

## 중수로 사용후핵연료 총방사능량 평가를 위한 다중계산코드 개발 및 예비평가

육대식, 이상철\*, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

\*한국과학기술원, 대전광역시 유성구 구성동 373-1

[dsyook@kins.re.kr](mailto:dsyook@kins.re.kr)

### 1. 서론

현재 국내 원전에서는 호기간 사용후핵연료 이송, 연구목적의 원자력연구원으로서의 사용후핵연료 운반 및 월성 부지에서의 조밀건식저장시설로의 중수로 사용후핵연료 운반 작업 등이 이루어지고 있다. 이러한 운반 작업시는 관련 기술기준에 의해 운반내용물의 최대 방사능량을 사전에 평가하여 운반서류에 기술하도록 되어 있다. 경수로와 달리 중수로 사용후핵연료는 1회에 평균 60다발에서 최대 120다발까지 운반을 하기 때문에 최대방사능량 평가를 위해서는 120다발 모두의 방사능량 평가가 필요하며, 이를 위해서 ORIGEN-ARP 전산코드를 활용한 사용후핵연료 방사능량 다중 계산을 수행할 수 있는 전산 코드를 개발하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 ARP 다중계산 코드 개발

SCALE 코드에서 포함되어있는 ORIGEN-ARP [1]는 기본적으로 핵연료 1다발에 대한 선원항 및 열발생률 등을 평가 할 수 있으며, 여러 입력 파일을 동시에 평가할 수 있는 배치 모드도 지원을 하고 있다. 이러한 특징을 고려하여 본 연구에서는 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 요약파일까지 생성하는 기능을 포함하고 있다. 이러한 기능은 C프로그램의 오토매크로 함수 기능을 활용하였다.

#### 2.2 계산 검증을 위한 표준 사용후핵연료 선정

개발된 코드는 사용후핵연료 운반 및 저장 평가를 위한 선원항 평가, 방사능량 평가 및 열발생률 평가 등에 사용 될 수 있다. 본 연구에서는 개발

된 코드의 검증을 위하여 월성 조밀건식저장시설로의 사용후핵연료 운반에 활용되고 있는 HI-STAR 63의 방사능량 평가 자료를 이용하여 평가하였다. HI-STAR 63 안전성분석보고서 [2]에서는 대상 핵연료를 평균연소도 7,800MWD/MTU, 초기 농축도 0.711 w/o, 냉각기간 6년 이상인 핵연료로 선정하고 있다. 본 연구에서는 이러한 조건을 근간으로 계산 결과의 신뢰성 및 선형성 확인을 위하여 동일 조건에서 평균연소도 7,800MWD/MTU의 핵종별 방사능량 비교 평가 및 연소도 분포를 3,100 ~ 13,100 MWD/MTU로 가정하여 120다발에 대한 ARP 다중 계산을 수행하였다.

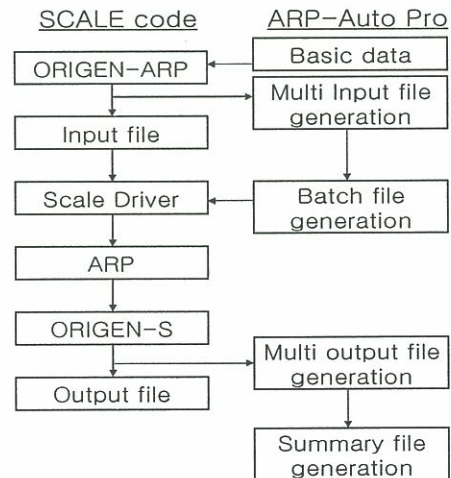


Fig. 1. The procedure of ARP Auto program using ORIGEN-ARP

#### 2.3 평가결과

ARP 다중계산 코드의 신뢰성을 확인하기 위하여 7,800 MWD/MTU의 주요핵종별 방사능량 계산 결과를 HI-STAR 63 방사능량 평가 결과와 비교하여 그 결과를 표 1에 나타내었다. HI-STAR 63 안전성분석 보고서에서는 SCALE 4.4 코드 package 내의 선원항 평가 코드인 ORIGEN-S 와 SAS2H 모듈을

