

SMART 증기발생기 2구역 격리 운전시 성능 해석

Performance Analysis on the Operation of SMART Steam Generator 2 Sections Isolation

양수형, 김희철

동력로기술개발팀
한국원자력연구소
대전시 유성구 덕진동 150

요 약

TASS/SMR 코드를 이용하여 증기발생기 2구역 격리 운전시 SMART 성능을 평가하였다. 100% BOC (Begin of Cycle) 상태하 정격 조건을 초기 조건으로 사용하고, 계측 신호의 시간 지연, 사건 시나리오에 필요한 제어 논리 및 일부 가정을 이용하여 증기발생기 2구역 격리 운전에 대한 성능 해석을 수행한 결과, 계통 압력, 증기발생기 입구 온도 및 증기발생기 증기압 등과 같은 주요 계통 변수들은 허용 기준 이내에서 유지되는 것으로 분석되었다. 그리고 노심 노드에서의 냉각재 온도는 포화 온도에 비하여 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 이와 더불어 MOC 및 EOC 상태하에서도 증기발생기 2구역 격리 운전에 대한 성능 평가를 수행하였는데, MOC 및 EOC 조건하에서 주요 계통 변수들은 허용 기준을 초과하지 않는 것으로 분석되었으며, 주요 변수들의 경향은 BOC 조건에서의 경향과 비슷한 것으로 분석되었다.

Abstract

With TASS/SMR code, performance analyses have been performed on the Steam Generator 2 sections isolation operation of SMART. According to the performance analysis considering 100% power level of BOC condition, delay time of measuring instruments, control logic for the event scenario and some assumptions, major system parameters, including system pressure, inlet temperature of primary steam generator, outlet steam pressure of secondary steam generator and etc., were maintained within the allowable criteria. The coolant temperature of core node was also maintained quite below saturated condition. In addition, under MOC and EOC conditions, performance analyses on the Steam Generator 2 sections isolation operation have been performed. Under MOC and BOC conditions, the allowable criteria on major parameters were not violated, and the trends of the parameters were analyzed to be similar to those of BOC condition.

1. 서론

SMART(System-Integrated Modular Advanced Reactor)는 주요 계통의 상태에 따라서 다양한 노심 출력 운전(20%로부터 100%까지)을 구현할 수 있다[1]. 이와 더불어 SMART는 일차 계통에서 비대칭 유동을 형성하는 경우에도 출력 운전을 하고자 하는데, 이러한 비대칭 유동을 형성하는 시나리오로는 주냉각재펌프(Main Coolant Pump; MCP) 1대 정지 운전과 증기발생기(Steam Generator; SG) 2구역 격리 운전이 있다. 이러한 사건 발생시 정격 출력보다 낮은 출력 수준에서 출력 운전이 이루어지도록 하고 있다.

증기발생기 2구역 격리 운전시에는 격리된 증기발생기로는 열전달이 이루어지지 않기 때문에 격리가 되지 않은 증기발생기로의 열전달만이 이루어지게 된다. 이로 인해 일차측 증기발생기에서는 비대칭 유동 및 온도 분포가 형성된다. 이러한 유동/온도 비균일 거동이 노심에 전파되면 국부적으로 SMART의 열적 여유도를 저하시킬 수 있다. 따라서 비대칭 거동이 나타나는 사건시 계통 변수들이 허용 기준을 만족하는 상태하에서 출력 운전이 가능한지 평가하는 것은 상당히 중요하다.

본 논문에서는 TASS 코드[2]를 기본으로 하여 SMART에 필요한 모델 및 열전달 상관식을 추가하여 개발된 TASS/SMR(Transient And Setpoint Simulation/Small and Medium Reactor) 코드를 이용하여 증기발생기 2구역 격리 운전시 SMART의 전반적인 계통 변수들을 분석하고, SMART의 계통 변수들이 허용 기준 이내에서 유지될 수 있는지 여부를 파악하고자 한다.

2. 해석 방법

가. 분석 코드

본 논문에서 고려된 증기발생기 2구역 격리 운전과 같은 SMART의 비정상 출력 운전 모드에 대한 성능 해석에서 사용된 코드는 KAERI에서 SMART의 성능 및 안전 해석을 위하여 개발중인 TASS/SMR(Transient And Setpoint Simulation/Small and Medium Reactor) 코드이며, 해석에서 사용된 데이터는 참고 문헌 [3]을 기본으로 하였다.

TASS/SMR 코드는 SMART의 운전 전 영역에 대한 열수력 거동을 모의할 수 있도록 TASS 코드를 기본으로 하여 개발되었다. TASS 코드는 기본 열수력 모델, 데이터베이스 관리, 제어 계통 모델 그리고 각종 부품 모델을 기본으로 개발되었으며, 이러한 TASS 코드에 SMART에 적절한

증기발생기 열전달 모델 등과 같은 모델을 보완하여 TASS/SMR 코드를 개발하였다. TASS/SMR 코드를 이용한 SMART 성능 해석에서 사용되는 Nodalization을 그림 1에 나타내었는데, 일차 및 이차 계통을 각각 122개의 노드와 135개의 유로로써 모사하고 있다.

