

## 방사성물질로 인한 상수 오염 유효선량평가

정효준, 황원태, 김은한, 한문희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[ieong1208@kaeri.re.kr](mailto:ieong1208@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

미국의 9/11사태 이후 국제사회는 테러에 대한 우려와 관심을 증대시켜 왔으며 방사성 핵종을 이용한 테러도 주요 관심 대상이 되었다. 사회혼란을 극대화하기 위해 인구 밀집 지역에 위치한 다중 이용시설이나 국가 주요시설은 방사성 물질을 이용한 테러의 대상이 될 수 있다. 그 형태는 폭발로 인한 공기오염과 음용수와 관련된 시설물에 방사성 핵종을 투여함으로써 발생하는 식수오염으로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 1987년 브라질 Goiania에서 분실한 Cs-137 50 TBq이 상수원으로 이용되는 하천에 투입되었을 경우를 가정하여 유효선량을 평가하였다.

### 2. 본론

지표수에서 방사성물질의 거동은 식1과 같이 3차원 이류확산방정식으로 나타낼 수 있다[1, 2].

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + (W - W_s) \frac{\partial C}{\partial z} \dots \dots \dots (1)$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \lambda C$$

- C : 방사성핵종 농도(Bq m<sup>-3</sup>)
- T : 시간 (s)
- U, V, W : x, y, z 방향의 유속(ms<sup>-1</sup>)
- W<sub>s</sub> : 방사성핵종 침강 속도(ms<sup>-1</sup>)
- x, y, z: 하천의 길이, 수평, 수직 방향 거리(m)
- ε<sub>x</sub>, ε<sub>y</sub>, ε<sub>z</sub> : x, y, z 방향의 확산계수(m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)
- λ: 붕괴상수(s<sup>-1</sup>)

방사성물질의 투입이 순간적으로 이루어지고 수심방향으로 완전혼합을 가정하면 식1은 식2와 같아지며 해석하는 식3과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \epsilon_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \epsilon_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \lambda C \dots (2)$$

$$C(x, y, t) = \frac{W}{4\pi Bt \sqrt{\epsilon_x \epsilon_y}} \cdot \dots \dots \dots (3)$$

$$\exp \left[ - \left\{ \frac{(x - Ut)^2}{4\epsilon_x t} + \frac{y^2}{4\epsilon_y t} \right\} - \lambda t \right]$$

W는 하천에 투입된 방사성 핵종의 총량을 나타내며 B는 하폭을 의미한다. 본 연구에서는 상수원수 취수지점 상류 1.5km 지점에서 Cs-137의 투입이 일어나고 하폭은 300m, 유속은 0.8m/sec로 가정하여 농도를 계산하였다. 하천의 너비방향 중 가장 높은 값이 발생하는 지점에서 취수하는 것을 가정하여 선량을 계산하였다. 수돗물 음용으로 인한 유효선량은 식4와 같다.

$$Dose_{in} [mSv] = DCF_{in} [mSv Bq^{-1}] \dots \dots \dots (4)$$

$$\cdot Conc_w [Bq/L] \cdot DW [L/day] \cdot ED [day]$$

- Dose<sub>in</sub> : 수돗물 음용으로 인한 유효선량
- DCF<sub>in</sub> : 선량계수(1.30E-5 mSv/Bq, ICRP72)
- Conc<sub>w</sub> : 수중 Cs-137의 농도
- DW : 수돗물 음용량(1.1 L/day)
- ED : 피폭기간

수중 Cs-137농도는 최고값이 나타나는 시각을 중심으로 10분 동안의 평균값을 사용하였다. 취수된 물속에 포함된 Cs-137이 상수처리 과정에서 제거되는 양은 무시하였으며, 3일간에 걸쳐 각 가정으로 급수되는 것으로 가정하였다. 수평확산계수와 수직확산계수는 메타분석을 이용해 추정하였다. 최근 5년간 발표된 논문에서 수록된 수평확산계수는 최저 3m<sup>2</sup>/s에서 1500m<sup>2</sup>/s까지 그 범위가 매우 넓게 나타났으며 대략적으로 삼각형 분포를 나타냈다. 최빈값을 중심으로 90퍼센트 구간은 50m<sup>2</sup>/s에서 600m<sup>2</sup>/s이었다. 수직확산계수는 0.0045m<sup>2</sup>/s에서 1.1m<sup>2</sup>/s로 값은 작으나 변동폭은 수평확산계수에 비해 매우 큰 것으로 나타났다. 그림 1은 시

간의 경과에 따른 Cs-137의 농도변화의 예를 나타낸 것으로 투하지점을 따라 하천길이 방향으로 Cs-137의 플룸이 희석되면서 확산되는 것을 알 수 있다. 그림 2는 수평확산계수의 변화에 따른 취수지점의 Cs-137농도를 나타낸 것이다. 수평확산계수가 클수록 최고농도 도달시간은 짧아지며, 수평확산계수가 작을수록 최고농도 도달시간은 길어지며 최고농도는 높아짐을 확인할 수 있다.

