

참고원전의 방사선량을 활용한 방사능 재고량 평가 방안

전종선^{1*}, 신상화², 이재민²

¹(주)에네시스, 대전광역시 유성구 유성대로 640

²TUV Rheinland Korea, 서울시 구로구 구로동 197-28

*nunkijs@gmail.com

1. 서론

각국의 경우 해체 안전성 확보 및 비용평가를 위하여 해체 물량을 산정하며 이 중 방사선적 오염이 된 기기 및 구조물의 방사능재고량 평가를 수행하고 있다. 다양한 연구가 진행되었으나 주요 기기 일부가 아닌 해체 전반적인 평가의 경우 미국 NRC의 연구 자료가 대표적인 사례이다. 가압경수로의 경우 NUREG/CR-0130, AIF/NESP-036, NUREG/CR-5884 등의 자료가 대표적인 자료이다. 가압경수로의 경우 미국의 Trojan 원전(3500MWt, 1175MWe)을 참조로 해체 연구를 수행하였다. 선행 원자력시설 해체 사례를 분석하였으며 해체 전략별 정의와 함께 특징을 분석하고 원자력시설의 방사능재고량 평가 방안을 분석하였다.

2. 본론

2.1 방사능 재고량 평가

NUREG/CR-0130에서는 방사선원항 분석시 가압경수로의 경우 40년 운영을 전제로 75%의 전출력 운전을 가정, 30 Effective Full Power Year를 기준으로 산정하였다. 방사화분석의 경우 ANISN-ORIGEN 코드의 조합으로 원자로심 및 주변 구조물의 방사화를 분석하였다. 방사화 부식생성물의 경우 배관 표면의 방사선량 등의 원자력 시설의 유지 보수 자료를 근거로 평가하였다. 그 외의 시설, 구조물, 기기에서의 방사선원항 평가와 함께 해체 물량 산정의 기초자료를 제시하고 있으며 방사선량 자료 및 비용평가자료를 제시하고 있다. Table 1은 원자로 구조물의 주요 물량 산정 자료이다.

2.2 방사능재고량 산정을 위한 주요 가정

방사능재고량 산정을 위한 가정은 다음과 같다.

2.2.1 방사화 원자로압력용기 및 구조물

- 초기 10년 이후 Ni-63이 총방사능량의 상당분

을 반영하며, Co-60은 방사선량의 상당분을 초기 70-80년 동안 반영

Table 1. Summary of physical data for containment

Description	Material Quantity	
	Volume(m ³)	Weight(Mg)
Biological Shield Concrete	734	1764
Base Slab Concrete	3078	7396
Base Liner (steel)	193	54
Reactor Cavity Liner (steel)		14.5
Floors and Cavity Liner Plates (steel)		139
CRD Missile Shield Concrete	41	99
CRD Missile Shield Facing (steel)		11
Refueling Cavity Concrete	460	1107
Refueling Cavity Liner (steel)		17
Pressurizer Enclosure Concrete	410	980
Steam Generator Enclosures (4) Concrete	807	1940

2.2.2 방사화 부식생성물

- 원자로 정지후 Co 원소가 방사능량의 약 78%

2.2.3 결함핵연료에서 발생한 핵분열생성물 초우라늄원소

- 이온교환기 설치 구역(6 m²)에 발생, 오염준위는 3.75E-4 μ Ci/m²
- 1차 냉각수 계통의 화학적제염은 EDTA 방식, 제염계수는 10, 사용된 EDTA 총량은 18 Mg

2.2.4 배관 내부의 오염 산정

- 배관 직경, 두께별 표면선량율과 내부침적 오염과의 관계 도출
- Co-60의 기여도에 의해 산정할 수 있음
- 증기발생기의 경우 외부표면선량율 40 R/hr, 40 R/hr 의 경우 내부 오염은 0.23 Ci/m², 총 내부표면적 19,000 m²

2.3 방사능 재고량 평가를 위한 방사선량을 측정

NUREG/CR-0130에서 원자로 운전정지 후 참조 원전을 통해 예상되는 방사선량을 평가하였다. 원전해체 작업자의 방사선 피폭 우려 때문에, 이러한 추정치는 직업적 노출(occupational exposure)을 계산하는 것이 필요하다. 방사선량을 평가는 운전중인 PWR에 대한 실제 현장 측정자료에 근거하지만 추정자료임을 인식해야한다. 경우에 따라서 원전의 운전이력과 사전 오염 제거 프로그램의 범위와 성공에 따라 방사선량을 평가값이 10배 정도 다를 수 있다.

