





	KSTAR 개발운영사업	개정번호: 0
	기술시방서 (Technical Specification)	발행일자: 18.07.23 페이지: 1 / 91

제 목 : EC4-7을 위한 EC 통합 제어계(ECICS) 개발 제작 및 시험

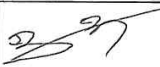


개정 이력

개정번호	개정일자	개 정 사 유
0	2018. 07. 23	최초 발행

관련부서 검토

소속/직책	성 명	서 명	일 자
제어기술팀/담당	이승주		2018. 07. 26
제어기술팀/담당	권기일		2018. 07. 26
제어기술팀/팀장	홍재식		2018. 07. 26
토카막장치기술부/ 부장	박갑래		2018. 7. 26

작성, 검토 및 승인

구 분	소속/직책	성 명	서 명	일 자
작 성	전류구동연구팀/담당	김성국		2018. 7. 26
검 토	전류구동연구팀/팀장	왕선정		2018. 7. 26
승 인	초고온플라즈마연구부/ 부장	곽종구		2018. 7. 26

목 차

1. 목적	8
2. 계약범위	9
3. 용어의 정의	10
4. 적용규격	10
5. 요구 사항	11
5.1. 개발대상	11
5.2. 일반사항	11
5.3. 시험 및 검사	11
5.4. 납품 및 설치	12
5.5. 납품 후 유지보수	12
5.6. 문서 제출	13
5.6.1 문서 제출 일반요건	13
5.6.2 제출 문서	13
6. 기술사양	15
6.1 개요	16
6.2 ECICS 기술 사양	18
6.2.1 하드웨어 구성	20
6.2.1.1 네트워크 구성	20
6.2.1.2 ECFC	22
6.2.1.2.1 Crate 구성	22
6.2.1.3 ECRT	24
6.2.1.3.1 Server 구성	24
6.2.2 소프트웨어 구성	25
6.2.2.1 운영 체제	25
6.2.2.2 Real Time kernel	25
6.2.2.3 Real Time Framework (RTF)	25
6.2.2.4 MDS Plus	26
6.2.2.5 EPICS IOC	26
6.2.2.6 Hardware Device Driver	26
6.2.3 ECIOC 상세사항	27
6.2.3.1 일반사항 및 목적	27
6.2.3.2 장치별 운전 제어	27

6.2.3.2.1 CPS (통신방식 : KSTAR Machine network)	29
6.2.3.2.2 BPS (통신방식 : KSTAR Machine network)	30
6.2.3.2.3 DC-CCPS	31
6.2.3.2.4 AC-CCPS	33
6.2.3.2.5 SCM PS	34
6.2.3.2.6 GPS (Guncoil power supply or Cathode power supply)	36
6.2.3.2.7 Heater PS	37
6.2.3.2.8 Vac. Ion 펌프 제어기	39
6.2.3.2.9 진공 게이지	40
6.2.3.2.10 플라라이저 제어기	41
6.2.3.2.11 진공펌프 제어기	42
6.2.3.2.12 아크 디텍터	43
6.2.3.2.13 RF 디텍터	44
6.2.3.2.14 냉각수 유량계	46
6.2.3.2.15 RF 스위치	48
6.2.3.2.16 RF 게이트 밸브	49
6.2.3.2.17 열전대 (TC) 측정	50
6.2.3.2.18 Delta-T (RTD) 측정	51
6.2.3.3 KSTAR 연결 제어	52
6.2.3.3.1 KSTAR fast interlock system (FIS) 및 운전 상황	52
6.2.3.3.2 KSTAR CCS	52
6.2.3.3.3 KSTAR Plasma Control System (PCS)	52
6.2.3.3.4 KSTAR Timing	52
6.2.3.4 운전 시퀀스 제어	52
6.2.3.4.1 개별 시험 운전	52
6.2.3.4.2 통합 운전	53
6.2.4 ECRT 상세사항	55
6.2.4.1 일반사항	55
6.2.4.2 운전 주체	55
6.2.4.3 ECRT의 모듈레이션 연산	55
6.2.4.4 ECRT 요약	55
6.2.5 ECFC 상세사항	58
6.2.5.1 일반사항	58
6.2.5.2 운전 Target	58
6.2.5.3 운전 모드	58
6.2.5.4 RF 펄스 동기화	59
6.2.5.5 cVREF, cIREF, bVREF, bIREF, VfwdREF 연산	60
6.2.5.6 ECFC 요약	60
6.2.5.7 ECFC 알고리즘	61
6.2.5.8 Fault 분석 및 수행	63
6.2.5.9 Fast Signal 저장	65
6.2.5.10 Fast signal 리스트	66
6.3 검사 및 성능 시험 사양	72

7. 시험 및 검사	73
7.1. 적용범위	73
7.2. 용어의 정의	73
7.3. 계약자 자체 품질검사 요건	74
7.4. 품질검사계획(Quality Plan) 제출 요건	74
7.5. NFRI의 품질검사 요건	75
7.5.1 일반요건	75
7.5.2 설치 전 검사	75
7.5.3 출하검사	75
7.5.4 포장, 취급, 선적 및 운송관리	76
7.6. 부적합사항 관리	76
7.7. 공급자 불일치 사항 관리	77
8. 제출문서	77
8.1. 적용범위	77
8.2. 용어의 정의	77
8.3. 일반요건	78
8.4. 서류 및 도면의 제출	78
8.5. 기록매체 제작 및 검사요건	80
8.6. 품질증빙서류	80
9. 품질요건	81
10. 기타	81

표 차례

표 1 용어 및 약어 정리	27
표 2 CPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	29
표 3 BPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	30
표 4 DC-CCPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	31
표 5 AC-CCPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	33
표 6 SCM PS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	34
표 7 GPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	36
표 8 HPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록	37
표 9 Vacuum ion pump controller를 위한 파라미터 및 명령어 목록	39
표 10 진공게이지를 위한 파라미터 및 명령어 목록	40
표 11 폴라라이저 제어기를 위한 파라미터 및 명령어 목록	41
표 12 진공펌프 제어기를 위한 파라미터 및 명령어 목록	42
표 13 아크 디텍터를 위한 파라미터 및 명령어 목록	43
표 14 RF 디텍터를 위한 파라미터 및 명령어 목록	44
표 15 냉각수 유량계를 위한 파라미터 및 명령어 목록	47
표 16 RF 스위치를 위한 파라미터 및 명령어 목록	48
표 17 RF 게이트밸브를 위한 파라미터 및 명령어 목록	49
표 18 TC 센서를 위한 파라미터 및 명령어 목록	50
표 19. ECFC Fast signals - Input	67
표 20. ECFC Fast signals - Output	68
표 21. ECFC slow signal - Input	68
표 22. ECFC slow signal - Output	69
표 23 ECICS 전체 하드웨어 리스트	70

그림 차례

그림 1 다이오드 타입 자이로트론 개략도 (자석 및 자석 전원 미포함)	16
그림 2 ECICS 구성, 회색 점선 내부가 ECICS를 나타냄	18
그림 3 EC-ICS 네트워크 및 신호 연결 구성도	21
그림 4 FMC 보드 배치 및 구성도	22
그림 5 EC-FC 부품 리스트	23
그림 6 EC-FC Crate 구성도	23
그림 7 ECRT 부품 리스트	24
그림 8 ECRT 소프트웨어 아키텍처	25
그림 9 RTF Configuration Example	26
그림 10 DC-CCPS 블럭다이어그램	31
그림 11 AC-CCPS 블럭다이어그램	33
그림 12 SCM PS 블럭다이어그램	34
그림 13 GPS 블럭다이어그램	36
그림 14 HPS 블럭다이어그램	37
그림 15 Vacuum ion pump controller 블럭다이어그램	39
그림 16 진공게이지 블럭다이어그램	40
그림 17 폴라라이저 제어기 블럭다이어그램	41
그림 18 진공펌프 제어기 블럭다이어그램	42
그림 19 아크디텍터 블럭다이어그램	43
그림 20 RF 디텍터 블럭다이어그램	44
그림 21 냉각수 유량계 블럭다이어그램	46
그림 22 RF 스위치 블럭다이어그램	48
그림 23 RF 게이트 밸브 블럭다이어그램	49
그림 24 TC 센서 블럭다이어그램	50
그림 25 RTD 블럭다이어그램	51
그림 26 운전준비 시퀀스	54
그림 27. ECICS 실시간 제어기 구성	57
그림 28. ECRT waveform	57
그림 29. 일반 운전 동기	59
그림 30. ECFC의 timing 신호	61
그림 31. OVER_VCP	63
그림 32. OVER_VC	63
그림 33. UNDER_VC	64
그림 34. NO_RF	65

붙임 차례

붙임 1 : 공급자 불일치사항 처리 요청서	83
붙임 2 : Document Transmittal Sheet	84
붙임 3 : 시스템 설계서	85
붙임 4 : 시스템 개발 완료 보고서	87
붙임 5 : 검사 및 시험계획서 표지	89
붙임 6 : 검사 및 시험계획서	90
붙임 7 : 제출서류 목록 및 제출 일정	91

1. 목적

본 문서는 국가핵융합연구소(이하 NFRI)에서 운영 중인 차세대 초전도 핵융합 연구장치(이하 KSTAR)의 ECH 자이로트론 운전을 위한 EC 통합 제어 시스템 (ECICS)의 개발 제작에 관한 기술 시방서이다.

ECICS는 단일 1 MW 급 자이로트론의 시험 및 운전을 위한 원격 제어시스템으로서의 모든 기능을 갖는다. ECICS는 다이오드 타입의 자이로트론 운전을 구체적 목적으로 개발되나, 소프트웨어 수정만으로 1 MW 급의 타 발진기 또는 증폭기 (LHCD 및 HCD 클라이스트론)의 제어 시스템으로 활용될 수 있는 범용성을 갖추어야 한다.

ECICS는 초도 1기 개발 제작 이후 3 세트를 추가로 제작할 계획이며 이때는 개발 과정이 최소화 되어야 하며, 향후 타 장치를 위하여 추가 제작될 경우에는 발진기 변경에 따른 일부 소프트웨어 변경만으로 제작될 수 있어야 한다.

본 기술 시방서는 KSTAR EC 가열장치 통합제어 시스템에 장착될 제어 시스템의 개발, 설치 및 성능시험 업무를 수행함에 있어서 필요한 전반적인 기술사항과 제반 조건을 규정하고 납품 일정, 구속 요건 등을 명시하기 위한 목적으로 작성되었다. 계약자는 본 문서에서 요구하고 있는 기술사항 및 제반 기준에 대하여 필요 시 NFRI의 승인을 취득한 후 각각의 공정을 진행하여야 하며, NFRI의 기술적인 요구 사항에 적극적인 협조를 하여야 한다.

2. 계약범위

본 계약은 아래 기술시방서에 명기된 PLC를 제외한 KSTAR EC 가열장치 통합제어 시스템 개발(이하 ECICS)과 관련된 hardware/software 설치, 시험을 그 범위로 한다. 본 기술시방서는 PLC를 제외한 EC가열장치 통합제어 시스템으로써 편의상 아래에서는 ECICS로 표현한다. 계약자는 본 기술 시방서에서 요구하고 있는 제반 조건 및 기준을 만족시켜야 하고, 기술 사항과 제반 기준이 서로 부합하지 않을 경우 발주자의 승인을 득한 후 관련 사항을 변경할 수 있으며, NFRI의 기술적인 요구 사항에 적극적인 협조를 하여야 한다. 본 제작 과정에서 발생하는 모든 기술내용, 노하우 및 결과물에 대한 소유권은 NFRI에 귀속된다.

- 1) 계약자는 본 기술시방서에서 명시된 시스템 규격사항을 만족하는 시스템을 설계, 제작 및 설치하여 기능 검사를 완료한 후 정해진 기간 내에 NFRI에게 제공하여야 하며, 제품의 사후관리를 제품의 보증기간 동안 수행하여야 한다.
- 2) 계약자는 본 기술시방서에서 명시된 관련 프로그램들을 개발하고 하드웨어에 적용, 시험, 검사를 완료한 후 정해진 기간 내에 제공하여야 하며, 시험 및 품질 검사 관련 문서를 NFRI에 제출하여야 한다.
- 3) 계약자는 본 기술시방서에 명시된 구매 사양과 용도 설명을 숙지하고 구매할 실제 제품의 사양과 불일치를 발견하였을 경우 즉시 구매과정을 중단하고 NFRI에게 사양 불일치를 통보하고 확인을 거친 후 구매를 진행하여야 한다.
- 4) 서류 제출 요건에 명시된 문서를 정해진 기간 내에 제출하여 NFRI의 승인을 받아야 한다.
- 5) 계약된 내용의 일부를 제 3자에게 하도급 하고자 할 때는 NFRI의 서면 승인을 받아야 한다. 위의 요건에 따라 하도급한 경우에도 본 계약조건은 동일하게 하도급자에게 적용되며, 계약자는 하도급자가 수행한 업무에 대하여 모든 책임을 진다.
- 6) 납품 및 설치 장소 : 국가핵융합연구소, 가열장치실.
- 7) 소프트웨어 프로그램 개발 및 하드웨어 선정은 상호협의하에 변경될 수 있다.
- 8) ECICS에서 제어해야 할 부대장치의 특성이 변경되는 경우를 포함하여 특이사항이 있을시 상호협의하에 제어방식이 변경될 수 있다.

3. 용어의 정의

본 문서에서 사용되는 용어는 아래와 같이 정의한다.

- **CCC (Central Control System)** : KSTAR 장치 전체의 운전 감시 및 플라스마 discharge control을 위한 sequence 운전을 담당하는 주제어 시스템
- **CTU (Central Timing Unit)** : KSTAR 동기 운전을 위한 TSS의 구성품으로 운전 동기 정보 및 기준시간 정보 등을 제공하는 중앙 타이밍 보드
- **ECFC (EC Fast Controller)**
- **EC-I/O (EC epics Input-Output Controller)**
- **ECRT (EC Real Time controller)**
- **EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)** : 대형 실험 장치 프로젝트의 제어시스템으로 널리 사용되는 네트워크 기반 분산 제어시스템의 미들웨어 로써 KSTAR의 제어계통 개발에 채택하여 사용
- **ETOS (Ethernet TO Serial)**
- **HATRX (High speed Analog signal Transceiver/Receiver)**
- **LTU (Local Timing Unit)** : 중앙타이밍 보드에서 오는 운전 동기 정보 및 기준 시간 정보를 수신하여 대상 지역 장치에 필요한 trigger 신호 및 clock 신호를 발생하는 지역 타이밍 보드
- **PCS (Plasma Control System)** : KSTAR 토카막 내에 플라스마를 제어하기 위한 시스템
- **PLC (Programmable Logic Controller)** : 프로그램 가능 논리제어장치
- **SDN (Synchronous Databus Network)** : UDP multicasting 기반의 ITER CODAC 실시간 네트워크 프로토콜
- **TAC-Engine (Tools for Advanced Control Engine)** : ITER에서 개발된 Real Time Framework 개념을 지원하는 모델 기반 실시간 제어 어플리케이션 구동 엔진
- **TCN (Time Communication Network)** : ITER에서 개발된 기준 시간 분배 및 시간 동기화 이더넷 네트워크
- **TSS (Time Synchronization System)** : KSTAR 동기운전을 위하여 운전 시나리오에 따라 trigger 신호 및 GPS 기준 시간 등을 제공하는 시스템이며 타이밍 시스템으로도 표기
- **DAQ (Data Acquisition)** : 데이터 수집장치

4. 적용규격

- 특별히 명시하지 않는 부분은 각종 KS 규격을 적용하되 KS 규격에 관련항목이 없는 경우에는 JIS 또는 동등 이상의 규격 등을 참조할 수 있다.

5. 요구 사항

계약자에 대한 NFRI의 요구사항은 하드웨어 납품 및 관련 프로그램의 개발, 설치, 성능 시험으로 구분되며, 제품의 보증 기간 내 유지 보수, 검사 및 품질 요건, 성능 검사를 나타내는 제반 문서 제출, 공급자 불일치 사항 관리 및 일정 등으로 구성되어 있으며 부분별 요구 사항은 다음과 같다.

5.1. 개발대상

KSTAR EC 가열장치 통합제어 시스템 (ECICS) 개발 및 성능 시험

5.2. 일반사항

1) 계약자는 계약 후 14일 안에 아래에 명기한 사항이 포함된 추진 일정 및 계약 진행 내역을 작성하여 NFRI에 제출하고 착수 회의를 실시하여야 한다.

- ◆ 시스템 설계, 구축 및 품질관리 방안
- ◆ 시스템 설계, 구축 공정표
- ◆ 문제점 및 기타 진행 현황을 파악하는데 도움이 되는 사항

2) 계약자는 계약 후 지정 날짜에 해당 설계 문서 및 보고서를 NFRI에 제출토록 한다.

3) 계약자는 개발 진행 중 기술적인 변경이 발생할 경우 반드시 NFRI에게 통보하여 사전 승인을 득한 후 수행하여야 하며, 발주자의 요청에 따라 비정기적인 회의에 반드시 응해야 한다.

4) 계약자는 납품 시, 문서 제출에 기술한 해당 문서들을 함께 제출하여 NFRI에 전달하여 승인 받아야 한다.

5.3. 시험 및 검사

1) 하드웨어 구매 물품은 제조사의 전수검사 후 출고가 원칙인 물품이어서 계약자는 제품 입수 후 제품의 모델명, 옵션 번호 등 육안 검사를 실시하고 운송 시 파손 여부 검사 및 기본 성능 점검 등을 수행한 후 시스템 구축에 사용하고, 제출 문서에 언급한 해당 문서를 제출하여야 한다.

2) 계약자는 검사 전 검사 및 시험계획서를 NFRI에 사전 제출하여 승인을 득한 후 계획서를 바탕으로 검사 및 시험 절차를 수행토록 하며, 필요 시 NFRI의 입회하에 진행할 수 있다.

- 3) 검사 및 시험은 현장 설치 전 시스템 개별 시험과 현장 설치 후 통합 시험으로 나뉘며, 설치 후 시험에는 반드시 **KSTAR campaign 기간 중 PLC시스템과의 연동 시험을 포함한 ECICS 성능 검증 기간을 포함**하여야 한다.
- 4) KSTAR campaign 기간 중 성능 검증을 위한 시험 및 검사는 NFRI에서 실시하며, 필요 시 NFRI의 요청에 따라 계약자가 함께 진행 할 수 있다.
- 5) 현장 설치 전, 후의 모든 검사 및 시험은 NFRI의 입회하에 진행함을 원칙으로 한다.
- 6) 계약자는 검사 및 시험 결과 보고서를 작성하여 NFRI에 제출하여 승인을 받아야 한다.

5.4. 납품 및 설치

- 1) 계약자는 하드웨어 납품 시, 제품의 포장, 취급, 선적 및 운송과정에서 손상을 입지 않고 안전하게 NFRI에게 인도될 수 있도록 필요한 제반 조치를 취해야 한다.
- 2) 계약자는 소프트웨어 납품 시, 소스 코드 및 실행 바이너리를 포함한 전자파일을 USB 등의 매체에 저장하여 NFRI에 납품하여야 한다.
- 3) 납품 소프트웨어의 소스 코드는 충분한 코멘트를 작성하여 내용을 쉽게 파악할 수 있게 하여야 한다.
- 4) 계약자는 납품 시 설계 문서, 검사 및 시험계획서, 검사 및 시험결과 보고서 및 관련 자료를 인쇄물과 전자파일의 형태로 함께 납품하여야 한다.

5.5. 납품 후 유지보수

- 1) 계약자는 계약 종료 후 12개월의 무상유지보수 기간을 정하고 이 기간 중 NFRI에 의해 발견된 하드웨어, 소프트웨어의 결함에 대해 별도의 비용 부담 없이 교체해야 할 의무를 가진다.
- 2) 단, 무상유지보수기간은 1회의 **KSTAR campaign**을 통하여 **PLC시스템과의 연동 시험을 포함한 성능 검증을 포함하여 통합제어 시스템의 성능에 문제가 없어야** 한다.
- 3) 계약자는 계약 종료 후 무상유지보수 기간이 경과하였더라도 NFRI로 부터의 기술적인 문의에 대하여 성실히 응하고 필요시 자료를 제공할 의무를 가진다.

