

'99추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

SMART 운전모드에 따른 일차계통 유동장 해석

A Flow Field Analysis of the Primary System of SMART depending on the Operation Modes

강형석, 김주평, 지대영, 김환열, 이두정

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

SMART 개념연구개발을 통해 생산된 설계자료와 연구결과를 바탕으로 범용전산유체코딩인 CFX4.2를 이용하여 SMART 일차계통을 모델링하여 100% 출력운전 및 주냉각재펌프 1대 정지운전과 증기발생기 1그룹 격리운전조건에 대해서 일차계통의 열수력 특성을 분석하여 개념설계의 타당성을 검증하였고 기본설계에 사용될 열수력 설계자료를 생산하였다. 해석결과에 따르면 100% 출력운전조건에서의 열수력 거동이 설계기준을 만족시켰고 주냉각재펌프 1대 정지운전조건에서는 주냉각재펌프 압력헤더에서 증기발생기 카세트로 흐르는 냉각재 유량분포의 비균일도 및 노심하부의 유동분포도 설계기준을 만족시킴을 확인하였으며 증기발생기 1그룹 격리운전조건에서는 원자로하향유로, 노심입구 및 노심의 온도분포가 약간 비균일해짐을 확인하였다. 그러나 예비 노심열수력 계산결과에 의하면 이 비균일도가 열적 여유도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타나지만 세부 평가가 수행되어야 할 것이다.

Abstract

The analysis of the primary system of SMART depending on the operation modes, a normal operation mode and transients operations modes, is performed to verify the thermal hydraulic characteristics of SMART and to obtain design data for the core thermal hydraulic calculations. According to the analysis results, the thermal hydraulic behavior of the 100% power operation mode is well verified and the nonuniformity of coolant flow rate distribution at the SG cassettes and the core inlet are shown to be reasonable for the one MCP stop operating mode. The core inlet temperature distribution of the one SG section isolation operating mode is shown to be nonuniform a little but the preliminary results of core thermal hydraulic calculation show the sufficiency of core thermal margin. The computational fluid dynamic code "CFX4.2" is used for this study.

1. 서론

한국원자력연구소는 해수담수화등의 다목적용으로 안전성과 경제성이 향상된 일체형원자로인 SMART를 개발하고 있다. 현재 SMART는 개념설계된 설계자료를 바탕으로 기본설계를 진행하고 있다. 따라서 SMART 개념연구개발을 통해 생산된 설계자료와 연구결과를 바탕으로 100% 출력운전 및 비상출력운전조건에서의 일차계통의 열수력 특성을 분석하여 개념설계의 타당성을 검증하고 기본설계에 필요한 자료를 도출할 필요가 있다. 특히 비상출력운전조건인 주냉각재펌프 1대 정지운전과 증기발생기 1그룹 격리운전과 같은 과도상태 운전조건에 대한 세부평가를 수행하여 주냉각재펌프 압력헤더에서 증기발생기 카세트로 흐르는 냉각재 유량분포의 비균일 정도, 증기발생기 카세트에서의 열전달 현상, 노심하부에서의 유동분포 및 온도분포를 해석하여 운전조건에 따른 열수력 거동을 평가하고 노심열수력장 해석에 필요한 자료를 도출할 필요가 있다. 노심열수력장 해석에서는 본 연구에서 생산된 생산된 설계자료를 활용하여 열적여유도와 안전성분석등을 수행할 것이다. 본 연구에서 SMART 일차계통 열수력장 해석을 위해 범용유체코드인 CFX4.2를 사용하였다.

2 SMART 설계특성 및 운전모드

SMART는 증기발생기, 주냉각재펌프와 가압기등의 주요기기들이 그림 1과 같이 원자로 집합체내에 설치되는 일체형원자로이다. SMART의 주요 설계자료는 표 1에 나타나 있다. 증기발생기를 원자로용기내에 압력용기와 core barrel사이의 공간에 배치시키기 위해 여러 개의 작은 증기발생기를 사용하는 증기발생기 카세트(cassette)개념을 도입하였다. 그리고 증기발생기 전열관 파단사고시를 대비해 증기발생기 카세트중의 일부를 격리 할 수 있는 개념을 도입하였는데, 이것은 SMART의 신뢰성과 이용률을 높일 수 있고 상용로와 같이 전열관 파단시 원자로를 정지하고 파단된 전열관을 플러깅(plugging)하는 작업을 일부 피할 수 있을 것으로 판단된다. SMART의 12개 증기발생기 카세트는 상호간에 연결되어 있는데, 각 증기발생기 카세트에서 나오는 증기관을 6개의 모듈로 분리했고 12개의 증기발생기 카세트로부터 나오는 72개의 모듈을 8개의 소그룹으로 나누고 이를 다시 4개의 그룹으로 나누어 터빈계통으로 향하게 했다. 비상시 4그룹 중의 하나를 격리하면 25%의 증기발생기 전열면적이 격리되어 75%의 출력운전을 수행할 수 있는 설계개념인 것이다. 증기발생기 그룹 배치도 및 1그룹 격리시 영향을 받는 증기발생기 카세트의 위치는 그림 2에 나타나 있다. 여기서 증기발생기 1그룹 격리시 영향을 받는 6개의 증기발생기 카세트를 12개의 증기발생기 카세트사이에 골고루 위치하게 해 노심하부에서 냉각수 온도의 비균일성과 국부적인 상승을 최소화하도록 하였다. 또한 증기발생기가 원자로용기 안에 설치됨에 따라 주냉각재 펌프 후단과 증기발생기 사이는 배관으로 연결되지 않고 압력헤더로 연결되며 일차계통 냉각재는 이 압력헤더를 통하여 12개의 증기발생기 카세트에 흘러간다. 따라서 압력헤더의

