

Korean Nuclear Society 2021 Autumn Meeting
Changwon, Korea, October 21-22, 2021, Online

Preliminary Multi-dimensional Analysis of Long Term Cooling Process following LBLOCA under Deformed Core Condition

Young Seok. Bang*, Deog Yeon Oh, Ilsuk Lee
k164bys@kins.re.kr

Korea Institute of Nuclear Safety

목차

- 배경 및 목적
- 코드 및 모델링
- 결과 및 토의
- 결론 및 향후 연구

배경 및 목적

□ 장기냉각(post-LOCA Long Term Cooling, LTC)

- 5가지 ECCS 성능 허용기준 중 하나
- Appendix K to 10 CFR 50
 - “After any calculated successful initial operation of the ECCS, the calculated core temperature shall be maintained at an acceptably low value and decay heat shall be removed for the extended period of time required by the long-lived radioactivity remaining in the core.”
- 구체적 허용기준
 - LOCA 후 붕산 석출 방지 (Boric Acid Precipitation, BAP) 및 붕산석출제한치(포화 붕산 농도)
- KHNP의 해석방법론
 - CENPD-254 → BORON → iLTC
 - Mixing volume 산정의 보수성 논의

배경 및 목적

□ 연소도를 고려한 장기냉각 해석 필요

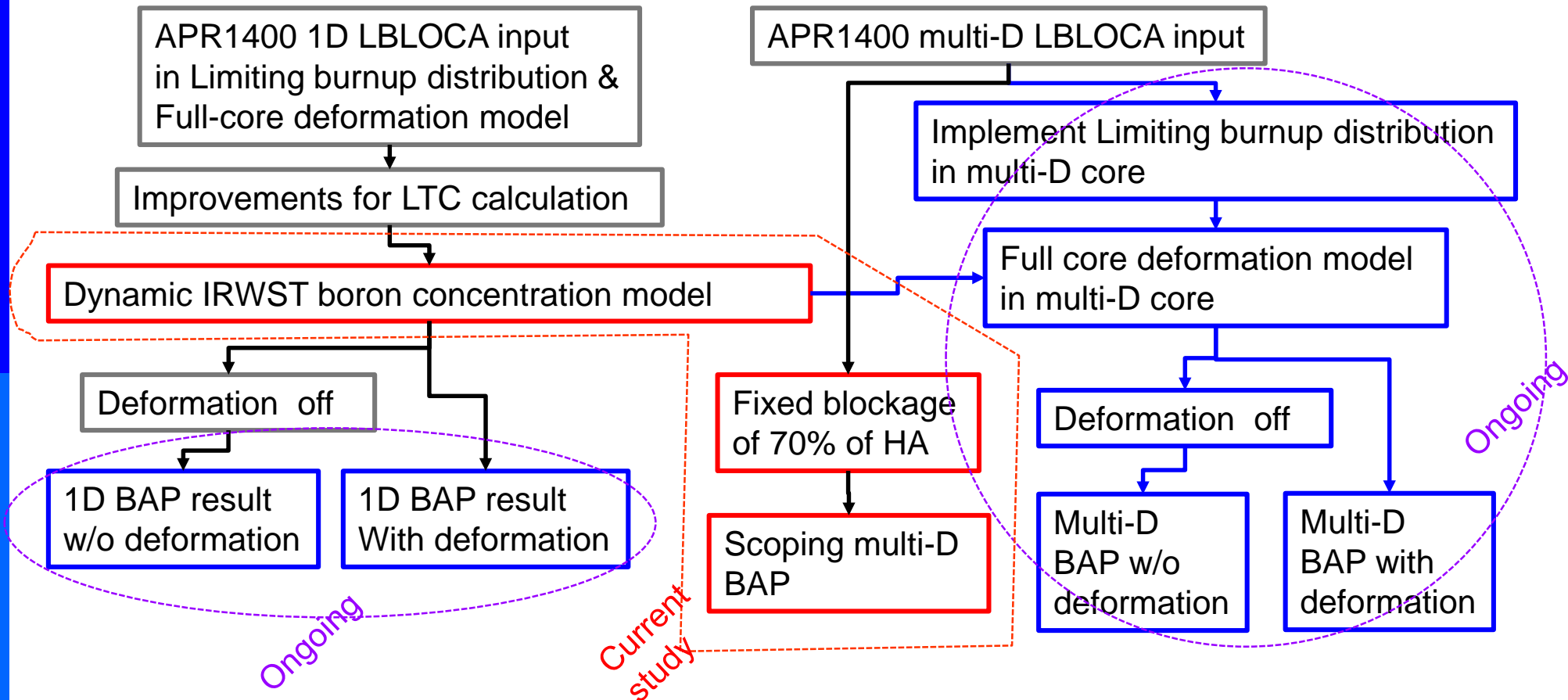
- 노심 연소도에 따른 펠렛의 열적/기계적 특성 변화, 피복재 팽창 및 파손에 의한 기하학적 형상 변화에 의한 영향 고려 필요
 - Local deformation을 고려한 노심의 다차원적 거동 가능성
 - 향후 규제입장 정립을 위한 독립적 검증해석 필요

