

콘크리트 해체폐기물 제한적 재활용에 따른 작업자 피폭선량평가

김계홍, 최왕규, 오원진, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

ghkim@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설 해체 시 발생하는 콘크리트폐기물 재활용에 의한 해체폐기물 감용은 해체사업의 경제성 향상에 크게 기여할 것이다. 또한 오염도가 낮은 방사성폐기물을 원자력이용시설에 국한하여 재활용 또는 재이용하는 방안은 방사성물질의 규제해제에 대한 일반인의 우려를 최소화하면서 자원의 재활용을 달성할 수 있다는 측면에서 적극적으로 검토할 필요가 있다. 그러나, 원자력시설 해체 시 발생하는 콘크리트를 재활용하기 위해서는 합리적으로 설정된 피폭경로에서 잔류방사성 물질에 의해 유발될 것으로 예상되는 방사선학적 영향에 대한 평가가 필요하다. 국내의 경우 “방사성폐기물 자체처분에 관한 규정”을 제시하고 있으며 방사능의 제한농도를 개인 및 집단에 대한 피폭방사선량이 제한치 미만이 되는 것이 입증되는 농도로 규정하고 있다. 국내의 경우 방사성폐기물 발생지에서 운반되어 온 폐기물 중 콘크리트 용기를 제외한 폐기물 드럼은 처분하기 전에 별도의 콘크리트로 제작된 처분용기에 다시 포장하여 처분 할 예정이기 때문에 방사능으로 오염된 콘크리트 폐기물을 원자력산업계 내에서 재활용하는 제한적 재활용 방안으로 원자력이용시설에서 발생한 콘크리트폐기물을 방사성폐기물 처분용기로 재활용하는 방안을 고려할 수 있다.

2. 평가 방법 및 결과

콘크리트 해체폐기물의 규제해제를 위한 예상피폭방사선량을 평가하기 위한 피폭시나리오를 선정하여 시나리오에 따른 작업자의 피폭선량을 평가하였다. 본 평가에서 고려된 시나리오는 콘크리트 처리, 수송, 재활용된 콘크리트 처분용기 인수에 관련된 작업을 포함하였다. 본 연구에서는 대표적인 몇 가지 시나리오를 설정하여 평가하였기 때문에 방사성핵종의 생물학적 농축현상, 수문학적 이동현상 등 복잡한 모델을 고려할 수 없다는 한계가 존재하기 때문에 보수성을 확보할 수 있도록 입력 파라미터를 설정하였다.

콘크리트 해체폐기물 재활용에 의한 내부피폭을 평가하기 위해 NUREG-1640에서 제시된 평가방법을 이용하였다. 콘크리트 폐기물을 분쇄 등의 처리 또는 처분용기를 제작하는 과정에서 작업자의 호흡에 의한 다양한 피폭상황을 모사하기 위하여 다음과 같은 다음과 같은 수식을 사용하였다. 호흡에 의한 내부피폭 선량 평가과정에서 방사성분포 현상은 고려하지 않았으며 골재 및 미분말 등으로 분리된 콘크리트 폐기물은 다른 비방사성 폐기물과 혼합하여 취급할 것으로 예상되지만 모든 분진이 해당 콘크리트 폐기물에서 발생한 것으로 가정하였다. 작업장의 공기중 분진농도는 노동부고시 2008-26호 “화학물질 및 물리적인자의 노출기준”에 제시된 제3종 분진에 대한 “총분진의 노출기준”인 10 mg/m^3 을 적용하였다. 그리고 호흡률은 성인작업자를 기준으로 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 로 적용하였으며 연간피폭시간은 일반 작업자의 연간 근로시간인 2,000 h/y를 적용하였다. 선량환산인자(DCF : Dose Conversion Factor)는 IAEA Safety Series No. 115에 제시된 17세 이상 연령군에 대한 DCF 중에서 가장 보수적인 대사형태에 해당하는 값을 적용하였다.

$$D_{ih} = C_{ij} F_{ih} R_h t_{iy} \chi_d e^{-\lambda_i t_s}$$

D_{ih} = dose from inhalation of radionuclide i during assessment period (μSv)

C_{ij} = average activity concentration of nuclide i in medium j (Bq/g)

F_{ih} = dose conversion factor for inhalation of radionuclide i ($\mu\text{Sv/Bq}$)

R_h = inhalation rate (m^3/h)

t_{iy} = duration of internal exposure during assessment period (h)

χ_d = airborne concentration of dust (mass loading) (g/m^3)

λ_i = radioactive decay rate of nuclide i (d^{-1})

t_s = interval from time concrete is cleared until scenario begins

그리고, 콘크리트 폐기물이 작업자의 손이나 피부로 전이되어 섭취함으로써 피폭이 유발되는 상황의 방사성피폭을 평가하기 위하여 다음과 같은 평가 모델을 사용하였다. 방사성폐기물에 함유된

방사성물질은 섭취에 의하여 피폭이 유발되는 상황을 예상할 수 있다. 본 연구에서 적용한 작업자의 섭취율은 IAEA Safety Series No. 111-P-1.1에서 적용한 0.01g/h로 가정하였으며, 작업자의 연간피폭기간은 작업자의 연간 근로시간 2,000h/y를 적용하였다.

$$D_{ig} = C_i F_{ig} I_s t_{iy} e^{-\lambda_i t_s}$$

D_{ig} = dose from ingestion of radionuclide i during the assessment period (μ Sv)

F_{ig} = dose conversion factor for ingestion of radionuclide i (μ Sv/Bq)

I_s = secondary ingestion rate (g/h)

