

Decontamination Performance Assessment for the Plasma Arc Vitrification pilot plant on the basis of Trial Burn Results(I)

- Decontamination Characteristics for Hazardous Metal, Radioactive surrogate and Radioactive Tracer in Off-gas

Gyung-Sun Chae, Youn-Hwan Park, Byong-yun Min, Jae-Ock Chang,
Jun-Yong Park, Weon-Ik Jeong*, Byung-Sik Moon**

시험연소결과에 근거한 플라즈마 아크방식 유리화 시험 설비의 제염성능 평가(I)

- 배기가스중의 유해중금속, 방사성핵종 모의물질 및 방사성핵종 제염특성-

채경선, 박우환, 민병연, 장재옥, 박준용, 정원익*, 문병식**
(주)한일종합산업, *세안기술(주), **한국중공업(주)

(2000년 2월 22일 접수, 2000년 6월 19일 채택)

Abstract - Through the results of off-gas analysis at 3 sampling points in Plasma Arc Melting vitrification pilot plant, it was evaluated the partitioning of spiked materials in off-gas and the decontamination characteristic of off-gas treatment system. Spiked materials are hazardous heavy metals(Pb, Cd, Hg), radioactive surrogate(Co, Cs) and radioactive materials(⁶⁰Co, ¹³⁷Cs). Through the Trial burn tests, Decontamination factor of spiked materials in off-gas treatment system is calculated.

Key word : Plasma Arc Melter(PAM), Trial Burn Test, Partitioning, Decontamination factor

요약 - 플라즈마 아크 용융방식 유리화 시험설비의 계통내 기체 및 최종배출구 전단의 배기체를 분석함으로써 배기체중에 포함된 분석용 첨가물의 거동 및 배기가스 처리장치의 제염성능을 평가하였다. 중금속 물질(Pb, Cd, Hg), 방사성 모의물질(Co, Cs) 그리고 방사성핵종(⁶⁰Co, ¹³⁷Cs)을 분석용 첨가물로 사용한 실험결과로부터 첨가물질의 거동에 따른 유리화 설비 배기체처리시스템의 제염특성 및 제염계수를 구하였다.

중심어 : 플라즈마 아크 용융로, 시험연소 실험, 분포, 제염계수

서론

방사성폐기물의 유리화 처리기술은 기존의 압축감용 및 고화처리 방법보다 유리고화체가 갖는 침출 안전성과 방사성핵종 고정화 효과가 크게 높은 반면, 처리비용이 고가이기 때문에 지금까지는 주로 고준위 방사성폐기물 처리 목적으로 개발되어 왔다. 그러나 최근에는 영구처분장 부지의 구득난, 폐기비용의 상승, 환경에 대한 국민의 우려 등 여러 가지 요인으로 중·저준위 방사성폐기물의 유리화 처리에 관한 개발연구가 국내,외에서 시도되고 있다[1].

원자력발전소로부터 발생하는 중·저준위 방사

성폐기물과, 산업체, 의료 및 연구기관 등으로부터 발생하는 동위원소폐기물 등 다양한 형태의 폐기물중에 함유된 방사성핵종을 유리분자 구조내에 가두기 위한 수단으로 플라즈마 아크 용융방식을 이용한 유리화 가능성 실험을 실시하였다. 실험설비는 향후 상용화 가능시 실제 적정처리량과 배기가스처리장치의 규모 등을 고려하여 가연성폐기물은 평균 100kg/hr, 비가연성폐기물은 평균 200kg/h의 처리용량으로 제작 설치하였다. 실험은 실제 원전 및 기타 임시저장부지에 저장된 방사성폐기물의 조성과 유사하게 제조한 모의폐기물에 일정량의 중금속물질(Cd, Pb, Hg)과 방사성 모의물질(Co, Cs) 그리고 추적자규모의 방사성핵종(⁶⁰Co, ¹³⁷Cs)을 실험조건에 따라 각각 첨가하여 시

험연소(Trial Burn)함으로써 설비의 제염성능 평가를 시도하였다. 모의폐기물에 첨가된 상기 분석용 첨가물의 분포가 시험연소실험을 통해 유리고화체, 계통내 배관, 각종 여과장치 및 최종배출구로 배기되는 양으로서 정량화 되어야 한다. 그러나 본 고에서는 실험설비가 일체형이므로 최종배출구로 배기되는 배기가스중에 포함된 분석용 첨가물의 양을 제외한 나머지는 유리고화체 및 계통내 배관, 세정수 등에 잔존한다는 가정하에 특정 위치의 계통내 기체 및 최종배출구 전단의 배기체를 분석함으로써 배기체중에 존재하는 분석용 첨가물의 거동 및 배기가스 처리장치의 제염성능을 평가하였다.

