

고등기술연구원 창립9주년 기념

“가스화/소각 용융로 시연회” 개최



지난 7월 13일 아주대학교 에너지시스템연구센터에서 “가스화/소각 용융로 시연회”가 열렸다.

다음은 시연회에서 발표한 내용이다.

- ▷ 가스화 · 소각 용융로 연구 개발의 개요
- ▷ 석탄 가스화 용융로 기술개발
- ▷ 액상폐기물 가스화 용융로 기술개발
- ▷ 슬러지 소각 용융 기술개발

지면관계상 “액상폐기물 가스화 용융로 기술개발” 내용만 옮깁니다.

편집자주

액상폐기물 가스화 용융로 기술개발

고등기술연구원 Plant Engineering 센터

1. 기술개발의 배경 및 특징

가스화용융기술은 주로 에너지분야에 적용되어 개발되어 온 기술로서, 최근에 이르러 스위스, 독일, 일본 등을 중심으로 폐기물분야에 적용하기 시작한 분야이다. 본 기술은 폐기물과 같은 저급의 시료로부터 연료가스 형태로 에너지를 회수함과 동시에 잔류물인 무기물(회재)을 환경적으로 무해한 슬래크로의 재활용이 가능하도록 처리하는 복합기술이면서 환경/에너지/자원 문제에 동시에 접근이 가능한 기술이다. 폐기물 분야에 적용하는 가스화용융기술은 향후 폐기물처리의 잔존 에너지 재활용 측면과 다이옥신 발생이 없고 SOx/NOx 발생도 현저히 감소시킬 수 있는 환경적합적인 측면을 볼 때 시급히 국내의 기술경쟁력을 갖추어야 할 분야이기도 하다. 특히, 저급의 시료(폐유 등)나 폐기물(도시쓰레기, 산업폐기물 포함)로부터 시료 중의 에너지를 고급의 에너지로 전환시킬 수 있는 가스화용융기술의 확보는 부존 자원이 없는 우리나라에서는 핵심기반 기술로 개발 되어야 하는 현황이다. 기술개발에 대한 배경과 기술의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 현재 각종 산업에서 배출되는 가연성폐기물은 주로 소각처리후 매립되고 있음.
- 함중금속 무기물(회성분)의 매립시 중금속의 침출은 토양 및 지하수의 오염 원인이 되고 있으며, 따라서 매립이 금지되는 추세임.
- 소각처리시 발생하는 다이옥신 등의 독성 폐기물이 배출되고 있음.
- 폐기물 안정화 용융기술은 기존의 알려진 고형화나 퇴비화 방법과 차별되게 자체 소각열을 활용하여 폐기물 내의 환경유해한 중금속, 무기물질들을 근본적으로 안정화시켜 침출을

방지하는 기술로 안정화된 물질은 건축골자재, 노반재로 사용하므로 자원재활용도 가능함.

- 기술의 주요 내용으로는 고온반응로 설계기술, 시료조성 변화에 따른 운전기술, 용융슬래크의 유동성 유지 및 크기/강도 제어기술, 균질결정화 제어기술 등이 있고, 가장 중요한 기술의 핵심사항은 얼마나 시료내 자체발열량을 효율적으로 사용하여 중금속 성분들을 안정화 시키느냐임.
- 중금속 등이 포함된 회재의 용융은 고온에서 수행되므로 폐기물 소각시 발생하는 다이옥신 등의 독성폐기물을 분해시킬 수 있음.
- 이 기술은 원자력폐기물의 안정적 처리기술로도 활용될 수 있으며, 이때는 불균일한 조성의 발생으로 인한 hot spot이 없도록 하는 것이 기술의 핵심임.

개발기술의 화학반응과 반응기 형태 측면에서의 특징은 다음과 같다.

- 고온반응이므로 독성유기물의 완전분해: 기존 소각방식에 비해 환경호르몬이 배출 안됨.
- 폐기물 내의 가연분은 CO, H₂로 전환시켜 활용: 발전, 연료, 화학원료, 연료전지 원료 등으로 활용 가능.
- 불연분은 용융 슬래크화 하여 환경적으로 무해한 전자재 등으로 활용.
- 가스화와 용융을 1개 반응로에서 진행: 열손실 최소화하여 보조연료/산화제 사용 최소화.
- Compact 한 시스템: Fixed-bed 형태가 아닌 Entrained-bed 형태.

