[한빛5호기 원자로헤드 부실정비 관련]

KINS 특별점검 결과 참고 및 붙임자료

2021. 10.

한국원자력안전기술원
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY

목 차

참고. 한빛5호기 원자로헤드 관통부 시공오류 재발방지대책(한수원) 1

붙임1. 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 주요공정 ····· 9

붙임2. 기계용접 용접재 적용 적절성 점검결과 ····· 12

붙임3. 수동용접 용접재 적용 및 용접사 적절성 점검결과 ··· 17

붙임4. 용접재 확인불가 용접부 성분분석 점검결과 ····· 20

붙임5. 가이드콘 용접의 적절성 점검결과 ····· 27

붙임6. 기수행 작업참여 용접사 적절성 점검결과 ····· 28

붙임7. 용접사 자격인정 시험관리 점검결과 ····· 30

붙임8. 참여 용접사 서면인터뷰 및 추가제보요청 ····· 32

붙임9. 재보수 참여 용접사 자격인정 점검결과 ····· 34

붙임10. 용접 품질관리 전반 점검결과 ····· 35

붙임11. 비파괴검사 상세검토 결과 ····· 41

붙임12. 사건 주요경위 ····· 43

붙임13. 광주지검 수사관련 보도자료 요약 ····· 45

붙임14. 기술기준 불만족 용접부 제거계획 및 결과 점검 ···· 46

붙임15. 후속 용접 재발방지대책 ····· 54

붙임16. 보강용접 계획 및 점검 결과 ····· 59

붙임17. 용어 설명 ····· 61

참고 **한빛5호기 원자로헤드 관통부 시공오류 재발방지대책(한수원 작성)**

1 기본개념

심층방어 체계 구축 용접작업에서 사건·사고의 전개를 어떻게 차단할 것인가에 초점을 맞춰 3단계의 심층방어 개념으로 재발방지 대책 수립

심층방어 1단계 : 준비
1. 용접사 자격인정시험 관리강화
2. 보수/교체 프로그램 원전본부 순회교육
3. 특수작업 절차서 전문가 검토
4. 원자력 안전문화 교육 및 실천서약
5. 투입인력 적정성 평가

심층방어 2단계 : 용접작업
6. 용접재료 관리강화
7. 용접기록 작성 및 관리조항 신설
8. 공정관리 개선
9. 용접작업 영상녹화 표준지침 개발
10. 용접작업 독립확인자 운영
11. 안전문화 미준수 비밀제보 활성화

심층방어 3단계 : 검사·확인
12. 품질검사 개선
13. 공인검사 수행기준 개선
14. 안전문화 준수 특별면책 및 위반 시 손해배

< 개선된 제도 및 절차 >

□ (**적용방법**) 공사·용역시방서에 반영하여 계약상대자에게 제공

□ (**책임사항**) 계약 상 준수해야할 의무조건으로 불이행 시 책임 부과

□ **관련 제도 및 절차**

구분	제도 및 절차	관련 대책(번호)
제도	• 기타규범『원자력 안전문화 실천 계약 특수조건』	4, 5, 10, 11, 14
절차	• 표준정비-4022『가동원전 보수/교체 프로그램』	1, 3, 6, 7, 8, 9
	• 표준정비-9033B『구매관리(공사, 용역)』	1, 4, 5, 10, 11, 14
지침	• 표준지침-4022-01『안전등급 보수/교체 용접 동영상 녹화 관리』	9
기타	• 품질10-1002『정비품질검사』	12
	• 가동원전 공인검사 수행기준 개선(용역시방서)	13
	• 보수/교체 프로그램 원전본부 순회 교육	2

2 개선된 제도 및 절차

□ 원자력 안전문화 실천 계약 특수조건

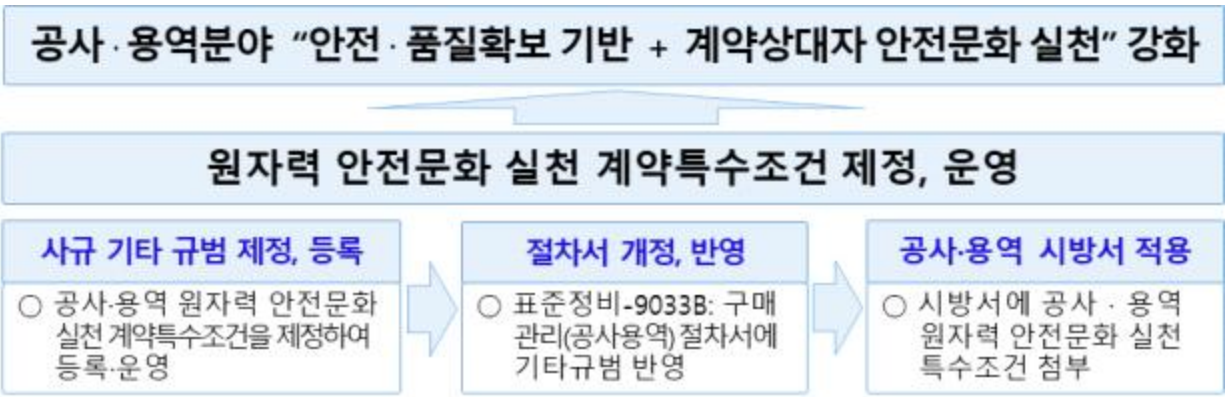
원자력 안전문화 실천 계약 특수조건

[시행 2021.3.30.] [지침 2021.3.30., 제정]

제1조(목적) 이 특수조건은 한국수력원자력(주)(이하 당사)와 계약상대자가 체결하는 공사·용역(설치조건부 구매 포함)계약에 있어 안전 및 품질확보의 기반이 되는 원자력 안전문화 실천 및 정착에 필요한 특별 요건을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(적용범위) 이 특수조건은 당사의 원자력 발전소 부지 내에서 역무를 수행하는 가동원전 원자로 및 원자로 관계시설의 공사·용역(설치조건부 구매 포함) 계약에 적용한다.

○ (**목적**) 공사·용역분야 '안전·품질확보 기반과 계약상대자 안전문화 실천 강화'를 위한 제도 확보



○ 재발방지대책 항목별 주요내용

제4조 (4)	**(원자력 안전문화 교육 및 실천서약서 제출)** ▫ 착공 전 계약상대자가 안전문화 자체교육 시행 및 실천 서약서 제출 ▫ 작업 착수 전 발주자 수행 안전교육(또는 작업전 회의) 참석 및 안전준수 확약서 제출 ▫ 상주 협력회사는 매 1년마다 1회 이상 자체교육 시행
제6조 (14)	**(원자력 안전문화 준수 특별면책)** ▫ 안전 위해요소 보고서 또는 신문고(5일 이내)를 통한 신고 및 특별면책 ▫ 부실시공 고의 은폐 행위자(자연인)는 역무참여 금지 → One Strike Out

제7조 (14)	**(원자력 안전문화 특별 준수사항 위반 손해 배상)** ▫ 오류사항 보고/절차 준수/투명한 정보공유 지침 위반의 귀책사유로 인한 손해배상 시 과태료/발전정지 손해를 포함(상한은 계약금액)
제8조 (11)	**(원자력 안전문화 미준수 비밀 제보)** ▫ 원자력 안전문화 실천 서약서 미준수 사항, 비리사항 등 원자력 안전위해요소의 비밀보장이 필요한 신고에 대한 의무사항을 계약조항에 반영 ▫ 한수원 사외 홈페이지의 신문고 시스템(한수원 감사실 관리)을 통하여 지체없이 즉시 신고하고, 이후 특별면책의 내용 및 범위를 결정
제9조 (5)	**(투입 인력의 자격 적정성 평가)** ▫ 착공 전(또는 투입 전)에 투입인력 자격 적정성 평가서 제출 ▫ 원자력 안전 위해요소 및 부실시공 사실을 은폐 또는 은닉함으로 인하여 발전소에 품질문제를 유발한 이력보유 인원 배제 ▫ 계약상대자의 품질검사 업무는 직접 수행, 제3자로의 위탁금지
제10조 (10)	**(안전등급 품목의 용접작업 시 독립확인자 활동)** ▫ KEPIC/ASME에 따른 안전등급 용접작업 시 독립확인자 운영 제도화 **< 독립확인자의 역할 >** ▪ **(일반적 역할)** 작업계획 및 안전조치, 작업절차, 용접작업, 비파괴 검사, 용접·설치작업 동영상 기록물 내용, 품질서류 내용 등 제반사항에 대하여 관찰·확인 활동을 수행함. 즉 **한수원 감독원의 사각지대를 보완**하는 역할 ▪ **(용접영상 점검)** 용접 동영상 녹화 표준지침에 따라 **작업 전·중·후 녹화상태 및 적절성을 검토**해야 함 ▪ **(활동내용 보고)** 사전에 정한 주기에 따라 **독립확인자 활동일보를 기록하여 한수원 감독부서에 보고**하고, 현장대리인에게 통보해야 함

□ 표준정비-4022『가동원전 보수/교체 프로그램』

○ 용접사 자격인정시험 관리강화

준비 단계 (1)	▫ 용접사 자격인정 감독확인서 양식 신규개발 - 응시자 식별, 시험시작·종료시간 기록 및 감독기간 입력 후 감독자 서명 ▫ 별도 공사·용역으로 수행되는 자격인정시험은 감독자가 불시점검 등을 통해 자격인정 과정의 적절성 확인

붙임 8.13 용접사 자격인정시험 감독 확인서

시험일시 : '21.1.5(금) 09:00~18:00	시험장소 : ○○주식회사 정비삼	사업명 : 한빛0호기 주급수계통 배관 Spool 교체사업	Page : 1 / 3

No.	용시자 식별[3]			용접절차사양서 번호 (WPS No.)	시험시간		서명
	성명	식별[3]	생년월일		시작	종료	
1	●●●	조끼(01)	800101-1	000-000-000	'21.1.5 09:00	'21.1.5 15:00	
2	▲▲▲	조끼(02)	900101-1	000-000-000	'21.1.5 11:00	'21.1.5 18:00	

순서	감독자	감독기간		서명
	성명	시작	종료	
1	□□□	'21.1.5 09:00	'21.1.5 11:00	
2	△△△	'21.1.5 11:00	'21.1.5 11:10	

< 용접사 자격인정시험 감독 확인서 발췌 >

○ 특수작업 절차 전문가 기술검토

준비 단계 (3)

▫ 특수작업절차서(용접·비파괴·도장)는 CRI 전문가, 엔지니어링부서에서 사전 검토
- 중요공정의 적합성과 검사·관리 강화 대상 검토

○ 용접재료 관리 강화

용접 단계 (6)

▫ 용접재료에 식별표식 부착 의무화

▫ 실제 용접이 수행될 때에만 해당 용접재료가 취급되도록 개선

< 용접재료 식별표식 예시(한빛5호기 원자로헤드 재시공 시) >

○ 용접기록 작성 및 관리조항 신설

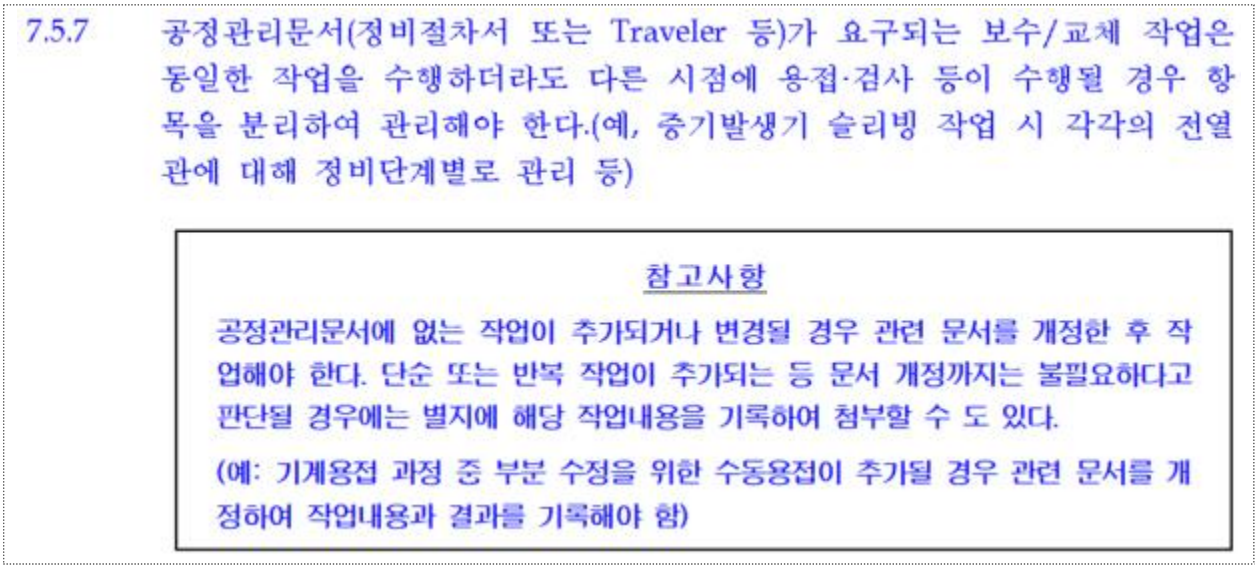
용접 단계 (7)

▫ 용접기록서의 작성 및 관리절차 추가
- 모든 용접작업은 용접기록서를 작성하도록 의무화
- 모든 용접 이음부에 대해 용접사 및 절차서를 식별할 수 있도록 기록
- 용접 수행 시 관리자 모니터링 및 서명(관리 사각지대 방지)

< 용접기록서 표준안(右 일부 확대) >

○ 공정관리 개선

용접 단계 (8)	▫ 동일한 작업을 수행하더라도 다른 시점에 용접·검사가 수행될 경우 공정관리문서 상 항목을 분리하도록 개선 - 기능위치 등 작업 단위별로 공정관리문서 운영 - 공정관리문서에 없는 임의작업 금지



< 용접사 자격인정시험 감독 확인서 발췌 >

○ 용접작업 영상녹화 표준지침 개발에 따른 항목 분리(9)

- 표준정비-4022에 녹화관리 대상여부 진단 체크리스트를 신설하였고, 해당될 경우 표준지침에 따르도록 연계함

동영상 녹화관리 대상여부 점검	안전 1등급 기기/배관	작업계획서 작성이 면제되는 안전 1등급 소형품목(7.2.1항) 대상이 아님	□ 해당, □ 비 해당
	안전2,3등급 기기/배관	이종금속용접, 버터링용접, 템퍼비이드 용접 등 특수한 용접	□ 해당, □ 비 해당
		AWS 등급/UNS 번호가 다른 2종류 이상의 용접재질이 적용되는 용접부	□ 해당, □ 비 해당
		2종류 이상 WPS 또는 복합 WPS가 적용되는 용접부	□ 해당, □ 비 해당
		운전 중 접근이 불가능한 용접부(기기 내부에서 용접 등)	□ 해당, □ 비 해당
		특수한 형상, 작업 특성상 동영상 녹화 확보가 필요하다고 판단되는 경우	□ 해당, □ 비 해당
	점검 결과	동영상 녹화 관리 대상 □, 비 대상 □	
		(비 대상인 경우 해당 사유 간략 기술)	

< 동영상 녹화관리 대상여부 점검 체크리스트 >

□ 표준정비-9033B『구매관리(공사, 용역)』

○ 용접사 자격인정시험 관리강화(1)

- 시방서 요건으로 용접사 자격인정시험 시 감독자 불시점검조항을 반영하여 계약 상 수행 근거 확보

4.0 공사(용역) 일반수행 지침

- 안전등급1,2,3 품목의 보수 및 교체 작업계획서 제출대상 작업에 대해, 용접사 자격인정이 필요한 경우 계약상대자는 자격인정시험의 일정을 감독부서에 착수 2주 이전에 통보하여야 하며, 담당 감독자는 불시점검 등을 통해 표준정비-4022 "가동원전 보수 교체 프로그램"에 따라 자격인정 과정이 적절히 관리·감독되고 있는지 여부를 확인하여야 한다.