5.6. 문서 제출

5.6.1 문서 제출 일반요건

- 1) 아래 모든 제출 문서는 전자파일 및 문서 형태로 제출하여야 한다.
- 2) 계약자가 제출하는 문서 및 도면은 계약요건에 따라 업무에 적용하기 전에 NFRI의 검토를 받아야 한다.
- 3) 계약자가 제출하는 모든 문서에는 작성, 검토, 승인권자의 소속, 직책, 성명, 서명, 일자 등이 포함되어야 한다.
- 4) 회로도에는 Altium Version 13 이상 또는 호환 가능한 Tool(orcad)로 작성되어야 한다.
- 5) 기구 도면은 Autocad 2014 호환 파일로 작성하여야 한다.

5.6.2 제출 문서

1) 기술 문서

- 시스템 설계서 : SDD (붙임 3 참조)

계약자는 시스템 제작 전 아래의 항목을 포함하는 시스템 설계서를 제출하여야 한다. 단 설계 문서는 설계 진행 단계에 따라 서로 다른 version을 가지는 문서로 나누어 제출할 수 있다.

하드웨어 개발 관련

- ◆ 하드웨어 설계서 (보드 내 기능 별 구성도 포함)
- ◆ 보드 회로도
- ◆ 보드 CAD 도면

소프트웨어 개발 관련

- ◆ 요건 규격서 (SRS)
 - 실시간 제어 시스템 내 프로그램이 수행하게 되는 기능
 - 속도, 응답 시간 등과 같은 소프트웨어 운영 성능 및 설계의 제한 요소
 - 하드웨어 및 다른 소프트웨어 간의 상호관계
 - 프로그램 요건과 관련된 설계상의 주요 부분 기술
 - 데이터 흐름, 제어논리 및 데이터 구조 등 기술적 사항 등
- ◆ 소프트웨어 설계서 (SDD)
 - 실시간 제어 시스템 로직 블록 기술

- 적용기준 및 언어, 하드웨어 및 소프트웨어 환경, 알고리즘 및 논리구조
- 개별 프로그램에 대한 설치정보

- 검사 및 시험 계획서 (붙임 5, 붙임 6 참조)
계약자는 5.3에서 언급된 시험 및 검사를 수행하기 위한 검사 및 시험 계획서를 제출하여야 한다.

- 시스템 개발 완료 보고서 : SDR (붙임 4 참조)
 - ① 최종 하드웨어 및 소프트웨어 규격서 및 설계서
 - ② 하드웨어 및 소프트웨어 개발 내용 설명서
 - ③ 하드웨어 및 소프트웨어 동작 및 기능 설명서
 - ④ 최종 보드 회로도
 - ⑤ 최종 보드 CAD 도면 및 CASE 기구 도면
 - ⑥ 최종 개발 코드
 - ⑦ 사용자 문서 : 설치, 운전, 유지 보수 관련 매뉴얼 등 관련 기술 서류
- 검사 및 시험 성적서

2) 품질관리 증빙서류

- 계약자는 모든 작업이 완료되고 품질보증계획서의 요건에 따라 제품을 공급함을 보증하는 품질증빙서류를 구매자에게 제출하여야 한다.
- 일반적으로 품질증빙서류는 다음과 같다.
 - ① 부적합보고서(NCR), 공급자 불일치사항 처리요청서 (SDDR)종결분
 - ② 일반규격품 적합성 인증서
(Certification of Conformance for CGI Dedication)
 - ③ 기타 품질검사계획에 의거 요구되는 서류 (공정별 절차서)

6. 기술사양

기존 ECH (EC2, EC3) 운영 경험을 바탕으로 향후 추가되는 ECH (EC4~7) 및 기타 고주파 가열장치의 표준화 제어 시스템을 개발한다. 본 기술 사양서는 현재 운영중인 자이로트론과 동일한 형식의 자이로트론을 운전 대상으로 기술한다.

표준화 제어 시스템은 1기의 고출력 고주파원 제어에 이용될 것이며, ECICS 에서 대상으로 하고 있는 다이오드 타입의 자이로트론 이외 발전기 등의 운전에 필요한 특수성이 추후 구현 가능하도록 설계할 필요가 있다.

또한 본 시스템은 KSTAR 표준에 의거한 OPI를 포함한다. OPI의 구성에 관한 상세한 내용은 설계 단계에서 논의한다.

본 시스템의 하드웨어는 최소한 1개의 KSTAR 표준 19인치 랙에 설치되어 납품되어야 한다.

본 기술시방서는 PLC시스템을 제외한 ECICS 설계 및 개발 건이며, 아래에 기술된 내용들은 EC 한 시스템에 관한 내용이다. 아래의 일정에 대해서는 계약시 상호 협의/승인한 내용을 우선으로 한다.

- 1차 목표 - 2019년 상반기에 운영 개시되는 EC4 적용
- 2차 목표 - 2020년으로 계획된 EC4-7 4 세트 적용
- 최종 목표 - KSTAR ECH, LHCD, HCD, ICRF 적용

- 2017년 12월 기초 설계 완료
- 2018년 6월 KSTAR 제어팀 및 PCS 검토 완료
- 2018년 7월 ECICS 발주, PLC 시스템 발주
- 2019년 1월 납품
- 2019년 3월 1차 디버깅 완료
- 2019년 4월 (전원 및 Gyr4 입고) 시험 개시
- 2019년 캠페인 종료 후 발주 계약 종료 (계약 종료일로부터 365일 간 유지보수 기간)

6.1 개요

다이오드 타입의 자이로트론은 AC 히터 전원(HPS)에 의하여 가열되고 캐소드 전원(CPS)의 전위가 인가된 캐소드에서 전자빔이 방출되어, CPS 전위와 Body 전원(BPS)의 전위를 더한 전위만큼 가속된 전자가 고주파를 방출하는 원리로 발진한다. 방출한 고주파 에너지만큼 에너지를 잃은 전자빔은 다시 BPS 전위만큼 감속되어 콜렉터에 모이고 CPS로 리턴 된다.

여기에서 전자가 방출되는 캐소드 부분을 전자총이라 하는데 전자총에는 전자빔의 집속을 용이하게 하기 위한 자기장을 발생하는 전자총코일과 전자총코일 전원(GPS)이 설치된다. 고주파는 전자의 자이로 운동을 통하여 방출되는데 이러한 자이로 운동을 가능하게 해주기 위해서는 매우 큰 자기장이 필요하다. 이러한 큰 축방향의 자기장을 만들기 위하여 초전도 자석(SCM)과 SCM 전원(SCMPS)가 이용된다.

가속된 전자빔 에너지의 대략 절반은 고주파로 변환되나, 변환되지 않은 전자는 콜렉터에 충돌하여 열에너지로 변환된다. 따라서 콜렉터의 열부하 밀도가 매우 커서 이를 분산시키는 것이 고출력 장시간 자이로트론에서는 매우 중요한 기술 중 하나이다. 열부하 분산은 전자빔 분산을 통하여 이루어지는데 이를 위해서 직류 콜렉터 코일과 교류 콜렉터 코일을 이용하고 각각은 직류 콜렉터 코일 전원(DC-CCPS)과 교류 콜렉터 코일 전원(AC-CCPS)을 갖는다.

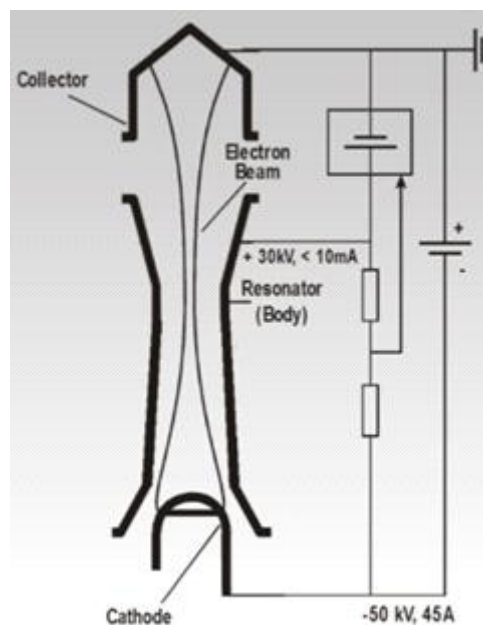


그림 1 다이오드 타입 자이로트론 개략도 (자석 및 자석 전원 미포함)

자이로트론은 이 외 진공 펌핑을 위한 다수의 Vacuum Ion Pump 와 아크 검출기 및 냉각수 회로가 구성된다.

자이로트론의 정상적이고 효율적인 운전을 위해서는 위에서 언급한 다수의 전원이 적절하게 운전되어야 하는데, 이 중 자이로트론에 손상을 유발 할 수 있는 요소는 크게 두 가지로 요약될 수 있다.

첫번째는 고주파 발진이 이루어지지 않는 경우이다. 발진이 이루어지지 않으면 전자 에너지 전체가 콜렉터로 집속되게 되고 이는 콜렉터가 감당할 수 있는 열부하를 초과하므로, 발진이 이루어지지 않으면 **매우 빠른 속도 (~usec)로 전자빔 발생을 중단시켜야** 한다. 발진이 이루어지는지를 판단하기 위해서는 고주파 검출기가 이용된다.

두번째는 수십 kV의 캐소드 또는 바디 전극 아크이다. 아크는 통상 매우 큰 에너지를 국소적인 위치에 인가하므로 발생하는 즉시 제거하여야만 하는데, 통상 진공상태의 구리전극에서는 아크에너지 10 J을 전극 손상의 기준으로 삼는다. 아크에너지를 10 J 이하로 제한하기 위하여 CPS와 BPS는 자체적인 과전류 센서와 고속 반응 능동 회로 및 아크 전류 감쇄 수동 회로를 이용한다. ECICS는 CPS와 BPS가 가지고 있는 보호회로가 오작동하거나 느린 경우에 대비하여 별도로 과전류를 감시하여 두 전원을 동시에 차단하는 기능을 갖는다. 또한 CPS가 자체 보호회로를 통하여 차단되는 경우 BPS가 차단되지 않으면 전자는 BPS 전위로 가속되어 바디 전극에 충돌하여 전극을 손상시키므로, CPS로 부터 CPS가 차단 되었음을 알려오면, 역시 고속으로 BPS를 차단하는 명령을 내려야 한다. BPS가 먼저 차단되는 반대의 경우도 마찬가지로 ECICS가 CPS를 차단하여야 한다. 이러한 고속 CPS, BPS 차단은 수 usec 이내 동작 되어야 한다.

자이로트론 정상 운전 및 보호 외 ECICS는 통상적인 KSTAR와의 연결 운전을 위한 다수의 임무를 수행하며 이를 요약하면 다음과 같다.

- 자이로트론 시험을 위한 운전 로직 구현
- 자이로트론 정상 운전
- 자이로트론 보호
- KSTAR 통합 운전
- 데이터 수집 및 저장

6.2 ECICS 기술 사양

EC Integrated Control System (ECICS)는 1기의 자이로트론으로 구성된 ECH 시스템을 구동하기 위한 모든 제어 시스템을 포함한다. 그림2에서 ECICS는 회색 점선 내부이며, ECICS의 각 구성 요소들은 하드웨어 구분을 의미하지 않고 기능적 차이로 구분된다.

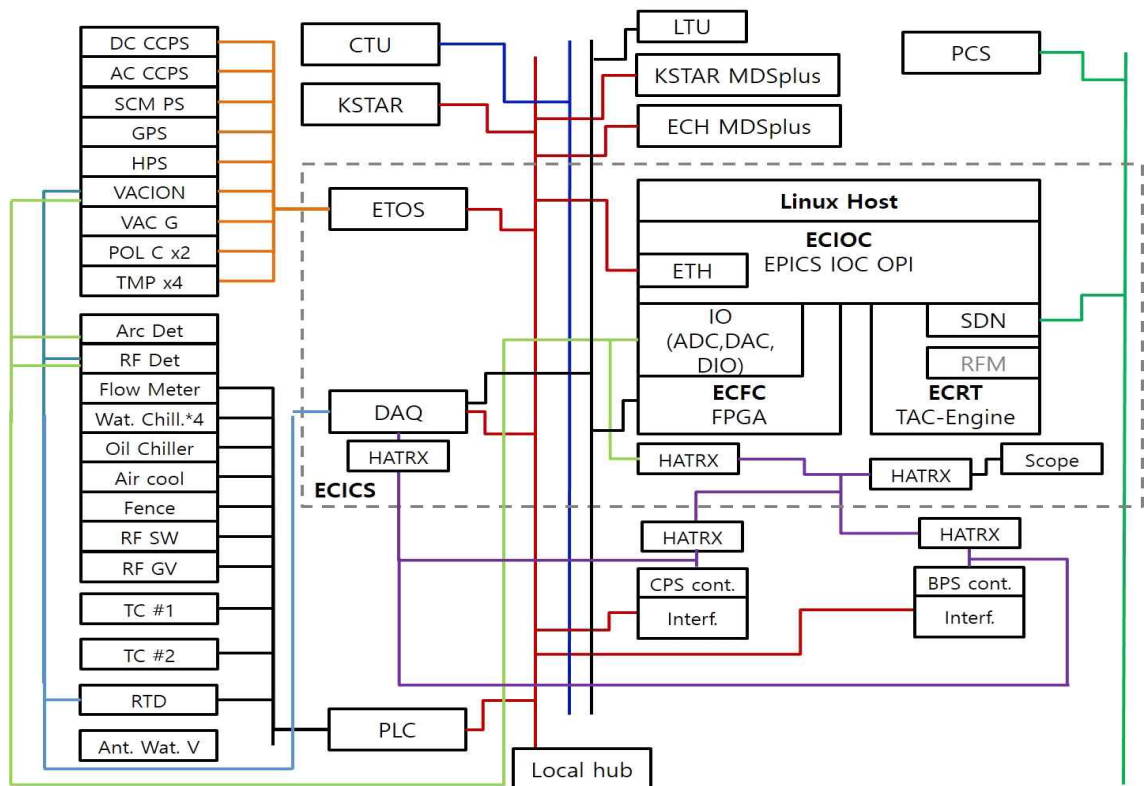


그림 2 ECICS 구성, 회색 점선 내부가 ECICS를 나타냄

ECICS는 추후 타 RF 장치로 포팅이 용이하도록 구조와 기능을 가급적 일반화하였다.

ECH만의 특수성 구현은 가급적 ECIOC에 한정하도록 하나, ECFC가 CPS, BPS를 직접 제어하므로 이 부분에 일부 ECH의 특수성이 포함 될 수 있다. 아래는 ECRT, ECFC, ECIOC, PLC, ETOS 그리고 HATRUX 의 역할과 기능에 대해 간략히 설명한 것이다.

• ECRT - EC Realtime Controller

EC 모듈레이션 타이밍을 정밀하게 제어하기 위한 Block이다. ECRT의 입력은 실시간 모듈레이션 주파수(fM)와 Duty cycle (dM) 등인데, 운전 주체가 PCS일 경우 이 값은 RFM을 통해 PCS로 부터 전달 받고, 운전 주체가 LOCAL일 경우 ECIOC로 부터 전달 받는다. (기존 ECH는 PCS로 부터 ON/OFF를 나타내는 펄스를 전달 받았다. PCS로 부터 전

달받는 RT 변수를 펄스로 할지 fM, dM 등 변수로 할지 선택할 수 있으나, 운전 주체가 LOCAL 일 경우 ECIOC는 펄스 생산이 불가능하므로 fM, dM 등 변수를 제공할 수밖에 없다. 이에 따라 fM, dM 등의 변수를 펄스로 변환하는 로직은 ECFC가 수행한다. 따라서 PCS로부터도 fM, dM 등 실시간 변수를 전송 받는 것이 보다 간편하다.)

- **ECFC - EC Fast Controller**

ECFC는 RF ON/OFF 시 CPS와 BPS를 시퀀스에 따라 동작시키는 역할을 수행하며, 1 usec 보다 빠른 연산 루프를 필요로 한다. 자이로트론을 보호하기 위하여 고속(sampling < 10ms)의 데이터 처리 및 fault 신호를 발생하여야 한다 (Ex. No RF). 뿐만 아니라, shot data를 메모리에 저장하여야 한다. 더불어, shot 종료 후 MDSplus data tree로 전송될 수 있도록 저장하여야 한다.

- **ECIOC - EC epics Input-Output Controller**

ECIOC는 주 제어 블록으로서 OPI와 직접 연결되어 파라미터 셋팅 및 제어에 이용된다. 그리고 EC 시스템 운전 시퀀스 담당과 slow interlock 처리에 이용된다. ECICS 외부와 연결되는 부분은 ECRT와 PCS, LTU와 CTU 그리고 ECIOC 뿐이다.

- **PLC - EC PLC**

PLC는 모든 느린 신호 (sampling > 10 msec)의 ADC, DAC, DIO (ex. 냉각수 온도/유량, 코일 PS fault 점점 등)에 사용된다. PLC는 Signal conditioning 외 특별한 신호 처리 기능은 없다. 즉, 복잡한 연산을 처리하지는 않고 interface의 역할(ADC, DAC, DIO 등)로 이용된다. 하지만 필요에 따라 PLC 내에 알람 기능을 활성화 하여 신호의 범위를 벗어난 경우, Interlock에 활용할 수 있도록 하여 ECIOC의 부담을 줄일 수 있다.

- **ETOS - EC Ethernet to Serial**

ETOS는 Serial Interface(RS232, RS485 등)가 이용되는 독립 부대 장치들의 제어 (ex. Heater PS의 On/Off 및 파라미터 셋팅)하기 위해 사용된다. 독립 부대 장치들의 fault 신호 중 일부 중요도가 높은 신호는 ECPLC에서 중복 처리하기도 한다.

- **HATRX - High speed Analog signal Transceiver/Receiver**

고속 아날로그 시그널 광 전송 시스템이며 Bandwidth는 1 MHz 보다 크다.

6.2.1 하드웨어 구성

ECICS를 위한 전체 하드웨어 리스트는 표 23과 같다.

6.2.1.1 네트워크 구성

- RT 제어 모듈은 고속 네트워크와 저속 네트워크로 구성된다.

① 고속 네트워크

- RFM과 10GE network은 실시간 네트워크에 사용된다.
- 10GE network은 2port 로 구성되고 SDN 통신에 사용된다.
: SDN은 추후 다른 장비와 실시간 통신에 사용된다.
- RFM 카드는 KSTAR PCS와 연결되어 통신에 사용된다.

② 저속 네트워크

- 1GE network은 2port로, Epics Channel Access 와 TCN에 각각 사용된다.
- 1GE network 중 Epics Channel Access를 위해 1port는 KSTAR Machine Network에 연결된다.
- 1GE network 중 TCN을 통해 RT 제어 모듈을 KSTAR TSS와 동기화하기 위해 KSTAR TCN Hub에 연결된다

③ 시리얼 네트워크

- 각 장치와 ETOS 장치가 시리얼 통신으로 연결되고 ETOS는 Machine Network를 통해 EC-IOC와 연결된다.

④ HATRX 네트워크

- 원거리에 있는 아날로그 전압 신호는 HATRX장비를 통해 디지털 광신호로 증개되어 ECICS까지 연결된다.