수력적 설계특성과 원자로집합체내에서 주냉각재펌프와 각 증기발생기 카세트 사이의 상대적인 거리 차이가 증기발생기 카세트에 향하는 냉각재 유량분포에 영향을 미칠 수 있다. 증기발생기 카세트에서 발생하는 증기가 일차계통에서 요구되는 온도와 압력을 가지기 위해서는 냉각재가 각 증기발생기 카세트에 가능한 한 균일하게 분포되어야 한다. 이것에 대한 SMART의 설계기준은 주냉각재펌프 4대가 정상 작동하는 100% 출력운전조건에서는 비균일도가 5% 이하, 주냉각재펌프 1대가 정지운전조건에서는 비균일도가 10% 이하이다[1,2,3]. 비균일도는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\text{비균일도}(\kappa) = \frac{M_{\text{avg}} - M_{\text{min}}}{M_{\text{avg}}} \times 100 \quad (1)$$

SMART에서는 이 설계기준을 만족시키기 위해서 증기발생기 카세트 하단에 오리피스를 설치하였으며 오리피스에서 발생하는 압력강하는 증기발생기 카세트 전체에서 발생하는 압력강하 45.1KPa의 25% 정도인 11.3 KPa 이다. 원자로하향유로 안에는 내부 차폐체가 있고 노심하부는 타원형 모양이며, 냉각재내의 불순물을 제거하고 베인(vane) 역할을 하는 유동거름판(comb)이 노심하부에 그림 3과 같이 설치되어 있다[1,2,3,4]. 그리고 노심으로 흘러가는 냉각재를 균일하게 분포시키기 위해 그림 4의 유동분배판(flow distribution plate)이 노심입구에 설치되어 있다. 유동분배판 위에는 하부노심지지판(bottom core support plate)이 있으며 핵연료집합체를 지지 시켜주는 역할을 한다. 유동분배판과 하부노심지지판의 설계자료는 표 2에 나타나 있다. SMART의 운전모드는 크게 기동운전, 출력운전, 비상출력운전, 정지 및 냉각운전으로 나누어진다. 출력운전은 원자로출력이 20%에서 100%까지 변화되고 모든 핵증기공급계통의 공정변수가 자동으로 조정된다. 비상출력운전은 주냉각재펌프 1대 정지운전, 증기발생기 1그룹 격리운전등으로 주냉각재펌프 1대 정지시와 증기발생기 전열관 파단시 파단된 증기발생기 그룹을 격리하고 원자로출력을 75%를 유지하면서 운전을 계속 수행하는 것을 의미한다. 비상출력운전은 SMART가 지역적으로나 기후적으로 고립된 곳에서 장기간 운전을 계속 수행하기 위해서 도입한 운전모드로, 이에 대한 경제성 평가와 상세한 기술평가는 계속 진행중이다. SMART 100% 출력운전에서의 핵증기공급계통 열수력 설계자료와 주냉각재펌프 1대 정지운전 및 증기발생기 1그룹 격리운전시의 열수력 설계자료는 각각 표 3, 4, 5에 나타나 있다.

3. 수치해석

SMART의 100% 출력운전, 비상출력운전시 일차계통의 열수력 현상을 분석하기 위해 범용전산유체코드인 CFX4.2를 사용하여 3차원, 정상상태에서 계산을 수행하였다. 본 계산에서는 유동장을 비압축, 난류, 다공매질(porous media) 유동으로 가정하였으며 k-ε 난류모델과 벽면조건으로 정지유속(no-slip) 조건과 단열조건을 사용하였다. CFX4.2는 경계밀착좌

표계(body fitted coordinate), 제어체적방법(control volume method), 비엇물림격자(non staggered grid), 정렬 격자(structured grid)와 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation) 알고리즘을 사용하며 Navior-Stokes 운동량 방정식 및 에너지 방정식등을 푼다.

3.1 해석대상 격자 모델링

본 연구는 SMART 운전모드에 따른 일차계통 열수력현상을 분석하는 것이므로 주냉각재펌프 후단부터 노심출구까지를 CFX-Meshbuild를 사용하여 그림 5와 같이 3차원, 다중볼력으로 모델링하였다. 주냉각재펌프 방출구를 모사하는 부분은 그림 5에 나타나 있으며 주냉각재펌프가 4대이므로 방출구는 8곳이 되고 해석대상격자에서는 입구조건이 적용되며 직사각형으로 모사된다. 본 해석대상격자 모델링에서는 노심출구부터 노심상부영역, 주냉각재펌프까지는 생략하였고 원자로집합체내를 관통하는 배관, 증기발생기내의 급수관 및 전열관, 원자로하향유로내의 내부차폐체, 노심입구의 유동거름판, 유동분배판과 하부노심지지판은 실제와 같이 모델링하기가 어려우므로 다공매질로 가정하고 유효 유로면적 개념인 체적다공도와 기하학적 모양에 따른 압력손실을 표 3, 6과 같이 지정해주었다. 또한 적절한 격자수를 생성하기 위하여 노심하부모양을 실제와 같이 타원형으로 모델링하지 않고 삼각형으로 처리하였다. 본 해석대상격자에서 생성된 총 제어체적(control volume) 셀 수는 32,928개이다.