< 공사(용역) 일반수행 지침에서 발췌 >

○ 『원자력 안전문화 실천 계약 특수조건』 준수 의무 부여

4.0 공사(용역) 일반수행 지침

○ 안전등급 품목의 보수 및 교체에 관련하는 공사/용역 시방서의 경우 아래사항을 반드시 명시하여야 한다.

- 원자력 발전소 부지 내에서 역무를 수행하는 가동원전 원자로 및 원자로 관계시설의 공사/용역시방서는 별첨으로 "원자력 안전문화 실천 계약 특수조건"을 첨부하고 이를 준수해야 함을 본문에 명시한다.

< 공사(용역) 일반수행 지침에서 발췌 >

□ 표준지침-4022-01『용접작업 영상녹화 표준지침』

○ 용접작업 영상녹화를 위한 표준지침 개발(9)

- 체계적인 동영상 녹화관리를 위해 표준정비-4022에서 분리하여 표준지침서* 신규 제정

* 표준지침-4022-01「안전등급 보수/교체 용접 동영상 녹화 관리」

목적	▫ (목적) 녹화기준, 계획수립, 이행 및 보관 관리 등 체계적 관리지침 제공 ▫ (용도) 용접작업 확인 및 원인분석 보조자료로 활용
적용	▫ KEPIC MIA-4000(보수/교체활동)에 따른 안전등급기기 용접작업에 적용
주의사항	▫ 구매관리(공사, 용역) 표준절차서에 따라 계약요건으로 반영 ▫ 동영상 녹화 전 작업참여자 교육 수행 등
지침	▫ (대상) 등급별 녹화대상, 대체요건 및 예외사항(소형품목, 돌발/긴급정비) ▫ (녹화기준) 조명, 식별능력 및 표시, 카메라 수량과 저장매체 ▫ (녹화관리 계획서) 필수 준수요건, 계획검토 및 등록절차 ▫ (녹화기록 점검) 작업 전·중·후 영상녹화상태 점검 ▫ (저장매체 취급) 점검기록지와 영상저장매체 제출 및 보관방법 ▫ (점검표) 영상식별능력, 사전, 녹화 중·완료 후 영상상태 점검

표준 지침서

절차서 번호	표준지침-4022-01	개정번호	00
제 목	안전등급 보수/교체 용접 동영상 녹화 관리		

절차서 번호	제 목	작성부서	비 고

< 표준지침-4022-01 표지 >

< 작업 중 동영상 점검표>

< 녹화 완료 후 동영상 점검표>

□ 품질10-1002『정비품질검사』

○ 품질검사 수행기준 개선(12)

검사 확인 단계 (12)

▫ 품질검사계획서(QP) 심층 검토
- 품질확보 저해 가능 중요공정 검토 및 검사점 선정·운영

▫ 품질검사점 선정기준 명확화 및 검사 강화
- 특수공정 및 품질확보 저해가능 공정에 대한 검사점 선정 지침 추가
- 작업결과 확인 공정(압력시험 등)에 대해서는 우선적으로 필수확인점(H.P) 선정, 품질검사 수행
- 중요공정에 집중하여 품질검사점 선정 및 검사 수행

□ 공인검사(ANI) 수행기준 개선

검사 확인 단계 (13)

▫ 단일공정 다수품목 작업에 대한 명확한 입회기준 수립
- 안전1등급 공인검사 대상 모든 품목에 대해 공정의 50% 이상 공인검사 입회

개선 前	**개선** 後	**비 고**
몇 개의 품목선정	모든 품목	공정의 50% 이상 입회

※ 향후 신규계약분부터 용역시방서 반영 및 전사확대 적용예정('22.6월~)

□ 보수/교체 프로그램 원전본부 순회교육

준비 단계 (2)

▫ 가동원전 공인검사기관(재료연구원)을 통해 보수/교체 프로그램 원전본부 순회교육과정 개설

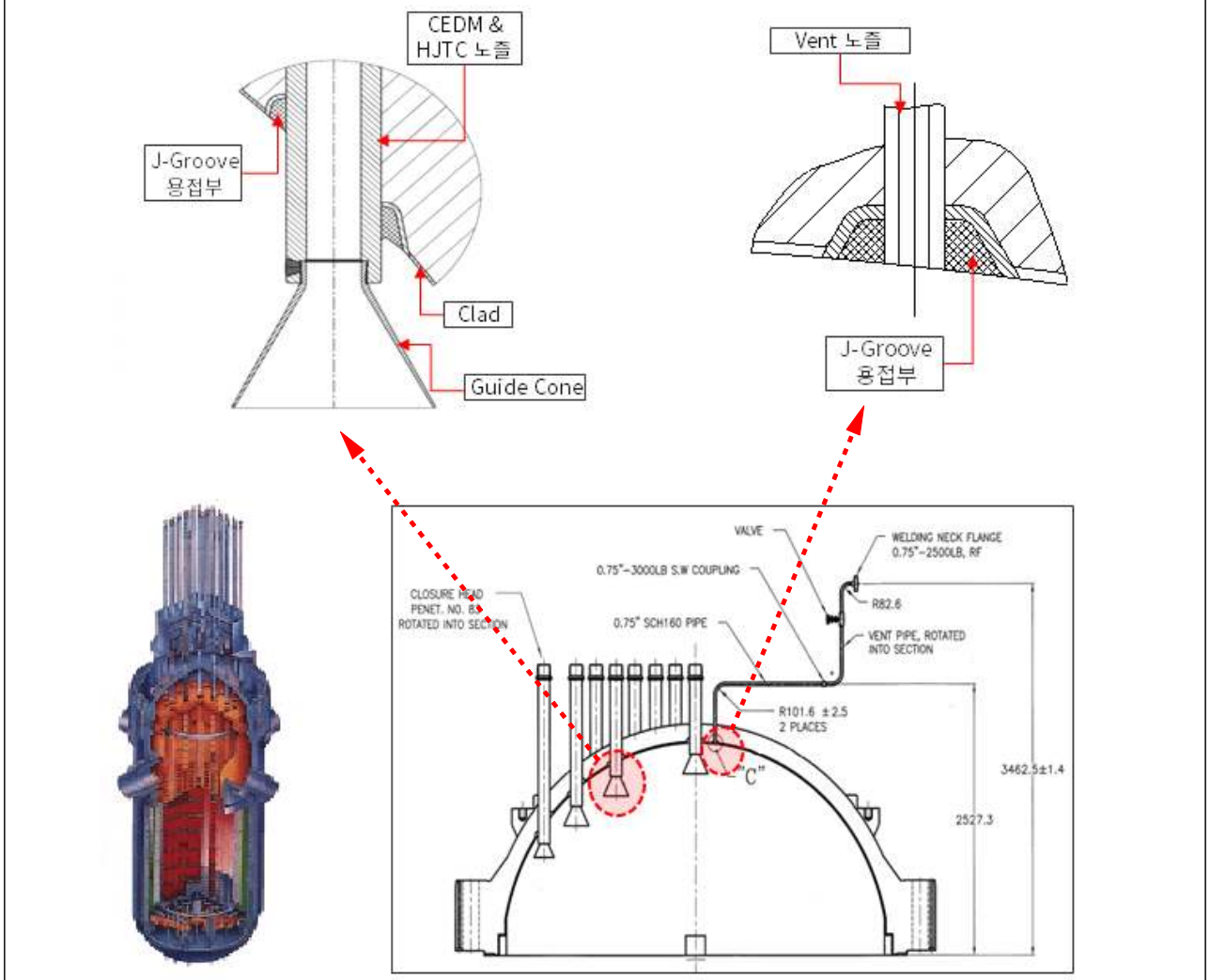
▫ 원전본부 기계부 전원 정기적인 보수교육 예정(매년/또는 격년)

▫ 매년 Q&A집 발간(사용빈도가 높거나 실수가 쉬운 요건, 불일치 및 원안법령 위반사례)

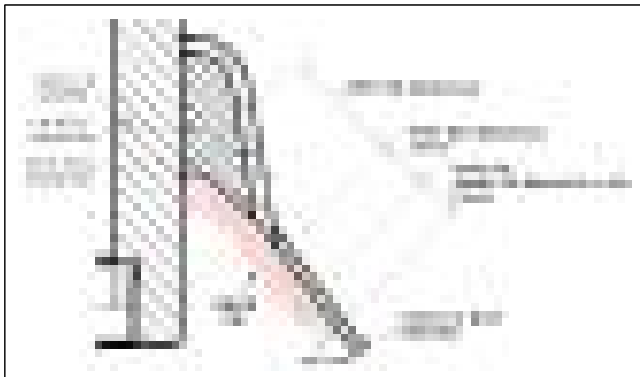
▫ '안전등급 기계설비 보수/교체 직무수행능력 인증서' 제정후 필수과정 등록

붙임 1 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 주요 공정

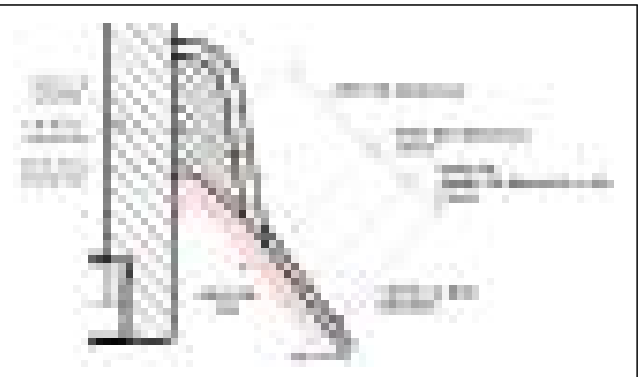
❑ 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 정비부위 개략도



원자로헤드 관통관 용접부 형상

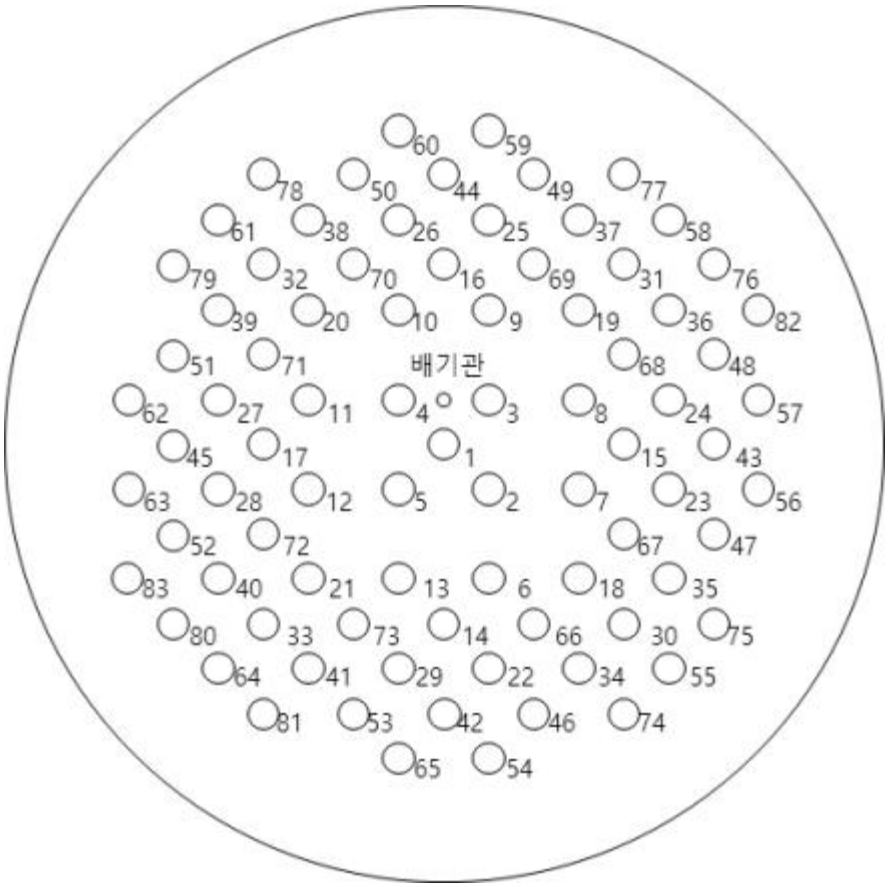


보수용접(4층 용접) 부위 형상



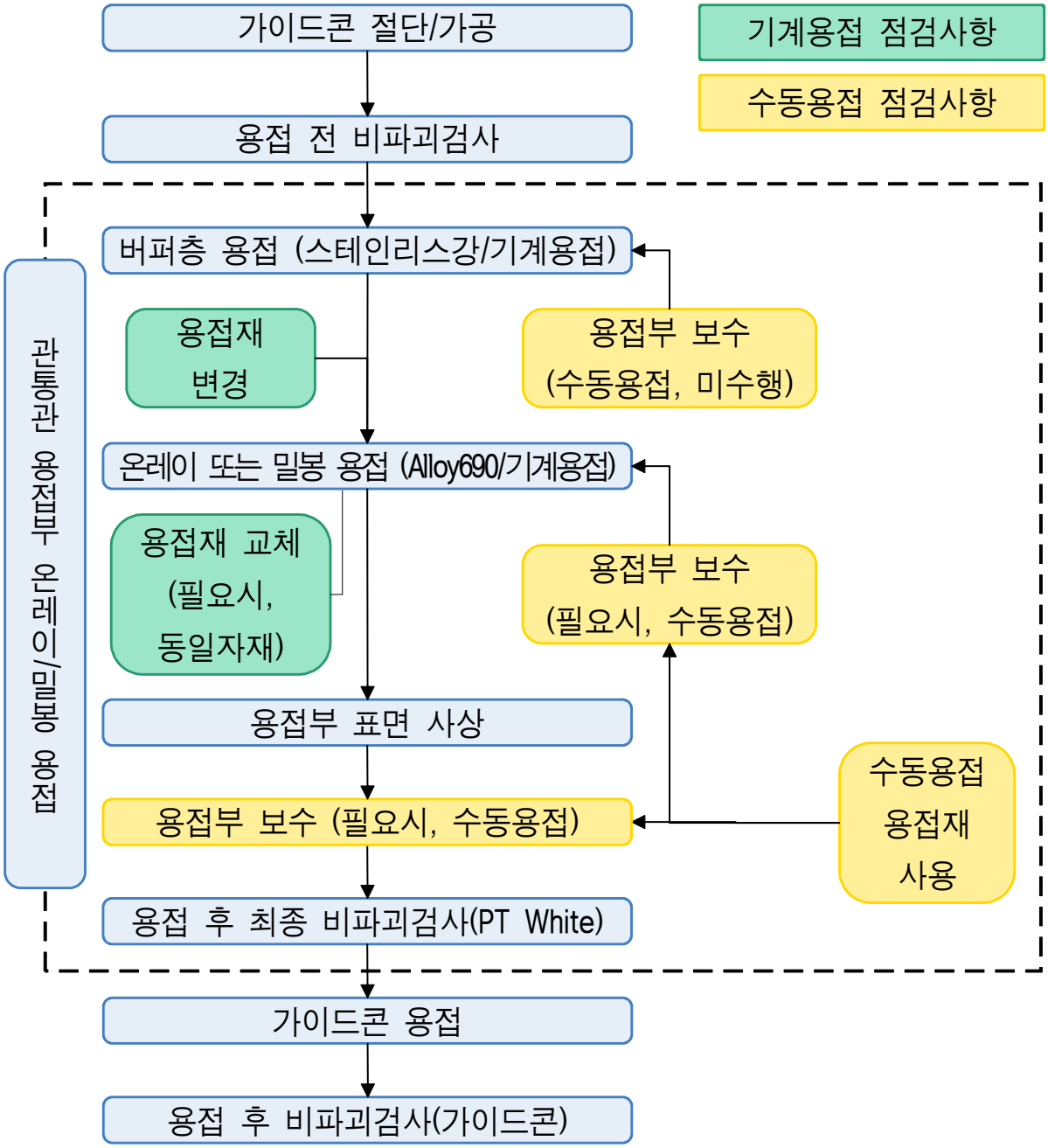
예방용접(3층 용접) 부위 형상

❑ 관통관 배치



가이드콘 설치 전	가이드콘 설치 후

❑ 주요 공정


가이드콘 절단/가공
기계용접 점검사항
수동용접 점검사항
용접 전 비파괴검사
관통관 용접부 온레이/밀봉 용접
버퍼층 용접 (스테인리스강/기계용접)
용접재 변경
용접부 보수 (수동용접, 미수행)
온레이 또는 밀봉 용접 (Alloy690/기계용접)
용접재 교체 (필요시, 동일자재)
용접부 보수 (필요시, 수동용접)
용접부 표면 사상
수동용접 용접재 사용
용접부 보수 (필요시, 수동용접)
용접 후 최종 비파괴검사(PT White)
가이드콘 용접
용접 후 비파괴검사(가이드콘)

