

## SMART 터빈 정지 지연 시간이 DNBR에 미치는 영향

### The Effect of Turbine Trip Delay Time on DBNR in SMART

양수형, 김희철

동력로기술개발팀  
한국원자력연구소  
대전시 유성구 덕진동 150

#### 요약

SMART 안전 해석 결과에 의하면 DNBR 관점에서 분석되어야 하는 사건들중 이차 계통에 의한 열제거 증가 사건과 반응도 관련 사건시 MDNBR이 설계 제한치에 근접한 것으로 분석되었다. MDNBR 향상 차원에서 터빈을 지연 정지시키는 방안에 대한 검토 결과, 원자로 정지후에도 적어도 수 초 동안은 터빈으로 과열 증기가 공급될 수 있고, 안전 등급으로 설계된 주급수 및 주증기 격리밸브가 원자로 정지 이후 노심 잔열을 제거하기 위한 피동잔열 제거계통을 구동하기 위해서 폐쇄되어야 한다는 SMART 설계 특성으로 인해 터빈을 지연 정지시키는 방안이 가능한 것으로 분석되었다. 터빈 정지 지연 시간에 대한 민감도 분석 결과, 제어봉집합체군 인출 사건과 주증기 유량 증가 사건시에는 일정 지연 시간까지는 터빈 정지 지연 시간을 증가시킴에 따라서 MDNBR이 증가하며, 일정 지연 시간 이상에서는 터빈 정지 지연 시간이 증가하더라도 MDNBR은 동일한 것으로 나타났다. 이에 반하여 주 증기관 파단 사건시에는 터빈 정지 지연 시간의 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다.

#### Abstract

According to SMART safety analysis results, MDNBR in the increase in heat removal events by secondary system and the reactivity and power distribution anomalies, which should be analysed in the viewpoint of MDNBR, approached to the design limit DNBR. For the enhancement of MDNBR, turbine trip delay method is analyzed and its application to SMART is evaluated to be possible, due to the characteristics of SMART design, i.e. possibility of superheated steam's provision to turbine till at least a few seconds after the reactor trip and necessity of safety-grade main feed and steam isolation valve's closure to remove core decay heat through PRHRS. Sensitivity analyses showed that, in the case of withdrawal event of control rod assembly bank and the increase event of main steam, MDNBR increased with the increase of turbine trip delay time to threshold delay time. Above the threshold time, MDNBR was maintained at same value. On the other hand, in the event of main steam line break, the effects of increase of turbine trip delay time were trivial.

## 1. 서론

SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor) 원자로는 열용량 330 MWt의 중소형급 다목적 일체형원자로로 기존 상용 원자로에 비해 개선된 안전성 구현을 목표로 설계되었다. 이러한 SMART 원자로의 안전성을 검증하기 위하여 안전관련 설계기준사건(Safety Related Design Basis Event)을 설정하였고[1], 설정된 사건들에 대해 TASS/SMR(Transient And Setpoint Simulation/ Small and Medium Reactor) 코드를 이용하여 안전 해석을 수행하였다. SMART 안전 해석 결과에 의하면 모든 안전관련 설계기준사건에 대하여 SMART 원자로는 허용 기준을 만족하면서 안정된 상태로 천이되는 것으로 나타났다[2]. 그런데 MDNBR (Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio) 관점에서 분석이 이루어져야 하는 사건들중 열제거 증가 사건과 반응도 관련 사건에서는 DNBR 여유도가 매우 적은 것으로 분석되었으며, 반응도 인출 사고시 MDNBR은 설계 제한치인 1.41 근방인 것으로 분석되었다.

본 논문에서는 SMART 원자로에서 발생 가능한 열제거 증가 사건 및 반응도 관련 사건시 MDNBR을 향상시킬수 있을 것으로 기대되는 터빈을 지연 정지시키는 방안의 타당성을 평가하고, 터빈 정지 지연 시간이 MDNBR에 미치는 영향을 파악하기 위하여 민감도 분석을 수행하였다. 해석에서 사용된 코드는 TASS/SMR 코드 [3]이며, 참고 문헌 [2]에서 이용된 초기 조건 및 가정 등을 이용하였다. 터빈 정지를 지연시킴으로써 발생하는 단점인 대기로의 방사능 물질 누출 분석에 대해서는 본 논문에서 제외하기로 한다.

