

## 영광원자력 3,4호기 RPCS 적정 동작시점 및 운전절차 연구

### A Study On The Proper Startup Time And Operational Procedure Of RPCS

이경수

한국전력공사

서울특별시 강남구 삼성동 167

이경진

조선대학교 대학원

광주광역시 동구 서석동 375

### 요 약

영광원자력 3,4호기 주급수계통은 발전소 100% 출력운전중 터빈구동 주급수펌프와 주급수 승압펌프 각각 2대가 운전중에 있고 이때 운전중인 펌프 4대중 1대가 정지된 경우 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지를 방지하기 위해 원자로출력 급감발 계통(Reactor Power Cutback System)이 즉시 동작되어 최대 20% 출력까지 감발되며 RPCS동작 확률또한 4대중 1대로 매우 높다. 본 논문에서는 100%출력 운전중 주급수계통의 펌프 1대가 정지되고 RPCS가 동작되지 않도록 하였을 경우 증기발생기 "저"에 의한 원자로정지(WR 42.9%) 시간은 모델링에 의한 분석 및 Simulation 검증결과 각각 2분48초와 2분30초후에 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 주급수계통의 펌프 1대가 정지되고 2분후에 RPCS를 동작시켰을 경우 Simulator에 의한 검증결과 RPCS동작 25초후 증기발생기 수위는 최저 WR 43%까지 감소후 회복되는 것으로 분석되어 주급수펌프 1대 상실 2분후에 RPCS가 동작되도록 현재의 설비를 변경하고 대기중인 모터구동 주급수펌프를 2분내에 정상기동시키면 불필요한 RPCS동작을 방지하여 발전소 이용률 향상에 기여할 것으로 기대된다.

### Abstract

At rated power, two turbine-driven feed water pumps and two booster pumps are operating in YGN 3&4 feed water system. If one of these four running pumps trips, Reactor Power Cutback system immediately takes an action to lower the plant power up to 20 % of the load to keep the reactor from being tripped by low steam-generator level. And the possibility of this RPCS event is pretty high because any one pump stop out of the four running ones initiates the action. This paper shows the modeling analysis and simulation results of the one pump stopping at 100% power operation and no RPCS action. The two tests' consequences revealed that the reactor was tripped by low steam-generator level at 2 min, 48 seconds and 3 min, 30 seconds later from the event. Also the one feed water pump trip and RPCS action after two minutes test in the simulation indicated that the steam-generator level decreased to 43 % at the maximum by wide range level indicator, which is 25 seconds later from RPCS action, and then the level restored to the normal operating range. Through this analysis results it is expected to make the plant usage rate higher by getting rid of the RPCS action as a result if the system is modified to start the RPCS action in two minutes and the stand-by motor-driven pump within two minutes from the event.

## 1. 서론

영광3,4호기 주급수계통에는 터빈구동용 MFWP 2대, 모타구동용 MFWP 1대, 그리고 전단의 주급수 승압펌프 각각 1대씩 3대가 설치되어 있으며 정상운전중 터빈구동 주급수펌프2대와 해당 주급수 승압펌프 2대가 운전중에 있고 모타구동용 주급수펌프 1대와 해당 주급수 승압펌프가 대기상태로 유지되고 있다. 이때 운전 중인 주급수계통의 펌프 4대중 1대가 정지된 경우 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지를 방지하기 위하여 원자로출력 급감발 계통(Reactor Power Cutback System)이 즉시 동작되도록 되어있으나 운전경험상 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지가 발생하는데는 일정시간이 필요하므로 이시간을 분석하여 설정된 시간내에 대기중인 모타구동 주급수펌프를 기동하여 증기발생기 수위를 정상으로 회복시킬 수 있다면 불필요한 RPCS동작을 방지하여 발전소 이용률 향상에 기여하고자 하며 주급수계통의 펌프 4대중 1대만 정지되어도 원자로출력 급감발 계통(RPCS)이 동작되어 발생확률이 매우 높은 상태이다. 본 논문에서는 정상운전중 주급수계통의 펌프 1대가 트립되었을 경우 RPCS 동작을 지연시켜 그 시간내에 증기발생기 수위를 정상으로 회복시키기 위하여 필요한 몇가지 분석을 수행하였다. 첫째, 주급수계통의 펌프1대 정지시 RPCS를 수동상태로 유지, 동작되지 않도록 하여 급수유량 감소로 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지가 발생하는 시간을 분석하였다. 둘째는 만약 대기상태의 모타구동 주급수펌프 기동에 실패했을 경우 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지를 방지하기 위해 어느시간내에 RPCS가 자동동작되어야 하는지를 분석하였다. 위의 분석으로 RPCS적정 동작시점을 설정하여 주급수계통의 펌프1대 상실과 동시에 RPCS가 동작되는 현재의 설계개념을 변경하고 논리회로 및 관련절차서 개정으로 발전소 이용률 감소와 큰 출력감발에 따른 전력계통의 과도상태 유발을 방지하고자 한다.

## 2 연구배경

### 2.1 계통개요

핵증기 공급계통은 자동운전 모드하에서 5%/min 비율변화 및 10% 단계변화를 수용할 수 있도록 설계되어 있다. 그러나 더 큰 부하탈락이나 운전중인 2대의 주급수 펌프중 1대가 트립된 경우등은 이를 제어계통으로도 감당해낼 수 없기 때문에 원하지 않은 원자로 정지가 유발될 수도 있다. 이러한 과도현상에 대응하여 원자로출력 급감발 계통은 선택된 제어봉 부그룹(Subgroup)을 노심바닥에 낙하(Drop)시키고 터빈출력을 신속하게 감소(Setback/Runback)시킨다. 원자로 출력은 원자로출력 급감발 계통 동작전 초기원자로 출력에 따라 20~75% 사이에서 안정되고 터빈출력은 Setback/Runback에 의해 원자로출력에 맞추어진다.