본 론

공정설명

플라즈마 아크방식 고온용융 설비의 폐기물 유리화 가능성 연구를 위한 실험설비의 개략적인 공정도를 그림1에 나타내었다. 모의폐기물은 200리터 드럼에 담겨진 형태로 컨베이어에 올려져 에어락(Airlock)으로 이송되며, 파쇄기에 의해 파쇄된 물질들은 혼합되어 주입기에 의해 용융로에 주입된다. 용융로의 양 측면에는 용융된 금속성분과

유리 슬래그 성분을 따로 배출시킬 수 있는 태퍼(Tapper)가 2개 달려있다. 정상운전시 용융물은 용융로내 위치에 따라 1,400~1,900℃의 온도분포를 갖는다. 용융로 상부(PSI)에 설치된 2개의 흑연 전극봉은 폐기물을 용융시키는 고온의 아크를 발생시키며 상,하 및 회전운동이 가능하다. 열적산화기(Thermal Oxidizer)는 용융로에서 발생된 불완전 연소가스를 완전 산화시키기 위한 2차연소로 역할을 하는 것으로서 정상운전온도는 폐기물특성에 따라 900~1,200℃, 배기가스의 체류시간은 2초 이상을 유지한다. 열적산화기를 통과한 배기가스는 급냉장치(Spray Quencher)에서 약 80℃로 급냉되고, 입자분리기(Atomizer, Separator, Eliminator)를 지나면서 배기가스에 포함된 불순물이 분리되며 산성가스는 알칼리성 세정액에 의해 중화된다. 입자분리기를 통과한 배기가스는 재가열기에 의해 가열된 후 전치필터, HEPA 필터, 활성탄 필터, HEPA 필터의 4단계로 구성된 필터뱅크를 통과하면서 최종 여과된다. 굴뚝으로 배출되는 배기가스 중에 함유될 것으로 예상되는 유해성분(CO, SOx, NOx 등)들은 연속방출감시기(CEM)에 의해 자동 연속 측정되고, 방사성 핵종농도는 방사선감시기(RMS)에 의해 연속 감시된다.

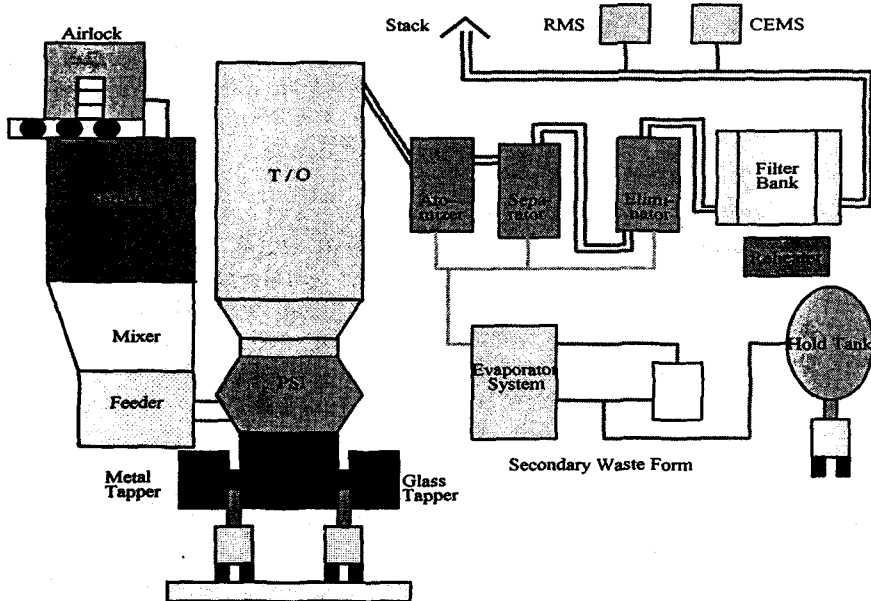


Fig 1. Vitrification Process Flow Diagram

모의 폐기물 제조

실제 방사성폐기물을 사용하는 것이 이상적인 방법이지만 설비에 대한 인,허가 등의 현실적으로 곤란한 문제로 인해 시험연소 실험시에는 물리, 화학적 형태를 유사하게 조제한 모의폐기물을 사용하였다. 국내 원전에 임시 저장중인 방사성폐기

물중 실험대상으로 선정(1996년 이전 저장드럼) 대상폐기물의 종류와 조성에 근거하여[2] 가연성, 비가연성, 폐수지고화체, 봉산폐액고화체를 조제하였다. 시험연소실험을 위해 단계별로 사용한 모의 폐기물의 조성을 표1에 나타내었다.

