

중소형원자로 규제 이행성 평가에 따른 선원항 평가 코드 및 주민선량 평가코드 분석

신상화, 이수홍*, 이재민*, 한병섭*, 송민철**, 황주호

경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동

*(주)에네시스, 대전광역시 유성구 구암동 328

**한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34

sshwa73@naver.com

1. 서론

국내의 경우 현재까지 대용량 상업용원자로 중심으로 건설, 운영되었고 관련 규제 역시 이를 고려하여 제정되었다. 특히 발생되는 방사성폐기물과 관련된 규제 요건들도 기존의 대용량 원자로를 중심으로 제정되어 있다. 그러나 중소형원자로의 경우 현재 운전 중인 발전용 원자로와는 그 구조 및 안전성 확보 정도가 다르게 설계되어 있으므로 현재의 대용량 원자로 기준의 규제 요건과의 부합성을 검토할 필요가 있다. 특히 중소형원자로의 경우 계통 설계부터 핵연료 주기까지 대용량 원자로와는 성격이 다름으로 발생 폐기물 또는 해당 원자로의 특성에 맞게 고려하여 규제되어야 한다. 이를 위하여 규제요건에 따른 중소형 원자로 발생 폐기물의 평가 방법론을 로심 설계 및 운전 특성, 핵연료 주기 등의 다양한 조건을 적용하여 수립하고 그 방법론 등에 대한 검증이 필요하다.

2. 선원항 평가 코드

2.1 CORA 모형

CORA 모형은 냉각수가 1차계통을 순환할 때 방사능 이동량을 계산하는데 있어서는 용해성물질(Solubles)과 입자(Particles)들의 영향을 고려하며 기본 원리와 주요 인자들이 다소 복잡하다. CORA 모형은 다음과 같은 사항을 평가하는데 사용될 수 있다.

- 냉각수에서 일정량의 Lithium과 제조정된 Lithium-Boron 으로 운전할 때의 효과
- 합금에서 Cobalt량의 변화
- 정화 시스템 인자들의 변화
- 열수력학적 인자들의 변화

CORA모형의 응용 범위와 결과들을 살펴보면, CORA모형은 PWR의 1차 냉각수 시스템에 대한

기술이 매우 자세히 서술된 모형이며 부식 침전물 수송을 예상하는데 유용하다. 하지만 모형을 적용하는데 필요한 주요 인자들이 많아서 이들을 구하는 것이 어려운 과제로 남아 있다.

2.2 CRUDSIM 모형

수화학적 인자를 계산하기 위해서 CRUDSIM 모형은 1차 냉각수에 관한 자료(Lithium, Boric acid, H₂, 온도, 출력)를 이용한다. 이 모형은 발전소 피폭선량에 대한 여러 가지 화학운전의 영향 평가를 하는데 이용될 수 있다. CRUDSIM 모형은 입자에 대해서 고려하지 않으므로 입자들에 의한 크러드양과 방사선의 양은 예측할 수 없지만 CORA 모형에 비하여 이론적인 접근방식과 모델링이 간단하다는 특징이 있다.

3. 주민선량 평가 코드

3.1. REARAD-Offsite

RESRAD는 미국 내 우리나라 채광지역의 오염에 따른 환경 복원기준을 도출하기 위하여 미국 DOE(Department of Energy)의 주관으로 Argonne National Laboratory에서 개발되었다. GEN-2, DECOM, D&D 등 다른 코드와의 벤치마킹을 통해 그 성능이 검증되었다. 또한 VAMP나 BIOMOV2 프로젝트에 오염부지의 계엄관련 법규 제정에 사용되면서 RESRAD는 그 신뢰성을 입증하였다. 초기에는 선량평가를 통한 환경복원 기준을 제시하였으나, 최근에는 상업용 원전의 해체 후 규제 해제 농도기준(DCGL)을 제시하고 있다.

