

폐기물 처리, 오염토양복원과 에너지 재활용을 위한 플라즈마 기술

<편집부>

1. 개요

플라즈마 기술은 전기를 이용하는 가열 기술이다. 전기는 인위적으로 만든 플라즈마아크 자체의 전기 저항 때문에 열로 전환된다. 플라즈마는 고체, 액체, 기체상태가 아닌 제4의 물질상태이다. 프라즈마아크는 번갯불 방전과 유사하다. 그러나 번갯불 방전은 아주 짧은 시간동안 유지되는 반면에 최근 프라즈마 토치에서 증명되었듯이, PAC^{*)}는 장시간 - 시간, 날, 달- 유지될 수 있다.

플라즈마열기술은 1898년 유럽에서 처음으로 시도되었지만 직접응용에는 거의 활용되지 않았다. 1959년에서 1964년 동안 플라즈마열기술은 미연방우주국(NASA)에 의해 평가되고 개발되었다. NASA는 우주선을 위해 제안된 '열보호물질'의 유용성을 모의 실험하는데 플라즈마기술을 이용하였다. 케네디 대통령은 미국산업계와 정부기관에 인간을 달에 착륙시키고, 다시 지구로 안전하게 귀환시키는 도전계획을 발표하였다. 그리고 이 도전은 인간이 만든 우주선이 진공의 우주공간으로부터 지구의 대기공간에 재진입할때 직면할 것으로 예상되는 고온 환경으로부터 우주선을 보호하는 것을 포함하고 있었다. [진로 플라즈마의 명예회장인 DR. CAMACHO는 이러한 시도에 1961년부터 1969년까지 캘리포니아에 있는 Mountain View의 NASA 아메스 연구소의 일원으로 참여하였다.]

NASA의 열보호 물질을 실험하기 위한 플라즈마 가열기술 도입은 유럽 기술을 더욱 개발하게 하고 산업공정에 이 기술을 활용하게 하는 활력소가 되었다. DR. CAMACHO는 1969년 NASA를 떠난 뒤 그의 이러한 경력이 플라즈마아크토치의 산업적 활

용가치의 발전, 그러한 제품생산과 환경개선을 위한 플라즈마아크토치의 산업적 활용방법 발전과 개발에 참여하게 되었다.

플라즈마 가열기술의 가장 유망한 특징들로는 1. 물질 안에 화학적, 물리적 변화를 동시에 빠른 발생 속진을 위한 열에너지의 능률적인 전달, 2. 높고 효과적인 공정 온도를 쉽게 얻을 수 있기 때문에 플라즈마 열 이외의 장치에서 요구된 처리온도를 낮추기 위해 필요한 첨가제들의 요건을 제거하며, 3. 저장할 필요 없이 즉시 활용할 수 있고, 저비용으로 전력을 이용하는 것, 4. 플라즈마방법에 의해 생성되는 부산물들은 매우 예측가능하며, 해가 없으며 또한 환경친화적이다.

플라즈마 열기술은 새로운 제품 생산이나, 현존 유해폐기장의 안전하고 효율적인 정화와 자연환경의 복원과 보호에 활용될 가능성을 가지고 있다. 미국에너지청(DOE)^{**)}과 세계 선진국들의 환경 보호청들은 플라즈마 열기술이 폐기물 유리화를 위한 입증된 최적의 기술 중의 하나라는 것을 밝히고 있다. 플라즈마 기술은 유해폐기물 처리와 토양복원, 자원재활용을 위해 가장 적합하다. 그리고 플라즈마기술은 이러한 응용에 경제성이 우수하다.

- 주) 1. PAC : Plasma Arc Column
- 2. DOE : Department of Energy

2. 플라즈마 열분해 용융법에 의한 폐기물처리

플라즈마 열분해/용융공정(PPV)은 다양한 폐기물 처리를 위한 효과적이고 입증된 기술이다. PPV는 도시생활쓰레기, 자동차폐타이어, 병원폐기물, 인조섬유,

종이쓰레기, 침전물뿐만 아니라 같은 폐기물의 다양한 혼합체들이 효과적이고 안전하게 처리될 수 있다는 것이 증명되었다. 그림 I은 혼합 폐기물처리와 혼합폐기물의 에너지회수를 위한 PPV공정의 개략도이다.

플라즈마 가열기나 플라즈마 아크토치의 혼합폐기물 처리를 위한 최저 에너지 요구량(SER)^{*)1}은 폐기물의 유기물성분 여부에 달려 있다. 자동차폐타이어를 처리하는데는 도시생활쓰레기보다 더 많은 플라즈마열이 필요하다. 왜냐하면 타이어가 도시생활쓰레기보다 더 많은 유기물질을 함유하고 있기 때문이다.

여러 가지 조성의 혼합폐기물은 플라즈마 열분해/용융공정과 역방향 전극(R-p)^{*)2} 플라즈마토치에 의해 성공적으로 열분해와 유리화되어 진다. [플라즈마 토치에 대한 보다 자세한 설명은 뒤에 소개된다]

R-p 플라즈마토치는 서로 다른 폐기물 혼합체를 사용 가능한 두 가지 부산물(즉, 연료가스와 유리화된 슬래그)로 전환시키기 때문에 폐기물처리를 위한 유일한 열원이다. 열분해된 연료가스의 성분은 예측 가능하며, 액체메탄올로 전환되거나, 전력발생을 위해 사용되는 합성된 천연가스와 비슷하다. 그리고 다른 부산물인 금속이나 유리화된 암석은 불활성이며 건설자재로 재활용할 수 있다.

