`2003 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

# 월성발전소의 소형 냉각재 상실사고에서의 국부공기냉각기와 격납건물 살수의 영향

# Effect of the Local Air Coolers and Dousing Spray during a Small LOCA at the Wolsong Plants

김시달, 김동하, 박수용
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

## 요약

월성발전소의 소형 냉각재 상실사고에서의 격납건물 에너지 억제 계통의 영향을 평가하였다. 공기냉각기가 작동시 격납건물의 건전성은 유지됨을 알 수 있었으며, 국부공기냉각기가 미가동시 격납건물살수 계통이 가용하면 격납건물 파손 시간을 약 11시간 정도 지연 시킨다. 공기냉각기가 가동시 격납건물의 CsI양의 비율이 공기냉각기가 없을 때와 비교하여 7% 높아지지만, 격납건물에서 대기로 방출되는 CsI양의 비율은 크게 변화가 없음을 보여준다. 공기냉각기가 미가동시, 격납건물살수 계통이 격납건물 내부에 잔존하는 CsI양과 격납건물에서 대기로 방출되는 CsI양에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 현재의 ISAAC에서는 두 장소에만 공기 냉각기를 설치할 수 있도록 되어있는데 더 많은 장소에 설치할 수 있도록 모델 보완의 필요성이 확인되었다.

## Abstract

It was found that local air coolers (LAC) could control containment pressure whether dousing spray is operating or not. For a small LOCA sequence without LAC, it was spraying only for 4.7 hours and the containment failure timing was delayed by 11 hours compared to the no spray case. As the LAC may accelerate the atmosphere flow in the containment, more deposition and agglomeration of fission products are expected to occur than the case of no LAC. ISAAC estimates that about 7% of CsI initial mass increases in containment. By the way, there was not much difference of CsI release rate from containment to atmosphere. The spray was not found to be effective to remove the airborne CsI from the containment. At present, ISAAC could model LAC only at two locations. Future work is planning to generalize the locations of LAC in the code.

## 1. 서론

중수로형 (PHWR)인 월성 발전소는, 격납건물 압력을 낮추기 위해 격납건물 열 제거 계통으로 국부공기냉각기 (local air cooler, LAC)와 격납건물살수계통 (Containment Dousing Spray System)이 설계되어 있으며, 이들은 안전등급으로 고려되어 있다. 이 두 계통은 격납건물의 안전성을 확보하는데 필요한 안전계통으로, 특히 격납건물의 설계압력이 PWR보다 상대적으로 낮은 CANDU 원전의 경우 그 중요성은 더더욱 크다. 본 논문은 월성발전소의 소형 냉각재 상실사고를 대상으로 장기간의 열침원인 국부공기냉각기와 단기간의 열침원인 격납건물 살수 계통의 영향을 열수력 및 핵분열 생성물 관점에서 평가하였다.

사고 해석을 위하여 CANDU형 원전에 대한 중대사고 해석 코드인 ISAAC (Integrated Severe Accident Analysis Code for CANDU Plant)[1]을 이용하였다. 월성 원전은 PWR에 비해 감속재 (moderator)나 calandria vault water 와 같은 inherent heat sink가 많아서 노심 열 제거에 유리하지만, 또 한편으로는 이러한 냉각수로부터 생성되는 증기는 격납건물 압력 증가의 원인이 되고, 격납건물 설계 파손 압력이 PWR 보다 낮아 격납건물의 건전성이 쉽게 위협 받는다. 따라서 월성 원전의 경우 격납건물의 압력제어가 PWR 경우보다 더 중요하며, 격납건물 열 제거 계통인 LAC와 격납건물살수계통의 영향평가는 격납건물 건전성 확보에 꼭 필요한 내용이다.

## 2. 격납건물 열 제거 계통

격납건물 열 제거 계통[2]으로는 장기 열 제거 계통인 국부공기냉각기와 단기 열 제거 계통인 격납건물 살수 계통이 있으며, 각 계통의 설명은 아래에 기술했다.

### 2.1 국부공기냉각기 (LOCAL AIR COOLER, LAC)

원자로 건물 내에서 발생되는 열 부하는 배기계통 운전만으로는 내부냉각이 불충분하므로 공기-물 열교환기인 국부공기 냉각기로 강제 공기순환을 시켜서 건물이나 실내의 온도를 일정하게 유지시킨다.

