



KNF 통합해석체계 개발 현황 및 특성

2022. 10. 19.

This document is the property of and contains proprietary information owned or controlled by KEPCO Nuclear Fuel Co., Ltd. It is transmitted to you in confidence and trust, and you agree to treat it in strict confidence. Re-production of this document and/or transmittal thereof to third parties, as well as utilization or disclosure of the contents thereof, in whole or in part, are not permitted unless express authorization is given in writing.

COPYRIGHT © 2021 KEPCO NF. ALL RIGHTS RESERVED.

KEPCO Nuclear Fuel Proprietary Class P-2



Contents



I. 개요

II. 3차원 노심 해석 코드 체계

III. 3차원 노심 해석 코드 체계 활용

IV. 결론

개발 배경

☑ 규제 요건 강화에 따라 안전여유도 확보를 위한 3차원 과도해석방법론 적용 필요

- RG 1.77
- SRP 4.2 App. B (2007/03)
- RG 1.236 (2020/06)

☑ 3차원 노심 과도해석을 위한 코드 기반 마련

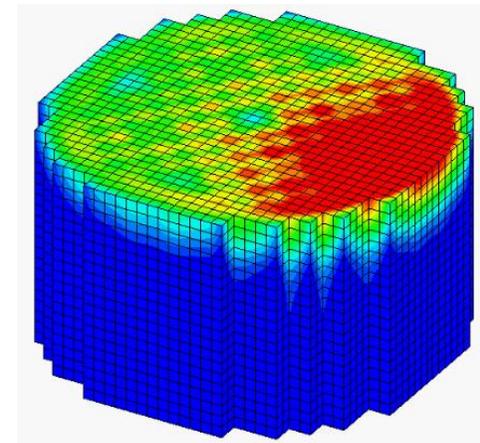
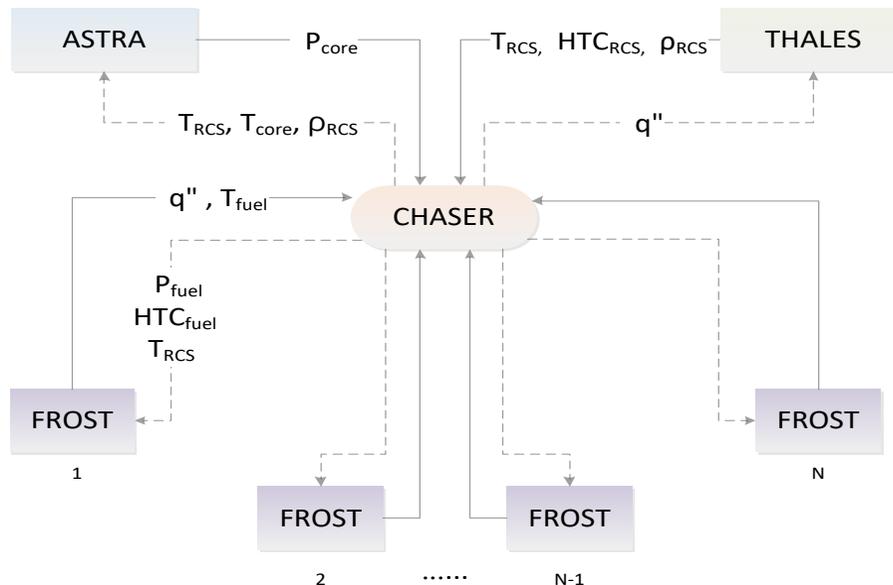
- 노심 해석 코드 ASTRA 인허가 취득 (2013년, KNF)
- 부수로 해석 코드 THALES 인허가 취득 (2013년, KNF)
- 연료봉 성능 해석 코드 ROPER 인허가 취득 (2014년, KNF)
- 계통해석 코드 SPACE 인허가 취득 (2017, KHNP)
- 연료봉 과도 해석 코드 FROST 개발 완료 (2018년, KNF)

☑ 전산 환경 개선

3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER 코드 통합 체계

- ASTRA (Advanced Static and Transient Reactor Analyzer)
- THALES (Thermal Hydraulic Analyzer for Enhanced Simulation of core)
- FROST (Fuel Rod performance Optimizer for Steady and Transient states)
- CHASER (Consolidated kinetics and thermal-Hydraulics Analysis SolvER)



3차원 노심 해석 코드 체계

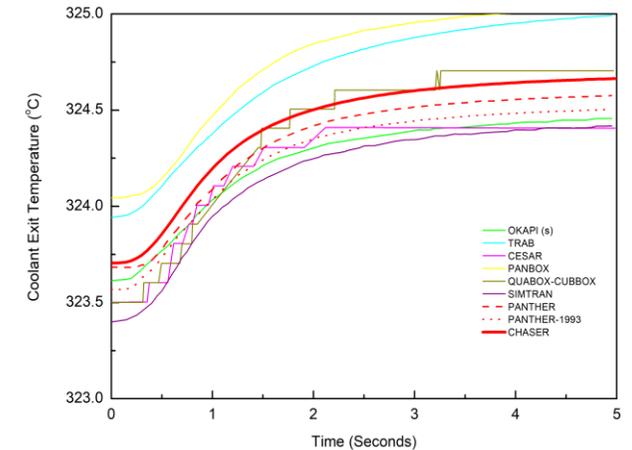
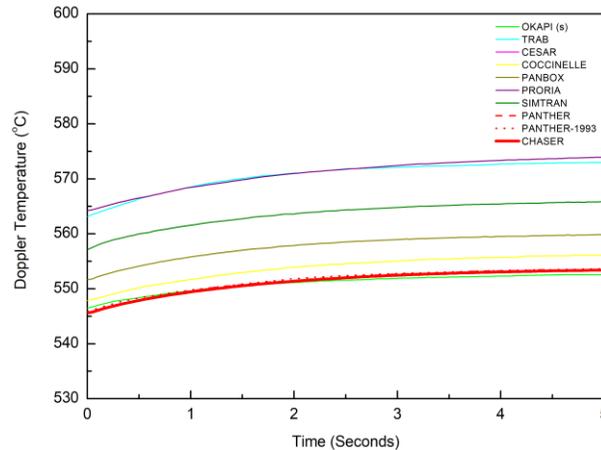
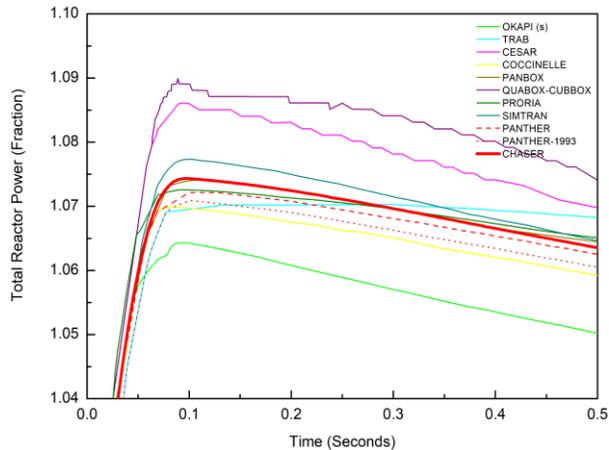
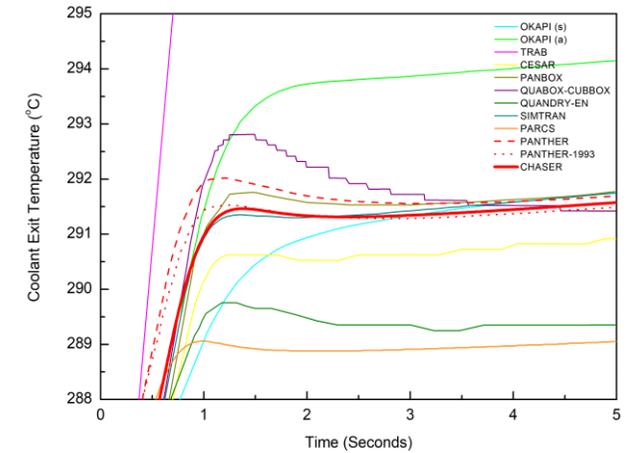
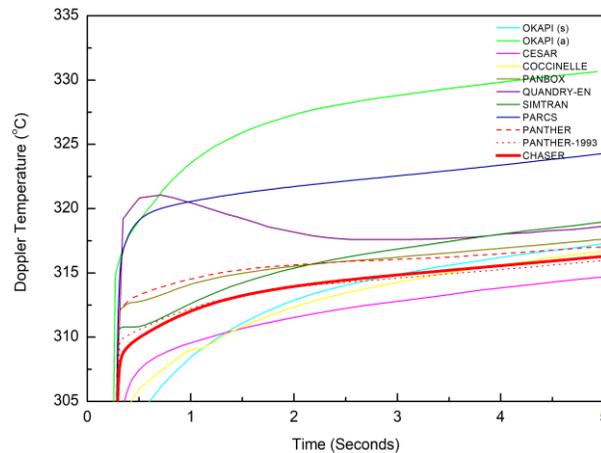
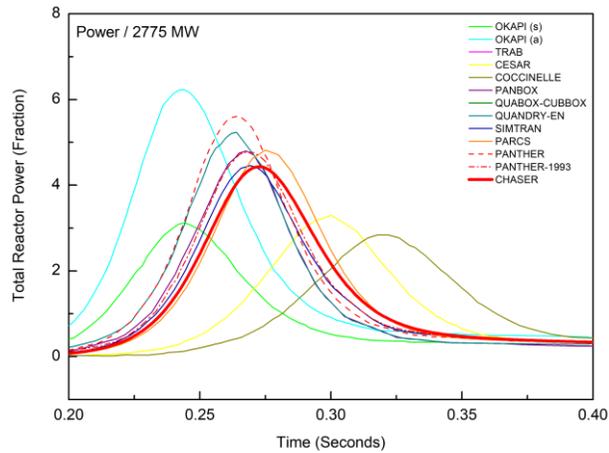
CHASER 코드 통합 체계