RESRAD-Offsite는 REARAD에서 오염부지와 주거지역을 구분하지 못하는 단점을 보완하여 개발된 코드이다. RESRAD-Offsite의 입력 값은 수리전도도, 토양의 b-parameter 등 수문인자와 분배계수, 용해도 등의 지화학적 인자, 기상학적 인

자, 소비 인자 등이 있다. 환경이동계수 (Environmental Transport Factor), DSR_i(핵종 i의 선량과 선원항의 비율)등을 이용해 피폭선량 기준치를 만족하는 핵종의 방사능 기준을 산출할 수 있다.

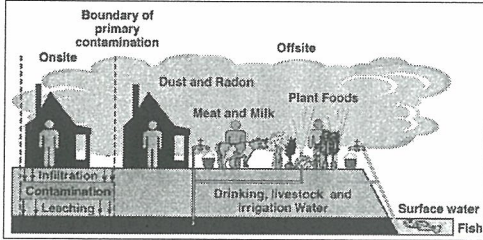


Fig. 1. Locations of Primary and Secondary Contamination in RESRAD-OFFSITE

3.2 MACCS2

MACCS 전산코드는 사고 시 원전으로부터 유출되는 방사성핵종에 의한 영향을 평가하기 위하여 개발되었으므로 고려하는 방사성핵종의 수가 제한적이었다. 이를 보완하고 원전뿐만 아니라 비원전 시설물에 대한 잠재적인 리스크평가에 적용하기 위하여 대폭적인 개정이 이루어져 MACCS II 전산코드가 개발되었고, 수계산을 통해 독립적인 검증작업이 완료된 전산코드이다.

MACCS II 전산코드로 고려할 수 있는 현상은 다음과 같다.

- 대기이동
- 선량예측에 의한 완화수단
- 음식과 물의 섭취경로에 따른 선량측정
- 급성 및 지발성 건강영향
- 경제적 비용

MACCS II 전산코드의 수행을 위해서는 다음과 같은 입력 자료를 필요로 한다.

- 핵종들의 사고시의 초기량
- 사고에 의해 생성되는 방사선원항 관련 자료로서, 방사능운 수, 방출 방사능운의 열 함량, 시간, 간격 및 고도, 비상대응 시까지의 시간, 각 방사능운 단편 내에 존재하는 각 핵종그룹의 분율
- 시간별 풍속, 대기 안정도, 부근 기상대 측정 강수량과 같은 부지기상 특성자료.
- 주변의 인구밀도에 관한 자료로 분포자료는 약 80 km (50 mile) 까지의 반경에 대해 16 개의 각 방향 구역에 대한 인구조사를 기본

으로 작성됨.

- 비상대응에 대한 가정들에 대한 자료, 토지이용에 관한 자료, 작물, 토지, 건물의 가격 등과 같은 경제력에 관한 자료

이러한 입력 자료를 바탕으로 MACCS II 전산코드에서 계산되는 항목들은 다음과 같다.

- 풍하 이동거리, 사고에 의해 대기에 방출된 핵종들의 확산 및 침적
- 직접(방사성운 피폭, 방사능운 흡입, 지표피폭, 재부유 흡입) 또는 간접경로(섭취)에 따른 단기 및 장기피폭
- 방어행동에 의한 피폭저감

4. 결론

본 연구에서는 중소형원자로 방사성폐기물 특성에 따른 규제 이행성 평가를 위하여 선원항평가 프로그램과 주민선량평가 프로그램을 분석하였다. CORA 모형은 이론적인 정확성과 세부성을 가지고 있지만 계산 결과값이 CRUDSIM 모형과 크게 다르지 않고, CRUDSIM 모형은 이론적인 접근 방식과 모델링이 다소 간단하다는 장점을 가지고 있다. RESRAD-OFFSITE와 MACCS 2 코드는 본 연구에서 최종적으로 평가하고자 하는 주민선량평가를 위해 적합한 프로그램인 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

[1] C.B. Lee, "Modeling of Corrosion Product Transport in PWR Primary Coolant," Ph.D. Thesis, Department of Nuclear Eng. MIT, 1990.

[2] User's Manual for RESRAD-OFFSITE Version 2, Argonne National Lab., ANL/EVS/TM/07-1, 2007.

[3] Code Manual for MACCS2, NUREG/CR-6613, 1998.