

APR 1400 디지털 MMIS 주제어실

인적오류예방기법 표준안 개발

2016. 10. 26(수)

고리원자력본부 교육훈련센터 교수 송우진

- 기존의 인적오류 예방기법 적용 검토
- 효율적인 인적오류 예방 기법 적용
- 비상운전 중 운전원 역할 명확화
- 운전경험 및 인간공학 설계 반영
- 원활한 의사소통과 정보 교환
- 불필요한 행위 지양

① 인적오류예방기법

② 비상운전

③ 커뮤니케이션

- 14. 03 신고리 3호기 발전실무반 최초 교육 실시(총 18주)
- 15. 01 신고리 3호기 발전실무반 2회차 교육 실시
- 15. 09 신고리 3호기 발전실무반 3회차 교육 완료
- 15. 09 전사 시뮬레이터 경진대회

국내 원전 중 최초 디지털 MMIS MCR 도입으로 운전원의 기본적인 행위 변화를 초래

- 15. 10 APR1400 인적오류예방기법 표준(안) 개발 워크숍 개최
- 16. 04 인적오류예방기법 표준화 지침서 초안 작성
- 16. 06 사용자(운전원)지침서 검토 완료
- 16. 09~ 신고리 3,4호기 발전실무반 시뮬레이터 교육 활용 중
- 17. 02 1차 훈련 후 추가 개정사항 반영(예정)

최첨단 디지털 MCR에서
과거와 똑같이
행동할 필요가 있나?



	Control Board 형 MCR	Workstation 형 MCR
구성	계통별 운전을 가능토록 하는 배전반을 제어실의 넓은 구역에 배치	발전소 전체 운전을 가능케 하는 워크스테이션을 운전원 별로 제공
절차서	종이절차서를 사용하여 절차서의 관리를 운전원이 담당	전산화절차서를 사용하여 절차서 관리가 용이하고 운전과 절차서 관리를 병행할 수 있음
2차 직무 부하 유형	1) 보드간 이동에 따른 신체적 부담 2) 보드간 이동에 따른 발전소 상태 정보 기억에 따른 인지적 부담 3) 절차서를 수행하는 정보 전달을 위한 발전과장과 보드 운전원간의 의사소통 부하 4) 절차서의 찾기, 가져오기, 단계간 이동, 절차 수행상태 Place-keeping, 및 참조 정보 정보 탐색	1) 운전정보 획득을 위한 정보화면 순항(Navigation) 부하
차이점	입식 운전	좌식운전 전면주시 운전 전산화절차서 사용