- ASTRA, THALES, FROST의 기존 기능 유지
 - 개별 코드 실행(Not Merged.)
 - 개별 코드 수렴조건 및 로직 유지, solver에 대한 수정 없음.
- CHASER
 - 변수 전달을 위한 단순 인터페이스
 - 시구간 동기화, 단위 변환, 수렴성 확인, 중복 입력 제어 등을 수행
- Message Passing Interface(MPI)를 이용한 변수 교환 및 FROST 분산 해석
 - 964 * 26개 연료봉 노드 대한 분산해석으로 계산 시간 단축

3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER 코드 통합 체계

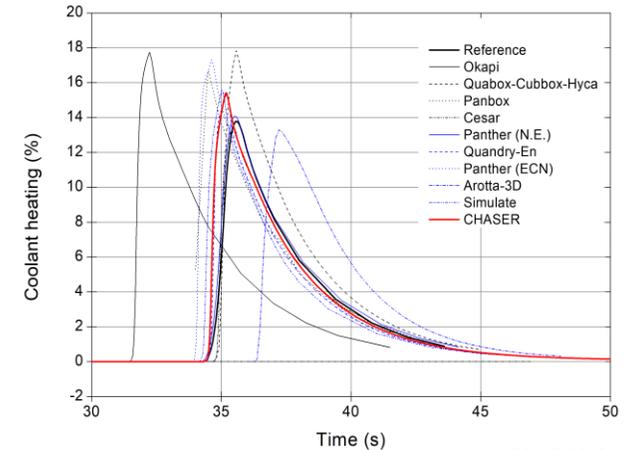
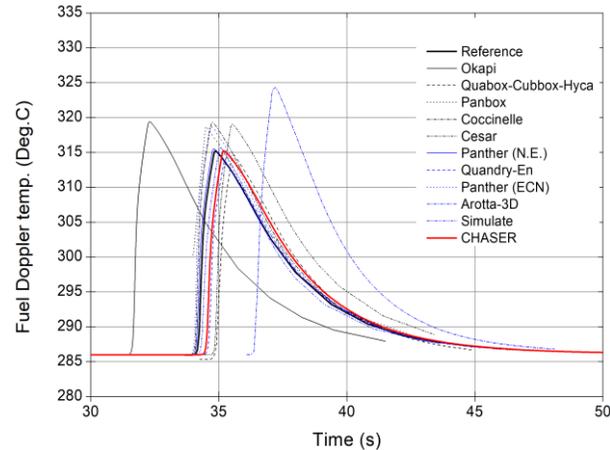
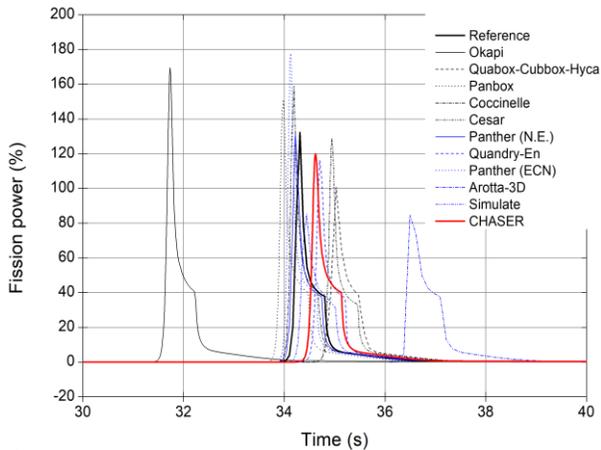
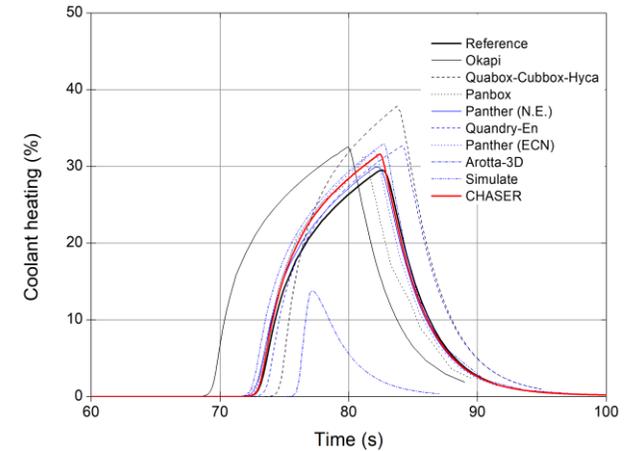
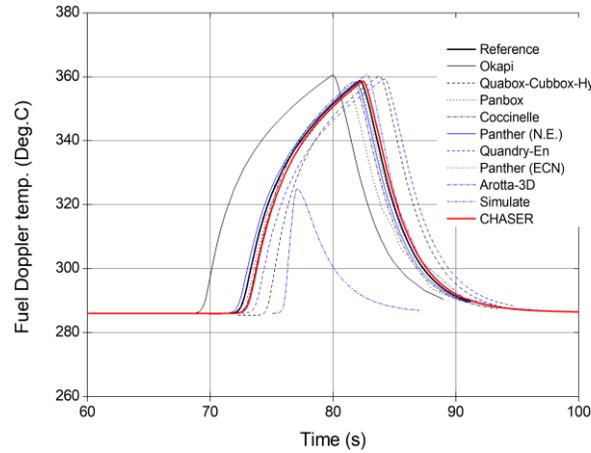
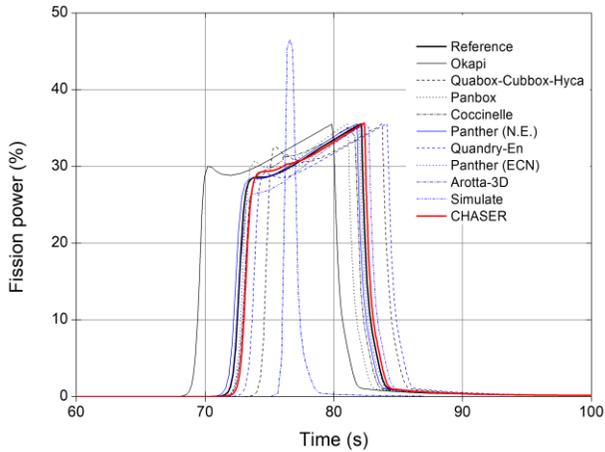
OECD/NEA Benchmark Problems (Rod Ejection at HZP, HFP)



