

# 이터 AC/DC 컨버터 시스템 건설완료검사 계획

송인호, 오종석  
한국핵융합에너지연구원

## ITER AC/DC Converter System Construction Completion Review Plan

Inho Song, Jong-Seok Oh  
Korea Institute of Fusion Energy

### ABSTRACT

이터(ITER) 핵융합 실험장치는 남프랑스 카다라쉬에 건설되고 있으며 유럽, 중국, 인도, 러시아, 미국, 일본 및 한국이 공동으로 참여하여 이터 토카막 실험장치를 위한 시스템을 공급하고 있다. 한국은 초전도 도체, 진공용기, 블랭킷 차폐블록, 열차폐체, 삼중수소 시스템, 초전도자석 전원공급장치 등의 조달을 책임지고 있으며, 이 중 초전도자석 전원공급장치 프로젝트는 전체 500MVA 설치용량의 싸이리스터 AC/DC 컨버터를 설계, 제작, 시험, 운송, 설치 및 시운전을 하여 이터에 공급한다. 현재 모든 AC/DC 컨버터 시스템이 프랑스 현지에서 도착되어 설치가 진행되고 있으며, 설치완료 후 건설완료검사(Construction Completion Review)와 전기안전검사(Legal Inspection)를 마친 후에 시운전을 시작하게 된다. 건설완료검사를 위해서는 설계문서, 설치도면, 설치문서, 설치규격 등 관련 문서를 제출해야 하며, 문서 및 도면의 검토와 설치 완료된 AC/DC 컨버터의 현장실사로 진행된다. 건설완료검사의 중요한 요건 중 하나인 전기안전검사는 프랑스의 국내 법규에 따라 제3의 기관에 의해 검사가 수행되며 사용승인을 얻어야 한다. 본 논문에서는 적기에 전원장치의 시험이 이루어지도록 하기 위하여 필요한 건설완료검사를 위한 절차, 준비문서 등에 관하여 논하고자 한다.

### 1. 서론

이터 초전도자석 전원공급시스템은 크게 두 부분으로 구성된다. 전체 설치용량 1.6GVA의 AC/DC 싸이리스터 컨버터와 최대 약 50GJ의 에너지를 소비할 수 있는 스위칭 시스템으로 구성되어 22개의 초전도자석에 플라즈마 제어시스템에서 요구되는 전류를 공급하며, 켄치 및 이상 상황 발생 시에 초전도자석을 보호한다. 대용량 스위치와 저항으로 구성된 초전도자석 보호장치는 러시아에서 공급하며, PF(Poloidal Field) 전원장치와 750MVA의 무효전력 보상장치는 중국이 공급한다. 한국은 TF(Toroidal Field), CS(Central Solenoid), CC(Correction Coil), VS(Vertical Stabilization) 전원장치와 전원장치의 시험 및 유지보수를 위한 Dummy load를 공급한다. 또한 전체 32대의 전원장치의 통합제어와 상위 제어시스템과의 인터페이스, 특히 플라즈마 제어시스템과의 실시간 통신을 통한 제어를 담당하는 Master Controller를 공급하는데 현재 설치를 완료하여 저전압 시험을 위한 전기안전검사를 준비 중이다. 최근에 TF

변압기 및 전원장치가 운송 및 설치되어 18대의 전원장치가 모두 프랑스 현장에 설치되었다. 현재 92%의 설치공정률을 보이고 있으며, 케이블 작업이 진행되고 있다. 그림 1은 전원동 33에 설치된 전원장치의 모습을 보여주고 있다.



그림 1 전원동 33 북측 전원장치 설치사진  
Fig. 1 The photo of site installation in magnet power conversion building 33

## 2. AC/DC 컨버터 건설완료검사

### 2.1 건설완료 검사

AC/DC 컨버터 시스템의 설치완료 후 건설완료검사와 전기안전검사를 수행하며, 최종 승인을 얻은 후에 전원인가와 시운전을 착수하게 된다. 이터 내부 절차문서인 'WI(Working Instruction) for Construction Completion Review and Turnover to Commissioning'에 건설완료검사를 진행하기 위한 절차와 문서 등을 정의하였다.<sup>[1]</sup> 한국사업단의 전원장치기술팀과 이터의 코일전원장치팀, 건설관리팀, 시스템 통합팀, 운전팀이 참여하여 AC/DC 컨버터 시스템의 제작 및 설치관련 문서 검토와 현장확인, punch list 작성 및 해소, 최종결과를 검토한다. 운전팀에서 승인을 얻은 문서들은 유지보수 데이터베이스에 저장된다.

### 2.2 건설완료 준비

건설완료검사의 주체는 한국이 공급하는 전원장치 시스템의 담당부서인 IO의 코일전원장치팀이며 건설관리팀 및 설계/통합관리팀의 책임자와 운전그룹의 책임자가 당연직으로 참여한다. 건설완료검사를 시작하기 위해서 운전팀은 건설완료검사 예상 승인일의 6개월 이전에 건설완료검사의 시작을 선언하고 이를 위한 팀을 조직하며 건설완료검사를 위한 일정을 관리한다. 건설관리팀은 건설완료검사 시작 통지를 받은 후 10일 이내에 착

수회의 일정과 건설완료검사를 위한 문서항목(HOP, Handover Package), 예를 들어 P&ID, 회로도, 제작도면(2D/3D), 설계문서 등과 전기안전검사를 받기 위한 준비항목을 각 담당자에게 알린다. 건설완료검사 동안 모든 문서 및 도면은 PLM(Project Lifecycle Management) 데이터베이스에서 관리된다.

