

시료의 대표성 확보를 위한 표본조사 계획-실내 라돈 샘플링 사례

김주열 · 김용재* · 장병욱* · 허동혜*
(주)미래와도전 · 한국원자력안전기술원*
E-mail: gracemi@fnctech.com

중심어 (keyword) : 대표시료, 표본조사, 라돈

서론

샘플링이란 방대한 자료로 구성된 실세계, 현상 등을 단순화 및 공식화하기 위하여 일부분의 자료가 대표성을 나타낼 수 있도록 효율적으로 추출해 내는 기술을 말한다. 샘플링 기법으로는 단순랜덤추출, 층화랜덤추출, 계통추출, 사전판단추출 등이 있다. 샘플링은 표본의 크기, 간격, 시기, 기법에 따라 샘플링 비용과 정확도에 영향을 받는다. 표본의 수가 증가함에 따라 모델링의 정확도는 대체적으로 향상되지만, 표본의 수가 일정 수보다 커지게 되면 정확도 향상의 효과가 떨어진다. 또한 샘플링 간격(거리 또는 시간)이 작을수록 정확한 모델을 근사할 수 있으나 비용이 증가하는 문제가 발생한다.

단순랜덤추출(simple random sampling)의 경우 각각의 시료는 동일 확률로 선정되고, 대상영역에서 각 표본단위는 난수를 사용하여 선택되며 통계적으로 안정된 결과를 보인다. 그러나 모집단이 불균일할 경우 큰 오차가 발생한다. 층화랜덤추출(stratified random sampling)의 경우 랜덤추출과 유사하지만 관심 영역에 대한 사전 지식을 사용하여 영역을 몇 개의 계층으로 분리하고 각 계층에서 임의로 표본을 추출하는 것이 다르다. 이 방법은 계층이 작다고 할지라도 표본에 포함된다는 것이 장점이다. 또한 모집단에 대한 선행 정보가 반드시 필요하다. 계통추출(systematic sampling)의 경우 대상영역 상에서 동일한 간격으로 표본을 추출하는 것으로 전체 영역에서 균일하게 표본을 추출하기가 용이하다. 사전판단추출(judgemental sampling)의 경우 전문가의 판단에 따라 추출하나 대표성 및 정확도를 정량화할 수 없는 단점이 있다. 실

제 많은 경우 상기 방법들을 혼합하여 적용하고 비용, 시간 및 효율성 등을 고려하여 시료채취의 방법과 시료의 개수를 결정한 다음, 소규모 시험조사를 통하여 시료채취법을 검증하고 보완한다.

방법 및 결과

상기 방법들 중 층화랜덤추출법은 지역별로 불균질의 특성이 강한 실내 라돈 측정에 적합하리라 판단되며, 95% 신뢰구간 내에서 신뢰성 있는 대표시료를 얻기 위한 시료의 개수는 다음과 같이 구한다.[1,2]

$$n = \frac{[t_{1-\alpha,df} + t_{1-\beta,df}]^2}{\Delta^2} \sum_{i=1}^{i=k} W_i \sigma_i^2 \quad (1)$$

여기서, $t_{1-\alpha,df}$ 및 $t_{1-\beta,df}$: student's t 분포

α : 제 1종 판정오류율 (false rejection)

β : 제 2종 판정오류율 (false acceptance)

$$df: \text{자유도}, df = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i=k} W_i \sigma_i^2\right)^2}{\sum_{i=1}^{i=k} \frac{W_i^2 \sigma_i^4}{n W_i - 1}} \quad (2)$$

Δ : 최소검출도(minimum detectable difference)

상기 자유도 df는 시료의 수 n에 의존하므로 최종 시료의 개수는 반복적으로 계산되어야 한다. 또한 제 1종 판정오류율(Type I error)은 실제 오염(규제치 이상의 농도)되어 있지만 그렇지 않다고 판정하는 확률로서 통상적으로 $\alpha=0.05$ 의 값을 가진다. 제 2종 판정오류율(Type II error)은 오염되어 있지 않지만 오염되어 있다고 판정하는 확률로서 통상적으로 $\beta=0.25$ 의 값을 부여한다. 최소검출도는 라돈 샘플 농도와

배경 농도(모집단 농도)와의 차이로 정의되며, 샘플 농도와 배경 농도와의 차이가 클수록 시료채취의 개수는 감소한다. 반대로 샘플 농도와 배경 농도와의 차이가 적을수록 불확실성이 증가하므로 그 만큼 통계학적 시료채취 개수는 증가하게 된다. 또한 평균에 대한 표준편차가 클수록 불확실성의 증가로 보다 많은 시료개수가 필요하게 된다.

