

## 환경방사능 장기추세 및 축적경향 평가

김주열 · 이갑복\*  
(주)미래와도전 · 전력연구원\*  
E-mail: gracemi@fnctech.com

중심어 (keyword) : 환경방사능, 추세분석, 축적경향, 환경감시계획

### 서론

교육과학부고시 제2008-28호 제7조 (환경영향평가) 제2항 규정에서는 환경조사 결과를 근거로 해당시설 주변 환경에서 장기적인 방사성물질의 축적경향과 변동을 평가하고, 해당시설로부터 예기치 않은 방사성물질의 방출에 의한 단기적 변동을 평가하도록 규정하고 있다. 고리1호기가 가동되기 시작한 1978년 이후 원자력발전소 주변에서 측정된 환경방사선(능)의 자료가 축적되고 있다. 장기적으로 축적된 환경감시 자료를 토대로 원전 주변에서의 장기적인 방사선(능) 경향을 분석하여 원전의 환경영향을 평가하고 향후 발전적인 환경감시 프로그램 개선방안을 모색할 수 있을 것이다. 고리 2호기 PSR 심사시 규제기관에 의해 '가동 전부터 최근까지의 환경방사선(능) 자료를 이용하여 원전 주변에서의 방사성물질의 축적경향을 평가'할 것이 안전성 개선사항으로 제기되었다. 본 연구는 상기의 고리 2호기 PSR 심사시 안전성 개선사항으로 제기된 '원전 주변 환경방사선(능)의 장기적인 축적경향 평가'에 대한 이행조치의 일환으로 수행되었다. 고리 1호기 가동 전인 1974년부터 측정된 환경방사선(능) 자료를 전산 DB화하고, 장기적인 변화추이를 분석할 수 있을 정도로 최소검출가능농도 이상의 방사선(능)이 측정되는 핵종에 대해 장기적인 추세 및 축적경향 분석을 수행하였다.

### 방법 및 결과

경향성을 판단하는 방법은 크게 모수적 방법과 비모수적 방법으로 대별된다. 모수적 방법의 대표적인 것으로 선형회귀분석이 있는데, 이는 관측자료가 단조증가 혹은 단조감소 하는지에 대한 경향성을 판단하기 위해 적절한 직선식에 부합시켜 기울기를 보고 평가하며, 선형회귀직선이 어느 정도 부합되었는지는 결정계

수로 나타낸다. 그러나 결정계 및 이상값을 적절히 다루지 못하며 분석결과가 이들에 의해 크게 영향을 받는 단점이 있다. 비모수 분석(nonparametric test)은 환경감시 자료와 같이 모집단의 분포를 모르거나, 모집단이 정규분포가 아닌 경우에 적합하다. 환경방사선(능)의 장기적인 추세분석을 위해 일반화된 방법론이 정립되어 있지 않아, 표층수 수질의 연도별 추이, 지하수 수위, 전기전도도 및 수온의 경향 분석, 수문 및 기상 시계열 자료 분석, 장기 기후변화 분석, 지구물리 장기경향 분석 등 다양한 분야에 널리 쓰이고 있는 Mann-Kendall 검정법을 이용하여 추세분석을 수행하였다. Mann-Kendall 검정법은 이전 값과 이후 값의 증감을 부호로 표시하여 부호의 개수의 합의 분포를 파악하여 추세를 평가하는 방법으로서, 관측값을 직접 사용하는 것이 아니라 관측값의 서열 혹은 변동 기울기 등을 이용하기 때문에 결정계와 이상값을 적절히 다룰 수 있고 그 영향에도 민감하지 않다. Mann-Kendall 검정법의 기본 원리는 각 관측값을 쌍으로 비교하여 증가(1), 감소(-1), 상등(0)의 값을 이용하는 것이다. 먼저 어떤 시점  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ )에서의 관측값을  $x_i$ 라고 하면  $N$ 개의  $x_j - x_i$  ( $j > i$ ) 차분쌍이 나온다. 이 차분의 부호를 계산하여 다음과 같이 표현한다.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (1)$$

그리고 Mann-Kendall 통계량은 다음과 같이 계산한다.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (2)$$

관측수의 값  $n$ 과 Mann-Kendall 통계량  $S$ 를 이용하여 증가하는 경향성이 없다는 가설(귀무가설  $S=0$ )에 대한 확률을 구할 수 있다. 감소하는 경향성에 대해서는  $S$ 의 부호를 반대로 하여 구할 수 있다. 또한  $n > 10$ 인 경

우에는 정규분포를 가정하고 다음과 같은 식을 이용한  
다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[Var(S)]^{1/2}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{[Var(S)]^{1/2}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

또한 추세의 크기는 Sen에 의해 제안되었고 Hirsch에  
의해 확장된 비모수적 중앙값을 이용하여 예측한다.

$$\beta = Median \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ for all } i < j \quad (4)$$

장기적인 추세분석을 수행한 항목 및 핵종은 다음과  
같다. [공간집적선량(TLD), 공기 부유진(<sup>7</sup>Be, 전베타),  
지표수(<sup>3</sup>H), 빗물(전베타, <sup>3</sup>H), 하천토양(<sup>137</sup>Cs), 표층토  
양(<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr), 해수(<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr), 해저퇴적물(<sup>137</sup>Cs,  
<sup>90</sup>Sr), 해조류(<sup>131</sup>I, <sup>137</sup>Cs)] 장기적 추세분석은 환경감시  
결과 최소검출가능농도 이상의 농도가 지속적으로 검  
출되는 핵종에 대해 수행하였다. 우유, 농산물, 지표생  
물, 계란 등의 시료에서는 대부분의 핵종이 최소검출  
가능농도 미만을 나타내고 있어 추세분석에서 제외하  
였다.