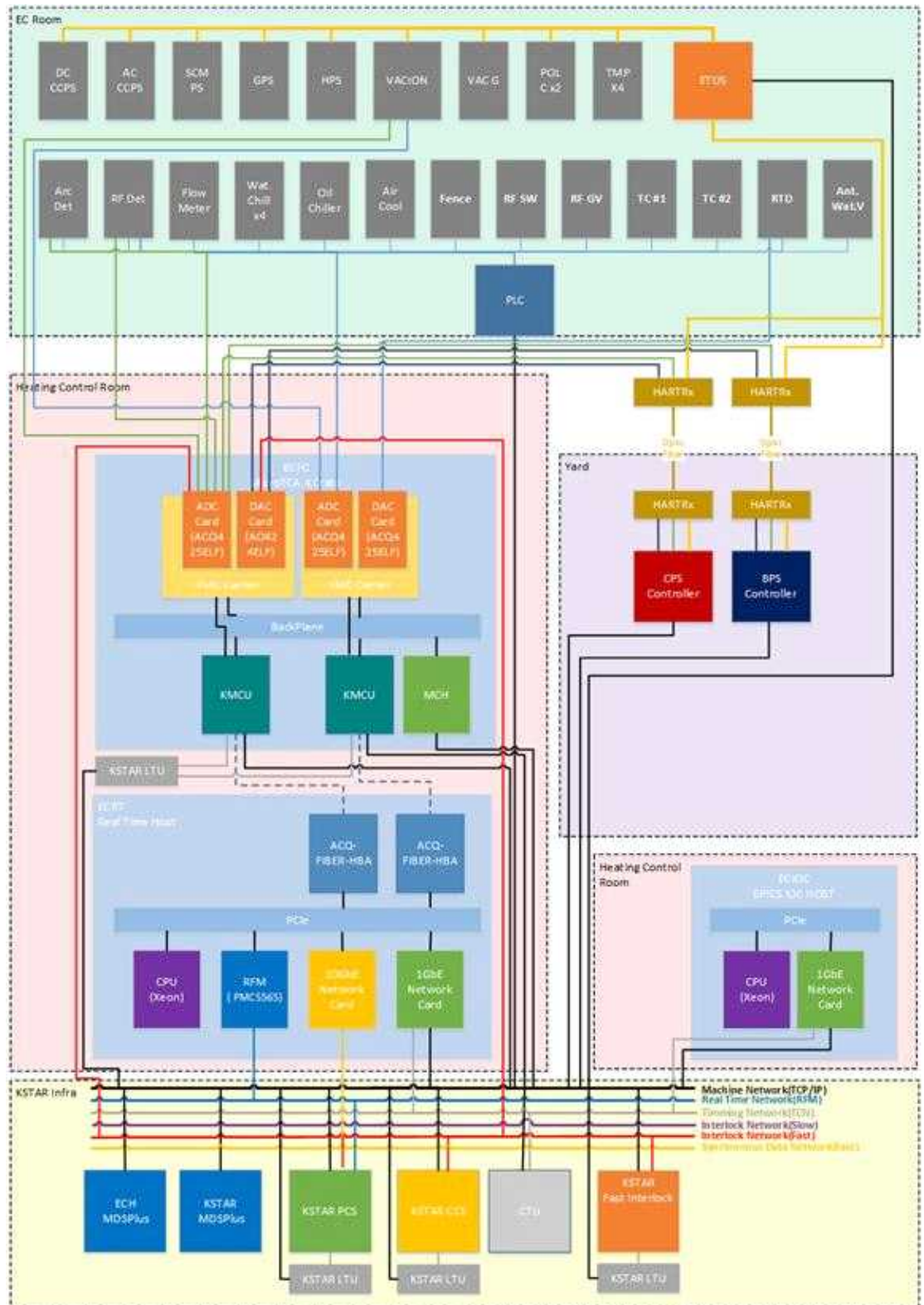


그림 3 EC-ICS 네트워크 및 신호 연결 구성도

6.2.1.2 ECFC

ECFC 모듈은 MicroTCA.4 표준의 장비를 사용한다. RF ON/OFF 시 CPS와 BPS를 시퀀스에 따라 동작시키는 역할 및 센서 데이터 수집을 위해 ADC 및 DAC를 사용한다.

6.2.1.2.1 Crate 구성

- 6개의 AMC 보드 4개의 RTM보드를 장착 가능한 2U Rack mount 가능한 crate를 사용한다.
- 실시간으로 데이터를 받기 위해서 3개의 ADC FMC모듈과 1개의 DAC FMC 모듈을 사용한다.
- 2개의 FMC를 설치 가능한 RTM FMC Carrier를 사용한다.

AMC	RTM	ELF (or FMC)	Role
KMCU-1	ACQ400-MTCA-RTM2	ACQ425ELF-16-2000	Fast Signal(2MSps/s) AI 32ch DAC
		ACQ425ELF-16-2000	Fast Signal(2MSps/s) AI 32ch DAC
KMCU-2	ACQ400-MTCA-RTM2	ACQ425ELF-16-2000	Fast Signal(2MSps/s) AI 32ch DAC
		AO424ELF-16	Fast/Slow Signal(1MSps/s) AO 16ch ADC

그림 4 FMC 보드 배치 및 구성도

- 모듈의 안정성을 도모하기 위해 N.A.T의 MCH와 파워 모듈을 사용한다.
- 쓰지 않는 Slot은 원활한 냉각을 위해 Slot 막이를 이용하여 막도록 한다.
- BNC Panel을 사용하여 DAQ 모듈의 인터페이스로 사용한다
- EC-FC의 KMCU 각 모듈이 EC-RT의 ACQ-FIBER-HBA모듈과 1대1로 ilinx aurora로 연결되어 데이터를 EC-RT로 보내고 EC-RT에서 제어 명령을 받는 인터페이스로 사용된다.
- KMCU와 RTM FMC Carrier는 MicroTCA.4 Zone3에 의해 연결된다.
- 2개의 FMC를 설치 가능한 RTM FMC Carrier를 사용한다.

no.	Part no.	Set	Role	Description
1	RackPak/M5-1	1EA	Crate	PowerBridge,2U, 6 double mid size AMC slots, 4 μ RTM slots, MCH & PM slot
2	NAT-PM-AC600D	1EA	Power	N.A.T, 600W expected workload of 12 AMCs, 2 CUs and 2 MCH.
3	MCH-HUB-PCIe-x48	1EA	MCH	N.A.T, 12 AMCs, GigaBit Ethernet switching, PCI Express (Gen 3) switching
4	ACQ425ELF-16-2000	3EA	ADC	D-Tacq,16 channels, 16 bit resolution, 2000kSPS/channel
5	AO424ELF-16	1EA	DAC	D-Tacq, 16 channels, 16 bit resolution, 1000kSPS/channel
6	ACQ400-MTCA-RTM2	2EA	RTM	D-Tacq, two module carrier sites(FMC,ELF)
7	KMCU-Z30	2EA	AMC	SeedCore, Zynq, 2 x SFP+ Ethernet - RJ45 microSD LEMO CLK/TRIG
8	BNCPANEL-32	4EA	Terminal	32 isolated BNC connectors, 1U 19" form factor providing connectivity for various D-TACQ products which use SCSI-68 or VHDCI connectors

그림 5 EC-FC 부품 리스트

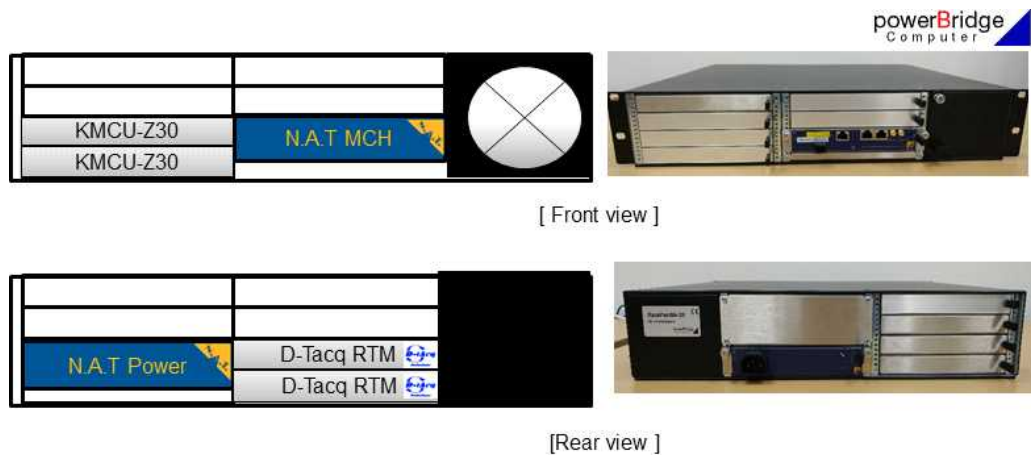


그림 6 EC-FC Crate 구성도

6.2.1.3 ECRT

ECRT 제어 모듈은 실시간 파형 계산 및 제어를 위한 고성능 서버와 실시간 네트워크로 구성된다.

6.2.1.3.1 Server 구성

- 실시간 제어를 위해 서버는 다수의 core를 가진 모델로 선정하여야 한다. 12 core 이상, 2 socket으로 구성한다.
- 서버는 네트워크 카드 장착을 위한 PCIe slot을 확보해야한다.
- 하드웨어는 최적의 성능을 낼 수 있도록 Redhat사에 제공한 turning Guide에 맞추어 최적화 되어야 한다.
- RFM을 통해 실시간 통신을 할 수 있어야 한다.
- TCN을 통해 서버를 동기화 가능해야 한다.

no.	Part no.	Set	Role	Description
1	Dell Precision Tower 5820	2EA	Server	<ul style="list-style-type: none"> - 프로세서 인텔 제온 W-2133 3.6GHz, 3.9GHz Turbo, 6C, 8.25M 캐시, HT, (140W) DDR4-2666 - 메모리 32GB (2x16GB) 2666MHz DDR4 ECC RDIMM 메모리 - 비디오 솔루션 NVIDIA Quadro P400, 2GB (5820T) - Boot 드라이브 옵션 SATA/SAS 하드 드라이브/SSD - 하드 컨트롤러 통합형 인텔 AHCI SATA chipset 컨트롤러 (8x 6.0Gb/s), SW RAID 0,1,5,10 - 1st 하드 드라이브 2.5인치 512GB SATA Class 20 SSD - 보조 하드 드라이브 2.5인치 512GB SATA Class 20 SSD - 새시 옵션 Dell Precision 5820 타워 950W 새시 - 슬림형 Bay 옵션 8X DVD+/-RW 슬림형 - 8x DVD-/+RW 슬림형
2	PCIE-5565RC-100000	1EA	RFM CARD	- PCIe type RFM CARD.
3	Intel Ethernet I210-T1	2EA	Network Card	- Network Card for TCN, IEEE1588
4	MCX312B-XCCT 광랜	1EA	Network Card	- 10G Ethernet Interface for SDN
5	ACQ-FIBER-HBA	2EA	Adapter	- D-Tacq, Provides 2x SFP Transceiver ports at up to 2.5Gbps. 3. Standard PCIe x1 Gen 1.0 card.

그림 7 ECRT 부품 리스트

- ECFC의 KMCU 각 모듈이 ECRT의 ACQ-FIBER-HBA모듈과 1대1로 ilinx aurora로 연결되어 데이터를 ECRT로 보내고 ECRT에서 제어 명령을 받는 인터페이스로 사용된다.

6.2.2 소프트웨어 구성

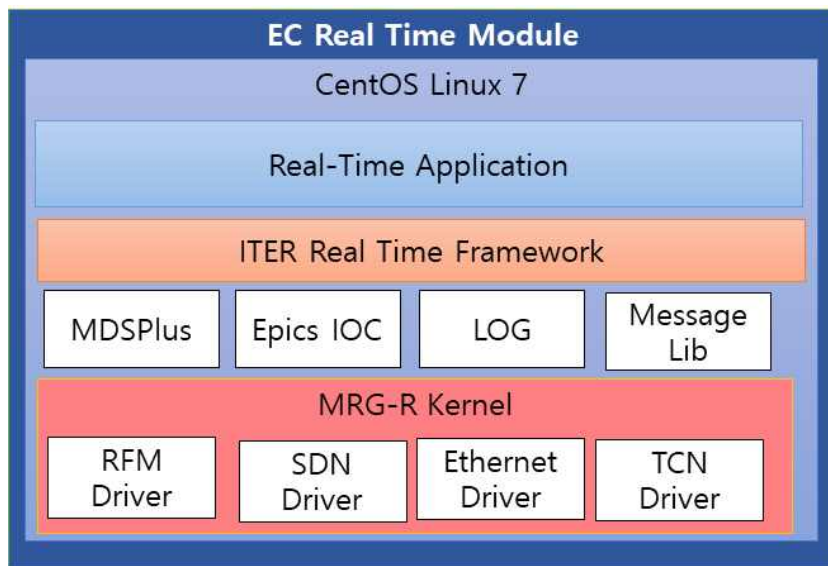


그림 8 ECRT 소프트웨어 아키텍처

6.2.2.1 운영 체제

- 운영체제는 Scientific Linux 7을 사용하고 최신 버전을 사용하도록 한다.

6.2.2.2 Real Time kernel

- 실시간 제어를 위해 저 지연, 예측 가능한 지연을 가진 Redhat사의 Real-Time Kernel을 적용한다. Real-Time Kernel은 운영체제와 호환 되어야 한다.
- Real Time kernel은 하드웨어와 함께 최적의 성능을 낼 수 있도록 Redhat사에 제공한 Tuning Guide에 맞추어 최적화 되어야 한다.

6.2.2.3 Real Time Framework (RTF)

- RTF 을 사용하여 RT 제어모듈을 개발하도록 한다.
- RTF Configuration file을 구성함으로써 개발하도록 한다.
- RTF은 제안사가 라이브러리 형태로 제공한다.
- 개발 시 필요로 하는 모듈들은 RTF 모듈 형태로 개발되어 사용되어야 한다.

6.2.2.4 MDS Plus

- RT 모듈 관련 정보 중 필요로 하는 정보를 MDSplus 정보에 저장하기 위해 사용 되어야 한다.
- KSTAR MDSPlus 서버와 연동되어 작동되어야 한다.
- KSTAR 개발 표준안에 맞도록 개발되어야 한다.
- RTF 모듈로 개발 되어져야 한다.

6.2.2.5 EPICS IOC

- KSTAR 개발 표준안에 맞추어 개발 되어야 한다.
- RTF 과 연동 되어 동작되도록 개발되어야 한다.
- 실시간성을 저해하지 않도록 비동기적으로 구동되어야 한다.

6.2.2.6 Hardware Device Driver

- 각 하드웨어의 드라이버는 RT Kernel에서 동작가능 되어야한다.
- RFM모듈은 RTF 모듈로 개발 되어져야 한다.

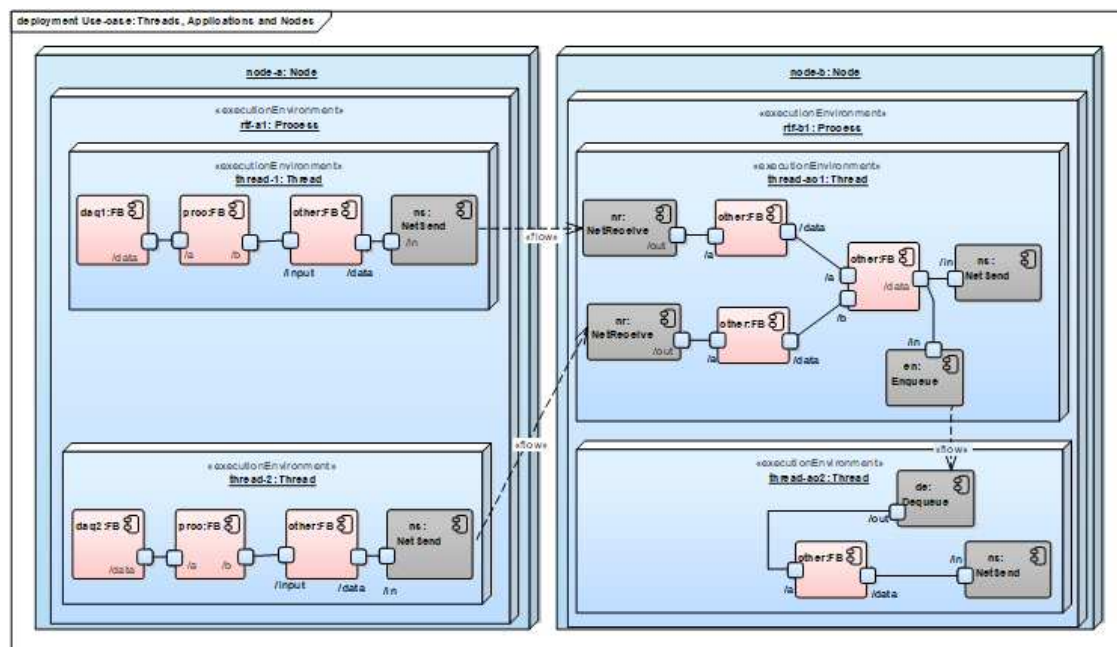


그림 9 RTF Configuration Example

6.2.3 ECIOC 상세사항

6.2.3.1 일반사항 및 목적

ECIOC는 EPICS를 통하여 구현되며 아래와 같은 특징을 가진다.

- OPI 제어 - 제반 운전 파라미터 세팅
- 장치 제어 - 속도가 느린 장치들을 PLC와 ETOS를 통하여 제어
- 운전 시퀀스 - 시스템 디버깅을 위한 운전과 RF 발진을 위한 운전 등 다수의 운전 모드 로직 구현
- KSTAR 운전 - KSTAR 통합 운전을 위해 KSTAR와의 파라미터 송수신
- ECIOC는 KSTAR 표준에 의거한 OPI를 포함한다.

6.2.3.2 장치별 운전 제어

* 용어 및 약어

6.2.1.2 절에서 사용된 그림 및 표에서 사용되는 용어 및 약어에 대한 내용은 아래표와 같다.

	Name	Description
장치	METER	전류 및 전압 측정 장치
	DAQ	데이터 수집 장치 (Data Acquisition)
	EPICS	네트워크 기반 분산 제어시스템의 미들웨어 (Experimental Physics and Industrial Control System)
	PLC	프로그램 가능 논리제어장치 (Programmable logic controller)
	Comparator	비교기
	Amp	앰프
	Oscil.	오실로스코프 (Oscilloscope)
	ECFC	EC시스템의 빠른 동작을 위한 제어시스템 (EC Fast control)
	ETOS	이더넷/시리얼 변환기 (Ethernet to serial)
	Counter METER	펄스를 카운터하는 장치
명령어	mon.	실제 출력 확인 (Monitoring)
	ret.	입력값 확인 (Return)
	Fw	Forward의 약어
	Rf	Reflection의 약어
	Vac	진공도 (Vacuum)
	Tem.	온도 (Temperature)

	105 or 140	주파수 (105GHz or 140GHz)
	CMD	사용자 입력 값 (Command)
	ope	Operation의 약어
	rem	원격모드 (Remote)
	reg	영역 (Region)
	tar	목표 값 (Target)
	Ang	각 (Angle)
	Sp	속도 (Speed)
	stp.	단계 (Step)
	mov	Move의 약어
	modu	Modulation의 약어
	lim	limit의 약어

표 1 용어 및 약어 정리

6.2.3.2.1 CPS (통신방식 : KSTAR Machine network)

CPS는 자이로트론의 캐소드 전극에 전원을 인가하는 캐소드 파워 서플라이(CPS : Cathode Power Supply)이다. EC-ICS는 CPS controller와 통신을 해야하며, 기본적으로 CPS의 출력전압 제어를 한다. 뿐만 아니라, CPS의 모듈레이션 운전, 장치보호를 위한 fault 감지 및 인터락, 자이로트론의 이중보호장치인 crowbar 동작 그리고 상태 모니터링 등의 제어를 해야한다. CPS controller와 EC-ICS의 통신을 위한 명령(commands), 파라미터 혹은 값은 아래의 표와 같다.

