

영광 3,4호기 냉각재 온도 감소 운전에 따른 NSSS 제어계통 설정치 변경  
Changes of NSSS Control System Setpoint for Operation  
at Reduced Temperature at YGN 3 and 4

송인호, 손석훈, 이규천, 손종주, 서종태  
한국전력기술(주)  
대전광역시 유성구 덕진동 150

이선학, 박옥기, 황하청  
한국수력원자력(주) 영광원자력본부  
전남 영광군 홍농읍 계마리 514

이종호  
한전전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

NSSS 제어계통 측면에서 영광 3,4호기 냉각재온도 감소 운전적용 시 건설 설계에 비해 설계운전 조건과 실제 운전 적용되는 최적운전조건과의 차이가 증가하였다. 이에 따라 ORT 설계운전조건과 예상된 ORT 최적운전조건을 기준으로 각각 NSSS 제어계통 설정치가 산정되었다. 분석을 통해서 냉각재 온도 감소 운전 시에도 각 조건하에서 산정된 NSSS 제어계통의 설정치 변경으로 발전소에 요구되는 성능 요건을 만족할 수 있음을 확인하였다. 영광 3,4호기 냉각재 온도 감소 운전 적용 과정에서는 운전 조건이 예상된 최적운전조건과 달라 이에 따른 설정치 재변경이 수행되었다. 추후, 발전소의 수명에 따라 NSSS 제어설정치 변경을 요구하는 운전 조건의 변화가 있을 수 있으므로 주기별 운전 조건의 감시가 요구된다.

Abstract

The differences of the design operational conditions and best estimate operational conditions, which were expected to be conditions during the plant operation, during the application of operation at reduced temperature at YGN 3 and 4 are larger than those during the construction period. Therefore, each sets of NSSS control system setpoints were generated for ORT design operational condition and for ORT best estimate operational condition. The analytical results shows that the plant performance requirements are satisfied by changing the NSSS control system setpoints for each operational conditions. The NSSS control system setpoints were changed after power operation after application of the ORT due to unexpected mismatch of plant conditions from the best estimate operational conditions. The plant conditions are needed to be monitored cycle by cycle for the detection of such conditions which requires the changing of the NSSS control system.

## 1. 서론

영광 3,4호기에서는 증기발생기 전열관에서 발생하는 일차측 응력부식균열 (Primary Water Stress Corrosion Cracking; PWSCC)을 감소시키기 위해서 냉각재 온도 감소 운전 (Operation at Reduced Temperature; ORT)을 적용하였다. 냉각재 온도 감소에 따른 발전소 운전 조건 변화에서도 발전소에 요구되는 성능 요건을 만족시키기 위해서는 일부 NSSS 제어시스템의 설정치 변경이 요구된다. NSSS 제어시스템은 발전소의 1차측과 2차측의 전반적인 열평형을 유지하기 위한 계통으로 영광 3,4호기는 원자로출력조절계통(RRS), 가압기 압력/수위 제어계통(PPCS/PLCS), 주급수제어계통(FWCS), 증기우회제어계통(SBCS), 원자로출력 급감발계통(RPCS)로 구성되어 있다.

NSSS 제어시스템은 정상상태에서는 발전소를 안정 상태에서 유지시키고 과도상태 발생시에는 주요 변수를 제어하여 발전소를 안정화시키는 역할을 수행한다. 영광 3,4호기에서 고려되는 주요과도 상태로는  $\pm 5\%/min$  부하 경사(ramp) 변화,  $\pm 10\%$  부하 단계(step) 변화, 터빈 정지를 포함하는 부하상실, 주급수펌프 2대 운전중 1대 상실을 포함하는 성능관련기준사건(Performance Related Design Bases Event, PRDBE)이 있으며 제어시스템은 궁극적으로 이러한 과도상태 하에서도 다음과 같은 허용기준을 만족시키며 발전소를 안정화 시킬 수 있는 능력을 보유하고 있어야 한다.

- (1) 발전소 보호계통(PPS)이나 다양성 보호계통(DPS)이 원자로를 정지시키지 않는다.
- (2) 공학적안전설비(ESF)가 동작되지 않는다.
- (3) 1차측과 2차측의 안전밸브가 개방되지 않는다.

NSSS 제어시스템의 설정치 산정에서 주요한 인자는 발전소 계통의 동적 특성과 각 제어시스템이 구동하는 기기의 성능 특성 및 발전소 운전 조건이다. ORT 운전으로 인해 발전소 계통의 동적 특성의 변경이나 기기의 성능 특성 변경은 예상되지 않는다. 발전소 운전조건 중에서는 출력에 따른 냉각재 평균온도와 증기발생기 압력이 제어시스템 설정치 산정에 가장 큰 영향을 주는 요소이다. ORT 적용은 이 변수들의 직접적 변경이 요구되므로 제어시스템설정치 변경은 발전소의 ORT 적용시 주요한 업무중 하나이다. 그런데 위의 두가지 요소는 영광 3,4호기 ORT에서 추진된 ORT 설계운전조건과 실제 발전소에서 적용 가능할 것으로 예상된 ORT 최적운전조건에서 차이가 발생하였다. 본 논문에서는 ORT 적용시 이런 차이가 나타난 배경과 그에 따른 NSSS 제어시스템 설정치 산정 근거 및 방법에 대해 논의하였다.