3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER 코드 통합 체계 검증

OECD/NEA Benchmark Problems (Rod Withdrawal, Case A & Case B)

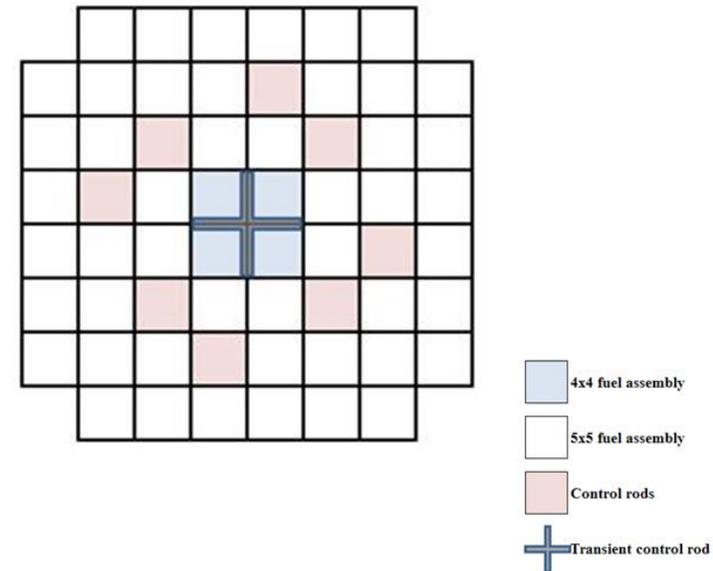


3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER 코드 통합 체계 검증

- SPERT(Special Power Excursion Reactor Test)

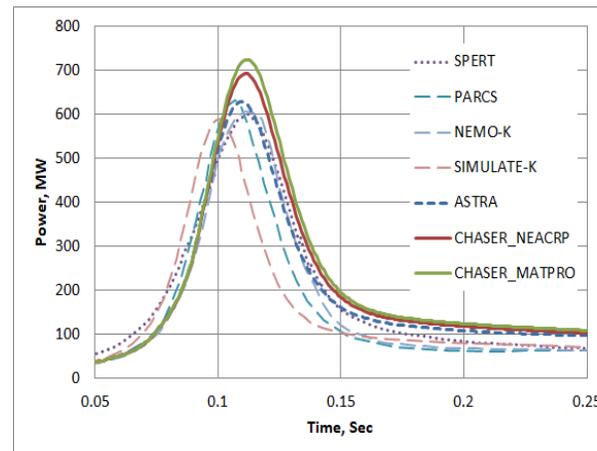
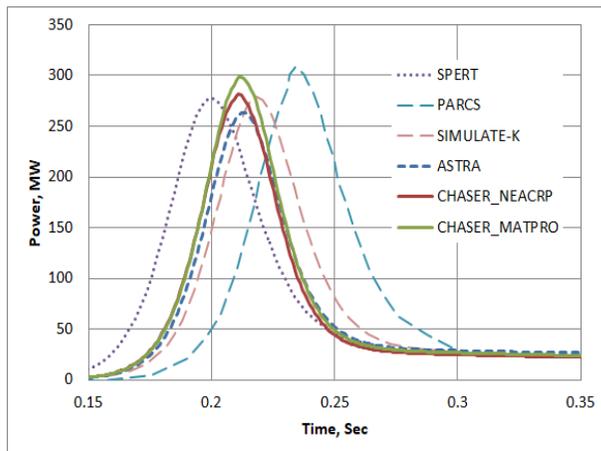
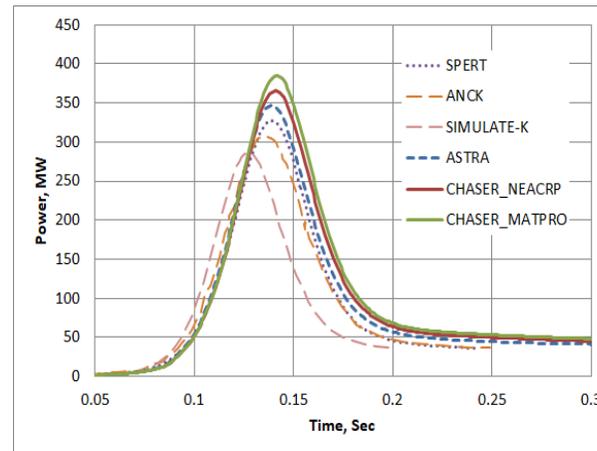
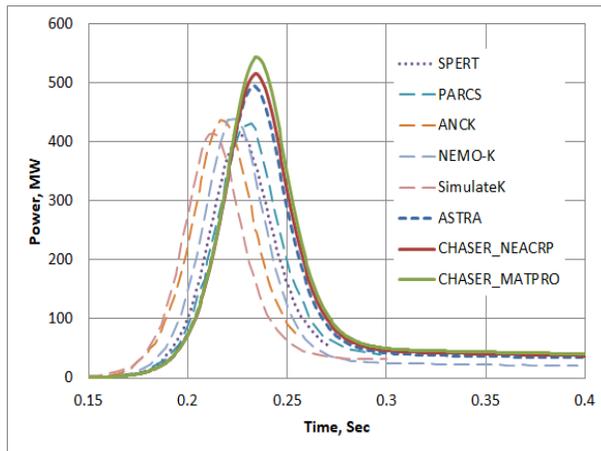
Test No.	Initial Power [MW]	Reactivity Insertion [\$]	Inlet Temperature [°F]	Inlet Flow Rate [gpm]	System Pressure [psia]	Remarks
60	5.0×10^{-5}	1.23 ± 0.05	500 ± 4	12,000	1500	Hot Startup
81	1.0	1.17 ± 0.04	504 ± 4			Hot Standby
70	5.0×10^{-5}	1.21 ± 0.05	251 ± 4			Hot Startup
86	20.0	1.17 ± 0.05	502 ± 4			Operating



