

중·저준위방사성폐기물 유리화원형설비의 시운전 수행결과 및 경험

최종서, 이충상, 지민기, 송인성, 강병광
 현대로템주식회사, 서울특별시 서초구 양재동 231번지
pung123@hyundai-rottem.co.kr

1. 서론

시운전은 건설에서 운전으로 이행되는 중간과정으로 설계 및 시공요건에 따라 제반설비가 적절히 설치되었는지 성능을 확인하고, 향후 원활한 운영을 위한 최적운전조건을 도출하는 것이다. 이 과정에서 해당설비의 본격적인 운전시 예상되는 문제점을 적기에 발견하여 개선 조치함으로써, 관련 인허가 취득 및 준공 후 안전운전을 확보할 수 있다[1].

유리화원형설비의 시운전은 크게 3단계로 구분할 수 있는데, 1단계는 단위기기 및 계통기능시험, 2단계는 가동전시험이며, 최종단계는 성능시험이다. 본 논문에서는 최종 성능시험의 원활한 수행을 위하여 필수적인 1단계 및 2단계 수행시의 결과 및 경험에 대하여 기술함으로써, 본 설비 및 유사 처리플랜트의 시운전에 도움이 되고자 하였다. 또한 시운전 수행을 위한 준비 단계로써 각종 절차서 작성, 조직구성 및 계통인계·인수 절차에 대해서도 함께 기술하였다.

2. 본론

시운전 준비단계에서는 시운전을 위하여 필요한 시운전 단계별 역무구분, 계통구분, 절차서 구성, 수행조직, 품질관리방안 등을 설정하고, 이를 시행할 수 있도록 세부 절차서를 작성하였다. 유리화설비의 계통 구분은 각 구성계통의 기능, 연관성 등을 고려하여 28개 계통으로 구분하였다. 수행 기본방침은 시운전계획서[1]에 정리하였고, 이를 바탕으로 시운전관리절차서(19건), 성능시험 절차서(2건), 종합운전절차서(1건) 등 총 111건의 절차서를 개발하였다. 각 절차서는 기존 원자력 발전소 시운전시험절차서의 구성을 준용하되, 유리화설비의 특성을 고려하여 작성하였다. 또한 전체 계통을 기동하는 2, 3단계 시험의 경우 시험계획서를 수립하였으며, 시험 수행 후 각 단계별 결과보고서를 작성하였다. 시운전 수행조직은 1단계 단위기기 및 계통기능시험과 2단계 가동전시험의 경우 한수원의 감독 하에 주계약사인 현대로템에서 수행하였으며, 3단계 성능시험은 한수원 주관 하에 현대로템에서 기술 및 인력지원을 하였다. 시운전요원은 사전 교육프로그램에 따라 자격부여자에 한하여 투입하였다. 시운전 각 단계별로 시운전관리절차서 및 품질검사계획서(Quality Plan)에 따라 현대로템, 한수원의 품질요원 임회검사를 수행하였고, 항목에 따라 규제기관의 입회 검사도 함께 이행하였다. 시운전 중 발생하는 문제사항의 해결을 위한 도구로는 부적합사항보고서(Non-Conformance Report), 설계변경서(Design Change Notice), 시운전 현장보고서(Start-up Field Report), 편치리스트로 사안에 따라 적용, 관리하였다.

유리화설비의 각 계통별 인계·인수는 건설마감반 구성, 계통별 인계·인수서류 작성, 현장실사를 거쳐 미결사항을 확인 후, 한수원 및 현대로템의 시공, 시운전 및 품질조직의 서명을 받아 시공관 할에서 시운전 관할로 해당 계통을 인계하였다. 이때 인수한 계통은 절차서에 따라 녹색꼬리표로 구분하였다.

단위기기시험 및 계통기능시험 수행을 위하여 우선 수전, 발전소 유틸리티 공급, 세정수 배수계획이 필요하였는데, 기 운영 중인 발전소로부터의 공급조건임을 고려하여 표1 과 같이 수행하였다.

단위기기시험에서는 기계, 전기 및 계장의 각 분야별 단위기기가 정상적으로 작동되는지 확인하며, 계통기능시험은 28개의 각 계통별로 해당 절차서에 따라 정상적인 기능을 나타내는지 확인하였다. 특히, 유리화설비 고유의 핵심설비인 HFG(High Frequency Generator)로 CCM(Cold Crucible Melter)[2]을 최초로 가열할 경우, CCM 내부를 비운 상태에서 blank test를 하여야 한다. 출력을 40kW에서 최대 160kW까지 점차적으로 증가시켰으며, 이 시험에 성공한 후 유리조성체와 점화원 역할을 하는 티타늄링을 장전하여 초기유리용융시험을 수행하였다. Blank test는 2회를 수행하였고, 고주파 케이블 및 주변 절연체의 건전성을 확인하였다. 3회의 초기유리용융시험을 통하여 유리용융 개시까지 티타늄링의 건전성을 유지시키기 위한 가열조건을 확인할 수 있었으며, CCM 내부온도 측정용 열전대(thermocouple) 신호처리카드의 유도전류에 의한 영향을 파악하여 관련 Junction Box를 유도가열지점으로부터 적정 이격거리를 유지하도록 조치할 수 있었다. 세정 시험의 경우, 사용유체는 탈염수를 사용하였으며, 산소, 암모니아, 등유, 가성소다 및 화재방호계통은 해당 유체의 특성을 고려하여 계기용 공기를 사용하였다.

