

Thermoselect 열분해용융시설의 기술적 특성 및 오염물질 저감효과

대우건설 차장 이 협 희

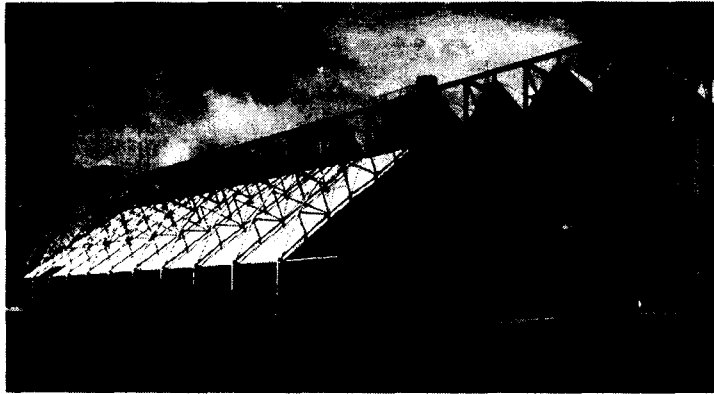
요 약

폐기물처리에 있어 기존 스토카 방식으로는 다이옥신 문제에 대한 근본적 해결과 발생된 소각잔재물의 처리가 곤란하다. 아울러 비산재 적정처리에 따른 운영비 부담이 증가와 매립시 잔재물중에 함유된 다이옥신등 유해물질의 미처리에 따른 매립지의 2차 오염을 유발시키고 있다. 인터넷등의 보급 확대에 따른 선진국의 환경규제내용을 실시간으로 확인할 수 있고 생활수준의 향상에 따른 Clean 환경에 대한 욕구가 증대되고 있으며 환경호르몬 등의 유해물질에 대한 주민 피해의식 및 환경에 대한 주민의 요구수준이 증대되고 있는 실정이다.

국제적으로 유해물질에 대한 총량 규제 움직임이 강화되고 있고, 오염 후 복원에 따른 사회/경제적 비용의 천문학적인 증가로 인한 오염물질 배출량 최적 공정(Zero Emission)이 오히려 경제적이란 인식이 확산되고 있다. 열분해 용융기술은 환경분야의 궁극적 목표인 4E(Ecology, Economy, Energy, Endless Recycling)를 가장 완벽하게 구현할 수 있는 처리 설비로서 다이옥신과 같은 유해물질의 배출총량이 기존 소각시설보다 비교도 안될 정도로 가장 친환경적이며(Ecology), 설치면적이 작고 공사기간이 짧아 경제적이며(Economy), 폐기물을 청정연료로 만들어 에너지원으로 활용하며(Energy), 폐기물 중에 함유된 금속물질 및 아연과 같은 거의 모든 유가물질을 회수하여 재활용품(Endless Recycling)으로 사용할 수 있게 되는 설비이다.

Thermoselect 열분해·용융설비는 기존의 소각방식에 있어서 폐기물의 감량화 및 위생적 처리라고 하는 단순하고도 고전적 개념을 탈피한, 폐기물도 훌륭한 자원이라고 하는 신개념을 도입한 최첨단 기술이다.

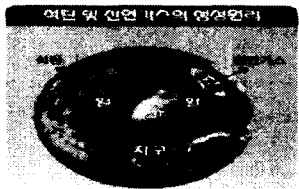
Thermoselect 열분해응용시설의 기술특성 및 오염물질 저감효과



Thermoselect 기술 개요

기술 원리

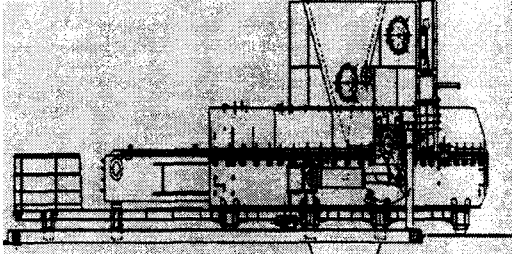
석탄과 천연가스는 지진 등 지각변동으로
 틈·식물이 땅속에 매몰되어 광기압 지구내의
 마그마로부터 열을 받고 상부의 흙에 의한 압
 력을 받아서 생성됨.
 Thermoselect는 이러한 자연현상을 응용한 기
 술로 폐기물을 자원화하는 첨단 기술임.



