기타보고

한빛5호기 원자로헤드 부실정비 관련 KINS 특별점검 중간결과

Ⅰ 특별점검 개요

❑ 원안위 원자력안전 옴부즈만 제보* 및 언론기관 보도 등을 통해 **한빛5호기 원자로헤드 부실정비** 의혹 제기

* 제129회 원안위 기타보고('20.11.27.) 이후 옴부즈만 2차례 추가 제보

< 한빛5호기 원자로헤드 부실정비 주요 의혹 >

◇ 기 확인된 원자로헤드 관통관 69번 용접재 사용 오류 외에도 Alloy690 **재질로 용접해야 하는 부위에 스테인리스강 용접재**(ER309L) **사용**

◇ 가이드콘 제거 후, **재부착 시공 시 작업계획서와 달리 1 패스**(pass) **시공**

◇ **용접사 선발** 과정에서 관리감독이 부실한 틈을 타 **대리시험**(부정행위) **실시**

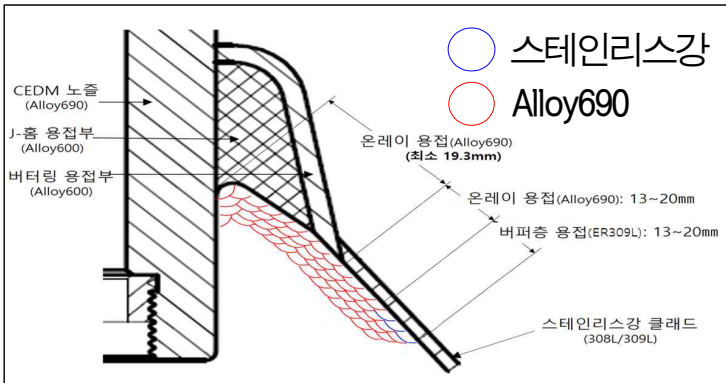
◇ 기계용접 중·후에 수행된 **수동용접** 시 기계용접용 **용접재 사용 여부, 수동용접 자격 부여가 절차에 맞게 진행되었는지 여부** (추가)

◇ 품질검사계획*(QP)이나 공정관리표**(Traveler)에 **수동용접 기록 부실** (추가)

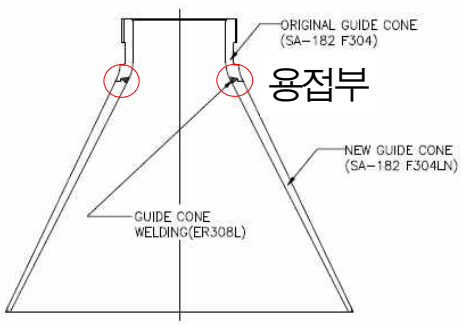
* 품질검사계획: 품목 또는 업무가 규정된 요건에 부합하는지 확인하기 위한 검사 계획

** 공정관리표: 품목 또는 역무의 품질에 영향을 미치는 공정을 관리하기 위한 표

◇ **비파괴검사 적용규격 및 범위를 부적절**하게 변경하고, 불합격 시 불일치 보고서(NCR) **미발행** (추가)



관통관 보수용접 형상



가이드콘 용접 형상

❑ KINS는 의혹 규명을 위해 분야별 전문가로 **특별점검팀 구성**('20.10.30.)

○ 현재까지 **용접작업 CCTV 녹화기록 검토, 용접사 기량 재검증**

등의 **1단계 점검결과**를 보고드리고자 함

Ⅱ 특별점검 범위 및 종합현황

❑ (범위) 원자로헤드 관통관 보수용접 주요 공정* 전범위에 걸쳐 용접공정, 용접사 자격, 용접품질관리, 비파괴검사 등에 대한 적절성을 점검

* 용접 주요 공정 [붙임 1] 참조

❑ (전략) **원자로헤드 분리를 기준으로 2단계로 구분하여** 용접공정, 용접사 자격, 용접 품질관리에 대해 **점검 진행 중**

○ **(1단계 점검 [완료] : 원자로헤드 분리 전) 용접작업 CCTV 녹화기록 검토**, 용접사 기량 재검증, 용접부 성분분석 장비 검증 등

○ **(2단계 점검 [예정] : 원자로헤드 분리 후) CCTV 녹화 및 서류기록 확인불가 용접부 성분분석**, 가이드콘 용접부 현장 점검, 재보수 참여 예정 용접사 자격인정, 재보수 상태 점검 등

❑ 점검 종합현황 (**1단계 점검 완료**, 2단계 점검 수행 예정)

점검 분야	점검 항목	세부점검 방법	현황/ 결과	비고
용접 공정	**기계용접 용접재 오적용 여부**	CCTV 녹화기록 및 관련 서류 확인	완료 /**부적합**	- 용접재 오적용 확인 (2개소)
		CCTV 녹화 및 서류기록 확인불가 용접부 성분분석	완료 /적합	- 사용예정 성분분석 장비 검증
			예정 (2단계)	- 원자로헤드 분리 후 점검 (26개소)
	수동용접 과정	CCTV 녹화기록 및 관련 서류 확인	완료 /**부적합**	- 기계용접재 사용(3개소, 확인불가 1개소) - 자격 미인정 용접사 수동용접(7개소)
	가이드콘 용접	용접관련 시방서 및 용접기록 확인	완료 /적합	- 시방서 요건 및 용접 기록 - 가이드콘 단일패스 용접 시공성
		가이드콘 용접상태 확인	예정 (2단계)	- 원자로헤드 분리 후 점검 (83개소)

점검 분야	점검 항목	세부점검 방법	현황/ 결과	비고
용접사 자격	용접사 자격 확인	자격인정 관련 서류 확인	완료 /적합	- 자격인정관리 및 한빛5호기 작업 참여 용접사 자격인정 서류검토
				- 한빛 5,6호기 용접사 훈련, 자격인정 계획 및 상세공정 검토
		참여 용접사 서면 인터뷰	완료 /적합	- 추가 제보 없음
		기량 재검증 입회 및 서류 확인	완료 /적합	- 旣수행 작업 참여 용접사 43명 전원 수행
	재보수 자격인정 시험	재보수 참여예정 용접사 자격인정 시험 입회 및 서류 확인	예정 (2단계)	- 재보수 작업 착수 전 점검 (40명 참여 예정)
용접 품질 관리	용접공정 및 기록관리	용접 품질관리 전반점검	완료 /**미흡**	- 용접재 관리체계, 기록 작성, 용접재 불출 관리 미흡
	관리감독	용접업체, 보수업체 및 공인검사기관 관리 감독 적절성 확인	완료 /**미흡**	- 안전문화의식 결여, 품질보증 세부계획 수립·검토·이행 등 관리감독 미흡
비파괴 검사	NCR 발행 여부	비파괴검사 불합격에 대한 불일치보고서(NCR) 발행 여부 확인	완료 /적합	- NCR 정상 발행
	적용 규격	비파괴검사 적용규격 변경 적절성 확인	완료 /적합	- 기술기준 만족
	검사 범위	비파괴검사 범위변경 적절성 확인	완료 /적합	- 기술기준 만족