Table 1. Input waste Composition(wt%) for Trial Burn Tests

Component	Combustible	Non-Comb.	Boric acid	Resin
Polyethylene	40.6			
Polyester				
PVC	15.6			
Paper, Cotton, Wood	43.8			
Other steel		5		
Cation resin				9.7
Anion resin				9.7
Concrete		5.3		
Filter		20.5		
Glass		33.3		
Sand, etc.		35.9		
Boric acid			5.4	
Waster			29.5	15
Concrete			58.9	65.6
Limestone			6.2	
Sum(wt%)	100	100	100	100

실험계획 및 방법

실험계획은 표2에 나타난 바와 같이 그 목적에 따라 유독물질의 제염특성을 파악하기 위한 "Phase 1" 실험과 방사성 핵종의 제염특성을 분석하기 위한 "Phase 2" 실험으로 구분하였고, 실험조건에 따라 "Phase 1"은 "Phase 1-1~Phase 1-4"로, "Phase 2"는 "Phase 2-1", "Phase 2-2"로 세분하였다. "Phase 1-1"과 "Phase 2-1"실험에서는 가연성폐기물, "Phase 1-2" 실험에서는 폐수지 고화체, "Phase 1-3"과 "Phase 2-2"실험에서는 비가연성폐기물을 사용하고 운전조건은 폐기물에 따라 다르게 설정하였다. 단일폐기물로 처리할 경우에는 별도의 첨가제(가연성실험의 경우는 토양, 비가연성실험의 경우는 석회석)가 필요하나 첨가제가 불필요한 "Phase 1-4" 실험에서는 가연성폐기물, 비가연성폐기물, 수지고화체, 봉산농축폐액 고화체를 일련의 정해진 순서에 따라 처리하는 혼합처리

실험(Campaigning Test)으로 계획하였다. 그러나 "Phase 1-4"실험은 감용효과를 확인하는 실험으로서 분석용 첨가제를 포함시키지 않았으므로 본 내용의 배기체 분석 대상에서 제외하였다. 실험방법은 분석용 첨가물질의 분포 및 설비의 제염성능을 평가하기 위해 "Phase 1" 실험에서 카드뮴, 납, 그리고 수은과 방사성 모의물질인 코발트 및 세슘을 모의폐기물에 정량 첨가하고[3], "Phase 2" 실험에서는 방사성 핵종에 대한 제염성능을 평가하기 위해 추적자용으로 선정한 대표 핵종 ⁶⁰Co와 ¹³⁷Cs을 모의폐기물에 첨가하여 시험연소하였다. 각 실험단계의 구성 및 투입물질의 조성을 표2에 나타내었다. 모든 실험의 운전조건은 용융로 내부의 온도가 1400℃ 이상 도달해야하고, 실험목적에 따라 열적산화기 내부온도는 고온실험인 가연성실험("Phase 1-1")의 경우 1100℃ 이상,

저온실험인 비가연성실험의 경우는 900℃ 이상 될 경우에 분석용 첨가물이 담긴 폐기물을 시험연소 하였다. 비방사성 분석용 첨가물은 모의폐기물내에 균질하게 분포되도록 하였는데 비가연성 고화체의 경우는 최초 모의폐기물 제작시 분석용 첨가물이 담긴 유리앰플을 고화드럼의 하단부까지 첨가할 수 있도록 플라스틱 파이프를 심어 시멘트고화체를 제작하였고 첨가시에는 상,하 균질하게 되도록 배치하였다. 각 분석용 첨가물질에 대한 분포와 제염성능 평가를 위해 실시한 시료채취방법은 U.S.EPA에서 정한 방법[4]과 유사한 국내 대기오염공정시험방법[5]에 따라 실시하고, "Phase 1" 실험에서 채취된 시료의 농도분석은 국내 공인시험기관에 의뢰하여 수행하였다. 시료채취 장비로는 등속유량 시료채취기(CAE-Model-80(미), MPN-Model-0(독))를 사용하였고 시료채취지점을 그림2에 나타내었다. 배기가스 시료채취는 "S1", "S2", "S3"에서 0.014~0.028 m³/min의 채취율로 최소3시간이상 등속시료 채취하였고, 세정수는 "S4", "S5"에서 각

1000ml씩 채취하였으며 공인시험기관에 의뢰하여 원자흡광분석, 기체크로마토그래피 방법으로 시료를 분석하였다. "Phase 2" 실험은 방사선원 관리문제와 선원의 파쇄기 흡착 등에 의한 손실량을 최소화하기 위해 주입기 적정부위에 별도의 투입구를 만들어 흡수지로 둘러싼 선원이 담긴 유리앰플을 투입하여 파쇄된 폐기물과 혼합되어 용융로내 투입되도록 하였다. 시료채취는 채취장비의 방사성오염문제로 "S3" 위치에 설치된 등속시료채취기의 여과지와 방사선감시기(RMS)의 등속시료채취기에 딸린 여과지를 시료로 채취하였으며 시료의 방사선준위가 아주 낮음을 감안하여 핵종분석기(Canberra GX-2518 High-Purity Germanium Detektor)로 48시간동안 측정하였다.