통해 계산이 수행된 것이며, 본 연구에서 사용된 전산 코드는 SCALE 5.1 코드내의 ORIGEN-ARP를 활용하여 계산된 것이다. 그러나 계산 모듈 자체는 동일한 것이기 때문에 결과에서 나타난 상대오차는 ARP 코드 내의 반응단면적 라이브러리의 개선에 따른 오차인 것으로 추측된다.

Table 1. The comparison of radioactivities between HI-STAR 63 SAR and ARP-auto program (unit : Bq)

nuclide	HI-STAR 63 SAR	ARP-auto	relative error
sr89	3.493E+01	3.477E+01	0.454%
sr90	1.092E+13	1.094E+13	0.229%
y90	1.092E+13	1.094E+13	0.229%
ru103	1.162E-02	1.168E-02	0.531%
ru106	2.431E+12	2.483E+12	2.098%
cs134	1.332E+12	1.295E+12	2.857%
cs137	1.606E+13	1.622E+13	0.999%
ce144	1.702E+12	1.713E+12	0.642%
pm147	1.058E+13	1.041E+13	1.652%
pu238	5.772E+10	5.832E+10	1.029%
pu239	1.154E+11	1.136E+11	1.620%
pu240	1.721E+11	1.682E+11	2.289%
pu241	1.203E+13	1.408E+13	14.59%
cm242	2.823E+08	3.452E+08	18.21%
cm244	9.990E+09	1.021E+10	2.155%

ARP 다중계산 코드를 활용하여 중수로 사용후 핵연료 120다발의 전체 방사능량을 평가한 계산 결과는 그림 2와 같다. 평균 연소도는 7,555 MWD/MTU로 계산되었으며 각각의 연소도에 따른 방사능량은 연소도의 변화에 따라 선형적으로 평가되어 산출되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 120다발 핵연료의 총방사능량은 1.04E16 Bq으로써 사용후핵연료 운반 작업시 관련 기술기준에 의해 운반내용물의 최대 방사능량 평가에 금번 연구에서 개발한 코드의 적용이 가능함을 확인하였다.

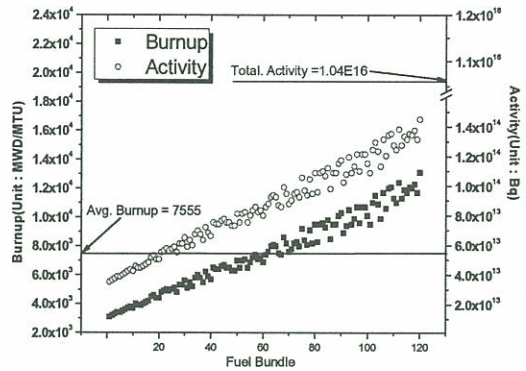


Fig. 2. Correlation between burnup and activity of CANDU SNF bundles

### 3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 선원항 평가 등에 널리 사용되고 있는 ORIGEN-ARP를 이용하여 대량의 사용후핵연료 방사능량을 평가할 수 있는 ARP 다중계산 전산코드를 개발하였다. 이를 통해서 각각의 핵연료 다발의 핵종별 방사능량 및 대량의 사용후핵연료 다발 총 방사능량 계산이 가능함을 확인하였다. 개발된 ARP 다중계산코드는 사용후핵연료 운반 및 사용후핵연료 중간 저장시설 선원항 평가등의 연구에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부 재원으로 한국 에너지 기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 5. 참고문헌

- [1] ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing for Spent fuel Depletion, Decay, and Source term analysis, ORNL/TM-2005/39.
- [2] Safety analysis report on the HI-STAR 63 package, Holtec International, page 4.2-13.