Ⅲ 1단계 점검 결과

1 용접공정

○ 기계용접 용접재 오적용 여부 (1단계 완료)

- (점검방법) CCTV 녹화기록*, 용접기록서, QP&Traveler 검토 등

* CCTV 녹화기록 점검방법 [붙임 2], 오용접 및 확인불가 사례 [붙임 3] 참조

- (점검기준) 용접절차시방서에 기재된 용접재 사용 여부, CCTV 녹화기록과 용접기록 일치 여부

- (점검결과) ① **용접재 오적용 2개소** (재시공 대상) 및 **확인불가 26개소** (성분분석 대상) 확인, ② **성분분석 장비 검증** 완료

  • **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)

  • **(성분분석 장비 검증*)** 표준시험편 성분분석을 통해 **장비 성능 확인** 및 반복측정을 통해 **신뢰성 확인** (현장입회)

* 성분분석 장비 검증 [붙임 4] 참조

- **(2단계 점검)** 용접재 오적용 2개소에 대한 재시공 과정 점검, 확인불가 26개소에 대한 성분분석 실시 예정

○ **수동용접 과정 (1단계 완료)**

- **(점검방법*)** CCTV 녹화기록, 용접기록서, QP&Traveler 검토 등

  * 수동용접 점검방법 [붙임 5], 오류 및 확인불가 사례 [붙임 6] 참조

- **(점검기준)** 용접절차시방서에 기재된 용접재 사용 여부, CCTV 녹화기록과 용접기록 일치 여부, 용접사 자격인정 여부

- **(점검결과)** ① **기계용접 용접재 사용 3개소 (재시공 대상)** 및 용접재 **확인불가 1개소 (성분분석 대상)** 확인, ② 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.

- **(2단계 점검)** 용접재 오적용 3개소 및 자격인정 불만족 7개소에 대한 재시공 과정 점검, 확인불가 1개소에 대한 성분분석 예정

○ 가이드콘 용접 (1단계 완료)

- **(점검방법)** 용접절차시방서, 정비작업절차서, 용접상태 확인 등
- **(점검기준)** 용접절차시방서(WPS)의 타당성, WPS에 따른 시공 여부
- **(점검결과)** ① 시방서, 절차서 등에 용접 패스 수에 대한 특별한 요건은 없으며 **용접기록** 작성상태 **적절**, ② 가이드콘 단일패스 용접 **시공성 확인**
  - 가이드콘 용접 시 용접 패스(pass) 수(數)가 별도로 규정되어 있지 않으며, 작업 절차서에도 별도 지침 없음을 확인([붙임 7] 참조)
  - 보수업체의 가이드콘 설치 사전 모의시험(Mock-up, '20.2.) 결과 단일패스 용접으로 용접 홈이 완전히 채워짐 확인([붙임 7] 참조)
- **(2단계 점검)** 원자로헤드 분리 후 가이드콘 용접상태 점검 예정

2 용접사 자격

○ 용접사 자격인정 (완료)

- **(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)** ① **자격인정** 체계·내용이 **규격**을 **만족**, ② 부정행위 추가제보 없음, ③ 용접사 **기량재검증 전원 합격**
  - 자격인정을 위한 시험방법, 합격기준, 인정범위, 시험결과 등 **자격인정 체계 및 내용**이 관련 규격(KEPIC MQW)에 **적합**
  - **면담 및 서면인터뷰** 실시결과 부정행위 관련 **추가 제보 없음***

    * 용접사 자격인정 당시의 부정행위 여부 확인에 대해서는 KINS 특별점검 한계 존재

- **용접사 기량 재검증**은 KEPIC MQW 등 관련 규격·절차를 준용하여 **실시**, 旣수행 정비작업 참여 용접사 **전원(43명) 수행**
- 기량 재검증 수행 시 **부정행위 방지 방안**을 마련해 **적용*** (시험장 공간분리, 출입통제 방식 개선, 응시자 식별용 조끼 착용 및 수험표 부착 등)

* 용접사 기량 재검증 시 부정행위 방지 대책 [붙임 8] 참조

○ **재보수 자격인정 시험**

- **(2단계 점검)** 재보수 참여 용접사에 대한 자격인정 시험에 대해 관련 규격(KEPIC MQW) 준수 여부 및 부정행위 방지 방안 점검(입회) 예정

3 용접 품질관리

○ **용접공정 및 기록관리 (완료)**

- **(점검방법)** CCTV 녹화기록과 품질기록 비교, 현장관리자 및 품질담당자 면담
- **(점검기준)** CCTV 녹화기록과 품질기록 간 일치 여부, 공정관리 문서(QP&Treveler) 및 절차서와 실제 용접작업의 부합 여부
- **(점검결과)** ① 용접 **공정관리, 용접재 관리 미흡**, ② 수동용접 **기록 작성 미흡**
  - 기계용접 전·중에 **수동용접** 수행되는 경우가 있으나 공정관리 문서와 작업절차서에 이에 대한 공정 미수립
  - **기계용접 중 용접재 교체** 과정에 대한 **관리**가 **부실**하고, 수동용접 시(기계용접 전·중 수행) **용접재 불출기록 없이 용접**한 사례 확인
  - 일부 수동용접(기계용접 후 수행)은 CCTV 녹화기록과 용접기록서 간 불일치 확인

※ 용접 품질관리 전반 점검 결과 [붙임 9] 참조

○ **용접품질 관리를 위한 관리감독 (완료)**

- **(점검방법)** 절차서 및 품질기록 점검, 관련자 면담 등
- **(점검기준)** 품질계획 등 이행 여부, 품질보증 세부계획과 용접공정 부합 여부 등
- **(점검결과) 기관별 관리감독**이 전반적으로 **미흡**
  - (용접업체) 전반적인 **안전문화의식 결여** (오류 발생 시 관련 내용 미보고, 품질절차 이행 미흡)
  - (보수업체) **품질보증** 세부계획 **수립·이행 미흡** (용접재 변경 확인 절차 수립 미흡, CCTV 녹화기록과 품질기록간 불일치)
  - (한수원) **품질보증** 세부계획 **검토 및 관리감독 미흡**
  - (공인검사) **입회점** 선정 기준 **미흡** (수동용접 입회 미수행)
  - (KINS) 규제**의사결정 체계**, 검사원 **단독검사** 등 보완 필요

