

연구로 해체콘크리트폐기물의 방사능 분석에 따른 재활용 평가

김희령, 홍상범, 이완로, 정근호, 조영현, 최근식, 이창우
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 150번지
kimhr@kaeri.re.kr

연구용원자로와 같은 원자력시설은 그 수명이 다하여 가동이 중지되어 더 이상의 효용가치가 없어지면 해체 단계를 맞이한다. 원자력시설을 해체하는 동안 많은 방사성폐기물이 발생하는데 콘크리트, 금속, 전선, 잡고체와 같은 고체방사성폐기물 등 비롯하여 매우 다양하다. 1962년 이후 약 30 여년 간 운영후 2006년 해체완료된 연구용원자로 2호기에서는 원자로실 및 부속시설로부터 다량의 폐기물이 발생하였다. 주로 원자로 수조벽의 해체과정으로 인한 콘크리트 폐기물이 가장 많이 발생하였다. 특히 원자로 수조벽의 콘크리트 폐기물은 노심으로부터의 중성자에 의하여 여러가지 핵종들로 방사화되어 있다. 콘크리트 폐기물의 방사화 핵종을 검출하기위하여 감마스펙트럼 분석과 고온연소법[1]을 사용하였는데 주요 검출 방사성 핵종은 ^{60}Co , ^3H 및 ^{14}C 등이었다. 이러한 방사성폐기물은 일반적으로 고비용의 방사성폐기물로 처리처분되나 자체처분 기준[2]을 만족하는 경우 일반폐기물로 처분할 수 있다. 사실 콘크리트 폐기물 시료의 방사능농도는 원자로수조벽 표면으로부터의 거리에 따라 지수적으로 감소하는 것으로 추정되었으며 ^{60}Co 에 대한 ^3H 및 ^{14}C 의 상관관계가 도출된 바 있다[3]. 따라서, 본 연구에서는 콘크리트 폐기물의 재활용 가능성을 검토하기 위하여 IAEA 재활용 및 재사용 시나리오[4]에 따른 유효선량률을 평가하고자 한다.

- 방사성콘크리트 폐기물 재활용 및 재사용 시나리오

그림 1에서와 같이 원자로수조벽으로부터 발생된 폐기물은 수천톤이 되며 해체완료된 연구용원자로 2호기 원자로실에 임시 저장되어 있다. 우선 이러한 콘크리트 폐기물은 잘게 분해되어 가공 처리된 다음 사무실 빌딩의 벽체 등을 위해 재활용된다고 가정한다. 이때 콘크리트 폐기물이 임시 저장된 장소로부터 특정 장소로 운반되고 처리되어 재활용되기까지의 각각의 과정 동안 작업자의 작업시간 또는 콘크리트 빌딩 안에 근무하는 개인의 근무시간에 따라 방사선피폭량은 다르게 나타날 것이다. 즉, 콘크리트 재활용 시나리오에 따라 결과적으로 개인에게 피폭되는 연간유효선량률 (Sv/y)은 서로 다르게 주어진다. 따라서 이러한 시나리오를 어떻게 구성하느냐에 따라 결과는 매우 상이하게 나타날 것이다. 여기서는 보수적인 상황을 고려하여 가장 많은 시간 동안 외부 및 내부 피폭을 받는다고 생각되는 재사용 콘크리트 빌딩에서 근무하는 경우에 관하여 IAEA의 콘크리트 재활용 및 재사용 시나리오를 이용하였다. 시나리오에 따라 내부피폭경로는 흡입 및 섭취에 의하고 피폭시간은 6,000시간으로 하였다. 건물내의 공기 농도는 10^{-3} g/m^3 이다[4]. 핵종별 유효선량변환인자는 ^{60}Co 의 경우 5.3×10^{-9} (외부피폭), 4.1×10^{-8} (흡입), 7.0×10^{-9} (섭취), ^3H 의 경우 1.7×10^{-11} (흡입 및 섭취), ^{14}C 의 경우 6.4×10^{-12} (흡입), 5.6×10^{-10} (섭취)이다.

- 시나리오에 따른 연간개인피폭유효선량 평가

연구로 2호기의 생체차폐콘크리트에 대한 ^{60}Co , ^3H 및 ^{14}C 방사성 핵종의 농도 측정 결과를 살펴보면 ^{60}Co 의 경우 최고 150 Bq/g, ^3H 및 ^{14}C 의 경우 각각 3 Bq/g ~ 1,690 Bq/g 및 0.03 Bq/g ~ 0.25 Bq/g이다[3]. 이러한 핵종들로부터의 외부 및 내부 피폭에 따른 유효선량률 (uSv/y)은 식 (1), 식 (2) 및 식 (3)으로 주어진다[4].