· 조건: 부산소 분취기, 간질가열, 압력

기술 개요

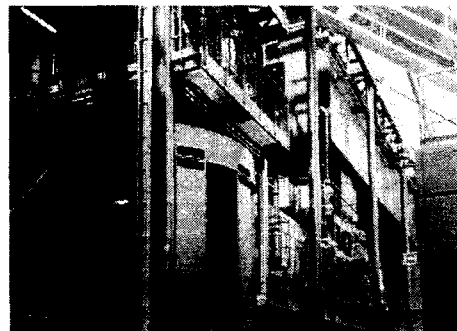
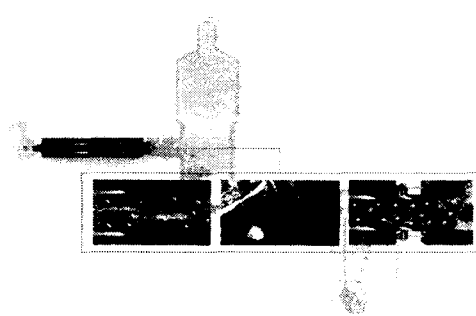
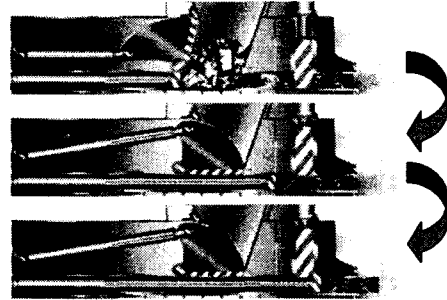
- | | | |
|----------------|--|---|
| 폐기물
처리 | | <ul style="list-style-type: none"> · 내부공기 제거로 열전달 효과 증대 · 폐기를 밀도 증대 · 압축에 따른 폐기물의 균질화 |
| 가스
처리 | | <ul style="list-style-type: none"> · 수분 증발 · 유기물의 건류화 · 가스화물용도의 열전달 효과에 의한 폐기물의 한화 |
| 가스
정제 | | <ul style="list-style-type: none"> · 순수 산소 및 수증기와 반응 합성가스 생성 (1200℃) · 무기성분의 용출 (2000℃) → 자원 재활용 · 다이옥신의 열분해 |
| 합성
가스
처리 | | <ul style="list-style-type: none"> · 압력에 따른 다이옥신 제한성 방지 (1200℃ → 70℃) · 합성가스 정제를 위한 최적 조건 부여 |
| 합성
가스
정제 | | <ul style="list-style-type: none"> · 합성가스의 연료화 · 고질수 재함출 및 용화를 재생 (자원 재활용) · 대기오염 물질 배출 최소화 |



◆ 쓰레기 압축기 (Press)

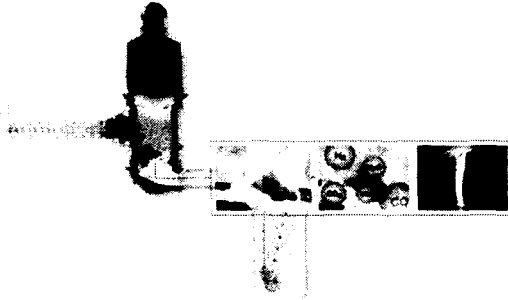
- 가스화 용융을 위한 전처리설비
- 공기의 제거 (무산소 분위기)
- 폐기물 성분의 분쇄
- 부피의 감소 (처음부피의 1/5~1/10)
- 수분의 분산 및 제거
- 열전도율의 증가
- SEALING 효과

∞ 작 동 압 : 1000 Ton
 ∞ 재 질 : GR360
 ∞ 내 구 년 한 : 20 년 이상



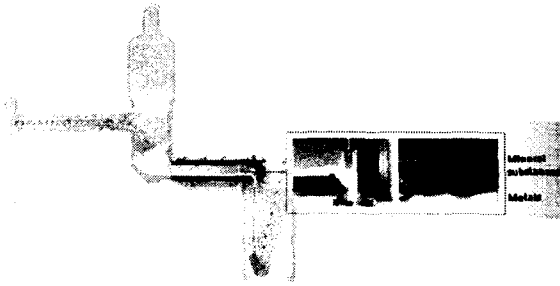
◆ 탈가스화 설비(Degassing Channel)

