

원전 사고 · 고장 조 사 보 고 서

제목 : 고리 1호기 주급수제어기 고장에 따른 증기발생기
고-고 수위에 의한 터빈정지 및 원자로 정지
(사건발생일 : 2004. 9. 10)

2004. 9



한국원자력안전기술원

사건 제목 : 고리 1호기 주급수제어기 고장에 따른 증기
발생기 고-고 수위에 의한 터빈정지 및 원자
로 정지

조 사 자 : 계측제어실장	책임연구원	김 복 렬
운영기술분석실	책임연구원	김 갑
운영기술분석실	책임연구원	도 규 식

검 토 자 : 운영기술분석실장	책임연구원	금 오 현
------------------	-------	-------

조사기간 : 2004. 9. 11 ~ 9. 12

원전 사고 · 고장 조사 보고서

보고서 번호 : 2004-16호(040910K1)

제 목 : 고리 1호기 주급수제어기 고장에 따른 증기발생기 고수위에 의한
터빈정지 및 원자로 정지

발생 호기 : 고리 1호기

발생 일시 : 2004. 9.10 23:10

원자로형 : PWR 2Loops

설 계 자 : 웨스팅하우스(W/H)

발전소출력 : 600 MWe

상업운전일 : '78. 4. 21

사건 요약

고리 1호기가 원자로출력 100%로 정상운전 중 증기발생기 'B' 주급수제어기 수동/자동전환기(HC-476)의 고장으로 주급수제어밸브의 고장열림(Fail-Open)이 발생하여 증기발생기 'B' 고-고 수위에 의해 터빈-발전기가 정지되었으며 터빈정지 신호에 따라 원자로가 정지됨

발전소 정지 후 주요 운전변수 확인결과, 원자로 안전성은 유지되었으며 방사성 물질의 누출도 없었음.

1. 개 요

고리 1호기가 원자로출력 100%로 정상운전 중 증기발생기 'B' 주급수제어기 수동/자동전환기(HC-476)의 고장으로 주급수제어밸브의 고장열림이 발생하여 증기발생기 'B' 고-고 수위에 의해 터빈-발전기가 정지되었으며 터빈정지 신호(P-8)에 따라 원자로가 정지됨

원자력안전기술원은 원자로정지 원인 및 후속조치 등을 조사하고, 원자로냉각재 계통의 안전성에 대한 영향평가를 수행하였음.

2. 사건 경위

가. 정지 전 발전소 운전상태

- 원자로 출력 : 100%
- 터빈-발전기 출력 : 602MWe
- 원자로냉각재 온도 : 301.2℃
- 원자로냉각재 압력 : 154.2kg/cm²

나. 시간대별 사건 경위

'04. 9월 10일

23:09:15 : 'Steam Line Loop B FW Flow & Steam Flow Mismatch' 경보 발생

23:10:01 : 운전원 수동제어 시도(주급수제어기 고장으로 수동전환 실패)

23:10:41 : 증기발생기 고-고수위 신호(77.1 % NR) 발생

23:10:44 : 터빈-발전기 정지

23:10:44 : 원자로 정지

3. 조사내용 및 확인사항

금번 사건은 주급수제어기 고장으로 주급수제어밸브가 고장열림으로써 증기발생기 'B'에 급수가 과도하게 공급됨으로서 증기발생기 고-고 수위 신호가 발생되어 터빈/발전기가 정지되고, 터빈정지신호에 따라 원자로가 정지된 사건임. 사건 조사의 목적은 사건발생의 원인을 규명하고, 원자로 정지 후의 안전성을 저해할만한 발전소 과도상태 발생 여부를 확인하기 위함임.

