

## 사용후핵연료 건식중간저장시설 안전성 평가 체계 구축 개발

육대식, 박동극, 이상민, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

dsvook@kins.re.kr

### 1. 서론

사용후핵연료 중간저장 시설의 안전성 평가를 위해서는 부지, 계통, 구조물, 기기, 선원항, 열적 안전성, 차폐, 핵임계, 격납기능, 운반리스크, 사고 해석 등의 다양한 항목에 대한 안전성 평가 및 검증이 이루어져야 한다[1]. 또한, 각각의 안전성 평가 항목은 서로 다른 안전성 평가 항목의 입력 인자로 활용되면서 상호 연계된 특성을 나타낸다. 본 연구에서는 사용후핵연료 중간저장시설의 안전성 평가 항목 중 미국 ORNL에서 개발한 SCALE 코드를 기반으로 평가할 수 있는 3개 안전성 평가 항목(선원항평가, 핵임계, 방사선 차폐) 및 열적 안전성 평가 항목에 대한 상호 연계 및 평가 절차를 제시하여 안전성 평가 지침 개발에 활용하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 선원항평가 검증

SCALE 코드에 포함되어있는 ORIGEN-ARP [2]는 기본적으로 핵연료 1다발에 대한 선원항 및 열발생 등을 평가 할 수 있으며, 여러 입력 파일을 동시에 평가할 수 있는 배치 모드도 지원하고 있다. 이러한 특징을 고려하여 원자력안전기술원에서는 사용후핵연료의 기본 입력 자료를 활용하여 자동으로 ORIGEN-ARP 입력 파일 및 배치 파일을 생성할 수 있는 전산코드를 개발하였다. 개발된 전산 코드는 생성된 입력 파일 및 배치 파일을 그림 1에서와 같이 SCALE driver를 활용하여 각 개개의 다중 출력 파일을 생성하고 그 중에서 필요한 결과 정보를 포함한 요약 파일까지 생성하는 기능을 포함하고 있다[3]. 이러한 ORIGEN 코드를 기본으로 한 평가 결과를 통해 산출된 핵종별 방사능량은 연소도 이득을 고려하는 경우의 핵임계 검증, 에너지원별 중성자 및 감마선 선원은 방사선 차폐 검증, 그리고 붕괴열평가 결과는 열해석평가 검증의 입력자료로 활용한다.[4]

#### 2.2 핵임계 평가 검증

핵임계 평가 검증시에는 연소도 이득을 고려하는 경우와 연소도 이득을 고려하지 않는 경우로 나눌 수 있다. 연소도 이득을 고려하지 않는 경우에는 중간 저장시설에 저장되는 사용후핵연료는 신연료로 가정하고 관련 저장시설 형상 제원 자료(핵연료봉, 집합체, 캐스크 및 overpack 등)를 기초로 하여 평가한다. 평가 시 사용할 수 있는 전산 코드는 SCALE 전산 코드 체계에 포함되어 있는 KENO VI 혹은 이와 유사하거나 그 이상의 신뢰성이 확보된 전산코드를 활용할 수 있으며, 어떠한 경우에도 산출된 유효중배계수가 미임계를 유지하여야 한다[4]. 연소도 이득을 고려하는 경우에는 선원항평가 코드를 활용하거나 실험 등을 통해 평가된 사용후핵연료 내의 핵종별 방사능량 값을 입력자료로 하여 동일한 절차에 따라 유효중배계수의 평가 결과 값을 확인하여야 한다.

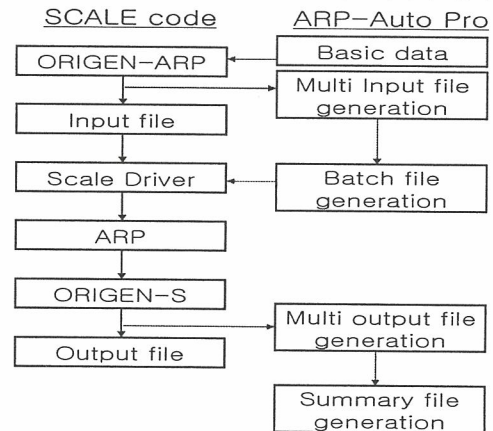


Fig. 1. The procedure of ARP Auto program using ORIGEN-ARP[3].

