

VISTA ITL을 이용한 정지냉각계통(RCS) 흡입관 파단모의 시험

민병연, 박현식, 신용철, 최남현, 이성재

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045

bymin@kaeri.re.kr

1. 서론

SMART-330은 VISTA의 기준 원전인 SMART-P와 상이한 설계 특성을 가지고 있다. VISTA ITL의 SMART-330 대비 길이비 및 유량 면적비는 각각 1/2.77 및 472.9로 SMART-330에 대비한 기준 부피비는 1/1310이다. 기준 길이와 유동 단면적으로는 각각 노심-증기발생기 중심간 높이차 및 Active core의 유동 단면적을 채택하였다. VISTA ITL은 3단계 척도법[1]에 따라 축척되었다. VISTA-ITL 시험장치의 구성은 설정된 압력 및 온도 조건에서 열을 발생하는 일차계통, 운전조건에 따라 일차측의 열을 적절하게 제거하는 이차계통, 원자로 정지시 피동적인 자연순환을 이용하여 일차계통의 잔열을 제거하는 피동 잔열제거계통, 계통의 전반적인 운전 변수를 감시하고 자료를 수집하는 자료처리 및 보호 계통, 그 밖에 계통에 공급되는 전기, 공기, 냉각수 등을 공급하는 보조계통 증기 가압기, 안전주입계통, 피동잔열제거계통 보충탱크 및 관련 배관, 파단 모의를 위한 파단모의계통 및 파단유량측정계통으로 구성되어 있다. Fig. 1은 VISTA ITL의 개략도이다.

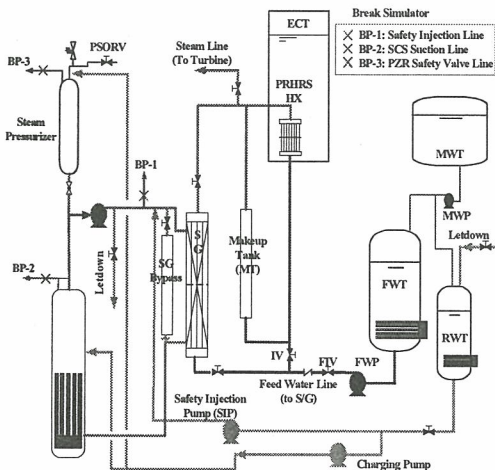


Fig. 1. Schematic diagram of VISTA-ITL facility

일체형원자로의 정상운전 및 과도상태에서 나타나는 물리적 현상에 대한 TASS/SMR-S 코드의 예측 능력에 대한 검증을 위해 열수력 종합효과 시험장치 (VISTA ITL)를 활용하여 다양한 파단 위치에서의 SBLOCA 모의시험을 수행하였다. SBLOCA 모의시험 중에서 정지냉각계통 흡입관 양단 파단을 모의하는 SB-SCS-01 시험은 VISTA ITL을 이용한 SBLOCA 검증시험 시험절차서[2]에 따라 수행되었다.

2. 본론

Table 1은 SBLOCA 모의실험 SB-SCS-01에서의 주요 사건 전개 과정이다.

Table 1. Major sequence of event for SB-SCS-01

Event	Set-point	Time after break (s)
Break occur	-	0
ReachLPPset-point	12.13 MPa	130
LPP reactor trip signal	LPP+0.66 s	
- FW Stop	-	131
-Pump Coastdown	-	131
Reactor Trip	LPP+0.96 s	132
PRHR actuation signal	LPP+1.32 s	132
PRHRS IV open	PRHRSAS+3.0 s	142
MSIV/FIV close	PRHRSAS+9.0 s	151
Safety injection signal	10.0 MPa	539
Safety injection start	SIAS+18.03 s	556

정지냉각계통 흡입관 양단 파단 발생 후 130 초 후에 가압기의 압력(PZ-PT-01)이 가압기 저압력(LPP) 정지 설정치 압력인 12.13 MPa에 도달하면 가압기 저압력에 의한 원자로 정지신호가 발생하였고, 급수유량은 131초에 공급이 중단되었고, 원자로 냉각재펌프는 131초부터 관성서행을 시작하였다. 노심 출력은 131 초부터 급격히 감소함을 보여주고 있으며, 피동잔열제거계통 작동신호(PRHRSAS)가 132 초에 발생되었다. PRHRS 격리밸브의 개방은 142 초에 이루어졌고, 급수관 및 주증기관 격리밸브의 폐쇄는 151초에 이루어졌다. 원자로용기의 압력(PZ-BPV-01)이 539 초에 10.0 MPa 이하로 감소되면서 안전주입 작동신호(SIAS)가 발생한다. 안전주

