

육상 오염에 의한 방사선 피폭 평가 방법론의 개선방향

김민경, 이수홍, 박상규, 이재민
 (주)에네시스, 대전광역시 유성구 구암동 328
 kmk@enesys.co.kr

1. 서론

방사성 물질이 누출되어 육상 오염 사고의 경우 장기적인 영향이 발생된다. 이를 위해 다양한 피폭영향 평가 방법론이 제시되어있다. 본 연구에서는 잔류 방사성 물질에 의한 피폭선량 및 위해도 평가를 하기 위한 목적으로 미국의 Argonne National Laboratory 에서 개발된 RESRAD의 피폭경로와 계산모델을 분석하여 평가 모델의 제시하고 각 모델에 따라 국내 환경에 적합하도록 평가조건을 제시한다.

2. 본론

2.1 육상 오염에 의한 방사선 피폭경로

기존의 방사선 피폭 평가 방법론에서는 토양의 잔류 방사성 물질로부터 작업자와 대중의 연간선량 또는 장기적인 피폭선량에 대한 평가를 한다. 육상오염에 의한 방사선 피폭경로는 다음과 같다.

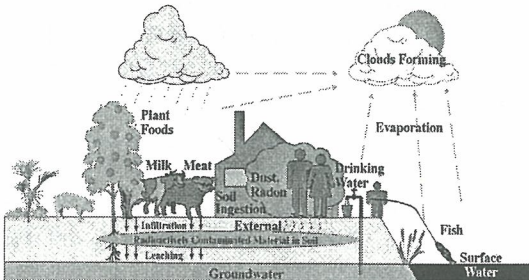


Fig. 1. RESRAD에서 고려되는 피폭 경로

- 오염된 토양으로부터 체외 방사선 직접노출
- 공기로부터 흡입하는 방사성핵종에 의한 피폭
- 섭취로부터의 체내 피폭
 - * 오염된 토양, 오염된 지하수로 관개되는 식물
 - * 오염된 초목과 물을 먹는 가축의 우유와 고기
 - * 오염된 수자원에서부터 음용수
 - * 오염된 수자원에서의 어류
 - * 오염된 토양

2.2 육상에서의 방사선 피폭 평가 방법론

육상에서의 방사선 피폭 경로는 크게 지표면으로부터 직접적으로 받는 외부피폭과 호흡과 섭취로 인한 내부피폭으로 나뉜다. 방사선 피폭경로에 대한 전체적인 피폭선량 계산모델은 식(1)과 같다.

$$H_E(t) = \sum_i \sum_p H_{E,i,p}(t) \dots \dots \dots (1)$$

$$\Rightarrow H_{E,i,p}(t) = DCF_{i,p} \cdot ETF_{i,p}$$

여기서 $H_{E,i,p}(t)$ 는 핵종 i , 피폭경로 p 에 의하여 유발되는 유효선량당량, $DCF_{i,p}$ 는 핵종 i , 피폭경로 p 에 대한 선량변환인자, $ETF_{i,p}$ 는 환경이동계수이다.

2.3 섭취에 의한 피폭

2.3.1 지하수 경로 설정

2006년 수자원이용현황에 따르면 총 이용량 337억 m^3 /년에서 댐이용 177 m^3 /년, 하천수 123 m^3 /년, 지하수 37 m^3 /년으로 지하수는 많은 비중을 차지하지 않으나 향후 오염부지 상부 또는 하류에 건설될 가능성이 있는 관정(well)을 통해 음용수 또는 관개수 등으로 이용될 수 있으며, 오염된 지하수가 하천 또는 바다와 같은 지표수로 전이될 경우에는 생태계의 먹이사슬을 통해 수산물과 이를 섭취하는 인간의 피폭을 유발할 수 있기 때문에 피폭경로에 포함되어야 한다. 식(2)는 식수 섭취에 의한 피폭선량 계산 모델이다.

$$ETF_{ij7}(t) = DF_7 \times FDW \times [WSR_{i,j,1}(t) \times FD1$$

$$WSR_{i,j,2}(t) \times (1 - FD1)] \dots \dots \dots (2)$$

DF_7 는 연간 식수 섭취량(L/yr), FDW 는 현장으로부터의 식수비율, $WSR_{i,j,1}$ 은 초기 토양의 방사성 핵종 농도로부터의 우물물 농도(g/L), $WSR_{i,j,2}$ 는 초기토양의 방사성 핵종 농도로부터 지표수 농도(g/L), $FD1$ 은 식수로 사용되는 우물물의 비율이다.