□ 해석 목적 및 범위

- LBLOCA 개시에서 LTC 최종 상태까지 단일 해석
 - 최대 붕산농도 계산
 - 다차원적인 농도 분포 특성
- 민감도 평가를 통한 연소도 및 변형의 영향 평가
 - 1D와 multi-D 모델 차이
 - 연소도가 미치는 영향
 - 노심 변형이 미치는 영향

배경 및 목적

□ 연구 추진 방향



코드 및 모델링

□ 코드

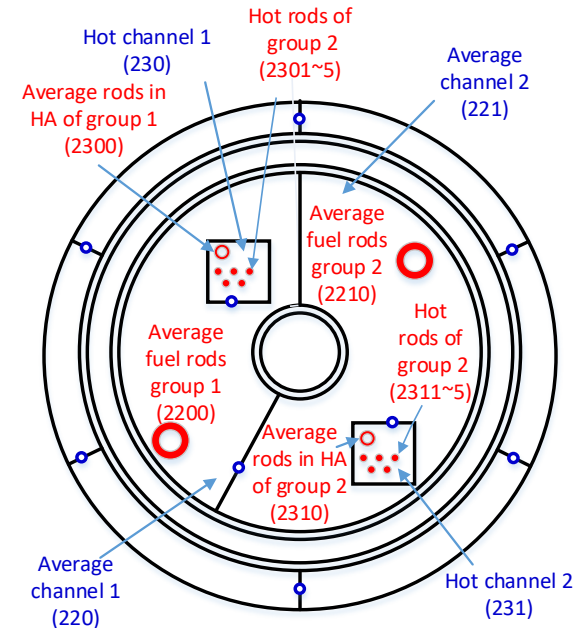
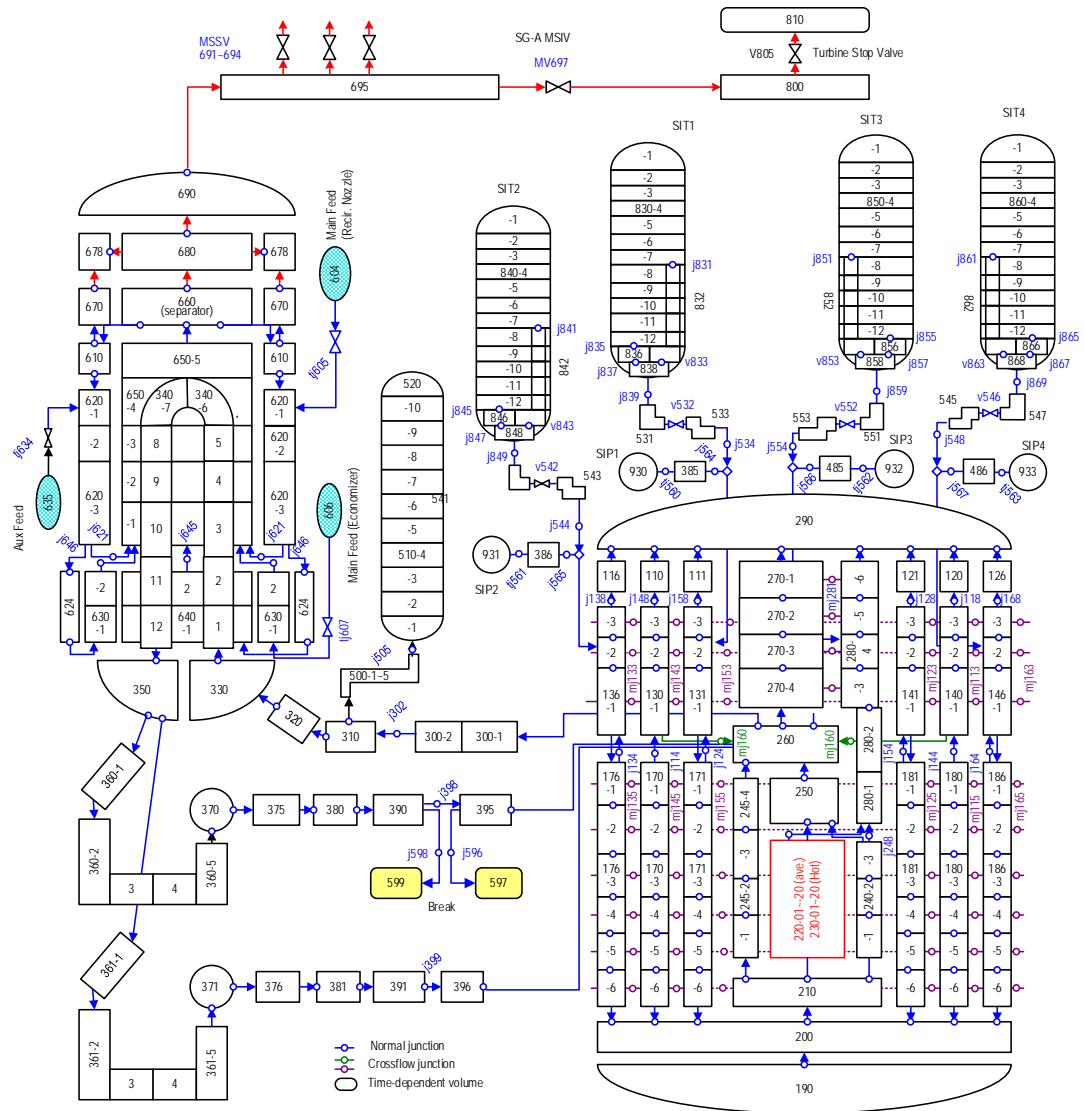
- MARS-KS 1.5

