

ITER 초전도자석 전원공급장치의 마스터제어기 구현과 커미셔닝 준비 현황

최지현¹, 송인호¹, 오종석¹, 서재학²

¹한국핵융합에너지연구원, ²다원시스

Master Control System Implementation and Preparation Status for the Commissioning of ITER AC/DC Converter

J.H. Choi¹, I.H. Song¹, J.S. Oh¹, J.H. Suh²

¹Korea Institute of Fusion Energy, ²Dawonsys

ABSTRACT

ITER 초전도자석 전원공급장치 AC/DC Converter의 통합제어를 위한 MCS(Master Control System)는 한국에서 설계, 제작, 시험을 마친 후 프랑스 ITER 부지로 운송되어 설치되었다. 한국, 중국, 러시아가 공동으로 조달하는 AC/DC Converter는 프랑스 현지에서 설치검사를 완료한 조달품의 개별시험을 수행한 후 단계적인 I&C 시스템의 통합 및 시험을 거친 후 ITER 중앙제어시스템과 연결되어 인수검사를 수행하게 된다. 본 논문은 ITER AC/DC Converter의 마스터제어기(MCS)의 구현과 I&C 시스템의 커미셔닝 및 통합제어시험 준비현황에 대하여 논의하고자 한다.

1. 서론

ITER 초전도자석 전원공급장치^[1]는 한국, 중국, 러시아가 공동으로 조달하며, 본 장치의 통합제어를 위한 MCS(마스터제어기)는 한국이 조달하며, CCPS, TFPS, PFCS 3개의 플랜트 시스템으로 구분된다. MCS는 그림1과 같이 MRC, CCR, PIC, PSC-OS로 구성된다. ITER 중앙제어시스템이 장치제어 기능을 수행하는 Conventional Control을 담당하는 CODAC, 장치보호 역할을 수행하는 Central Interlock System(CIS), 산업안전 및 환경보호를 위한 Central Safety System(CSS)이 독립적으로 구분되어 작동함에 따라 MCS는 ITER 중앙제어시스템의 기능에 대응하여 컨버터 제어, 장치보호, 작업안전에 대한 기능을 수행한다.

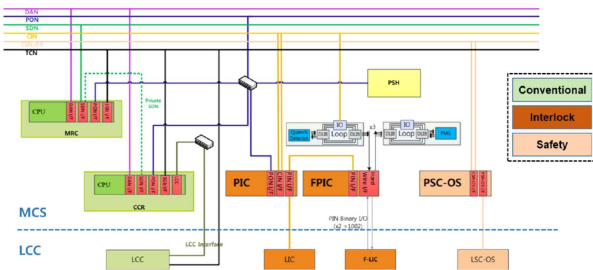


그림 1 AC/DC Converter MCS 구조

2. AC/DC Converter 마스터제어시스템

2.1 ITER PFCS Plant Conventional Control System

Plant Conventional Control System은 MRC(Master Controller), CCR(Circuit Controller), LCC(Local Control Cubicle) 등으로 구성된다. LCC는 CCR을 통하여 제어명령을 송수신한다. 컨버터에서 예측 계산한 무효전력은 RPC(무효전력보상장치)에 실시간으로 전달하여 고속의 무효전력 보상을 수행한다. MRC는 PCS(플라즈마제어시스템)가 컨버터를 제어할 수 있도록 중간계층에서 조정관 역할을 담당한다^[2].

2.2 ITER PFCS Plant Interlock System

ITER 전원공급장치의 MCS는 초전도코일에 전원을 공급하는 것 외에도 코일의 보호역할도 수행한다. Plant Interlock Controller(PIC)는 Central Interlock System(CIS)로부터 받은 인터록 이벤트에 따른 제어명령을 Local AC/DC Converter에 전달하고, LIC(Local Interlock Controller)로부터 상태정보를 취합하여 CIS에 보고한다. 인터록 명령의 처리요구시간 100ms를 기준으로 Fast-PIC(Plant Interlock Controller)과 PIC이 구분하여 처리한다^[3].

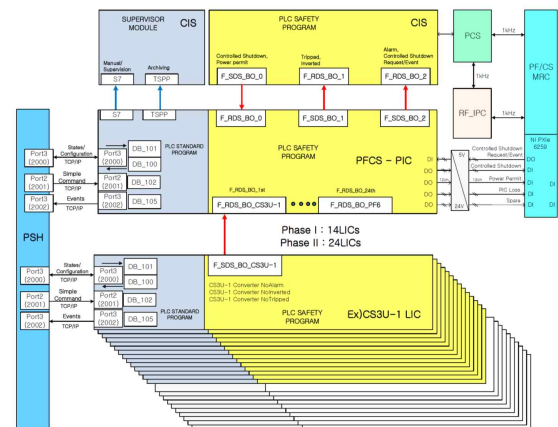


그림 2. ITER AC/DC 컨버터 PFCS 플랜트 PIC, LIC-OS 구성도

2.3 ITER Plant Safety System - Occupational Safety

AC/DC 컨버터는 ITER 사이트의 32동과 33동 건물에 배치된다. Plant Safety 시스템은 건물 내에서 작업안전을 위하여 전기적인 위험요인을 감시하여 작업허가에 필요한 정보를 제공한다. 전원장치가 동작 중에 충전된 전기에 의해 감전을 막기 위해 Disconnecting Switch/Earthing Switch, Door의

open/close 상태, 비상스위치 상태를 PLC로 모니터링하여 중앙 안전시스템에 정보를 제공하여 장치운전 가능 여부를 판단하고 작업안전의 기능을 수행한다.