3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER 코드 통합 체계 검증

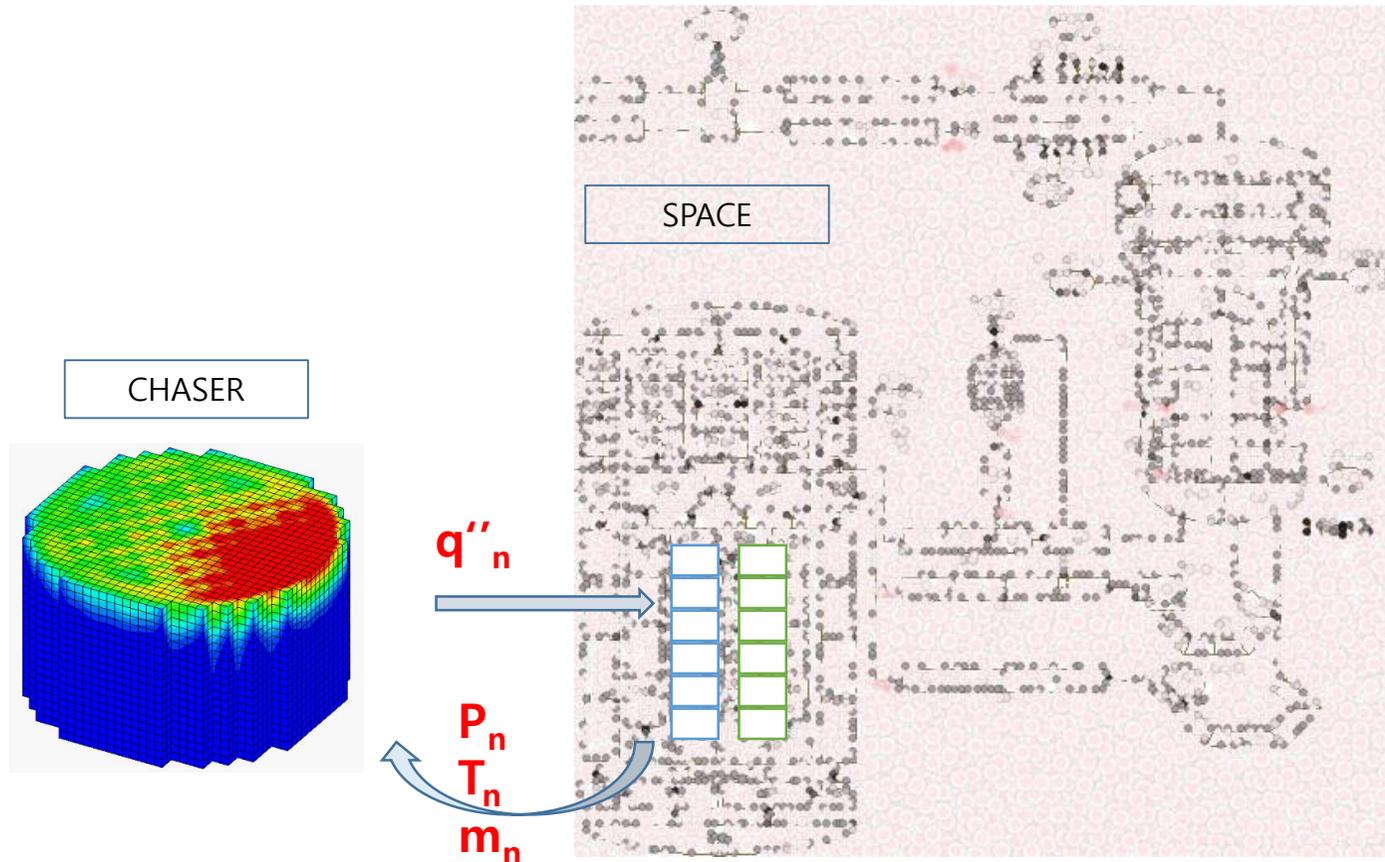
- SPERT(Special Power Excursion Reactor Test, Test No. 60, 81, 70, 86)



3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER-SPACE 코드 통합 체계

- SPACE (Safety and Performance Analysis CodE for nuclear power plant)



3차원 노심 해석 코드 체계

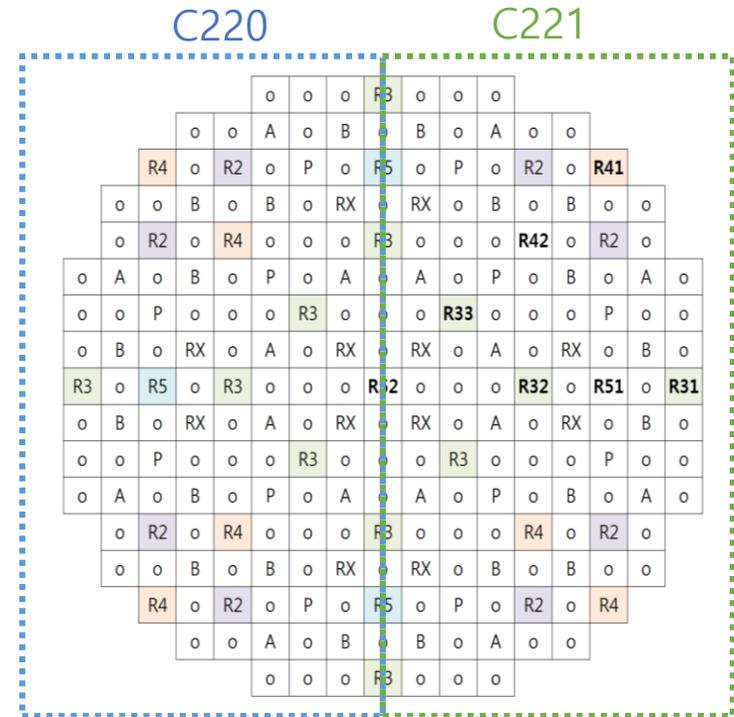
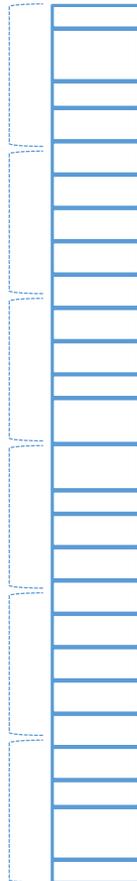
CHASER-SPACE 코드 통합 체계

- 노심 채널 맵핑

SPACE



CHASER



3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER-SPACE 코드 통합 체계

- Loose coupling

- 경계 조건 상호 교환, $t-\Delta t$ 에서 계산하여 전달 받은 값을 경계 조건으로 해석
- 상대적으로 단순한 코드 연계, THALES 와 SPACE의 solver에 대한 수정 없음

- 시구간 동기화

- 자동으로 Δt 를 조정하는 SPACE 와 사용자가 지정한 고정 Δt 를 사용하는 CHASER
- 사용자 지정 시간에 최대한 근접한 SPACE 시구간에서 변수 교환

