

사고시 가연성폐기물 감용 시설 주변 방사선 환경영향 평가

김희령 · 황원태 · 최근식 · 홍상범 · 이기원 · 정운수
한국원자력연구원

E-mail: kimhr@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 가연성폐기물, 외부피폭, 내부피폭, 사고, 선량평가

서론

한국원자력연구원 (KAERI)에서는 원자력시설로부터 발생하는 가연성 폐기물을 처리하고자 감용 (소각) 시설을 운영하기 위한 인허가를 진행중에 있다. 대상 폐기물은 발생원에 따라 KAERI 발생폐기물, 우라늄 변환시설 (UCF) 해체폐기물, 한전원전연료 (KNF) 운영폐기물 및 RI 폐기물이다. 따라서 감용 시설의 운영 시 폐기물의 소각에 의하여 기체상의 방사성물질이 대기로 방출될 수 있다. 이 때 예기치 못한 사고로 방사성 물질이 환경으로 누출되었을 때 종사자 및 주민의 안전이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 화재, 폭발, 공정 누출 등의 가상 사고에 대한 주민 피폭선량을 평가하고자 한다.

환경영향평가

가. 방사성물질의 방출량 및 방출특성

가연성 폐기물 소각시설의 가상 사고시 모든 방사성물질은 2시간 이내에 모두 방출된다고 가정하였다. 발생원별 방출 특성과 환경 방출량을 표 1과 표 2에 나타내었다.

나. 방사성물질의 대기중 이동

사고시 방사성물질은 소각시설의 굴뚝을 통해 환경으로 방출되며, 미국 원자력규제위원회의 규제지침 1.145를 바탕으로 지표방출에 해당된다.

표 1. 사고시 방사성 물질의 방출 특성

발생원	화재	폭발	공정누출
KAERI, UCF, KNF	드럼에서 꺼내진 폐기물 500 kg을 대상으로 폐기물내 포함된 방사성물질 일부는 연소 후 남은 재에 잔류	소각로 하단부에 축적된 소각재 및 소각처리 중인 폐기물내 방사선원 소외 방출	시간당 25 kg의 소각용량을 고려하여 소각로에서 50 kg의 방사선원 방출
RI 폐기물	드럼에서 꺼내진 폐기물 500 kg을 대상으로 ¹²⁵ I 핵종 누출	소각처리 중인 폐기물내 모든 핵종이 제거되지 않고 배출	폐기물내에 포함된 종이 필터에 의해
유기 폐액	소각로에 공급하기 위해 최대 저장할 수 있는 유기폐액 300 L 누출		

표 2. 발생원에 따른 방사성물질의 환경 방출

발생원	주요핵종	유형	비방사능 (Bq/g or Bq/mL)	환경 방출량 (Bq)
KAERI	⁶⁰ Co, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ¹⁵² Eu, ¹⁵⁴ Eu	화재 폭발	1,780	8.9×10 ⁸
		단전, 배기팬 고장	1,780	4.2×10 ⁷
		배관파손	1,780	4.6×10 ⁶
UCF	²³⁸ U 등 28 핵종	화재 폭발	199	9.9×10 ⁷
		단전, 배기팬 고장	199	9.9×10 ⁷
		배관파손	199	9.9×10 ⁴
KNF	²³⁸ U 등 28 핵종	화재 폭발	127	6.3×10 ⁷
		단전, 배기팬 고장	127	6.3×10 ⁵
		배관파손	127	6.3×10 ⁴
RI 폐기물	¹²⁵ I	화재 폭발	0.0476	2.4×10 ⁴
		공정누출	0.0476	2.4×10 ²
유기 폐액	³ H, ¹⁴ C		888	2.7×10 ⁸
			370	1.1×10 ⁸

이때, 대기확산인자 평가는 동 위원회의 규제지침 1.145에 제시된 모델에 준하여 방출점으로부터 거리에 따른 사고시 대기확산인자를 식 (1), (2) 및 (3)을 사용하여 평가하였다.

$$\frac{X}{Q}(x, i, j) = \frac{1}{U_{ij(10)}[\pi \sigma_{yj}(x) \sigma_{zj}(x) + A/2]} \quad (1)$$

$$\frac{X}{Q}(x, i, j) = \frac{1}{U_{ij(10)}[3 \pi \sigma_{yj}(x) \sigma_{zj}(x)]} \quad (2)$$

$$\frac{\chi}{Q}(x,i,j) = \frac{1}{U_{ij(10)}[\pi M_{ij}(x) \sigma_{yj}(x) \sigma_{zj}(x)]} \quad (3)$$

i : 풍속등급, j : 대기안정도 등급
 x : 거리 (m), $\frac{\chi}{Q}(x,i,j)$: 대기확산인자 (sec/m³)
 $U_{ij(10)}$: 10 m 높이에서 측정된 평균 풍속 (m/sec)
 $\sigma_{yj}(x)$, $\sigma_{zj}(x)$: 수평 및 수직 확산계수 (m)
 A : 시설 최소단면적 (m²), $M_{ij}(x)$: 수평와류인자

대기 안정도에 따른 대기확산인자는 식(1)과 식(2)의 계산 값 중 큰 값을 선택하였다. 이때 대기안정도 등급이 불안정 또는 10 m 높이의 풍속이 6 m/sec 이상일 경우 수평와류 인자는 고려하지 않는다. 기상자료는 정상 운영중 주민피폭선량평가에서 사용한 자료를 사용하였으며, 사고후 2시간 대기확산인자는 SSW 방향에서 최대값인 2.84×10⁻² sec/m³을 나타내었다.