가. 사건발생 원인

가. 원자로 정지 원인

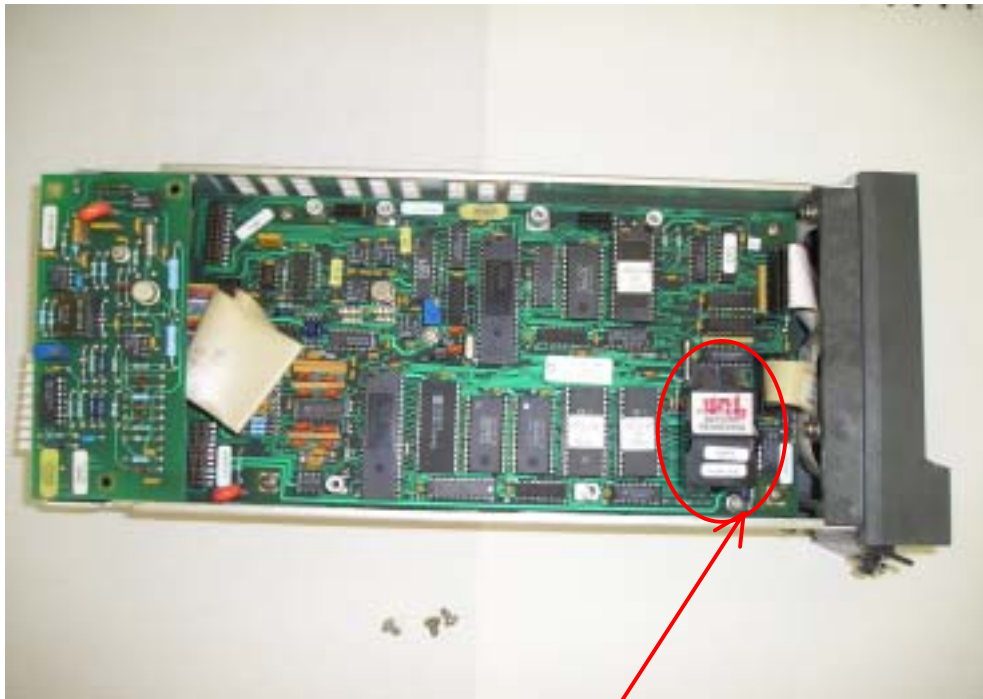
- 정상운전 중 주급수제어기 수동/자동전환기(HC476)의 고장으로 급수제어 밸브가 완전 개방되어 증기발생기 'B'로의 주급수 공급량이 증가하여 증기발생기 'B'의 수위가 증가함.
- 증기발생기 수위가 증가하자 운전원이 주급수 제어 모드를 수동으로 변경하여 제어하려고 하였으나 수동운전 모드로의 변경이 불가능하였음.
- 주급수 제어밸브가 개방되고 약 50초 후 증기발생기 'B' 수위 고-고 신호가 발생하였으며 이 신호에 의해 터빈 및 발전기가 정지함.
- 원자로 출력 30% 이상에서 터빈 및 발전기가 정지함에 따라 P-8 신호¹⁾에 의해 원자로가 정지됨.

나. 주급수제어기 수동/자동전환기(M/A Station; HC-476)의 고장

- 주급수제어밸브 고장시 제어기 수동/자동전환기(HC-476)의 표시창이 교대로 깜박거렸고, HC-476의 출력신호는 20mA로서 주급수밸브 완전 열림신호를 발생하였음.(참고: 4mA-완전 닫힘, 20mA-완전 열림)
- HC-476의 비정상 동작 원인분석을 위하여 제어반에서 인출하여 시험장치에 연결한 후 전원을 인가하자 고장증상이 사라지고 정상적으로 지시하였음.
- 이후에도 수회 반복시험결과 HC-476 자체진단기능에 의하여 전환기 ERROR 메시지(WRONG NOV RAM)가 발생하였음.
- NOV RAM²⁾ 메모리가 하드웨어 손상이나 간헐성 결함이 발생하여 비정상적으로 동작하면 형상데이터가 파손되어 마이크로컴퓨터가 오동작하며 수동/자동전환기가 고장을 일으킴.
- 금번 사건의 원인은 그림 1, 2와 같이 수동/자동전환기 회로카드 안에 있는 NOV RAM 메모리의 수동/자동 모드설정 형상데이터 손상에 따른 간헐성 단순고장으로 판단함.

