

해양용 용융염원자로(MARINA) 국내 개발 현황

노심설계 전산코드 개발 현황

박동규
2026.05.06.

CONTENTS

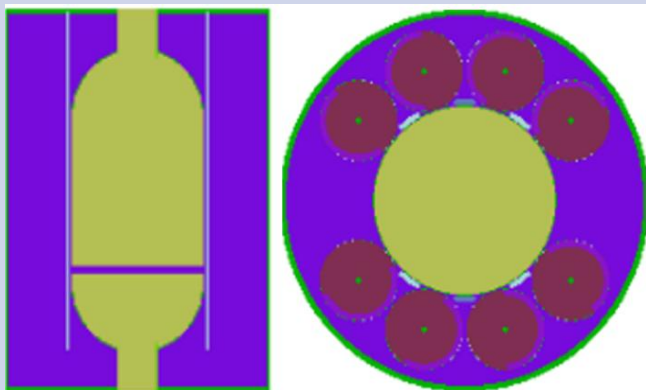
- 1 ● 노심 개념(안) - '25년 기준
- 2 ● MSR 노심설계를 위한 전산코드 요구기능
- 3 ● 코드 개발 및 구축 현황
- 4 ● 향후 계획

노심 개념(안) - '25년 기준

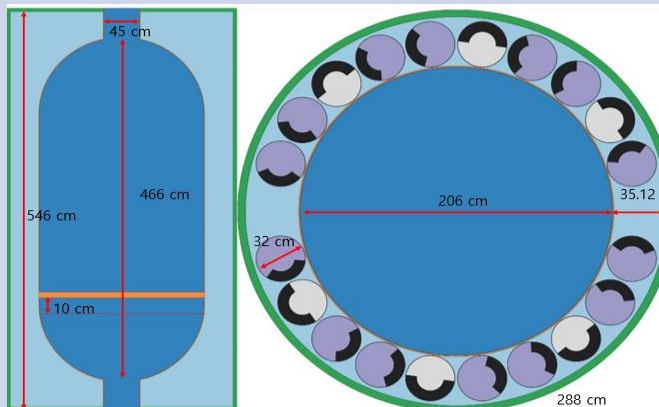
노심 최상위 설계요건

열출력 : 100 MWth, 설계수명 : 25년 이상 (Capacity Factor 90%)

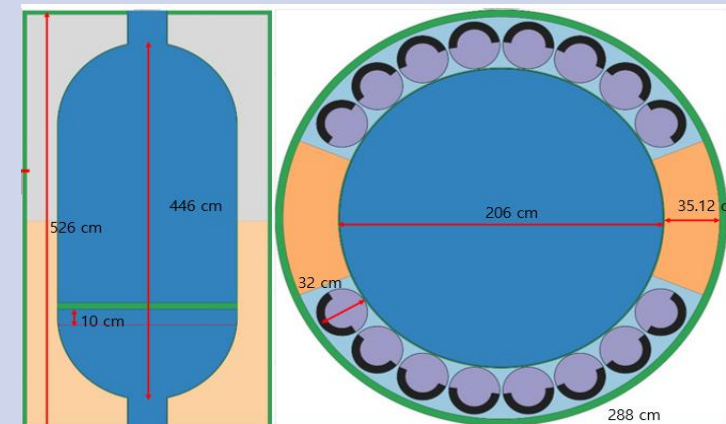
개념 1 (BeO, 정지플레이트)



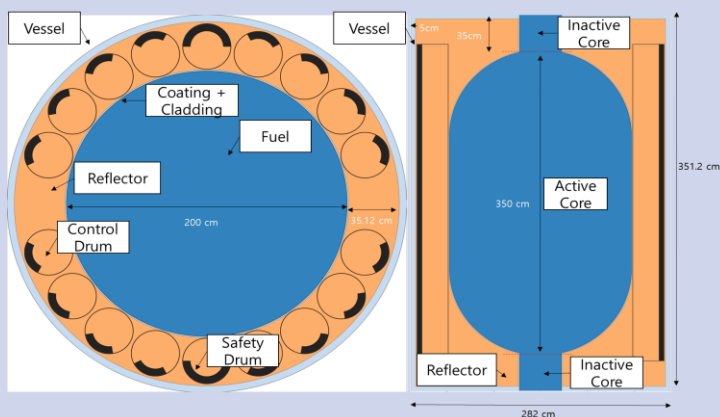
개념 2 (SS, 정지드럼)



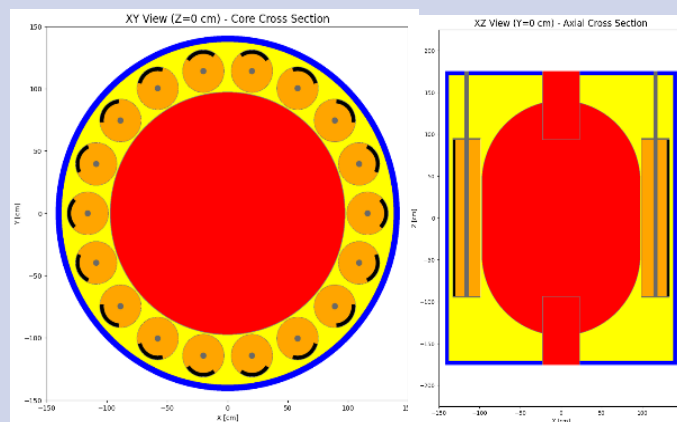
개념 3 (SS, 액체반사체 드레인)



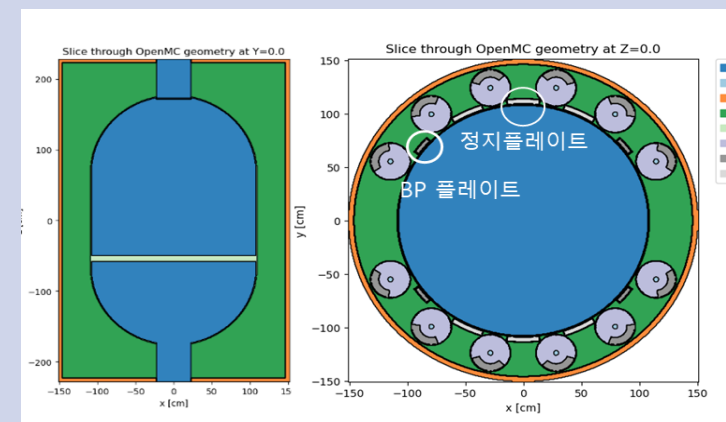
개념 4 (PbO, 정지드럼)



