

굴뚝 없는 폐기물의 자원화 공정 기술

송 석 목

한국환경기술개발(주) 부설연구소
(1999년 3월 4일 접수, 1999년 4월 10일 채택)

Stackless Waste Material Renewal Process Technology

Song, Suk Mok
Korea Environmental Reserch Incorp.

1. 서 론

모든 생명체가 생존하고 활동하려면 에너지가 필요하고, 폐기물이 발생한다. 따라서 에너지의 공급원이 있어야 하고, 폐기물의 후처리를 해야 한다. 고대 생활에서는 에너지원은 자연 에너지(태양, 수력, 풍력, 목재, 식량 등)에서 공급받고, 폐기물은 그대로 폐기하면 자연 생태계의 자정 작용에 의해 분해되고, 식물에 의해 재생 되어 왔다.

그러나, 근대 - 현대에 와서 인류의 지능에 의해 석탄, 석유, 천연가스 등 대량의 부존자원이 발견되고, 이를 단기간 내에 대량 사용하는 산업기술이 발달함에 따라, 풍요로운 고도의 현대 문명사회를 이루었으나, 대량 발생하는 폐기물은 자연 생태계의 자정능력만으로는 감당할 수 없는 한계를 넘어서게 되었다.

결과적으로, 부존자원을 에너지원으로 하여 급성장 한 현대문명은, 부존자원에 완전히 예속되어, 항상 공급의 차질 - 중단 - 고갈에 대한 불안과 위협에 직면하고 있으며, 대량 발생하는 폐기물로 인한 환경의 악화로 생존권의 위협까지 자초하는 자가동착에 빠지게 되었다. 혹평을 하면, 현대문명은 석유라는 마약에 중독 되어 황홀한 환상에 빠진 중환자라고도 할 수 있다.

본고에서는, 우선 에너지 자원과 환경의 본질적

연관성과 그 대응책의 궁극적 설정 목표를 어디에 둘 것인가 하는 문제를 살펴보고, 관습에 젖은 고정관념에서 과감히 탈피하여 새로운 미래 지향성 발상에 의한 기술개발을 촉진하는 의도에서, 본 발표 주제인 "굴뚝 없는 폐기물의 자원화 공정 기술"을 소개 하고자 한다.

2. 청정기술의 궁극적 목표

잘 알려진 열역학의 제2법칙은, 모든 닫힌계(Closed System)에서 일어나는 총체적인 변화는, 항상 고질에서 저질화 되는 방향으로, 유용한 것에서 무용한 것으로, 정돈 상태에서, 혼돈 상태로, 변질 해 나간다는, 절대 불변의 자연의 천리(天理)를 제시해 주고 있는, 간명하면서도 심오한 자연의 현상을 표현한 위대한 법칙이다.

현대문명은 고도로 발달한 인간의 지능에 의해, 보다 살기 좋고 편리한 고질의 현대사회를 건설하였고 자부하여 왔다. 그러나 진실은 지구라는 닫힌계에서, 그 이면에서는 현대사회를 고질화시킨 이상의 엄청난 훼손과 파괴라는 저질화를 저지르고 있는 것이다. 바로 부존 자원의 고갈 위협, 심각한 자연환경의 오염, 생태계의 변질, 기상이변 등의 현상이다.

다행히도 지구라는 닫힌 계에는, 유일하게 외계에서 유입하는 고질의 태양 에너지가 있으며, 이 에너지를 이용하여 지구상의 각종 식물이 탄소동화작용이라

고 불리는 신비한 광합성에 의해, 저질화 된 환경을 고질화로 꾸준히 복원시켜 주고 있다. 그 대가로 태양이라는 거대한 에너지원은 더 많은 저질화로 희생되고 있는 것이다. 그러나 그 능력에도 한계가 있다.

금세기에 이르러 가속적으로 급변하는 고도의 물질 분명은, 자연환경을 가속적으로 악화 파괴하고 있으며, 자연계의 자정능력으로는 감당할 수 없는 한계를 이미 넘어서고 있다. 그 결과가 바로 최근의 다양한 형태로 나타나는, 위협적인 심각한 환경 파괴 현상이며, 이를 방지할 경우, 그 파급 효과는 상상을 초월하는 가공할 재앙으로 나타날 것이다.

이러한 위협적 현상을 저감 내지 해소 해 나가는 일은, 단순한 과학적 - 기술적 - 사업적, 수단만에 의존할 것이 아니라, 사경을 헤매는 지구촌을 구출하는 차원에서, 정치적 - 사회적 - 국제적 공감 의식의 형성과, 가능한 모든 제도적 방법을 동원하여, 최우선적으로 다투어야 할, 현세대 인류에게 부과된 숙명적 최대 지상과제라고 할 수 있다.

그러나, 현실은 현대문명의 원동력인 부존자원 특히 석유류의 마약에 마취된 모든 인위적인 제도와 고질화 된 고정관념, 이기적 배타주의에 의한 갈등 등에 역매여, 과감한 혁신적 대응의 발상과 추진을 제동하는 허다한 난관에 직면하고 있다. 그러나 환경과 자원을 보전하는 과제는 지구촌의 생명을 걸고 하나 하나 풀어 나가야 할 절대 절명의 과제이다.

자원과 환경을 보전하는 청정기술의 궁극적 목표는 사실상 다음과 같이 극히 간명하다.

- 첫째 ; 모든 에너지원은 직간접 태양 에너지로 전환해 나가야 한다. [부존자원 보전]
 둘째 ; 모든 폐기물은 재생 순환 재활용 해야 한다. [폐기물 누적 해소]

상기 두 가지 요건을 거의 완벽하게 수행하고 있는 것은, 바로 자연 생태계에서 태양광을 에너지원으로

하는 식물의 탄소동화작용에 의한 순환 - 재생 체제이다. 농, 축, 임, 어업을 위주로 하던 과거 원시 - 근대 시대에서는 이러한 순환 - 재생 체제 안에서 생산되는 물질(Bio - Mass)만을 활용하여 왔기 때문에, 장구한 세월에 걸쳐 자원과 환경을 보전할 수 있었다.

그러나 현대문명은 모든 에너지원은 부존자원에서, 모든 폐기물은 누적시키는, 자연의 순리를 정면으로 역행 도전하는 체제하에서 이루어져 왔으며, 그 결과로 오늘날의 환경과 자원의 위기를 스스로 자초하게 된 것이다. 마치 재벌 2세가 조상 대대로 저축하여 온 거금을 당대에 호화 방탕으로 탕진하고, 폐가망신하는 격과 같다고 볼 수도 있다.

다행히도 태양이라는 거대한 에너지원은 예나 다름없이 지금도 전 인류가 사용하는 에너지량의 약 1만 배를 공급하고 있으며, 식물에 의한 Bio - Mass의 생산도 아직은, 악화 된 환경 하에서나마, 그 기능의 명맥을 유지하고 있다. 만일, 식물이 그 기능을 상실할 정도로 환경이 악화된다면, 아무리 태양광이 공급 되어도, 지구촌의 구제는 불가능해 질 것이다.

그렇다고 현대사회를 원시사회로 되돌릴 수는 없을 것이다. 고도로 발달한 현대인의 의식이 현대사회의 물질에 도취된 고정관념에서 과감히 탈피하고, 상기 두 가지 목표를 지향하는 의식으로 전환한다면, 능히 환경과 자원을 함께 보전하는 새로운 현대적 재생 - 순환체제를 구축해 나갈 수 있을 것이다.

최근에 이르러 이러한 노력은, 이미 사회 각분야에서, 그리고 국제적 기구에서도 다각적인 활동이 활발히 전개되고 있다. 그러나 환경과 자원을 보전하리라는 기대를 찾기는 아직은 요원하며, 오히려 계속 악화 일로로 치닫고 있는 현상이 속출하고 있다. 여기서 우리는 현재의 환경과 자원을 보전하는 대응책에 대한 인식의 반성과 고정관념의 대전환이 필요하다고 본다.