시험연소 실험중 "Phase 1"에서는 여건상 여의치 않아 필터뱅크를 구성하고 있는 필터 배열중 활성탄 필터와 전단 HEPA 필터를 제외한 전치필터와 후단 HEPA 필터만을 사용하였으나 "Phase 2" 방사성실험에서는 모두 사용하였다.

Table 2. Feed and Spiked Materials for Phase 1 & Phase 2 Tests

Test Phase	Waste Composition	Treated amount ⁽¹⁾	Spiked Materials ⁽²⁾
Phase 1-1 (Combustible)	PE: 40.6wt% PVC: 15.6wt% Paper, Cotton: 43.8wt%	192kg	CoO: 2420g CsCl: 1735g PbO: 500g HgCl ₂ : 500g CdO: 500g
Phase 1-2 (Resin)	Cement: 65.5wt% Water: 15.0wt% Resin: 19.4wt%	600kg(3)	CoO: 968g CsCl: 694g PbO: 200g HgCl ₂ : 200g CdO: 200g
Phase 1-3 (Non-comb.)	Steel: 2.6wt% Concrete: 7.7wt% Air filter: 20.5wt% Glass: 33.3wt% Sand, Soil: 35.9wt%	360kg(4)	CoO: 968g CsCl: 694g PbO: 1000g HgCl ₂ : 1000g CdO: 200g
Phase 1-4 (Campaigning)	Combustible: 160kg Non-Comb.: 200kg Resin, Boric acid: 320kg	680kg	-
Phase 2-1 (Combustible)	PE: 40.6wt% PVC: 15.6wt% Paper, Cotton: 43.8wt%	112kg	Co-60: 13.04mCi Cs-137: 9.71mCi
Phase 2-2 (Non-Comb.)	Steel: 2.6wt% Concrete: 7.7wt% Air filter: 20.5wt% Glass: 33.3wt% Sand, Soil: 35.9wt%	240kg(5)	Co-60: 13.13mCi Cs-137: 9.56mCi

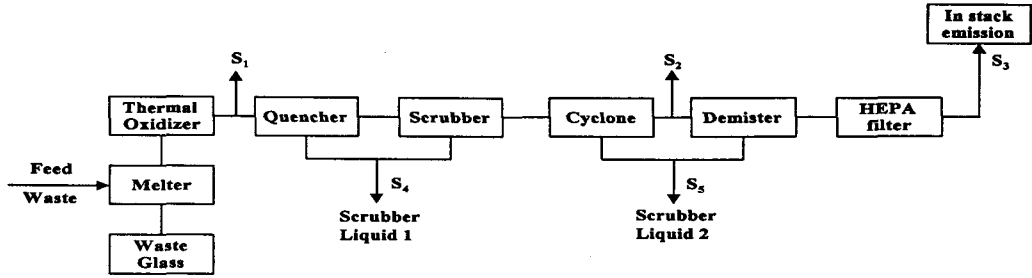


Fig 2. Sampling Locations in the Vitrification process

중금속과 방사성 모의물질(Surrogate)의 분포 및 제염특성

그림2에 나타난 시료채취위치에서 채취한 시료의 분석결과로부터 공정 각 주요단위공정의 제염계수(DFs)를 구하였다. 시료의 대표성이 결여되는 것으로 판단되는 세정 용액의 분석결과를 무시하고, 다중 중금속 시료채취장비 3 셋트에서 채취된 시료에 기준하였을 때 공정내부에 침적될 수 있는 중금속들은 용융로계통에 포함된 것으로 가정하고 결정되는 각 단위장치별 제염계수 DF와 분배비율(Partitioning %)은 다음 식 (1)에서 (8)로 정의되며 이 식에 사용된 기호의 의미를 표3에 정리하였다. 편의상 시료채취위치에 따라 그룹화하여 용융로계통, 세정수계통, 여과계통 및 배기로 구분하였다.

$$DF_{M,i} = \frac{M_{F,i}}{M_{S1,i}} \quad (1)$$

$$DF_{SS,i} = \frac{M_{S1,i}}{M_{S2,i}} \quad (2)$$

$$DF_{FS,i} = \frac{M_{S2,i}}{M_{S3,i}} \quad (3)$$

$$DF_{overall,i} = DF_{M,i} \times DF_{SS,i} \times DF_{FS,i} = \frac{M_{F,i}}{M_{S3,i}} \quad (4)$$

