



국내 폐기물의 가스화 용융에 의한 자원화 특성

구재희, 윤용승, 유명돈, 김수현, 김성현, 이협희*

고등기술연구원 Plant Engineering 센터

* (주)대우건설 플랜트사업본부

(연락처 : 031-219-2693, jaehoi@iae.re.kr)

국내 폐기물 관리정책은 제2차 국가 폐기물 종합계획(2002~2011) 및 제3차 환경보전중기종합계획에서 기술한 바와 같이 소각, 매립 등의 처리방식에서 폐기물을 자원화 할 수 있는 자원순환기술을 도입하여 폐기물의 재활용율을 증대시키는데 있다. 최근까지는 생활폐기물 뿐 만 아니라 사업장폐기물도 대부분 물질재활용, 매립 및 소각방식에 의해 처리되고 있는 실정이며 매립장 확보 문제 등으로 재활용과 소각처리 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.

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 열분해 가스화 용융시스템을 도입하여 폐기물의 안정적 처리와 동시에 불연물은 무해한 용융 슬랙으로 전환하는 자원 순환형 기술의 보급률이 확대되고 있다.

국내의 경우에도 생활폐기물은 지자체에 의해 관리, 계획되고 있으며 지역주민들의 환경에 대한 관심 고조로 환경친화적인 시설이 요구됨에 따라 신기술인 열분해 가스화 용융시설의 도입이 시작되고 있고 많은 지자체에서도 이의 도입을 적극적으로 검토되고 있다. 사업장 폐기물의 경우에도 기존 소각 처리 기술보다 친환경적인 처리 기술인 열분해 가스화 용융기술의 도입을 검토하고 신재생에너지로서 폐기물의 자원화를 위해 노력하고 있다.

폐기물의 열분해 가스화 용융처리방법은 폐기물 내의 탄소 및 수소 성분은 일산화탄소 및 수소가 주성분인 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.

폐기물을 에너지·자원으로 전환하고 Zero Emission에 근접하는 친 환경 신재생 에너지 기술인 가스화 용융 기술의 특징, 국내외 기술현황, 국내 도입 기술현황에 대해 설명하였으며, 국내 폐기물에 대한 가스화 용융을 통한 자원화 특성을 설명하였다.

**국내 폐기물의 가스화 응용에 의한
환경개선 방안의 특성**

2006. 9. 22

구재희, 윤용승, 유영돈, 김수현, 김성현, 이협희

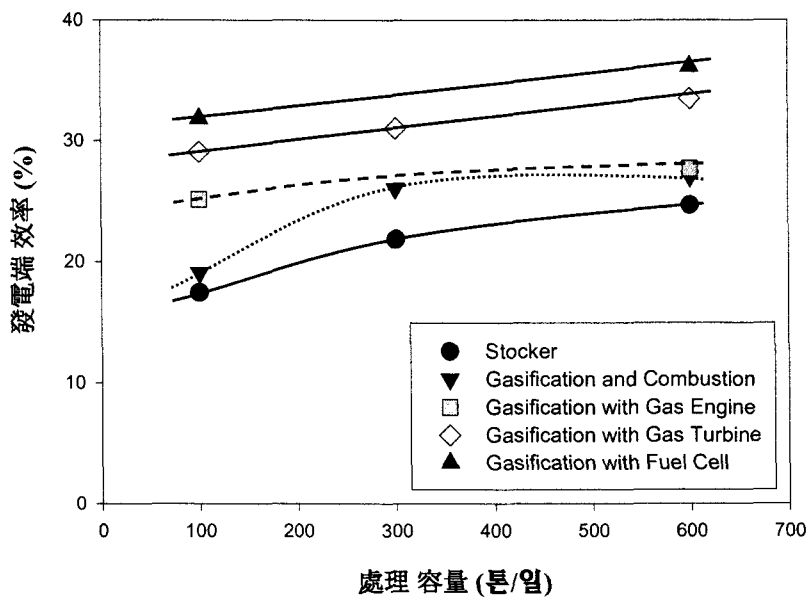
**고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터
· (주)대우건설 플랜트사업본부**

**가스화 응용 기술
개발의 필요성**

기술개발의 필요성

- 국가기술지도(NTRM)에서 폐기물 자원순환 부각
- 폐기물로부터의 고효율 에너지 회수 기술 필요
- 에너지효율을 높일 수 있는 신기술(폐기물 가스화) 개발 필요
- 선진국의 경우 : 폐기물 가스화 기술의 상용화 보급 및 확산 중
- 폐기물 가스화 기술의 국내 기술 Upgrade 필요
 - ✓ 국내 폐기물 가스화 기술 : 선진국 대비 46%대로 Pilot 실증 연구 단계
 - ✓ 국산 기술의 상용화를 위해 한단계 scale up 을 통한 기술의 신뢰성 확보 필요
- 폐기물 가스화 합성가스의 고효율 발전 가능
 - ✓ 가스 엔진발전 효율이 소각발전효율 보다 높음
 - ✓ 연료전지 발전 효율이 가장 높음
- 선진국 : 가스엔진 및 연료전지 발전 기술이 상용화 운전단계임
- 폐기물 가스화 기술은 소각시 발생하는 다이옥신 등 환경오염물질 문제를 근본적으로 해결할 수 있음
- 이산화탄소 저감 등 세계적 환경규제에 대비한 대체 에너지원이며, 고효율 발전 기술임
- 폐기물 자원순환을 통한 Zero Emission 추구
- 중대형급 폐기물 가스화 기술의 국산화 필요
 - ✓ 중형급 시스템의 신뢰성 확보 없이 국산화 달성 곤란
 - ✓ 기술도입된 외국기술을 대체할 국산 기술 개발 보급 필요