이러한 핵심기술을 바탕으로 본 연구실이 기보유한 고온 가스화용융 반응로기술과 시스템설계기술을 결합시켜 폐기물중 분류층(entrained-bed)형태로 처리가 가능한 대상물(예: 폐수슬러지, 오티류, 폐유, 폐유기용제)에 적용하는 공정기술을

개발하는 것이 목적이다.

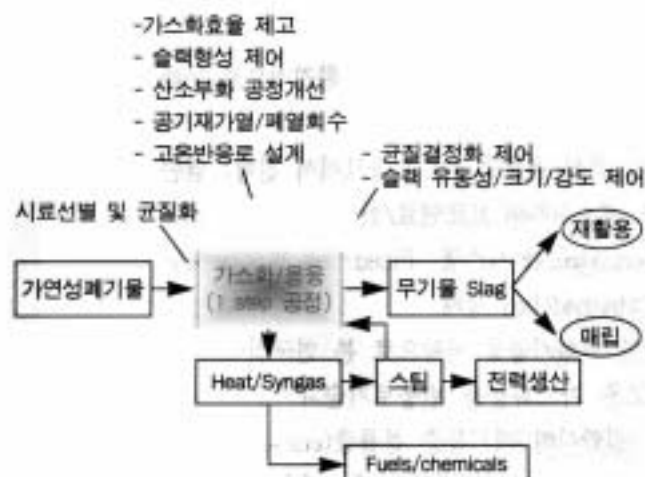
2. 연구의 여러 측면별 배경

국내의 기술개발이 요청되는 배경은 우선 다음과 같이 요약될 수가 있겠다.

- 국가 폐기물 처리정책 방향: 청소(Cleaning) → Recycling Minimization 쪽으로 추진
- 매립, 소각을 통한 최종처리는 최소로 하려는 추세.
- 폐기물의 연소/가스화 후의 잔류물인 무기물은 환경적으로 무해한 슬래그(slag)으로 처리하지 않으면 지하수 중금속오염 등의 환경문제 발생함.
- Dioxin 등의 환경친화적 처리를 위해서는 고온용융시스템이 유리하나, 비용면에서 저렴한 시스템 기술개발이 요구됨.
- 가스화용융기술은 선진국에서도 최근에야 기술개발이 완료되어 실증단계에 있으므로, 국내 축적된 기반 기술을 종합화하면 국내기술 자립을 이룰 수 있고 상업적 경쟁도 가능함.

1) 기술적 측면

폐기물 고형화기술 중 용융 안정화를 위해서는 플라즈마 이용, 전기 아크로 이용 기술들과 고화제 사용 등의 여러 기술이 활용되고 있으나, 전기소모량이 많아 비용이 많이 들거나 장기간 저장시 일부 중금속이 고형체로부터 유출되는 등의 장기안정성 때문에 이들 기술들은 근본적



[그림 1] 가연성폐기물의 처리기술 제동 및 핵심기술

인 한계성을 안고 있다. 본 센터가 보유하고 있는 가스화 및 용융기술은 기존 두단계인 가스화+용융을 1단계로 축약하여 compact한 반응기에서 반응이 급속히 완결되도록 되어 있고 시료의 자체발열량을 연료가스로 최대 회수하여 활용하는 방식([그림 1] 참조)이므로 충분한 경제적 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 판단된다.

폐기물 내 중금속 성분을 최소의 에너지 투입으로 용융시키는 기술은 국내의 폐기물에 대한 소각 비중의 현격한 증가추세로 보아 외국에서 도입하던지 아니면 국내에서 꼭 확보하여야 하는 기술이다. 이러한 고체의 고온용융기술은 고유황 함유의 석탄 및 정유공장 잔사유(heavy residual oil)로부터 에너지를 가장 효율적이면서 환경적합적으로 활용하는 기술의 근간이 되고 있고, 차세대 폐기물 처리기술인 가스화용융 방법의 기반이 된다. 저렴하게 구입할 수 있는 외국의 많은 원유나 한전에서 도입코자 하는 orimulsion 등의 시료들은 모두 유황을 5~6%까지 대량으로 함유하고 있으므로 기존의 연소방식에 의해 처리하는 것은 탈황설비 비용상 불가능하게 되어, 고체는 용융시키면서 유기물은 불충분한 산소하에서 가스화하는 방향으로 기술이 진보하고 있다. 이러한 가스화용융 분야에서 가스화와 고온 용융기술은 필수적 기반기술로서 필요하다. 고온 용융기술이 일반적으로 알려지기는 제철공장에서 이미 오랫동안 성공적으로 사용되고 있으므로 기술연구의 개발 필요성에 대해 문제가 제기될 수도 있으나, 본 연구팀에서 환경분야에 적용하는 용융기술은 제철공장에서와 같은 고정층 형태가 아니고 compact한 형태의 분류층(entrained-bed) 형태로서 반응시간이 2~4초에 그치는 첨단 고온 반응기법이다. 따라서, 선풍같은 장소가 협소한 곳에서의 폐기물처리에도 활용될 수 있고 도시지역에서도 큰 부지가 필요없게 되는 방식이다.