## 2. 본론

### 2.1 ORT 설계운전조건과 ORT 최적운전조건

발전소 설계에는 발전소가 운전될 기준 조건을 결정하고 그를 만족시키기 위한 계통 및 기기를 설계하게 된다. 이를 일반적으로 설계조건이라 통칭하며 이러한 조건이 기기 및 계통의 노후화에 대하여도 발전소 수명동안 유지될 수 있도록 설계여유도를 갖게 된다. 이러한 설계여유도 중에서 제어시스템 설정치 결정에 큰 영향을 주는 요소는 RCS 유량과 증기발생기 관막음을 들 수 있다. 그러므로 발전소의 수명 초기에는 설계조건과 실제 운전조건은 어느 정도 차이를 나타나게 된다. 일반적으로 발전소 제어의 기준은 냉각재 평균온도가 되므로 설계조건을 기준으로 발전소가 제어되었을 경우에는 RCS 유량 과다로 인해 고온관 온도는 설계조건에 비해 낮게, 저온관 온도는 높게 나타나게 되며, 증기발생기 압력은 증기발생기 관막음의 여유율 및 제작사의 여유도가 더해져 설계값에 비해 높게 나타나게 된다. 영광 3,4호기에서도 건설 후 저온관 온도가 운영기술지침서의 상한치를 초과할 우려가 있어 RRS의 냉각재 평균온도 프로그램을 감소시켜 운전을 수행하였

다. 이러한 냉각재 평균 온도의 감소는 증기발생기의 압력을 감소시키는 효과로 인해 증기발생기 압력에 대한 실제 운전조건과 설계조건과의 차이는 감소하게 된다.

영광 3,4호기 ORT 적용을 위해 냉각재 온도가 기존의 설계에서 인허가 되지 않은 운전범위로 운전 영역이 확장된다. ORT의 새로운 운전 조건은 ORT 설계운전조건[1]으로 명명되었으며 RCS 유량(부피 유량 기준)과 증기발생기 관막음율은 기존 설계시와 동일하게 적용되었다. 과도한 냉각재 온도 감소는 증기발생기 압력을 감소시키고 그에 따른 증기 부피유량 증가로 인해 터빈의 용량 한계에 도달하게 된다. 영광 3,4호기는 터빈 설비 변경없이 운전 자료를 토대로 터빈 용량 한계 내에서 발전소에 적용 가능한 운전조건이 결정되었다[2]. 본 논문에서는 이 조건에 대해 ORT 최적운전조건이란 명칭을 사용하였다. 아래 표는 두가지 운전 조건중 제어계통 설정치 산정 측면에서 주요한 요소들에 대한 비교이다.

변 수		ORT 설계운전조건	ORT 최적운전조건
RCS 압력 (psia)		2250	2250
RCS 부피유량 (330000 gpm 기준)		100%	108%
RCS 온도 (100% 출력)	고온관 온도 (°F)	611	612
	저온관 온도 (°F)	553.2	558.5
	냉각재 평균온도 (°F)	582.1	585.25
영출력 RCS 온도 (°F)		564	564
전출력 증기발생기 압력 (psia)		986	1035
영출력 증기발생기 압력 (psia)		1170	1170
증기발생기 관막음율		8 %	1%

제어계통 측면에서 보면 ORT 설계운전조건과 ORT 최적운전조건의 차이는 기존 설계과정에서 설계조건과 실제 발전소가 운전되는 조건의 차이에 비해 매우 크게 나타난다. 기존 설계에서는 앞에서 언급한 바와 같이 실제 운전 조건은 냉각재 평균온도가 설계온도에 비해 약간 감소하고 그에 따른 증기발생기 압력 감소가 증기발생기 압력 증가 여유도를 상쇄하는데 비하여 ORT 적용에서는 ORT 최적운전온도가 ORT 설계운전온도에 비해 증가하여 증기발생기 압력 차이를 더욱 크게 한다. 기존 설계에서는 설계기준으로 제어계통의 설정치를 산정하여도 시운전 과정을 통해 약간의 미세 조정 등으로 가능한 데 비하여 ORT의 경우는 ORT 설계운전조건과 ORT 최적운전조건에 따라 서로 다른 제어계통 설정치가 산정되어야 한다.