붙임 2 기계용접 용접재 적용 적절성 점검 결과

❑ 점검방법

○ CCTV 녹화기록*, 용접기록서, QP&Traveler 검토 등

* CCTV 녹화기록 점검방법 [붙임 2-1], 오용접 및 확인불가 사례 [붙임 2-2] 참조

❑ 점검기준

○ 용접절차시방서에 기재된 용접재 사용 여부, CCTV 녹화기록과 용접기록 일치 여부

❑ 점검결과

○ **용접재 오적용 2개소(재시공 대상)** 및 **확인불가 26개소(성분분석 대상)** 확인

- 용접재 오적용 점검결과

분류	적합	오적용[a)]	확인불가 (녹화기록 有[b)])	확인불가 (녹화기록 無[c)])	계
수량	56	2	10	16	84

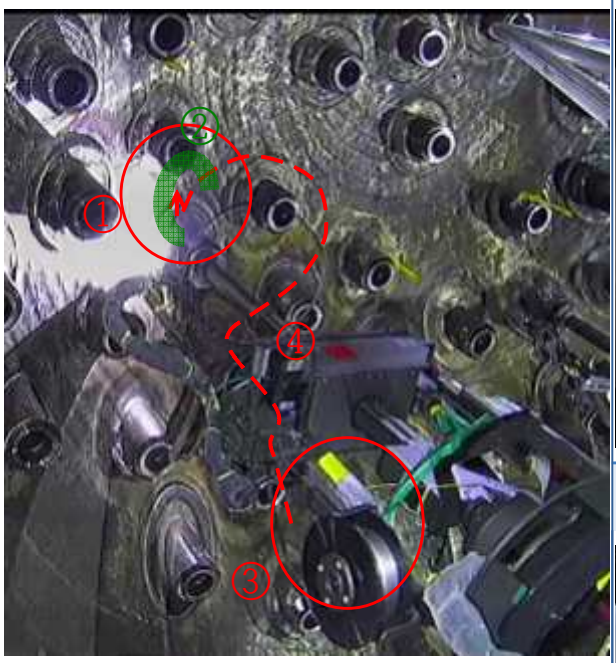
a) Alloy690이 사용되어야 하는 부위에 스테인리스강 용접재(ER309L) 사용
b) 버퍼층 용접에 ER309L 사용이 확인되지 않는 경우(8개), 덧씌움/밀봉 용접에 ER309L 사용 가능성을 배제할 수 없는 경우(2개)
c) 녹화장비 용량 제한으로 영상이 덮어씌워져 소실

- 용접재 오적용 상세내용

관통관 번호	39번	67번
오류 내용	Alloy690 사용 예정 부위에 ER309L 사용(1 패스)	Alloy690 사용 예정 부위에 ER309L 사용(1/3 패스)

붙임 2-1 기계용접 CCTV 녹화기록 점검 방법

❑ CCTV 녹화기록 화면 구성

카메라 1	카메라 2
	
① 용접기 끝단(카메라 2, 3 촬영부) ② 용접부위 ③ 용접재 설치 부위 ④ 용접재 송급 경로	카메라 3

❑ 기계용접 용접재 형상

버퍼층 용접재(ER309L)	온레이/밀봉 용접층 용접재(Alloy690)

❑ 관통관 번호 확인

○ 대상 관통관에 기재된 번호 또는 식별된 주변 관통관과 대상 관통관의 위치를 도면 비교하여 확인

관통관의 번호 확인	주변 관통관 배치를 기준으로 판단

❑ 기계용접 용접재 사용 적절성 검토 방법

○ 버퍼층 용접

- 버퍼층 용접 전/중/후 스테인리스강 용접재(ER309L)가 확인되고 용접재 교체 행위가 없는 경우 “적합”으로 분류

○ 온레이/밀봉 용접층

- 용접재 교체 시 용접재 확인

교체 전	교체 후

- 용접재 교체 시 용접재를 식별할 수 없으나 용접 중 또는 용접 후 용접재가 확인되는 경우, 최초 식별 시점까지 용접재 교체가 없는 경우에만 “적합”으로 분류
- 용접 중 용접재 교체가 있는 경우 교체 전/후 모두 용접재 식별이 가능한 경우에만 “적합”으로 분류

❑ 예시: 관통관 12번

<table>
<tr><th>일시</th><th>작업 현황</th><th>확인 내용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>06.30. 02:56</td><td>용접 전</td><td>관통관 번호 확인
 </td><td></td></tr>
<tr><td>06.30. 04:57
06.30. 06:20</td><td>버퍼층 용접</td><td>용접재 교체 없음</td><td rowspan="2">스테인리스 강 용접재(ER309L) 확인 이전에 교체 행위가 없으므로 적합</td></tr>
<tr><td>06.30. 06:28</td><td></td><td>스테인리스 강 용접재 확인
 </td></tr>
<tr><td>06.30. 06:33</td><td rowspan="2">용접재 교체</td><td> </td><td rowspan="3">Alloy690 용접재가 온레이 용접 전에 확인되므로 적합</td></tr>
<tr><td>06.30. 07:26</td><td>Alloy690 용접재 확인
 </td></tr>
<tr><td>06.30. 08:16
07.01. 13:34</td><td>온레이 용접</td><td>용접재 교체 없음</td><td>다른 재질의 용접재 사용이 없으므로 적합</td></tr>
</table>

붙임 2-2 기계용접 오류 및 확인불가 사례

❑ 용접재 오적용 확인(39번)

○ 온레이 용접 착수 후 작업자가 용접재 오적용을 인지하고 용접재를 교체

온레이 용접 착수	용접재 교체
07.10. 04:30	07.10. 05:30

❑ 버퍼층 ER309L 사용 확인 불가(32번)

○ 용접재 교체 정황과 교체 후 온레이/밀봉 용접에 Alloy690 용접재 사용이 확인되나 영상으로 버퍼층 용접에 ER309L 확인 불가

교체 정황

❑ 온레이/밀봉 용접 시 Alloy690 사용 확인 불가(27번)

○ 용접재 교체 정황은 있으나 온레이/밀봉 용접에 Alloy690 확인 불가

붙임 3 수동용접 용접재 적용 및 용접사 적절성 점검 결과

❑ 점검방법

○ CCTV 녹화기록*, 용접기록서, QP&Traveler 검토

* 수동용접 점검방법 [붙임 3-1], 오류 및 확인불가 사례 [붙임 3-2] 참조

❑ 점검기준

○ 용접절차시방서에 기재된 용접재 사용 여부, CCTV 녹화기록과 용접기록 일치 여부, 용접사 자격인정 여부

❑ 점검결과

○ **기계용접 용접재 사용 3개소** (재시공 대상) 및 용접재 **확인불가 1개소** (성분분석 대상) 확인, 용접사 **자격 불만족 7개소** (재시공 대상) 확인

- 수동용접 점검결과

분류	기계용접 용접재 적용[a)]	용접재 확인 불가[b)]	자격인정 불만족[c)]
수량	3[d)]	1	7[d)]

a) 수동용접 시 기계용접 용접재 사용
b) 영상 촬영위치 등으로 인해 수동용접 시 사용된 용접재 확인불가
c) 수동용접 자격 미인정 용접사에 의해 수동용접 수행
d) 52번 관통관은 용접재 적용오류와 자격인정 불만족이 중복됨

- (수동용접 녹화 미흡) 미촬영('20.8.13.~19.), 사각지대, 장애물 간섭 등 수동용접에 대한 CCTV 녹화 부적절

- 자격인정 불만족 상세내용

불만족 내용	수량
수동용접 자격을 인정받지 않은 자동용접사가 용접 수행	1
보수업체* 직원이 임의로 용접 수행	6

* 이번 정비를 수행하기 위하여 자격인정 받은 용접사는 보수업체(D사)와 계약한 용접업체(E사) 소속이며, 보수업체 직원은 한빛5호기 예방용접 작업 대한 자격인정을 받지 않음.

붙임 3-1 수동용접 점검 방법

❑ 수동용접 용접재 사용 적절성 검토 방법

○ 기계용접 중/후 수동용접 녹화기록 검토

수동용접용 용접재	기계용접용 용접재
• 크기 및 형상: 직경 1.6 ㎜, 직선 • 특징: 용접재 끝단에 태그 부착	• 크기 및 형상: 직경 0.9 ㎜, 곡선

수동용접용 용접재 사용	기계용접용 용접재 사용

❑ QP & Traveler, 용접기록서 등과 녹화기록 교차 검토

❑ 수동용접 수행자 자격인정 여부 검토 방법

○ 영상을 통한 용접사 안면 식별은 사업자의 조사 결과를 참고

○ 용접사 안면 식별 결과를 토대로 용접기록서, 출입기록 및 피폭선량률을 대조하여 용접사 특정

❑ 수동용접 자격 미인정 용접사가 본인이 수동용접을 하였다고 진술

붙임 3-2 수동용접 오류 및 확인불가 사례

❑ 기계용접용 용접재 사용 또는 확인 불가

○ 수동용접 중 기계용접용 용접재의 사용이 영상으로 확인(80번)

○ 미촬영, 저화질, 화면 가림 등에 의한 확인 불가(44번)

기계용접용 용접재 사용 (80번)	용접재 확인 불가 (44번)

❑ 수동용접 자격 미인정 용접사에 의한 용접

○ 자격인정 용접사 출입기록이 없는 경우(52번)

- '20.8.4. 04:31경, 수동용접을 수행하였으나 당시 수동용접 자격 보유자 출입기록 無

○ 자격인정 용접사의 출입기록은 있으나 피폭선량률(출입시간에 대한 피폭선량 평균값)이 극단적으로 낮은 경우(24번)

- '20.8.30. 08:51경, 관통관에 수동용접을 수행하였으나 당시 출입한 용접사 3인의 피폭선량률은 통상적인 수동용접 시 피폭선량률(수백 μSv/h)에 비해 극단적으로 작음.

용접사	○○○	◆◆◆	□□□
피폭선량률(μSv/h)	0	4.7	0

○ 수동용접 자격 미인정 용접사의 진술

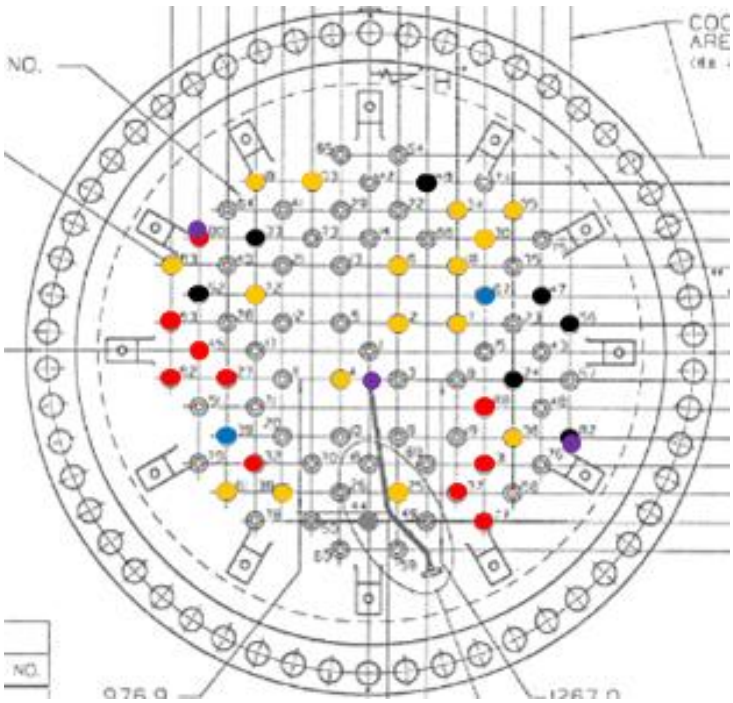
- 보수업체 소속 용접사 ●●●은 본인이 한빛 5호기 정비에 필요한 자격인정 절차를 거치지 않았으나 47번 관통관에 수동용접을 수행하였다고 진술

