



α 폐기물 소각로 기술동향과 국내개발방향

(Technical Trend of Alpha-Bearing Waste Incinerator and R&D Program in Korea)

김정국, 양희철, 김준형

한국원자력연구소

요 약

자체 개발한 β/γ 폐기물 실증소각시설을 소내 발생 폐기물 처리시설로 인허가를 받음으로 그 동안 수행해온 β/γ 소각로 기술개발 과제를 마감하고, 올해부터는 향후 핵연료주기 제반 공정에서 발생하는 α 핵종 함유 폐기물을 소각처리하기 위한 기술 개발이 추진되고 있다. 실증규모의 소각로를 자체 건설, 시험운전 및 인허가를 얻기까지의 경험을 살려 한국의 실정에 적합한 α 폐기물 소각기술을 개발하고자 한다. 이를 위하여 α 소각로에 대한 외국의 기술동향을 고찰하였고, 국내에서 발생되고 있는 α 핵종 함유 방사성 폐기물의 발생현황 및 그 특성을 조사하였다. 이를 통해 향후 기술개발의 기초모델이 되는 소각로 형식을 제시하였다.

1. 서론

폐기물의 부피를 줄이고 화학적으로 안정한 무기물로 변환시키는 기술은 오래 전부터 개발이 이루어져 거의 모든 원자력 산업에서 활용되고 있으며, 또 일반 환경차원에서도 널리 이용되고 있는 기술이다. 그 중에서도 가연성 폐기물을 감용하는 가장 효과적인 처리법 중의 하나가 소각, 열분해와 같은 열에 의한 처리로 β/γ 핵종을 함유한 폐기물에 대해서는 많은 나라에서 상업화되어 운전되고 있고, 국내에서도 본 연구팀에 의해 기술개발이 끝나 현재 소내 발생 가연성 폐기물 처리시설로 인허가를 획득한 상태이다. 그러나 α 핵종을 함유한 폐기물 (α 폐기물)의 경우 그 취급과 관리에 있어 작업자의 피폭 및 방사선적 안전관리를 고려한 사항들이 요구되고 있을 뿐만 아니라 때로는 설계 및 운전 단계에서부터 임계안전성도 고려하여야 하므로[1] 아직도 이에 대한 지속적인 연구가 진행되고 있다.

우리나라의 경우 현재 추진중인 핵연료주기 관련 연구의 수행이나 기술개발이 끝나 이들 기술이 활용되는 시점에서 발생하는 폐기물은 다량의 α 핵종을 함유하고 있어 고도

의 밀봉 및 원격제어기술이 고려된 처리기술이 요구되고 있다. 소각기술의 경우 다량의 배기체 및 분진을 발생하게 되므로 작업자의 내부피폭을 최소화하기 하기 위한 계통 설계 및 구조 차원의 고려사항 외에도 보다 높은 제염계수를 가진 배기체 처리설비가 필요하다. 현재 외국에서는 부피가 큰 Pu함유 가연성 폐기물 중의 Pu를 회수하는 공정의 한 부분으로서 소각을 통해 부피를 줄이고 소각잔재물 중에 남게 되는 Pu를 회수하는 기술에 α 소각공정을 활용되고 있는 실정에서[1,2] α 소각기술의 개발 및 자립화는 더욱 필요하다. 이와 같은 유용한 자원의 회수 측면 외에도 고준위와 중,저준위로 구분된 일반 처분장 조건을 고려하여 폐기물 중의 주요 관리대상이 되는 α 핵종 성분을 분리하게 된다면 처분대상이 되는 폐기물을 크게 줄일 수 있는 장점도 가지고 있다.

본 고에서는 향후 핵연료주기 관련 산업에서 발생이 예상되는 α 폐기물 처리기술을 자립에 1차적인 목표를 두고 추진하면서, 향후 장기적으로는 α 핵종을 회수하는 기술까지 발전될 수 있도록 연구개발 방향을 설정하고자 하여 외국의 α 소각로 기술동향을 고찰하였다. 이와 함께 지금까지 국내에서 발생된 α 폐기물의 발생량 및 특성도 검토하여 향후 연구개발의 기초모델이 될 α 소각로 기본형식을 제시하였다.