## 2.2 NSSS 제어계통 설정치 산정

NSSS 제어계통의 설정치는 gain, 각종 filter 및 제어기의 시상수, 기기 동작 프로그램 등과 같이 기기 및 계통의 특성이 반영되는 설정치와 온도, 수위, 압력 설정치와 같이 운전 조건을 반영하는 설정치로 구분될 수 있다. ORT 운전 적용으로 기기 및 계통의 특성에 따른 설정치는 큰 변화가 요구되지 않았다. 운전조건을 반영하는 설정치는 ORT 설계운전조건 혹은 최적운전조건에 맞추어 변경되었다. 결정된 설정치는 정상상태에서 발전소 안정상태를 유지할 수 있는 능력과 과도상태시 원자로 정지등의 보호계통 작동없이 발전소를 안정 상태로 이끌수 있는 능력을 발전소 모사 코드 분석을 통하여 해석적으로 검증되었다. 아래는 ORT 운전조건의 변경으로 인해 영향받는 NSSS 제어계통의 설정치 산정에 대하여 기술하였다.

### 2.2.1 원자로출력조절계통 (RRS)

RRS는 2차측 출력에 따라 1차측인 원자로의 출력을 조절하는 계통으로 출력에 따른 냉각재 평균 온도 프로그램 (T-ref)을 기준으로 측정 냉각재 평균 온도 (T-avg)와의 편차를 입력으로 제어봉을 구동시키는 제어계통이다. 그러므로 ORT 운전의 적용은 RRS의 프로그램을 수정한다는 의미이며 ORT 설계운전조건 혹은 최적운전조건에 따라 온도프로그램이 결정된다. 그림 1은 RRS의 냉각재 평균 온도 프로그램에 대해 ORT 적용 이전값과 ORT 설계운전조건, ORT 최적운전조건의 값을 나타내고 있다.

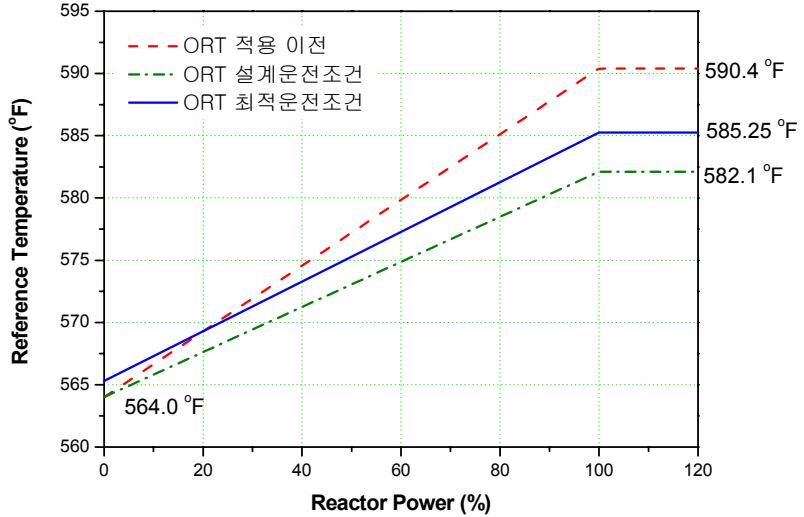


그림 1 RRS 냉각재 평균 온도 프로그램

RRS의 온도 프로그램이 갖는 또 하나의 의미는 RRS의 자동운전 뿐만 아니라 원자로의 수동 운전시에도 원자로 제어의 기준점으로 작용한다는 점이다. RRS에서 2차측 출력을 결정하기 위해 터빈 1단 압력이 사용되는데 계통병입 이전에는 2차측 출력이 나오지 않아 영출력 T-ref가 나타난다. 이에 따라 출력 15% 이하의 저출력운전 조건에서는 RRS에서 제공되는 T-ref를 기준으로 운전하는 대신 일정 저온관 온도(564 °F)가 운전의 기준이 되도록 제시하였다.

### 2.2.2 가압기수위제어계통 (PLCS)

ORT 적용시 가압기의 수위 프로그램은 RRS의 냉각재 평균 온도 프로그램에 따라 변경되었다. 그림 2는 PLCS의 가압기 수위 프로그램에 대해 ORT 적용 이전값과 ORT 설계운전조건, ORT 최적운전조건의 값을 나타내고 있다. 그림 1에서 보듯이 ORT 적용시 원자로출력 증가에 따른 냉각재 평균 온도 증가량은 ORT 적용 이전에 비해 약간 감소한다. 분석 결과 33%에서 52.6%까지의 가압기 수위 차이는 영출력에서 전출력까지의 냉각재 평균 온도 증가에 의한 부피증가를 수용할 수 있는 것으로 나타났다.