바로 위에서 언급한, 에너지원의 전환과 폐기물의 재생이라는 궁극적 목표를 지향하는 원천적 대응책보다는, 사후 약방문 격인 종말처리에 역점을 두고 있는

에서 오는 자명한 결과라고 본다. 물론 원천적 대응책은 종말처리보다 극복해야 할 어려움이 더 많다. 그러나 결국은 반드시 그 길로 가지 않고서는, 자연의 순리를 따르지 않고서는 안되기 때문이다.

현재 원천적 대응 분야에서도, 이미 여러 분야에서 활동이 전개되고 있다. 그러나 대부분은 기술적 연구에 그치거나, 극히 제한된 분야에만 적용되고 있다. 기술적으로 가능한 분야서도 그 보급을 제동하는 가장 큰 원인은 소위 협의의 경제성 판단 개념이다. 현재의 경제성 판단 개념에 의한 경제성이 없으면 사업을 할 수 없기 때문이다.

현재의 경제성 판단 개념은 사업의 주체측 입장에서 투자에 대한 이윤이 보장되어야 하는 개념이다. 그 사업으로 인한 사회적 비용과 수익에 대한 개념이 배제되어 있는데 문제가 있다. 환경과 자원의 보전을 위해서 국가적으로는 나름대로 계획된 막대한 비용을 국민의 세금으로 부담하고 있다. 이러한 부담금(사회적

비용)은 반드시 환경과 자원의 보존을 위해서 사업을 하는 사업 주체측에게, 그 사업의 경제성이 성립되도록 합리적으로 배분되어야 한다.

최근 선진국에서 탄산가스 배출권에 대한 상거래 제도가 활발히 논의되고 있다. 그 제도가 얼마나 합리적이고 타당한지는 아직 판단하기 어려우나. 바로 이러한 발상을 바탕으로, 앞으로는 모든 사업의 경제성 판단 개념에, 환경과 자원을 보전하는 사회적 수익성이 합리적으로 반영되도록, 경제성 판단 개념의 재정립이 절실히 요구된다고 생각된다.

Fig. 1.에서는, 자연 생태계의 재생-순환 체제와 현대산업의 비 재생-누적 체제를 대비하고, 부존자원을 에너지원으로 하고, 폐기물을 누적시키는 현대산업 체제의 모순이 바로 자원고갈과 환경파괴의 원천임을. 그리고 그 저감-해소 대응방안은 이 원천을 자연 생태계에서와 같은 체제로 전환시켜 나가야 함을 도시한 것이다.

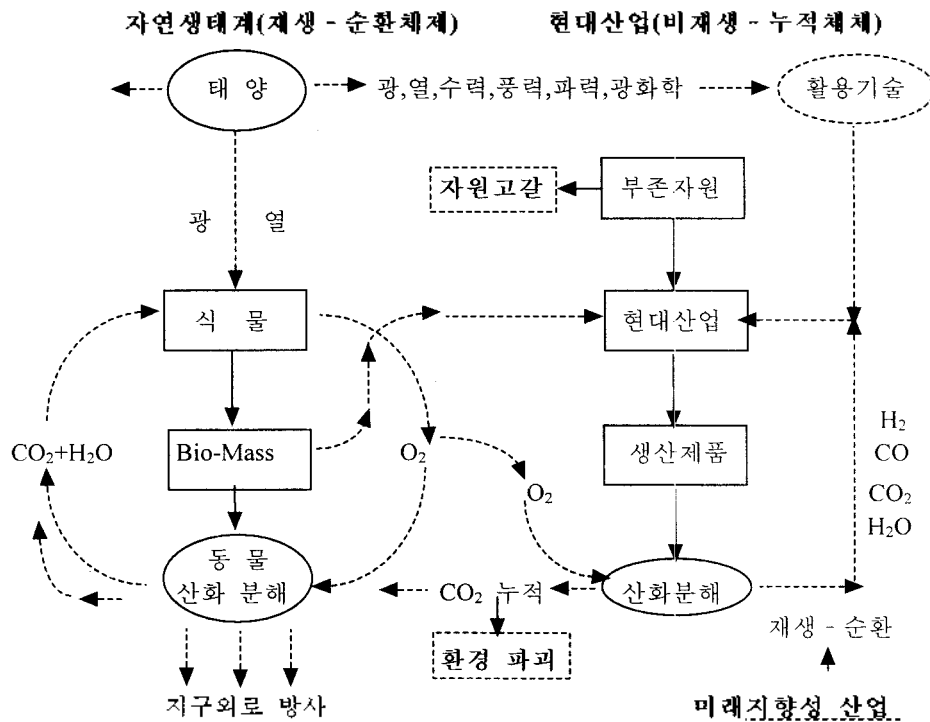


Fig. 1. 자연생태계 - 현대산업 - 미래지향성산업 체제 대비

본고의 발표과제인 “굴뚝 없는 폐기물의 자원화 공정 기술”은 상술한 바와 같은 인식의 전환을 바탕으로 종래의 공기에 의한 폐기물 소각-저공해 처리라는 고정관념에서 탈피하여, 폐기물의 완전 자원화를 지향하는 관점에서, 기존의 입증된 난위기술을 집적하여 새로운 공정으로 개발한 것을, 하나의 예시로 제시한 것이다.

3. 최근 폐기물 처리기술의 동향

현재까지의 연소 또는 소각이라는 공정은, 가연 물질을 공기에 의해 공기중의 산소와 반응시켜 산화시키는 공정이라는 고정관념이 지배적이다. 간혹 난연소성 물질은 공기에 순 산소를 주입한 산소부화연소(Oxygen Rich Combustion) 공정도 있다. 그러나 이들 공정은 모두 가연분의 연소목적만을 달성하기 위한 수단이다.

근래에 이르러 각종 연소공정에서 배출되는 배기가스가 환경오염의 심각한 문제로 대두되기 시작하자, 이번에는 배출되는 기체에서 오염물질을 제거 처리하는 공정을 추가하게 되었고, 보다 성능이 우수하고 경제적인 기술개발이 활발히 전개되고 있다. 그러나 배기가스로 인한 공해와 사회적 문제는, 저감효과는 있을 망정, 원천적 해소방안이 될 수는 없다.

더욱이 폐기물의 질과 수분함량에 따라 연소성이 불량한 경우에는, 불완전 연소로 인한 부작용이 수시로 발생한다. 이런 문제로 보조연료를 사용하는 경우가 많으며, 일본의 신일본제철에서는 순 산소와 공기에 의한 열분해 후 완전연소라는 방법을 적용하는 용융-열분해-소각이라는 새로운 폐기물 소각로를 1979년도부터 가동하고 있다.

이 소각로는 폐기물의 완전 연소와 동시에, 모든 무기물을 1700 - 1800℃라는 고온에서 완전 용융후 수쇄(水碎) 냉각하여, 금속류와 비금속류로 분리 각각 재활용하는 공정이다. 개발 초기에는 기존 소각로 대비 건설비의 고가로(약 20%) 보급이 담보상태였으나, 최근에는 폐기물 소각잔재의 용융처리가 불가피하게 되자, 그 보급이 활발해지는 경향에 있다고 한다.

한편, 저질연료(중유, 석탄 등)를 공기가 아닌 순 산소에 의한 부분산화로 열분해 하여 합성가스를 생산하는 공정은, 이미 실용화 된지 오래다. 다만 폐기물 분야에서는 최근에 선진국에서 활발히 그 실용화 기술 개발이 진행되고 있다. 전자는 폐기물을 소각하여 저공해 처리하는 개념인데 비해, 후자는 폐기물의 자원화 개념이라는 점에서 근본적인 차이가 있다.

순 산소를 사용하는 부분산화에 의한 저질유의 열분해 공정에서는, 최적의 열분해 반응성과 온도 제어 목적으로, 상당량의 수증기를 함께 주입하고 있다. 폐기물도 순 산소에 의한 열분해를 하려면, 상당량의 수증기가 필요함은 당연하다. 이러한 열분해 공정에 필요한 산소와 수증기는, 단순 소각 공정에 비해 추가되는 비용이다. 따라서 생산되는 합성가스와 기타 새로 발생하는 부가가치가, 산소와 수증기로 인한 추가비용을 보상해야 경제성이 유리해진다.