액체메탄올을 연료생산공정 공급처인 조지아주에 있는 Hydro-Chem사는 일반적인 도시생활쓰레기 1톤의 열분해로 얻어진 연료가스를 사용해서 거의 60갤런의 메탄올 연료가 발생될 수 있다고 추산하였다. 메탄올 생산을 위한 열분해 연료가스의 다른 사용용도로는 스팀터빈 또는 다른 발전설비의 연료로 사용하여 전기를 생산해 내는 것이다.

PPV공정의 세부사항과 안전하고 효율적인 폐기물의 최종처분을 위한 PPV공정의 적용방법이 설명되어질 것이다. 또한 저준위방사성 폐기물을 안전하고 영구적으로 처분할 수 있는 PPV공정에 대해서 간단히 설명되어질 것이다.

PPV 공정은 특정 폐기물 또는 서로 다른 혼합폐기물을 처분과 재활용을 위한 에너지 회수를 동시에 수행할 수 있다. PPV공정에 의해 회수된 에너지를 다음과 같은 예측 가능한 구성성분을 가지고 있다 : 수소 41-53%, 일산화탄소 26-31%, 이산화탄소 8-10%, 질소 9-16%와 기타 아주 소량의 탄화수소, 불활성 유리성질의 암석들은 TCLP^{*)3} 규정이나 독성물질 시험과정을 통과하였다. 단, 저준위 방사성 폐기물은 제외되며 이 경우에는 특별 취급 및 장기간의 저장이 요구된다.

PPV 공정의 경제성은 열분해가스를 메탄올 연료나

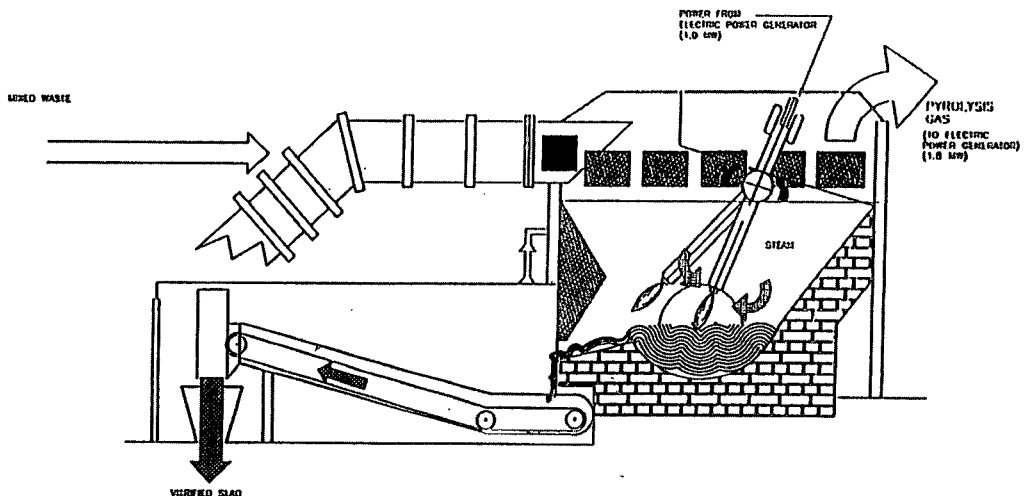


그림 I. MIXED WASTE PPV PLANT

전력으로 전환함으로써 현저하게 향상되어 진다. 예를 들어 플라즈마토치가 약 500Kwh의 전력을 소비할 때 대략 60갤런의 메탄올이나 약 900Kwh의 전력이 1톤의 도시생활쓰레기의 열분해로부터 회수되어질 수 있다. 자동차폐타이어 1톤의 열분해 용융은 보다 많은 플라즈마 토치의 전력이 필요하다. 그러나 폐타이어 1톤당 2,400Kwh 이상의 전력 회수를 가져올 수 있다.

- 주) 1. SER : Specific Energy Requirement
- 2. R-p : Reverse-polarity
- 3. TCLP : Toxicity Characteristics Leachability Procedure

3. 플라즈마 열분해 용융공정

PPV는 유기물을 연료가스로, 무기물은 용융된 덩어리로 전환시키는 이중반응 공정이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 동시 이중 전환공정에 꼭 필요한 것은 저질량 고엔탈피 열원과 열분해에 첨가될 수증기뿐이다. [플라즈마 가열장치와는 반대로 연소가열장치는 매우 고질량과 저엔탈피의 열원을 필요로 한다. 그리고, 연소가열 장치로 열분해했을 때 생성된 연료가스는 - 저질량, 고엔탈피 플라즈마 가열장치의 열분해에 의한 양질의 연료가스와는 달리 - 매우 현저하게 희석된다.]

열분해는 고상 탄화물질을 열에 의한 분해로 기체, 액체, 고체로 전환시키는 것이다. 열분해공정은 다음과 같이 설명될 수 있다.

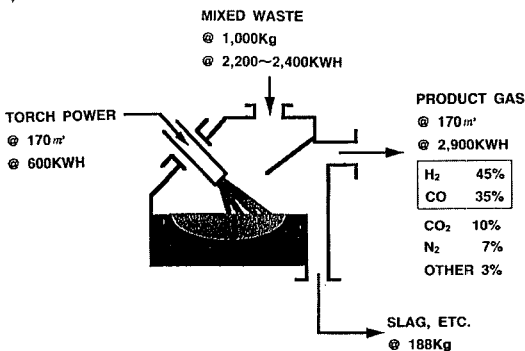
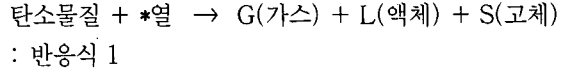


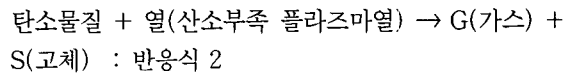
그림 II. PLASMA REFUSE CONVERTER



* 열은 무산소이어야 함.