- 탈가스화로는 고생대 동·식물들이 퇴적되어 무산소 상태에서 지열과 압축으로 석탄/석유/천연가스가 생성되는 원리를 산업에 응용한 최초의 설비.
- 탈가스화 내부를 무산소 상태에서 폐기물을 간접 가열하여 액상폐기물 및 휘발성이 강한 물질은 먼저 증발하고 고분자 유기화합물을 열적 분해하여 탄소 및 가스상의 물질로 분해하는 설비.
- 탈가스화로는 폐기물이 탈가스화될 수 있는 충분한 체류시간(1.5 ~ 2hr)을 가질 수 있는 구조임.



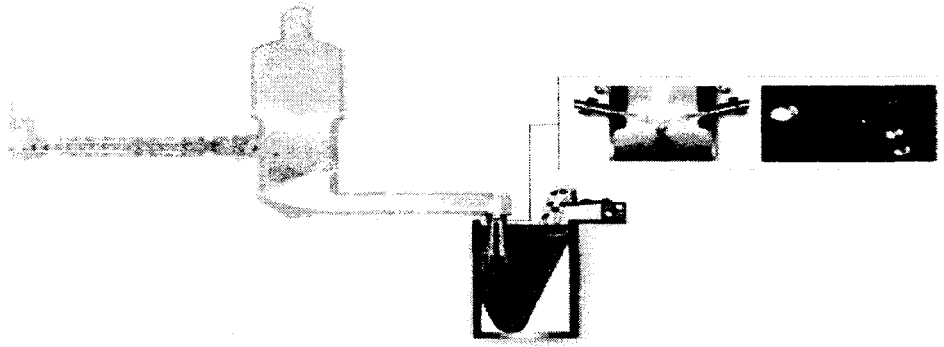
◆ 가스화 용융로(Gasification & Smelting Reactor)

- 내압성 금속재질로 기밀플랜지와 연결되어 있으며 수냉재킷으로 냉각을 실시 과열을 방지하고 이슬점부 식 발생을 억제한다. 냉각시스템은 고온반응로 외벽을 감싼 수냉자켓으로 냉각을 하고 용융부분에는 내부 냉각시스템이 추가로 설치된 이중 자켓식의 구조.
- 가스화용융로는 가스버너들이 설치되어 용융지역에는 2000℃이상의 온도로 올려주고, 상부에는 1200℃ 온도로 올려준다.
- 유기성분은 약 4초동안 1200℃에서 합성가스(CO, H₂, CO₂, H₂O)로 변환되고, 무기물 성분은 5분 이상 체류하면 2,000℃에서 용융되어 Gradule 과 금속으로 재활용됨.



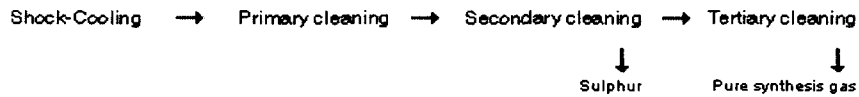
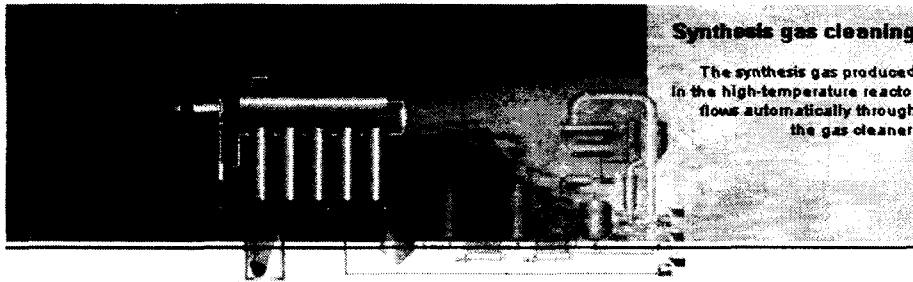
◆ 균질화로 (Homogenization Reactor)

