

경수로/중수로 원전에 적용가능한 방사선원항 예측 평가 연구

조훈조, 이상헌, 김선일, 송종순*

조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309

*gnsdud66@naver.com

1. 서론

본 연구에서는 국내 경수로/중수로 원전에 적용 가능한 평가코드 분석 및 1차계통 내 부식생성물 예측을 목표로 하였다. 경수로 원전의 평가를 위해 대표코드 중 CRUDTRAN을 선정하여 방사성 부식 생성물의 거동을 평가하였다. 고리 1호기를 모델링 하였으며 계산 결과 값과 실제원전에서의 실측값을 비교하여 향후, 원전 해체 시 선원항 예측 연구에 도움이 되고자 한다. 또한, 중수로 원전의 선원항 평가코드 조사를 수행 중에 있으며, 향후 중수로 원전에 적용 가능한 최적의 코드를 선정하여 선원항 평가를 수행 할 예정이다.

2. 본론

2.1 부식생성물 거동 메커니즘(경수로)

경수로 1차계통 내 부식생성물의 생성 및 계통 내외로의 이동 메커니즘은 Fig. 1과 같다. 계통 내에서 안정한 원소 형태의 부식생성물은 계통내의 부품이나 파이프 표면으로부터 응축수 또는 급수로 방출되면서 원자로 냉각재계통으로 유입된다. 이에 따른 금속이온들은 1차계통 내 부식된 표면으로부터 냉각재로 방출되어 입자성 물질을 형성한다. 이때, 형성된 입자성 물질과 수용성 물질들은 다양한 메커니즘으로 인하여 노심표면에 침전하게 되는데 노심표면의 침전물은 높은 열과 중성자에 의해 방사화된다. 방사화된 물질들은 수압에 의한 침식과 박리에 의해 노심표면 침전물로부터 냉각수로 방출되어 1차 냉각계통 내 전 영역으로 확산된다.

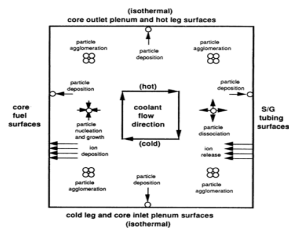


Fig. 1. Movement of corrosion products in a PWR primary circuit.

2.2 부식생성물 거동 메커니즘(중수로)

중수로 1차계통 내 부식생성물의 생성 및 계통 내외의 이동 메커니즘은 Fig. 2와 같다. 탄소강으로 된 피더관 출구에서 유체가속부식으로 인하여 용해된 철이 1차계통 내 냉각수로 방출되고 이 용해된 철의 대부분은 S/G tube의 저온관, 피더관 입구, 핵연료장전관 입구에서 부식생성물 형태로 침전한다. 침전된 부식생성물은 노심을 지나면서 노심표면에 침전되고 이 후 높은 열과 중성자에 의해 방사화가 되며 경수로와 동일한 방법으로 냉각수로 방출된다. 방사화된 물질들은 1차계통 전 영역으로 확산된다.

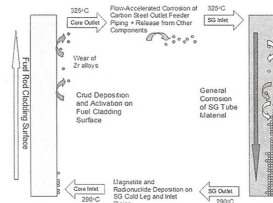


Fig. 2. Processes involved in PHWR corrosion products transport.

2.3 부식생성물 모델 비교 분석

2.3.1 경수로

Table. 1은 경수로를 평가하는데 우수한 Code들의 특징들을 비교해 놓은 표이다.

Table 1. Feature comparison of code

	CORA	PACTOLE	CREAT	ACE II	DISER	CRUDTRAN
Node 수	10	20	3	2	15	3
개발 기구	westinghouse	EDF,FRAMA TOME	KOPEC	MITSUBISHI HI	Nuclear Research Institute Rez Plz	MIT
고려 핵종	Cr-51					
	Mn-54	Co-58			Co-58	
	Fe-55	Co-60	Co-58	Co-58	Co-60	Co-58
	Fe-59	Mn-54	Co-59	Co-60	Mn-54	Co-60
	Co-58	Cr-51	Co-60		Cr-51	
	Co-60	Fe-59			Fe-59	
Zr-95						
적용예	국내외 다수	프랑스형 PWR형	APR-1400	일본형 PWR	WWER, PWR	국내외 다수

2.3.2 중수로

2.3.2.1 RADTRAN 98

RADTRAN 98 코드는 인도 PHWR의 1차계통 내의 부식생성물 및 방사화물질 거동을 예측하기 위해 헝가리의 VEIKI에서 개발된 코드로서 주요 방사능 핵종으로는 Cr-51, Mn-54, Co-58, Co-60, Fe-59의 거동을 예측한다.