폐기물 처리 용량에 따른 발전 효율



폐기물 에너지의 정의

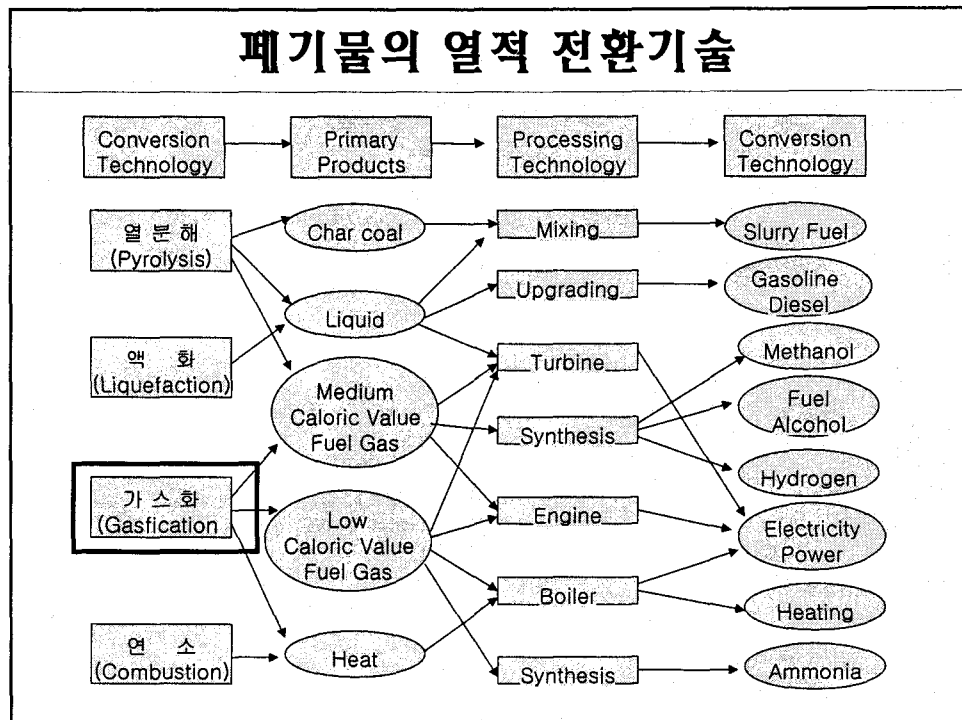
❖ 폐기물 에너지의 정의

1. 각종 사업장 및 생활시설의 폐기물을 변환시켜 얻어지는 기체액체 또는 고체연료
2. 제 1호의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 에너지
3. 폐기물의 소각열을 변환시킨 에너지

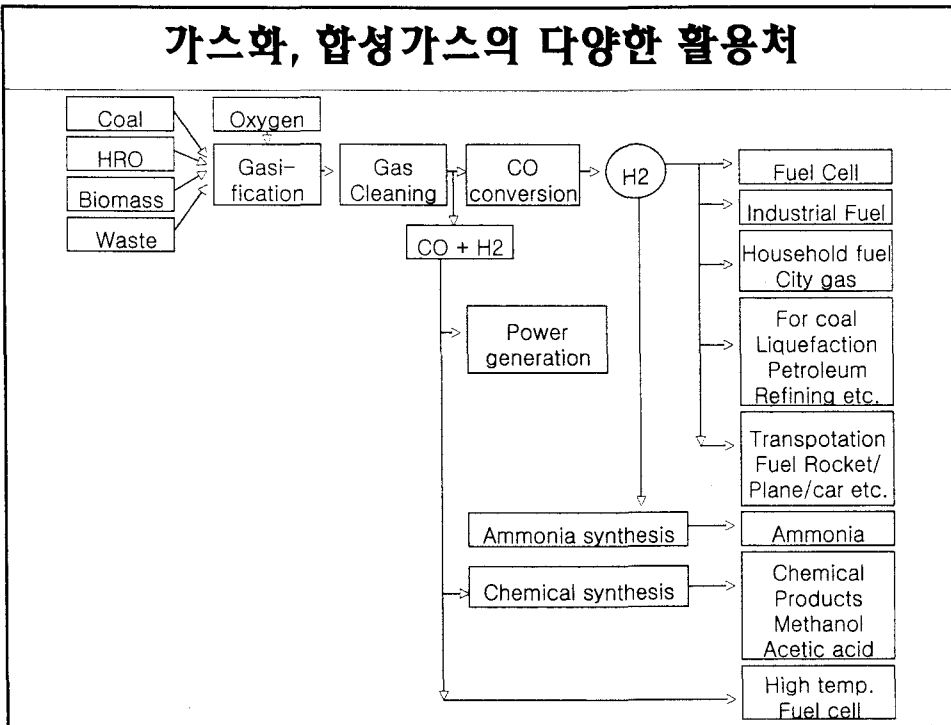
✓ 제1호~제3호의 에너지가 신·재생에너지가 아닌 석유제품 등과 혼합되는 경우에는 각종의 사업장 및 생활시설의 폐기물로부터 생산된 부분만을 폐기물 에너지로 본다.