최근 폐기물을 열분해 하여, 합성가스를 생산하려는 기술개발의 방향은 대별해서 순 산소에 의한 부분산화법과 전기 플라즈마법이 있으나, 이중 전기 플라즈마법은 소형 특수 폐기물의 경우를 제외하고는 전력비의 고가, 대량처리기술의 미비 등으로 아직은 실용화 전망이 불투명하며, 부분산화법은 이미 실용화 단계에 들어와 있다고 본다. 최근에 입수한 부분산화법에 의한 폐기물의 자원화 기술중 대표적인 것을 소개하면, 다음과 같다.

(1) 부분 산화법 (UCC법) :

이 방법은 미국 Union Carbide 사가 1976년도에 개발한 약어로 Purox System이라 불리는 폐기물의 합성가스로의 전환 기술이다. 순 산소를 사용하여 약 1650 ℃에서 유기물은 모두 부분산화하여 합성가스로 전환하고, 무기물은 용융 배출하는 폐기물의 완전 자원화 공정이다.

1일 5톤 처리 시험공장의 발표된 자료에 의하면, 생성가스 조성은 CO:47%, H₂:33%, CO₂:14%, CH₄: 4% 정도이며, 저위 발열량은 2600kcal/Nm³, 폐기물 1톤당 가용열량은 176만 kcal, 생성가스량은 0.7톤, 용융물은 0.22톤, 소요 산소량은 0.2톤으로 알려져 있다.

(2) 부분 산화법(Thermo - Select Process) ;

이 방법은 1996년 12월 서울시가 주최한 국제 세미나에서 유럽의 Thermo - Select 사가 발표한 순 산소를 사용하는 폐기물의 열분해 - 가스화 및 무기물의 용융 공정으로서, 시험공장의 시험이 끝나고, 상용화를 추진중에 있다고 한다. 발표된 자료중 일례를 보면, 폐기물 1톤당(수분 25%, 무기물 25% 함유), 가용열량은 165만 kcal, 생성가스량은 0.89톤, 용융물은 0.23톤, 소요 산소량은 0.51톤으로 알려져 있다.

상기 두 공정은 Fig. 2,3에 제시한 바와 같이 열분해로의 구조상의 차이가 있으나, 목적은 다같이 폐기물을 모두 자원화 하는데 있다. 기존의 단순 소각로에 비해, 건설비와 운영비 면에서 우월여부, 운전실적 부족 등으로 그 상용화가 아직은 탐색 - 개척 단계에 있으나, 일단 그 성능과 경제성 등이 입증되면, 그 보급은 급속도로 확대 될 전망이다. 이와 같이 폐기물 처리개념은, 과거의 단순 소각 - 저공해 처리에서, 완전 재생 - 자원화 처리라는 인식의 전환이라는 점에서 주목된다.

4. 새로운 연소공정 ; OECR Process

이 공정기술은 한국환경기술개발(주)가 1997년 초

부터 2년여에 걸쳐, 순수 국내 기술진에 의해 개발한 새로운 연소 공정 기술로서, 그 핵심은 가연성 물질은 순 산소와 자체 공정에서 발생하는 탄산가스를 순환시켜 구성한, 산소부화 탄산가스 순환공정(Oxygen Enriched CO₂ Recycle Process : 약칭 OECR-Process)이며, 공정의 원리, 특징, 활용분야 등은 다음과 같다.

(1) 공정의 원리

기존의 연소공정 대비 본 OECR 연소공정의 기본 구성은 Fig. 4, 5와 같이 간명하다. 즉 전통적인 공기(산소+질소) 연소방식을 산소+순환탄산가스에 의한 산소부화 연소방식으로 전환한 것으로서, 결과적으로 종전의 질소 대신 탄산가스가 독립적으로 주입되는 것이다. 종전개념의 산소부화 연소방식은 흔히 산소+공기에 의한 산소부화 연소방식으로서, 산소 공급 비용 때문에 특수한 경우를 제외하고는 적용하지 않았다.

본 OECR 공정에서도 산소 공급 비용이 경제적 부담이 되기는 같으나, 종전의 질소 대신 자체 공정의 후단에서 발생하는 탄산가스의 일부를 순환 공급함으로써, 다음에 설명하는 바와 같이 부수적으로 발생하는 다양한 효과가 크기 때문에, 종전의 산소부화 방식과는 그 효과 면에서 현저한 차이가 있는 것이 특징이다.

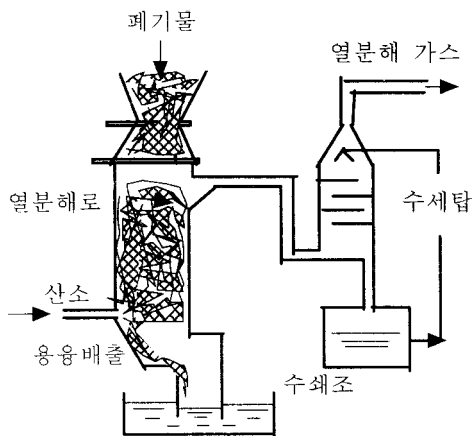


Fig. 2. UCC의 Purox 열분해로

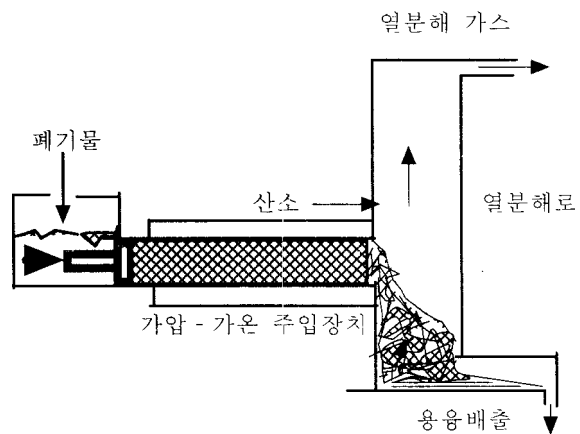


Fig. 3. Thermo-Select 열분해로

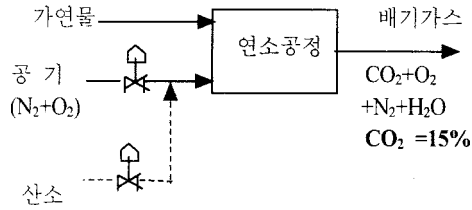


Fig. 4. 기존의 연소 공정

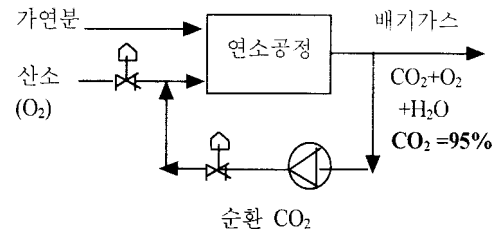


Fig. 5. OECR 공정

(2) 공정의 특징과 효과

기존 연소공정 대비 OECR 연소공정의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- 산소 농도의 자유로운 제어로 최적의 안정된 고온 완전 연소제어가 용이해 진다.
- 질소의 유입이 없으므로, NOx 생성이 원천 봉쇄된다.
단, 가연분 중에 함유하는 질소로 인한 극 미량만 생성.
- 연소공정을 통과하는 기체량이 격감(연소로에서 30% 감소, 후처리에서 75% 감소)하여, 건설비 - 운전비 절감, 열회수 효율 격상, 유해가스 제거성능 격증 등의 효과를 얻는다.
- 최종 배출기체는 95% 이상의 고농도 CO₂로서, 액체탄산, Dry Ice 등으로 제품화가 가능하며, 지구 온난화 저감을 위한 기반기술로 활용이 용이해 진다.
- 운전조건 변경(산소 공급 감량에 의한 부분산화 - 열분해)에 의해 합성가스(H₂+CO+CO₂)를 생산, 석유대체 원료로 광범하게 활용할 수 있다.
- 유일한 단점은 산소 공급비용이지만, 상기 장점으로 충분히 보상된다.
[산소 소요량이 적은 저질 가연분일수록 유리하다]
[공기 분리시 산소와 병산 되는 질소를 활용하는 산업과 연계시 더욱 유리하다]

상기 특징의 대부분은, 종전개념의 산소+공기에 의한 산소부화 연소방식에서는 기대할 수 없는 새로운 특징들이다.

