

'96 춘계학술발표회 논문집

한국원자력학회

원전 가연성폐기물 열처리시 방사선 피폭평가

서용철 · 이규성

연세대학교

조승호 · 이병수 · 이승행

한국원자력안전기술원

이진홍

충남대학교

요 약

소각 또는 고온용융 등의 열처리 설비의 운전시 이로부터 예상되는 작업자 및 인근주민의 방사선 피폭을 보수적인 개념과 단순화시킨 피폭예측 식을 이용하여 산출해 보았다. 200kg/hr 용량의 소각로에 대해 발전소의 가연성 폐기물을 소각하는 경우 작업자의 피폭이 인근주민보다 훨씬 우려해야 하는 영향인자였으며 소각대상물 중의 핵종농도의 제한, 소각재 취급시 차폐의 증대 등이 요구된다. 따라서 작업자의 최대 피폭허용기준치를 기초로 폐기물내 핵종의 최대 허용 비방사능치를 계산해 보았고 각 핵종의 영향도를 제시해 보았다. 적용된 식은 각종처리 및 처분시설의 설계 및 운전전에 안전성 평가에 활용될 수 있으리라고 기대된다.

I. 서 론

소각시설 또는 고온처리 시설 활용시 이에 대한 안전성 평가를 위해 작업자 및

인근주민의 방사선 피폭영향의 파악이 필요하다. 본 연구에서는 방사성폐기물을 열처리를 통해 처리할 경우 이로부터 기인하는 작업자의 피폭과 인근주민의 피폭을 국제원자력기구에서 제시한 식을 사용하여 계산하였으며 가장 보수적인 값을 고려하여 최대로 피폭된다고 가정하여 예측함으로써 이의 안전성을 평가해 보고자 하였다. 원전폐기물의 실제 소각을 예상하여 계산된 값과 비교하여 안전성을 평가하고자 하였고 허용피폭선량으로부터 역환산하여 원자력법의 제한 피폭선량을 만족시키는 방사성폐기물의 투입량의 제한값을 가연성폐기물에 대해 계산하였다. Co-60, Mn-54, Cs-137, C-14, H-3의 각 단일 핵종별의 유해영향도를 알아보기 위해 폐기물의 각각의 최대 허용 비방사능치를 계산해 보았다.

II. 작업자 및 인근주민의 피폭평가 계산방법

1. 작업자의 피폭선량 이론

소각시 작업자의 방사능 피폭의 경로는 주로 폐기물, 또는 소각재의 취급 및 기타 작업시에 작업자의 직접적 외부피폭 및 작업장내의 비산먼지에 의한 흡입피폭으로 구성된다.

1.1 작업자 내부피폭선량 계산식

$$H_{INH,i} = mt \zeta C_d C_{w,i} DF_{INH,i} (1-f_i) F_{d,i} \text{-----}(1)$$

1.2 작업자 외부피폭선량 계산식

$$H_{EXT,i} = tGS_i m C_{w,i} DF_{EXT,i} (1-f_i) \text{-----}(2)$$

2. 인근주민의 피폭선량 이론

방사성폐기물의 소각시 대기중 배출되는 방사성 입자 또는 가스로 인한 주민의 피폭경로는 공기중 방사성물질 및 지표에 침적된 방사성물질로 인한 외부피폭과 공기중 방사성물질의 직접적인 호흡 및 이에 오염된 음식물의 섭취로 인한 체내 피폭으로 이루어진다. 계산은 다음의 관련식으로부터 가능하다.

$$C_{a,i} = \chi f_i RC_{w,i} \text{-----} (3) \quad C_{g,i} = V_{g,i} C_{a,i} D_i (\theta) \text{-----}(4)$$

$$C_{r,i} = V_{g,i} C_{a,i} I_i (\theta) \text{-----} (5) \quad C_{j,i} = V_{g,i} C_{a,i} F_{ij} (\theta) \text{-----} (6)$$

개인의 방사능 피폭은 다음과 같은 식들을 이용하여 계산할 수 있다.