가연성폐기물을 대상으로 하는 일반적인 가스화용융로의 기술에서 아직 개발되어야 할 분야와 취약기술은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- Dioxin 등 공해가스 완전제거의 문제점: 가연성폐기물의 상당 부분은 페플라스틱이 차지하고 있는데 염소성분이 함유된 PVC 등이 기존의 연소방식에 의해 처리되는 경우에는 다량의 dioxin이 생성되어 고가의 후처리 설비가 필요하게 된다. 따라서 dioxin의 형성이 어려운 고온에서 반응이 이루어지게 되어 dioxin의 생성자체를 방지하는 새로운 형태의 반응 형태가 요구된다. 일반적으로 연소가스를 급냉시켜

dioxin의 생성을 방지하고 있으나, 열에너지의 회수 측면에서 보면 비경제적이므로 선진국에서는 주로 고온 가스화 용융쪽으로 기술이 전이하고 있다.

- 회재와 중금속 성분간의 용융결합 mechanism 지식 부족: 시료별 중금속 성분별로 휘발성, 유동점, 구조간 결합력 등에 대한 기반 mechanism이 규명되지 못한 현황으로서, 범용의 기반기술로 용융기술을 확보하기 위해서는 필수적인 분야이다.
- 기존 소각방식의 중금속용출 문제점: 가연성폐기물 내의 비가연성 성분을 기존방식에 의한 연소처리 후에는 잔유물이 용출에 의해 지하수 오염문제가 발생하고 있다.
- 비가연성 성분의 용융을 위한 외부에너지의 최소화 어려움: 외부열원을 최소화하고 자체열량을 최적으로 활용하는 기술이 아직은 부족하여 실용화를 위한 경제성 문제에 약점이 있어서 이에 대한 기반기술이 필요하다.
- 용융물질의 연속흐름 유지기술 부족: 위에 기술된 중금속/회재성분간 온도에 따른 결합 mechanism의 이해와 연관된 내용으로서, 용융기술의 가장 근본이 되는 핵심기술이다. 만약 잠시라도 용융물질의 유동이 정체되면 반응로가 막히는 문제가 발생하여 전체 공정의 shut-down이 발생하므로 이에 대비한 반응기 설계가 중요하다.
- 가스화용융용 순수 산소 소모량 저감기술 부족: 연관된 해외 기술들은 모두 순수 산소를 사용하여 고온을 유지시키는데 수백톤/일급의 대용량설비에서는 가능하나 국내현실에 맞는 중소형 규모에서는 경제성을 위해 순수 산소의 소모량을 줄이던가 산소부화 공기로 대체하는 기술이 확보되어야 한다.

2) 경제·산업적 측면

현재 대부분의 폐기물 처리방법으로는 매립과 소각에 의존하고 있으나 매립은 토양의 오염 및 매립지 부족 등 장기적으로 문제가 많고, 소각은 폐기물의 감량에는 효과적이거나 소각시 독성유기물인 다이옥신 같은 2차오염을 야기시키고 소각잔재는 다시 매립하여야 하므로 이때 중금속 침출에 의해 지하수의 오염이 우려되기도 한다. 증가되는 폐기물을 다이옥신 등의 환경호르몬 발생이 없게 처리하면서 동시에 에너지를 회수하는 기술은 고온 가스화용

융 기술이 가장 현실적이다. 단지 경제성을 어떻게 확보하느냐가 관건인데, 본 가스화용융기술은 장치가 compact하고 소요에너지가 최소화되므로 경쟁력이 있고, 향후 고유황 저급연료의 가스화 용융적용과 중·저준위 원자력 폐기물의 처리에도 핵심이 될 수 있는 기반기술이다.