다. 주민선량 평가

소각시설의 가상 사고시 환경으로 방출 가능한 방사성물질에 의한 단기간 피폭영향은 방사능운에 의한 외부피폭과 호흡에 의한 내부피폭을 주요 피폭경로로 고려하였다. 이때 지표침적에 의한 외부피폭과 음식물 섭취에 의한 내부피폭은 무시 가능하다. 외부 및 내부 피폭선량은 식 (4)와 (5)를 사용하여 계산하였다.

$$D_p = \chi/Q \cdot \sum_i Q_i \cdot DFC_i \quad (4)$$

D_p : 방사능운에 의한 외부피폭선량 (Sv)
 Q_i : 핵종 i 의 방출량 (Bq)
 DFC_i : 방사능운에 의한 선량계수 (Sv d⁻¹/Bq m⁻³)

$$D_a = \chi/Q \cdot B \cdot \sum_i Q_i \cdot DFA_i \quad (5)$$

D_a : 호흡에 의한 내부피폭선량 (Sv)
 B : 호흡률 (3.47×10⁻⁴ sec/m³)
 DFA_i : 호흡에 의한 선량계수 (Sv/Bq)

결과 및 고찰

소각시설의 다양한 가상 사고 시나리오에 대한 피폭 선량 평가결과를 표 3에 나타내었다. UCF 발생폐기물 화재폭발사고로 인한 영향이 가장 높게 나타났다. 최대 유효선량은 1.58×10⁻³ Sv, 갑상선 등가선량은 6.42×10⁻⁵ Sv로 나타났다. 이는 10CFR100.11에 제시된 기준값인 사고후 2시간에 대한 유효선량 0.25 Sv, 갑상선 등가선

량 3 Sv 보다 각각 0.632%, 0.00214%의 낮은 값이다.

표 3. 소각 시설 사고시 피폭 선량 평가

발생원	유형	유효선량(mSv)	갑상선등가선량(mSv)
KAERI	화재 폭발	9.71×10 ⁻²	4.08×10 ⁻²
	단전, 배기팬 고장	2.48×10 ⁻³	1.85×10 ⁻³
	배관파손	2.66×10 ⁻⁴	2.03×10 ⁻⁴
UCF	화재 폭발	1.58	6.42×10 ⁻²
	단전, 배기팬 고장	1.58×10 ⁻²	6.42×10 ⁻⁴
	배관파손	1.58×10 ⁻³	6.42×10 ⁻⁵
KNF	화재 폭발	1.09×10 ⁻¹	4.36×10 ⁻³
	단전, 배기팬 고장	1.68×10 ⁻²	6.76×10 ⁻⁴
	배관파손	1.68×10 ⁻³	6.76×10 ⁻⁵
RI 폐기물	화재 폭발	3.27×10 ⁻⁶	6.30×10 ⁻⁵
	공정누출	3.27×10 ⁻⁸	6.30×10 ⁻⁷
유기폐액		7.76×10 ⁻⁵	7.76×10 ⁻⁵

결론

가연성 폐기물 감용 (소각) 시설의 사고시 주변 주민이 받게 되는 방사선영향을 가상 사고 시나리오에 따라 평가하였다. 유효선량과 갑상선등가선량은 사고 시 기준값의 0.632%, 0.00214% 수준으로 나타나 시설 사고가 주변 환경에 미치는 방사선 영향은 무시할 수 있을 것으로 생각되었다.

참고 문헌

- [1] 교육과학기술부, “방사선방호 등에 관한 기준고시”, 교과부 고시 제 2008-31호, 2008.
- [2] US NRC, XOQDOQ : A Computer Program for the Meteorological Evaluation of Routine Effluent Releases at Nuclear Power Stations, NUREG/CR-2919, 1982.
- [3] US NRC, User's Guide to GASPARD Code, NUREG-0597, 1980.
- [4] ICRP, "Dose Conversion Factors CD-ROM"
- [5] Eckerman 등, "DFEXT 코드 외부피폭 선량환산계수", U. S. ORNL, 1994.
- [6] US NRC, PAVAN : An Atmospheric Dispersion Program for Evaluating Design Basis Accidental Releases of Radioactive Materials from Nuclear Power Stations, NUREG/CR-2858, PNL-4413, 1982.