

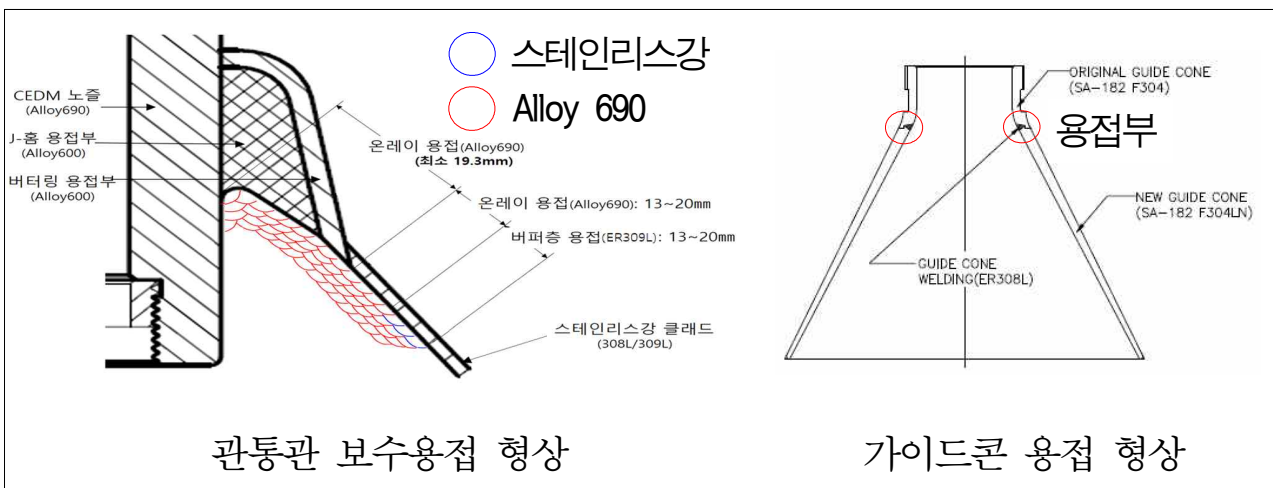
기 타 보 고

한빛 5호기 원자로헤드 부실정비 의혹규명 특별점검 현황 및 향후계획(안)

I

개요

- 민원인은 원안위 읍부즈만 및 언론기관 등에 제보를 통해 다음과 같은 한빛5호기 원자로헤드 부실정비 의혹 제기
- 기 확인된 원자로헤드 관통관 69번 용접재료 사용 오류* 외에도 Alloy 690 재질로 용접해야 하는 부위에 스테인리스 용접재료(ER309L) 사용
 - * '20.7.25.~7.26. 원자로헤드 관통관 69번에서 Alloy 690 재질로 용접해야 하는 부위에 스테인리스 용접재료가 사용된 것을 발견
 - 용접사 선발 과정에서 관리감독이 부실한 틈을 타 대리시험(부정행위) 실시
 - 관통관 끝단 가이드콘 제거 후, 재부착 과정에서 작업계획서와 다르게 1 패스(pass)로 용접 시공



- '20.10.30일 부실정비 범위 및 의혹 규명을 위해 특별점검팀 구성
- KINS 부원장을 팀장, 원자력안전본부장을 부팀장으로 하고, 검사단장 등 관련 분야 전문가 위주로 20명 규모로 점검팀 구성