3.2 경계조건 및 압력손실조건과 원천항 조건

본 해석대상격자에서 주냉각재펌프 방출구를 모사하는 입구는 Dirichlet 조건을 사용하여 속도와 k , ϵ 및 온도의 값을 지정해 주었다. 출구조건은 노심출구에 Neumann 조건인 압력출구조건을 사용하였다. 각 운전조건에서의 입구속도와 온도 값은 표 7과 같고 k , ϵ 의 값은 $k_{inlet} = 0.002 V_{inlet}^2$, $\epsilon_{inlet} = \frac{k_{inlet}^2}{0.3D}$ 계식에 의해 지정해주었다. 증기발생기, 원자로하향유로와 노심입구등에서 기하학적 모양변화에 따라 발생하는 압력손실은 CFX4.2의 입력자료를 이용하여 모사하였다. 이 입력자료는 운동량 방정식의 우변 항인 "B- ∇P "에서 체적항(body foree term)인 $B=B_F-(R_c+R_F|v|)v$ 의 R_c 와 R_F 이다. R_c 와 R_F 는 유동장에서 운동량 침원(momentum sink)이 발생하도록 하는 것으로 주어진 R_c 값과 속도의 곱에 비례하여, 또는 R_F 값과 속도의 제곱에 비례하여 압력강하가 발생된다. 증기발생기 및 원자로하향유로와 노심하부를 지나는 유량을 예측할 수 있으므로 예측한 유량과 R_c 와 R_F 을 이용하여 계산된 압력강하가 발생하도록 하였다. B , R_c , R_F 의 단위는 각각 N/m^3 , kg/N^3 , kg/m^4 이고 본 해석에서는 R_c 를 사용하였다. 본 CFX 계산에서 R_c 와 R_F 는 압력손실계수와 같은 역할을 하기 때문에 주어진 값에서 유량이 변화면 압력강하도 변하게 된다. 따라서 100% 출력운전조건에서 R_c 값이 주어지면 노심통과유량이 변화는 주냉각재펌프 1대

운전에서도 동일하게 사용될 수 있다. 노심에서 생성되는 열과 증기발생기에서 제거되는 열량은 엔탈피 원천항(source term) 조건을 이용하여 모사하였다. 이 엔탈피 원천항의 단위가 " $watt/m^3$ " 이므로 " $Q=m \times C_p \times \Delta T$ "의 관계식과 증기발생기 및 노심의 체적다공도를 고려하여, 노심에서는 열생성이므로 " $78.5E+06 watt/m^3$ ", 12개의 증기발생기 카세트에서는 열침원이고 노심통과 유량이 거의 균일하게 분배된다는 가정 아래 " $-64.6E+06 watt/m^3$ "로 지정해 주었다.

3.3 해석방법 및 계산절차

본 연구에서는 정확한 유동장을 계산을 위해서 계산은 크게 두 단계로 나누었으며 첫 번째 단계는 천이상태로 시간간격을 0,001초로 하여 매 시간 간격마다 40회 반복 계산하여 1초 정도까지 유동분포 계산만 수행하였다. 두 번째 단계는 속도분포가 충분히 수렴된 첫 번째 계산결과를 초기조건으로 하여 정상상태에서 열수력 계산을 수행하였다. 또한 계산결과 수렴성을 증가시키기 위해 속도에 대한 하향이완인자(under relaxation factor)를 0.25로 감소시켜 계산하였고 두 번째 단계인 정상상태 계산에서는 지배방정식의 반복계산 횟수는 질량보존의 오차(residual)가 1×10^{-6} 이 될때 까지 40,000번 정도 수행하였다.

3.4 해석결과

SMART 100% 출력운전조건 및 주냉각재펌프 1대 운전조건과 증기발생기 1그룹 격리 운전조건에서 일차계통의 속도분포 및 온도분포는 그림 7~11에 나타나 있다. 그림 7에서 알수 있듯이 100% 출력운전조건에서는 주냉각재펌프 4대가 모두 작동하므로 주냉각재펌프 압력헤더 상부영역에서의 속도분포는 대칭을 이루는 것을 알수 있다. 그림 7의 "가"에서와 같이 주냉각재펌프 방출구를 통해 3.28m/s로 들어온 냉각재는 주냉각재펌프 사이인 "나"지점에 도달하기전에 압력헤더 중간 및 하부 영역으로 흘러가서 "다"와 같이 각 증기발생기 카세트에 흘러간다. 12개의 증기발생기를 통과하는 냉각재 유량분포는 거의 균일하며 원자로하향유로를 통과한 냉각재는 "라"와 같이 약 2.9m/s 속도로 노심하부로 흘러가서 약 1.2 m/s의 속도로 노심으로 균일하게 올라간다. 이와 같이 노심으로 흘러가는 냉각재가 균일하게 분포하는 것은 유동분배판에서의 큰 압력강하 때문인 것으로 판단된다. 그림 8은 100% 출력운전조건에서의 온도분포를 나타내는 것으로 "가"와 같이 310℃의 냉각재가 주냉각재펌프 방출구를 통해 들어온 다음 증기발생기의 "나"와 "다"에서와 같이 이차측으로 열을 전달시켜 270℃로 냉각된 다음 "라"의 원자로하향유로로 흘러가서 "바"의 노심입구로 들어간 다음 노심으로부터 열을 전달받고 "사"의 노심출구를 통과할때는 다시 310℃로 온도가 증가한다. 그림 7, 8를 통해서 SMART 100% 출력운전조건에서 일차계통의 열수력 거동이 검증됨을 확인할 수 있고 CFX4.2 전산코드가 일차계통 유동장을 잘 모사하고 있어 과도운전조