### 2.2 기능

- 1) 주급수펌프 트립시에 주급수펌프 제어계통에서 발생하는 신호를 받아 자동적으로 동작되어 원자로와 터빈출력을 재빨리 감소시켜 증기발생기 저수위로 인한 원자로 트립을 방지시켜 준다.
- 2) 100% 출력운전중 터빈트립과 큰 터빈부하 감발시에 증기우회제어계통에서 발생하는 신호를 받아 자동적으로 동작되어 원자로출력을 재빨리 감소시켜 가압기 고압에 의한 원자로트립을 방지하고 1,2차 안전밸브 개방을 방지시켜 준다.
- 3) 원자로출력 급감발 계통이 자동적으로 동작되는 것을 운전원에게 알려주고 운전원이 수동으로 동작시킬 수 있고 또한 출력감발을 멈추게 할 수도 있다.

### 2.3 RPCS 동작시 출력에 미치는 영향

#### 2.3.1 출력영향

가. RPCS가 동작될 당시 제어봉 GR5만 선택되어 있을 경우 원자로출력은 아래표의 1주기를 기준으로 대략 60%이상에서 안정될 것이다.

나. 그러나 현재 영광3,4호기 모두 제어봉 GR5와 GR4가 동시에 선택되어 있어 RPCS가 동작될 경우 아래 표 3호기 3주기자료를 기준으로 실제 원자로출력은 대략 최저 20%수준까지 감발될 것으로 보인다.

표1. 노심주기별 Rod Worth Table

MOL기준(단위 : PCMD)

호기구분	제어값	1주기	2주기	3주기	비고
3호기	GR5 제어값	431	442	305	1주기만 GR5로 선택됨
	75% 출력결손 값	약300	약468	약368	
	GR4 제어값	995	923	832	
4호기	GR5 제어값	437	442	297	1주기만 GR5로 선택됨
	75% 출력결손 값	약355	약478	약393	
	GR4 제어값	1005	923	831	

### 2.3.2 원인분석결과

제어봉 GR5가 선택된 상태에서 제어봉 GR4가 추가로 선택된 직후 그리고 출력결손과 제어봉값과의 차이가 큰 연소도 시점에서 RPCS가 동작될 경우 원자로출력 감발량이 가장 크게 발생된다.

## 3. 분석방법

### 3.1 증기발생기 수위 "저" 도달시간 분석

#### 3.1.1 실제 발전소 운전변수에 근거한 분석

가. 증기발생기 수위변화 모델링

100% 정상출력운전 상태에서 RPCS를 수동으로 유지하고 급수계통의 펌프 1대가 정지될 경우 출력과 증기유량은 100%로 영향이 없으며 다만, 급수펌프 1대 정지로 급수유량은 주급수펌프 1대의 설계용량인 65%에 해당하는 급수공급으로 증기유량에 비해 급수유량이 적어 증기발생기 수위는 감소하고 결국 어느시간이 되면 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로 정지가 발생된다.

나. 체적방정식

유량과 시간함수는 연속방정식에서 다음관계가 성립한다.

$$M = \rho A v d_t = \rho Q d_t \quad (\text{식 3.1})$$

$\therefore \rho Q$ : 질량유량을  $d_t$ : 시간변화량

양변에 각각 밀도로 나누면  $V = Q d_t \quad (\text{식 3.2})$

$\therefore Q$ : 체적유동률 ( $m^3/sec$ ),  $d_t$ : 시간변화량 (sec),  $V$ : 체적 ( $m^3$ )

다. 산출계산 및 결과

표2. 영광4호기 출력증발중 취득한 변수값

변수	100% 출력시	65%출력시	비고
증기유량	3070m <sup>3</sup> /hr	1995.5m <sup>3</sup> /hr	
증기발생기 취출유량	29m <sup>3</sup> /hr	29m <sup>3</sup> /hr	
급수유량	2950m <sup>3</sup> /hr	1917.5m <sup>3</sup> /hr	

1) 산출계산

100% 출력운전시 3070m<sup>3</sup>/hr의 증기유량이 필요하며 주급수펌프 1대의 설계용량이 65%이므로 증기유량을 기준하여 35%의 증기유량인 1074.5m<sup>3</sup>/hr가 증기발생기의 수위감소분이 된다. 이것을 근거로 해서 증기발생기 수위 "저"설정치인 WR 42.9%(원자로정지) 도달시간을 계산하면 된다

2) 산출결과

증기발생기의 NR 44%(정상운전 수위) → WR 42.9%(원자로정지 설정치)에 대한 물의 양이 보조급수펌프 출구유량 기준으로 50.184Ton이었고 이것을 이용하여 계산하면 2분48초후에 증기발생기 수위 "저"에 의한 원자로정지가 발생된다.

$$\frac{50.184m^3}{1074.5m^3/hr} = 0.0467hr = 2.802 \text{ min} = 2\text{분}48\text{초}$$

3.1.2 영광3,4호기 Simulator에 의한 분석

가. 증기발생기 수위변화 모델링

위의 "3.1.1 실제 발전소 운전변수에 근거한 분석"의 모델링과 내용은 같으며 여기에서와의 차이점은 운전 중인 주급수펌프의 속응성이 고려되지 않았고 증기발생기 용량계산을 위해 이용한 보조급수펌프의 출구유량 계의 오차로 증기발생기의 용량산출에서 차이가 발생할 수 있다.

나. 체적방정식

(식 3.1)의 방정식은 같으며 (식 3.2)와의 차이점은 체적유동율이 (증기유량 - 급수유량)이 되는 것이다.

즉,  $V = (Q_S - Q_F) d_t$  (식 3.3)

∴  $Q_S$  : 증기유량,  $Q_F$  : 급수펌프 1대의 설계유량(65%출력)

다. Simulator에 의한 검증결과

1) 초기조건

가) 원자로출력 100% (S/G 수위 : NR 44%, WR 74%)

나) 발전기 출력 : 1062MWe

다) 100% 출력운전중 MFCV 개도

- Down Commer V/V : 50%

- Economizer V/V : 70~74%

라) RPCS 수동유지

2) 절 차

가) 주급수펌프 1대 정지시킴 (RPCS는 수동상태이므로 동작안됨)

나) 자동동작사항

- 정지되지 않은 주급수펌프는 4500→5500rpm까지 상승

- MFCV 열림방향 조절

- S/G 수위 계속감소

- S/G 수위 "저"에 의한 원자로정지(WR 42.9%)

