

## 도시 고형폐기물의 열분해용융 특성

폐기물 처리기술의 세계적 동향을 살펴보고 폐기물의 완전 자원화에 성공한 대우 써모셀렉트 열분해용융 기술의 특성에 대해 소개하고자 한다.

이 협 회

(주)대우건설 플랜트사업본부 (jmhappy@mail.dwconst.co.kr)

현재 우리나라는 1980년대 후반부터 도시폐기물 소각시설을 설치하기 시작하여 전국적으로 20 여 곳의 대형 소각장이 가동되고 있으며 대기오염 방지 기술도 발전에 발전을 거듭하여 불과 10 여년 동안에 선진국 수준의 대기오염 배출기준을 만족하는데 아무 문제가 없을 정도로 되었다. 그러나 소각후 발생하는 소각재의 경우 비산재는 고형화 등의 처리 후 매립하고 바닥재는 별도 처리없이 매립하는 실정이라서 매립 후 시간이 흐를수록 매립된 소각재에서 용출되는 다이옥신과 소각재 중에 포함된 중금속 등에 의한 토양오염과 수질오염의 우려가 남아 있는 것이 사실이다. 소각후 남는 소각재는 폐기물량의 약 15%, 비산재는 약 1.5% 정도 발생하는 것으로 볼 때 매립은, 특히 다음 세대에 유산으로 남겨진다는 점에서 더 이상 적절하지 않은 해결책으로 생각되며 유럽과 일본 등 선진국에서는 이미 이와 같은 소각재에 대한 무해화 처리기술이 개발되고 속속 상용화되고 있으므로 우리나라도 하루빨리 열분해용융시설등 신기술을 개발하거나 도입하여 세계적 환경 기술경쟁에서 선진국과 어깨를 나란히 함은 물론 청정한 국토를 후손에게 물려줄 수 있도록 하는 대책이 강구되어야 할 것이다. 본 고에서는 폐기물 처리기술의 세계적 동향을 살펴보고 폐기물의 완전 자원화에 성공한 대우 써모셀렉트 열분해용융 기술의 특성에 대해 소개하고자 한다.

### 열분해용융시설의 특징과 세계의 소각기술 동향

열분해용융 기술은 첫째, 배가스에 포함되어 배출되는 다이옥신 농도를 기존 소각시설 보다 1/10 ~ 1/100 이하로 낮출 수 있고 소각재가 용융상태로 배출되기 때문에 소각재에서의 다이옥신 걱정이 없으며 무산소 상태 또는 저산소 상태를 유지하기 때문에 배가스량이 작아 총량적인 오염물질 배출량을 획기적으로 줄일 수 있는 등 공해방지 효과가 뛰어나고 둘째, 쓰레기가 보유하고 있는 에너지를 극대화하여 이용하기 때문에 소각재 용융을 위한 외부에너지 공급이 필요없고 고효율의 발전이 가능하며 배가스량이 적어 소내전력부하 등을 줄일 수 있는 등 에너지의 이용을 극대화할 수 있으며 셋째, 기존 방식의 소각로에 재용융로를 설치하는 시스템에 비해 설비를 소형화 할 수 있어 건설비와 운영비를 절감할 수 있으므로 경제적이며 넷째, 처리 잔재물이 전량 재활용 가능하고 안정, 안전, 무해한 슬래그 형태로 배출되어 매립지가 필요 없으므로 환경부하를 거의 발생시키지 않는다는 장점 때문에 전세계적으로 선진각국에서 개발 및 적용에 박차를 가해왔다.

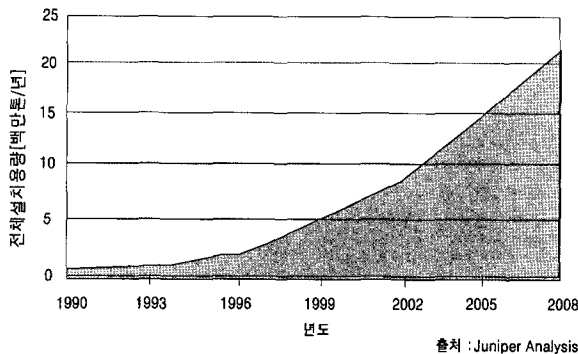
그 결과 독일 등 유럽을 중심으로 소각재의 처리와 폐기물의 자원화 문제를 해결할 수 있는 열분해 용융 기술이 Thermostelect, Von Roll, PKA, Noell 사 등에 의해 상용화되었다.

전 세계적인 시장 전망도 그림 1에서 보는 것처럼 급속히 열분해 용융시설로 전환될 것으로 예상된다. 또한 일본에서는 표 1에서 보는바와 같이 더욱 많은 20여개 업체들이 열분해 용융기술 개발에 성공하여 2000년 발주 건수 기준으로 스토커 방식보다 많은 수주실적을 기록하여 기술의 대전환이 일어났음을 보여주고 있다.