(3) 적용 분야

OECR 공정은 기술적으로는 연료를 포함하여 모든 가연물질의 연소공정 및 열분해공정에 적용할 수 있다. 다만 경제성과 공해로 인한 사회적 비용 절감면에서 우월 순위를 감안 하면, 대체로 산소 소요량이 적고, 공해 유발성이 많은 폐기물 처리에 가장 유리하며, 고질의 연료일수록 불리해 진다.

본 공정을 완전 소각을 목적으로 하는 공정에 적용하는 경우는, 온도제어 목적으로 탄산가스의 순환은 필수적이지만 가급적 순환량을 줄이는 것이 유리하다. 경제성 면에서는 생산되는 고농도(95 Vol. % 이상) 탄산가스를 가스 또는 액화한 액탄으로 판매할 것을 전제로 사업계획을 수립해야 유리하며, 기존 소각로와 대동한 경제성(사회적 비용을 감안하지 않은 협의의 경제성)이 되기 위한 액탄 또는 기체 탄산가스의 최소 판매율은 공정의 구성방법에 따라 차이가 있으나, 최고 30%를 넘지는 않는다.[참조 : 5.4항 Table. 1.]

본 공정을 열분해 - 합성가스 생산공정에 적용하는 경우, 앞에서 소개한 Purox공정과 는 원론적으로 대동하지만, 탄산가스 순환량과 수증기 주입량의 조절에 따라 생성되는 H₂/CO 비율을 자유자재로 변경할 수 있으며, 수증기만을 사용하는 경우보다, 자체 공정의 탄산가스를 순환 사용하는 편이 경제적이며, 주입 산소량 당 유효가스(H₂+CO)의 생산량도 다소 증가하는 것 등의 특징이 있다. 완전 소각의 경우보다, 산소 사용량이 적게 소요되며, 합성가스의 정제공정이 추가되지만, 부가가치가 높고 활용분야가 방대한 합성가스의 생산으로 경제성이 탁월해 진다.

(4) 활용분야

활용분야로 현 시점에서 최적의 분야는 폐기물의 처리 분야라고 본다. 그 이유의 핵심을 들면 다음과 같다.

- 첫째 ; 기존의 소각처리와 대비해서 기존의 경제성 판단 관념에 의한 경제성도 유리하다는 시산 결과를 얻을 수 있기 때문이다.
- 둘째 ; 굴뚝 없는 폐기물의 자원화라는 국민적 공감대 형성으로 인한 방대한 사회적 비용 절감과 사회적 불안 해소라는 파급효과를 얻을 수 있기 때문이다.
- 셋째 ; 폐기물의 저공해 종말 처리라는 기존의 소극적 고정관념에서, 폐기물의 자원화라는 청정기술의 궁극적 목표를 지향하는 적극적이고 원천적 처리라는 관념으로 전환하는 시범적 전환기회가 될 수 있기 때문이다.

폐기물에 활용하는 경우에도, 활용분야의 주어진 여건에 따라 완전 연소에 의한 탄산가스를 제품화하는 경우와, 부분산화-열분해에 의한 합성가스를 생산하는 경우로 대별할 수 있다. 이중 전자는 현재로서는 탄산가스를 원료로 하는 수요 시장의 한계성이 있기 때문에, 석유 대체 원료가 가능하고, 방대한 시장성이 있는 합성가스를 생산하는 방향으로 지향하는 것이 유망하다.

폐기물의 열분해에 의한 저렴한 가격의 합성가스가 일단 생산되면, 이를 원료로 하는 아래와 같은 다양한 2차 제품을 생산하는 산업의 활성화가 가능해 진다.

- 연료전지에 의한 분산형 고효율 열병합 발전
- 합성가스의 메탄화에 의한 열병합 도시가스 생산
- 폐기물 처리과정에서 생산되는 질소, 산소, 수소, 탄산가스 모두를 활용하는 요소비료 생산
- 경유 대체 저공해 연료인 Dimethyl Ether 생산
- 기존 화학공정과 연계에 의한 환경 친화성 및

경제성이 탁월한 복합 공단 조성

- 이 밖에 메탄올, 초산, 에탄올 등 다양한 석유화학 제품의 생산도 가능하다.

폐기물 이외의 분야에서도 다음과 같은 활용분야가 가능시 된다.

- 저질 - 공해성 연료(석탄, 중질유), Bio-Mass 등의 유용한 합성가스로의 전환.
- 기존 매립 폐기물의 재처리에 의한 자원화와 매립지의 복원.
- 일반 연료사용 연소로에 적용, 지구 온난화 저감 기반기술(CO₂ 고농도화)에 활용.

5. 굴뚝없는 폐기물의 자원화 처리 공정

본고의 주제인 굴뚝 없는 폐기물의 자원화 공정 기술은 상술한 기본 개념과 OECR 공정을 활용하여 한국환경기술개발(주)가 개발한 기술로서, 현재 모든 기술성-경제성-환경성 등 상세한 타당성 조사가 거의 완료되고, 이를 입증할 수 있는 시험공장의 계획단계에 와 있으며, 그 개요를 소개하면 다음과 같다

5.1 공정의 구성 요소

이 공정은 폐기물중 모든 무기물은 용융 배출하고, 유기물은 1차 열분해 한 후에, 2차로 완전 소각하여 고농도 탄산가스를 생산하는 공정(OECR-C공정)과, 또는 1차 열분해 후 다시 2차 고온 열분해하고, 급냉, 정제하여 합성가스를 생산하는 공정(OECR-P공정)의 두 가지 기능으로 폐기물을 완전 자원화 하는 것을 목적으로 하고 있다. 그 어느 것이나, 이 공정에 적용되는 각종 단위 장치 기술은 기존의 입증된 실용기술 중에서 최적의 것을 선정 활용할 수 있어, 운전-제어 조건과 방법만 잘 선정하면 본 공정의 신뢰성은 매우 높다고 볼 수 있다.

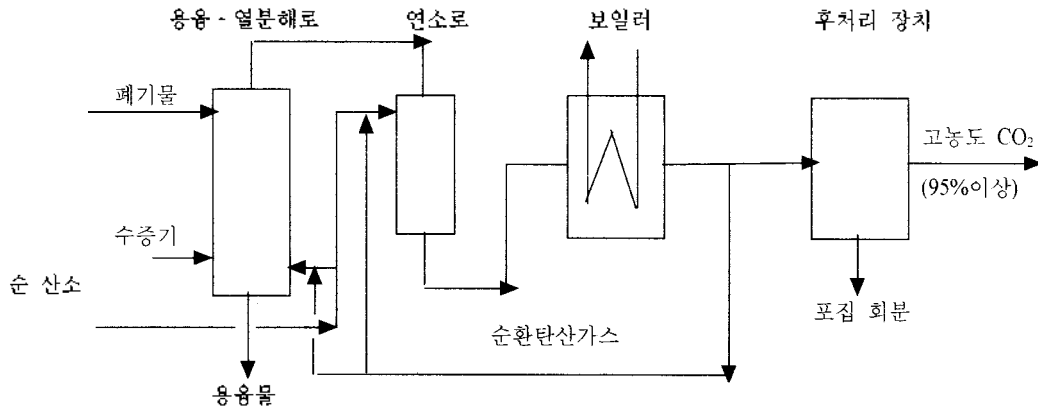


Fig. 6. 폐기물의 완전소각 - 탄산가스 생산 공정(OECR-C공정)