④ 비파괴검사

○ **불일치보고서(NCR) 발행, 비파괴검사 적용규격 및 검사범위(완료)**

- **(점검방법)** NCR 발행 적절성, 기술기준 검토 등
- **(점검기준)** 비파괴검사 불합격 시 NCR 발행 여부, 비파괴검사 적용규격 및 범위의 변경에 대한 기술기준 만족 여부
- **(점검결과*)** ① NCR **정상 발행**, ② 비파괴검사 적용규격·범위 변경이 **기술기준**에 **부합**

  * 비파괴검사 상세검토 결과 [붙임 10] 참조

  - 비파괴검사 불합격(83개소 표면검사 요건 불만족)에 대해 불일치보고서 **정상 발행** 확인
  - 비파괴검사 적용규격 및 범위 변경은 **관련 요건 만족**

Ⅳ 2단계 점검 및 재발방지대책 검토 계획

1 2단계 점검 계획

❑ 용접공정

○ 재시공 및 성분분석 범위의 타당성 및 결과의 적절성 점검

* 재시공 시에는 영상관리 개선안 적용, [붙임 11] 참조

○ **재시공 대상 관통관: 11개소** (기술기준 불만족이 확인)

- **(용접절차시방서 미준수)*** 기계용접 **2개소**, 수동용접 **3개소**

* KEPIC MIA-4440(1) 용접절차시방서 준수 불만족

- **(자격 미인정)*** 수동용접 **7개소**(1개소는 수동용접 WPS 미준수와 중복)

* KEPIC MIA-4440(3) 용접사 자격인정 불만족

- **(조치방향)** 기술기준 **불만족 부위**를 **제거 후 재시공**

○ **성분분석 대상 관통관: 26개소** (기술기준 불만족 여부 확인 필요)

- **(용접재 적용 오류)** 기계용접 **26개소**(재시공 대상(80번) 제외), 수동용접 **1개소**

- **(조치방향)** 성분분석 후 **기술기준 불만족 확인 시 재시공** 조치

구분	오류내용	조치	수량	관통관 번호
기계 용접	용접재 오적용	재시공	2	39, 67
	확인불가 (녹화기록 有)	성분분석	10	27, 31, 32, 37, 45, 62, 63, 68, 77, (80)
	확인불가 (녹화기록 無)	성분분석	16	2, 4, 6, 7, 18, 25, 30, 34, 36, 53, 55, 61, 72, 78, 81, 83
수동 용접	자격인정 불만족	재시공	7	24, 33, 46, 47, 52, 56, 82
	기계용접재 사용	재시공	3	52, 80, 배기관
	용접재 확인불가	성분분석	1	44
계		37개소(2개소 중복: 52번, 80번) [재시공: 11개소(52번 중복), 성분분석 26개소(80번 재시공)]		

○ (가이드콘) 원자로헤드 개방 후 용접부 시공의 적절성 점검

❑ 용접사 자격

○ 재보수 작업 참여 용접사 자격인정 점검

❑ 보강용접수행

○ **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 당초 예방용접 착수 전 **보수업체가 수행한 용접사 자격인정 당시에 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*

* 건전성 추가 확보 방안 및 검토 결과는 [붙임 12] 참조

2 재발방지대책 검토(지속검토)