건에서의 계산결과를 신뢰할 수 있음을 알 수 있다. 그림 9는 주냉각재펌프 1대 정지운전시의 속도분포를 나타내는 것으로, 냉각재는 주냉각재펌프 방출구를 “가”와 같이 약 3.9m/s로 통과하여 일부는 “나”의 정지된 펌프로 약 1.9m/s로 역류하고 나머지는 증기발생기 카세트 로 흘러간다. 그림 9의 “다”와 같이 정상작동하는 주냉각재펌프 사이의 유동분포는 100% 출력운전시와 거의 비슷함을 알 수 있으며 12개의 증기발생기 카세트를 통과하는 냉각재 유량분포도 거의 균일함을 알 수 있는데, 이것은 증기발생기에서 발생하는 큰 압력강하 때문인 것으로 판단된다. 또한 그림 9의 “라”와 같이 냉각재는 균일하게 약 2.2m/s의 속도로 노심 하부로 흘러가서 약 1.0m/s의 속도로 노심을 지나간다. 약간의 비균일도를 가지고 원자로 하향유로내로 흘러온 냉각재는 압력강하가 큰 노심입구의 유동분배판을 지나면서 거의 균일한 속도분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그림 10은 주냉각재펌프 1대 정지시의 온도 분포를 나타내고 있는데, 전체적인 온도분포 및 열전달 현상은 100% 출력운전시와 거의 비슷함을 알 수 있다. 주냉각재펌프 1대가 정지함으로 인해 증기발생기 카세트를 통과하는 냉각재의 유량분포가 약간 비균일하지만 “가”에서와 같이 온도분포에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 증기발생기 1그룹 격리시의 온도분포는 그림 11에 나타나 있으며, 속도 분포는 그림 7의 100% 출력운전조건과 거의 유사하다. 이것은 증기발생기 1그룹 격리운전 시 원자로출력은 75%로 줄지만 노심통과 냉각재 유량은 100% 출력운전때와 동일하며 단지 노심출구 온도가 310℃에서 306.2℃ 줄어서 유동분포에는 큰 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그림 11의 “가”에서와 같이 각 증기발생기 카세트 입구에서의 냉각재 온도는 동일하지만 “나”와 같이 격리된 증기발생기 카세트에서는 열전달이 정상 증기발생기 카세트보다 50% 밖에 발생하지 않아서 증기발생기 카세트간에 약 20℃ 온도차이를 가지고 “다”와 같이 원자로 하향유로로 흘러가 “라”의 노심입구로 들어감을 알 수 있다. 이러한 온도 차이는 노심에서도 계속존재함을 “마”에서 확인할 수 있는데, 예비 노심열수력 해석결과 열적여유도등에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 계산되었다.

4 결론 및 향후 연구방향

개념연구개발된 SMART의 열수력 특성을 검증하고 기본설계단계에서 필요한 설계자료를 생산하기 위해 SMART 운전조건에 따라 일차계통 열수력 계산을 범용전산유체코드인 CFX4.2를 이용하여 수행하였다. 계산결과에 의하면 100% 출력운전조건에서의 일차계통 열수력 거동을 검증하였고 주냉각재펌프 1대 운전조건에서는 정지된 펌프로 역류하는 유량으로 인해 주냉각재펌프 압력헤더에서는 유량분포가 비균일하지만 증기발생기 카세트의 큰 압력손실로 인해 증기발생기 통과유량 및 노심하부 유동은 거의 균일해지는 것으로 확인하였다. 증기발생기 1그룹 격리운전조건에서는 유동분포는 거의 균일하지만 원자로 하향유로와 노심입구에서의 온도분포는 격리된 증기발생기 카세트의 영향으로 비균일해진 상태로 노심을 통과하여 노심출구의 온도도 비균일한 것을 확인하였다. 그러나 노심 열적여유도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 생산된 운전조건에 따른 노심입

구에서의 유동분포 및 온도분포는 노심열수력 설계에서 설계자료로 활용될 것이다. 향후 연구방향 및 본 연구의 보완사항으로는 해석대상 격자수를 약 100,000개 이상으로 증가시켜서 좀 더 세밀한 계산을 수행해야 하고 노심을 통과하는 냉각재의 횡방향 운동량을 모사해야하고 노심에서의 열생성을 단순히 엔탈피 원천항으로 모사하지 말고 출력분포를 모사하는 함수를 user fortran으로 주어야 할것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