### 대우-Thermoselect 열분해용융기술 공정

#### 개요

폐기물 처리기술은 국제적으로 다양한 연구개발이 추진되고 있으나 본 처리기술은 스위스의 Thermoselect 사에 의해 최초로 개발되어 1992년 이후 이태리 Fondotoce에서 100 t/d의 설비로 상용화에 성공하였고, 현재 독일 Karlsruhe에 720 t/d(240 t/d × 3기)



<그림 1> 전세계 열분해용융시설 용량 전망치

<표 1> 일본의 쓰레기 소각로 기종별 수주 내역

기종	년도	건수	처리량 (Ton/D)ay	수주총액 (천엔)	평균 단가 (천엔/Ton)
스토커방식	1998	13	3,627	162,132,000	44,701
	1999	18	4,884	238,685,405	48,870
	2000	23	5,006	236,215,400	47,186
유동층방식	1998	2	215	13,960,000	64,930
	1999	2	450	27,120,000	60,266
	2000	5	1,076	41,081,199	38,179
열분해용융 방식	1998	3	900	42,180,000	46,866
	1999	9	1,888	87,590,935	46,393
	2000	31	4,453.50	225,670,572	50,672

출처 : 環境施設 No. 84. 2001

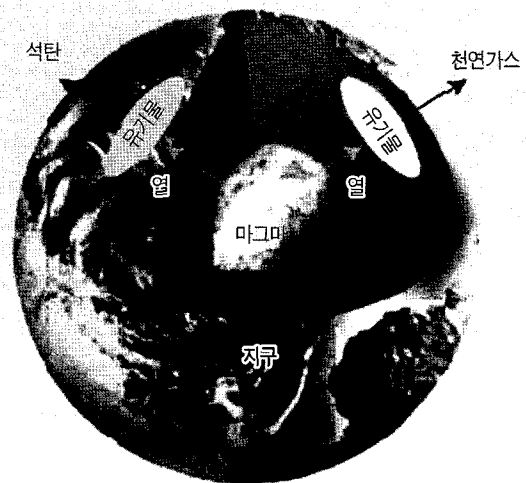
와 일본 치바에 300 t/d(150 t × 2기)이 가동되고 있으며, 전세계의 10여 곳에서 건설중에 있는 설비로서 그림 2에서 보는 것처럼 천연가스의 생성원리를 폐기물 처리에 응용한 기술이다.

이 시스템의 주공정은 압축, 열분해, 가스화, 용융의 4단계로 구성된다.

즉 폐기물을 고압으로 압축한 후 무산소 상태의 탄화물에 압입, 가스화 용융로 내부 열에 의한 방식으로 탈가스화시켜, 이 가스를 고온 열분해하여 합성가스(도시가스의 성분과 유사)로 회수되며, 이 가스는 발전용 열원 또는 자체 에너지로 재사용하고, 이 과정에서 생성된 탄화물과 무기물들은 가스화용융로(HTR) 하부에서 1600 ℃ 이상으로 용융처리하여 무해화, 안정화한 뒤 도로포장용 및 콘크리트용골재 등으로 재활용할 수 있는 기술이다.

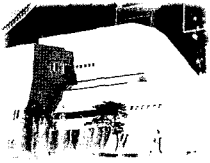
합성가스는 1200 ℃의 고온에서 반응함으로써 다이옥신을 비롯한 각종 유해가스를 완전 분해하고 70 ℃ 이하로 급속냉각시켜 다이옥신의 재합성을 방지할 수 있도록 설계되었다.

주요공정은 그림 3과 같으며 압축 - 탈가스화 및 열분해 - 가스화 및 용융 - 급냉 세정 - 합성가스



· 조건 : 무산소 분위기, 간접가열, 압력

<그림 2> 석탄 및 천연가스의 생성원리



정제 및 자원회수 공정으로 구성된다.

**공정 설명**

• 압축

도시 폐기물, 산업 폐기물 및 기타 여러 종류의 폐기물들은 전처리 과정없이 유압 프레스에 의해 본래 부피의 1/5 ~ 1/10로 압축된 뒤 간접 가열되는 탄화로 (약 600 °C)로 투입된다. 고압프레스에 의하여 폐기물은 압축, 밀착되어져 내부공기의 함량은 줄어들고, 열전도율이 높아져 효율적인 열전달 효과를 얻게 된다. 압축하는 동안 수분은 폐기물 안에서 균질하게 분포되고, 입자가 큰 물질들은 파쇄된다.