2. α 폐기물 발생원 및 관리 방안

2.1. α 폐기물 발생원

α 폐기물은 핵연료의 제조 및 재처리, α 핵종으로 오염된 시설의 해체, 그리고 기타 α 핵종을 함유한 물질을 취급하는 과정에서 발생된다. 대부분의 α 폐기물은 비방사능이 낮으므로 근접취급이 가능하고 일부만이 중성자, 베타 및 감마선 때문에 차폐 또는 원격취급이 필요하다. 여기서는 가연성 α 폐기물에 대해서만 고찰하였다.

2.1.1. 사용후 핵연료의 재처리

α 폐기물이 가장 많이 발생하는 과정은 사용후 핵연료를 재처리하는 공정인데, 현재 한국은 재처리를 고려하고 있지 않은 상태이다. 재처리 공정에서는 고준위 (HLW), 중준위 (ILW) 및 저준위(LLW)의 모든 폐기물이 고체와 액체상태로 발생하고 있으며, 더불어 악티니드계의 함량이 많은 α 폐기물도 손상된 장비, 폐여과기 및 가연성 고체 형태로 발생하고 있다. 300 t U/a 규모의 경수로형 (Light Water Reactor; LWR) 재처리시설을 기준할 때 β/γ 방사능이 $4 \times 10^{10} \sim 4 \times 10^{12}$ Bq/m³ 정도이고 α 방사능이 $4 \times 10^9 \sim 4 \times 10^{10}$ Bq/m³ 정도인 폐기물이 약 4 m³/t 규모로 발생되고 있다[1]. 고체폐기물에 함유된 α 핵

중은 방사능이 거의 없거나 10^6Bq/m^3 정도까지인 저준위와 폐여과기나 손상된 장비와 같은 10^9Bq/m^3 정도의 중준위가 대부분이다. 여기서 발생된 고체 폐기물 전체의 70%정도가 가연성 저준위 폐기물로 발생되고 있다.

2.1.2. MOX (Mixed Oxide) 연료 가공

MOX 연료는 PuO_2 와 UO_2 분말을 사용하는 고속증식로 (Fast Breeder Reactor: FBR)와 LWR에 사용하기 위해 제조되는데, 천연이나 열화(Depleted)된 감손우라늄을 사용한다. 플루토늄의 함량은 LWR의 경우 3~7%정도, FBR의 경우 15~30%정도이다. MOX 연료 생산공정에서는 분말가공이 필수적이라 이로부터 상당량의 Pu가 함유된 폐기물이 발생된다.

MOX 연료 제조과정에서 발생하는 고체 폐기물은 Pu 톤당 100m^3 정도로 발생되며 이는 전체 처리되는 Pu의 약 1%정도이다. 대부분의 폐기물이 가연성이며 Pu의 90%정도가 전체 폐기물의 10%에 포함되어 있다. MOX 연료 제조설비에서 발생하는 α 폐기물의 자세한 발생량을 표 1에 보였다[1].

Table 1. Alpha bearing solid wastes from mixed oxide fuel fabrication plant per 1000 kg plutonium processed

Activity	Combustible			Non-combustible					
	(m^3)	(g Pu)	(g Pu/ m^3)	Compressible			Non-compressible		
				(m^3)	(g Pu)	(g Pu/ m^3)	(m^3)	(g Pu)	(g Pu/ m^3)
Low	110	0	0	3	0	0	1.4	0	0
	45	300	7	1.5	10	7	0.3	2	7
	16	600	40	1	35	35	0.2	5	25
	2	1000	110	1.5	150	100	0.1	7	70
High	5	1180	235	0.25	60	240	-	-	-
	3	1670	560	0.20	120	600	0.03	14	450
	0.3	450	1500	-	-	-	-	-	-
	0.25	600	2400	-	-	-	-	-	-
	0.25	2370	9400	-	-	-	-	-	-

2.1.3. 제염

원자력 설비의 해체과정에서 발생하는 폐기물 양은 제염 및 해체 (Decontamination and Decommissioning; D&D) 수준에 따라 달라진다. 즉, 시설의 유지, 보수 차원의 D&D라면 가장 작게 발생하는 반면, 무제한 재사용을 위한 경우 가장 많이 발생하게 된다. 일반적으로 D&D 수준은 여러 가지 요인에 따라 결정되는데 미국에서 20기를 무제한 재사용을 위해 해체한 결과 약 2% 미만 (부피로는 2,000 m³)의 α 폐기물이 천층처분으로 처분할 수 없다고 한다[1].

