

국내 PWR 원전의 ^{14}C 방출 화학형에 따른 선량평가 방안 검토

박정록, 강기두, 김학수, 손중권, 김경덕, 하중현
 한수원(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

국내 원전의 ^{14}C 방출감시는 현재 중수로(CANDU)인 월성원전에서 이뤄지고 있으며, 방출 화학형은 $^{14}\text{CO}_2$ 형태만 고려하고 있다. 그러나 PWR의 경우는 방출되는 ^{14}C 의 화학형태가 중수로와 다른 것으로 보고 되고 있다. 즉 중수로의 경우 90% 이상이 $^{14}\text{CO}_2$ 형태로 방출되지만 PWR 원전에서는 약 60%~80% 이상이 메탄(CH_4) 등 Hydrocarbon 형태로 방출되고 있다. 이와 같은 근본 원인은 PWR의 1차 냉각재에 계통의 부식방지를 위해 산소제거용 수소가 체적제어탱크(VCT)의 상층기체로 가압되어 있어 냉각재에 수소분위기가 형성되기 때문이다. 따라서 기체폐기물 방출시 수소와 결합된 Hydrocarbon이 중수로 보다 많이 함유되어 방출되는 것이다.

그런데 국내 PWR 원전건설 단계에서 수행되는 방사선환경영향평가에서는 ^{14}C 의 방출을 모두 $^{14}\text{CO}_2$ 로 가정하고 PWR GAIL코드에서 0.27 TBq/yr를 기본값(Default)으로 평가하고 있어 과대평가 가능성이 있다. 최근 원자력환경기술원에서는 국내 PWR에서 방출되는 ^{14}C 의 방출 화학형을 구분 포집하는 장치 및 측정기술이 개발하였으며, 방출화학형에 따른 최적 선량평가 방안을 수립한 바 있다. Fig. 1은 개발된 포집장치의 개략도를 보여주고 있다. 본 장치는 ^{14}C 를 $^{14}\text{CO}_2$ 와 ^{14}C -유기물인 Hydrocarbon으로 구분하여 포집할 수 있도록 구성하였으며, 포집용액은 2M NaOH 600ml를 사용하고, 첫 번째 컬럼(Column)에는 H-3의 영향 및 건조기체에 의한 포집용액의 후단 컬럼으로 증발을 최소화하기 위해 증류수 800ml를 사용토록 설계하였다. 유기물 형태의 ^{14}C 는 3번째 컬럼의 후단에 있는 Pt/Pd 촉매를 석영관에 넣어 사용할 수 있도록 전기로 장치를 장착하였고 C-유기물을 산화하여 CO_2 로 변환시키기 위해 약 $500^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 에서 사용 가능한 구조로 되어있다. 촉매의 사용기간별 성능확인 시험결과 4개월 이후에 서서히 변환효율이 저하되긴 하나 6개월까지는 C-유기물의 변환효율 변화가 크지 않으므로 6개월 동안 사용해도 문제가 없음을 확인하였다.

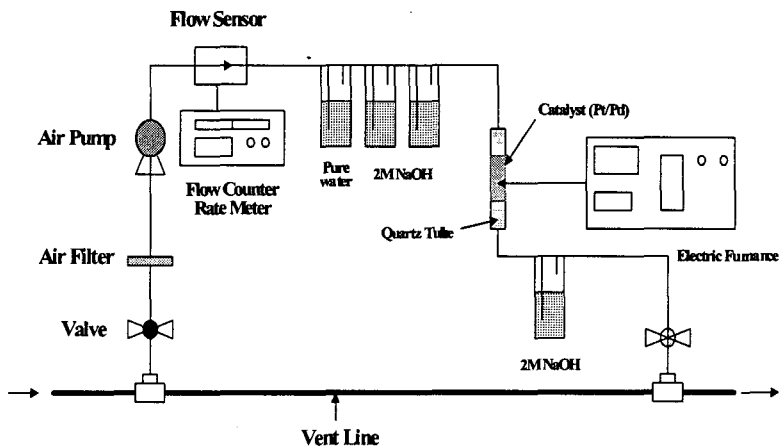


Fig. 1. Schematic diagram for ^{14}C apparatus

주민선량평가를 위한 대상 화학형을 선정하기 위해 ^{14}C 방출 화학형의 피폭경로별 민감도 분석을 하였다. 민감도 분석은 TRICA.FOR 전산코드를 사용하였으며, 각각의 ^{14}C 화학형태별로 1TBq씩 방출된다는 가정하에 수행되었다. 그 결과는 Table 1과 같다. 피폭선량 측면에서 기여도가 가