□ 모델링

■ 1D 모델

- 노심: ([Annals of Nuclear Energy, Vol. 134, pp 350-358, 2019](#))
 - 2 평균채널 및 2개의 고온 채널 (축방향 20 nodes)
 - 강수관: 원주방향 6 channels (축방향 6 nodes)
 - 핵연료집합체 및 연료봉: 32개의 Heat Structures (0~60 GWD/Mtu 연소도, 반경 방향 출력첨두계수 0.5~1.5)
 - 안전주입탱크 및 주입유로: 이중 pipe 모델, Standpipe-Fluidic Device 상호 작용, 질소 주입 등을 고려하는 동적 손실계수 모델 ([Annals of Nuclear Energy 112 \(2018\) 143–149](#))
 - 피복재 팽창 및 파열에 의한 노심변형 계산 모델 적용
- 계통 주요 부품 묘사: SG, Pzr, RCP, 고/저온관, SG 이차측, ECCS 등

코드 및 모델링



코드 및 모델링

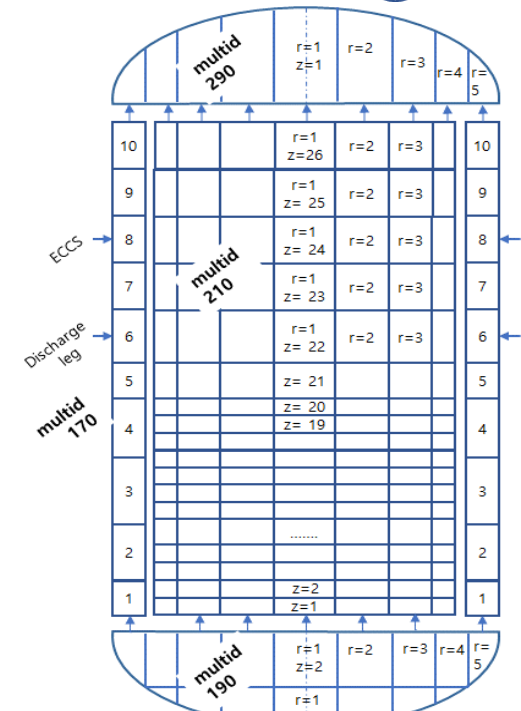
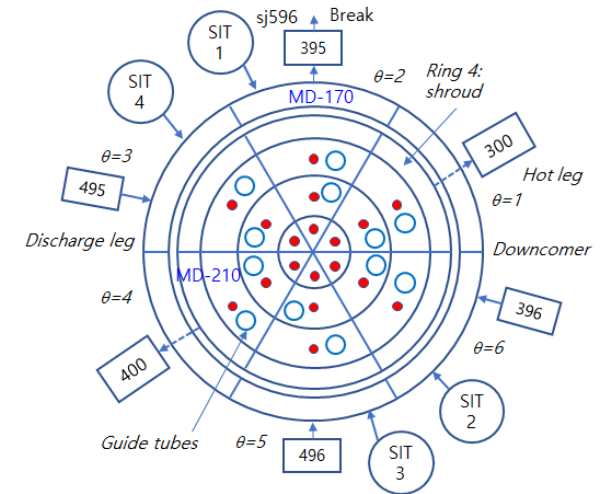
□ 모델링 (계속)