만일 열이 무산소가 아닐 경우, 탄화물질은 연소되어 폐기물의 잠재열량은 고질량, 저열기체로 전환되어 열분해가스의 잠재열량은 연소가스의 희석에 의해 현저하게 격감될 것이다. 저온에서는 탄화물질의 일부는 액체연료로 전환된다.

열분해공정에서 발생하는 부산가스의 조성은 열분해 온도, 가열 속도, 투입된 열의 엔탈피 그리고 탄화물질 조성에 의해 결정된다. 생성되는 기체, 액체 고체의 상대적 수율은 대체적으로 열원과 원료물질 속에 함유된 화학반응물에 의해 결정된다. 예를 들면, 액체 부산물은 플라즈마 열원천에 의해 열분해과정이 이루어질 때 완전히 제거된다. 그때 반응식 1에 의해 설명되는 열분해공정이 다음의 반응식에 따라 변환된다. :

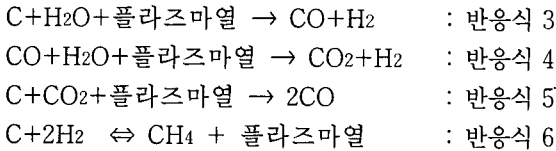


반응식 2에 의하면 탄화수소 물질(예를 들면 종이, 플라스틱, 가죽, 고무, 음식 쓰레기, 폐유, 폐타이어 기타 등등)의 열분해는 액체부산물 생성없이 될 수 있다. 어떤 형태의 탄화물질이나 탄화수소물질을 PPV 반응로에 투입시키면 (고체, 액체, 기체든 간에 상관없이) 최종부산물은 가스와 고체형태가 될 것이다. 유기물은 열분해가스로 전환되며, 무기물은 4,000°C에서 7,000°C의 플라즈마열에 의해 금속 혼합체와 내화성 슬래그로 전환된다. 금속과 슬래그는 냉각되었을 때 고형된다.

고온 플라즈마 가열장치로 열분해하는 동안 높은 온도는 분자들을 작은 조각으로 파열시킨다. 이 파열로 말미암아 분자들은 어지럽게 분산되며, 파열된 조각들은 다른 합성물을 형성한다. 열분해온도가 낮은 때는 액체 부산물이 형성된다. 그리고 재도 형성된다. 그러나 열분해온도가 최적화 되고 수증기를 첨가하면 (실제로는 뜨거운 플라즈마 가열 구역에 강제 투입함) 탄소물질로부터 가장 잘 생성되는 합성물질은

메탄, 일산화탄소, 수소, 이산화탄소, 물분자들이다. 이 때 액체 탄화 수소물질의 생성은 완전히 제거된다.

메탄(CH₄), 일산화탄소(CO), 수소(H₂)와 이산화탄소(CO₂)를 형성하는 주반응은 반응식 3에서 반응식 6까지에서 보여주는 눈에 익은 탄소와 일산화탄소간의 가스화 반응이다.



반응식 3은 흡열반응이며 탄소가 물과 결합하여 일산화탄소로 전환된다. 반응식 4는 눈에 익은 전환 반응식이다. 반응은 단지 이산화탄소가 안정되어 있는 저온 하에서 잘 이루어진다. 높은 플라즈마 온도에서는 이산화탄소는 탄소와 반응식 5에 따라 높은 온도에서 보다 안정한 일산화탄소로 전환된다. 반응식 6에 의한 메탄생성은 대략 400℃까지의 낮은 온도에서 일어나기 쉽다. 400℃ 이상에서는 수소와 일산화탄소가 매우 안정해서 메탄생성이 억제된다.

4. PPV공정의 잔재물과 활용방안

그림 III은 온도와 압력에 따른 특정 C-H-O 시스템의 균형특성을 묘사한다. 그림 III은 약 800℃ 이상에서의 온도에서 수소와 일산화탄소의 안정성과 메탄, 일산화탄소, 물의 불완전성을 보여준다. 평형의 경향은 플라즈마열이 수소와 일산화탄소 생성을 최대화할 수 있는 조건을 보증해 줄 수 있는 열분해온도의

중요성을 잘 보여주고 있다. 열분해의 압력은 별로 중요하지 않다.

그림 III의 묘사에 대한 존슨박사의 예측은 도시생활 쓰레기, 자동차 페타이어, 석탄의 플라즈마 열분해 실제 실험에 의해 이루어졌다. 아래 표 1의 3가지 형태 [도시생활쓰레기 (MSW)^{*)}, 자동차 페타이어 (TIRES), 저 등급 석탄(COAL)의 탄화수소 폐기물의 플라즈마 열분해 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과는 액체탄화 수소 연료가 전혀 발생되지 않음을 보여주었다.