붙임 4 용접재 확인불가 용접부 성분분석 점검 결과

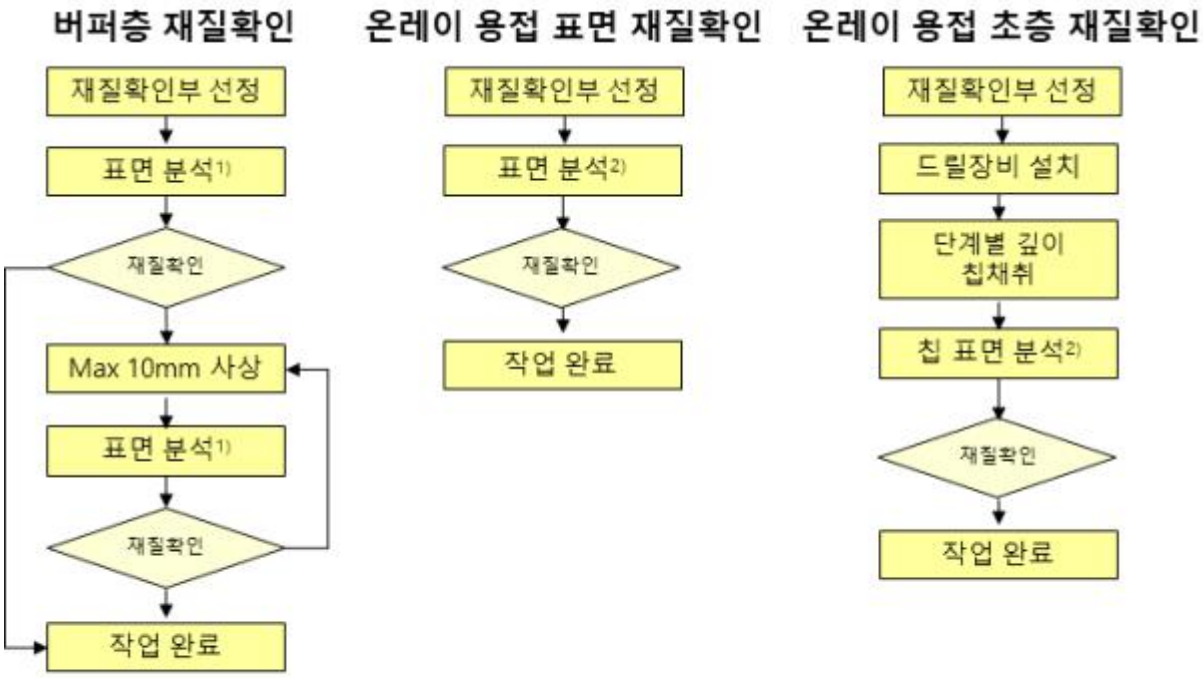
❑ 성분분석 개요

○ 성분분석 대상

구분	오류내용		위치별			관통부 수량	비고
			초층	최종층	버퍼층		
자동 용접 (ⓐ)	● 용접봉 오적용		2개소			2개소	39,67
	● 영상삭제	전체	13개소	좌동	좌동	13개소	2, 4, 6, 7, 18, 25, 30, 53, 55, 61, 78, 81, 83
		부분	3개소		3개소	3개소	34, 36, 72
	● 용접봉 식별불가		1개소	1개소	8개소	10개소	27 / 63 / 31, 32, 37, 45, 62, 68, 77, 80
	자동용접 합계(①)		19개소	14개소	24개소	28개소	
수동 용접 (ⓑ)	● 자동용접봉사용(②)		1개소	2개소		3개소	80 / 배기관, 52
	● 용접봉 식별불가(③)		1개소			1개소	44
	● 자격미인정 용접(④)			7개소		7개소	24, 33, 46, 47, 52, 56, 82
	수동용접 합계(②+③+④)		2개소	9개소		11개소	
(ⓒ) 중복항목: (자동)버퍼층식별불가+(수동)자동용접봉사용						2개소	80, 52
재질분석 대상 관통부(ⓐ+ⓑ-ⓒ)						37개소	



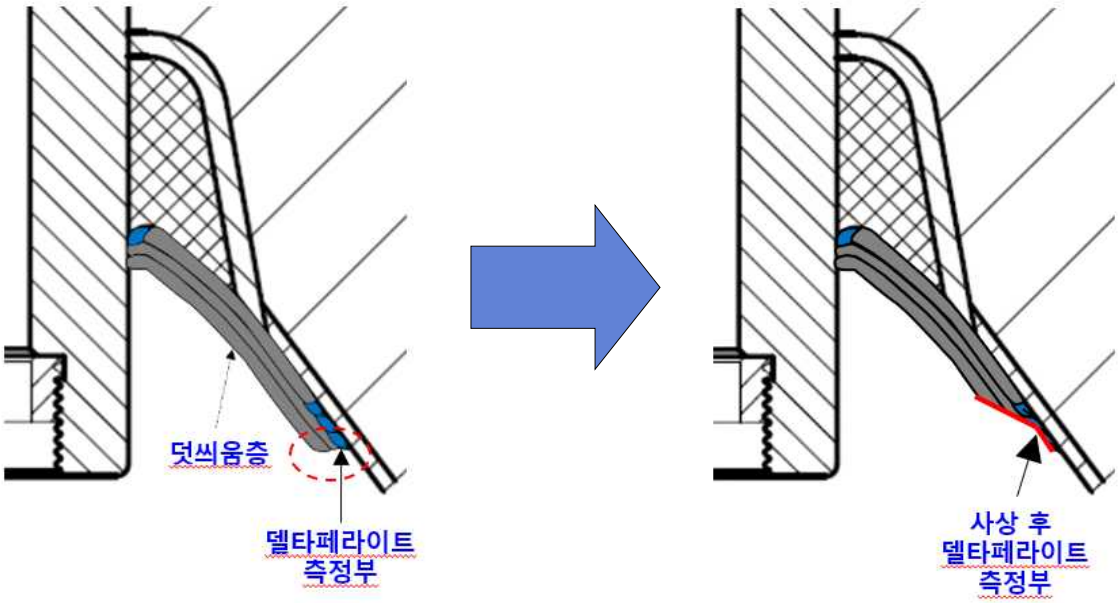
○ 성분분석 과정



1) 델타페라이트 측정 (필요 시 레이저성분분석)
2) 레이저성분분석

❑ 페라이트 측정(버퍼층) 방법

○ 온레이 용접부 최외각 테이퍼부 하단 델타페라이트 측정



번호	관통부 번호	상세 내용	
①	6	사진	
		설명	버퍼층 재질분석 (21.4.12. 19:18)
②	7	사진	
		설명	버퍼층 재질분석 (21.4.12. 19:24)
③	53	사진	
		설명	버퍼층 재질분석 (21.4.12. 19:33)

❑ 레이저성분분석기 직접 측정(표면) 방법

○ 용접부 표면을 직접 측정

번호	관통부 번호	상세 내용	
④	25	사진 (1/2)	
		설명	최종층 재질분석 (21.4.14. 01:29)
⑤	25	사진 (2/2)	
		설명	장비측정 후 결과값 확인 (21.4.14. 01:31)

❑ 드릴칩 성분분석(초층) 방법(예시, 53번 관통관)

○ 1㎜ 간격으로 칩을 채취하여 성분분석 수행

번호	관통부 번호	상세 내용	
①	53	사진 (1/9)	
		설명	드릴 장비를 이용하여 관통부 칩 채취 (21.4.22. 22:32~33

번호	관통부 번호	상세 내용	
②	53	사진 (2/9)	
		설명	칩 채취 후 원자로헤드 밑으로 전달 (21.4.22. 22:33)
③	53	사진 (3/9)	
		설명	칩 채취 후 최초 반입 (21.4.22. 22:35)
④	53	사진 (4/9)	
		설명	최초 반입대장 작성 및 보관함에 저장 (21.4.22. 22:36)
⑤	53	사진 (5/9)	
		설명	분석을 위해 보관함에서 칩 반출 (21.4.23. 14:23)

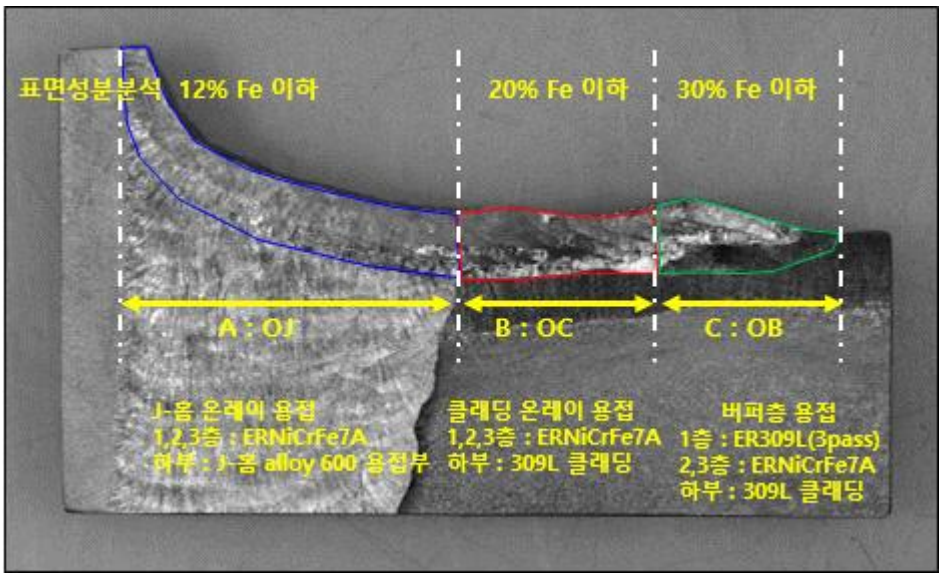
번호	관통부 번호	상세 내용	
⑥	53	사진 (6/9)	
		설명	분석을 위한 칩 반출 확인 (21.4.23. 14:24)
⑦	53	사진 (7/9)	
		설명	칩 분석 및 결과 확인 (21.4.23. 14:31)
⑧	53	사진 (8/9)	
		설명	분석 후 칩 재반입 확인 (21.4.23. 15:04)
⑨	53	사진 (9/9)	
		설명	분석 후 재반입 대장 작성 및 보관함 저장 (21.4.23. 15:05)

❑ 오용접 판단을 위한 성분 기준

○ 버퍼층

- 정상용접부: 0.5 FN 초과
- 오용접부: 0.5 FN 이하

○ 온레이 용접부 표면



○ 온레이 용접부 초층

- 정상용접부: Fe 12% 이하
- 오용접부: Fe 12% 초과

❑ 성분분석 결과

○ 성분분석 판정기준 불만족 용접부 없음

붙임 5 가이드콘 용접의 적절성 점검 결과

❑ 점검방법

○ 용접절차시방서, 정비작업절차서, 용접상태 확인 등

❑ 점검기준

○ 용접절차시방서(WPS)의 타당성, WPS에 따른 시공 여부

❑ 점검결과

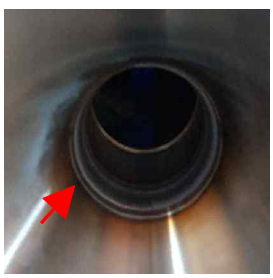
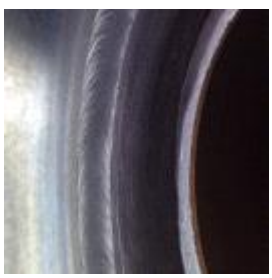
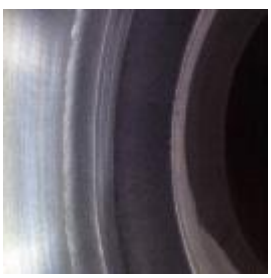
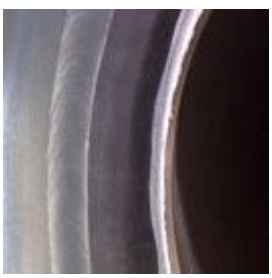
○ 시방서, 절차서 등에 용접 패스 수에 대한 특별한 요건은 없으며 **용접기록** 작성상태 **적절**, 가이드콘 단일패스 용접 **시공성 확인,** 실제 용접상태 점검 결과 **용접상태 적절**

- 가이드콘 용접 시 용접 패스(pass) 수(數)가 별도로 규정되어 있지 않으며, 작업 절차서에도 별도 지침 없음을 확인
- 보수업체의 가이드콘 설치 사전 모의시험(Mock-up, '20.2.) 결과 단일패스 용접으로 용접 홈이 완전히 채워짐 확인

< 가이드콘 목업 결과 >

- 가이드콘 절단 전에 용접 홈이 완전히 채워진 상태임을 확인

< 가이드콘 용접부 점검 예시 >

가이드콘 용입부	3번	14번	39번
			

붙임 6 기수행 작업 참여 용접사 적절성 점검 결과

❑ 자격인정 관련 서류점검

○ **(점검방법)** 자격인정 기록*, 시험절차 등 서류검토, 관련자 면담 및 용접사 서면인터뷰

* KEPIC MQW에서는 용접 공급자는 인정된 용접절차시방서에 따라 용접작업자의 자격인정시험을 실시하고 자격인정기록을 작성 및 관리해야 함을 요구

○ **(점검기준)** 자격인정 절차 및 기록의 KEPIC MQW 만족 여부, 용접사 기량의 적절성

○ **(점검결과) 자격인정** 체계·내용이 **규격**을 **만족**

- 자격인정을 위한 시험방법, 합격기준, 인정범위, 시험결과 등 **자격인정 체계 및 내용**이 관련 규격(KEPIC MQW)에 **적합**

❑ 기량재검증 점검

○ **(점검방법)** 기량 재검증 시험 입회 및 서류검토 등

○ **(점검기준)** 기량 재검증 시험의 준용 규격(KEPIC MQW) 만족 여부

○ **(점검결과) 기량 재검증** 체계·내용이 **준용 규격**(KEPIC MQW)에 **적합**

- **기량 재검증**의 시험방법, 합격기준, 인정범위 등이 기존의 자격인정에 적용된 **KEPIC MQW를 준용**하여 수행

- 기존의 자격인정과 동일한 12개 자세에 대한 재검증이 수행되었으며, 총 43명의 **기량 재검증 내용 및 결과**가 준용규격(KEPIC MQW)을 **만족**

<한빛5호기 작업참여 용접사 기량재검증 현황>

종류	용접구분	시편형상	자세	용접자재	총원*
기계	밀봉용접	Groove	SP1 (4G, 15°)	ER70S-6	30
			SP2 (4G, 45°)	ER70S-6	30
	온레이	Overlay	SP1 (4G, 15°)	ER309L	30
			SP2 (4G, 45°)	ER309L	30
	가이드콘	Groove	2G	ER70S-6	30
수동	밀봉용접	Groove	SP1 (4G, 15°)	Alloy690	21
			SP2 (4G, 45°)	Alloy690	21
	온레이	Overlay	SP1 (4G, 15°)	Alloy690	21
			SP2 (4G, 45°)	Alloy690	21
			SP1 (4G, 15°)	ER309L	11
			SP2 (4G, 45°)	ER309L	11
	가이드콘	Groove	2G	ER70S-6	13

* 기계 및 수동용접 자격 보유자: 8명
* 기계용접 자격 보유자: 22명
* 수동용접 자격 보유자: 13명

붙임 7 용접사 자격인정 시험관리 점검 결과

❑ 용접사 자격인정 시험관리 점검 및 미흡사항 개선 방안

○ **(점검방법)** 자격인정 시험절차 등 서류검토, 관련자 면담

○ **(점검결과)** 자격인정시험은 **절차서에 따라 수행**되었으나 **신뢰성 관점**에서 **보완** 필요

- 자격인정 시험은 보수업체의 자격인정 절차서에 따라 시행
- 절차에서 요구하는 서류들이 적절히 작성되었음
- 감독자가 시험장에 상주하지 않음(미흡)
- 용접시편의 확인을 위해 기존 용접사가 시험장에 임의출입 가능(미흡)
- 시험장간 경계나 차단벽이 없어 타 시험장의 현황이 모두 노출(미흡)

○ **미흡사항 개선방안**

- (관리감독 강화) **감독관을 2인 1조로 편성**하여 **시험기간 동안 상주**
- **공간분리** 및 **출입관리시스템 운영**

기존	개선 후

- **응시자 식별 방안**(① 전용 조끼, ② Card-key, ③ 수험표) 도입

응시자 식별 방안

- **(동영상 촬영)** 용접사 기량 재검증 시 용접 과정을 촬영

붙임 8 참여 용접사 서면 인터뷰 및 추가제보 요청

❑ 서면 인터뷰 개요

○ **(대상)** 한빛5호기 원자로헤드 관통관 용접 참여 용접사

○ **(일시)** 2020년 11월 19일, 12월 1일

○ **(인터뷰 항목)** ①용접재 오적용 인지 여부(언론제보 전), ②자격인정 시 부정행위 발생 인지 여부

다음 설문은 한빛5호기 원자로헤드 관통부 용접봉 적용 오류와 관련하여 아래사항에 대한 인지사실 및 이후 조치사항을 파악하기 위함입니다.

