

상수원의 방사능 오염으로 인한 Risk 평가

정효준, 황원태, 김은한, 한문희
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
jeong1208@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 물질을 이용한 테러의 대상은 사회혼란을 극대화하기 위해 인구 밀집 지역에 위치한 다중 이용시설이나 국가 주요시설이 될 수 있다. 또한, 그 형태는 지표, 지상 및 실내에서의 폭발로 인한 공기오염과 음용수와 관련된 시설물에 방사성물질을 투여함으로써 발생하는 식수오염 등이 있다. 두 가지 형태 모두 테러에 사용된 방사성물질의 양이 미미하다고 할지라도 대중의 불안 심리를 자극하기에 모자람이 없다. 따라서 테러에 사용되는 물질의 종류와 양 및 발생 장소에 따른 환경 중 방사성 물질의 농도와 인체에 미치는 영향을 파악해 볼 필요가 있다.

원자력시설의 운영 중 사고나 핵실험 등에 기인한 선원으로 인한 공기, 토양 및 지하수 오염 등은 과거 수 십년간 진행되어 왔었다. 방사능 테러도 원자력시설의 운영 중 사고나 핵실험 등과 크게 다르지 않으므로 테러로 인한 환경영향 및 위해도 평가도 동일한 방식으로 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 방사성 물질로 인한 상수원 오염을 평가하였다. 대부분의 나라들이 상수공급을 위해 지표수를 사용하고 있으며, 적절한 양을 확보하기 위해 댐을 건설하여 운영하고 있다. 따라서 상수원에 방사성물질을 투여하는 테러의 형태를 가정해 볼 수 있다. 특히 우리나라와 같이 서울과 수도권에 거주하는 2천만 정도 인구가 동일한 수원을 사용하는 경우는 그 가능성이 더욱 크다고 할 수 있다.

본 연구에서는 서울과 수도권의 상수원인 팔당댐에 1987년 브라질 Goiania에서 분실된 Cs-137 50 TBq이 호수에 투입되었을 때를 가정하여 오염된 Cs-137로 인한 위해도를 평가하였다.

2. 방법 및 결과

팔당댐은 남한강과 북한강 및 경안천이 합류하여 이루어지는 하천형 호수이다. Cs-137을 팔당댐에 직접 투입하는 경우와 지천인 북한강에 투입하는 경우로 구분하여 평가하였다. 팔당댐에 직접투입하는 경우는 완전혼합을 가정하여 박스(Box) 모델의 형태로 모의(Simulation)하였으며, 북한강에 투입되는 경우는 동적모델(Dynamic model) 형태로 모의하였다. Cs-137 포함된 음용수로 인한 리스크를 평가하기 위해, EPA(Environmental protection agency)와 ORNL(Oak ridge national laboratory)에서 1999년 발표한 FGR 13(Federal Guidance Report No. 13)의 Cancer risk coefficients for environmental exposure to radionuclides에 제시된 Cs-137 단위피폭량에 따른 사망률(Mortality)과 유병률(Morbidity)을 이용하였다.

2.1. 호수내로 직접 투입되는 경우

투입된 Cs-137 50 TBq은 분말형태로 담수호인 팔당댐에 투입되어 완전혼합(Completely mixed)되고 남한강과 북한강에서 들어오는 유입수에 의해 희석이 일어나며 발전용수, 상수원수 취수 및 하천유지유량으로 여수로를 통해 방류된다. Cs-137 50 TBq이 호수로 유입되었을 때, 가장 효과적인 대응책은 댐으로 유입하는 유량을 늘려 희석효과를 높이는 것이다. 그러나 팔당댐의 유입량에 영향을 미치는 상류수원인 소양강댐과 충주댐의 용량이 제한적이기 때문에 무한정 희석 수량을 늘릴 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 사고시 댐의 유입량을 정상적으로 유지했을 경우와 유입유량을 증가시켰을 경우로 나누어 호수내의 Cs-137농도를 모사하였다. 그림 1은 호수내의 Cs-137의 농도를 나타낸 것이다. 상류수원의 양을 사고일로부터 5일째 까지 단계적으로 5배 증가시켜 대응 한 시나리오 2의 경우가 시나리오 1의 경우에 비해 급격하게 수중의 Cs-137농도가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 미국 DOE(Department of energy)에서는 음용수 중 Cs-137농도를 120pCi/L (4.44Bq/L)로 제한하고 있다. 팔당호의 물이 상수처리과정에서 Cs-137이 전혀 제거되지