SMART Nodalization에 대한 개략적인 설명은 참고 문헌 [4]에 기술되어 있기 때문에, 여기서는 증기발생기와 관련된 부분에 대해서 기술하기로 한다. 증기발생기는 일차측과 이차측으로 구성되어 있는데, 일차측은 단상 액체로 유지되기 때문에 증기발생기 4개의 독립 유로를 각각 5개의 노드로 구분(독립 유로 1번: 6~10, 독립 유로 2번: 11~15, 독립 유로 3번: 16~20, 독립 유로 4번: 21~25)한 반면에, 이차측은 단상 액체에서 이상 유체를 거쳐 단상 증기로 혹은 그 역으로 되는 급격한 유체 특성으로 인하여 4개의 독립 유로를 각각 10개의 노드(독립 유로 1번: 35~44, 독립 유로 2번: 49~58, 독립 유로 3번: 63~72, 독립 유로 4번: 77~86)로 구분하였다. 그리고 급수관 섹션격리 밸브들은 그림 1에서 경로 40, 55, 70 및 85번이며, 증기관 섹션격리밸브들은 경로 52, 67, 82 및 97번이다. 증기발생기 2구역 격리 운전에서는 섹션격리밸브 1과 3을 잠그도록 설정하여, 증기발생기 일차측 및 이차측의 독립 유로 2와 4번에서의 열전달만이 이루어지도록 하였다.

나. 해석 방법 및 허용 기준

증기발생기 2구역 격리 운전과 같은 비정상 출력 운전은 성능 관련 설계기준사고이다. 이러한 성능 관련 설계기준사고에 대한 해석은 최적 초기 조건 및 최적 해석 입력을 사용하고, 관련된 모든 공정 계통이 정상적으로 작동한다고 가정한다. 그리고 SMART에 있어 증기발생기는 10%의 튜브 관 막힘(Plugging Margin)을 가지도록 설계되었기 때문에, 72개의 증기발생기 모듈 중 7개의 모듈이 관막음된 것으로 가정하였다. 증기발생기 2구역 격리 운전에 대한 해석은 BOC(Beginning of Cycle), MOC(Middle of Cycle) 및 EOC(End of Cycle)에 대하여서 수행되었으며, 노심 출력, 일차측 증기발생기 입구 냉각재 온도 및 일차 계통 압력에 대한 계측 신호의 시간 지연을 고려하였다. 그러나 급수 유량 및 증기발생기 입구에서의 온도 등의 초기 운전 변수 편차(Parameter Deviation)의 영향은 고려 대상에서 제외되었다.

증기발생기 2구역 격리 운전은 비정상 출력 운전에 포함되는데, 비정상 출력 운전시 허용 기준은 다음과 같다[5].

- 표 1에 기술된 원자로 정지 신호중 출력 운전과 관련된 원자로 정지 신호가 발생하지 않아야 한다.
- 노심에서 충분한 열적 여유도를 확보하기 위해 핵비등이탈율(DNBR: Departure from Nucleate Boiling Ratio)이 최소 DNBR 이상이어야 하고, 냉각재 비등이 허용되지 않는다.

다. 사건 경위 및 초기 조건

과도 시작 이전 일차 계통은 100% 정상 출력 운전하에서 4 대의 MCP가 모두 작동하는 강제 순환/고속 운전 상태이며, 가압기 상부에 연결되어 있는 개스 실린더는 개방된 상태에 있다. 증기 발생기 2구역 격리 운전의 과도 발단은 급수관/증기관의 누설이나 증기발생기 세관 누설이며, 운전원의 탐지 및 판단에 의해 노심 출력을 줄이게 된다. 출력 감소 비율은 성능 해석을 통해 파악해야 하는데, 본 논문에서는 민감도 분석을 통해 분당 5%의 비율로 노심 출력이 감소되는 것으로 설정하였다. 그리고 누설이 발생한 증기발생기의 격리시 대칭성을 유지하기 위하여 반대편의 증기발생기도 격리시키기 때문에 노심 출력은 50% 수준까지 감소된다. 노심 출력이 50%까지 감소된 이후 계통 변수가 안정화되면 증기발생기 섹션격리밸브를 잠그게 되는데, 섹션격리밸브를 잠그는 시점을 급수 유량이 50% 수준으로 감소된 시점으로 가정하였다. 이와 더불어 10초의 섹션격리밸브의 Stroking Time을 가정하였다. 이후 계통 변수가 안정됨에 따라 20%에서 50% 사이의 출력 운전이 가능해지는데, 이때의 출력 변동은 최대 5%/분의 속도로서 이루어진다.

증기발생기 2구역 격리 운전시 증기발생기 출구 온도의 비대칭 거동이 예상되나, 본 논문에서는 증기발생기 2구역이 격리되더라도 일차측 증기발생기 입/출구에서는 온도/유동 분포가 균일하게 될 것이라고 가정하였다. 해석 초기 조건은 BOC, MOC 및 EOC 조건하에서 얻어진 100% 정격 출력 운전 조건이 사용되었다.

라. 제어 논리

출력 변동이나 운전중 예상 과도시 공정 변수의 변화로 계통 조건이 정상 운전 조건으로부터 벗어나게 될 경우에 적절한 제어를 통해 안정 모드로 복귀시킬 필요가 있는데, 본 성능 해석에서는 이를 위하여 출력-유량 편차와 온도 편차를 결합한 제어 방식인 T/N 제어를 이용하였다[4].

$$U = 0.333 \times \Delta T + 0.5 \times \Delta N$$

여기서 $\Delta N = N - Q_w$ 로 증성자 출력(N)과 주급수 유량(Q_w)의 편차이고, $\Delta T = T_{hot} - T_{ref}$ 로 일차측 증기발생기 입구 온도(T_{hot})와 기준 온도(T_{ref}) 프로그램의 편차이다. 제어봉은 $|U| > 1$ 일 때 이동하여, $|U| = 0$ 일 때 정지하는 이력 특성을 가지게 된다.