Name	Dir.	Network	Description	Type	Default
On	In	EPICS PV	System stand-by	BM	Off
Off	In	EPICS PV	System off	BM	Off
Status	Out	EPICS PV	0:off, 1:stand-by	Binary	N/A
Watch dog	Out	EPICS PV	½ Hz	Binary	N/A
Remote	In	EPICS PV	0: local, 1: remote	Binary	0
Remote status	Out	EPICS PV	0: local, 1: remote	Binary	N/A
loc	In	EPICS PV	Over current	Float	55 A
loc_r	Out	EPICS PV	Over current ret.	Float	N/A
Vov	In	EPICS PV	Over voltage	Float	55 kV
Vov_r	Out	EPICS PV	Over voltage ret.	Float	N/A
Reference	In	EPICS PV	0: internal reference, 1: external reference	Binary	0
Reference status	Out	EPICS PV	0: internal reference, 1: external reference	Binary	N/A
Vrefint	In	EPICS PV	Internal reference voltage	Float or array of float	0
Vrefint_r	Out	EPICS PV	Internal reference voltage ret.	Float or array of float	0
Vu	in	EPICS PV	Under voltage ratio	Float	0.5
Vu_r	Out	EPICS PV	Und. Volt. Ret.	Float	N/A
Tdelay	In	EPICS PV	Und. Volt. delay	Float	100 usec
Tdelay_r	Out	EPICS PV	Und. Volt. delay Ret.	Float	N/A
[Tovt]	In	EPICS PV	Over temperature	Float	-
First event	Out	EPICS PV	First fault event	MB	0x0
Event list	Out	EPICS PV	Event List	MB	0x0
Reset	In	EPICS PV	Fault reset	BM	0

표 2 CPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.2 BPS (통신방식 : KSTAR Machine network)

BPS는 자이로트론의 캐소드와 바디사이의 전자빔에 가속전압을 공급하는 바디 파워 서플라이(BPS : Body Power Supply)이다. CPS와 마찬가지로 EC-ICS는 BPS controller와 통신을 해야하며, 기본적으로 BPS의 출력전압 제어를 한다. 뿐만 아니라, BPS의 모듈레이션 운전, 장치보호를 위한 fault 감지 및 인터락 등의 제어를 해야한다. BPS controller와 EC-ICS의 통신을 위한 명령(commands), 파라미터 혹은 값은 아래표와 같다.

Name	Dir.	Network	Description	Type	Default
On	In	EPICS PV	System stand-by	BM	Off
Off	In	EPICS PV	System off	BM	Off
Status	Out	EPICS PV	0:off, 1:stand-by	Binary	N/A
Watch dog	Out	EPICS PV	½ Hz	Binary	N/A
Remote	In	EPICS PV	0: local, 1: remote	Binary	0
Remote status	Out	EPICS PV	0: local, 1: remote	Binary	N/A
loc	In	EPICS PV	Over current	Float	150 mA
loc_r	Out	EPICS PV	Over current ret.	Float	N/A
Reference	In	EPICS PV	0: internal reference, 1: external reference	Binary	0
Reference status	Out	EPICS PV	0: internal reference, 1: external reference	Binary	N/A
Vrefint	In	EPICS PV	Internal reference voltage	Float or array of float	0
Vrefint_r	Out	EPICS PV	Internal reference voltage ret.	Float or array of float	0
[Tovt]	In	EPICS PV	Over temperature	Float	-
First event	Out	EPICS PV	First fault event	MB	0x0
Event list	Out	EPICS PV	Event List	MB	0x0
Reset	In	EPICS PV	Fault reset	BM	0

표 3 BPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.3 DC-CCPS

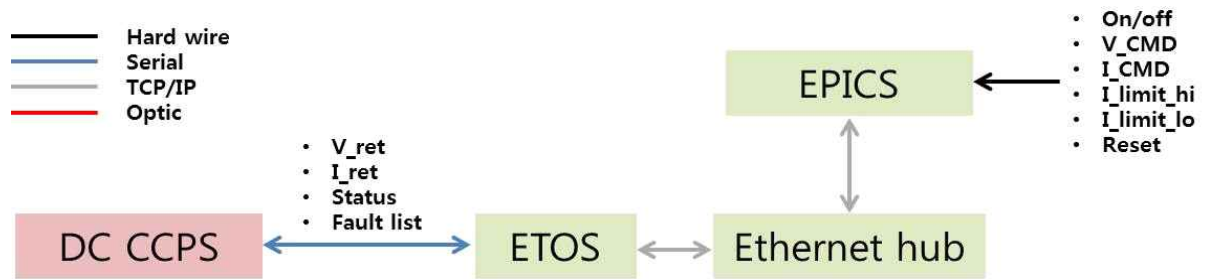


그림 10 DC-CCPS 블록다이어그램

자이로트론의 캐소드에서 방출된 전자의 일부는 RF로 변환되며, 변환되고 남은 나머지 전자는 자이로트론의 콜렉터에 수집되어진다. DC-CCPS (Collector coil power supply)는 자이로트론의 콜렉터에 수집되는 전자의 분포를 분산시키기 위한 DC 전원장치이다. DC-CCPS는 RS232 및 RS485 통신을 지원하는데 EC 시스템에서는 RS232를 사용한다. EC-ICS는 기본적으로 DC-CCPS의 전원 on/off 제어가 되어야 한다.

▶ DC-CCPS의 출력은 전압 혹은 전류값 설정을 통해 할 수 있다.

- 전압값을 세팅하는 것을 CV모드라 하며 전류값을 세팅하는 것을 CC모드라고 한다.
- 세팅된 전압 값 및 전류 값이 제대로 입력되었는지 확인(return)이 되어야 한다.
- 안정적인 운전을 위해 전류값의 상한선과 하한선 설정이 가능하여야 하며, 설정한 상한선과 하한선 사이에서 안정적인 출력을 할 때 정상운전(normal operation)이라 한다.
- 이 설정 값은 장치에서 지원하지 않으며 PLC를 통해 감지를 한다. 마찬가지로 PLC를 통해 세팅 값 및 정상운전 상태를 모니터링 하여야 한다.
- 에러(fault) 발생시 에러의 상태를 사용자가 확인할 수 있도록 알려주어야 하며, 사용자가 초기화(reset)를 할 때까지 에러 발생 상태로 있어야 한다.

장치(DC-CCPS) 자체에서 출력값 정보를 출력하나 이중 확인 및 보호를 위해 전류 및 전압 측정 미터기를 연결하여 출력값을 확인한다. DC-CCPS와 EC-ICS간의 통신 및 파라미터는 아래와 같다. 아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
On	In	Serial	Output enable	BM	Off
Off	In	Serial	Output disable	BM	Off
V_mon	out	EPICS PV	Voltage out monitoring	Float	
V_CMD	In	Serial	Voltage setting value	Float	
V_ret	Out	Serial	Voltage return value	Float	N/A
I_mon	Out	EPICS PV	Current out monitoring	Float	
I_CMD	In	Serial	Current setting value	Float	

<i>I_ret</i>	<i>Out</i>	<i>Serial</i>	<i>Current return value</i>	<i>Float</i>	<i>N/A</i>
<i>I_lim_hi</i>	<i>In</i>	<i>EPICS PV</i>	<i>High limit current</i>	<i>Float</i>	
<i>I_lim_lo</i>	<i>In</i>	<i>EPICS PV</i>	<i>low limit current</i>	<i>Float</i>	
<i>I_lim_hi_ret</i>	<i>Out</i>	<i>EPICS PV</i>	<i>High limit current return</i>	<i>Float</i>	
<i>I_lim_lo_ret</i>	<i>Out</i>	<i>EPICS PV</i>	<i>low limit current return</i>	<i>Float</i>	
<i>Ope_mode</i>	<i>Out</i>	<i>Serial</i>	<i>0 : CV mode</i> <i>1 : CC mode</i>	<i>Binary</i>	<i>0</i>
<i>Fault list</i>	<i>Out</i>	<i>Serial</i>	<i>Fault list</i>	<i>MB</i>	<i>0x0</i>
<i>Status</i>	<i>Out</i>	<i>Serial</i>	<i>0: None</i> <i>1: Normal operation</i>	<i>Binary</i>	<i>0</i>
<i>Reset</i>	<i>In</i>	<i>Serial</i>	<i>Fault clear</i>	<i>BM</i>	<i>0</i>

표 4 DC-CCPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.4 AC-CCPS

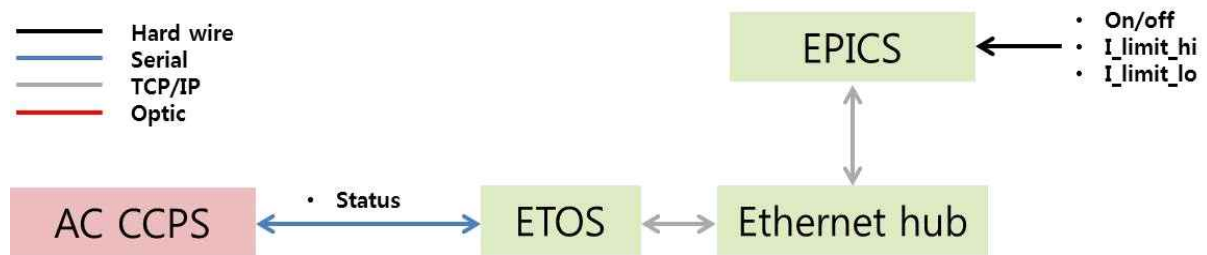


그림 11 AC-CCPS 블록다이어그램

DC-CCPS와 유사하게 콜렉터에 수집되는 전자의 분포를 분산시키기 위한 전원장치로 차이점은 AC 전원장치이다. AC-CCPS는 원격으로 장치의 전원을 on/off 할 수 없으며 로컬로만 조작이 가능하다. AC-CCPS는 출력 on/off, 안정적인 동작을 위한 전류값 상, 하한 설정만 되면 된다. 이 상하한값 설정은 장치에서 지원하지 않기 때문에 PLC를 통해 제어를 하며 상하한값 세팅 상태(return)를 사용자가 확인할 수 있도록 알려주어야 한다. 현재 전류 값과 정상 동작 상태여부의 모니터링 또한 지원되어야 한다. 장치(AC-CCPS) 자체에서 출력값 정보를 출력하나 이중 확인 및 보호를 위해 전류 측정 미터기를 연결하여 출력값을 확인한다. 이를 위한 AC-CCPS와 EC-ICS간의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기 된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
On	In	Serial	Output enable	BM	Off
Off	In	Serial	Output disable	BM	Off
I_mon	Out	EPICS PV	Current out monitoring	Float	
I_lim_hi	In	EPICS PV	High limit current	Float	
I_lim_lo	In	EPICS PV	low limit current	Float	
Status	Out	Serial	0: None 1: Normal operation	Binary	0

표 5 AC-CCPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.5 SCM PS

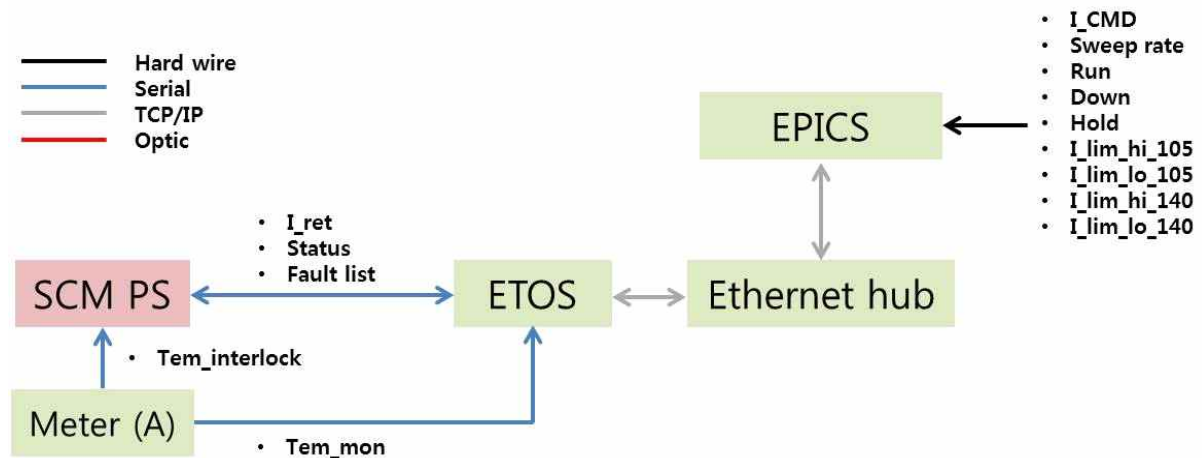


그림 12 SCM PS 블록다이어그램

SCM PS은 초전도자석(Super Conduction Magnet) 전원장치로 초전도 자석에 전류를 흘려주는 전원장치이다. SCM PS는 RS232 통신을 지원하는데 EC 시스템에서는 RS232를 사용한다. 주의할 점은 초전도자석에 전류를 인가할때는 초전도자석 보호를 위해 천천히 전류를 흘려주어야 한다. 마찬가지로 안정적인 동작을 위해 인가 전류의 상, 하한값을 설정해주어야 한다. 현재 운영중인 자이로트론은 105Ghz 그리고 140Ghz 두 개의 주파수 영역에서 운전이 가능한 dual-frequency 자이로트론이다. 그리고 두 주파수의 빔이 발생되기 위에서 초전도 자석의 자기장이 달라야 한다. 따라서, 105/140Ghz 운전 선택에 따라 인가 전류값을 다르게 세팅해야 하며, 마찬가지로 전류값의 상, 하한값을 다르게 설정해주어야 한다. 이를 포함한 SCM PS와 EC-ICS간의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
Status	Out	Serial	0:none, 1:stand-by	Binary	
I_CMD	In	Serial	Current setting value	Float	
I_ret	Out	Serial	Current return value	Float	
I_mon	Out	EPICS PV	Current monitoring	Float	
Sweep_rate	In	EPICS PV	Sweep rate setting	Float	
Sweep_rate_ret	Out	EPICS PV	Sweep rate return	Float	
Fault list	Out	Serial	Fault list	MB	
Tem_mon	Out	EPICS PV	Temperature monitoring	Float	
Run	In	Serial	Charging start	MB	
Down	In	Serial	Discharging start	MB	
Hold	In	Serial	Charging stop	MB	
I_lim_hi105	In	EPICS PV	105GHz high limit current	Float	

I_lim_hi140	In	EPICS PV	140GHz high limit current	Float	
I_lim_lo105	In	EPICS PV	105GHz low limit current	Float	
I_lim_lo140	In	EPICS PV	140GHz low limit current	Float	

표 6 SCM PS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.6 GPS (Guncoil power supply or Cathode power supply)

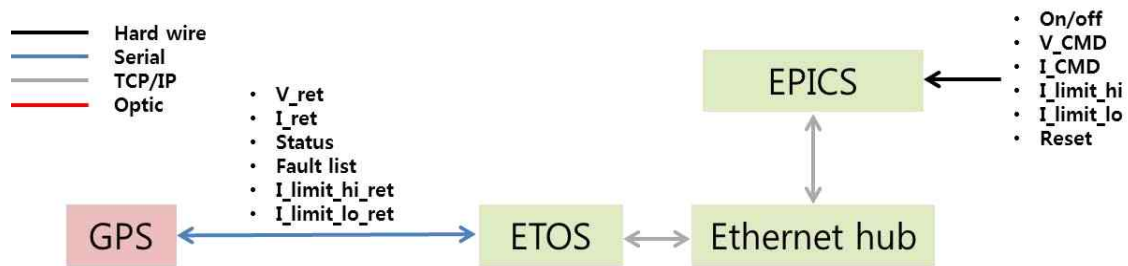


그림 13 GPS 블럭다이어그램

GPS는 Gun-coil PS로써 Cathode PS라고도 한다. 자이로트론의 전자총을 둘러싸고 있는 상전도 코일에 전류를 흘려주는 전원장치이다. 상전도 코일은 전자총의 에미터에 영향을 주는 장치로 전자빔의 켈리타의 영향을 주는 중요한 장치이다. GPS는 기본적으로 DC-CCPS와 같은 종류의 전원장치로 제어해야 하는 항목은 동일하다. 따라서 GPS와 EC-ICS간의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
On	In	Serial	Output enable	BM	Off
Off	In	Serial	Output disable	BM	On
V_mon	out	EPICS PV	Voltage out monitoring	Float	
V_CMD	In	Serial	Voltage setting value	Float	
V_ret	Out	Serial	Voltage return value	Float	N/A
I_mon	Out	EPICS PV	Current out monitoring	Float	
I_CMD	In	Serial	Current setting value	Float	
I_ret	Out	Serial	Current return value	Float	N/A
I_lim_hi	In	EPICS PV	High limit current	Float	
I_lim_lo	In	EPICS PV	low limit current	Float	
I_lim_hi_ret	Out	EPICS PV	High limit current return	Float	
I_lim_lo_ret	Out	EPICS PV	low limit current return	Float	
Ope_mode	Out	Serial	0 : CV mode 1 : CC mode	Binary	0
Fault list	Out	Serial	Fault list	MB	0x0
Status	Out	Serial	0: None 1: Normal operation	Binary	0
Reset	In	Serial	Fault clear	BM	0

표 7 GPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.7 Heater PS

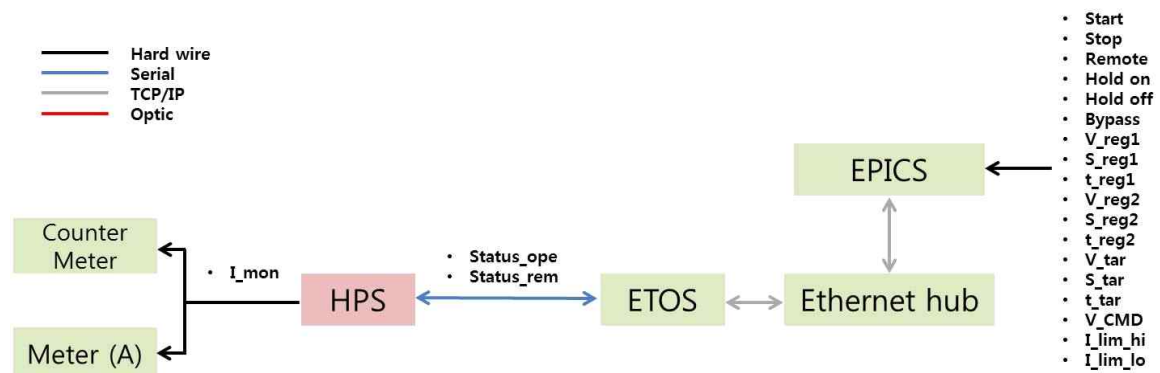


그림 14 HPS 블럭다이아그램

Heater PS는 자이로트론의 전자총 내부에 캐소드와 연결된 히터코일에 전류를 흘려주는 전원장치이다. 더 정확히 설명하면 히터 코일은 전자총 캐소드의 에미터와 연결된 코일로 전류를 흘려주면서 온도를 올리는 역할을 하는 전원장치이다. 보통 에미터의 온도는 1000도 이상이 되어야 하며 에미터에서 전자를 방출시키는 중요한 장치 중의 하나이다. Heater PS는 GPIB 혹은 RS232 통신을 지원하는데 EC 시스템에서는 RS232를 사용한다. Heater에 전압을 인가시켜줄 때 전류값이 갑자기 오르면 장치에 데미지가 갈 수 있어서 주의하여야 한다. 보통은 저전압일 때 전류값에 영향을 많이 받아서 현재 운영중인 자이로트론은 3개의 구역으로 나누어서 전압을 인가한다. 자이로트론이 운전 가능한 영역(보통 200V 이상)에서 자이로트론 출력을 조정하기 위한 미세한 조정은 영역 구분없이 한번에 가변을 한다. 이를 Bypass라고 한다. Heater PS와 EC-ICS간의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
Start	In	Serial	Output enable	BM	off
Hold_on/off	In	EPICS PV	0 : Output hold off 1 : Output hold on	Binary	0
Bypass	In	EPICS PV	Output enable (fine adjustment)	BM	
V_reg1	In	EPICS PV	Voltage range (region 1)	Float	
S_reg1	In	EPICS PV	Step number (region 1)	Float	
t_reg1	In	EPICS PV	Time per step (region 1)	Float	
V_reg2	In	EPICS PV	Voltage range (region 2)	Float	
S_reg2	In	EPICS PV	Step number (region 2)	Float	
t_reg2	In	EPICS PV	Time per step (region 2)	Float	
V_tar	In	EPICS PV	Voltage range (tar)	Float	

S_tar	In	EPICS PV	Step number (tar)	Float	
t_tar	In	EPICS PV	Time per step (tar)	Float	
V_CMD	In	Serial	Target voltage setting	Float	
V_1st_mon	Out	EPICS PV	Primary voltage monitoring	Float	
I_1st_mon	Out	EPICS PV	Primary current monitoring	Float	
V_2nd_mon	Out	EPICS PV	Secondary voltage monitoring	Float	
I_2nd_mon	Out	EPICS PV	Secondary current monitoring	Float	
I_lim_hi	In	EPICS PV	High limit current	Float	
I_lim_lo	In	EPICS PV	low limit current	Float	
Status	Out	Serial	0 : None 1 : Normal operation	Binary	0
Stop	In	Serial	Voltage apply stop	Float	

표 8 HPS를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.8 Vac. Ion 펌프 제어기

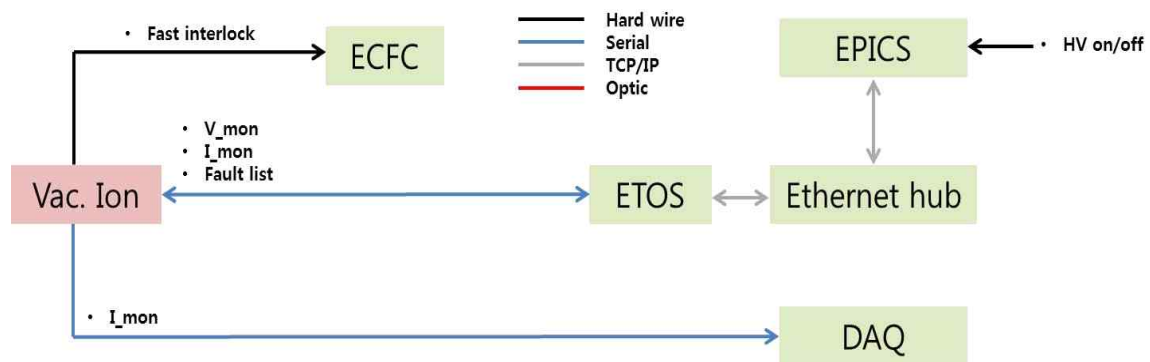


그림 15 Vacuum ion pump controller 블럭다이어그램

Vac. Ion controller는 vacuum ion pump controller의 약자로 이온펌프를 제어하는 장치이다. Vac. Ion controller는 RS232 또는 RS485 통신을 지원하는데 EC 시스템에서는 RS232를 사용한다. Vac. Ion controller는 이온펌프의 전원 on/off를 제어하며, 전압, 전류값을 모니터링 하고 장치 보호 기능을 수행한다. Vac. Ion controller와 EC-ICS간 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

Vac. Ion controller에는 자체적으로 레벨을 설정할 수 있는 기능이 있다. 설정한 레벨을 넘어갈 경우 점점으로 ECFC로 빠르게 interlock 신호를 날려준다.