(a) 공기중 방사성 물질의 호흡

$$H_{INH,i} = (C_{a,i} + C_{r,i}) \zeta t DF_{INH,i} \text{ ----- (7)}$$

(b) 외부피폭

$$H_{EXT,i} = (C_{a,i} DF_{PE,i} G_p S_{p,i} + C_{g,i} DF_{DE,i} G_D S_{D,i}) t \text{ ----- (8)}$$

(c) 오염된 음식물의 섭취로 인한 내부피폭

$$H_{ING,ij} = C_{j,i} Q_j A_j DF_{ING,i} \text{ ----- (9)}$$

3. 소각시설의 기본요건

- 용량 : 200 kg/hr
- 소각로의 형식 : 무관
- 굴뚝의 높이 : 50m
- 소각에 의한 감중비 : 40
- 소각로의 성능
- 비휘발성 핵종의 제거효율에 의한 DF : 10^4
- 휘발성 핵종의 DF : 1.0

4. 투입량 추정

방사능 영향 평가를 위하여 이용된 원자력 발전소의 가연성 폐기물의 핵종은 핵종 분포율을 고려하여 H-3, C-14, Mn-54, Co-60, Cs-137 등의 5핵종으로 한정하였다. 가연성 원전 폐기물내의 총 방사능량은 보수적으로 20mCi/드럼으로 가정한다. 드럼의 평균 무게가 80kg이므로 이 방사능량은 0.25mCi/kg(9,250Bq/g)이고 각 핵종의 분포율에 따른 방사능량은 Table 1과 같다.

Table 1. Nuclide, Fraction & Radioactivity concentration for simulation

Nuclide	Fraction (%)	Radioactivity (Bq/g)
H-3	2.5	231.25
C-14	2.5	231.25
Mn-54	5	462.5
Co-60	60	5,550
Cs-137	30	2,775
Total	100	9,250

III. 계산결과 및 고찰

1. 작업자의 피폭 계산결과

계산은 소각후 남은 재를 처리하는 과정에서 소각재 내에 포함된 핵종에 노출되는 작업자의 피폭에 기준을 두었다. 주요 5핵종으로 모의폐기물을 구성하여 소각시의 작업자의 피폭선량 계산의 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Calculated results of radiation dose for workers

Nuclide	inhalation($\mu\text{Sv/y}$)	exposure($\mu\text{Sv/y}$)	dominant pathway
Co-60	1.11×10^2	1.39×10^6	exposure
Mn-54	3.74×10^{-1}	3.93×10^4	exposure
Cs-137	1.15×10^1	1.22×10^5	exposure
H-3	6.15×10^{-2}	-	inhalation
C-14	1.87×10^{-3}	-	inhalation
Total	1.23×10^2	1.55×10^6	Total : 1.55×10^6

* 작업자 허용피폭선량 : $5 \times 10^4 \mu\text{Sv/y} = 5 \text{ R/y}$

2. 인근주민의 피폭 계산결과

계산은 소각로의 연도에서 배출된 핵종의 농도가 최고가 되는 거리에서 거주하는 주민의 피폭에 기준을 두었다. 주요 5핵종으로 모의폐기물을 구성하여 소각시 인근주민의 피폭선량 계산의 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Calculated results of burnable waste radiation dose for residential individuals

Nuclide	inhalation ($\mu\text{Sv/y}$)	exposure ($\mu\text{Sv/y}$)	ingestion ($\mu\text{Sv/y}$)	dominant pathway
Co-60	3.40×10^{-1}	9.16×10^{-7}	2.56×10^{-7}	inhalation
Mn-54	1.15×10^{-3}	2.57×10^{-8}	4.61×10^{-10}	inhalation
Cs-137	3.53×10^{-2}	1.0410^{-7}	6.28×10^{-8}	inhalation
H-3	5.74×10^{-6}	-	-	inhalation
C-14	1.89×10^{-4}	-	-	inhalation
Total	3.77×10^{-1}	1.05×10^{-6}	3.20×10^{-10}	Total : 3.77×10^{-1}

