

An Analysis on DVI SBLOCA for BANDI-60

김정주, 서종태, 최한림, 허재영

2021.05.14



한국전력기술

■ 안전해석그룹 김정주



1

BANDI-60 개요

2

BANDI-60의 피동 안전계통

3

BANDI-60 DVI SBLOCA 분석

4

BANDI-60 DVI SBLOCA 분석 결과

5

결론



➤ BANDI-60

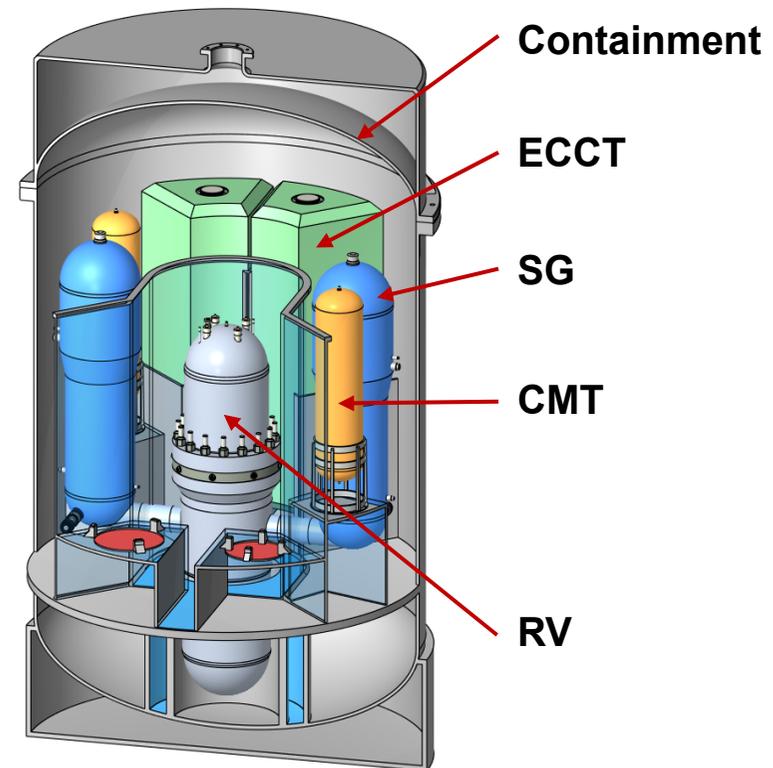
❖ 한국전력기술이 개발 중인 해양 부유식 SMR

❖ 주요 설계 특성

- 원자로 : 블록형 PWR
- 출력 : 200 MWt / 60 MWe
- 핵연료 : 17x17 봉형 UO₂
- 가압기 : 원자로 용기 일체형
- 증기발생기 : 재순환식 U-Tube형
- 냉각재펌프 : 캔드 모터 펌프
- 안전주입 : 피동 안전주입
- 노심손상빈도 : $<10^{-8}$ /년

❖ 개발 상태

- 개념설계 단계 : 성능/안전해석 진행 중





➤ BANDI-60의 혁신 설계

❖ LBLOCA 발생 배제

- 원자로 용기-증기발생기를 노즐 대 노즐로 용접

❖ 내장형 제어봉구동장치 (IV-CEDM)

- 제어봉 이탈사고 원천 배제

❖ 상부탑재형 노내계측계통 (TM-ICI)