2.1.4. 기타 α 폐기물 발생 공정

핵연료 주기관련 R&D 수행, 원자로 운전, 그리고 방사성 동위원소를 이용한 열 발생기, 속도 조절기 (Pace-maker) 및 이온화 연기 탐지기 (Ionization Smoke Detector)와 같은 방사선을 이용하는 여러 과정에서 α 폐기물이 발생하게 된다. 이때 발생하는 고체 폐기물은 폐여과기, 폐지, 작업복, 고무장갑, 오염된 장비나 도구 등인데 대부분이 가연성이거나 금속이며 이들 중 5%미만 정도만 차폐 및 원격조작이 필요한 것으로 알려져 있다.

2.2. 국내 α 폐기물 발생 현황

현재 국내에서 α 폐기물이 다량으로 발생되고 있는 시설로는 원전연료주식회사의 중수로 핵연료 제조시설이다. 이 시설로부터 1988년이래 잡고체 폐기물의 발생량을 표 2에 보였다[2]. 기타 한국원자력연구소의 경, 중수로 연계핵연료주기 기술개발, 원자력 신소재개발 및 소멸처리기술개발 연구를 수행하는 과정이나 조사후 시험시설 및 다목적 연

Table 2. Alpha-bearing waste generation in Korea Nuclear Fuel Co., Ltd

	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	합 계
드럼수	27	85	101	94	87	89	82	71	140	776
부피 (m ³)	5.4	17.0	20.2	18.8	17.4	17.8	15.4	14.2	28.0	154.2
U-weight (g)	3,666	29,272	45,816	58,317	72,211	101,904	64,219	78,173	90,702	544,280
방사능량(MBq)		2,468	3,522	4,669	5,799	7,561	5,248	1,583	8,307	39,157

구로인 하나로 등에서 소량이 발생하고 있다. 그 외에도 과거 변환공정시설 및 정련공정시설의 운전 또는 해체과정에서 발생한 폐기물의 경우 우라늄이 포함된 폐기물이 상당량 발생하였다. 자세한 분류가 이루어지지 않아 발생량 전체를 α 폐기물로 볼 수 없지만 이

들 시설에서 1988년부터 1995년까지 발생되어 소내 저장고에 보관된 잡고체 폐기물은 드럼수를 기준하여 전체 발생 잡고체 폐기물의 약 60%정도를 차지하고 있다[4]. 중수로 핵연료제조 관련분야가 원전연료로 이관된 이후로는 소내에서 발생되고 있는 α 폐기물은 연구과정에서 발생하는 수 드럼 정도이다. 그러나 현재 추진중인 핵연료주기 관련 연구가 실험실 규모, 실증 규모로 발전함에 따라 그 발생량은 크게 늘어날 것으로 예상된다.

3. 외국의 α 소각로 기술 동향

가연성 고체 α 폐기물을 소각하는 기술은 1970년대 초부터 개발되기 시작하였는데 다음 2가지 목적에 맞추어 기술개발이 이루어져 왔다. 첫째는 저준위 α 폐기물을 안정화시키는 공정의 일부로서 무기물 안정화 및 감용을 위해, 둘째는 잔재물 중에 함유된 Pu를 회수하기 위해 고농도의 Pu가 포함된 가연성 공정 폐기물의 부피를 줄여 보다 용이하게 회수하도록 하기 위해 α 소각기술이 이용되어 왔다[1,2]. 일반적으로 α 소각로는 β/γ 소각로에 비해 용량이 작으며 고농도의 Pu가 포함된 폐기물에 적용하는 경우에는 입계문제를 고려하게 되므로 더욱 용량이 작게 되어 1 ~ 20 kg/h 정도가 전형적인 규모이다[1].

3.1. Los Alamos National Laboratory(LANL) 공기제어형 소각로[1,2,5,6]

1978년도에 방위산업체에서 발생하는 TRU폐기물을 소각하기 위해 기초연구를 거쳐 개발된 공정으로 소각용량 1.1 t/d 인 실규모 TRU 폐기물 소각시설이다. 약 12%까지의 PVC를 포함하는 폐기물을 소각할 수 있도록 배기체 처리계통이 설계되었지만 실제 TRU 폐기물에 포함된 플라스틱류의 함량은 5% 미만이다.

소각로는 2개의 연소실로 구성되어 있으며 저온부는 760°C이고 고온부는 1,090°C로 운전된다. 세정계통에서 HCl이 포집, 제거되며 전체가 유리섬유 강화 플라스틱 (Fiber-glass Reinforced Plastic; FRP)으로 만들어져 있다. 충전탑은 pH 7.5를 유지하도록 설계되어 있으며 소각 배기체 중에는 많은 양의 CO₂가 포함되어 있어 이의 용해를 방지하기 위해서는 더 이상 pH를 올리지 않도록 유지시킨다.