## 2. 해석 방법

### 가. MDNBR 향상을 위한 터빈 정지 지연

일반적으로 안전 해석 허용 기준중의 하나인 MDNBR에는 노심 출력, 노심 통과 유량, 노심 입구 온도 등과 같은 여러 가지 인자들이 영향을 미칠 수 있는데, 원자로 정지 신호 발생 후 노심 출력을 가능한 빨리 감소시키는 방법이나 주냉각재펌프의 관성 서행(Coastdown)을 가능한 지연시키는 방법 등이 MDNBR을 향상시킬 수 있는 방안이 될 수 있다. 노심 출력이나 노심 입구 온도 등과 같은 계통 변수들은 반응도 및 증기발생기 열전달 면적 등과 같은 원자로 설계 특성에 의존하기 때문에 변경하기가 다소 어렵지만, 터빈 정지를 늦추어 주냉각재펌프의 관성 서행을 가능한 지연시키는 방안은 다음과 같은 SMART 원자로 설계 특성 및 일부 논리 변경에 의해 기존의 가압경수로와는 달리 SMART 원자로에는 적용 가능한 것으로 분석되었다.

- 정상 상태시 기존의 가압경수로에서는 U-튜브형 증기발생기를 통해 습분 0.25% 이하의 건포화 증기가 생성되는 반면에, SMART 원자로에서는 과열 증기가 생성된다. 그리고 SMART 원자로에서는 원자로 정지 후 적어도 수 초 동안은 정상 상태시와 같은 과열 과열 증기가 생성된다. 따라서 터빈을 지연 정지시키더라도 과열 증기가 터빈으로 공급될

수 있고 터빈에 큰 영향을 미치지 않으면서 터빈 및 주발전기를 통해 터빈 정지 시점까지 주냉각재펌프로 전원을 공급할 수 있다.

- 기존 가압경수로의 주증기격리밸브는 격리밸브 상/하류에 있는 주증기 배관 또는 관련 기기의 파단 사건시에 작동한다. 이에 반하여 SMART 원자로에서는 임의의 사건 발생으로 인한 원자로 정지시 노심에서 발생하는 잔열 제거를 위하여 피동잔열제거계통을 사용하는데, 이러한 잔열제거시 안전 등급으로 설계된 주급수격리밸브 및 주증기격리밸브를 폐쇄하여야만 한다. 따라서 SMART 원자로에서 안전 등급의 주증기격리밸브 폐쇄 시점을 조절하면 터빈을 지연 정지시킬 수 있으며, 터빈 및 주발전기를 통해 터빈 정지 시점까지 주냉각재펌프로 전원을 공급할 수 있다.

#### 나. 터빈 정지 지연 관련 논리 변경

수행된 SMART 안전 해석[2]에서는 그림 1의 상반부에서와 같이 노심 출력, 가압기 압력 등과 같은 주요 계통 변수가 원자로 정지 설정치에 도달하고 신호 지연 시간(Signal Delay)이 지난 이후 발생하는 보호 신호(P-Signal)에 의해 이차계통 격리밸브들(주급수 격리밸브, 주증기 격리밸브 및 피동잔열제거계통 격리밸브)들의 개방/폐쇄가 이루어지고 주냉각재펌프는 관성 서행을 시작하도록 구성하였다. 그리고 정지 제어봉집합체군은 보호 신호 발생후 0.5초의 Holding Coil의 자장 감쇠 시간(Holding Coil Delay Time)이 지난 이후부터 삽입되기 시작하도록 구성하였다.

이에 반하여 본 논문에서는 MDNBR을 증가시키기 위해 터빈 정지 지연 시간을 고려하였는데, 즉 보호 신호가 발생하고 임의의 지연 시간이 지난 이후부터 이차계통 격리밸브들이 폐쇄되고 터빈 정지가 이루어지도록 하였다(그림 1의 하단부). 그리고 터빈 정지가 이루어짐과 동시에 주냉각재펌프는 관성 서행을 시작한다. 그러나 정지 제어봉집합체군의 삽입은 이전 안전 해석에서와 같이 보호 신호 발생후 0.5초의 Holding Coil Delay Time이 지난 이후부터 삽입되기 시작하도록 구성하였다. 예외적으로 주증기관 파단 사건시에는 보호 신호 발생과 동시에 주냉각재펌프는 관성 서행되는 것으로 구성하였는데, 이는 증기발생기를 통하여 생성되는 증기가 터빈으로 공급되기보다는 주증기관 파단 경로를 통하여 방출될 수 있기 때문이다.

#### 다. 해석 방법

터빈 정지 지연 시간이 MDNBR에 미치는 영향을 파악하기 위하여 고려된 사건은 제어봉집합체군 인출 사건, 주증기 유량 증가 사건 및 주증기 배관 파단 사건과 같이 MDNBR이 관건이 되는 사건들이며, TASS/SMR 코드 및 MATRA (Multichannel Analyzer for steady states and Transients in Rod Arrays) 부수로 해석 코드[4]를 이용하여 사고 해석을 수행하였다. 사고 해석을 위하여 사용된 Nodalization을 그림 2에 나타내었다. 각 사건들에 대한 초기 조건은 참고 문헌 [2]를 통해 MDNBR 관점에서 가장 심각한 결과를 초

래하는 조건을 초기 조건으로 설정하였으며, 다음과 같다:

- 주증기 유량 증가 사건/제어봉집합체군 인출 사건; 노심 출력 98%, 노심 입구 온도 275°C, 가압기 압력 15.25 MPa, 노심 유량 103% 조건
- 주증기관 파단 사건; 노심 출력 102%, 노심 입구 온도 275°C, 가압기 압력 15.25 MPa, 노심 유량 103% 조건

해석에서는 원자로 정지시 가장 큰 반응도가를 가지는 제어봉집합체의 고착과 소외전원 상실을 동시 사건으로 가정하였고, 사고 발생 후 4 Train의 피동잔열제거계통중 1 Train이 작동되지 않는 것을 단일 고장으로 가정하였다. 그리고 원자로 보호 계통 설정치와 보호 기능에 대한 응답 시간 및 밸브 개폐 시간은 표 1 및 2에 나타내었다[5, 6].

### 3. 해석 결과

#### 가. 제어봉집합체군 인출 사건

제어봉집합체군 인출 사건과 관련해서 수행된 SMART 안전 해석 결과[2]에 의하면 DNBR 관점에서 가장 심각한 결과를 초래하는 반응도 인출 속도는 5 pcm/sec인 것으로 분석되었으며, 이러한 조건하에서 주요 사건 진행 상황을 표 3에 나타내었다. 표 3에 의하면 보호 신호 발생 시점(26.62초)부터 약 3.78초 이후 최소 DNBR이 나타났으며, MDNBR은 설계 제한치인 1.41과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 터빈 정지 지연 시간에 따른 민감도 분석 결과를 표 4 및 그림 3에 나타내었다. 해석 결과에 의하면 4초까지 지연 시간이 증가함에 따라서 MDNBR은 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 4초 지연 시간 이후부터는 영향이 없는 것으로 나타났다. 4초까지 지연 시간이 증가함에 따라서 MDNBR이 증가하는 이유는 터빈 지연 정지로 인해 주냉각재펌프 관성 서행 시작 시간이 늦추어져 유량 대비 출력의 비율이 증가하였기 때문이다(그림 4와 5). 4초 이상의 지연 시간에서는 노심 출력이 충분히 낮아진 상태에서 주냉각재펌프의 관성 서행이 이루어지기 때문에, MDNBR에는 영향을 주지 않게 된다.

기본 경우 및 터빈을 4초 지연시켰을 경우 증기발생기 출구에서의 증기 온도 변화를 그림 6에 나타내었는데, 증기발생기를 통하여 생성되는 증기는 과도 초기 약 40 K의 과열도를 가진다. 5 pcm/sec의 속도로 제어봉집합체군이 인출되는 초기 사건으로 인해 노심 출력은 서서히 증가하지만 이차 계통의 급수 유량은 초기 시점과 동일하게 유지되기 때문에 과열도는 서서히 증가하며, 증기는 과열 증기 상태로 유지된다. 이러한 과열 증기는 터빈 정지가 이루어지는 시점까지 계속 유지되는 것으로 분석되었다.

#### 나. 주증기 유량 증가 사건

주증기 유량 증가 사건과 관련해서 수행된 SMART 안전 해석 결과[2]에 의하면 DNBR

관점에서 가장 심각한 결과를 초래하는 초기 사건은 주증기 유량 및 급수 유량이 동시에 정격 유량의 117%로 증가하는 사건인 것으로 분석되었으며, 이러한 조건하에서 주요 사건 진행 상황을 표 5에 나타내었다. 표 5에 의하면 보호 신호 발생 시점(11.285초)부터 약 3.015초 이후 최소 DNBR이 나타났으며, MDNBR은 설계 제한치인 1.41에 비하여 다소 큰 것으로 나타났다. 터빈 정지 지연 시간에 따른 민감도 분석 결과를 표 6 및 그림 7에 나타내었다. 해석 결과에 의하면 5초까지 지연 시간이 증가함에 따라서 MDNBR은 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 5초 지연 시간 이후부터는 영향이 없는 것으로 나타났다. 5초까지 지연 시간이 증가함에 따라서 MDNBR이 증가하는 이유는 터빈 지연 정지로 인해 주냉각재펌프 관성 서행 시작 시간이 늦추어져 유량 대비 출력의 비율이 증가하기 때문이다(그림 8과 9). 5초 이상의 지연 시간에서는 노심 출력이 충분히 낮아진 상태하에서 주냉각재펌프의 관성 서행이 이루어지기 때문에, MDNBR에는 영향을 주지 않게 된다.

기본 경우 및 터빈을 5초 지연시켰을 경우 증기발생기 출구에서의 증기 온도는 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 과도 초기 증기 과열도는 40 K 정도이며, 초기 사건으로 주증기 유량 증가와 더불어 급수 유량 또한 증가하기 때문에 증기발생기를 통하여 발생하는 증기 온도는 감소하게 된다. 이와 동시에 증기발생기 이차 계통 출구 압력 또한 감소하기 때문에 포화 온도 또한 감소하게 되어, 증기발생기를 통하여 생성되는 증기는 과열 증기로 존재하게 된다. 이러한 과열 증기는 터빈 정지가 이루어지는 시점까지 계속 유지되는 것으로 분석되었다.

