Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 18, No. 4, pp. 327-333, 2024
https://doi.org/10.23042/radin.2024.18.4.327

Original article

공간보간법 기반 선량평가 시 측정값 분포 및 개수별 평가 결과 분석

이대호[1] · 김주영[1] · 김지우[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Analysis of Dose Assessment Results Based on Spatial Interpolation by Distribution and Number of Measurements

Dae Ho Lee[1], Ju Young Kim[1], Ji Woo Kim[1], and Kwang Pyo Kim[1,*]

[1]Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoungdae-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea

ABSTRACT In the emergency situation at nuclear power plant, the radiation dose levels of emergency workers should be analyzed to optimize their radiation levels. However, analyzing the dose level of workers can be difficult due to the lack of dose rate information in some workspaces. In such cases, spatial interpolation can be used to quickly perform a dose assessment using only relatively easy-to-obtain measurement data. However, spatial interpolation can produce different interpolation results depending on the distribution and number of the measurements. The purpose of this study is to analyze the evaluation results of spatial interpolation method by the distribution and number of measurement data. For this purpose, K-NN, IDW, and Kriging interpolation methods were analyzed, and a simulated workspace and distribution and number of the measurement data for dose assessment were set up. For the distribution of the measurement data, three situations were set: 1) distribution over the entire workspace, 2) distribution in the high dose rate area, and 3) distribution in the low dose rate area. The number of measurements was set to 8, 35, and 96. The radiation dose rates were evaluated by the distribution and number of the measurement data for each spatial interpolation method and the results were compared with the evaluation results of the MCNP computer code. The results showed that when measurements are distributed over the entire workspace, K-NN method showed the lowest error rate within 5.00% for 35 and 96 measurements. For 8 measurements, Kriging method showed lowest error rate, but it was similar to K-NN. When measurements are distributed in the high dose rate area, Kriging method showed an error rate of more than 100% when there were 8 measurements, but as the number of measurements increased, the error rate decreased to between 16.2% and 30.4%, the lowest error rate of the three interpolation methods. When measurements are distributed in the low dose rate area, Kriging interpolation showed a relatively high error rate compared to the other two interpolation methods when there were 8 measurements. However, as the number of measurements increased, the error rate decreased sharply and was less than 5.00%, the lowest error rate of the three interpolation methods. The results of this study are expected to be used as a basis for emergency worker dose assessment based on the spatial interpolation method.

Key words: Nuclear power plants, Spatial interpolation method, Dose assessment, Emergency workers, Distribution and Number of measurements

1. 서 론

원자력발전소 비상 시 피해 확대 방지를 위해 긴급작업자들이 투입될 수 있으며 작업 시 높은 수준의 피폭을 받을 것으로 예상된다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiation Protection; ICRP)는 긴급작업자들에 대한 피폭방사선량 최적화를 권고하고 있으며, 이를 위해 작업수행 전 작업자의 선량수준을 파악해야 한다[1]. 원자력발전소 내에서는 작업

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2024 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Kwang Pyo Kim
Tel: +82-31-201-2560, Fax: +82-31-273-3592, E-mail: kpkim@khu.ac.kr

Received 7 October 2024 **Revised** 4 December 2024 **Accepted** 9 December 2024

자의 선량수준 파악을 위해 지역 방사선 감시기를 통한 작업공간 내 공간선량률 측정이 지속적으로 이루어지고 있다[2]. 하지만 일부 작업공간에 대한 방사선량률 정보 부재로 해당 공간에 출입하는 작업자에 대한 선량수준을 파악하는데 어려움이 존재하며, 작업자에 대한 선량 예측평가가 필요하다. 그리고 원전 비상 시에는 선원 위치, 선원 강도 등 선량 예측평가에 필요한 정보를 모두 확보하는데 시간적으로 한계가 존재할 수 있다[3]. 이러한 경우 공간보간법을 통해 상대적으로 확보가 용이한 측정값만으로 신속하게 선량평가를 수행할 수 있다[4]. 공간보간법이란 공간 내 이미 알고 있는 지점의 값을 통해 데이터가 존재하지 않는 지점의 값을 보간하여 평가하는 방법으로 지리통계학, 기상학, 이미지 생성 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[5-6].