■ 디지털 주제어실의 장점

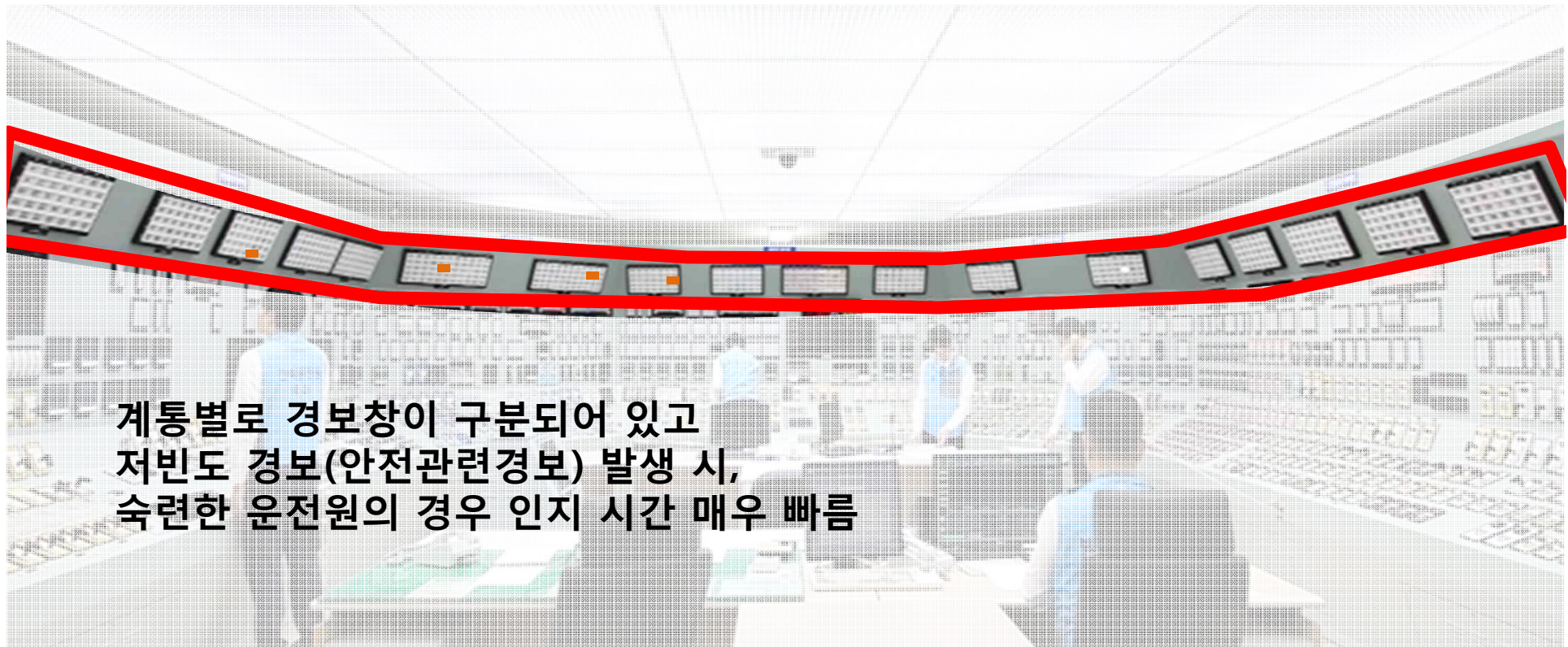
❖ 인적오류 저감에 유리한 측면

- Workstation을 통해 운전상황을 여러 운전원이 동시에 감시 가능
- 운전 수행 시 재확인이 용이
 - ➡ **인적오류 탐지의 기회를 증가시킬 수 있는 기회를 제공**
- 운전절차서가 Workstation에 타 운전 정보 및 제어가 통합되어 있어 용이하게 **절차서**에 따르는 운전을 수행할 수 있다.
- 기존의 제어보드기반 제어실의 제약을 해소하고, 운전지원기능 (Trend, Aids)이 강화됨에 따라 운전원의 2차직무를 저감할 수 있게 되었다.

■ 디지털 주제어실의 단점 : 경보인지

❖ 경보 인지의 직관성 저하

- (Bench Board Type)경보발생 시 경보창만 쳐다보면 인지 가능
- (Digital MMIS Type)경보발생 시 조작이 필요할 수 있음



■ 차이점

① 기존 보드형 MCR과 달리 2가지 제약이 물리적으로 해소됨

➤ SS가 발전소 상태 및 운전 변수를 직접 파악할 수 있음

→ (훈련결과) SS가 모든 변수를 직접 파악하기에는 업무부담이 큼

: 내비게이션[화면전환]에 따른 예상보다 긴 시간이 소요됨

→ (훈련결과) RO/TO/EO 에게 운전변수를 묻고 답하는 방식으로 확인

: LDP에 있는 운전변수는 직접 확인

➤ 모든 운전원이 동일한 절차서를 직접 보면서 운전을 수행할 수 있음

❖ 운전조치 진행 승인 및 제한을 볼 수 있다.

→ (훈련결과) SS의 절차 진행 상태를 직접 보는 빈도 낮음

: CPS 보다는 SS와의 커뮤니케이션에 의존[기존 방식 고수]

→ (훈련결과) 후행 절차 확인에 유용

: 기대와 달리 SS의 오류를 지적하는 횟수는 드물었음(태도의 문제)

■ 차이점

② 기존 보드형 MCR은 SS가 운전변수를 몰라서 물어본다.

➤ APR MCR의 SS는 확인 차원에서 물어본다.(비상운전 중)

- 모든 의사소통은 3-Way Communication이 기본이다.
- 의사소통 관점에서 기존보드형과 APR의 MCR은 차이점이 없다.
- 의사소통의 기본은 정보의 전달이고, 잘못된 정보의 전달을 방지하는 것
기본은 3-Way Communication임 (Eye Contact 포함)
- 대화가 없다면 가능하다.

비상운전 중 커뮤니케이션 방식 변경 필요

인적오류예방기법(전사 표준 절차서)

기본적 인적오류 예방기법		조건부 인적오류 예방기법	
상황인식	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사전업무검토 ○ 사전점검 ○ 의문을 갖는 태도 ○ 불확실 시 중지 	작업전회의	
자기진단		확인기법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동시확인 ○ 독립확인
효과적인 의사소통	<ul style="list-style-type: none"> ○ 의사소통 재확인기법 ○ 음표문자 	동료점검	
절차서 사용 및 준수		인식표 및 운전방벽 설치	
		수행단계 표시	
		인수인계	
		작업후 평가	

A. MCR 운전원의 표준화

큰틀에서 원칙은 반드시 있어야 한다.

- 발전소 내부 지침서 신규 작성
표준기행 개정

표준화 개발

일어서지 마라!
돌아보지 마라!
이렇게 말해라!
시키는데로 해라

B. 과정보다는 결과

문화는 글로 배우는 것이 아니다.

