

ISAAC 2.0 전산코드의 감속재 주입 모델 평가

송용만, 박수용, 김희동

대전광역시 유성구 덕진동 150, 한국원자력연구소, ymsong@kaeri.re.kr

1. 개요

ISAAC 전산코드 개선 작업의 일부로서 중수로 고유 계통모델의 개발을 수행했다. 개발모델로는 ISAAC 1.0 코드 [1]에 모의되지 않은 칼랜드리아 탱크 (CT, 감속재 계통)의 감속재 (중수) 주입계통이 선정되었으며 이는 ISAAC 2.0 코드에 포함된다. 개발모델은 중수로 중대사고 관리전략의 일환인 “CT 내 냉각수 주입”에 필요한 계산표 (노심손상 이후 CT에 대한 감속재 공급율)를 작성하기 위한 보조도구 (Calculational Aid)로 이용될 예정이다. 이러한 노력을 통하여 2006년 초까지 중수로 원전에 대한 일반 사고관리 지침과 기술배경이 개발 완료되면 산업체 (한수원)에서는 이를 토대로 월성 1,2,3,4 호기에 대한 발전소 고유 사고관리 지침서를 작성할 계획으로 있다.

2. 분석방법 및 결과

2.1 분석경위

ISAAC 2.0 PC 베타판 [2]을 이용하여 월성 2/3/4 호기의 대형냉각재상실 참조사고에 대하여 개발한 CT 감속재 주입 모델을 분석하였다. 본 분석에 사용한 사고경위 제어 입력 (case deck) 및 발전소 기본입력 (parameter file)은 참고문헌 [3]을 참조하기 바란다.

감속재 주입량은 감속재 공급펌프의 능력 및 중수 공급탱크의 용량에 의해 결정된다. CT 주입 계통변수 [4]에 의하면 정상운전시 2대의 중수공급 탱크 (3811-TK3/TK4)로부터 1대의 펌프 (3811-P1)를 이용하여 평균유량 (= 6.0 L/초)으로 (high tritium 중수가) 주입되며, 비상시는 일차계통 (PHTS) 주입에 이용되는 2대의 중수공급 탱크 (3811-TK1/TK2)로부터 1대의 펌프 (3811-P2)를 이용하여 평균유량 (= 6.0 L/초)으로 (low tritium 중수가) 추가로 주입이 가능하다. 또한 2대의 펌프는 펌프특성 곡선을 참조하면 최대유량 (= 8.0 L/초)으로 주입이 가능하다. 따라서 펌프 1대 또는 2대 사용 경우의 정격유량 및 최대유량을 구분하여 아래의 4가지 경우에 대한 계산이 수행되었다.

- 경우 1: 감속재 주입 없음 = 0.0 L/초 (LO-S0)
- 경우 2: 펌프 1대(P1)+평균유량=6.0L/초 (LO-S6)
- 경우 3: 펌프 1대(P1)+최대유량=8.0L/초 (LO-S8)
- 경우 4: 펌프 2대(P1/P2)+최대유량 = 16.0 L/초 (LO-S16)

2.2 사고진행

참조사고는 대형냉각재상실사고 후 완전급수 상실을 포함한 극한의 조건 (bounding conditions)을 부여했다. 초기조건으로 원자로 출구모관 (Reactor Outlet Header)에서 대형파단 (=0.2594 m²)이 발생했고, 비상안전주입계통과 감속재 및 중단차폐체 냉각계통, 격납건물 살수계통, 그리고 국부공기 냉각기 등 대부분의 안전계통은 작동불능으로 가정하였다. 증기발생기의 주급수 계통은 원자로의 정지시점 (=0.87 초)까지 가동되나, 정지후에는 보조급수계통의 고장을 가정하여 완전급수상실을 가정하였다. 원자로의 정지시점은 FSAR에서 계산된 결과를 이용하여 0.87 초에 수동 정지하도록 했다. 그리고 1차 계통에서 발생하는 파단 사고의 경우 비상노심냉각 계통을 일찍 작동시키기 위해 증기발생기의 안전밸브 (MSSV)를 열어 증기발생기 이차측을 급속하게 냉각 (crash cooldown)시키도록 하고 있다. 이를 모의하기 위하여 LOCA 신호가 접수되고 30 초 후에 MSSV가 열리고, 계속 열린 상태를 유지하도록 하였다. 또한 LOCA 신호가 발생하면 가압기로 연결되어 있는 두 개의 폐회로는 가압기 격리 밸브를 잠금으로 서로 격리되도록 하였다. 이 사고의 경우, LOCA 신호는 1차 계통의 압력이 5.56 MPa 이하로 감소하는 3.3 초에 발생하며, 가압기 격리밸브는 약 23 초에