※ 신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급촉진법

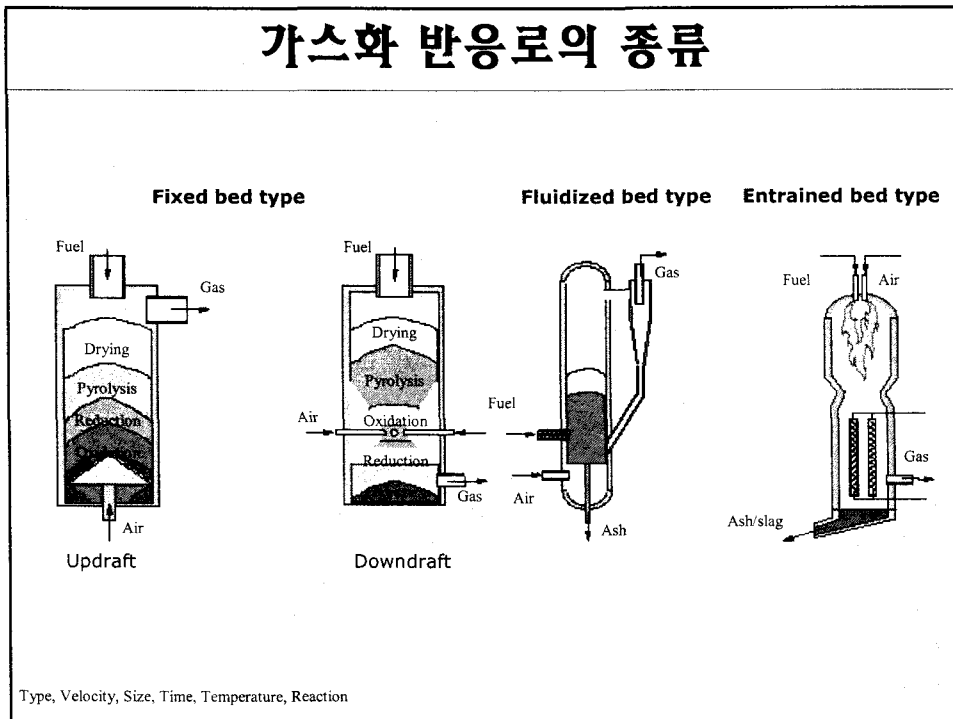
폐기물의 열적 전환기술



가스화, 합성가스의 다양한 활용처



가스화 반응로의 종류



선진 외국기술 동향 및 국내 기술도입 현황

폐기물 가스화 기술 현황

Developer	Country	Process Type	Energy Carrier
Texaco	USA	Gasification (slagging)	Syngas
Lurgi	Germany	Gasification (slagging)	Syngas
Krupp Uhde	Germany	Gasification + smelting	Syngas
MTCI	USA	Steam gasification	Syngas
Resorption	Canada	Plasma Gasification(slagging)	Syngas
Thermoselect	Switzerland	Pyrolysis + Gasification	Syngas
Noell	Germany	Pyrolysis + Gasification	Syngas
PKA	Germany	Pyrolysis + Gasification	Syngas
TPS	Sweden	Gasification + Combustion	Flue gas
Nippon Steel	Japan	Gasification + Combustion	Flue gas
Lurgi	Germany	Gasification + Combustion	Flue gas
Waterwide	New Zealand	Gasification + Combustion	Flue gas
EPI	USA	Gasification + Combustion	Flue gas
Battelle	USA	Gasification + Combustion	Flue gas
NKK	Japan	Gasification + Combustion	Flue gas
Ebara	Japan	Gasification + Combustion	Flue gas

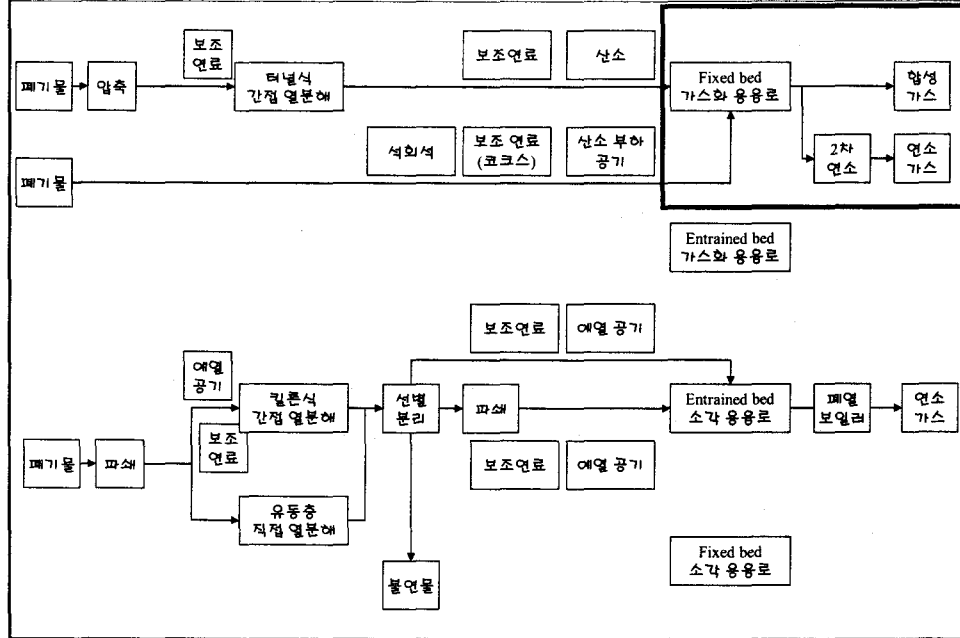
가스화 시스템의 종류 (1)

구분	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 가스화 + 소각 (폐열회수) </div>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 응용프로세스: 폐기물을 탄화하여 용융 ■ 개념: 탄화물, 발생가스를 연소시켜 회분을 용융하고, 폐열회수 ■ 특징: 공기에 의한 연소 ■ 다이옥신: 폐열회수중에 다이옥신이 재합성되므로, 배가스 처리
일체형 (용융공정)		
분리형 (용융공정)		
분리형 (용융공정)		

가스화 시스템의 종류 (2)

구분	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 가스화+연료가스 </div>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 응용프로세스: 쓰레기를 탄화하여 용융후 자원화 ■ 개념: 회분을 용융하고, 발생가스를 정제후 이용 ■ 특징: 용융시 산소이용 ■ 다이옥신: 다이옥신의 생성억제 가능
일체형 (용융공정)		
분리형 (용융공정)		
분리형 (용융공정)		

폐기물 소각/용융, 가스화/용융 신공정



기술도입 국내 업체 현황

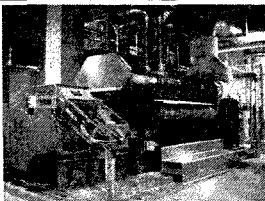
처리 방식	기술제휴	전처리	열분해	노 형식
가스화/용융	Thermoselect / 대우건설	압축	터널식 열분해 간접 또는 복사열 이용	고정층 산소 사용 슬랙 연속 배출
가스화/용융	신일본 제철 / 포스코건설			고정층 코크스 사용 산소 부하 슬랙 비연속 배출
소각/용융	미쯔이 조선 / 동부건설	파쇄	킬른식 열분해 간접열 이용 열분해 잔류물 분리	분류층 공기 사용 슬랙 연속 배출
소각/용융	타쿠마 / 삼성물산	파쇄	킬른식 열분해 간접열 이용 열분해 잔류물 분리	분류층 공기 사용 슬랙 연속 배출
소각/용융	에바라 / 효성에바라	파쇄	유동층 열분해 부분 연소열 이용 열분해 잔류물 분리	분류층 공기 사용 슬랙 연속 배출

기술도입 국내 업체 현황(계속)