고온 가스화용융 기술은 향후 환경분야에서 고부가가치적 처리의 근간을 이루는 기술로 현재 독일, 스위스, 일본이 가장 앞서서 연구투자를 하고 있고 '90년대 말부터 본격 상용화 적용이 이루어지고 있다. 그러나, 국내폐기물의 특성이 외국의 경우와 다르기 때문에, 이때까지의 외국기술을 그대로 도입할 때마다 거쳤던 시료특성 차이에 의한 문제점을 근본적으로 해결키 위해서는 국내의 기존 기반기술을 근거로 하여 공정기술의 개선 및 개량이 이루어져야 하며 그레야만 국내업체에서도 신기술의 적용에 따른 고부가가치를 창출할 수 있을 것이다. 가스화용융기술은 용융소각기술에 비해서도 폐기물내의 에너지를 최대한 회수하여 활용하는 시스템이므로 더 앞선 기술이며, 가연성폐기물의 처리를 위해서는 국가적으로 확보하고 보급하여야 할 환경분야의 기반기술이다.

3) 사회·문화적 측면

향후 국내의 폐기물에 대한 환경규제치는 점차 강화될 수밖에 없으며 중금속이 함유된 고체폐기물의 경우는 특히 장기간 보관 및 매립시에도 문제가 없음을 확실히 하여야 매립지나 소각로의 건설이 가능해지는 추세로 가고 있다.

〈표 1〉에 나타난 환경부자료를 보면 용융기술의 대상이 되는 폐기물인 폐수오니류와 폐유, 폐유기용제 등은 매년 크게 증가하고 있고 이들 폐기물의 처리에 있어서 단기적인 고화재나 퇴비화 등의 단기적인 대책보다는 환경적합적인 근본적 기술이 필요한 시점이라 하겠다. 현재 다이옥신, 환경호르몬 등의 문제가 계속 대두되는 것과 관련하여 외국의 폐기물 처리방식 예를 보더라도 점차 고

(톤/일)

폐기물 구분	종 류	'92	'93	'94	'95	'96	'97
일 반	연소재/분진류	10,826	13,431	9,257	10,802	11,907	11,889
	오니류	1,166	2,439	10,631	11,460	16,813	19,730
지 정	폐유/폐유기용제	-	-	1,047	1,405	1,726	1,781
	오니류	-	-	260	241	227	320

〈표 1〉 사업장폐기물의 국내발생량 추이 (환경부 자료)

은 용융 처리쪽으로 옮겨가고 있는 것을 알 수 있다. 본 기술은 향후 5년후 50톤/일급 설비에서 톤당 4~7만원의 운영비를 목표로 하고 있다. 또한, 용융에 의해 생성되는 슬래크를 골재 등으로 활용하는데 따른 자원재활용 측면이 실증설비에서 검증되면 기술의 수요는 더욱 크게 증가할 것이다.

폐유의 경우는 국내 발생량의 대부분이 재활용되고 있으나 재활용유를 생산하고 남는 잔유물의 처리와 고유황이 함유된 재활용유의 경우는 사용시 다시 SOx 발생과 같은 환경문제를 야기시킬 수 있는 반면, 가스화반응을 통하여 시료 중의 유황성분은 H₂S 가스로 발생하게 되므로 대규모 설비의 경우에는 Claus공정을 거쳐 elemental sulfur나 황산으로 판매가 가능한 제품을 생산할 수 있게 된다.

〈표 2〉의 환경부 자료에 따르면 '97년도 폐기물 처리방식 중 소각은 일반 폐기물의 경우 4.9%, 지정 폐기물은 17.6% 였는데, 이 중 중금속의 오염문제를 근본적으로 해결해야 하는 지정 폐기물의 소각 비중은 매년 증가하는 추세에 있고 생활 폐기물의 소각 비율은 매년 크게 증가함을 볼 수 있다. 〈표 3〉에서 보듯이 국내의 생활폐기물에 대한 소각비중은 아직 선진외국에 비해 현저히 낮은

