

Designation the Gray Region and Evaluating Concentration of Radionuclide in Kori-1 by Using Derived Concentration Guideline Level

Yeo Ryeong Jeon,¹ Sang June Park,² Seokyoung Ahn,² Yongmin Kim^{1,*}

¹Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

²School of Mechanical Engineering, Pusan National University

Received: April 25, 2018. Revised: June 21, 2018. Accepted: June 30, 2018

ABSTRACT

U.S. nuclear power plant decommissioning guidelines(MARSSIM and MARLAP) are recommends to use DQOs when planning and conducting site surveys. The DQOs which is constructed in the site survey planning stage provide a way to make the best use of data. It helps we can get the important information and data to make decisions as well.

From fifth to seventh steps of DQOs are the process of designing a site survey by using the collected data and information in the previous step to make reasonable and reliable decisions. The gray region that is set up during this process is defined as the range of concentrations where the consequences of type II decision errors are relatively small. The gray region can be set using DCGL and the average concentration of radionuclide in the sample collected at the survey unit. By setting up the gray region, site survey plan can be made most resource-efficient and the consequences on decision errors can be minimized.

In this study, we set up the gray region by using the DCGL of Kori-1 which was derived from the previous research. In addition, we proposed a method to assess the concentration of radionuclide in samples for making decisions correctly.

Keywords: Nuclear Power Plant decommissioning, Site Release, DCGL, Gray Region, Data Quality Objectives

I. INTRODUCTION

원전 해체에서 부지해체와 관련하여 국내의 원자력안전법에서는 부지의 잔류방사능 조사를 수행하기 전에 핵종별 잔류방사능 유도농도(DCGL, Derived Concentration Guideline Level)보다 충분히 낮은 수준으로 검출목표치를 수립하고, 각 조사구역에 대한 잔류방사능 농도의 평균값이 핵종별 DCGL을 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다.^[1] 부지 내 잔류하는 특정 방사성핵종의 평균농도가 규제한도인 DCGL을 초과하지 않는다고 판단되면, 부지를 제한적 혹은 무제한적 이용을 위해 해제할 것인가에 대한 여부를 고려하게 된다. 만일 이 때

잘못된 의사결정으로 해제되어야 할 부지가 해제되지 않거나, 해제 불가능한 부지가 해제된다면 전자의 경우 불필요한 복원 및 제염활동 등으로 인한 시간, 자원의 낭비를 초래할 수 있으며 후자의 경우 향후 부지를 이용하는 사람들에 대해 보건학적으로 악영향을 미치게 된다. 이러한 사항의 발생을 방지하기 위해 부지조사 시에 필요한 데이터의 수집 및 활용을 최적화하고 이를 이용하여 정확한 의사결정을 내릴 수 있도록 해야 한다. 미국의 원전 해체 지침서인 MARSSIM(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual)과 MARLAP(Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual)에서는 의사결정 전 부지조사를

* Corresponding Author: Yongmin Kim

E-mail: ymkim17@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2522

계획, 시행 및 평가하는데 Data Life Cycle의 사용을 권장하고 있으며, 이는 데이터 수집 계획을 체계화하여 공식적으로 중요한 의사결정을 내리는데 필요한 정보를 얻을 수 있도록 한다.^[2,3]