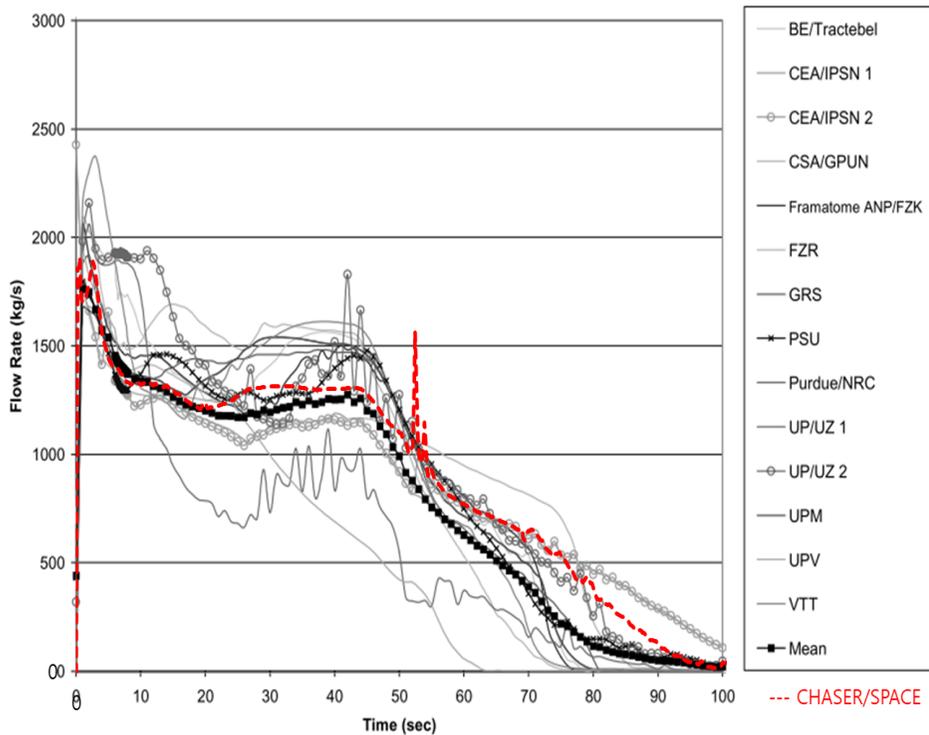
- 일정 시간 이후 변수 교환

- Steady-State 해석 초기 dummy 값에 의한 코드 불안정성 완화

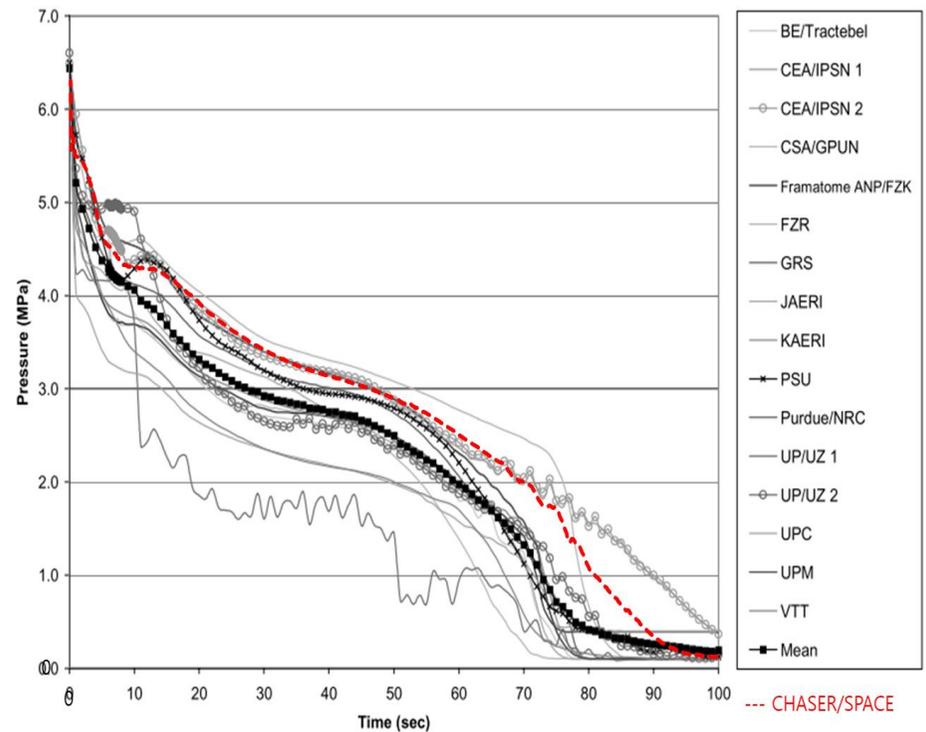
3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER-SPACE 코드 통합 체계 검증

TMI MSLB Benchmark Problem (Phase III)



Total break flow rate
(CHASER/SPACE, scenario 2)

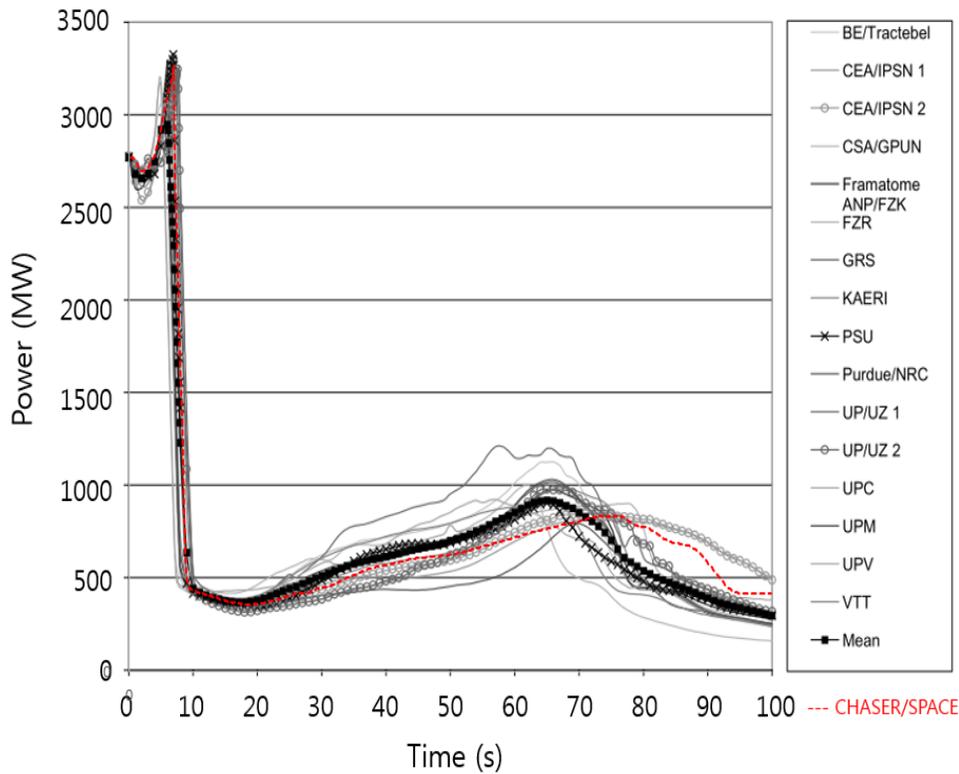


Broken loop steam line pressure
(CHASER/SPACE, scenario 2)