❑ 용접재 적용오류 재발방지를 위한 종합 개선대책 검토

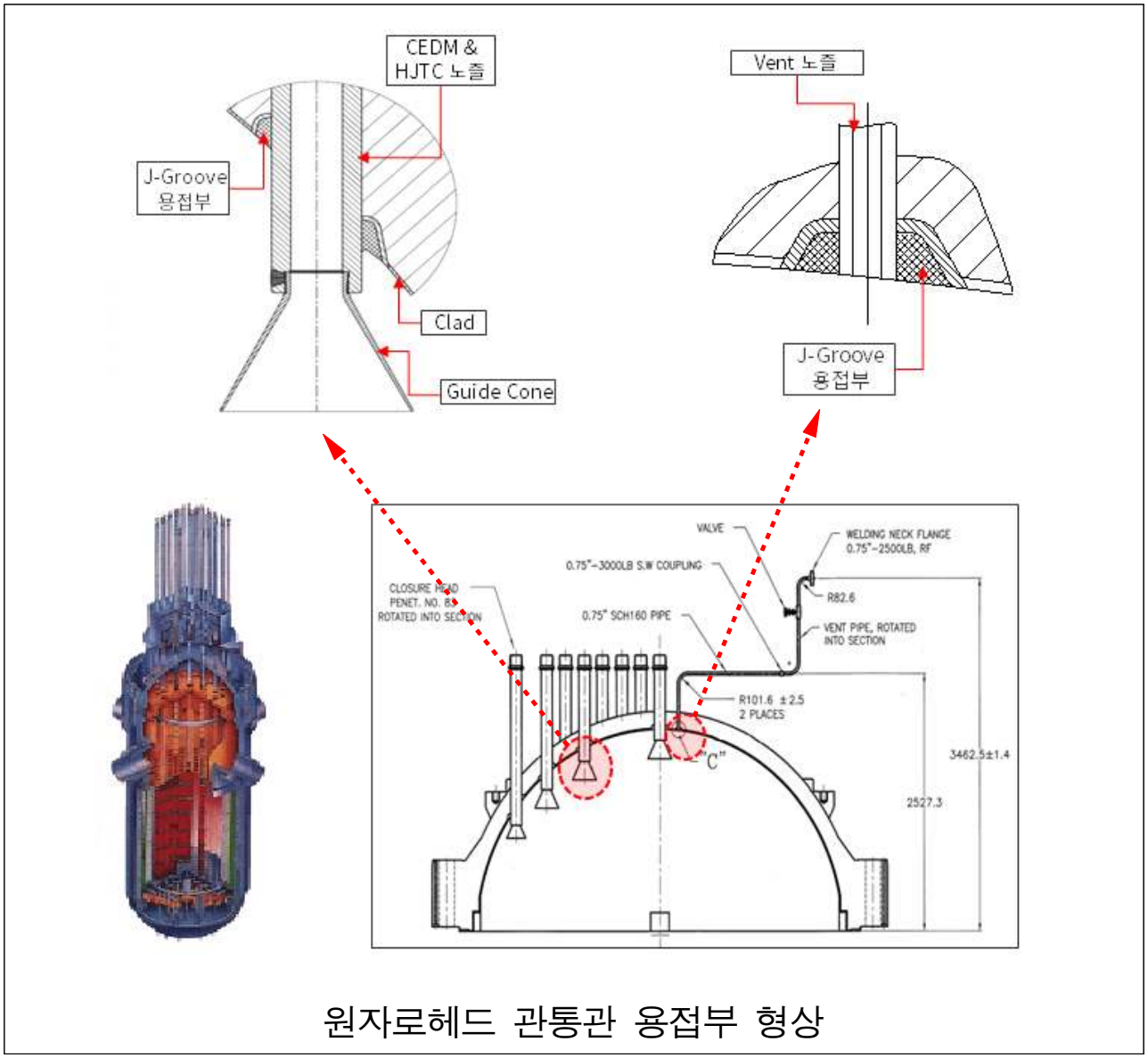
○ 기존 사례 및 유사사례를 반영하여 개선 필요사항 도출

❑ 기관별 관리감독 미흡 사항에 대한 개선점 도출

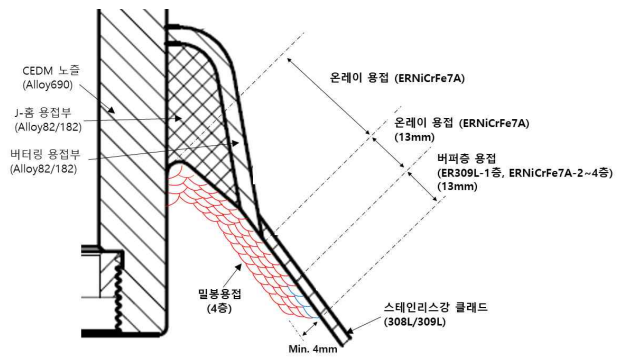
○ 한수원, 보수업체, 용접업체, 공인검사기관, 규제기관 포함

붙임 1 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 주요 공정

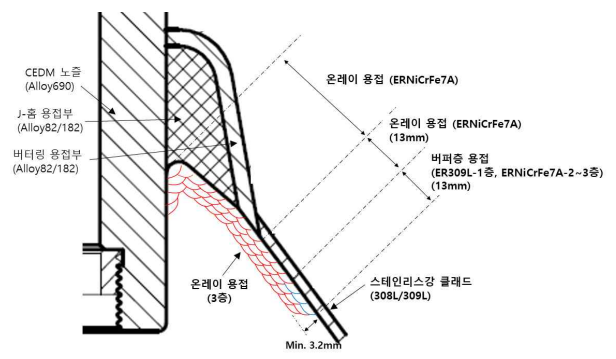
❑ 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 정비부위 개략도