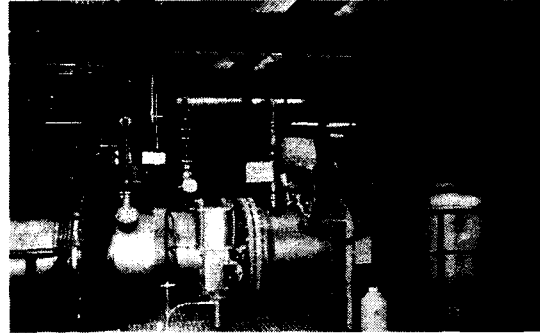
- 균질화로는 무기물과 금속들의 비중차에 의해 균질화될 수 있게 5분 이상의 체류시간을 가지는 원형의 통로로 되어 있음.
- 용융물이 냉각되지 않도록 온도감지기와 모니터링 시스템을 이용 감지후 LPG가스버너에 의해 내부온도(1600℃)를 유지시켜주며 버너와 TV 카메라에는 수냉각 시스템을 갖추어 냉각.
- 균질화로의 용융물배출구에 용융물질이 막히는 것을 방지하기 위하여 자동으로 유압식 피스톤을 부착하여 용융물의 원활한 흐름 유도.



◆ Granulating Basin

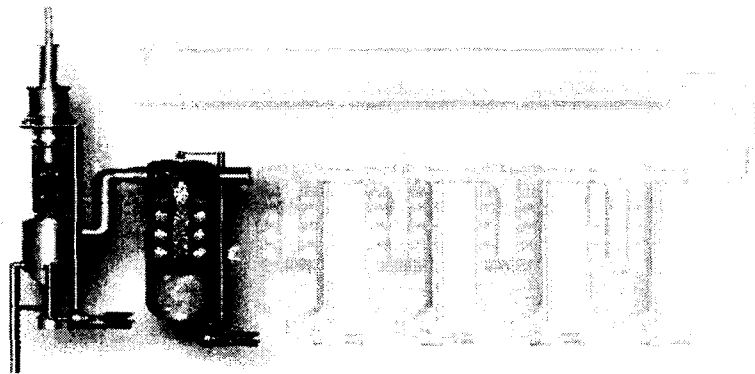
- 용융물 냉각수조에 저장된 물을 순환펌프로 급수 후 스프레이 노즐(2개소)로 낙하되는 용융물에 직접 분사 급속 냉각으로 그래놀화시킨 후 수조로 낙하, 재차 냉각 되면서 수집.
- 냉각 스프레이는 항상 60℃를 유지하기위해 순환펌프와 열교환기로 냉각.
- 입자상 광물질은 버킷콘베이어에서 곧바로 저장콘베이어로 이송된 후 각각의 Container는 지게차등으로 차량에 적재 재활용.





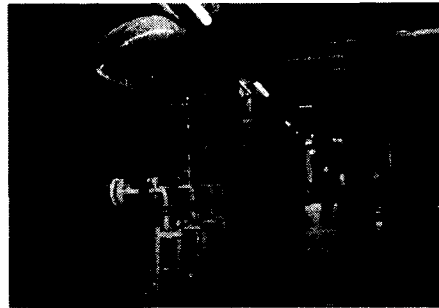
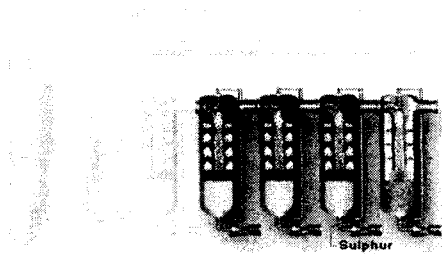
◆ 급속 냉각탑 (Quenching Reactor)

- 1200℃로 가스화용융로에서 배출된 합성가스는 급냉실에서 70℃미만으로 급냉 시킨다. 합성가스의 급냉은 다이옥신 및 퓨란, 그리고 다른 유해한 물질의 재합성을 방지.
- 급냉수가 냉각 및 정화되어 가스 급냉수로 재이용된다. 급냉수는 방사상으로 배출된 노출로 분사되도록 설치한다. 급냉수 촉박에 되적되는 물질을 제거장치를 사용하여 단속적으로 제거.