1. 69번 관통부 대한 용접봉 적용 오류가 밝혀지기 전(2020년 7월 말 이전)에 용접봉 적용 오류를 알고 있었습니까? 예 / 아니오
   1-1. 오류 사항은 무엇입니까? (예시, X번 관통관 보수 시 용접봉 적용이 잘못됨)
   1-2. 인지 시점은 언제입니까?
   1-3. 오류 사항을 알고 난 후 보고/조치한 사항은 무엇입니까? (예시, XXX에게 구두보고)
2. 69번 관통부에 대한 적용 오류가 밝혀지고 난 후 언론 제보 전(2020년 7월 말 ~ 2020년 10월 말)에 용접봉 적용 오류를 알고 있었습니까? 예 / 아니오
   2-1. 오류 사항은 무엇입니까? (예시, X번 관통관 보수 시 용접봉 적용이 잘못됨)
   2-2. 인지 시점은 언제입니까?
   2-3. 오류 사항을 알고 난 후 보고/조치 사항은 무엇입니까? (예시, XXX에게 구두보고)
3. 용접사 자격인정 과정에 부정행위 등 특이 사항이 있었음을 알고 있었습니까? 예 / 아니오
   3-1. 해당 내용은 무엇입니까?
   3-2. 인지 시점은 언제입니까?
   3-3. 특이 사항 확인 후 보고/조치 사항은 무엇입니까?
4. 한빛5호기 원자로헤드 관통관 보수(용접 및 자격인정) 관련 업무에서 본인의 역할은 무엇입니까? (직책과 직책의 역할을 간략히 적어 주시기 바랍니다.)
   4-1. 본인의 역할 중 용접부 적용 오류나 자격인정 특이사항을 확인할 경우 조치 규정은 무엇입니까?

❑ 서면 인터뷰 결과

○ 용접사 43명 중 28명 응답

○ 언론제보 전 용접재 오적용 및 부정행위 발생을 인지하였다고 답한 용접사 없음

❑ 추가제보 요청

○ 서면인터뷰와 별개로 전체 용접사를 대상으로 용접재 오적용 및 자격인정 시 부정행위 관련 제보 요청 문자메세지 발송

> 한국원자력안전기술원 원자력검사단에서는 한빛5호기 원자로헤드 관통부 보수 작업 중 용접봉 적용 오류와 용접사 자격인정 부정행위에 대한 제보를 받고 있습니다. 제보사항이 있으신 분들께서는 아래의 담당자에게 연락하여 주시면 감사드리겠습니다.

○ 접수된 제보사항 없음

붙임 9 재보수 참여 용접사 자격인정 점검 결과

○ **(점검방법)** 자격인정 시험 입회 및 서류검토 등

○ **(점검기준)** 자격인정 시험의 KEPIC MQW 만족 여부

○ **(점검결과) 자격인정** 체계·내용이 **규격**을 **만족**

- 자격인정을 위한 시험방법, 합격기준, 인정범위, 시험결과 등 **자격인정 체계 및 내용**이 관련 규격(KEPIC MQW)에 **적합**

<한빛5호기 재보수 용접사 자격인정 현황>

종류	용접구분	시편형상	자세	용접자재	총원
기계	밀봉용접	Groove	SP1 (4G, 15°)	ER70S-6	40
			SP2 (4G, 45°)	ER70S-6	40
	온레이	Overlay	SP1 (4G, 15°)	ER309L	40
			SP2 (4G, 45°)	ER309L	40
	가이드콘	Groove	2G	ER70S-6	40
수동	밀봉용접	Groove	SP1 (4G, 15°)	Alloy690	40
			SP2 (4G, 45°)	Alloy690	40
	온레이	Overlay	SP1 (4G, 15°)	Alloy690	40
			SP2 (4G, 45°)	Alloy690	40
			SP1 (4G, 15°)	ER309L	40
			SP2 (4G, 45°)	ER309L	40
	가이드콘	Groove	2G	ER70S-6	40

붙임 10 용접 품질관리 전반 점검 결과

❑ 기계용접 용접재 관리 미흡

○ 기계용접 중 버퍼층 용접 수행(스테인리스강 용접재) 후 덧씌움 용접(Alloy690 용접재) 수행 전 **용접재를 교체하는 과정에 대한 관리가 미흡**하여, **용접재 적용오류**가 **발생**

- 용접재 교체 확인 및 검증 활동이 계획되지 않았음

○ 69번 용접재 적용 오류('20.7.27.) 이후 용접재 적용오류를 방지하기 위하여, **관리자가 서명하도록 절차를 개선**

적용 오류 이후 개선 대책 - 용접재를 적용 시점에 불출하고 관리자가 서명

용접품질 동시 확인 Check Sheet

장비 번호 : 1

관통관 번호	용접부	착수일시		적정자재 불출 확인			적정자재 설치 확인		용접 전 변수 확인		현장 책임자	품질감독원
		날짜	시간	Heat No.	용접사	용접 반장	용접사	용접 반장	용접사	용접 반장		
40	버퍼층(S/S)	8/4	14:30	HA8962	담당자 성명이 자필로 작성됨							
	덧씌움(Alloy690)	8/4	20:43	NX4266TK								
41	버퍼층(S/S)	8/6	6:15	HA8962								
	덧씌움(Alloy690)	8/6	9:55	NX4266TK								

○ **용접단계를 분리**하여 용접재 오류를 방지하기 위한 **공정 개선**

용접 단계를 분리하여 전 관통관에 버퍼층 용접을 완료한 후 Alloy690 용접을 수행하도록 공정 개선(개선 절차서)

10.8.7. 전체 관통부의 버퍼층 용접이 완료된 이후 용접반장은 버퍼층 용접이 적절하게 수행되었는지 확인하고 붙임 3의 용접기록서에 확인 서명한다. □

10.8.8. 버퍼층 용접부 완료를 확인한 후 ER309L 용접자재는 방사선관리구역 외부의 용접자재 보관장으로 전량 반출한다.

수행일 . . /수행자 (서명) /확인자 (서명) /감독자 (서명)

10.8.9. 반출이 완료된 이후 Onlay 용접자재(ERNiCrFe-7A)를 작업장에 반입한다.

수행일 . . /수행자 (서명) /확인자 (서명) /감독자 (서명)

❑ 기계용접 전/중 수동용접의 품질관리 미흡

○ 기계용접 전/중 수행된 **수동용접**의 경우 **공정관리문서(Quality Plan & Traveler)와 절차서에 규정되지 않았음**

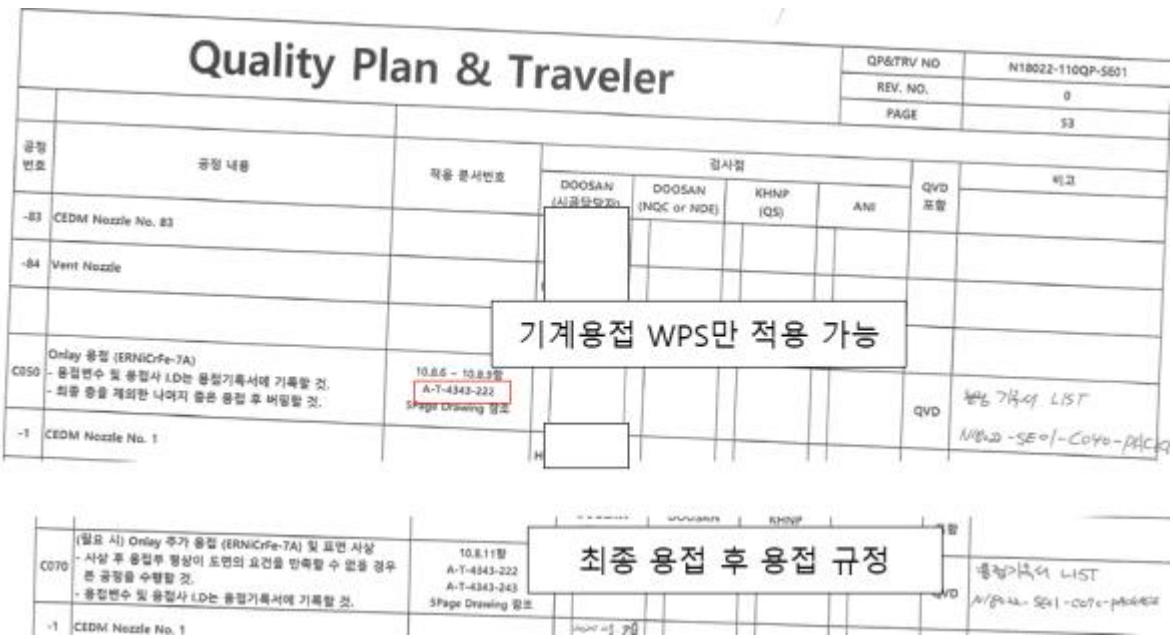
- 해당 수동용접의 용접기록서가 작성되지 않음
- 공정관리 문서 및 절차서에는 **최종 용접 후 용접부 표면에 대하여 사상 및 용접을 수행하는 행위**('20.8.13. 이후 수행된 수동용접)**만 규정**

공정관리 문서와 절차서에는 최종 용접 후 용접부 표면에 대한 용접만 규정

10.8.9. 밀봉용접보수 용접이 완료된 후 최종 용접부 표면은 비드 홈 및 언더컷 및 오버랩이 없도록 사상한다. ☐

10.8.10. (필요 시) 용접부 표면 상태에 따라 용접부 표면에 대해 하기의 조치가 가능하다.

- 용접부 표면 사상에 의해 표면 굴곡이 과다한 경우 기계 또는 수동용접기 및 각 용접절차시방서에 따라 추가 용접을 수행하고 용접 후 최종 표면 사상을 수행할 수 있다. ☐
- 용접부 표면 상태 확인을 위해 참조용 비파괴검사를 수행할 수 있으며, 참조용 비파괴검사 결과에 따라 추가용접 및 사상을 수행할 수 있다. ☐



○ **기계용접 전/중 수동용접**이 **공정관리문서에 규정**되고 **용접기록서가 작성**되도록 보완

기계용접 전/중 수동용접이 관리되고, 용접기록서가 작성되도록 보완

10.8.11. 용접사는 용접자재를 인수한 즉시 Onlay 용접자재(ERNiCrFe-7A)를 용접장비에 설치한다. □

10.8.12. 용접자재 설치 후 해당 용접장비를 용접 대상 관통관에 체결한다. □

주의사항

1. Onlay 용접(수동, 자동 모두)을 수행하는 용접사의 ID 및 용접변수를 붙임 3의 용접기록서에 기록하고 기록서 번호를 공정관리문서에 기록할 것.
2. Onlay 용접 중 수동 용접이 필요할 경우 10.8.6항의 절차에 따라 ERNiCrFe-7A 용접자재를 불출한 후 A-T-4343-243 용접절차시방서를 이용하여 용접 수행이 가능함.
3. 근무조 교대 시 작업을 인계하는 근무조의 용접사는 붙임 2의 용접작업 인수인계 체크 시트를 작성하여 용접 현황을 공유하고 현장관리자 및 용접조장은 이를 확인할 것.
4. 각 관통관의 Onlay 1층 용접이 종료된 즉시 용접장비를 해체하고 용접 장비로부터 ERNiCrFe-7A 용접자재를 분리하여 반납할 것.
5. 최종층을 제외한 매 층 용접이 종료된 후 용접표면은 와이어브러쉬 또는 버핑툴을 이용하여 표면의 이물질을 제거할 것.
6. 매 층 용접 시작 및 종료 시 붙임1 용접품질 동시확인 Check Sheet에 확인 서명할 것.

10.8.13. 용접장비의 토치를 용접 시작 지점에 위치시키고 원자로헤드 내면을 따라 간섭 없이 이동할 수 있는지 점검한다. 점검이 종료된 후 N18022-110MD-0103 및 용접절차시방서(A-T-4343-222)의 변수에 따라 Onlay 1층 용접을 수행한다. □

❑ 기계용접 전/중 수동용접의 용접재 불출 관리 미흡

○ 영상으로 확인된 기계용접 전/중 수행된 수동용접에 대한 수동용접재 불출기록을 점검한 결과 **수동용접재 불출기록 없이 수동용접재를 사용**하여 용접이 수행된 사례 확인

○ 용접재의 **반입/반출 관리가 강화**되도록 표준절차서 보완

수동용접재 불출기록 예시

용접자재 사용 현황 LIST(상세)_현장 작업용

▷공사명:	한빛#5 CEDM 예방정비	▷페이지	of
▷용접자재 종류 :	ERNiCrFe-7A	▷용접자재 크기	Ø 1.6 mm
▷용접자재 Heat No.	NX 4226TK	▷용접방법	GTAW

일자 (2020년)	근무조[주1] A	B	C	도면 번호	이용 번호	용접사 I.D	불출전 재고량 <A>	반납량[주2] <B>	불출량[주3] <C>	현 재고량 <D=A+B-C>	용접자재 불출 확인/서명[주5] 작업반장[주5]	품질	비고 <폐기량[주6]>
7월 22일	O			N18022-110MD-0302	301-03 302-03	SRV	104EA kg	0EA kg	1EA kg	103EA kg	11:40		
7월 23일			O	~~N18022-110MD-0302~~	~~301-03 302-03~~	[illegible]	kg	kg	kg	kg			
7월 24일	O			N18022-110MD-0302	301-03 302-03	SRH	103EA kg	88EA kg	103EA kg	88EA kg	08:10		
7월 27일	O			N18022-110MD-0302	301-03 302-03	SRH	88 kg EA	82 kg EA	88 kg EA	82 kg EA	11:00		
7월 30일	O			N18022-110MD-0302	301-03 302-03	SRH	82 kg EA	80 kg EA	82 kg EA	80 kg EA	14:50		
[illegible]				N18022-110MD	301-03								

영상으로 확인된 수동용접과 수동용접재 불출기록 비교 결과		
관통부번호	수동용접일시	수동용접재 불출기록 여부
No. 24	8/8 10:23~10:26	X
No. 26	8/5 19:48~19:50	X
	8/6 11:19~11:47	X
No. 34	7/12 08:48~08:58	O
No. 37	7/27 08:18~08:18	O
No. 41	7/22 22:48~22:56	X
	7/24 02:24~02:26	X
No. 43	8/8 10:20~10:22	X
No. 44	8/6 22:40~22:50	X
No. 48	8/7 09:35~09:51	X
	8/8 10:32~11:02	X
No. 49	7/27 08:18~08:28	O
No. 50	7/12 08:58~09:41	O
No. 52	8/4 04:27~04:35	기계용접재 사용
No. 55	7/12 08:53~08:58	O
	8/7 09:55~09:55	O
No. 57	8/11 09:09	O
No. 60	7/12 20:07~20:23	O
No. 64	7/26 11:40~11:47 7/26 12:17~12:23	X
	7/27 15:07~15:52	O
No. 65	7/21 22:57~23:02	X
	7/22 10:10~10:24	X
	7/26 11:30~11:39 7/26 12:33~12:52	X
No. 66	8/4 19:04~19:19	O
No. 71	7/25 07:25~07:26	X
No. 72	6/26 9:19	X
No. 75	8/7 09:39~09:53	O
No. 76	7/12 08:42~08:47	O
No. 80	7/27 15:34~15:35	기계용접재 사용
	7/30 14:49~15:17	O
No. 81	7/12 19:56~20:25	O
	7/27 15:27~15:29	O
No. 82	8/9 11:46~12:04	X
	8/11 09:00~09:15	O
배기관	8/11 13:46~13:48	기계용접재 사용

용접재의 반입/반출 절차 개선

10.8.8. 버퍼층 용접부 완료를 확인한 후 ER309L 용접자재는 방사선관리구역 외부의 용접자재 보관장으로 전량 반출한다.