Data Life Cycle의 계획단계에서는 최종의사결정을 내리기 위한 충분한 정성적 및 정량적 데이터를 수집하기 위해 DQO를 이용한다. 미국 EPA에서는 DQO(Data Quality Objective)를 “연구목적에 명확히 하고, 데이터의 적절한 유형을 정의하고, 잠재적 의사결정 오류의 허용수준을 명시하는 DQO process에서 도출된 정성적 및 정량적 진술(Statement)”로 정의한다.^[4] DQO는 총 7단계로 구성된다. 1단계는 부지조사에서 해결하고자하는 문제를 명확하게 정의하는 문제진술(State the Problem)단계이다. 2단계는 어떤 의사결정을 내려야 하는지, 1단계에서 확인된 부지조사에서 해결하고자 하는 문제를 정의하는 의사결정 확인(Identify the Decision)단계이다. 3단계는 의사결정에 필요한 데이터의 목록을 작성하고, 이를 획득하는 방법을 결정하는(Identify inputs to the decision)단계이다. 4단계는 의사결정의 공간적, 시간적 범위를 정의(Define the Study Boundaries)한다. 5단계에서는 적절한 통계적 매개변수를 정의하고 DCGL과 같은 규제한도로 대표되는 대책준위(Action level)을 확인하며, 이전 과정들의 결과들을 바탕으로 의사결정에 따른 대안활동을 선택하기 위해 ‘의사결정규칙’을 개발(Develop a Decision Rule)한다. 6단계에서는 데이터 수집과 측정과정에서 일어나는 모든 불확실성을 고려하여 이로 인해 발생할 수 있는 의사결정 오류에 대한 허용오차범위를 확인(Specify the Limits on Decision Errors)한다. 최종 7단계에서는 앞서 결정했던 사항들을 최종적으로 검토하고, 확실한 결과를 얻기 위해 현실적으로 요구되는 사항들을 고려하여 sampling 및 분석 설계를 최적화(Optimize the Design for Obtaining Data)한다.

5, 6단계의 대표적인 결과물은 DQO process를 통해 얻은 데이터와 선택된 활동들에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 ‘의사결정규칙’과 이를 평가할 수 있는 구체적인 ‘농도범위’이다. 이 과정에서 설정하는 ‘회색영역(gray region)’은 의사결정오류로 인한 결

과가 상대적으로 미미한 농도범위로 설정된다. 회색영역은 실제 측정된 조사단위(survey unit) 특정 방사성핵종의 평균농도 값이 대책준위에 매우 근접할 때 정확한 의사결정의 근거가 되며, 의사결정 오류의 허용한계치를 설정하기 위해 반드시 설정되어야 한다. 본 연구에서는 DQO Process의 5,6단계에 초점을 맞추어 현재 해체를 앞두고 있는 고리 1호기 부지의 회색영역을 핵종 농도와 DCGL을 이용하여 설정하고 통계적 가설검정을 이용하여 의사결정을 내리는 일련의 과정을 제시하였다.

II. Decision Rule and Decision Error^[2,3]

1. Develop a Decision Rule

의사결정규칙은 네 가지 요소로 구성할 수 있다. 그 첫 번째는 DQO Process의 3단계에서 정의되는 의사결정자가 확인하고 싶어 하는 관심 매개변수로, 획득 데이터로 도출할 수 있는 평균농도, 중앙값, 비율 등과 같은 정량적 값이다. 두 번째는 의사결정을 내리는 가장 작은 집단으로 DQO process의 4단계에서 정의된다. 본 연구에서는 조사단위에 잔류하는 특정핵종의 평균농도에 관심이 있으므로, 의사결정의 단위를 조사단위로 설정하였다. 세 번째는 관심변수의 값과 비교되는 임계값으로 DQO process의 3단계에서 정의된다. 이 값은 규제기준에 근거하거나 선량 또는 위험도분석을 통해 도출되는 값이다. 본 연구에서는 MARSSIM에서 사용하는 것과 동일하게 DCGL로 설정하였다. 마지막은 관심변수의 값에 따라 의사결정자가 취할 행동이다. 이는 DQO Process의 2단계에서 정해진다. Table 1은 본 연구에서 고려하는 의사결정규칙을 구성하기 위한 4가지 요소이다.

Table 1. The Four factors of Decision Rule

Factor	Definition
The parameter of interest	Mean of concentration
The scale of decision making	Survey Unit
The action level	DCGL
The alternative actions	Decontamination and Remediation actives

의사결정규칙은 의사결정자가 대안활동을 선택하는 조건을 정의하는 “if.. then..”문으로 ‘한다’ 또는 ‘하지않는다’의 여부를 결정하는 행동지향적인 특징을 가진다. 본 연구에서 평가하고자 하는 조사단위에 잔류하는 방사성핵종의 평균농도와 관련하여 Table 1의 네 가지 요소로 구성할 수 있는 의사결정규칙은 다음과 같다.

“조사단위에 잔류하는 방사성핵종의 평균농도값이 DCGL보다 큰 경우, DCGL 미만이 되도록 추가적인 제염활동을 하고, 그렇지 않으면 조사단위를 해제하라.”

