

MARSSIM 방법론을 적용한 부지복원방법과 사례

주민수, 홍상범, 이기원, 정운수
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
jmsihlov2@kaeri.re.kr

1. 서론

노후된 원자력시설 및 부지를 방치하게 되면 주변환경에 영향을 미친다. 따라서 시설의 수명이 종료됨에 따라 제한적으로 재사용하거나 일반인의 접근이 가능하도록 적절한 제염 및 해체작업을 수행하여 부지를 복원하게 된다. 현재 우리나라의 원자력 시설 중 연구로 1호기(TRIGA Mark-II)와 연구로 2호기(TRIGA Mark-III)가 해체 중에 있으며, 연구로 1호기는 국내 최초의 원자로로서 기념관화 하게 되어있다. 연구로 2호기의 경우 원자로를 포함한 내부 실험시설에 대해 제염 및 해체를 수행하고 있다. 하지만 국내의 경우 원자력 시설의 해체 및 부지복원에 절차에 대한 지침이 필요하나 아직 설정되지 않은 관계로 관련 기술의 개발이 필요한 실정이다. 따라서 원자력 시설을 해체하였거나, 해체중인 국가를 중심으로 평가 기술들을 수집하여 분석해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 EPA, NRC, DOE 및 DOD에서 오염 가능성이 있는 부지에서 방사선 조사를 수행하는데 지침이 되어 사용되는 MARSSIM 방법론과 이를 적용한 Cushing Refinery 부지의 복원에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 본론

2-1. MARSSIM(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, NUREG-157511)

원자력시설의 안전한 해체/복원을 위하여, 부지 개방기준의 여부를 확인하기 위해 조사의 계획, 실시, 평가 등에 대한 상세한 지침을 제공하는 절차가 필요하다. MARSSIM은 오염 가능성이 있는 부지에서 조사를 수행하는 지침으로써, 대상 부지에 대하여 어떠한 근거, 절차, 위치 등의 전반적인 방사능 조사 절차를 결정할 때 과학적으로 확실한 근거를 가지고 있고 다양한 부지 재활용 조건에 적용할 수 있도록 구성되어 있다. 각 조사 단계별로 계획, 실행, 평가 단계로 구분되어 있다. 계획단계는 조사단위를 분류하고 측정방법, 개수, 지점 등을 계획한다. 실행단계는 통계적 측정방법 등에 대한 절차를 제시하고 평가를 수행한다. 마지막으로 평가단계에서는 수행된 조사 자료를 평가 결과에 따라 부지개방기준을 만족하는지를 평가한다.