■ Multi-D 기본 모델

□ 기존 연구 결과 입력 적용*

* Y.S.Bang, Differences in LBLOCA Thermal-hydraulic Response Between 1D/3D Calculations, 2012 KNS Autumn Meeting, Gyeongju, Korea, October 25-26

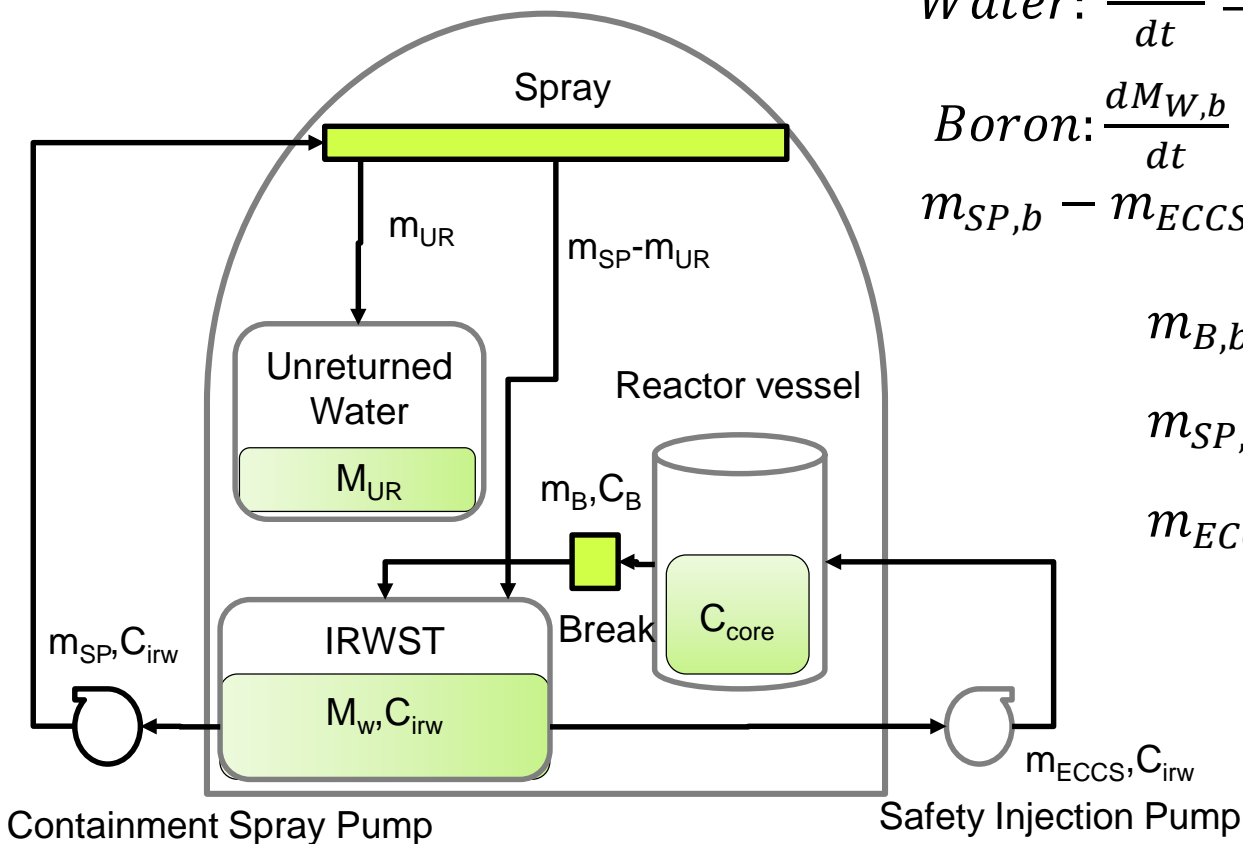
- Upper Head ($4 \times 6 \times 1$) ($N_r \times N_\theta \times N_z$)
- Downcomer ($1 \times 6 \times 10$)
- Lower Head ($4 \times 6 \times 2$)
- Core, UGS, CEA Shroud ($4 \times 6 \times 27$)
- Separated Guide Tubes
- Downcomer-to-Upper Head Flow Path
- Ring (1,1,1~20): Hot Assembly
- PLUS7 연료 (18 +1 Heat Structures)
- 붕괴열 모델: ANS73
- 기타 계통 모델은 1D case과 동일