플라즈마 토치의 저질량의 열이 약 2,000℃까지 상기의 탄화수소 폐기물질을 가열하는데 사용되었다. 공정 중에 탄화수소 폐기물의 가열에서 발생된 열 손실의 일부는 열분해반응을 위한 증기발생을 위해 사용되었다. 약 2,000℃의 온도에서 탄화수소 폐기물의 휘발성 물질들은 열분해되거나 빠르게 가스

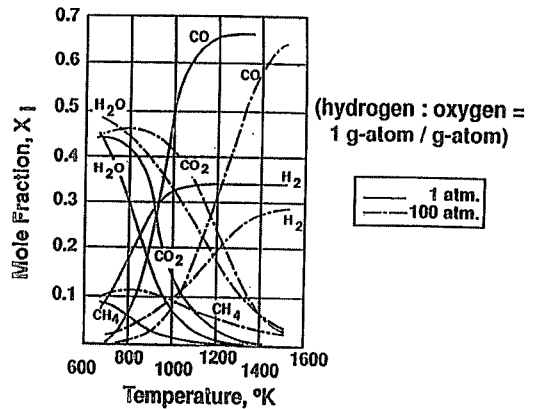


그림 III. EQUILIBRIUM CHARACTERISTICS FOR C-H-O SYSTEM

[표 1]

폐기물	수소(H ₂)	일산화탄소(CO)	CH ₄	C _x H _y	이산화탄소(CO ₂)	발열량 BTU/SCF ◇ MM BTU/TON
도시쓰레기	41	30	3	-	8	282 ◇ 9.0
도시쓰레기	40	30	0	< 1	8	300 ◇ 8.1
타이어	52	27	< 2	-	16	276 ◇ 19.3
석탄	53	39	1	-	1	331 ◇ 23.2
석탄	50	27	2	-	11	247 ◇ 19.7

화 되고, 고정화된 탄소성분은 수증기로 열 분해되었다. 휘발성물질과 고정화된 탄소로부터 생성된 혼합 열분해 가스의 약 65~80%는 수소 - 일산화탄소이다. 나머지는 이산화탄소, 질소의 CxHy 즉 복합 탄화수소이다.

열분해된 부산물은 여러 흥미롭고 값어치 있는 응용에 사용될 수 있다. 열분해 가스는 액체메탄올(CH₃OH)의 생산을 위한 재생가스로 사용될 수 있으며, 직접적으로 가스터빈에 의해 또는 간접적으로 증기 발전기에 의해 전력생산을 위해 이용할 수 있다. 또는 열 분해된 가스는 가정용, 산업용으로 천연 가스, 합성가스와 혼합해서 사용될 수 있다.

1MW 즉, 1,000kW의 플라즈마 아크가열기는 대량의 혼합폐기물 더미 속에 잠기게한 후 작동시킨다. 4,000 ~ 7,000°C의 플라즈마 불꽃은 투입된 혼합 폐기물의 가스화와 용융이 동시에 수행되며 열분해/용융시킨다. 열분해 생성가스는 상향하면서 하향하는 폐기물을 예열, 탈수시킨다. 발생된 수증기는 재활용되거나 강제로 열분해/용융구역으로 보내어 진다. 그리고, 폐탄화수소 열분해를 촉진시키는데 사용된다. [투입된

폐기물을 탈수시키는 PPV공정의 이러한 능력은 특히 습기가 많은 생활쓰레기를 소각하는 나라에서 매우 필요하다. 특히 도시생활 쓰레기에 수분함유량이 많은 아시아국가들에게 필요하다. 많은 수분을 포함한 폐기물은 소각로공정에 적합하지 않다. 왜냐하면 습기가 많은 쓰레기는 소각공정을 원활히 하기 위해 예를 들어 천연가스, 연료기름 등의 다른 보조연료의 투입이 필요하기 때문이다.]

PPV 공정은 대략 530Kwh(또는 180만 BTU 영국열량단위의 에너지) 토치전력과 약 135 파운드의 공기를 토치기체로 사용한다. 혼합폐기물의 유기물을 열분해하면 혼합폐기물이 함유한 총 940만 BTU중에서 900만 BTU를 회수할 수 있다. 회수된 900만 BTU는 약 300BTU/SCF열량을 가진 30,000 SCF 부피의 열분해 가스 속에 함유되어 있다. PPV공정은 약 375파운드의 금속과 유리슬래그의 혼합체로 생성된 유리화된 슬래그를 만들어낸다.

PPV 공정과 고온의 소각로 공정을 비교한 것이다. 1톤의 쓰레기를 소각하는데 약 5,700파운드의 공기(반면, PPV 공정을 가동시키기 위해서는 175파운드의 공기가 필요하다)가 필요

했다. 혼합폐기물의 소각은 650 파운드의 재, 유리와 금속을 발생시켰다. 소각로공정의 온도는 약 600°C이다. 이에 비해 PPV 플라즈마공정은 2,000°C이다.

PPV 공정은 매우 빠르다. 폐타이어가 공정에 투입되고 4분 후를 주목해 보면 생성가스의 조성을 이때 벌써 예측된, 대략 수소 50%와 일산화탄소 25%의 열분해가스를 생산한다. 이 실험에서는 투입된 폐타이어의 어떠한 부분의 연소도 방지하기 위해서 플라즈마 토치가스로는 순수한 질소가스를 사용했다. 플라즈마 PPV공정의 또 다른 생성물은 유리화된 슬래그다.

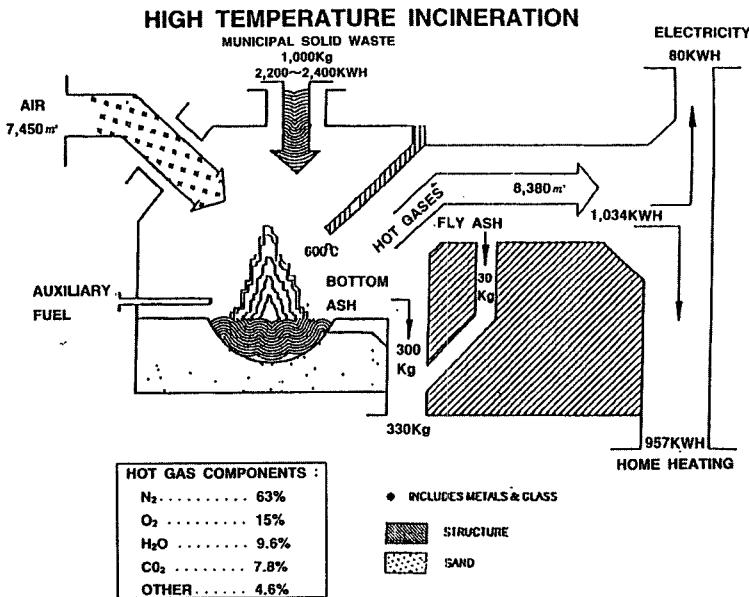


그림 IV. INCINERATOR MASS AND ENERGY BALANCE

유리화된 슬래그는 모든 TCLP기준을 통과한 후 매립지에 버려지거나 도로건설을 위한 건축자재로 사용할 수 있다. 금속혼합물은 재활용될 수 있다. PPV 공정은 여러 가지 다른 폐기물들로 실험되었다.