처리 방식	기술제휴	생산물	후처리
가스화/용융	Thermoselect /대우건설	합성 가스	합성가스세정 스크러빙 방식 적용 다양한 합성 가스 활용 가능 폐기물 재활용, zero-emission 관점
가스화/용융	신일본 제철 /포스코건설	연소 가스	2차연소 일반적인 소각 공정 세정 방식 폐기물 처리 안정화 처리 관점
소각/용융	미쯔이 조선 /동부건설	연소 가스	일반적인 소각 공정 세정 방식 폐기물 처리 안정화 처리 관점
소각/용융	타쿠마 /삼성물산	연소 가스	일반적인 소각 공정 세정 방식 폐기물 처리 안정화 처리 관점
소각/용융	에바라 /효성에바라	연소 가스	일반적인 소각 공정 세정 방식 폐기물 처리 안정화 처리 관점

일본, 폐기물 가스화 가스엔진/연료전지 발전 상용화 실적

일본, Mutsu 가스엔진 (1.2MW)



- ❖ MSW 가스화 합성가스 사용 가스엔진 : 1.2 MW
- ❖ 가스엔진 발전효율 : 35~36%
- ❖ GE Genbacher 사 가스엔진 채용

일본, Chiba 가스엔진 (1.5MW) 및 연료전지 발전(200 kW)



가스엔진 발전(1.5 MW)

연료전지 발전(200 kW)

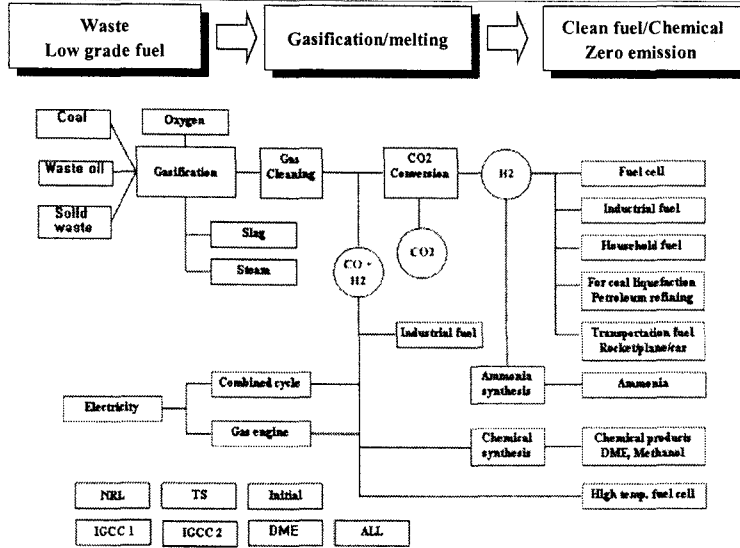
- ❖ ISW 가스화 합성가스 사용
- ❖ 가스엔진 발전 : 1.5 MW
(GE Genbacher 사 가스엔진 채용)
- ❖ 연료전지 발전 : 200 kW
(Toshiba fuel cell 사용)

국내 기술 개발 현황

국내 폐기물 가스화용융 기술 수준

- 아직까지 천연성폐기물 가스화 기술에 대해서는 나타내고 있지 않지만 유사 기술인 폐기물 용융기술과의 기술수준이 비슷하므로 폐기물 용융기술의 평가를 보면 2005년 기준으로 선진국대비 46% 수준으로 평가하고 있다.
- 정부부처에서의 평가기준
 - ✓ 25%이하 : 기술도입 적용 수준
 - ✓ 25 ~ 40% : 실험실 연구 수준
 - ✓ 40 ~ 60% : Pilot 실증 연구 수준
 - ✓ 60 ~ 80% : 상업화개발적용 수준
 - ✓ 80 ~ 100% : 선진국 수준(기술경쟁력 확보)
- 연구진행 단계를 기준으로 한 기술 수준 비교
 - ✓ 천연성폐기물 가스화 기술 수준
 - 현재 선진국대비 60% 로 평가
 - 2005년이 아닌 현재 Pilot실증연구수준이므로 가스화에 대한 기술수준은 현재 기준으로 60%에 도달
 - ✓ 천연성폐기물 가스화 및 가스 자원화 기술의 연계 기술
 - 현재 선진국대비 50% 정도로 평가
 - 3년뒤 본 기술은 Pilot실증연구가 완료되므로 60%에 도달할 것으로 예상된다.
 - 3년이후에는 상업화 개발적용단계인 선진국의 60 ~ 80% 수준에 도달할 것으로 판단된다.
 - ✓ 천연성폐기물 가스 제조기술 수준은 3년뒤 정도면 상업화개발적용수준인 60 ~ 80% 수준에 도달할 것으로 판단된다.

