

가압중수로 원전에서 중대사고 발생 징후 식별법 고찰

진영호, 박수용

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

yhjin@kaeri.re.kr

1. Introduction

원자력발전소에는 발전소에서 발생 가능한 다양한 사고들에 대처하기 위하여 각각의 사고 정도에 따라 여러가지 절차서를 구비하고 있고, 운전원들이 사고에 대처할 수 있도록 끊임없이 교육과 훈련을 실시하고 있다. 발전소에서 발생 가능한 사고중 가장 심각한 사고를 중대사고라고 부르며 다음과 같이 정의하고 있다; 중대사고란 원자력발전소의 설계기준 사고를 초과하는 원자로 노심의 손상을 수반하는 사고를 말한다.[1] 원자력발전소에서 중대사고가 발생하면 운전원들은 이때까지 사용하고 있던 비상운전절차서 사용을 중지하고 중대사고 관리지침서로 전환하게 된다. 가압중수로에서는 발전소의 여러 변수중 노심출구온도를 감시함으로써 중대사고가 발생한 것을 알 수 있다. 즉, 노심출구 온도가 650 °C 를 초과하면 중대사고가 발생한 것으로 간주한다.[2] 그러나 월성발전소와 같은 가압 중수로에는 노심이 수백개의 채널로 구성되어 있어 원자로 출구모관의 온도를 측정함으로써 중대사고 발생여부를 알 수 없다. 본 논문에서는 가압 중수로에서 중대사고가 발생했음을 주제어실에서 알 수 있는 발전소 변수가 무엇인지를 알아보았다.

2. 중대사고 해석

2.1 발전소 모델링

월성 원전에서의 중대사고를 모의하기 위하여 ISAAC 코드[3]를 사용하였다. PHTS 는 루프 1 과 루프 2 로 구성하였으며, 각 루프는 190 개의 노심채널과 2 대의 증기발생기를 갖고 있다. 190 개의 노심채널은 수직방향으로 6 개의 채널 그룹으로 나누었으며, 각 채널 그룹은 수평방향으로 12 개의 노드로 나누었다. 감속재계통은 감속재가 들어있는 칼랜드리아 용기, 감속재펌프 및 열교환기로 모의하였으며, 중단차폐계통은 중단차폐체, 중단 차폐냉각펌프 및 열교환기, 그리고 원자로실 (calandria vault)로 구성하였다. 원자로건물내에서 열수력거동 및 핵분열생성물 거동을 모의하기 위하여 원자로건물 내부를 핵연료교환기실, 감속재실, 베이스먼트, 상부 돔, 다우징 탱크, degasser

condenser tank, 증기발생기실, access room 등으로 나누었다.

2.2 분석 사고

중대사고시 발전소에서 거동은 초기사건에 따라 달라질 수 있기 때문에 여러가지 사건들을 초기 사건으로 선정하여 분석을 수행하였다; 저압사고를 모의하기 위하여 대형냉각재상실사고를, 중압사고를 모의하기 위하여 소형냉각재상실사고를, 고압사고를 모의하기 위하여 급수상실사고와 발전소 정전사고를 선정하였다.

대형냉각재상실사고는 원자로출구헤드가 100% 파단되는 것으로 하였으며, 원자로 정지는 0.87 초에 일어나는 것으로 가정하였다. 노심 손상을 일으키기 위하여 비상노심주입과 감속재계통 냉각은 되지 않는 것으로 가정하였다. 증기발생기를 사용한 급속 냉각과 살수는 되는 것으로 가정하였고, 중단 차폐계통은 작동하지 않는 것으로 모의하였다.

소형냉각재상실사고는 원자로입구헤드가 15% 파단되는 것으로 하였으며, 원자로 정지는 8.0 초에 일어나는 것으로 가정하였다. 대형냉각재상실사고와 마찬가지로 노심 손상을 일으키기 위하여 비상노심주입과 감속재계통 냉각은 되지 않는 것으로 가정하였다. 증기발생기를 사용한 급속 냉각과 살수는 되는 것으로 가정하였고, 중단차폐계통은 작동하지 않는 것으로 모의하였다.

급수상실사고는 주급수 및 보조급수 모두가 공급되지 않는 것으로 하고, 비상노심주입과 감속재 계통 냉각은 되지 않는 것으로 가정하였다. 살수도 되는 않는 것으로 가정하였으나, 중단차폐계통은 작동하는 것으로 모의하였다. 발전소 정전사고는 급수상실사고와 비슷하나 중단차폐계통과 지역공기 냉각기가 작동하지 않는다.