예:

자동차 잔해(무금속성의 자동차 폐기물)	... 900Kwh per ton
병원폐기물	... 560 - 1,000 Kwh per ton
PCB 기름	... 400- 1,100 Kwh per ton
도시생활쓰레기	... 680 - 1,400 Kwh per ton
[1,000KW 플라즈마토치의 현재자료	
	... 500 Kwh per ton MSW]

PPV 공정은 그 자체 공정에 사용될 전기생산을 위한 전기발전기를 결합시킬 수 있다. 그림 1은 통합된 PPV공정과 발전기의 공정도를 보여준다.

- 주) 1. MSW : Municipal Solid Wasters
- 2. TCLP : Toxicity Characteristics Leachability Procedure

5. 오염토양 복원공법

오염된 토양문제는 미국뿐만 아니라 세계 다른 선진각국들의 매우 심각한 문제로 부각되고 있다. 토양 오염은 도시생활쓰레기 매립지, 방치된 원료저장탱크, 부적절한 폐기물저장과 처리방법 등에서 발생하는 지하수 침출수가 원인이 된다.

PRISM공정은 폐기물 매립지 지하에 밀폐된 파이프 배관을 삽입시킨다. 이 파이프가 예상위치에 도달한 후 1,000Kwh 또는 6,000kwh의 플라즈마 토치를 이 파이프 속으로 내려보내고 플라즈마 불꽃을 점화시킨다. 플라즈마 불꽃은 즉시 뜨거운 불꽃주위를 녹이고 폐기물 중 유기물을 열분해하고 무기물은 유리화시키기 시작한다. 열분해가스는 가스집적시스템에 내보내던가, 전력생산을 위해 사용된다.

매립지 물질들의 열분해/용융과정에 의해 회수된 연료가스는 PPV반응로 내에서 도시생활쓰레기의 열분해로부터 얻어진 연료가스 성분과 흡사하다. 열분해가스를 활용할 수 있는 또 다른 방법은 가스 연료를 연소시킨 뒤 매립폐기물 열분해용융을 위해 설치된 다른 다수의 PRISM 파이프를 예열하는 것이다.

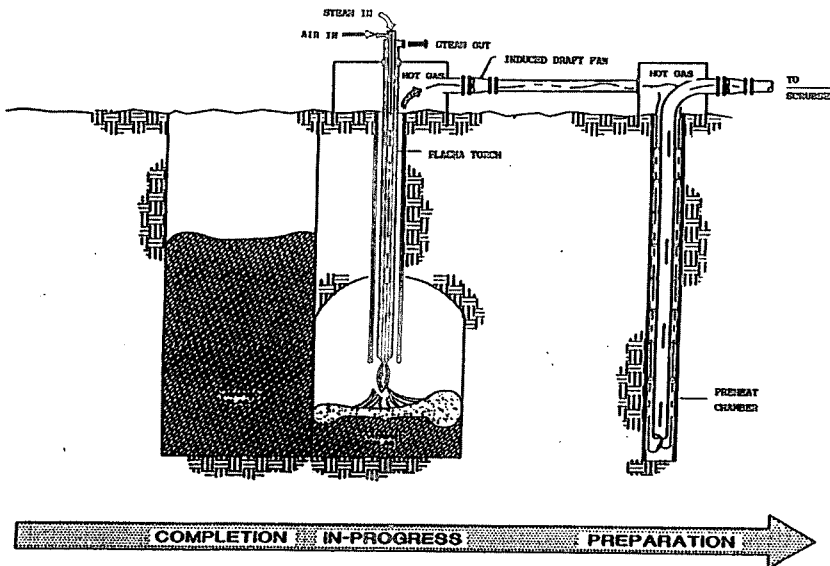


그림 V. PRISM SYSTEM

PRISM은 다양한 오염토양지 - 예를 들어 방치된 연료저장탱크, 화학물저장탱크, 핵폐기물저장소 등 - 정화에 이용될 수 있다. 그림 Ⅶ은 저준위 방사성 폐기물로 오염된 토양의 정화과정을 간단히 묘사하고 있다. PRISM 공정과정은 다음과 같다.

방사성폐기물 오염토양의 정화범위를 정한다. 지정된 오염공간 내에 한 개 또는 몇 개의 파이프를 삽입한다. 오염토양의 완벽한 정화처리를 위하여 파이프는 지정된 오염한계보다 더 깊이 삽입시킨다. 플라즈마 토치를 파이프 안에 넣고 가동시킨다. 플라즈마 불꽃은 그 주위의 가열, 용융시키며, 오염토양 속으로 용융범위를 확장시켜 나간다. 용융된 구역의 크기는 플라즈마 토치의 전력과 플라즈마 토치가 특정 깊이에서 머물러 있는 시간에 따라 결정된다. [실험경험에 의해 용융된 구역의 직경은 파이프배관 직경의 3~6배가 됨을 알 수 있다. 지속적인 실험을 통해 파이프 직경보다 더 넓은 용융범위의 확장가능성을 확신할 수 있을 것이다.]