* 작업자 허용피폭선량 : $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/y} = 500 \text{ mR/y}$

3. 투입제한량

3.1 폐기물 종류별 투입제한량

기준값인 작업자의 연간 허용피폭선량으로부터 역계산하여 투입되는 방사성 폐기물 중의 핵종의 양을 제한할 필요가 있으며 실제 폐기물에 준한 모의폐기물에 대하여 계산한 결과가 Table 4에 나타나 있다.

Table 4. Results of maximum specific activity in wastes calculated from allowable workers' dose

Nuclide	Fraction (%)	Activities in Waste (Bq/g)
H-3	2.5	7.5
C-14	2.5	7.5
Mn-54	5	14.9
Co-60	60	179
Cs-137	30	89.6
Total	100	298.5

3.2 단일핵종별 최대 허용 비방사능값

폐기물내 단일핵종이 100%로 구성된다고 가정하여 계산된 각 핵종별 투입량의 제한값이 Table 5에 나타나 있다.

Table 5. Results of maximum specific activity for mono-nuclide calculated from allowable workers' dose

Nuclide	Co-60	Mn-54	Cs-137	C-14	H-3
Activities in Waste (Bq/g)	200	588.18	1136	1.88×10^8	6.19×10^9

IV. 결 론

- 1) 작업자 피폭의 주요경로는 분진의 호흡으로 인한 내부피폭보다는 소각재 취급 시에 직접적인 외부피폭에 의한 것으로 작업시간에 특히 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 계산에 나타난 총피폭선량은 가연성 폐기물이 $1.55 \times 10^6 \mu\text{Sv/y}$ 로 작업자의 연간 허용 피폭선량인 $5 \times 10^4 \mu\text{Sv/y}$ 에 초과하는 것으로 나타났다. 본 계산이 보수적인 조건에서 실시되었고 소각재 처리 작업시간, 차폐, 비산먼지중의 핵종농도 및 폐기물중의 핵종농도가 제한될 경우 허용기준치 이하의 피폭을 보일 것으로 예상된다.
- 2) 인근주민에 대한 총피폭선량은 가연성 폐기물이 $3.77 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ 로 인근주민의 연간 허용 피폭선량인 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/y}$ 와 자연방사능($2,400 \mu\text{Sv/y}$)에도 크게 못 미치는 값으로 나타났으며 또한 인근주민의 주요 피폭경로는 호흡에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있었다.
- 3) 인근주민의 피폭은 무시할 정도이므로 작업자의 피폭을 제한하는 것이 바람직하다. 작업자의 연간 허용피폭선량인 $50,000 \mu\text{Sv}$ 에서 역계산하여 폐기물 중의 비방사능치를 계산한 결과 가연성폐기물인 경우 298.5Bq/g 으로 이 값보다 낮은 투입량을 유지하는 것이 바람직하다. 각 핵종에 대한 작업자 피폭의 영향도는 Co-60, Mn-54, Cs-137의 순으로 높았으며 H-3, C-14는 매우 낮은 피폭영향도를 보였다.
- 4) 본 계산결과는 일반적인 환경영향평가 계산 model과 비교하여야 하며 특히 외부 인근주민의 피폭이 많은 주민(대중)에게 영향을 주므로 고려대상이 되지만 실제 소각로 운전시 피해 및 영향을 받는 쪽은 시설내의 작업자임을 알 수 있다. 물론 계산시에 사용된 인자들이 보수적인 값을 택하였으므로 (예 : 소각재 처리시 작업시간, 차폐정도 등) 실제 시설시에 작업시간을 제한하고 차폐를 철저히 하게 되면 가연성 폐기물의 경우에는 작업자 피폭 제한치를 만족할 것으로 본다.