코드 및 모델링

□ 모델링 (계속)

■ Dynamic IRWST boron concentration model



$$\text{Water: } \frac{dM_W}{dt} = m_B + (m_{SP} - m_{UR}) - m_{SP} - m_{ECCS}$$

$$\text{Boron: } \frac{dM_{W,b}}{dt} = m_{B,b} + (m_{SP,b} - m_{UR,b}) - m_{SP,b} - m_{ECCS,b}$$

$$m_{B,b} = \frac{C_B}{1 - C_B} m_B \quad (C_B: \text{from code})$$

$$m_{SP,b} = \frac{C_{irw}}{1 - C_{irw}} m_{SP}$$

$$m_{ECCS,b} = \frac{C_{irw}}{1 - C_{irw}} m_{ECCS}$$

코드 및 모델링

□ 모델링 (계속)

- Dynamic IRWST boron concentration model 의 미회수물량에 대한 근거 (신고리3,4 IRWST 집수조 성능평가보고서)
 - 원자로건물 대기중의 수증기량
 - 원자로건물 대기중의 물방울량
 - 안전주입계통 및 원자로건물살수계통 초기 총수량
 - 원자로건물내 구조적 정체물량 및 (EL. 100'-0" 이하 Inactive 수조 및 바닥 정체물량)
 - 원자로건물내 열침원 및 Miscellaneous 구조물 응축물량
 - 합계: 388,765 gal ($=M_{UR}$)

$$m_{UR} = m_{SPRAY}, \text{ if } time < t_{no-return}$$
$$= 0, \text{ if } time > t_{no-return}$$

