

공간통계학을 이용한 사고 지역의 방사능 오염지도 작성

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

1. 서론

도심에서 테러와 같이 방사성 물질로 인한 오염 사고시, 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. 따라서 한정된 측정값을 이용하여 관심 지역 전체의 방사성 물질 농도 지도를 만드는 과정이 요구된다. 이러한 방법들 가운데 지하에 매장되어 있는 자원의 탐사에서 전통적으로 사용되었던 공간통계학(혹은 지구통계학)이 널리 응용되고 있다. 본 연구에서는 미국 A도시에서 측정된 Cd의 실측값을 서울 강남 일부 지역의 방사능 물질 지표농도로 가정하여 선형 내삽법과 공간통계기법을 적용하여 방사능 오염지도를 작성하여 비교하였다.

2. 방법 및 결과

선형내삽을 이용한 표면 값 추정 은 측정점들을 둘러싸 삼각망(Delaunay triangulation)으로 구성하여 각 삼각형 중심점의 값을 구하는 과정을 반복하는 것이다. 이것은 측정점들이 전체도메인에 걸쳐 일정한 간격으로 규칙적으로 존재할 때 유용하게 적용될 수 있다. 반면, 공간통계학을 이용한 표면 값 추정은 측정 자료들 간의 공간적 상관관계를 일반화하는 베리오그램(Variogram)을 이용한다. 베리오그램은 측정 자료의 공간적 변동 규칙을 수학적으로 평가하는 방법의 일종으로 측정 자료간의 공간적 유사성을 나타내는 척도이다. 베리오그램은 공간에 분포하는 임의의 두 측정값의 차이에 대한 분산으로부터 구할 수 있으며 다음 식과 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)이라 하며 $N(h)$ 는 h 만큼 떨어진 측정 자료의 쌍을 나타낸다. 이론적 반베리오그램의 형태를 유도하기 위해서 선형(Linear), 구형(Spherical), 지수(Exponential), 가우스(Gaussian) 형태등의 함수가 이용되며 개별 함수들의 결합을 통한 베리오그램 모델 구축도 가능하다. $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 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 λ_i 는 x_0 에서의 추정값 $z^*(x_0)$ 를 구하기 위해 사용된 관측지점 자료들에 대한 가중치 행렬이다. 크리깅(Kriging)은 공간통계학 기법 중 대표적인 것의 하나로 미관측 지점의 값을 구하기 위한 가중치 λ_i 에 대한 최적선형불편추정자(Best linear unbiased estimator, BLUE)를 구하는 과정을 통칭하는 표현이다. 특정한 지점 x_0 에서의 크리깅 예측값은 예측오차의 분산을 최소화 하는 가중평균이다.

본 연구에서 모델링하고자 하는 전체 도메인(Domain)은 가로, 세로 2,500m인 정사각형 모양이며, 60개의 측정값이 존재한다. 그림 1은 전체 측정지점과 측정값을 나타낸다. 그림 1에 표시된 사각형은 가로, 세로 800 m의 정사각이며, 이 지역은 특정한 사정으로 인하여 측정이 이루어지지 않은 지역으로 가정하였다. 그림 2는 선형 내삽법을 이용하여 작성된 농도 분포이다. 그림 3은 측정값들을 이용해 작성한 베리오그램으로 지수함수를 이용하여 수식화하였다. 그림 4는 그림 3의 베리오그램을 이용하여 크리깅

과정을 거쳐 생산한 농도분포를 나타낸 것이다. 미관측 지역 농도를 추정값과 비교해 본 결과, 인근에 측정지점이 가장 근접해 있는 5.3 Bq/m²은 선형내삽이 과소추정하고 있었으며, 가장 작은 값인 4 Bq/m²은 오른쪽에 위치한 값들의 영향으로 선형내삽이 과대추정하는 것을 확인 할 수 있었다.

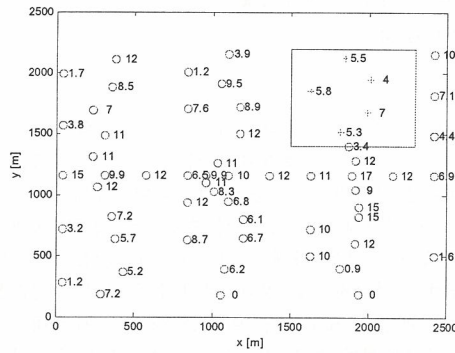


그림 1. 측정지점 지점 및 지표농도 (Bq/m²)

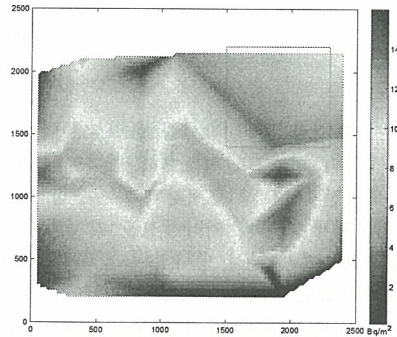


그림 2. 선형내삽법으로 구한 표면농도 분포

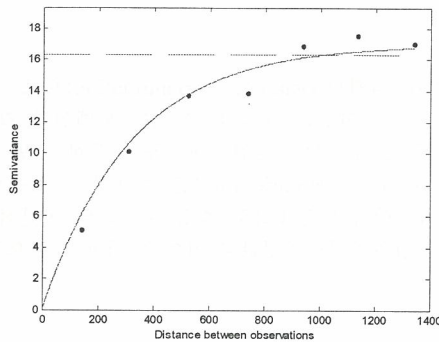


그림 3. 측정값을 이용하여 작성한 베리오그램

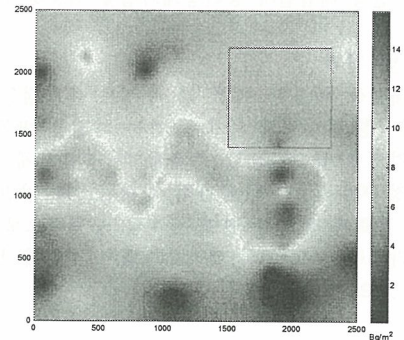


그림 4. Kriging으로 구한 표면농도 분포

3. 결론

도심에서 방사능 테러 후 오염지역의 농도 측정 계획은 관심지역을 공간적으로 대표할 수 있도록 수립되어야 하며, 측정된 방사능 농도는 적절한 방법을 이용하여 전체지역에 대한 농도 지도로 변환되어야 한다. 특별한 사정으로 인하여 측정지점의 공간적 분포가 불균일 할 경우 일반적인 내삽 뿐 아니라, 공간통계기법 등의 방법을 고려하여 오염지도가 작성되어야 방사능 비상시 의사결정의 효율성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] M.H. Trauth, MATLAB Recipes for Earth Sciences, Springer, 2006
- [2] 최중근, 공간정보 모델링, 구미서관, 2004