국부공기냉각기는 다음 네 가지의 조건을 만족하기 위해 설치되었다:

1) 접근이 불가능하거나 어려운 지역에서의 대기 온도를 제한함으로 건물이나 기기에 손상을 주지 않기 위해

2) 격납건물살수계통이 단기간의 열침원인데 반하여 장기간의 열침원인 LAC는 냉각재 상실사고나 주증기 파단 사고시 응축에 의해 격납건물 압력과 온도를 낮추기 위해

3) 대형 냉각재 상실사고나 주증기 판단사고에서 격납건물 압력을 400 kPa(g) 미만으로 유지하기 위한 열제거 방편으로 충분한 열침원 역할을 하기 위해

4) 설계 지진사건에 이은 냉각재 판단사고에서 증기발생기 방과 연료교체실에서의 수소 분산을 위해

모두 35개의 LAC가 설치되어 있고, 이 중 16개는 class IV 전원이 공급되지 않는 경우 class III 전원에 의해 운전되도록 연결되어 있다. 다만 재순환 냉각수 (recirculation cooling water)가 가용하지 않은 경우에는 LAC를 사용할 수 없다. LAC 1번부터 8번까지는 증기발생기 방에, 9번부터 16번까지는 연료교체실인 F/M Room 7과 8에 동등하게 배치되어 있다 [3].

정상 운전 중에는 핵연료교환실과 보일러방에 존재하는 LAC 1번부터 16번까지 16대 중 50%를 사용하여 주제어실에서 수동 조절아래 적당한 수준의 방 온도를 유지하며, 나머지 LAC는 대기 상태로 유지된다. 냉각재 상실사고와 주증기 파단 사고 같은 극한 사고의 경우, 높은 격납건물 압력 신호에 따라 격납건물에 최대 냉각과 응축 능력을 제공하기 위해 모든 LAC 1-16가 자동으로 작동 된다. LAC 17-35는 안전 기능 역할을 하지 않으므로 사고시 요구되지 않는다. 사고시 국부공기냉각기의 성공기준은 핵연료교환기실 (R107)은 4대중 3대 이상 기동, 핵연료교환기실 (R108)은 4대중 3대 이상 기동, 보일러방 (R601)은 8대중 6대 이상 기동으로 16개중 12개가 가용하면 모두 33-66MWth의 열제거 범위를 갖는다. 이 열 제거량은 전출력의 약 1.6-3.2%에 해당되므로, 국부공기냉각기는 격납건물살수계통이 종료된 경우에도 장기간의 열침원으로 기능이 보장된다. 사고시 LAC 1-16의 열 제거율은 참고문헌[4]에 있으며 mission time 은 LOCA시 3개월이며 MSLB인 경우 1 주일이다.

## 2.2 격납건물살수계통

이 계통은 냉각재상실사고나 원자로 건물 내 주증기관 파단 사고시 원자로 건물 압력이 상승하면 원자로 건물 파손의 위험이 있으므로 이를 방지하기 위해 설치된 장치이다. 격납건물살수계통은 격납건물 압력이 초기 상태보다 2 psig (115 kPa) 이상 증가하면 자동으로 가동하며, 1 psig (108 kPa)보다 낮아지면 자동으로 다시 멈추도록 설계되어 있으며 제어실에서 수동으로 작동이 가능하다. 격납건물살수 계통의 설계 유량은 다음의 기준에 따라 결정된다:

1) 전체 격납건물 살수용량 요건은 격납건물살수 완료 후 살수분무가 격납건물 압력을 35 kPa(g) (5 psig)로 낮추어야 하는 요건에 기준한다. 해석시에는 두 개의 냉각재루프가 그들의 전체 에너지를 방출하고 살수의 열이용율이 95%임을 가정한다. 소형 배관 파단 동안 증기포화 온도가 낮으므로 살수용량 계산은 냉각재계통의 소형배관파단에 근거하며, 이에 따르면, 28° C (83° F)에서 살수에 필요한 양은 1,227$m^3$ 이다. 설계치는 안전여유를 허용하기 위해 총부피 1,559$m^3$ 로 한다.

2) 격납건물 살수계통의 설계기준 유량은 6개의 하강관 유니트중 4개가 총유량 4,535 kg/sec를 공급하도록 한다. 이 유량은 최대건물압력이 냉각재계통의 완전 파단 이후 설계압력 124 kPa(g) (18 psig) 보다 낮도록 억제한다. 따라서 각 하강관 유니트는 1,134 kg/sec (2,500

lb/sec)의 유량으로 설계되며, 작동시간은 6분 이하이다.

3) 격납건물 살수밸브는 두 개의 독립된 그룹으로 배열된다.

4) 밸브는 완전히 닫힌 상태에서 100% 열림 상태 (밸브의 기계적 구동)로 전기 구동이든 공기 구동이든 모든 살수밸브에 대하여 똑같은 2.25초 이내에 열릴 수 있어야 하고 7초 내에 완전히 열린 상태에서 완전히 닫힐 수 있어야 한다.

5) 살수 온도는 최대 28° C (83° F)로 제한된다. 원자로 가동 중 탱크 수위에서의 대기온도가 정상시 41° C (105° F)이므로, 적절한 냉각계통이 제공된다.

격납건물살수계통은 일단 다우징 탱크 물이 고갈되면 이용할 수 없으며, 이 경우 국부공기냉각기가 유일한 격납건물 압력 제어용으로 쓰인다.