수행일_____ /수행자_____ (서명) /확인자_____ (서명) /감독자_____ (서명)

10.8.9. 반출이 완료된 이후 Onlay 용접자재(ERNiCrFe-7A)를 작업장에 반입한다.

수행일_____ /수행자_____ (서명) /확인자_____ (서명) /감독자_____ (서명)

❑ 기계용접 후 수동용접의 용접기록서 작성 미흡

○ 기계용접 후 수행된 **수동용접('20.8.13. 이후)의 영상기록과 용접기록서에서 불일치**가 확인되는 등 **용접기록서 작성 미흡**

○ 용접기록서 작성이 강화되고, 용접기록서 작성이 모니터링될 수 있도록 **표준절차서 보완**

수동용접 용접기록서 예시

WELDING DATA SHEET /
REPAIR WELDING DATA SHEET
용접기록서 / 보수용접기록서

비드번호	온도 (℃)	전류 (A)	전압 (V)	용접속도 (mm/min)	용접사 I.D	비고
1	24	160	14	90	QKU	②
2	23	160	14	90	QMG	②
3	23	160	14	90	QFL	②
4	31	160	14	90	QFL	②
5	33	160	14	90	QFL	②
6	37	160	14	90	QFL	②
7	42	160	14	90	QFL	②
8	40	160	14	90	QFL	③
9	25	160	14	90	QBC	②
10	29	160	14	90	QBC	②
11	26	160	14	90	QFB	②
12	27	160	14	90	QFB	③
13	32	160	14	90	QFB	③
14	39	160	14	90	QFB	②

용접기록서(WDS) 번호	N18022-SE01-C070-16
품질계획서(QP&TRV) 번호	N18022-110QP-SE01
공정(Oper.) 번호	C070
보수부/조인트 번호	Nozzle No.16 / 301-10, 302-10
WPS 번호	A-T-4343-243 R.3
쪽 번호	1 of 1

Pass Sequence (Unit:mm)

Note. 1) Buffer Bead 용접 시 비고란에 ①을 기입할 것.
2) Onlay Bead 용접 시 비고란에 ②를 기입할 것.
3) Transition Bead 용접 시 비고란에 ③을 기입할 것.

측정 온도계 번호	탐촉자(프로브) (Probe) : 08D8P0023-0781
	온도계 (Therm.Gage) : 08D8J1040-1773
모재(Material) P-No.	Alloy 690 Welded Area
용접자세	4G / Special Position
전극/극성 형태	DCEN(DCSP)
용가재(Filler) 종류	ERNiCrFe-7A (Heat No. : NX4226TK)
용가재(Filler) 크기	Ø 1.6mm
보호가스 / 보호가스 유량	Argon 99.9% / 10 L/min
가스 컵(Gas cup) 크기	I.D : 12 mm
텅스텐 전극봉	Ø 3.2 mm
용접 엔지니어	Y.Yang
일자	2020.08.14 ~ 2020.08.15 , 2020.08.26 ~ 2020.08.28

용접기록서 작성과 관리가 강화되도록 보완

7.12.7 용접기록서의 작성 및 관리

1) 모든 용접작업은 붙임 8.14의 보수/교체 용접기록서(표준안) 양식에 따라 용접기록을 작성하고, 보수교체 결과서류로 첨부하여야 한다.(보수교체 조직의 별도 양식에 따라 기록할 수도 있으나, 관련 내용은 모두 반영되어야 한다.)

2) 모든 용접 이음부는 용접을 수행한 용접사 및 자동용접사와 사용한 용접절차서를 식별할 수 있도록 기록해야 한다. 하나의 이음부에 대해 두 명 이상이 용접을 수행한 경우 참여한 모든 인원의 기록을 유지해야 한다.

붙임 8.14 보수/교체 용접기록서(표준안)

용접기록서 번호[1]			Pa

No.	일시	층번호[15]	Process		WPS No.[14]	유량 (ℓ/분)	용접사 ID	관리자 모니터링[7]	
			수동	자동					
1	1/3 17:00	Root	√		1	20	LLL	용접조장(1/3 17:30)	
2	1/4 13:00	2~5		√	2				
3									
4									
5									

6) 수동용접 시 Feeder 속도는 N/A 기록할 것
7) 용접반장 및 품질검사원은 모니터링 시 확인한 비드에 대해 서명, 일시, 시간을 기록할 것
8) Buffer Bead 용접 시 비고란에 ①을 기입할 것

붙임 11 비파괴검사 상세검토 결과

❑ 비파괴검사 불합격에 대한 불일치보고서(NCR) 발행 여부

○ **(점검방법)** 불일치보고서(NCR) 검토

○ **(점검결과)** 비파괴검사 불합격 관련 **NCR 정상 발행**, 기계적 제거 이후 **불합격 부위는 대체적용 신청 후 승인**

- 원자로헤드 관통관 용접부 비파괴검사 불합격(합격기준: 구매규격서의 PT White*)에 대한 NCR 발행('20.4.23(#49), '20.6.8.(배기관 제외 82개소))

  * PT 수행 후 발견되는 어떠한 불연속부(지시)도 허용하지 않음

- NCR*의 처리방법으로, ASME Sec. III NB-5350의 합격기준**을 만족하는 관통관(18개)과 기계적 제거를 통해 결함을 합격기준 이하로 축소한 관통관(30개)은 계획된 예방정비를 수행

  * 구매규격서 합격기준을 만족한 배기관과 누설이 발생한 49번 관통관을 제외한 82개 관통관에 대한 비파괴검사 관련 NCR

  ** 불합격 기준: 선형지시 1.6㎜ 초과, 원형지시 4.8㎜ 초과

- 기계적 제거 이후에도 ASME Sec. III NB-5350의 합격기준을 불만족하는 관통관(34개)는 **가동중 검사 고시 제13조에 따른 대체 적용 신청 및 승인된 밀봉용접법을 적용하여 보수**

  * 승인된(' 16.1.) 특정기술주제보고서 상의 보수 방법

❑ 비파괴검사 적용규격 변경 적절성

○ **(점검방법)** SDDR*, 관련 기술기준, 적용규격 변경 관련 자료 검토

* Supplier Deviation Disposition Request, 공급자 불일치사항 처리 요청서

○ **(점검결과) 변경된 비파괴검사 적용규격 적절**

- 원자로헤드 관통관 용접경계부 외곽 모재(클래딩)에 대한 비파괴검사의 합격기준은 **기존 PT White에서 ASME Sec. III NB-2500으로 변경**

- **변경된 규격(합격기준)은 한빛5호기 건조기술기준**으로서, 용접부 바깥 모재(클래딩)가 만족해야 할 합격기준을 보수적으로 선정하였으므로 타당
- Alloy690 용접부에 대한 적용기준은 PT White로 동일

❑ 비파괴검사 범위변경 적절성

○ **(점검방법)** SDDR, 관련 기술기준, 적용규격 변경 관련 자료 검토

○ **(점검결과) 변경된 비파괴검사 범위 적절**

- 비파괴검사 범위를 용접경계부 외곽 1인치까지에서 1/2인치까지로 변경하는 것은 **기승인된 특정기술주제보고서 및 관련 기술기준에 적합**

붙임 12 사건 주요경위(은폐 및 미보고 관점)

○ A~H는 광주지검 수사결과 보도자료의 피고인 명명을 차용

2020.4월 원자로헤드 정비작업 착수

2020.6월 원자로헤드 덧씌움 용접 착수

2020.7.10. 04:29 **39번 관통관 용접오류 발생**(용접사 A)

- 초기 3~4 pass에 대한 용접기록이 영상과 상이함

2020.7.25. 19:49 **67번 관통관 용접오류 발생**(용접사 B)

- 초기 3~4 pass에 대한 용접기록이 영상과 상이함

2020.7.25. 22:31 **69번 관통관 용접오류 발생**

- 용접오류에 대하여 NCR 발행 및 보고

2020.7.27. 15:34경 **수동용접 시 기계용접재 사용**(80번)

- 용접기록서 작성하지 않음

2020.7.28. - 7.29. 69번 관통관 **용접오류 동일사례 점검** 등 수행

- 용접부 표면 성분 측정 및 **용접 동영상 점검** 수행

- **67번 관통관에 용접오류가 있는 것 같다고 최초 검토**되었으나, **이후 확인과정에서 보수업체 현장관리인 등에** 보고되지 않음(용접사 A, B 및 용접조장 E, F)

- 전체 64개 관통관(7개는 작업중) 중 37개 관통관에 대해서 용접재 교체 장면 사진을 제출하고, 그 외 관통관에 대해서는 **작업영상 삭제에 대한 보고는 없이** 다른 작업으로 가려지는 등의 사유로 영상으로 용접재 교체확인이 되지 않는다고 보고(○○중공업 G, 한수원 H)

2020.7.29. 18:00경 **용접봉 오류 NCR 후속조치 점검 결과 보고**

- KINS 검사원은 한빛지역사무소에 **후속조치가 적합함**을 보고

• 교체 장면이 확인되지 않는 용접부의 오류를 확인하기 위해서는 용접부 제거 외 방법이 없으며, 용접부 표층의 크롬함량이 24% 이상이므로 관통관 용접부는 건전성에 영향이 없다고 판단

• 용접재 교체 장면사진 전수점검 및 오류관통관(69번) 영상 확인을 통해 원인분석 및 재발방지대책 수립의 타당성 검토

2020.8.4. 04:30경 **수동용접 미인정용접사의 수동용접 수행**(52번, 용접사 D)

- 수동용접 시 기계용접재 사용, 용접기록서 작성하지 않음

2020.8.11. 13:46경 **수동용접 시 기계용접재 사용**(80번)

- 용접기록서 작성하지 않음

2020.8.30. 08:34경 **자격미인정 용접사 수동용접 수행**(용접사 C)

- 24, 33, 46, 47, 56, 82번 관통관

- 용접기록서 작성하지 않음, 용접봉 불출기록 없음

붙임 13 광주지방검찰청 수사관련 보도자료 요약

❑ 은폐, 부정행위, 부실보고 등(검찰 수사 결과)

○ 원자로헤드 오류 용접 및 범행 은폐(A, B - 용접업체)

- 39번(A), 67번(B) 관통관에 대한 오용접 후, 이를 은폐하기 위하여 보고하지 않고 용접기록서에 정상용접으로 허위기재(업무방해, 위계공무집행방해)

○ 수동용접 무자격자의 일부 구간에서 무단용접(C - 보수업체, D - 용접업체)

- 수동용접 자격이 없음에도 6개(C) 및 1개(D) 관통관에 대하여 수동용접 작업을 하고 용접기록서에 기록하지 않음(업무방해)

○ 용접사 자격인정 시험 과정에서의 대리시험(E - 용접업체)

- 그라인딩 작업 실기시험 및 가이드콘 용접작업 실기시험을 대리(업무방해)

○ 원안위의 사후점검 과정에서의 용접업체 측의 용접 오류 은폐(A, B, E, F - 용접업체)

- 전수 조사 과정에서 A, B는 관통관을 잘못 용접하였음에도 불구하고 정상용접으로 허위보고, E, F는 용접조장들로서 영상판단 과정에서 B가 잘못 용접한 사실을 알았음에도 정상용접으로 허위보고(업무방해, 위계공무집행방해)

○ 원안위의 사후점검과정에서의 부실보고(G - 보수업체, H - 한수원)

- 한수원의 기계부차장 H와 ○○중공업 정비사업팀 과장 G는 공모하여 용접 과정을 촬영한 영상이 부존재함에도 불구하고 이를 미보고하고 영상이 존재하고 확인하는 중인 것으로 거짓보고(원자력안전법위반)

붙임 14 기술기준 불만족 용접부 제거 계획 및 결과 점검

❑ 기술기준 불만족 용접부 현황 및 제거 계획

○ 기술기준 불만족 용접부 현황

구분	오류내용	위치별		관통부 수량	비고
		초층	최종층		
기계용접	용접재 오적용	2개소		2개소	39, 67
수동용접	기계용접재 사용	1개소	2개소	3개소	(초층)80, (최종층)52, 배기관
	자격인정 불만족		7개소	7개소	24, 33, 46, 47, 52, 56, 82
합계		3개소	9개소	11개소	52번 중복

○ 오류 위치에 따른 기술기준 불만족 용접부 현황

구분	내용	관통부 수량
Alloy600 용접부 상단 용접오류부	• 기계용접 용접재 오적용	2개소
클래드 인접 용접오류부	• 수동용접 시 기계용접재 사용 (80, 배기관) • 자격인정 불만족 용접 (33, 82)	4개소
표면 용접오류부	• 수동용접 시 기계용접재 사용 (52) • 자격인정 불만족 용접 (24, 46, 47, 52, 56)	5개소
합계 (52번 중복)		11개소

○ 기술기준 불만족 용접부 확인 방법

- Alloy600 용접부 상단 용접오류부

가. 39번: 용접영상을 통해 확인된 초층 오용접부 원주방향 360° 전체 제거(관통관 용입부 1.5 ㎜포함)

나. 67번: 용접영상을 통해 오용접부 범위(45°~180°)를 확인하였고, 보수적으로(22.5°~225°) 용접부를 제거(관통관 용입부 1.5 ㎜포함)

- 클래드 인접 용접오류부

가. 33번: 용접영상 확인 후 현장 확인 결과 용접흔적이 확인되어 용접흔적을 중심으로 20 ㎜×20 ㎜ 범위를 제거

나. 80번: 용접영상을 바탕으로 기계용접재 사용 위치를 약 90° 부근으로 추정하고 보수적으로(폭 15 ㎜, 방위 67.5°~135°) 용접부를 제거

다. 82번: 용접영상 및 현장 확인으로 특정한 용접흔적을 기준으로 40 ㎜×40 ㎜ 범위를 제거

라. Vent(배기관): 용접영상에서 약 7회의 용접이 확인되었고, 현장확인 결과 90° 및 270° 부근에서 용접흔적이 확인됨에 따라 45° 간격으로 총 8개소의 용접 추정부 20 ㎜×20 ㎜를 제거