#### 2.3 방사선차폐검증

방사선차폐검증은 기본 설계 변수 자료와 ORIGIN-ARP 혹은 ARP-Auto 다중계산 코드를 통해 산출된 중성자 및 감마선 방출핵종의 에너지원별 선원값을 입력자료로 하여 평가하게 된다. 단일 건식저장 캐스크 차폐설계에 대하여 캐스크 주변, 급배기구에서

의 선량분포를 평가하고 이를 바탕으로 다수 캐스크 차폐해석을 실시한다. 이러한 절차에 따라 전체 저장시설 차폐설계 검증을 통해 부지경계 선량을 평가 결과가 관련 기술기준[5]을 만족하는 지 확인한다[4].

2.4 열해석 안전성 평가 검증

열해석 안전성 평가를 위해서는 IAEA의 권고에 따라 Steady state와 Transient 3-D finite 또는 volume element code를 사용하여 분석하여야 한다. 이에 따라 이러한 목적에 맞는 ANSYS, ABAQUS, HEATING, IDEAS, COBRA-SFS, FLUENT와 같은 CFD(Computational Fluid Dynamics) 코드를 사용하여 열해석이 이루어져야 한다. 사용후핵연료의 특성(초기농축도, 연소도, 냉각기간 등)을 고려하여 ORIGAN-ARP 혹은 ARP-Auto 다중계산 코드를 이용하여 계산된 붕괴열과 저장용기의 특성 자료를 활용하여 열해석 코드의 입력자료를 작성하여 계산한다. 그 결과가 콘크리트 저장용기 및 캐니스터의 안전기능과 구조강도를 유지하기 위한 온도 제한조건, 저장건물 구성재료의 건전성 유지를 위한 온도제한 조건을 만족하는지 여부를 확인한다[4].

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 안전성 평가 항목 중에서 주요한 4개 항목(선원항, 핵임계, 방사선차폐 및 열해석)에 대한 안전성 평가 체계 및 절차를 제시하여 각 안전성 평가 항목의 상호 연관 관

계를 그림 2에서와 같이 제시하였다. 이러한 단계별 안전성 평가 절차는 보다 세부적인 각 평가 항목별 안전성 평가 지침 개발에 활용할 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

5. 참고문헌

- [1] U.S.NRC, 'Standard Review Plan for spent fuel dry storage facilities', NUREG-1567, 2000.
- [2] ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing for Spent fuel Depletion, Decay, and Source term analysis, ORNL/TM-2005/39.
- [3] 육대식, 이윤근, 이상철, "중수로 사용후핵연료 총방사능량 평가를 위한 다중계산코드 개발 및 예비평가", 한국방사성폐기물학회, 2011 추계학술발표회 논문요약집 pp 39~40.
- [4] 한국원자력안전기술원, "사용후핵연료 중간저장시설 예비안전성 표준확인체계 2차년도보고서", SFPS-TN-2010-07,08,09, 2011.
- [5] 교육과학기술부, "방사선방호등에 관한 기술기준 고시", 제2009-37호. 2009.

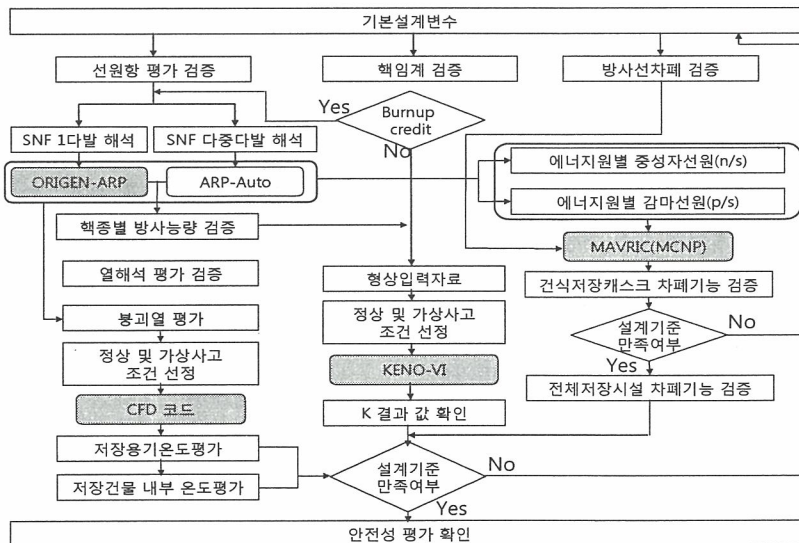


Fig. 2. Safety Evaluation procedure for dry interim spent fuel storage.