압축기는 내구성을 갖춘 재질로 되어 있으며 냉각 장치에 의해 항상 일정한 온도를 유지하고 탄화로로부터의 열방출을 차단한다. 기계적 잠금장치(유압 압축장치)와 탄화로 단면은 압축된 폐기물이 뒤로 미끄러져 나오는 것을 막아줄 수 있도록 원추형으로 넓어진 모양이다.

• 탈가스화 - 가스화 - 용융

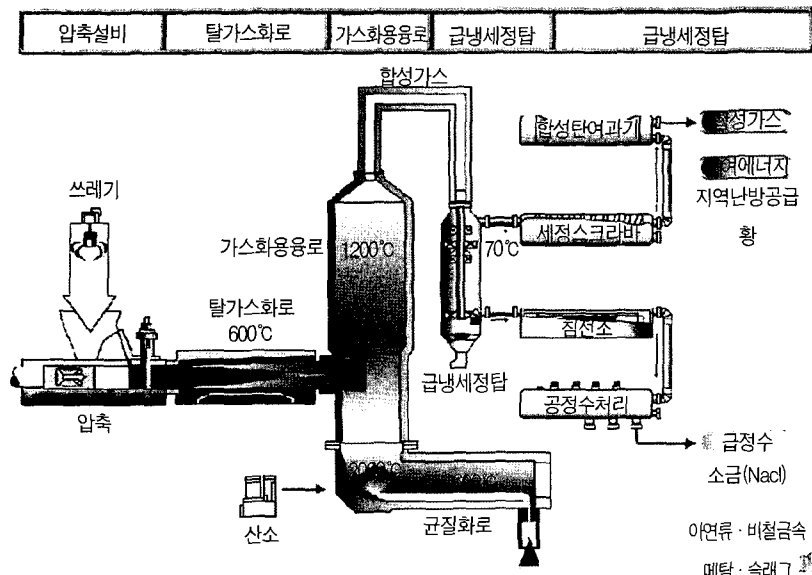
그림 4에서 보는 것처럼 압입된 폐기물은 무산소 상

태에서 600 °C로 유지되는 탄화로에서 수분은 증발되고 폐기물안에 있는 유기물은 부분적으로 건류화되며 온도가 상승됨에 따라 탄화된다. 이 상태에서 폐기물은 1.5 ~ 2시간 동안 체류하며 가스화용융로(HTR)로 넘어간다. 탄화로의 내벽에는 탄화물층이 형성되어 부식을 방지하며 폐기물을 부드럽게 빠져나가게 한다. 탄화로는 폐기물과 생성된 부산물로 가득 찬 밀폐구조이나 0.3 bar의 상압 운전을 하기 때문에 구조적으로 안정하다.

탈가스화 공정에서 생산되는 Char는 탄화로와 직접 연결된 가스화용융로(HTR)하부로 떨어지게 되며. 탄화물과 가스화용융로(HTR) 연결부위는 가스화용융로(HTR)에서 생성되는 가스의 대류 및 복사작용으로 온도가 약 800 °C 정도가 된다. 탄화로의 재질은 열처리된 내열강(13CrMo4.4)이며 표면에 온도 조절용 냉각장치가 설치되어있다.

가스화용융로(HTR)상부에서는 가스화된 유기물이 순수산소 및 수증기와 반응하여 합성가스(1200 °C 이상)가 생성되고, 로하부에서는 무기물을 용융시켜 Slag 형태(1600 °C 이상)로 회수하여 재활용하는 것이 Daewoo - Thermoselect 열분해 용융의 핵심기술이다.

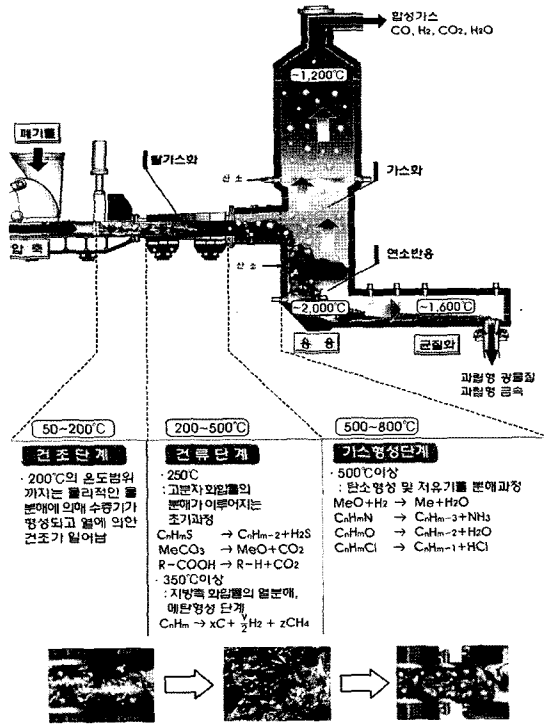
가스화용융로(HTR)내의 내화물은 수냉자켓이 설치되어 있어 효과적으로 냉각되며 재질은 고알루미늄과 같은 물질을 사용하여 안정되고 내구성이 있다. 그리고 가스화용융로(HTR)하부는 모듈화되어 있어 바닥전체를 교체하는데 약 3일 정도 소요되므로 정비, 보수가 용이하여 실제가동율이 높게 나타난다. 균질화로는 가스화용융로(HTR)와 직접 연결되어 있으며 생성된 합성가스를 이용 1600 °C 이상 유지하여 용융물질내의 잔류탄소를 제거시키고 무기물인