- 교육 행정 절차서 개정
관습헌법

개성 존중

중요한 것만 표준화하자
예외를 두자(즉쇄가 된다.)
~ 하는 것을 원칙으로 한다
SS의 권한을 침해하지 마라

커뮤니케이션 적용 예시

- 정확하고, 상세한 규칙 제정

표준화 개발

일어날 수 있는 모든 상황을
가정해서 의사소통 예시를
풍부하게 들어달라.

- 개인 취향 존중, 큰틀만 제시

개성 존중

중요한 원칙만 제시
세부적인 지시/응답은
발전팀장 성향에 따르자.

지침서의 규정

- 정확하고, 상세한 규칙 제정

표준화 개발

운영 절차서 수준의
규정을 제정하고
준수할 것을 요구

- 개인 취향 존중, 큰틀만 제시

개성 존중

중요한 것만 표준화하자
예외를 두자(즉쇄가 된다.)
~ 하는 것을 원칙으로 한다
SS의 권한을 침해하지 마라
규제 근거가 되어선 안된다.

동시확인, 독립확인, 동료점검의 차이점

	동시성	독립성	영향	의사소통	의무
동시확인	△		즉각적	개별검토 후 의견 교환	절차명시
독립확인	×		지연	금지	
동료점검	○		모두가능	설명	의무권고 아님

- ❖ 동시성 : 점검자와 조작자가 상호 의견교환 가능
- ❖ 독립확인 : 점검자와 조작간 대화 없이 개별 검토만 가능
- ❖ 영향 : 운전/조작의 결과가 언제 나타나는지 여부(즉각 또는 지연)
- ❖ 의무 : 절차서 명시 여부

5. 봉산 희석 운전

6

1. [독립확인] 다음에 따라 RCS 봉산농도 목표치를 정하고 봉산희석(Dilution) 운전을 수행한다.

가. 노심-1003(초기임계)에 따라 예상임계점 및 HZP, ARO 임계봉소농도 설계값, 초기 임계용 봉소농도 조정인자, RCS 봉소농도 목표값을 기록한다.

수행자 ? 독립확인자 ?

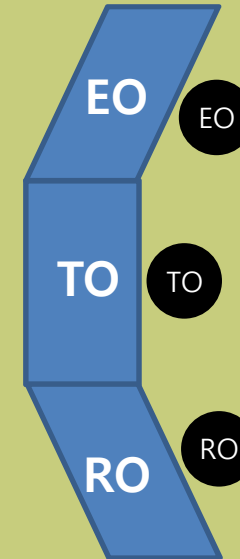
나. HZP, ARO 예상임계 봉소농도 및 초기 임계용 봉소농도 조정인자를 고려하여 RCS 봉소농도 목표값으로 봉소희석 운전을 수행한다.

주) RCS 봉소농도 목표값 =
HZP, ARO 임계봉소농도 설계값 + 초기임계용 봉소농도 조정인자

수행자 ? 동시확인자 ?

다. RCS 봉소농도가 목표값에 도달하면 아래의 운전변수를 기록한다.

수행자 ?



STA STA

SS SS

[SS] 6단계 1-가항 수행을 RO와
확인자 STA에게 각자 계산할
것을 지시
[RO, STA] 각자의 자리에서 절차서
에 따라 목표 봉소농도를 계산

5. 봉산 희석 운전

6

1. [독립확인] 다음에 따라 RCS 봉산농도 목표치를 정하고 봉산희석(Dilution) 운전을 수행한다.

가. 노심-1003(초기임계)에 따라 예상임계점 및 HZP, ARO 임계봉소농도 설계값, 초기 임계용 봉소농도 조정인자, RCS 봉소농도 목표값을 기록한다.

수행자 ? 독립확인자 ?

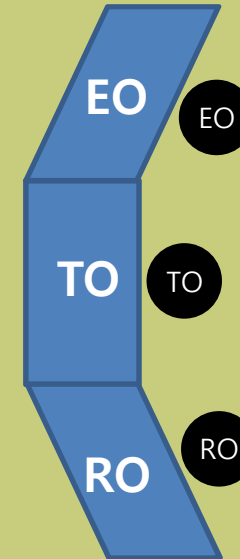
나. HZP, ARO 예상임계 봉소농도 및 초기 임계용 봉소농도 조정인자를 고려하여 RCS 봉소농도 목표값으로 봉소희석 운전을 수행한다.

주) RCS 봉소농도 목표값 =
HZP, ARO 임계봉소농도 설계값 + 초기임계용 봉소농도 조정인자

수행자 ? 동시확인자 ?

다. RCS 봉소농도가 목표값에 도달하면 아래의 운전변수를 기록한다.

수행자 ?