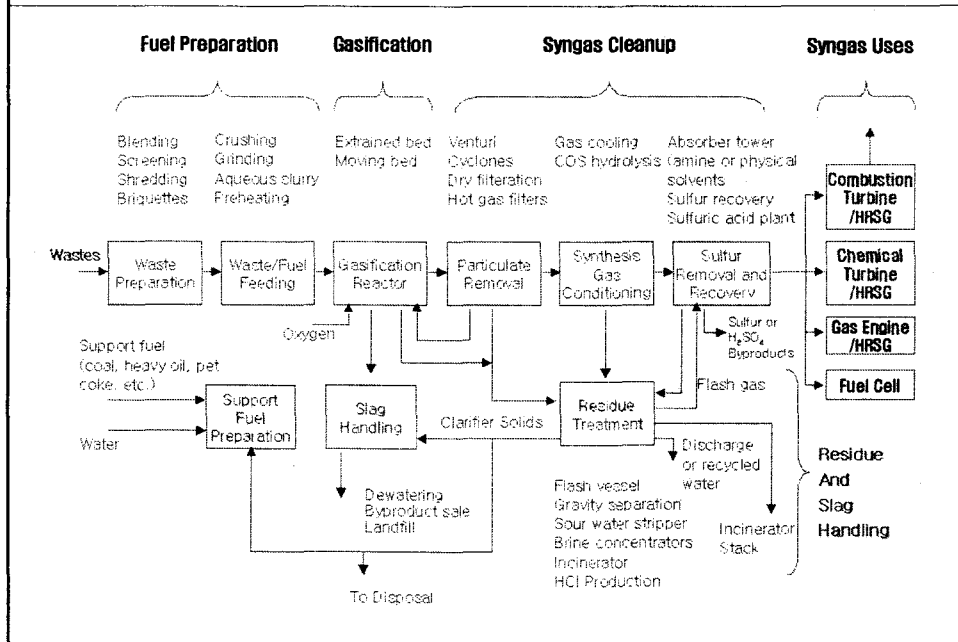
국내 가스화 응용 기술개발 동향



국내 기술개발 현황 - 가스화 응용

연구기관	연구개발 실적
고등 기술 연구원	<ul style="list-style-type: none"> 2002년 3톤/일급 폐기물 가스화용용 pilot 플랜트 건설 및 공개시연회 개최 (4건의 특허 출원, 안정화 운전기술 개발 연구 진행중) 1995년 ~ 2002년 G-7 국제로 3톤/일급 석탄 가스화용용로 개발을 진행하여 안정적인 합성가스 생산 능력을 갖추 (30일 연속운전 진행) 2000년 ~ 2005년 국가지정연구소(NRL) 사업으로 액상/고상 폐기물 처리를 위한 1톤/일급 가연성 폐기물 가스화용용 플랜트 연구 진행 (5톤/일급) 2003년 ~ 2006년 대체에너지기술개발사업으로 석탄 가스화 합성가스 제조공정 및 발전시스템 기술개발 2004년 ~ 2006년 대체에너지기술개발사업으로 석탄가스회기로부터 발생된 합성가스를 사용한 화학원료 전환기술개발 2004년 ~ 2006년 대체에너지기술개발 실용화 실증사업으로 폐기물 가스화 용용을 통한 합성가스 생산 및 이용기술 실증연구 2005년 ~ 2008년 차세대핵심기술개발 10대중점과제로 폐기물 가스화 용용공정에서 생산되는 합성가스의 고도정제를 통한 가스엔진발전, 연료전지 발전 기술개발 (열분해 용용 시설의 배출가스 및 잔유물 활용기술개발: 중광주관 - (주)대우건설, 순백제철용-연세대) 2006년 ~ 2009년 차세대핵심기술개발 중점전략과제 난분해성 액상폐기물의 고온 고압 처리장치 개발(중광주관 : (주)유성)
한국 에너지 기술 연구원	<ul style="list-style-type: none"> 2002년 50 kg/일급 이산화탄소를 이용한 DME 생산 pilot 플랜트 건설 2002년 가연성 폐기물의 가스화에 의한 합성가스 제조 및 원료물질 회수를 위한 5톤/일급 pilot 플랜트 건설 1995년부터 0.5톤/일급 석탄 가스화용용로 개발을 진행 2005년 ~ 2008년 전력산업기술개발 사업으로 Biomass 가스화 기술개발

폐기물 가스화 공정을 이용한 에너지 회수 공정도



국내 폐기물 가스화 응용 기술개발 현황

개발기술	설비용량	연구기간	연구기관	배출 가스	비고
가연성폐기물의 가스화에 의한 합성가스 제조 및 원료물질 회수 공정 개발	가연성 폐기물	2000 ~ 2003	에너지기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	21세기프론티어연구 개발사업 (1단계)
가연성 폐기물의 부분산화에 의한 가스자원화 기술개발	가연성 폐기물	2003 ~ 2006	에너지기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	21세기프론티어연구 개발사업 (2단계)
Biomass 가스화 기술개발	Biomass	2005 ~ 2008	에너지기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	전력산업기술개발
가연성폐기물 일본에 가스화 응용기술 개발	3 ton/day 가연성폐기물	2002 ~ 2003	고등기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	자체개발과제 (주)대우건설
가연성 폐기물 저비용 가스화 응용 공정기술개발(5톤/일급)	5 ton/day 산업폐기물	2000 ~ 2005	고등기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	국가지정연구실
폐기물 가스화 응용시스템을 통한 합성가스 생산 및 이용기술 실증연구	50ton/day 산업폐기물	2004 ~ 2006	고등기술연구원	연료 가스 (CO, H ₂)	대체에너지기술 개발
일본에 응용 시설의 배출가스 및 잔유물 활용기술 개발 (가스엔진, 고도정제, 슬랙재활용)	3 ton/day 유해폐기물	2005 ~ 2008	대우건설	연료 가스 (CO, H ₂)	Eco 21과제 (K2power 우주엔비텍)

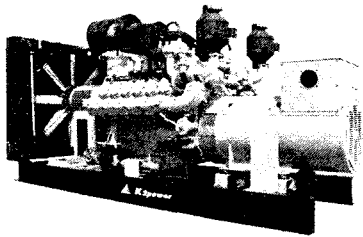
가스엔진 20 kW급 개발 가스엔진 개발
 연료전지발전 2 kW급 이상 개발 => 연료전지 연계 Test

국내 폐기물 열분해 소각용용 기술개발 현황

개발기술	설비용량	연구기간	연구기관	배출 가스	비고
미수 슬러지의 Hybrid 유동층 열분해/용융소각시스템 개발	5 ton/day 미수슬러지	2001. 8 ~ 2004. 7	에너지기술연구원 (전경태)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 한국폐기물(주)
폐기물의 열분해·용융처리 자원화 공정 개발	5 ton/day 가연성폐기물	2001. 8 ~ 2004. 5	(주)씨엔지엔테크 (윤명조)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)씨엔지엔테크
가연성폐기물 열분해 용융 시스템 개발	3 ton/day 가연성폐기물	2001. 9 ~ 2005. 7	한국기계연구원 (김석준)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)대우건설 한라산업개발(주)
브라운 가스를 이용한 새로운 개념의 용융시스템 개발에 관한 연구	5 ton/day 유매폐기물	2001. 8 ~ 2003. 5	(주)이엔이 (현장수)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)이엔이
마이크로파를 이용한 광염성 병원폐기물 처리장치 개발	10kg/hr 병원폐기물	2001. 8 ~ 2004. 5	에너지기술연구원 (배강)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 코웨이텍
Plasma를 이용한 병원 및 유매 폐기물 처리 System 개발	250kg/h 병원폐기물	2001. 8 ~ 2004. 5	전주대학교 (박현서)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)영엔지니어링
폐기물용 용융, 열분해시켜 용융물과 정정연료 가스를 생산하는 공정개발	5 ton/day	2003. 6 ~ 2005. 5	에프시스템 (송석득)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 에프시스템(주)
축열식 고온 용융 소각로 개발	Lab scale	2003. 6 ~ 2006. 5	생산기술연구원 (류태우)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)신원이엔비
Plasma를 이용한 광염성 및 유매폐기물 열분해 용융설비 실증 사업화		2004. 6 ~ 2006. 5	(주)영엔지니어링 (홍영기)	연소 가스 (CO ₂ , H ₂ O)	Eco 21관계 (주)영엔지니어링