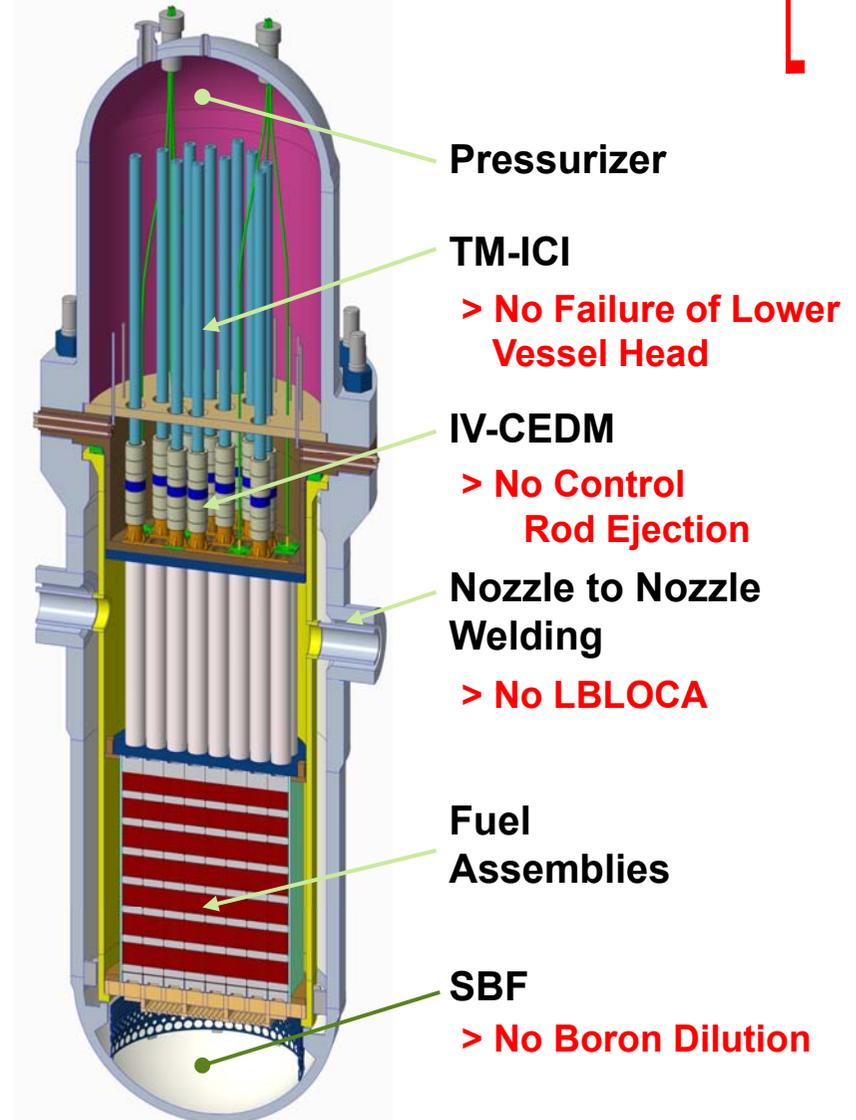
- 원자로용기 하부 파손 배제

❖ 무붕산 노심 설계 (SBF)