2. Identify the Decision Errors

의사결정자는 데이터를 이용한 의사결정 시에 데이터의 수집과정과 분석과정에서 필연적으로 존재하는 불확실성 때문에 현실을 정확히 반영했는지에 대한 확인이 필요하다. 만일 본 연구에서와 같이 조사단위에서 수집한 sample에서 측정된 특정 방사성핵종의 평균농도를 비교하여 의사결정을 내리기로 할 때, 의사결정오류를 제어하는 방법 중 하나는 통계적 가설검정을 이용하는 것이다. 이 통계적 가설검정에서 데이터는 귀무가설(Null hypothesis, H_0)과 대립가설(Alternative hypothesis, H_A) 중 하나를 선택하는데 사용된다. 만일, 귀무가설을 선택할 만한 근거가 충분하지 않다면 대립가설을 선택하여 이에 해당하는 활동을 고려해야한다. 만일 그렇지 않은 경우, 귀무가설이 의사결정의 기준으로 사용된다.

조사단위에 존재하는 특정 방사성핵종이 해제기준을 충족하는지의 여부를 결정할 때, 설정할 수 있는 귀무가설은 다음의 두 가지가 있다.

- 조사단위에 존재하는 방사성핵종의 평균농도가 부지해제기준을 충족시키지 못한다(DCGL 이상이다).
- 조사단위에 존재하는 방사성핵종의 평균농도가 부지해제기준을 충족한다(DCGL 미만이다).

이 두 가지 중 일반적으로 전자를 귀무가설로 설정한다. 이는 측정된 방사성핵종의 평균농도 값이

반드시 부지해제기준보다 낮을 때에만 조사단위 해제기준을 충족하지 않는다는 가정을 기각하도록 하기 위함이다. 위의 가정을 이용하여 평균농도가 DCGL을 충족하는지 여부를 결정한다고 할 때, Table 2와 같이 두 가지 유형의 의사결정오류가 발생할 수 있다.

Table 2. Two types of Decision Errors

Error type	Decision	actual survey unit state
Type I	Deciding a survey unit meets the release criteria.	A survey unit is actually above the release criteria.
Type II	Deciding a survey unit not meets the release criteria.	A survey unit is actually below the release criteria.

Type I 오류는 귀무가설이 실제로 사실일 때 사실이 아니라고 결정하는 의사결정오류이며 Type II 오류는 귀무가설이 실제로 사실이 아닐 때 사실이라고 결정하는 의사결정오류이다. 즉, Type I 오류는 실제로 방사성핵종의 평균농도값이 DCGL을 초과하여 부지해제기준을 충족하지 못하는데 조사단위 방사성핵종의 평균농도값이 부지해제조건을 충족한다고 결정한 경우 발생하며, Type II 오류는 실제로 방사성핵종의 평균농도값이 DCGL 미만이라도 부지해제기준을 충족하는데도 조사단위 방사성핵종의 평균농도값이 부지해제조건을 충족하지 못한다고 판단하여 해제될 수 없다고 결정한 경우 발생한다. Type I 오류는 실제 방사성핵종의 평균농도가 DCGL 이상인 경우, Type II 오류는 실제 방사성핵종의 평균농도가 DCGL 미만일 경우 발생할 수 있는 유일한 의사결정오류이다. 의사결정오류는 의사결정 오류로 인한 결과가 심각할 경우, 사전에 이를 제어할 필요가 있기 때문에 반드시 고려되어야 한다. Type I 오류로 인한 결과는 향후 부지가 해제되어 제한적 혹은 무제한적으로 재이용될 경우 해당 부지를 이용하는 사람들에 대한 잠재적인 피폭을 일으킬 수 있으며, Type II 오류로 인한 결과는 불필요한 제염 및 복원활동으로 인한 원전해체과정에서의 시간 및 재정적 낭비를 초래하게 되며 특히 공중보건을 위해 불필요하게 비싼 부지복원활동이 요구되는 때에 가장 심각하다. 의사결정 오류는 가능한 발생하지 않도록 하는 것이 중요할

것이나, 부지조사에 사용가능한 자원의 충분여부에 따라 의사결정오류를 제어하지 않는 것이 효율적인 경우도 발생할 수 있다(의사결정오류의 결과가 상대적으로 미미한 회색영역 내의 농도범위에 대해 발생하는 의사결정오류). 발생하는 의사결정오류를 허용할 수준과 의사결정오류가 발생함에 따른 결과를 어떻게 처리할지는 의사결정자나 부지조사 기획팀 사이에 충분히 협의되어야 할 것이다.