개념 5 (MgO, 정지드럼)



개념 6 (MgO, 정지플레이트)



MSR 노심설계를 위한 전산코드 요구기능 (1/2)

노심설계 특이사항

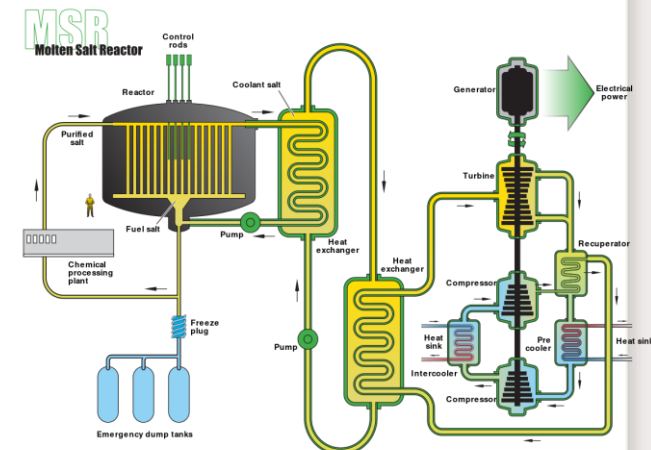
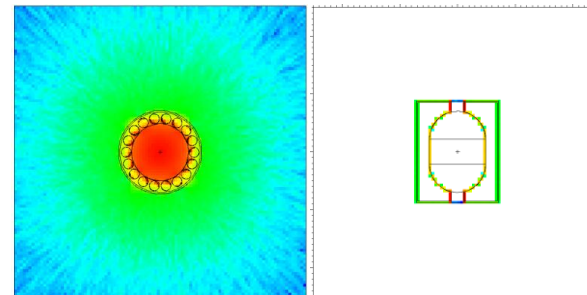
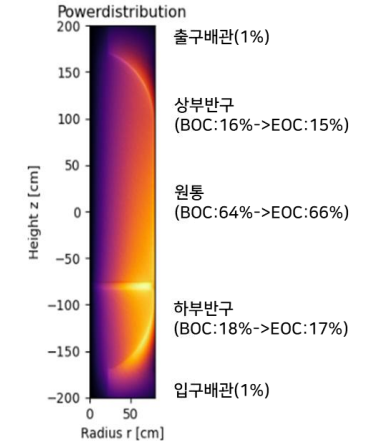
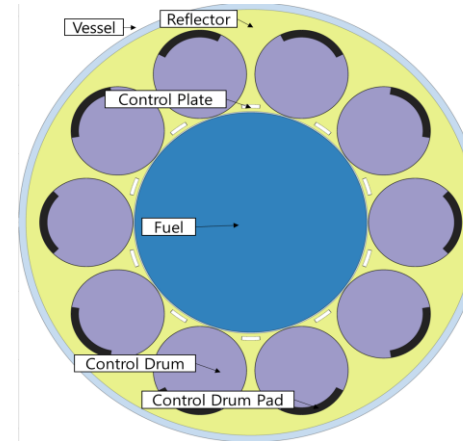
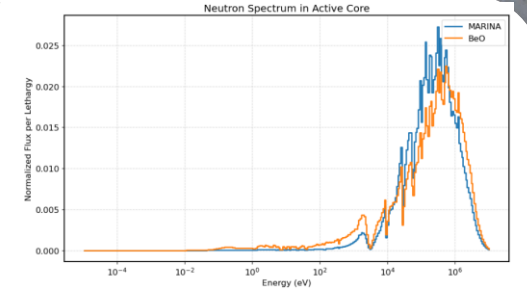
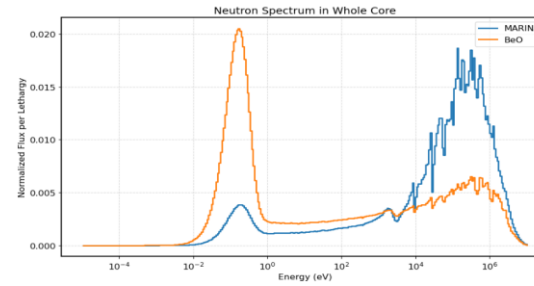
- 연소염 기반 용융염핵연료 사용 ⇨ 고속중성자 스펙트럼 활용 설계 유리
- 원통, 반구 등의 원자로 형상 적용 ⇨ (r, θ, z) or (r, θ, φ) Geometry 고려
- 순환하는 연료 ⇨ 유동장을 고려한 출력분포 및 유효지발중성자분율, 위치별 잔열
- 1차 계통 내 핵연료 존재 ⇨ 연소계산 시 노외 연료 고려
- 입출구배관에서의 출력 발생 가능성 ⇨ 노물리해석 영역 확대
- 제어드럼을 통한 제어 ⇨ 원통 (혹은 구) 형상 적용, 제어물질 연소 기능 적용
 - Critical Drum Position Search 기능

연계자료 생산

- 안전해석: 유동장을 고려한 출력분포 및 중성자생성시간, 유효지발중성자분율 등
- 노심열수력: 출력분포 등
- 차폐해석: 누설고속중성자 및 감마 플럭스, 플루언스, 기기방사화
- 계통설계: 오프가스 시스템 선원향

다물리해석 필요성

- 액체연료 ⇨ 온도에 의한 밀도변화 ↑ ⇨ 정밀 노물리/열수력 해석 필요성 ↑
- 핵분열생성물 제거 ⇨ 기체상 물질(노블가스 등) 제거 및 고체상 물질(노블메탈 등) 침적 고려 필요
 - 적합한 방사선원향 정의 및 도출
 - 위치별 Decay Heat 평가
 - 노물리-화학 연계 평가 필요성 ↑
- 공간/무게 제약 ⇨ 차폐를 고려한 최적 크기 산정 필요성 ↑



MSR 노심설계를 위한 전산코드 요구기능 (2/2)