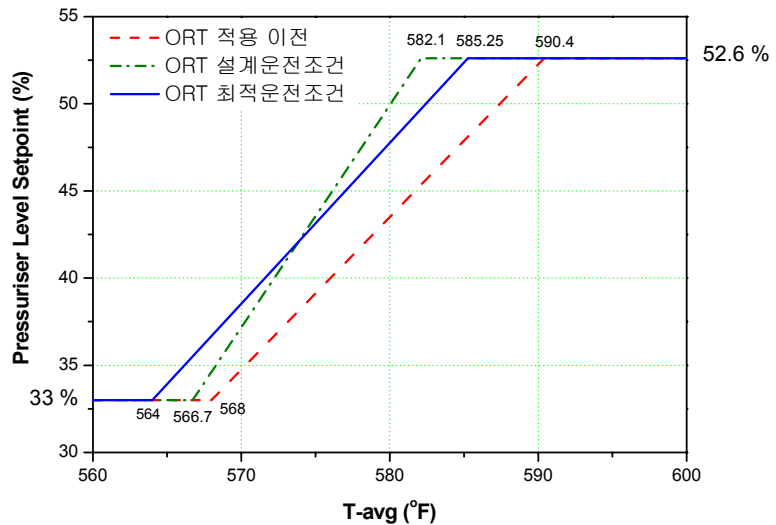


그림 2 PLCS 가압기 수위 프로그램

에서 전출력까지의 냉각재 평균 온도 증가에 의한 부피증가를 수용할 수 있는 것으로 나타났다.

그에 따라 ORT 최적운전조건에 대한 PLCS 설정치 산정시에는 영출력에서 전출력까지 일정한 기울기로 수위가 증가하도록 결정하였다.

### 2.2.3 가압기압력제어계통 (PPCS)

영광 3,4호기 ORT 적용시 가압기압력의 기준값은 2250 psia로 기존 설계와 동일하므로 PPCS의 설정치 변경은 불필요하였다.

### 2.2.4 증기우회제어계통 (SBCS)

SBCS는 1차측 출력에 비해 터빈으로의 증기 유입이 작을 경우 증기우회밸브를 열어 증기발생기의 압력 및 1차측의 온도와 압력 증가를 최소화하는 계통이다. 그러므로 운전 조건과 설정치 사이가 작을수록 압력 및 온도 제어측면에서는 유리하지만, 이 차이가 너무 작을 경우 불필요한 동작이 발생할 수 있는 단점이 있으므로 적절한 차이를 유지하는 것이 필요하다. 그러므로 SBCS

는 ORT 적용에 의한 증기 발생기 압력 변화에 가장 민감하게 제어설정치가 영향받는 계통이다. 단, SBCS에서는 입력으로 증기 발생기 압력을 사용하지 않고 증기 공통배관 압력을 사용하므로 증기 발생기 압력에서 유량에 따른 압력 강하량을 고려하여 설정되어야 한다. 그림 3은 SBCS의 증기압력 설정치 프로그램에 대해 ORT 적용 이전값과 ORT 설계운전조건, ORT 최적운전조건의 값을 나타내고 있다.

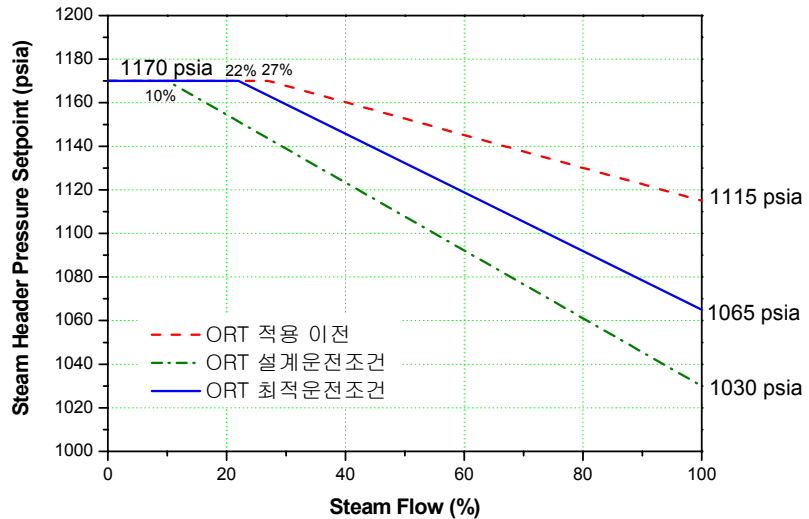


그림 3 SBCS 증기 압력 프로그램

영광 3,4호기 SBCS는 주급수펌프 상실에 대한 대비 설계의 일환으로 터빈 runback 기능을 보유하고 있다. 주급수펌프 상실에 의해 RPCS가 동작할 경우 SBCS는 터빈의 기준부하를 60%로 감소하게 되어있다. 만약 RPCS 동작으로 원자로의 출력이 60% 이하로 머물 경우 증기 발생기 압력은 감소하고 원자로 냉각재 온도는 감소하게 된다. 이 상황에서 SBCS는 추가적인 터빈 runback으로 터빈 출력을 감소시켜 1,2차측의 출력 평형을 유지하도록 되어있다. 이에 대한 입력 변수로는 증기 압력과 냉각재 평균온도가 사용되는데 ORT 운전으로 두가지 모두 감소됨으로 설정치 감소가 요구된다. 단, 이 설정치는 출력 60% 이하에서만 적용되는 것이므로 전출력조건보다는 40~60%에서의 운전조건에 맞추어 설정치를 산정하는 것이 타당하다. 터빈 runback 설정치에 대한 ORT 적용 이전값과 ORT 설계운전조건, ORT 최적운전조건의 값을 비교하면 아래와 같다.