지정된 범위의 용융이 다 이루어 졌을 때, 플라즈마 토치를 위로 올려 용융공정을 반복 진행한다. 이러한 이동과 용융과정은 용융된 토양이 언어질 될 때까지 반복한다. 용융 복원과정은 오염된 범위 내에서 용융된 구역이 인접한 용융기둥과 접해서 균일하게 유리화된 토양이 형성될 때까지 반복한다. 유리화된 토양

은 오염물을 고정화시킬 것이다. 특히로 보호된 PRISM공정을 사용함으로써 오염지에서 조업하는 운전자들이 오염물질에 불필요하게 노출됨이 없이 토양을 복원 개선될 수 있다.

PPV와 PRISM 공정은 저준위 방사성폐기물(LLRW) 처리에 적합하다. PPV는 원자력공장의 LLRW²¹¹ 처리에 이용할 수 있다. LLRW의 내용물 분석은 이것이 저준위 방사성폐기물 성분을 포함하고 있다는 것을 제외하고는 도시생활쓰레기와 매우 유사하다는 것을 보여준다.

지난 1989년 조지 워과 데니스 빅포드가 TECHNOLOGY REVIEW에 쓴 "고준위 핵폐기물의 대한 몇 가지 할 일, 유리화(용융화)에 대한 진술", 이라는 제목의 기사는 핵폐기물 처리문제에 대한 영구해결책을 약속하고 있다. Mr. Wicks 과 Mr. Bickford는 안전하고 영구적인 방사성 폐기물처리 공정개발에 참여했다. 이 공정은 방사성폐기물을 붕소유리와 섞은 후 그 혼합물을 고온열원을 사용해서 유리화하는 것이다. 이 물질이 냉각되었을 때 유리화된 생성물은 매우 적은 용출특성을 지닌 안정된 고체로 전환된다.

안정된 방사성 유리화고체는 부식성을 지닌 지하수에 의한 용출실험이 실시되었다. 6개월간의 용출실험 후에 지하수에 의해 추출된 세슘과 스트론튬의

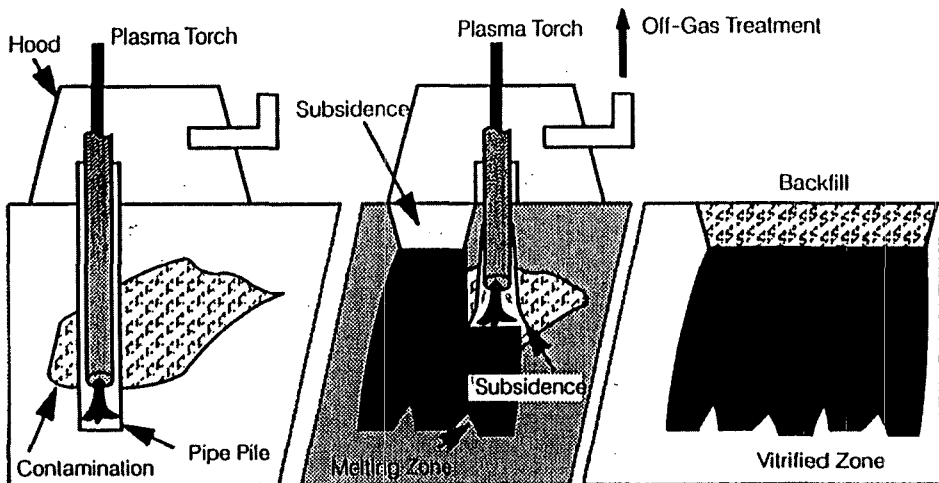


그림 Ⅶ. PRISM

양이 1평방미터 당 단지 0.02g으로 매우 낮게 나타났다. 플루토늄 양도 0.005g/m²로 이와 비슷하며, 이는 고농축폐기물의 소각을 위한 NRC^{*)}의 규정 최소치보다 100배나 낮은 수치였다.

Wicks 과 Bickford에 의해 설명된 공정에서는 붕소 유리, 붕소산과 모래의 혼합체는 유리화공정의 첨가제로 선택되어 졌다. 첨가제는 원하는 유리화물질 특성들 - 예로,

1.서로 다른 폐기물 성분과 결합을 위한 용통성, 2.균열에 대한 저항, 3.고온에서의 내구성, 4.화학적 내구성, 5.고농축방사성 폐기물이 내뿜는 방사성 하에서의 내구성-을 고려하여 선택된다.

최근 플라즈마용융법 실험 결과에 의하면 다른 귀소산화물, 금속의 산화물과 내화물질이 붕소유리보다 첨가제로 더 적합하다고 밝혀졌다. 플라즈마아크토치는 어떤 형태의 폐기물과 거의 어떤 물질의 첨가제도 가열하고 유리화할 수 있는 4,000~7,000°C의 고온에너지를 전달하는 능력이 있다. 플라즈마열기술만이 갖는 이런 독특한 능력은 특히 공정기술과 안전에 대한 고려, 방사성폐기물처리의 경제성 향상을 가져올 것으로 기대된다.

우리의 견해로는 방사성폐기물 처릴 위해 플라즈마 열기술을 이용함으로 첨가제의 필요성을 완전히 제거할 수 있다. 또는, 보다 강력한 플라즈마 토치의 사용으로 서로 다른 형태의 방사성폐기물의 혼합산화물(예를 들면 광산과 공장폐기물, 폐연료봉, 병원 폐기물, 보호복과 연장, 농축폐기물 등)은 핵폐기물의 방사성 위험을 영구적으로 고형화 시킬 수 있는 유리화된 생성물로 플라즈마 유리화될 수 있는 것이다.