않았다고 가정할 경우 미국 DOE의 기준을 만족하려면 상류수원을 증가시키는 대응행위를 취했을 경우 17.1일 후 사용가능하며, 그렇지 않을 경우 27일 이후에나 사용가능하다. 본 연구에서 가정한 사고의 경우와 같이 Cs-137로 인해 상수원 오염되었을 경우, 수돗물의 음용으로 인한 위험도를 평가하기 위해 사망률과 유병률을 계산하였다. 수돗물은 FGR 13을 참고하여 하루 1.11 L를 마시는 것으로 가정하였다. FGR 13에서 제시하는 사망률과 유병률에 대한 계수는 남녀 평균연령에 대한 것이므로 본 연구에서 제시하는 사망률과 유병률에 대한 값도 남녀 평균연령에서 위험도를 나타낸다. 수돗물 섭취로 인한 사망률계수(Mortality coefficient)는 $5.66E-10 [Bq^{-1}]$ 이며, 유병률계수(Morbidity coefficient)는 $8.22E-10 [Bq^{-1}]$ 이다. 팔당호에 Cs-137 50 TBq이 투입되는 방사능 테러가 발생한 경우 그림1에 나타난 곡선의 농도값을 Bq/L로 환산한 후 1.11 L를 곱하여 적분하면 1일 섭취된 Cs-137의 양을 알 수 있다. 시나리오 1의 경우 사망률은 $2.04E-06$, 유병률은 $2.97E-06$ 으로 나타났으며, 시나리오 2의 경우 사망률은 $7.18E-07$, 유병률은 $1.04E-06$ 으로 나타났다.

2.2 북한강에 투입된 경우

Cs-137 50TBq이 북한강에 위치한 청평댐에 투하된 후 완전 혼합이 일어나고 팔당댐으로 6시간 동안 방류되는 방사능 테러를 가정하였다. 그림2는 사고 후 6시간이 지난 시점의 Cs-137농도 분포를 나타낸 것이다. 6시간이 지난 시점에 유출된 Cs-137은 남한강과의 합류점 부근까지 영향을 미치고 있으며 최고농도는 $9,110 Bq/m^3$ 을 나타내고 있다. 그림 3은 팔당댐 취수지점에서의 Cs-137농도를 나타내고 있다. 취수지점의 Cs-137농도를 한달 간 음용할 경우 사망률의 위험도는 $2.99E-09$, 유병률의 위험도는 $4.34E-09$ 으로 나타났다.