◆ 알카리 및 글리세린 세정

- 급냉된 합성가스는 가성소다용액으로 산가스를 중화시키고, 글리세린 용액으로 미세 먼지(검댕이) 제거



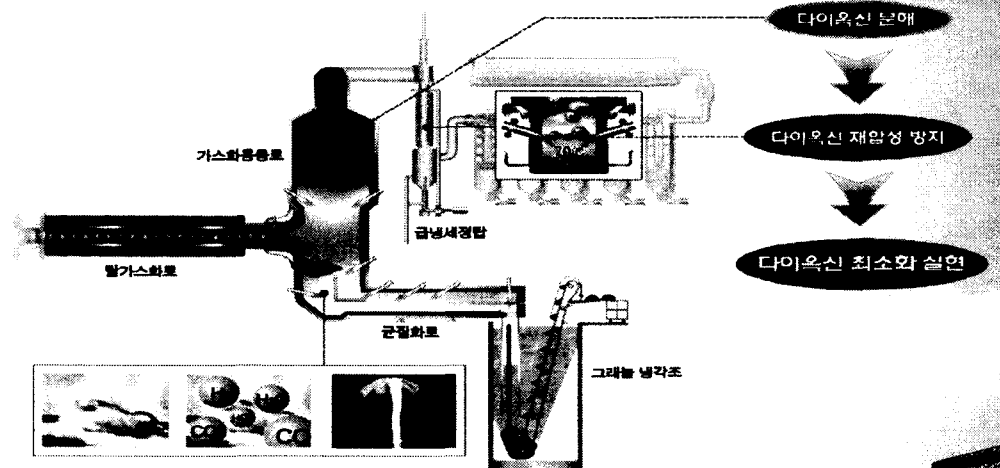
◆ 탈황 (Desulfurization)

· 탈황공정에서는 합성가스중의 황화수소(H₂S)를 흡수하여 황으로 재생시킨다. 합성가스의 흐름에 연속적으로 Sulferox 용액을 분사시킨다. Sulferox의 3가철은 황화수소를 산화시켜 2가철로 환원된다. 이 반응에서 황, 수소, 그리고 열이 생성되며 증가된 열은 열교환기를 거쳐 방출된다. Sulferox 용액속에 함유된 황성분은 Sulferox 재생 단계에서 황이 분리.

◆ 가스 건조 (Gas Drying)

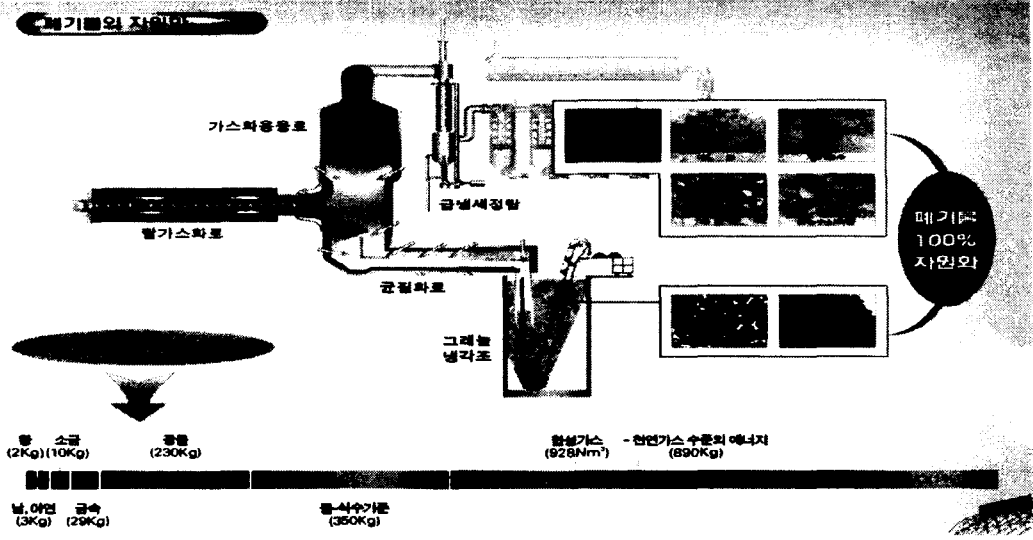
· 냉각된 합성가스는 미세물방울이 분리되어 통과되고 잔류수분의 응축 가능성이 없도록 열교환기 내에서 45℃로 가열.