전체 입자상 물질에 대한 배기체 처리계통의 제염계수는 10⁸을 초과해야 하므로 각 단위공정에 요구되는 최소 제염계수는 다음과 같다.

- 냉각층/Venturi 세정기 : 10²
- 충전층 세정기 : 10²
- 응축입자 제거기 : 10
- HEPA 여과기 : 10³

3.2. Rocky Flats 유동층 소각로 (Fluidized Bed Incinerator; FBI)[1,2,7,8]

처리용량이 220 kg/d 인 파이롯트 규모의 소각공정이며 TRU 폐기물을 소각하기 위해 개발된 소각로이다. 약 45%까지 이르는 고농도의 PVC를 포함하는 폐기물을 소각토록 설계되어 있으며 Pu에 대한 회수공정도 포함되어 있다. PuO₂의 용융을 방지하기 위하여 소각로가 550°C 이하의 저온에서 운전되고 있다. 유동 매체는 Na₂CO₃이며 PVC에서 발생하는 HCl을 일부 포집하는 기능을 한다. 배기체처리계통은 건식을 택함으로써 일반적인 습식 처리계통에서 발생하는 2차 폐기물의 발생과 같은 문제점을 해결하였다. 소결금속 여과기가 FBI와 촉매식 후연소로 사이에 설치되어 있다. 이러한 소결금속 여과기는 시험운전 중에 탄화수소류, 타르 및 Pb 등의 응축 입자화된 물질로 인한 막힘 현상이 발생하는 것으로 보고되고 있다.

3.3. 고정상/로타리래블(rotary rabble) 및 로타리킬른 소각로[1,2,9]

1979년에 Rocky Flat에 설치된 소각공정으로 로타리킬른 소각로는 저농도의 Pu를 함유한 고준위 가연성 폐기물로부터 Pu를 회수하기 위하여 설치된 공정으로 처리용량은 960 kg/d이다. 이와 반대로 고정상/로타리래블 소각공정은 저준위 가연성폐기물에서 Pu를 회수하기 위하여 설치된 공정이다.

소각로 및 배기체 처리계통은 협곡처럼 생긴 큰 방에 설치되어 개인 피폭 및 오염확산을 방지토록 되어 있다. 2가지 소각공정은 서로 유사한 배기체 처리계통을 갖추고 있다. 디젤 후연소로가 소각로에 연결되어 있으며 대부분의 배기체 처리계통은 FRP로 보강된 탄소강으로 만들어져 있다. 2개의 Venturi 세정기가 연결되어 있으며 앞의 것은 물을 이용하여, 뒤의 것은 KOH를 이용하여 산성 기체를 세정하고 있다.

3.4. 기타 소각공정

여러 형태의 소각공정이 Pu 회수를 α 폐기물의 소각처리에 활용되고 있으며 대부분의 소각공정이 10⁸ 이상의 고효율 배기체 제염계수를 필요로 하고 있으며, 이러한 α 소각공정을 요약하여 표 3에 나타내었다[2,10-15].

4. α 소각로 기본 모델

국내에서 발생되고 있는 α 폐기물에 대한 분석이 구체적으로 이루어지지 않아 발생열량, 재 발생량, 배기체 발생량 및 배기체 중 방사능 농도를 고려한 기본설계는 아직 이