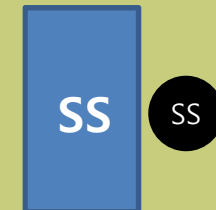
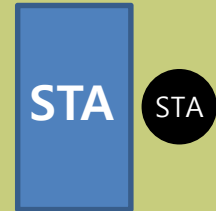
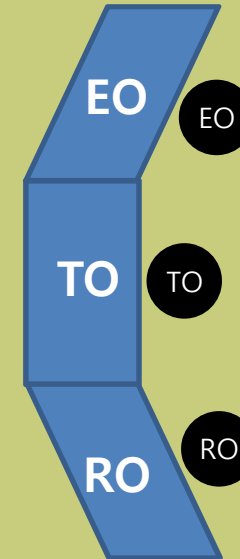
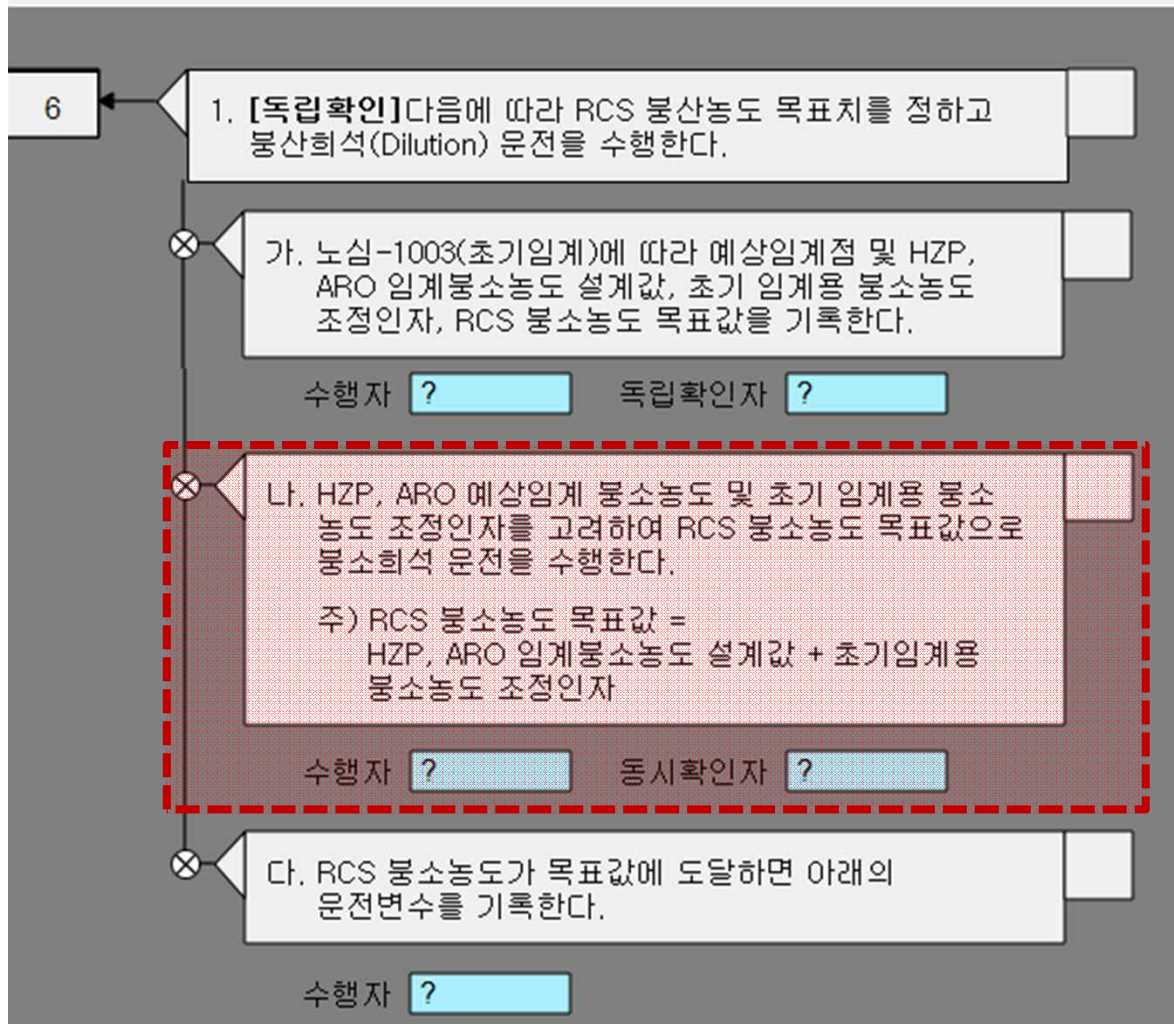