MSR 노심해석 전산코드를 통해 계산되어야 하는 정보

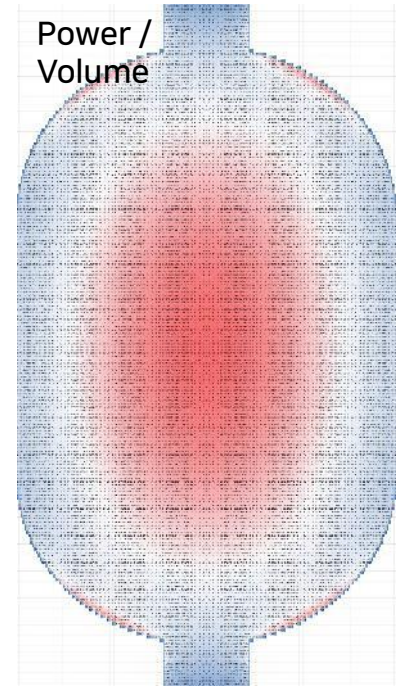
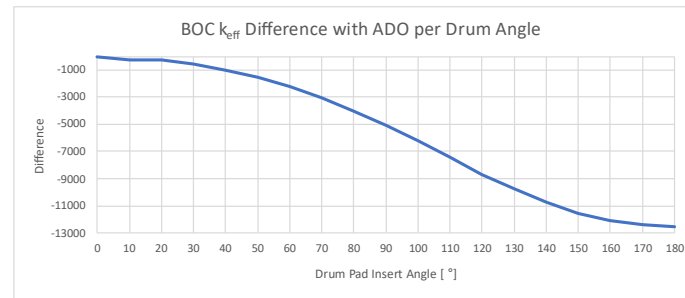
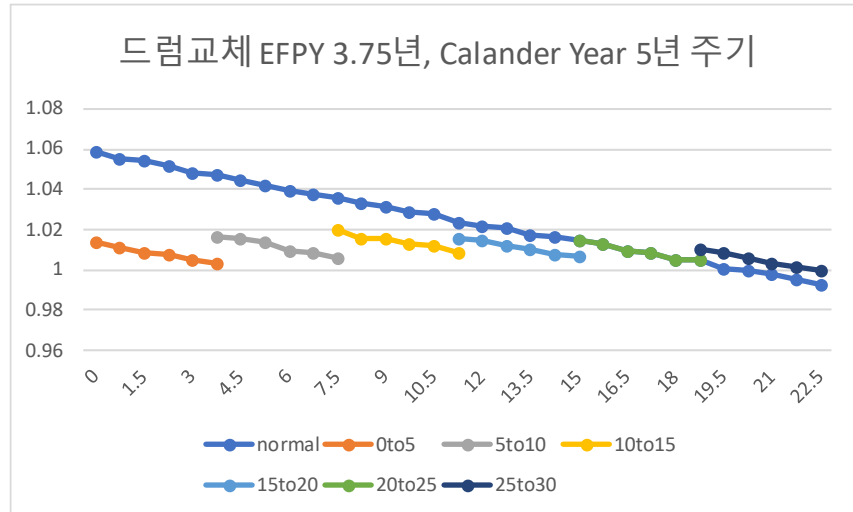
포인트계산

- (유동 고려, 미고려에 따른) 반응도(임계도)
- 중성자 스펙트럼
- (유효)지발중성자분율, 즉발중성자생성시간 등
- 온도계수(FTC,FDC,RTC,ITC), 출력계수
- (미분, 적분) 제어드럼가, 정지여유도
- 고속중성자 누설량(outgoing current), 플루언스
- 출력분포(제어드럼 위치별, 출력준위별)
- Decay Heat (1차 Circuit 위치별)
- 반사체 영역 감마 heating rate, ...

연소계산

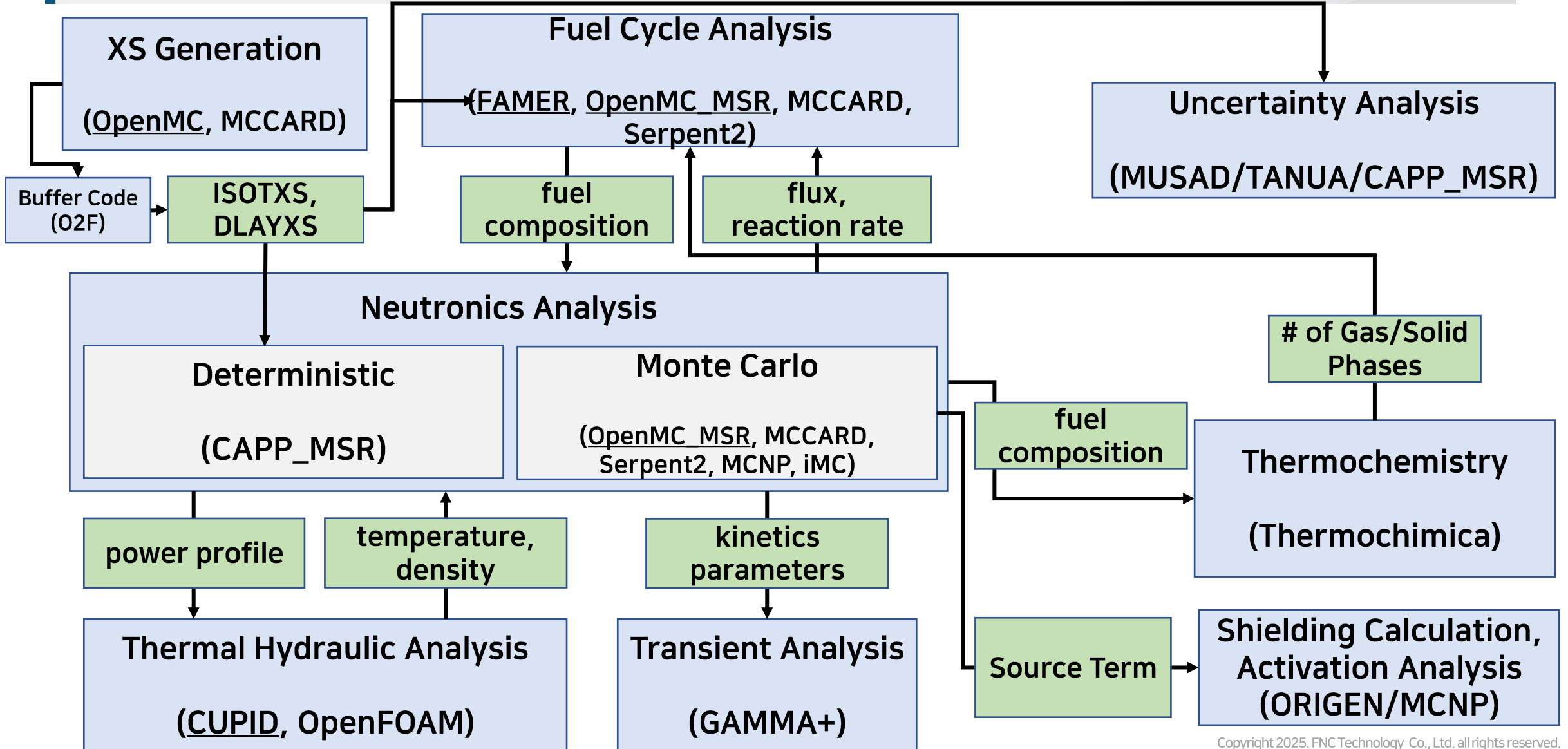
- 연소 단계별 반응도(임계도), 임계제어드럼 위치
- (위치별) 핵종 재고량 (연소물질별, ADO or CDP, 냉각시간 등)
- 제어드럼 내 연소물질 재고량
- 방출연소도, Conversion ratio
- Be 연소로 인한 He3, He 생성량 ⇨ 반사체가 Be 계열일 경우
- Cl 및 연료염 연소로 인한 S 생성량
- 원자로 용기 및 기기(제어드럼 구동부 등) 방사화 핵종 재고량
- Noble gas, metal 제거유무 및 제거율에 따른 영향
- 제어드럼 교체 유무 및 시나리오에 따른 영향 ⇨ 최적 시나리오 도출을 위한 프로그램 필요
- 연료공급시나리오 적용 여부에 따른 영향
- 원자로 정지 후 Deadtime, ...