용융로 계통의 분석용첨가물 'i'의 분배비율(%)

$$= \frac{(M_{F,i} - M_{S1,i})}{M_{F,i}} \times 100\% \quad (5)$$

세정수 계통의 분석용첨가물 'i'의 분배비율(%)

$$= \frac{(M_{S1,i} - M_{S2,i})}{M_{F,i}} \times 100\% \quad (6)$$

여과계통의 분석용첨가물 'i'의 분배비율(%)

$$= \frac{(M_{S2,i} - M_{S3,i})}{M_{F,i}} \times 100\% \quad (7)$$

배기되는 분석용첨가물 'i'의 분배비율(%)

$$= \frac{M_{S3,i}}{M_{F,i}} \times 100\% \quad (8)$$

Table 3. Definitions of the parameters used in Eq. (1) - (8)

Parameter:	Definition
DF _{M,i}	Decontamination factor of melter system for 'i' metal species
DF _{Ss,i}	Decontamination factor of scrubber system for 'i' metal species
DF _{FS,i}	Decontamination factor of Filtering system for 'i' metal species
DF _{overall,i}	Overall decontamination factor for 'i' metal species
M _{F,i}	Quantity of 'i' metal spiked
M _{S1,i}	Quantity of 'i' metals in off-gas from thermal oxidizer during operation.
M _{S2,i}	Quantity of metals in off-gas from cyclone during operation.
M _{S3,i}	Quantity of metals in stack emission during operation.

위 식들로 정의된 변수들로부터 산정된 제염계수를 표4에 나타내었고, 분포비를 표5와 그림3~그림5에 나타내었다.

Table 4. Decontamination factor achieved from Phase 1 Tests

Test	Composition	Melter Sys.	Scrubbing Sys.	Filtering Sys.	Overall
Phase1-1	Co	2.9E+01	1.9E+01	3.8E+01	2.1E+04
	Cs	2.5E+00	1.5E+01	4.3E+02	1.7E+04
	Pb	2.3E+00	4.1E+00	2.2E+01	2.1E+02
	Hg	1.2E+00	2.6E+00	1.1E+01	3.4E+01
	Cd	2.3E+00	8.9E+00	8.3E+00	1.7E+02
Phase1-2	Co	1.1E+03	3.4E+00	2.4E+01	9.1E+04
	Cs	6.8E+00	1.8E+01	1.1E+01	1.4E+03
	Pb	1.1E+01	9.5E+00	1.7E+01	1.7E+03
	Hg	1.4E+00	1.7E+01	1.2E+01	2.9E+02
	Cd	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.4E+03
Phase1-3	Co	2.7E+03	1.1E+00	1.6E+02	5.0E+05
	Cs	4.2E+00	4.0E+01	5.5E+01	9.2E+03
	Pb	4.8E+00	2.0E+01	1.3E+02	1.3E+04
	Hg	1.7E+00	1.5E+01	3.3E+00	8.8E+01
	Cd	5.4E+00	1.4E+01	4.5E+02	3.3E+04

Table 5. Partitioning(wt%) of Spiked materials during Phase 1 Tests

Test	Spiked material	Melter Sys.(*)	Scrubbing Sys.	Filtering Sys.	Emission
Phase1-1	Co	96.595	3.22	0.18	0.005
	Cs	56.77	38.39	4.26	0.58
	Pb	63.53	32.23	3.73	0.51
	Hg	19.37	49.49	28.22	2.92
	Cd	60.084	37.29	2.62	0.006
Phase1-2	Co	99.909	0.06	0.03	0.001
	Cs	85.38	13.8	0.75	0.07
	Pb	90.54	8.46	0.94	0.06
	Hg	30.47	65.36	3.82	0.35
	Cd	91.16	8.04	0.73	0.07
Phase1-3	Co	99.9658	0.004	0.03	0.0002
	Cs	76.19	23.21	0.59	0.01
	Pb	79.112	19.87	1.01	0.008
	Hg	41.71	54.52	2.64	1.13
	Cd	81.647	17.02	1.33	0.003

* The data of Melter System include the rates from Shredder, Feeder, Pipe Line before Scrubber, and vitrified glass.