STA STA

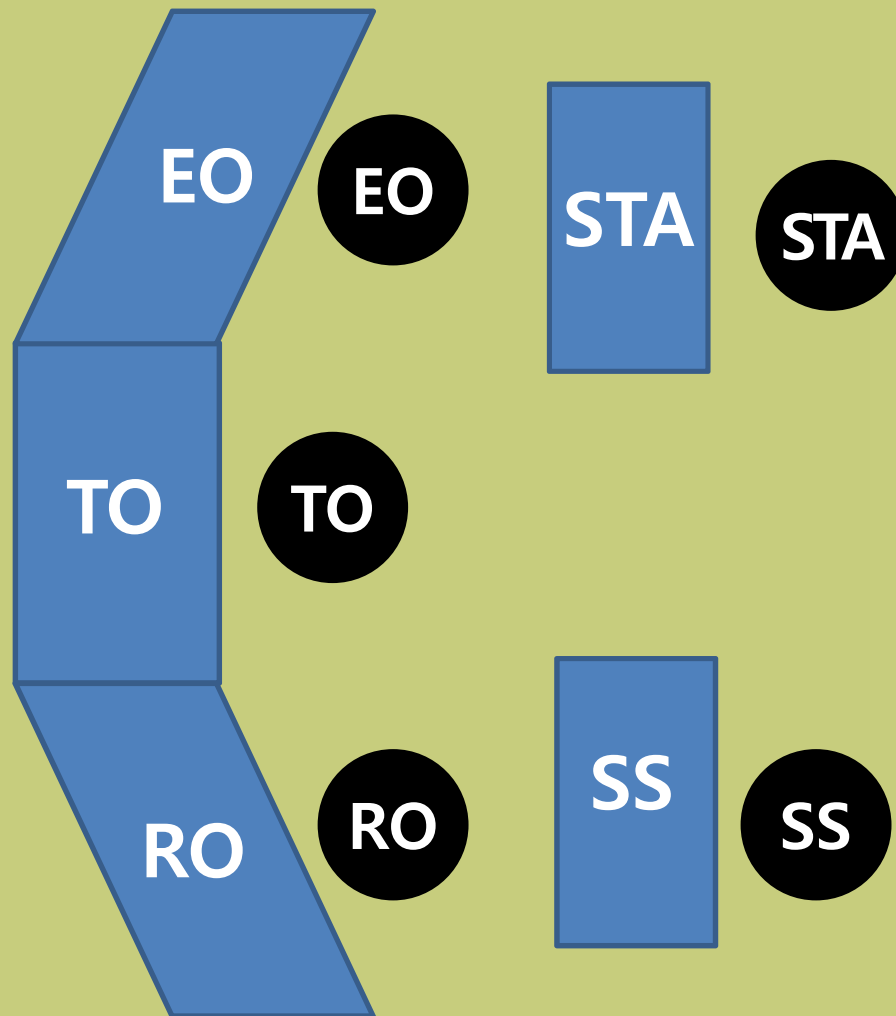
SS SS

[RO, STA] 상호 계산 결과값을 비교
일치 시에는 수행 완료 보고 후
다음 단계 수행
불일치 시에는 재수행

5. 봉산 희석 운전



[SS] 6단계 1-나항 수행을 RO와 동시확인자 STA에게 지시
[RO, STA] 자기진단 또는 사전 업무 검토 수행(의사소통 금지)
[RO, STA] 의견교환 후 봉소희석 운전 수행



동료점검

- ◆ 절차서에 동시확인, 독립확인이 없는 단계
- ◆ 조작자가 요청
- ◆ 과도한 동료점검은 효과 반감
- ◆ 점검자가 조작자 자리로 이동

[RO] STA! 동료점검 요청
[RO → STA] 행위(절차서) 설명
[STA] (설명 또는 절차서와 일치 시)
조작 동의 표현
[RO] 조작

■ 제목 : 주제어실 인적오류예방기법 표준지침

❖ 번호 : 발전지침-****(신고리 2발 내부지침서)

❖ 주요내용

- 동시확인 : 적용시점, 적용절차
- 독립확인 : 적용시점, 적용절차
- 동료점검 : 적용시점, 적용절차
- 의사소통 재확인기법 : 적용절차(기기조작지시, 보고, 확인요청), 금지사항
- 업데이트 : 배경, 적용시점, 적용절차
- 주목 : 배경, 적용시점, 적용절차
- 기타 : 인식표 부착, 운전방벽 설치
- 상황별 예시문

■ 표준기행과의 주요 차이점

❖ 동시확인, 독립확인

- 확인자 지정 : 원칙적으로 안전차장이 수행
- 단, 사용시점을 명시
봉산희석/주입량 계산, Mark-VI Ramp rate 계산
임계제어봉위치 계산, 정지여유도 계산
펌프, 팬 기동 전 밸브 배열, 정지 후 밸브 배열 복귀 등

❖ 동료점검

- 점검자 지정 : 원칙적으로 안전차장이 수행

❖ 의사소통 재확인기법

- 시선 전환은 우선-01/02 수행 중 예외적으로 생략 가능
- Keyword만 반복 명시(시선전환 시 Keyword 반복 생략 가능)
- 보고 시 [앉은 자세로 자리에서 몸만 전환]

■ 운전원에게 가치판단을 요구하는 질문을 하지 마라.



