

방사능 낙진으로 인한 담수호의 Cs-137 농도 평가

정효준, 김은한, 서경석, 황원태, 한문희

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

jeong1208@kaeri.re.kr

원자력시설의 사고나 핵실험 및 테러 등으로 인한 방사성 물질의 대기 중 이동은 시간의 경과에 따라 방사능 낙진(fallout)의 형태로 생태계에 피해를 미칠 수 있다. 방사능 낙진은 지표에 침적되어 농작물이나 토양생물에 직접적인 영향을 줄 수 있으며 강우에 기인한 유출(Runoff) 작용으로 주변 지표수를 오염시킬 수 있다. 1950년대 미국의 핵실험과 1986년 구소련 체르노빌 원자력 사고 등으로 발생한 방사성 물질의 전지구적 순환으로 국내에서도 방사능 낙진이 적은 양이나마 관측되었으나 그 영향은 매우 미미하다. 그러나 강우의 계절적 편차가 큰 우리나라의 경우 수자원을 거의 담수호의 형태로 이용하고 있기 때문에 혹시 발생할지도 모르는 방사능 낙진으로 인한 담수호의 방사능 오염을 평가해 볼 필요가 있다. 본 연구에서는 1950년대와 60년대 미국 Great lakes 주변에서 방사능 낙진으로 관측된 Cs-137의 농도와 동일한 양이 우리나라의 수도권에 생활용수를 공급하는 P댐에 영향을 미칠 경우를 가정하여 수체(Waterbody)와 침적층(Sediment layer)의 방사능 오염 정도를 평가하였다.

-모델의 구성

방사능 낙진이 담수호에 주는 영향은 담수호에 직접적으로 떨어지는 경우와 담수호에 영향을 미치는 유역(Watershed)에 떨어진 후 강우로 인해 담수호로 유입하는 형태로 구분된다. 전자의 경우는 시간적으로 연속적이며 후자의 경우는 간헐적이라는 차이가 있다. 또한 담수호는 수체부분과 침적으로 구분할 수 있다(그림1). 두 개로 구분된 담수호에 대한 Cs-137의 물질수지는 아래의 식과 같이 정의할 수 있다. 그림2에 미국 Great lakes 주변에서 관측된 Cs-137의 낙진농도를 나타냈다.

$$V_1 \frac{dC_1}{dt} = W_c - QC_1 - kC_1 V_1 - \nu_s A f_{p,1} C_1 + EA(f_{d,2} C_2 - f_{d,1} C_1) \quad (\text{식1})$$

$$V_2 \frac{dC_2}{dt} = -kC_2 V_2 + \nu_s A f_{p,1} C_1 - \nu_r A C_2 - \nu_b A C_2 - EA(f_{d,2} - f_{d,1} C_1) \quad (\text{식2})$$

$$V_1 \frac{dm_1}{dt} = W_s - Qm_1 - \nu_s A m_1 + \nu_r A m_2 \quad (\text{식3})$$

$$V_2 \frac{dm_2}{dt} = \nu_s A m_1 - \nu_r A m_2 - \nu_b A m_2 - km_2 \quad (\text{식4})$$

Where C_1, C_2 : Concentrations of cesium in the water column and the sediment water

V_1, V_2 : Volumes of water column and sediment

W_c : Input rates of cesium

Q : Outflow rate of water

k : First-order decay rate constant

ν_s, ν_r : Settling & resuspension velocities of particle

$f_{p,1}, f_{d,1}$: particulate(insoluble) and dissolved fractions in the water column