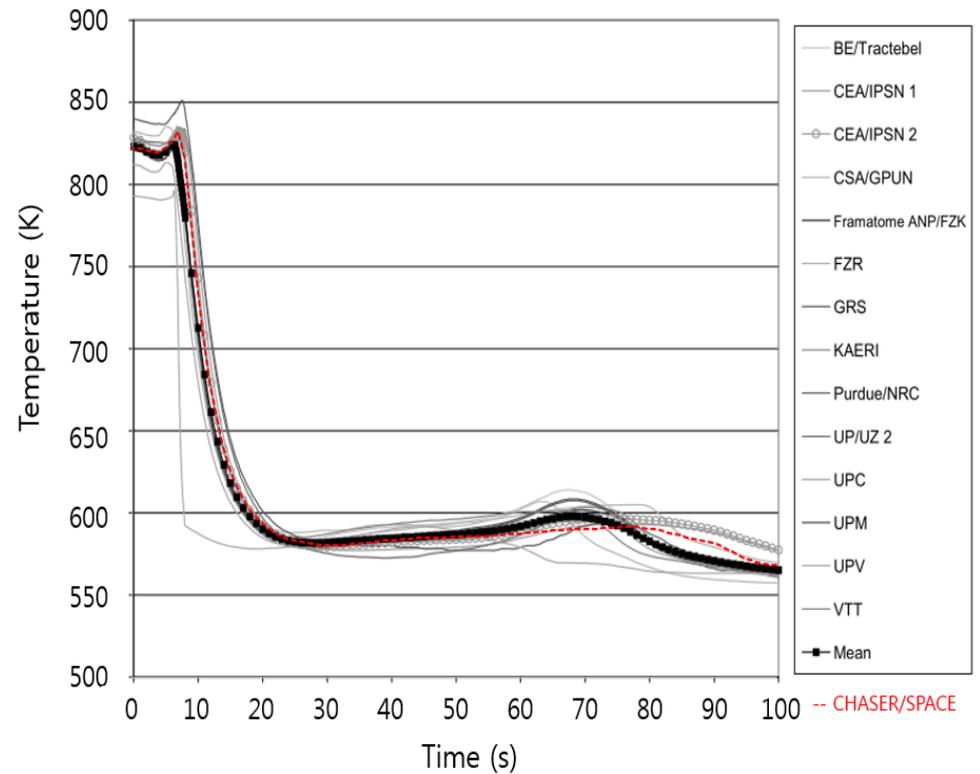
3차원 노심 해석 코드 체계

CHASER-SPACE 코드 통합 체계 검증

• TMI MSLB Benchmark Problem (Phase III)



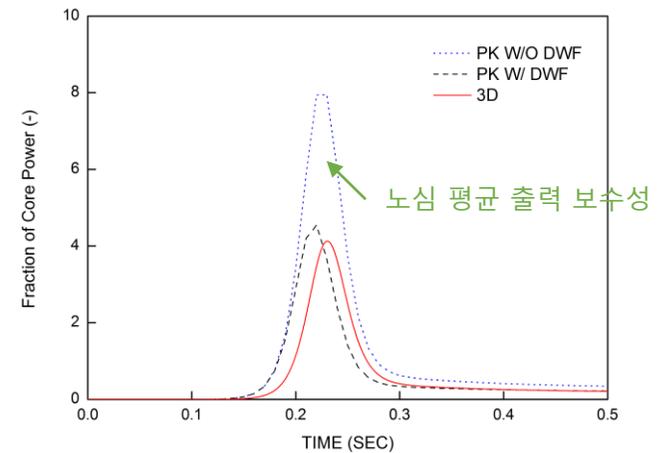
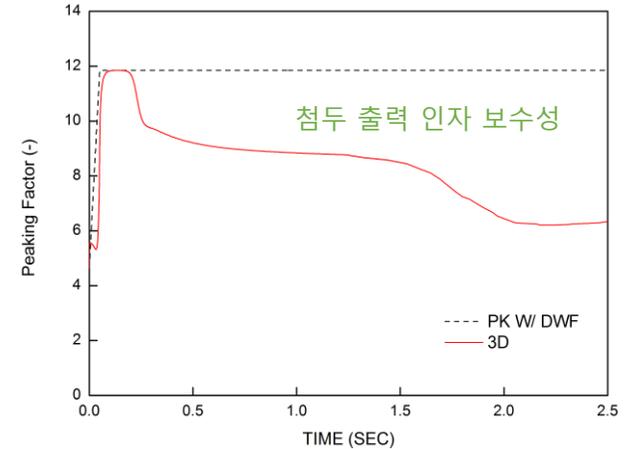
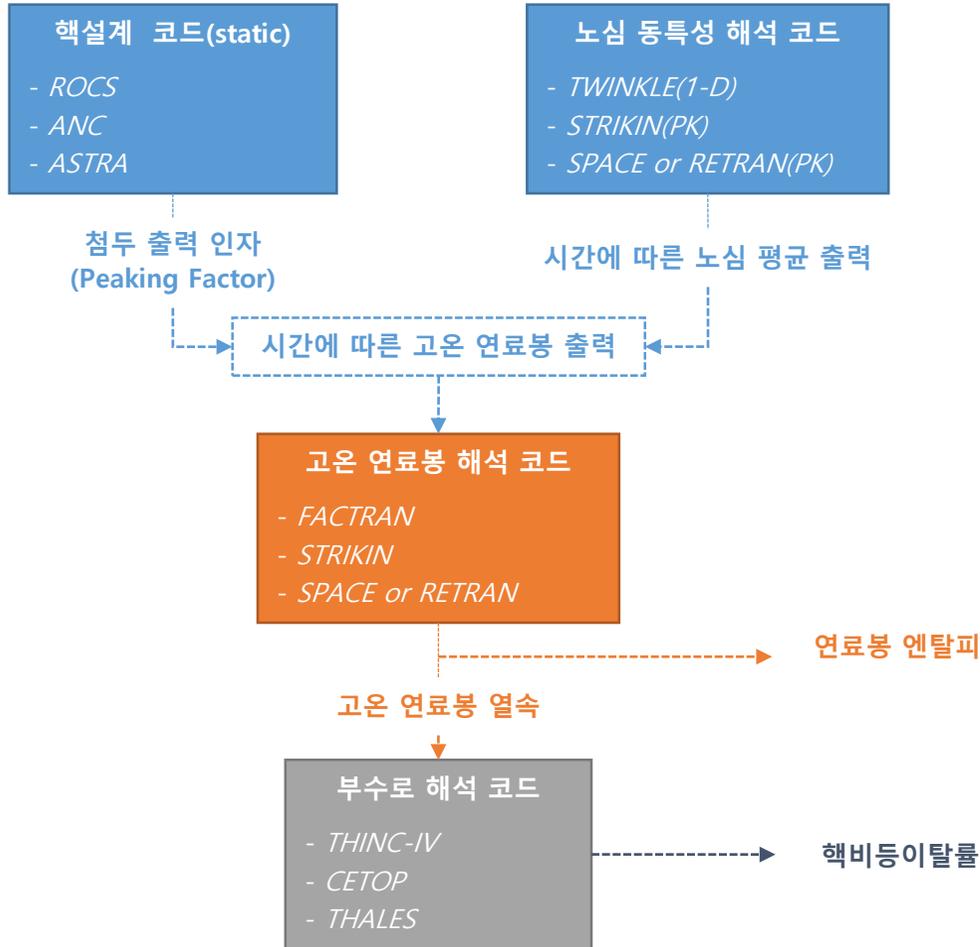
Core-averaged total power
(CHASER/SPACE, scenario 2)



Core-averaged Fuel temperature
(CHASER/SPACE, scenario 2)