공간보간법 기반의 선량평가와 관련된 다양한 연구가 수행되어 왔다. Andrew 등은 비상 시 긴급작업자의 선량평가를 위해, 이동형 로봇에 의한 측정값을 통해 Kriging 보간법을 활용하여 TRIGA Mark II 원자로 홀 내 선량지도를 도출하였다[7]. Bassam 등은 방사선 감시기에 의한 측정값을 통해 Kriging 보간법을 활용하여 Sharjah 대학 중성자 발생장치 실험실 내 선량지도를 도출하였다[8]. Nazran 등은 방사선 감시기에 의한 측정값을 통해 IDW 보간법을 활용하여 말레이시아 원자력청(Malaysian Nuclear Agency) 방사성폐기물 저장 시설 내 선량지도를 도출하였다[9]. Yesilkanat 등은 터키 Artvin 지역 방사능 관측소의 측정값을 통해 Kriging 보간법을 활용하여 해당 지역의 공간선량률을 평가하였다[10]. Takahiro 등은 후쿠시마현 방사능 관측소의 측정값을 통해 K-NN 보간법, IDW 보간법, Kriging 보간법을 활용하여 해당 지역의 공간선량률을 평가하고 이를 실측값과 비교하였다[11].

공간보간법 기반 선량평가 시, 측정값만을 활용하여 보간을 수행하며 측정값의 분포 및 개수에 따라 보간 결과가 상이하게 나타날 수 있다[12]. 기존에 수행된 연구에서는 특정한 분포, 개수의 측정값들을 통해 여러 공간보간법의 보간 결과를 비교한 바 있다. 하지만 실제 원자력발전소의 경우 측정값의 분포와 개수가 작업공간마다 상이할 수 있다. 또한, 공간보간법 기반 선량평가 시 활용하는 보간법에 따라 평가 결과의 정확성에 차이가 발생할 수 있다. 이에 따라 측정값의 분포 및 개수 등 평가 상황을 고려하여 적합한 공간보간법을 선정해야 한다. 하지만, 측정값의 위치별 측정 수에 따라 각 공간보간법별 보간 결과를 비교 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 비상 시 공간보간법 기반 선량평가 수행에 앞서, 다양한 측정값 분포 및 개수에 따른 공간보간법별 평가 결과 비교 분석에 관한 선행연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 공간보간법 기반 선량평가 시 측정값의 분포 및 개수별 평가 결과를 분석하는 것이다. 먼저 대표적으로 활용되는 공간보간법을 조사 및 분석하였다. 그리고 공간보간법 기반의 선량평가를 위해 가상의 작업공간과 측정값 분포 및 개수를 설정하였다. 설정한 측정값의 분포 및 개수에 따른 공간보간법별 선량평가를 수행하였으며, 해당 결과를 전산코드의 평가 결과와 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공간보간법 조사 및 분석

본 연구단계에서는 공간보간법 기반의 선량평가를 수행하기 앞서, 대표적으로 활용되는 공간보간법을 조사 및 분석하였다. 공간보간법은 보간 방식에 따라 결정론적 보간법과 확률론적 보간법으로 구분할 수 있다[13]. 결정론적 보간법은 특정 수학적 모델을 기반으로 측정값을 통해 보간지점의 값을 평가한다. 대표적인 결정론적 보간법으로 K-Nearest Neighbor (K-NN), Inverse Distance Weighting (IDW) 보간법 등이 존재한다. 확률론적 보간법은 통계학적 모델을 기반으로 측정값 간 상관관계를 분석하여 보간지점의 값을 평가한다[14]. 대표적인 확률론적 보간법으로 Kriging 보간법이 존재한다. 본 연구에서는 K-NN, IDW, Kriging 보간법의 보간절차에 대해 분석하였다.

2.2. 가상의 작업공간 및 측정값 분포 및 개수 설정

Fig. 1에 본 연구에서 설정한 작업공간을 나타내었다. 작업공간의 경우 실제 원전 내 작업공간의 구조를 모사하는데 한계가

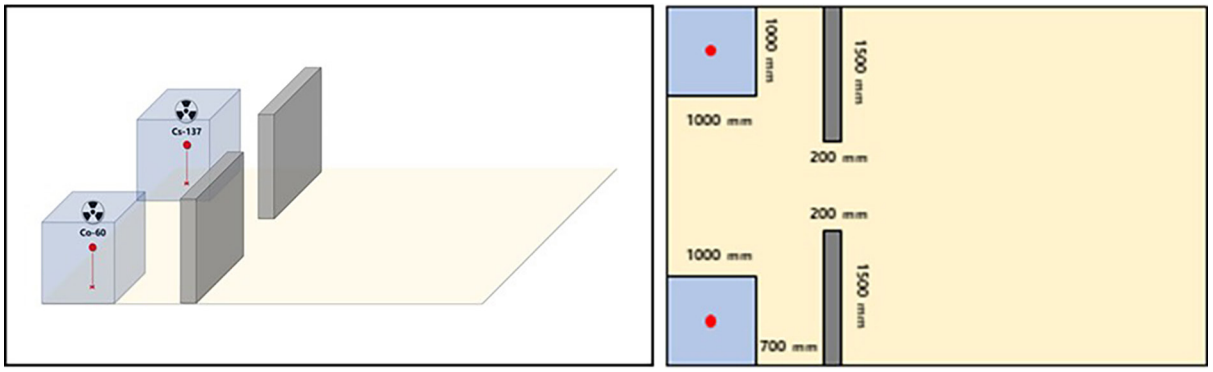

Fig. 1. Workspace for dose assessment.

