

# 척도인자 유효성 검증 위한 대표드림 선정 방안

박지은\*, 안희진, 김정주, 박승철

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

\*jepark12@khnp.co.kr

## 1. 서론

원자력발전소에서 발생한 방사성폐기물(이하 방 폐물)에 포함되어 있는 핵종규명을 위해 직접측정 이 어려운(DTM; Difficult-To-Measure) 알파 및 베타와 같은 핵종의 경우 척도인자를 사용하게 된다. 척도인자란 DTM 핵종과 측정이 용이한 감마지 표(Key)핵종과의 상관관계이며, 이를 이용하여 다른 미지의 DTM 핵종농도를 유추하는데 적용 할 수 있다.

최초의 척도인자는 '04년부터 '08년까지 발생한 폐기물 시료의 방사화학분석을 통하여 도출되었다. '04년 이후에 발생한 드림을 대상으로 개발된 척도 인자가, 과거발생('78 ~ '03년도) 폐기물 드림에 적용되는 것이 타당한가에 대해 유효성이 검증된다면 과거발생 드림에 대한 직접분석비용 절감 및 방사 성폐기물 임시저장고 포화현상 해소에 기여 할 수 있을 것이다. 과거발생 드림에의 척도인자 유효성 을 판단할 때, 전수분석은 비효율적이므로 대표드 림을 선정하여 검증 후 과거발생 전체 드림에 적용 하는 방법을 검토해야한다. 본 논문에서는 척도인 자 적용 유효성 검증을 위한 대표드림 선정 방법에 대해 논의하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 척도인자 적용 유효성 검증의 단계

척도인자는 폐기물 유형 및 발전소 별로 개발되 었으므로 각각의 척도인자 적용 유효성을 검증하기 위해서는, 우선 과거발생 전체 폐기물을 당시에 설 정한 통합군으로 분류한다. 그 다음 각 통합군을 보수적인 기준(척도인자 변동가능성 반영)으로 축 소하여 모집단을 설정하는데 “보수적인 기준에서 척도인자 적용이 유효하다면, 일반적인 기준에서도 역시 척도인자 적용이 유효할 것이다”라고 가정할 수 있기 때문이다.

대표드림의 개수는 가설 검정(Hypothesis Test) 에 근거하여 계산할 수 있으며 상용중인 VSP(Visual Sample Plan) 소프트웨어('item

sampling' 옵션)를 통해 쉽게 얻을 수 있다. 한편, 랜덤추출은 모집단에서 표본을 추출할 수 있는 모 든 조합이 동일한 확률을 갖는 방식으로, 연구자의 의도를 반영하지 않기 때문에 특정한 상황에 치우 치지 않는다. 따라서 본 연구에서는 설정한 각 모 집단에 대해 랜덤추출방식으로 대표드림을 추출한 다. 앞서 제시한 VSP 소프트웨어는 랜덤난수를 선 정해주므로, 대표드림 개수 뿐 아니라 추출 번호까 지 한 번에 지정할 수 있다.

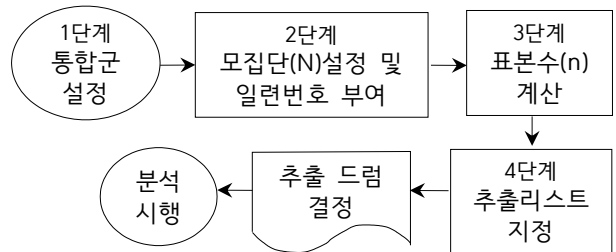


Fig. 1. Flow Chart.

### 2.2 1단계 : 통합군 설정

기 개발된 척도인자는 발전소 및 폐기물스트림(폐 수지, 농축폐액, 폐필터, 잡고체) 별 통합군으로 존재 하므로, 각 척도인자의 적용 유효성을 검증하기 위 해 통합군 기준 그대로 과거발생 전체 폐기물을 분 류한다. 척도인자 통합군 도출방법은 다음과 같다.

- 검정통계방법을 통해 그룹화(동일 경향성)
- 발전소 1 척도인자 도출에 사용된 시료수  $n_1$ , 척도인자  $x_1$ , 표준편차  $\sigma_1$  이고, 발전소 2 척 도인자 도출에 사용된 시료수  $n_2$ , 척도인자  $x_2$ , 표준편차  $\sigma_2$  인 경우,

$$\bullet \text{ 검정통계량 } E_n = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

- $|E_n| \leq 2$  일 경우 두 발전소 척도인자 통합

### 2.3 2단계 : 모집단(N) 설정 및 일련번호 부여

척도인자 변동요인(핵연료 손상, 피복관 파손, 부 식생성물 용출, 연소도, 출력변화 등 고려)을 반영

하여 요인발생시점 기준으로 모집단을 축소하였다. 축소된 모집단에 대해 척도인자가 유효하다고 판단된다면, 척도인자 변동 가능성이 낮은, 즉 사건이 발생하지 않았던(혹은 보다 적게 발생했던) 시점의 폐기물 드럼에 대해서도 역시 유효하다고 결론내릴 수 있다. 과거발생 전체 드럼을 모집단으로 하는 것보다 보수적인 기준으로 모집단을 축소하여 대표 드럼을 선정하는 것이 효율성 및 정확성 측면에서 더욱 효과적이라고 판단된다.