1) 원자로 출력 30% 미만에서는 증기발생기 고-고 수위신호에 의해 터빈 및 발전기가 정지되더라도 원자로는 정지되지 않음

2) Non-Volatile Random Access Memory



NOVRAM

그림 1. 고장 제어기 HC-476 카드



정상시



고장시

그림 2. HC-476 설치현황

나. 주급수 제어기 수동/자동전환기(그림 3 참조)

1) 수동/자동전환기(M/A Station; HC-476)의 기능

- 자동모드에서는 증기발생기 수위제어 PI(Proportional & Integral) 제어기의 출력 0~10V를 주급수제어밸브 제어기에 적합한 4~20mA로 자동 변환하는 기능을 수행함.
- 수동모드에서는 운전원이 주급수 유량을 제어할 수 있도록 유량요구 신호(4~20mA)를 발생함.
- 주급수 유량 요구신호와 실제신호를 수동/자동전환기 화면에 지시해 주는 Man-Machine Interface 역할을 수행함.
- 수동/자동전환기 자체의 건전성을 주기적으로 진단하는 자동진단기능을 수행함.

2) 수동/자동전환기(M/A Station; HC-476)의 구성

- 수동/자동전환기(M/A)는 수치처리회로와 표시 및 아날로그 입출력처리회로로 구성되어 있음.
- 각 회로에는 마이크로컴퓨터 칩, 펌웨어 저장용 ROM(Read Only Memory), 사용자 제어데이터 설정값 저장용 NOVRAM, 펌웨어 실행을 위한 DRAM(Dynamic Random Access Memory)으로 구성되어 있음.
- NOVRAM 메모리의 주요 기능은 수동/자동전환기의 각종 데이터를 구성(configuration)하며, 사용자가 제어하고자 하는 파라미터와 펌웨어 수행에 필요한 형상데이터(예, 아날로그 입,출력, 수동/자동 모드설정, 접점, 경보, 게이트 등 논리기능)를 저장하고 있음.

다. 사건발생시 발전소 운전상태의 적합성

- 사건발생전 원자로출력은 100 %로 정상운전 중에 있었으며 증기발생기 고수위에 의한 터빈/발전기 정지 신호가 발생되었고 P-8신호에 의해 원자로가 정지됨.
- 주요운전 변수 확인 결과 안전성을 저해할만한 과도상태는 발생하지 않았으며, 발전소는 정지후 안정된 고온대기상태에서 유지되고 있었음.