국내 가스 엔진 시스템 상용화 실적

천연 가스 엔진 및 발전기 개발



환경친화적 제품

- ❖ 배기가스 공해물질 감소 (디젤엔진 대비)
- ❖ 청정연료 (LNG) 사용
- ❖ 삼원촉매장치 적용 (CO, HC, Nox 배출감소)

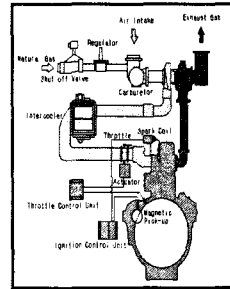
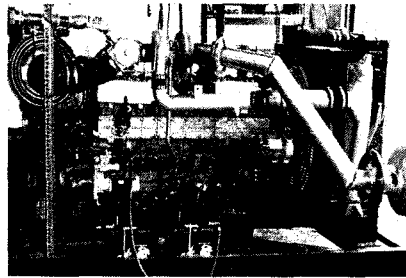
- 1) 개발개요 : 지구온난화 국제적 대책에 따른 청정 에너지 개발 (145kW ~ 410kW)
- 2) 개발기종 : K410G, K335G, K260G, K200G, K145G (총5기종)
- 3) 개발성과 :
 - ◆ 천연가스엔진 제어 독자기술 확보
 - ◆ WET TYPE MANIFOLD 가스엔진 냉각기술 확보
 - ◆ BASE LOAD, PEAK SHAVING 운전모드 개발

※ 개발업체 : K2 Power

국내 폐기물 가스화 합성가스 엔진 개발 현황

기존 가스엔진 개조를 통한 개발

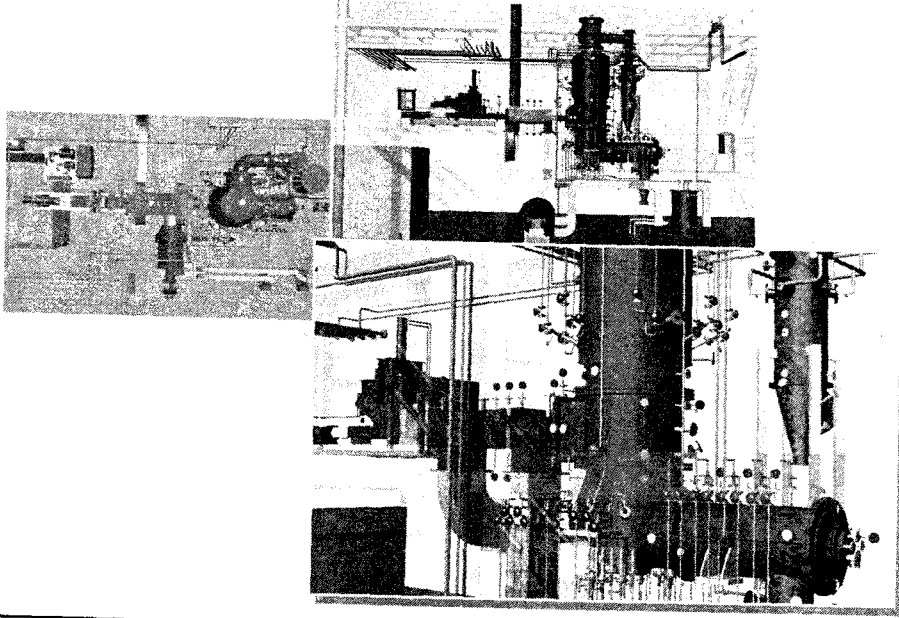
- 폐기물 합성가스 가스엔진 20 kW급
- 기존 디젤엔진 및 CNG 엔진을 개조하여 폐기물 가스화 합성가스 전용 엔진 개발 진행중
- H2 Gas (저 발열량 가스) 연료 사용 시 Knocking 가능성이 높음 (흡기 밸브 열린 상태에서 폭발 시작)
- ㈜대우건설, 고등기술연구원과 공동 연구