1. SMART 계통설명서, SMART-FS-SD210, Rev. 00, Nov. 15, 1998
2. The NSSS for Medium Size CNPP, Safety Justification, KAERI, 1997
3. 강형석, SMART 운전모드에 따른 주냉각재펌프 압력헤더와 노심하부 유동의 열수력적 특성 연구, 선임연구논문, 한국원자력연구소, 1998
4. 일체형원자로계통설계기술개발 1단계 최종보고서, KAERI/RR-1883/98, March, 1999
5. 일체형원자로노심설계기술개발 1단계 최종보고서, KAERI/RR-1885/98, March, 1999
6. 일체형원자로기계설계기술개발 1단계 최종보고서, KAERI/RR-1888/98, March, 1999
7. 일체형원자로기기개발 및 검증시험 1단계 최종보고서, KAERI/RR-1889/98, March, 1999
8. CFX-4.2 User Manual, AEA, 1997

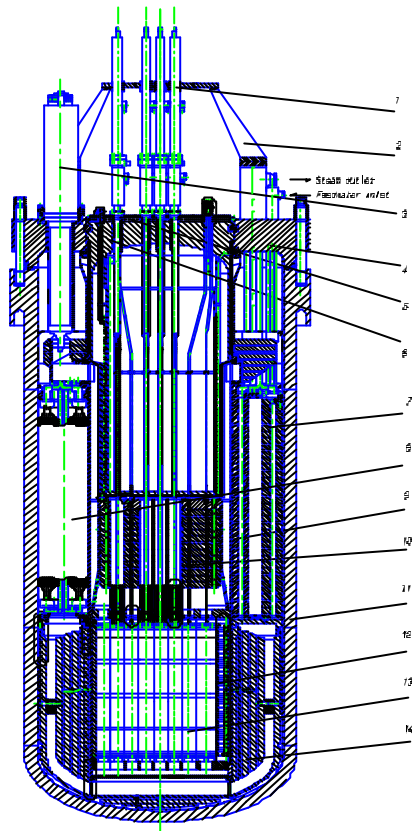


그림 1 SMART 원자로 집합체

- 1-CEDM, 2-Drive frame, 3-MCP, 4-Annular cover,
- 5-Thermal insulation, 6-pressurizer, 7-Displacer, 8-SG,
- 9-Core barrel, 10-Shielding tube assembly, 11-Vessel,
- 12-Core enclosure, 13-Fuel assembly, 14-Side screen

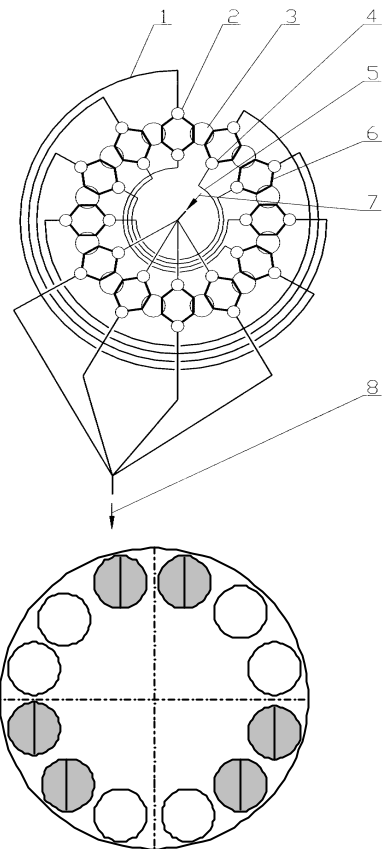


그림 2 증기발생기 그림 배치도

- 1-steam lines of the SG sections
- 2-collecting steam header, 3-SG cassette
- 4-distributing feedwater lines for vsection
- 5-feedwater lines for section, 6-SG modules with pipeline layout, 7-feedwater supply line
- 8-steam supply line to turbine generator