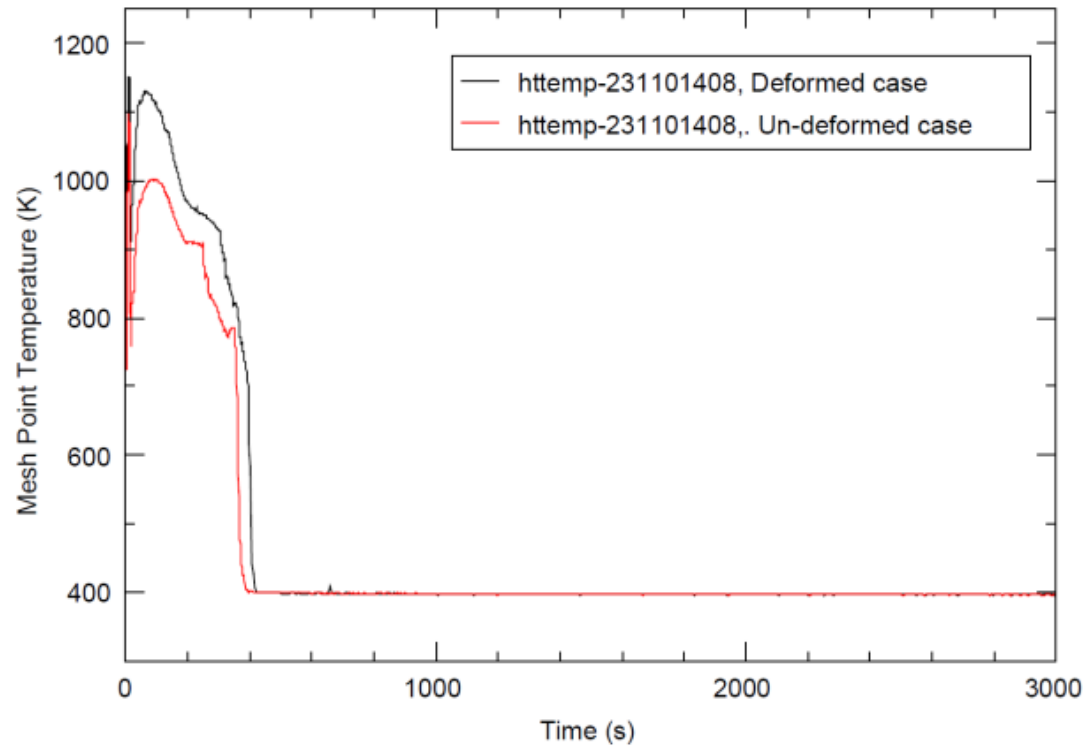
□

$$t_{no-return} = \frac{M_{UR}}{m_{SPRAY}}$$

결과 및 토의

□ 피복재 온도 비교

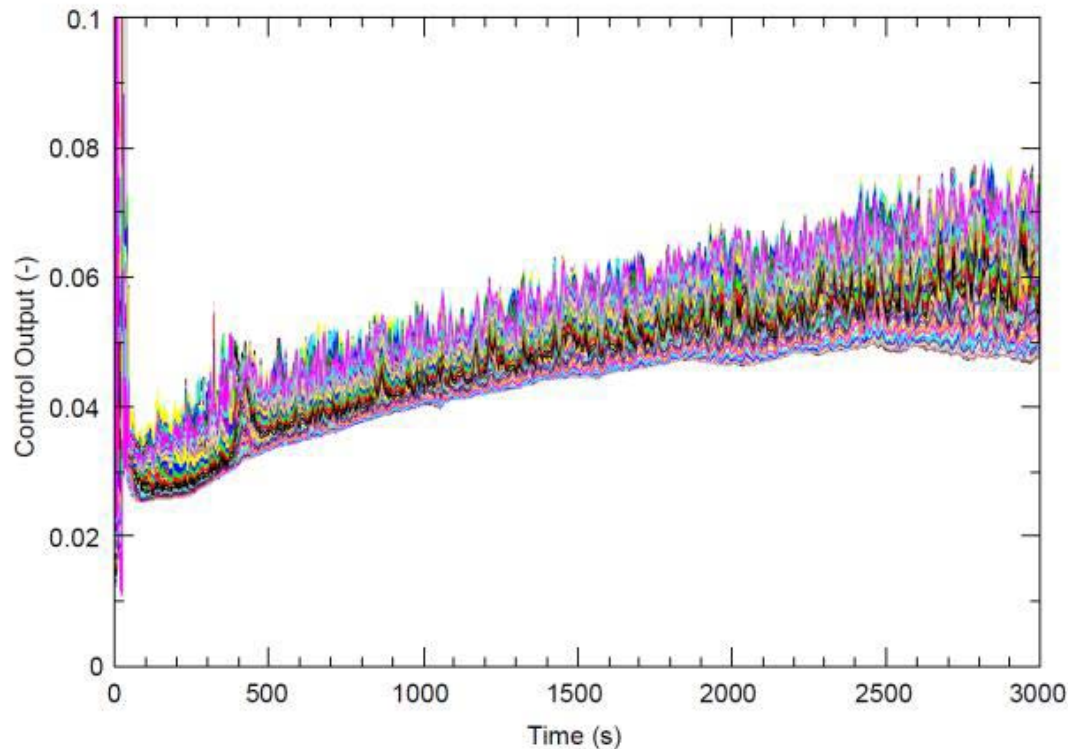
- Deformed case: 사고 개시부터 노심 유로막힘에 의한 PCT 증가 확인



결과 및 토의

□ 봉산농도 비교 (전체 노심의 상반부)

