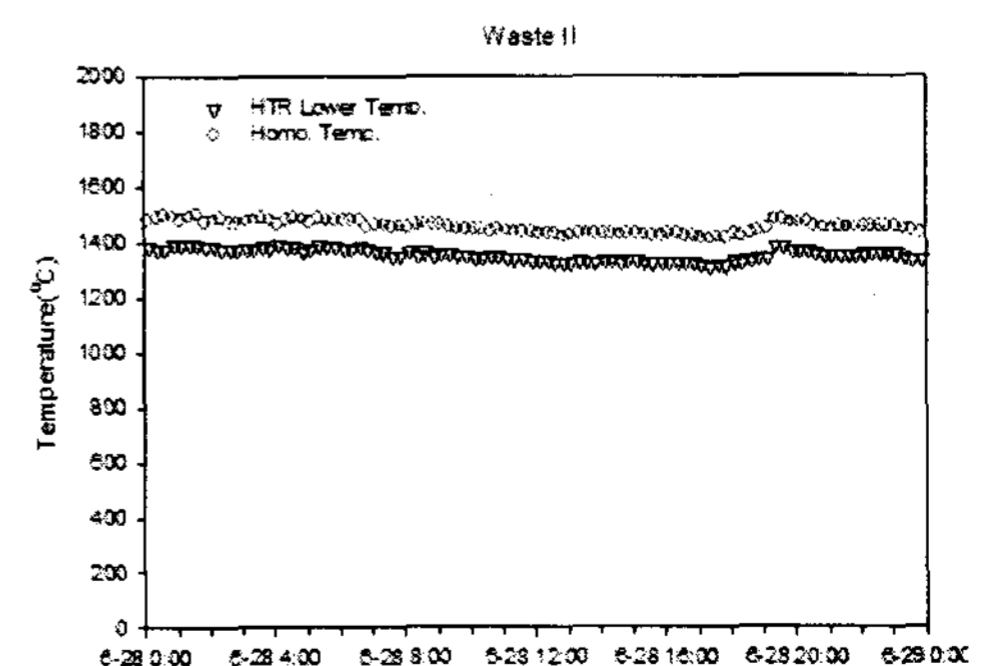
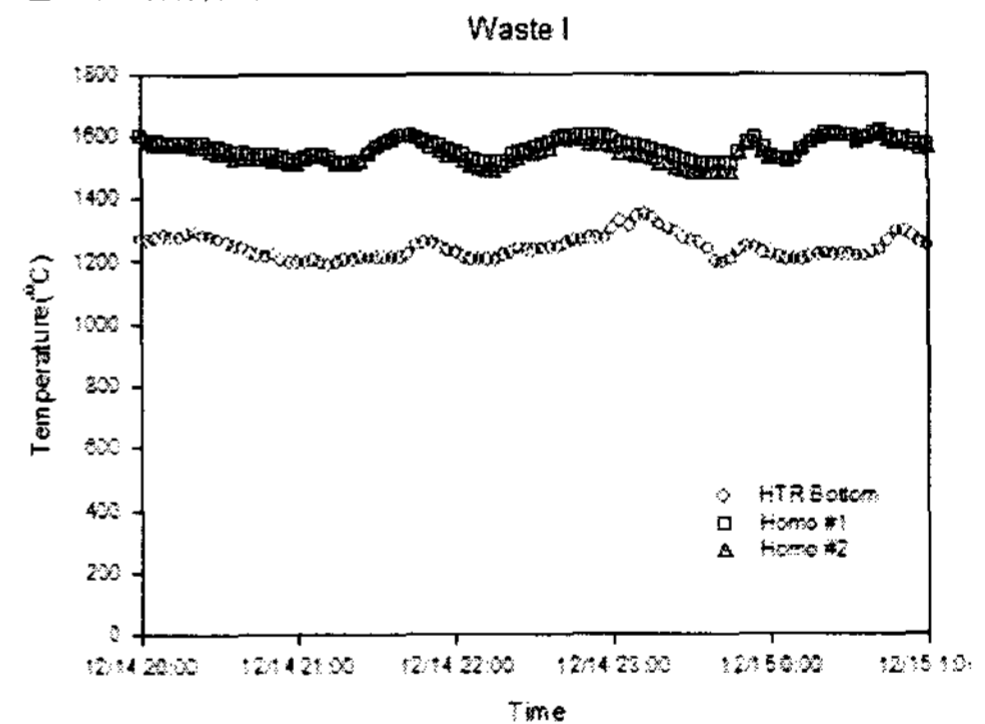


Fig. 3 Operation temperature of gasification furnace with regard to the operation time

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 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.