Table 3. Summary of alpha-bearing waste incinerators

공정명	대상 폐기물	소각로 형태	배기체 특성	배기체 처리설비	제염계수	운전 특기사항
SCK/CEN (Mol, Belgium)	저준위 β, γ 및 α 폐기물(Pu) -PVC 포함	-고온 슬래깁 열분해, -용량: 40 kg/h	-온도: 1000°C, -분진: 80-300mg/m ³	건식+습식(포대여과기후): 공기혼합 냉각기, 물분사 냉각기, Teflon 포대여과기, Venturi 세정기, Demister, 재가열기, HEPA filter	포대여과기: 15~58 HEPA filter > 100 총괄 > 1500 (입자 기준)	-Cs 휘발: 15~30% -산소 부족시 카본블랙이 포대여과기에서 화재 발생
Beijing Institute of Nuclear Engineering (Beijing, China)	가연성 β, γ 및 α 폐기물 핵종: P-32, Pm-147, C-14, Th-232	-공기제어형 -2중 연소실 실험실규모: 20-30 kg/h 상업규모: 50 kg/h	-온도: 800-900°C	실험용: 건식 침강기, Cottrell 정전기, 사이클론, 침전기, 건조기, 여과기 상업용 : 건식 냉각-침강용기, 침전기, 냉각기, 재가열기, HEPA filter	실험용: 침강용기: 1.4 Cottrell : 1.7 사이클론: 4.6 침전기 : 24-290 탈수기 : 5 HEPA filter:100 총괄 : 10 ⁵ -10 ⁶	-Cottrell, 전기사이클론은 저효율, 고비용이라 제거함 -전기 침전기 용량: 400m ³ /h -PVC 함량제한: 10%까지
NUKEM (Hanau, Germany)	α 폐기물 (U, Pu), -PVC 70%까지	-열분해로 (U,Pu 회수용) -용량: 25 kg/h	-HCl 농도: 6~16%	습식: 소결금속 여과기, 사이클론, 제트 세정기, 충진탑 세정기, 응축기, 재가열기, HEPA filter	소결금속 여과기: 1000 제트 및 탑 세정기: 10-100 총괄 : 10 ⁶ -10 ⁷ (HEPA filter포함)	-배기체중 입자가 많이 함유 -소결금속 여과기로 해결. -공기/증기 주입하여 타르 해결 -제트세정기는 부식 때문에 Ti 0.2%에서 Hastelloy C-4로 교체

Table 3. (Continue)

공정명	대상 폐기물	소각로 형태	배기체 특성	배기체 처리설비	제염계수	운전 특기사항
Karlsruhe Nuclear Research Centre (Karlsruhe, Germany)	α 폐기물	-공기제어형 -후연소로 -용량: 55kg/h		건식: 세라믹 여과기, 2차 세라믹 여과기, 공기회석기, HEPA filters	-Prefilter: 60 -2차여과기: 610 HEPA filter포함 총괄 : 36,000	-가동률: 85%(3500시간 운전) -처리량: 14500m ³ (1900톤) -여과기 수명 연장을 위해 추가 여과기 병행 설치 -연속 3교대 운전
CEN 액상 폐기물 (α, β 및 γ) (Cadarache, France)	폐유, 폐용매, 알코올류, 방향족 탄화수소 $\alpha: 10^{-9} \text{Ci/m}^3$, $\beta, \gamma: 10^{-1} \text{Ci/m}^3$	-공기과잉형 -용량: 300kg/h (열용량 7000 kcal/kg).	HCl : 0.1-0.3% CO : 10-30ppm HC : 10-20ppm 분진: 3-12kg/m ³	습식: 물분무방식 냉각, 공기혼합 추가냉각, 습식 산성세정기, Teflon 포대여과기, 유리섬유 Prefilter, HEPA filter	-포대여과기: 10 ² -Prefilter: 6.6 -HEPA filter: 10 ³	-처리량: 130m ³ -연돌 배출농도: 10 ⁻⁷ Ci/m ³ -염농도 300g/L에서 세정액배수 -H-3가 2×10 ⁻³ Ci/m ³ 초과시 배출수처리공정으로 배출
CEN 고체폐기물 (Cadarache, France)	저준위 β, γ 및 α 폐기물 (Pu) -PVC함량: 30%	-공기제어형, -2중 연소실, -용량: 25-30kg/h	-온도: 1000℃, -분진: 40-50g/m ³	습식: 공기회석기, 유리섬유 Prefilter, HEPA filters, 습식세정기(소다수)	-방사능 미감지 -여과지 수집 분진 β/γ : 1.3×10 ⁻⁸ Ci/g α : 1.7×10 ⁻¹⁰ Ci/g	-미연소 잔류물에 의한 여과기 막힘 현상 -세정액 방사능은 기준치 이내
Marcoule α 폐기물 (Marcoule, France)	α 폐기물 (Pu), -PVC 포함	-전기가열형 -후연소로 -용량: 1kg/h	-온도: 1100℃	건식: 공기회석기, 수냉식 열교환기, 광물섬유 여과기(2개)	Pu 주입시(100): ash: 81.5 filters: 1.5 액체폐기물: 1.7 총괄 : 84.7	-처리량이 작아 HCl를 제거할 필요 없음

Table 3. (Continue)