[그림 3] 열분해가스화 용융 공정도

금속과 광물을 균질화 시킨다. 결정화된 광물은 천연광물과 같은 성질을 지니므로 도로포장용 골재, 콘크리트

용 골재 등 다양한 용도로 사용이 가능하다. 또한 금속은 자력선별후 철강산업에서 재사용 가능하다.



[그림 4] 탈가스채널에서의 화학반응

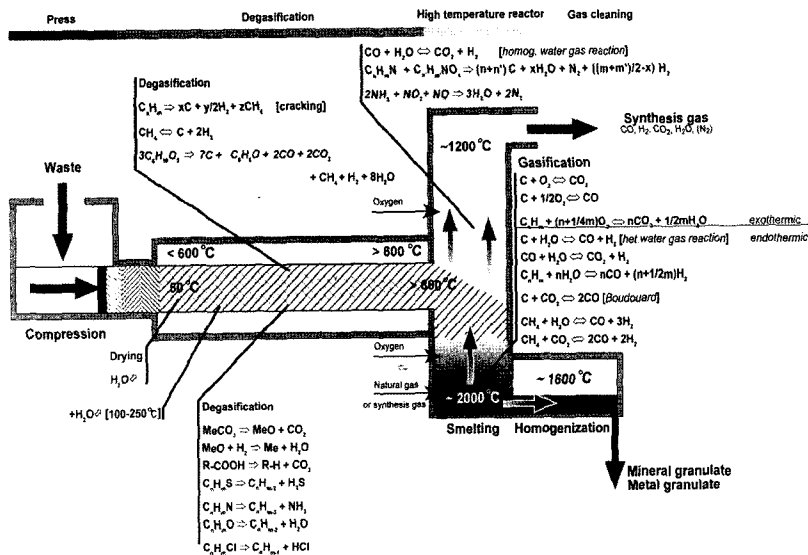
• 용융의 화학적, 물리적 조건

여러 성분으로 혼합되어진 폐기물에서, 재활용 가능한 물질과 에너지를 회수하기 위해서는 고온을 필요로 하는데, 이는 유기화합물을 완전히 파괴하고, 또 합성가스의 주성분인 수소 및 일산화탄소와 수증기와 같은 가장 작은 무기성 분자 뿐만 아니라 안정된 상태의 금속(무게 7 g/cm<sup>3</sup> 이상) 및 용융광물(무게 2.5 g/cm<sup>3</sup> 이상)로 만들어내기 위해서이다. 주 화학반응은 그림 5에서 보는 바와 같다.

유리화된 광물질들은 다양한 용도로 사용 가능하며, 천연 광물과 같은 성질을 지닌다. 금속 과립형태의 철합금은 철강산업에서 재사용하기 위하여 자석에 의해 분리된다.

시스템내에 있는 물질의 체류시간은 고형물질상태로 1 ~ 2시간, 가스 상태로는 2 ~ 4초, 용융상태로는 5분 이상인데 이것은 평형상태로 균질화 및 안정화가 되는 유효시간이다.

이 시간은 상당한 양의 휘발성 액체나 PVC성분 같은 단일 폐기물인 경우에도 또한 동일하다. 자연적으로 공정이 지연되어도 갑작스런 압력변화는 일어나지 않는다. 이것은 대우 - 써모셀렉트 공정의 또 다른 장점이다.



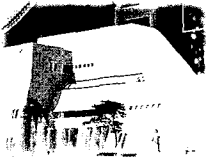
[그림 5] 공정에서의 주 화학반응

합성가스

• 가스 성분의 열역학적 계산과 실제 결과

이론적 합성가스의 조성에 대한 분석은 투입 폐기물의 원소 조성, 천연가스 소모량, 총 폐기물 투입량, 화학 평형식의 계산에 의한 가스상태의 합성가스 조성 등을 포함하여 컴퓨터 프로그램으로 계산된다.