비정상 운전시에는 공정 변수의 큰 변화가 발생하여 원자로 정지 신호 설정치에 도달할 가능성이 있으며, 이를 방지하기 위해 SMART에는 예비 보호(Pre-Scram) 신호가 있다(표 1). 본 논문에

서는 노심 출력, 가압기 압력 등과 같은 계통 변수에 의해 Pre-Scram 신호가 발생하면 제어봉이 7.5 Step 삽입되는 것으로 가정하였다(정상시 제어봉의 삽입 및 인출은 1 Step씩 이루어짐).

3. 해석 결과

가. 과도 초기 노심 출력 감소율에 대한 민감도 분석

과도 발단 초기 노심 출력 감소율 파악을 위하여 10%/초, 5%/초, 1%/초 및 5%/분의 급수 유량 감소율에 대한 민감도 분석을 수행하였으며, 해석 결과를 그림 2에서 4에 나타내었다. 그림 2는 가압기 압력 변화를 보여주고 있는데, 초당 1% 이상의 급수 유량 감소율을 사용하는 경우 과도 초기에 Pre-Scram 설정 압력인 16.0 MPa 이상을 초과하는 것으로 나타난 반면에, 분당 5%의 출력 감소율을 이용하는 경우에는 가압기 압력이 15.0 MPa 근방에서 유지되는 것으로 분석되었다. 특히 초당 10% 및 5%의 급수 유량 감소율을 사용하는 경우 가압기 고압력에 의한 원자로 정지 설정치인 17.0 MPa 근방까지 증가하는 것으로 분석되었다. 초당 1% 이상의 급수 유량 감소율을 사용하는 경우 발생하는 가압기 압력의 증가는 노심 출력의 감소가 급수 유량의 감소율을 잘 추종하지 못하여서 발생하게 되는데, 그림 3 및 4는 급수 유량 감소율에 따른 노심에서 생성되는 열량 및 증기발생기를 통하여서 제거되는 열량을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서는 과도 발단 초기 급수 유량 감소율을 5%/분으로 설정하여 해석을 수행하기로 한다.

나. BOC 조건하에서 증기발생기 2구역 격리 운전

증기발생기 2구역 격리 운전시 급수 유량 및 증기발생기 이차측 입/출구 유량 변화를 그림 5와 6에 나타내었다. 그림 5에서 나타났듯이, 과도 초기 운전원에 의해 급수 유량은 분당 5%의 비율로서 정격 급수 유량의 50%까지 600초만에 감소되었으며, 증기발생기 이차측 개별 경로에서의 급수 유량도 50%씩 감소하였다. 그리고 600초에서 섹션격리밸브 1과 3번을 잠그도록 구성하였는데, 이러한 이유로 독립 유로 1번과 3번에서의 급수 유량은 0으로, 그리고 독립 유로 2번과 4번에서의 유량은 정격 조건의 급수 유량으로 증가하게 된다(그림 6). 이에 반하여 증기 유량은 시간 지연을 가지고서 급수 유량을 추종하는 것으로 나타났다(그림 7). 이후 계통 변수가 안정됨에 따라서 50 ↔ 20% 출력 운전을 수행하게 되는데, 급수 유량 및 각 경로에서의 유량은 급수 유량 변화율에 따라서 적절히 변하는 것으로 나타났다.

노심 출력 변화를 그림 8에 나타내었는데, 노심 출력은 사고 초기에 목표 출력을 잘 추종하는 것으로 나타났다. 그러나 증기발생기 2구역이 격리되는 시점인 600초 근방에서 목표 출력에 비하여 다소 차이가 나게 되는데, 이는 노심에서 발생하는 열량이 증기발생기를 통하여 제거되는 열량

에 비하여 커져 냉각재의 밀도가 감소함으로써 주입되는 음의 냉각재 반응도 때문인 것으로 나타났다(그림 9와 10). 이후 노심에서 발생하는 열량과 증기발생기를 통한 열제거량 사이 열평형이 이루어지면서 노심 출력은 목표 출력인 50% 출력 근방에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 계통 변수들이 안정화된 이후 50 ↔ 20% 출력 변화 운전이 이루어지는데, 출력 변화 운전시에는 노심 온도 계수, 감속재 밀도 계수 및 T/N 제어에 의한 제어봉의 위치 변화에 따라 반응도가 변하면서 노심 출력은 큰 차이 없이 목표 출력을 잘 추종하는 것으로 분석되었다.

그림 11은 가압기 압력 변화를 보여주고 있는데, 그림 12에서 보여지는 것처럼 노심에서 발생하는 열량과 증기발생기를 통하여 방출되는 열량의 차이에 따라서 가압기 압력은 증가 또는 감소를 하게 된다. 600초에서 섹션격리밸브가 잠기기 시작하게 되며, 이 시점 부근에서 증기발생기를 통하여 방출되는 열량이 노심에서 발생하는 열량에 비해 작아져서 가압기 압력의 Peak가 나타나게 된다. 이후 시간이 지남에 따라서 노심에서 발생하는 열량과 증기발생기를 통하여 방출되는 열량의 평형이 이루어져서 가압기 압력은 안정화된다. 50% ↔ 20% 출력 변화시에도 가압기 압력은 노심에서의 발생 열량과 증기발생기를 통하여 방출되는 열량의 변화에 따라서 변하게 되는 것으로 나타났다. 수행된 성능 해석 결과에 의하면 증기발생기 2구역이 격리된 50% 출력 운전 및 50% ↔ 20% 출력 변화시에서 가압기 압력은 고압/저압 정지 설정치 허용 기준(고압은 17.0 MPa, 저압은 12.0 MPa)이내에서 유지되는 것으로 나타났다.