공정명	대상 폐기물	소각로 형태	배기체 특성	배기체 처리설비	제염계수	운전 특기사항
Studsvik Energiteknik AB (Studsvik, Sweden)	저준위 β, γ 및 α 폐기물	-2중 연소실 -용량: 1750 kg/d, -회분식	-온도: 800-1000°C	건식: 공기회석기, 공랭식 열교환기, Teflon 포대여과기,	-Co-60 : 15000 -Cs-137 : 3000 - β, γ : 0.4%미만 - α : 0.002%미만	-처리량: 1,850 톤 -가동률: 90% -20.5 h burn cycle (1교대 조업) -6개월마다 5일씩 보수 -열교환기 관 청소: 매 4개월 -여과기교체: 매 200일/320t
AERE (Harwell, UK)	α : 10mCi/m ³ , β, γ : 100mCi/m ³ (삼중수소 제외)	-공기과잉형 -용량: 150 kg/h	-온도: 600-900°C	습식: Venturi 세정기, 사이클론 분리기, 유리강화 수지층	-HEPA filter 없음 -수증기만 배출	-세정액 매일 교환 -유리섬유 포대여과기, HEPA 여과기를 갖춘 건식에서 화재 때문에 습식으로 전환
INEL Process Experimental Pilot Plant (Idaho Falls, USA)	TRU < 200mrem/h -가연성 45% 금속 20% 유리 35%	-로타리킬른식 -2중 연소실	-온도: 1180-1260°C	습식: Na ₂ CO ₃ 세정식 냉각탑, Venturi 세정기, 망사형 Demister, 재가열기, Prefilter, HEPA filters(2개 직렬)		-임계안정성을 고려해 습식 배기체처리 공정 선택.
LANL TRU (Los Alamos, USA)	TRU오염폐기물 -PVC 50%까지	-공기제어형 -2중 연소실 -용량: 45kg/h	-온도: 1100°C,	습식: 냉각탑, Venturi 세정기, 황류접촉식 흡수탑, 응축기, Demister 재가열기, Prefilter, HEPA filters(2개 직렬)	Venturi세정기: 10 ² (압자기준)	-처리량: 270 kg -1차 연소실에 증기를 주입, 수성기체 발생에 의한 탄소산화 증진 효과 -폐필터는 소각처리 -HEPA filter 수명: 300시간 -세정액 pH ≤ 7.5.

Table 3. (Continue)

공정명	대상 폐기물	소각로 형태	배기체 특성	배기체 처리설비	제염계수	운전 특기사항
Rocky Flats Fluidized Bed (Rocky Flats, Colorado, USA)	α 폐기물 (Pu) -PVC 45%까지 -TBP 용액 -PCB류, -암화물 용매	-유동층소각로 -후연소로 -용량: 85kg/h -Pu회수용: 8 kg/h	-Fly ash(10%) -NaCl 입자 -탄화수소 타르	건식: 사이클론, 소결금속필터(SMF), 물냉각 열교환기, 공기혼합기, HEPA filters(5단)	사이클론 ; 1.3 -SMF로 대부분의 분진 제거	-습식계통의 임계안전성 문제를 피하기 위해 건식법 선정 -SMF가 FBI와 후연소로사이에 위치할 경우 타르에 의해 막힘 -Na ₂ CO ₃ 의 26 - 70%까지 이용 -가동시간 : 4500 시간
SRP Electric Alpha (Savannah River, South Carolina, USA)	TRU 폐기물 -1 mCi/g까지 -PVC 포함	-공기제어형 -전기가열식 -후연소로 -체류시간: 8초 -용량: 5 kg/h	-온도: 1000°C, -HCl : 0.04%, -분진: 1 μ m이하 30%	습식: Venturi 냉각/세정기, 섬유층 세정기, 충전식 소다수 세정탑, Demister, 재가열기, HEPA filters. 건식: Venturi형 냉각기, 소결금속 여과기, HEPA filter	습식: -소각로: 400 -Venturi: 25 -세정기: 1.5 총괄: 1.5 $\times 10^4$. (HEPA filter제외)	-습식에서는 3개의 세정기 사용 -기준치 이내로 배출되는 기체중 LLW를 잡기 위해 소다 세정기 전단에 HEPA filter 필요함 -습식이 더 우수한 결과 보임
Centralized Facility for Leningrad Nuclear Power Plant, Nuclear Physics Institute, etc. (USSR)	혼성폐기물, 액체 폐기물 α : 5×10^{-16} Ci/L. β : 1×10^{-15} Ci/L	-공기제어형 -2중 연소실 -용량: 40kg/h	-온도: 1000°C, -Soot: 10mg/m ³ 미만	습식: 사이클론, 소다수 세정기, 응축기, 소결금속 여과기, 미세입자 여과기	세정기: Sr-90: 270-610 Cs-137: 3.0-3.6 Ru-106: 6.7-12 여과기: 1.2-4.1 총괄: Sr-90: 990-1850 Cs-137: 190-700 Ru-106: 8.2-36	-처리량: 150 톤 -배출농도 α : 1×10^{-15} Ci/L β : 1×10^{-13} Ci/L. -미세입자 여과기 수명: 2,3일