	ORT 적용 이전	ORT 설계운전조건	ORT 최적운전조건
터빈 runback 설정치 (psia)	3350	3250	3310

### 2.2.5 주급수제어계통 (FWCS)

FWCS는 ORT 운전으로 인한 증기발생기 압력 저하에 영향 받는다. 특히 과도상태 혹은 FWCS 오작동시 안전해석상의 최대 급수유량 요건 140%를 만족시키기 위해서는 최대 주급수 펌프 속도의 감소가 요구되었다. 최대 주급수펌프 속도 감소는 기존의 5500 rpm에서 ORT 설계운전조건을 기준으로 5200 rpm으로 결정되었다.

ORT 설계운전조건을 기준으로 한 주급수 펌프의 최대 속도 감소로 ORT 최적운전조건에서의 최대 유량은 감소할 수 있으나 발전소의 성능요건이 되는 과도 상태에 대한 분석 결과, 주급수 공급 능력 부족에 의한 문제점이 나타나지 않았으므로 최적운전조건에서도 최대 5200 rpm을 유지하였다.

그림 4는 FWCS의 주급수펌프 속도 프로그램에 대해 ORT 적용 이전값과 ORT 설계조건, ORT 최적조건을 나타내고 있다.

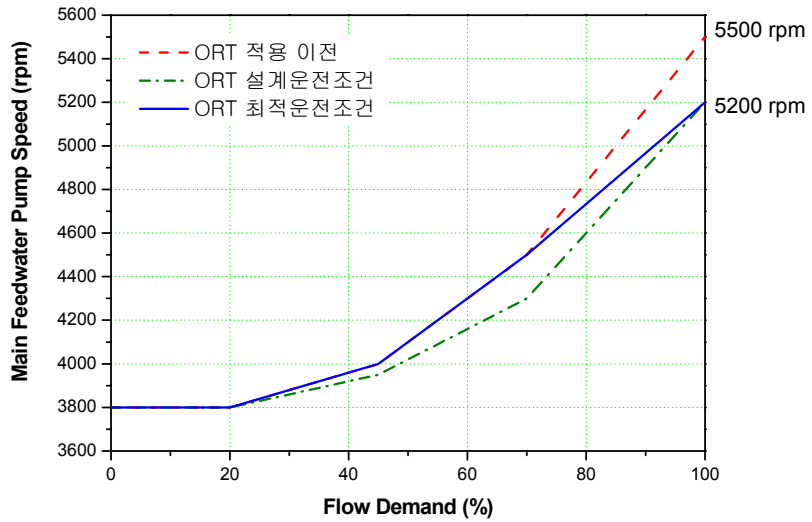


그림 4 FWCS 주급수펌프 속도 프로그램

### 2.2.6 원자로출력급감발계통 (RPCS)

영광 3,4호기는 원자로출력급감발계통의 목표출력을 초기 설계의 75%에서 터빈우회밸브의 용량 여유도를 고려하여 80%로 증가하였다. 터빈우회밸브 용량에 대한 설계요건은 55%이나 시운전 시험에서 약 70%를 상회하는 것으로 측정되었다. ORT 적용으로 증기압력이 감소하면 터빈우회밸브의 용량이 감소된다. 그러나 실제 터빈우회제어밸브의 용량이 크므로 ORT 설계운전조건에서 설계요건 55%가 만족되는 것으로 평가되었다. ORT 최적운전조건하에서의 밸브 용량으로 ORT 설계조건하에서 55% 용량을 기준으로 계산된 밸브 크기를 사용하였다. 아래 표는 RPCS의 목표출력과 계산에 사용된 터빈우회제어밸브에 대해 ORT 적용 이전과 이후를 비교하였다.

	운전조건	RPCS 목표출력	터빈우회밸브 용량
ORT 적용 이전	설계조건	75%	55%
	ORT 적용 이전값	80%	70% 이상 (측정값)
ORT 적용	설계운전조건	75%	55%
	최적운전조건	80%	ORT 설계운전조건에서 계산된 터빈우회밸브 크기 (단면적) 사용

## 2.2.7 PRDBE 사건에 대한 해석적 검증

영광 3,4호기 ORT 적용시 NSSS 제어계통의 설정치 변경 사항에 대한 해석적 검증은 KISPAC 코드를 사용하여 수행되었다. KISPAC 코드는 한국 표준형 원전의 설계시 NSSS 제어계통의 설정치 검증을 위해 사용되는 코드이다. 검증 계산은 ORT 설계운전조건과 ORT 최적운전조건에 대하여 수행되었다. 아래에 제시된 사건은 PRDBE 검증을 위해 분석된 항목이다.