$$H_{EXT,i,s} = tC_i DF_{EXT,i,s} \mathcal{G} \quad (1)$$

$$H_{INH,i} = VtDF_{INH,i} W(C_d C_{w,i} + C_{s,i} RF TF_{INH}) \quad (2)$$

$$H_{ING,i} = VtDF_{ING,i} W(IC_{ING,i} + I2 TF_{ING} C_{s,i}) \quad (3)$$

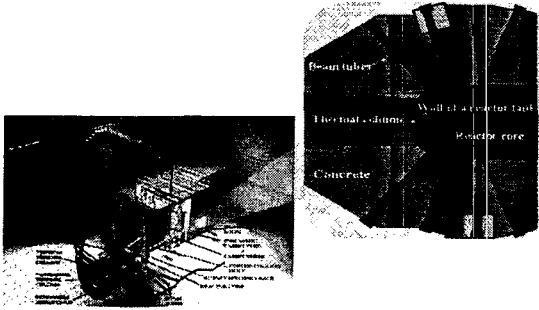


그림 1. 연구용원자로 수조벽의 생체차폐콘크리트 구조도

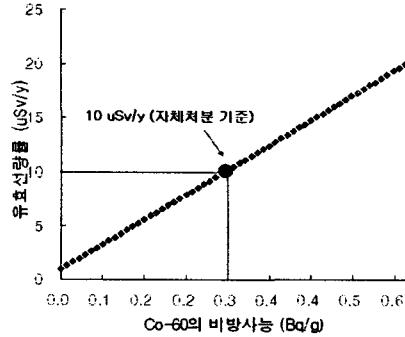


그림 2. ^{60}Co , ^3H 및 ^{14}C 의 비방사능 변화에 대한 연간유효선량

식 (1), 식 (2) 및 식 (3)을 사용하여 3가지 핵종의 비방사능에 따른 총 연간유효선량을 ^{60}Co 을 x 축으로 하여 그림 2에 나타내었다.

- 토의 및 결론

그림 2에서 자체처분의 기준이 되는 10 uSv/y에 해당되는 ^{60}Co 의 비방사능은 0.297 Bq/g으로 계산되며 이때의 ^3H 및 ^{14}C 의 비방사능은 각각 18.6 Bq/g 및 0.0327 Bq/g으로 주어진다. 이를 연구로 2호기 원자로수조벽면거리에 따른 ^3H 및 ^{14}C 의 방사능 농도 측정값과 비교하면 약 80 cm 이상 떨어져 있는 콘크리트 폐기물의 경우에 대하여는 빌딩 재사용을 위한 자체처분이 가능할 것으로 생각된다. 실제로 철, 니켈 등 다른 핵종들에 의한 오염과 다양한 피폭 시나리오를 충분히 고려하여 수조벽면으로부터 150 cm 이상 떨어진 콘크리트 폐기물에 대하여 자체처분 인허가 중에 있다. 또한 본 연구의 시나리오가 보수적임을 감안할 때 현실적으로 타당성 있는 시나리오를 재구성하여 재활용 가능성에 대한 심층 검토가 이루어지기를 제안한다.

Nomenclature

- C_d : 공기의 농도(g/m^3)
- C_i : 핵종 i의 비방사능(Bq/g)
- $C_{\text{ING}, i}$: 핵종 i의 비방사능(Bq/g)
- $C_{s, i}$: 핵종 i의 표면오염도($1 \text{ Bq}/\text{cm}^2$)
- $C_{w, i}$: 핵종 i의 비방사능(Bq/g)
- $DF_{\text{EXT}, i, s}$: 외부피폭으로부터 핵종 i가 미치는 유효선량변환인자($\text{Sv}/\text{h per Bq}/\text{g}$)
- $DF_{\text{ING}, i}$: 핵종 i의 섭취에 의한 유효선량변환인자(Sv/Bq)
- $DF_{\text{INH}, i}$: 핵종 i의 흡입에 의한 유효선량변환인자(Sv/Bq)
- $H_{\text{EXT}, i, s}$: 핵종 i에 의한 외부피폭으로부터 받는 연간 유효선량(Sv/y)
- $H_{\text{ING}, i}$: 핵종 i의 섭취에 의한 연간 유효선량(Sv/y)
- $H_{\text{INH}, i}$: 핵종 i의 흡입에 의한 연간 유효선량(Sv/y)
- I : 표면 오염의 2차 섭취율($0.01 \text{ g}/\text{h}$)
- $I2$: 표면 오염의 2차 섭취율($1 \text{ cm}^2/\text{h}$)
- P : 피폭자 수 ($P = 1$)
- RF : 표면방사능에 대한 Resuspension인자(10^{-6})
- t : 개인이 피폭 받는 시간(h/y)
- TF_{ING} : 표면방사능 섭취에 대한 Transfer 인자(0.01)
- TF_{INH} : 표면방사능 흡입에 대한 Transfer인자(10^{-6})
- V : 건물의 환기율(m^3/h)
- W : 작업자가 취급하는 폐기물 중 방사성폐기물의 양의 비율(여기서는 $W = 1$)

참고문헌

[1] GAU/RC/2022, Analysis of total tritium and ^{14}C in solid samples, 2006.
 [2] 과학기술부 고시 제 2001-30호, 2001.
 [3] 홍상범, 김희령, 정근호, 강문자, "연구로 2호기 수조 콘크리트의 ^3H 및 ^{14}C 공간분포", 방사성 폐기물학회지, Vol.4(4), pp. 329-334, 2006.
 [4] IAEA Safety Series No. 111-P-1.1, 1992.