컴퓨터 프로그램의 이론적 기초는  $\mu_{Vi} = 0$  라는 화학 평형

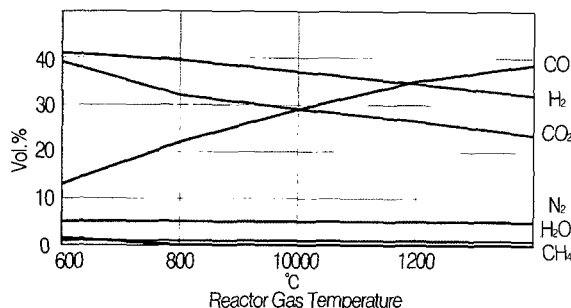


## 집중기획 환경친화적 플랜트

조건인데, 이때에는 온도와 압력이 일정하고, ( $dT=0$ ,  $dP=0$ )  $\mu_i$ 는 성분  $i$ 의 화학적인 위치에너지이고  $V_i$ 는 반응 방정식의  $i$ 성분의 상수이다. 방정식의 수는 고려되는 화학인자와 혼합물의 수에 의해서 결정된다. 예를 들어 Boudouard 반응이나 액화 가스 평형은 그 자체만으로는 부분적인 정보만을 제공할 뿐이며, 상세한 열역학 계산이 여전히 필요하다. 그림 6은 다른 여러 온도에서의 평형 상태를 계산한 결과이며 또한 일정량의 산소와 천연가스를 소비한다는 가정하에 정화된 합성 가스의 조성을 보여준다. 그림 6에서 보여주는 바와 같이 열역학적으로 평형상태에서는 온도가 낮아짐에 따라 수소와 이산화탄소의 양은 증가하고 일산화탄소의 양은 감소한다. 가스화용융로(HTR)의 출구에서 급속 냉각직전의 합성가스에서는 물의 양 또한 감소한다(그림에는 나타나 있지 않다).

정화되지 않은 합성가스와 정화된 합성가스에서 천연가스 성분은 800 °C 이하의 온도에서만 0.0001 %를 넘는다. 실제로는 0.1 % 이하가 측정되었다. 공기를 차단하여 열분해하는 공정과 비교할 때 본질적인 차이는, 전공정에 산소를 사용하여 가스화하는 과정을 추가한 결과이며 공정가스가 가스화용융로(HTR)의 상층부에서 적절한 체류시간을 가지며 고온에 노출될 수 있도록 하는 공정제어능력이다. 따라서, 더 고온의 천연가스(메탄:CH<sub>4</sub>)가 가스배출 온도 800 °C를 초과할 때 합성가스에 함유될 수 있다는 우려는 아무런 물질적 근거가 없다.

폐기물의 황과 질소 성분도 열역학 계산에 포함된다. HCN, COS, CS<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 성분의 계산된 부피는 고려되어진 온도 범위에서는 0.0001 %보다 훨씬작다. 이런 결



[그림 6] 온도에 따른 합성가스 조성비

과는 플랜트를 가동하면서 얻어진 실험 자료와 일치한다.

계산된 값과 기술검정협회(RWTÜV)에 의해 시료 채취되어 측정된 합성가스 성분의 평균 값을 비교하면 두 값이 되었다. 특히 T=1400 °C 일때 계산된 평형상태의 조성비와 비교할 때, 이 값은 가스화용융로(HTR) 안에서 충분히 높은 온도와 평형 조건이 보장된다는 사실을 보여준다. 검출되는 HCN, COS, CS<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>의 미미한 양도 이론적 결과와 일치한다.

1200 °C의 실제로 측정된 합성가스 배출 온도와 비교해서 평형상태의 합성가스온도로 가정된 1400 °C에서의 이론적 값이 일치한다는 것은 가스화용융로(HTR)의 상층부에서는 더 높은 반응온도가 유지되고 있음을 짐작케해준다. 상당한 간격을 두고 측정된 합성가스조성이 미세하게 서로 차이가 나는데, 이것은 쓰레기 조성이 변화하기 때문이다. 합성가스에서 아주 미미한 양의 천연가스가 발견되고 산소가 없다는 점에 주목하여야 하는데, 이는 둘 다 가스상태에서 평형을 확증할 수 있는 핵심 지표이다. 더 나아가 이것은 공정의 효율성을 확증하는 것이며 연속된 열처리 공정설계가 유효하다는 것을 입증하는 것이다.