3. 계산 결과 및 결론

가압중수로에서 중대사고는 둘 이상의 노심채널이 손상되는 것으로 정의하였다.[4] 둘 이상의 노심채널이 손상되려면 사고시 비상노심냉각계통이 작동하지 않아야 하며 이와 동시에 감속재계통의 냉각도 되지 않아야 한다. 이렇게 되면 노심에서 발생한 잔열은 감속재의

온도를 올리고, 감속재 온도가 상승하여 비등이 일어나게 되면 노심채널은 노출되게 된다. 노심채널이 노출상태로 있으면 노심채널의 온도가 상승하며, 이윽고 노심채널이 용융되어 아래로 흘러내리게 된다. 초기사건 및 주요 계통 작동 유무에 따라 노심채널 용융 시점은 많은 차이를 보이지만, 몇몇 변수들의 거동은 초기사건이 달라도 비슷한 경향을 보이며 특히 노심용융이 일어날 때 갖는 값은 매우 비슷하다.

대형냉각재상실사고 경우 노심채널 용융은 그림 1 에서 알 수 있듯이 약 2 시간 정도에 일어나게 된다. 그림 1 에는 PHTS 의 온도와 칼렌드리아 바닥에 쌓인 코륨양을, 그림 2 에는 칼렌드리아 수위 및 온도를, 그림 3 에는 원자로실 수위 및 온도를 도시하였다. 칼렌드리아 수위는 칼렌드리아 용기 제일 낮은 부분에서부터 켜 수위이다. 그림들에서부터 알 수 있듯이 노심용융이 일어나는 시점을 가장 잘 알 수 있는 변수는 칼렌드리아 수위 및 온도이다. 가압경수로의 노심출구온도에 해당하는 원자로 출구헤드 온도도 노심용융 시점을 알려줄 수 있는 주요 변수 중 하나라고 생각되나 ISAAC 코드의 한계로 인하여 원자로출구헤드 온도를 계산할 수 없어 확인을 할 수 없었다. 본 계산에서는 190 개의 노심채널을 6 개 그룹으로 나누었기 때문에 1 그룹에 30-40 개의 노심채널이 할당되었고, 이 채널들이 모두 같은 거동을 보인다고 가정하였다. 보다 정확한 노심채널 용융 시점을 알기 위해서는 노심채널을 본 계산에 사용한 것처럼 6 개 그룹으로 나누지 말고 보다 많은 그룹으로 나눌 필요가 있다.

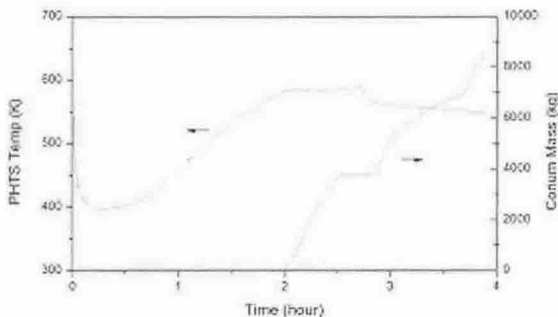


그림 1. PHTS 온도 및 칼렌드리아 바닥에 쌓인 코륨양

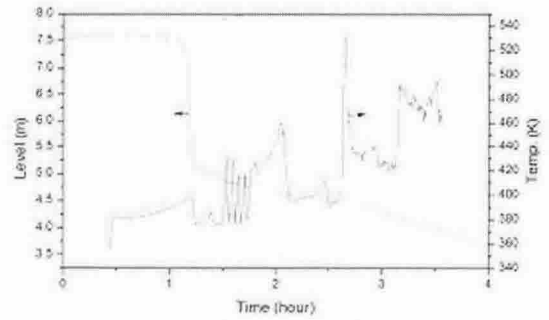


그림 2. 칼렌드리아 수위 및 온도

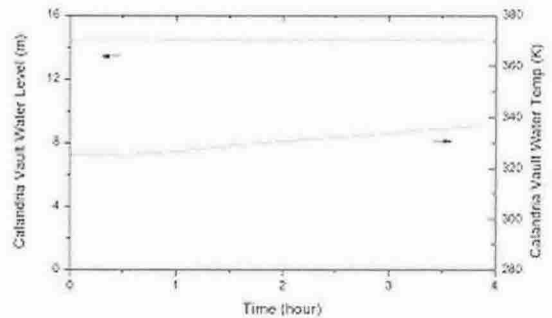


그림 3. 원자로실 수위 및 온도

참고문헌

- [1] 원자력발전소 중대사고 정책, 과학기술부, 2001
- [2] 한국표준원전 중대사고지침서 개발, KAERI/RR-1939/98, 과학기술부, 1999
- [3] 가압 중수로형 원자력발전소의 2 단계 PSA 를 위한 전산코드 개발, KAERI/RR-1573/95, 한국원자력 연구소, 1995
- [4] 가압중수로 원전 2 단계 확률론적 안전성 평가, TR.93HJ10.97-2, 한국전력공사, 1997