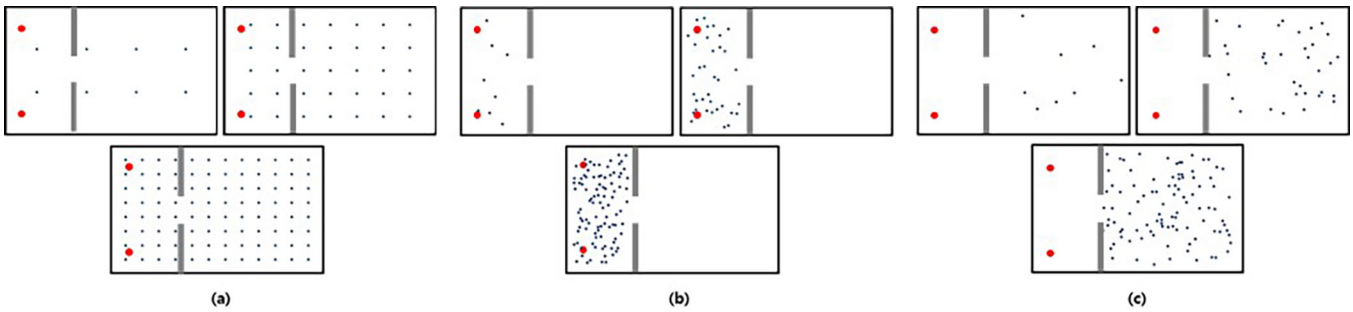

Fig. 2. Distribution of measurements. (a) distribution over the entire workspace, (b) distribution in the high dose rate area, (c) distribution in the low dose rate area

존재함에 따라 가상으로 설정하였다. 선원항의 경우 실제 원전 내 다수 존재할 것으로 예상되는 방사성핵종인 500 MBq의 ^{60}Co과 1,000 MBq의 ^{137}Cs을 고려하였다[15]. 차폐물질의 경우 납과 콘크리트를 고려하였다. 두 개의 정육면체 납 보관함 내 점선원이 각각 보관되어 있으며, 가로와 세로 길이가 각각 200, 150 cm이며 두께가 20 cm인 콘크리트 차폐벽이 존재하는 작업공간을 가정하였다.

Fig. 2에 본 연구에서 설정한 세 가지 유형의 측정값 분포를 나타내었다. 측정 방사선량률의 크기에 따른 보간 정확도를 평가하기 위해, 먼저 작업공간을 콘크리트 차폐벽을 기준으로 고방사선량률 구역과 저방사선량률 구역으로 구분하였다. 그리고 측정값의 분포를 1) 작업공간 전체 분포, 2) 고방사선량률 구역 내 분포, 3) 저방사선량률 구역 내 분포의 세 가지 유형으로 구분하여 설정하였다. 측정값 개수의 경우, 각 분포유형별로 단위 면적당 개수를 고려하여 8, 35, 96개의 측정지점을 설정하였다. 측정값이 작업공간 전체에 분포하는 경우, 작업공간을 일정한 크기의 격자로 분할 후 각 격자의 중심을 측정지점으로 설정하였다. 측정값이 고방사선량률 및 저방사선량률 구역 내 분포하는 경우, 해당 구역 내에만 측정값이 분포한다고 설정하였다.

2.3. 측정값 분포 및 개수별 공간보간 평가 결과 분석 방법

본 연구단계에서는 앞서 설정한 측정값의 분포 및 개수별로 K-NN, IDW, Kriging 보간법 기반의 선량평가를 수행하였다. 평가 시, 작업공간을 일정한 크기의 격자로 분할 후 각 격자의 중심을 보간지점으로 설정하였다. 보간 수행 시 사용될 측정값은 MCNP 평가 결과값으로 갈음하였다. 이를 위해 작업공간을 전산모사하여 각 측정지점별로 방사선량률을 평가한 후, 이를 측정값으로 활용하였다. 각 보간 결과는 MCNP 전산코드의 평가 결과와 비교 분석하였다. 분석 시, 최소자승법을 활용하여 작업공간 전체에 대한 오차율을 도출하였다[16]. 아래의 식에 최소자승법을 활용한 오차율 도출 식을 나타내었다.

$$\overline{f} = \frac{\sqrt{f_1^2 + f_2^2 + \cdots f_N^2}}{\sqrt{N}}$$

$\overline{f}$ = 작업공간 전체에 대한 오차율(%)
f_i = i 번째 보간지점의 오차율(%)
N = 보간지점의 개수

3. 결　　과

본 연구에서는 공간보간법 기반 선량평가 시 측정값 분포 및 개수별 평가 결과를 분석하였다. 이에 앞서 대표적으로 활용되는 공간보간법인 K-NN, IDW, Kriging 보간법의 보간 절차에 대해 분석하였다. 각 공간보간법을 기반으로 측정값 분포 및 개수별 보간 평가를 수행하였으며, 이를 MCNP 전산코드의 평가 결과와 비교하여 오차율을 분석하였다.