표 1. 수전, 유틸리티 공급 및 세정수 배수 조치요약

번호	구분	주요 내용
1	수전	<ul style="list-style-type: none"> “전원가압 추진 및 운영” 계획 수립 480V Load Center(LC) 최초 전원가압용 제어전원(RWB 직류 125V)확보 울진5호기 Switch gear 차단기(수전지점) 시험 완료 LC관련 시공상태 재확인(전기기기, 케이블 및 단말, 접지설치 검사보고서) 지시계기 및 변환기시험, 회로시험 등 관련 절차서 7종에 따른 시험 완료 LC의 Transformer 및 Bus 가압
2	발전소 유틸리티 공급	<ul style="list-style-type: none"> 발전소 공급 유틸리티(원수, 탈염수, 계기용/작업용 공기, 질소)의 공급량 및 사용조건 재확인(설계단계에서 기 반영완료) “임시사용신청” 절차에 따라 공급받아 사용개시
3	세정수 배수	<ul style="list-style-type: none"> 유리화설비 설치구역이 비방사성관리구역(청정구역)임을 고려, 발생한 세정수 전량을 별도의 이동형 집수조에 저장, 방사능 농도 확인 후 6호기 터빈건물 외곽 wastewater pond로 배수

가동전시험은 기기 및 계통시험 종료 후 성능시험을 착수하기 전 비방사성 모의폐기물을 투입하여, 유리화설비 전체 공정의 정상운전상태 및 안정성을 확인하기 위하여 수행한다. 가동전시험 수행 전 계통시험과 가동전시험의 중간단계로서 배기체계통 기능시험을 수행하였다. 이는 가동전시험 전 배기체 처리계통의 운전상태를 사전확인하고, 불완전연소물을 제거하기 위하여 1,100℃로 운전하는 PCC(Post Combustion Chamber) 내부의 내화물 건조를 목적으로 한다. 가동전시험은 총 6회가 수행되었으며 이 과정에서 유리 재용융(CCM 내 상온상태의 잔여 유리고화체가 있는 상태에서 재점화하여 유리용융) 확인, 질산화물(NOx)처리계통 정상화, 설계기준 대비 배기체 유량 조절, 고효율미스트제거기 차압특성 확인 및 재장전, 폐기물 투입계통 개선 등을 수행, 발생한 문제점을 즉시 조치하면서 시험을 병행하였다. 이 결과 여섯 번째 최종 가동전시험에서는 약 28시간 동안 설비를 연속기동하여 잡고체폐기물 180.1kg, 폐수지 26.5kg, 유리조성체 24.16kg(초기장전 70kg)을 투입, 원활하게 처리하였으며, 40kg의 용융유리를 배출함으로써 전체계통의 건전성 및 안정성을 확인하였다. 이들을 요약하면 아래 표 2와 같다.

표 2. 기기·계통시험 및 가동전시험 역무 요약

구분	절차서	주요 내용
단위기기	기계분야	5건 밸브시험, 펌프시험, Fan점검 등 1,089개 물량 시험수행
	전기분야	18건 차단기시험, 전동기시험 등 451개 물량 시험수행
	계장분야	19건 제어밸브 교정, 루프테스트 등 689개 물량 시험수행
계통별 시험	세정	17건 원전 유체계통 및 관련기기 세정품질요건(KEPIC QAP-2 II.1) 적용
	계통기능	28건 계장계기 회로점검, 인터록조건 및 동작확인, 현장기기와 제어실 간 각종 신호확인, 구성기기 동작 및 제어상태 확인 등
가동전시험	2건	6회의 시험 수행

3. 결론

중·저준위 가연성 방사성폐기물을 처리대상으로 하는 유리화설비의 시운전을 국내에서는 처음으로 성공적으로 수행 하였으며, 그 주요 내용을 요약하였다. 유리화설비의 특성 및 현장여건을 고려한 시운전 준비작업을 통하여 111건의 절차서를 개발하였으며, 원자력발전소의 품질보증기준에 준하여 품질관리를 하였다. 계통인계·인수, 수전, 발전소 유틸리티 공급, 세정수 배수계획 등을 거쳐, 2,229개의 물량에 대한 단위기기사험을 수행하였다. 45건의 절차서에 따라 계통별 시험(세정 및 계통기능시험)을 수행하였으며, 6회의 가동전시험을 통하여 유리화 전 계통에 대한 정상 운전 조건, 건전성 및 안정성을 확인하였다.

금번 시운전 수행을 통하여 설계, 기자재 제작/구매 및 설치 단계에서의 문제점들을 확인 및 조치할 수 있었으며, 추후에는 이러한 값진 경험을 자료화함으로써 후속건설사업의 시행시 설계 및 제작단계에서부터 문제점을 미연에 방지할 수 있도록 고려가 필요하다. 이를 통하여 사업공정도 보다 체계적으로 최적화 수행이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1]. 현대로템, 한수원, 울진유리화설비 시운전계획서(V-081-MY400-001), (2007)
 [2]. 한수원, 중·저준위방사성폐기물 유리화원형플랜트개발(II) 최종보고서, (2008)