

‘96춘계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## 방사성 동위원소 (RI) 폐기물의 소각

김정국, 양희철, 김인태, 이근우, 김준형  
한국원자력연구소

### 요 약

국내의 방사성 동위원소 (Radioisotope; RI) 사용기관에서 발생, 수거되어 현재 원자력연구소 저장고 내에 보관중인 폐기물중 가연분을 대상으로 소각실증실험을 수행하였다. 폐기물 발생일을 기준하여 최소 2년이상 경과한 RI 폐기물을 소각한 결과 폐기물의 부피와 무게를 각각 약 1/250, 1/30로 줄일 수 있었으며, 소각운전중 배출기체의 농도는 환경관련법상의 배출허용기준치 이하, 배출방사선량은 검출기의 측정한계 이하였다. 방사성동위원소 추적자로 I-131 ( $Na^{131}I$ 형태, 총 2mCi)을 사용한 모의 폐기물을 소각한 결과 대부분의 방사능은 소각재에 잔존하기 보다는 휘발되어 배기체와 함께 거동하며 주로 포대여과기의 여과층에서 잡히는 것으로 나타났다.

### 1. 서론

#### 1.1 배경

원자력연구소에서 연구개발한 방사성 가연성폐기물 처리용 실증소각시설(그림 1 참조)을 연구소내에서 발생하는 폐기물과 방사성 동위원소 (RI) 사용기관에서 발생하는 폐기물의 처리에 활용하고자 동 설비의 보완 및 인허가를 추진중에 있다. 이의 일환으로 국내의 RI 사용기관에서 발생되어 수거, 저장중인 폐기물중 가연분을 대상으로 소각처리 관점에서 그 특성을 파악하고, 본 소각설비를 이용해 소각시 보완, 개선해야 할 사항 및 인허가 관련 서류작성에 필요한 기본자료를 도출하고자 RI 폐기물 실증소각실험을 수행하였다.

## 1.2 소각처리시 방사선 안전성 분석

현재 연구소 저장고내에 보관중인 RI 폐기물에 함유된 핵종은 I-125, Tc-99m, P-32, H-3, 및 C-14 등이 주종을 이루는데 이중 I-125가 약 70%, Tc-99m이 약 10%를 차지한다. 이들 핵종중 실증소각실험시 폐기물에 포함된 휘발성 핵종 (유기성 요오드, 삼중수소, 탄소 등)은 소각후 그 핵종의 일부가 소각재에 남기도 하지만 대부분 기체상태로 휘발되어 배기체와 함께 유동하게 된다. 휘발된 핵종의 응축 (또는 회수) 설비를 갖추지 않은 일반적인 소각설비의 경우 이러한 휘발성 기체에 대해서는 큰 제염효과를 기대할 수 없다. 따라서 가장 보수적으로 계산하여 얻은 최종배출농도를 과기처가 정한 공기중 허용농도와 비교하는 방법으로 본 소각시설의 방사선 안전성을 분석하였으며 이를 표 1에 보였다.

## 2. 실험

### 2.1 RI 폐기물 실증소각

실증소각실험에 사용된 RI 폐기물을 공업분석한 결과와 발열량을 측정된 결과 소각대상 폐기물 모두 회분이 거의 없는 휘발성 물질인 것으로 나타났으며, 그 평균 발열량이 12,000 kcal/kg 정도이었다.

실증소각실험에 사용될 소형 폐기물 꾸러미는 이송된 100 ℓ 용량의 폐기물 드럼을 개봉하여 소각로 투입에 적합한 양이 되도록 취한 후 폴리에틸렌 (PE) 비닐로 1차 포장하여 밀봉하고 다시 종이봉투로 재포장하여 준비하였다.

### 2.2 I-131 추적자를 사용한 실증소각

RI 폐기물의 주요 핵종인 I-125는 27.2 keV (Abundance : 39.7%)에서 X선을, 35 keV (Abundance : 6.7%)에서  $\gamma$  선을 방출하는데, 방사선을 측정하는 일반적인 방법으로는 분석이 어려울 뿐만 아니라 소내 저장중인 RI 폐기물은 발생시점으로부터 2년 이상이 경과하여 방사능이 거의 무시할만한 수준이다. 국내의 의료기관에서 사용하는 I-125는 매우 다양한 화학종의 형태로 활용되고 있으며, 연구기관에서

는 대부분 NaI (Sodium Iodide) 형태로 수산화나트륨 용액에 용해되어 이용되고 있다. 따라서 RI 폐기물의 소각시 이들 핵종의 정량적인 거동을 측정하기 위해 소각 시설에 설치된 요오드 감시장치 (Bai 9103 Iodine Monitor, Bai Berthold 제조)로 측정이 가능한  $\text{Na}^{131}\text{I}$ 를 추적자로 사용하여 소각실험을 수행하였다. 방사성동위원소 추적자를 포함하는 모의 폐기물은 PE 비닐로 포장된 제염지에 액상의  $\text{Na}^{131}\text{I}$ 을 증류수로 희석한 액을 주사기로 주입하여 준비하였다.

