

원전 해체시 부지특성 및 최종상태조사를 위한 방사성 오염 핵종 결정법에 대한 분석

박상준¹, 전여령², 김용민², 이종세³, 안석영^{1*}

¹부산대학교 기계공학부, 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길

²대구가톨릭대학교 방사선학과, 경상북도 경산시 하양읍 하양로 13-13

³한양대학교 토목공학과, 서울특별시 성동구 왕십리로 222

*sahn@pusan.ac.kr

1. 서론

노후 원전 해체의 경우 부지 특성 및 최종상태 조사 보고서에 해당 부지내 잔존 가능성이 있는 방사성 핵종에 관한 정보를 포함하여야 한다. 미국 NRC의 경우 해체 기술 관련문서(DTBD)를 부지 특성 조사시에 부지이력조사(HSA)와 같이 사업자 측이 제출하도록 규제하고 있다. 또한 해체 기술 관련문서는 방사선학적 부지 조사와 해체 완료계획서에 포함되어야 하는 내용으로써 부지 규제 해제와 재이용에 관해서 중요한 자료를 제공한다. 본 연구는 부지별 잔존 잠재적 핵종에 대해서 미국 원전의 해체 사례 중 부지 특성 및 최종상태조사 과정에서 결정하는 방법론을 분석하고 2017년 고리 1호기의 영구 운전 정지 후 이루어질 해체 과정에 필수적인 규제 지침과 기술적 근거 수립에 도움이 되고자 한다.

2. 부지특성조사 및 최종상태조사시 핵종 선별에 관한 방법론

2.1 잠재적 핵종의 추가

최종상태조사에서 잔존 가능 방사성 핵종에 대한 결정은 부지별 유도농도기준(DCGLs)을 구하기 위해서 반드시 필요한 절차이며 부지의 피폭 선량 기준 방사선학적 상태를 구하는데 필수 정보이다. 핵종 선별은 시스템적인 접근법을 이용하여 위협적인 잔존 핵종은 찾아내고 무시할 만한 농도의 잔존 핵종은 제외하여야 한다. 잠재적 핵종 추가의 경우, 미국 NRC는 규제지침서를 통해서 원전 해체시 부지 제염 및 복원 후 부지내 잔존 물질에 대한 잠개 가능 핵종 프로파일의 필수적이라고 명기하고 기술적 고려사항과 제한 사항등에 대해서 NUREG/CR-3474 [1], NUREG/CR-4289 [2], NUREG/CR-0130 [3] 등을 참고하도록 하고 있다 [4]. NUREG/CR-3474는 해체시 총 52개 재료들에 존재가능한 장수명 핵종들에 관한 기본정보를 제공한다. NUREG/CR-3474의 Table 5.6, 5.13, 5.15의

내용을 기반으로 잠재적 핵종 초기 목록을 작성 가능하다. 일반적으로 반감기가 2년 이상되는 핵종만 고려하고 있으며 해체가 완료되는 시점이 운영 종료후 최소 5년에서 10년 이상이므로 합리적인 판단이다. NUREG/CR-4289는 1992년 미국내 운영 종료된 원전 4기, 운영중인 원전 3기, 총 7기의 상업용 경수로 원전에 대한 핵종의 농도, 분포 그리고 종류에 대한 데이터베이스를 제공한다. NUREG/CR-4289를 통해서 추가되는 핵종을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Radionuclides Identified in NUREG/CR-4289 [2]

Radionuclide	Half Life (Years)	Radionuclide	Half Life (Years)	Radionuclide	Half Life (Years)
²⁴¹ Am	432	¹⁵⁴ Eu	8.80	²³⁷ Np	2.14 × 10 ⁶
¹⁴ C	5.73 × 10 ³	³ H	12.3	²³⁸ Pu	87.8
²⁴⁴ Cm	18.1	¹²⁹ I	1.57 × 10 ⁷	²³⁹ Pu	2.41 × 10 ⁴
⁶⁰ Co	5.27	⁹⁴ Nb	2.03 × 10 ⁴	²⁴⁰ Pu	6.60 × 10 ³
¹³⁷ Cs	30.2	⁵⁹ Ni	7.50 × 10 ⁴	⁹⁰ Sr	28.6
¹⁵² Eu	13.6	⁶³ Ni	100	⁹⁹ Tc	2.13 × 10 ⁵

또한 NUREG/CR-0130는 PWR 해체에 관한 기술, 안전 그리고 비용에 대한 원형모델을 제시하고 있는데, PWR 운영시 계통내에 발생하는 핵종 조사에 대한 결과를 참고하여 앞에서 누락된 핵종이 있다면 추가한다. 마지막으로 부지이력조사(HSA)에 근거하여 대표핵주기를 기준으로 ORIGEN코드를 실행하여 핵종을 추가 가능하다. 마지막으로 NCRP Report No.58에 근거하여 추가로 ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁶U, ²³⁸U등이 추가로 잠재적 핵종 목록에 추가될 수 있다.