원자로헤드 관통관 용접부 형상

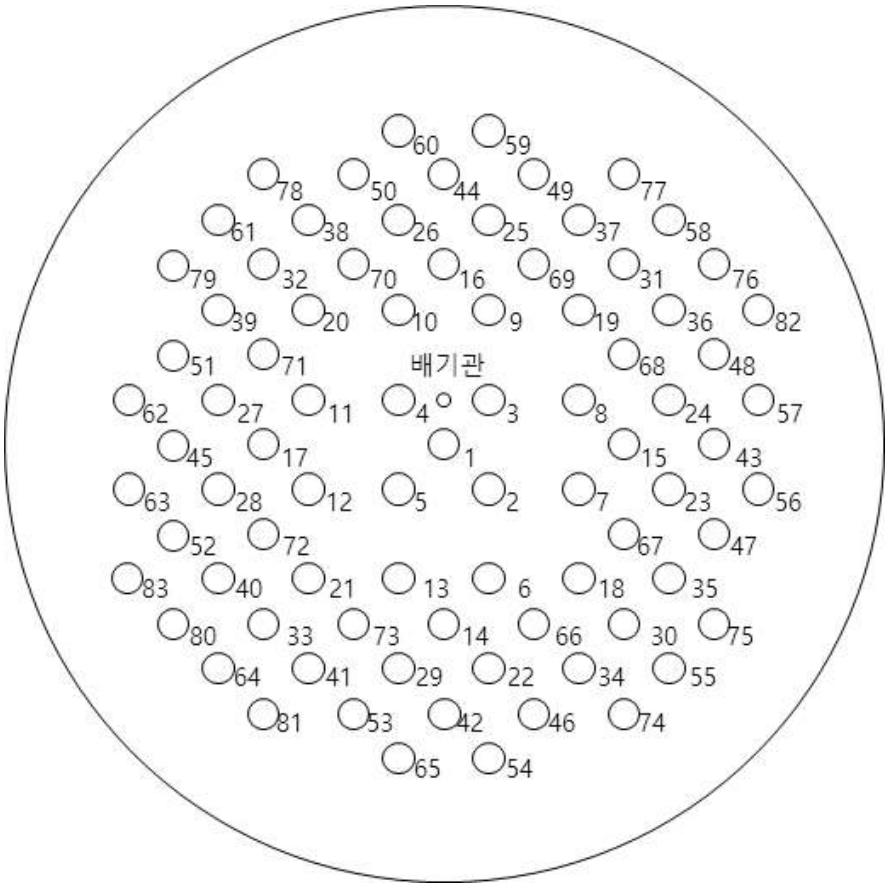


보수용접(4층 용접) 부위 형상



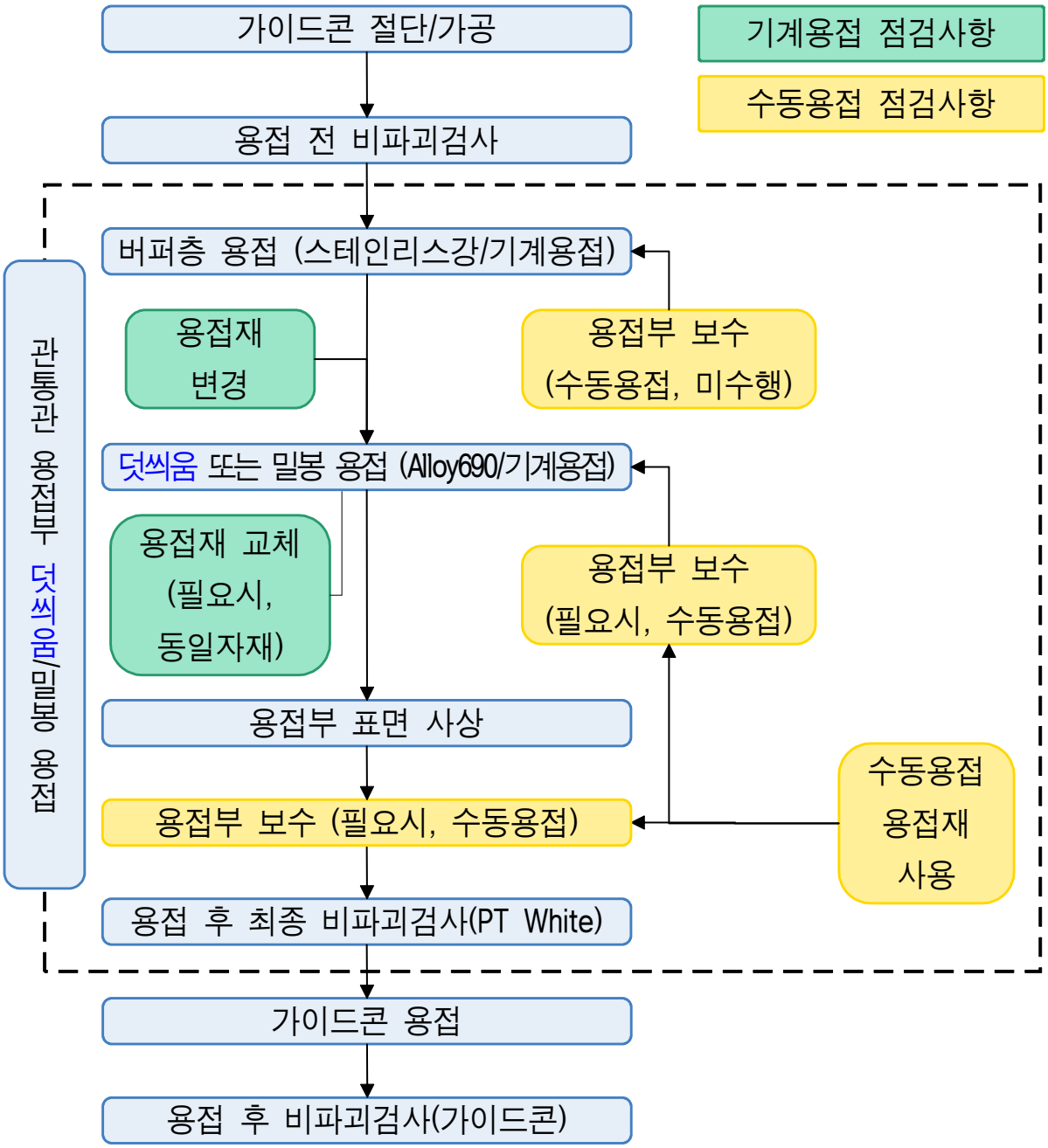
예방용접(3층 용접) 부위 형상

❑ 관통관 배치



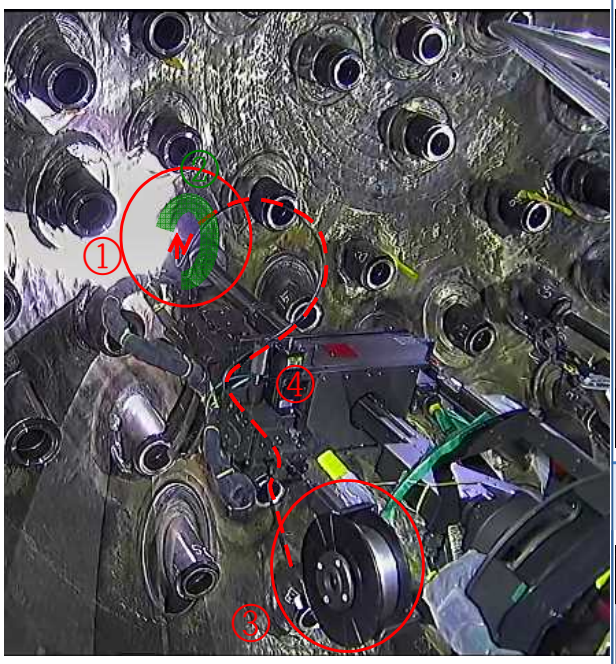
가이드콘 설치 전	가이드콘 설치 후
	

❑ 주요 공정


가이드콘 절단/가공
기계용접 점검사항
수동용접 점검사항
용접 전 비파괴검사
관통관 용접부 덧씌움/밀봉 용접
버퍼층 용접 (스테인리스강/기계용접)
용접재 변경
용접부 보수 (수동용접, 미수행)
덧씌움 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 CCTV 녹화기록 점검 방법

❑ CCTV 녹화기록 화면 구성

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

❑ 기계용접 용접재 형상

버퍼층 용접재(ER309L)	덧씌움/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 관통관과의 배치를 이용하여 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

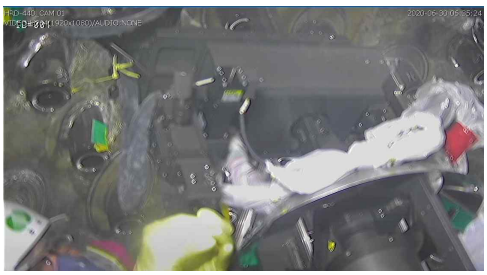
○ 덧씌움/밀봉 용접층

- 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 덧씌움 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>덧씌움 용접</td><td>용접재 교체 없음</td><td>다른 재질의 용접재 사용이 없으므로 적합</td></tr>
</table>

붙임 3 기계용접 오류 및 확인불가 사례

❑ 용접재 오적용 확인(39번)

○ 덧씌움 용접 착수 후 작업자가 용접재 오적용을 인지하고 용접재를 교체

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

❑ 버퍼층 ER309L 사용 확인 불가(32번)

○ 용접재 교체 정황과 교체 후 Alloy690 용접재 사용이 확인되나 영상으로 ER309L 확인 불가

교체 정황


❑ 덧씌움/밀봉 용접 시 Alloy690 사용 확인 불가(27번)