### 2.3 소각실험

소각공정 각 부위별 이상 유무를 점검한 후 이상이 없음을 확인하면 각종 측정 계기와 송풍 및 배기용 팬과 시설 환기용 팬을 가동시킨다. 예열용 버너를 점화하여 소각로 및 각 단위공정을 예열시켜 소각로 내부 온도가  $450^{\circ}\text{C}$  이상에 이르면 제염지를 투입하면서 소각 기준온도인  $900^{\circ}\text{C}$ 까지 승온시킨다. 이후 실험 대상 폐기물을 투입하면서 정상적인 소각을 실시한다. 2~3차례 폐기물 투입후 연소상태에 따라 예열용 버너를 끌 수 있다. 폐기물 투입후 소각로 온도가 상승하였다가 하강하여 소각 기준온도에 도달할 때마다 준비한 폐기물을 투입하면서 소각실험을 진행한다. 실험이 진행되는 동안 일정시간마다 공정 각 부의 온도, 압력 등을 기록하고 분진 및 연소기체농도를 측정한다. 준비된 폐기물이 모두 소각되면 로의 온도가  $150^{\circ}\text{C}$  이하로 떨어질 때까지 각종 계기와 장치를 가동시킨다.

소각실험을 수행하는 동안 시설 외부로 배출되는 방사능은 굴뚝에 연결된 시료채취용 관을 통해 연속적으로 분석, 측정이 가능한 Bai 9103 Iodine Monitor (Bai Berthold 제조) 기기로 측정하였다. 소각로 하단의 소각재, 후연소로 하단의 재 및 포대여과기 하단의 재에서 시료를 채취하여 각각의 비방사능을 Multi-logger LB-5310 (Berthold 제조)에 연결된 방사선 측정기 (Berthold 제조, LB761 GD)로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 RI 폐기물 소각

폐기물 투입량 및 투입간격으로부터 계산된 소각용량은 10.5 kg/h로 설계용량의 약 1/2정도였으나 이는 설계기준이 원자력발전소에서 발생하는 가연성 폐기물의 조성 및 발열량을 기준하였기 때문이며, 이를 소각 열용량으로 환산해보면 약 520 MJ/h로서 설계치인 420 MJ/h 보다 20% 이상으로 운전되었다.

180 ℓ의 RI 폐기물을 소각실험한 후 수거한 재료부터 계산한 폐기물의 감중률(소각전 폐기물 무게/소각후 수거된 재 무게), 감용률(소각전 폐기물 부피/소각후 수거된 재 부피)은 각각 30, 250 이었다. 감중률에 비해 감용률이 상대적으로 큰 것은 대부분의 폐기물이 공간을 많이 차지하고 있는 딱딱한 용기형태로 압축되지 않은 상태로 드럼에 담겨져 있기 때문이다. 폐기물의 대부분이 쉽게 열분해되어 완전연소가 가능한 플라스틱임을 감안하면 많은 양의 폐기물을 계속해서 소각할 경우 더 높은 효율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

소각운전하는 동안 시설 외부로 배출되는 방사성 요오드 농도 및 전 방사능 농도는 방사능 감시장치를 연속가동하며 측정하였으나 기기의 측정오차범위 이내였다.

### 3.2 I-131 추적자를 사용한 실증소각

총 2mCi의 I-131 추적자를 포함한 모의 폐기물을 소각하는 동안 소각시설 외부로 방출되는 배기체중 방사성 요오드의 방사능 농도를 매 1분마다 연속적으로 측정하여 그 결과를 소각단계에 따라 나누고 각 단계별 누적치 및 평균치를 계산하였다. 소각실험하는 동안 총 배출방사선량은 예열단계와 모의 폐기물 소각단계의 평균치의 차로부터 계산하였으며, 이렇게 계산된 본 소각설비의 제염계수는 약  $1.76 \times 10^5$ 으로 나타났다.