입 작동신호 발생 후 약 17 초 이후인 556 초에 안전주입이 시작된다. Fig.2는 원자로 냉각재 계통의 압력을 보여주고 있다. 정지냉각계통 흡입관 파단사고(SCS break)가 발생하면 정상상태의 가압기 압력(15.0 MPa)이 감소하기 시작하여 LPP에 의한 원자로 정지신호가 발생되면 소의전원이 상실사고가 발생되며, 급수 유량이 중단되고 원자로 냉각재 펌프는 관성서행을 시작한다. 정지냉각계통 흡입관 파단 사고 발생 후 130 초 뒤에 가압기 저압력 설정 값인 12.13 MPa에 도달하였으며, 이어서 가압기 저압력(LPP) 원자로 정지신호가 발생됨을 알 수 있다. LPP 신호 발생 후 압력이 11.3 MPa까지 감소한 후 다시 11.47 MPa까지 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 보여주고 있다.

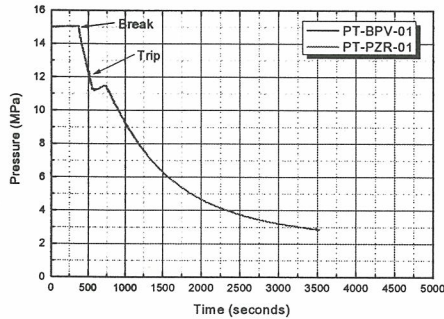


Fig. 2. Primary system pressure

Fig.3은 노심 입구의 원자로 냉각재 유량으로서 원자로냉각재펌프에 의해 정상상태 시 2.63 kg/s로 공급되고 있다. SCS break 발생 후 약 131 초 후(DAS 시간: 512 초)에 원자로냉각재계통 유량이 정상상태 값의 20% 이하로 급격히 감소하는 것을 보여준다. 시험시작 후 554 초에는 유량이 예측 가능한 유량 범위 이하로 낮아졌다.

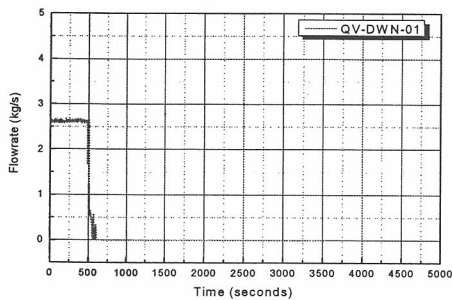


Fig. 3. Primary system flow rate

Fig.4는 원자로용기와 가압기의 수위 변화를 보여주고 있다. 노심을 포함하는 원자로용기 수위는 break 시점부터 조금씩 증가하다 펌프 Coastdown이 시작되는 시점(약 131초)에는 급격히 상승한다. 안전주입수가 주입(556 초)된 이후에도 수위는 감소하여 최소 수위 1.9 m까지 감소한 후 약 1450 초부터 회복이 시작되었다.

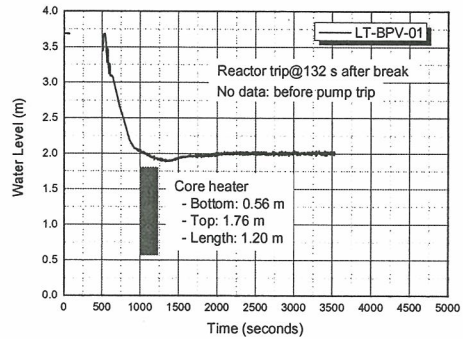


Fig. 4. Primary system water level

3. 결론

정상상태 조건은 실험요건서에 제시된 시험 초기 조건을 만족시키도록 운전되었으며, 노심 출력 및 안전주입 유량 등의 경계 조건도 적절히 모의되었다. 정지냉각계통 흡입관에서의 파단, 히터 트립 및 잔열폭선 인가, 급수 중단, 펌프 Coastdown, PRHRS의 작동, 안전주입수의 주입이 SBLOCA 시나리오에 따라 적절히 모의되었다. 파단유량이 적절히 측정되었으며, 일차계통 및 이차계통에서 압력의 재가압 현상이 일어났다. PRHRS 자연순환 유량은 이차계통 정적 유량 대비 최대 11.0%로 공급되어 안정적인 자연 순환 유동이 형성되었다. 정지냉각계통 흡입관 양단 파단에 대한 실험 결과는 SMART 원자로의 사고 모의 조건을 적절히 모의하는 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] Ishii, M. and Kataoka, I. 1983. Similarity Analysis and Scaling Criteria for LWRs Under Single Phase and Two-Phase Natural Circulation. NUREG/CR-3267, ANL-83-32, Argonne National Laboratory.
- [2] 박현식 외, VISTA ITL을 이용한 SBLOCA 검증시험 시험절차서, 751-TF440-001, 한국원자력연구원, 2010.