SRO : RCS 재고량 제어 확인하겠습니다.

RO! 가압기수위가

15~70%이내인지 확인하세요.

RO : 네 만족합니다.

[또는 40%에서 감소 중]

SRO : **만족하네요.**



SRO : RCS 재고량 제어 확인하겠습니다.

RO! 가압기 수위 확인하세요.

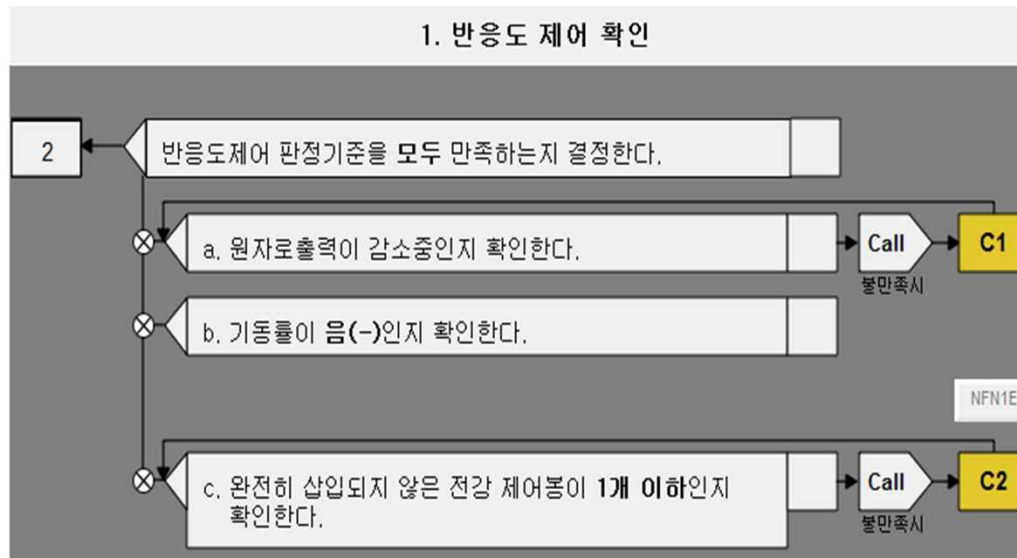
RO : 가압기 수위 40%에서 서서히

감소 중입니다.

SRO : **40%에서 감소 중 확인!**



■ 한번에 하나씩만 지시하거나, 보고하라.



SRO : 반응도 제어 확인하겠습니다.

RO! 원자로출력, 기동률,
제어봉 삽입 확인하세요.

RO : 출력 감소 중, 기동률 음,
제어봉 모두 삽입되었습니다.

SRO : 네 알겠습니다.



SRO : RO! 원자로출력 확인하세요.

RO : 원자로출력 감소중입니다.

SRO : 감소 중 확인!

SRO : RO! 기동률 마이너스 확인

RO : 기동률 마이너스입니다.

SRO : 마이너스 확인



■ 업데이트(Update)

❖ 배경

- 운전원 중 누군가가 중요한전변수 및 기기상태의 변화 또는 공학적안전 설비 작동 신호 발생 등의 발전소 중요 정보의 변화를 인지 시 다른 모든 운전원들에게 그 정보를 전달하고자 할 때 사용

❖ 적용시점

- 중요 정보 전달(대형 펌프 정지, 변수의 급격한 변화, ESFAS 동작)
- 인지한 정보가 다른 보직에 영향을 미칠 것이 예상될 때
(LOOP 중 EDG 정지, Trip 후 MSSV 개방 등)

❖ 적용 절차

- “업데이트”를 외친다.
- 다른 운전원은 업데이트를 외친 운전원을 응시하거나, 거수 한다.
- 중요정보 간략 보고 후 “업데이트 종료”라고 외친다.

■ 주목(Attention for Brief)

❖ 배경

- 중요 의사결정 전 발전팀장이 운전원들의 의견을 청취하기 위해
- 중요 의사결정 후 정보 전달
- 종합운전에 대한 지시사항 또는 주의사항 전달

❖ 적용시점

- 발전팀장이 필요하다고 판단되는 사항 발생 시 적용
- 오로지, 근무 중인 발전팀장만 사용 가능

❖ 적용 절차

- 발전팀장이 "주목"를 외친다.
- 운전원들은 "주목"을 복명복창하고, 발전팀장을 응시하거나 거수 한다.
- 발전팀장이 정보를 전달한다.(이후는 형식에 얽매이지 않는다.)

- 기본틀은 [지시-응답-확인], [보고-수신-확인] 이다.
- 가능하면 동일한 단어를 반복해라.
- 3-Way communication 중 내용을 수정하지 마라.
- 일단, 보고(지시)를 시작하면 3-Way로 의사소통하라.