장 큰 것은 CO₂(섭취) 및 C-입자(호흡경로)로 각각 84.1%, 14.8%를 차지하고 있다. C-입자 형태는 발전소로부터 환경으로 배출되기 전에 대부분 필터에 의해 제거될 것이기 때문에 고려하지 않았다. C-유기물의 경우, 대기에서 확산이 잘 되고 CO₂ 광합성 작용을 하는 식물체의 섭취를 통해 체내에 유입될 확률은 적은 반면 호흡에 의해 유입되면 조직에 빠르게 흡수되고 선량환산인자가 매우 크므로 호흡에 의한 피폭선량에는 고려해야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 평가대상 핵종으로 ¹⁴CO₂는 호흡 및 섭취경로, C-유기물은 호흡경로만을 고려하였다.

선량환산인자(Dose Conversion Factor, DCF)는 ICRP 67, 71에서 제시한 DCF 값을 사용하였고, 기타 환경인자는 KDOSE60 코드값을 사용하였다. KDOSE60 코드는 기본적으로 선량평가 모델을 비방사능 모델을 사용하고 있으나, 본 연구에서는 식물체는 비방사능 모델, 동물체는 하이브리드(Hybrid) 모델을 채택하였다. 하이브리드 모델은 동물이 섭취하는 식물체 먹이는 비방사능 모델로 계산하고 축산물은 동물의 전이계수(Transfer Factor)를 이용하는 방법이다. 전이계수는 Reg. 1.109에서 제시한 전이계수를 사용하였다.

화학형별 선량평가 결과를 비교하기 위하여 일반적인 방출형태인 CO₂ 20%, C-유기물 80% 형태로 방출된다고 가정하였다. 이에 따라 GAIL코드의 경수로 예상 방출량에 화학형별 방출 분율을 적용하여 CO₂ 5.4E-10 Bq/yr, C-유기물 2.16E-11 Bq/yr 로 방출된다고 가정하여 주민선량을 평가 하였으며 100% CO₂ 방출인 경우와 비교, 분석하였다. 분석결과는 Fig. 2에서 보는바와 같이 방출 화학형을 구분하여 평가할 경우 C-유기물에 의한 호흡선량은 증가하나 ¹⁴CO₂에 의한 섭취선량이 현저히 감소하므로 결과적으로 전체 주민선량은 감소된다. 따라서 PWR 원전에서 방출되는 ¹⁴C의 방출 화학형을 분리 평가하는 것이 합리적인 것으로 판단하고 있다.

그러나 국내 경수로 원전의 ¹⁴C 방출 화학형에 따른 보다 정확한 선량평가 방안은 향후 국내 PWR 원전의 발전소별 방출특성에 대한 상세한 조사가 이루어진 후에 최적 평가방안이 도출되어야 할 것으로 사료된다.

Table. 1 방출화학형에 따른 민감도 분석

C ¹⁴ 방출형태	경로	선량	비율	
CO ₂ (G)	호흡	2.10E-5	0.011%	
	섭취	1.51E-1	84.10%	
CO (G)	호흡	2.70E-6	0.001%	
C-Organic	호흡	1.96E-3	1.09%	
C-Particulate	호흡	F	1.72E-4	0.096%
		M	6.73E-3	3.75%
		S	1.96E-2	10.91%

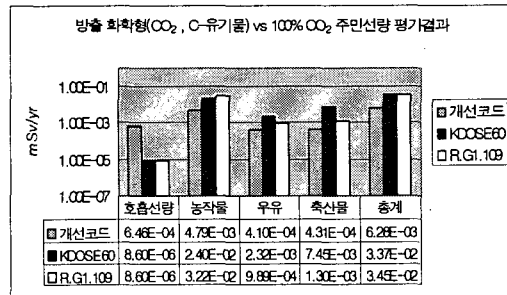


Fig. 2 방출화학형 구분 주민선량평가결과 비교