III. Make a Decision for fulfillment of Site Release Criteria

본 연구의 선행연구에서는 미국의 PWR (Pressurized-Water Reator)형 원전인 Rancho Seco 원전과 Zion 원전을 참조원전으로 하여 고리 1호기의 잔류방사성핵종 목록을 수립하고, RESRAD-ONSITE 전산코드를 사용하여 표면 토양의 DCGL을 도출하였다.^[6] RESRAD-ONSITE 전산코드는 선량 평가에 있어 부지 특성 정보를 이용하며, 미국의 Argonne 연구소에서 개발했다. NRC(US Nuclear Regulatory Commission)에서는 무제한적 부지해제 기준으로 부지의 잔류방사능에 의한 결정집단 평균인의 총 유효선량이 0.25 mSv/y를 초과하지 않도록 정하였다.^[5] 선행연구에서 도출된 고리 1호기의 DCGL, 또한 해당 선량을 기준으로 도출된 값이다. 따라서 추후 고리 1호기의 선량을 평가하고자 할 때에는 국내의 부지해제기준인 0.1 mSv/y를 반영해야 할 것이다. 선행연구에서 도출된 고리 1호기의 주요 핵종별 DCGL 값은 Table 3과 같다.

Table 3. DCGLs of Kori-1^[6]

Radionuclide	Industrial Worker DCGL _w
¹³⁴ Cs	2.40E+01
¹³⁷ Cs	5.70E+01
⁶⁰ Co	1.34E+01
⁹⁰ Sr	4.33E+03
⁶³ Ni	1.60E+07

* Dose Criteria 0.25 mSv/yr, unit: pCi/g

* DCGL_w: This is derived based on an average concentration over a large area.

1. Designation of Gray Region^[3]

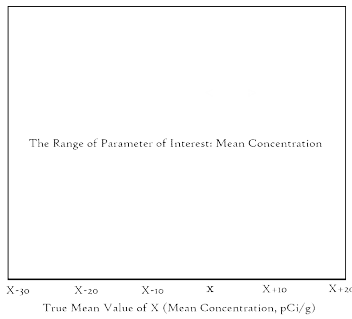
회색영역은 실제 측정된 방사성핵종의 평균농도가 DCGL에 매우 근접할 때 정확한 의사결정을 내리기 어렵기 때문에 지정해야 한다. 회색영역을 설정하는 첫 단계는 측정 가능한 농도값의 범위인 관심농도를 지정하는 것으로 일반적으로 방사성핵종 평균농도의 최저 및 최고농도의 범위를 지정하는 것을 의미한다. 이는 부지운영이력과 부지특성조사 등에서 얻은 정보를 기반으로 설정할 수 있다. MARLAP에 의하면 일반적으로 대책준위의 0.1~10 배 또는 0.5~2배로 지정할 수 있다고 하였다. 그러나, 향후 실제 회색영역 지정 시에는 국내의 실정에 맞게 다른 농도범위를 적용할 수도 있을 것이다. 본 연구에서는 MARLAP에서 제시한 두 가지 범위 중 DCGL의 0.5~2배로 관심농도범위를 설정하였다. 둘 중 좁은 농도 범위를 사용한 것은 data 수집의 효율을 높이고 회색영역이 될 수 있는 범위를 좁게 잡음으로써 의사결정의 정확성을 높이는 데 기여할 수 있도록 하기 위함이다. Table 4는 고리 1호기의 잔류방사성핵종별 관심농도범위를 나타낸 것이다.