일차 계통 증기발생기 입/출구 온도는 그림 13에 나타내었다. 과도 초기 일차측 증기발생기 입구 온도는 Sliding T_{ref} 에 따라서 577.77 K 까지 감소하게 되는데, 50% 노심 출력에 해당하는 기준 온도는 575.65 K이다. 또한 열평형을 맞추기 위하여 증기발생기 출구 온도가 증가하게 되는데, 노심 출력이 50% 정상 상태에 도달했을 때 증기발생기 출구 온도는 558.48 K 인 것으로 나타났다. 600초 시점에 섹션격리밸브 1번과 3번이 잠기면서, 증기발생기 일차 및 이차측의 독립 유로 1번과 3번에서의 열전달이 이루어지지 않게 된다. 따라서 독립 유로 1번 및 3번에 존재하는 증기발생기 일차측 출구 노드인 10번 및 20번에서의 온도는 증기발생기 입구 노드인 5번의 온도와 비슷한 수준으로 증가하게 되며, 15번과 25번에서의 냉각재 온도는 관련된 이차측 경로에서의 유량 증가로 인하여 온도가 감소하게 된다. 50% 노심 출력에서 계통 변수가 안정화되면, 50% ↔ 20% 출력 변화 운전을 수행하게 되는데 증기발생기 입구 온도는 Sliding T_{ref} 에 따라서 573.23 K 까지 감소하게 되며(20% 노심 출력에 해당하는 기준 온도는 571.15 K), 섹션격리밸브가 잠기지 않은 쪽과 관련된 일차측 증기발생기 출구 온도는 557.14 K까지 증가하는 것으로 나타났다. 성능 해석 결과에 의하면 일차측 증기발생기 입구에서의 온도는 원자로 정지 설정치인 608 K 이내에서 유지되는 것으로 분석되었다.

그림 14 및 15는 증기발생기 이차측 출구에서의 온도 및 노심 노드에서의 냉각재 평균 온도를

보여주고 있다. 그림 14에서 나타났듯이 100% 정상 출력하에서는 약 40K 정도의 과열도를 가지는데, 섹션격리밸브가 잠기기 전까지는 과열도가 약 40K 이상으로 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 섹션격리밸브가 잠기면서 과열도가 급격하게 변하는데, 독립 유로 1번과 3번에서의 증기발생기 이차측 출구 노드는 포화 상태로 유지되는 반면에, 독립 유로 2번과 4번에서의 증기발생기 이차측 출구 노드는 급수 유량의 증가로 인하여 과열도가 절반 수준인 약 20 K 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 50% ↔ 20% 출력 변화시에는 독립 유로 2번과 4번에서의 과열도가 출력에 따라서 변하는 것으로 나타났으며, 특히 20% 노심 출력하에서는 40 K 이상의 과열도를 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 그림 15는 노심 노드에서의 냉각재 평균 온도 및 포화 온도를 보여주고 있는데, 계산 결과에 의하면 노심 노드에서의 냉각재 평균 온도는 포화 온도에 비하여 약 40 K 낮은 것으로 계산되었기 때문에 노심 노드에서 냉각재 비등이 허용되지 않는다는 비정상 출력 운전하에서의 허용 기준을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

수행된 성능 해석 결과에 의하면 증기발생기 2구역 격리 운전시 50% 출력 운전 및 50% ↔ 20% 출력 변화시 어떤 계통 변수도 보일러 정지 신호를 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

다. MOC 및 EOC에서의 증기발생기 2구역 격리 운전

MOC 및 EOC 조건하에서도 증기발생기 2구역 격리 운전에 대한 성능 해석이 수행되었는데, 각 조건에서의 차이는 지발중성자 분율, 축방향 출력 분포, 핵연료온도계수, 냉각재밀도계수, 제어봉가 및 제어봉의 초기 위치이다[6,7]. 각 조건들에서의 차이점은 참고 문헌 [4]에 자세히 기술되어 있다. 수행된 해석 결과를 그림 16에서 19에 나타내었는데, 각 조건하에서 계통 변수들의 차이는 존재하지만 BOC 조건과 거의 비슷한 경향을 보이는 것으로 해석되었다. 그리고 50% 출력 운전 및 50% ↔ 20% 출력 변화시 어떤 계통 변수도 보일러 정지 신호를 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

4. 결론

SMART 증기발생기 2구역 격리 운전시 SMART의 전반적인 계통 변수들을 분석하고, SMART의 계통 변수들이 허용 기준 이내에서 유지될 수 있는지 여부를 파악하기 위하여 TASS/SMR 코드를 이용하여 성능 해석을 수행하였다. 성능 해석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 과도 발단 초기 노심 출력 감소율을 설정하기 위하여 10%/초, 5%/초, 1%/초 및 5%/분의 급수 유량 감소율에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석에 의하면 초당 1% 이상의 급수 유량 감소율을 사용하는 경우 가압기 압력은 Pre-Scram 설정 압력인 16.0 MPa을 초과하는 것으로 분석되었으며, 분당 5%의 급수 유량 감소율을 이용하는 경우 가압기 압력은

15.0 MPa 근방에서 유지되는 것으로 나타났다.

- 100% 출력의 BOC 조건을 이용한 성능 해석 결과에 의하면 증기발생기 2구역 격리 운전시 50% 출력 운전 및 50% ↔ 20% 출력 변화시 어떤 계통 변수도 원자로 정지 신호를 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 그리고 증기발생기 2구역 격리 운전에 대한 성능 해석은 MOC 및 EOC 조건하에서도 수행되었는데, BOC 조건과 마찬가지로 주요 계통 변수들은 허용 기준을 초과하지 않는 것으로 분석되었다. 이와 더불어 가압기 압력 및 노심 출력과 같은 주요 계통 변수들의 경향은 BOC 조건에서의 경향과 비슷한 것으로 나타났다.