원전선량률 평가를 위한 주요조건은 다음과 같다.

- 핵연료 운송관과 핵연료 재장전 수조에 물을 가득 채움
- 원전은 운전정지 / 핵연료 재장전 상황
- 오염물의 선량률이 최대구역의 1 미터 떨어진 곳에서 선량측정
- 배관 선량률은 장비 주변 선원보다 지배적임

2.3.1 원자로 정지시 선량률 평가

운전정지시 방사선량률과 오염도는 3~6 년간 상업운전을 했던 6개의 PWR (2루프 1 개와 3루프 5 개)로부터 자료를 수집하였다.

2.3.2 내부 오염배관 선량률 평가

방사성 부식생성물 핵종의 영향은 핵종의 무게에 비례하는 것이 아니라, 붕괴시 방출되는 감마선의 에너지와 강도에 비례한다. 따라서, 침적된 CRUD 전체무게 중 소량인 Co가 일반적으로 지배적인 핵종이다.

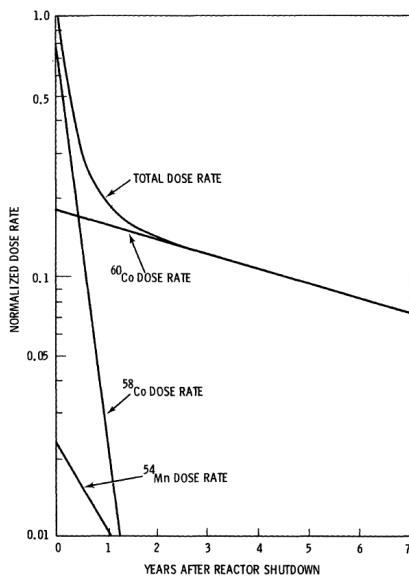


Fig. 1. Radioactive decay of activated corrosion products.

원자로 운전종료시, 방사성 핵종의 각각의 비율은 운전중인 13개의 PWR에서 CRUD의 측정결과를 통하여 구축하였다. 134Cs 및 137Cs의 침적물 데이터에 따르면 배관 계통 내의 핵분열 생성물 침적 표면 선량률의 기여는 60Co보다 약 10,000배 미미한 것으로 보인다. 시간에 따라 방사화된 부식생성물에서 선량률과 원자로 정지 상태의 총선량률의 관계는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 곡선은 원자로 정지 후에 시간에 따른 총선량률과 다른 부식생성물 동위원소 선량률의 상대적인 기여도를 보여준다.

배관내부의 방사선량률은 외부 표면에서 측정된 선량률과 차폐 계산을 사용하여 추정하였다. 대형 배관은 원통형 구조를 보정하기 위해서 실험보정계수를 사용해서 선량률을 평가하였다.

3. 결론

원자로 정지시 선량률 평가는 운전정지시 방사선량률과 오염도를 참고하였고 방사화 분석 결과 주요 원자로 구조물의 방사능량은 1.78×10^{17} Bq로 평가하였고 이를 영구정지후 냉각 기간에 따라 방사능 감쇄 경향을 확인하였다. 방사화 부식생성물의 경우 원자력 시설의 유지 보수 자료를 근거로 평가하였으며 원자로 압력용기의 경우 총방사능량을 약 130 Ci, 증기발생기의 경우 약 4400 Ci, 가압기의 경우 약 4 Ci, RCS를 제외한 배관의 경우 약 60 Ci, RCS 배관의 경우 약 160 Ci로 평가하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 2013년도 원자력안전 연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다. (원자력 안전 연구센터사업 / 원전해체안전성 및 지속성 확인을 위한 요소기술개발)

5. 참고문헌

[1] R. I. Smith G. J. Konzek W. E. Kennedy, Jr., "Technology, Safety, and Costs of Decommissioning a Reference PWR", NUREG/CR-0130 Vol. 2.
 [2] G. J. Konzek, R. I. Smith, M. C. Bierschbach, P. N. McDuffie, "Revised Analyses of Decommissioning for the Reference PWR", NUREG/CR-5884 Vol. 2.