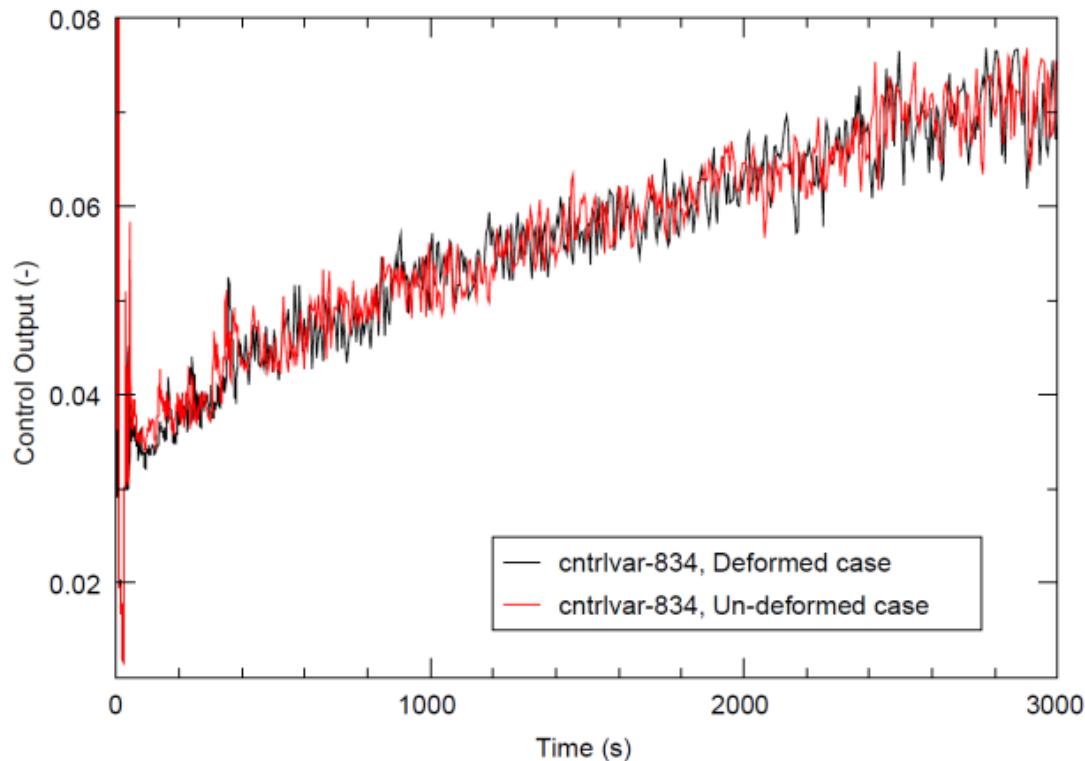
- Un-deformed case: 3000초까지 8 wt% 까지 증가 이후 점차 감소 (살수 유량 중 irwst로 귀환되는 회수 물량 증가)



결과 및 토의

□ 봉산농도 비교 (최대 농도)

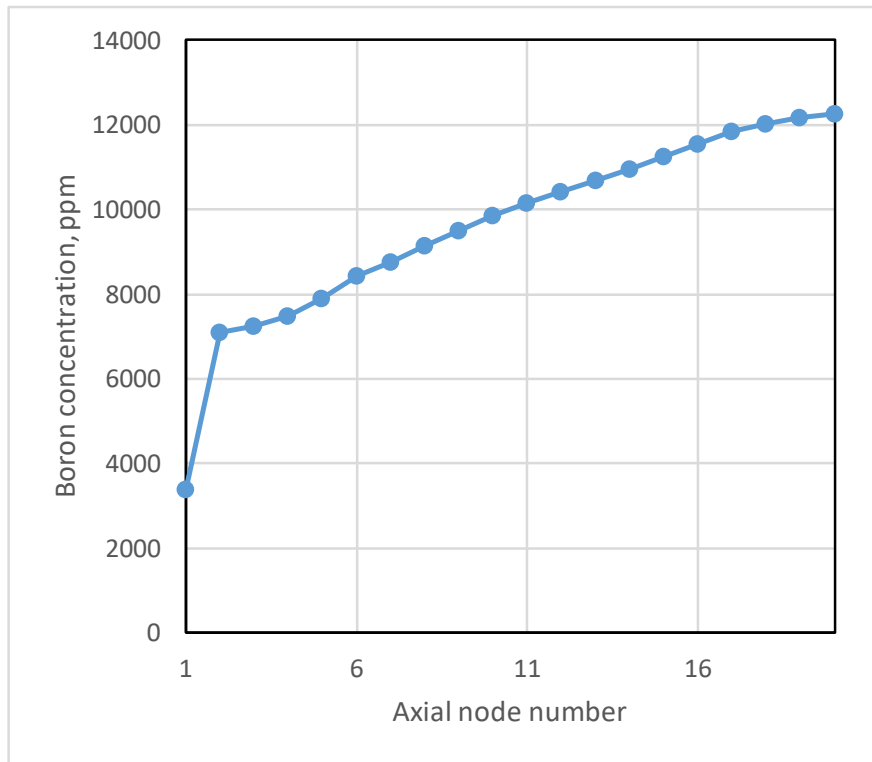
- Deformed case 가 사고 초기에 Un-deformed case 보다 약간 높으나 양자 간의 차이는 없음.



