

시물레이션을 통한 월성원전인근 저수지의 삼중수소 해석과 응용

이병일, 정진욱, 최영훈, 빈경혁

경주시월성원전민간환경감시센터, 경주시 양북면 와읍리 394
 신고리원전민간환경감시센터, 울산시 울주군 서생면 신암리 산 69-15
 Byunglee@wsnesc.or.kr

1. 서론

원전인근 주변 빗물의 삼중수소농도의 분포는 거리에 따라 지수함수로 감소함이 명백하고 적절한 가정을 부가하여 원전인근 저수지의 삼중수소변화에 대한 수치모델을 제안하였다. 모델의 응용으로는 원전으로 부터 거리별로 측정된 빗물의 삼중수소농도 분포를 분석하여 분포규정인자를 획득한 후 컴퓨터 시물레이션을 통해 임의의 위치에 있는 저수지들의 방사능농도를 계산하여 삼중수소농도의 축적경향에 대한 해석 가능성을 확인하였다. 이 후 실제 저수지의 방사능을 측정하여 그 적용 가능성을 확인할 예정이다.

2. 본론

원전인근 저수지의 삼중수소농도의 변화는 거의 삼중수소를 포함한 빗물에 영향을 받는다. 그림 1은 원전과 빗물 그리고 저수지의 관계를 나타낸다. 원전에서부터 삼중수소의 확산에 따라 거리에 따른 빗물의 방사능농도가 감소함을 쉽게 이해할 수 있다 [1]. 인근 저수지에 유입되는 방사능의 양 또한 삼중수소를 포함한 빗물의 양과 관계있음이 명백하다. 먼저 측정된 빗물의 삼중수소의 분포를 통해 분포인자를 이해하고 저수지의 삼중수소농도 변화모델을 통해 수치계산이 가능하다 [2]. 이 결과를 통해 삼중수소의 축적경향에 대한 이해를 시도하고자 한다.

2.1 원전주변에 빗물의 삼중수소 농도분포의 이해

중수로를 운전 중인 월성원전에 빗물의 삼중수소 방사능 값은 거리에 따라 지수함수로 감소함이 확인되었다. 그림 2는 실제 측정된 빗물의 방사능 값과 비선형 회귀분석을 통해 획득한 분포를 동시에 나타낸다. 여기서 사용한 비선형 함수는 식(1)과 같이 지수함수와 반비례 함수 그리고 상수로 모델을 하였다 [3]. 여기서 $A(r)$, κ 그리고 C 는 빗물의 방사능, 확산인자 그리고 백그라운드를 각각 나타낸다.

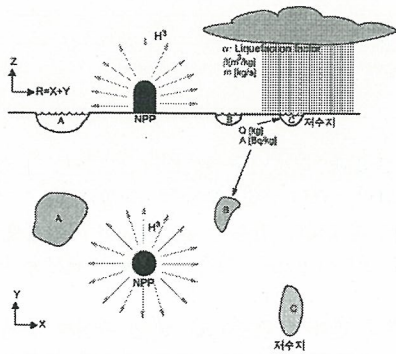
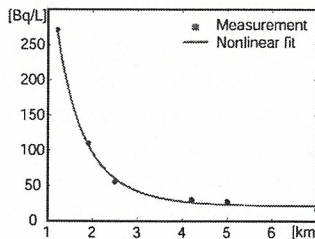


그림 1. 원전과 빗물 그리고 저수지모델

$$A(r) = \frac{A_0 \times \exp\left(-\frac{r}{\kappa}\right)}{r} + C \quad \dots\dots\dots(1)$$



$A_0 = 850$
 $\kappa = 1.16$
 $C = 21$

그림 2. 인근의 빗물방사능 농도와 회귀분석

2.2 원전인근 저수지의 삼중수소농도변화 수치모델과 가정

삼중수소는 원전에서 방출되어 인근으로 확산된 후 비 또는 눈이 올 때 저수지 인근의 수분형태로 존재하는 삼중수소가 저수지로 모이게 된다. 또한 삼중수소의 방사능세기는 붕괴로 인해 지수함수로 감소한다. 이 과정을 일차 상미분방정식으로 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 여기서 $A(t)$ 는 저수지의 삼중수소 방사능농도이고, Q , m , α , β 그리고 λ 는 각각 저수지의 수량, 강수량, 공기중의 삼중수소양, 비가

을 때 삼중수소 용해율 그리고 삼중수소 반감기를 나타낸다.