우리나라 실내 라돈 샘플링 계획(그림 1)은 층화랜덤추출법에 따라 이루어지고 있으며, 식 (1) 및 그림 2의 통계량에 의거하여 95% 신뢰구간 내에서 대표성 있는 시료를 얻기 위한 최종 시료의 개수는 다음과 같이 계산된다.

$$n_0 = 1062$$

$$W_A = 0.1384 (= 147/1062), W_B = 0.2486,$$

$$W_C = 0.4407, W_D = 0.1723$$

$$\sigma_A = 20.5, \sigma_B = 30.0, \sigma_C = 57.2, \sigma_D = 32.4$$

$$\alpha = 0.05, \beta = 0.25$$

$$\Delta = \min(|33.9 - 50.2|, |45.9 - 50.2|, |58.6 - 50.2|, |47.7 - 50.2|)$$

$$= 2.5 Bq/m^3$$

$$df_1 \approx 750, n_1 \approx 1646$$

$$df_2 \approx 1163, n_2 \approx 1646$$

.....(수렴)

따라서 총 1646개의 시료 중 Group A 시료는 $1646 \times 0.1384 = 227.8 \rightarrow 228$ (올림), Group B 시료는 410개, Group C 시료는 726개, Group D 시료는 284개가 필요하게 된다. 이미 각각 147, 264, 468, 183개의 시료를 채취하였으므로, 추가적으로 필요한 시료의 개수는 각각 Group A의 경우 81개, Group B의 경우 146개, Group C의 경우 258개, Group D의 경우 101개로 계산된다.

결론

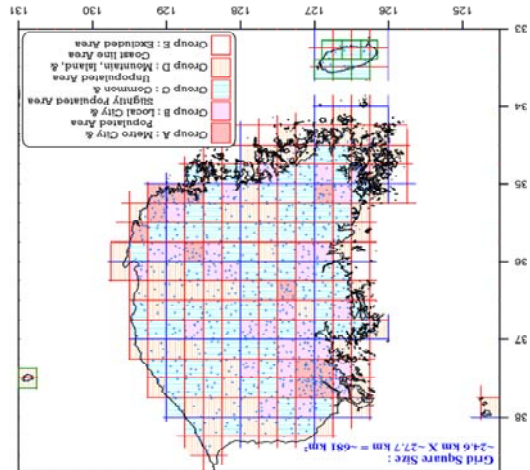
본 연구는 실내 라돈 샘플링 계획의 표본크기를 결정하는 것이지만, 상기 방법론은 방사성폐기물의 발생지 및 처분시설에서 인수검사를 수행 시 폐기물 유형별 검사(표본 및 전수) 절차수립 및 규제기준 만족여부 평가에 유용하게 활용될 수 있다.

참고문헌

1. EPA, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846,

(1986).

2. NRC, EPA, DOE, DOD, Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, (2000).



격자 분류	구분 기준	격자 내 지점수	총 격자수	총 지점 수	실제 측정 지점수
A	대도시 및 인구 밀집지역	12 지점 이상	11	157	147
B	중소도시 등	8~11 지점	32	279	264
C	일반 및 인구 비 밀집지역	5~7 지점	89	487	468
D	산악, 도서, 접경 및 해안 지역	1~4 지점	63	185	183
E	조사 제외지역	-	-	-	-
합계	-	-	195	1108	1062

그림 1. 우리나라 실내 라돈 샘플링 계획

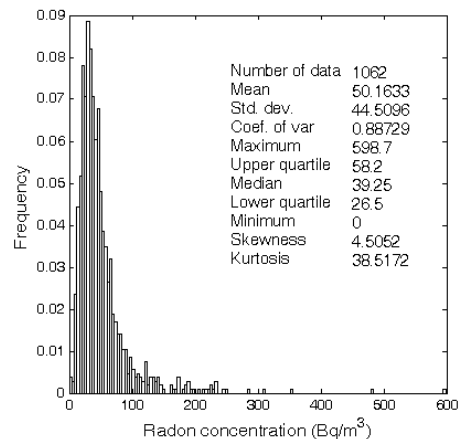


그림 2. 전체지역(A,B,C,D)의 실내라돈 농도 통계량