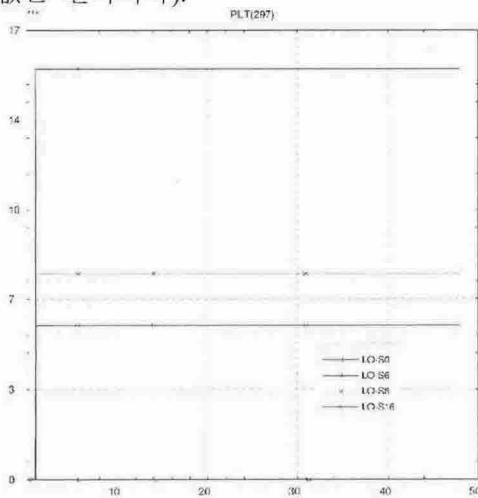
시간 (초)				사건
LO-S0	LO-S6	LO-S8	LO-S16	
				ROH에서 LOCA 발생 HPI/MPI/LPI 불능 감속재 및 중단차폐체 냉각계통 실패 주급수 실패, MSIV 달형 격납건물 살수 실패, 지역공기냉각기 실패
0.87				원자로정지, 보조급수 실패
2.4				SG MSSV 열림
20.7				Loop 1 노심노출 시작
3466				CT rupture disc fails
7922	7841	7838	7853	Loop 2 노심노출 시작
9041				Loop 1 압력관 손상
9061				Loop 2 압력관 손상
142894				CT 손상
172800 (= 48 hr)				계산 종료

닫히고, 약 33 초에 MSSV는 개방된다.

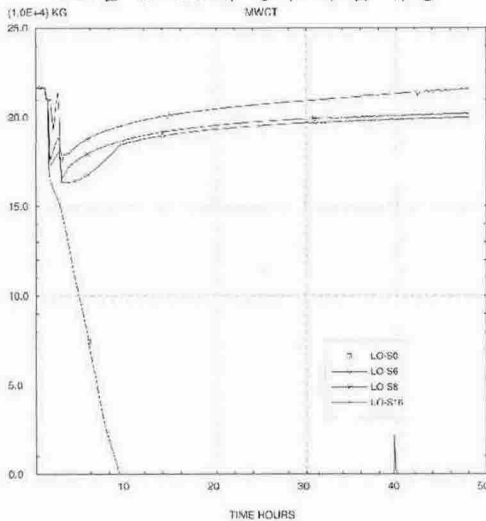
참조사고에 대한 주요 사고진행 시간은 <표 1>을 참조하면 된다.

<표 1> 대형냉각재 상실사고시 주요 진행사건
2.3 계산결과

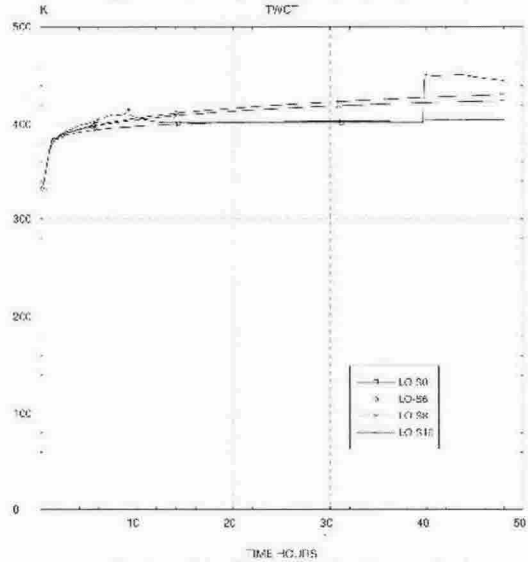
칼랜드리아 탱크 파손판 (rupture disk) 파손 직후 (= 3466 초)부터 중수공급펌프 1 대의 평균유량 (<그림 1> 참조) 및 에너지 (= 804 KJ/초)를 주입한 2 번 경우 (계산 경우중 최소량 주입 경우)에도 칼랜드리아 탱크의 감속재 수위가 회복되어 (<그림 2> 참조) 핵연료관의 손상 및 칼랜드리아 탱크의 손상이 방지됐다 (<표 1> 참조). 칼랜드리아 탱크의 감속재 온도도 주입유량에 따라 온도상승이 지연됨을 볼 수 있다 (<그림 3> 참조, 단, 감속재 주입이 없는 경우, 칼랜드리아 탱크내 냉각수가 고갈된 9 시간 이후의 (역전된) 온도변화 및 격납건물 파손시 증기이동에 따른 약 40 시간 근처의 피크는 별 의미없는 결과이다).



<그림 1> CT 내 중수 주입 유량



<그림 2> CT 내 감속재 수위 변화



<그림 3> CT 내 감속재 온도 변화

3. 결론

중수공급 시점/지속시간 및 다양한 사고경위등에 따른 추가적인 민감도 계산등이 필요하나 현 시점에서 중수공급을 이용한 중대사고관리 전략이 효과가 있다는 점은 증명되었다고 사료된다. 특히 칼랜드리아 탱크 파손판 파손 이후 핵연료관 노출이전에 중수공급이 가능하면 핵연료관의 파손을 방지할 수 있어 중대사고 관리에 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Dong-Ha Kim, Yong-Mann Song, "Development of Computer Code for Level 2 PSA of CANDU Plant", KAERI/RR-1573/95, December (1995).
- [2] Yong-Mann Song, ISAAC 2.0 Computer Code Modified by KAERI (Beta Version), July (2004).
- [3] Yong-Mann Song, Soo-Yong Park, "An Evaluation of Non-volatile Fission Product Core Release Models in Original and Upgrade ISAAC 2.0 Codes", KAERI/TR-2748/2004, April (2004).
- [4] Wolsong 2/3/4 Design Manual, "D₂O Supply System", 8624-38110/63811-DM-000 (Rev.1), February (1996).