### 3) 시험결과

주급수펌프 1대 정지시키고 약 2분 30초후에 S/G 수위"저"에 의한 원자로정지 발생

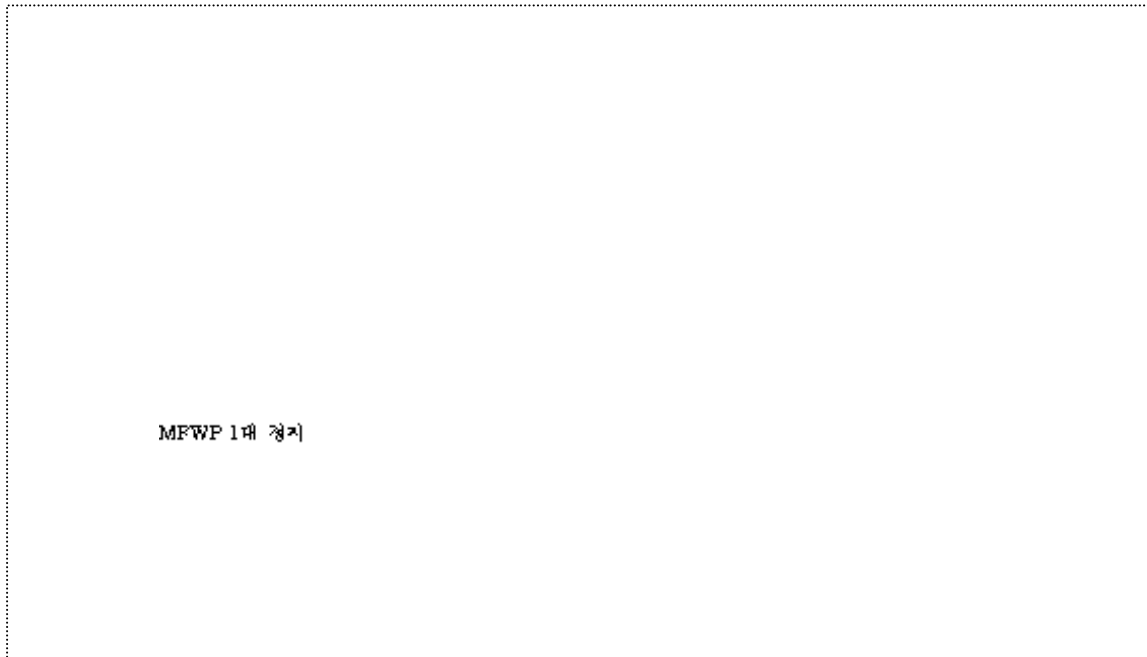


Fig. 1 영광3,4호기 Simulator를 이용한 주급수펌프 1대 상실시 운전변수추이

#### 3.2 운전경험을 통한 원자로정지 도달시간 검증

3.2.1 제목 : 영광4호기 주급수펌프 02P정지시 RPCS 미동작으로 원자로정지

##### 3.2.2 내용

- 1) 발생일시 : '96. 5. 15 11:20
- 2) 발생호기 : 영광4호기
- 3) 발생원인 : 주급수펌프 02P 제어판넬 전원상실

3.2.3 RPCS 미동작에 의한 원자로정지시 운전변수 추이분석결과 주급수펌프 1대 정지후 2분40만에 증기발생기 수위"저"에 의한 원자로정지 발생

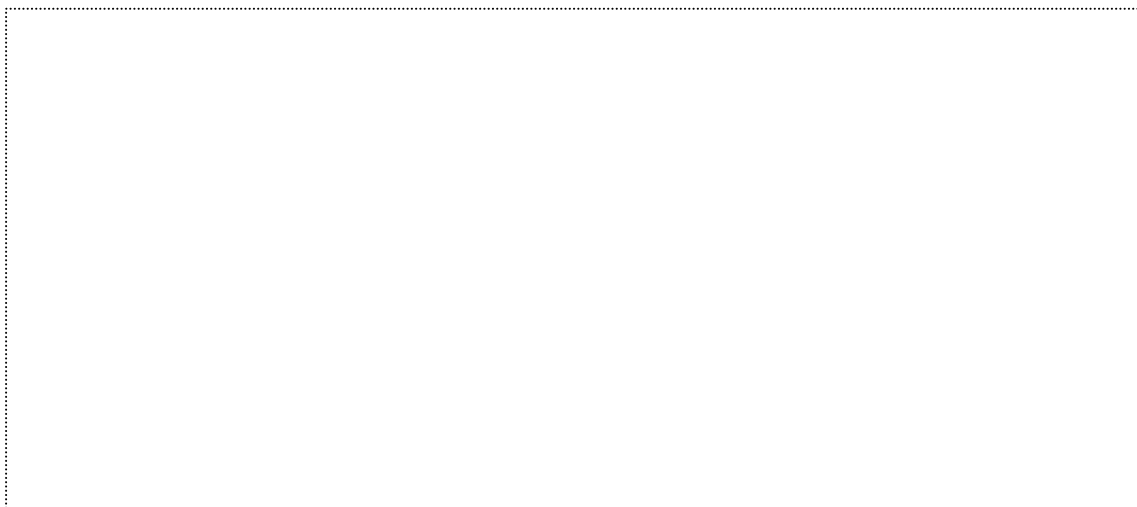


Fig. 2 영광4호기 원자로정지시 운전변수 추이

### 3.3 주급수펌프 1대 상실 2분후 RPCS 동작시 분석

#### 3.3.1 체적변화 모델링

100% 출력운전상태에서 RPCS를 수동으로 유지하고 급수계통의 펌프 1대가 정지될 경우 RPCS가 동작되기 전인 2분동안 발전소출력과 증기유량은 100%로 영향이 없고 급수펌프 1대 정지로 1대의 주급수펌프만 운전되어 급수유량은 주급수펌프 설계용량인 65%에 해당하는 급수가 공급되어 증기유량과의 차이에 의해 증기발생기 수위감소 현상이 발생되며 2분후 RPCS가 동작되면 원자로출력 감소에 의해 증기발생기 압력증가와 1차측 출력감소에 의한 열량감소로 증기발생기 내에 Shrink현상이 발생되어 증기발생기 수위감소가 지속되다가 원자로 출력이 65%이하 상태에서 증기발생기 수위가 복구되기 시작한다.