감사의 글

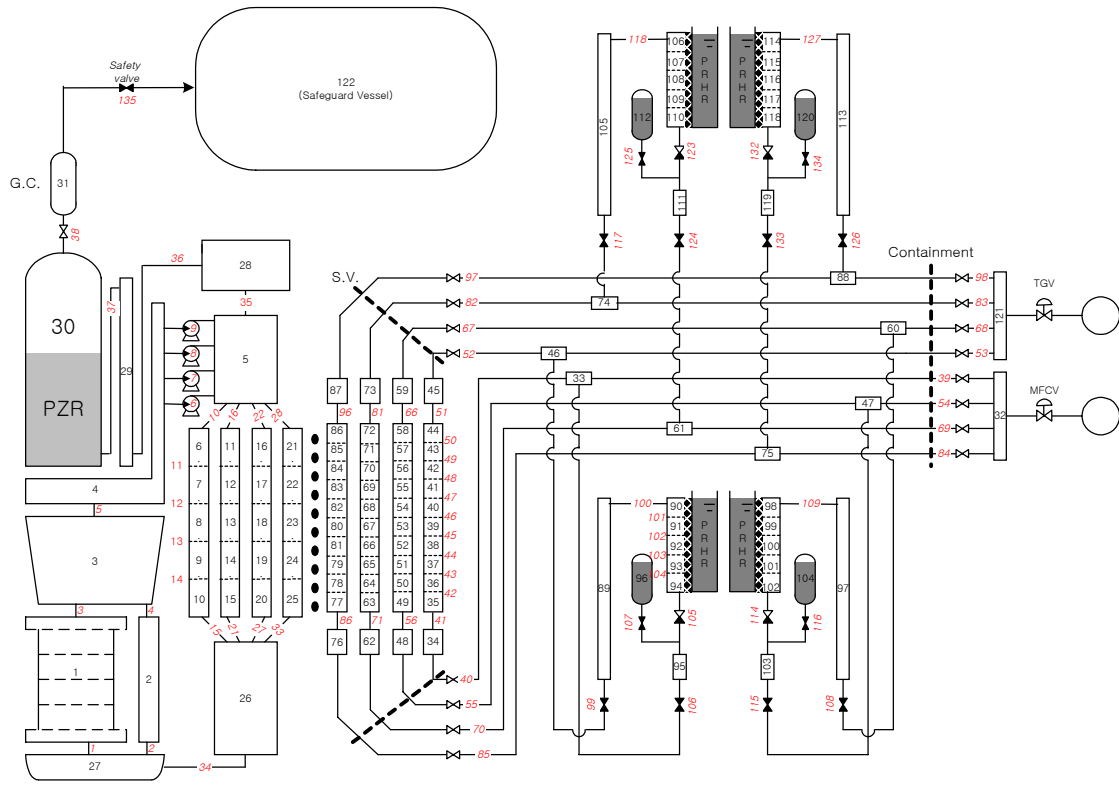
본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 개발 계획의 일환으로 수행된 것이다.

참고 문헌

1. SMART-FS-DD012, Revision 01, SMART 과도기 및 제한사고 해석을 위한 유체계통설 계자료, 한국원자력연구소, 2000.
2. KAERI/TR-845/97, TASS 코드 특정 기술 보고서, 한국원자력연구소, 1996.
3. SMART-SA-CA530-18, Revision 00, SMART 기본설계의 성능/안전해석을 위한 정상상태 계산서, 한국원자력연구소, 2001.
4. 양수형, 김희철, SMART 주냉각재펌프 1대 정지 운전시 성능 해석, 한국원자력학회 추계학술회의, 수원, 2001.
5. KAERI/TR-1798/2001, SMART 성능해석 방법론, 한국원자력연구소, 2001.
6. SMART-CA-DD190-01, Revision 02, SMART Core Design/Analyses Technology Development, 한국원자력연구소, 2001.
7. SMART-SA-CA530-17, Revision 00, SMART 기본설계의 성능/안전해석을 위한 TASS /SMR 원자로 동특성 및 반응도 입력 계산서, 한국원자력연구소, 2001.

표 1. SMART 예비 보호 및 정지 설정치

	정격 설계값	설정치	
		예비보호	정지
노심 열출력, %		↑ 108	↑ 115
SG 일차측 입구 온도, °C	310	↑ 325	↑ 335
가압기 압력, MPa	15.0		↓ 12
		↑ 16	↑ 17.0
SG 증기압, MPa	3.3		↑ 4