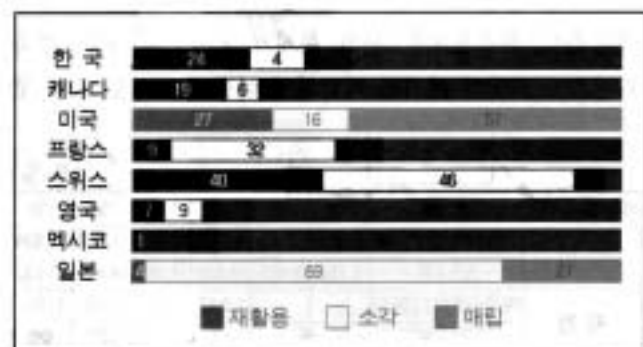
수준에 있으므로, 현재 매립되고 있는 상당부분의 폐기물이 향후에는 점차 소각으로 처리될 것이라는 방향을 알려주고 있다. 그러나, 단순 소각에는 필히 소각재가 발생되고 여기에는 모든 중금속 등 환경오염을 야기시킬 수 있는 무기물들이 농축되어 있게 되는데, 이에 대한 환경적 합적 처리 기술에 대한 필요성은 계속 증가할 것이다. 단순 소각에 의해서만은 향후의 중금속 오염 문제에 제한적 이므로 연소용융 반응을 통하여 폐기물 중의 중금속문제를 근본적으로 해결하고자 하는 것이다. 본 연구실의 기반기술을 통하여 폐기물 중의 중금속 문제를 근본적으로 해결하고자 하는 것이다. 본 연구실의 기반기술을 통하여 폐기물의 처리 가격을 경제성 있도록 실현할 기술만 정립되면 국내외 시장은 10년 내에 현재의 10배 이상 규모로 성장할 것으로 판단된다.

현재 국내의 수준은 외국(주로 일본과 독일)과의 기술 제휴를 통해 기반 기술을 들여온 후 국내 폐기물 성상차이에 따른 6개월~1년 이상의 운전 시행 오차를 거쳐 사용하고 있는 실정으로서, 앞으로 폐기물에 대한 소각 비율이 크게 증가하는 상태에서는 외국기술의 중간진입전략에 의한 도입과 개량에도 노력해야 할 시점으로 보인다. 국내에서 이미 갖추고 있는 기초/용융기술 기반을 잘 활용한다면 외국기술을 뛰어 넘는 새로운 형태의 용융기술도 가능할 것이다.

〈표 4〉에서 보듯이 폐기물 처리비용이 높은 유럽에서는 용융소각, 가스화를 환경 폐기물에 활용하는 기술이 상용화 단계에 일부는 접어들었으나, 우리나라 같은 아시아

구 분		'92	'93	'94	'95	'96	'97
생활 폐기물	매립(%)	89.2	86.2	81.1	72.3	68.3	63.9
	소각(%)	1.5	2.4	3.5	4.0	5.5	7.1
	재활용(%)	7.9	11.4	15.4	23.7	26.2	29.0
	기타(%)	1.4	-	-	-	-	-
사업장 폐기물	일반	매립(%)	41.8	31.4	34.2	32.6	28.5
		소각(%)	1.8	1.9	4.6	5.9	4.9
		재활용(%)	56.4	66.7	61.2	61.5	66.3
		기타(%)	29.0	20.7	7.9	4.9	7.3
	지정	매립(%)	12.9	14.7	15.5	15.5	13.4
		소각(%)	47.4	50.3	48.8	46.2	46.4
		재활용(%)	10.7	14.3	27.8	31.4	32.9
		기타(%)					

〈표 2〉 국내폐기물 처리실태 추이 (환경부 자료)



〈표 3〉 국가별 '95년도 생활폐기물의 처리형태 비교 (OECD 자료)

제작업체(국가)	공정	현재단계	규모(설치국가/Converter)	현황
Siemens(독일)	용융 소각	상용화 단계	150,000(독일)	Commissioning trials
			80,000(일본)	Preliminary contract 실패
			25,000(일본)	Preliminary contract 실패
			150,000(스위스)	Contract awarded
Thermoselect(스위스)	가스화용융	상용화 단계	30,000(이탈리아)	Operation
			225,000(독일)	Construction started
			75,000(독일)	Construction started
			100,000(일본)	Operation
Van der Hout(스위스)	용융 소각	상용화 단계	6 T/h(독일)	In Commissioning
Andco-Tomas(프랑스)	가스화용융	상용화 단계	81~400 T/Day(독일, 프랑스, 일본, 미국)	Operational
Nippon Steel(일본)	가스화용융	상용화 단계	100~450 T/Day(일본)	Operational
Pyrolyse Kraft Anlagen(독일)	가스화용융	상용화 단계	25,000(독일)	Operational
			20,000(독일)	Operational
			30,000(독일)	Operational
Höpfer(독일)	가스화용융	상용화 단계		Contract awarded
Compact Power(영국)	가스화용융	실험단계		
Proser(미국)	용융 소각	상용화 단계		
Lurgi(독일)	용융 소각	실험단계		
NKK(일본)	가스화용융	실험단계		