- 제어 : 제어봉집합체 & 가연성 흡수봉
- 붕산 주입/회수 설비 제거 계통 단순화
- 붕산 유발 부식 및 붕산희석사고 배제

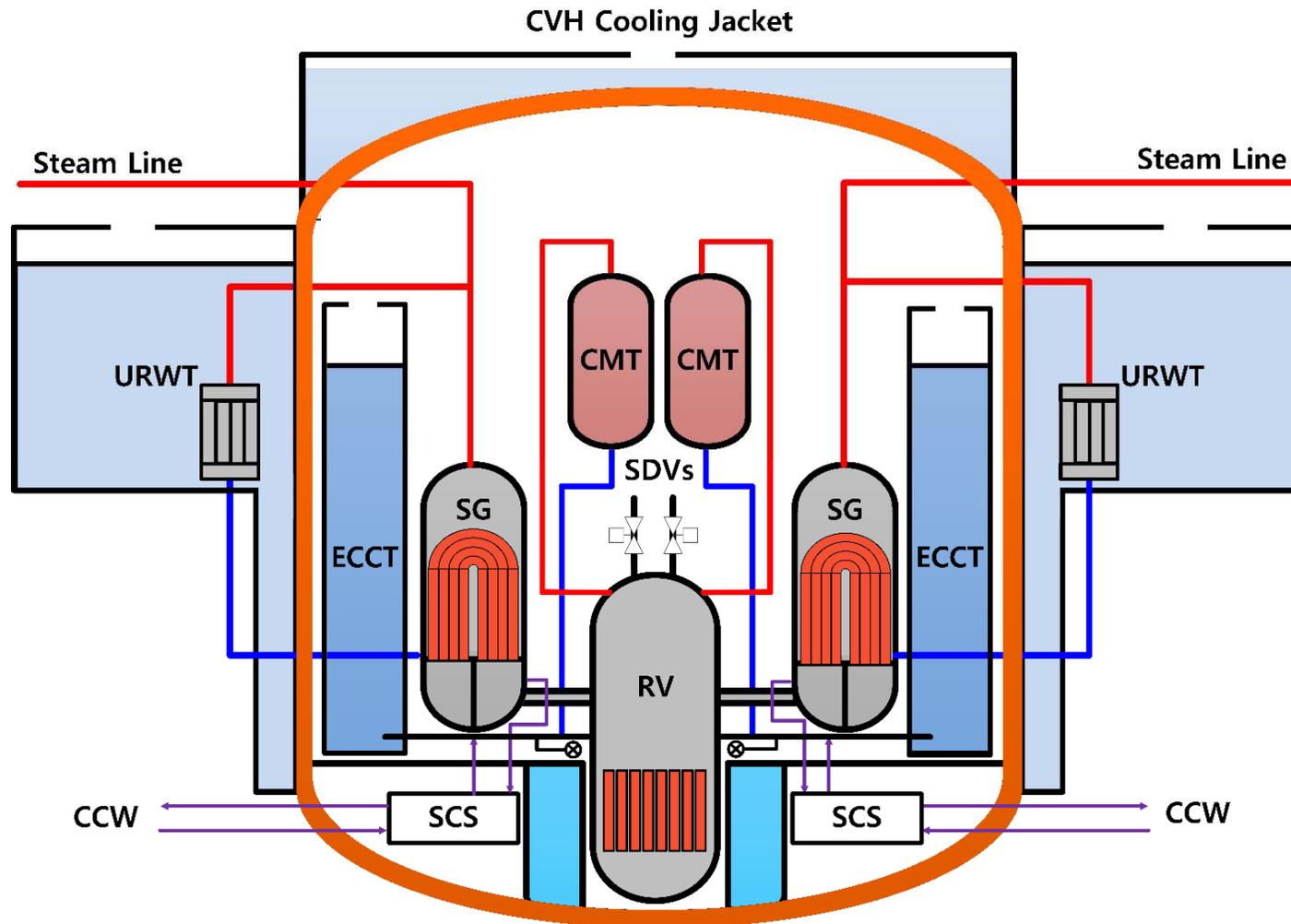
❖ 원자로용기 일체형 가압기

- 대용량 가압기 설계로 과도 현상 대처능력 향상
- 밀림관을 배제한 RCS 계통 단순화





➤ BANDI-60 피동 안전계통





➤ BANDI-60 피동 안전주입계통 (PSIS)

▪ PSIS : Passive Safety Injection System

❖ 노심보충탱크 (CMT, Core Makeup Tank)

- 평상시 PBL을 통하여 가압
- 사고 발생시 DVI 관을 통하여 일차적으로 주입
 - 가압기 저압/저수위 또는 격압용기 고압에 의한 작동

❖ 비상노심냉각탱크 (ECCT, Emergency Core Cooling Tank)

- 격압용기 내 대기압에 노출
- 노심보충탱크에 비해 큰 용량
- 노심보충탱크가 일정 수위 이하로 감소하면 DVI 관을 통해 주입

❖ 안전감압밸브(SDV, Safety Depressurization Valve)

- 가압기 상단에 연결된 감압 밸브
- 사고시 급속 감압을 수행하여 안전주입 촉진



➤ BANDI-60 피동 격납용기 냉각계통 (PCCS)

