

## 시료의 대표성 확보를 위한 통계적 방법에 관한 연구

김주열, 박병기, 이병철

(주)미래와도전, 서울시 관악구 봉천7동 산4-2 서울대학교연구공원 본관516호

[gracemi@fnctech.com](mailto:gracemi@fnctech.com)

방사성폐기물 처분사업의 본격화로 저장 중인 방사성폐기물의 처분 준비가 활발하게 이루어지고 있다. 처분비용이 드럼 당 수 백만원에 이를 것으로 예측되는 가운데 처분대상 폐기물의 최소화를 위해 규제해제 및 자체처분 방안이 논의되고 있다. 특히 200 리터 드럼의 내용물 전체에 대한 특성분석은 현실적으로 불가능하며 비용 및 효율의 측면에서 바람직하지 않으므로 핵종분석 및 처리방안에 앞서 시료의 대표성 확보(attaining a representative sample or master sample)가 요구된다. 시료의 대표성 확보 방안은 자체처분 신청대상 폐기물의 방사선(능) 측정 관련 방사성 오염도양, 해체콘크리트폐기물, RI폐기물, 대용량기기 및 폐철재류, 활성탄 및 폐수지 등의 공정폐기물에 적용할 수 있으며, 시료의 품질보증(quality assurance) 측면에서도 대단히 중요하다.

시료의 대표성 확보를 위해 국내외적으로 초기 단계의 연구가 이루어지고 있다. 국외의 경우 대부분이 광역 규모 오염도양의 제염 및 복원처리를 위한 권고 방안들이며, 이를 위해 최근 개발된 프로그램으로 NRC의 MARSSIM(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, 2000)과 PNNL의 VSP(Visual Sample Plan, 2005)가 있다. IAEA-TECDOC-855 (1996)에서는 규제해제 적용의 타당성을 검증하기 위한 시료채취 및 측정방법에 대한 권고안으로 대상 폐기물을 종류 및 발생원에 따라 균일하게 분류하고 해당물질의 평균화가 허용되는 최대 면적 및 질량 단위를 결정하여 방사능을 측정하여야 한다고 제시하고 있다. 최근 EPA QA/G-5S (2002)와 IAEA-TECDOC-1415 (2004)에서는 오염도양의 효과적인 감시와 시료의 대표성 확보를 위한 표본 추출방법론을 소개하고 있고 특정 신뢰도를 확보하기 위하여 요구되는 시료의 개수 및 추정치의 정밀도를 제공하고 있다.

국내의 경우 KINS의 방사성폐기물 규제기술개발 - 방사성폐기물 규제해제 요건 개발 (KINS/RR-144)에 제시된 균질화 및 평균화 방안이 있다. 균질화 방안은 동일한 종류의 폐기물 전체를 균일하게 혼합하여 채취한 시료에 대한 방사능 분석결과를 이용하는 것이고, 평균화 방안은 동일한 종류의 폐기물 중 무작위로 다수의 시료를 채취하여 분석된 방사능 농도의 평균치를 적용하는 것이다. 상기 보고서에서는 평균화를 인정할 수 있는 시료의 양이 200 kg 또는 200 L의 폐기물 당 1 kg 또는 1 L 이상이어야 한다고 제시하고 있다. 하지만 상기 수치에 대한 객관적인 근거가 빈약하며, 현재 방사성오염 도양폐기물에만 적용가능 방안으로, 불균질의 고체폐기물과 일정한 폐기물 발생형태(waste stream)가 없이 다중, 소량 및 불규칙하게 발생하는 RI 폐기물과 같은 대상에 적용하기에는 무리가 있다. 또한 KAERI에서는 상기 균질화 및 평균화 방안을 방사성 오염도양 규제해제를 위한 시료채취 및 분류처리 절차에 적용한 바 있다. 도양의 경우 입자의 크기가 작아 전체적인 혼합이 쉽고 일부의 시료가 전체 내용물을 비교적 쉽게 대표할 수 있다.

표본추출설계(sampling design)는 추정의 편의(bias)를 줄이면서 모집단을 대표할 수 있는 표본의 추출 및 조사에 관한 것으로 최적의 표본크기, 평균, 신뢰구간, 분산 및 변이계수 등을 결정한

다. 널리 이용되는 표본추출설계에는 단순랜덤추출(simple random sampling), 층화랜덤추출(stratified random sampling), 계통추출(systematic sampling), 판단추출(judgemental sampling), 적응추출(adaptive sampling), 복합추출(composite sampling) 등이 있다. 실제로는 상기 방법들을 복합된 형태로 적용하며, 비용, 시간, 효율성 등을 고려하여 표본추출의 방법과 표본의 크기를 결정한다. 또한 소규모 시험조사를 통하여 표본설계의 오류를 검사하고 표본설계를 재작성한다. 그림 1은 매립지 주변 대규모 오염토양의 특성분석과 규제치 이상의 토양납오염 지역(hotspots)을 찾기 위해 목적지향적인 적응샘플링기법(adaptive sampling)과 추계적인 지구통계기법(stochastic geostatistical technique)을 적용한 시료채취 설계의 예시이다. 가연성 종이류, 가연성 플라스틱류, 비가연성 압축성, 비가연성 비압축성, 폐필터, 유기폐액, 무기폐액, 동물사체 및 밀봉선원 폐기물 등으로 이루어진 RI 폐기물의 표본조사방법으로는 계층분석(hierarchical process)이 포함된 층화랜덤추출과 전문가의 판단이 가미된 판단추출을 복합된 형태로 사용하는 것이 타당하다 (그림 2).

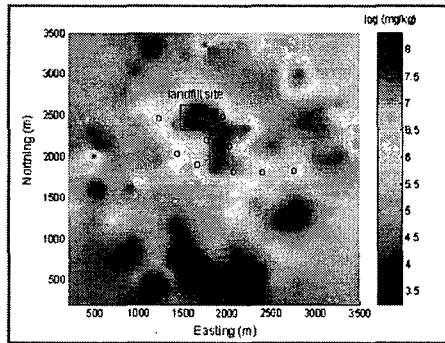


그림 1. 오염토양의 특성분석을 위한 표본추출설계 예시

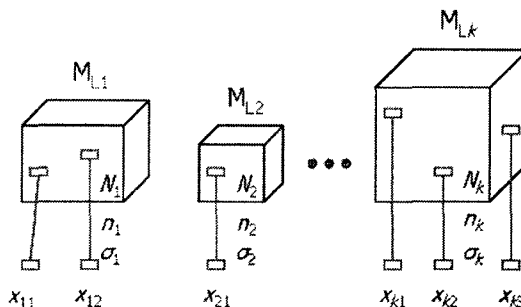


그림 2. 다양한 크기와 종류를 가지는 불균질 RI 폐기물에 대한 표본추출설계 예시