

ITER 초전도코일 전력공급장치의 PFCS Master Control System 시험 평가

신현국, 오중석, 이덕배*
국가핵융합연구소, 모비스*

The evaluation of FAT for Master Control System of PFCS in ITER Coil Power Supply System

H.K. Shin, J.S. Oh, D.B. Lee*

National Fusion Research Institute, Mobiiis*

ABSTRACT

ITER 토카막의 초전도코일에 전원을 공급하는 Plant는 CCPS (Correction Coil Power Supply System), TFPS(Toroidal Field Power Supply System), PFCS(Poloidal Field & Central Solenoid)으로 구성되어 있다. 각 Plant의 AC/DC 컨버터는 초전도 코일에 막대한 전류를 흘려 토카막 내에서 1억도에 달하는 열과 전자장의 압력으로 플라즈마상태의 수소를 결합시켜 핵융합에 도달하도록 한다. MCS(Master Control System)은 플라즈마가 핵융합을 잘 구현할 수 있도록 초전도 코일에 공급하는 전원을 총괄적으로 제어한다. 특히 PFCS MCS는 토카막 장치에서 다른 Plant와의 Interface가 복잡하여 설계 및 제작에 어려움이 많다.

본 논문에서는 PFCS MCS가 ITER의 설계요건과 국제기술기준에 맞게 설계하고, 제작하였는지를 확인하기 위해 공장에서 최종 검사하는 FAT(Factory Acceptance Test) 절차를 소개하고 여러 가지 시험을 통하여 평가한 내용을 보이고자 한다.

관련 시스템과 인터페이스가 원활하고, 개인의 안전과 중요기기의 보호를 위해 플랜트의 보호/안전계통이 중앙의 보호/안전계통과 협력하여 보호/안전기능을 수행하고, LCC(Local Control Cubicle) 및 다른 연계시스템과 제어협조가 잘 이루어져야 한다.^[1]

또한 PFCS MCS는 초전도코일의 전류제어와 컨버터 운전을 위해 다음과 같은 기능을 정확히 수행하여야 한다.

- VC - Voltage Control
- CLC - Current Loop Control with Coupling
- CLCN - Current Loop Control with No Coupling
- QVCT - Q Value Calculation and Transmission
- RTCS - Real time Transmission of Converter Status
- CPF - Co-ordination of PF/VS Circuits
- CCZ - Co-ordination of Current Return to Zero
- ARC - Data Archiving

이외 CCR(Circuit Controller) 기능과 Interlock 및 Safety 기능들도 있다.

1. 서 론

ITER I&C 시스템은 Central System과 Plant System 두 계층으로 구성되어 있다. MCS는 각 플랜트 레벨의 I&C 시스템을 통합하고, Central I&C System과 통신하며, 플랜트의 제어를 위한 명령전달과 감시/보고 기능을 한다. FAT는 ITER의 요구사항과 제반성능이 기술기준을 만족하는지 확인하는데 있다.

MCS 기술요건은 초전도코일과 컨버터시스템의 보호를 위해 PIS(Plant Interlock System), CIS(Central Interlock System) 및

구성된다. LCC(작은 녹색 박스)는 컨버터 제어를 위한 시퀀서와 알파 컨트롤러로 구성되어 해당 컨버터의 여러 가지 기능을 제어할 수 있도록 다양한 명령을 내린다. 인터록제어기(갈색박스)들이 오른쪽에 배치되어 있다.