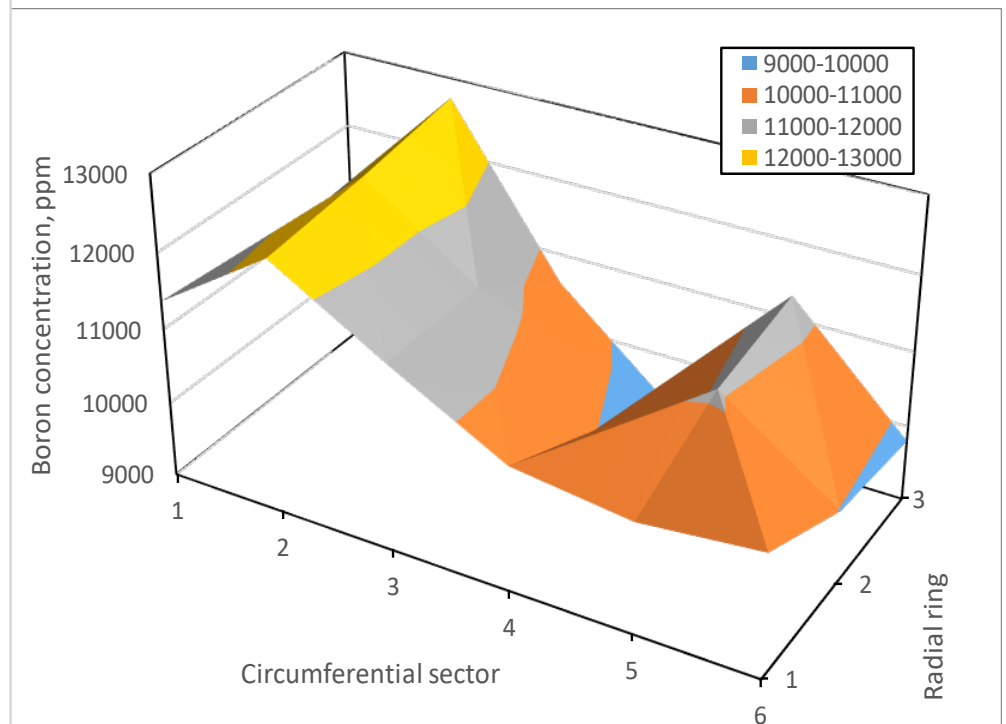
결과 및 토의

고온 채널의 붕산농도 분포 (@3370 sec)

- 노심 최상단부에서 최대 농도
- 반경방향 및 원주방향 분포에서 최대농도 및 경향 확인



@ r=1, $\theta=2$ channel



@18th axial plane

결론 및 향후 연구

□ 연소도를 고려한 LOCA 후 장기냉각 해석

- 전체 연구 계획의 중간 결과로서 post-LOCA LTC 봉산농도 다차원 분포 거동 및 최대농도 계산
- 파단유량, 살수유량, 귀환유량 등을 고려한 IRWST 봉산농도 동적 거동 모델 적용
- 현재까지의 연구 결과에 근거할 때 노심 국부 변형이 봉산농도에 미치는 영향은 매우 작음

□ 향후 연구 방향

- 제한적인 연소도 분포 및 노심 전체 변형 모델 적용 해석
- 1D 장기냉각 해석 결과 비교
- 장기냉각의 장시간 해석의 안정성 확보를 위한 개선