콘크리트 해체폐기물을 파쇄 및 방사성폐기물 처분용기 제작 등의 콘크리트 처리 또는 운송 과정과 재활용된 처분용기에 방사성폐기물 드럼을 옮기거나 처분용기를 포장하는 등의 인수 과정에서 받을 수 있는 외부 피폭선량을 평가하기 위하여 몬테칼로 입자 수송 코드인 MCNP 4C를 이용하여 외부피폭선량을 평가하였다. 콘크리트 해체폐기물을 파쇄 또는 콘크리트 해체폐기물 운송 과정과 방사성폐기물 처분용기를 제작하는 과정에서 받을 수 있는 외부 피폭선량을 평가하였다. 이 과정에 대한 방사선학적 영향을 평가하기 위하여 NUREG-1640에서 적용한 평가 방법론을 적용하였다. 그리고 재활용된 처분용기에 방사성폐기물 드럼을 옮기는 과정에서 받을 수 있는 외부 피폭선량을 평가하였다. 이 경우 제작된 처분용기에 의한 선량과 처분용기와 방사성폐기물 포장용기 사이의 빈곳을 채울 채움재에 의한 선량을 구분하여 평가하였다. 국내의 경우 발생지에서 운반되어 온 방사성폐기물 중 콘크리트 용기를 제외한 폐기물 드럼은 처분하기 전에 별도의 콘크리트 로 제작된 처분용기에 다시 포장하여 처분 할 예정이다. 즉, 200L 드럼은 16 Pack으로, 320L 드럼은 9 Pack으로 모듈화하여 처분 할 예정이다. 콘크리트 처분용기의 재원은 핀란드의 VLJ 처분시설 처분용기를 적용하였으며 200L 와 320L 드럼용 콘크리트 처분용기에 대하여 평가하였다. 드럼-드럼, 드럼/벽체 간격은 1.25 cm, 처분용기 벽체 두께는 10cm, 처분용기 바닥판 두께는 15 cm, 덮개는 10 cm로 모델링하였다. 200L 드럼 처분용기는 단변이 2.731 m이며 높이가 1.137 m이고 320L 드럼 처분용기는 단변이 2.389 m이며 높이는 1.21 m로 모델링하여 평가하였다. 재활용 콘크리트의 밀도는 처분용기 재활용인 경우 2.4 g/cm³로 가정하였으며 채움재의 밀도는 공극률을 고려하여 2.0 g/cm³으로 가정하여 외부피폭선량을 평가하였다. 처분용기 내부에 포장되는 방사성폐기물 포장용기는 200L 드럼의 경우 DOT-17H 규격을 적용했으며 320L 드럼은 직경이 71.3 cm이며 높이가 96 cm인 강재드럼을 적용하였다. 선량 평가 위치는 처분용기 옆면에서 1m 떨어진 위치에서 작업하는 것으로 가정하였으며 평가기간은 2000 h/y를 적용하였다.

평가 방사성 핵종은 과거 검출사례, 반감기, 검출빈도 및 방사선학적 중요성, 알파선 방출핵종을 고려해 KINS/RR-114에서 제시한 규제해제 기준 고려대상 핵종에 대하여 평가하였으며 콘크리트 해체폐기물 1000ton을 대상으로 작업자의 피폭선량을 평가하였다. 단위 방사능 농도의 핵종이 유발하는 연간 개인선량을 평가하고 평가된 연간 개인선량으로 규제해제 기준선량(10 μ Sv/y)을 나누어 핵종별 규제해제기준농도를 Table 1과 같이 도출하였다.

Table 1 Derived Clearance Levels for recycling of concrete waste.

핵종	콘크리트 처리 작업자	운송(운전자)	처분용기 포장등의 폐기물 인수 작업자			
			200L 드럼 처분용기		320L 드럼 처분용기	
			처분용기	채움재	처분용기	채움재
H-3	1.41E+03	-	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03
C-14	6.63E+01	3.21E+06	6.64E+01	6.64E+01	6.64E+01	6.64E+01
Mn-54	8.19E-02	5.10E+00	1.29E-01	1.02E+00	1.30E-01	8.30E-01
Fe-55	9.16E+02	3.85E+10	9.16E+02	9.16E+02	9.16E+02	9.16E+02
Co-58	7.14E-02	4.39E+00	1.12E-01	9.38E-01	1.13E-01	7.54E-01
Fe-59	5.58E-02	3.60E+00	9.25E-02	6.12E-01	9.25E-02	5.04E-01
Co-60	2.63E-02	1.70E+00	4.41E-02	2.79E-01	4.39E-02	2.31E-01
Ni-63	2.92E+02	5.65E+08	2.92E+02	2.92E+02	2.92E+02	2.92E+02
Zn-65	1.15E-01	7.35E+00	1.92E-01	1.30E+00	1.93E-01	1.07E+00
Sr-89	2.14E+01	2.63E+03	2.67E+01	3.84E+01	3.93E+01	3.78E+01
Sr-90	1.99E+00	9.71E+02	2.10E+00	2.25E+00	2.26E+00	2.24E+00
Sb-125	1.71E-01	1.03E+01	2.93E-01	2.00E+00	2.81E+00	1.63E+00
Cs-134	4.49E-02	2.75E+00	8.34E-02	7.01E-01	8.41E-02	5.66E-01
Cs-137	1.23E-01	7.63E+00	1.89E-01	1.42E+00	1.89E-01	6.62E-01
Ce-144	1.21E+00	9.17E+01	1.93E+00	5.25E+00	5.75E+00	4.93E+00