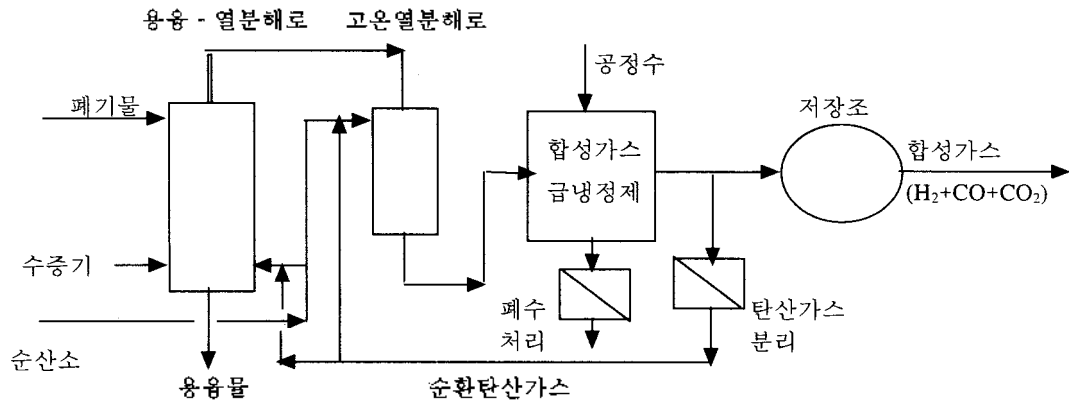


Fig. 7. 폐기물의 열분해 - 합성가스 생산 공정(OECR-P공정)

그림-6 은, 폐기물의 용융-완전 연소와 고농도 탄산가스를 생산하는 것을 목적으로 하는 공정으로서, 특수 용융-열분해로, 연소로, 발생열 회수 보일러, 불순물 제거를 위한 후처리 공정 등으로 구성되어 있다. 이중 보일러와 후처리 공정은 기존의 폐기물 소각공정과 동일한 공정이며, 연소로는 기체연료를 연소하는 일반 연소로와 같으며, 용융-열분해로 만이 특수 구조와 성능을 가진 로이다. 이 용융 열분해로 대신 기존 소각공정의 소각로를 적용할 수도 있으나, 그런 경우에는 무기물의 용융 처리가 안되며, 용융-열분해로 고유의 우수한 기능을 발휘할 수는 없다.

용융-열분해로는 상부로 투입된 폐기물이 아래로 내려가면서, 하부에서 주입하는 산소와 순환 탄산가

스 및 수증기에 의한 부분연소 및 열분해 된 상향 기류와 향류 접촉하면서, 건조, 열분해, 연소, 용융대를 차례로 거쳐 내려가는 동안, 모든 유기물은 열분해 되어 상부로 배출되고, 모든 무기물은 용융 되어 하부로 배출되는 구조로 되어 있다. 이에 대한 보다 상세한 기능에 대한 설명은 다음 5.3 항에서 다룬다.

Fig. 7.은, 폐기물의 용융-열분해와 합성가스를 생산하는 것을 목적으로 하는 공정으로서, Fig.6.에서와 동일한 용융-열분해로와 고온 열분해로, 합성가스의 급냉처리 및 정제공정 등으로 구성되어 있다. 고온 열분해로는 용융-열분해로에서 분해되지 않은 CH₄ 이상의 중질 탄화수소를 거의 모두 분해시키는 역할을 하며, 급냉 정제 처리는, Dioxin 재생성 방지와, 미량의 불순물

을 제거하는 공정이다. 폐수처리는 정제공정에서 발생하는 폐수를 정제 후, 용수를 재생 회수하며, 탄산가스 분리는 본 공정에 필요한 탄산가스와 제품화용 탄산가스를 합성가스로부터 일부 분리 공급하는 시설이다.

5.2 열분해 공정의 이론

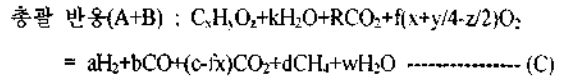
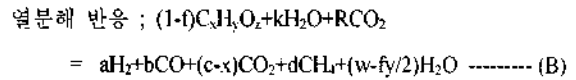
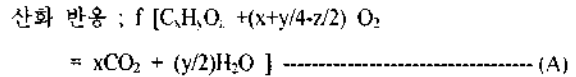
상기 공정 중 핵심 이론은 부분산화에 의한 열분해 이론이다. 모든 유기물은 산소 부재하에서 고온(1000-2000℃)으로 가열하면, 가장 간단한 분자(H₂, CO, CO₂, H₂O, HCl, H₂S, 등)로 분해되며, 더욱 고온으로 가열하면, 전리상태의 원소로 분해된다. 반대로 저온에서 열분해 하면, 온도가 낮을수록 CH₄ 부터 중질 탄수화물이 분해되지 않은 채 남게 된다. 그리고 모든 열분해 공정은 흡열반응이며, 고온 열분해일수록 소요열량이 증가한다. 한편, 열분해 후 각 성분의 조성은 공급물질의 조성, 열분해 온도와 관여하는 주 화학반응식의 화학적 평형조건 등이 지배한다.

합성가스를 원료로 하는 여러 공정에서 필요로 하는 성분은 보통 H₂, CO, CO₂, H₂O 이며, 동반하는 불활성가스(N₂, Ar 등)는 방해물이 되고, 불순물(S, Cl, N, 등의 화합물)은 극 미량 함유해도 촉매독, 부식 등의 문제로 허용되지 않는 경우가 일반적이다. 따라서 폐기물에서 합성가스를 생산하려면, 상술한 바와 같은 요건을 모두 감안해서 최적의 대응을 해야 한다.

본고에서는 유기물이 열분해하여 생성되는 합성가스의 조성을 산출하는 기본수식의 도출방법에 대한 요지만을 설명하면 아래와 같다.

(1) 총괄 화학 반응식에서 성분원소별 물질수지 수식을 도출한다.

폐기물을 포함하는 모든 유기물의 화학적 표현은 일반적으로 탄소, 수소, 산소의 화합물인 C_xH_yO_z 으로 표현한다. 이러한 유기물질이 열분해로에서 열분해 할 때 일어나는 화학 반응은 다양하고 복잡하지만, 그 전체적인 반응은 다음과 같이 표현할 수 있다.



상기 (C)식에서 C, H, O에 대한 3개의 독립된 물질-수지 식을 도출할 수 있다.

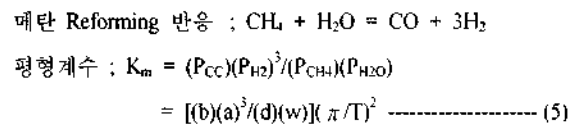
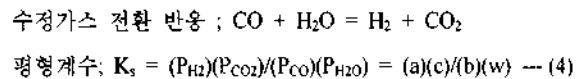
C ; $x+2R = b + (c-fx) + d$ ----- (1)

H ; $y+2k = 2a+4d+2w$ ----- (2)

O ; $z+k+2R+2f(x+y/4-z/2) = b+2(c-fx) + w$ ----- (3)

단, 각 분자식 앞의 문자는 각 분자의 수이며, f는 폐기물 중 연소한 물 분율이다.

(2) 열분해 주 반응식에서 화학적 평형계수와와 관계식을 도출한다.



단, K_s, K_m(반응 온도 t 만의 함수)은 각기 반응의 평형계수, P는 각 성분가스의 분압, T는 생성가스의 총 분자 수(T=a+b+c+d+w)이며, π는 계의 총압력이다.

(3) 반응계 전체의 열수지 수식을 도출한다.

$f H_{C_xH_yO_z} = \Delta H_R + \Delta H_S$ ----- (6)

단, H_{C_xH_yO_z}는 폐기물의 연소 저위 발열량으로서, 경험식에 의해 산출한다.

ΔH_R는 표준 열분해 반응열로서, 식(B)에서 도출한다

ΔH_S는 반응온도 t 까지 가열하는데 필요한 열량으로서, 식(C)에서 반응온도 t의 함수로 도출할 수 있다.

상기 수식(1) - (6)까지 6개의 방정식은 미지수 a, b, c, d, w, t를 포함하는 다원 고차방정식으로서, 수동 계산은 대단히 어려우며, 전산 프로그래밍하여 시산법으로 산출할 수 있다. 또한 입력조건의 변경, 추가등을 보완하여, 다양한 폐기물과 운전조건에 따른 결과치의 변화를 알아볼 수 있다.

당 연구소에서는 이에 대한 전산화를 하여, 그 결과치 분석에서 아래와 같은 중요한 인과관계를 얻을 수 있었다.