Nodalization of TASS/SMR for SMART

그림 1. SMART 성능 해석을 위한 Nodalization

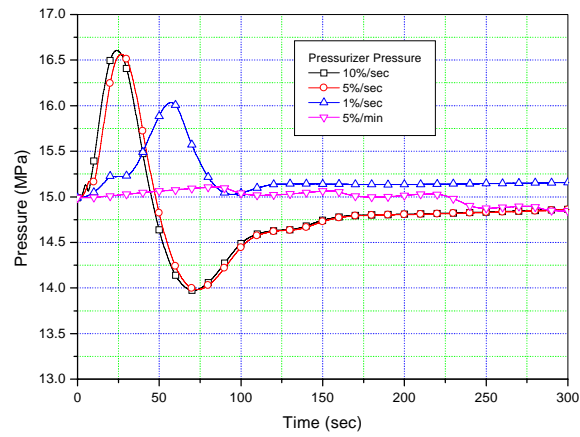


그림 2. 가압기 압력 변화

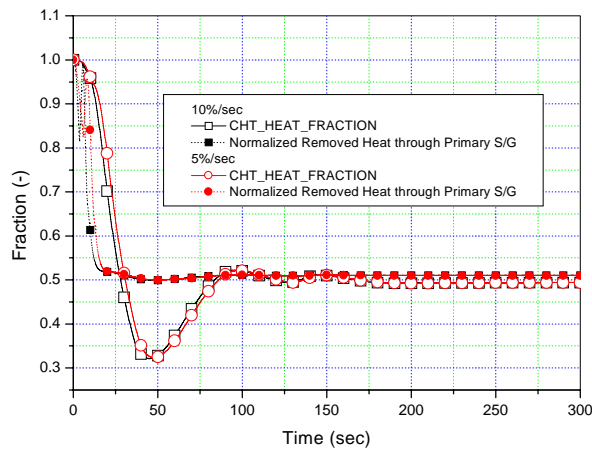


그림 3. 급수 유량 감소율에 따른 노심 평균 열유속비대 SG를 통해 방출되는 전열량비

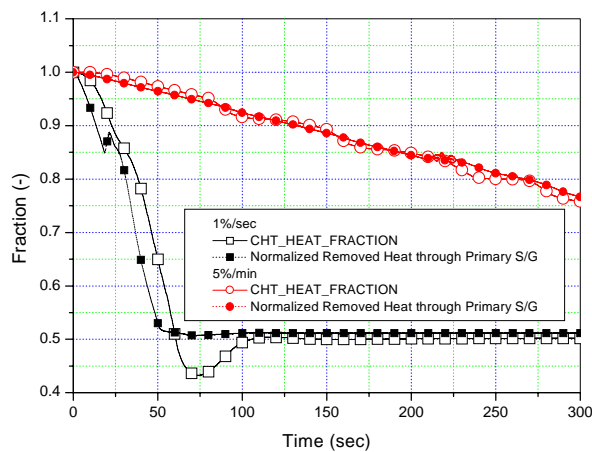


그림 4. 급수 유량 감소율에 따른 노심 평균 열유속비대 SG를 통해 방출되는 전열량비

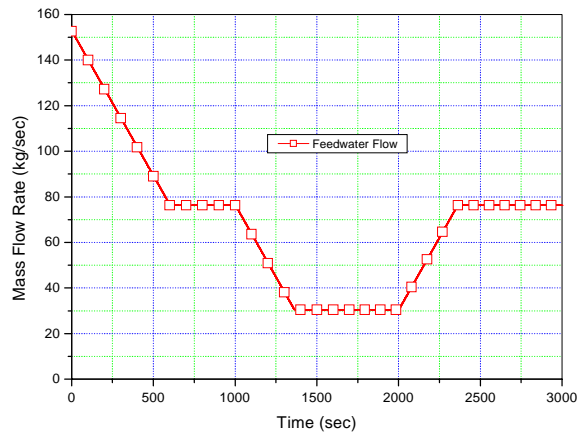


그림 5. 급수 유량 변화

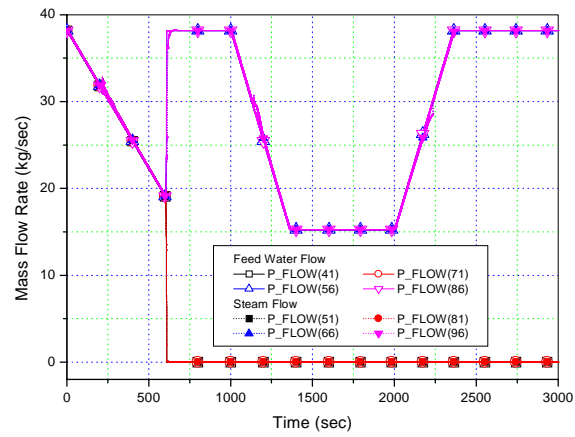


그림 6. SG 이차측 입/출구 유량 변화

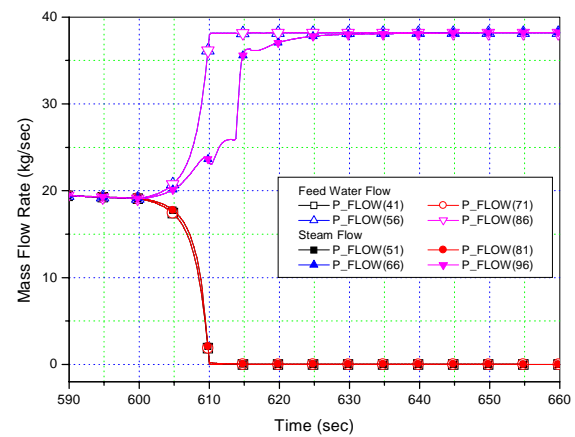


그림 7. 급수/증기 유량의 변화 (600초 근방)