## 3. 사고 분석

분석에 사용된 ISAAC 전산 코드는 월성 원전에서의 중대사고 진행을 모사할 수 있는 기본적인 모델, 즉 냉각재 상실로 인하여 연료봉이 가열되고, 감속재 냉각 계통의 손실로 붕괴열에 의한 감속재 증발과 이로 인한 연료봉 노출, 그리고 이어지는 노심의 건전성 붕괴 등이 고려되어 있다. 또한, 칼랜드리아 내부로 이송되는 핵연료 물질과 이에 반응하는 칼랜드리아의 거동, 그리고 이와 동시에 격납건물에서의 가스, 냉각수, 핵연료 물질의 이송이 1차 계통과 연계되어 모사 되어 있다. 이외에도 ISAAC은 감속재 냉각 계통, 차폐 냉각 계통, 정지냉각계통, 비상노심 냉각계통, 격납건물 살수 계통, 그리고 국부 공기 냉각기 등 월성 2,3,4호기의 여러 안전계통의 작동 효과를 정량적으로 분석할 수 있도록 개발되었다. 따라서, 이 코드는 종합적으로 격납건물의 건전성을 평가하고, 여러 사고 경위에서의 중대사고 대처 전략과 사고 관리 방안을 제시하는데 유용하게 활용될 수 있다.

월성2,3,4호기에서의 중대사고를 모의하기 위해 발전소 자료를 종합하여 ISAAC 전산코드의 입력을 작성해야 한다. 입력은 크게 발전소의 기하학적 구조 자료와 중대사고 현상을 모의하는 모델 변수로 구성되는 parameter file과 사고 경위를 모의하는 input file로 구성된다. 발전소의 기하학적 입력은 크게 격납건물 부분과 일차계통, 이차계통, 칼랜드리아, 그리고 안전계통으로 나눌 수 있다.

ISAAC 전산코드의 일차계통은 두 개의 독립된 폐 회로로 구성되며 (편의상 Loop 1과 Loop 2로 구분), 각 폐회로의 두 개의 증기발생기도 편의상 Broken SG와 Unbroken SG로 정의하여 사용한다. 두 개의 폐회로는 Loop Isolation Valve (LIV)를 통해 가압기와 연결되어 있으며, LIV는 어느 폐회로든지 압력이 설정치보다 낮아지면 닫히도록 설계되어 있다. 폐회로의 과압을 막기 위해 Liquid Relief Valve (LRV)가 탈기 응축기 (DCT)로 연결되어 있고, DCT는 격납건물로 연결되어 있다. 그림 1 에는 ISAAC에서 모사하는 일차계통이 정리되어 있다.

모두 380개로 구성되어 있는 수평 연료관을 모사하기 위해 각 폐회로 당 6개씩 모두 12개를 대표 연료관으로 가정하였고, Channel 1부터 6으로 정의되는 6개의 연료관은 Broken Loop에 3개, Unbroken Loop에 3개씩 배정하되 6개가 다른 높이에 위치하며, 각기 다른 출력을 가지고, 출력 분포는 입력으로 처리하였다.

격납건물은 다음과 같이 12개의 격실로 구분하였다: 1) 지하실 (basement), 2) 칼랜드리아 볼트, 3) 연료교체방 (F/M 107), 4) 연료교체방 (F/M 108), 5) 감속재 방, 6) 접근 통로 (access area), 7) 보일러 공간, 8) 상부 돔, 9) 격납건물살수탱크, 10) 탈기 응축기, 11) 종단 차폐체 1, 12) 종단 차폐체 2. 또한 격납건물 격실 사이에는 모두 18개의 유로를 정의하여 격납건물 안에서의 기체 및 냉각수, 그리고 핵연료 물질의 이동을 모의하였다. 격납건물 파손 압력은 519kPa로 가정하였다.

상세한 ISAAC 입력은 참고문헌[5]에 있으며 중대사고 관점에서 사고 진행을 분석하기 위하여 사고 시작 후 72시간까지 계산하였다.

### 3.1 기본 사고 초기 조건 및 발전소 모델링

기본 사고 초기 조건으로 원자로 출구모관 3 (ROH 3)에서 소형 파단이 발생하였고, 파단 면적은 0.00649 $m^2$으로 가정하였다. 비상 노심 냉각계통과 감속재 및 차폐 냉각 계통, 그리고 국부공기 냉각기등 대부분의 안전계통은 작동 불능이지만 격납건물 살수 계통은 작동 조건이 되면 작동하게 가정하였다. 증기발생기로의 주급수 계통은 원자로 정지 시점까지 가동되나, 정지 후에는 보조급수계통의 고장을 가정하여 더 이상 증기발생기로의 급수는 이루어지지 않는다. 원자로 트립 시점은 FSAR에서 계산된 결과를 이용하여 0.87초에 수동 정지하도록 하였다.