소각이 완료된 후 소각로 하단의 소각재, 후연소로 하단에 모아진 재 및 포대여과기 하단에 모아진 재의 일부를 채취하여 각각의 비방사능을 측정한 결과를 표 2에 실었다. 3개의 서로 다른 지점에서 회수된 재의 비방사능을 측정한 결과 소각재 자체의 비방사능에 비해 후연소로 하단에서 회수된 미세한 재 및 역세정 단계에서 회수되는 포대여과기 하단의 재의 비방사능이 각각 24배, 370배 정도 높은 것으로 나타났는데 이는 대부분의 요오드 핵종이 소각온도에서 휘발되거나 용융되어 연

소기체와 함께 소각로를 빠져 나가는 것을 의미한다. 따라서 이러한 휘발성 핵종의 소각시에는 소각재로 회수되는 핵종이 매우 적고 거의 대부분이 연소되는 이후의 공정으로 배기체와 함께 이동되므로 이에 대한 감시 및 여과설비가 더욱 강화되어야 할 것이다.

#### 4. 결론

방사성 동위원소 (RI) 사용기관에서 발생되어 2년 이상이 경과한 RI 폐기물 및 I-131 핵종을 추적자로 사용한 모의 폐기물을 대상으로 소각실험을 수행하였다. 회분이 거의 없는 플라스틱류인 RI 폐기물은 900℃ 이상의 소각온도에서 거의 완전히 분해되어 그 부피와 무게를 각각 1/250, 1/30로 줄일 수 있었으며 배기체 중의 방사능은 측정한계 이내로 나타났다. 휘발성 핵종의 하나인 I-131을 추적자로 사용한 소각실험의 결과 대부분의 핵종이 소각재에 잔존하지 않고 연소기체와 함께 거동하는 것을 확인하였으며 따라서 휘발성 핵종을 함유하는 폐기물을 소각할 경우 배기체 처리설비중 이에 대한 고려가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 김준형 외, “방사성폐기물 처리기반 기술개발; 방사성폐기물 감용고화 기술 개발(I)”, KAERI-NEMAC/RR-159/95, 과학기술처 (1995).
2. 이병직 외, “방사성동위원소폐기물 관리”, KAERI II/PR-7/90, 과학기술처 (1990).
3. 과학기술처고시 제90-11호, “방사선량 등에 관한 규정”, 과학기술처 (1990).
4. Helmholtz, H. R., et al., “Solid Radwaste Radionuclide Measurements”, EPRI NP-2734, Electric Power Research Institute (1982).

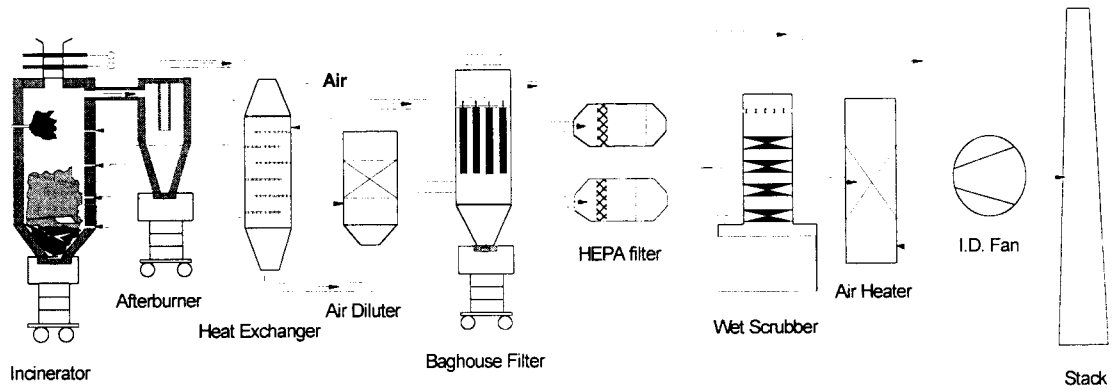


그림 1. 방사성폐기물 처리용 소각설비의 개략도

표 1. RI 폐기물 소각실험시 방사능 안전성 분석계산 결과

Radioisotope	Waste form	Maximum activity in off-gas ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ )	MPC in air ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ )
I-125	Syringe, Tube	$6.8 \times 10^{11}$	$8 \times 10^{11}$
H-3	Tube, Tray	$1.42 \times 10^{17}$	$4 \times 10^7$
P-32, C-14, H-3*	Tube, Pipet tip	$8.4 \times 10^9$	$1 \times 10^7$
Tc-99m	Tube, Vial	Negligible	$1 \times 10^5$

주) Calculated by Gross Radioactivity Measurement [4]

표 2. 요오드-131 추적자를 사용한 모의폐기물 소각후 재의 비방사능

구 분	비방사능(Bq/g of ash)
소각로 소각재	13.8
후연소로 재	330.9
포대여과기 재	5073.0