RS232가 ETOS와 연결되어 상태 및 모니터링이 가능하다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기 된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
On	In	Serial	System stand-by	BM	Off
Off	In	Serial	System off	BM	On
I_ret	Out	Serial	Current return value	Float	
V_ret	Out	Serial	Voltage return value	Float	
Fault list	Out	Serial	Fault list	MB	
Fast int.	Out	Dry C.C	Fast interlock	BM	0
I_mon	Out	EPICS PV	Current monitoring	Float	

표 9 Vacuum ion pump controller를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.9 진공 게이지

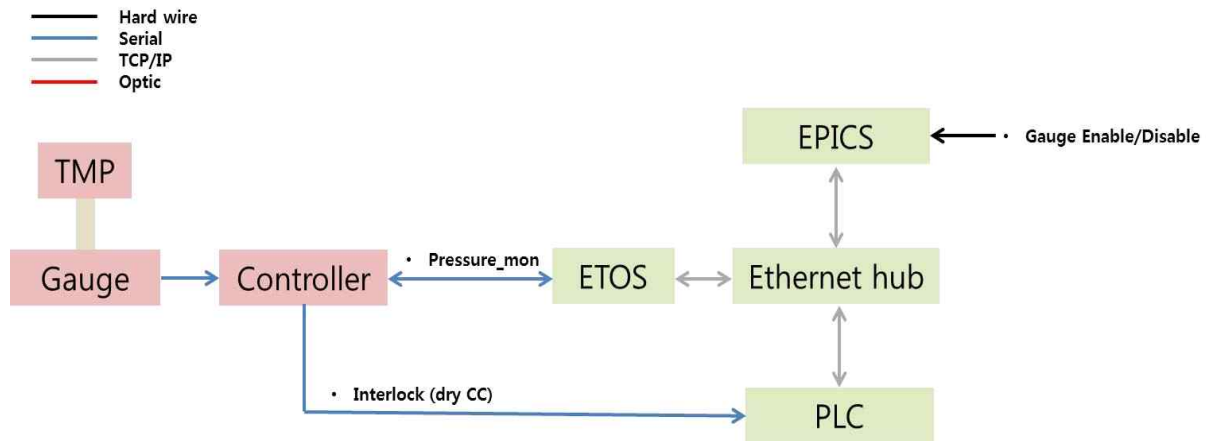


그림 16 진공게이지 블록다이어그램

진공게이지는 maxi gauge라고도 하는데 진공펌프의 진공도를 측정하는 장치이다. Full range 게이지로 TMP에 연결되어 있으며 게이지를 제어하기 위한 컨트롤러로 구성되어 있다. EC-ICS는 진공 게이지 컨트롤러와 통신하며 RS232 및 RS422 통신을 지원하는데 EC 시스템에서는 RS232를 사용한다. 게이지의 Enable/disable 제어가 되어야 한다. Enable/disable은 불필요한 인터락 발생을 방지하기 위한 제어이다. 또한, 게이지에서 측정된 진공도를 실시간으로 모니터링 되어야한다. 진공 게이지는 한 시스템 당 4개가 사용된다. 이를 위한 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기 된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
CMD	In	Serial	0 : Disable 1 : Enable	Binary	0
Vac_mon	Out	Serial	Pressure monitoring	Float	

표 10 진공게이지를 위한 파라미터 및 명령어 목록

**** RF스위치, RF게이트밸브, 진공게이지의 연동 인터락**

RF스위치, RF게이트밸브, 진공게이지는 각각의 상태에 따라 인터락이 연동되어야 한다. 예를 들면 진공게이지의 진공도가 안정범위를 충족하지 못할 때 RF게이트밸브가 open 되어 있으면 RF게이트밸브 인터락 신호도 함께 알려주어야 한다. 또 다른 예로 RF스위치가 KSTAR로 되어있을 때 진공도에 문제가 있으면 RF스위치 인터락 신호를 알려주어야 한다.

6.2.3.2.10 폴라라이저 제어기

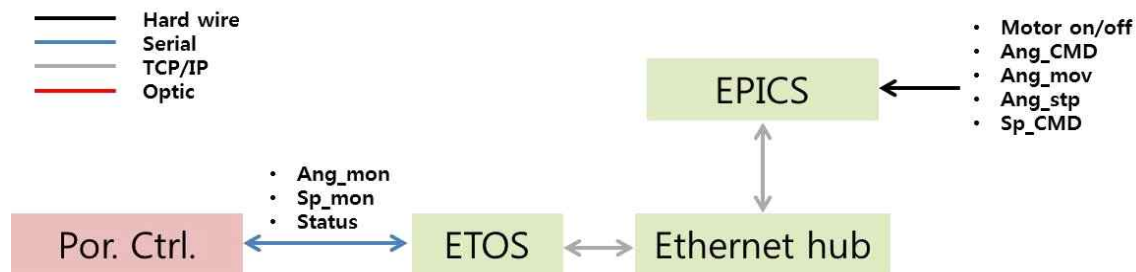


그림 17 폴라라이저 제어기 블록다이어그램

Polarizer는 자이로트론으로 부터 전송된 RF 빔의 polarization을 제어하기 위한 장치이다. 이를 위해서 polarizer를 동작하기 위한 제어기가 연결되어 있으며 RS232 통신을 지원한다. Polarizer는 servo motor를 통해 동작을 하며, 제어기는 모터의 제어를 한다. 모터의 동작제어를 위해 계산된 angle 값과 모터의 속도를 설정 할 수 있으며, 시작 또는 정지의 명령이 가능해야한다. 폴라라이저 제어기는 ECH 한 시스템 당 2개가 사용된다. 이를 위한 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기 된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
SV On	In	Serial	Servo motor turn-on	BM	Off
SV Off	In	Serial	Servo motor turn-off	BM	On
Ang_CMD	In	Serial	Angle value setting	Float	
Ang_mon	Out	Serial	Angle value monitoring	Float	
Run	In	Serial	Motor move start	BM	Stop
Stop	In	Serial	Motor move stop	BM	Run
Sp_CMD	In	Serial	Motor speed setting	Float	
Sp_mon	Out	Serial	Motor speed monitoring	Float	
Status	Out	Serial	0 : None 1 : Normal operation	Binary	0

표 11 폴라라이저 제어기를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.11 진공펌프 제어기

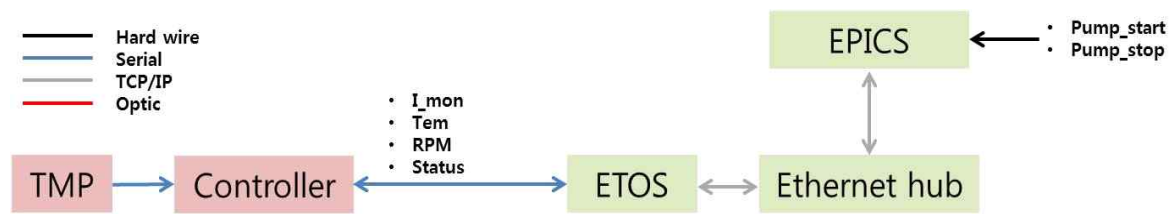


그림 18 진공펌프 제어기 블록다이어그램

진공펌프 제어기는 전송선 내부의 진공을 유지하기 위해 동작하는 펌프의 제어를 위한 장치이다. 진공상태를 안정적으로 유지하기 위해 전류값, 온도, 동작상태 및 RPM의 모니터링이 실시간으로 되어야 하며, 펌프의 start/stop의 제어가 가능해야 한다. 진공펌프제어기는 한 시스템 당 4개가 사용된다. EC-ICS와 진공펌프 제어기 사이의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기 된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
Start	In	Serial	TMP start	BM	Stop
Stop	In	Serial	TMP stop	BM	Run
I_mon	Out	Serial	Current monitoring	Float	
Tem	Out	Serial	Temperature monitoring	Float	
RPM	Out	Serial	RPM monitoring	MB	
Status	Out	Serial	0 : Stop 1 : Run	Binary	0

표 12 진공펌프 제어기를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.12 아크 디텍터

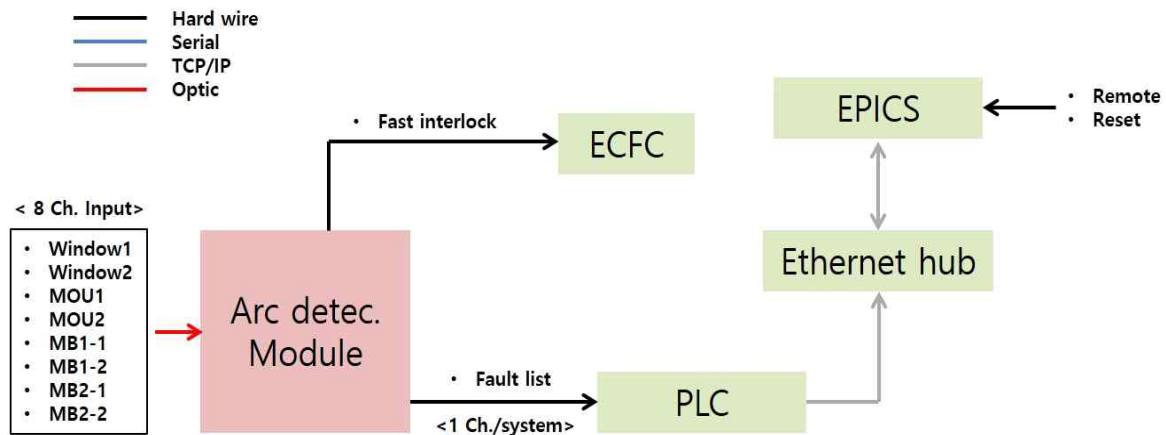


그림 19 아크디텍터 블록다이어그램

아크 디텍터는 장치보호를 위해 중요한 안전장치이다. 아크 감지 센서는 자이로트론의 윈도우, MOU 그리고 마이터 밴드에 장착되어 있으며, 모든 광 센서는 아크 디텍터 모듈에 연결되어 있다. NFRI의 ECH 한 시스템에서는 보통 8 채널이 사용된다. 아크 디텍터에서 감지된 센서는 PLC를 거쳐 EC_ICS로 신호가 전송되어야 하며, 아크 발생시 ECFC로 신호를 바로 전송하여 CPS 및 BPS의 동작을 정지시켜야 한다. 이 때 fault가 발생한 목록은 PLC를 통해 사용자가 확인할 수 있도록 하여야 하며, 리셋을 할 때 까지 fault 상태를 유지하여야 한다. 사용자가 total reset 명령을 하면 정상상태로 리셋을 한다. 아크 감지를 위한 센서는 ECH 한 시스템당 8개가 사용되며, arc 디텍터 모듈은 8채널까지 지원을 한다. 따라서 한 시스템에는 8개의 채널이 필요하며 1개의 arc 디텍터 모듈이 사용된다. 그림19의 Arc detec. Module에서 ECEC로 가는 fast interlock은 8개 입력채널의 신호가 아닌 하나의 신호이다. 다시 말해 8개의 입력 채널 중 하나라도 아크가 발생하면 Arc detec. Module에서 interlock 신호를 ECFC로 빠르게 전송하여 관련된 장치(Ex. CPS, BPS 등)들을 종료시키게 된다. 이를 위한 아크 디텍터의 통신 및 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
Remote	In	Hardwire	0 : Local mode 1 : Remote mode	Binary	0
Remote_ret	Out	Hardwire	Remote mode check		
Fault list	Out	Hardwire	Fault list	MB	
Reset	In	Hardwire	Total reset command	BM	
Status	Out	Hardwire	Arc detector status 0 : Fault 1 : Normal	Binary	0

표 13 아크 디텍터를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.13 RF 디텍터

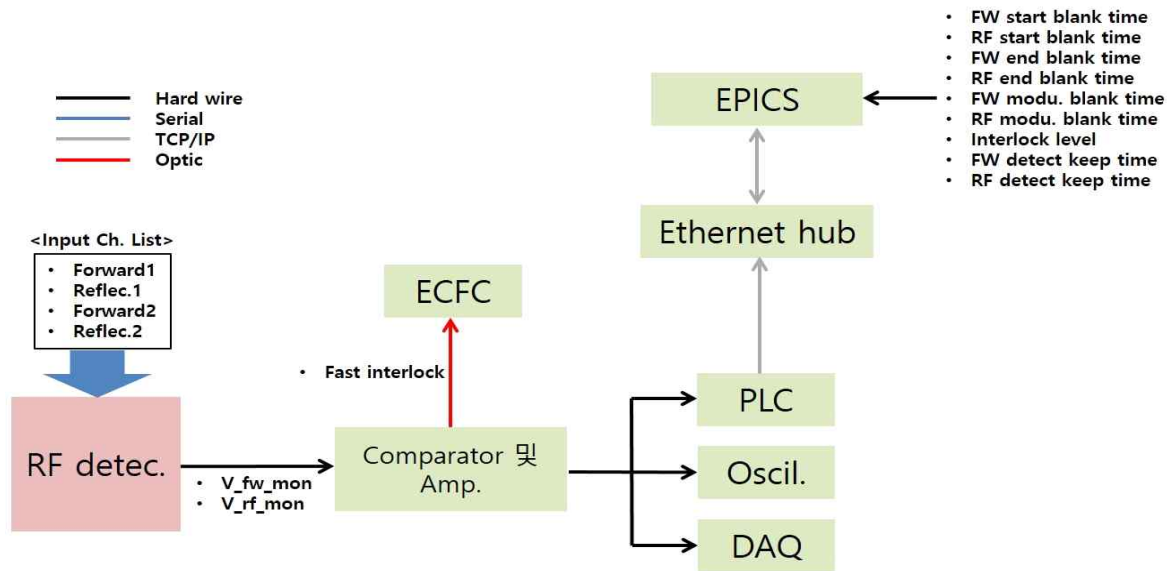


그림 20 RF 디텍터 블럭다이어그램

RF 디텍터는 전송선에 부착되어 RF 빔의 상태를 진단함으로써 자이로트론을 보호하는 장치 중에 하나이다. 현재 ECH의 한 시스템에 대해 4개의 RF 디텍터를 사용한다. 4개의 RF 디텍터 중 2개는 forward 신호 그리고 나머지 2개는 reflection 신호 감지를 위해 설치하여 사용한다. RF 디텍터는 horn 안테나를 통해 신호를 수집하여 그 신호를 comparator가 포함된 앰프로 신호를 전달한다. 앰프에서는 사용자가 설정해 놓은 기준값을 기준으로 입력된 신호와 비교하여 fault 신호 발생하며, 데이터 저장 등을 위해 PLC 및 오실로스코프, DAQ에 신호를 분배하여 제공한다. 그림13에서 RF detec.와 Comparator 및 amp는 역할에 따라 명칭이 따로 부여되었지만 편의상 하나의 덩어리라고 봐도 무방하다.

자이로트론의 안정적인 동작을 위해 전압이 인가되는 중(Rising time), 동작을 종료하는 중(Falling time) 및 모듈레이션 운전 시에는 인터락 발생을 방지하기 위해 Blank time을 설정하여야 한다. 또한, 인터락이 발생하는 기준 전압값(interlock level)을 설정하여야 한다. RF detector에서 인터락이 발생시 ECFC로 신호를 전달하여 CPS 및 BPS와 같은 장비에 무리를 줄수 있는 장치들을 빠르게 종료하여야 한다. RF 디텍터는 한 시스템 당 4개가 사용된다. 이를 위한 파라미터는 아래와 같다.

아래표에서 “Dir”은 장치 기준의 방향을 나타내며, 표의 모든 항목은 사용자가 입력 및 모니터링 등 OPI에서 사용자가 행위를 하는 모든 항목을 나열한 것이다. 이 목록에서 Bold 및 기울임체로 표기된 것은 장치 제어를 위해 장치와 통신하는 제어항목 이다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
V_fw_mon	Out	Serial	Fw. voltage monitoring	Float	
V_rf_mon	Out	Serial	Rf. voltage monitoring	Float	
Fw_enable	In	EPICS PV	0 : Fw. disable 1 : Fw. enable	Binary	0
Rf_enable	In	EPICS PV	0 : Rf. disable	Binary	0

			1 : Rf. enable		
Fw_int	Out	EPICS PV	Fw. fast interlock	BM	0
Rf_int	Out	EPICS PV	Rf. fast interlock	BM	0
T_Sbla_fw	In	EPICS PV	Fw. start blank time	Float	
T_Ebla_fw	In	EPICS PV	Fw. end blank time	Float	
T_Mobla_fw	In	EPICS PV	Fw. modulation blank time	Float	
T_DeKe_fw	In	EPICS PV	Fw. detect keep time	Float	
T_Sbla_fw_ret	Out	EPICS PV	Fw. start blank time return	Float	
T_Ebla_fw_ret	Out	EPICS PV	Fw. end blank time return	Float	
T_Mobla_fw_ret	Out	EPICS PV	Fw. modulation blank time return	Float	
T_DeKe_fw_ret	Out	EPICS PV	Fw. detect keep time return	Float	
T_Sbla_rf	In	EPICS PV	Rf. start blank time	Float	
T_Ebla_rf	In	EPICS PV	Rf. end blank time	Float	
T_Mobla_rf	In	EPICS PV	Rf. modulation blank time	Float	
T_DeKe_rf	In	EPICS PV	Rf. detect keep time	Float	
T_Sbla_rf_ret	Out	EPICS PV	Rf. start blank time return	Float	
T_Ebla_rf_ret	Out	EPICS PV	Rf. end blank time return	Float	
T_Mobla_rf_ret	Out	EPICS PV	Rf. modulation blank time return	Float	
T_DeKe_rf_ret	Out	EPICS PV	Rf. detect keep time return	Float	
Fw_Int_lev	In	EPICS PV	Fw. interlock level setting	Float	
Fw_Int_lev_ret	Out	EPICS PV	Fw. interlock level setting monitoring	Float	
Rf_Int_lev	In	EPICS PV	Rf. interlock level setting	Float	
Rf_Int_lev_ret	Out	EPICS PV	Rf. interlock level setting monitoring	Float	
Fast interlock	Out	Optic	Fast interlock	BM	

표 14 RF 디텍터를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.14 냉각수 유량계

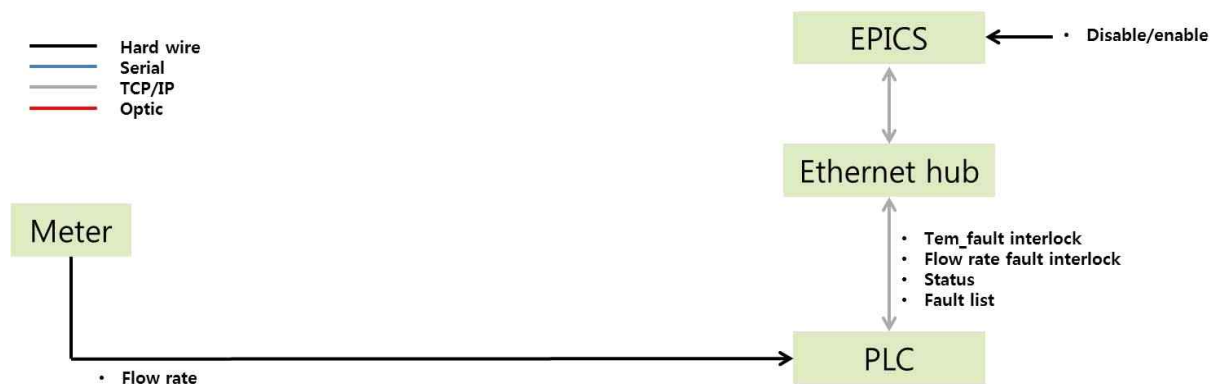


그림 21 냉각수 유량계 블럭다이어그램

냉각수 유량계는 냉각수의 유량을 측정하는 장비이며, ECH 한 시스템 당 냉각수가 사용되는 항목은 다음과 같다. 한 시스템에 27개의 유량계가 사용된다.

