

A Review on the International Research Status on Seismic Analysis Program of Fuel Assembly

Hyun-Suk Nam^{a*}, Tae-Soon Kim^a, Jong-Seong Moon^b and Jeong-Kyu Kim^b

KHNP – CRI
 KEPCO E&C -SD

1. 서론

- 동일본 대지진 이후, 원전 내진 성능에 대한 관심이 증대되고 있음
- 특히, 원자력 발전소 핵심기기 중 하나인 핵연료집합체의 내진평가와 관련된 연구도 활발히 진행되고 있음
- 주요 원전 수출국의 경우 핵연료집합체 내진해석에 사용되는 자체 프로그램을 보유하고 있으나, 국내의 경우 Westinghouse가 보유하고 있는 CESHOCK 프로그램을 통해 OPR1000, ARP1400 노형에 대한 핵연료집합체 내진설계를 수행하고 있음
- CESHOCK의 경우 1980년대 CE에서 개발한 프로그램이며, 추후 원전 수출 시 저작권 문제로 제약사항이 발생할 수 있어 고유화된 코드 개발이 필요한 상황임
- 신규 코드를 개발하기 위해서는 기존 코드에 대한 분석이 필수적이며, 이에 따라 본 연구에서는 주요 원전 수출국의 내진해석 프로그램에 대한 분석 연구를 수행하였음

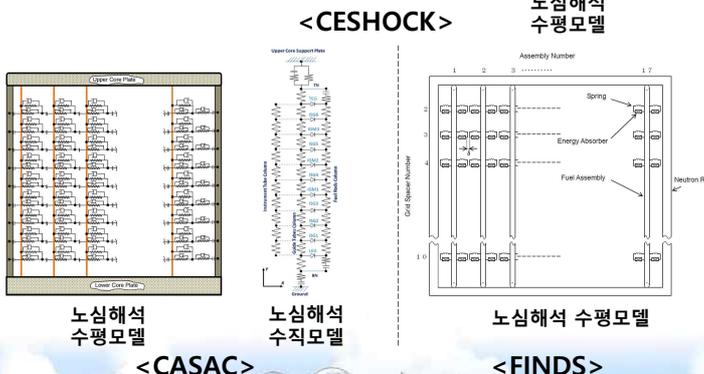
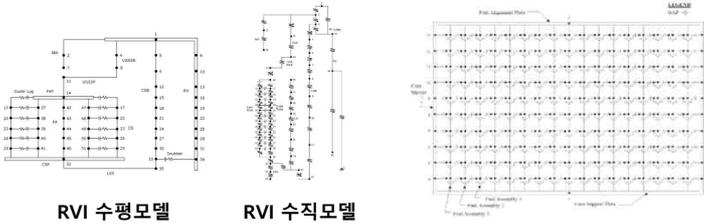
2. 내진해석 코드간 비교

- 주요 핵연료집합체 내진해석 코드
 - 원전 주요 수출국의 경우 대부분 자체 보유 내진해석 코드를 보유하고 있으며, CESHOCK, CASAC, FINDS 3개 코드간의 공통점과 차이점을 분석 하였음

코드명	CESHOCK	CASAC	FINDS
적용 노형	OPR1000/ APR1400	US-EPR	US-APWR
개발사/국가	WEC(CE)/미국	AREVA/프랑스	Mitsubishi/일본

핵연료집합체 내진해석 모델간 비교

- 핵연료집합체 내진해석 코드는 복잡한 형상과, 다수의 컨택해석 문제로 인하여 2-D Beam 요소로 구성되어 있음
- CESHOCK, CASAC, FINDS 코드 모두 원자로 내부를 수평모델과 수직모델로 구성하였으며, 지지격자간의 충돌을 Spring 요소로 모사하였음



핵연료집합체 내진해석용 입력용 특성실험간 비교

- 핵연료집합체 내진해석 입력 자료로는 지지격자와 집합체 실험이 사용된다라는 공통점을 가지고 있음
- 집합체 시험의 경우, 진동/감쇠 특성을 확보하기 위한 시험이 주를 이루며, 각 코드에 따라 집합체 강성을 확보하기 위한 실험의 차이점이 존재함
- 지지격자 시험의 경우 지지격자의 강성, 충격강도를 확보하기 위한 시험이 주를 이루며, 상세한 실험 항목에는 코드간 차이가 존재함

	CESHOCK	CASAC	FINDS
핵연료 집합체	수평 및 축 방향 강성 시험	수평 및 축 방향 강성 시험	-
	-	상, 하단 노즐 축 방향 강성 시험	-
	수평 진동시험 (Plunck 및 강제 진동)	자유 및 강제 진동 시험	수평 진동 시험
	수평 충격 시험	수평 충격 시험 축 방향 낙하 시험	수평 충격 시험
지지격자	유동 감쇠 시험	유동 감쇠 시험	복수연료집합체의 지진 가진 시험
	정적 압축 시험	동적 좌굴 시험	충격 및 변형 시험
	One-sided 낙하시험 Thru-Grid Long plus시험	미끄럼 하중 시험	단일 스펠 핵연료집합체 충격시험

상세 해석방법에 따른 코드간 비교

- 3개 코드 모두 수평/수직 방향 모델로 구성되었으며, 해석모델 충격모델링과 하중 입력 방법에서는 유사점을 가지고 있음
- 그러나, 상세한 해석방법 및 동수력학적 부가질량 반영 방법, 충돌 모사 방법에는 코드간 차이점이 존재 하였음.

	CESHOCK	CASAC	FINDS	
공통점	시험 자료 기반 핵연료집합체 특성 적용			
	이중하중경로로 지지격자 사이와 지지격자-연료봉 사이 충격 모사 노심지지판, 상부노심판, 배플판 거동 입력			
	연료봉과 지지격자 사이의 미끄럼 요소 적용	-	-	
차이점	수직방향 해석	연료봉과 상하단 노즐 사이 간극 비선형 요소 적용	-	
	해석 방법	직접적분법(Runge-Kutta 방법) 적용	모드중첩법 적용	
	수평방향 해석	동수력학적 부가 질량 고려	핵연료집합체-배플판 사이의 상호작용 고려	동수력학적 부가질량 고려
		강성 변화로 충돌 모사	감쇠로 비탄성 충돌 모사	감쇠로 비탄성 충돌 모사
수직방향 해석	소성거동 모사 미적용	소성거동 모사 적용	-	
	원자로내부구조물 해석 모델에 포함	별도의 1개 핵연료집합체 모델	-	

4. 결론

- 본 연구에서는 3종(CESHOCK, CASAC, FINDS)의 핵연료집합체 내진해석 프로그램에 대한 특징을 비교하여, 각 코드별 공통점과 차이점을 분석하였음. 각 코드는 2-D 기반 Beam 모델로 구성되어 있는 등 전반적으로 유사한 점을 많이 가지고 있으나, 세부적인 기술면에서는 코드간 차이점이 존재하였음
- 비교된 데이터는 신규 개발예정인 코드의 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이라 판단됨