주) 1.LLRW : Low Level Radioactive Wastes

2. NRC : National Research Council

6. 플라즈마 열기술

플라즈마 열기술은 새로운 산업용 열처리 방법이다. 플라즈마 가열기는 흔히 아크방전이라고 알려진 프라즈마 방전을 발생시킨 뒤 유지함으로써 열을 발생시킨다. 그리고 플라즈마가열기는 전기저항선으로

간주되는 전기를 통과시키는 플라즈마아크기둥(PAC)의 전기 저항을 이용해서 거의 모든 기체(예: 공기, 산소, 질소, 아르곤, 헬륨, 수소 등...) 속에서 전기를 열로 전환시킨다. 아주 미량의 기체만이 열을 발생시키는 데 사용된다. -석탄, 기름 또는 천연 가스 연료를 사용하는 연소에 필요한 기체량 약 2 ~ 5% - 플라즈마 가열에 사용되는 미량의 기체량은 플라즈마가열장치로 하여금 효율적인 공정을 위한 고온을 공급시킬 수 있게 하고, 또한 물질을 처리하는데 빠르고 완전한 물리·화학적 변화를 야기시킬 수 있는 고엔탈피 또는 고열에너지를 공급시킬 수 있게 한다.

물리적 변화의 예로는(용융) 그리고 유리, 금속산화물, 흙, 기타 무기물질의 응집을 들 수 있다. 화학적 변화의 예로는 탄화수소의 기타 유기물의 열분해와 가스화를 들 수 있다. 유리화의 수증기를 이용한 열분해는 플라즈마로 가열된 공정안에서 동시에 수행된다. 수증기는 열분해/유리화 되는 플라즈마 가열구역에 강제적으로 투입되어야만 한다.

플라즈마토치는 전극들, 선회가스투입기, 냉각수 통로, 절연체들을 기능적이고 매우 효율적인 전기가열기로 통합시킨 원통형의 스테인레스 튜브이다. 원통형의 전극들은 절연체와 선회 가스투입기를 사이에 두고 축방향으로 몇mm 간격으로 떨어져 있다. 선회 가스투입기는 전극들 사이로 공기 (또는 공정이 적절한 다른 기체나 혼합기체)를 불어 넣는다. 투입된 기체는 전극내부 아크접촉점을 회전시켜 전극의 수명을 연장시킨다.

그림 VII은 흔히 사용되고 있는 두 가지 형태의 플라즈마 토치를 보여주고 있다. ; 왼쪽에는 전화아크토치(XF)^{*)}이고 오른쪽에는 비전화아크토치(NXF)^{*)}이다. 그림 VIII의 후방전극에 양극, 전방전극 또는 시준기에는 음극이 연결된 것을 보여준다. 이와 같은 것은 역전극 연결이라고 불리고, 반면 단 토치는 후방전극에 음극을 연결 하는데 이는 표준전극 플라즈마 토치라고 부른다. 여러 산업용에 사용되는 플라즈마 토치의 열효율은 대략 85 ~ 92% 이다. 플라즈마 토치에 투입된 총전력의 약 8 ~ 15%는 냉각수에 흡