II

경위

- 한수원 계획예방정비 착수부터 KINS 특별점검팀 구성까지의 경위
- '20.4.5. 한수원, 제13차 계획예방정비 착수
 - '20.4.22. 한수원, 관통관 49번이 위치한 원자로헤드 표면에서 봉산 석출 확인
 - '20.5.19.~6.18. 한수원, 비파괴검사(액체침투탐상검사) 결과 총 35개 관통관 용접부에서 합격기준¹⁾ 초과 결함지시 검출
 - '20.6.19.~9.10. D업체(시공사)/E업체(하도업체), 합격기준 초과 35개 관통관 용접부 보수용접 및 기타 49개 관통관 예방용접 진행²⁾
 - '20.7.25.~7.26. D업체(시공사)/E업체(하도업체), 57개 관통관에 대한 용접 작업을 완료하고 관통관 69번에 대한 용접작업 중 용접오류 확인
 - '20.7.27. 한수원, 원안위 지역사무소에 용접오류 보고
 - '20.7.29. 한수원, 기 시공한 57개 관통관 용접부에 대한 전수조사 결과를 원안위 지역사무소에 보고*
 - 녹화영상을 통해 버퍼층(완충부위) 용접 후 작업자가 용접자재를 스테인리스(ER309L)에서 Alloy 690 재질로 교체하는 과정 확인
 - 용접부 성분분석(PMI 측정³⁾, Ferrite값 측정⁴⁾) 결과, 기 용접한 관통부 57개소는 Alloy 690 재질을 사용하여 정상적으로 용접
 - '20.7.28.~7.29. KINS 담당검사원, 한수원 용접오류 원인 조사 결과, 57개 관통관 전수조사 결과 및 재발방지대책 확인
 - '20.7.29. 원안위 지역사무소, KINS 조사결과 확인 후 한수원에게 관통관 69번 재시공 및 잔여 관통관 용접작업 재개 허용
 - '20.10.29. 연합뉴스 최초 보도
 - '20.10.30. KINS 특별점검팀 구성
 - '20.11.1. 원안위 옴부즈만(이OO 변호사) 제보 확인

1) ASME Code Sec. III NB-5352 합격기준 : 선형지시 ≤ 1.6 mm, 원형지시 ≤ 4.8 mm

2) 한빛 5호기 원자로헤드에는 제어봉안내관 81개, 열전대안내관 2개 및 배기관 1개 포함 총 84개 관통관이 PWSCC(일치수용력부식균열)에 취약한 Alloy 600 계열의 용접재를 사용하여 설치되어 있음

3) PMI(Positive Material Identification) 측정 : 합금재질분석기를 이용하여 Ni, Cr 성분 측정

4) Ferrite값 측정 : 스테인레스강에 포함된 Ferrite 측정 상수 지시, 0일 경우 Alloy 690

Ⅲ

점검 현황

- 금번 특별점검에서는 원자로헤드 분리 시점을 기준으로 2단계로 구분하여 용접공정, 용접사 자격, 용접 품질관리에 대해 점검 중
- (1단계 점검) 원자로헤드 분리 전, 용접작업 CCTV 녹화기록 검토, 용접사 기량 재검증, 용접 품질관리 상태 점검 등 수행 중
 - (2단계 점검) 원자로헤드 분리 후, CCTV 녹화기록 이상 관통관 용접부 성분분석, 가이드콘 용접부 현장 점검 등 수행 예정
- 점검 현황(1단계 점검 진행 중, 2단계 점검 수행 예정)

점검 항목	확인 사항	세부점검 계획	점검현황
용접 공정	용접재료 오적용 여부	CCTV 녹화기록 독립 검토 (용접재료 변경 구간, 용접층 변경구간 집중점검)	<ul style="list-style-type: none"> - (완료) 주요구간 위주로 확보된 CCTV 녹화기록 1차 검토 - (수행 중) 전체 구간에 대해 확보된 CCTV 녹화기록 2차 검토 - (수행 예정) CCTV 녹화기록 추가 확보 시 해당 영상 검토
		녹화기록 이상부위 서류 비교검토 (작업 일보/감독일보, 작업 단계 별, 용접부위별 기록 확인)	- (수행 중) CCTV 녹화기록 및 관련 서류 비교 검토
		CCTV 기록 및 서류 이상 관통관 용접부 성분 분석 독립수행	- (수행 예정) 원자로헤드 분리 후 수행
	가이드콘 용접 적절성	용접관련 시방서 및 용접기록 검토	<ul style="list-style-type: none"> - (완료) 시방서 상 요건 확인 - (수행예정) 원자로헤드 분리 후 가이드콘 용접부 현장 점검