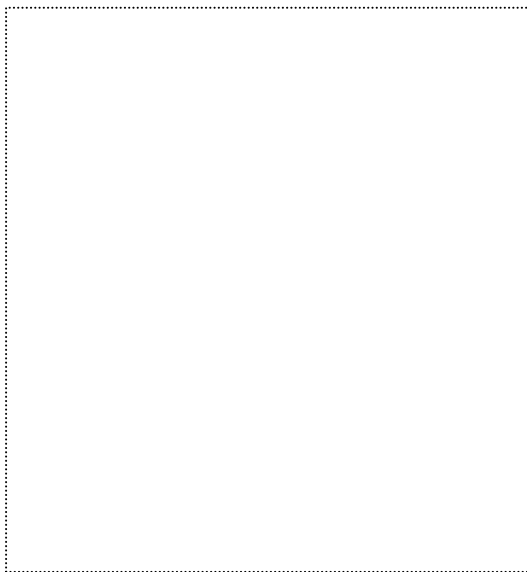


그림 4 유동거름판

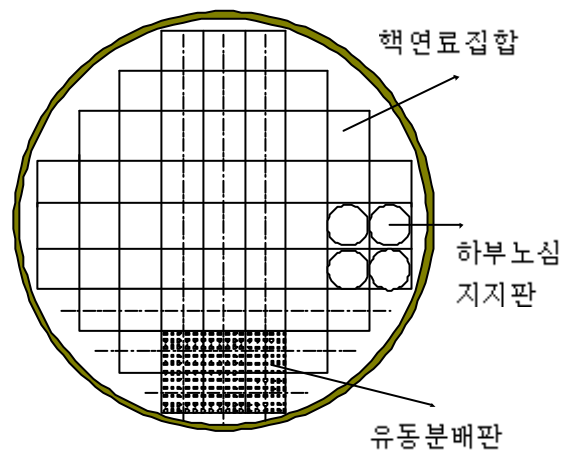


그림 5 유동분배판 및 하부노심지지판

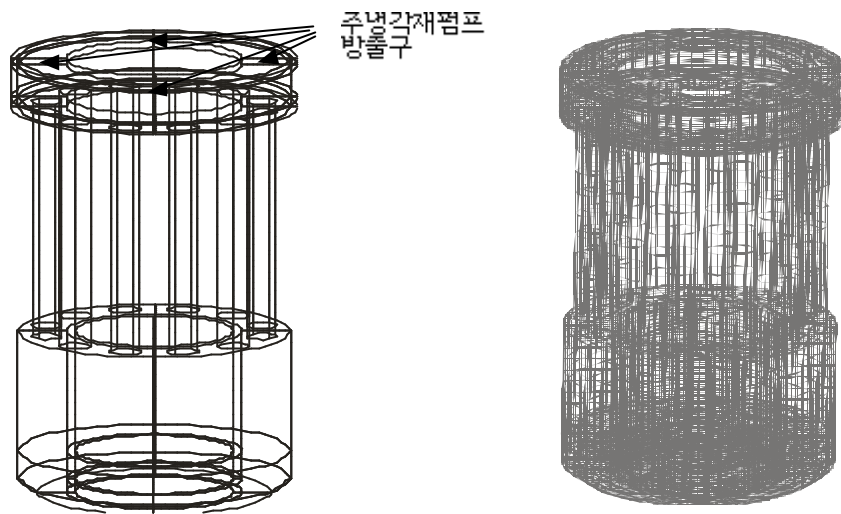


그림 6 기하학적 모델링 및 해석대상 격자

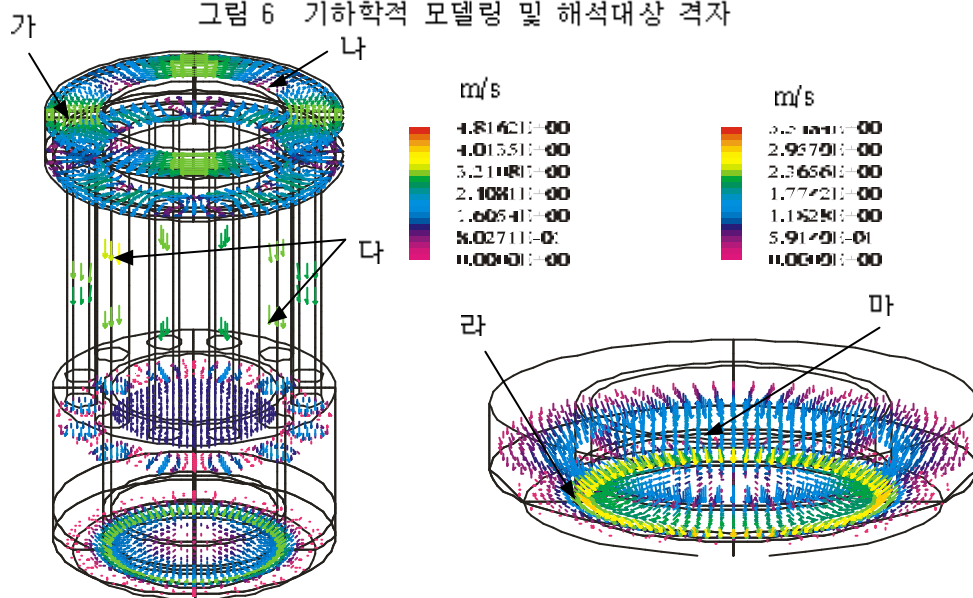


그림 7 100% 출력운전조건에서 속도분포

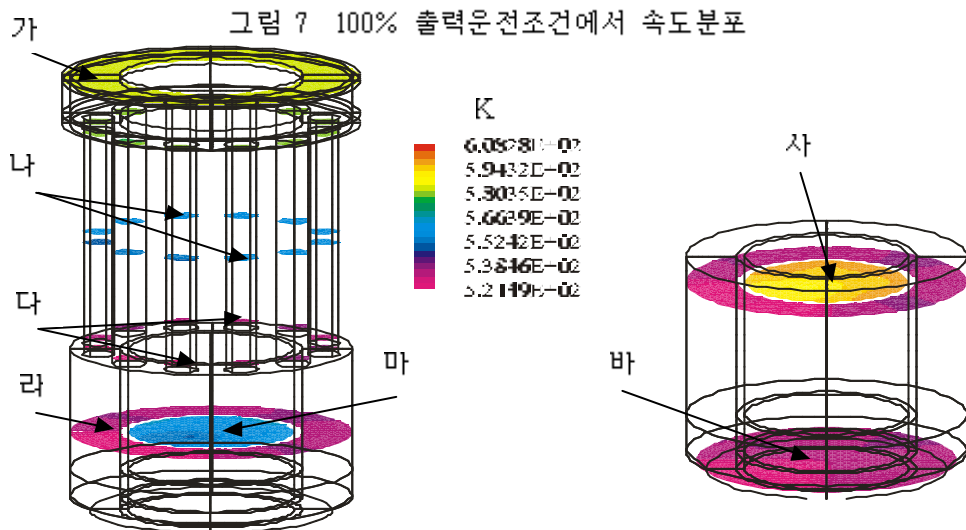


그림 8 100% 출력운전조건에서 온도분포

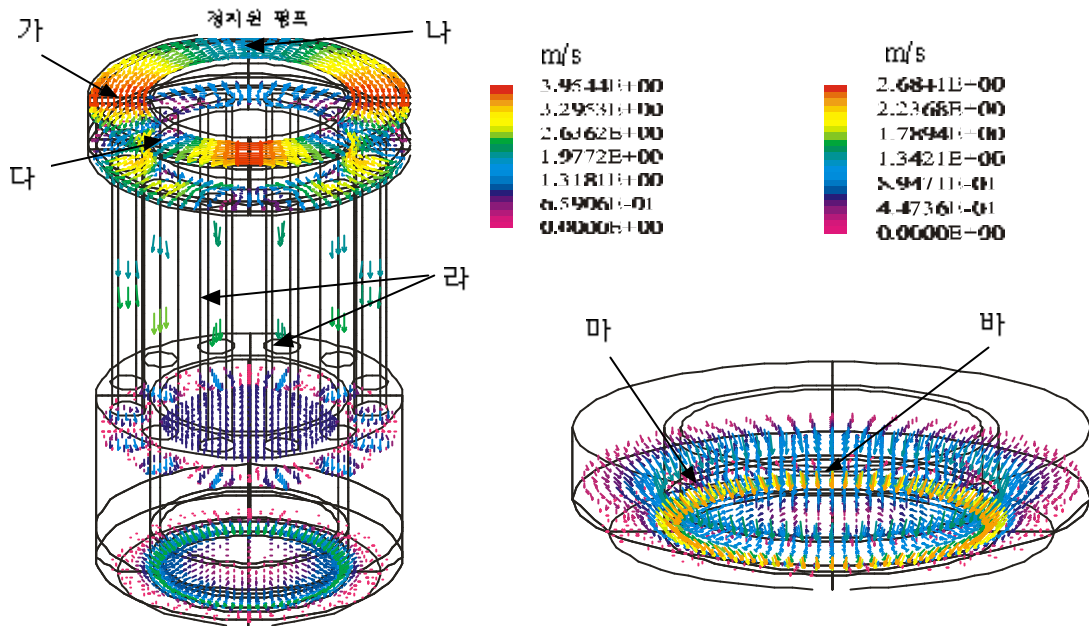


그림 9 주냉각재펌프 1대 정지운전조건에서의 속도분포

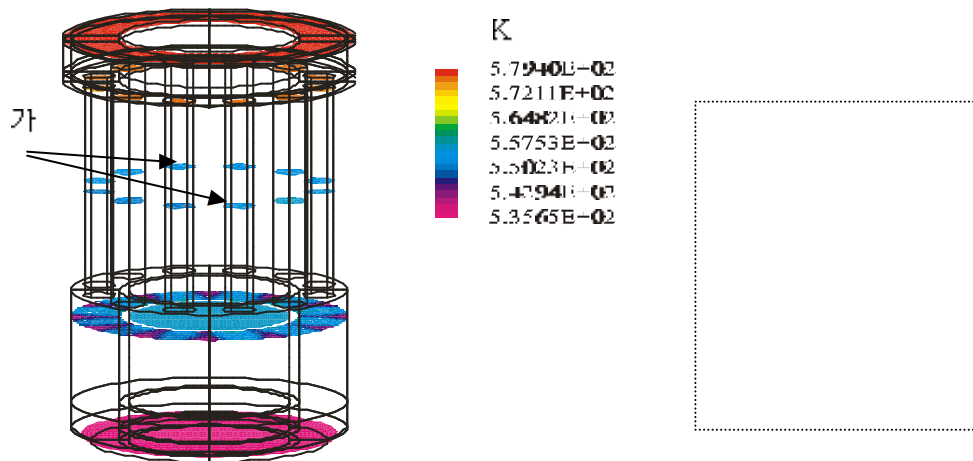


그림 10 주냉각재펌프 1대 정지운전조건에서의 온도분포

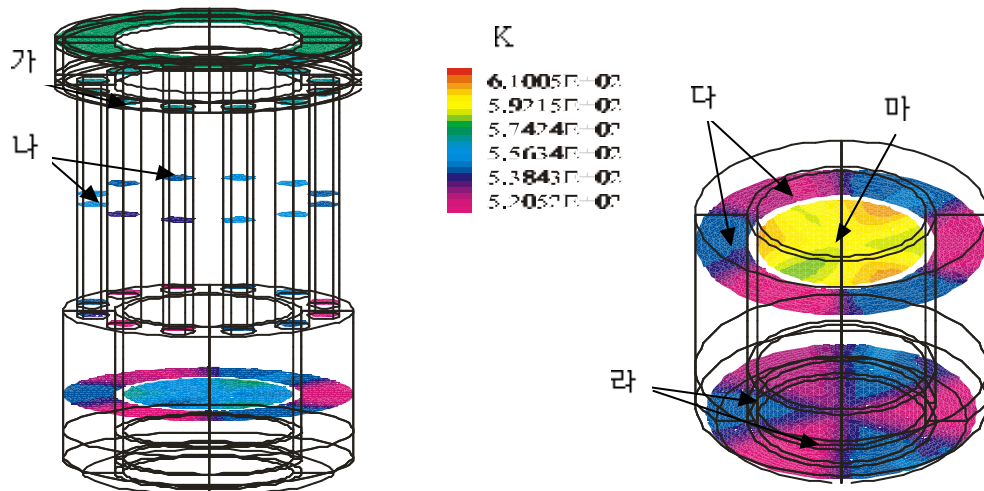


그림 11 증기발생기 1그룹 격리운전조건에서의 온도분포

표 1 SMART의 주요 설계자료[1,4]

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| 원자로 정격출력 (MWt) | 330 |
| 일차계통 정상운전 압력 (MPa) | 15.0 |
| 정상출력운전시의 냉각재 온도, 노심출구/노심입구 (°C) | 310.0/ 270.0 |
| 노심관통 냉각재 유량 (kg/sec) | 1550 |
| 주냉각재펌프 수 | 4 |
| 증기발생기 카세트 수 | 12 |
| 정격증기압력 (MPa) | 3.0 |
| 증기유량 (kg/sec) | 152.4 |
| 급수온도 (°C) | 180 |