ex-\in-core	1[s]	2[s]	5[s]	10[s]	20[s]	50[s]	100[s]
1[s]	421	488	556	590	611	612	630
2[s]	394	446	516	552	594	610	617
5[s]	359	399	458	513	563	596	611
10[s]	355	381	431	483	530	585	602
20[s]	355	368	430	465	514	566	592
50[s]	359	374	411	459	496	552	583
100[s]	338	361	412	444	512	539	573



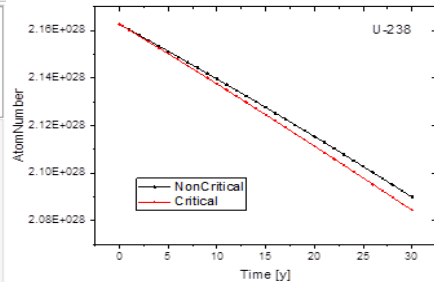
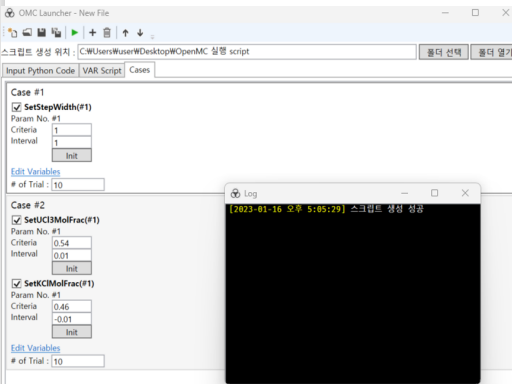
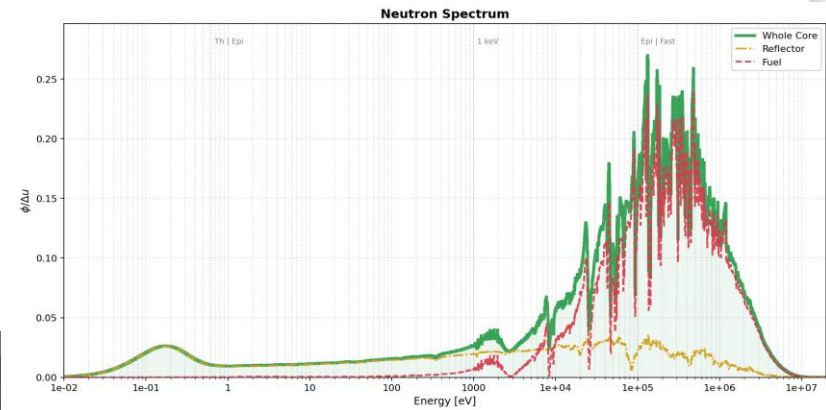
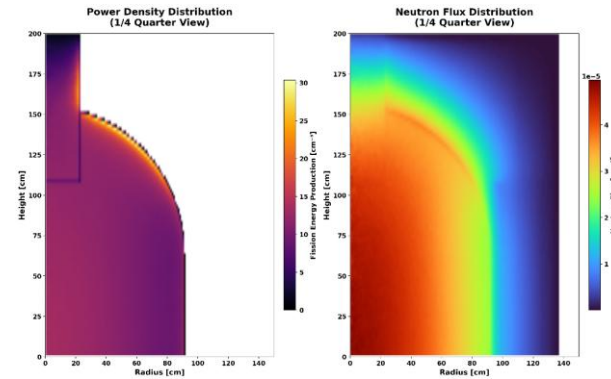
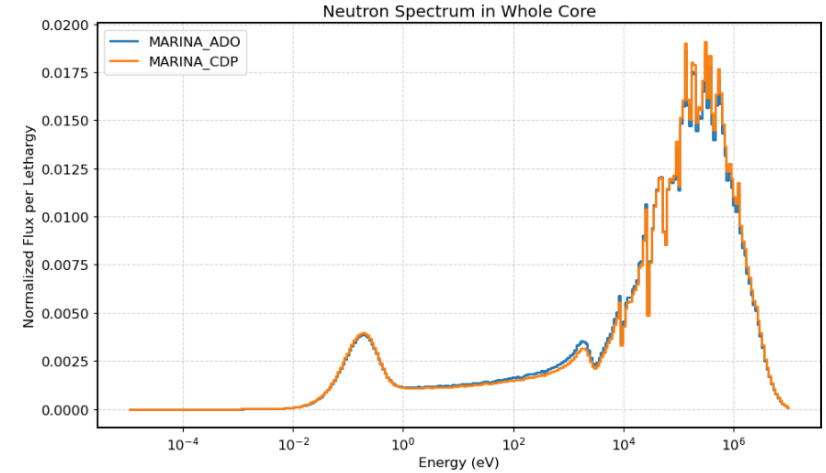
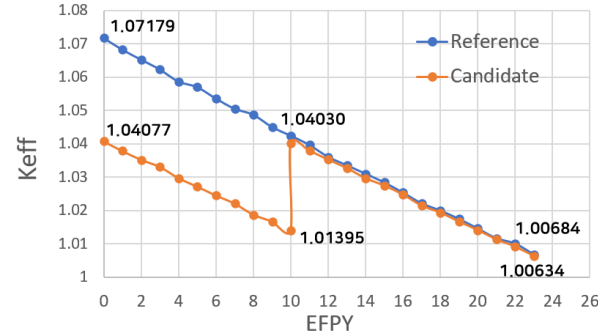
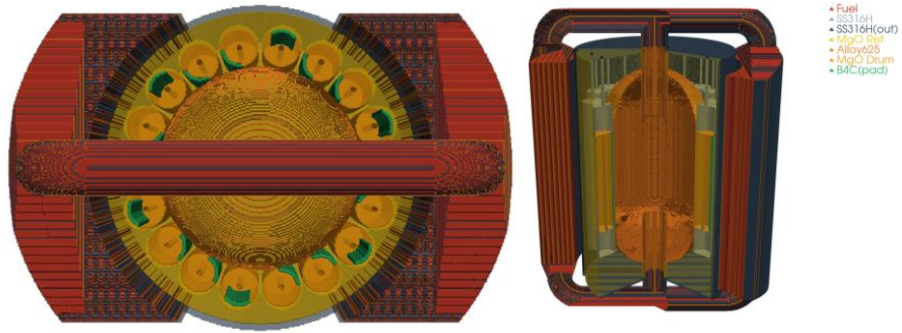
Isotopes	BOC [kg]	EOC [kg]
Na	2.98E+03	2.97E+03
K	2.40E+03	2.39E+03
Cl	1.94E+04	1.94E+04
U235	5.20E+03	3.90E+03
U238	2.11E+04	2.04E+04
Pu239	0.00E+00	5.34E+02
FP	0.00E+00	1.23E+03
TRU	0.00E+00	8.23E+02
Total	5.11E+04	5.11E+04