1차 계통에서 발생되는 파단 사고의 경우 비상 노심 냉각 계통을 일찍 작동시키기 위해 증기발생기의 안전밸브 (MSSV)를 열어 2차 계통을 급속하게 냉각 (crash cooldown)시키도록 하고 있다. 이를 모의하기 위하여 LOCA 신호가 접수되고 30초 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 95.5초에 발생하며, 가압기 격리밸브는 약 115초에 닫히고, 약 125초에 MSSV는 개방된다. 사고 진행 요약은 표 1에 정리되어 있다.

### 3.2 분석 방법

ISAAC에서는 fan cooler (FC)와 chiller (CH)라는 두 가지 형태의 공기 냉각기를 모의하고 있고, 격납건물의 한 장소에 공기냉각기를 한 종류밖에 설치할 수 없어 (물론 개수는 정의할 수 있음), fan cooler와 chiller를 따로 구분하여 다른 공간에 설치하며, 이를 위해 두 가지의 입력 세트가 요구된다[4]. 따라서, ISAAC에서는 격납건물의 두 장소에 서로 다른 성능의 공기 냉각기를 설치

할 수 있도록 고려하고 있다. 본 절의 해석에서는, 같은 성능의 fan cooler와 chiller를 연료교체실 (FM Rm 107)인 제어체적 3번과 보일러 방인 제어체적 7번에 설치하여 그 영향을 분석하였다. 그리고 방사선원항 분석은 가장 중요한 핵종으로 취급되는 CsI에 대하여 정리하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1 국부공기냉각기 (LOCAL AIR COOLER, LAC) 영향 평가

공기냉각기의 가장 대표적인 효과는 보일러방의 압력 거동에서 나타난다. 그림 2는 공기냉각기의 유무에 따른 보일러방의 압력을 비교해주고 있다. 공기냉각기가 없는 경우와는 달리 공기냉각기가 가동하면, 초기 압력보다 약간 높게 계속 유지하다가 칼랜드리아가 손상되는 시점에서 격납건물 최대 압력이 약 210 kPa 정도까지 상승하지만, 격납건물의 건전성은 유지됨을 알 수 있다.

공기냉각기의 대기 감압 기능은 대기 중의 수증기를 얼마나 응축시켰는가에 비례한다. 그림 3은 제어체적 7번 (보일러 방) (원 심볼)과 3번 (연료교체실, F/M Rm 107) (사각형 심볼)에서의 공기냉각기에 의해 응축된 수증기의 양을 보여주고 있다. 연료 물질의 붕괴열이 감속재와 칼랜드리아볼트 냉각수를 증발시키는 동안에는 응축 현상이 활발하게 진행되며, 이렇게 응축된 물은 격납건물의 지하실로 모이게 된다. 그림 4는 공기냉각기 유무에 따른 지하실의 냉각수의 질량을 비교하고 있다. 초기 4.5시간 동안의 급격한 질량 증가는 다우징탱크로부터 격납건물살수계통을 통해 공급된 유량 (약 1,500톤 정도)과, 이외에 일차계통의 냉각수 (약 80톤)때문이다. 공기냉각기가 없는 경우 약 2,150톤의 물이 고이는 반면, 냉각기가 가동하는 경우에는 약 2,350톤이 지하실로 모이게 되며, 이때의 수위는 바닥으로부터 약 3.36 m로 지하실의 약 55%를 채우게 된다.

칼랜드리아의 건전성은 감속재와 칼랜드리아볼트의 냉각재 거동과 밀접하게 관계되어 있고, 궁극적으로는 칼랜드리아 외부를 감싸고 있는 칼랜드리아볼트의 수위가 칼랜드리아 바닥보다 낮아지면 칼랜드리아 파손이 일어나도록 모의된다. 공기냉각기가 가동하게 되면 격납건물 대기의 온도 및 압력 강하로 감속재와 칼랜드리아볼트의 냉각수 온도가 공기냉각기가 없는 경우에 비하여 낮으며, 공기냉각기가 가용한 경우 대기의 수증기압이 낮아 감속재 수위와 칼랜드리아볼트의 냉각수 수위가 영향을 받게 되며, 그림 5에서처럼 약 2.3시간 정도 빨리 칼랜드리아 외벽이 일찍 노출되어 칼랜드리아가 파손됨을 보여준다 (표 1의 SLOCAref와 SLOCA+lac 참조). 다만, 이러한 경우 사고 진행이 빨라지지만, 격납건물의 건전성이 유지되기 때문에 외부로의 방사선원 누출은 일어나지 않음을 알 수 있다.