- Ground screen
- Anode screen
- Anode cavity
- Main window
- Relief window
- Collector
- Mirror1
- Mirror2
- Mirror3
- Body1
- Body2
- Body3
- MOU bellows
- MOU mirror
- MOU absorbers
- CW load
- CW load mirror
- Relief load absorber
- Relief load mirror
- Oil tank
- T/L
- Steering mirror
- Fixed mirror
- Power monitor1
- Power monitor2
- SCM compressor
- RF load absorber

사용하지 않는 유량계의 인터락을 방지하기 위해 해당 유량계의 Enable 및 Disable 설정을 할수 있

어야 한다. Enable/disable은 유량계의 전원이 아닌 불필요한 인터락을 방지하기 위한 설정이며 disable상태에서는 PLC 인터락 항목에서 제외하게된다. 또한 냉각수 유량계는 유량 정보를 PLC로 전달하고 PLC에서 유량과 정상 유무 그리고 fault 정보를 사용자에게 전달하여야 한다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
CMD	In	Serial	0 : Disable 1 : Enable	Binary	0
Flow rate	Out	Hardwire	Flow rate	Float	
Tem_int	Out	EPICS PV	Temperature fault interlock	MB	
Flow_int	Out	EPICS PV	Flow rate fault interlock	MB	
Status	Out	EPICS PV		MB	
Fault list	Out	EPICS PV	Fault list	MB	

표 15 냉각수 유량계를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.15 RF 스위치

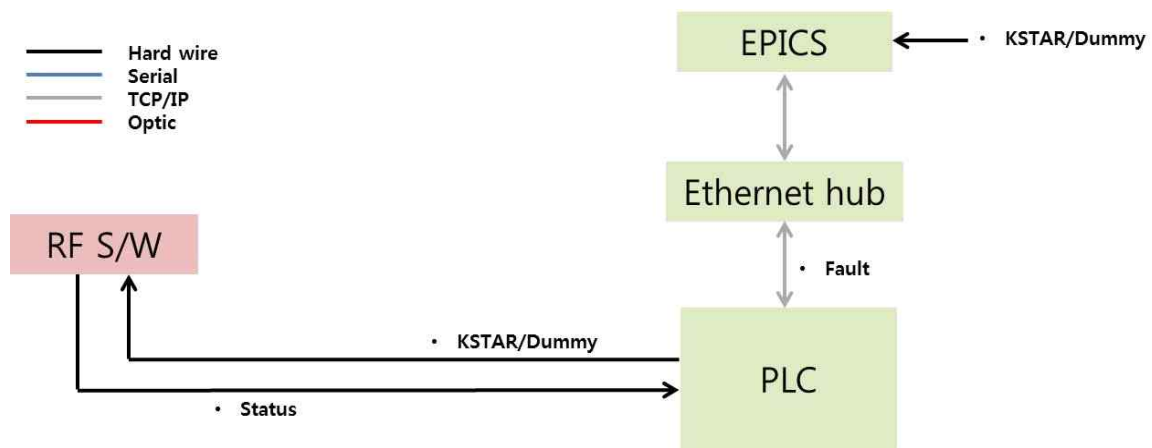


그림 22 RF 스위치 블럭다이아그램

RF 스위치는 RF 빔의 전송방향을 더미로드인지 KSTAR 인지를 결정하는 스위치이며 전송방향의 상태는 접점을 통해 PLC로 전달한다. RF 스위치는 한 시스템에 1개가 사용된다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
Dir	In	Hardwire	0 : Dummy 1 : KSTAR	Binary	0
Status	Out	Hardwire	Direction check	Dry C.C	

표 16 RF 스위치를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.16 RF 게이트 밸브

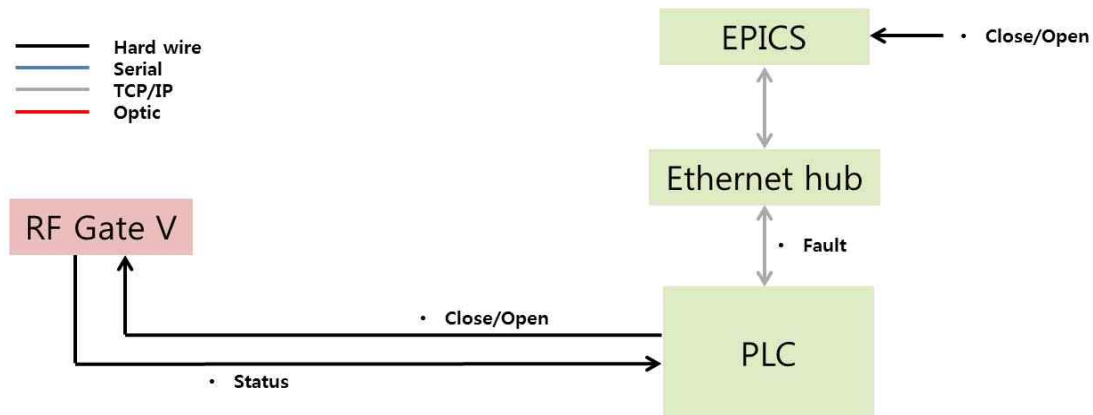


그림 23 RF 게이트 밸브 블록다이어그램

RF 게이트밸브는 RF 스위치와 작동방법은 동일하며, 방향을 선택하는 것이 아닌 밸브를 열거나 닫거나하는 것이 차이점이다. RF 게이트밸브와 마찬가지로 사용자가 PLC를 통해 Open/close 선택을 하고, 게이트밸브의 상태는 집점 정보를 PLC에서 받아서 open/close 유무를 사용자에게 전달한다. RF 게이트밸브는 한 시스템에 5개가 사용된다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
CMD	In	Hardwire	0 : Close 1 : Open	Binary	0
Status	Out	Hardwire	Status check	Dry C.C	

표 17 RF 게이트밸브를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.17 열전대 (TC) 측정

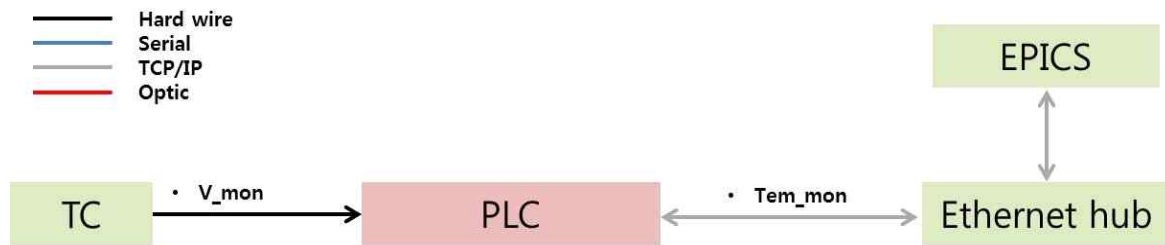


그림 24 TC 센서 블럭다이어그램

TC는 온도를 측정하는 장치로 transmission line 혹은 냉각수 등 수많은 곳에 부착되어 실시간으로 온도 정보를 확인할 수 있다. PLC에서 TC 센서의 전압 정보(V_mon)를 받아 온도로 변화처리하고 사용자에게 온도 정보(Tem_mon)를 전달한다. 또한, PLC는 사용자가 설정해놓은 온도 범위와 비교하여 온도 상태(status)를 알려주어야 한다. 이 온도 정보는 DAQ로 전송되어 저장한다. TC센서는 32채널이 사용된다.

Name	Dir.	Communication	Description	Type	Default
V_mon	Out	Hardwire	Temperature low data	Float	
Status	Out	EPICS PV	0 : Normal 1 : Fault	MB	
Tem_mon	Out	EPICS PV	Temperature	MB	

표 18 TC 센서를 위한 파라미터 및 명령어 목록

6.2.3.2.18 Delta-T (RTD) 측정

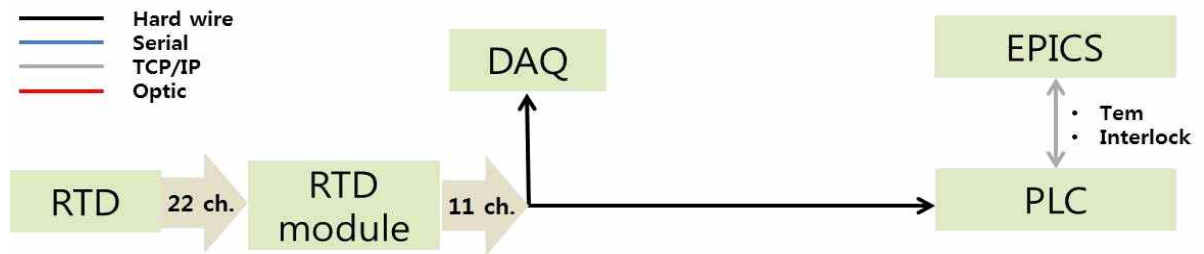


그림 25 RTD 블록다이아그램

RTD는 TC와 마찬가지로 측정한 온도 정보를 PLC로 전달한다. 전달받은 온도 정보는 유량과 펄스길이 등의 정보를 계산하여 파워를 계산한다. RTD 센서는 총 22채널이 사용된다. RTD module은 22개의 RTD 입력 센서로부터 delta T를 계산하여 총 11개의 출력 채널을 내보낸다.

* ETOS 사용 목록

- DC CCPS
- AC CCPS
- SCM
- GPS
- HPS
- Vacuum ion pump controller
- Vacuum gauge
- Polarizer controller
- TMP

6.2.3.3 KSTAR 연결 제어

6.2.3.3.1 KSTAR fast interlock system (FIS) 및 운전 상황

FIS로부터 Fault 신호들을 Channel Access를 통해 받는다. FIS에 전해 주는 신호는 Digital 신호로 광 컨버터를 이용하여 직접 연결된다. ECICS의 IOC는 KSTAR 제어 시스템의 적절한 sub-system을 통하여 KSTAR의 운전 상황을 전달받고, ECH 시스템의 운전 상황을 전달하도록 구성되어야 한다. 또한 타 장치와의 연관 부분을 전달받아 ECH 시스템이 적절하게 운전될 수 있도록 하여야 하는데 이때는 KSTAR interlock 시스템을 이용한다. 주요 기능은 이미 확립된 EC2 및 EC3를 참고한다.

6.2.3.3.2 KSTAR CCS

CCS로부터 Shot에 관련된 정보 또는 ICS 상태 정보들을 Channel Access를 통해 받는다.

6.2.3.3.3 KSTAR Plasma Control System (PCS)

PCS로부터 RFM을 통해 기준 파형을 받거나 상태 값을 보내준다. KSTAR PCS와는 ECRT를 통하여 실시간 운전 파라미터를 전송받는다. 이에 대한 설명은 ECRT를 다루는 항목에서 상세히 기술한다. 한편 실시간 운전 파라미터 전송이 아닌 운전 퍼미션 등의 정보는 ECIOC를 통하여 PV로 직접 통신한다.

6.2.3.3.4 KSTAR Timing

KSTAR timing system과 TCN을 이용하여 ECRT, ECIOC 모듈 시간을 동기화한다. ECICS는 KSTAR와의 시간 동기화를 위하여 LTU를 운영한다. ECFC는 LTU를 통해서 트리거와 클록을 전송받아 고주파가 발진되는 시점과 DAQ가 시작되는 시간을 동기화하고 모든 디지털 제어장치의 클록을 동기화 한다.

6.2.3.4 운전 시퀀스 제어

6.2.3.4.1 개별 시험 운전

ECH 시스템은 정상적인 운전 이외 시스템 점검을 위하여 개별 서브 시스템 시험 운전을 시행

한다. 이 때는 타 장치의 운전 여부와 상관 없이 특정 서브 시스템만 운전된다. 따라서 OPI에 표시된 서브시스템중 작동 명령이 활성화된 장치만 동작하고 타 장치에 연계된 인터록은 작동하지 않거나 작동하더라도 구애받지 않도록 프로그래밍 되어야 한다. 이와 연관된 서브 시스템의 분류는 협의하에 시행한다.

6.2.3.4.2 통합 운전

EC 통합 운전은 더미로드 또는 안테나를 이용하여 고주파를 부하에 전달하는 동작으로서 특정 시퀀스에 따라 운전을 진행한다. 통합운전의 1차적 분류는 부하의 방식으로서 LOAD mode를 Dummy Load 또는 KSTAR로 구분한다. Dummy Load 모드에서는 안테나 및 특정 전송선의 운전을 제어하지 않는다. KSTAR 모드에서는 안테나 및 전체 전송선을 제어한다.

2차 분류는 운전 주체에 따라 PCS mode를 PCS 또는 LOCAL로 구분한다. PCS 모드일 경우 고주파 발전의 시점 등 실시간 파라미터를 PCS로 부터 전달 받고, LOCAL 모드일 경우 펄스 이전에 IOC에 셋업된 운전 파라미터를 이용한다.

개별 시험 운전의 경우 LOAD mode는 Dummy Load이고 PCS mode는 선택 가능하다.

다음은 LOAD mode에 무관하고 PCS mode가 LOCAL과 PCS일 때 통합운전의 대략적인 운전 시퀀스를 표시한다.

1. IOC가 동작하면 연결된 모든 서브 시스템의 동작 여부를 OPI에 표시하고 각 운전 파라미터를 초기 값으로 설정한다. 이 때 LOAD mode는 Dummy Load이며 PCS mode는 LOCAL을 초기값으로 한다. PCS mode가 LOCAL 인 경우 LTU도 local 운전 모드로 셋팅한다.

2. 모든 서브시스템이 작동 명령 상태인 경우 통합운전임을 인식하고 일부라도 서브시스템이 작동 정지 상태인 경우 개별 운전 시험 상태로 인식한다. 개별 운전 상태인 경우 OPI 최상위에 표시되어 운전자가 쉽게 인식할 수 있어야 한다.

3. 정상운전을 위한 첫 번째 준비는 수동으로 냉각수 공급, 에어쿨링 및 칠러의 동작을 시켜야 한다.

4. 3번의 행위를 완료한 후, OPI에서 SCM ON이 명령되면 SCM을 동작시키기 위한 제반 조건(3번 항목)으로부터의 fault가 없을 경우 SCM 전류를 일정 속도(1.9A/min)로 정상 운전 범위까지 상승시키고 대기한다. 이상이 있는 경우 SCM fault를 표시하고 SCM OFF 상태로 전환한다.

5. OPI에서 운전자가 통합운전 시퀀스 Start를 명령하면 HPS, GPS, DC-CCPS, AC-CCPS 및 Cathode PS등 모든 전원장치를 정상운전 범위로 셋팅하고 BPS 및 CPS의 Stand-by 상태로 명령한다.

- ① 각종 전원장치의 정상운전 범위로 셋팅하는 시퀀스는 다음과 같다(그림 26 참조).

- ② SCM ON이 되고 난 후 전류 값이 일정 기준(EC2 기준 40A 수준)까지 전류가 상승되면 DC-CCPS의 동작을 명령한다. (SCM의 전류가 인가되는 동안 RF 디텍터의 전원, Shunt 전원 및 Body PS를 ON 한다.)

- ③ 정상적으로 동작하는 것을 확인한 후 GPS(cathode coil P/S)의 동작을 명령한다.

- ④ 정상적으로 동작하는 것을 확인한 후 AC-CCPS의 동작을 명령한다.

- ⑤ 마찬가지로 정상동작이 확인 한 후 Vac. ion controller의 high voltage ON을 명령한다.

- ⑥ 진공도가 정상범위에 도달하면 HPS ON을 명령한다.

- ⑦ HPS의 전압은 구간별로 다른 설정 값으로 세팅(3구간으로 구분하며, 각 구간에서의 세팅값은 Target 전압, Step 및 dT/step 3가지이다.)하여 인가한다. 이 과정에서 전원장치의 동작이 정상상태인지를 모니터링하고, 뿐만 아니라 진공펌프, 진공압, 냉각수 온도, 냉각수 유량으로부터 fault가 있는지도 모니터링 하여야 한다.

- ⑧ BPS 및 CPS는 Soft-Starter 또는 적절한 스위치를 가동하고 출력 명령이 있는 경우 곧바로

고전압을 출력할 수 있는 상태로 대기한다. 이 때 BPS는 bVREF 값을 명령하여 BPS HVON이 명령되면 곧장 이 값으로 운전될 수 있도록 준비하고 있어야 한다. (bVREF 는 운전중 변하지 않는다. 즉, BPS의 전압 값은 shot 중에 가변할 수 없다.)



그림 26 운전준비 시퀀스

6. PCS mode가 LOCAL인 경우, OPI의 RFON 명령이 내려지면 ECIOC는 LTU를 local mode로 start 한다. 이 때 LTU 파라미터는 사전에 셋팅되어 있어야 한다.

7. PCS mode가 PCS인 경우 LTU는 KSTAR 모드로 대기하였다가 PCS의 명령에 따라 Start된다. 단 LTU 파라미터 (지속시간, DAQ 시작시간)는 ECICS의 OPI 입력값으로 설정된다.

8. LTU의 DAQ Trigger Channel이 Rising edge로 트리거 되는 경우 DAQ를 시작한다. 운전자는 사전에 DAQ Trigger Channel의 시작 시간과 지속 시간을 RFON 시간에 대해 상대적인 값으로 셋팅하여야 한다.

9. ECFC에 연결된 LTU의 LTU_RFON이 Rising edge로 트리거 되면 ECFC는 CPS에 cHVON을 즉시 전송하고, ECRT로 부터 지속적으로 실시간 전송되는 (fM, dM, HM, LM)으로 부터 ECFC가 전달받아 tHI, tLO, cVHI, bVHI, cVLO, bVLO를 실시간으로 연산하고 cVREF 및 bVREF를 계산하여 CPS와 BPS로 전송한다. 그리고 TbDelay 경과 이후 bHVON을 전송한다. cVHI가 0으로 계산되어지는 경우에도 동일한 논리를 적용하여 PCS로 부터의 실시간 출력 Start 명령을 수용한다. (10항에 의하여 출력이 70% 이하이면 BPS bHVON이 전송되지 않으므로 BPS 출력은 발생하지 않는다.)