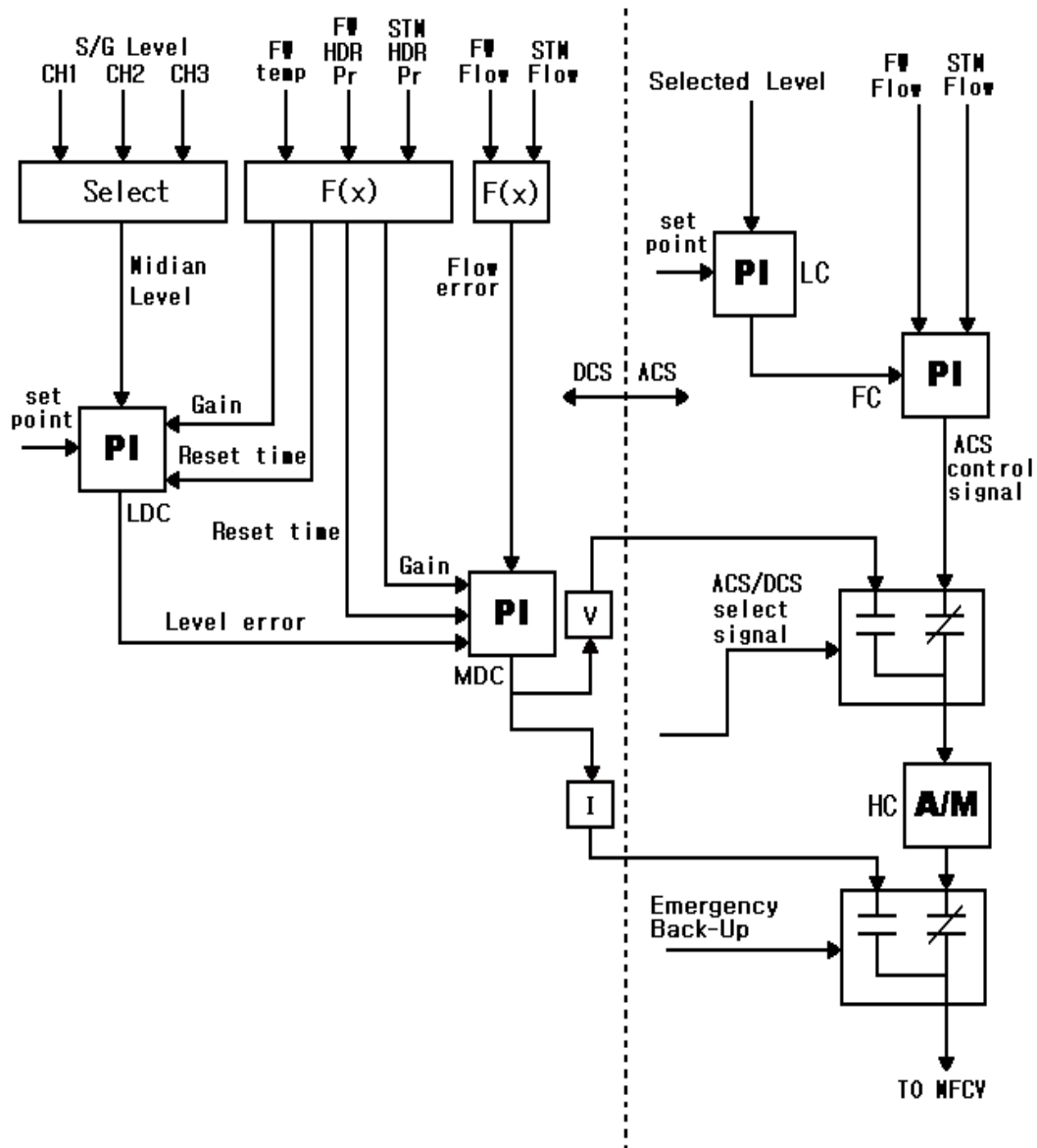


그림 3. 증기발생기 수위제어 회로

마. 사업자 조치의 적합성

1) 원자로 정지 전

- 급수/증기유량 불일치 경고 발생 및 급수유량 증가에 따라 운전원은 급수 유량감소를 위하여 주급수 제어밸브 FCV-476을 수동 (M)으로 선택하여

밸브를 닫으려고 시도함.

- 주급수제어기내 수동/자동전환기의 A/M(자동/수동)표시창은 계속 반복하여 교대로 깜박거리면서 급수 제어가 이루어지지 않았음. 약 50초 후 증기 발생기 고-고수위에 의해 터빈이 정지되고 원자로가 정지됨.

2) 원자로 정지 후

- 주급수제어밸브 FCV-476 제어상태 점검
 - HC-476의 A/M 표시창이 교대로 깜박거리고 있음을 확인함.
 - HC-476의 입력값(Input)은 최대값을 지시하고 있었고, 출력값은 상부표시창에 -0.2%를 지시하고 있었음.
 - 현장 확인결과, FCV-476 밸브는 FW Isolation 신호에 의해 닫혀 있었으나 현장 I/P는 밸브 열리는 방향으로 지시함(배전반에서 HC-476의 출력 신호 측정결과 20mA 이상 지시하여 밸브 완전 열림신호를 발생하고 있었음)
- 제어기 상태점검을 위하여 밸브열림신호를 인가 시 제어기 출력값이 -99.9%로 Step으로 감소한 후 전혀 동작 하지 않음
- HC-476을 인출하기 전 제어기 입력, 출력신호를 점검한 결과 이상 없음
- HC-476을 인출하여 시험기에 연결한 후 전원을 인가하자 고장 증상이 사라지고 정상적으로 지시하였으나 수회 반복시험결과 제어기의 NOVRAM 고장이 확인됨 (제어기 ERROR 메시지 : WRONG NOVRAM)
- 고장 제어기(HC-476)를 예비품으로 교체 후 주급수 유량전송기(FT-476, FT-477)와 동 루프의 전자카드 및 주급수제어밸브를 점검 결과 양호함.