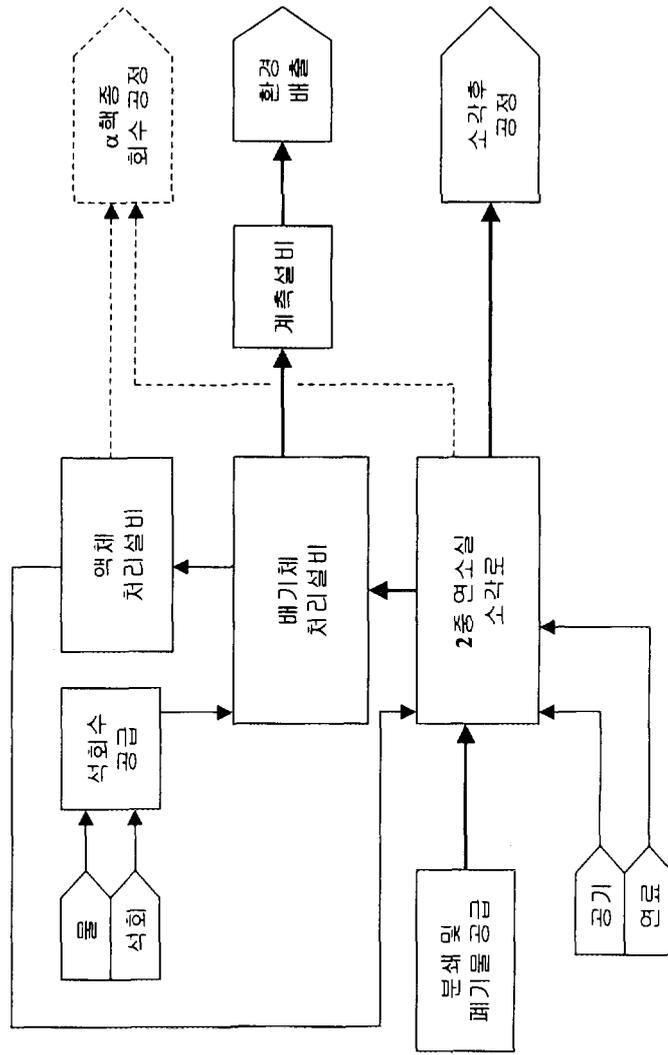


Figure 1. Diagram of gas-heated controlled-air incinerator with a shredder

루어지지 않았다. 다만, 배기체 처리공정에 있어 폐기물에 포함된 PVC 소각시 발생하는 다량의 HCl 기체를 효과적으로 제거하고 모든 배기체 처리공정에 있어 다이옥신이 재합성되는 온도범위(250-400°C)를 거의 갖지 않고, 또 향후 α 핵종 분리, 회수 측면에서의 유용성 등을 종합적으로 고려하여 습식 처리공정이 포함된 α 소각로 형식을 기본 모델로 선정하였으며, 그 계통도는 그림 1과 같다.

연소가 보다 효과적이고 안전하게 이루어지게 하기 위해 소각공정 전 단계에 폐기물 분쇄공정이 필요하다. 연소실은 소각로에 공급되는 폐기물이 완전히 연소되고 유해성분의 완전분해가 일어나도록 2중 연소실 구조를 취한다. 1차 연소실은 900°C에서, 2차 연소실은 1,100°C에서 운전되도록 하고, 예열 및 보조열원으로서 버너를 1차 연소실의 중, 하단에 각각 1개씩 2개를, 2차 연소실에 1개를 설치한다.