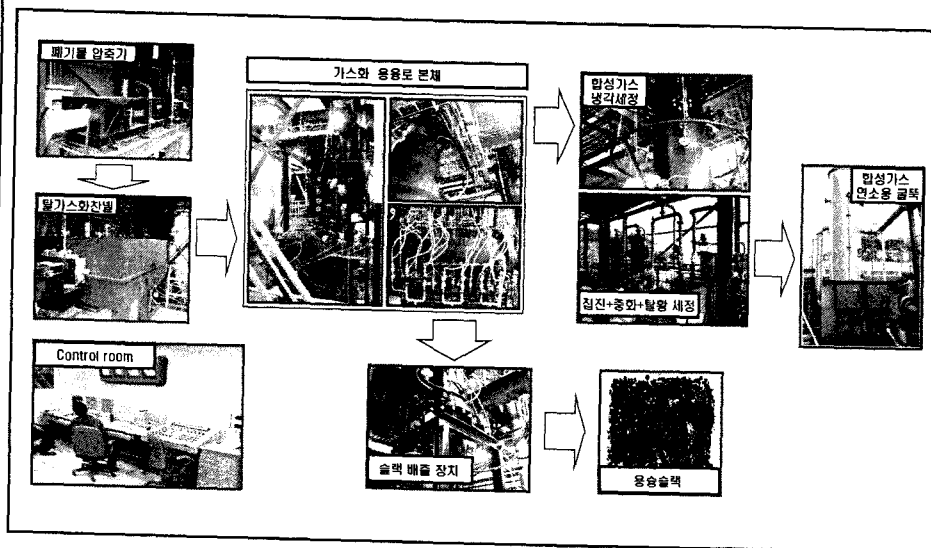
※ 개발업체 : K2 Power

국내 폐기물의 가스화 용융 기술개발 내용

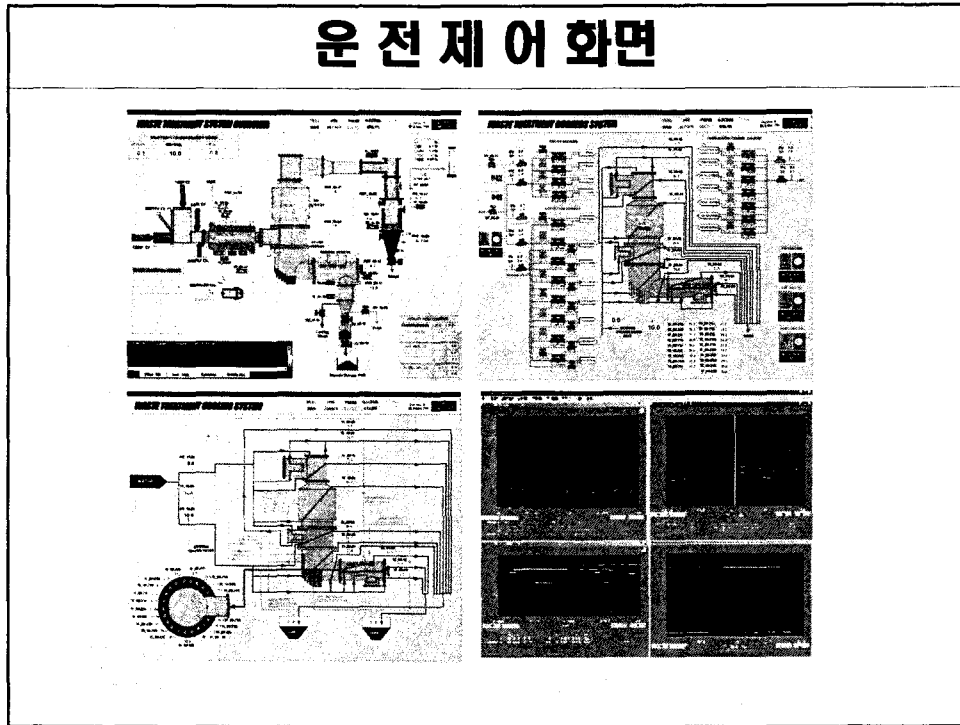
폐기물 가스화 용융로 3D 설계



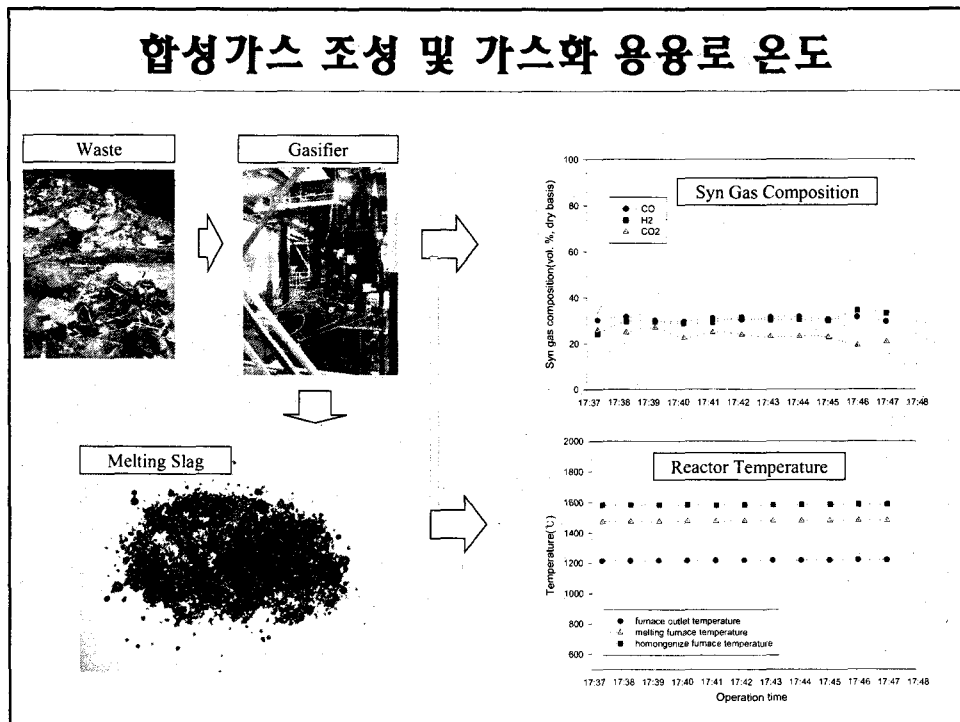
폐기물 가스화 용융 시스템 공정 구성



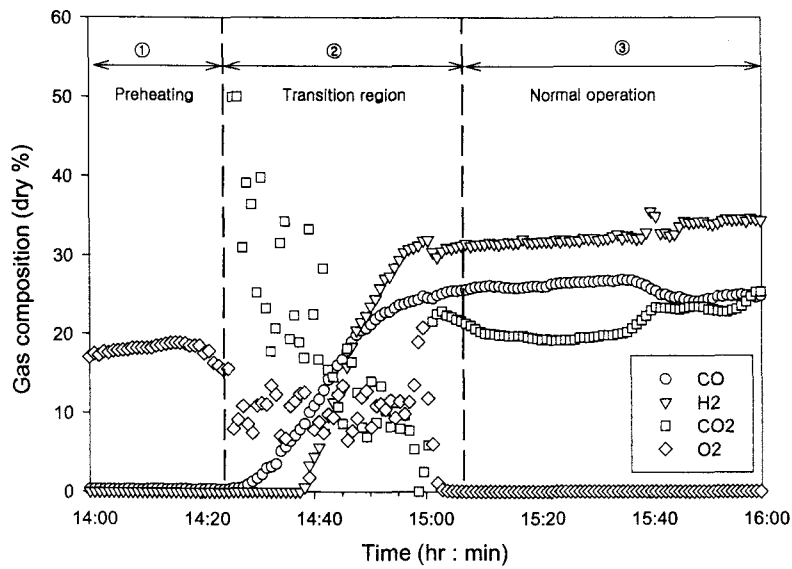
운전 제어 화면



합성가스 조성 및 가스화 용융로 온도



Start up procedure



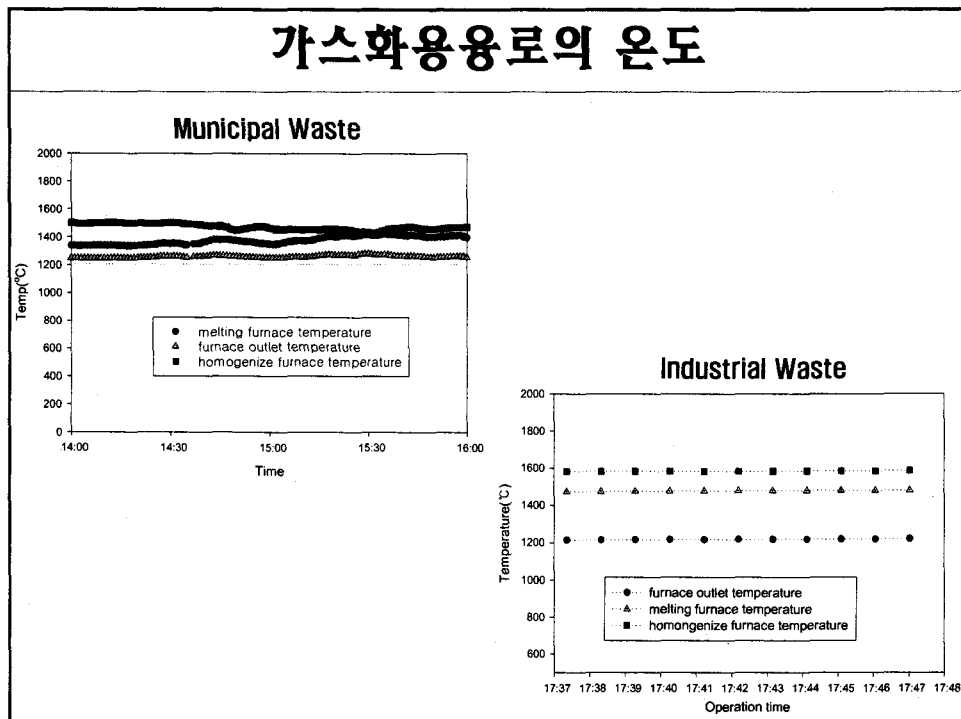
폐기물 특성

		S city	Y city	K city	B city
Proximate analysis (%)	Moisture	15.9	55.8	50.35	45.98
	Volatile	-	31.3	39.27	41.06
	Fixed carbon	-	6.0	4.90	4.77
	Ash	-	6.9	5.47	8.19
Ultimate analysis (dry, %)	C	49.7	34.5	46.17	37.22
	H	6.5	4.3	6.09	4.46
	O	36.0	44.2	36.06	42.11
	N	0.12	1.2	0.59	0.96
	S	0.21	0.2	0.06	0.08
	Ash	6.49	15.5	11.02	15.17
Low heating value (Kcal/kg)		3301	1619	2229	2685

가스화 용융로 운전 결과

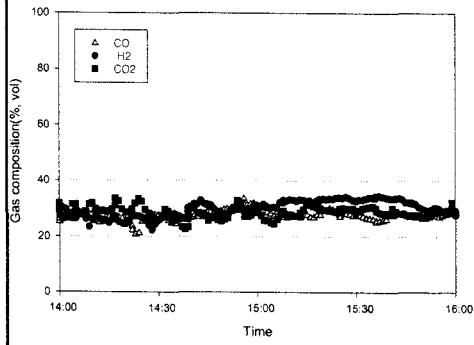