이 모델의 가정으로는 원전에서 방출된 삼중수소의 공간적 분포는 정상상태이고, 모든 방향으로 대칭이며, 저수지의 용량변화는 빗물과 증발에 의존하고, 빗물은 연간 지속적으로 유입된다고 하였다. 그러므로 저수지의 방사능농도는 빗물에 의해 증가하고 증발과 방사능붕괴에 의해 감소한다. 이때 저수지의 수위는 변하지 않는 것으로 하였다. 표 2는 시뮬레이션에 사용한 값들이며 제 1열은 저수지의 번호를 나타내고 2, 3, 4열은 각각 원전으로부터의 거리와 저수지용량 그리고 그림 2의 결과를 바탕으로 한 정규화 방사능 농도를 각각 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션에 사용된 모델 값

ID	거리 (km)	저수지 용량		빗물의 방사능 정규화농도(α)
		면적(m ²)	깊이(m)	
A	1	2000	3	1.0
B	2	600	5	0.25
C	4	10000	2	0.073
D	4.5	100000	5	0.066
E	6.5	5000	2	0.056

$$Q \frac{dA}{dt} = \alpha \beta \dot{m} - A(\dot{m} + \lambda Q) \dots\dots\dots(2)$$

2.3 수치해석 결과와 토의

원전으로부터 떨어져 위치한 5개의 저수지의 방사능농도를 실제 측정된 빗물의 방사능 농도에 기초한 공간분포를 이용하여 계산하였다. 계산기간은 월성원전 운전기간인 30년을 모사하였다. 식(2)의 모델에서 예상한 것처럼 그림 3과 같이 지수함수로 변화함을 확인하였다. 방사능농도의 포화시점과 시상수는 Q , \dot{m} , α , β 에 따라 변화하며 본 시뮬레이션에서는 대부분 10년 이내에 포화함을 확인하였다.

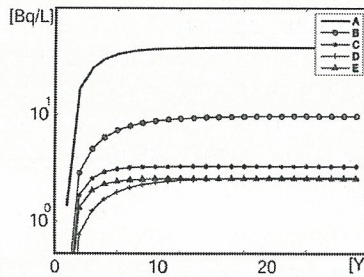


그림 3. 저수지 5 개의 방사능 변화

3. 결론

본 시뮬레이션에서는 많은 가정을 포함하고 있어 실제 상황과는 차이가 있음이 예상되고 각 변수들의 변화폭에 따라 결과의 불확실성이 존재할 것으로 판단된다. 이와 같은 문제는 시간에 따른 변수의 변화를 확인하여 개선할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 저수지에서의 방사능 값은 오랜 시간동안 축적된 값으로 적분된 형태의 정보이며 여러 위치에서의 빗물의 방사능농도를 이용한 공간적 정보는 비선형 회귀분석을 통해 결정되므로 매우 강건할 것으로 보인다.

추 후 거리별로 위치한 실제의 저수지의 방사능을 측정하여 방사능 포화여부, 인근 지역의 공기중 삼중수소의 농도, 각 변수의 분포와 결과에 미치는 영향 등을 고찰할 계획이다. 또한 원전의 삼중수소 방출에 변화가 생길 경우 저수지의 농도 변화에 어떤 영향을 주는 가 등을 확인할 계획이다.

4. 참고문헌

1. “원자력 이용시설 주변 방사선환경 조사 및 평가보고서” 2007, 한국원자력안전기술원
2. “수치모델을 이용한 월성원전 인근저수지의 삼중수소방사능 해석과 응용” 방사선방어학회춘계학술대회, 이병일 등, 2009. 04. 23-24
3. “Numerical Recipes”, Press, William H, 1986