#### 다. 주증기관 파단 사건

주증기관 파단 사건과 관련해서 수행된 SMART 안전 해석[2]에서는 주증기관 저압력에 의한 원자로 정지 신호가 3초에 발생하는 것으로 가정하여 해석을 수행하였으며, 이러한 조건하에서 주요 사건 진행 상황을 표 7에 나타내었다. 표 7에 의하면 보호 신호 발생 시점(4.125초)부터 약 4.175초 이후 최소 DNBR이 나타났으며, MDNBR은 1.514이다. 주증기관 파단 사건시에는 언급된 제어봉집합체군 인출 사건 및 주증기 유량 증가 사건과 달리 증기발생기에서 발생하는 증기가 파단 부위를 통하여 방출되기 때문에 보호 신호 발생과 동시에 주냉각재펌프는 관성 서행을 시작하게 된다. 터빈 정지 지연 시간에 따른 해석 결과를 그림 11에 나타내었는데, 해석 결과에 의하면 터빈 정지 지연 시간을 증가시키더라도 전반적인 DNBR 및 MDNBR에는 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다. 이는 유량 대비 출력의 비율(그림 12와 13)이 지연 시간에 따라서 크게 변하지 않기 때문이다.

기본 경우 및 터빈을 4초 지연시켰을 경우 증기발생기 출구에서의 증기 온도는 그림 14에 나타내었다. 주증기 배관이 파단되면 증기발생기 출구 압력이 낮아지게 되고, 이로 인해 주급수 펌프의 출구 저항이 없어지게 되어 주급수 펌프가 고속 운전되며 정격 유량보다 큰 급수 유량을 제공한다. 본 사고 해석에서는 이러한 급수 유량의 증가를 정격 조건의 150%로 가정하였다. 따라서 과도 초기 증기발생기를 통해 생성되는 증기 온도는 감소하게 되는데, 증기발생기 이차 계통 출구 압력 또한 감소하게 되어 포화 온도 또한 감소하게 된다.

이러한 이유로 증기발생기를 통해 발생하는 증기는 터빈 정지가 이루어지는 시점까지 과열 증기 형태로 유지된다.

#### 4. 결론

SMART 원자로에서 발생 가능한 열제거 증가 사건과 반응도 사건시 MDNBR을 향상시킬 목적으로 터빈을 지연 정지시키는 방안을 평가하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- MDNBR을 증가시키기 위한 방안으로 터빈을 지연 정지시키는 방안에 대하여 검토하였다. 검토 결과 터빈 정지 이전까지 과열 증기가 터빈을 통해 공급될 수 있다는 점, 이차계통 격리밸브들이 안전 등급으로 설계되었다는 점, 그리고 원자로 정지 이후 피동잔열제거계통을 이용하여 노심 잔열을 제거하기 위해서는 주급수 및 주증기 격리밸브들이 폐쇄되어야만 한다는 SMART 설계 특성으로 인해 터빈을 지연 정지시키는 방안이 적용될 수 있는 것으로 분석되었다.
- 제어봉집합체군 인출 사건 및 주증기 유량 증가 사건시에는 보호 신호 발생과 동시에 터빈을 정지시키는 것보다 지연 시간을 두고 정지시키는 것이 MDNBR 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 이러한 지연 시간의 효과는 제어봉집합체군 인출 사건시에는 약 4초, 주증기 유량 증가 사건시에는 약 5초까지 존재하지만, 그 이상의 시간에서는 없는 것으로 분석되었다.
- 증기관 파단 사건시에는 터빈 정지 지연 시간에 대한 민감도 분석 결과 전반적인 DNBR 경향 및 MDNBR에는 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다. 이는 주냉각재펌프 관성 서행이 보호 신호 발생과 동시에 시작되기 때문에 노심을 통한 유량의 변화는 비슷하고, 이차계통을 통한 열제거 증가가 지연 시간만큼 더 지속되어도 냉각재 밀도가 비슷한 수준이어서 노심 출력 또한 비슷한 수준으로 유지되기 때문에, 유량 대비 출력의 비율이 지연 시간에 따라서 크게 변하지 않기 때문이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 개발 계획의 일환으로 수행된 것이다.

#### 참고 문헌

1. KAERI/TR-2113/2002, SMART 안전해석 방법론, 한국원자력연구소, 2002.
2. KAERI/TR-2173/2002, SMART 기본설계 안전성 평가, 한국원자력연구소, 2002.
3. KAERI/TR-1835/2001, TASS/SMR 열수력 모델 기술서, 한국원자력연구소, 2001.