#### 3.3.2 분석방정식 및 분석결과

##### 가. 주급수펌프 1대 상실 2분후 증기발생기 수위감소 분석

###### 1) 체적방정식

(식 3.3)의 방정식과 같으며 차이점은  $d_t$ 에 해당되는 시간을 2분만 적용한 것이다.

###### 2) 2분후 증기발생기내의 물의 감소량 계산

- 증기발생기 WR 42.9% 부터 NR 44%까지의 물의 양 : 50,184m<sup>3</sup>
- 발전소출력 35%에 해당하는 증기유량 : 1074.5m<sup>3</sup>/hr
- 2분간 수위감소 량 : 1074.5m<sup>3</sup>/hr × 2분 = 35,82m<sup>3</sup>

##### 나. 2분후 RPCS 동작시 증기발생기 압력증가에 의한 증기발생기 수위감소 방정식

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dP} \quad dP = \frac{1}{\beta} \frac{dV}{V} \quad \ln \Delta V = \beta (P_2 - P_1)$$

$$\therefore \Delta V = e^{\beta (P_2 - P_1)} \quad (\text{식 3.4})$$

$\Delta V$  : 체적변화량,  $\beta$  : 압축률,  $P_2 - P_1$  : 압력변화량

##### 다. 2분후 RPCS 동작시 1차측 열량감소에 의한 증기발생기 수위감소 방정식

$$Q = Cm\Delta T \quad (\text{식 3.5})$$

- 열량감소는 비열 ( $C$ ), 질량유동률 ( $m$ )이 동일하다는 가정하에 온도변화  $\Delta T$ 를 의미함
- $\Delta T$ 를 환산하여 물질의 상태량에서 체적의 변화량을 구한후  $\Delta V$ 의 변화를 구한다.

##### 라. 분석결과

증기발생기 수위 WR 42.9%에서 NR 44%의 물의 양 50,184m<sup>3</sup>중에서 주급수펌프 1대 정지후 2분동안 35,82m<sup>3</sup>이 감소되고(3.2.2.가.2)항 참조) 나머지 14,364m<sup>3</sup>은 3.2.2.나항과 다항 그리고 증기발생기 수위감지기의 설치위치에 따른 영향에 의해서 감소된다.

### 3.3.3 Simulator를 이용한 주급수펌프 1대상실 2분후 RPCS 수동동작시 수위변화 검증

#### 가. 초기조건

- 1) 원자로출력 100% (S/G 수위 : NR 44%, WR 74%)
- 2) 발전기 출력 : 1062MW
- 3) 100% 출력운전중 Down Commer V/V : 50%, Economizer V/V : 70~74% 열린상태
- 4) RPCS 수동유지

#### 나. 절차

- 1) 주급수펌프 1대 정지시킴 (RPCS는 수동상태이므로 동작안됨)
- 2) 자동동작사항  
정지되지 않은 주급수펌프 4500→5500rpm까지 상승, MFCV 열림방향 조절
- 3) 주급수펌프 1대 정지되고 약 2분후 RPCS 수동동작 시킴

4) S/G 수위 복구됨 (S/G 수위 “저”에 의한 원자로정지는 없음)

다. 시험결과

주급수펌프 1대 정지시키고 약 2분후에 RPCS 수동동작시 RPCS가 동작되고 25초만에 증기발생기 최저수위인 WR 43%까지 감소후 복구됨 시작, S/G 수위 “저”에 의한 원자로정지는 발생되지 않음.

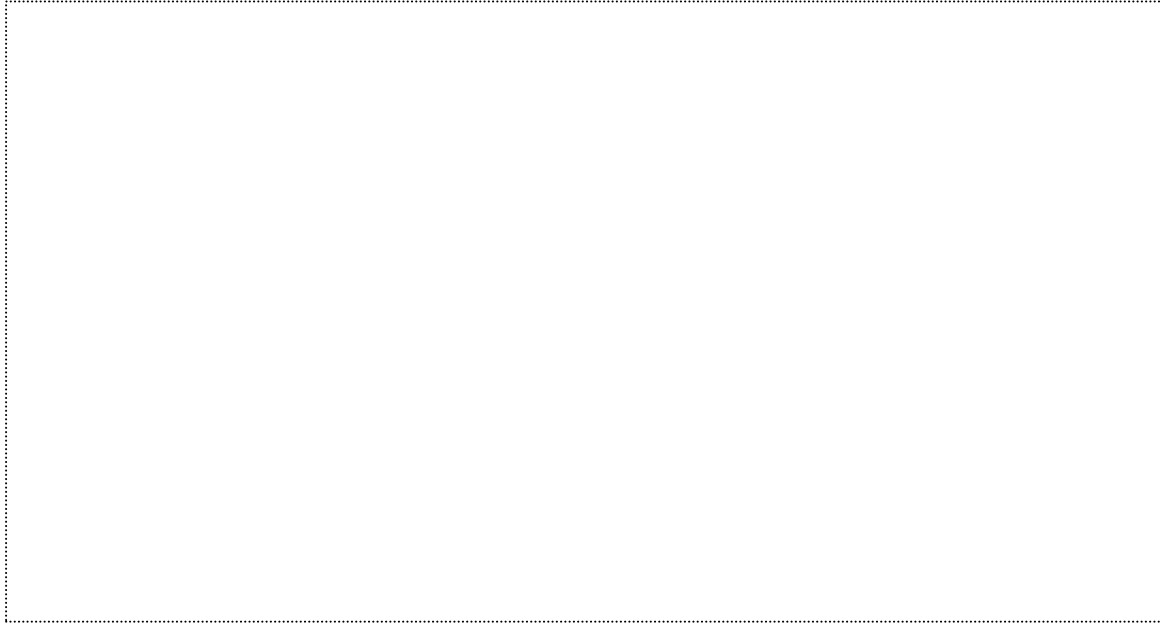


Fig. 3 주급수펌프 1대 상실 2분후 RPCS동작시 운전변수추이 (1 Of 2)