TS 다이옥신 저감 공정



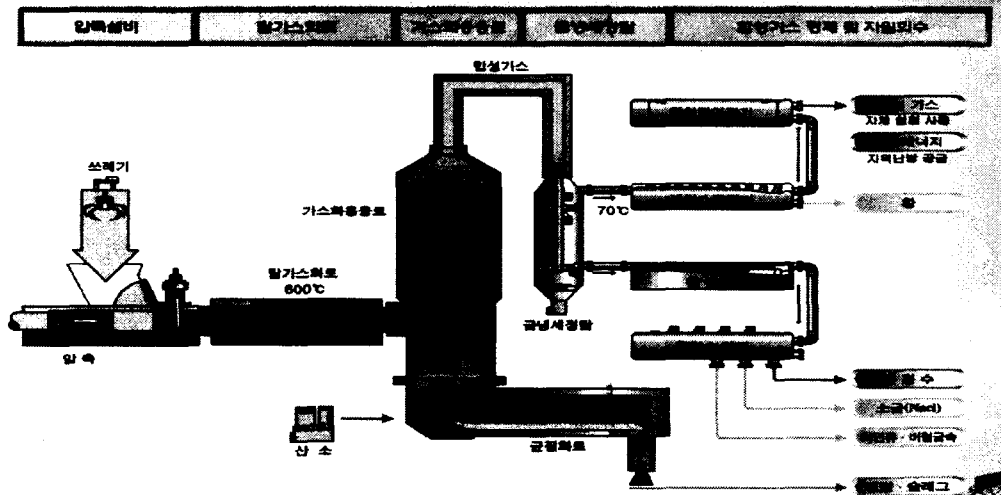
TS 열분해 응용시설

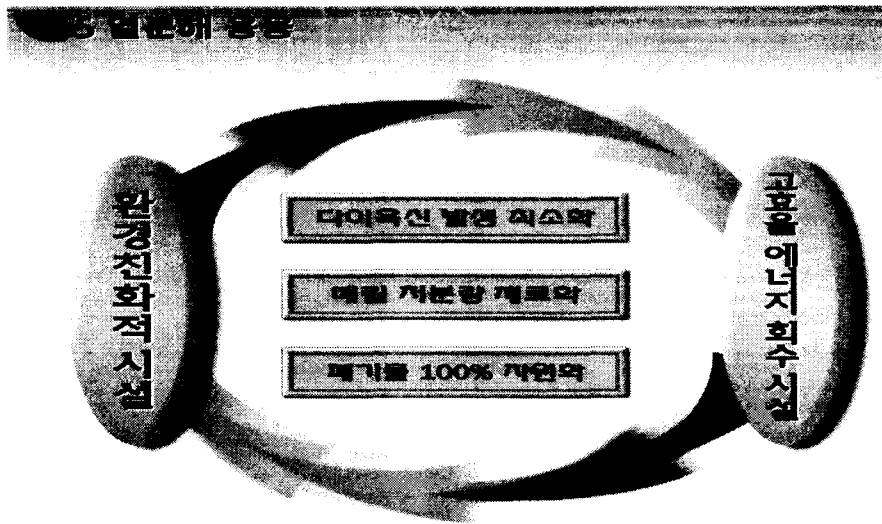
폐기물의 자원화



TS 열분해 응용시설

TS 열분해 순공정





Fontodoce Plant/Italy

공 사 규 모	100톤/일 x 1기
위 치	이태리 폰토도체
공 사 기 간	1991. 9 ~ 1992. 3

주요 공정	폐기물 압축기 → 탈가스 찬벌 → 가스화용융로 → 균질화로 → 용융 Slag(재활용) ↓ 급속 냉각탑 → 합성가스 정제설비 → 연소후 대기방출	
진행 현황	· 1992. 3 ~ 1992. 6	⇒ · 단위기기별 시운전 실시 및 운전 허가 득
	· 1992. 10	⇒ · 정격용량(4.2톤/시간)하에서의 종합 운전 실시
	· 1993. 1 ~ 1994. 4	⇒ · 공인기관 검증 실시(독일/이태리/스위스)
	· 1994. 6 ~ 1994. 9	⇒ · 폐기물 발열량별 종합 Test 실시
	· 1995. 1 ~	⇒ · 상업 운전 실시
주요 검사 기관	· RWTUV, Germany · Institute for Environmental Protection, Germany · Chemistry and Biotechnology of Essen, Germany · Steiger Environmental Technology AG, Switzerland	

3. 주요 실적 평가

1) 폐기물 발열량별 용융로 성능 시험 결과 (94. 6 ~ 94. 9 월 운전)

(톤/시간)			
5			
4			
3.8			
3			
2.8			
2			
1			
기간	94. 6 ~ 7월	94. 9월	94. 9월
발열량(평균)	12.5MJ/kg(2,980kcal/kg)	10.8MJ/kg(2,580kcal/kg)	8.5MJ/kg(2,030kcal/kg)
비고	<ul style="list-style-type: none"> 고발열량 폐기물 투입에 따른 합성가스 발생량 증가. 용융로의 성능에는 문제가 없으나 합성가스 연소처리를 위한 연소실 능력 제한으로 저부하 운전 실시. (정격의 67%) 	<ul style="list-style-type: none"> 발열량 일부가 저하되었음에도 불구하고 합성가스 발생량 증가 용융로의 성능에는 문제가 없으나 연소실 능력 제한으로 저부하 운전 실시. (정격의 90%) 	<ul style="list-style-type: none"> 발열량 강제 조정후 정격 및 과부하 운전 실시 (정격의 119%)