3.1. 공간보간법 조사 및 분석 결과

3.1.1. K-NN 보간법

K-NN 보간법은 보간지점에서 가장 가까운 K개의 측정값만을 이용하여 보간을 수행하는 방법이다[17]. K-NN 보간법의 보간절차는 1) 보간지점에서 가장 가까운 K개의 측정값 식별, 2) 각 측정값 간 거리에 따른 가중평균 수행으로 구분할 수 있다. K값은 임의로 선택될 수 있으며, 본 연구에서는 보간 시 가장 가까운 측정값만을 고려하도록 K 값을 1로 설정하였다. 아래의 식에 K-NN 보간법의 평가식을 나타내었다.

$$z'(x) = \frac{\sum_{i=1}^{K}\left(\frac{z(x_i)}{d_i^2}\right)}{\sum_{i=1}^{K}\left(\frac{1}{d_i^2}\right)}$$

$z'(x)$ = 보간지점의 값
$z(x_i)$ = 보간지점에서 i 번째로 가까운 측정값
d_i = 보간지점과 해당 지점에서 i번째로 가까운 측정값 간 거리

3.1.2. IDW 보간법

IDW 보간법은 지점 간 거리가 멀수록 유사성이 감소한다는 가정을 이용하여 보간을 수행하는 방법이다. IDW 보간법의 보

간절차는 크게 1) 보간지점과 측정값 간 거리 식별, 2) 거리에 따른 가중치 도출, 3) 측정값에 가중치 부여 및 합산으로 구분할 수 있다. 가중치는 거리와 반비례하도록 도출되며, 지수인자 설정을 통해 거리에 따른 가중치의 변화정도를 결정할 수 있다[18]. 본 연구에서는 선량이 거리의 제곱에 반비례하는 것을 고려하여 지수인자를 2로 설정하였다. 아래의 식에 IDW 보간법의 가중치 도출식을 나타내었다.

$$W_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i^p}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{d_i^p}\right)} \qquad \sum_{i=1}^{n} W_i = 1$$

W_i = i번째 측정값에 대한 가중치
d_i = 보간지점과 i번째 측정값 간 거리
p = 지수인자
n = 측정값의 개수

3.1.3. Kriging 보간법

Kriging 보간법은 지점 간 공간적 상관관계를 나타내는 베리오그램을 활용하여 보간을 수행하는 방법이다. Kriging 보간법의 보간 절차는 크게 1) 실험적 베리오그램 평가, 2) 이론적 베리오그램 도출, 3) 공간보간 수행으로 구분할 수 있다.

Kriging 보간법의 첫 번째 단계는 실험적 베리오그램을 평가하는 것이다. 실험적 베리오그램은 공간 내 존재하는 측정값들의 공간적 상관관계를 나타내며, 보간지점과 측정값 간 공간적 상관관계를 파악하는데 활용된다[19]. 실험적 베리오그램은 측정값 간 거리와 값의 차이를 통해 평가되며, 거리에 따른 점 그래프의 형태로 나타난다. 아래의 식에 실험적 베리오그램 평가식을 나타내었다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}[z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

$\gamma(h)$= 거리 h에 대한 실험적 베리오그램 값
$z(x_i)$= i번째 측정지점의 값
$z(x_i+h)$= i번째 측정지점으로부터 거리 h만큼 떨어진 측정지점의 값
h = 측정값 간 거리
n = 측정값의 개수

Kriging 보간법의 두 번째 단계는 이론적 베리오그램을 도출하는 것이다. 이론적 베리오그램은 실험적 베리오그램의 경향성을 파악하기 위해 이를 함수화한 것으로, 실험적 베리오그램을 Gaussian 모델 등의 통계학적 모델에 대해 피팅하여 도출할 수 있다[20,21].