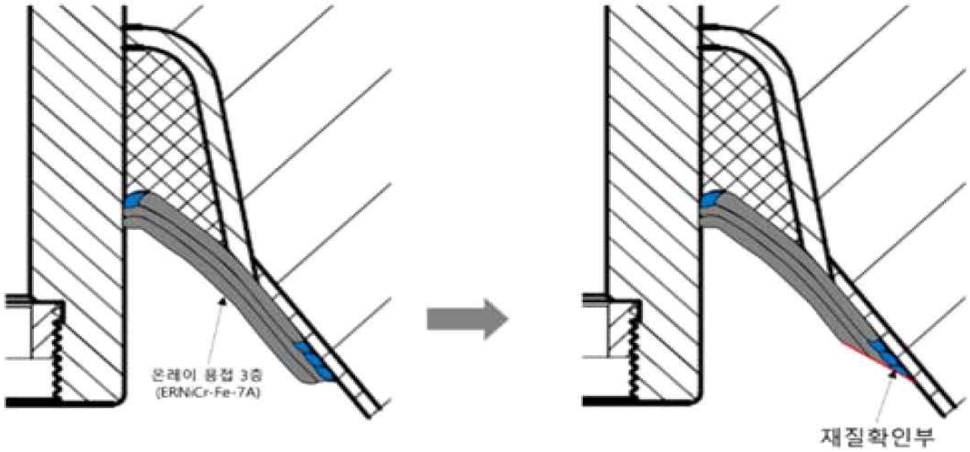
○ 용접재 교체 정황은 있으나 Alloy690 확인 불가

붙임 4 성분분석 장비 검증

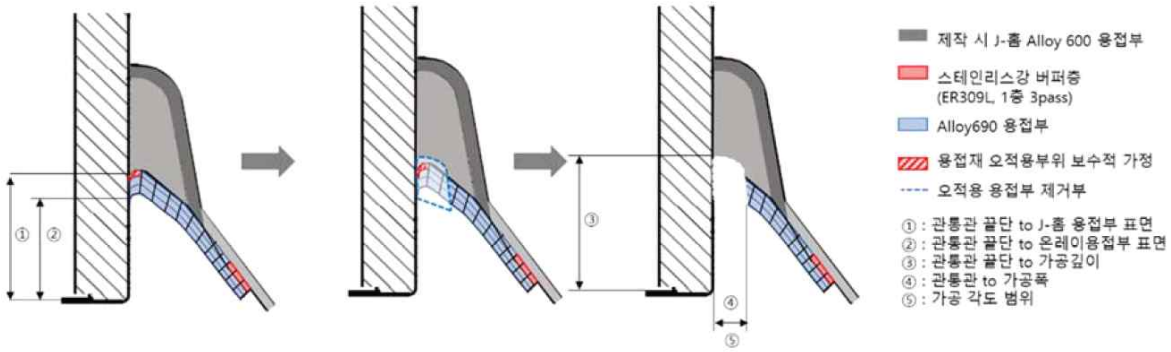
❑ 성분분석 방법

○ 성분분석 대상 부위 가공

버퍼층 가공 계획



덧씌움/밀봉 용접 초층 가공 계획



○ 레이저 분광기 및 델타페라이트 측정기를 통해 성분 분석

❑ 재질 분석 장비 검증을 위한 표준시험편

○ 표준시험편(스테인리스강 316, 니켈합금 Inconel-718)에 대한 성분분석 결과가 표준시험편의 사양(Specification)을 만족함을 현장입회로 확인

❑ 표준시험편을 통한 재질 분석 장비 검증

○ 모사 용접부의 덧씌움층 및 버퍼층에서 확보한 시험편(금속칩)에 대해 5회의 걸친 성분분석 값의 신뢰도 확인

붙임 5 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 6 수동용접 오류 및 확인불가 사례

❑ 기계용접용 용접재 사용 또는 확인 불가

○ 수동용접중 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 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 7 가이드콘 용접 적절성 확인 사항

❑ 가이드콘 용접절차시방서

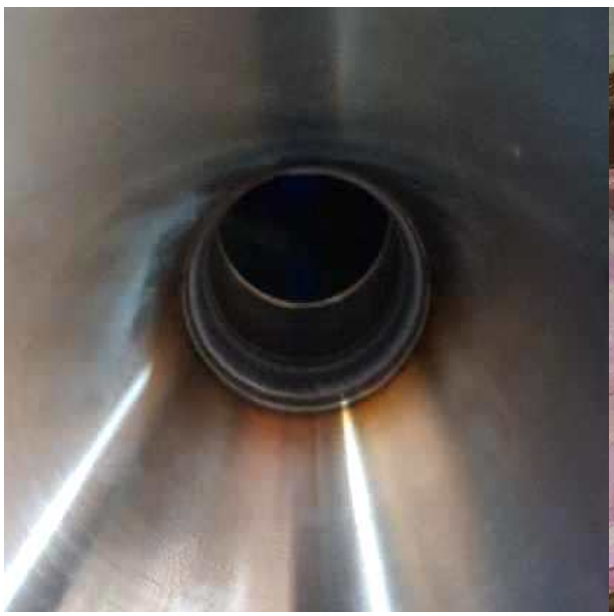
○ 가이드콘 용접 시 용접 패스(pass) 수(數)가 별도로 규정되어 있지 않으며 작업 절차서에도 별도 지침 없음을 확인

가이드콘 용접절차시방서(A-T-0808-590)

기법 TECHNIQUE (QW-410)			
토치 직경 혹은 가스컵 크기 Orifice or Gas Cup Size (mm)	I.D 6-20		
콘텍트 튜브와 용접물간 거리 Contact Tube to Work Distance (mm)	N/A		
진동 Oscillation	None		
직선 혹은 위브 비드 Stringer or Weave Bead	직 선 ☑Stringer		위브 ☐Weave
청정 방법 Method of Cleaning	브라싱 ☑Brushing	치핑 ☑Chipping	그라인딩 ☑Grinding
단극 혹은 다극 Single or Multi.Electrode	단극 ☑Single		다극 ☐Multi.
백가우징 방법(If Req'd) Method of Back Gouging	아크에어가우징 후 그라인딩 ☐Arc Air Gouging		그라인딩 ☑Grinding
다층 혹은 단층(한면당) Multi or Single Pass(per side)		다층 ☑Multi.	단층 ☑Single
피닝 Peening		☐있음Yes	☑없음None