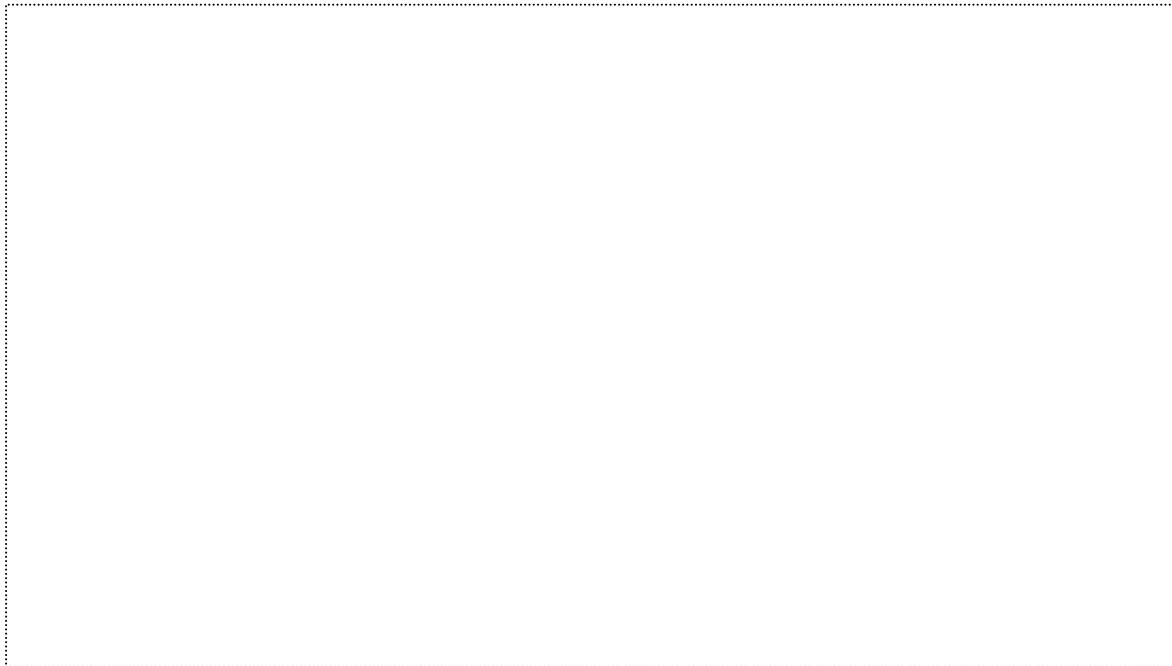


Fig. 4 주급수펌프 1대 상실 2분후 RPCS동작시 운전변수추이 (2 Of 2)

## 4 RPCS 동작개선 위한 문제점 및 해결방안

### 4.1 모터구동 주급수펌프의 적기 정상기동 위한 방안

대기중인 모터구동 주급수펌프와 해당 승압펌프의 최단시간내 기동 가능상태로 유지하기 위해 현장상태 및 관련절차서 개정이 필요하다.

가. 승압펌프 예열재순환 밸브 VFW-2404 대기상태에서 열림상태로 유지한다.

나. 모터구동 주급수펌프 대기상태에서 JFW-HS-037A를 Auto위치로 유지시켜 모터구동 주급수펌프계열의 승압펌프 기동신호에 의한 자동기동 되도록 한다.

다. 터빈구동 주급수펌프 트립에 의해 대기중인 모터구동 주급수펌프 계열의 승압펌프가 자동으로 기동되도록 한다.

### 4.2 현장상태 및 절차서 개정 전·후 대기중인 모터구동 주급수펌프 기동위한 소요시간 비교

표3. 논리회로 및 절차서 개정전·후 대기중인 모터구동 주급수펌프 기동위한 소요시간 비교

순서	기동절차	개정전 소요시간	개정후 소요시간	수행보직	비 고
1	문전중이던 주급수계통의 펌프 1대 트립	0초	0초		
2	기동할 승압펌프 예열재순환 밸브 VFW-2404 Open	15분	불필요	현장운전원	
3	모터구동 주급수펌프의 보조순환 유 펌프 33P 수동기동	10분	불필요	현장운전원	
4	모터구동 주급수펌프 계열의 승압 펌프 수동 기동	2분	기동 상태 확인예5초	주제어실운전원	
5	모터구동 주급수펌프 수동 기동	5초	5초	주제어실운전원	Mini Speed인 3600rpm 도달시간
6	모터구동 주급수펌프 출구밸브 수동 Open	55초	55초	주제어실운전원	밸브 Full Open까지의 시간
7	모터구동 주급수펌프 Speed-Up	불필요	불필요	주제어실운전원	출구밸브 열리는 시간에 약4600rpm도달

참고사항 : 정상 100%출력운전중 터빈구동 주급수펌프의 속도는 약 4500~4600rpm 유지되고 있음.

#### 4.2.1 소요시간 비교 종합결과

가. 개정전(현재) 소요시간

모터구동 주급수펌프가 정상속도에 도달하는데 소요되는 시간은 총28분이며 주로 많은 시간을 요하는 절차부분은 현장운전원이 수동으로 수행해야하는 부분으로 현장운전원이 연락을 받고 해당위치에 가는 시간이 거의 대부분을 차지하고 있다

나. 개정후 소요시간

현장운전원이 수행해야 하는부분을 모두 자동동작으로 논리회로를 변경하여 모터구동 주급수펌프 정상속도에 도달하는데 걸리는 시간이 1분 5초였다.

다. 결 론

정상운전중 주급수계통의 펌프 1대 트립 2분후에 RPCS가 동작되어도 증기발생기 수위 “저”에 의한 원자로정지는 없으며 대기중인 모터구동 주급수펌프를 기동하는데 걸리는 시간이 1분5초이므로 절차서 및 논리



회로 변경에 의한 RPCS 동작시간 개선을 수행하는 것은 불필요한 RPCS동작을 방지하기 위해 필요함.