Kriging 보간법의 세 번째 단계는 공간보간을 수행하는 것이다. 공간보간 수행에 앞서, 가중치 도출을 위해 이론적 베리오그램을 활용하여 1) 보간지점과 측정값 간 거리에 따른 베리오그램 값과, 2) 측정값 간 거리에 따른 베리오그램 값을 평가한다. 최종적으로 해당 베리오그램의 값들을 기반으로 가중치를 도출하고 측정값에 가중치를 부여하여 보간지점의 값을 평가한다. 가중치는 아래의 식을 통해 도출할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \cdots & \sigma_{1n}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1}^2 & \cdots & \sigma_{nn}^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{01}^2 \\ \vdots \\ \sigma_{0n}^2 \end{bmatrix}$$

λ_i = i 번째 측정값의 대한 가중치
σ_{ij} = i번째 측정값과 j번째 측정값 간 거리에 해당하는 베리오그램 값
σ_{0i} = 보간지점과 i번째 측정값 간 거리에 해당하는 베리오그램 값

3.2. 측정값 분포별 공간보간 평가 결과 분석

Fig. 3에 측정값이 작업공간 전체에 분포하는 경우 공간보간법별 평가 결과 오차율을 나타내었다. K-NN 보간법은 측정값의 개수에 따라 4.51~20.0% 수준의 오차율을 나타냈으며, Kriging 보간법은 9.76~16.3% 수준의 오차율을 나타내었다. 측정값의 개수가 8개일 때 Kriging 보간법이 16.3%로 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타냈으며, 35, 96개일 때에는 K-NN 보간법이 5.00% 내외로 가장 낮은 오차율을 나타내었다. IDW 보간법은 14.4~28.0% 수준의 오차율을 나타냈으며 측정값의 개수와 관계없이 세 보간법 중 가장 높은 오차율을 나타내었다.

Fig. 4에 측정값이 고방사선량률 구역 내 분포하는 경우 공간보간법별 평가 결과 오차율을 나타내었다. K-NN, IDW 보간법 모두 측정값의 개수와 관계없이 100% 이상 또는 그 내외의 높은 오차율을 나타내었다. Kriging 보간법 역시 측정값이 8개인 경우 100% 이상의 오차율을 나타내었다. 하지만 그 수가 35, 96개로 증가함에 따라 16.2~30.4% 수준의 오차율을 나타냈으며, 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타내었다.

Fig. 5에 측정값이 저방사선량률 구역 내 분포하는 경우 공

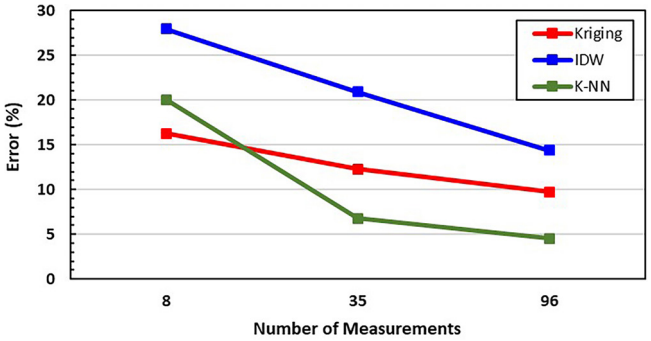

Fig. 3. Error of dose assessment results when measurements are distributed over the entire workspace.

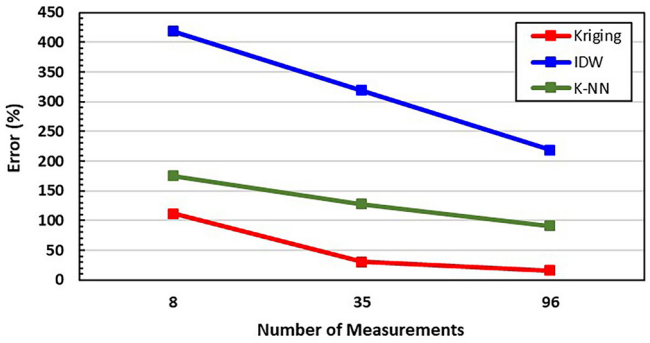

Fig. 4. Error of dose assessment results when measurements are distributed in the high dose rate area.

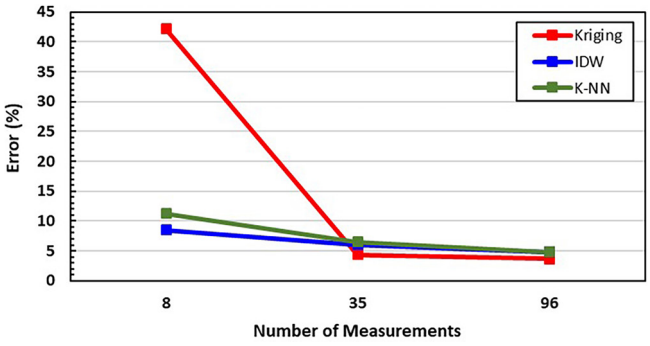

Fig. 5. Error of dose assessment results when measurements are distributed in the low dose rate area.