❑ 가이드콘 모의시험(Mock-up)을 통한 단일패스 용접 시공성 확인

○ 가이드콘 설치 모의시험 시 단일패스 용접으로 용접 홈이 완전히 채워짐이 확인





붙임 8 용접사 기량 재검증 시 부정행위 방지 대책

❑ 용접사 기량 재검증 시 적용된 주요 부정행위 방지 대책

○ 공간분리 및 출입관리시스템 운영

기존	개선 후
	 

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

○ 관리감독 강화

- 감독관을 2인 1조로 편성하여 시험기간 동안 상주

○ 동영상 촬영

- 용접사 기량 재검증 시 용접 과정을 촬영

응시자 식별 방안



붙임 9 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 미흡하여, 용접재 적용오류가 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	품질검사원
		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	NX4226TK								
41	버퍼층(S/S)	8/6	6:15	HA8962								
	덧씌움(Alloy690)	8/6	9:55	NX4226TK								

○ 용접단계를 분리하여 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 수동용접의 경우 공정관리문서(Quality Plan & Traveler)와 절차서에 규정되지 않았음

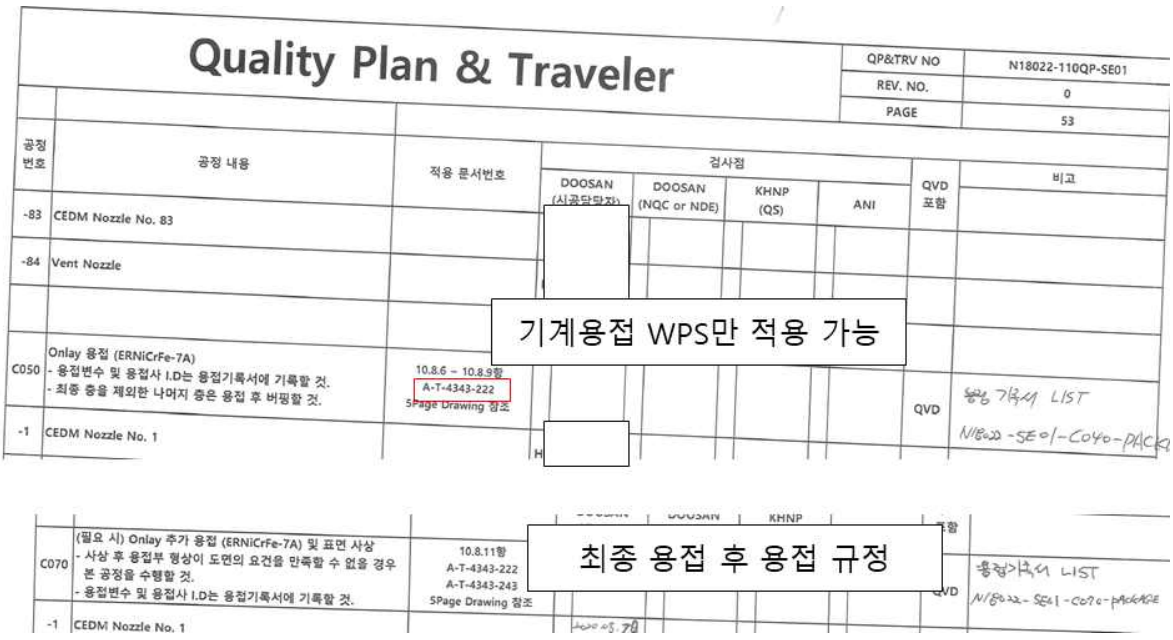
- 해당 수동용접의 용접기록서가 작성되지 않음
- 공정관리 문서 및 절차서에는 최종 용접 후 용접부 표면에 대하여 사상 및 용접을 수행하는 행위('20.8.13. 이후 수행된 수동용접)만 규정

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 수동용접이 공정관리문서에 규정되고 용접기록서가 작성되도록 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.

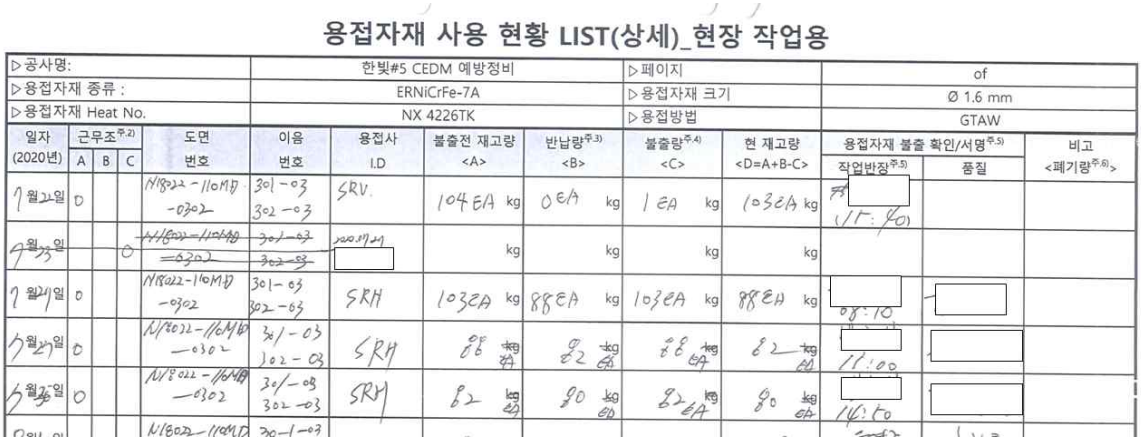
10.8.13. 용접장비의 토치를 용접 시작 지점에 위치시키고 원자로헤드 내면을 따라 간섭 없이 이동할 수 있는지 점검한다. 점검이 종료된 후 N18022-110MD-0103 및 용접절차시방서(A-T-4343-222)의 변수에 따라 Onlay 1층 용접을 수행한다. ☐

❑ 기계용접 전/중 수동용접의 용접재 불출 관리 미흡

○ 영상으로 확인된 기계용접 전/중 수행된 수동용접에 대한 수동용접재 불출기록을 점검한 결과 수동용접재 불출기록이 없이 수동용접재를 사용하여 용접이 수행된 사례가 확인

○ 용접재의 반입/반출 관리가 강화되도록 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[주.2] A	B	C	도면 번호	이음 번호	용접사 I.D	불출전 재고량 <A>	반납량[주.3] <B>	불출량[주.4] <C>	현 재고량 <D=A+B-C>	용접자재 불출 확인/서명[주.5] 작업반장[주.5]	품질	비고 <폐기량[주.6]>
7월 2일	D			NI8022-110MD -0302	301-03 302-03	SRV	104 EA kg	0 EA kg	1 EA kg	103 EA kg	(11:40)		
~~7월 3일~~			O	~~NI8022-110MD -0302~~	~~301-03 302-03~~	200.07.31	kg	kg	kg	kg			
7월 4일	D			NI8022-110MD -0302	301-03 302-03	SRH	103 EA kg	88 EA kg	103 EA kg	88 EA kg	08:10		
7월 27일	D			NI8022-110MD -0302	301-03 302-03	SRH	86 kg EA	82 kg EA	86 kg EA	82 kg EA	11:00		
7월 28일	D			NI8022-110MD -0302	301-03 302-03	SRH	82 kg EA	80 kg EA	82 kg EA	80 kg EA	14:50		
				NI8022-110MD	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