표 2 유동분배판 및 하부노심지지판 설계자료[6]

| 유동분배판 | | 하부노심지지판 | |
|---------------|------|-----------------|------|
| 구멍 갯수 | 3200 | 구멍 갯수 | 57 |
| 구멍 직경 (mm) | 20 | 구멍 직경 (mm) | 196 |
| 유동분배판 직경 (mm) | 2081 | 하부노심지지판 직경 (mm) | 2072 |
| 유동분배판 두께 (mm) | 30 | 하부노심지지판 두께 (mm) | 160 |

표 3 100% 출력운전에서의 설계자료[4]

| | |
|---------------------------|-------|
| 원자로 정격출력 (MWt) | 330 |
| 노심출구 냉각재 (°C) | 310.0 |
| 증기발생기 출구 냉각재 | 268.5 |
| 노심입구 냉각재 | 269 |
| 원자로 환형공통 영역 | 308 |
| 가압기 중간공통 영역 | 70 |
| 가압기 중앙공통 영역 | 74 |
| 일차계통내에서 주요 부분 통과유량 (kg/s) | |
| 주냉각재펌프 | 1585 |
| 증기발생기 카세트 | 1540 |
| 핵연료집합체 | 1550 |
| 주냉각재펌프 헤드, KPa | 88.57 |
| 일차계통내 주요 부분 수력적 저항 (KPa) | |
| 저온관 (SG 출구~노심입구) | 14.92 |
| 고온관 (노심출구~SG 입구) | 25.24 |
| 노심 | 5.885 |
| 증기발생기 | 45.1 |
| 유동분배판 | 8.3 |
| 하부노심지지판 | 0.6 |

표 6 원자로 용기내의 체적다공도[3]

| 항 목 | 다공도 |
|---------|------|
| 원자로하향유로 | 0.4 |
| 노심하부 | 0.95 |