간보간법별 평가 결과 오차율을 나타내었다. K-NN 보간법은 4.80~11.3% 수준의 오차율을 나타내었다. IDW 보간법은 4.80~8.47% 수준의 오차율을 나타냈으며 측정값의 개수가 8개일 때 8.47%로 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타내었다. Kriging 보간법은 3.68~42.1% 수준의 오차율을 나타냈으며 측정값이 35, 96개일 때 5.00% 이하로 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타내었다.

4. 고 찰

Fig. 6~7에 측정값이 작업공간 전체에 분포하는 경우 K-NN 보간법과 Kriging 보간법의 선량평가 결과 오차율 분포를 나타내었다. 측정값이 작업공간 전체에 분포하는 경우, 측정값의 개수가 증가할수록 K-NN 보간법이 가장 낮은 오차율을 나타내었다. 측정값의 개수가 8개일 때에는 Kriging 보간법이 16.3%로 가장 낮은 오차율을 나타내었고, K-NN 보간법의 오차율은 20.0%로 Kriging 보간법과 유사한 수준이었다. K-NN 보간법의 경우, 다른 공간보간법에 비하여 측정값의 개수가 증가함에 따라 오차율이 급격하게 감소하였다. 이는 콘크리트 차폐벽 주변에서의 보간평가 결과가 오차율에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 나타났다. 본 연구에서 설정한 작업공간 전체에 분포하는 상황은 측정값의 개수가 적을 때, 일부 측정값이 차폐벽 너머에 존재할 수 있다. 이로 인해 K-NN 보간법의 경우, 보간지점과 가장

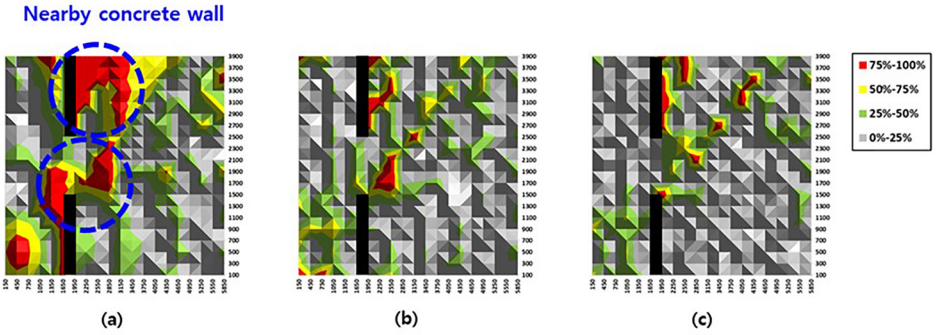

Fig. 6. Error distribution of dose assessment results based on K-NN interpolation when measurements are distributed in the entire workspace. (a) 8 measurements, (b) 35 measurements, (c) 96 measurements

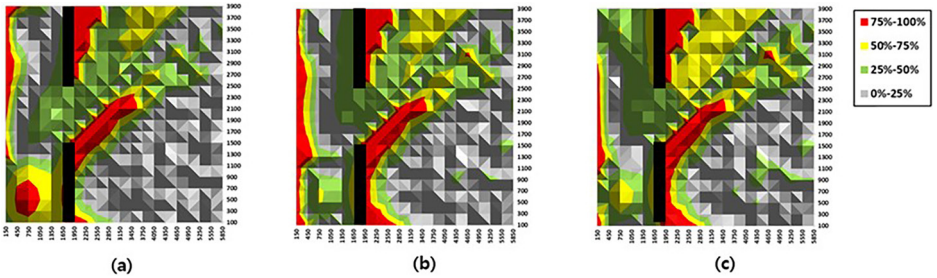

Fig. 7. Error distribution of dose assessment results based on Kriging interpolation when measurements are distributed in the entire workspace. (a) 8 measurements, (b) 35 measurements, (c) 96 measurements

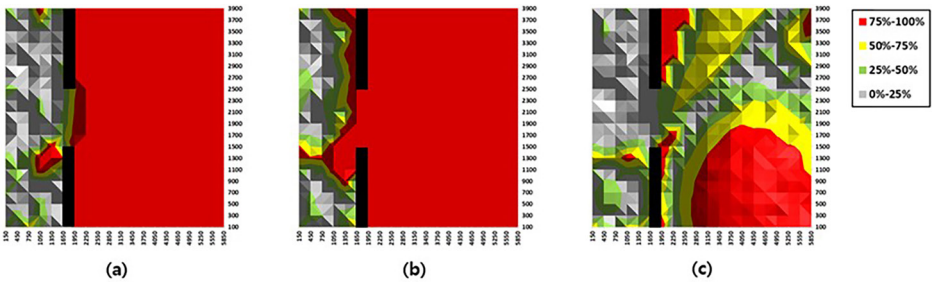

Fig. 8. Error distribution of dose assessment results when 35 measurements are distributed in the high dose rate area. (a) K-NN, (b) IDW, (c) Kriging