〈표 4〉 도시 폐기물의 연소용융 및 용융가스화 처리 현황

지역에 적용하기 위해서는 아직 가스화용융 기술이 기존 grating 방식 및 유동층 방식 소각방법에 비해 건설 및 운전비용이 고가이어서 저렴한 비용으로 처리할 수 있는 기술의 개발이 더 필요한 상황이다. 특히, 폐기물 중 발열량이 국내 무연탄 이상 정도가 되면 에너지를 회수하여 재 활용하는 가스화용융 기술로 발전시켜 적용시키고 있다. 최근 국내의 도시 쓰레기도 분리 수거 형태가 정착됨에 따라 도시 쓰레기의 발열량이 국내 무연탄 이상으로 발생하는 경우가 생기기 시작하고 있으므로, 가스화용융 기술의 국내 적용시에 우려되어 왔던 경제성과 고온 유지를 위한 운전 안전성이 현저히 향상되어 실용화가 가능하리라 판단된다.

많은 기술의 내용이 선진 각국에서는 '80년대부터 체계적으로 축적되고 있으나 국내에 기술이전을 기피하고 있으며 막대한 기술료를 요구하면서 환경 규제치를 만족하지 못하는 공장에서 생산되는 제품의 수입까지 거론하는 기술 패권주의를 추구하는 양태를 보이고 있다. 가스화용융 기술을 폐기물 처리에 적용하는 기술은 유럽쪽에서 개발되었으나 일본에서는 이 기술을 도입, 자체개발을 통해 가장 활발한 사업화를 전개하고 있는데 '95년 통계를 보면 50~200톤/일 규모로 32기의 용융로가 가동중이며 23기가 건설중이다.

3. 액상폐기물 가스화용융로 pilot plant 설비

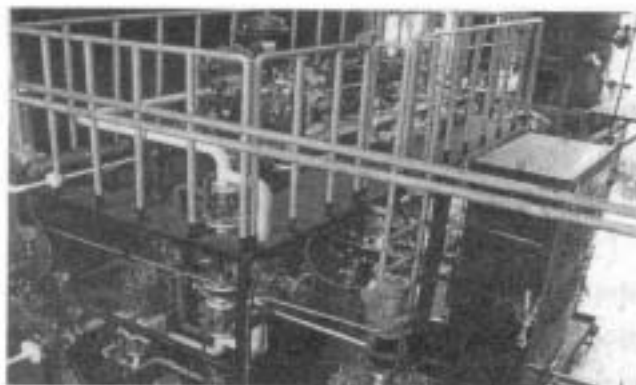
고등기술연구원 Plant Engineering 센터에서는 '93년부터 G-7 석탄가스화복합발전 기술개발 과제를 통하여 일 3톤의 석탄을 30기압까지 가스화할 수 있는 설비를 설계, 제작, 연속운전하였으며, '99년부터는 가스화 및 고온탈황, 고온집진에 대한 연구의 주관기관 역할을 수행중에 있다. 석탄에 대한 가스화용융기술 개발과정을 통하여 축적된 기반 기술을 폐기물에 응용하여 실용적인 공정기술의 개발을 추구하는 것이 본 과제의 목적이다. 기 확보한 기술 및 적용 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 고온고압 가스화 용융기술: 3톤/일급규모 석탄 가스화용융 설비에 적용
- 3차원 플랜트 설계기술: Process Design System Software 사용하여 3톤/일급 가스화 설비 및 100톤/일급 가스화복합발전 플랜트 3차원설계 완성