2.4 마스터제어기 통합 FAT 수행

MCS는 ITER 사이트와 유사한 제어환경을 구축하기 위하여 인터페이스가 있는 장치에 대하여 소프트웨어를 이용하여 데이터를 주고 받는 시뮬레이터를 이용하여 테스트환경을 구축하여 FAT를 수행하였다^[4]. MCS에서 AC/DC Converter 제어기와 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 연동하여 Dummy Load 및 Coil 부하 모드에서 각 컨버터들의 전압/전류 제어기능과 장치운전모드에서 초전도 도체들의 유도 결합된 상태에서 MRC의 전류 제어기능들을 시험하였다.

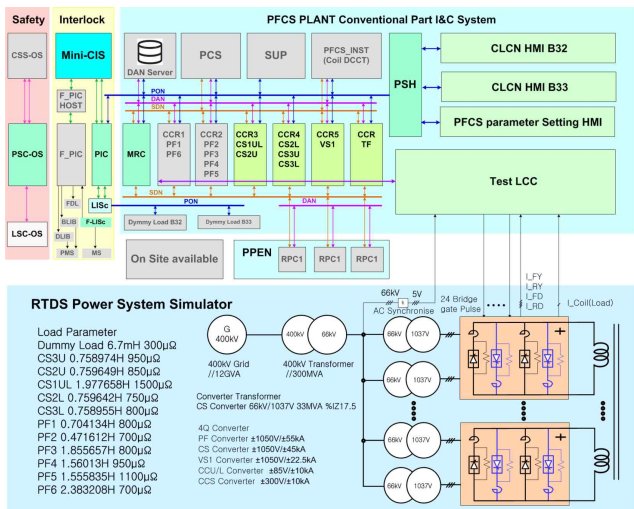


그림 3. Integrated PFCS MCS FAT 구성도

3. 마스터 제어기의 Commissioning 준비 현황

한국, 중국, 러시아 각국이 조달한 조달품은 설치작업 후 Legal Inspection을 통과해야 현장 시험이 가능하다. 각국의 조달품은 자체 SAT(현장인수검사)를 수행한 다음 통합작업이 진행된다. I&C 시스템 차원에서 1차적으로 한국과 중국 컨버터 제어기가 MCS에 통합되고, RPC(Reactive Power Compensation), 러시아 장치, 그리고 ITER 중앙 장치와 통합된다^[5].

그림4는 시스템 커미셔닝을 위한 준비요건으로 시험 절차서 개발, 커미셔닝에 필요한 문서준비, 인터페이스가 있는 시스템의 준비상태 외 제반 사항들이 필요하다. 커미셔닝의 순서는 단계적으로 진행된다. 1단계(합동준비단계)로 커미셔닝의 준비요건을 점검하고, 그림5와 같이 2단계로 Low voltage 시험을 수행한다.

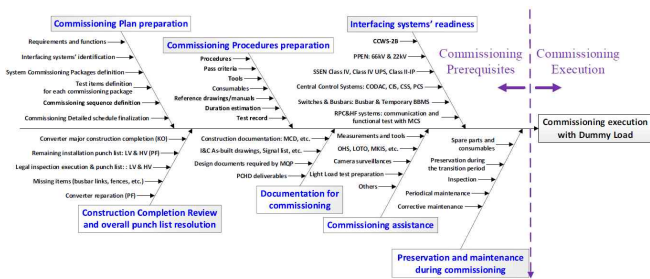


그림 4 시스템 커미셔닝 준비 요건

변압기의 고전압이 인가되지 않은 상태로 MCS와 연계된 상태에서 각 제어신호와 명령 및 상태정보들이 정상적으로 작동하는지 점검한다. 그리고 3단계는 변압기에 고전압을 인가하기 전에 각 컴포넌트가 정상적으로 작동하는지 확인하는 Light Load 시험을 수행한다. 4단계에서는 Dummy Load를 연결하고 변압기에 전압을 인가하여 MCS에서 컨버터를 제어하여 컨버터 SAT를 수행한다.

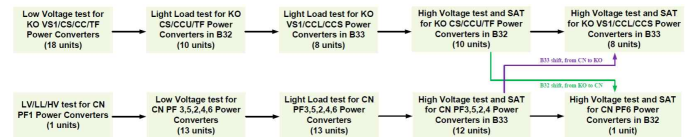


그림 5 커미셔닝 순서 흐름도

중국과 한국 컨버터 SAT가 각각 완료되면, 중국, 한국 컨버터 I&C 통합을 수행한다. 복잡한 PFCS 플랜트를 먼저 통합하고 테스트한 후에 CCPS, TFPS 플랜트를 같은 방법으로 SAT 테스트를 수행하게 된다. 컨버터의 통합 커미셔닝을 수행한다.

3. 결론

ITER 초전도자석 전원공급장치의 마스터제어기의 구현 현황과 ITER 사이트에 설치된 이후의 테스트를 착수하기 위한 설치검사 및 I&C 커미셔닝 및 통합제어시험 준비현황에 대하여 논의하였다.

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업임(No. RS-2022-00154840, 초전도자석 전원공급장치 개발·제작)

참고 문헌

- [1] J.S. Oh et al., "Final Design of the Korean AC/DC converters for the ITER coil power supply system", Fusion Engineering and Design, Vol. 98-99, pp. 1127-1130, 2015.
- [2] 서재학, "MCS Design status and Summary", 2020 추계 전력전자학회
- [3] 서재학, "ITER AC/DC Converter MCS Plant Layer Interlock Design Summary", 2023 하계 전력전자학회
- [4] 서재학, "ITER AC/DC 컨버터를 위한 마스터 제어 시스템의 통합 FAT 결과", 2022 추계 전력전자학회
- [5] 서재학, "ITER AC/DC Converter System Commissioning Plan", 2023 추계 전력전자학회