가까운 측정값을 통해 보간을 수행함에 따라 결과값이 과대 혹은 과소평가될 수 있다. 그리고 측정값의 개수가 증가하면서 보간지점 주변에 측정값이 다수 분포함에 따라 보간평가 결과의 오차율이 급격하게 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 8에 측정값이 고방사선량률 구역 내 분포하는 경우 공간보간법별 선량평가 결과 오차율 분포를 나타내었다. 측정값이 고방사선량률 및 저방사선량률 구역 내 분포하는 경우 Kriging 보간법이 상대적으로 낮은 오차율을 나타내었다. 이는 Kriging 보간법의 경우, 측정값이 존재하지 않아 높은 오차율을 나타내는 영역에 대해 다른 보간법에 비하여 비교적 낮은 오차율을 나타냈기 때문인 것으로 판단된다.

K-NN과 IDW 보간법은 보간지점과 측정값 간 거리만을 통해 특정 수학적 모델을 기반으로 보간을 수행한다. 이에 따라 측정값이 특정 구역 내에만 분포하는 극단적인 상황의 경우, 측정값이 존재하지 않는 영역의 방사선량률 보간평가 시 다소 한계가 존재하는 것으로 판단된다. 반면 Kriging 보간법은 측정값의 공간적 상관관계를 통계학적으로 분석하여 보간을 수행한다. 이로 인해, 측정값이 존재하지 않는 영역에 대해서도 상대적으로 높은 정확도를 나타낸 것으로 판단된다. 반면, 측정값이 8개로 가장 적은 경우에 대하여 Kriging 보간법이 다른 보간법에 비해 비교적 높은 오차율을 나타내었다. 이는 Kriging 보간법 평가 시 측정값의 개수가 충분하지 않아 분석된 측정값 간의 상관관계가 실제 측정값 간의 상관관계와 다소 차이가 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 공간보간법 기반의 선량평가 시 측정값 분포 및 개수별 평가 결과를 분석하였다. 이를 위해 첫 번째, 대표적으로 활용되는 공간보간법을 조사 및 분석하였다. 두 번째, 공간보간법 기반의 선량평가를 위한 가상의 작업공간과 측정값 분포 및 개수를 설정하였다. 세 번째, 측정값 분포 및 개수별 선량평가를 수행하였으며 해당 결과를 MCNP 전산코드의 평가 결과와 비교 분석하였다.

측정값이 작업공간 전체에 대해 분포하는 경우, 측정값의 개수가 증가할수록 K-NN 보간법이 가장 낮은 오차율을 나타내었다. 측정값이 8개일 때에는 Kriging 보간법이 가장 낮은 오차율을 나타내었지만, 측정값이 35, 96개로 증가함에 따라 K-NN 보간법의 오차율이 급격하게 감소하여 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타내었다. 이는 차폐벽 주변 영역의 오차율 감소에 의한 것으로 나타났다. 측정값이 고방사선량률 구역에 분포하는 경우, Kriging 보간법이 가장 낮은 오차율을 나타내었다. K-NN과 IDW 보간법은 측정값 개수와 관계없이 100% 이상 또는 그 내외의 오차율을 나타내었다. Kriging 보간법 역시 측정값이 8개인 경우 100% 이상의 높은 오차율을 나타내었다. 하지만 측정값이 35, 96개로 증가하면서 16.2~30.4% 수준으로 가장 낮은 오차율을 나타내었다. 측정값이 저방사선량률 구역 내 분포하는 경우, 측정값의 개수가 증가할수록 Kriging 보간법이 가장 낮은 오차율을 나타내었다. 측정값이 8개인 경우 Kriging 보간법은 나머지 두 보간법에 비해 비교적 높은 오차율을 나타내었다. 하지만 측정값의 개수가 35, 96 개로 증가하면서 해당 지점의 오차율이 감소하여 세 보간법 중 가장 낮은 오차율을 나타내었다.

측정값이 작업공간 전체에 분포하는 경우, K-NN 보간법의 활용이 가장 적절할 것으로 판단된다. 다만 측정값의 개수가 적을 경우, 해당 보간법의 정확도는 Kriging 보간법과 유사할 것으로 예상된다. 측정값이 고방사선량률 및 저방사선량률 구역 등의 특정 구역 내에만 분포하는 경우엔 Kriging 보간법의 활용이 가장 적절할 것으로 판단된다. 다만 해당 분포의 상황에 대해서는, 측정값의 상관관계의 분석을 위한 측정값의 개수가 충분히 확보되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 향후 공간보간법 기반의 긴급작업자 선량평가 시 기반자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 가동원전 안전성 향상 핵심기술개발사업의 연구결과입니다(No. RS-2022-00143994).

