

처분적합성 입증을 위한 대표드럼 선정 방안에 대한 통계학적 고찰

박지은*, 박승철

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

*jepark12@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서 과거에 발생한 방사성폐기물(이하 방폐물) 드럼은 적기처분을 위해 처분적합성 여부를 입증하여야 하며, 원자력안전위원회 고시 “인도규정” 및 한국원자력환경공단 “인수기준”에 따라 전체 방사성핵종의 95% 이상을 규명하여야 한다. 처분적합성 여부를 입증하기 위해, 과거발생한 방폐물 드럼에 대해 전수를 분석하는 것은 비용이나 시간 측면에서 비효율적이므로 대표드럼을 선정하여 검증하는 방법을 검토할 필요가 있다. 그러나 대표드럼 선정과 관련한 연구는 국내외적으로 초기단계이며, 드럼의 균질화 방법, 시료채취방법 및 광범위로 오염된 토양분석에 대한 권고안들이 대부분이다. 본 논문에서는 대표성과 신뢰성을 확보할 수 있는 대표드럼 선정 방법에 대해 통계학을 적용하여 이해를 도모하고자 한다.

2. 본론

대표드럼을 선정하기에 앞서, 과거발생 전체 드럼의 특성을 대표할 수 있는 표본의 개수를 산정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 표본의 개수 산정 방법을 중점으로 다루고자 하며, 모집단 중 표본의 선택은 랜덤추출의 방법을 따르도록 한다.

2.1 통계적 추정 및 가설검정의 기본개념

표본조사의 목적은 표본의 정보들을 이용하여 모집단의 특성치를 추론하는 것이다. 본 논문에서 표본(대표드럼) 조사의 목적은 각 모집단(과거발생 전체 드럼)에 대한 비적용율(처분부적합 비율)에 관해 추론하는 것이다. 통계적 가설이란 모집단의 특성에 관한 진술, 주장 혹은 추측이다. 예컨대 “과거발생 전체 드럼은 처분적합 하다”와 같은 진술이 된다. 통계적 가설검정에서 다루는 통계적 가설은 귀무가설과 대립가설 두 가지이며, 표본으로부터 얻은 정보를 바탕으로 두 가설 중 어느 하나를 채택하여야 한다. 귀무가설(Null Hypothesis ; H_0)은 일반적으로 기각될 것이 예상되어 세워진 가설로써

가설검정의 대상이 되는 가설이다. 반면 대립가설(Anti Hypothesis ; H_1)은 귀무가설과 상반되는 가설이며 대개의 경우 귀무가설의 보집합으로 정의된다. 귀무가설과 대립가설에서 모집단 모수의 범위는 서로 겹치는 부분이 있어서는 안 된다.

2.2 가설검정과 오류

가설검정에 있어서 전체 모집단이 아닌 표본으로부터 얻은 불충분한 정보를 바탕으로 가설의 진위 여부를 판단하므로 잘못된 결정을 내릴 위험은 항상 존재한다. 귀무가설이 참인데 이를 기각하는 잘못을 제 1종 오류(Type I error)라 부르며 이 오류를 범할 최대 확률을 α 로 나타내고 이것을 검정유의수준(Level of significance)이라 한다. 반면 귀무가설이 거짓일 때 이를 채택하는 잘못을 제 2종 오류(Type II error)라 부르며, 이 오류를 범할 확률을 β 로 나타낸다. 여기서 “ $1-\beta$ (2종 오류확률)”를 검정력(Power)이라 하고 검정규칙이 귀무가설을 기각할 확률을 의미한다. 일반적으로 검정력이 높을수록 좋은 검정규칙이라고 할 수 있다.

Table 1. Comparison of the Type I and II Error

사 실	선택한 결정	
	H_0 채택	H_0 기각
H_0 참	옳은 결정	제 1종 오류
H_0 거짓	제 2종 오류	옳은 결정

2.3 표본크기 산출계산의 단순화

특히 귀무가설이 $H_0 : p = 0$ 이고 대립가설이 $H_1 : p > 0$ 이면, 조사 대상의 모집단에서 부적합이 없는 것을 의미하고 임계값(D_0)이 0이 된다. 이러한 경우 1종 오류확률은 0 (귀무가설이 사실일 때 기각할 확률이 0)이 되어 표본크기 산출계산은 크게 단순화된다. 이를 W.Michael Bowen and Carl A Bennett (1988)이 정리하였으며 표본크기 n 은 다음과 같이 된다[5].