10. 실시간 출력제어: CPS와 BPS가 모두 켜져서 고주파가 출력되는 동안 ECRT로 부터 ECFC로 전송되어 CPS로 전송되는 cVREF는 임의로 조정될 수 있다. 이러한 임의 조정은 PCS mode가 LOCAL 인 경우 ECIOC에 사전 입력된 값에 의존하고 PCS 인 경우 PCS에서 ECRT로 실시간 전달되는 값에 의존한다.

11. 모듈레이션: 모듈레이션 범위가 출력기준 70% 이상인 경우 BPS는 영향을 받지 않으며(계속 일정 전압으로 ON) 출력기준 70% 이하인 경우 LO일 때 ECFC에서 bSTOP으로 HV off 한다. 상세 제어 방식은 ECFC를 다루는 장에서 설명한다.

12. ECFC에 연결된 LTU의 LTU_RFON이 falling edge로 트리거 되면 ECFC는 BPS에 bVREF=0을 전송하고 bSTOP를 전송한다. BPS가 정상 종료된 후 TbDelay 값 만큼 지연 후 CPS에 cVREF=0을 전송하고 cSTOP을 전송한다.

13. OPI 상에서 운전자가 통합운전 Sequence Stop을 명령하면 Start의 역순으로 장치의 작동을 정지한다.

14. OPI 상에서 SCM OFF 명령이 내려지면 SCM 전원 작동을 정지한다.

6.2.4 ECRT 상세사항

6.2.4.1 일반사항

ECRT의 주요 기능은 KSTAR PCS 또는 ECICS로부터 실시간으로 명령받은 ECH 출력을 구현하는 것이다. ECH 출력의 실시간 제어는 모듈레이션을 포함하여 출력의 ON/OFF와 출력의 레벨 제어를 포함하며, 이 때 사용되는 주요 변수는 모듈레이션 주파수 fM과 duty cycle dM, 모듈레이션 HI 출력의 값 HM 및 모듈레이션 LO 출력의 값 LM으로 구성한다.

실시간 제어를 위하여 ECRT는 그림 27과 같이 4개의 변수(fM, dM, HM, LM)를 입력받아 ECFC로 전달한다. ECFC는 출력의 ON/OFF 및 레벨 신호를 위해 6개의 파라미터(tHI, tLO, cVHI, cVLO, bVHI, bVLO)로 계산 및 변환하여, 이를 CPS와 BPS의 제어에 사용한다.

ECFC는 ECRT에서 제공하는 ON/OFF의 신호와는 별도로 LTU로부터 출력의 시작과 끝을 명령 받아 정밀하게 동기화된 ECH 출력을 발생할 수 있도록 한다. (LTU는 실시간 모듈레이션 제어 기능이 없으나 ECRT보다 정밀한 동기화를 가능하게 한다.)

6.2.4.2 운전 주체

운전 주체는 ECIOC 자체의 LOCAL 운전과 PCS 운전으로 구분한다.

운전 주체는 운전자가 OPI에서 설정하고, ECIOC에서 ECRT로 전달한다. (Signal PCSmode, LO:LOCAL, HI:PCS)

6.2.4.3 ECRT의 모듈레이션 연산

모듈레이션 운전과 출력의 ON/OFF 그리고 출력의 레벨 제어를 위해 fM, dM, HM, LM을 PCS 또는 ECIOC로부터 수신하는데, 이 때 fM의 단위는 Hz이고 dM의 단위는 %, HM과 LM의 단위는 최고 출력에 대해 % 단위이다.

연산을 위한 4개의 파라미터(fM, dM, HM, LM)는 ECIOC에서 입력받아 ECRT로 제공한다.

6.2.4.4 ECRT 요약

위의 내용을 정리하면 아래와 같다.

1) 목적

PCS 또는 ECICS로부터 지정된 ECH 출런 관련 파라미터를 입력받는 역할을 수행한다.

2) 서버 및 통신

- 서버 : RT server
- 통신 : RFM, RTX-PCS, PCS-TCN, EPICS CA

3) 시간 동기화 및 제어 주기

- 시간 동기화 : KSTAR Timing System과 TCN을 이용하여 RT 모듈의 시간을 동기화 되어야 한다.

- 제어 주기 : 가장 빠른 제어 주기는 5KHz 제어 주기를 가지고 동작한다.

5) 상태 감시

- 정상적인 상황을 Callback 함수를 통해 알려줄 수 있어야 한다. Callback 함수는 실시간 데이터 전송의 성능을 보장하기 위해 별도의 쓰레드에서 실행되도록 구성되어야 한다.
- 감시하고 있는 상태는 EPICS PV를 통해 사용자가 확인할 수 있어야 한다.

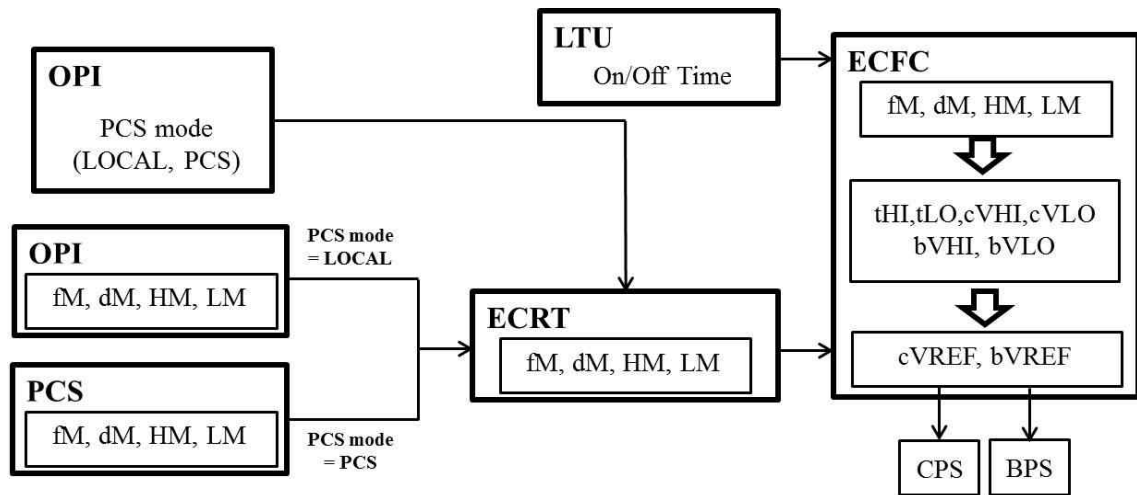


그림 27. ECICS 실시간 제어기 구성

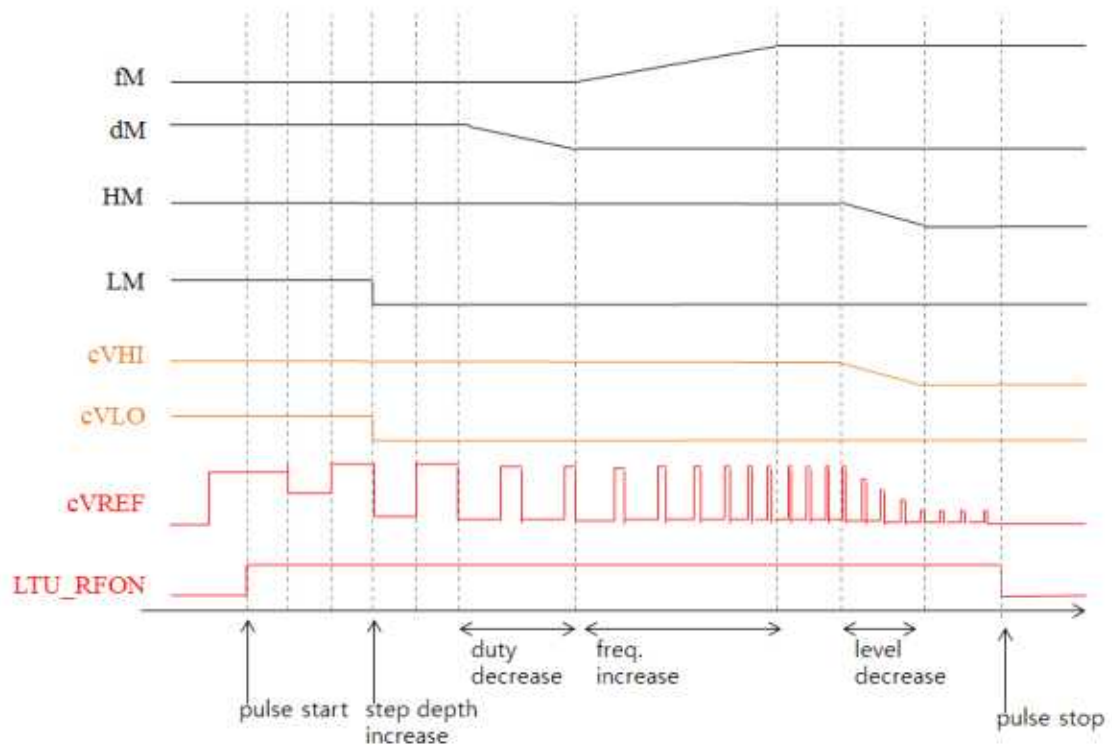


그림 28. ECRT waveform, cVHI, cVLO 및, $t_{HI}=dM/fM$, $t_{LO}=1/fM-t_{HI}$ 가 ECFC에서 연산되고, 이를 이용하여 cVREF를 연산하여 CPS로 출력, BPS도 동일함

6.2.5 ECFC 상세사항

6.2.5.1 일반사항

- ECICS - EC Integrated Control System, 1기의 자이로트론을 구동하기 위한 지역 제어기 전체
- ECFC - EC Fast Controller made by FPGA connected to IOC through PCI
- ECIOC - EC Input-Output-Controller, ECICS를 제어하는 주 IOC
- ECRT - EC Realtime controller to control modulation timing
- FPGA ADC, DAC, DIO 신호
- ECRT 신호
- ECIOC 파라미터, 운전상태

ECFC는 FPGA로 구성되어 **1 usec의 주기로 루프**를 구성하여 데이터 처리를 수행한다.

이 때 1 usec의 속도로 업데이트 되는 신호는 FPGA의 HW 인터페이스인 ADC, DI 로 부터 제공되는 신호와 ECRT로 부터 제공되는 신호이며, 출력 신호는 DAC, DO와 ECRT로 출력되는 신호이다. ECRT는 1 usec보다 느린 신호로 제공 또는 공급될 것이나, 실시간으로 변경될 수 있다는 점에서 1 usec 주기 연산 신호로 간주한다. 고속 연산에 필요한 파라미터와 상태 전달은 ECIOC와 통신하여 신호 속도의 제한은 없다.

1) ECFC의 운전 목표 : DUMMY 또는 KSTAR 명령에 따라 KSTAR fast intelock 반응 여부 결정한다.

2) ECFC의 운전 모드 : 전체 또는 부분 운전 명령에 따라 인터록 등 제어한다.

RF 펄스 동기화하여 CPS 및 BPS의 HV ON/OFF 명령을 한다. CPS, BPS, PCS 및 기타 장치로부터 fast fault를 수신하여 해당하는 시퀀스 수행을 하고, Fast signal의 데이터 저장을 하여야 하며 Shot 종료후 데이터 전달을 하여야 한다.

6.2.5.2 운전 Target

운전 목표는 DUMMY와 KSTAR로 구분하며 운전 주체와는 독립적이다. 운전 목표는 운전자가 OPI에서 설정하고, ECIOC에서 FPGA로 전달(Signal OpTarget, LO:DUMMY, HI:KSTAR)한다.

6.2.5.3 운전 모드

운전 모드는 자체 (부분) 시험을 위한 각 장치별 단일 또는 복합 운전 모드와 전체 운전 모드로 구분하며, 운전 모드는 운전자가 OPI에서 설정하고, ECIOC에서 FPGA로 전달 (Signal OPmode, bit0:CPS, bit1:BPS, bit3:Slow devices)한다. Signal OPmode의 모든 정의된 bit가 HI일 경우 발진 모드이다. 발진 모드가 아닐 경우 운전 주체는 자동으로 LOCAL이 되는데 이는 ECIOC에서 처리한다. 각각의 운전 모드에 대해 불필요하거나 방해되는 신호는 무시한다. (ex. OPmode=0x3일 경우 Cathode와 Body의 모든 신호는 정상적으로 처리되 히터, 마그넷 등에서 발생하는 ECSfault 신호는 무시)

6.2.5.4 RF 펄스 동기화

LTU로부터 DI로 전달되는 LTU_RFON을 이용하여 CPS의 cHVON과 BPS의 bHVON을 HI로 작동하게 하여 고전압 출력을 형성한다. LTU_RFON은 펄스의 시작과 끝을 KSTAR와 동기화 하기 위하여 사용되며 LOCAL 모드에서도 동일하게 작동한다. 모듈레이션은 ECRT로 부터 수신한 fM, dM, HM, LM을 이용하여 cVHI, cVLO, bVHI, bVLO, tHI, tLO로 변환하고 모듈레이션 된 cVREF와 bVREF를 출력하여 실현한다. (ECRT로 부터 cVREF와 bVREF를 직접받지 않고 파라미터 정보를 받는 이유는 ECFC의 처리 속도가 훨씬 빨라 동기화가 유리하고, CPS와 BPS의 최대 모듈레이션이 5kHz이기 때문에 루프 속도가 ECFC가 빠르기 때문이다.) CPS 인가 후 BPS가 인가되는 시간차 TbDelay는 ECIOC에서 파라미터 셋팅시 전달 한다. TbDelay는 Start TbDelay와 End TbDelay가 있으며 각각의 다른 시간값을 입력할 수 있다. 즉, CPS는 LTU_RFON이 트리거 됨과 동시에 cHVON이 HI가 되면서 cVREF로 동작한다. 그리고 Start TbDelay 시간 후에 bHVON이 HI가 되면서 bVREF로 동작한다. CW운전의 경우 LTU_RFON이 falling되는 타이밍에 bHVON이 LO가 되고 bVREF는 종료되며, End TbDelay 시간 후에 cHVON이 LO가 되고 cVREF는 종료된다. 모듈레이션의 경우도 마찬가지로 각 파형마다 CPS가 먼저 동작 후 Start TbDelay 후에 BPS가 동작하고, BPS가 LTU_RFON이 falling 됨과 동시에 종료되고 End TbDelay 시간 후에 CPS를 종료해야 한다. 이는 BPS가 단독으로 운전될 때 자이로트론에 무리가 갈 수 있기 때문에 항상 BPS는 CPS와 함께 동작되어야 하고 BPS가 독립적으로 운전되는 상황을 방지하기 위해서이다.

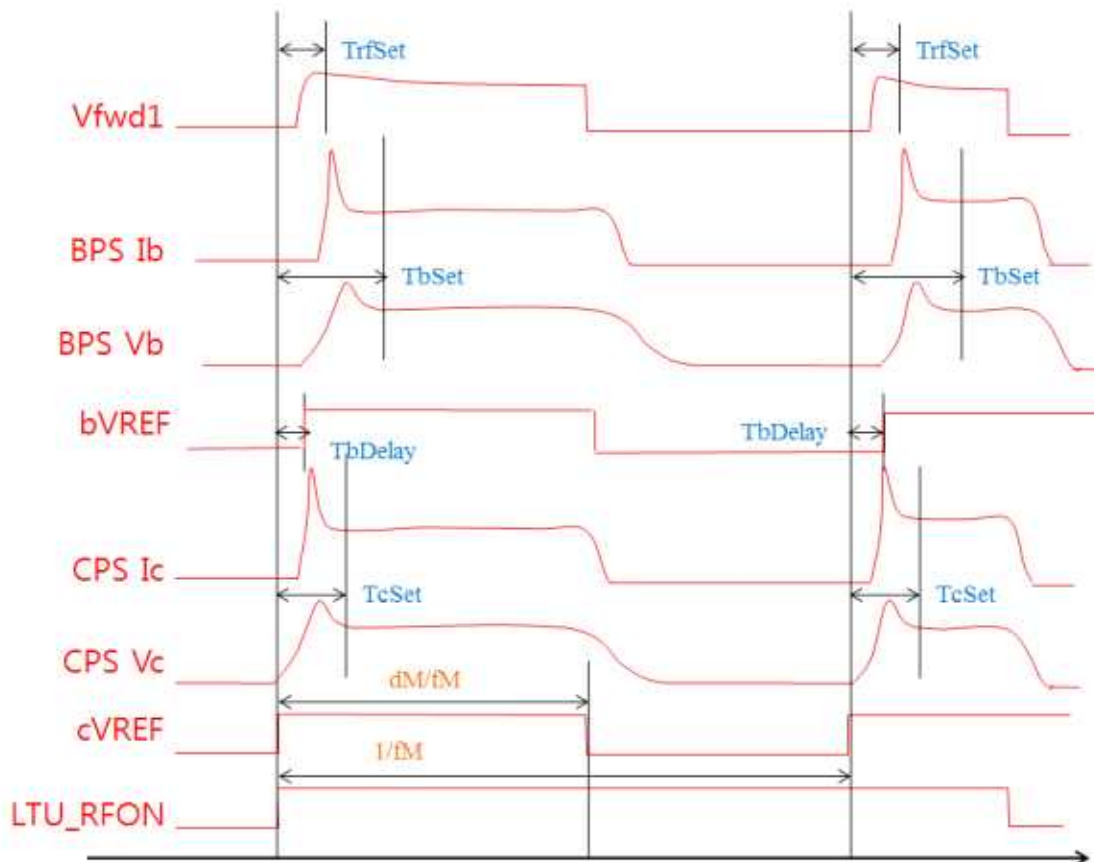


그림 29. 일반 운전 동기

6.2.5.5 cVREF, cIREF, bVREF, bIREF, VfwdREF 연산

fM, dM, HM, LM 4개의 변수는 ECRT에서 활용이 쉬운 변수, tHI, tLO, cVHI, cVLO, bVHI, bVLO로 변환하여 ECFC에 전달한다. ECRT로부터 전달된 4개의 변수중에 dM, fM를 이용하여 tHI와 tLO로 ECFC에서 실시간으로 연산한다. 연산은 $tHI = dM/fM$, $tLO = 1/fM - tHI$ 와 같다. HM, LM은 cVHI, cVLO, bVHI, bVLO로 미리 정리된 출력 %에 대한 바이어스 전압 테이블에서 변환된다. 이렇게 변환된 파라미터를 이용해 ECFC에서는 다음의 연산을 수행한다. ECFC time이 tHI 범위일 때 $cVREF = cVHI$, $bVREF = bVHI$, 그렇지 않으면 $cVREF = cVLO$, $bVREF = bVLO$ 이다. 즉, tHI인 동안에는 cVHI, bVHI, VfwdHI가 cVREF, bVREF, VfwdREF의 값으로 출력이 된다. tLO인 동안에는 cVLO, bVLO, VfwdLO가 cVREF, bVREF, VfwdREF의 값으로 출력이 된다. 이는 1usec의 루프동안 실시간으로 연산되어진다. 이와 같은 방법으로 cVREF, bVREF, VfwdREF 값은 ECRT에서 입력 받은 파라미터를 ECFC 내에서 실시간 연산을 하여 구현한다. 위의 내용을 요약 및 정리하면 아래와 같다.

- cVREF, bVREF, VfwdREF = cVHI, bVHI, VfwdHI, tFC가 모듈레이션 tHI인 동안
- cVREF, bVREF, VfwdREF = cVLO, bVLO, VfwdLO, tFC가 모듈레이션 tLO인 동안
- cIREF=cVREF*cConduct
- bIREF=bVREF*bConduct

6.2.5.6 ECFC 요약

위의 내용을 정리하면 아래와 같다.

1) 목적

PCS 또는 ECICS로부터 지정된 ECH 출현 관련 파라미터를 ECRT로부터 전달받아 ECFC에서 실행하기 적합한 형태로 변환하는 역할을 수행한다.