### • 합성가스의 세정

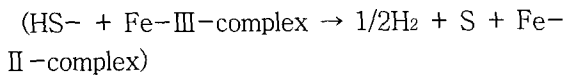
첫 번째 단계로서 그림 7에서 보여주는 바와 같이 가스와 물의 비율을 약 1 : 25로 하여 약 1200 °C에서 70 °C 이하로 합성 가스를 직접 급속 냉각시키게 되면 유기화합물의 재형성을 방지할 수 있다. 동시에 광물 질의 입자들은 정제되지 않은 가스에서 용융된 액상의 작은 입자형태로 가스화용융로를 빠져나와 침전된다. 또한 가스 급냉은 가스에서 과도한 열 압력으로부터 설비를 보호하고, 효과적인 입자 포집을 하게 된다. 급냉시킨 물에 의해 제거되어진 탄소입자는 두개의 배출구를 통하여 밀폐과정에서 순환되는 물로부터 배출된다. 먼저 이 물이 고온의 정화되지 않은 가스(약 1200 °C)와 접촉하게 되면, 급냉은 일종의 "뜨거운 수증기 반응기"와 같이 작용하는데, 이 안에서 유기성의 미미한 성분은 분리된다. 두 번째, 급속 냉각수로부터 일정량의 슬러지가 제거되어 물이 순환하는 과정에서 침전되는 것을 방지한다. 침전된 무기물질(주로 황)로 구

성된 분리된 슬러지와  $2CO \rightarrow C + CO_2$ 에서 형성된 소량의 탄소는 열분해 시스템 속으로 다시 들어가게 된다.

급속 냉각된 가스에서 측정된 0.01ng TE PCDD /PCDF와 0.1 VOL.% 메탄의 농도는 가스화용융로에서 평형상태가 유지되고 있으며 효과적인 급속냉각이 된다는 것을 보여준다.

순환되는 상당한 양의 급속냉각수는 이미 가스 상에 함유되어 있는 염화수소 약90%를 흡수하고, 폐기물 성분이 급변할 때 완충 작용을 한다. 그래서 냉각수가 실제 양질의 가스 정화 단계에 들어가기 전에 합성가스의 질은 균질화된다.

산 세정과 알칼리 세정 단계는 급냉장치와 합쳐져 연결되어 있다. 급냉세정에 이어 합성가스는 먼저 황산화물 정화단계로 들어가기 전에 세정수로 글리세린을 사용하여 미세한 입자 흡수장치 안으로 유입되어 세정된다. 3산화철(Fe-III)혼합물이 함유된 황화수소 오염물은 산화되어 합성가스로 유입되는 수소와 황을 형성하게 되는데, 이것은 세정에 의해 분리된다. 산화효과는 또한 다른 유해한 물질을 없애 버린다.



건조 단계에서 합성 가스로부터의 수증기 응축은 침

전의 효과도 갖게 되는데 이는 온도가 10℃ 아래로 떨어지며 여전히 남아있는 미량의 산 성분도 침전된다. 이로 인해 합성가스를 약 45℃로 다시 가열하여 이슬점 온도 이상으로 유지하기 때문에 덕트내에서의 수증기의 응축에 의한 영향을 받지 않는다.

합성가스의 순도는 천연가스의 순도와 일치한다. 대우 써모셀렉트는 다이옥신이나 퓨란과 같은 배출오염물질이 규제치 보다 훨씬 이하로 배출된다. 독일 배출허용 기준치에 따르면 0.1 ng/m<sup>3</sup> 이하이어야 한다. 대우 써모셀렉트에서는 단지 2pg/m<sup>3</sup>이하가 배출된다.

### 물질과 에너지 수지

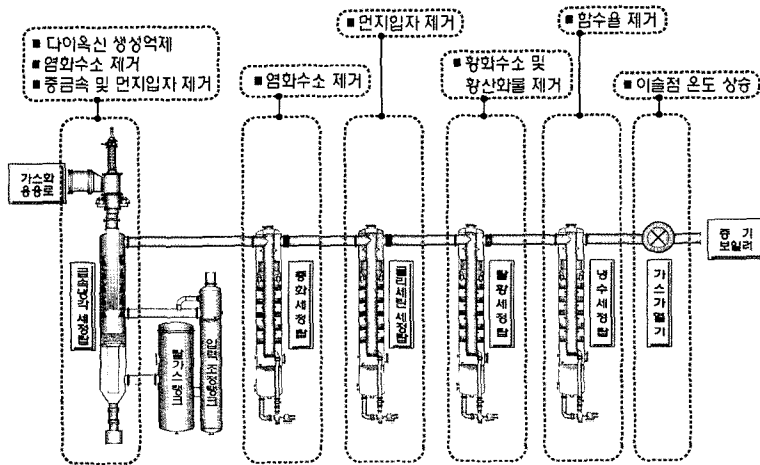
#### Raw Material 회수

그림 8은 투입되는 폐기물의 발열량에 따라 생성되는 폐기물 1톤당의 합성가스 생성량과의 관계를 보여주고 있다. 기술검정협회(RWTÜV) 실험에서 폐기물의 발열량이 10 MJ/kg~16 MJ/kg 일때 합성가스 생성량은 쓰레기 톤당 800~1,200 Nm<sup>3</sup> 이었다. 폐기물 1 톤과 약 500킬로그램의 산소만 있다면 대우 써모셀렉트공정을 통해서 별도의 처리도 필요 없이 다음과 같은 안정적인 부산물이 얻어진다.