- PCCS : Passive Containment Cooling System

❖ 금속제 격납용기

- 격납용기 벽면을 통하여 격납용기 외부로 열 방출

❖ 최종열제거 및 재장전수조 (URWT, Ultimate heat sink & Refueling Water Tank)

- 격납용기 벽면 외부에 설치된 수조
 - 평상시 충수 상태
- 피동보조급수계통(PAFS)의 열침원
- 재충전 없이 1달 이상 격납용기를 냉각 가능한 용량

❖ 격납용기 헤드 냉각 재킷 (CVH, Containment Vessel Head cooling jacket)

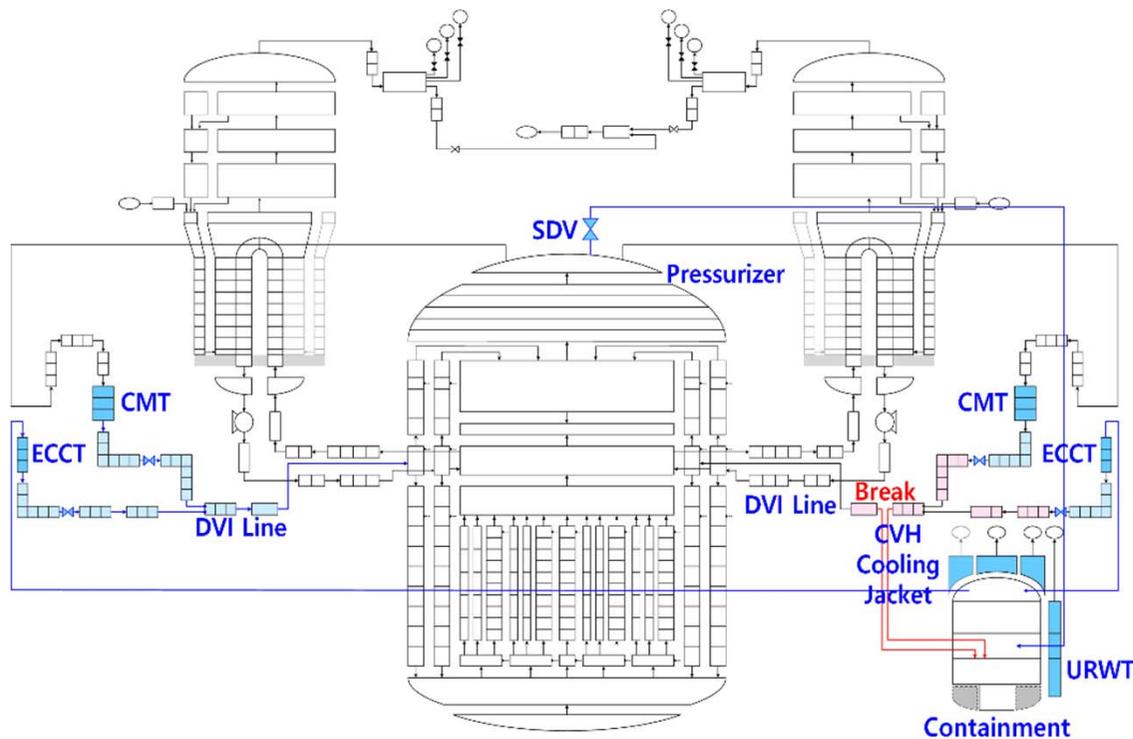
- 격납용기 상부 돔 외부에 설치된 수조
 - 평상시 충수 상태
- 격납용기 내부의 열 냉각



➤ 코드 입력 모델

❖ 코드 선정

- MARS KS 1.5
 - 코드 선정 고려사항 : 해상에서의 경사요동
- Nodalization





▶ 분석에 대한 가정들

❖ 파단부

- 2인치와 3인치 Guillotine 양단 파단

❖ 노심보충탱크(CMT) & 비상노심냉각탱크(ECCT)

- 파단측 CMT와 ECCT의 물은 격납용기로 방출

❖ 안전감압밸브(SDV)