- $\pm 10\%$  터빈출력 단계 변화
- 분당  $\pm 5\%$  터빈출력 경사 변화
- 50%까지의 부하 상실
- 부하상실후 소내부하운전
- 일일부하추종운전
- 터빈 정지 (전부하상실)
- $\pm 1\%$  터빈출력 단계 변화 (저출력)
- 분당  $\pm 1\%$  터빈출력 경사 변화 (저출력)
- 주급수펌프 상실
- 주급수제어밸브의 정상 열림
- 주급수제어밸브의 정상 닫힘
- 원자로 정지

그림 5와 6는 위의 사건 중에서 원자로 정지 사건을 제외하고 원자로 정지 가능성이 높은 전부하상실과 주급수펌프 상실 사건에 대해 ORT 설계운전조건에서 분석한 결과이다. 이 두 사건은 NSSS 제어계통의 성능을 종합적으로 검증하는 대표적인 과도 사건이다.

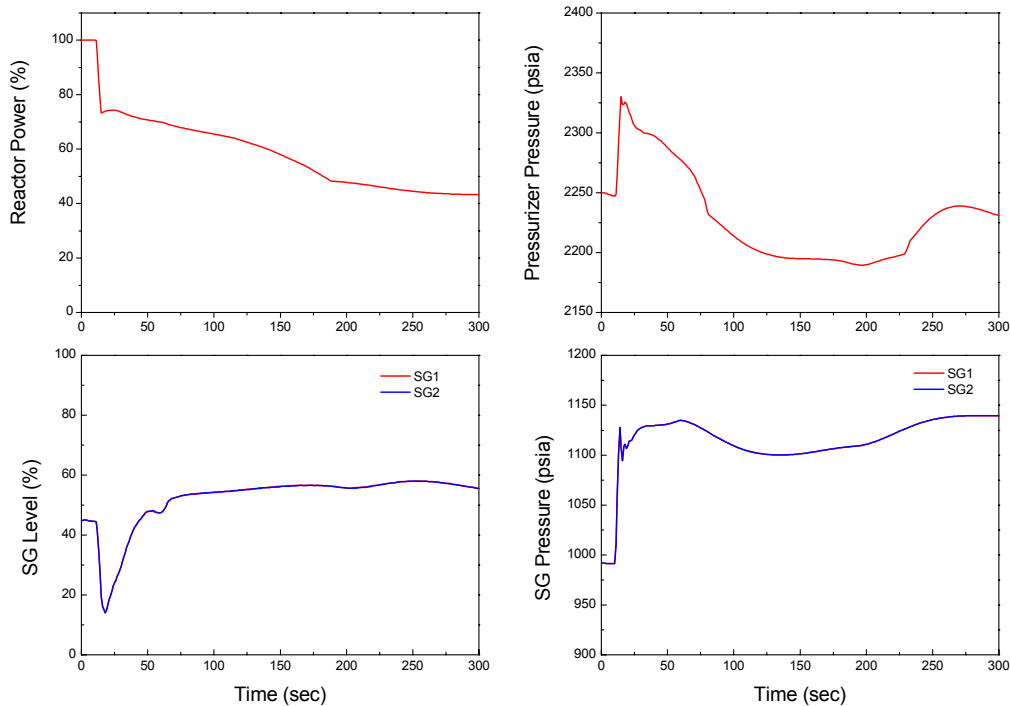


그림 5 전부하상실 사건에 대한 분석 결과 (최소 RPCS 반응도가 사용)