2) 합성가스 성분 측정치(93. 3 ~ 94. 9월)

성분	93. 3월	93. 5월	94. 6 ~ 7월	94. 9월
CO	> 34	39.0	38.0	35.0
H ₂	32.0	35.7	34.0	35.0
CO ₂	25.0	22.5	23.0	27.0
N ₂	3.0	2.8	3.7	2.8
CH ₄	N. D	< 0.006	< 0.1	< 0.1
C _n H _m	N. D	0.013	< 0.1	< 0.1

3) 대기오염물질 배출량 측정치

오염물질	단위	USEPA 기준	배출량	비고
HCl	ppm	25.0	0.5	
SO ₂	ppm	30.0	2.0	
NO _x	ppm	180.0	< 80.0	
CO	ppm	100.0	30.0	
Dust	mg/Nm ³	15.0	9.0	
Hg	ppm	0.08	0.03	
Pb	ppm	0.1	0.01	
Dioxin	ng-TEQ/Nm ³	0.20	0.02	

* USEPA : 94. 9. 20일 등록 내용 기준

Karlsruhe Plant/Germany

공사 규모	240톤/일 x 3기
위 치	독일 Karlsruhe 시
공사 기간	1996. 10 ~ 1999. 2

주요 공정	폐기물 압축기 → 탈가스 찬벌 → 가스화용융로 → 균질화로 → 용융 Slag(재활용) ↓ 급속 냉각탑 → 합성가스 정제설비 → 전력생산(전력회사 공급)	
진행 현황	· 1995.	→ · Thermoselect Process 제안서 제출 (칼스루헤시)
	· 1996. 10	→ · 칼스루헤시로 부터 인가 득
	· 1997. 3 ~ 1999. 2	→ · 공사 준공
	· 1999. 3 ~ 1999. 6	→ · 시운전 실시
	· 1999. 10 ~ 1999. 11	→ · Flare stack(비상용) 후단 황산화물 배출치 TS 제시값 초과 확인 - Open type의 황산화물 제거설비 설치(임시용)
	· 2000. 3 ~ 2000. 6	→ · 성능시험실시(TUV사)
	· 2000. 10 ~ 2001. 1	→ · Flare stack(비상용) 후단에 Close type의 황산화물 제거설비설치(영구용)
	· 2001. 1 ~	→ · 재가동