소각로에서 배출되는 연소기체는 급속 냉각시킨 후 다음 단계의 산성기체 처리설비로 들어가게 된다. 산성 기체를 세정하는 용액은 석회를 물에 분산시켜 준비하며, 이 경우 석회의 용해도가 많지 않음을 감안하면 비교적 pH가 높지 않도록 일정하게 유지할 수 있을 것으로 예상된다. 산성기체 세정설비를 거친 배기체는 분진제거용 Prefilter 및 Absolute Filter를 거치며 연도로 나가기 전에 재가열하는 공정을 거친다. 이외에도 소각공정 내부에 존재하게 되는 α 핵종의 농도를 연속적으로 분석, 평가하는 계측설비가 포함되어 있다.

전체 소각설비에 있어 폐기물 준비 및 공급부는 α 핵종 밀폐체 (Alpha-tight Enclosure)의 요건을 만족시켜야 하므로 밀폐된 방의 형태를 취하며 단전시에도 부압으로 유지되는 설비를 갖춘다. 소각재 제거부는 재가 분산되지 않도록 글로브박스 내에서 드럼에 담겨지도록 하며 또, 청소가 가능하도록 하여 연소실내에 재가 축적되지 않는 구조를 갖추고 있다. α 핵종 외에도 연소된 유해기체 성분의 외부 유출이 최소가 되도록 대기압 이하에서 운전되도록 한다.

참고문헌

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Treatment of Alpha Bearing Wastes," Technical Report Series No. 287, IAEA, Vienna (1988).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Treatment of Off-Gas from Radioactive Waste Incinerators," Technical Report Series No. 302, IAEA, Vienna (1989).
3. S. J. Cho, Korea Nuclear Fuel Co. LTD., Personal Communication (1997).

4. 김길정 외, "방사성 폐기물 처리시설 운영", 한국원자력연구소 시설운영보고서, KAERI/MR-206/92 (1992); KAERI/MR-227/93 (1993); KAERI/MR-247/94 (1994); KAERI/MR-265/95 (1995); KAERI/MR-24/96 (1996).
5. J. S. Vavruska, L. C. Borduin, D. A. Hutchins, C. L. Warner, and T. K. Thompson, "Los Alamos Controlled Air Incinerator Upgrade for TRU/Mixed Waste Operations", LA-UR-89-990, Los Alamos National Laboratory, New Mexico (1989).
6. A. S. Neuls, W. E. Draper, R. A. Koenig, J. M. Newmyer, and C. L. Warner, "Controlled Air Incinerator for Radioactive Waste", LA-UR-82-2282, Los Alamos National Laboratory, New Mexico (1982).
7. L. J. Meile, F. G. Meyer, A. J. Johnson, and D. L. Ziegler, "Rocky Flats Plant Fluidized Bed Incinerator", RFP-3249, Rocky Flats Plant Report, Colorado (1982).
8. L. J. Meile, "Rocky Flats Plant Fluidized Bed Incinerator: Engineering Design and Reference Manual", RFP-3372, Rocky Flats Plant Report, Colorado (1982).
9. K. H. Oma, J. H. Westsik, Jr., and W. A. Ross, "Shredder and Incinerator Technology for Treatment of Commercial Transuranic Wastes," PNL 5632, Pacific Northwest Laboratory, Richland (1985).
10. T. E. Eddy, B. D. Raivo, and G. L. Anderson, "Thermal Processing Systems for TRU Mixed Waste," EGG-M-92226, Idaho National Engineering Laboratory, Idaho (1992).
11. F. Feizollahi and D. Shropshire, "Waste management Facilities Cost Information Report," EGG-WTD-10443, Idaho National Engineering Laboratory, Idaho (1992).
12. D. L. Ziegler, "Technology Documentation for Selected Radwaste Incineration Systems," RFP-3471, Rockwell International Energy Systems Group, Rocky Flats Plants, Colorado (1982).
13. R. L. Beneditti, C. H. Cargo, and T. D. Tait, "Overview of the INEL Slagging Pyrolysis Incinerator Proof-of-Principle Test Series," EGG-TF-5866, EG&G, Idaho (1982).
14. W. A. Ross, L. C. Borduin, and B. C. Musgrave, "DOE Mixed Wastes:

What Are They and Where Can Thermal Technologies Be Applied?." PNL-SA-20802, Pacific Northwest Laboratory, Richland (1992).

15. P. W. Brennecke, G. Arens, and A. Hollmann, "German Approach to Alpha Bearing Waste Disposal", In Proceedings of Waste Management '97 Conf., Session 07-07, Tucson, Mar. 2-6, 1997.