Table 4. The Range of interest concentration by radionuclide in Kori-1

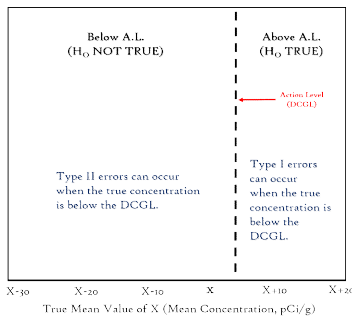
Radionuclide	Range of interest concentration
¹³⁴ Cs	1.20E+01 ~ 4.80E+01
¹³⁷ Cs	2.85E+01 ~ 1.14E+02
⁶⁰ Co	6.70E+00 ~ 2.68E+01
⁹⁰ Sr	2.16E+03 ~ 8.66E+03
⁶³ Ni	8.00E+06 ~ 3.20E+07

*unit: pCi/g

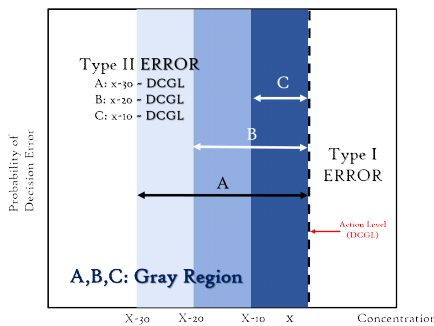
회색영역의 범위는 평가를 고려하는 관심농도범위 내에서 Type I 오류를 방지해야 하는 DCGL을 상한선으로, 추가적인 복원활동이 필요하지 않다고 판단할 수 있는 Type II 오류의 발생을 최소화 할 수 있는 농도를 하한선으로 정함으로써 설정할 수 있다. Fig. 1은 회색영역을 설정하는 과정을 도식화한 것이다.



(a) Setting the region of interest



(b) Identify the concentrations which can cause decision errors.



(c) Designate the range of gray region

Fig. 1. Determination of Gray Region.^[3]

Fig. 1에서 회색영역을 설정하기 위해 가장먼저 관심농도범위를 정하였다. 다음, 의사결정오류가 일어날 수 있는 농도를 확인하고, 마지막으로 회색 영역의 범위를 설정하였다. Fig. 1의 (c)는 회색영역이 하나의 영역으로만 정할 수 있는 것이 아니라 경우에 따라 여러 범위로 지정될 수 있다는 것을 나타냈다. 회색영역의 범위는 의사결정오류에 대한 의사결정자의 우려사항과 의사결정 오류로 인한 결과를 고려하여 부지조사기획팀과 의사결정자 간 협의로 정해져야한다.

2. A method of concentration assessment based on gray region.

회색영역이 설정되면 Type I, II 오류가 발생할 수 있는 농도에 대한 평가를 위해 sample 측정 평균 농도값에 대한 통계적 가설검정을 수행한다. 본 연구에서는 방사성핵종의 평균농도분포를 일반적으로 통계적 가설검정 평가에 사용하는 95%의 신뢰구간($\bar{x} \pm 1.96\sigma$)과 상대표준편차가 10%인 정규분포로 가정하였다. 예를 들어 본 연구에서의 ¹³⁷Cs의 농도를 평가한다고 했을 때, 측정된 평균농도값이 57 pCi/g 또는 이 이상인 경우 DCGL을 초과하여 해제될 수 없다고 하면 Type I 오류의 발생을 방지하기 위해 일반적으로 실제 평균농도가 57 pCi/g 이상일 것이라는 귀무가설을 설정할 수 있다. 앞서 가정한 신뢰구간과 통계분포를 반영하면, 측정된 평균농도가 45.8 pCi/g 또는 그 미만이면 의사결정오류를 최소화하기 위해 평균농도가 57 pCi/g 이상이라는 가정을 유지해야한다. 반대로 45.8 pCi/g 미만이라면 95%의 확률로 실제 평균농도가 57 pCi/g 미만이라고 할 수 있으므로 귀무가설을 기각할 수 있는 근거가 된다. Table 5는 앞서 가정한 통계분포를 이용하여 ¹³⁷Cs의 농도에 대해 평가한 것이다.