2.2 잠재적 핵종 목록에서 중요하지 않은 핵종을 제외

2.1절에서 작성한 잠재적 핵종 목록은 많은 미량 원소들을 포함하고 있고 그들의 중요성은 전체 핵

종에 대한 방사화 량의 정량적 비교를 통하여 중요하지 않은 핵종들의 제거가 가능하다. NUREG/CR-3474에 근거하여 방사능 분율 0.1%미만 핵종, ORIGEN관련 방사능 분율 0.1% 미만 핵종들에 대해 총선량 기여도가 10%를 넘지 않음을 DandD 코드의 보수적인 주민선량과 종사자 선량 시나리오를 이용하여 증명하여야 한다. 또한 DandD 코드에서 다루지 못하는 핵종의 경우는 호흡 및 섭취피폭 선량 변환계수를 이용하여 가장 광범위하게 존재하고 있는 ^{60}Co 와 ^{63}Ni 에 대해서 선량변환계수가 무시할 수준이라는 것을 증명하여야 한다. 그 외에 비활성 기체로서 해체가 마무리 되는 시점에 표면에 남아 있을 확률이 희박한 ^{39}Ar , ^{81}Kr , ^{85}Kr 의 경우도 제외한다.

2.3 최종 잠재적 핵종 목록 작성

앞 절에서 언급한 외에도 10 CFR Part 61에 근거한 폐기물 특성분석이나 부지특성 조사 샘플에서 검출되는 핵종의 경우는 선량 비율이 0.1% 미만이라도 목록에 추가된다. Fig. 1에 간단하게 이론적 잠재적 핵종리스트 목록을 작성하는 방법을 정리하여 보았다.

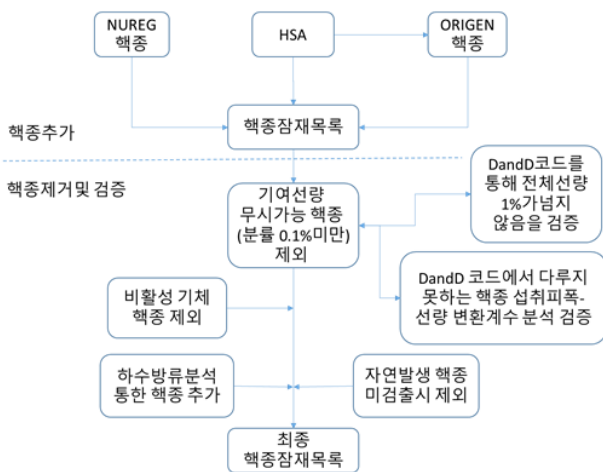


Fig. 1. Schematics of Theoretical Suite of Radionuclide Selection Process.

3. 결론

부지특성 및 최종 상태 조사시 해당 부지내 잔존 가능성이 있는 방사성 핵종 정보를 구하기 위해서 미국 해체 원전의 경우를 분석하여 이론적으로 잠재적 핵종 목록을 도출하는 과정에 대해서 분석해 보았다. 이러한 절차를 통해서 이론적으로 도출된 잠재 핵종들과 부지 특성 조사등에서 수집한 실제

측정치를 보완하여 부지 별 최종 핵종 목록을 도출하고 DCGLs 계산의 기본자료로 사용한다. 국내의 경우는 현재 NUREG 문서와 같은 규제 지침서 및 기술적 배경 자료가 확보되어 있지 않은 상태라서 빠른 시일 내에 국내 실정에 적합한 규제지침서 및 자료를 확보하여야 할 것이다. 잠재적 핵종 목록 작성의 경우, 방법론에 있어서는 국내 해체 원전의 경우도 크게 다르지 않을 것으로 사료되며 국내 실정에 적합한 사전선별 및 부지별 DCGLs모형을 위한 주민선량과 종사자 선량 시나리오에 대한 부분의 연구가 추가로 진행중에 있다. 미국의 경우 거의 모든 허가종료계획서(LTP)자료가 공개되어 있어 국내 해체시 참고하여 시행착오를 줄여나가야 할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국 원자력 안전재단의 원자력안전연구 No.1305009-0214-HD130의 지원과 한국연구재단 원자력 연구개발사업 2012M2B2B10055의 지원으로 수행한 연구과제입니다.

5. 참고문헌

- [1] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Long-Lived Activation Products in Reactor Materials", NUREG/CR-3474 (1984).
- [2] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Residual Radionuclide Contamination Within and Around Commercial Nuclear Power Plants", NUREG/CR-4289 (1986).
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Technology, Safety and Cost of Decommissioning", NUREG-0130 (1978).
- [4] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "Consolidated NMSS Decommissioning Guidance, Characterization, Survey, and Determination of Radiological Criteria", NUREG-1757, Vol.2 (2003).