- 두 개의 SDV 중 하나는 개방 실패로 인하여 하나만 개방
- SDV와 ECCT 격리밸브를 동시에 개방

❖ 피동잔열제거계통 (PRHRS)

- 분석에 사용하지 않음 (U-Tube 내의 냉각재가 빠르게 고갈됨)

❖ 사고 상황

- 원자로 정지와 함께 터빈정지, 소외전원 상실, 주급수 공급 차단, 주증기 격리 : 동시 발생

❖ 분석 종료 시점

- 격납용기 수위가 DVI 노즐 높이에 도달
 - ✓ 수위가 이보다 더 커지면 피동 격납용기 재순환 냉각이 장기냉각으로서 시작함



➤ 사건 경위

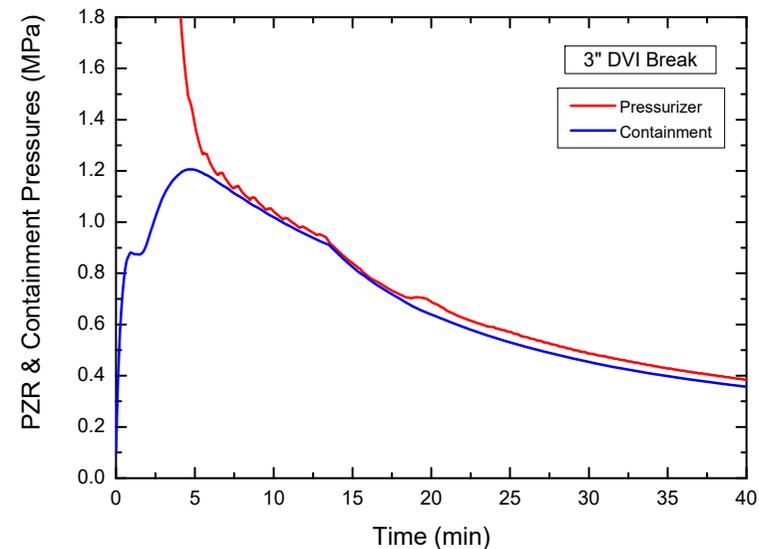
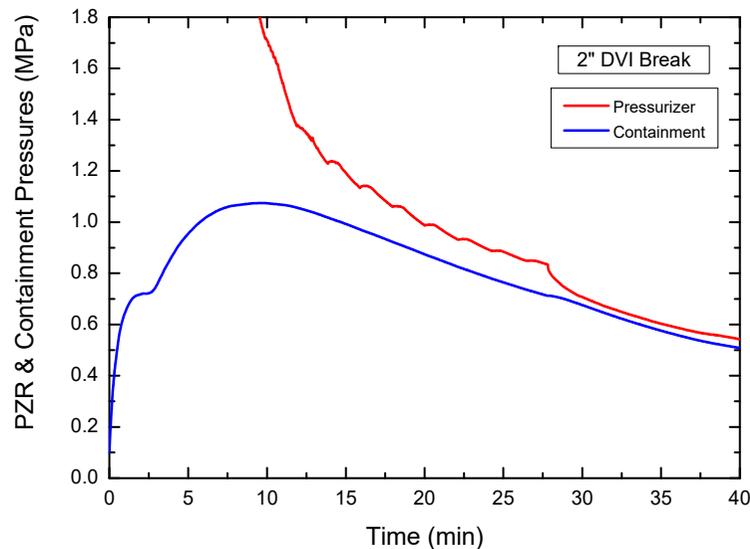
사 건	파단 후 시간	
	2" 파단	3" 파단
DVI 관 파단 발생	0.0 초	0.0 초
CMT 격리밸브 개방	12.0 초	5.4 초
격납용기 침두압력 도달	9.67 분	4.75 분
SDV와 ECCT 격리밸브 개방	27.8 분	13.4 분
건전측 CMT 고갈	43.7 분	22.5 분
피동 재순환운전 시작	11.1 시간	5.99 시간