		S city	Y city	K city	B city
Feeding rate (T/D)		2.5 ~ 3.5	3.0 ~ 3.5	3.0 ~ 4.8	3.0 ~ 4.0
Oxygen feeding rate (kg/Ton-waste)		800 ~ 900			
Exit temperature of HTR(°C)		1200 ~ 1230	1200 ~ 1250	1200 ~ 1250	1200 ~ 1300
Homogenizer temperature(°C)		1500 ~ 1540	1500 ~ 1560	1550 ~ 1600	1550 ~ 1600
Synthesis gas composition (dry %)	CO	20 ~ 35	25 ~ 35	27 ~ 40	24 ~ 27
	H ₂	18 ~ 35	20 ~ 35	36 ~ 40	30 ~ 36
	CO ₂	20 ~ 45	28 ~ 40	24 ~ 30	20 ~ 27
	O ₂	~ 0	~ 0	~ 0	~ 0
Synthesis gas flow rate (Nm ³ /kg-waste)		1.25 ~ 1.30	0.95 ~ 1.51	1.44 ~ 1.65	1.76 ~ 1.92
Synthesis gas HHV (Kcal/Nm ³)		1153 ~ 2125	1365 ~ 2125	1914 ~ 2428	1671 ~ 1914

가스화용융로의 온도

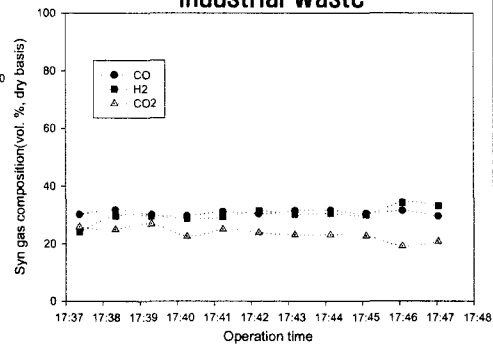


가스화 용융로의 합성가스 조성

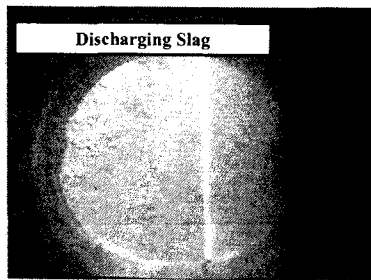
Municipal Waste



Industrial Waste



폐기물 용융 슬래к



Slag in Cooling Water Hopper