4. SMART-CA-CA120-11, Rev. 00, SMART 안전 해석을 위한 MATRA 코드 입력 자료 생산, 한국원자력연구소, 2000.
5. SMART-FS-DD012, Rev. 01, SMART 과도기 및 제한사고 해석을 위한 유체계통설계자료, 한국원자력연구소, 2000.
6. SMART-MM-DD200-00, Rev. 01, SMART 안전해석을 위한 MMIS 설계자료, 한국원자력연구소, 2000.

표 1. 원자로 보호 계통 설정치

계측 및 제어 변수	정지 설정치	운전 모드
출력증배계수, 초	↓ 15	핵적기동운전
노심열출력, %	↑ 40	자연순환운전
	↑ 40	가열운전(5%N <sub>nom</sub> )
	↑ 1.0	기동운전(0.1%N <sub>nom</sub> )
	↑ 45.0	원자로기동운전(20%N <sub>nom</sub> )
	↑ 115.0	출력운전(20%~100%)
최소 DNBR, -	↓ 1.66	
증기발생기 입구 온도, K	↑ 608	출력운전
일차 계통 압력, MPa	↓ 12.0	출력운전
	↑ 17.0	출력운전
MCP 회전속도, %	2 MCP ↓ 80	출력운전(20%~100%)
	2 MCP ↓ 20	기동운전(MCP 저속)
증기발생기 증기압, MPa	↑ 4.0	출력운전
	↓ 2.0	출력운전
복수기 압력, MPa	↑ 0.1	출력운전
급수유량, %	↓ 10	출력운전

표 2. 안전 해석을 위한 보호 기능에 대한 응답 시간 및 밸브 개폐 시간

변수	센서반응시간 (초)	신호지연시간 (초)	총지연시간 (초)	비고
출력증배계수	0.0	0.425	0.425	Logarhmic
노심 출력	0.0	0.425	0.425	
증기발생기 입구 온도	0.0	0.425	0.425	Linear
가압기 고 압력	6.0	2.325	8.325	협역 채널
가압기 저 압력	0.6	0.375	1.125	협역 채널
가압기 저 압력	0.6	0.525	1.125	광역 채널
MCP 저 회전 속도	-	-	0.3	
증기발생기 고 압력	0.6	0.525	1.125	
저 급수 유량	-	-	1.2	
Holding Coil Delay Time	-	-	<u>0.5</u>	
(가정) 급수관/증기관 격리밸브 : 10 초 PRHR 격리밸브 : 10 초 터빈정지밸브 : 0.3 초				

표 3. 사건 진행 상황; 제어봉집합체군 인출 사건

시간 (초); 기본 경우	사건 (설정치 또는 수치)	설정치 또는 수치
0	제어봉집합체군 인출 시작 초기 DNBR 초기 핵연료 평균 온도 초기 가압기 압력	5 pcm/초 1.82 777 K 15.25 MPa
26.62	DNBR 정지 설정치에 도달	1.66
26.62	MFIV 및 MSIV 폐쇄 시작; PRHR Valve 개방 시작	-
26.62	주냉각재펌프 관성 서행 시작	40 초
27.12	원자로 트립 차단기 개방	-
30.40	최소 DNBR에 도달	1.42
36.62	MFIV 및 MSIV 완전 폐쇄; PRHR Valve 완전 개방	-
66.62	주냉각재펌프 정지	-

표 4. 터빈 정지 지연 시간에 따른 MDNBR의 변화; 제어봉집합체군 인출 사건

	기본 경우	2초 지연	3초 지연	4초 지연	5초 지연	8초 지연
MDNBR	1.42	1.54	1.64	1.65	1.65	1.65
시간(초)	30.40	31.40	31.40	27.80	27.80	27.80

표 5. 사건 진행 상황; 주증기 유량 증가 사건

기본 경우 시간 (초)	사건 (설정치 또는 수치)	설정치 또는 수치
0	주증기 유량 증가 사건 발생 초기 DNBR 초기 핵연료 평균 온도 초기 가압기 압력	117% 1.82 777K 15.25 MPa
10.86	노심 고출력에 의한 원자로 정지 설정치에 도달	>115%
11.20	노심 출력 최대치에 도달	115.5%
11.285	MFIV 및 MSIV 폐쇄 시작; PRHR Valve 개방 시작	-
11.285	주냉각재펌프 관성 서행 시작	40 초
11.785	원자로 트립 차단기 개방	-
14.30	최소 DNBR에 도달	1.453
21.285	MFIV 및 MSIV 완전 폐쇄; PRHR Valve 완전 개방	-



표 6. 터빈 정지 지연 시간에 따른 MDNBR의 변화; 주증기 유량 증가 사건

	기본 경우	2초 지연	3초 지연	4초 지연	5초 지연	8초 지연
MDNBR	1.453	1.485	1.536	1.625	1.636	1.636
시간(초)	14.3	15.7	16.3	17.2	13.7	13.7