#### 4.3 주급수 승압펌프 및 터빈구동 주급수펌프의 자동트립조건

##### 4.3.1 주급수 승압펌프 자동 트립조건

- 가. NPSH Lo-Lo
- 나. Lube Oil Pr Lo-Lo
- 다. Main Steam Isolation Signal(MSIS)
- 라. 해당 주급수펌프 트립
- 마. Electrical Protection
- 바. Bus Voltage Lo-Lo
- 사. 수동트립

##### 4.3.2 터빈구동 주급수펌프 자동트립 조건

- 가. 해당 주급수 승압펌프 NPSH Lo-Lo
- 나. MSIS
- 다. 터빈 보호신호에 의한 트립
- 라. 급수펌프 출구밸브에 의한 해당펌프계열 격리
- 마. 급수펌프 출구 공동모관 압력 Hi-Hi (2/3 CH)

##### 4.3.3 문제점 및 개선사항

가. 주급수 승압펌프 전동기 결함에 의한 코로나 방전 발생

###### 1) 원 인

상간 이격거리 불충분, 전동기 내부로의 윤활유 유입에 의한 권선오염, 코로나 방전 방지처리 부적절

###### 2) 개선방안

분해점검결과 고장자 권선의 코로나 방전에 의한 절연손상이 심하게 발생되어 결함발생기 전동기 전량 현대중공업(주) 전동기 신품으로 교체완료

나. 주급수펌프 터빈의 트립회로 오동작 가능성

###### 1) 원 인

주급수펌프 터빈의 트립회로가 1CH로 동작되어 계기오동작에 의한 트립가능성이 매우 높음

###### 2) 개선방안

주급수펌프 터빈의 트립회로의 설계변경으로 2/3CH이 동작될 경우 트립회로가 동작되도록 개선 추진중

## 5. RPCS 동작개선시 예상결과

### 5.1 발전소 운전측면

가. 발전소 이용률

주급수계통의 펌프트립에 의한 RPCS동작조건 발생시 대기중이던 모터구동 주급수펌프의 신속한 기동으로 증기발생기 수위를 유지시켜 발전소 출력감발없이 전출력 운전이 가능하여 발전소 이용률 증가에 기여.

나. 전력계통의 안정운영에 기여

RPCS 동작조건에서 발전소 출력감발없이 상태유지가 가능하므로 전력계통의 과도현상 없이 안정적 운영에 기여

다. 인적실수 가능성

운전중이던 주급수계통의 펌프 트립시 대기중이던 모터구동 주급수펌프와 승압펌프를 짧은시간내에 정상 기동 시켜야하는 부담이 있으나 RPCS가 동작되어야 하는 상황에서 시간지연회로에 의해 RPCS는 자동동작되어 인적실수는 없으며 운전원의 논리회로 및 절차서 변경에 대한 정확한 숙지 필요

## 5.2 발전소 안전성 측면

RPCS계통은 안전성관련계통이 아니며 RPCS동작조건에서 RPCS가 미동작될 경우 증기발생기 "저"수위에 의한 원자로정지가 이루어져 발전소의 안전성에는 전혀 영향을 미치지 않음.