이상과 같이 원자로 정지후 원인점검 및 고장제어기의 교체 조치를 실시하였으며, 제반조치의 적절성 확인을 위해 재확인을 하였으므로 사업자의 조치는 적절한 것으로 평가됨.

4. 안전성 평가

금번 원자로 정지는 주급수제어기 고장에 따라 증기발생기 고-고 수위 신호에

따라 터빈/발전기가 정지되고 그에 따라 원자로가 정지된 사건이며, 원자로 및 터빈/발전기 등 발전소 계통은 정상적으로 작동되었음. 조사결과, 고리 1호기의 발전소내 계통 및 기기에는 문제가 없음을 확인하였음. 사건발생 후의 발전소 주요 운전변수를 확인한 결과, 원자로는 안정된 정지상태를 유지하였으며 사건과 관련한 방사성물질의 외부 누출은 없었음.

5. 개선 및 보완요구사항

- 가. 원자로 정지와 관련된 동종의 제어기에 대하여는 교체 주기를 단축 운영할 수 있도록 방안을 검토하고 이행할 것.
- 나. 고장 발생된 제어기를 제작사에 송부하여 NOVRAM 고장증상에 대해 상세한 원인 분석을 수행할 것.

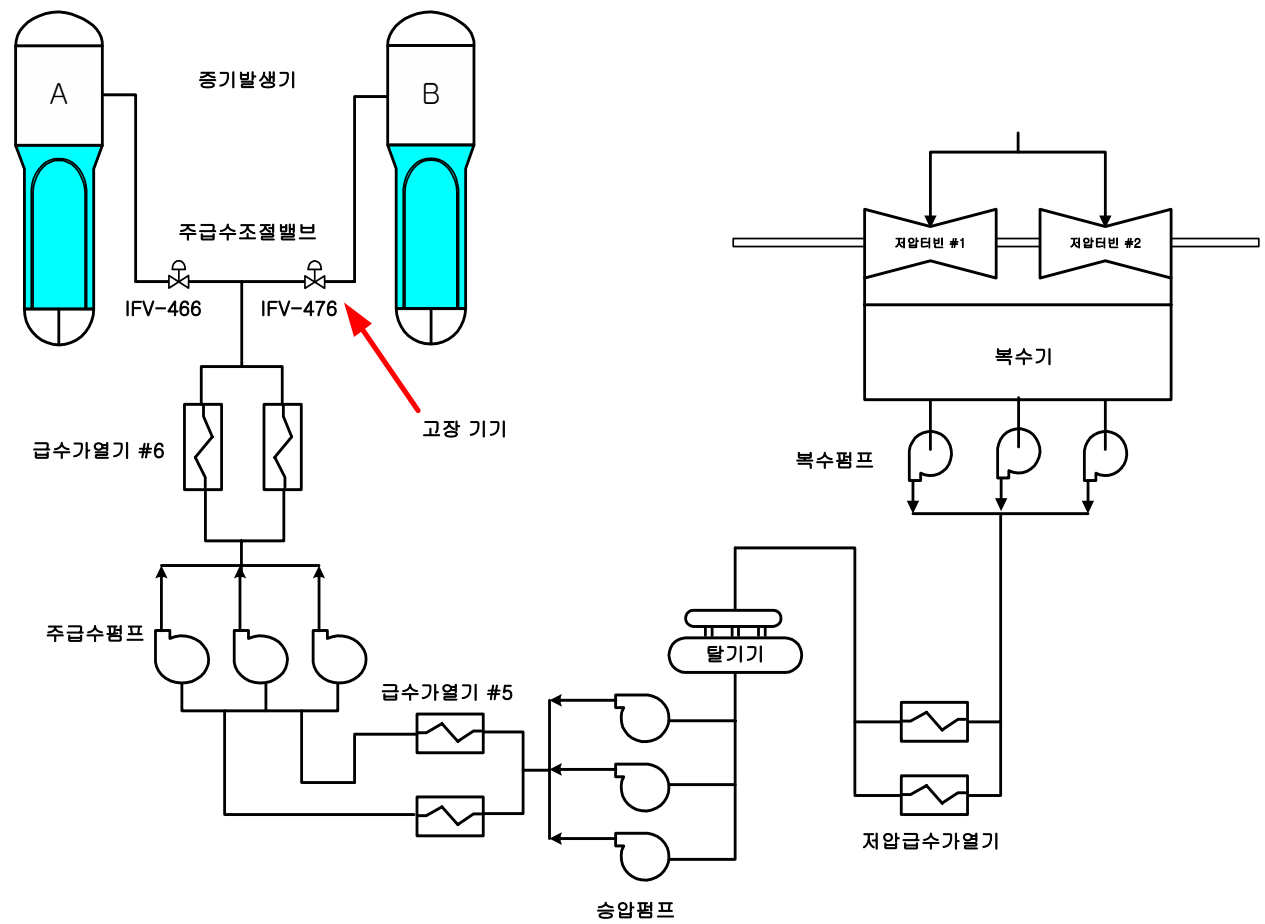
5. 결 론

금번 사건은 주급수제어기 수동/자동전환기 고장으로 주급수제어밸브가 고장열림으로 인해 발생한 것으로 확인되었으며, 동 사건과 관련한 사업자의 조치사항이 적절한 것으로 평가됨.

주급수제어기 수동/자동전환기의 교체후 주급수제어기능을 확인한 결과 양호한 동작이 이루어짐을 확인하였으며, 발전소 정지와 관련된 정비작업이 완료함에 따라 금번 원자로 재기동에 문제가 없을 것으로 판단됨.

- 첨 부
- 1. 고리 1호기 주급수계통 개략도
 - 2. 사건전후 사건기록지(SOE)
 - 3. 발전소 주요변수

첨부 1. 고리 1호기 주급수계통 개략도



첨부 2. 사건전후 사건기록지

KORI UNIT 1 CENTRAL LOG

DATA BASE VERSION NUMBER : 21. 0 11/09/2004 00:59:59

AUTO-UTI LOG PRINTER

Page 345

FROM 10/09/2004 23:00:00 TO 10/09/2004 23:20:00

[illegible]

KORI UNIT 1 CENTRAL LOG

AUTO-UNIT LOG PRINTER

DATA BASE VERSION NUMBER : 21. 0

11/09/2004 00:53:5

PAGE 546

FROM 10/09/2004 23:00:00 TO 10/09/2004 23:20:00

HDSR ALARMS

ITEM 3/34

23:10:44 564	KLYD0405	SS L HINLET A1 OR S1 FW ISOLATION	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:44 565	KLYD0405	SS L HINLET A1 OR S1 FW ISOLATION	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:44 565	KLYD0406	SS L HINLET B1 OR S1 FW ISOLATION	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:44 566	KLYD0405	SS L HINLET A1 OR S1 FW ISOLATION	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:44 566	KLYD0398	TEN GOVERNOR VLV 4	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 566	KLYD0398	TEN GOVERNOR VLV 4	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 576	KLYD0396	TEN GOVERNOR VLV 2	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 583	KLYD0397	TEN GOVERNOR VLV 3	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 589	KLYD0398	TEN GOVERNOR VLV 4	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 601	KLYD0812	MAIN FW PUMP B	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 604	KLYD0825	MAIN FW PUMP C	RUN	->	STOP