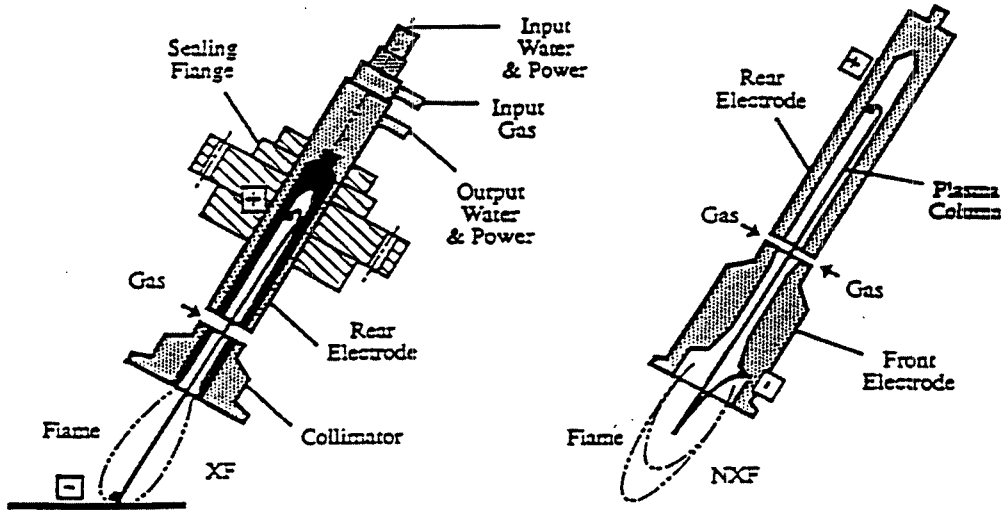


그림 VII. Reverse Polarity Plasma Torch

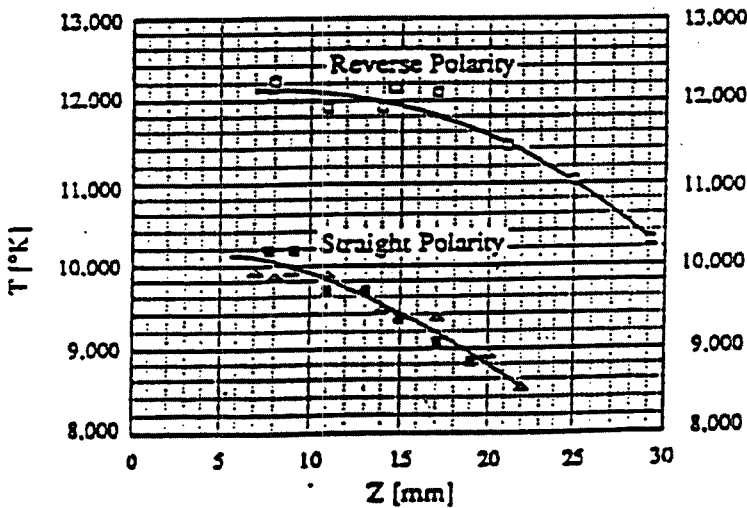


그림 2. Profile of Flame Temperature

수된다. 플라즈마 토치에 의해 공정에 전달된 열에너지는 가장 효율적인 열전달 방법중의 하나다. 아주 적은 기체질량만이 토치에 의한 열전달에 참가한다. - 같은 열에너지를 전달하는 연소로에 필요한 기체 질량의 약 2% ~ 5%.

플라즈마열의 엔탈피는 가열된 물질을 보다 빠르고 보다 완전한 물리적·화학적 변화를 촉진시킨다.

이같은 저질량 가스 사용은 유리화 되어질 폐기물 속에 플라즈마불꽃을 잠기게 함으로써 어떤 특정한 응용에 활용되어진다. 예를 들면 혼합 쓰레기 열분해, 소각재나 다른 미립자들의 유리화(예: 전기로 분진 등)를 할 때, 플라즈마불꽃은 혼합쓰레기나 소각재 또는 다른 미립자 더미 밑에 잠긴다.

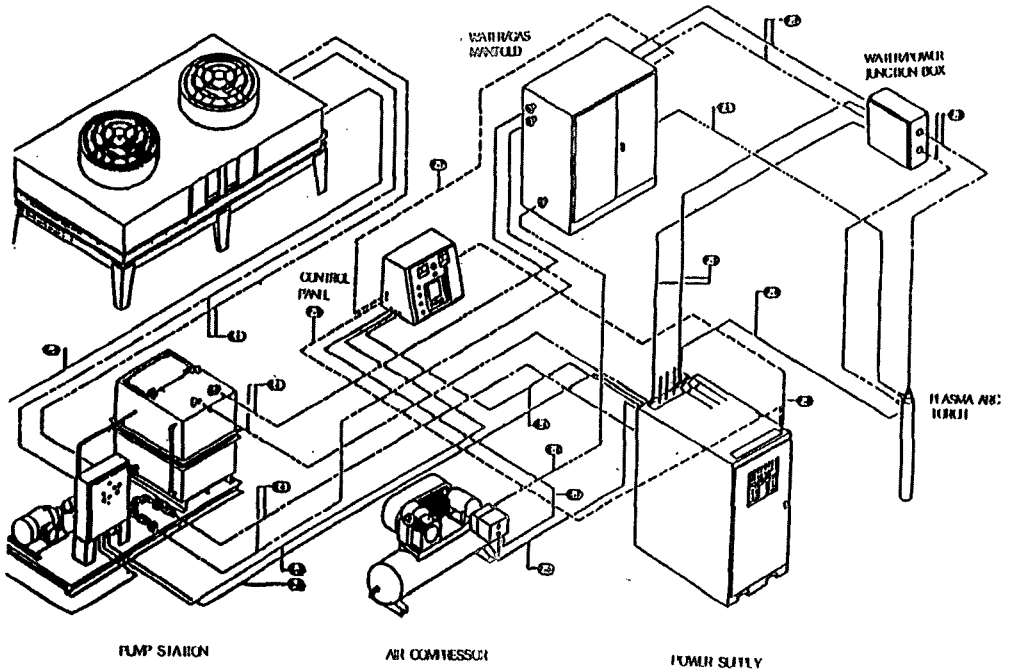


그림 VIII. Plasma Heating System(PHS)

- 주) 1. XF : Transferred Arc
- 2. NXF : Non-Transferred Arc

7. 요약

플라즈마 가열기술을 이용한 산업 응용방법 두 가지가 소개되었다. : 1) 폐기물 처리와 에너지회수를 위한 PPV, 2) 매립지와 유해물질로 오염된 토양의 복원을 위한 PRISM. PPV와 PRISM을 이용한 산업공정은 폐기물로부터 에너지회수와 매립지 정화에 매우 적절하고 시기에 맞는 신기술이다.

매립지 복원과 오염토양정화의 경제적인 평가는 아주 고무적이다. 유해물질을 이동함이 없이 원위치에 그대로 둔 채 처리하기 때문에 획기적인 경비절감을 할 수 있다. 원위치에 둔 채 폐기물을 처리하는 것은 작업자에 유해물질이 노출되는 것을 제거 또는 최소화할 수 있고 또한 처리비용을 상당히 경감할

수 있다.

PPV 공정은 다양한 폐기물을 처리하는데 아주 적합하다. 만일 폐기물 안에 유기물이 들어있으면 발생된 열분해가스는 회수되어 플라즈마토치에 사용될 전력생산에 이용할 수 있다. 도시폐기물 처분에 이용될 때는, PPV 공정은 폐기물처리에 소모되는 것 보다 거의 두 배의 전력을 폐기물로부터 회수한다. PPV 공정을 사용함으로써 폐기물처리비와 잉여전력 판매에 대한 수입이 얻어진다.

미환경청, 에너지청은 플라즈마 아크열기술이 폐기물을 유리화하는데 입증되고 활용할 수 있는 가장 적절한 기술(BDAT) 중 하나임을 확인했다.

- 주) 1. BDAT : Best Demonstrated Available Technology