- (1) 다양한 주어진 조건에서 물질 및 에너지수지 계산을 용이하게 산출할 수 있다.
- (2) 원하는 합성가스의 조성을 산소, 수증기 및 순환탄산가스 주입량에 의해 용이하게 조절할 수 있다.
- (3) 용융 - 열분해탑의 최적 운전조건을 유지하는 제어인자의 민감도와 이에 따른 제어방식을 합리적으로 구상할 수 있다.

5.3 수직 용융 - 열분해로의 구조와 특성

이 로는 본 공정에 적용코자 하는 이상형 핵심 장치로서, 당초 당 연구소가 구상은 하였으나, 이 로를 개발대상으로 삼지는 않았고, 이 로의 제작사를 탐색하

던 중, 이미 외국에서는 다년간의 우수한 운전실적으로 실용화되고 있는 것을 알았다. 다만 그 운전 방법이 폐기물을 약 40%전후의 고농도 산소(산소+공기)로 일단 열분해 한 후 다시 공기에 의해 완전 연소하는 유형으로서, 당 연구소의 OECR 공정과는 운전 조건과 방법이 다를 뿐이다.

이 로의 상용 운전실적이 가장 많은 곳은 일본의 신일본제철이 설계 - 건설한 폐기물의 용융 - 열분해 - 소각로로서, 1979년에 첫 상용공장이 가동한 이래 현재 11개 공장이 가동중이며, 5개 공장이 건설중이다. 단일 계열의 처리용량은 1일 150톤 처리 규모가 가장 크며, 앞으로는 1일 300톤 처리 용량도 건설할 수 있다고 한다. 그 구조의 모양은 Fig.8과 같으며, 당 연구소가 구상하던 로와 구조면에서 거의 일치한다.

최근에는 일본 지요다(千代田化工建設)에서도, 용융로에 관한 기본기술을 쇼와덴고(昭和電工)에서 1981년에 도입, 이를 개량하여 1일 20톤 규모의 시험공장을 건설, 장기간에 걸친 시험운전을 하였으며, 대용량의 상용 사업을 전개할 단계에 있다고 한다. 이 공정도 신일본제철과 같이 산소와 공기에 의한 용융로이지만, 신일본 제철에서는 코오크스를 보조연료로 사용하는데 반에, 지요다는 고농도 산소만으로 운전한다고 한다.

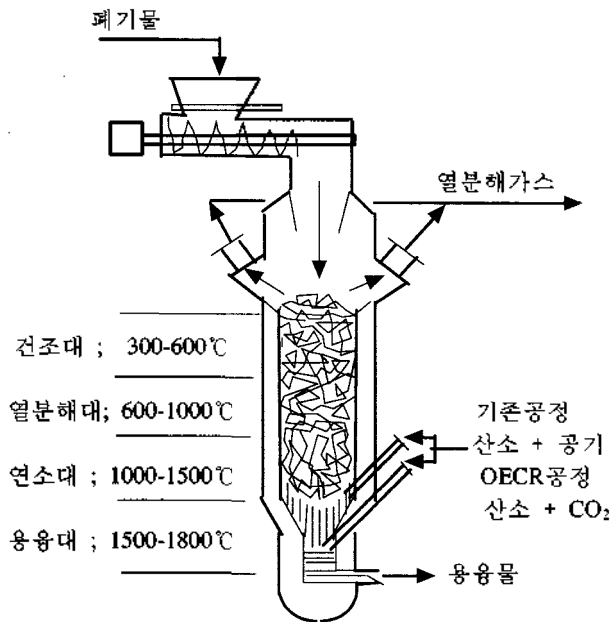


Fig. 8. 신일본제철의 용융-열분해로 구조

이들 용융로는 모두 구조면에서, 그리고 운전조건 면에서 당 연구소에서 원하는 용융로와 거의 완벽하게 같다. 다만 이들 공정에서는 산소+공기를 주입하는 대신, OECR 공정에서는 산소+순환탄산가스를 주입한다는 운전 조건과 방법 면에서 다를 뿐이다. 그러나 이로 인한 파급효과는 아래에 설명하는 바와 같이 의외로 다양하여, 그 실용화가 더욱 용이해 지리라고 믿는다.

(1) 용융로의 특징 -1(산소+ 공기 주입 방식)

- 폐기물이 용융로 내에 체류하는 시간이 약 5시간 정도로서, 상승하는 열기류와 충분히 향류로 접촉하여, 건조-열분해-연소-용융이라는 과정을 차례로 거치면서, 기폭이 적은 안정된 운전을 할 수 있다.
 - 모든 유기물은 부분산화-열분해 되고 무기물은 용융 배출되며, 폐기물을 모두 유용한 물질로 전환-자원화 할 수 있다.
 - 용융로에는 구동부문이 없고 단순 수직 원통형이어서 정비 유지비와 설치면적이 절감된다.
 - 상승기류와 동반하는 먼지, 미연분 카본입자 등이, 상부 폐기물 적재층을 거치는 동안 상당량 여과되어, 종래의 소각로 대비 현저히 적어진다.
 - 폐기물과 함께 적정량의 석회석을 주입하여, 폐기물의 하향 유동성을 좋게 하는 동시에 상당량의 산성가스(HCl, SOx, NOx)를 중화 제거하여, 소각이후 후처리 공정에서 유해가스를 제거하는 부하를 경감시켜 준다.
 - 폐기물 적재층에서 상승기류의 편류가 생기지 않도록, 폐기물의 통기성, 크기, 상승기류의 적정 유량등을 적절히 조정 유지해 주어야 하는데, 장기간의 운전 실적에서 이에 대한 문제가 없음을 입증하였다.
 - 상부 배출기체는 열분해 된 조 합성가스(Raw Syn. Gas)임으로 산소 함유율이 폭발한계에 접근하면, 폭발의 위험성이 있다. 따라서, 배출 기체 중 잔류산소의 농도를 적정치 이하가 되도록(약 0.5%) 엄격히 통제해야 한다. 이를 위해 폐기물 주입시 혼입하는 공기는 질소 가스로 완전히 불어낸 연후에 주입한다.
- 운전중 및 정지시 용융부의 용융물이 응고하지 않도록, 각별한 주의를 해야 한다.

- 용융로에서 처리할 수 있는 대상은 비단 다양한 폐기물뿐만 아니라, 이마 매립한 폐기물까지도 재처리가 가능하며, 매립지의 복원-재생에도 적용할 수 있으며, 기타 저질 연료, Bio-Mass 등도 유용한 합성가스로 전환할 수 있다고 본다.

(2) 용융로의 특징-2(산소+ 순환탄산가스 ; OECR 공정)

(1) 항의 특징에 아래와 같은 특징이 추가된다.

- 질소의 유입이 전무하므로, NOx의 생성이 원천 해소되며, NOx 후처리 시설이 삭제된다. 폐기물과 동반 혼입하는 공기는 탄산가스로 완전히 불어낸 연후에 주입한다.
- 질소 대신, 보다 적은 량의 순환 탄산가스가 유입되어, 로를 통과하는 총 기체 유량이 약 30% 감소되어, 용융로와 2차 연소로의 건설비를 절감할 수 있으며, 후처리 시설에서는 총 기체 유량이 70% 이상 격감하여, 건설비, 운전비가 대폭 절감되고, 동시에 총괄 열효율과 유해가스 제거성능이 격증된다.
- 산소, 순환탄산가스, 수증기를 각각 독립적으로 그 주입량을 제어할 수 있기 때문에 로의 온도 제어, 총 유량 제어, 생성가스의 조성 제어 등을 원하는 최적 조건으로 용이하게 유지할 수 있다.
- 완전 소각인 경우에도 최종 배출가스는 95% 이상의 유용한 탄산가스를 생산할 수 있어, 결국 굴뚝 없는 소각로의 실현이 가능해진다.
- 불가피하게 최종 배출가스를 대기로 방출하는 경우도, 유해가스의 절대 방출량이 기존 소각로의 1/4 이하로 격감한다.