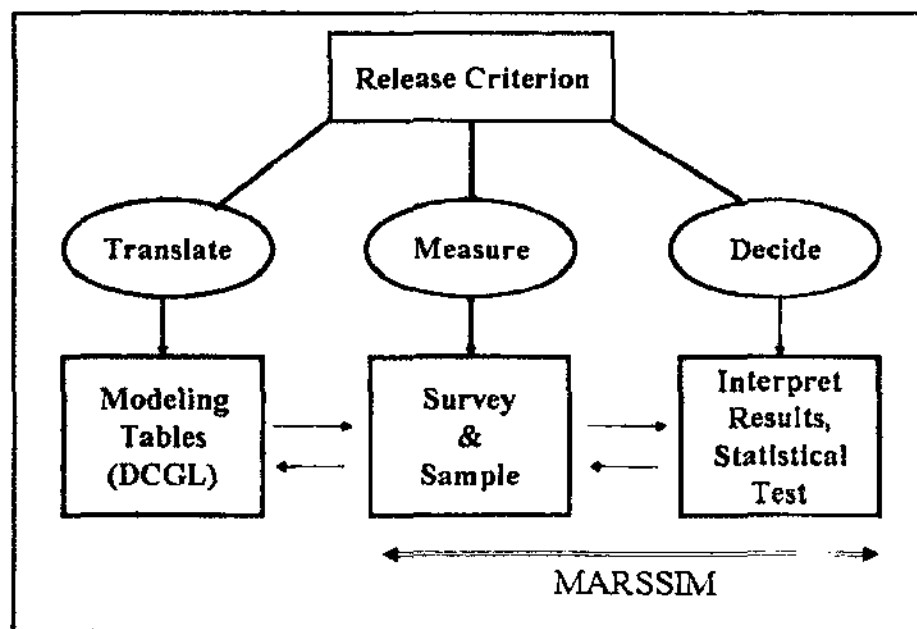


그림 1. 기준설정에서 MARSSIM의 범위

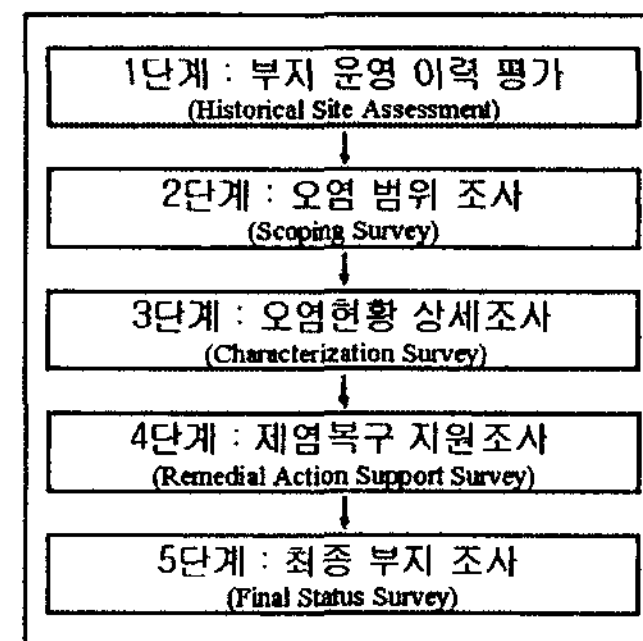


그림 2. 부지조사 절차

2-2. Cushing Refinery 부지복원

1962년부터 1966년까지 토륨공정과 우라늄 농축공정을 수행하던 미국 오클라호마 Cushing Refinery 부지는 1996년 제염과 부지복원을 위하여 조사를 수행하였다. 복원을 위하여 MARSSIM

방법론에 따라 최종현황조사를 설계하게 되는데 조사목적에 관계하여 알고 있거나 예상되어지는 부지의 방사선적 환경, 측정 지점과 수, 샘플링의 지침, DCGL (Derived Concentration Guideline Level ; 허용농도준위)에 따라 필요 되어지는 조건을 결정하는 DQO (Data Quality Objectives) 프로세스를 개발하게 된다. 이러한 최종현황 조사의 목적은 Th-232로 오염되어진 부지의 최종현황 조사에서 MARSSIM 방법론의 실행 가능성을 논증하기 위해서이다. 이러한 평가로 부지를 기준지역(background reference area)과 Class 1, 2로 구분한 뒤 NRC 지침에 의해 수행되어진 적절한 기준을 확인한다. MARSSIM에서 부지 잔류 방사능 측정지점 및 방법을 평가하기 위해서 DCGL을 이용하여 오염지역을 분류한다. DCGL은 자연방사능준위와 구분되는 부지내에 잔류하고 있는 방사능 농도로서 DCGL_w와 DCGL_{EMC}로 구분한다. DCGL_w는 넓은 지역에 방사능이 고르게 분포되어 있는 것으로, 이것을 전체 지역의 평균 방사능 값이며, DCGL_{EMC}는 작은 지역에서 국부적으로 잔류방사능이 높은 지역(Hot Spot)에 적용되는 값이다. 부지이력평가에 따라 부지에 맞는 DCGL이 결정되고 오염지역이 분류가 된다. 또한, 오염물이 자연방사능준위에 존재할 때는 통계학적 방법인 WRS test (Wilcoxon Rank Sum)방법을 사용하여 식 1과 같이 측정지점의 수를 결정하게 된다. 식의 각 인자 값은 MARSSIM에서 제공하며, 구해진 수의 예비율로 약 20%정도 증가된 값의 절반을 측정지점의 수로 각각 사용한다. Cushing Refinery 부지의 경우 WRS test로 구해진 측정지점(각각 64개 지점)의 토양표면을 NaI 섬광계수기를 이용하여 0.5m/s로 이동하면서 방사능이 확인되는 지역에서 샘플링한다(기준지역 : 66개, Class 1 : 69개, Class 2 : 64개).

$$N = \frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2}{3(P_r - 0.5)^2} = \frac{(1.645 + 1.282)^2}{3(0.664 - 0.5)^2} = 106.1 \quad (\text{식. 1})$$

수집된 샘플은 DCGL_w(0.16 pCi/g)과 비교하여 방출기준에 만족하는지 확인한다. 방출기준에 만족하지 않거나 추가적 활동이 요구되어지면 NRC 지침(25mrem/yr)에 의해 적절한 추가적 활동이 이루어진다. 분석된 토양내 Th-232 농도는 아래 표 1과 같이 각각 나타내었다. 그 결과 Class 2로 구분된 지역은 기준지역과 비교하여 만족하는 농도를 보이나 Class 1은 기준지역보다 높은 값을 보임으로 추가적인 활동이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 Hot spot이 나타나는 지점에서는 MARSSIM에서 제시하고 있는 방법인 DCGL_w에 지역인자 값을 곱한 DCGL_{EMC} 방법을 적용한다.

표 1. Cushing Refinery 부지의 조사 자료와 토양 샘플 분석 결과 (단위 : pCi/g)

	조사지역	측정결과 (최소-최대)	평균값	중앙값	표준편차
Class 1	RMA-4 2,300m ²	0.95 ~ 3.26	1.34	1.22	0.4
Class 2	Grid block-46 2,300m ²	0.62 ~ 1.53	1.11	1.14	0.22
기준지역 (background reference area)	Grid block-61	0.89 ~ 1.54	1.29	1.32	0.16

3. 결론

본 연구에서는 연구로 2호기의 부지 복원을 위하여 적합한 조사계획 및 평가를 위하여 국외 사례를 통하여 살펴보았다. 국내의 경우 아직 원자력시설 및 부지의 해체/복원과 관련된 법규 및 규제지침이 미비한 상태이고, 오염지역을 분류하고 부지개방 여부를 평가하는데 적용되는 DCGL 역시 법적 제한치가 마련되어 있지 않은 실정이므로 국내 실정에 적합한 DCGL을 설정하기 위해서 해체 부지의 선량평가 시나리오 선정과 해체 부지에서 개인이 받는 유효선량을 평가하기 위한 방법을 개발하는 것이 필요하다.