➤ 상황별 의사소통 표준안(예시)

- ✓ 충전펌프 비정상 정지
- ✓ 우선-01/02
- ✓ 비상운전(비상-03증기발생기 튜브파열)

 한국수력원자력	고리원자력 신고리2발전소 업무지침서		개정번호 : 00
	발전지침*	주제어실 인적오류예방기법 표준지침	쪽번호 : 10/20

붙임 8.1 상황별 예시문-비정상운전(1/2)

충전펌프 정지 비정상운전

상황	의사소통 표준안			착안사항
	유형	보직	대화	
상황 1 경보 발생	보고	RO	(경보음 인지) 경보 발생! (알람명 확인 후) 충전펌프01A Trouble 경보 발생했습니다.	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경보 보고 시 Eye Contact 불필요 ■ 경보 발생 시 수신은 반드시 필요한 것은 아니다. ■ 최초 원인 경보만 보고를 원칙 ■ 후속 경보라도 중요 경보는 보고
	수신	발전팀장	경보 확인했습니다. [또는 경보 확인]	
상황 2 기기상태 보고	보고	RO	팀장님! 충전펌프01A 정지되었습니다. (보고 시 앉은 자리에서 몸만 돌린다.)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보고 시 앉은 자리에서 몸만 돌린다. ■ 긴급 조치 시 Eye Contact 생략가능 ■ Eye Contact 수행 후 확인 시 "네 맞습니다." 가능
	수신	발전팀장	충전펌프01A 정지 확인 (시선 : RO)	
	확인	RO	네 맞습니다.[또는 충전펌프01A 맞습니다.]	
상황 3 운전변수 보고	보고	RO	충전유량 상실되어 가압기 수위 48%에서 감소 중입니다.	<ul style="list-style-type: none"> ■ 보고 시 앉은 자리에서 몸만 돌린다. ■ 긴급 조치 시 Eye Contact 생략가능 ■ Eye Contact 수행 후 확인 시 "네 맞습니다." 가능
	수신	발전팀장	수위 48%에서 감소 중	
	확인	RO	네 맞습니다.[또는 48% 감소 중]	