참고문헌

1. ICRP. 2009. Application of the Conmmision`s Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP publication 109. Ann. ICRP 39(1).
2. KAERI. 1996. Radiological Safety and Control. KAERI/TR-618/95.
3. Wang Zhenyu, Wang Zungang, Sun J, Li Z, Xi S, Wei X, Huang W and Zhou C. 2024. Surrogate Model of solved poisson kriging method for radiation field reconstruction. *Nucl. Eng. Thechnol*. https://doi.org/10.1080/00295450.2024.2325751.
4. Bleher M, Gering F, Stohlker U, Karhumen T, Nalbandyan-Schwarz A, Woda C and Mafodda A. 2020. Reduction of uncertainties in exposure assessment based on environmental monitoring data. *Radioprotection* **55**(HS1):S81-S88. https://doi.org/10.1051/radiopro/2020016.
5. Li J and Heap AD. 2014. Spatial Interpolation Methods Applied in the Environmental Sciences: A Review. *Environ. Modell. Softw.* **53**:173-189. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008.
6. Comber A and Zeng W. 2019. Spatial Interpolation Using Areal Features: A Review of Methods and Opportunites using new forms of data with coded illustrations. *Geogr. Compass.* **13**(10):1-23. https://doi.org/10.1111/gec3.12465.
7. West A, Tsitsimpelis I, Licata M, Jazbec A, Snoj L, Joyce MJ and Lennox B. 2021. Use of Gaussian process regression for radiation mapping of a nuclear reactor with a mobile robot. *Nature* **11**(1):1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-93474-4.
8. Khuwaileh BA and Metwally WA. 2020. Gaussian Process Approach for Dose Mapping in Radiation Fields. *Nucl. Eng. Thechnol*. **52**(8):1807-1816. https://doi.org/10.1016/j.net.2020.01.013.
9. Harun N, Sujan MF and Ibrahim MZ. 2018. Spatial Interpolation of Gamma Dose in Radioactive Waste Storage Facility. *IOP conf. Ser.:Mater. Sci. Eng.* https://doi.org/10.1088/1757-899x/298/1/012047.
10. Yesilkanat CM, Kobya Y, Taskin H and Cevik U. 2015. Dose Rate Estimates and Spatial Interpolation Maps of Outdoor Gamma Dose Rate with Geostatistical Methods. *J. Environ. Radioact.* **150**:132-144. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.08.011.
11. Takahiro O, Kunihiko T, Ayano T and Mari A. 2019. Comparison of Spatial Interpolation Methods based on Exposure Assessments of Air Pollutants: A Case Study on Nuclear Substances in Fukushima. *12th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies* 415-421. https://doi.org/10.5220/0007523604150421.
12. Zhang H, Lu L, Liu Y and Liu W. 2015. Spatial Sampling Strategies for the Effect of Interpolation Accuracy. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **4**(4):2742-2768. https://doi.org/10.3390/ijgi4042742.
13. Jang H, Kang N, Noh H, Lee DR, Choi C, Kim HS. 2015. Applicability of Spatial Interpolation Methods for the Estimation of Rainfall Field. *Journal of Wetlands Research* **17**(4):370-379. https://doi.org/10.17663/JWR.2015.17.4.370.
14. Johnston K, Jay M. Hoef V, Krivoruchko K and Lucas N. 2003. ArcGIS: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. 53pp. ESRI press, New York.
15. NRC. 2019. Radioactive Effluents from Nuclear Power Plants: Annual Report 2019. NUREG/CR-2907, Volume 25.
16. Yesilkanat CM, Kobya Y, Taskin H and Cevik U. 2017. Spatial Interpolation and Radiological mapping of Ambient Gamma Dose Rate by Using Neural Networks and Fuzzy Logic Methods. *J. Environ. Radioact.* 175-176:78-93. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.04.015.
17. Peleg O and Borenstein E. 2024. Interpolation of Microbiome Composition in Longitudinal Date Sets. *mBio* **15**(9):e00150-24. https://doi.org/10.1128/mbio.01150-24.
18. Zhang B, Cao J, Lin S and Song Y (in press). 2024. Reconstruction of γ Dose Rate Field and Algorithm Validation Based on Inverse Distance Weight Interpolation. *Nucl. Technol.* https://doi.org/10.1080/00295450.2024.2312026.
19. Diggle PJ and Ribeiro Jr PJ. 2006. Model-based Geostatistics. pp. 100-102. Springer, New York.
20. Woo KS, Park JH, Lee HJ. 2008. Sensitivity Analysis of Ordinary Kriging Interpolation According to Different Variogram Models. *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea.* **21**(3):295-304.
21. Oliver MA and Webster R. 2015. Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging. pp. 37-42. Springer, New York.