➤ 사고시 거동

❖ 가압기 & 격납용기 압력 거동

- 가압기 압력은 지속적으로 감소
- 격납용기 압력은 증가하다 감소
 - 가압 원인 : 원자로계통냉각재의 급격한 방출
 - 감압 원인 : URWT와 CVH cooling jacket에 의한 열 제거량 증가
- 약 30분(2") 및 10분(3") 후 거의 비슷한 압력으로 준평형형 도달

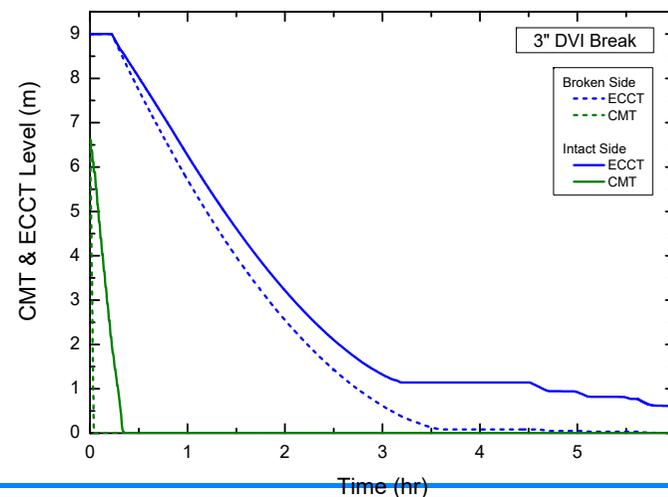
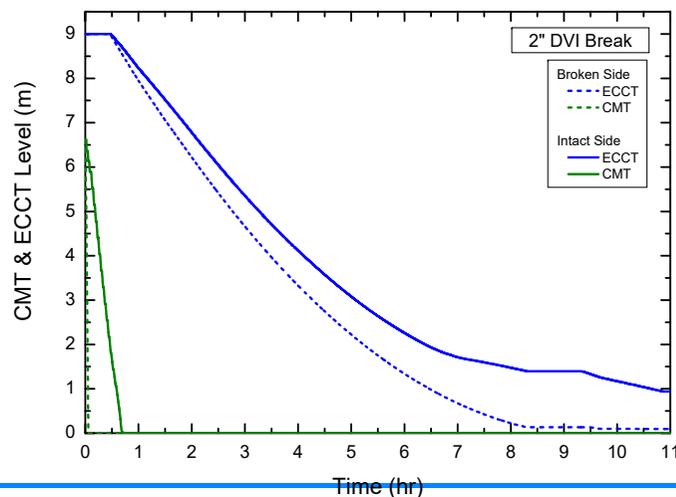




➤ 사고시 거동

❖ CMT, ECCT 및 SDV의 거동

- CMT
 - 급격한 일차계통 감압으로 인하여 사고 발생 후 거의 동시에 격리밸브 개방
- SDV
 - 2" 파단 : SDV 개방으로 인하여 RCS와 격납용기 간의 압력차 감소로 ECCT의 물 주입 촉진
 - 3" 파단 : 큰 파단크기로 인하여 SDV 개방시점에 이미 RCS와 격납용기 간의 압력차가 별로 없음
- ECCT
 - 장시간 동안 원자로냉각재계통으로 물 공급 수행 (2" 파단 : 8시간, 3" 파단 : 3시간)