그림 6, 7은 방사선원항 분석시 가장 중요한 핵종으로 취급되는 CsI에 대해 이송 위치 (격납건물 내 그리고 격납건물에서 대기로 방출된 곳)에 따른 잔존 비율을 보여준다. 격납건물에 남아있는 CsI양은 격납건물살수가 될 때 공기냉각기가 작동되면 43% 이고 공기냉각기가 작동 안되면 36%, 그리고 격납건물살수가 안될 때 공기냉각기가 작동되면 44%이고 공기냉각기가 작동 안되면 37%로 나타나 공기냉각기가 작동 중일 때 격납건물에 CsI양의 비율이 공기냉각기가 없을 때와 비교하여 7% 높아짐을 알 수 있으나 살수 계통의 영향은 나타나지 않았다. 격납건물에서 대기로 방출되는

CsI양은 국부공기냉각기의 가동 여부에 크게 관련된다. 즉 공기냉각기가 가용한 경우는 격납건물이 건전하여 대기로의 방출량이 없는 반면, 공기냉각기가 고장 난 경우는 격납건물이 파손되어 궁극적으로는 대기로 방출되기 때문이다.

### 4.2 격납건물살수계통의 영향 평가

국부공기냉각기가 작동 중일 때는 살수계통의 작동 유무에 상관없이 격납건물이 건전성이 유지되어 (그림 8, 표 1참조) 여기서는 국부공기냉각기가 가용하지 않는 경우에 한하여 격납건물살수계통의 영향을 평가 하였다.

격납건물 압력변화는 그림 8에 표시되어 있다. 격납건물살수계통이 작동하는 경우, 약 36.3 시간 경과 후에 격납건물 압력이 519 kPa에 도달하여 파손 되지만, 격납건물살수 계통이 동작하지 않는 경우에는 약 25.1 시간 후 격납건물이 파손된다. 즉, 격납건물살수 계통이 가용한 경우 대기의 온도를 초기에 낮춤으로 격납건물 파손 시점을 약 11시간 정도 지연시키는 효과가 있음을 보여준다.

격납건물에 남아있는 CsI양은 윗 절에서 언급되었듯이 소형 LOCA 사고경위에서는 살수계통에 의한 영향이 없음을 보여주며 이는 사고초기에 살수계통이 작동하기 때문이다. 격납건물에서 대기로 방출되는 CsI양은 공기냉각기가 미작동 중일 때 살수가 되면 0.9%, 살수가 안되면 1.2%로 나타나, 역시 소형 냉각재상실 사고경위에서는 차이가 없음을 보여준다.

## 5. 결론 및 추후 연구 내용

월성발전소의 소형 냉각재 상실사고에서의 장기간의 열침원인 국부공기냉각기와 단기간의 열침원인 격납건물 살수 계통의 영향을 평가하였다. 공기냉각기가 작동하는 경우에는 격납건물살수계통 작동과 관계없이 충분히 열제거가 이루어져 격납건물 압력을 낮춤으로 격납건물의 건전성은 유지됨을 알 수 있다. 국부공기냉각기가 가동되지 않는 경우에도 격납건물살수 계통이 가용하면 격납건물 파손 시간을 약 11시간 정도 지연시키는 효과를 보여주고 있다.

공기냉각기는 격납건물 대기의 유동을 강화시켜 유동이 없는 경우에 비하여 상대적으로 많은 양의 핵분열 생성물을 침착 (deposition) 시킨다. 계산결과  공기냉각기가 작동 중일 때 격납건물의 CsI양의 비율이 공기냉각기가 없을 때와 비교하여 7% 높아지지만, 격납건물에서 대기로 방출되는 CsI양의 비율은 크게 변화가 없음을 보여준다.

공기냉각기가 가동하지 않을 경우에는, 격납건물살수 계통이 격납건물 내부에 잔존하는 CsI양과 격납건물에서 대기로 방출되는 CsI양에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었고, 이는 소형 냉각재 상실 사고의 경우 격납건물살수 계통이 사고초기에만 잠깐 작동하기 때문이다.

ISAAC에서의 공기냉각기를 통한 냉각 해석  모델은 일관성 있게 냉각량을 예측함을 확인 하였다.

다만 현재의 ISAAC에서는 격납건물의 두 장소에만 공기 냉각기를 설치할 수 있도록 되어있는데 더 많은 장소에 설치할 수 있도록 모델 보완의 필요성이 확인되었다.

## 참고문헌


1. “Development of Computer Code for Level 2 PSA of CANDU Plant” KAERI, KAERI/RR-1573/95, December 1995.
2. “Wolsong NPP 2/3/4 FSAR, Volume IV Chapter 6,” KEPCO, March 1995.
3. “Wolsong NPP 2/3/4 Design Manual Reactor Building Cooling System,” AECL 86-73110/67311-DM-000 Rev.0, July 1995.
4. S.D.Kim, "Effect of Local Air Coolers and Dousing System during Large LOCA at Wolsong Plants," KAERI, KAERI/TR-2350/2002, December 2002.
5. “월성1호기 격납건물 건전성 확률론적 안전성 평가(제3차 분기 진도 보고서),” 한국원자력연구소, July 2002.