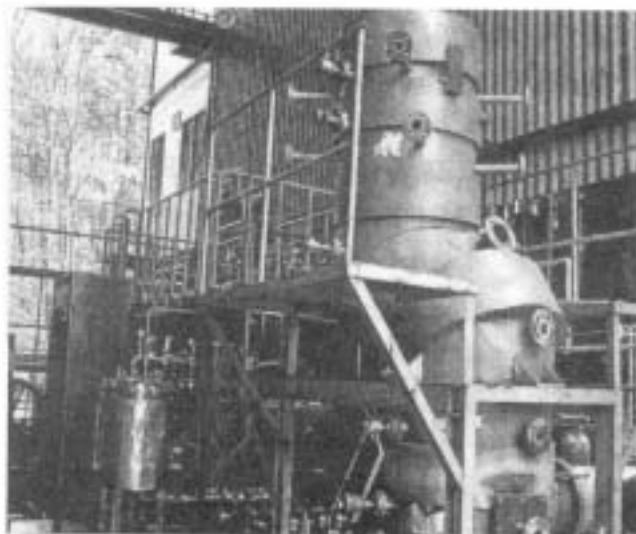
- 분체 고압이송 및 안전설비 설계/운용기술: 3톤/일급 석탄가스화설비에 적용
- 2,3차원 반응기 simulation 기술: 가스화기, 소각로 등에 적용
- 공정 Static 및 Dynamic simulation 기술: 가스화용융 반응 특성 제어시스템 설계에 반영

2001년 4월에 설치되어 시운전 중인 설비의 전경사진이 다음의 [그림 2]와 [그림 3]에 나타나 있다. 우선 폐유를 대상으로 가스화시험을 수행하여 설비의 운전 안정성을 확인하였고 이후 폐유의 열량을 활용하여 처리 비용이 높은 폐기물의 처리로 점차 방향을 넓혀갈 예정으로 있다.

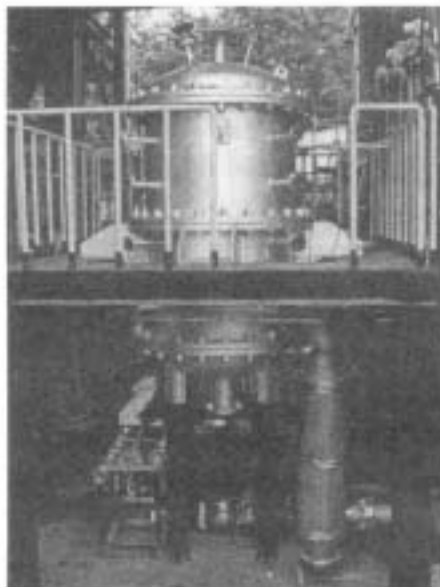
여기서 [그림 3]에 나타난 반응기 형태는 분진 형태의 폐기물을 처리하기 위해 사용되었던 기존 보유의 반응로를 사용한 경우이고, ash 성분이 많지 않은 액상 폐기물 전용의 반응로를 2001년 6월에 제작하여 설치/시험 중에 있는데 그 형태는 [그림 4]와 같다. 본 가스화용융로는 10



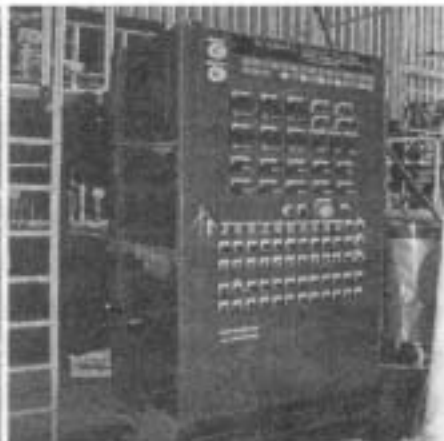
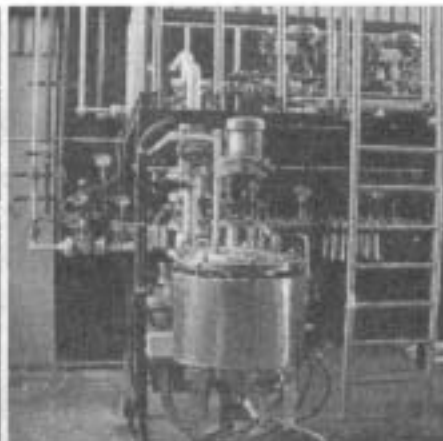
[그림 2] 액상폐기물 열량을 활용한 가스화용융로 설비중 시료공급설비