폐기물 가스화 용융로에서 가스화에 의해 생산된 합성가스의 발생량은 222~228 Nm³/hr로 생산되었다. 이때 waste I의 가스화 용융로 처리량은 2.22 ton/day이며 waste II의 가스화 용융로 처리량은 3.75 ton/day이었다.

또한 Fig. 3에서는 나타낸 바와 같이 waste I과 waste II의 가스화 용융 운전시 2가지 모두 폐기물 관리법상의 용융로 출구 기준인 1,200℃ 이상을 유지하도록 운전하였다. 가스화용융로의 주요 부의 운전온도는 waste I의 경우에는 1,500℃ 부근에서 운전되었고, waste II의 경우에는 1,600℃ 정도로 운전하였을 때 안정적으로 운전할 수 있었다.

폐기물 가스화 합성가스의 가스엔진에 의한 전력 생산량 측정결과는 Fig. 4에 나타냈다. 본 가스엔진은 3톤/일급 폐기물 가스화 용융을 통해 생산된 합성가스를 이용하여 개발된 가스엔진 발전을 이용해 연계 운전한 결과로서 35~40 kW 발전 생산량을 얻을 수 있었다.

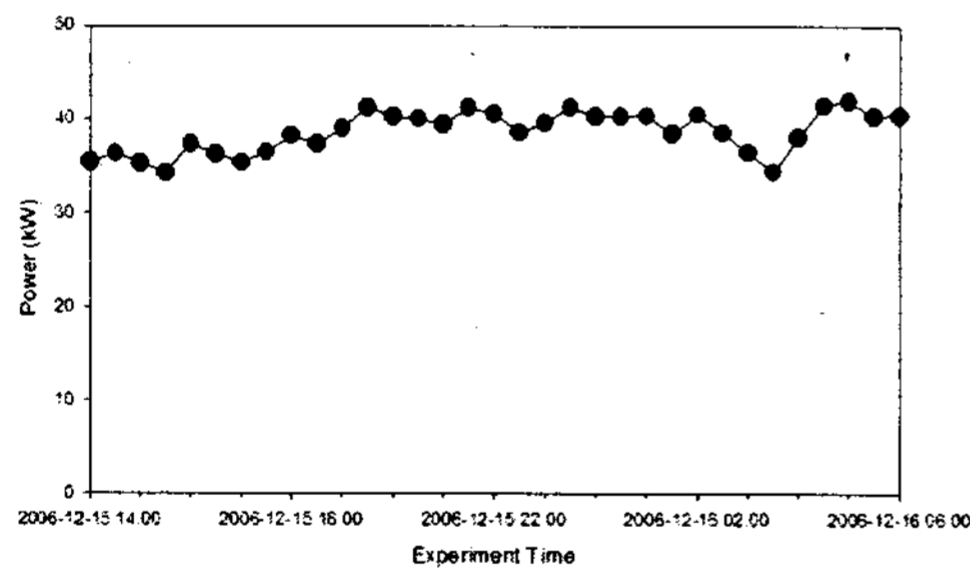


Fig. 4 Power generation of gas engine with regard to the operation time

5. 결론

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

3톤/일급 폐기물 가스화 합성가스의 합성가스 운전 온도는 waste I과 waste II에 대해 실험한 결과 가스화용융로 출구온도는 1,200℃ 이상을 유지하였으며, 로 내부 온도는 waste I의 경우에는 1,500℃ 부근에서 운전되었고, waste II의 경우에는 1,600℃ 정도로 운전되었다.

합성가스의 발생량은 waste I은 222 Nm³/hr 이 생산되었고 waste II는 228 Nm³/hr가 생산되었다. 합성가스의 조성은 waste I의 경우 H₂

20~40%, CO 25~35%로 나타났으며, waste II의 경우는 H₂ 20~30%, CO 25~35%로 생산되었다.

합성가스를 이용하여 가스엔진에 의해 생산된 전력생산량은 35~40 kW 발전을 도달하였다.

후 기

본 연구는 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업의 일환으로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

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)