표 7. 사건 진행 상황; 주증기관 파단 사건

기본 경우 시간 (초)	사건 (설정치 또는 수치)	설정치 또는 수치
0	증기관 파단 사건 초기 DNBR 초기 핵연료 평균 온도 초기 가압기 압력	- 1.83 786 K 15.25 MPa
3.0	증기관 저압력 원자로 정지 설정치에 도달	<2 MPa
4.125	MFIV 및 MSIV 폐쇄 시작; PRHR Valve 개방 시작	-
4.125	주냉각재펌프 관성 서행 시작	40 초
4.625	원자로 트립 차단기 개방	-
8.30	최소 DNBR에 도달	1.514
14.125	MFIV 및 MSIV 완전 폐쇄; PRHR Valve 완전 개방	18.125

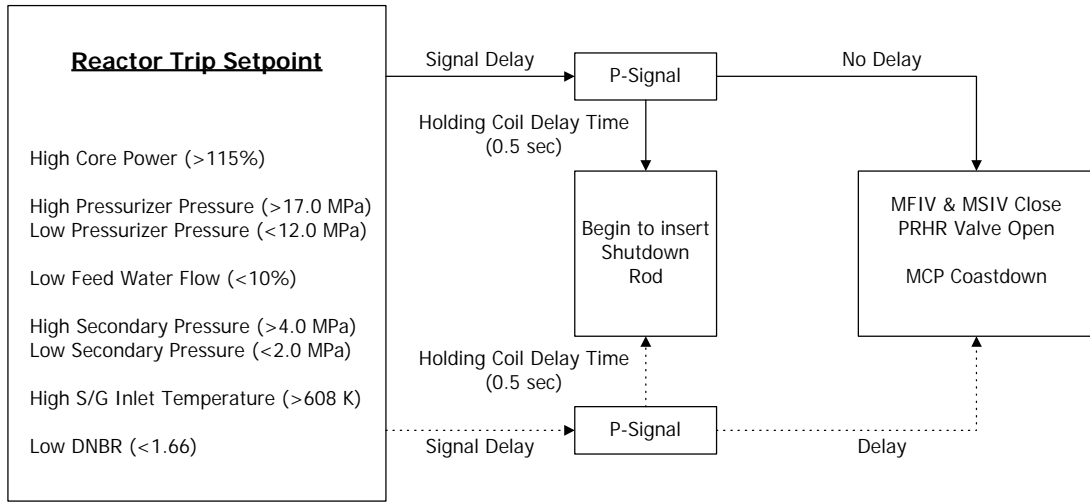
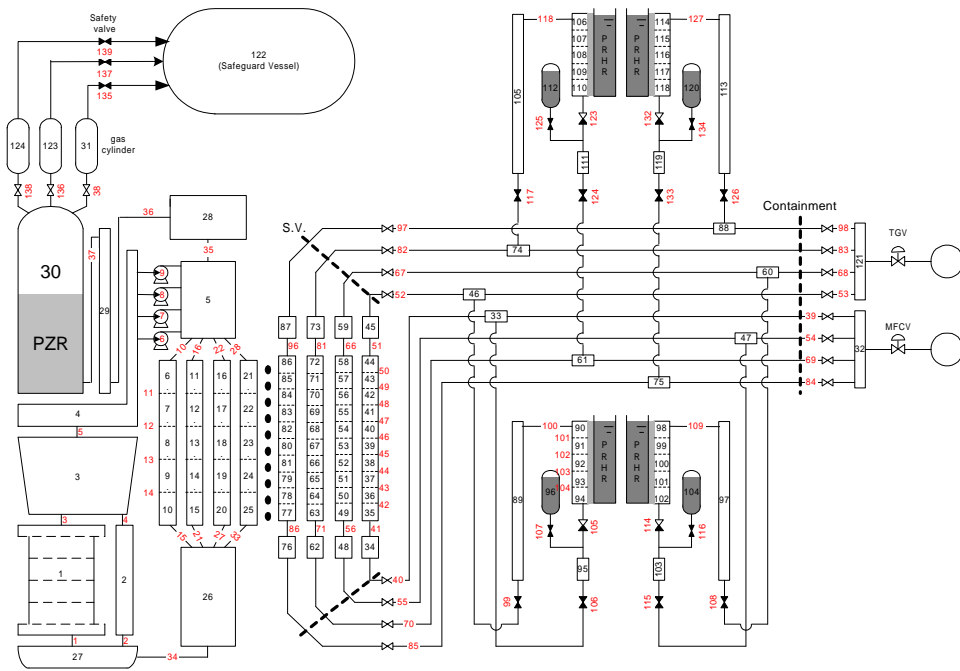