### 1.3 건설완료 절차

Kick-off 미팅을 시작으로 하는 건설완료검사의 순서도는 그림 2와 같다. Kick-off 미팅에는 각 팀의 담당자가 참석하며, 각 담당자는 요구되는 문서의 제출일정과 문서리뷰, 현장검사, 이슈해결, 최종 승인까지의 일정을 확인한다. 매달 열리는 회의에서 진행상황을 보고하도록 한다.



그림 2 건설완료검사 순서도  
Fig. 2 The flowchart of construction completion review

건설완료검사를 위한 문서항목은 모두 6개 항목으로 구분되며 상세내용 및 진행방법은 아래와 같다.

1) 예비품(Spares): 건설관리팀의 자재 관리 담당자는 코일 전원장치팀 담당자와 함께 현장에 있는 예비품 및 미사용 자재를 식별한다. 이러한 항목들은 카탈로그에 기록되며, 자재 관리 데이터베이스에 등록된다. 관련이 있는 경우 특정 라벨을 추가한다. 보존 요구 사항을 확인하고, 특히 보관 기간과 관련하여, 요구 사항이 있는 항목들은 예비품용 특정 저장소로 이동되도록 한다.<sup>[2]</sup>

2) 기구부품(Construction): As-Built 도면(2D/3D) 및 설치와 관련된 모든 문서, Cabling Diagram, Wiring Diagram, Receiving Inspection Report, Preservation Record, Deviation Request, Construction Field Change Request, Non-Conformance Report, Compliance Matrix 등의 문서가 승인된 상태로 준비되어야 하며, 이들 문서의 검토 및 현장검사를 실시하며 punch list를 작성한다. Punch list에 등록된 이슈들은 한국사업단과 이터 코일전원장치팀이 협력하여 해결하도록 한다.<sup>[3]</sup>

3) 설계문서(Design): 전기적 설계와 관련된 모든 문서와 제어 관련 문서, 모든 설계 변경사항과 승인기록, 공장시험 결과 보고서, 운전 및 유지보수 메뉴얼, 소프트웨어 사용자 메뉴얼, 부품목록, 장비운전 메뉴얼 등의 문서를 검토하며 최종 확인을 한다.

4) 설계 사양(Requirements): 설계/통합관리팀에서는 시스템에서 요구하는 항목들이 검증되었는지를 확인하며 전원장치 운전 계획 문서검토를 한다.

5) 운전 및 유지보수(Diagrams): 설계/통합관리팀은 운전 및 유지보수를 위해 필요한 문서와 도표를 System Breakdown Structure에 맞게 작성하여 AVEVA 데이터베이스에 등록한다.

6) 계약사항(Procurement): 설치된 AC/DC 컨버터 시스템의

보증범위와 보증기간에 대하여 정의하며 검토한다.

계획된 건설완료일 일주일 전에 현장실사를 실시하며, 현장실사를 통하여 설치상태의 최종확인, 시운전 착수 가능여부 등을 확인한다. 모든 문서의 검토와 승인, punch list, 현장실사 결과를 바탕으로 건설완료검사 회의를 진행하여 시운전 착수를 승인한다.<sup>[4]</sup>

### 1.4 AC/DC 컨버터 건설완료 및 시운전 계획

CSIU/L 컨버터, CCS2 컨버터, 상위제어기, 터미로드의 설치완료가 먼저 진행되어 사전 전기안전검사를 진행할 계획이다. 사전 전기안전검사를 통하여 이슈사항을 파악하고 이를 사전에 해결하여 최종 전기안전검사의 이슈를 줄여 일정을 단축하며, 동시에 나머지 AC/DC 컨버터의 설치완료 및 사전 전기안전검사의 이슈해결, 저전압 시험을 진행할 계획이다. 최종적으로 전기안전검사 수행, 건설완료 승인, 경부하시험, 전격 부하시험을 마쳐 이터 AC/DC 컨버터 시스템의 공급을 완료한다. 그림 3은 건설완료검사 및 시운전 계획을 보여주고 있다.

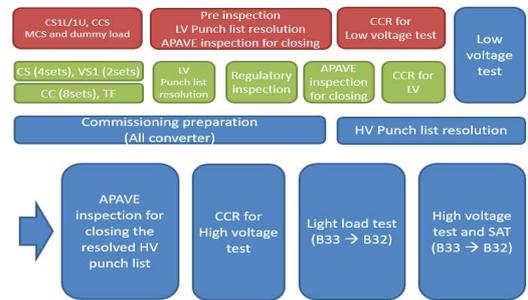


그림 3 건설완료검사 및 시운전 계획  
Fig. 3 The plan of construction completion review and commissioning of ITER AC/DC converter

## 3. 결론

한국이 공급하는 이터 초전도자석 전원공급장치는 현재 케이블링 작업을 진행하고 있으며 올해 안으로 설치를 완료할 예정이다. 건설완료검사와 전기안전검사를 통하여 설치의 적합성 및 안전과 관련한 프랑스 법규에 따라 제작/설치됨을 확인한다. 저전압시험, 경부하시험, 정격부하시험을 통하여 성능을 평가하여 최종적으로 이터에 장비 소유권을 이양할 계획이다.

이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 한국핵융합에너지연구원에서 수행한 국책연구사업임(No. RS-2022-00154840, ITER 초전도자석 전원공급장치 개발-제작)

### 참고 문헌

- [1] ITER\_IDM\_X8LS3F WI for Construction Completion Review and Turnover to Commissioning.
- [2] ITER\_IDM\_3SMZ47 Working Instruction for Spare Parts and Materials Management
- [3] ITER\_IDM\_VMTRJG WI for implementing Punch Lists.
- [4] ITER\_IDM\_X8LXXC Working Instruction Construction Completion Review.