- 표면 용접오류부

가. 24번: 용접영상 및 현장 확인 결과 용접흔적을 확인하여 주변부 포함 10㎜×10㎜ 제거

나. 46번: 용접영상 및 현장 확인 결과 사상흔적이 확인되어(180°부근) 보수적으로 사상부 전체 및 주변부 포함 30 ㎜×45 ㎜ 제거

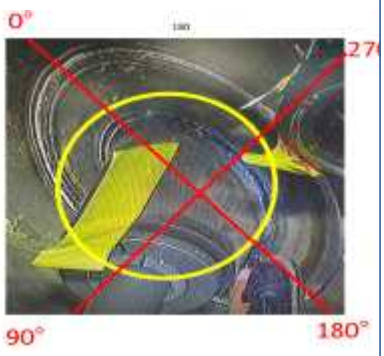
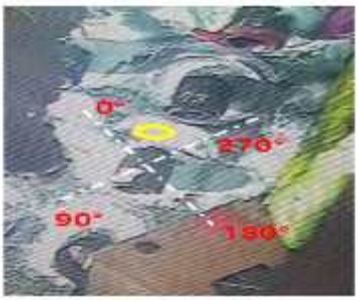
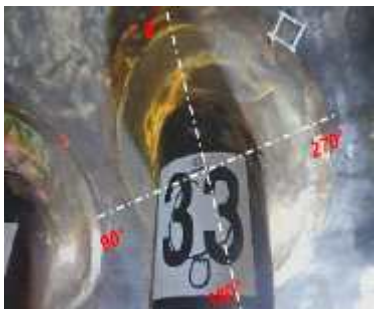
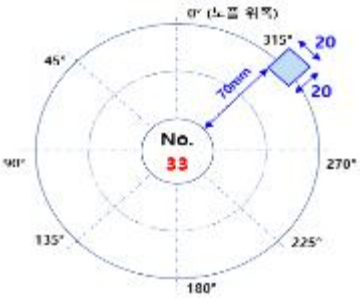
다. 46번: 용접영상 및 현장 확인 결과 사상흔적이 확인되어(225°부근) 보수적으로 사상부 전체 및 주변부 포함 15 ㎜×51 ㎜ 제거

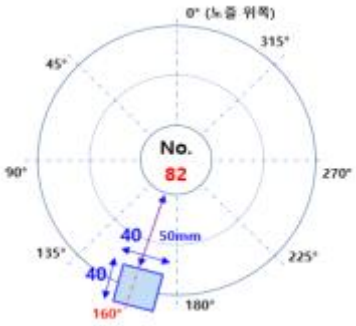
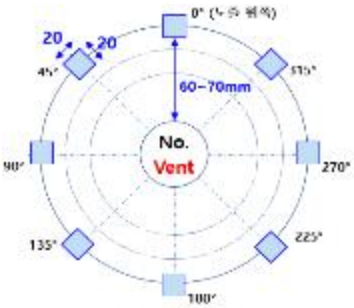
라. 47번: 용접영상 확인 후 해당위치 현장 확인 결과 용접흔적을 확인하여 주변부 포함 10 ㎜×10 ㎜ 제거

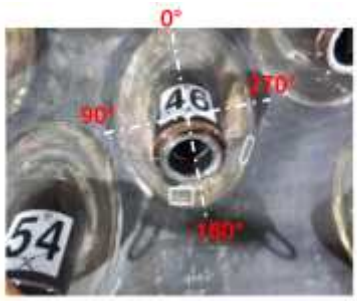
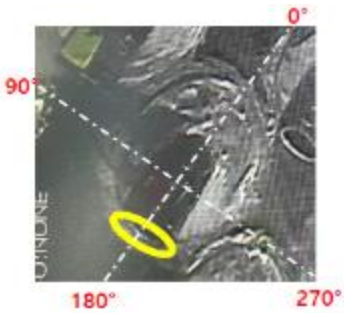
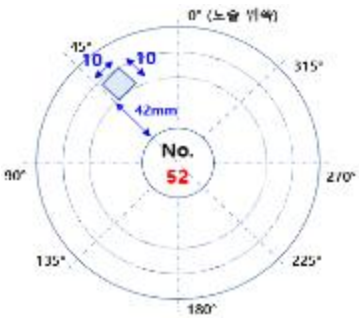
마. 52번: 용접영상 확인 후 해당위치 현장 확인 결과 용접흔적을 확인하여 주변부 포함 10 ㎜×10 ㎜ 제거

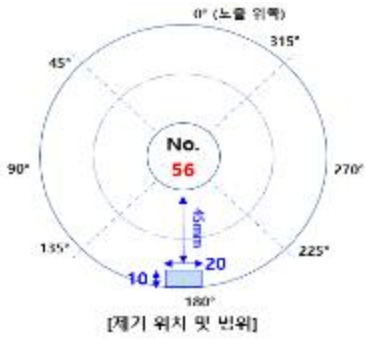
바. 56번: 용접영상 확인 후 해당위치 현장 확인 결과 동일선상에 용접흔적을 확인하여 주변부 포함 10 ㎜×20 ㎜ 제거

○ 기술기준 불만족 용접부 제거 계획

관통부 번호	용접영상 사진	용접부 제거 전 사진	용접부 제거 계획
39		좌동	 [제거 및 Cavity 위치]
67		좌동	 [제거 및 Cavity 위치]
33			 [제거 위치 및 범위]
80			 [제거 위치 및 범위]

관통부 번호	용접영상 사진	용접부 제거 전 사진	용접부 제거 계획
82			 [제거 위치 및 범위]
배기관			 [제거 위치 및 범위]
24		 	 [제거 위치]

관통부 번호	용접영상 사진	용접부 제거 전 사진	용접부 제거 계획
46			 [제거 위치 및 범위] [제거 위치 및 범위]
47		 	 [제거 위치 및 범위]
52			 [제거 위치 및 범위]

관통부 번호	용접영상 사진	용접부 제거 전 사진	용접부 제거 계획
56			 [제기 위치 및 반위]

❑ 기술기준 불만족 용접부 제거 결과

○ 기술기준 불만족 용접부 제거 기준

- Alloy600 용접부 상단 용접오류부(39, 67번 관통관)

  가. J-홈 용접부: 제거 후 금속칩을 채취하여 Alloy600 용접재 확인

  나. 관통관: 용융을 고려하여 관통관 두께 방향 1.5 ㎜ 이상 제거

- 클래드 인접 용접오류부(33, 80, 82번 관통관 및 배기관)

  가. 용융을 고려하여 오용접부 표면으로부터 두께방향으로 1.55 ㎜ 이상 제거

  나. 잔여 클래드 두께

- 표면 용접오류부(24, 46, 47, 52, 56번 관통관)

  용융을 고려하여 오용접부 표면으로부터 두께방향으로 1.55㎜ 이상 제거

○ 기술기준 불만족 용접부 제거 결과

- 제거부에서 수동으로 채취한 칩의 성분분석 결과 Alloy600 용접재 성분(Ni 60%이상 및 Cr 20% 이하) 확인(39, 67번)
- 제거 후 3D 측정 결과 최소 두께가 제거 기준 이상임이 확인됨
- 잔여 클래드 두께 측정결과(초음파탐상검사) 시방서 요건(3.2 ㎜) 이상임이 확인
- 배기관 제거부는 제거 후 비파괴검사 결과 합격기준을 불만족하여 대체적용을 신청 후 승인

관통부 번호	제거 사진	관통부 번호	제거 사진
39		67	
33		80	
82		배기관	

관통부 번호	제거 사진	관통부 번호	제거 사진
24		46	
47		52	
56			

붙임 15 후속용접 재발방지대책

❑ 수동용접 관련 품질관리 미흡 사례

○ 자격 미인정 용접사의 수동용접

○ 수동용접 시 기계용접용 용접재 사용, 용접재 불출기록이 없는 등 용접재 관리 부실

○ 용접기록서 작성 미흡

○ 일부 수동용접 영상기록 미확보

❑ 작업관리 개선 부분

○ 용접사 관리 강화

- 2인 1조로 작업 운영

< 용접사 2인 1조 운영 >

- 용접사 중 1인은 기계용접 수행 및 용접기록서 작성
- 나머지 용접사 1인은 원자로 헤드 내부에서 용접기 설치 및 장비조작 등 수행

○ 용접재료 관리강화

- 용접재료별 식별표식 부착 의무화

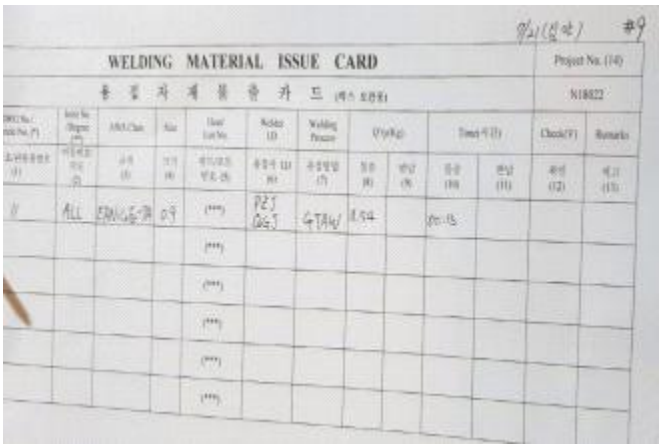
< 자동용접봉 >
(규격, Heat No. 표시)

< 수동용접봉 >
(규격, Heat No. 적색스티커로 수동용접봉 표시)

- 용접 후 잔여 용접자재 즉시 폐기(별도 현장 폐기함 운영)

< 잔여 용접봉 폐기함 >
(중앙에 있는 Hole에 잔여 용접자재 폐기처리)

- 용접자재 불출카드 작성 강화


WELDING MATERIAL ISSUE CARD

< 용접자재 불출카드 작성 강화 >

- 용접대상, 용접재 관련 정보, 용접사 ID 등 기록 강화

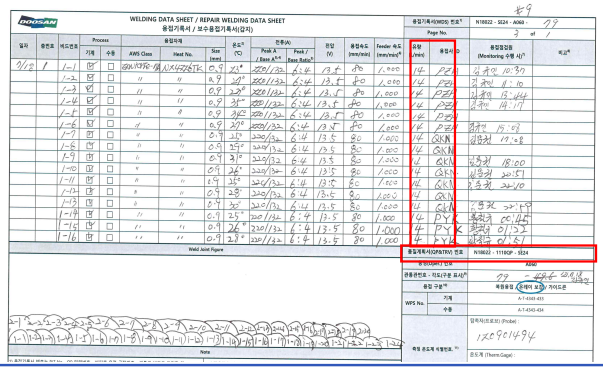
○ 용접기록서의 작성 및 관리절차 추가

- 모든 용접작업에 대해 용접기록서를 작성하도록 의무화

< 용접기록서(기계용접) >

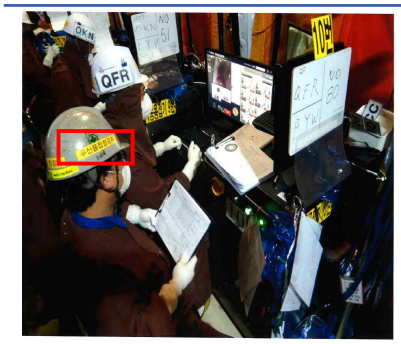
< 용접기록서(수동용접) >

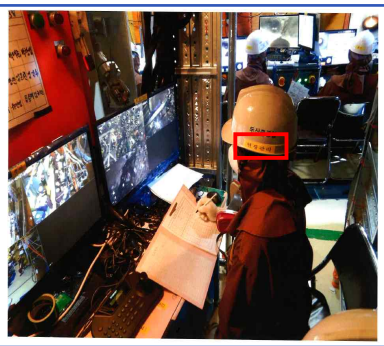
- 모든 용접 이음부에 대해 용접사 및 절차서를 식별할 수 있도록 기록

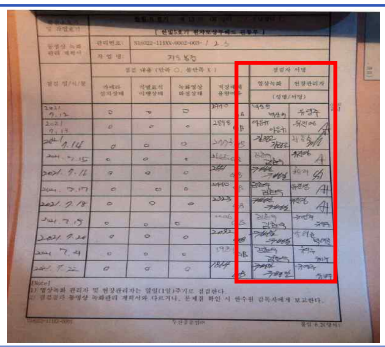


- 용접사 ID 기록 및 품질계획서(QP) 번호 명기(QP에 해당 절차서 기록)

- 용접 수행 시 현장관리자 모니터링 및 서명(관리 사각지대 방지)





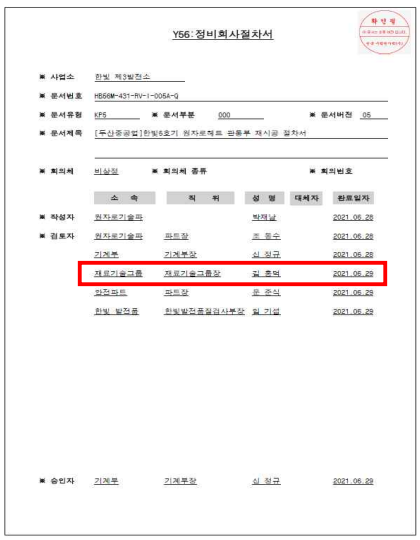


<용접점검원 모니터링 수행> <현장관리자 모니터링 수행> <현장관리자 영상점검 및 서명>

❑ 절차관리 개선 부분

○ 특수작업 절차 전문가 기술검토

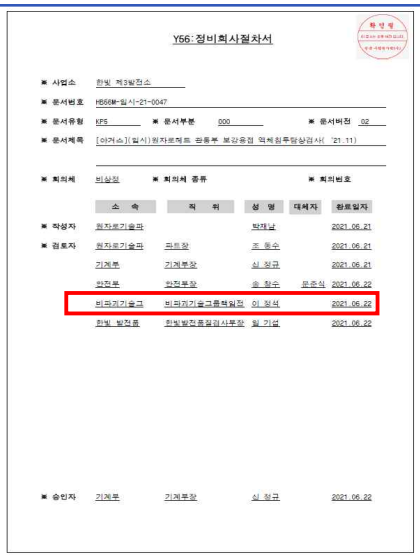
- 안전등급 용접·비파괴 등 특수작업 절차서는 CRI 전문가 상세 사전검토



Y56:정비회사절차서

■ 사업소	한빛 제3발전소			
■ 문서번호	HB56M-431-RV-1-005A-Q			
■ 문서유형	KP5	■ 문서부분	000	■ 문서버전 05
■ 문서제목	[두산중공업]한빛6호기 원자로헤드 관통부 재시공 절차서			
■ 회의체	비상정	■ 회의체 종류		■ 회의번호

	소 속	직 위	성 명	대체자	완료일자
■ 작성자	원자로기술파		박재남		2021.06.28
■ 검토자	원자로기술파	파트장	조 동수		2021.06.28
	기계부	기계부장	신 정규		2021.06.28
	재료기술그룹	재료기술그룹장	김 호덕		2021.06.29
	안전파트	파트장	문 주식		2021.06.29
	한빛 발전품	한빛발전품질검사부장	일 기섭		2021.06.29
■ 승인자	기계부	기계부장	신 정규		2021.06.29