2.3.2.2 ANUCRUD

ANUCRUD 코드는 인도 PHWR의 PHT 계통에서의 부식생성물 및 방사화물질 거동을 예측하기 위해 BARC에서 개발되었으며, 주요 방사능 핵종으로는 Mn-54, Fe-59, Co-58, Co-60의 거동을 예측한다.

2.4 국내 원전의 적용 (경수로)

2.4.1 CRUDTRAN 코드 선정 배경

용해성 및 입자성 부식생성물의 거동을 예측하기 위해 개발된 코드로서 노드는 Core, Coolant, S/G에 대하여 평가된다. 고려되는 주요 방사능 핵종은 Co-58, Co-60이다. CRUDTRAN 코드는 다른 선원항 평가 코드들에 비해 정확한 결과를 보여주는 장점이 있으며, 부식생성물 거동 시 냉각재 화학변화에 따른 영향을 고려하기 때문에 이 코드를 선정하였다.

2.4.2 고리 1호기에 적용

Co의 실제원전 측정 자료를 제공받아 데이터를 확보하여 그 중 Core, S/G 내의 Crud 및 Core, S/G, Coolant 내의 Co-58, Co-60의 변화를 평가하였다. CRUDTRAN 코드에 적용되는 인자들을 확보하기 위하여 원전 측정 자료 이외에도 고리 1호기 FSAR과 해외 논문들을 벤치마킹하여 추가로 확보하였다. 확보하지 못한 인자들은 고리 1호기와 유사한 타입의 PWR 형태인 CRUAS 원전의 수치를 보정하여 사용하였다.

2.4.3 결과

CRUDTRAN 코드를 이용하여 모델링 결과 Core, S/G, 내 Crud, Core, S/G, Coolant 내의 Co-58, Co-60은 미비한 차이는 있지만 대체적으로 시간에 따른 데이터의 값의 추이는 점점 증가함을 보인다. Co-58에 대한 측정값과 실측값을 비교한 그래프는 Fig. 4와 같다. 이는 CRUDTRAN을 활용한 평가결과와 실측값이 매우 유사함을 보였다.

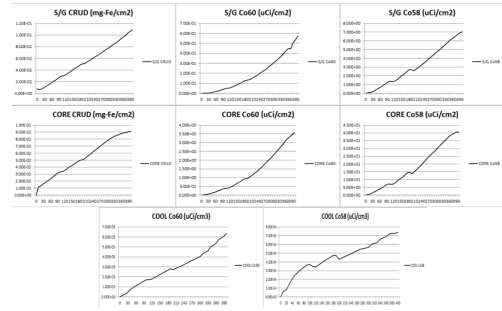


Fig. 3. The variation of the operating cycle 23.

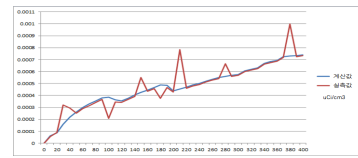


Fig. 4. Compare of measured and calculated values of Kori#1.

3. 결론

본 연구에서는 경수로 및 중수로에서의 부식생성물의 거동 메커니즘에 대해서 분석하였고, CRUDTRAN을 이용하여 경수로 선원항 평가를 실행하였다. 향후 제염 및 해체 시 사전 연구로서의 충분한 가치가 입증되며, 이는 해체 시 방사성 폐기물량 및 비용 산정에 기여할 것으로 판단된다. 향후 중수로 선원항 평가연구를 진행할 계획이나 중수로에 관한 자료들이 현재 미비한 실정이다. 추후, 추가 연구를 통하여 적합한 모델을 선정하고 국내 중수로 원전 선원항 평가연구에 기여하고자 한다.

4. 참고문헌

- [1] IAEA-TECDOC-1672. "Modeling of Transport of Radioactive Substances in the Primary Circuit of Water-Cooled Reactors", IAEA VIENNA, 2012.
- [2] Burrill. K. A. "An activity transport model for CANDU based on iron transport in the primary coolant", AECL-11805, 1998.
- [3] Lee CB, "Modeling of corrosion product transport in PWR primary coolant", [Ph.D. thesis], Nuclear Engineering Department, MIT, 1990.