점검 항목	확인 사항	세부점검 계획	점검현황
용접사 자격	용접사 자격검증	자격검증관련 서류 검토, 필요시 참여 용접사 인터뷰 및 기량 재확인	<ul style="list-style-type: none"> - (완료) 자격인정 관련 서류 검토 - (완료) 한빛 5,6호기 용접사 훈련, 자격인정 계획 및 상세공정 검토 - (수행 중) 한빛 5호기에 참여한 용접사의 자격인정 서류검토 - (수행 예정) 한빛 5호기 참여 용접사 기량 재확인
용접 품질 관리	용접기록 및 품질관리 상태	용접 동영상, 기록 적정성 등 용접 품질 관리 상태 전반 점검 용접업체, 두중 및 ANI 관리·감독 점검	<ul style="list-style-type: none"> - (수행 중) 69번 관통관 용접오류 발 견 후 재발방지 대책 이행상태 검토 - (수행 중) 용접 관련 기록 검토 - (수행 중) 용접사 자격인정 과정 - (수행 중) 관리·감독 상황 점검

IV

중간 점검결과

□ 용접공정

- 용접재료 적용오류 여부를 확인하기 위해, 용접과정을 녹화한 CCTV 기록 독립검토
 - 1차 검토에서는 용접재료 변경이 이루어져야 하는 구간과 용접층이 변경되는 구간을 집중점검 (완료)
 - 2차 검토에서는 전체 녹화기록 검토 중 (11.26.까지 58개 검토 완료)

분류	이상없음	오용접 확인*	추가확인 필요**	녹화기록 미확보***	계
수량	57	2	9	16	84

* 보수용접 또는 예방용접 부위에 스테인리스(ER309L) 용접봉 사용

** 버퍼층 용접에 ER309L 사용이 확인되지 않는 경우(8개), 예방용접에 Alloy 690 사용이 확인되지 않는 경우(1개)

*** 한수원은 미확보(지워진) 영상에 대한 복구작업을 수행 중

- CCTV 녹화기록 이상 부위(화질 불량, 카메라 각도 불량, 녹화기록 미확보 등) 서류 검토
 - CCTV 녹화기록으로 용접재료 적용오류 여부의 판단이 어렵거나 녹화기록이 미확보된 관통관 용접부에 대하여 관련 서류 검토 중
- 가이드콘 용접 적절성을 확인하기 위하여 관련 도면 및 절차서 등 확인
 - 서류검토 결과, 용접 패스는 단층, 다층 모두 가능하므로 작업 공정상의 문제는 없음을 확인
 - 해당 부위 용접품질의 적절성은 원자로헤드 분리 후 점검 예정

☐ 용접사 자격

- 한빛 5호기 원자로헤드 관통관 보수작업을 수행한 용접사에 대한 인터뷰를 진행 중이며, 기량 재검증 수행 예정
- 한빛 6호기 용접사 자격인정은 10.26.부터 6주간 계획되어 있었으나 현재 중단된 상태

☐ 용접 품질관리

- 용접 품질관리 상태를 확인하기 위하여 용접 및 품질관리 기록, 관통관 69번 용접오류 확인 후 재발방지 대책 이행상태 점검 중
 - 재발방지 대책 수립 후 수행된 용접부에서는 초층 용접 시 용접재료 적용오류가 발생하지 않음