MSR 노심설계 전산 해석 체계(안)



OpenMC_MSR

- OpenMC : MIT, Uchicago Argonne LLC 에서 최초 개발한 오픈소스 형 몬테칼로 코드
- 유동고려 소스 코드 수정 완료 (OpenMC_MSR)
- 입력작성오류 최소화를 위한 UI 개발
- 임계위치 탐색 및 연소계산을 위한 스크립트 작성
- SW V&V 보고서 작성 필요

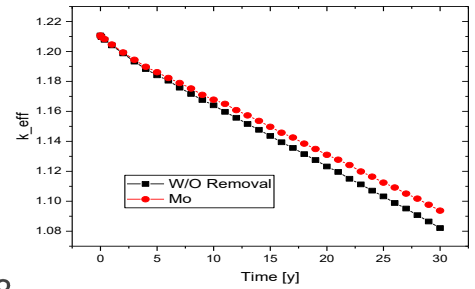
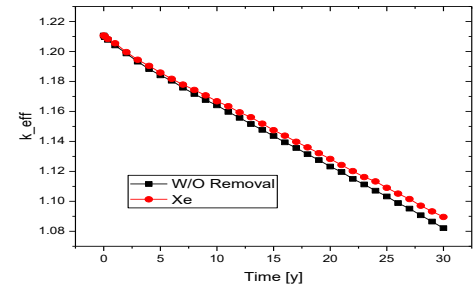
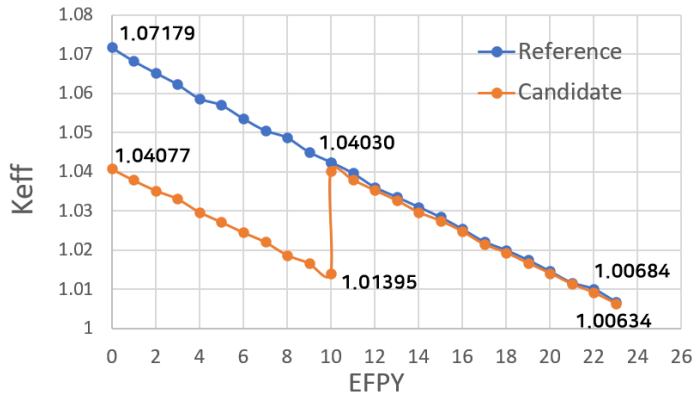
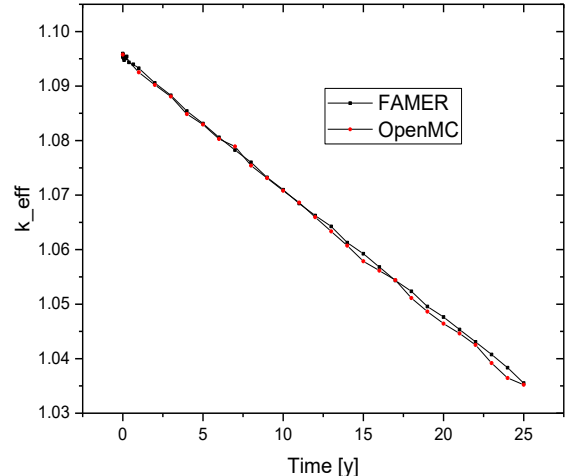
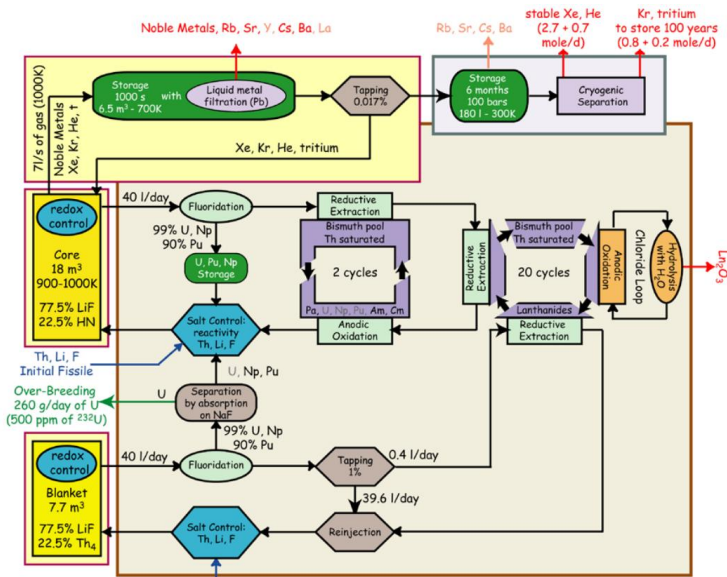


ex-vin-core	1[s]	2[s]	5[s]	10[s]	20[s]	50[s]	100[s]
1[s]	1.20106	1.20203	1.20301	1.2035	1.20381	1.20382	1.20408
2[s]	1.20068	1.20142	1.20243	1.20295	1.20356	1.2038	1.20389
5[s]	1.20017	1.20075	1.20159	1.20239	1.20312	1.20359	1.20381
10[s]	1.20011	1.20048	1.20121	1.20196	1.20264	1.20344	1.20368
20[s]	1.20011	1.2003	1.20119	1.2017	1.2024	1.20316	1.20354
50[s]	1.20017	1.20038	1.20092	1.20161	1.20214	1.20296	1.20341
100[s]	1.19987	1.2002	1.20093	1.20139	1.20237	1.20276	1.20326