❖ 예시

비상-02(LOCA) 8단계 LOCA 격리 단계 수행 中

SRO : RO에게 8단계 수행 지시

RO : SRO보고 없이 유출유로 격리

RCS 시료채취격리밸브 닫힘

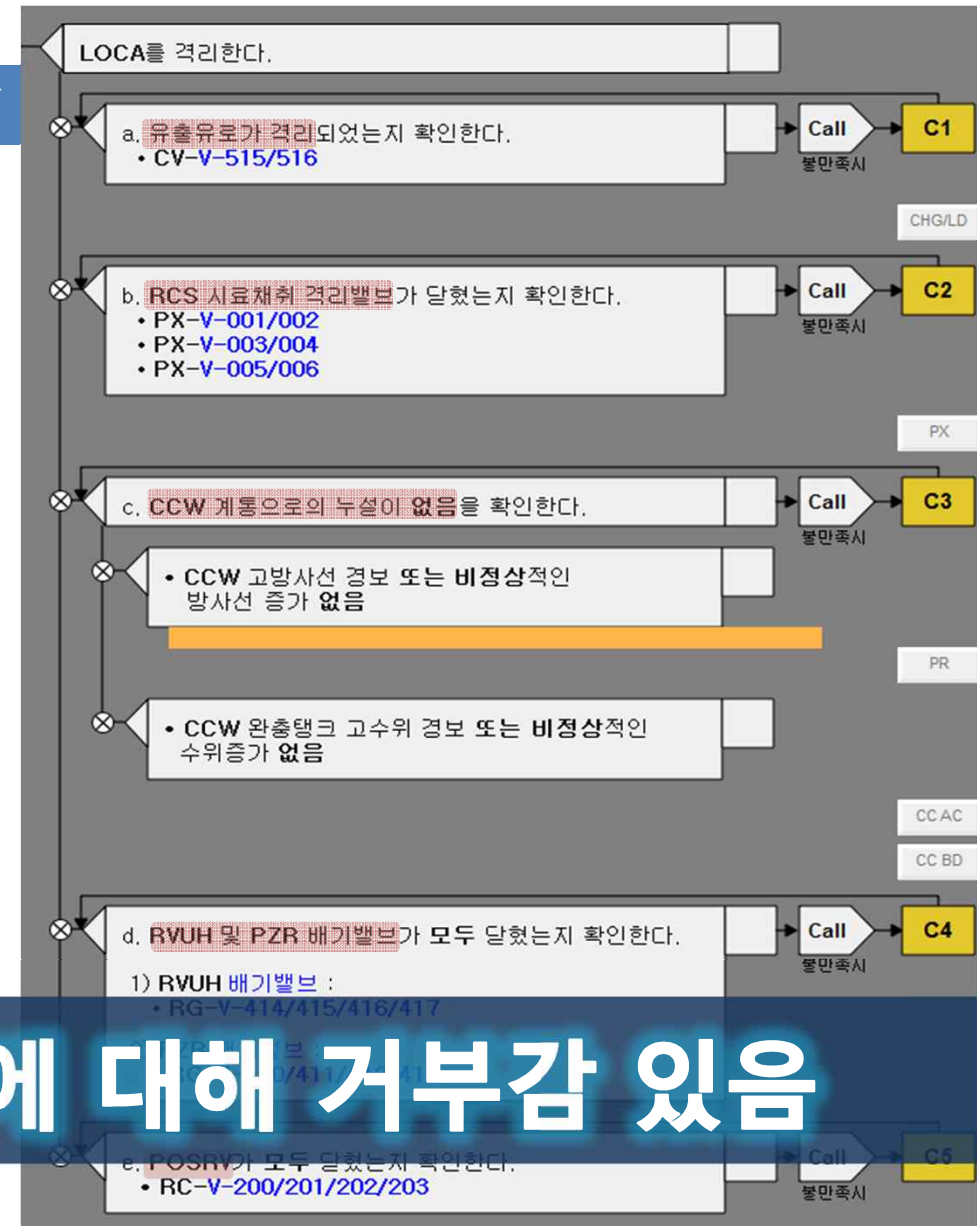
CCW계통 누설없음

RVUH 및 PZR 배기밸브 닫힘

POSRV 닫힘 확인 후

단계 완료 보고

SRO : 단계 완료 수신



SS의 통제권 위임에 대해 거부감 있음

■ 인적오류예방기법 표준 지침서 적용

- 3-Way Communication에 여전히 어려움 있음
- 운전원 중 일부는 아직도 공감하지 못함

(“더 간단하고 전혀 새로운 방식이 있을 것이다”는 기대함 有
소프트웨어 활용)

■ 새로운 기법(업데이트, 주목) 활용도 떨어짐

- 업데이트 : 새로운 기법 적용에 대한 적응 시간 필요 판단
- 주목 : 기존 방식 고수(새로운 방식에 대한 필요성 떨어짐)

■ 주요(빈도를 높은) 인적오류에 Major Factor로 의사소통 오류는 없음

운전원 실수 내용(9월 2주차 실습)	주요인자(Major Factor)
원자로 정지 후 제어봉 Stuck 인지 못함	단순 부주의, 경험 미숙,
MSADV Leak 시 원자로 출력 상승 인지 못함	운전변수 감시 소홀
SBO 시 RCP CBO 밸브 Close 누락	계통 지식 부족
MSADV Leak 시 원자로 출력 100% 초과 후 복구 조치 안함	계통 지식 부족, Priority 실패
SGTR 중 과도한 냉각으로 MSIS 발생	운전 부주의, 경험 미숙
SGTR 시 복수기 이용 가능하나 고장난 SG 격리 조치 선수행함	완화전략 미숙지(지식부족)
CVCS 충전라인 파단 시 격리조치 수행 안함	경험 미숙
RCS 냉각 중단 되었으나, 인지하지 못하고 SS 질문에 허위 보고함	운전변수 감시 소홀
SBO 시 전원복구 중 ESWP 부터 기동함	운전역량 부족
SGTR 시 RCS 감압조치를 적극적으로 수행 못함	완화전략 미숙지(지식부족)
SBO 시 AAC DG 기동 실패했으나 SS 보고 누락됨	보고 누락
SGTR 시 RCS 감압이 목표치에 도달 전 1차측 냉각을 계속 수행 시킴	완화전략 미숙지(지식부족)
AAC DG 기동 전 차단기 배열안함	계통 지식 부족
SGTR 시 MFWP 정지가 늦어져서 SG 만수위 도달	완화전략 미숙지(지식부족)
운영기술지침서 검토 시 독립확인 누락	인적오류예방기법 미적용
RO/TO가 SS가 지시하는 것만 수행함	수동적 자세
LOAF 중 급수 복구 시 SG 2대에 동시 주입함	완화전략 미숙지(지식부족)
CWP 발생 미인지로 제어봉 동작안되나, 오판단	계통 지식 부족, 경보 미인지
LOOP 시 SG 재고량 보존조치 수행안함	완화전략 미숙지(지식부족)
CVCS Filter DP HI 경보 미인지로 비정상 판단 지연	경보 미인지
RCS 감압 운전 중 PZR HTR 자동 ON 되었는지 인지 못함	운전변수 감시 소홀, 운전역량 부족
부적절한 봉산 주입 사건 시 충전유량 감소, 2차측 출력감발 지연으로 Tc 온도 감소	운전변수 감시 소홀, 운전역량 부족