V

향후 점검 계획

☐ 1단계 점검 중 미완료 항목

- 전체 구간에 대해 CCTV 녹화기록 독립검토
- 용접사 인터뷰 및 기량 재검증
- 용접 품질관리 관련 전반적인 사항 점검

☐ 2단계 점검(원자로헤드 분리 후 수행) 예정 항목

- CCTV 및 서류검토 결과 용접재료 적용오류 의심부위 화학성분 분석
- 가이드콘 용접부 현장점검

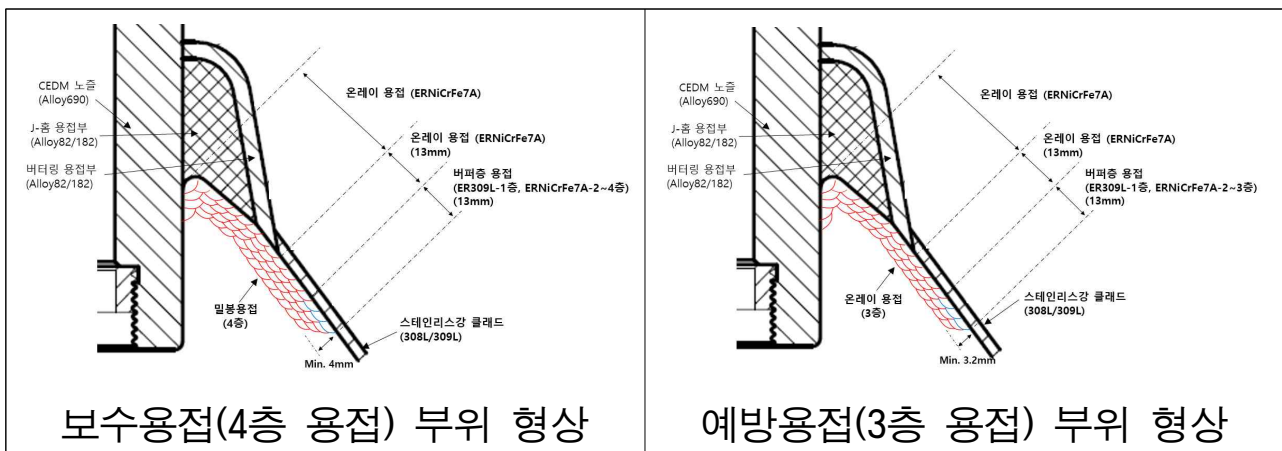
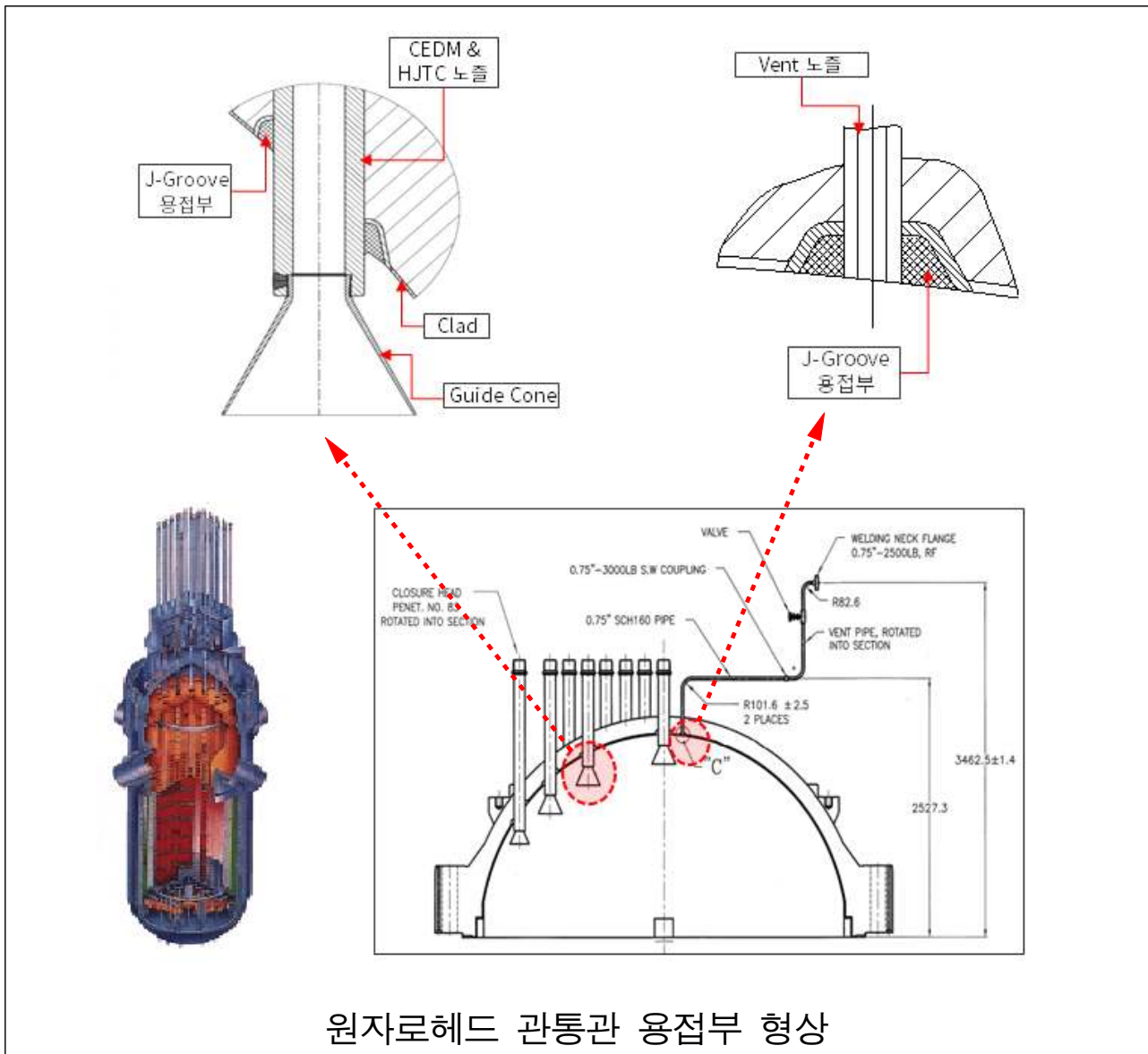
☐ 재발방지대책 및 후속조치 계획 검토