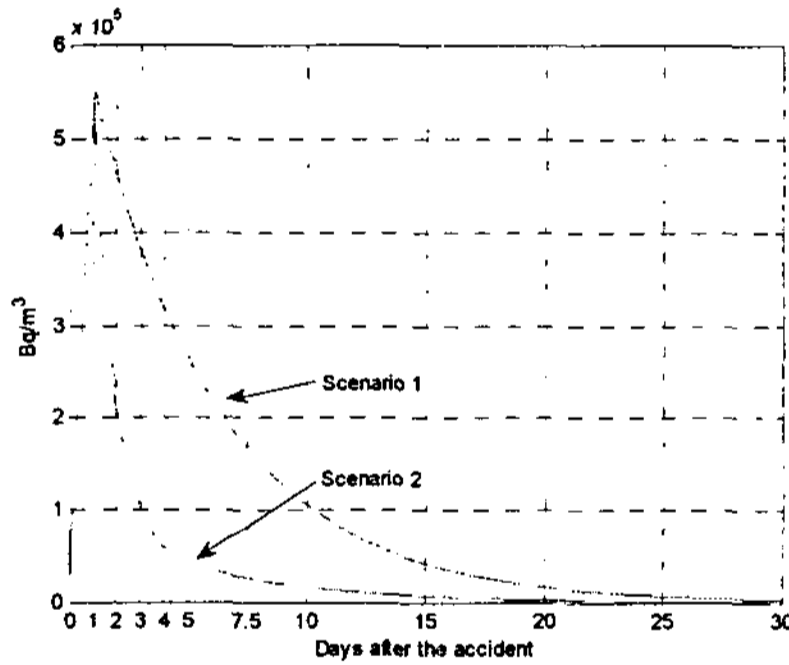


그림 1. 호수내 Cs-137의 농도

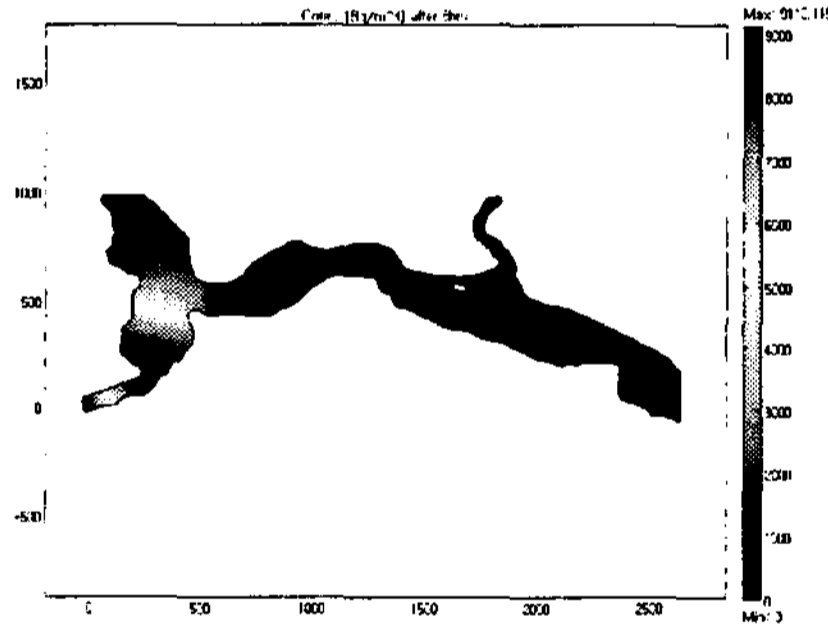


그림 2. 사고 6시간 후 Cs-137 농도 분포

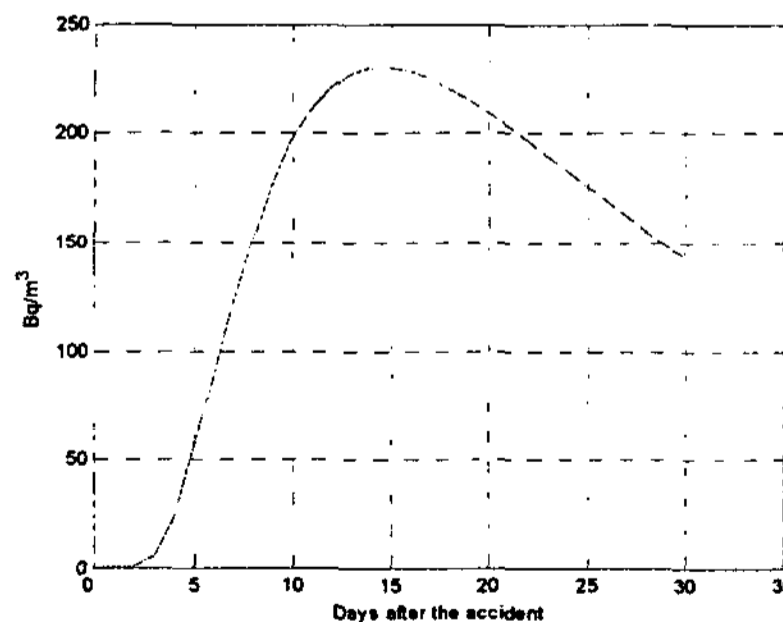


그림 3. 취수지점에서 시간에 따른 Cs-137 농도

3. 결론

방사능테러로 야기된 식수오염에 따른 Risk는 방사능 물질의 투입지점에 따라 시간적으로 크게 차이가 있다. 따라서 만일의 사고시 신속한 Risk 평가를 통해 취수 및 음용여부를 판단해야 할 것으로 판단된다.