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

2.4 본 연구에의 적용

본 연구의 목적은 모집단 드럼(과거발생 전체드럼)에 대하여 처분적합 여부를 판단하느냐 아니냐를 결정하는 방안을 찾는 것이다. 모집단의 드럼들에 대하여 처분 적합함을 판단하는 것을 “모집단이 정상”이라고 정의하여 표본(대표드럼)조사를 통해 이 모집단이 정상인지를 판단하겠다. 표본조사를 통해 모집단이 정상인가를 통계적으로 판단한다는 것은 2가지 오류(정상인데도 비정상이라고 판단하는 오류와 비정상인데도 정상이라고 판단하는 오류)의 가능성을 최소화하며 판단하는 것을 말한다. 논의에 앞서 다음과 같이 정의하도록 하겠다.

- N : 모집단(과거발생 전체드럼)의 크기
- p_A : 최대 허용 비적용율(모집단 중 처분부적합을 허용할 수 있는 최대 드럼 비율)
- n : 표본의 크기(대표드럼의 수)
- X : n 개의 표본 중 처분 부적합한 드럼 수

모집단이 비정상이라는 입장($p_A > 0$)에서 시작하면 비정상이라는 것을 의심할 만한 분명하고 강력한 증거가 나타나야만 정상임을 받아들인다는 경우이다. 이때 $p_A > 0$ 이므로(비적용율은 0이 아니라고 생각하고 있으므로), p_A 가 얼마나 작을 때 모집단을 정상이라고 판단할지 즉, 최대 허용 비적용율을 먼저 정해야 한다. 적어도 적용 가능한 드럼들이 모집단의 90%를 넘어야 이 모집단이 정상이라고 본다고 한다면, 이 경우는 모집단이 비정상이라고 보는 가설은 $p_A > 0.1$ 이다. 다시 말하면, $p_A \geq 0.1$ 이라고(비적용율이 허용수준 안에 있지 않다고 생각하고 있지만 이를 의심할만한($p_A < 0.1$ 이라고 할 만한) 분명한 증거가 보이면 정상이라고(비적용율이 허용수준 안에 있다고) 보겠다는 것이다. 따라서 귀무가설과 대립가설은 아래와 같이 된다.

$$H_0 : p_A \geq 0.1, H_A : p_A < 0.1 \quad (2)$$

표본을 뽑아서 정상여부를 확인하며 각각의 오류를 범할 확률은 다음과 같다. (H_0 가 비정상인데도 정상이라고 판단하는 오류가 1종 오류, 반대가 2종 오류)

2.4.1 제 1종 오류 확률과 제 2종 오류 확률

제 1종 오류 확률은 비정상($p_A \geq 0.1$)인데도 정상($p_A < 0.1$)이라고 결정하는 오류이므로, $p_A \geq 0.1$ 일 때 표본에서 얻은 결과가 $X = 0$ 으로 나타나는 경우를 말한다. 따라서 1종 오류 확률은 $P(X = 0 | p_A \geq 0.1)$ 이 된다. 1종 오류 확률의 최대값

이 유의수준(α)이므로 “ $\alpha = P(X = 0 | p_A = 0.1)$ ”이다.

제 2종 오류 확률은 정상인데도 비정상이라고 결정하는 오류이므로 $p_A < 0.1$ 일때 $X > 0$ 으로 결과가 나타나는 경우를 말한다. 따라서 “ $\beta = P(X > 0 | p_A < 0.1) = 1 - P(X = 0 | p_A < 0.1)$ ”이며, 본 입장에서 1종 오류보다는 중요하지 않다고 본다.

2.4.2 표본의 크기(대표드럼의 수) 산출

유의수준을 얼마라고 하느냐에 따라서 1종 오류 확률을 제어하여 표본크기를 구하게 된다.

$$n = 0.5(1 - \alpha^{1/V})(2N - V + 1) \quad (3)$$

여기서, $V = \max(1, P_A N)$

3. 결론

방폐물 드럼의 처분적합성을 입증함에 있어서 시간 및 비용 등의 효율성 문제가 제기되므로 전체 드럼의 특성을 반영할 수 있는 최적의 대표드럼을 선정해야 한다. 본 연구에서는 가설검정방법을 이용하여 대표드럼의 개수를 산정하는 방식으로 식(3)을 제안하였다. 이를 이용한 소프트웨어는 VSP(Visual Sample Plan)이며, 그 중 'item sampling' 옵션은 표본의 개수를 계산해줄 뿐 아니라 랜덤난수를 지정해주므로 표본 선택이 가능하다[2].

가설검정방법을 통해 얻은 대표드럼 산정 방식을 이용하면, 설정한 신뢰도 및 최대 허용 비적용율에 대한 대표드럼 개수를 얻을 수 있고, VSP 프로그램을 이용한다면 개수 산출과 동시에 대표드럼 랜덤 선택이 가능할 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] 성신여자대학교, “표본크기추정에 관한 연구”, Journal of Basic Science, 109~119, (1993).
- [5] PNNL, “Statistical Methods for Nuclear Material Management”, NUREG/CR-4604, 871~923 (1988).