그림 1. MCP Cooldown 및 이차계통 격리밸브의 작동 시작 시간 관련 제어 논리



Nodalization of TASS/SMR for SMART

그림 2. 해석을 위한 SMART Nodalization

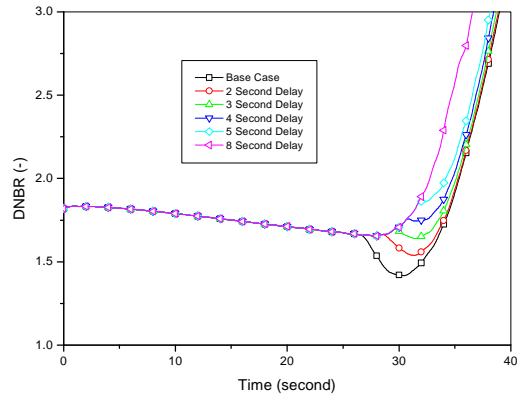


그림 3. 지연 시간에 따른 MDNBR 변화; 제어봉집합체군 인출 사건

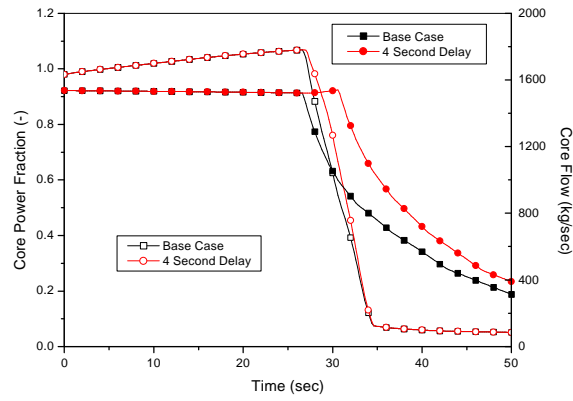


그림 4. 노심 출력 및 유량 변화; 제어봉집합체군 인출 사건

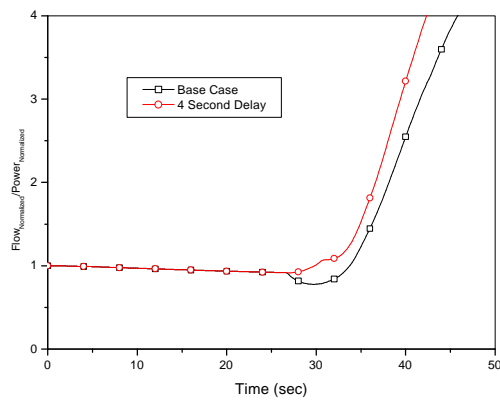


그림 5. 유량 대비 노심 출력 변화; 제어봉집합체군 인출 사건

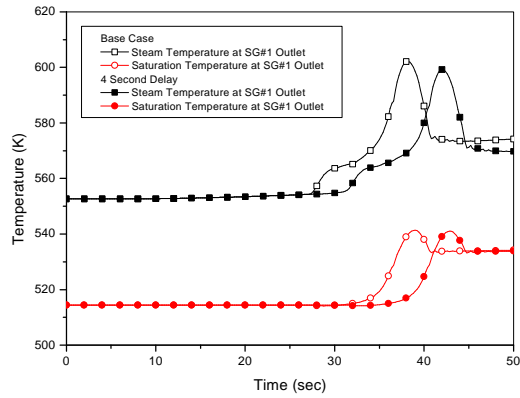


그림 6. 증기발생기 출구에서 증기 온도 변화; 제어봉집합체군 인출 사건

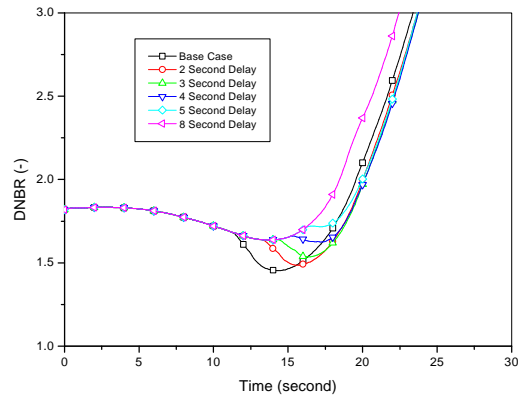


그림 7. 지연 시간에 따른 MDNBR 변화; 주증기 유량 증가 사건