2.3.2 육상 생물 경로 설정

RESRAD 프로그램의 육상 생물 경로의 경우 소고기의 우유섭취나 고기 섭취로 설정되어 있다. 2008년 미국 농무성 해외농업국 통계에 따르면 국내의 축산물 소비량은 미국의 소비량에 1/6정도로 축산물 소비량이 많지 않으나 국내의 식습관이 점차 서구화됨에 따라 가축 섭취에 의한 피폭 영향도 점차 커지고 있다. 따라서 국내 실정에 맞는 육상 생물 섭취 경로의 개선이 필요하다. 2007년 국내의 축산물 소비량을 보면 돼지고기는 소고기의 소비량의 3배이고 닭고기 또한 소고기의 소비량보다 많은 것으로 나타났다. 따라서 축산물 경로의 설정할 때 돼지고기와 닭고기의 경로를 추가해야 할 것이다. 그러나 육상생물들의 경우 국내산 초목을 섭취하거나 배합사료를 사용하고 있기 때문에 피폭에 많은 영향을 끼치지 않을 수도 있다. 따라서 육상생물의 초목섭취에 의한 피폭경로는 좀 더 고려해보아야 한다.

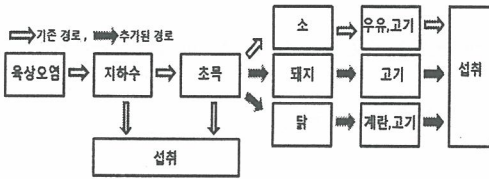


Fig. 2. 육상생물 섭취에 의한 방사선 피폭경로

2.3.3 식물 경로 설정

RESRAD에서 설정한 식물 섭취 경로의 식품군에는 과일, 채소, 곡물, 잎채소 4가지로 구분하였다. 국내의 식물섭취는 고기를 주식으로 하는 미국의 식습관에 비해 쌀을 주식으로 하기 때문에 소비량이 많고 다양한 종류의 농작물을 섭취하고 있다. 따라서 식품군의 종류를 다양하게 설정한다. 국내 농작물 식품군 종류는 크게 미곡, 맥류, 잡곡, 두류, 서류, 채소, 파싯로 나누어지며 채소의 경우는 과채류, 엽채류, 근채류, 조미채소로 세분된다. 각 식품군에서 소비량이 가장 많은 대표작물 몇 가지를 선택하여 식품섭취경로로 설정하기로 한다.

$$ETF_{ij,pq}(t) = FA_p \times FCD_{pq}(t) \times \sum_k DF_{pk} \times FSR_{ij,pqk}(t) \dots\dots\dots(3)$$

FA_p 는 지역인자, $FDF_{pq}(t)$ 는 깊이와 지표인자, DF_{pk} 는 식품종류의 연간 소비량, $FSR_{ij,pqk}(t)$ 는 식품/토양 농도비이다. 위의 계산식은 생물 섭취와 식물 섭취 경로의 피폭계산에 사용된다.

2.3.4 토양 섭취 경로 설정

토양의 섭취경로는 인간이나 동물이 토양을 직접 섭취함으로써 내부피폭을 받는다. 인간의 직접적인 토양 섭취경로에서는 어른보다 아이들의 부주의한 토양의 섭취에 대해 고려해야한다. 축산물의 토양섭취 경로의 경우 국내에서 식용으로 판매하기 위해 대량 생산하는 경우에는 방목하지 않고 가두어 키우고 있다. 따라서 토양의 섭취로 인한 오염의 가능성은 드물다. 지역이나 축산물의 종류에 따라 다르지만 축산물의 토양 직접 섭취로 인한 피폭은 많은 영향을 끼치지 않을 것으로 본다. 식(4)는 토양섭취의 피폭 선량 계산식이다.

$$ETF_{j8}(t) = FSI \times FA_8 \times FCD_8(t) \times FO_8 \dots\dots(4)$$

FSI는 토양의 연간 섭취율(g/yr), FA_8 은 지역인자, $FCD_8(t)$ 는 지표와 깊이인자, FO_8 는 거주인자이다.

3. 결론

RESRAD 분석을 통한 육상오염부지로부터의 방사선 피폭 평가 방법론과 입력조건의 개선방향에 대해서 살펴보았다. RESRAD는 크게 세 가지의 피폭경로로 나누어져있고 세부적으로는 더 다양하게 경로가 설정되어있다. RESRAD프로그램의 경우 국내의 생활환경이나 지역적인 요소에 맞는 조건으로 피폭선량을 평가하는 프로그램이 아니었기 때문에 몇 가지 요소들에 대한 개선이 필요하였다. 다양한 피폭 경로 중 섭취에 의한 피폭의 경로에 대하여 국내의 실정에 맞도록 설정해보았다. 본 연구에서는 기초적인 부분에 대해서만 살펴보았고 추후 다시 한 번 연구가 진행된다면 보다 구체적인 국내 환경 특성 조건의 반영이 필요할 것이라 판단된다. 이를 통하여 원자력시설 해체 후 부지평가 뿐만 아니라 방사성 폐기물의 수송 사고에 의한 장기 영향 평가 등에도 적용이 가능할 것이다.

4. 참고문헌

[1] Environmental Assessment Division Argonne National Laboratory, User's Manual for RESRAD Version 6.
 [2] 한국수자원공사, 06년 수자원이용현황.
 [3] 미국 농무성 해외농업국, 08년 국가별 육류 소비량.
 [4] 농림수산식품부, 07년 국내 축산물 소비량.