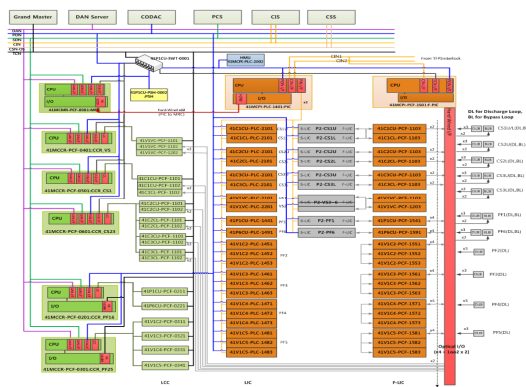


그림 1. ITER PFCS MCS Plant System 구성도
Fig. 1 System Drawing of ITER PFCS MCS Plant

2. PFCS MCS의 FAT 시험

2.1 PFCS MCS 시스템구성

PFCS MCS 전체 구성도는 그림 1과 같다. MCS(큰 녹색 박스)는 중앙제어계통과 교신하는 MRC(Master Controller)와 하부계통에 명령을 내리고 컨버터상태를 상위에 보고하는 CCR로

2.2 FAT의 시험환경

FAT의 시험환경은 MCS의 기능 및 성능과 보호, 안전요건을 확인할 수 있도록 MRC, CCR, PIC(Plant Interlock Controller), F-PIC (Fast-PIC), PSC-OS(Plant Safety Controller-Occupational Safety)들로 그림 2와 같이 구성하였다. RTDS(Real Time Digital Simulator)를 컨버터 대신 사용하여 ITER의 실제 현장조건에 맞게 시뮬레이션 하였다. LCC 시뮬레이터는 다양한 테스트 패턴을 포함하는 패킷을 생성하였다. LIC(Local Interlock Controller) 및 LSC-OS(Local Safety Controller-OS) 시뮬레이터는 각각 보호기능과 안전기능을 시뮬레이션하며, 보호 및 안전관련 이벤트를 만든다. 또한 LIC 및 LSC-OS에 대한 인터록/안전 조치 상태를 모니터링 할 수 있다. 그림 3은 실제 시험환경 사진이다.

2.3 FAT 시험절차

시험절차는 각 Cubicle의 구성기기(PLC, 컴퓨터 등)에 대한 wiring check 및 기본성능 확인, 설치된 Software Package 검증 등으로 시작한다. FAT는 크게 Type Test와 Performance Test로 구분된다. Type Test는 MCS의 구성모듈, 즉 PSH(Plant System

Host), MRC, CCR, PIC, F-PIC, PSC-OS 등에 내장된 SW/HW 기능들의 입출력신호를 확인하며 39개의 시험으로 구성된다.

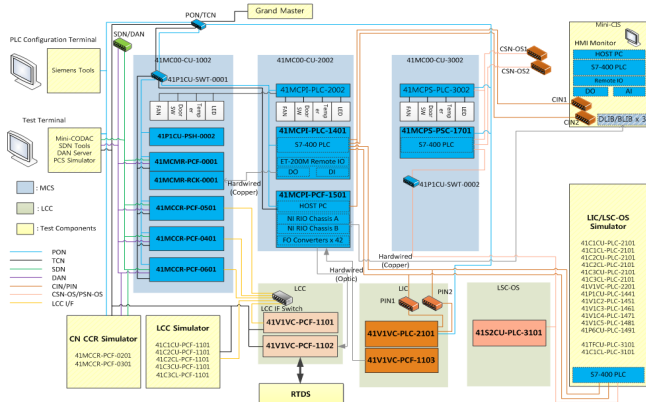


그림 2 PFCS MCS FAT 시험구성도
Fig. 2 Test Component Diagram of PFCS MCS FAT



그림 3 실제 시험환경 사진

Fig. 3 Arrangement Photo of Test Environment

Performance Test는 MCS의 전반적인 운전동작을 확인하기 위해 상위 중앙계통 및 하위계통과 연계하고, RTDS, Mini-CIS 등의 시뮬레이터를 사용하여 Plant System Test, MCS 건전성을 측정하는 Endurance Test, 제작된 MCS가 외란에 강한지 확인하는 Stress Test 등 27개 시험으로 구성하였다. 특히 보호계통 및 안전계통의 시험에서는 실행 소프트웨어에 대한 오류검증을 SIMATIC Safety Matrix 틀에 의해 수행하였으며, 보호/안전계통의 입출력 신호검증을 그림 4와 같이 확인하였다.