- 용접재료 적용오류 재발방지를 위한 개선대책 검토
- 용접재료 적용오류 부위 보수작업, 건전성평가 등 후속조치 계획 검토
- 용접사 자격관리 체계 개선대책 검토

참고

원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 용어 설명

□ 원자로헤드 관통관 용접부 형상 및 정비부위 개략도



□ 용어 설명

- Alloy 600 : Alloy 600은 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
- Alloy 690 : Alloy 690은 Alloy 600 소재가 1차 냉각수 응력부식균열에 다소 취약하여 개발한 니켈 베이스 합금으로, Alloy 600과 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
- 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 용접재료로 스테인리스강(308L/309L)이 사용되었음
- 용접 절차 시방서(WPS, Welding Procedure Specification) : 건조 규격에 따라 용접사 및 자동용접사가 용접을 실시하는데 필요한 절차 및 지침을 제공하는 문서
- 용접공정(Welding Process) : 용접 절차 시방서에 따라 수행되는 용접 과정으로 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding) 등 다양한 용접 공정이 있음

- 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 Alloy 690 (ERNiCrFe-7A) 용접 경계부에 용접하는 기법
- 온레이(Onlay) 용접 : 일차수응력부식균열의 예방 또는 보수를 위해 일차수응력부식균열에 민감한 소재의 표면(1차 냉각수 접촉 표면)에 덧살 용접을 수행하는 기법
- 보수용접(밀봉용접) : 원자로 상부헤드 관통관 및 용접부에서 발생된 결함의 보수 방법으로 중 일차수응력부식균열 저항성이 높은 용접재료를 사용하여 응력부식균열에 민감한 Alloy 600 부분을 덮어주는 보수방법
- 버터링 용접부 : 맞대기 용접을 할 때 모재에 미치는 열영향을 방지하기 위하여 용접 홈 표면에 다른 종류의 용접금속으로 덧살 용접을 하는 기법
- 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
- 가이드 콘(Guide Cone) : 원자로헤드와 제어봉구동장치의 연장봉 집합체를 조립할 때 좁은 내경의 제어봉구동장치 노즐을 통과할 수 있도록 안내하는 장치