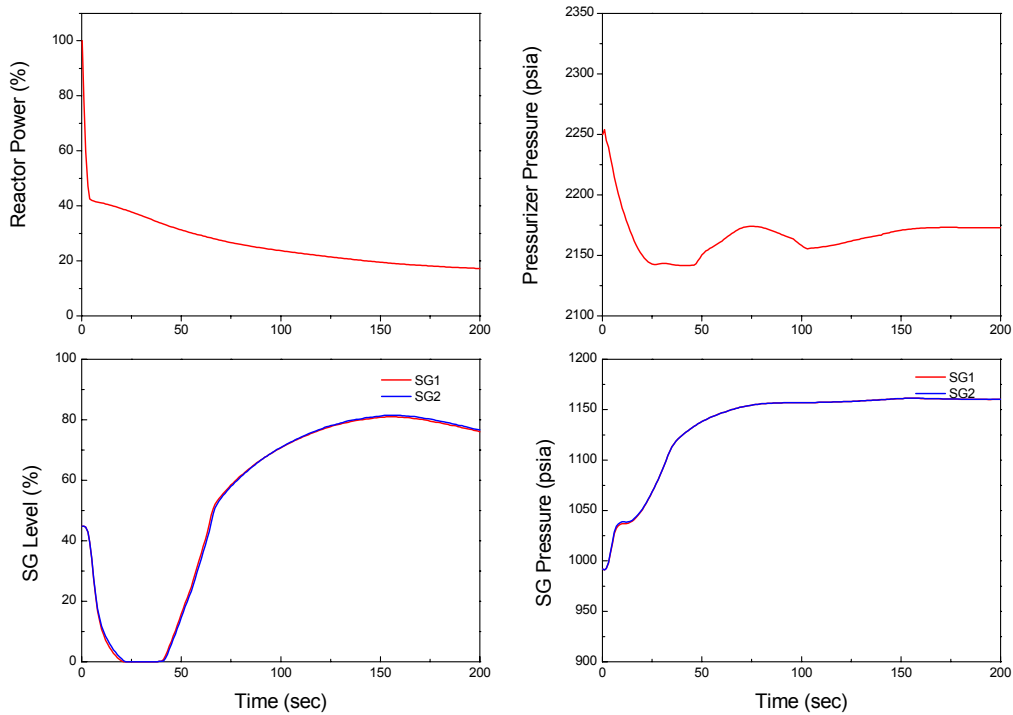


그림 6 주급수펌프 상실 사건에 대한 분석 결과 (최대 RPCS 반응도가 사용)

영광 3,4호기 건설 단계의 설계조건과 ORT 설계운전조건은 냉각재 온도의 운전범위에서 가장 큰 차이를 보인다. 전자는 설계 및 운전을 통하여 검증이 이루어졌고 후자는 해석적 검증이 수행되었다. 이 사이에서의 운전은 NSSS 제어시스템의 설정치가 운전조건에 맞게 적절히 선정된다면 발전소에 요구되는 성능 요건을 만족시킬 수 있을 것이다.

### 2.3 발전소 운전 조건 변경으로 인한 NSSS 설정치 변경

영광 3,4호기 ORT 적용은 규제기관의 인허가를 득한 이후 영광 4호기 7주기에 처음 적용되었다. NSSS 제어시스템에는 앞에서 언급한 ORT 최적운전조건을 기준으로 산정된 설정치가 입력되었다. 그러나 ORT 최적운전조건은 예상과 달리 원자로출력 100% 도달 이전에 터빈의 수용한계에 도달하게 되어 변경되었다(본 논문에서는 편의상 변경전 조건을 1차 ORT 최적운전조건, 변경후를 2차 최적운전조건이라 명명하였다). 2차 최적운전조건은 전출력 운전 조건에서 RCS의 온도를 증가시켜 증기 부피유량을 감소시킴으로써 터빈 수용 한계 내에서 운전되는 조건으로 결정되었다. 최적운전조건의 변경과 함께 NSSS 제어시스템의 설정치 재변경도 수행되었다. 주요 설정치 변경 사항은 새로운 냉각재 평균온도를 위한 RRS의 T-ref 프로그램, T-ref 프로그램 변경에 따른 PLCS 수위 프로그램, 증기발생기 압력 변화에 따른 SBCS의 압력 프로그램이다.

영광 3호기는 8주기부터 ORT 운전이 적용되었다. 영광 3호기에 대해서는 처음부터 2차 ORT 최적운전조건이 적용되었다. 그러나 영광 3호기는 영광 4호기에 비해 터빈의 수용 능력에 약간의 여유가 있어 냉각재 평균온도를 더 낮출 수 있었다. 이에 따라 영광 3호기에서는 발전소 운전을 통하여 새로운 운전조건을 결정하였다(본 논문에서는 이를 3차 ORT 최적운전조건이라 하였



다). 3차 ORT 최적조건은 영광 4호기에서는 사용될 수 없고 영광 3호기에서만 적용 가능하다. 아래 표는 2차 및 3차 ORT 최적운전조건을 비교하였다. 제어계통 설정치 결정 측면에서는 냉각재 평균 온도와 증기발생기 압력이 주요 요소이므로 RCS 유량에 대한 기준은 정의되지 않았다.

운전변수	2차 ORT 최적운전조건	3차 ORT 최적운전조건
냉각재 평균온도 (°F)	587	586
전출력 증기발생기 압력 (psia)	1055	1035

3차 ORT 최적운전조건에 따라 NSSS 제어계통의 설정치도 재변경되었다. 주요 변경사항은 2차 ORT 최적조건 변경시와 동일하게 RRS의 T-ref 프로그램, PLCS 수위 프로그램, SBCS의 압력 프로그램이다. 그림 7에서 부터 그림 9는 2차 ORT 최적운전조건과 3차 ORT 최적운전조건에 따른 NSSS 제어계통 설정치를 나타낸다. 단, 실제 영광 3,4호기에 설치된 제어계통의 설정치는 제어계통의 round-off 기능과 같은 hardware의 한계에 의해 약간의 차이가 나타날 수 있다.

