

# 사고 지역의 방사능 오염지도 작성 프로그램 개발

정효준\* · 황원태 · 김은한 · 한문희  
한국원자력연구원 환경안전연구부  
E-mail: jeong1208@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 도시테러, 공간통계학, 방사능오염지도

## 서 론 (Introduction)

도심에서 테러와 같이 방사성 물질로 인한 오염 사고 시, 대피 및 소개와 같은 초기대응 행위와 더불어 오염예상 지역의 대기 및 지표에서 방사능 농도의 측정이 이루어진다. 측정된 방사성 물질의 농도는 초기 대응시 이루어진 대피 및 소개지역의 세부적 조정과 제염우선 지역의 설정 등에 사용되어, 비상대응 위원회와 같은 의사결정 기구의 의사결정을 지원하게 된다. 따라서 방사성 물질의 도시 확산으로 인한 대책 수립 및 환경영향평가에 있어서 방사성 물질의 측정 자료는 중요한 역할을 하게 된다. 그러나 인력, 장비 및 비용의 제약으로 모든 지점의 농도를 측정하는 것은 불가능하며 적절하지도 않다. 이러한 점을 극복하기 위해서는 한정된 측정값을 이용하여 관심 지역 전체의 방사성 물질 농도 지도를 만드는 과정이 요구된다. 본 연구에서는 도심에서 측정된 방사능 오염자료를 공간통계학의 크리깅 기법을 이용하여 방사능오염 지도를 만드는 프로그램을 소개하고자 한다.

## 재료 및 방법 (Materials and Methods)

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  이라는  $n$ 개의 관측지점 자료로부터 미관측 지점  $x_0$ 의 추정값  $z^*(x_0)$ 는 다음 식과 같이 관측지점 자료들의 선형결합으로 나타낼 수 있다.

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$$

여기서  $\lambda_i$ 는  $x_0$ 에서의 추정값  $z^*(x_0)$ 를 구하기 위해 사용된 관측지점 자료들에 대한 가중치 행렬을 나타낸다. 이러한 측정 자료들 간의 공간적 상관관계를 일반화하는 데는 베리오그램 모델(Variogram model)이 사용된다. 베리오그램 모델은 측정된 자료의 공간적 변동 규칙을 수학적으로 평가하는 방법의 일종으로 측정된 자료간의 공간적 유사성을 나타내는 척도로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 2\gamma(h) &= E \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \\ &= \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \end{aligned}$$

여기서  $2\gamma(h)$ 를 베리오그램,  $\gamma(h)$ 를 반베리오그램(Semivariogram)하며  $N(h)$ 는  $h$ 만큼 떨어진 측정 자료의 쌍을 나타낸다.

크리깅(Kriging)은 공간통계학적 기법 대표적인 방법의 하나로 미관측 지점의 값을 구하기 위한  $\lambda_i$ 에 대한 최적선형불편추정자(Best linear unbiased estimator, BLUE)를 구하는 과정이다. 크리깅 기법에서 측정값의 공간적 상관관계를 파악하기 위해서 앞서 설명한 베리오그램이 사용된다. 특정한 지점  $x_0$ 에서의 크리깅 예측값은 예측오차의 분산을 최소화 하는 가중평균이다. 측정된 자료들로부터 적절한 베리오그램이 결정되면 예측오차의 분산을 최소화 하는 가중치 행렬  $\lambda_i$ 는 라그랑주 승수(Lagrange multipliers)  $\mu$ 를 도입하여 아래의 식과 같이 구속조건이 주어진 목적함수의 해를 구하는 과정으로 나타낼 수 있으며