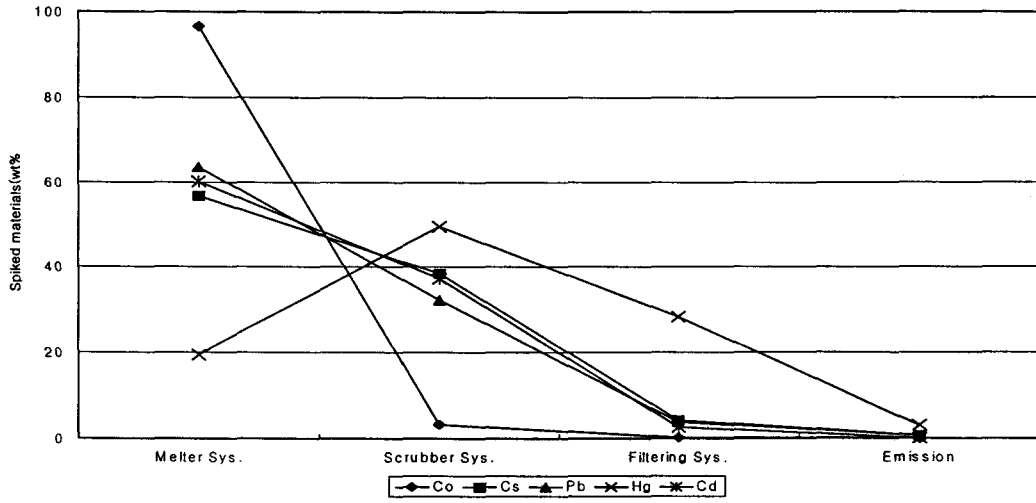


Fig 3. Partitioning of Spiked materials during Phase 1-1 test

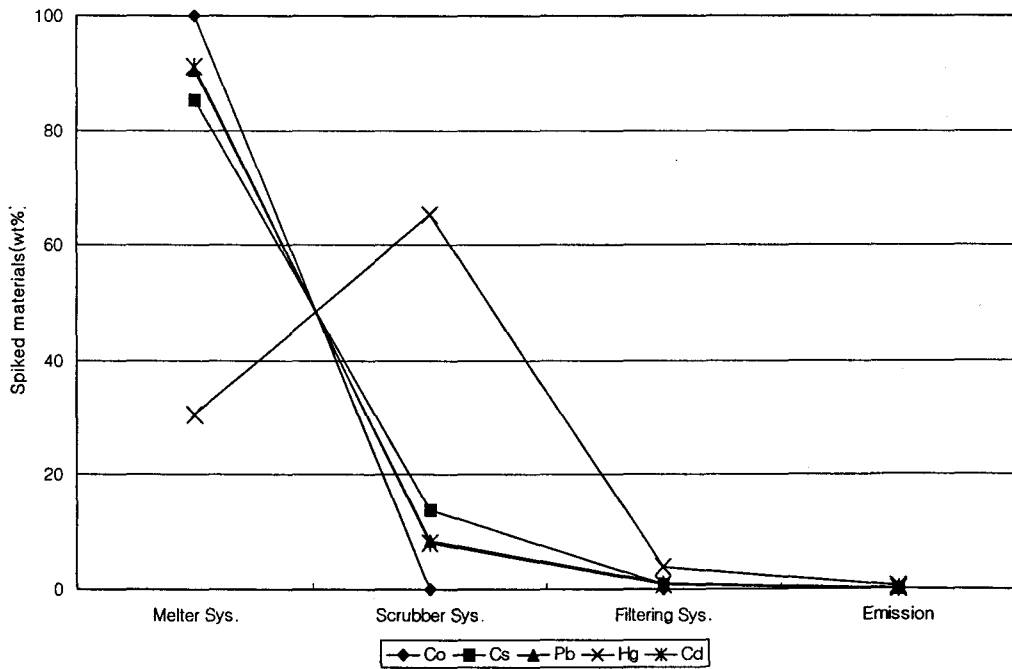


Fig 4. Partitioning of Spiked materials during Phase 1-2 test

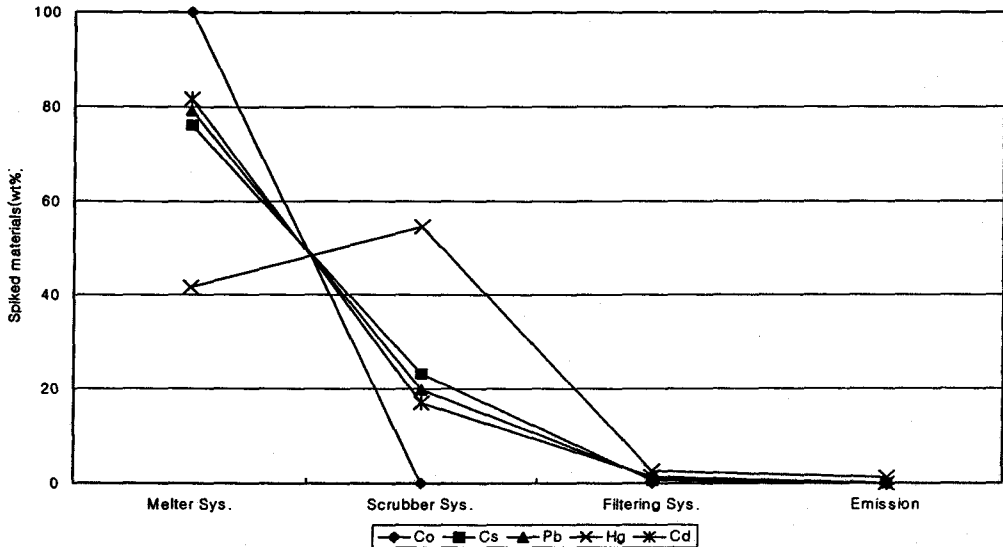


Fig 5. Partitioning of Spiked materials during Phase 1-3 test.