Table 5. The concentration assessment of ¹³⁷Cs

Range of concentration
$57 \pm 1.96\sigma = 57(1 \pm 0.196) = 45.8 \sim 68.2$ The range of concentrations that can be evaluated is 45.8~68.2 pCi/g. However, the concentrations which exceed the DCGL are worthless.
Assessment
excess 45.8 pCi/g: The actual average concentration may be greater than DCGL(57 pCi/g). There is no good reason to dismiss the null hypothesis.
below 45.8 pCi/g: The actual average concentration may be less than DCGL(57 pCi/g). This can be a reason to reject the null hypothesis.

*Relative Standard Deviation 10%, Confidence Interval 95%

앞서 정한 통계적 가정에 의해 방사성 핵종의 실제 평균농도가 45.8 pCi/g과 DCGL(57 pCi/g)일 때, Type I 오류의 발생이 제한되어야 하는 회색영역의 상한선으로 57 pCi/g을 설정하고, 하한선으로는 추가적인 복원이나 제염활동을 하도록 결론내리는

Type II 오류의 발생을 제한하는 농도인 45.8 pCi/g 을 하한선으로 설정하여 회색영역을 45.8~57 pCi/g 으로 정할 수 있다. 본 예시에서 부지조사를 시행할 때 조사단위에서 수집한 ^{137}Cs sample의 평균농도가 45.8 pCi/g 미만이어야 한다는 사실을 파악하고, 45.8 pCi/g 보다 낮은 측정값을 이용하여 95%로 실제 ^{137}Cs 의 평균농도가 DCGL 미만이라고 결정할 수 있을 것이다. Table 6은 앞선 통계적 가정을 고려하여 설정한 핵종별 회색영역을 나타낸 것이다.

Table 6. The gray region of radionuclide in Kori-1

Radionuclide	Gray Region
^{134}Cs	1.93E+01 ~ 2.40E+01
^{137}Cs	4.58E+01 ~ 5.70E+01
^{60}Co	1.08E+01 ~ 1.34E+01
^{90}Sr	3.48E+03 ~ 4.33E+03
^{63}Ni	1.29E+07 ~ 1.60E+07

*Relative Standard Deviation 10%, Confidence Interval 95%
*unit: pCi/g

Table 7은 통계적 가설검정에 주로 사용하는 신뢰구간 별 회색영역을 나타낸 것이다.

Table 7. The gray region of radionuclide in Kori-1 by main confidence interval

Radionuclide	confidence interval	Gray Region
^{134}Cs	68% ($x \pm \sigma$)	2.16E+01 ~ 2.40E+01
	90% ($x \pm 1.64\sigma$)	2.01E+01 ~ 2.40E+01
	99% ($x \pm 2.58\sigma$)	1.78E+01 ~ 2.40E+01
^{137}Cs	68% ($x \pm \sigma$)	5.13E+01 ~ 5.70E+01
	90% ($x \pm 1.64\sigma$)	4.77E+01 ~ 5.70E+01
	99% ($x \pm 2.58\sigma$)	4.23E+01 ~ 5.70E+01
^{60}Co	68% ($x \pm \sigma$)	1.21E+01 ~ 1.34E+01
	90% ($x \pm 1.64\sigma$)	1.16E+01 ~ 1.34E+01
	99% ($x \pm 2.58\sigma$)	9.94E+00 ~ 1.34E+01
^{90}Sr	68% ($x \pm \sigma$)	3.90E+03 ~ 4.33E+03
	90% ($x \pm 1.64\sigma$)	3.62E+03 ~ 4.33E+03
	99% ($x \pm 2.58\sigma$)	3.21E+03 ~ 4.33E+03
^{63}Ni	68% ($x \pm \sigma$)	1.44E+07 ~ 1.60E+07
	90% ($x \pm 1.64\sigma$)	1.34E+07 ~ 1.60E+07
	99% ($x \pm 2.58\sigma$)	1.19E+07 ~ 1.60E+07