설정된 모집단 드럼에 대해 발생년도 오름차순으로 일련번호를 부여한다.

### 2.4 3단계 : 각 모집단에 대한 표본 개수(n) 계산

본 논문에서는 가설검정(Hypothesis Test) 방법에 입각하여 표본 개수를 산정하는 방안을 제시한다.

Table 1. Definition of the Terms

구분	정의
가설	귀무가설( $H_0$ ) 모집단이 '비정상'이다 ( $p_A \geq p$ ) (기 척도인자 적용 가능 판단)
	대립가설( $H_1$ ) 모집단이 '정상'이다 ( $p_A < p$ ) (기 척도인자 적용 불가능 판단)
오류	1종오류확률( $\alpha$ ) 비정상인데, 정상 판정하는 오류
	2종오류확률( $\beta$ ) 정상인데, 비정상 판정하는 오류
검정력(Power)	1 - 2종오류확률( $\beta$ )
유의수준	1종오류확률의 최대값( $\alpha$ )

검정규칙은 “크기 n인 표본에서 하나라도 적용불가 드럼이 나타나면, 귀무가설을 받아들이고 이 집단은 척도인자를 적용할 수 없다고 판단 한다”이며, 주어진 가설에서 유의수준 및  $p_A$  를 설정해야한다. 이를 만족시키는 표본 수 산정 식을 정리하면 다음과 같다.

$$n = 0.5 (1 - \alpha^{1/V}) (2N - V + 1) \quad (2)$$

여기서,  $V = \max(1, P_A N)$

- N : 모집단(과거발생 전체드럼)의 크기
- $p_A$  : 모집단 중 척도인자 적용 불가를 허용할 수 있는 최대 비율
- n : 표본의 크기(대표드럼의 수)

### 2.5 4단계 : 추출 대상드럼 리스트 지정

3단계에서 산정된 표본개수 및 모집단에 부여된 일련번호(2단계)에 대해 랜덤추출하는 방식을 이용한다. 한편, VSP (Visual Sample Plan) 소프트웨어는 PNNL (BattellePacific Northwest National Laboratory)에서 개발한 프로그램이며, 그 중 'item sampling' 옵션은 앞서 제시한 식(2)를 이용하여 표본개수를 산정하는 동시에 모집단에 대해 표본의 난수를 랜덤으로 지정해 준다. 이 VSP 프로그램을 이용하여 지정된 난수에 상응하는 일련번호의 드럼을 추출 리스트로 선정한다.

### 3. 결론

본 논문에서는 '04년 이후 발생한 방폐물 드럼을 통해 개발된 척도인자를 '04년 이전 과거에 발생한 방폐물 드럼에 적용할 수 있는지 판단하고자 대표드럼 선정방법에 대해 논의하였다.

기존의 척도인자 적용 및 활용 여부에 관해 몇몇 문제점이 제기되었고, 새로운 척도인자 개발 연구에 초점이 맞춰져 있지만, 본 논문에서 통계학을 바탕으로 고려된 대표드럼 선정방식은 향후 다른 목적에서도 효율적으로 활용할 가능성이 있으며, 전수분석에 소요되는 시간 및 비용 절감에 상당히 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] 한수원(주) 중앙연구원, “척도인자 적용 유효성 검증을 위한 대표드럼 선정 방안”, 2015-50003339-전-0253TM (2015).
- [2] 박지은 외 2명, “방사성폐기물 대표드럼 선정 방안에 대한 연구”, 한국방사성폐기물학회 추계학술발표회 논문요약집, 12(2), 183~184 (2014).
- [3] 성내경, 「표본조사방법론」, 29~32 (2012)
- [4] 한수원(주) 중앙연구원, 「방사성폐기물 인도를 위한 척도인자 주기적 검증방법 개발(최종보고서)」, (2011)
- [5] PNNL, 「Visual Sample Plan Version 6.0 User's Guide」, PNNL-19915, (2010)
- [6] IAEA, 「Soil Sampling for Environmental Contaminants」, IAEA-TECDOC-1415, 26~27 (2004).
- [7] PNNL, 「Statistical Methods for Nuclear Material Management」, NUREG/CR-4604, 871~923 (1988)