그 해는 선형계획법(Linear programming)으로 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i,j} - \mu = \gamma_{j,x_0}; j = 1, \dots, n$$

subject to  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

## 결과 및 고찰 (Results and Discussion)

방사능 오염지도 작성을 위해서는 관심지역 내의 측정 지점들을 조망하는 것이 필요하다. 본 프로그램에서는 측정지점을 조망하기 위해 plot data 라는 버튼을 설계하여 C:\temp 폴더에 있는 측정 데이터로부터, 측정지점의 배치 및 조밀도를 확인 가능하도록 하였다. 베리오그램 버튼은 측정자료들 간의 분산변동에 대한 공간적 관계를 규명하여 이론적인 모델곡선 추정하는 과정을 지원한다 (그림 1). 베리오그램 모델 형태는 지수함수(Exponential function)가 내장되어 있다. 베리오그램 모델식이 결정되면 미관측 지점의 농도를 추정하기 위해 크리깅과정을 거쳐야 한다. 미관측 지점은 격자를 이용해 배열의 형태로 지정할 수 있도록 설계되어 있으며 가로, 세로의 격자크기가 동일한 정사각형 격자로 구성되어 있다. 크리깅 버튼을 실행하면 미관측지점 농도 계산에 필요한 가중치 행렬이 선형계획법으로 구해져, 격자내의 농도가 채워지게 된다 (그림 2). 사용자가 원하는 정밀도를 가지는 크리깅이 진행되고 나면, 계산된 결과를 실제 공간에 투영하는 과정이 필요하다. UTM 좌표로 입력된 원점을 이용해 다른 격자의 좌표를 경위도 좌표로 변환하고 계산된 농도의 등치선을 나타내었다 (그림 2). To google earth버튼이 실행되고 나면 C:\temp폴더에 jeonghyojoon.kml이라는 구글어스 파일이 생성되어, 방사능 오염지도가 구글어스 상에 투영되도록 하였다 (그림 3).

## 결 론 (Conclusion)

도심 테러로 인한 방사능 사고 대응시, 대기 중 핵

은 지표의 방사능 측정값을 이용한 방사능 오염지도는 제염우선지역의 선정, 대피, 소개 등과 같은 의사결정을 지원할 수 있다. 본 프로그램은 불규칙적인 공간분포를 가지는 측정자료를 이용한 방사능 오염지도의 작성에 도움을 줄 것으로 판단된다.

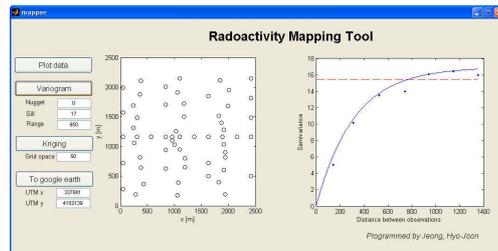


그림 1. 측정지점 및 베리오그램

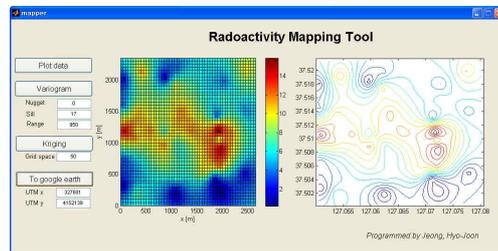


그림 2. 크리깅 및 방사능오염도 등치선 작성

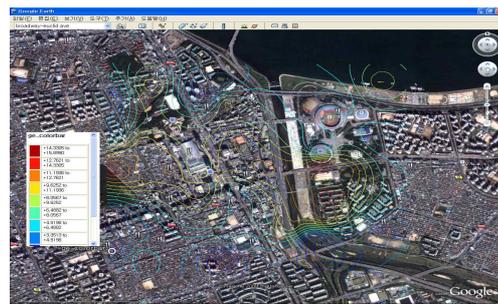


그림 3. 구글어스에 표현된 방사능 오염지도

## 참 고 문 헌 (REFERENCES)

1. 정효준, 황원태, 김은한, 한문희, 공간통계학을 이용한 사고 지역의 방사능 오염지도 작성, 한국방사성폐기물학회 추계학술대회 논문집(2009)
2. M.H. Trauth, MATLAB Recipes for Earth Sciences, Springer(2006)
3. 최종근, 공간정보 모델링, 구미서관(2004)