*unit: pCi/g

IV. DISCUSSION

일반적으로 의사결정오류로 인한 결과는 측정 농도값이 회색영역에서 멀리 떨어져 있을 때 발생한 경우 더 심각하다. 이 때문에 본 연구에서 언급하지 않았지만 회색영역이 정해지면, 회색영역을 기준으로 하여 의사결정오류의 허용한계를 정해두어야 한다. 일반적으로 Type I 오류에 대한 허용한계는 농도가 증가함에 따라 감소하도록, Type II 오류에 대한 허용한계는 농도가 감소함에 따라 감소하도록 설정할 수 있을 것이다. MARLAP에서는 본 연구에서 정한 관심 매개변수인 조사단위 sample에서 측정한 특정 방사성핵종의 평균농도가 가질 수 있는 실제 값이 DCGL과 같은 대책준위에 더 근접함에 따라 의사결정오류의 허용한계수준을 증가하도록 설정할 것을 권장하고 있다.^[3]

제약된 조건 내에서 계획대로 조사를 시행하기 어려울 때, 즉, DQO를 충족시키지 못할 때 고려할 수 있는 또다른 사항은 회색영역의 너비를 조정하는 것이다. 회색영역의 너비는 DCGL과 인접한 농도에 대해 Type II 오류에 대한 의사결정자의 우려사항과 Type II 오류로 인한 결과를 고려하여 결정되어야 한다. Fig. 1과 Table 7에서는 경우에 따라 회색영역의 범위가 달라질 수 있음을 나타내었다. 좁은 회색영역은 설계된 조사계획이 지정된 DQO를 충족시키기 위해 많은 수의 sample을 필요로 한다는 것을 의미한다. Sample 수를 증가시킴으로써 Type II 오류 발생확률은 줄어들지만, 잠재적으로 조사에 드는 비용은 증가한다. 반대로 sample 수를 줄이면 비용은 절감되지만, Type II 오류 발생확률은 증가한다. 의사결정의 정확성 때문에 Type II 오류 발생확률이 증가하도록 회색영역을 조정하는 것이 불가능하다면 더 정확한 측정법을 사용하거나, 공간적 및 환경적으로 유사한 특성을 가진 조사단위의 수를 늘림으로써 즉, 예상되는 측정 농도의 편차가 작아지도록 조사단위의 경계를 조정하는 방법을 사용할 수 있다. 이처럼 부지조사에 있어 합당한 의사결정오류 허용한계 설정과 회색영역의 너비를 조정함으로써 DQO를 충족시킬 수 있도록 해야 할 것이다.

현재 국내에서는 기존 발전용 원전의 해체 경험이 전무한 실정에 관련 기술개발이 계속해서 이루어지고 있다. 의사결정과 관련해서는 해체과정 전과정에서의 요구사항에 대한 해체 의사결정지원 모델을 개발한 사례가 있으며^[7], 원전해체 시 적용 가능한 기술 선정을 위해 전문가 조사(Expert-Choice) 기법을 사용한 선행연구도 있다.^[8] 원전해체과정 중 의사결정을 내려야 하는 사항은 비용평가, 폐기물 처리, 제염방법 선택 등 매우 다양하다. 이러한 사항들의 의사결정시에는 규제기관, 엔지니어, 통계분석전문가, 보건물리학전문가, 방사화학분석가, 현장 샘플링전문가, 데이터평가전문가 등 다양한 분야의 전문가들이 참여하게 된다. 향후 원전해체 전과정에서 정확한 의사결정을 위해 다방면의 전문가들의 유연한 소통이 요구될 것이며, 이를 통해 도출된 결과는 부지의 최종상태평가(FSA, Final Status Assessment)에도 반영될 수 있을 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 DQO process의 일부과정으로 부지조사데이터와 규제한도로 설정되는 DCGL을 이용하여 통계적 가설검정으로 기반으로 부지해체에 대한 정확한 의사결정을 내리는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 초점을 맞춘 DQO process 5~6단계에서 의사결정까지의 과정을 요약하면 다음과 같다.

- 관심변수정의: 평가에 사용할 통계적 매개변수
- 의사결정규칙개발: 관심변수, 임계값, 의사결정범위 및 의사결정에 따른 대안활동을 반영
- 의사결정오류확인 및 회색영역설정

회색영역은 의사결정 오류의 허용한계를 설정하고, 가장 자원 효율적으로 부지조사 데이터를 활용하기 위해 설정해야한다. 본 연구에서 언급한 사항들은 의사결정자와 원전해체 참여자 사이의 협의뿐만 아니라 사용되는 자원이나 시간문제 등 여러 요인들에 의해 변동될 수 있는 사항들이다. 따라서 향후 진행될 원전해체 과정에서 원활한 소통과 자원배분을 통해 가장 효율적인 부지조사계획을 하고, 이를 바탕으로 수집된 결과물을 이용하여 정확

한 의사결정을 내릴 수 있도록 해야 할 것이다.