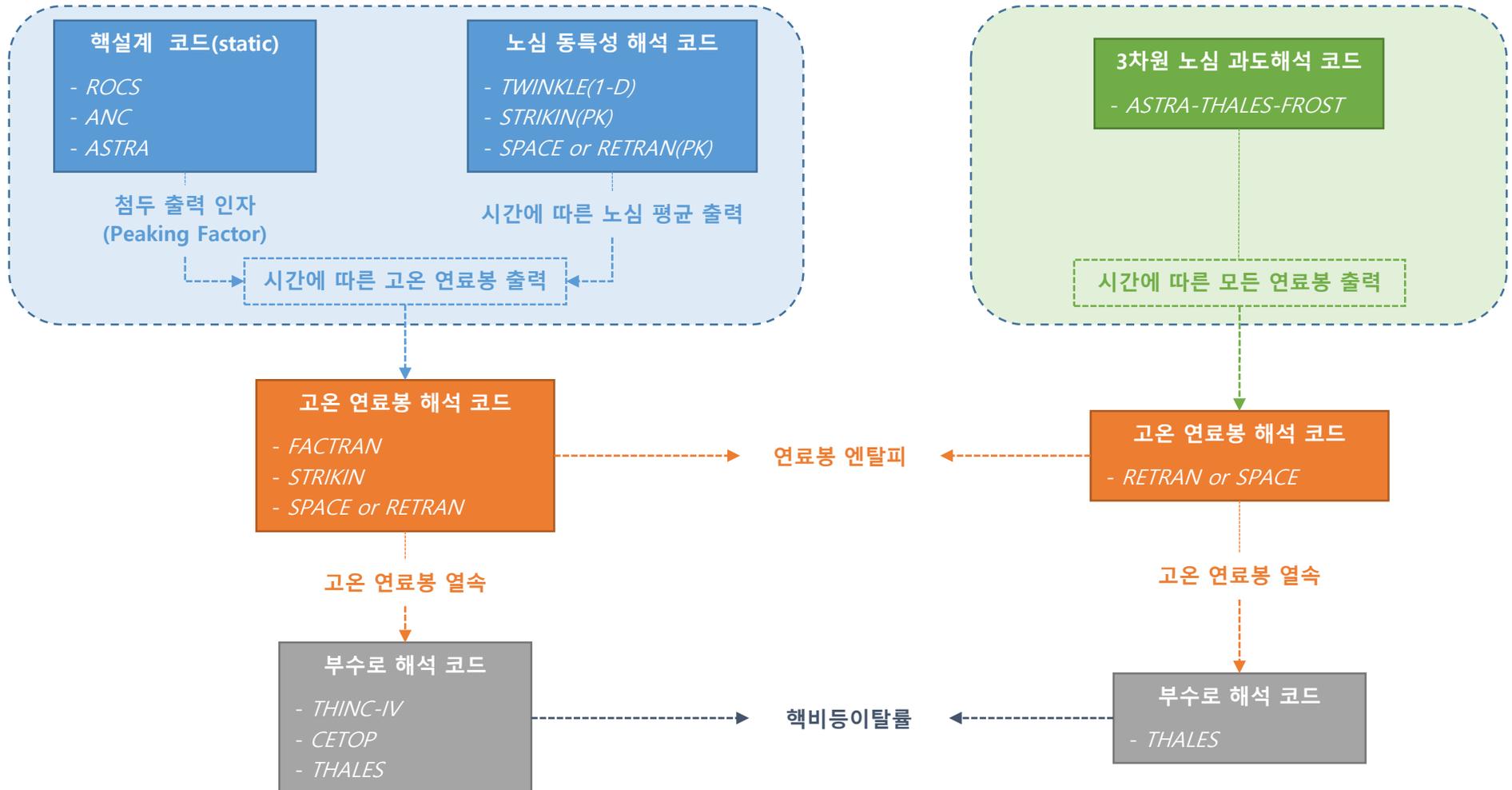
3차원 노심 해석 코드 체계 활용

제어봉집합체이탈(CEAE) 사고 해석



3차원 노심 해석 코드 체계 활용

제어봉집합체이탈(CEAE) 사고해석



3차원 노심 해석 코드 체계 활용

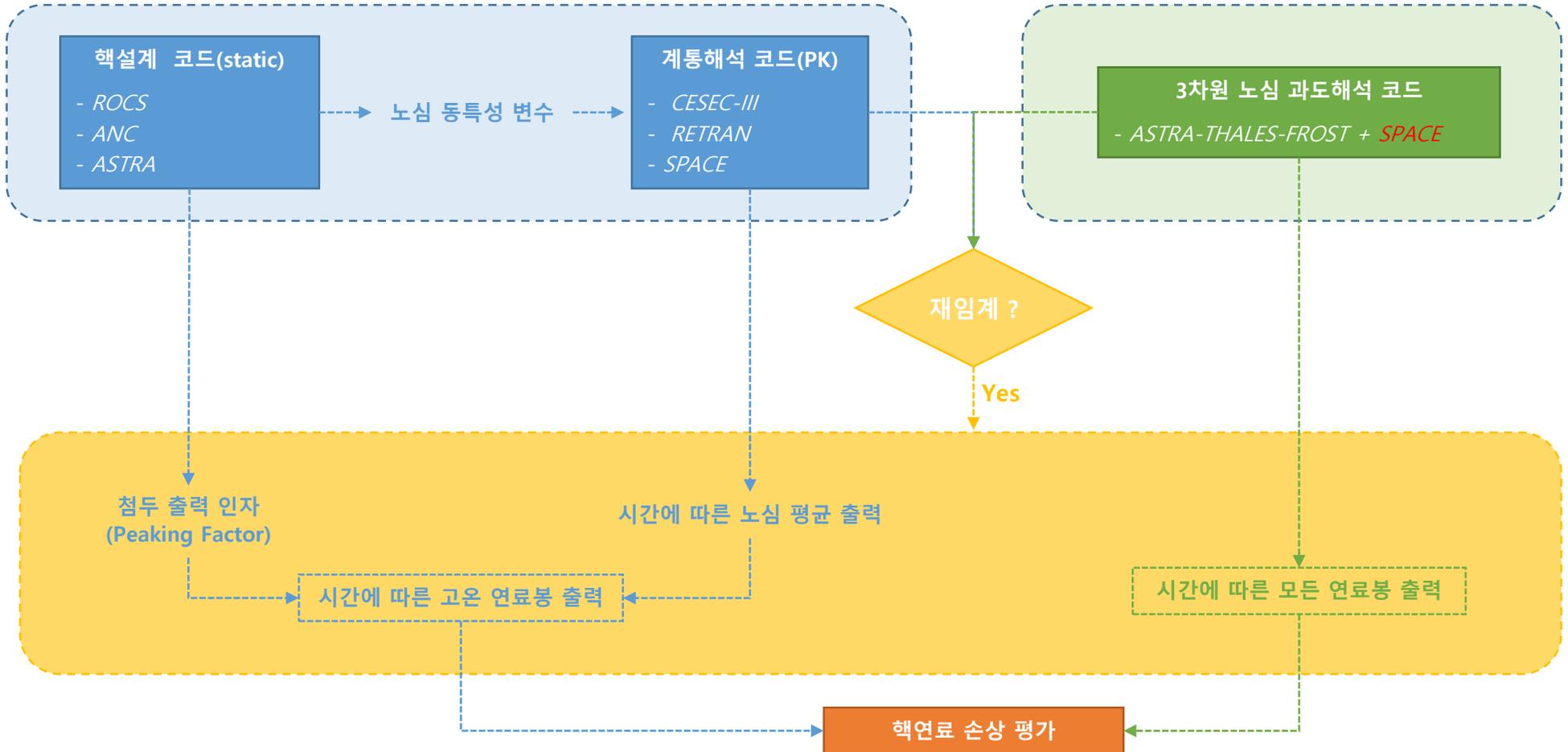
제어봉집합체이탈(CEAE) 사고해석

- APR1400 원전 3차원 노심해석 기반 제어봉집합체이탈사고 해석 방법론(인허가 취득, 2021. 06.)