23:10:44 611	KLYD0704	BOOSTER FW PUMP A	RUN	->	STOP
23:10:44 617	KLYD0396	TEN GOVERNOR VLV 2	RUN	->	STOP
23:10:44 625	KLYD0397	TEN GOVERNOR VLV 3	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 626	KLYD0396	TEN GOVERNOR VLV 2	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 641	KLYD0714	BOOSTER FW PUMP B	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 643	KLYD0397	TEN GOVERNOR VLV 3	RUN	->	STOP
23:10:44 643	KLYD0398	TEN GOVERNOR VLV 4	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 644	KLYD0397	TEN GOVERNOR VLV 3	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 646	KLYD0397	TEN GOVERNOR VLV 3	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 653	KLYD0393	TEN LP2 STOP VLV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 654	KLYD0393	TEN LP2 STOP VLV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 655	KLYD0391	TEN LP1 STOP VLV 1	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 656	KLYD0393	TEN LP2 STOP VLV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 678	KLYD0392	TEN LP1 STOP VLV 2	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 727	KLYD0395	TEN GOVERNOR VLV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 728	KLYD0395	TEN GOVERNOR VLV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 730	KLYD0395	TEN GOVERNOR VLV 1	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 733	KLYD0390	TEN TRIP & #6 CAUS EX	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 774	KLYD0507	EX MAIN TRIP DR B	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:44 774	KLYD0507	EX MAIN TRIP DR B	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 776	KLYD0507	EX MAIN TRIP DR B	OPEN	->	CLOSE