Acknowledgement

1. 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (원자력연구기반확충사업, No. NRF-2017M2B2A9072945)

2. 본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국 원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전 연구사업의 연구결과입니다. (No. 1305009)

Reference

- [1] Nuclear Safety and Security Commission, "Nuclear Safety Act", 2017.
- [2] United States Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1575, Revision 1, Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, 2000.
- [3] United States Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1576, Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual, 2004.
- [4] United States Environmental Protection Agency, Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process, EPA QA/G-4, 2006.
- [5] Y. J. Bae, Y. M. Kim, S. Y. Ahn, C. M. Kim, "An Integrative Review on Domestic Site Release Criteria of Nuclear Power Plant based on the Analysis of Foreign Site Release Criteria", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 9, No. 5, pp. 269-277, 2015.
- [6] Nuclear Safety and Security Commission, Technology Analysis Report: Regulation of the Residual Radioactivity for NPP License Termination, NSTAR-17NS22-27, 2017.
- [7] H. S. Park, S. K. Park, H. G. Jin, J. W. Choi, "A conceptual Design of a Decommissioning Decision Making Support Model Combining Engineering Technology for Decommissioning Information and Requirement Engineering", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 13, No. 11, pp. 159-166, 2015.
- [8] J. S. Song, S. S. Shin, S. H. Lee, "A Study on the Application of EXPERT-CHOICE Technique for Selection of Optimal Decontamination Technology for Nuclear Power Plant of Decommissioning", Journal of nuclear fuel cycle and waste technology, Vol. 15, No. 3, pp. 231-237, 2017.

고리 1호기의 잔류방사능 유도농도(DCGL)를 적용한 회색영역 설정과 핵종농도평가

전여령,¹ 박상준,² 안석영,² 김용민^{1,*}

¹대구가톨릭대학교 방사선학과

²부산대학교 기계공학부

요 약

미국의 원전해체 지침서인 MARSSIM과 MARLAP에서는 의사결정 전 부지조사를 계획하고, 계획한 조사를 시행하는데 Data Life Cycle의 사용을 권장하고 있다. 부지조사 계획단계에서 설정되는 데이터품질목표(DQO)는 부지조사 수행 및 설계의 모든 측면에서 얻을 수 있는 데이터를 최선으로 활용하는 방법을 제시하고, 부지조사 계획을 체계화하여 공식적으로 중요한 의사결정을 내리는데 필요한 정보를 얻을 수 있도록 한다.

DQO의 일곱 과정 중 5~7단계에서는 앞선 단계에서 수집한 정보를 이용하여 합리적이고 신뢰성있는 의사결정을 내릴 수 있도록 부지조사를 설계하는 과정이다. 이 과정 중 설정되는 회색영역은 관심핵종에 대한 조사단위의 평균농도가 실제로 DCGL을 초과하지 않음에도 불구하고, 초과한다고 판단하여 제염활동과 같은 추가적인 활동을 하도록 결정내리는 Type II 의사결정 오류로 인한 결과가 미약할 것으로 생각되는 농도범위로 정의된다. 회색영역은 부지에서 수집한 Sample에 속한 특정 핵종의 평균농도와, 규제한도로서 설정될 수 있는 잔류방사능 유도농도(DCGL)를 이용하여 정할 수 있다. 회색영역을 설정함으로써 가장 자원효율적으로 부지조사계획을 설정할 수 있으며 의사결정 오류에 대한 영향을 최소화 할 수 있다.

선행연구로 도출된 고리 1호기의 DCGL을 이용하여 회색영역을 설정하고, 이를 이용해 올바른 의사결정을 내릴 수 있도록 하는 Sample의 농도평가 방법을 제시하였다.

중심단어: 원전해체, 부지해체, 잔류방사능 유도농도, 회색영역, DQOs