표 1. 발전소 소형 냉각재 파단 사고 주요 사건 일지

| 주요 진행 상황 | SLOCAref<br>Spray On<br>LAC Off | SLOCA-spy<br>Spray Off<br>LAC Off | SLOCA+lac<br>Spray On<br>LAC On | SLOCA-spy +lac<br>Spray Off<br>LAC On |
|---|---|---|---|---|
| | Sec (hr) | Sec (hr) | Sec (hr) | Sec (hr) |
| Small LOCA Initiates | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ECCS Off (HPI, MPI, LPI), SG MSIV Closure | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Moderator Cooling Off, Shield Cooling Off | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Reactor Scram | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 |
| Main/Auxiliary Feedwater Forced Off | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 |
| Dousing Spray Signal Received | 33.7 | No | 33.7 | No |
| LOCA Signal Received | 95.5 | 100 | 95.5 | 100 |
| Pressurizer Isolated (LOOP 1,2) | 115 | 120 | 115 | 120 |
| SG MSSV Manually Open for Crash Cooldown | 125 | 130 | 125 | 130 |
| Primary System Pump Off | 283 | 286 | 284 | 286 |
| Loop 2 Unbroken/Broken SG Dryout | 2800 (0.78) | 2796 (0.78) | 2804 (0.78) | 2801 (0.78) |
| Loop 1 Unbroken/Broken SG Dryout | 3417 (0.95) | 3425 (0.95) | 3438 (0.96) | 3456 (0.96) |
| Loop 2 Liquid Relief Valve First Open | 5596 (1.6) | 5583(1.6) | 5609 (1.56) | 5610 (1.6) |
| Dousing Tank Water Depleted for Spray | 5608 (1.6) | No | 16850(4.7) | No |
| Calandria Rupture Discs Fail | 9104 (2.5) | 9075 (2.5) | 9162 (2.5) | 9134 (2.5) |
| Loop 2 Fuel Channel Rupture due to Creep | 13392 (3.7) | 13250 (3.7) | 11993 (3.3) | 13005 (3.6) |
| Loop 1 Fuel Channel Rupture due to Creep | 15039 (4.2) | 14877 (4.1) | 13956 (3.9) | 14583 (4.0) |
| Moderator Dryout | 35391 (9.8) | 35262 (9.8) | 31200 (8.7) | 32979 (9.2) |
| Core Mass All Gone to Calandria in LOOP 1 | 122587 (34.0) | 113590 (31.6) | 35462 (9.9) | 36847 (10.2) |
| Core Mass All Gone to Calandria in LOOP 2 | 126147 (35.0) | 121419 (33.7) | 115698 (32.1) | 117938 (32.8) |
| Containment Failure | 130804 (36.3) | 90425 (25.1) | No | No |
| Hydrogen Burn Starts in Containment | 130983 (36.4) | 107875 (30.0) | 108315 (30.1) | 108728 (30.2) |
| Calandria Failure | 139032 (38.6) | 136181(37.8) | 132781 (36.9) | 135223 (37.6) |
| Calculation Ends | 259200 (72) | 259200 (72) | 259200 (72) | 259200 (72) |