이상과 같이 기존의 실적있는 용융-열분해로를 그대로 본 OECR 공정에 적용시키고, 다만 그 운전방식을 산소+공기에서 산소+순환탄산가스로 변경함으로써, 각기 가지고 있는 장점을 보완적으로 살려, 그 효과를 더욱 제고시킬 수 있는 것이다. 국내에서는 아직 용융로에 대한 상업적 실적이 없으며, 일부 업체에서 기존 소각로에서 발생하는 소각 잔재물을 용융시키는 시험로를 건설, 시험한 정도의 실적이 있을 뿐이다. 그러나 일반 고온로에 대한 경험만 살리면, 국내 기술로도 충분히 본 공정에 필요한 용융로를 개발할 수 있다고 본다.

5.4 공정의 경제성

OECR 공정에 의한 굴뚝 없는 폐기물의 자원화 (소각인 경우) 공정을 실용화 한 경우, 그 공정의 경제성을, 기존 소각로와 대비하여 시산해 본 결과를 간략히 소개하면 다음과 같다.

(1) 전제 조건

◇ 대비공정의 정의 :

- 기존 공정 : A 형 ; 기존의 실적이 많은 최근의 대형 스토커 방식 소각로
- 대비 공정 : Ar형 ; 기존의 공정에 본 개발기술을 적용, 개량한 소각로
- B 형 ; 기존 스토커방식으로 본 개발기술을 적용 신설한 소각로
- C 형 ; 용융로에 본 개발기술을 적용하여, 신설한 소각로

상기 3개 대비공정을 다시 Case - 1, - 2로 나누어, Case - 1에서는 액탄을 생산하는 경우로, Case - 2에서는 기체 탄산가스만을 생산하는 경우로 나누어, 총 6개 대비공정을 기존공정(기존 소각로)과 대비한다.

◇ 폐기물 처리 용량은, 모두 1일 150톤 처리공장 2계열로 한다.

◇ Case - 1에서 액탄 생산 능력은 1일 180톤 생산공장 2계열로 한다.

◇ 대비공정 Ar형에서는 폐기물 처리능력을 30% 증가

한 것으로 대비한다.

(이 경우 30% 증산된 CO₂는 기체로 판매하는 것으로 한다)

◇ 경제성 산출 적용기준

- 처리 대상 폐기물은 부하율이 비교적 높은 고질 폐기물을 모든 공정에 적용한다.
- 경제성 산출에 인용-적용할 각종 관련자료는 모든 공정에 공평하게 적용한다.
- 경제성 판단 결과치는 전체 운영기간(20년)에 걸친 내부 수익률과 현재가치로 산출한다.
- 경제성 판단 결과치 산출 요소별, 결과치에 미치는 민감도 계수를 산출한다.
- 주요 적용 기준 ;
 - 건설비 산출 ; 최근 실적 건설비를 분석, 조정, 가감하여 산정
 - 건설기간 ; 2년. 단 Ar형은 1년.
 - 운영기간 ; 완공후 20년.
 - 자금 조달 ; 100% 자기자금.
 - 연간 운전시간 ; 8000시간/년.
 - 통용 금리 ; 연 8 %적용(예탁 금리 기준)
 - 회수 폐열 ; 자가 발전하여, 자체사용하고 잉여 전력은 판매한다.

(2) 산출결과 집계

전항의 전제조건 하에서 산출한 주요 결과를 집계 제시하면 다음 표와 같다.

Table 1. 기존 소각로 대비, OECR 소각공정 주요 경제성 대비항목 집계표

구분	주요 대비 항목	단 위	기 존 공 정	OECR-C 공정					
				Case-1 [액체 CO ₂ 생산시]			Case-2 [기체 CO ₂ 생산시]		
				개량공정	신설공정	용융소각	개량공정	신설공정	용융소각
			A형	Ar형	B형	C형	Ar형	B형	C형
기본 사항	총 건설비	100만원	42,072	△13,454	38,353	40,616	△ 2,976	27,875	30,138
	총 소요자금	100만원	42,785	△14,710	39,357	41,395	△ 3,229	28,876	31,015
	산소 사용량	톤/일	----	352	271	271	352	271	271
	산소 구입비	100만원/년	----	2,948	2,268	2,268	2,948	2,268	2,268
	CO ₂ 생산량	톤/일	----	486	374	374	486	374	374
	CO ₂ 판매비	100만원/년	----	6,978	6,230	6,230	3,240	2,492	2,492
	폐기물처리 원가	원/톤	55,700	31,077	16,640	8,310	44,892	43,000	34,640
경제성	내부 수익율	연이율[%]	10.37	15.35	16.89	17.22	13.87	17.03	17.46
	현재가치	10억원	9.84	39.40	31.18	43.34	30.51	28.72	32.94
	CO ₂ 최소 판매율	%	---	44.1	28.8	20.6	14.0	-30	-51
※	폐기물 처리단가	원/톤	115,800	139,462	134,120	128,880	118,554	108,430	103,090

- [주] 1. Table.1.에서 경제성 난은 폐기물 처리단가를 모든 공정에 115,800원/톤으로 적용한 경우, 기준공정(기존 소각로) 대비 경제성과, 대등한 경제성을 나타내기 위한, 대비공정 들의 CO₂ 제품의 초소 판매율을 제시한 것임. [Case-2의 B, C 형에서는 CO₂ 판매가 없어도, 수익률이 오히려 2-4% 증가함]
2. Ar형에서 △표는 개량을 위한 증분 투자책임.
3. ※표로 표시한 폐기물 처리단가는 CO₂ 판매를 전연 하지 못할 경우, 기준공정과 대등한 경제성 유지를 위한, 폐기물 처리단가이다. [Case-2의 B, C 형에서는 처리단가가 낮아진다.]

한편, 경제성 판단지표의 하나인 내부 수익률에 미치는, 각종 산출 요소(폐기물 처리 단가, 건설비, CO₂ 판매비, 산소 구입비, 각종 약품비)들의 민감도 계수를 제시하면 다음 표와 같다.

Table 2. 내부 수익률에 미치는 산출요소별 민감도 계수

요소 항목	공정 별 A	Case-1			Case-2		
		Ar	B	C	Ar	B	C
1. 폐기물 처리비	2.954	2.017	2.009	1.758	2.888	3.205	2.788
2. 건설비	-1.435	-1.423	-1.442	-1.439	-1.417	-1.442	-1.445
3. CO ₂ 판매비	----	1.259	1.753	1.651	0.586	0.964	0.894
4. 산소 구입비	----	-0.712	-0.638	-0.601	-0.594	-0.878	-0.811
5. 각종 약품비	-0.368	-0.306	-0.478	-0.346	-0.307	-0.505	-0.469
6. 폐잔재 매립비	-0.287	-0.264	-0.316	-0.088	-0.344	-0.435	-0.119

[주] 민감도 계수 ; [결과치(내부 수익률)의 변화율] = [민감도 계수][산출요소 변화율]

상기 요소 항목 중, 1항과 3항은 민감도가 큰 항목이기는 하나, 실제 사업계획 단계에서 시장성을 분석 평가하여 검토할 사항이며, 4, 5, 6항은, 민감도가 상대적으로 적고, 불확실성이 극히 낮은 항목이다. 다만 2항 건설비는 그 민감도가 두번째로 크고, 그 추산방법과, 경제적 환경 여건에 따라 상당한 변동이 있을 수 있는 가장 중요한 요인이 된다.

상기 표에서 경제성 산출 요소 항목별, 변동 범위에 대한, 결과치인 내부 수익률의 변동범위는, 내부 수익률의 기준치를 10%로 볼 때, 다음과 같음을 알 수 있다.

폐기물 처리단가 변동 범위가 ±10% 일때, 내부 수익률의 변동범위 ; 10±3.0 %.

건설비의 변동 범위가 ±10% 일때, 내부 수익률의 변동범위는 10±1.5 % 이다.

액탄 매출액 변동 범위가 ±10% 일때, 내부 수익률의 변동범위는 10±1.7 %.

산소 구입비 변동 범위가 ±10% 일때, 내부 수익률의 변동 범위는 10±0.9 %.