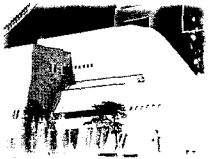
용융과 가스화 단계에서 공기대신 순수 산소의 적용은 발생하는 부산물의 질에 밀접한 관련을 갖고 있다. 표 2와 같이 광물은 콘크리트 생산을 위한 첨가제나 표면 샌딩용 기초자재로 사용된다. 다른 부산물도 모두 회수되어 재활용되기 때문에 매립은 불필요하게 된다.

#### 에너지 회수의 유연성과 효율

폐기물에서 에너지로의 전환과 관련하여 열분해응용 공정은 새롭고, 높은 유연성을 나타낸다. 첫 단계에서 폐기물의 화학적 에너지가 깨끗한 연료가스로 변환되고, 두 번째 단계에서는 열/전기적 에너지로 변환된다. 이 특별한 특징으로 인해 합성가스전환시스템의 선



[그림 4] 합성가스 처리 흐름도



**집중기획 환경친화적 플랜트**

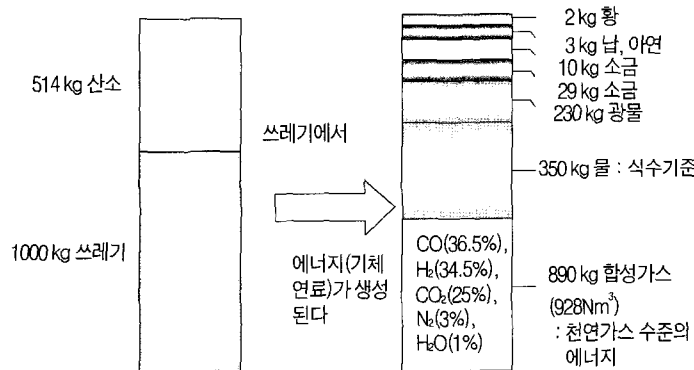
택에 있어서 유연성을 가질 수 있다. 이 합성가스는 이미 설치되는 에너지 전환 플랜트에서 직접 사용되거나 메탄올, 에탄올, 암모니아 등을 만드는 화학 플랜트에도 사용될 수 있다.

효율적인 설계에 필요한 중요 요인은 :

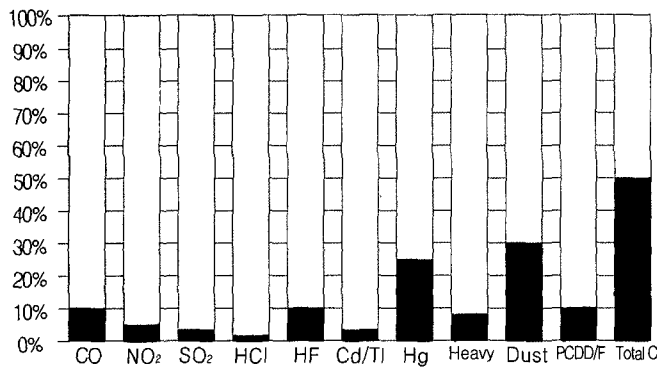
- 투입되는 고품폐기물량과 발열량
- 폐기물 예상 구성비와 계절별 변동량
- 타이어에서의 중금속 농도, 염소 함유량, 황성분과 관련 있는 고품폐기물의 조성과 오염물질 비율

**<표 2> 부산물의 용도**

부산물	발생량	용도
Synthesis Gas	890 kg	전력으로의 변환을 위한 에너지 매개체; 화학물 합성
Water	350 kg	식수로 사용가능하나 냉각수로 사용
Mineral	230 kg	도로건설용 및 표면샌딩용 자재 등 다양하게 활용가능
Metal	29 kg	제철업에서 다시 사용가능
Salt	10 kg	염화나트륨; 산업용
Non-Metal	3 kg	아연, 납
Sulfur	2 kg	산업용



**[그림 8] 프로세스 부산물(이탈리아 운전실적 기준)**



**[그림 9] 합성가스 엔진의 배출가스 농도의 독일 기준과의 비교**

• 이미 위에서 언급된 에너지 회수기술 합성가스를 연료로 하는 가스엔진을 채택했을 경우 에 독일의 배출 규정의 한계치와 합성가스 엔진의 배출 가스 비교는 그림 9와 같다. 이 결과는 열분해용융 시스템의 우수한 성능 기준을 설명해준다.