영상으로 확인된 수동용접과 수동용접재 불출기록 비교 결과		
관통부번호	수동용접일시	수동용접재 불출기록 여부
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 불일치가 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

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

비드번호	온도 (°C)	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	②
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	②
13	32	160	14	90	QFB	②
14	39	160	14	90	QFB	②

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(Filer) 종류	ERNiCrFe-7A (Heat No. : NX4226TK)
용가재(Filer) 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

한국수력원자력㈜	표준절차서		개정번호 : 06
	표준정비-4022	가동원전 보수/교체 프로그램	쪽번호 : 33/69

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]								Pag
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 10 비파괴검사 상세검토 결과

❑ 비파괴검사 불합격에 대한 불일치보고서(NCR) 발행 여부

○ (점검방법) NCR 검토

○ 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 1.6mm 초과, 원형지시 4.8mm 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

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

○ 변경된 규격(합격기준)은 한빛5호기 건조기술기준으로서, 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

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

붙임 11 영상관리 개선안

❑ 안전등급 보수교체 용접 동영상 녹화 관리 표준지침 개발

영상 식별 관련 개선안

7.2.2 영상녹화 식별능력

> 주의사항
>
> 비디오카메라 조작(줌인, 줌아웃 등) 영상녹화 사각지대가 발생하지 않도록 주의하여 조작한다.

1) 녹화 대상물에 대한 영상녹화 식별능력은 카메라 최초 설치, 이동 설치 시 붙임 8.1의 동영상 녹화 식별능력 점검표를 식별 가능하여야 한다.

2) 용접작업이 12시간 이상 지속될 것으로 예상되는 경우 영상녹화 화면에 녹화 일자 및 시간이 표시되고 저장되어야 하며, 표준시간 동기화를 점검한다.

7.2.3 영상녹화 대상물 식별 표시

1) 용접부 번호 또는 기기·부품번호를 개별적으로 부착

2) 용접자재는 색상이 있는 꼬리표 또는 스티커 등을 부착(SMAW의 피복용접봉은 캐니스터 단위로 식별 부착)

3) 용접사는 자격부여 ID를 몸체 등에 부착(조끼 착용 등)

영상 손실 방지를 위한 개선안

7.4.2 작업 중 영상 녹화상태 점검관리

1) 공사·용역 수행업체의 영상녹화 관리자 또는 담당자는 1일 점검주기로 작업 중 녹화상태를 점검한다.

2) 점검내용은 비디오카메라 설치 상태(설치위치 임의변경 여부 등), 녹화 대상물 식별표식 준수, 영상녹화 식별능력 유지, 저장매체 잔여 용량 및 교체 필요유무 등을 붙임 8.3의 작업 중 동영상 녹화 상태 점검표 양식에 따라 점검한다.

3) 저장매체 사용용량이 70%를 초과 하였거나, 또는 잔여 저장용량이 24시간 이상이 되지 않아 충분한 잔여여유가 없는 경우 저장매체를 교체한다.

4) 공사·용역 수행업체는 점검결과 동영상 녹화관리 계획서 대비 불만족사항이 확인되면 용접작업을 중지하고 즉시 한수원 감독부서에 구두 보고 및 구두 보고 후 12시간 이내 상세 서면 보고한다.

붙임 12 건전성 추가 확보 방안 및 검토 결과

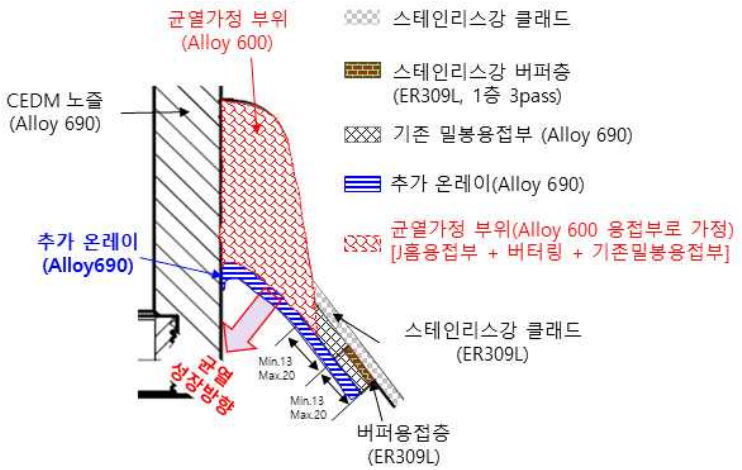
❑ 건전성 추가 확보 방안 (한수원)

○ (확보방안) 모든 관통관에 추가로 2개층(Alloy690)을 보강용접

○ (평가방법) 기존 용접부 전체를 균열로 가정하고 응력 작용에 따라 균열이 성장하여 보강용접을 관통하는데 소요되는 기간을 평가

- 평가 대상: 원자로 최외곽 관통관
- 고려된 응력: 보강용접 전 잔류응력 및 설계시방서에 따른 과도조건 (발전소 기동/정지)
- 보강용접 두께: 모의시험을 통해 측정

보강용접 및 가정 균열 형상



❑ 검토 결과 (KINS)

○ (평가방법) 해석적 평가의 가정 사항은 타당

- 균열성장 평가방법은 승인된 대체적용신청과 동일
- 최외곽 관통관에 큰 응력이 작용하므로 평가 대상 선정은 타당
- 보강용접에 의한 응력변화는 크지 않고 기존에 보강용접 전에 고려한 응력값이 보수적이므로 고려된 응력은 타당

○ (평가결과) 가장 보수적인 조건*에서 보강용접이 관통되는데 최소 6.1년 동안 유지되므로 최소 6.1년 동안 밀봉기능이 유지

* 설계시방서의 발전소 기동/정지 빈도는 실제 기동/정지 빈도의 약 8.9배이며, 보강용접 두께는 모의시험에서 측정된 최소값 사용

참고 1 용어 설명

○ Alloy600 : Alloy600은 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 : Alloy690은 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

○ 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 : 버퍼층 용접은 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 용접사 및 자동용접사가 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 Thermo Couple)용 2개, 배기용 1개로 구성됨