➤ 사고시 거동

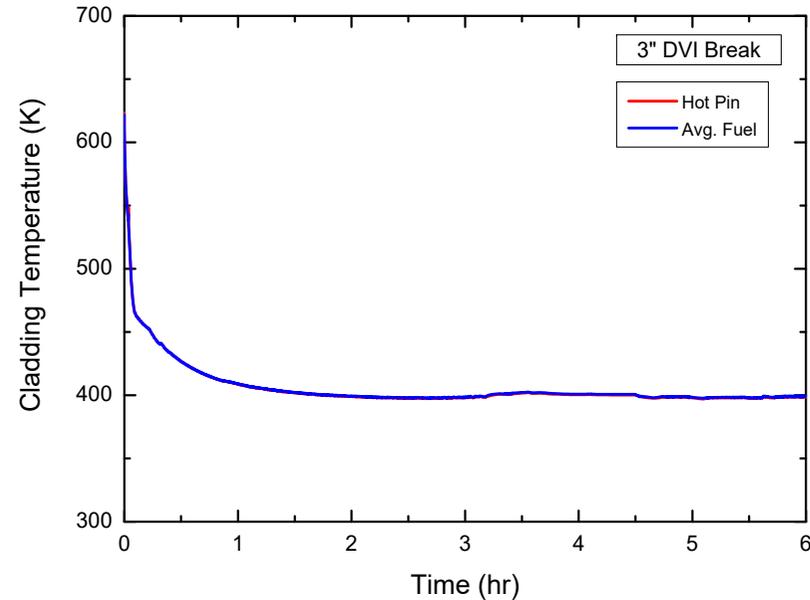
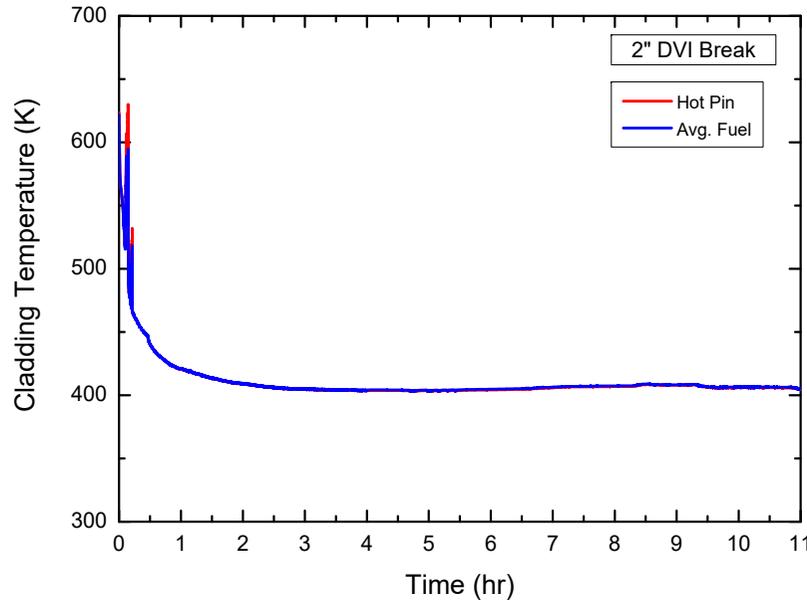
❖ 온도 거동

- 피복재 온도

- 성공적인 붕괴열 제거로 핵연료 손상이 발생하지 않음

- 파단크기에 의한 영향

- 2" 파단 : CMT 주입량이 불충분하여 초반에 피복재 온도 상승 발생
- 3" 파단 : 파단부 방출량이 많아도 충분한 CMT & ECCT 주입량으로 피복재 온도상승 억제