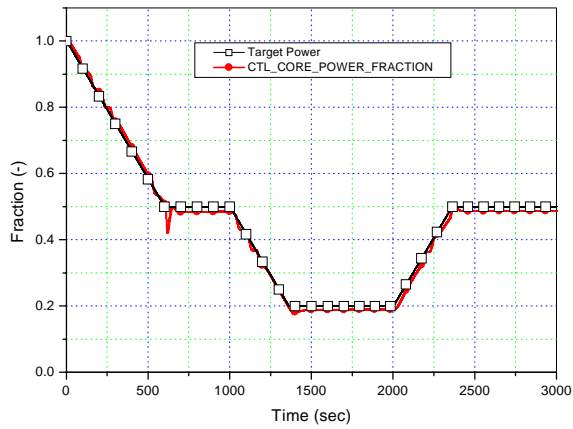


그림 8. 목표 출력 및 노심 출력

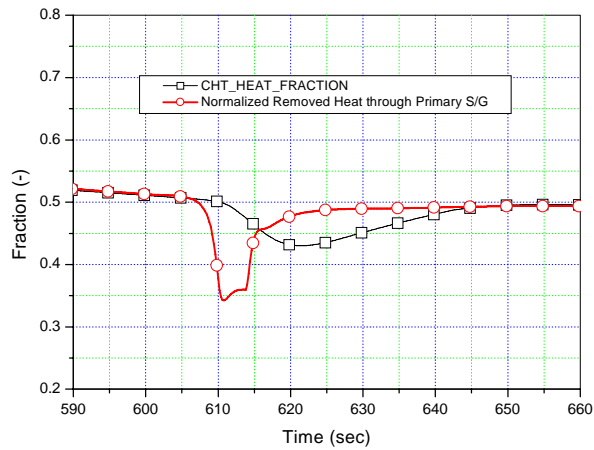


그림 9. 노심 평균 열유속비와 SG를 통하여 방출되는 전열량비

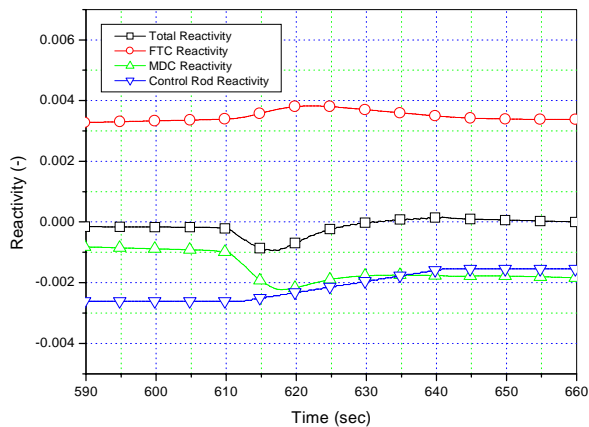


그림 10. 반응도의 변화 (600초 근방)