**결론과 전망**

폐기물 열적처리의 세계적인 기술 동향은 매립해야 할 소각재가 발생하는 직접연소보다는 폐기물의 모든 가용자원을 회수하는 열분해가스화 용융시스템으로 대전환이 급속히 이루어지고 있으며 2000년을 기점으로 해서 급증하고 있으므로 우리나라도 더 이상 늦기 전에 열분해용융기술을 적용하여 선진국과의 기술경쟁에 뒤지지 않도록 해야 한다.

써모셀렉트의 폐기물 열분해용융공정은 기존의 소각 방식에서 해결하기 힘든 다음과 같은 특징들을 달성하였다.

- 소각재의 용융 slag화후 재활용으로 생태학적 환경 유지
- 99 % 이상의 원료물질 회수로 이상적 자연순환형 환경목표 달성
- 플랜트의 콤팩트한 모듈화 및 표준화 달성으로 건설기간 및 비용 절감
- 생활폐기물, 지정폐기물등 다양한 폐기물에 적용
- 현지의 특정수요에 탄력성 있게 통합될 수 있는 고효율의 에너지회수

**참고 문헌**

1. Stahlberg, R.: High-Temperature Recycling and Minimization of Environmental Pollution through Complete Thermal-Chemical Material Conversion; MUT International Congress for Environmental Engineering and Research. Basel, October, 1992, pp.

- 7-22.
2. Kiss, G., Marfiewicz, W., Riegel, J., Stahlberg, R.: THERMOSELECT-Recovery of Energy and Raw Materials from Waste. In: The Thermoselect Process for the Degasification and Gasification of Wastes, Schweitzer, F.J.(Ed.). Berlin, EFVerlag, pp. 21-55(1994).
  3. Feuerriegel, U., Kunsch, M., Stahlberg, R., Steiger, F.: The Material and Energy Balance of the THERMOSELECT Process : The Thermoselect Process for the Degasification and Gasification of Wastes, Schweitzer, F.J.(Ed.). Berlin, EFVerlag, pp. 69-84 (1994).
  4. Stahlberg, R., Feuerriegel, U.: THERMOSELECT - Energy and Raw Materials Recovery, Part 1: Process Foundation for the Continuous Utilization of Waste. Chem. Technik, 46, No. 5(1994), pp. 257-266
  5. Stahlberg, R., Feuerriegel, U.: THERMOSELECT - Energy and Raw Materials Recovery, Part 2: Studies of the THERMOSELECT Plant in Fondotoce (Italy), Product Quality and Proof of the Distribution of the Chemical Elements in the Material Flows. Chem. Technik, 47, (1995) 1, 1-10.
  6. Stahlberg, R., Riegel, J., Feuerriegel, U., Steiger, F.: THERMOSELECT - Energy and Raw Materials Recovery, Part 3: Material and Energy Balance of the THERMOSELECT Process. Chem. Technik, 47, (1995)3, 113-121
  7. Lipuscheck, L.: Studies on Material Properties of the Thermoselect Plant. In [4], (1995), 167-178.
  8. Hler, G. (Ed): THERMOSELECT, The New Way of Treating Residual Waste in an Environmentally Friendly Way, Verlag Karl Goerner, Report of the Thermoselect Conference, Jan. 19, 1995 in Rastatt, 2nd Ed., 238pp(1995).
  9. Report on Measurements in the Synthesis Gas, the Flue Gas, after the Gas Motor and Degasification - Channel Heating Section ; and, Sampling and Analyses of Product and Material Samples for the Evaluation of the THERMOSELECT Process: RWTUV Institute for Environmental Protection, Chemistry and Biotechnology, Central Office for Air Quality and Emissions; Essen. October, 1994
  10. Calaminus, B., Stahlberg, R.: THERMOSELECT - Energy and Raw Materials Recovery, Part 4: Safety and Process Relevant Features with Regard to Environmental Friendliness and Quality of the End - Products Recovered from Thermal Waste Treatment. Chem. Technik, 47, (1995)5, 233-241.
  11. Calaminus, B., Runyon, D.J.: An Overview of the Safety, Environmental and Process Control Features Inherent to the THERMOSELECT Energy and Raw Material Process, 15th International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Savannah, Georgia, May 1996.
  12. Juniper Consultancy Services Ltd. : Pyrolysis & Gasification of Waste / a Worldwide Technology & Business Review
  13. 環境施設 No.84. 2001
  14. 石川 禎昭 : 最先端のごみ処理溶融技術