항목	단위	독일 법령 기준	TS 제시치	운전 결과
Dust	mg/N ^m	10	3	0.6
SO _x	ppm	50	10	0.3
NO _x	ppm	200	70	21
CO	ppm	50	10	3.5
HCl	ppm	10	2	0.2
중금속	ppm	0.5	0.03	0.013
HF	ppm	1	0.2	0.002
Hg	ppm	0.03	0.01	0.002
T. Carbon	ppm	10	2	0.75
Cd, Ti	ppm	0.05	0.01	0.001
Dioxin	ng-TEQ/N ^m	0.1	0.01	0.006



Kawasaki Plant/Japan

공사 규모	150톤/일 x 2기
위 치	일본 Chiba현 Kawasaki 제철소 내
공사 기간	1998. 6 ~ 1999. 8

검증 기관	사단법인 전국도시청소회의
검증 신청자	Kawasaki 제철 주식회사
검증 기간	1999. 9 ~ 2000. 3(6개월)
검증 대상 폐기물	생활계 폐기물(산업폐기물 허가 득 : 2000년 4월부터 산업폐기물 처리 개시)
검증 대장 등록번호	분류 RT제 001호
검증·확인 등록일	2000년 3월 31일



검증 항목	검증 결과			비고
· 처리가능 쓰레기질 범위	· 6.4 ~ 12.5MJ/kg (1,530 ~ 2,980 kcal/kg)			· 첨부 1. 시험 기간중 쓰레기 분석표 참조
· 연속 운전	· 30일 연속 정격운전 실시(평균 처리량 138톤/일, 부하율 92%) · 93일 연속 운전 실시(부하율 80%)			
· 경제 합성가스 생산	항 목	단 위	측정치	
	· 일산화탄소 (CO)	%	32.5	
	· 수소 (H ₂)	%	30.7	
	· 이산화탄소 (CO ₂)	%	33.8	
	· 질소 (N ₂)	%	2.3	
· 발 열 량	kcal/Nm ³		1,824	
· 오염물질 배출량	항 목	단 위	측정치	· 다이옥신류에는 PCBs도 포함
	· Dust	mg/Nm ³	6.9	
	· 염화수소 (HCl)	mg/Nm ³	5.3	
	· 황화수소 (H ₂ S)	ppm	3.4	
	· 다이옥신류	ng-TEQ/Nm ³	0.00039	



첨부 1. 시험 기간중 쓰레기 분석표
(연속 시험 기간)

구분	단위	최소	최대	평균	2001년 서울시 평균쓰레기 성분			
					저질(L)	기준(M)	양질(H)	
상 상 분	수분	% wt	37.8	54.4	47.8	49.51	44.51	39.06
	회분	% wt	4.6	9.2	7.2	12.47	13.55	15.37
	가연분	% wt	38.6	53.0	45.0	38.02	41.94	45.57
저위 발열량		kcal/kg	1,530	2,290	1,921	1,900	2,200	2,500
원 소 성	탄소(C)	%	41.4	47.7	44.0	21.62	25.64	29.47
	수소(H)	%	5.9	7.3	6.5	2.82	3.42	4.14
	질소(N)	%	0.63	1.34	0.82	0.44	0.41	0.43
	산소(O)	%	32.46	36.64	34.50	12.59	11.91	10.96
	유황(S)	%	0.06	0.34	0.08	0.22	0.26	0.27
	염소(Cl)	%	0.25	0.52	0.37	0.33	0.30	0.30

Thermoselect 열분해 시설

- Amman(아만)**
 - 300 Ton/day × 12기
 - 2001년 완공 예정
- Changwon(창원)**
 - 250 Ton/day × 27기
 - 2002년 완공 예정
- Yongin(영인)**
 - 350 Ton/day × 27기
 - 토착 공사 중
- Hanjin(한진)**
 - 300 Ton/day × 27기
 - 설계 중
- Yongin(영인)**
 - 150 Ton/day × 22기
 - 설계 중

• 100 Ton/day × 17기
 • '91.03 - '99.12

• 240 Ton/day × 37기
 • '99.08 - 현재 가동중

• 150 Ton/day × 27기
 • '99.09 - 현재 가동중