그림 4 컨버터고장 신호를 SIMATIC Safety Matrix로 검증

Fig. 4 Verification of Converter Fault using SIMATIC Safety Matrix

2.4 FAT 시험결과

실행된 Type Test 및 Performance Test는 ITER Technical Specification에서 요구하는 기능 및 성능검증 요건을 모두 만족하였다. 일부 시험결과를 소개하면 다음과 같다.

CLCN 시험은 먼저 전류 레퍼런스를 모의 PCS(Plasma

Control System)에서 MRC로 전송되고, 공식 (1)에 따라 전압으로 계산된 후 CCR로 전송된다. CCR은 이 값을 하위 LCC로 보내어 컨버터를 작동시킨다. RTDS를 통한 시험 결과와 그림 5와 같이 측정되었다. 측정된 출력전류파형이 레퍼런스 전류파형을 잘 추종하여 화면에서 삼각파형이 겹쳐 보인다.

$$V_{ref}[V] = L_{load}[H] \frac{I_{ref}[A] - I_{measured}[A]}{dt[sec]} + R_{load}[\Omega]I_{measured}[A] \quad \dots (1)$$

여기서 Vref: 계산된 전압, Iref: 전류 레퍼런스, I_measured: 측정 전류,

dt: 타임스텝, Lload: 총 부하인덕턴스, Rload: 총 부하저항

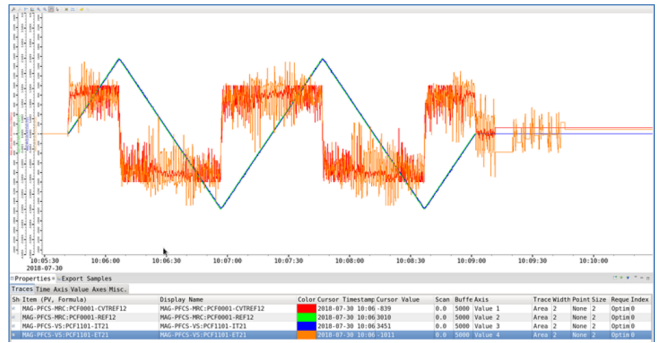


그림 5 CLCN 성능시험의 Test Terminal 화면

Fig. 5 Display of Test Terminal for CLCN Performance Test

컨버터 고장시험은 시뮬레이터에서 Fault Event를 발생시켜 고장 상태가 LIC모듈과 PIC를 거쳐 중앙 CIS에 전달되었음을 그림 6의 Mini-CIS 화면에 VS1 컨버터상태가 적색으로 표시되어 고장상태를 확인하였다.

그림 6 Mini-CIS의 화면에 VS 컨버터 상태가 Not OK로 표시
Fig. 6 Not OK indication of VS Converter Status in Mini-CIS

3. 시험평가 및 결론

본 PFCS FAT는 ITER의 Technical Specification에서 요구하는 IEC 60146에 따라 시험하고 모든 실행 시험결과가 절차서 기준에 의해 적합관정을 받았다. 보호 및 안전기술요건에서 요구하는 별도의 Software Verification은 SIMATIC Safety Matrix를 통하여 오류가 없음을 확인하였다. 실행된 모든 시험은 Pass 판정받았으나, 일부 ITER에서 제공하는 Mini-CIS의 기능미비로 미 실시된 3건의 시험은 차후 PFCS, TFPS, CCPS 3개 Plant의 Integration Test 때 확인하기로 하고 ITER 본부의 합격승인을 받았다.

이 논문은 2018년도 과학기술정보통신부와 한국연구재단의 지원으로 수행된 국책연구사업(No. 2007-2006995, 초전도자석 전원공급장치 개발·제작)

참고 문헌

[1] H.K. Shin, J.S. Oh, et al, "Development of MCS Design and Manufacturing for ITER AC/DC Converter System", KSTAR Conference Daejeon Korea, February 2015.