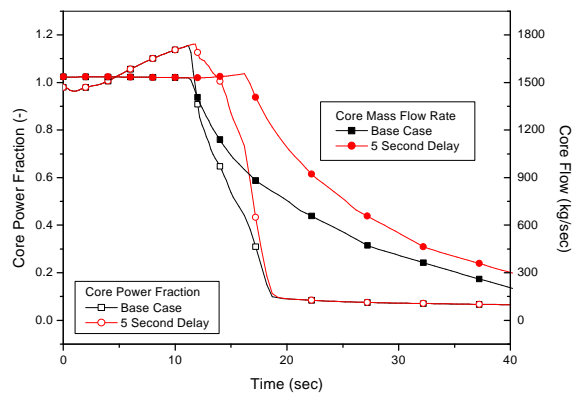


그림 8. 노심 출력 및 유량 변화; 주증기 유량 증가 사건

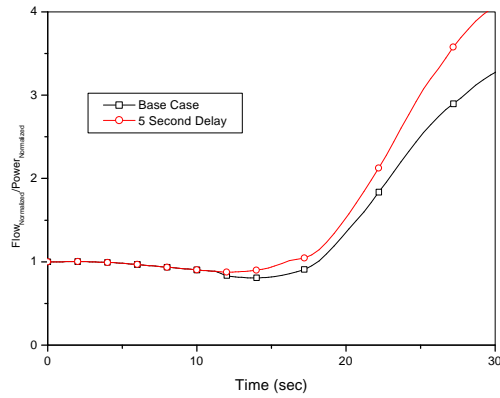


그림 9. 유량 대비 노심 출력 변화; 주증기 유량 증가 사건

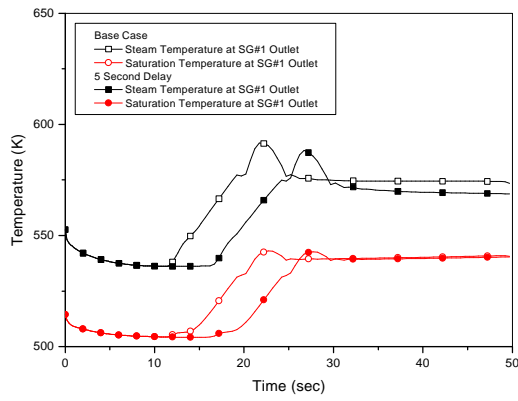


그림 10. 증기발생기 출구에서 증기 온도 변화; 주증기 유량 증가 사건

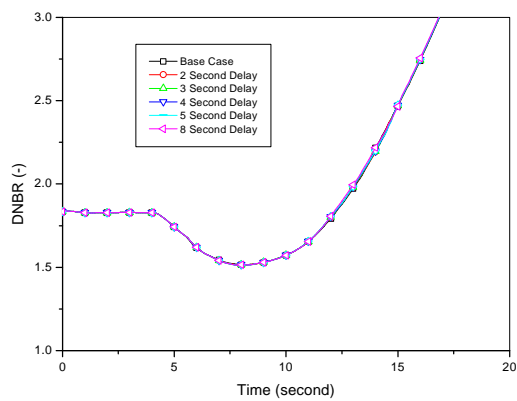


그림 11. 지연 시간에 따른 MDNBR 변화; 주증기관 파단 사건

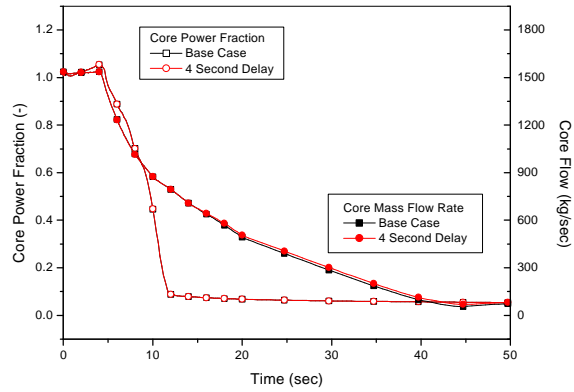


그림 12. 노심 출력 및 유량 변화; 주증기관 파단 사건

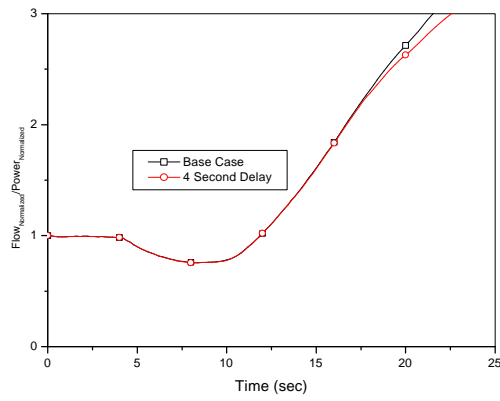


그림 13. 유량 대비 노심 출력 변화; 주증기관 파단 사건

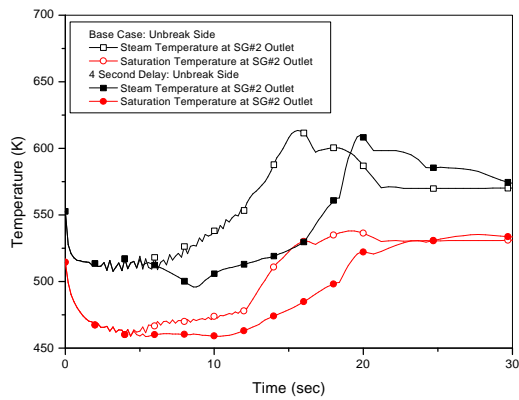


그림 14. 증기발생기 출구에서 증기 온도 변화; 주증기관 파단 사건