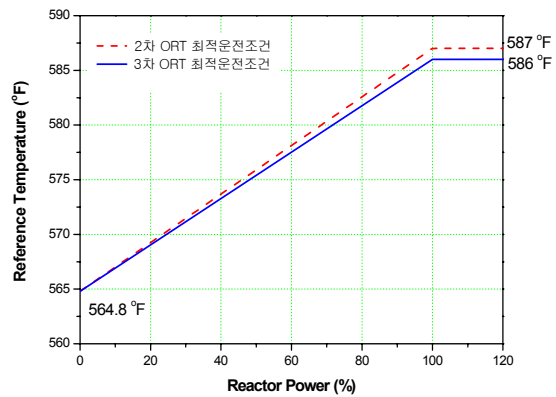


그림 7 변경된 RRS 냉각재 평균온도 프로그램

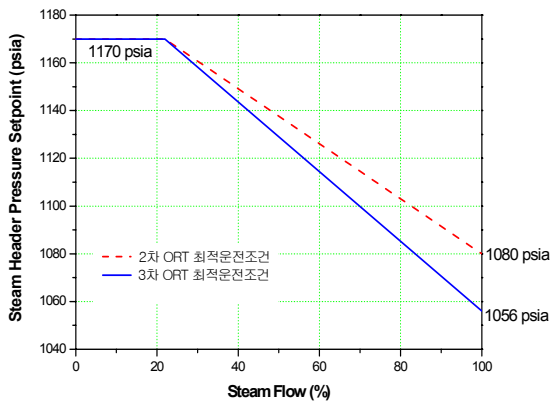


그림 8 변경된 SBCS 증기 압력 프로그램

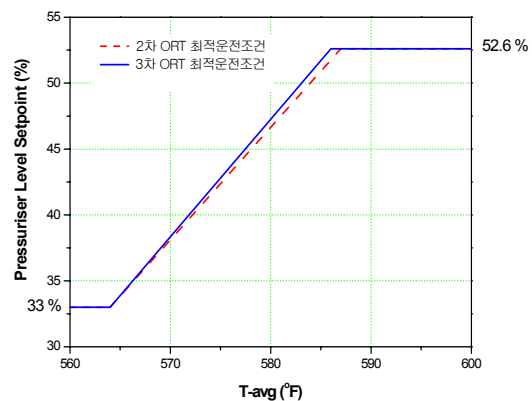


그림 9 변경된 PLCS 가압기 수위 프로그램

#### 2.4 예상되는 운전조건 변화에 따른 NSSS 제어계통 설정치 변경

발전소의 최적운전조건은 발전소 수명동안 변화할 수 있는 값이다. RCS 유량도 운전을 계속함에 따라 서서히 변화할 수 있으며, 특히 증기발생기의 관막음은 증기발생기 압력을 감소시키게 되며 증기 부피유량을 증가시켜 터빈의 수용능력에 한계를 가져올 수 있다. 이 경우 다시 냉각재 평균 온도를 상승시켜 새로운 최적운전조건을 결정하여야 하며 이에 따른 NSSS 제어계통 설정치 변경도 수행되어야 할 것이다. 위와 같은 발전소 운전 조건의 변화가 단 시일에 발생할 것으로 판단되지는 않는다. 그러나 발전소의 최적의 제어환경을 갖추기 위해서는 각 주기별 주요 운전변수를

추적하여 제어계통의 설정치 변경 필요성을 판단하는 것이 요구된다.

### 3. 결론

영광 3,4호기 ORT 적용을 위한 NSSS 제어계통 설정치 산정은 기존 설계과정에 비해 발전소가 실제 운전되는 조건에 대한 정의를 명확히 하여 분석하였다. 이는 기존 설계에 비해 ORT 설계 운전조건과 ORT 최적운전조건이 차이가 커서 발전소에 적용되어야 하는 운전 조건으로 더 이상 설계운전조건이 적용될 수 없어 새로운 적용 기준이 필요하게 된 때문이다. 실제 발전소 운전 적용에서는 예상된 ORT 최적운전조건에서 발전소 상황에 맞게 NSSS 제어설정치 산정기준이 되는 조건을 변경시킬 필요가 있었다.

ORT 운전시 NSSS 성능 요건에 대한 확인은 성능관련 설계기준사건에 대한 KISPAC 코드 분석을 통해 이루어졌다. 냉각재 온도의 운전 범위 측면에서 최대값은 기존 설계 및 운전을 통하여 검증되었고 최소값은 ORT 설계운전조건에서 해석적으로 검증되었다. 그러나 운전 주기가 거듭될수록 원자로냉각재펌프의 노후화, 증기발생기 세관 관막음 등으로 노심 유량 및 증기발생기 압력 등 운전 조건이 변해가므로 발전소가 요구되는 성능요건을 만족하기 위해서는 운전조건을 주기적으로 추적, 감시하고 적절한 시기에 새로운 제어계통 설정치로 변경할 필요가 있다.

### 참고문헌

1. 영광 3,4호기 FSAR 5장, 2003년 개정본
2. 이정표 외, 영광 3,4호기 냉각재 온도 감소운전을 위한 민감도 분석, 전력기술, 통권 제 41호 (제 13권 제2집), pp68-77, 2002.