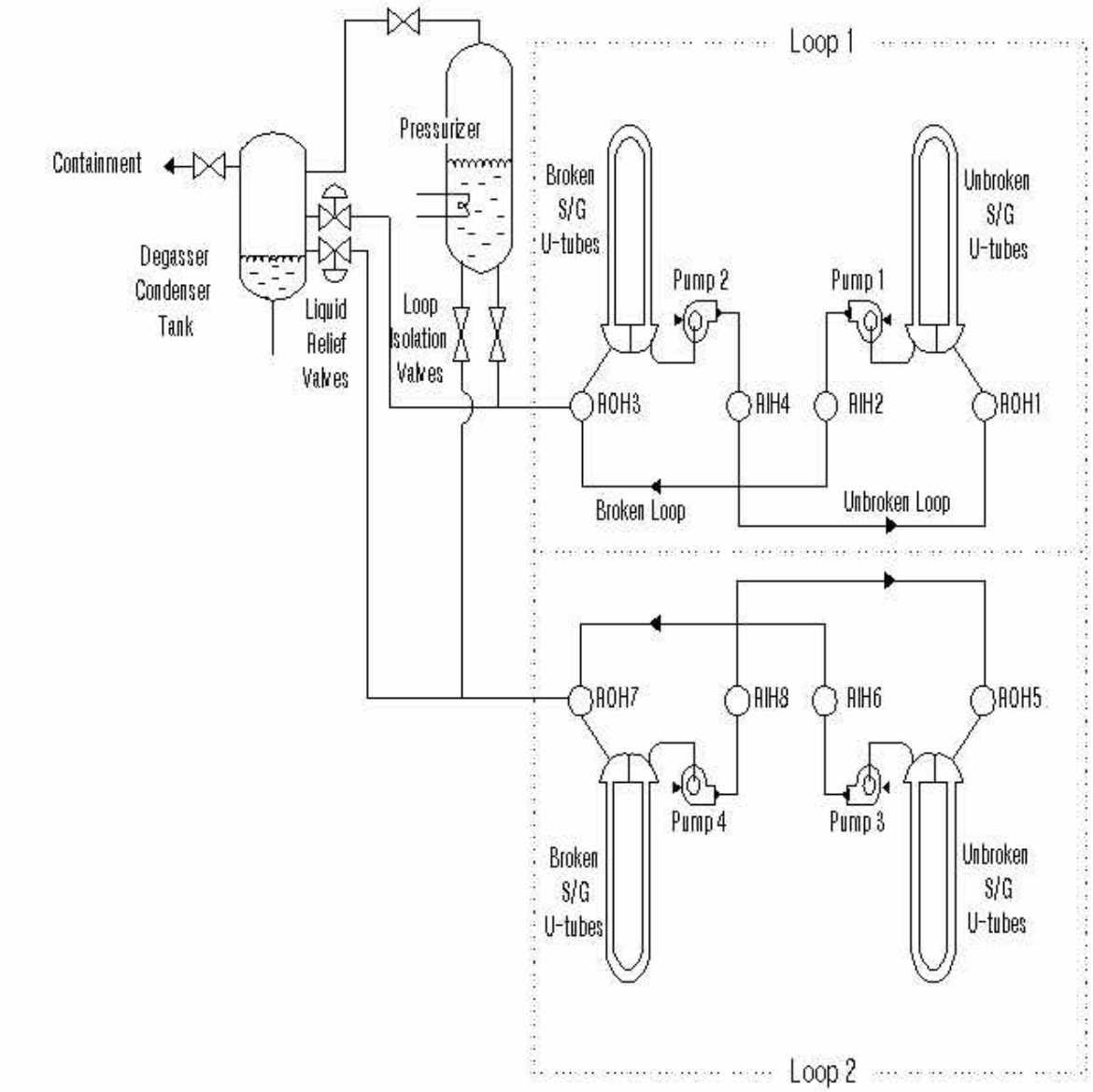


**그림 1. 월성 2,3,4호기 일차계통 ISAAC 구성도**

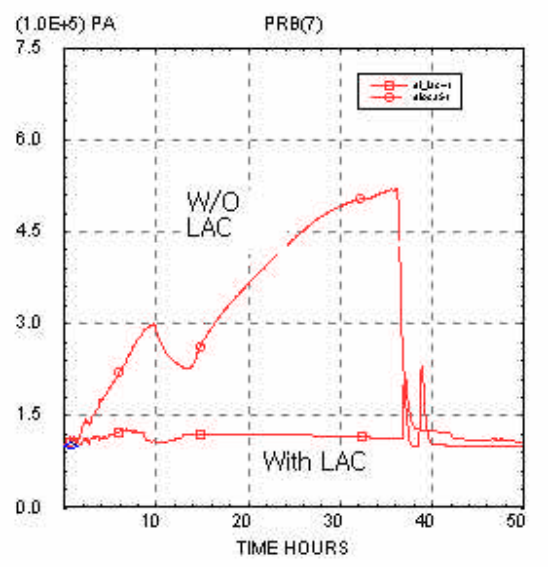


그림 2. 공기냉각기 유무에 따른 보일러 방에서의 압력 거동 비교

kg/sec

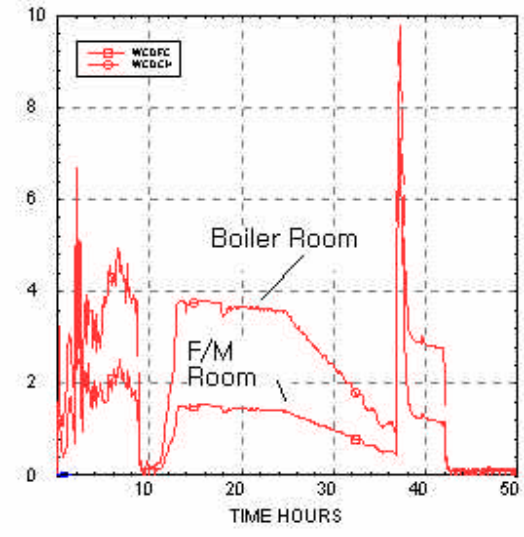


그림 3. 제어체적 3번과 7번에서 공기냉각기로 인한 수증기 응축비율

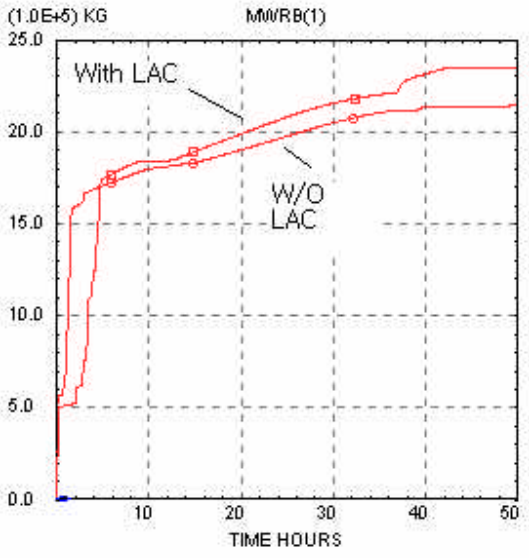


그림 4. 격납건물 지하실에 고인 냉각수량 비교