Y56:정비회사절차서

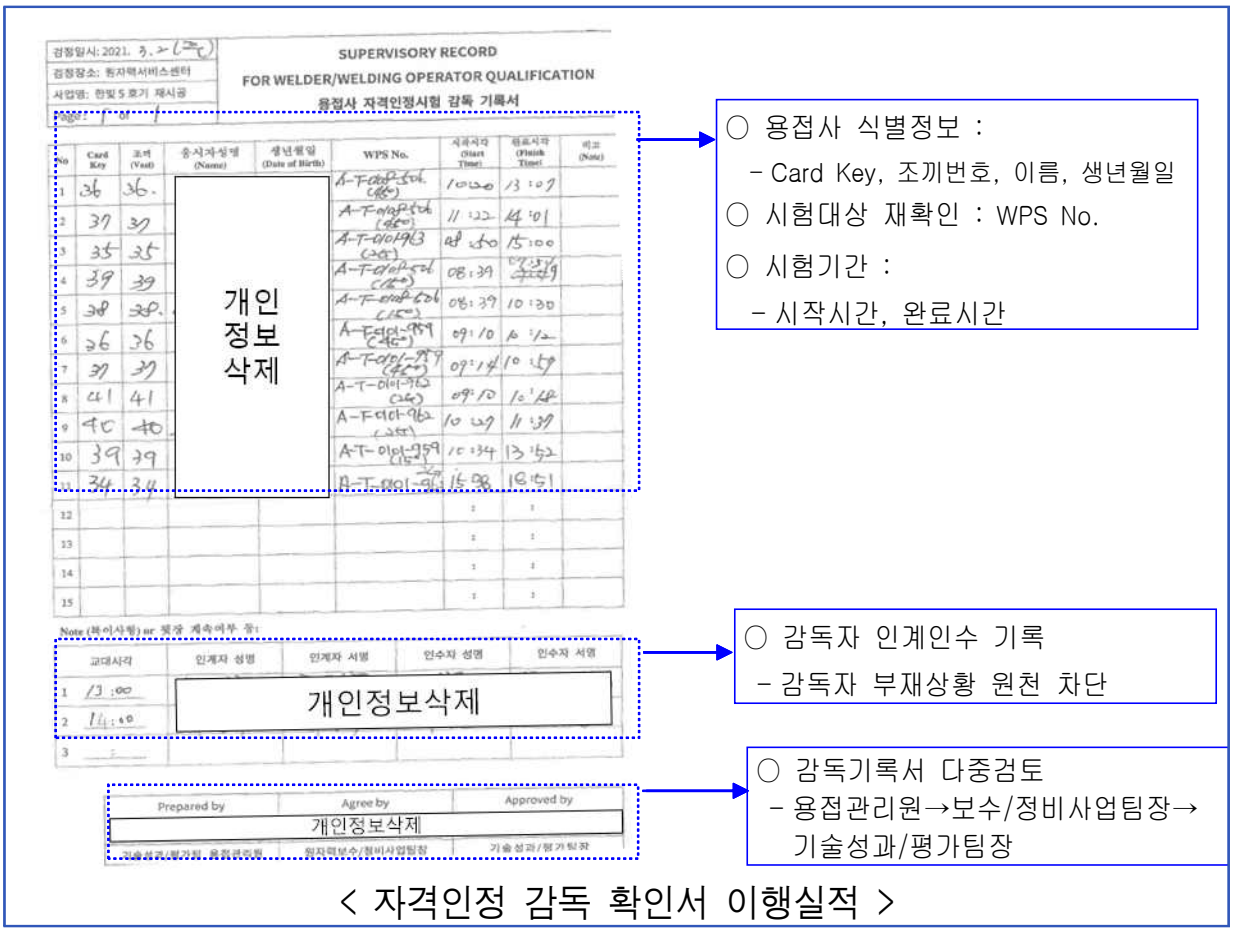
■ 사업소	한빛 제3발전소			
■ 문서번호	HB56M-일시-21-0047			
■ 문서유형	KP5	■ 문서부분	000	■ 문서버전 02
■ 문서제목	[아거스](일시)원자로헤드 관통부 보강용접 역체침투탐상검사('21.11)			
■ 회의체	비상정	■ 회의체 종류		■ 회의번호

	소 속	직 위	성 명	대체자	완료일자
■ 작성자	원자로기술파		박재남		2021.06.21
■ 검토자	원자로기술파	파트장	조 동수		2021.06.21
	기계부	기계부장	신 정규		2021.06.21
	안전부	안전부장	송 창수	문주식	2021.06.22
	비파괴기술그	비파괴기술그룹책임정	이 정석		2021.06.22
	한빛 발전품	한빛발전품질검사부장	일 기섭		2021.06.22
■ 승인자	기계부	기계부장	신 정규		2021.06.22

< 용접 관련 절차서 CRI 검토 > < 비파괴 관련 절차서 CRI 검토 >

○ 용접사 자격인정시험 관리강화

- 용접사 자격인정 감독확인서 양식 신규개발 및 적용



< 자격인정 감독 확인서 이행실적 >

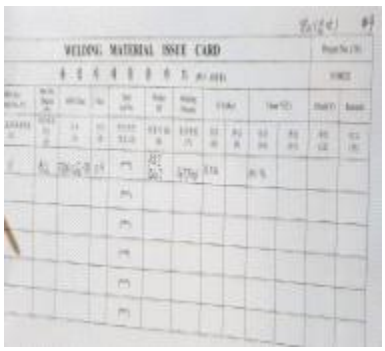
❑ 영상 및 녹화 관리 개선 부분

○ 용접사 식별관리 강화

- 자재불출, 용접 수행 전 용접사 ID 식별 확인 및 기록

< 헤드밖에서 자재불출, 용접사 ID 확인 >

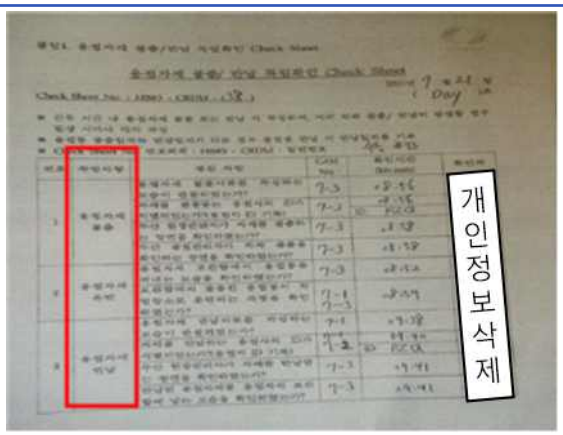
< 헤드 안에서 용접봉, 용접사 ID 확인 >



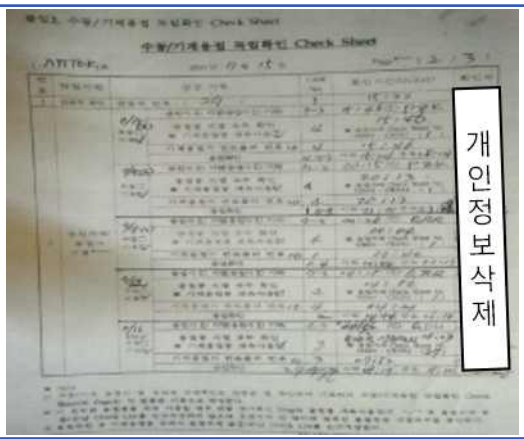
< 용접자재 불출카드 작성 >
(해당관통부, 자재불출, 용접사 ID 등 기록)

○ 독립영상실 운영

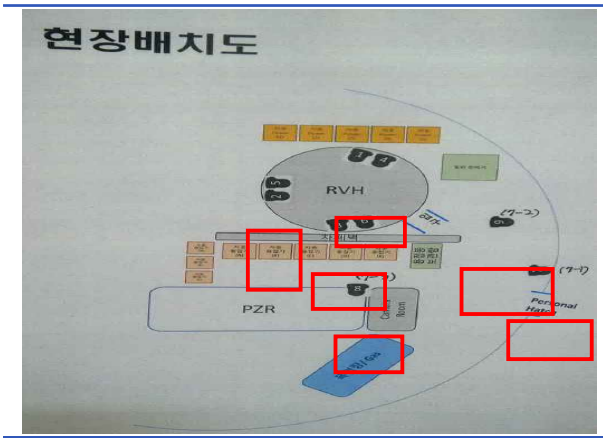
- 용접자재 불출, 운반, 반납 및 교체 과정 확인



- 대상관통부 확인, 용접자재 및 용접사 식별



- 용접부 확인 및 식별을 위해 헤드 내부 추적용 PTZ* 카메라 6대 운영



< 카메라 총 6대 운영 >

- 용접부 확인 및 식별을 위해 헤드 내부 카메라 6대 운영
- 작업자 동선 및 용접봉 불출, 용접사 식별을 위해 헤드 외부 카메라 3대 운영

* Pan-Tilt-Zoom 카메라: 방향 및 확대/축소를 원격으로 제어할 수 있는 카메라

붙임 16 보강용접 계획 및 점검 결과

❑ 보강용접 계획

○ **모든 관통관(총 84개) 대상 건전성 추가 확보 필요**

- 수동용접의 **품질관리**가 **미흡**하여 **수동용접의 적합성 확인불가**
- 특별점검 과정에서 수행한 재시험을 통한 용접사 기량 재검증은 예방용접 착수 전 **보수업체가 수행한 용접사 자격인정에 부정행위가 없었음을 입증하기에는 한계**가 있음

○ **건전성 추가 확보 방안에 대한 적절성 검토**

- **(확보방안)** 한수원은 원자로헤드 교체 시('24년 예정)까지 건전성 확보 위해 **모든 관통관**에 추가로 **2개층(Alloy690) 보강용접** 방안 제시
- **(검토결과)** 한수원의 건전성 평가 결과(보수적인 조건에서 최소 6.1년 간 밀봉기능 유지)는 타당한 것으로 판단

○ **보강용접 정비 공정**

구분			비고
보강용접 준비	표면청정, 버핑 및 사상		82,Vent 제외한 전체 표면 청정작업
			용접성 향상을 위한 버핑, 사상
	용접 전 PT		PT 기준: ASME Sec Ⅲ
	용접 전 VT		관통부 육안점검 수행
	용접기 설치		4구역으로 분할 후 자동 용접기(4대) 설치
보강용접	수동+자동용접	국부 용접 필요시	2층 보강용접 표면 일부 국부용접
		용접 전 표면 치수측정	2층 보강용접 전 치수측정
		자동용접 착수	4개 구역으로 분할하여 자동용접 착수 (필요시, 용접부 수정작업 포함)
	용접 후 PT	전체 관통관 PT	PT 기준(J-그루브: N729-4,인접: ASME SecⅢ)
	치수측정	2층 보강용접 후 표면 치수측정	2층 보강용접 후 치수측정

❑ 보강용접 점검 결과

○ **용접 전 비파괴검사**

- **(점검방법)** 보강 용접 전 비파괴검사에 대한 입회 및 서류검토
- **(점검기준)** 비파괴검사 관련 규격(KEPIC MI, MN)
- **(점검결과)** 기술기준 불만족 제거부 및 성분분석 가공부의 용접 및 비파괴검사는 관련 규격을 만족
  - 5개 관통관(3번, 5번, 26번, 42번, 59번)은 비파괴검사 불합격 지시가 발견되어 대체적용 신청 후 승인

○ **보강용접**

- **(점검방법)** 보강 용접 입회, 영상점검, 서류검토
- **(점검기준)** 용접 관련 규격(KEPIC MQW)
- **(점검결과)** CCTV 녹화기록, 용접기록지 등 검토 결과 보강용접은 용접 관련 규격 만족, 보강용접 시 재발방지대책 이행 적절

○ **용접 후 비파괴검사**

- **(점검방법)** 보강 용접 후 비파괴검사에 대한 입회 및 서류검토
- **(점검기준)** 비파괴검사 관련 규격(KEPIC MI, MN)
- **(점검결과)** 용접 후 비파괴검사는 관련 규격을 만족
  - 1개 관통관(20번)은 비파괴검사 불합격지시가 발견되어 대체적용 신청 후 승인
  - 1개 관통관(3번)은 검사범위 외 클래딩 표면에서 지시가 확인되었으며, 관련기술기준(KEPIC MI)에 따라 현상사용

붙임 17 용어 설명

○ Alloy600 : 니켈-크롬-철 성분이 주요성분인 니켈 베이스 합금으로 우수한 기계적 특성을 가지며 고강도와 우수한 가공성을 가지나 2000년대 초반부터 가압경수로형 원자로에서 1차 냉각재와 접촉하는 환경에서 발생하는 것으로 알려진 일차수응력부식균열 (PWSCC, Primary Water Stress Corrosion Cracking)의 발생이 보고되고 있음

○ Alloy690 : Alloy600 소재가 1차 냉각수 응력부식균열에 다소 취약하여 개발한 니켈 베이스 합금으로, Alloy600과 비교하여 크롬 함량을 약 두 배(30%)로 높여 일차수응력부식균열에 대한 저항성이 높음

○ J-홈 용접부(J-Groove Weld) : 용접부의 표준형상에 따른 구분으로 용접부 형상이 J 모양인 용접부

○ 가이드 콘(Guide Cone) : 원자로헤드와 제어봉구동장치의 연장봉 집합체를 조립할 때 좁은 내경의 제어봉구동장치 노즐을 통과할 수 있도록 안내하는 장치

○ 델타페라이트(δ-Ferrite) : 철 또는 철탄화물의 상태 중 하나로 노심지지구조물과 안전등급 1,2 기기 제작 시 오스테나이트계 스테인리스강 용접부의 미세균열을 방지하기 위하여 용접금속의 델타페라이트 함량을 관리함. 또한 델타페라이트는 자성이 있어 자기측정 도구로 측정 가능

○ 버터링 용접부 : 맞대기 용접을 할 때 모재에 미치는 열영향을 방지하기 위하여 용접 홈 표면에 다른 종류의 용접금속으로 덧살 용접을 하는 기법

○ 버퍼층(완충부위 또는 Buffer Bead) 용접 : 완전 오스테나이트 조직을 가진 니켈합금 용접금속이 고온균열에 민감하여 고온균열에 대한 저항성을 가진 델타페라이트를 일정량(5~18FN) 함유한 스테인리스강(ER309L)을 Alloy690 (ERNiCrFe-7A) 용접 경계부에 용접하는 기법

○ 보수용접(밀봉용접) : 원자로 상부헤드 관통관 및 용접부에서 발생된

결함의 보수 방법 중 일차수응력부식균열 저항성이 높은 용접재를 사용하여 응력부식균열에 민감한 Alloy600 부분을 덮어주는 보수방법

○ 스테인리스강 클래드 : 소재가 탄소강 또는 저합금강 재료로 제작된 기기의 표면을 1차 냉각수와의 접촉을 차단할 목적으로 수행하는 용접층을 클래드라 하며, 한빛 5호기 원자로 상부헤드의 경우 클래드 용접재로 스테인리스강(308L/309L)이 사용되었음

○ 온레이(Onlay, 덧씌움) 용접 : 일차수응력부식균열의 예방 또는 보수를 위해 일차수응력부식균열에 민감한 소재의 표면(1차 냉각수 접촉 표면)에 덧살 용접을 수행하는 기법

○ 용접공정(Welding Process) : 용접 절차 시방서에 따라 수행되는 용접 과정으로 GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) 등 다양한 용접 공정이 있음

○ 용접 절차 시방서(WPS, Welding Procedure Specification) : 건조 규격에 따라 용접사가 용접을 실시하는데 필요한 절차 및 지침을 제공하는 문서

○ 제어봉구동장치(CEDM, Control Element Drive Mechanism) 노즐 : 제어봉구동장치는 CEDM 제어장치로부터 받은 작동신호에 따라 제어봉 집합체(Control Element Assembly)를 구동시켜 원자로 노심의 핵반응도를 조절하는 장치임. 원자로헤드 상부에는 84개의 관통관(관통관 노즐)이 있으며, CEDM용 81개(예비용 8개 포함), 노내 냉각재의 수위 측정을 위한 온도계(Heat Junction ThermoCouple)용 2개, 배기용 1개로 구성됨