[그림 3] Bench급 액상폐기물 가스화용융 반응로 1차 model 형태



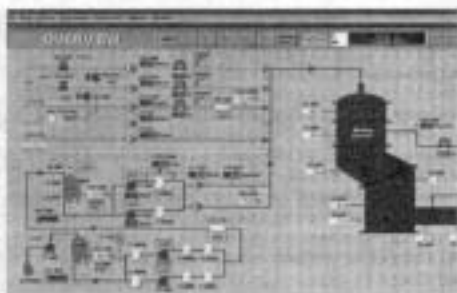
[그림 4] 액상폐기물 전용 가스화용융로 모습



[그림 5] 액상폐기물 고반 및 공급 tank(왼쪽)와 local 제어 panel



[그림 6] 액상폐기물 가스화용융 설비의 제어 및 data acquisition 설비



[그림 7] 시스템 제어 주화면 screen

기압까지 가스화용융이 가능하도록 설계 제작되었고 폐기물의 형상과 생성가스의 최종 적용처에 따라 조업 압력의 변경이 가능한 설비이다.

[그림 5]는 설비 중 시료공급 tank와 현장에서 설비를 제어할 수 있는 panel을 보여주고 있다. 전체공정의 운전 제어 및 data acquisition은 설비 위쪽에 위치한 중앙 제어실에서 이루어지는데 [그림 6]는 제어실의 설비를 보여주고 있고 [그림 7]은 공정 제어의 주화면을 나타내고 있다.

[표 6]은 액상 폐기물 전용의 가스화용융로를 설계하는 전산프로그램에서 폐유를 대상으로 예측한 반응기의 길이/직경(L/D)비에 따른 반응로 출구에서의 가스 조성 예측 값이다. 전산프로그램은 CFX code를 근간으로 하여 분사 액적의 형태와 분사 각도, 노즐 형태에 따른 영향을 예측하도록 구성되어 있다.

구분	전산화석결과								평균 계산치
L/D ratio	1	2	3	4	5	6	7		
가스 농도 (mol%)	CO	8.2	29.2	32.1	32.6	33.2	33.4	33.5	35.2
	CO ₂	13.2	7.5	6.4	6.2	5.9	5.89	5.56	5.5
	H ₂	7.8	40.7	41.7	41.8	42.0	42.0	42.0	43.4
	H ₂ O	52.6	17.9	16.9	16.8	16.5	16.6	16.6	15.3
	H ₂ S	0.0082	0.0528	0.053	0.0529	0.0529	0.0528	0.0528	0.0543

[표 6] 가스화기 길이/직경비에 따른 발생가스 농도의 전산화석값

4. 경제성 비교자료

폐기물에 대한 가스화용융 공정을 일본에서 적용하였을 경우의 변동비 기준 운영비와 국내에서 슬러지류를 매립 또는 소각하는 경우, 지정폐기물일 때 폐유의 소각비용을 아래의 <표 7>에 비교하였다. 국내에서도 지정 폐기물일 경우에는 가스화용융 같은 공정이 상업적으로 가능성이 있음을 보여주고 있는 자료로서, 환경적 관심도와 구제가 점차 강화되는 추세로 미루어 볼 때 국내에서의 가연성 폐기물에 대한 가스화용융 기술의 적용은 시간 시점의 차이일 뿐 곧 실용 적용될 것으로 보인다. ☐

건립회사	용량	운영비 (변동비 기준)	방식	비고
에버라(일본)	35 톤/일	3,200 엔/톤	건조+신회 용융	佐賀県市
고베 제철소	120 톤/일	4,000 엔/톤	열분해+신회 용융	
오사카 가스	70 톤/일	4,847 엔/톤	건조+크로스 베드 용융	大阪府 安威川流域
구보타	73.5 톤/일	5,361 엔/톤	건조+표면 용융	大阪府 ACE center
구보타	54.4 톤/일	7,945 엔/톤	건조+표면 용융	
하수 슬러지 (일반폐기물)	매립	20,960 원/톤	수도권 매립지	
폐수 슬러지 (일반 폐기물)	매립	52,417 원/톤	수도권 매립지	
폐유 (지정폐기물)	소각	92,000~113,600 원/톤	환경관리공단 운영 처리 시설	
폐수 슬러지 (지정폐기물)	매립	85,400 원/톤	환경관리공단 운영 처리 시설	
	소각	140,000 원/톤	환경관리공단 운영 처리 시설	

[표 7] 기술적용 대상시료별 운영비의 비교