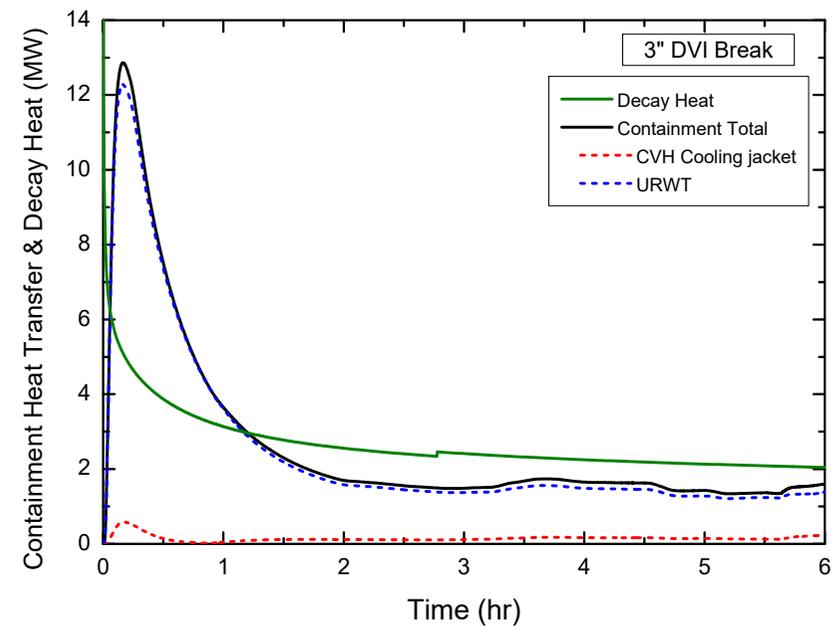
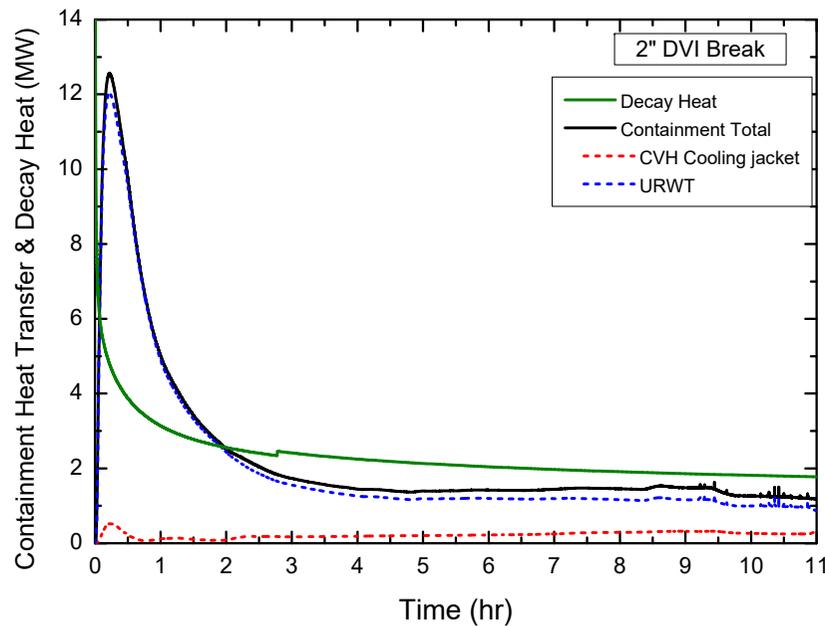




➤ 사고시 거동

❖ RCS 열 발생 vs. 격납용기 열 제거

- 재순환 운전 이전까지의 피동격납용기냉각계통(PCCS)에 의한 열 제거
 - URWT와 CVH cooling jacket를 통하여 RCS 열 발생량 보다 많은 열 제거 수행
 - URWT (옆 벽면)의 열 제거량이 CVH cooling jacket (상부 돔) 열 제거량 보다 훨씬 더 많음





➤ 결론

- 파단크기에 따른 영향
 - 파단 크기에 따라 파단부 방출량과 CMT & ECCT 주입량에 대한 경쟁관계 존재 확인
- 피동안전주입계통(PSIS) 평가
 - DVI SBLOCA에서 적절히 기능 수행
 - 노심손상 방지 확인
- 피동격납용기냉각계통(PCCS) 평가
 - 붕괴열과 RCS 현열을 재순환운전 진입 전까지 제거 가능

➤ 향후 계획

❖ BANDI-60의 설계진행에 따른 상세 해석 예정

- 개념설계 완료 및 설계 최적화를 위한 추가 해석
- 격납용기 거동 해석을 위한 SPACE-CAP 연계 해석
- 경사요동 해석을 위한 Nodalization 수정 및 경사요동 상황 하에서의 거동 분석