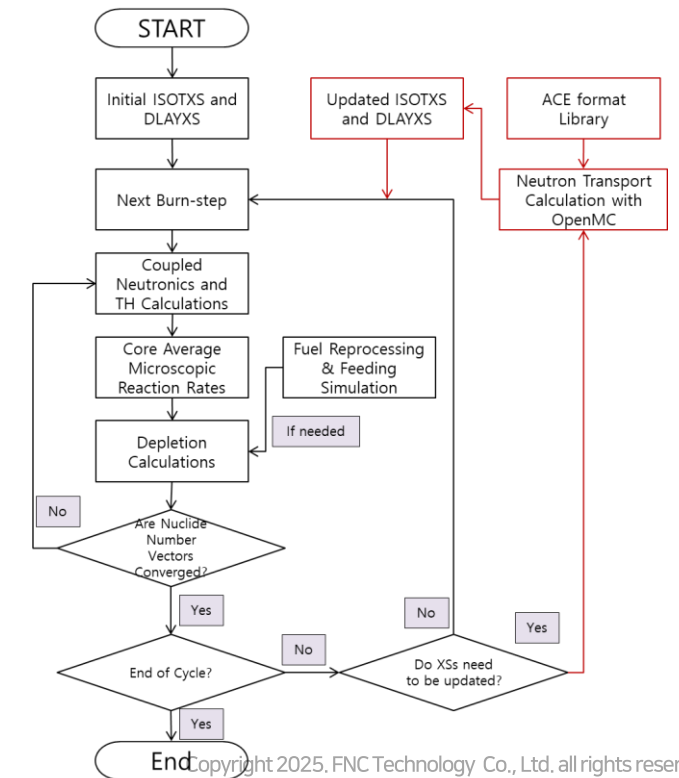
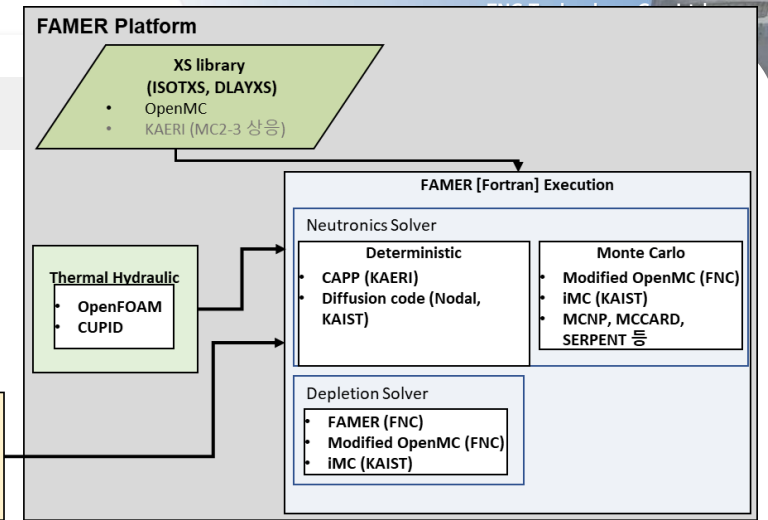
코드 개발 및 구축 현황 (3/5)

FAMER

- ▶ 포트란 기반 MSR 핵연료주기 해석용 전산코드 (자체 개발)
- ▶ 자유로운 핵종제거/핵종추가 (핵종명, 제거효율, 제거량 등을 기입)

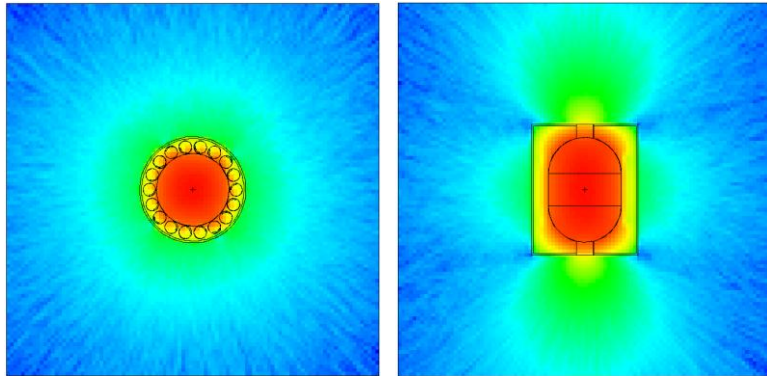


Strictly Private & Confidential

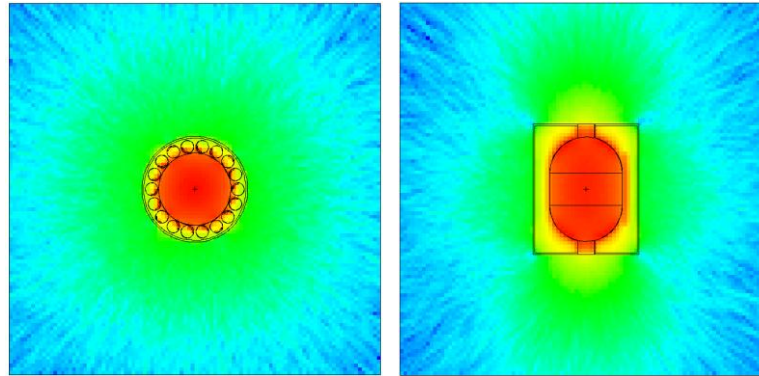


OpenMC_MSR/MCNP

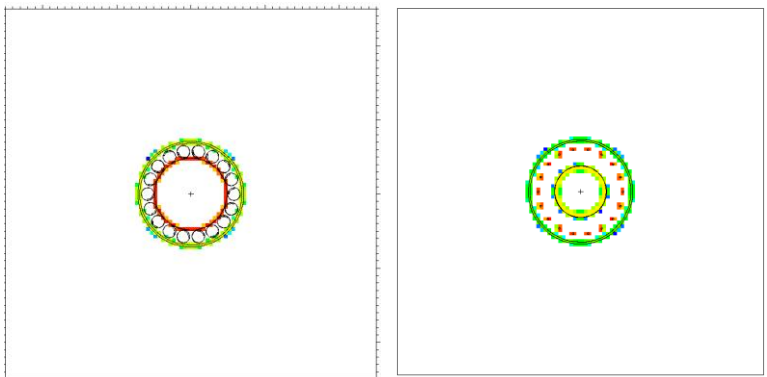
- ▶ 원자로 운영 중 Neutron Map/Gamma Map : MCNP 활용
- ▶ 기기 및 계통 방사화 : OpenMC 활용
- ▶ 기기 및 계통 방사화에 따른 Gamma Map : MCNP 활용