빗물 중 삼중수소의 경우 부지내 1발전소에서 다소  
증가하는 추세로 분석되었다.(그림 1) 1발전소의 삼중  
수소 농도는 최근 5년간 전국토 연평균 변동 범위인  
0.487~1.5 Bq/l와 비교할 때 다소 높은 수치를 보이  
고 있다. 이는 고리 전체 부지에서 배출되는 삼중수소  
의 양이 해마다 증가하는 것과 어느 정도 관련이 있는  
것으로 파악된다. 1발전소의 빗물 중 삼중수소 농도가  
증가 추세를 보이고 있으나, 전반적인 농도값은 2000년  
5월 일시적으로 317.58 Bq/l를 보인 것을 제외하고는  
모두 약 100Bq/l 근처이다. 빗물 중 삼중수소 농도의  
최대 측정치 317.58 Bq/l는 교육과학기술부고시 제  
2008-31호 “방사선 방호 등에 관한 기준”에 제시된 배  
수중의 배출관리기준인 40,000Bq/l의 1%에 미치지  
못하는 매우 낮은 준위이다.

저서생물, 어류, 패류 시료에서는 감마동위원소와  
<sup>90</sup>Sr이 대부분 최소검출가능농도 미만으로 나타나고 있  
어 장기적인 추세분석이 불가능 하였다. 따라서 해조  
류에서 지속적으로 검출되고 있는 <sup>131</sup>I과 <sup>137</sup>Cs에 대해  
추세분석을 수행하였다.(그림 2) 분석결과, 1,2호기 배  
수구에서의 <sup>131</sup>I 및 3,4호기 배수구에서의 <sup>137</sup>Cs는 통계  
적으로 유효한 증가추세를 보이고 있고, 그 외 지점  
에서는 추세 없음으로 평가되었다. 1,2호기 배수구에서의  
<sup>131</sup>I 농도는 증가 추세로 분석되었으나 다른 지점에서  
검출되는 농도와 유사한 변동범위를 보여주고 있다.

검출농도는 부지 내부 및 인근에서는 약 1  
Bq/kg-fresh 또는 그 이하를 나타내고 있으나, 상대적  
으로 부지에서 멀리 떨어진 송정에서는 약 3  
Bq/kg-fresh 까지 검출되고 있어 원전 이외의 원인에  
의해 <sup>131</sup>I이 검출될 가능성을 배제할 수 없다.

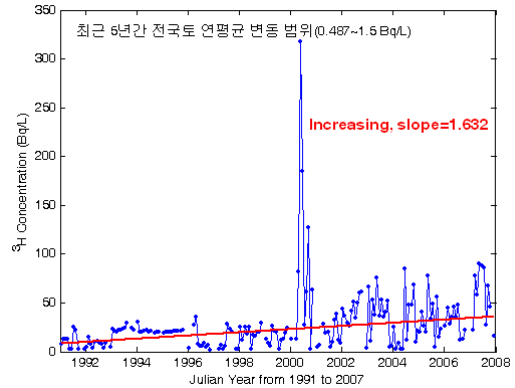


그림 1. 고리 1발전소 빗물 중 삼중수소 추세분석

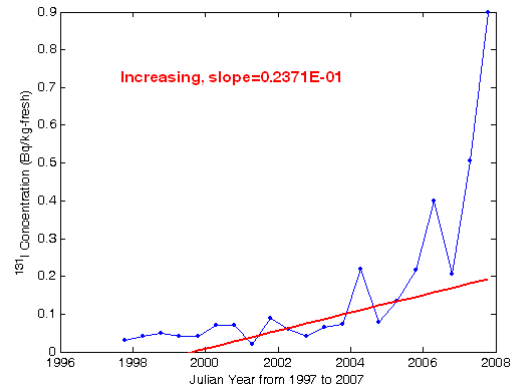


그림 2. 고리 1,2배수구 해조류 중 <sup>131</sup>I 추세분석

## 결론

결론적으로 일부 시료가 일부지점에서 통계적으로  
유효한 증가 추세를 보이는 것으로 분석되었으나, 전  
국토 연평균 변동범위 내, 교과부 배출관리기준의 1%  
미만의 농도, 그리고 감소 또는 추세없음을 보이는 지  
역과 유사한 농도를 보여주고 있다. 따라서 전반적  
으로 방사선(능)이 주변주민의 방사선 안전을 저해할 수  
있을 정도의 축적경향이 나타나지 않는 것으로 평가되  
었다. 비록 고리원전 주변에서 환경방사선(능)이 장기  
적으로 주민에게 방사선학적인 영향을 줄 정도의 축적  
경향은 보이지 않는 것으로 분석되었으나, 빗물 중 삼  
중수소 농도와 같이 주변 일반 환경에서의 농도에 비  
해 다소 높은 상태에서 장기적인 증가추세를 보이는  
환경시료에 대해서는 환경감시계획을 개선할 필요가  
있다.