E : sediment-water column diffusion coefficient

$f_{d,2}$: particulate fraction in the sediments

ν_b : burial rate constant

m_1, m_2 : particulates concentrations in the water column and sediments

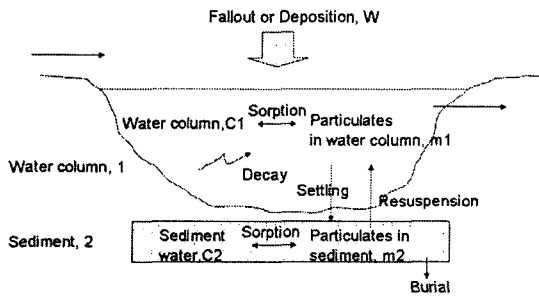


그림1 Cs-137 계산을 위한 담수호의 개념도

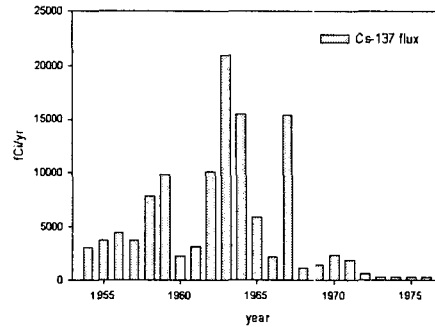


그림2. 낙진중의 Cs-137농도

-담수호의 Cs-137 농도 계산

수체와 침적층의 물질전달을 나타내는 계수들은 Michigan호에서 측정된 것들을 사용하였으며 유출에 의해 간헐적으로 담수호의 부하를 주는 Cs-137의 양은 특정하는데 어려움이 있어 시간에 따라 연속적으로 담수호로 유입되는 양만을 고려하였다. 그림 3은 수중에 존재하는 Cs-137의 농도를 나타낸 것이다. 수중 농도의 경향은 낙진 유입량의 분포와 유사하다. 이것은 물의 유입(Inflow)과 유출(Outflow)로 인한 효과로 낙진 flux와 담수호 체류시간(Retention time) 만큼의 지연(Time lag)이 있음을 알 수 있다. 그러나 그림4에 나타난 바와 같이 침적층에서는 물의 유입과 유출에 따른 flushing 효과가 나타나지 않고 시간의 경과에 따라 침적층에 존재하는 점토성분과 함께 축적되는 경향이 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 극히 작은 양이라도 저서생물에게 지속적으로 영향을 미쳐 장기적으로 생태농축을 가져올 가능성이 있으므로 방사성 물질로 인한 담수호의 오염시 침적층의 적절한 관리대책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

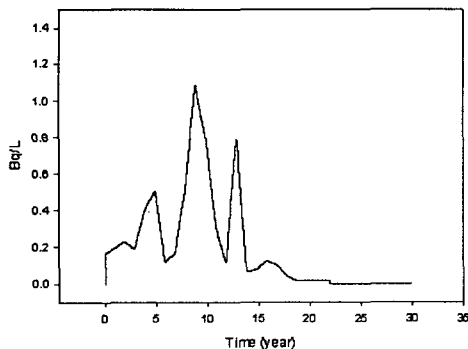


그림3 수중의 Cs-137 농도변화

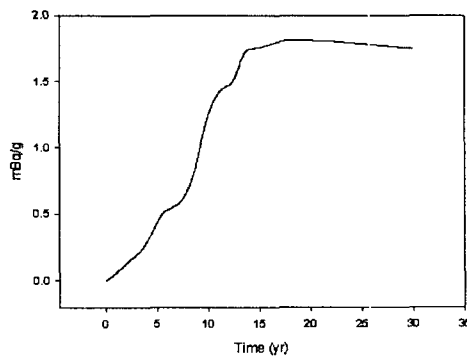


그림4 침적층의 Cs-137 농도변화

-결론

본 연구에서는 방사성물질의 낙진 중 Cs-137로 인한 담수호의 농도변화를 평가하였다. 미국에서 핵실험 이후로 관측된 낙진량 정도의 시나리오를 가정하더라도 수도권 P댐의 Cs-137 수중 최고농도는 1.1 Bq/L로 미국 Michigan호의 최고 계산값인 14.8 Bq/L보다 낮은 값을 나타냈다. 본 연구는 강우시 유출로 인한 평가는 고려하지 않았으나 수리학적 체류시간이 5일 정도로 매우 짧은 하천형 호수인 P댐의 경우 유출(Runoff)로 인한 Cs-137농도에 대한 상승효과의 지속시간은 제한적일 것으로 판단된다. 그러나 침적층에 존재하는 Cs-137의 농도는 매우 낮지만 지속성이 수중과 비교하여 매우 크므로 원자력사고시 침적층에 대한 방사성물질의 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.