수평확산계수와 수돗물 음용량은 삼각형분포, 수직확산계수는 로그노말분포로 가정하고, 취수지점에서 시간의 경과에 따른 Cs-137의 농도 중 최고값을 중앙으로 하는 10분 동안의 평균값을 Cs-137의 수중 농도로 사용하여 선량에 대한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. Cs-137로 오염된 수돗물로 인한 유효선량은 그림 3에 빈도분포로 나타낸 바와 같이 평균값은 0.0083 mSv, 95% Certainty range는 0.0039 mSv에서 0.016 mSv로 나타났다. 평균값이 최빈값보다 커 왼쪽으로 치우친 분포를 나타내고 있으며 유효선량이 높아질수록 발생확률은 줄어든다.

### 3. 결론

본 연구에서는 방사성 핵종으로 인한 상수원 오염을 가정하여 선량을 계산하였다. 다소 보수적으로 평가하기 위해 최고농도 지점에서의 취수와 최고농도 근처의 수돗물 음용을 가정하였다. 향후 일어날 지도 모를 만일의 사고에 대비하여 사고 시나리오의 타당성, 방사선량 계산에 필요한 변수 분포의 적정성 및 상수원수 공급하천 특성 등에 대한 다각적인 접근이 필요할 것으로 판단된다.

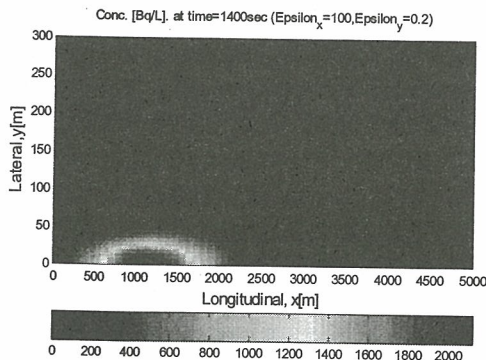


Fig. 1. Concentration of Cs-137 in water by the elapsed time and distance

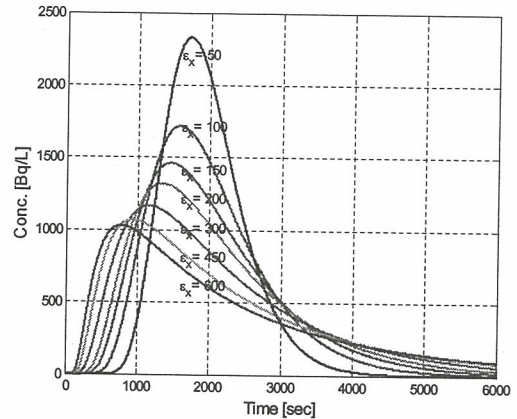


Fig. 2. Concentration of Cs-137 in water by lateral dispersion coefficients at the intake point

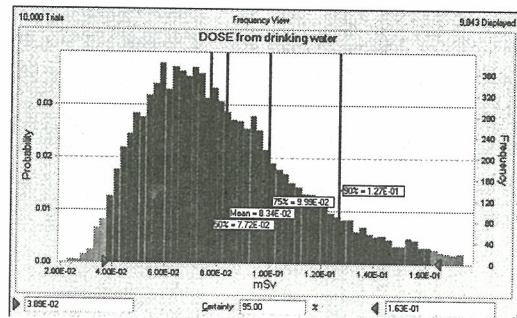


Fig. 3. Frequency distribution for the radiation dose from drinking water

### 4. 감사의 글

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다 (연구과제 관리코드 : M20702010001-08M0201-00110).

### 5. 참고문헌

- [1] Chapra, S. C., Surface water-quality modelong, Waveland Pr Inc., 2008.
- [2] Onishi, Y., Contaminant transport models in surface waters, Applied Sciences 274, 313-341, 1994.