(3) 경제성 종합 평가

◇ 기존 소각로 A형에서 내부 수익률 10% 를 전제로 하는, 폐기물 처리단가 115.800 원/톤을, 모든 공정에 적용하는 경우, 대비공정(Ar, B, C)의 경제적 효과는 ;

내부 수익률 면에서는 1.3~1.7 배되며,

현재가치 면에서는 3 ~ 4 배 된다.

◇ 경제성 면에서 우월 순위는 C형, B형, Ar형으로서, 결국 C형인 용융소각로를 적용하는 선형 소각공정을 지향해야 한다.

◇ Case - 1과 Case - 2를 대비하면, 경제성 면에서는 대등하나, 탄산가스 판매량에 대한 손익 분기점, 초기 소요자금, 운영 관리의 용이성 등 면에서 Case - 2 가 유리하다.

그러나 실제 사업면에서, 탄산가스를 기체상태로 판매하는 Case - 2를 선택할 수 있는 기회는 생산 - 소비 지역이 인접한 경우에만 가능하다. [배관 공급이 가능시]

◇ Case - 1 C형에서는 액탄을 총 생산량의 20% 만 판매하면, 기준형인 A형과 대등한 경제성을 갖으

며, Case - 2 C형에서는 탄산가스를 전연 판매하지 않아도, A형보다 수익률이 약 4% 더 증가한다.

- ◇ 이 밖에 제강화하기 어려운, 아래와 같은 방대한 사회적 비용 절감, 파급 효과가 내포되어 있다.
- 굴뚝(연돌)없는 무방출 소각로(Zero-Emission Incinerator) 실현으로 인한, 획기적인 환경보전 효과. 민원의 원천 해소로 인한 사회 안정 및 사회적 비용 절감 효과.
 - 탄산가스 활용 산업의 활성화 파급 효과
 - 지구 온난화 원인 물질인 탄산가스 재활용 및 방출 저감에 의한 거시적 국제적 파급 효과

5.5 공정의 신뢰성

본 OECR 공정에 의한 새로운 굴뚝 없는 소각로를 실용기술로 개발할 경우, 그 성패여부 및 기술적, 경제적 신뢰성 여부에 대한 검토 의견을 제시하면 다음과 같다.

(1) 기술적 측면 ;

앞에서도 언급한 바와 같이 본 개발기술은 특수 장치개발이 아닌 공정기술 개발로서, 모든 단위장치는 기존의 입증된 장치 중에서 최적의 것을 선정 적용하기 때문에, 그 실패의 가능성은 전무하다고 판단된다. 다만 공정 구성에 있어 다소의 시행 착오는 운전 경험과 실적에 따라 큰 어려움 없이 시정, 개량 해 나갈 수 있기 때문이다.

핵심 단위장치인 용융-열분해로의 경우, 국내에는 아직 그 상용 실적이 없으므로, 국내 기술이 개발될 때 까지는, 외국에서 그 제조기술을 도입해야 하지만, 국내기술로 개발하는 문제도 함께 추진하면, 큰 어려움을 없을 것으로 사료된다.

(2) 경제적 측면 ;

앞 절 5.4항에 제시한 바와 같이, 시산 결과로는 기존 소각로보다 그 우월성과, 불확실 요인에 의한 위험도도 낮음이 나타났고, 특히 Case-2 의 경우는 탄산가스의 판매가 없어도 기존 소각로 대비 경제성이 유리함을 제시하고 있다. 따라서 최초 시범공장은 액탄공장을 제외한 소각공장만 건설하고, 충분한 운전 실적과 신뢰성을 입증한 연후에, 액탄 공장을 시장성에 맞추어 증

설하는 방향으로 사업을 추진하면 무난할 것이다.

한편, 폐기물을 열분해 후, 합성가스로 정제 - 전환하는 공장도, 상기 시범공장의 용융-열분해로의 운전 실적과 경험에서 다시 한번 재평가하여 추진하면 무리가 없을 것이다.

(3) 사회적 측면 ;

본 공정이 시험 및 시범공장에서, 일단 그 성능이 굴뚝 없는 소각로로서의 가치가 입증만 되면, 그 사회적 파급효과는 재언할 필요 없이 획기적이라고 믿는다.

6. 맺는 말

자원과 환경을 보전해야 한다는 불가피한 시대적 과제를 풀어 나가는 데 있어, 그 본질적 문제와 청정기술의 궁극적 목표 설정을 다시 한번 정립 해 보고, 모든 기술개발의 방향 설정은, 기존의 고정관념에서 과감히 탈피하고, 현실을 직시하는 새로운 인식구조 하에서, 구상하고 개발 해 나가야 하겠으며, 그 과정에서 장애가 되는 기존의 사회적 - 제도적 여건도 과감히 개선해 나가야 함을 다시 한번 정리 강조하면 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) 자원과 환경을 보전하는 청정기술의 궁극적 목표 ; 모든 폐기물은 저공해 처리에서 완전 자원화 처리로 전환

모든 에너지 공급원은 부존자원 위주에서, 재생 자원과 직간접 태양 에너지 자원으로 전환

(2) 기존의 고정관념에서 탈피, 새로운 인식구조 형성 현실 위기에 대한 범 인류적 차원의 실감 있는 공감대 형성

현존 사회의 구조적, 제도적 장애 요인의 과감한 개선

본고의 주제인 "굴뚝 없는 폐기물의 자원화 공정 기술"은, 이러한 관점과 인식의 전환이라는 배경 하에서, 검토 개발한 기술을 하나의 예시로 발표한 것으로

서. 발표 내용 중 미비한 점, 불합리한 점등에 대하여는 기탄 없는 지적과 편달을 바라면서, 그리고 본 개발 사업의 성공적 추진을 위한 각계 각층의 협력을 바라면서 본고를 마무리 짓는다.

참 고 문 헌

(1) 1998년 8월에 발행한 신일본제철 “직접용융 자원화 시스템” 사업안내 자료
 (2) 福木 勤: 廢棄物處理技術; 1998년9월, 增訂 二版.
 (3) 1996년 12월 12일 서울시 주최 국제 세미나 발표 자료
 (4) 熱分解, 熔融一體 시스템 開發事例. 千代田化工(株). 1998.
 (5) George Techobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil. : Integrated Solid Waste Management : 1998년 (翻譯版. 翻譯, 監譯者 代表; 田中勝; 國立公衆衛生廢棄物工學部教授).
 (6) 廢棄物 燒却爐 設計 및 汚染物質 處理技術, 환경부 발행, 1991년 1월.
 (7) 河村長司. ; 燃焼と エネルギー 變換 工學; 1987.
 (8) Joseph G. Singer. : Combustion Fossile Power Plant : Combustion Engineering INC., 1981.
 (9) Kenneth M. Guthrie. : Process Plant Estimating, Evaluation & Control ;
 (10) 飛灰對策. 1998년 7월, (주) エヌ. ティー. エス 發行
 (11) 田中忠良. ; 環境エネルギー工學; 1996년, 4월
 (12) 藤本良規 ; 猛毒 タイオキシソと 處理技術 ; 1998년, 4월
 (13) 環境 통계연감. 환경부 발행, 1998.
 (14) 環境백서. 환경부 발행, 1998.
 (15) 環境白書, 平成 8년, 日本 環境廳 發行
 (16) '98 環境産業 總攬 ; 環境管理研究所.
 (17) 環境學術論文集. 1998년, 제5회, 재단법인 연강재단.
 (18) 環境管理세미나 論文集, 1998년, 제5회, 환경관리 기술사회.
 (19) 環境保全對策事例集, 1998년 3월, 環日本海環境協力센터.

(20) 폐기물 자원화 정보; 1998년. 한국자원재생공사
 (21) 韓日 環境技術 Work Shop. 韓國機械工業振興會 主催, 1998년 10월
 (22) 1997年度 春季總會 特別講演 및 學術研究 發表會. (社) 韓國廢棄物學會
 (23) 第38回 大氣環境學會年會 講演要旨集. 日本(社)大氣環境學會, 1997년.
 (24) 에너지통계연보. 산자부 에너지경제연구원. 1998.
 (25) 火力發電プラント からの CO₂回收システムに 關する 調査(NEDO-P-9109. -9210). 新産業技術總合開發機構(NEDO). 1992. 1993년 발행.