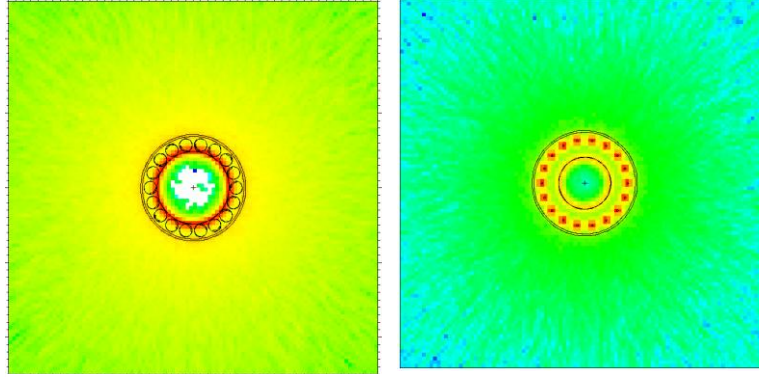
원자로 가동 중 중성자 메쉬맵 예시



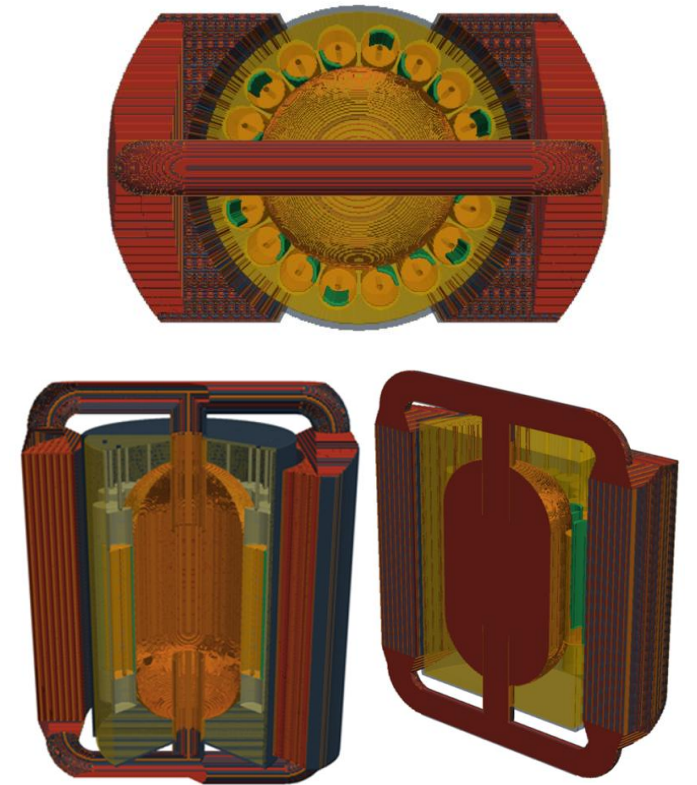
원자로 가동 중 감마 메쉬맵 예시



선원항 세기 및 위치 예시



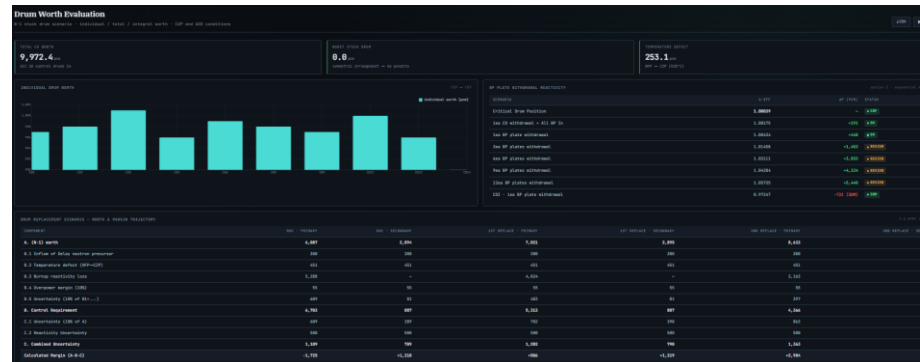
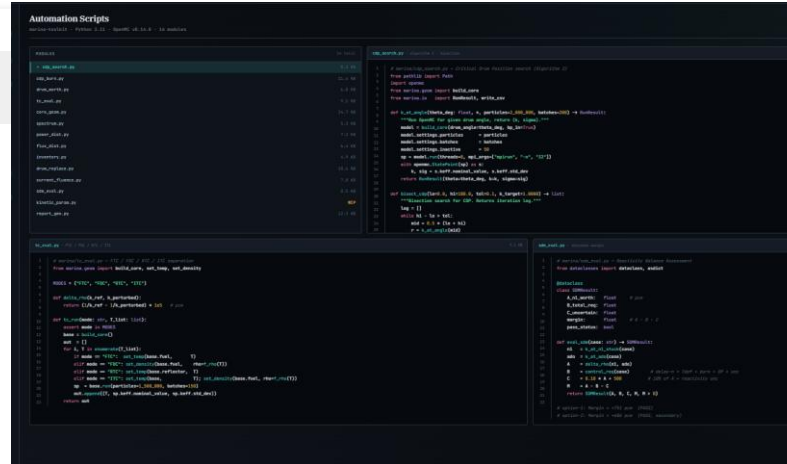
원자로 정지 후 감마 메쉬맵 예시

OpenMC_MSR 활용
기기별 선원항 평가를 위한 입력 예시

코드 개발 및 구축 현황 (5/5)

설계 지원 프로그램

- UI를 통한 OpenMC 입력변수 오류 저감
- 설계민감도 자동평가 체계
- 노심특성인자 평가(계산서) 자동 생산 체계
- 연계자료 자동 생산 체계
- 설계 및 운영최적화를 위한 지원 프로그램 개발
 - 임계위치 탐색 및 연소 평가 프로그램
 - 최적 드럼 교체시나리오 도출 프로그램