방사성 핵종의 제염특성

“Phase 2” 실험시 그림2의 “S3” 시료채취위치에 설치된 등속시료채취기의 여과지와 방사선감시기(RMS)의 등속시료채취기에 딸린 여과지를 시료로 채취하여 분석하였다. 시료의 방사선준위가 아주 낮음을 감안하여 핵종분석기(Canberra GX-2518 High-Purity Germanium Detector)로 48 시간동안 측정하였음에도 불구하고 측정기기의 MDA인 0.3 Bq을 초과하지 않아 검출되지 않았으므로 ⁶⁰Co 및 ¹³⁷Cs 각각에 대한 제염계수로서 “Phase 2-1” 실험에서는 최소 4.4×10⁵ 이상, “Phase 2-2” 실험에서는 최소 3.2×10⁵ 이상의 값으로 나타났다.

결론

플라즈마 아크 용융방식 유리화 시험설비의 계통내 기체 및 최종배출구 전단의 배기체를 분석함으로써 배기체중에 포함된 분석용 첨가물의 거동 및 배기가스 처리장치의 제염성능을 평가하였다. 모의폐기물에 첨가된 분석용 첨가물의 분포가 시험연소실험을 통해 유리고화체, 계통내 배관, 각종 여과장치 및 최종배출구로 배기되는 양으로서 정량화 되어야 하나 규모면에서 대형이고 일체형인 용융로 전단부의 파쇄기, 혼합 및 주입기와 계통

내 배관에 침적된 첨가물을 정량적 방법으로 판단하기 곤란하였다. 다만 실험설비가 일체형이므로 최종배출구로 배기되는 배기가스중에 포함된 분석용 첨가물의 양을 제외한 나머지는 유리고화체 및 계통내 배관, 세정수 등에 잔존한다는 가정하에 특정위치의 계통내 기체 및 최종배출구 전단의 배기체를 분석함으로써 배기가스 처리설비의 제염성능을 평가하였다.

각 분석용 첨가물질에 대한 제염특성으로서 비휘발성인 코발트의 경우 “Phase 1-1”에서 약 96.6wt%, “Phase 1-2”에서 약 99.91wt%, “Phase 1-3”에서 약 99.96wt% 가 용융로계통에 잔재하는 것으로 나타나 시험조건에 관계없이 주로 유리고화체와 세정계통 전단부 공정 배관내에 분포되어 있을 것으로 판단된다. 코발트의 특성상 약 1500℃까지의 고온에서도 염소원소의 존재 유무에 관계없이 안정된 고체 산화물(CoO)의 형태로서 증기압이 없다. 그러나 시험조건에 따라 차이가 나는 것은 시험온도조건에 따른 코발트성분의 휘발성 차이에 기인하는 것이 아니고 폐기물 연소도는 용융시에 발생하는 기체의 유동특성에 기인한 입자상 물질의 동반량의 차이에 따른 것이라고 판단된다. 반휘발성인 세슘의 경우 시험조건에 따라 다소 차이를 보이나 고온실험인 “Phase 1-1” 시험에서도 투입된 양의 56.7wt%가, 저온실험인