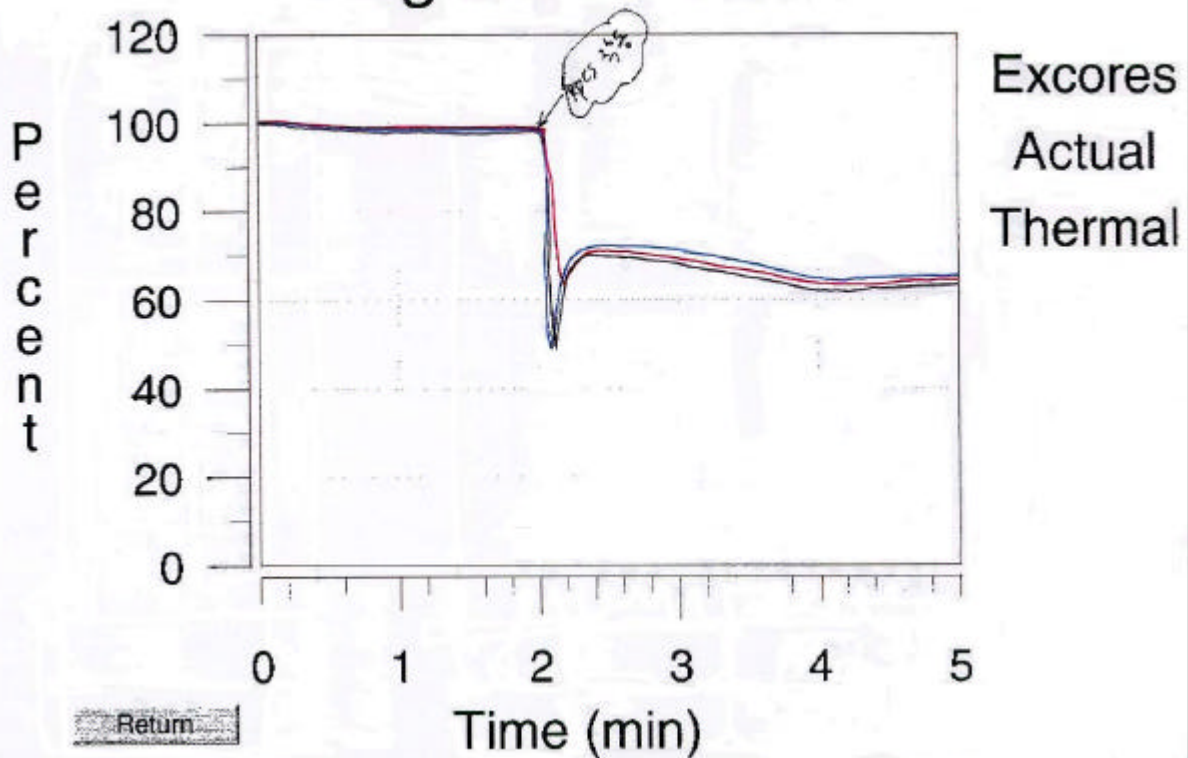
## 6. 결 론

정상운전중 영광3,4호기 주급수계통 펌프 1대 정지시 RPCS동작 지연시간 설정을 위해 각각의 분석모델링을 세우고 영광3,4호기 Simulator를 이용한 검증과 시운전 당시 시험자료를 분석해보면 RPCS를 수동상태로 놓고 주급수펌프 1대 정지시 분석모델링에 의한 분석시 2분48초, 영광 Simulator는 2분30초, 시운전 시험시에는 2분40초후에 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지가 발생되어 주급수펌프 1대 정지시의 증기발생기 수위 "저" 도달시간 분석모델링은 상당히 정확하게 세워진 것으로 나타났다. 또한 주급수계통의 펌프 1대가 정지되고 2분후에 RPCS를 동작시켰을 경우 Simulator를 이용한 검증결과 RPCS동작 25초후 증기발생기 수위가 최저 WR43%까지 감소후 회복되는 것으로 분석되어 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지없이 수위가 복구되기 위해서는 2분이내에 RPCS가 동작되어야 하는 것으로 나타났고 이 시간내에 대기중인 모터구동 주급수 펌프를 기동하여 증기발생기 저수위를 방지하여야 한다. 그런데 현재의 발전소 상황으로는 대기중인 펌프를 기동하는데 최소한 2분이 소요되므로 논리회로 및 절차서를 개정하여야 하며 개정 결과 기동하는데 1분5초의 시간이 소요되었다. 결국 현재의 자료와 시험결과를 분석해보면 2분내에 RPCS가 동작되면 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지는 발생되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 원자력발전소에 적용하기 위해서는 주급수계통의 펌프 1대를 정지시키고 대기중인 모터구동 주급수펌프를 어느 시간내에 기동하여야 증기발생기 저수위가 발생되지 않는지 그 시간을 찾는 시험이 추가로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

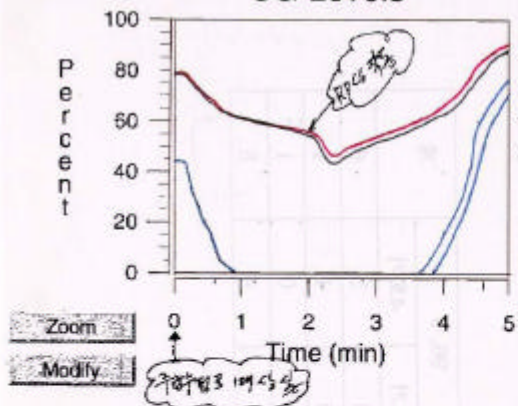
## 참고문헌

- [1] 한국전력공사 영광원자력 : 「YGN 3&4 System Description Vol.Ⅱ, Rev. 0」
- [2] 한국전력공사 영광3,4호기 발전실무 교재 : 「제6절 원자로출력 급감발 계통」, 1997.
- [3] 한국전력공사 영광3,4호기 운전경험보고서, 1996~1997.
- [4] The Nuclear Design Report for Yonggwang Nuclear Power Plant Unit 3&4, 1995~1997.
- [5] 한국전력공사 영광 제2발전소 탱크수위 용량곡선집, 1995.
- [6] 한국전력공사 영광 제2발전소 Control Logic Diagram (Vol. 2) : 「9-541-J158-015, Rev.2, 9-541-J158-001, Rev.5, 9-541-J158-002, Rev.6」
- [7] 한국전력공사 영광 제2발전소 운영절차서 : 계통-76 (주급수계통, 개정 2)」, 1997.
- [8] 영광3,4호기 주급수 승압펌프 Manual : HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES Co. LTD
- [9] 영광3,4호기 MAIN FW PUMP TYPE FK 1H 42, 1992, 6
- [10] 한국전력공사 영광 제2발전소 운영절차서 : 우선-01 (원자로트립후 우선조치, 개정 1)」, 1998.