KORI UNIT 1 CENTRALOG

11/09/2004 00:54:0

DATA BASE VERSION NUMBER : 21. 0

AUTO-UTI LOG PRINTER

PAGE 547

FROM 10/09/2004 23:00:00 TO 10/09/2004 23:20:00

HDSR ALARMS

ITEM 4/34

23:10:44 778	KIYD0007	RX MAIN TRIP BHR B	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 778	KIYD0006	RX MAIN TRIP BHR A	CLOSE	->	OPEN
23:10:44 800	KIYD0023	TBN HP STOP VALV 4	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 810	KIYD0024	TBN LP2 STOP VALV 2	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 820	KIYD0024	BOOSTER FM PUMP C	STOP	->	RUN
23:10:44 830	KIYD0020	TBN HP STOP VALV 1	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 837	KIYD0005	MAIN FM PUMP A	STOP	->	RUN
23:10:44 850	KIYD0011	TBN TRIP ACTUATED(C-B)	RESET	->	ACTUAT
23:10:44 870	KIYD0022	TBN HP STOP VALV 3	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 871	KIYD0021	TBN HP STOP VALV 2	OPEN	->	CLOSE
23:10:44 976	KILD0723	S/G B LVL HIHI CH 3	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:44 998	KILD0722	S/G B LVL HIHI CH 2	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 006	KILD0721	S/G B LVL HIHI CH 1	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 030	KIYD0406	S/G L HIHI(T B) OR S1 FM ISOL&TBN	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 031	KILD0722	S/G B LVL HIHI CH 2	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:45 038	KIYD0406	S/G L HIHI(T B) OR S1 FM ISOL&TBN	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:45 063	KILD0721	S/G B LVL HIHI CH 1	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:45 499	KIYD0010	LOSS OF LOAD(C-7)	ASSENSE	->	PRESENCE
23:10:45 500	KIYD0010	LOSS OF LOAD(C-7)	ASSENSE	->	PRESENCE
23:10:45 503	KIYD0010	LOSS OF LOAD(C-7)	ASSENSE	->	PRESENCE
23:10:45 525	KIND0102	PAR RING CHAN 3 P9 PART PERM	SET	->	RESET
23:10:45 046	KIND0100	PAR RING CHAN 1 P9 PART PERM	SET	->	RESET
23:10:45 853	KIND0101	PAR RING CHAN 2 P9 PART PERM	SET	->	RESET
23:10:45 854	KIND0103	PAR RING CHAN 4 P9 PART PERM	SET	->	RESET
23:10:45 878	KIND0104	PAR RING P9 PERM	SET	->	RESET
23:10:45 878	KIYD0390	TBN TRIP & PB CAUSE RX	TRIP	->	NOT TRIP
23:10:45 911	KIND0008	PAR RING CH 3 HI 0 LO SP PART RX	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 919	KIND0009	PAR RING CH 4 HI 0 LO SP PART RX	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 921	KIND0006	PAR RING CH 1 HI 0 LO SP PART RX	NOT TRIP	->	TRIP
23:10:45 923	KIND0007	PAR RING CH 2 HI 0 LO SP PART RX	NOT TRIP	->	TRIP

첨부 3. 발전소 주요변수

[증기발생기 수위 및 주급수 유량]



[가압기 수위/압력 및 RCS 온도]



[증기발생기 압력]



[보조급수유량]



[NIS 출력]