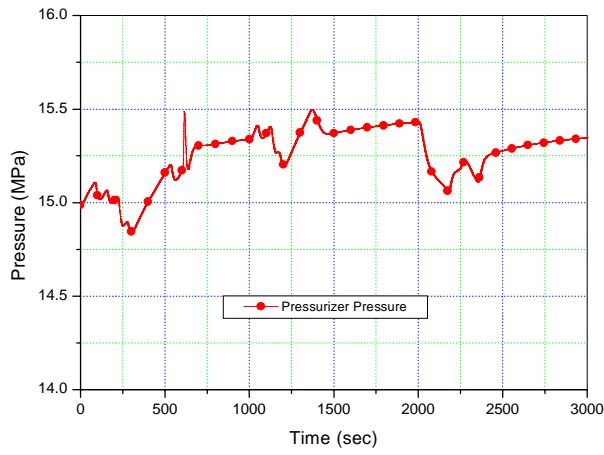


그림 11. 가압기의 압력 변화

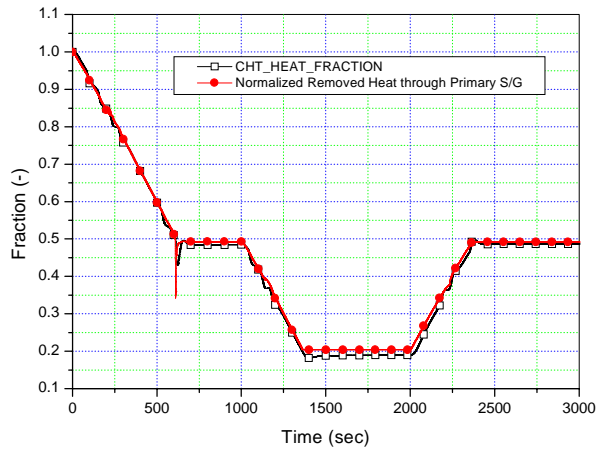


그림 12. 노심 평균 열유속비와 SG를 통하여 방출되는 전열량비

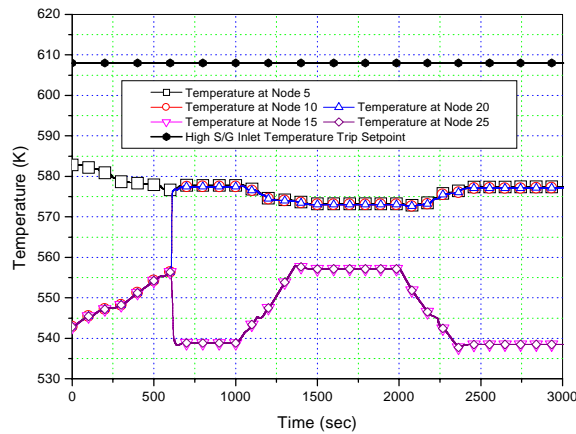


그림 13. SG 일차측 입/출구 온도 변화

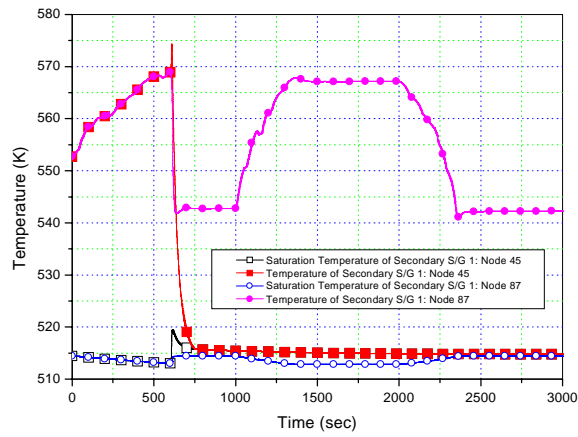


그림 14. SG 이차측 출구에서의 온도

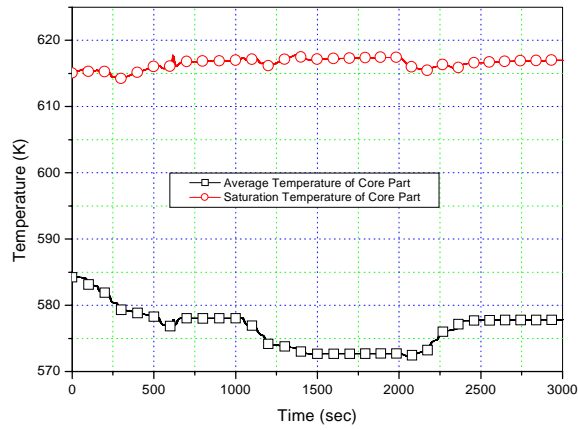


그림 15. 노심에서의 냉각재 평균 온도 및 포화 온도

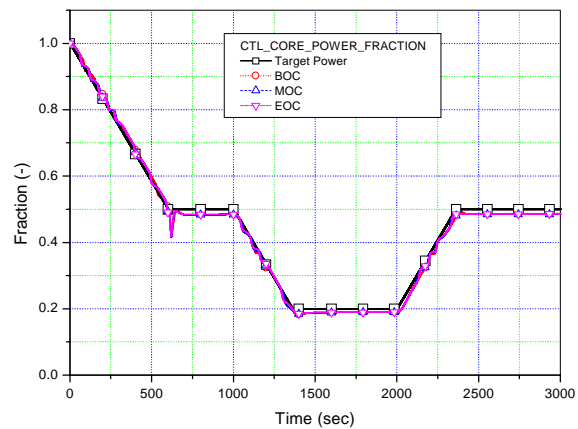


그림 16. 목표 출력 및 노심 출력

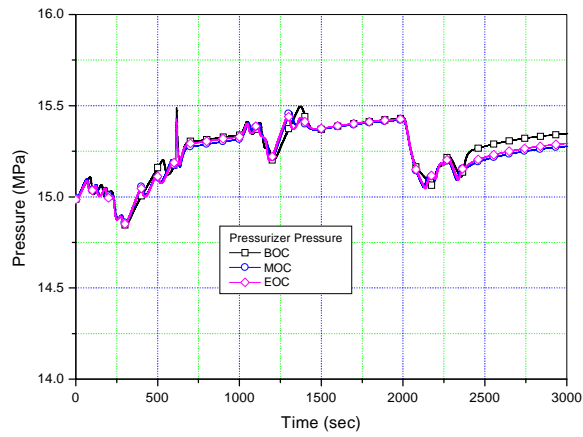


그림 17. 가압기 압력 변화

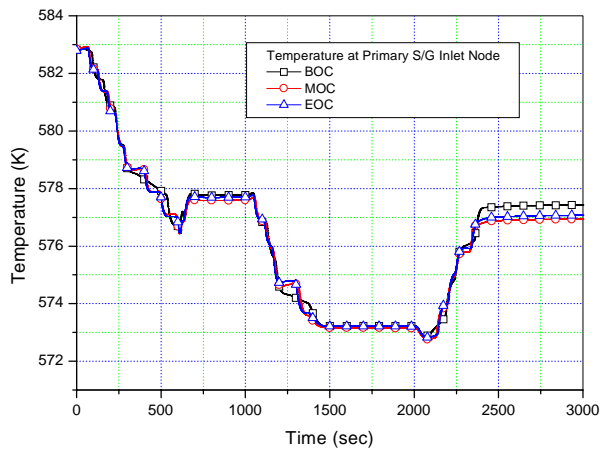


그림 18. SG 일차측 입구 온도

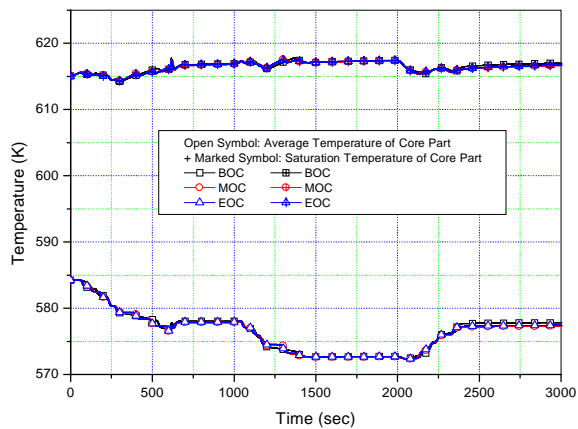


그림 19. 노심에서의 냉각재 평균 온도 및 포화 온도