		현행 방법론	3차원 방법론	비고
A. 핵연료 피복관 손상기준	A-1. 고온 핵연료 손상	< 12 %	< 2 %	- 5% 이상 출력에서의 해석 결과 - 기존 선량평가가 유효한 내부 기준은 15%임
	A-2. PCMI 손상	Not occurred	Not occurred	
B. 노심냉각 형상유지 허용기준	B-1. 최대 엔탈피	< 150 cal/g	< 100 cal/g	제한치 230 cal/g
	B-2. 용융분율	0 % (< 4800.0 °F)	0 % (< 4000.0 °F)	용융온도 약 5000 °F

3차원 노심 해석 코드 체계 활용

주증기관파단사고(SLB) 해석 방법론 (개발 중)



3차원 노심 해석 코드 체계 활용

주증기관파단사고(SLB) 해석 방법론 (개발 중)

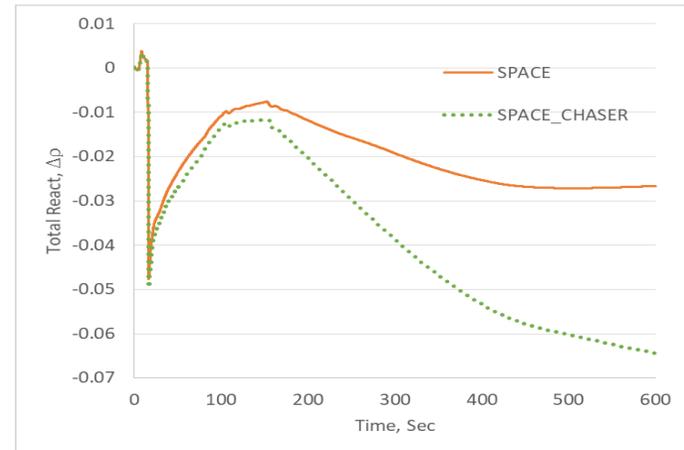
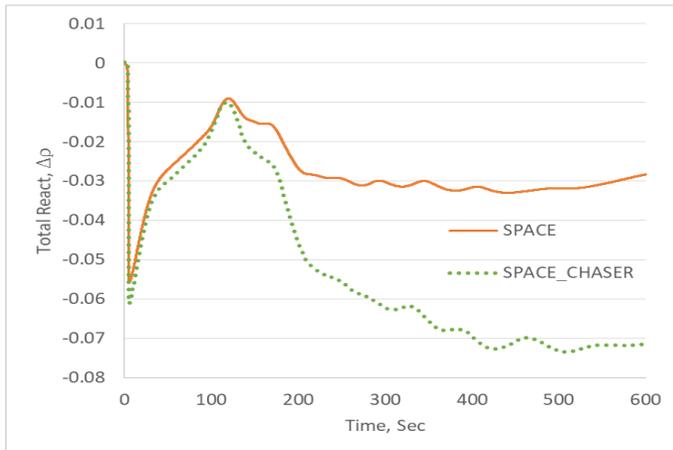
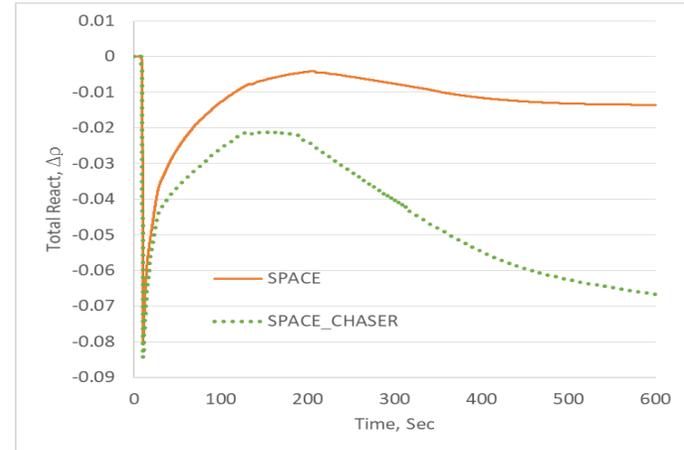
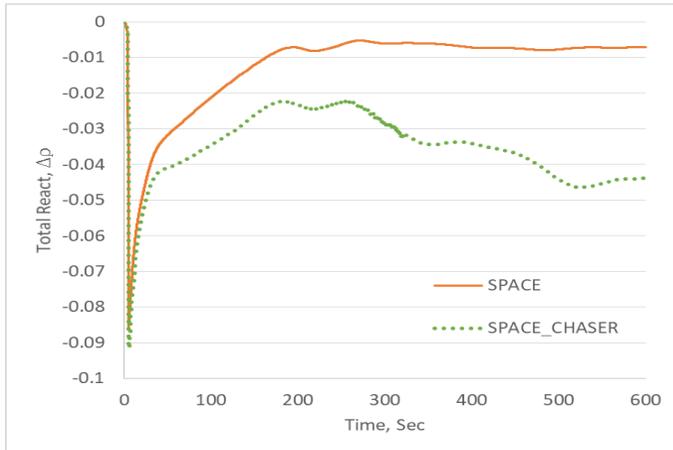
- 기존 Point kinetics 방법론과 동일한 노심 동특성 변수 값 가정 → 사고해석의 보수성 유지

	CASE01	CASE02	CASE03	CASE04
Off-Site Power	상실	-	상실	-
Core Power [Frac.]	1.02		0.0025	
Prompt neutron life time [μ sec]	15			
Delayed neutron frac. [-]	0.00412			
FTC [$\% \Delta \rho / \sqrt{K}$]	-0.240			
MTC [pcm/ $^{\circ}$ F]	-38.0			
Scram worth [$\% \Delta \rho$]	-9.3		-5.5	
ASI [-]	+0.3		+0.6	
Decay Heat [Frac of Norm.]	0.6			

3차원 노심 해석 코드 체계 활용

주증기관파단사고(SLB) 해석 방법론 (개발 중)

● 사고 해석 경우에 따른 노심 반응도(CASE01~04)



3차원 과도 해석을 위한 코드 통합

- ☑ 규제 요건 강화에 대비하여 안전여유도의 추가 확보를 위해 3차원 노심 과도해석 코드 및 방법론 필요
- ☑ ASTRA-THALES-FROST를 통합 연계하여 3차원 노심 해석 수행
- ☑ ASTRA-THALES-FROST에 SPACE를 추가로 통합하여 3차원 노심 및 계통 해석 수행

통합 코드 활용한 사고해석 방법론 개발

- ☑ ASTRA-THALES-FROST를 이용하여 3차원 노심 제어봉집합체이탈사고 해석 방법론 인허가 취득(2021. 06.)
- ☑ 3차원 제어봉집합체이탈사고 해석 방법론을 통해 안전여유도 추가 확보 가능

향후 개발 방향

- ☑ 한수원 중앙연구원과 ASTRA-THALES-FROST에 SPACE 연계하여 과도해석 방법론 개발 중(~2023)
- ☑ 핵연료봉 단위 핵설계코드체계 개발 중(~2025)

감사합니다