"Phase 1-2", "Phase 1-3" 실험에서는 85.38wt%와 76.1wt%가 용융로계통에 함유된 것으로 나타났는데 이는 온도와 분위기 물질의 종류 및 함량에 따라 안정된 형태로 존재할 수 있는 세습화합물의 증기압 차이에 기인한 것으로 예상된다. 휘발된 세습은 급냉 및 습식세정공정에서 상당량 포집되고, 세정공정 이후에 잔여하는 세습은 대부분 여과계통에서 포집된 것으로 나타났다. 각 단계에서 나타난 세습에 대한 포집효율의 차이는 폐기물 투입 조성에 따른 비발동반 특성 및 가스상 성분의 평형조성과 증기상 세습의 응축기구의 차이에 따른 입자상 세습의 크기분포특성의 차이에 기인한 것으로 판단되나 코발트와 마찬가지로 향후 미립자의 발생특성이 규명된 이후에야 더 정확한 원인이 파악될 수 있을 것이다. 납과 카드뮴의 공정내 분포특성은 동일한 시험조건에서는 유사한데 이는 납 및 카드뮴의 휘발성에 영향을 미치는 물리화학적 특성인 산화물의 산소농도에 따른 고온안정성, 염소와의 친화성, 녹는점 및 비등점 등이 거의 비슷하기 때문일 것이다. "Phase 1-1"에서는 납 및 카드뮴 모두 약 40wt%가 휘발 또는 배기체에 동반되었고 저온실험인 "Phase 1-2" 및 "Phase 1-3"에서는 약 10~20wt%가 휘발 또는 배기체에 동반되고 있다. 이러한 차이는 운전온도 뿐만 아니라 투입되는 폐기물의 조성 특히 염소함량의 영향이 크기 때문에 추정되는데 이는 납과 카드뮴은 염소와의 친화력이 크고 고온에서 안정된 염화물은 증기압이 커서 쉽게 휘발하기 때문이다. 휘발성이 큰 수은의 경우에도 20~40wt%까지 용융로 계통내에 잔존하는 것으로 나타났으나 이 값은 그림 3, 4, 5에서 처럼 신뢰성이 없는데 그 이유는 저온에서도 대부분 증기로 존재하는 수은에 대한 열적산화기 후단의 배기시료채취위치인 "S1"에서의 주변 온도가 워낙 높아 시료채취장비의 임핀저 냉각용 냉각저온조의 저온유지가 어려워 발생한 시료채취 효율의 오차에서 기인한 것이라고 판단된다. 그러나 저온부 2개소(S2, S3)에서 채취한 결과를 근거하여 볼 때 용융로에서 휘발된 수은성분들의 상당량이 세정수 계통에서 포집되었고, 잔여성분에 대한 여과계통의 포집효율도 얼마간 있는 것으로 나타나, 휘발된 수은성분은 열적산화기 이후 배기체 냉각공정부터 일부는 HgO(s) 또는 HgCl(l)의 형태로, 또는 미립자에 흡착된 상태로 존재하여 세정공정 및 여과공정에서 침착되거나 여과된 것으로 판단된다. 그러나 "Phase 1"의 모든 실험이 필터뱅크 내부에 전단 HEPA 필터와 활성탄 필터를 설치하지 못한 상태에서 이루어져, 전체적인 제거효율이 충분치 않은 것으로 볼 수

있으므로 향후 추가 실험시에는 이에 따른 영향을 반영할 예정이다.

방사성실험 결과로부터 방사성 모의물질인 세습(Cs)과 코발트(Co) 자연원소에 대한 제염계수와 방사성핵종의 제염계수를 비교하여 볼 때 휘발성이 큰 세습의 경우 제염계수 차이가 많이 나는 것은 배기체 처리공정에서 기체상 세습 자체의 농도 차이에 따른 동질응축(Homogeneous condensation) 및 자체 또는 공존하는 다른 유기 또는 무기물입자와의 응고작용(Coagulation)에 의한 입자의 성장과 큰 연관을 갖기 때문으로 판단되나 이 또한 미립자의 발생 특성이 규명된 이후에야 더 정확한 원인이 파악될 수 있을 것이다.

금번 시험연소실험에서는 방사성동위원소의 사용제한에 따라 혼합 핵종이 존재하는 방사성폐기물에 따른 특성을 반영치 못하였다. 추후에는 본 실험결과를 바탕으로 파쇄기, 혼합기 및 투입기와 공정내 배관, 유리고화체 및 세정수 등에 침적되는 분석용 첨가제의 비율을 확인함으로써 본 실험결과와 비교, 분석할 예정이며, 폐기물의 종류에 따라 공정에서 발생하는 배기가스 중 미립자의 특성을 평가함으로써 본 실험에서 명확하게 제시하지 못한 사항과 불분명한 결과들을 보완할 예정이다.

참고문헌

1. T.L.Eddy, B.D.Raivo, N.R.Soelberg, O.Wiersholm, "Advanced Mixed Waste Treatment Project Melter System Preliminary Design Technical Review Meeting", Idaho National Engineering Laboratory & Lockheed Martin Idaho Technologies, Idaho Falls, INEL-95/0054 (1995).
2. "원자력발전소 방사선관리연보", 한국전력공사 (1996~1998)
3. Technical Resource Document sponsored through an Interagency Agreement between EPA and DOE, "Demonstration Testing for Mixed Waste Thermal Treatment Technologies", Energy and Environmental Research Corporation(1997).
4. "Methodology for the Determination of Metals Emissions in Exhaust Gases from Hazardous Waste Incineration and Similar Combustion Sources", 40 CFR 266, appendix IX.
5. "대기오염공정시험법", 환경부(1998)