Job ID	Type	Start Time	End Time	Status
sim11_top_burn_001	CDP Search	01:14:02	02:14:11	Success
sim041_sim_eval	Simulation	08:21:49	08:48:33	Success
sim041_sim_eval	Simulation	07:31:08	07:32:03	Success
sim041_sim_eval	Simulation	06:40:11	06:50:12	Success
sim041_sim_eval	Simulation	06:07:44	06:23:04	Success
sim041_sim_eval	Simulation	04:11:33	04:42:18	Success
sim041_sim_eval	Simulation	2024-04-26	02:10:32	Success
sim041_sim_eval	Simulation	2024-04-26	02:02:09	Failure

노심 설계 대시보드

CDP: marlee-mar/ref-core-v3 - branch: to-plate-1226 - Last sync: 2024-04-27 09:14:53

SDR MARIE (PRIMARY)

+751 pcm

▲ 1,476 vs reference (-1,725)

SDR MARIE (SECONDARY)

+686 pcm

▲ 1.5 month, 2,309 pcm

CYCLE LENGTH

22.5 EPP

DP STATE: mARIE: 44 / 3.75 EPP

K-EFF @ CDP

1.00039

+23 pcm - CDP + 100.5°

REACTIVITY BALANCE ASSESSMENT

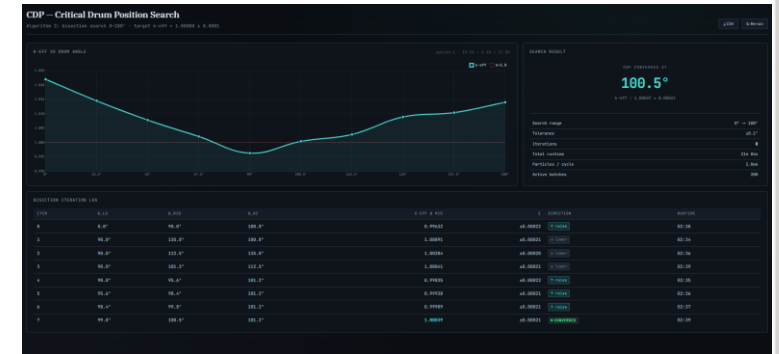
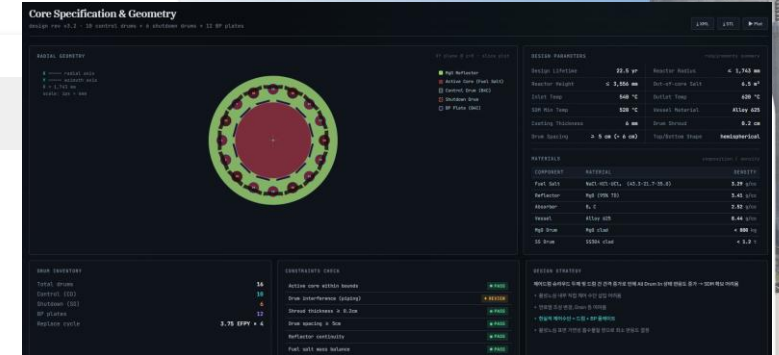
Reactivity Balance Assessment Summary

Condition	K-effective
MFP All Drums Out (Out)	0.8220 ± 0.0021
CDP All Drums Out (Out)	1.0649 ± 0.0020
MFP All Drums In	0.9747 ± 0.0021
MFP N-3 Stack Drive (CDP=0)	0.9794 ± 0.0023

- ✓ Total Control Drum Worth : 9,972.4 pcm
- ✓ Reactor Stack Drum Worth : 481.6 pcm
- ✓ Temperature Defect : 2,532.8 pcm
- ✓ N-3 Shutdown Margin : 2,532.8 pcm

Final Margin (A - B - C) : Primary +751 / Secondary +686

Strictly Private & Confidential



OpenMC UI launcher

OMC Launcher - New File

스크립트 생성 위치 : C:\Users\Wuser\Desktop\OpenMC 실행 script

Input Python Code | VAR Script | Cases

Case #1

SetStepWidth(#1)

Param No. #1

Criteria: 1

Interval: 1

Buttons: Init

Case #2

SetUC13MolFrac(#1)

Param No. #1

Criteria: 0.54

Interval: 0.01

Buttons: Init

Case #3

SetKCMolFrac(#1)

Param No. #1

Criteria: 0.46

Interval: -0.01

Buttons: Init

of Trial : 10

4

향후 계획

- ▶ 지속적인 MSR 노심해석 전산코드 개발 및 개선, 코드 체계 구축 완료

 - OpenMC_MSR/Thermochimica/FAMER 연계를 통한 연소 최적화 기능 구현 [KAERI, FNC 개발 중]
 - CAPP_MSR 개발 [KAERI 개발 중]
- ▶ 설계 효율화 지원 도구 개발 [FNC 개발 중]

 - 설계변경에 따른 설계절차 반영 계산서 자동 생산 등
- ▶ 설계 및 운영최적화를 위한 지원 도구 개발 [FNC 개발 중]

 - 계통-핵연료-안전-차폐분야에 대한 연계자료 생산
 - 위치별 Decay Heat 및 선원향 도출
 - 임계위치 탐색 및 연소 평가
 - 드럼 배치 및 운용 최적화 (최적화 엔진 연계)
 - 최적 드럼 교체시나리오 도출 (최적화 엔진 연계)
- ▶ SW 확인 및 검증보고서 작성

 - Validation을 위한 데이터 확보

Any Questions?



ABOUT



주|미래와도전
FNC Technology Co., Ltd.

📍 **본사**

16954 경기도 용인시 기흥구 흥덕1로 13, 32층 (영덕동, 흥덕아이티밸리 타워동)
[+82-31-8065-5114](tel:+82-31-8065-5114)

📍 **대전지사**

대전광역시 유성구 대덕대로 593, 10층 1004-1호 (도룡동, 대덕테크비즈센터)
[+82-42-867-5114](tel:+82-42-867-5114)

📍 **미래에너지기술연구소**

경기도 용인시 기흥구 탑실로 46, 미래에너지기술연구소
[+82-31-8005-5618](tel:+82-31-8005-5618)

설비개발연구센터

경기도 용인시 기흥구 탑실로 46, 미래에너지기술연구소
[+82-31-8065-5114](tel:+82-31-8065-5114)

📍 **UAE 아부다비지사**

Office 904, Capital Tower, Al Rawhah, PO Box 95133, Abu Dhabi, UAE
[+971-2-643-5144](tel:+971-2-643-5144)

📍 **미국 메릴랜드지사**

11140 Rockville Pike, Suite 380A, Rockville, MD 20852 USA
[+1-202-577-5537](tel:+1-202-577-5537)



THANK YOU



FNC TECHNOLOGY CO., LTD.