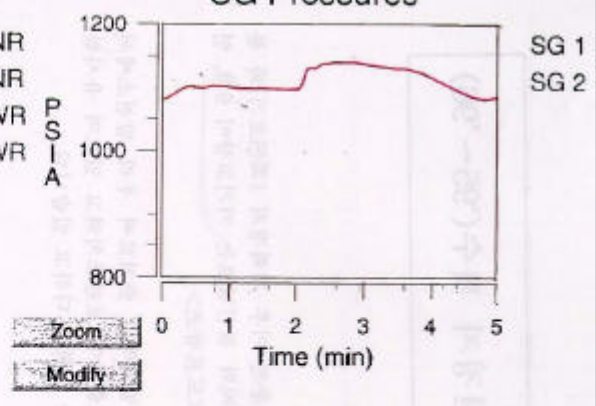
# Avg Core Power



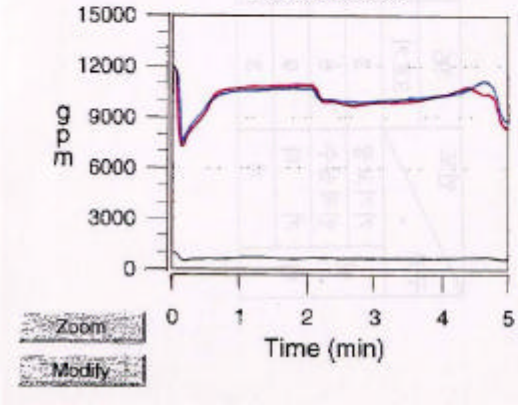
### SG Levels



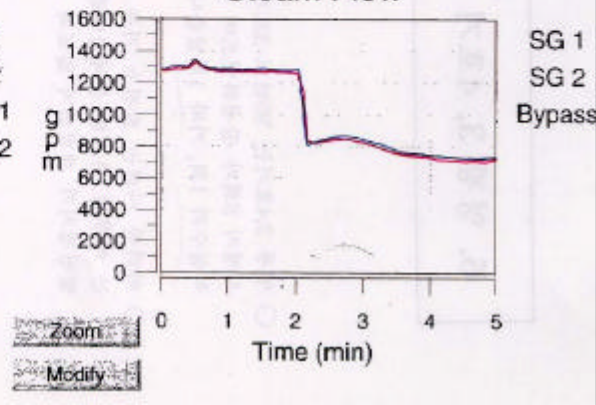
### SG Pressures

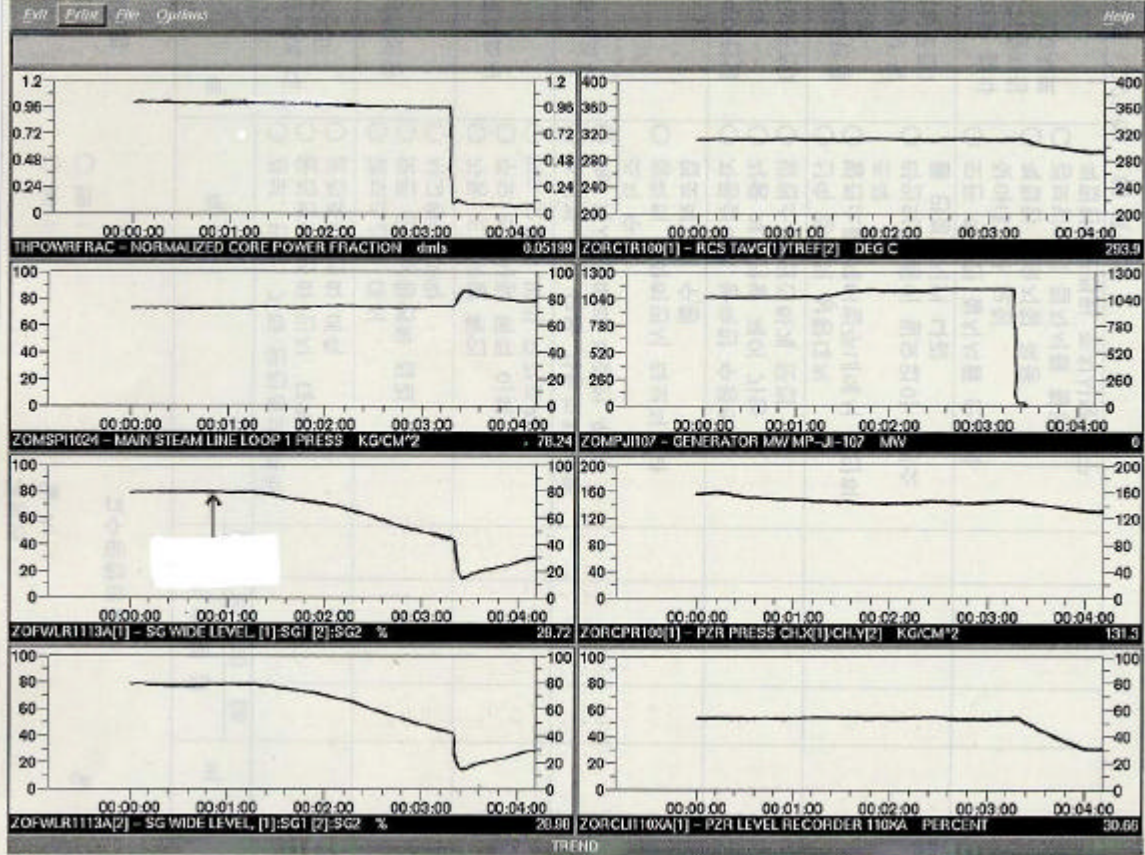


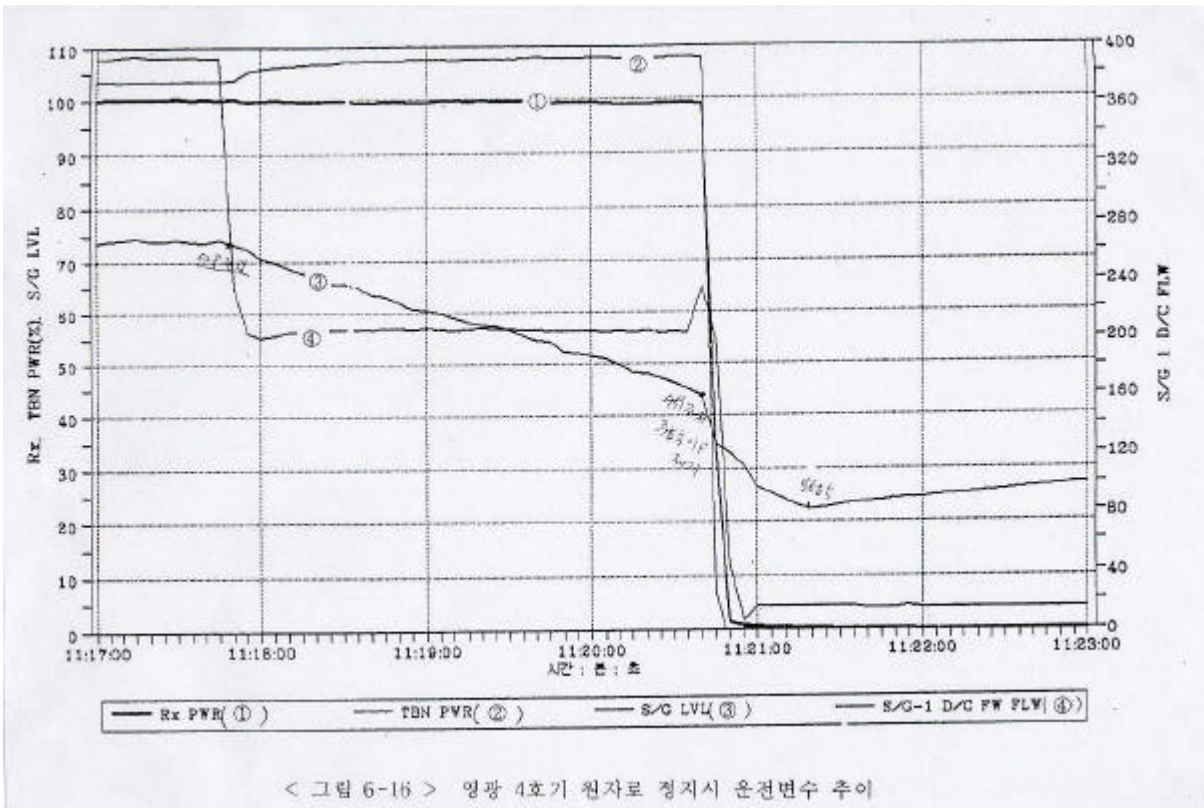
### Feed Flow



### Steam Flow







< 그림 6-16 > 영광 4호기 원자로 정지시 운전변수 추이