| 유동분배판 | 0.52 |
| 하부노심지지판 | 0.52 |
| 노심 | 0.53 |

표 4 주냉각재펌프 1대 정지운전시 설계자료[6]

| | |
|----------------|--------|
| 원자로 정격출력 (MWt) | 256 |
| 노심통과 유량 (kg/s) | 1123 |
| 냉각재 온도 (°C) | |
| 주냉각재펌프 출구온도 | 306.25 |
| 증기발생기 출구온도 | 262.59 |
| 증기 온도 (°C) | |
| 증기발생기 전열관 출구 | 303.4 |
| 핵증기공급계통 출구 | 300.8 |

표 5 SG 1그룹격리운전시 설계자료[2]

| 항 목 | 작동 모듈 수 | |
|-----------------------|---------|-------|
| | 6 | 3 |
| 냉각재 변수: | | |
| 압력 (MPa) | 15 | |
| SG 통과 유량 (kg/s) | 1550 | |
| SG 카세트 입구온도, (°C) | 306.25 | |
| SG 출구 냉각재 온도 (°C) | 264.7 | 286.3 |
| 급수 온도 (°C) | 180 | |
| 증기 유량 (kg/s) | 114.53 | |
| SG 카세트 출구 증기유량 (kg/s) | 12.725 | 6.363 |

표 7 CFX 계산 입구 및 출구조건

| 항 목 | 입구조건 | | 출구조건 |
|------------|---------|--------|-----------|
| | 속도(m/s) | 온도(°C) | |
| 100% 출력운전 | 3.28 | 310 | 15.0MPa |
| 1 MDP 정지운전 | 3.83 | 306.2 | *역류유량 |
| SG 1그룹 격리 | 3.28 | 306.2 | 232.5kg/s |