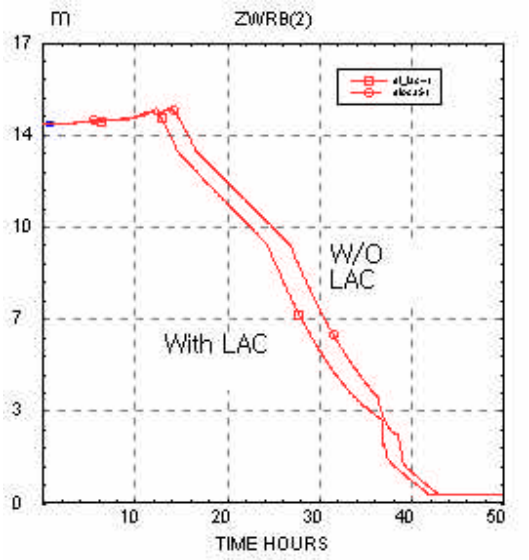


그림 5. 공기냉각기 유무에 따른 칼랜드리아 볼트에서의 냉각재 수위 비교 (m)

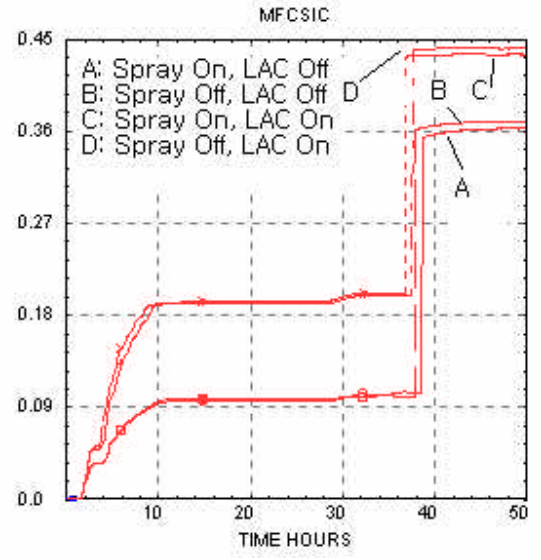


그림 6. 격납건물 내에 남아있는 핵종군 CsI 비율

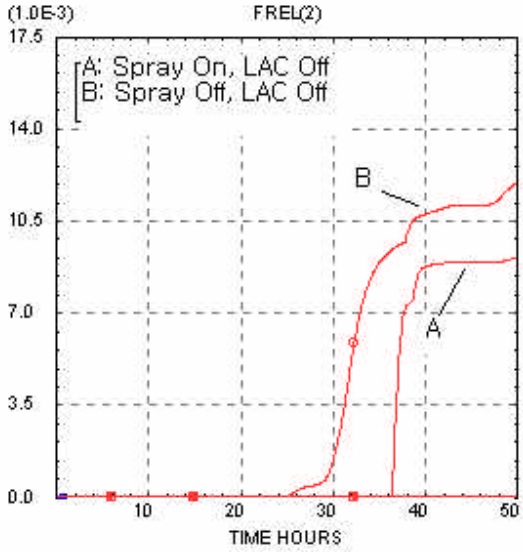


그림 7. 격납건물에서 대기로 방출되는 핵종군 CsI 비율

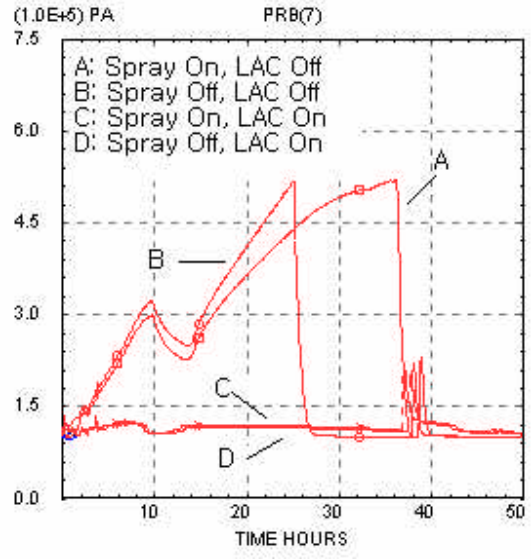


그림 8. 격납건물 압력 거동 비교