2) 주요 기능 (그림 27 참고)

- ECRT가 수신한 4개의 파라미터 (fM, dM, HM, LM)를 전달받는데, 이 때 fM(Hz)이고 dM의 단위는 (%), HM과 LM의 단위는 최고 출력에 대해 (%) 이다.
- (fM, dM, HM, LM)을 ECFC에서 활용이 쉬운 변수인 (tHI, tLO, cVHI, cVLO, bVHI, bVLO)로 변환하여 cVREF와 bVREF를 구현한다:

$$tHI = (1-dM)/fM$$

$$tLO = dM/fM$$

- cVHI, cVLO, bVHI, bVLO는 최대 출력%에 대한 값으로서 ECIOC로부터 테이블 형태로 제공 받음.
- tHI, tLO는 CPS의 pulse length에 대한 정보이다. BPS의 pulse length는 tHI, tLO의 정보를 기반으로 delay값인 Start Tbdelay와 End TbDelay가 추가적으로 고려되어 결정된다. (Timing에 대한 상세한 정보는 6.2.5.7 ECFC 알고리즘 파트 참고) Start Tbdelay와 End TbDelay는 slow signal으로서 ECIOC에서 제공받는다 (표 29 참조).
- ECFC에서는 (tHI, tLO, cVHI, cVLO, bVHI, bVLO)의 값을 연산하여 cVREF, bVREF를 구현한다.

6.2.5.7 ECFC 알고리즘

ECFC에서는 다음과 같은 알고리즘으로 출력을 발생시킨다.

Step 1: 운전 정보 실시간 수집

- ECFC는 실시간으로 ECRT에 입력된 fM, dM, HM, LM 값을 수집 및 업데이트 함.

Step 2: Timing 신호 생성 (그림 30 참고)

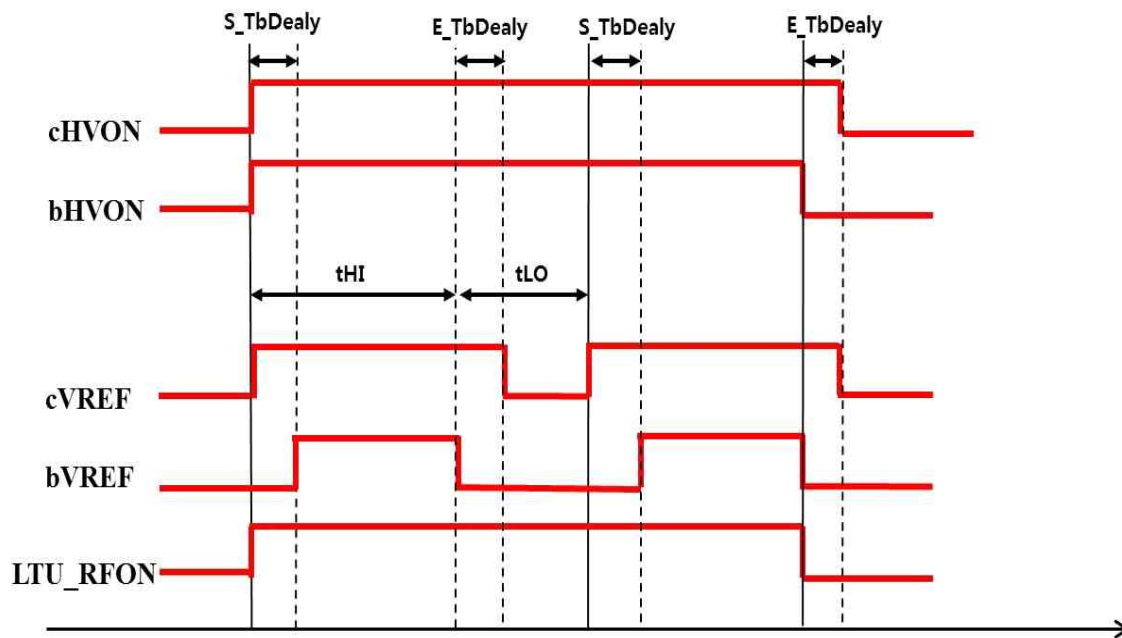


그림 30. ECFC의 timing 신호

- ECFC는 ECRT로부터 수집한 4개의 운전 파라미터(fM, dM, HM, LM)를 이용하여 적용하기 편한 6개의 파라미터(tHI, tLO, cVHI, cVLO, bVHI, bVLO)로 계산 및 변환을 한다.
- 이 때 6개의 파라미터는 1usec 주기로 계산 및 변환을 하여 업데이트하여야 한다. 이유는 EC 시스템의 최대 모듈레이션 주파수가 5kHz이기 때문에 실시간 운전을 위해서는 빠르게 처리해야 하기 때문이다.
- 실시간으로 업데이트 되는 6개의 파라미터를 바탕으로 그림 30과 같이 cVREF, bVREF가 구현된다.
- 그림 30과 같이 cVREF와 bVREF의 파형은 S_TbDelay와 E_TbDelay를 고려하여 구현되어야 한다.

Step 3: 출력

- 실시간으로 계산된 cVREF, bVREF는 LTU 장치로부터의 LTU_RFON 신호대기 중이다.
- LTU_RFON가 Rising edge일 시에 cHVON & bHVON = HI, cSTOP & bSTOP = LO가 되고, 동시에 cVREF & bVREF의 신호가 CPS와 BPS 컨트롤러로 전달된다.

- LTU_RFON가 falling edge일 시에 bHVON = LO, bSTOP = HI가 되고 BPS는 정상종료가 된다. BPS가 종료되고 난 시점으로부터 E_TbDelay 후에 cHVON = LO, cSTOP = HI가 되고 CPS는 정상종료가 된다.

** cHVON, cSTOP, bHVON, bSTOP신호는 CPS와 BPS의 On/Off 제어 신호로서 cVREF 및 bVREF 신호를 CPS와 BPS 컨트롤러로 출력한다.

Step 4: Fault 로직 처리

- 운전 중에 fault 발생시 빠르게 처리하여야한다.
- Fault의 종류와 fault의 로직은 6.2.5.8절을 참고한다.

6.2.5.8 Fault 분석 및 수행

다음 조건이 만족하는 경우 Latched fault 시그널 KSTAR_ECn_Fault 발생 및 firstEventRegister, faultRegister 기록한다.

- $V_c > V_{cpeak} = cVREF + cVDp$, OVER_VCP, faultRegister bit0

OVER_VCP

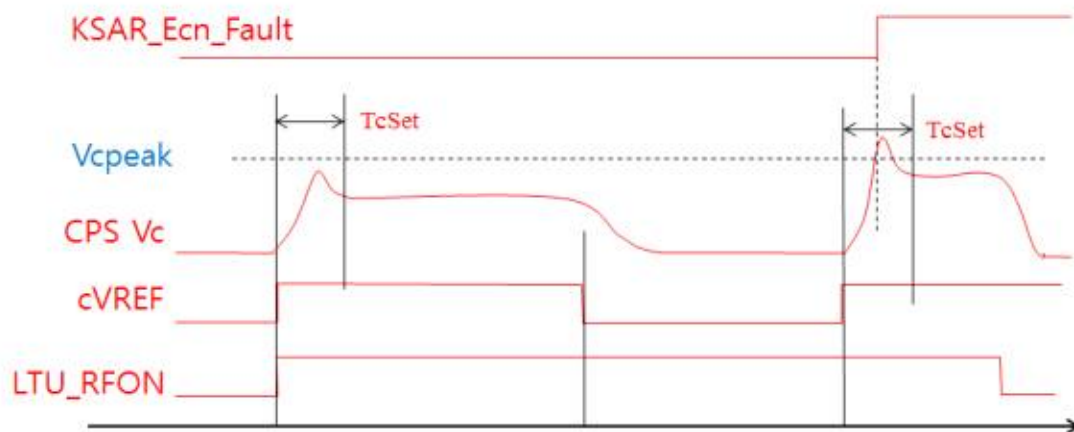


그림 31. OVER_VCP

- $V_c > V_{chi} = cVREF + cVDh$ after TcSet, OVER_VC, faultRegister bit1

OVER_VC

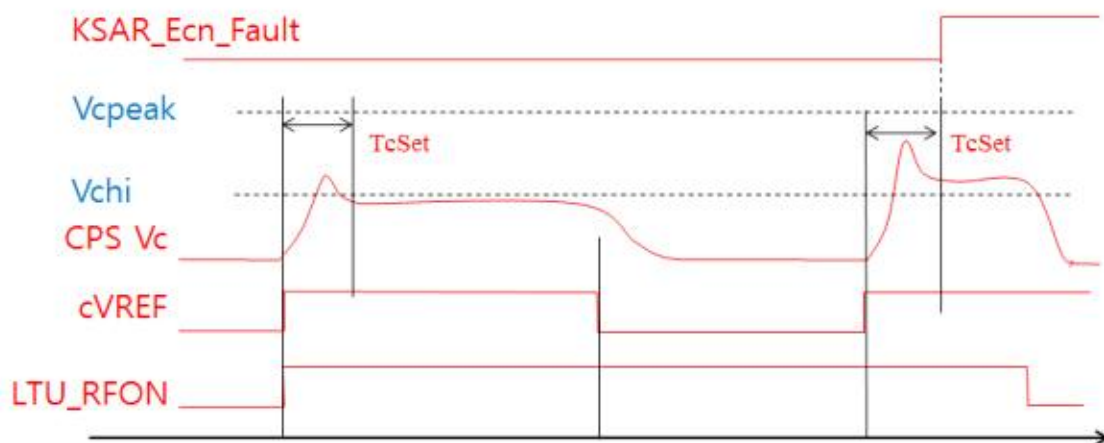


그림 32. OVER_VC

- $V_c < V_{clo} = cVREF - cVDI$ after T_{cSet} , UNDER_VC, faultRegister bit2

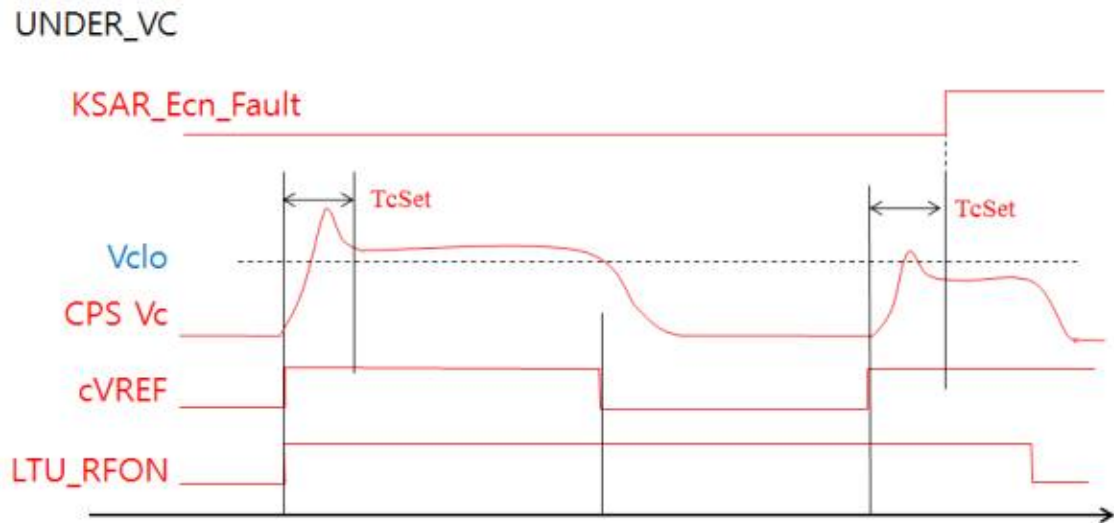


그림 33. UNDER_VC

- $I_c > I_{cpeak} = cIREF + cIDp$, OVER_ICP, faultRegister bit3 (OVER_VCP 참조)
- $I_c > I_{chi} = cIREF + cIDh$ after T_{cSet} , OVER_IC, faultRegister bit4 (OVER_VC 참조)
- $I_c < I_{clo} = cIREF - cIDl$ after T_{cSet} , UNDER_IC, faultRegister bit5 (UNDER_VC 참조)
- $S_c == LO$, CPS_FAULT, faultRegister bit6
- $V_b > V_{bpeak} = bVREF + bVDp$, OVER_VBP, faultRegister bit7 (OVER_VCP 참조)
- $V_b > V_{bhi} = bVREF + bVDh$ after T_{bSet} , OVER_VB, faultRegister bit8 (OVER_VC 참조)
- $V_b < V_{blo} = bVREF - bVDl$ after T_{bSet} , UNDER_VB, faultRegister bit9 (UNDER_VC 참조)
- $I_b > I_{bpeak} = bIREF + bIDp$, OVER_IBP, faultRegister bit10 (OVER_VCP 참조)
- $I_b > I_{bhi} = bIREF + bIDh$ after T_{bSet} , OVER_IB, faultRegister bit11 (OVER_VC 참조)
- $I_b < I_{blo} = bIREF - bIDl$ after T_{bSet} , UNDER_IB, faultRegister bit12 (UNDER_VC 참조)
- $S_b == LO$, BPS_FAULT, faultRegister bit13
- $KSTAR_FF == LO \ \&\& \ OpTarget == KSTAR$, KSTAR_FAULT, faultRegister bit14
- $ECfault == LO$, LOCAL_FAULT, faultRegister bit15
- $V_{fwd1} < V_{fwdmin} = V_{fwdREF} - V_{fwdDI}$ after $TrfSet$, NO_RF, faultRegister bit16, High to low transition에서는 즉각 반응 하여야 하고, low value는 V_{fwdREF} 에 들어 있으므로 별도의 연산 불필요하다. EC 한 시스템에는 V_{fwd} 는 두 개가 사용된다. 따라서 V_{fwd1} 과 V_{fwd2} 에 대해 적용 되어야 한다. 6.2.3.6절에서 언급된 Fault 분석 및 수행은 종류와 대표적인 예를 표현한 것으로 EC시스템에 사용되는 수량에 따라 bit 수는 추가되어야 한다 (Ex: V_{fwd1} , V_{ref1} , I_{pump1} 는 수량에 따라 bit수 추가되어야 함).

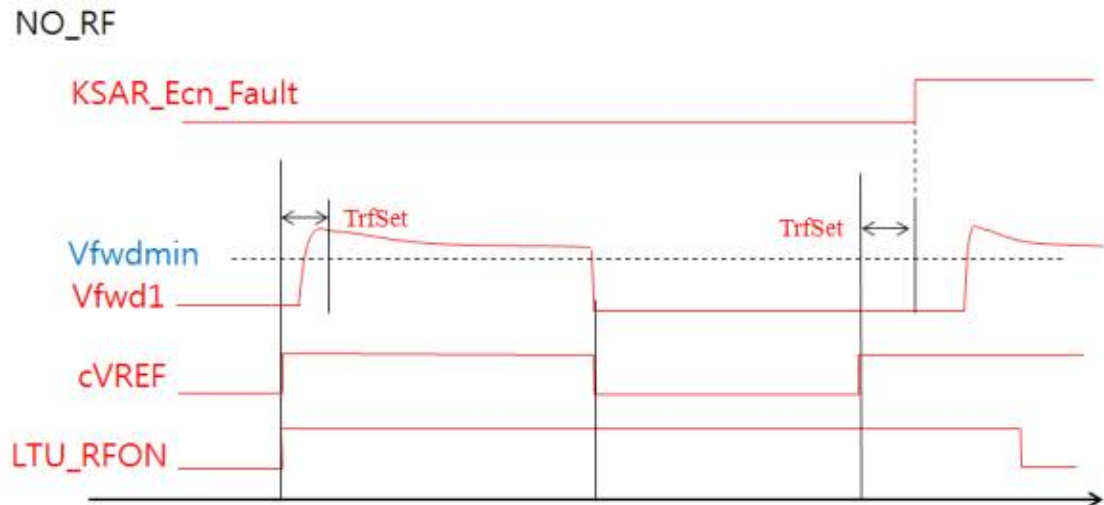


그림 34. NO_RF

- $V_{rfl1} > V_{rflmax}$, OVER_RFL, faultRegister bit17
- $I_{pump1} > I_{pump1max}$, OVER_IPUMP, faultRegister bit18
- $Arc == LO$, ARC1, faultRegister bit19

firstEventRegister의 내용은 faultRegister와 같으나 그 값이 0일 때 한번만 기록하고, 0이 아닐 때는 기록하지 않는다.

faultRegister가 0x0이 아닌 경우 cSTOP, bSTOP을 DO를 통해 HI로 출력하고, opTarget == KSTAR이고 faultRegister가 0x0이 아닌 경우 DO를 통해 KSTAR_ECN_Fault를 HI로 출력한다.

ECIOC로 부터 faultRest==1을 수신하면 cSTOP, bSTOP을 LO로 하고 faultRegister 및 firstEventRegister를 0x0으로 초기화한다.

6.2.5.9 Fast Signal 저장

저장이 필요한 목록의 signal (Fast Signal List 참조)을 shot 종료후 MDSPlus에 저장할 수 있도록 실시간으로 ECIOC에 전달하여야 한다. Fault status (list)는 MDSPlus와 Archive 양 채널에 모두 저장되어야 한다. ECIOC에서는 OPI에서 설정한 저장 sampling frequency를 참조하여 data processing을 한다. MDSPlus 주소 및 트리 설정은 ECIOC에서 수행한다.

6.2.5.10 Fast signal 리스트

용어 정리

- Fast signal - signal required sampling **faster than 10msec** which shall be processed in “Fast Controller” block
- S10V - Single ended 0-10V
- HATR-A - high speed analog tranceiver, analog signal
- HATR-DH - high speed analog tranceiver, digital normal HI
- HATR-DL - high speed analog tranceiver, digital normal LO
- DH - Digital , Normal HI
- DL - Digital , Normal LO
- ECICS - EC Integrated Control System, 1기의 자이로트론을 구동하기 위한 지역 제어기 전체
- ECFC - EC Fast Controller made by FPGA connected to IOC through PCI
- ECIOC - EC Input-Output-Controller, ECICS를 제어하는 주 IOC

ECFC Fast signals - Input

	Description	name	source	spec
1	Cathode voltage	Vc	CPS	HATR-A
2	Cathode current	Ic	CPS	HATR-A
3	CPS fault	Sc	CPS	HATR-DH
4	Body voltage	Vb	BPS	HATR-A
5	Body current	Ib	BPS	HATR-A
6	BPS fault	Sb	BPS	HATR-DH
7	RF FWD Miter1	Vfwd1	AUX	S10V
8	RF FWD Miter2	Vfwd2	AUX	S10V
9	RF RFL Miter1	Vrfl1	AUX	S10V
10	RF RFL Miter2	Vrfl2	AUX	S10V
11	Vacion current1	Ipump1	AUX	S10V
12	Vacion current2	Ipump2	AUX	S10V
13	Arc detector	Arc	AUX	DH
14	KSTAR Fast fault	KSTAR_FF	KSTAR CCS	DH
15	LOCAL fault	ECfault	AUX	DH
16	LOCAL slow fault	ECSfault	ECIOC	PV
17	Cathode V Hi	cVHI	ECRT	float
18	Cathode V Lo	cVLO	ECRT	float
19	Body V Hi	bVHI	ECRT	float
20	Body V Lo	bVLO	ECRT	float
21	RF fwd Hi volt ref.	VfwdHI	ECRT	float
22	RF fwd Lo volt ref.	VfwdLO	ECRT	float
23	dmodulation Hi time	tHI	ECRT	float
24	modulation Lo time	tLO	ECRT	float
25	Timing	LTU_RFON	AUX	DL

표 19. ECFC Fast signals - Input

ECFC Fast signals - Output

	Description	name	target	spec
1	CPS volatage On	cHVON	CPS	HATR-DL
2	CPS fast stop	cSTOP	CPS	HATR-DL
3	CPS V ref	cVREF	CPS	HATR-A
4	BPS V ON	bHVON	BPS	HATR-DL
5	BPS fast stop	bSTOP	BPS	HATR-DL
6	BPS V ref	bVREF	BPS	HATR-A
7	KSTAR ECn fault	KSTAR_ECn_Fault	KSTAR CCS	DH

표 20. ECFC Fast signals - Output

ECFC slow signal - Input

	Description	name	source	spec	default
1	Operation target	OpTarget	ECIOC	bit	DUMMY
2	Operation mode	Opmode	ECIOC	byte	Full Opr
3	BPS Start delay	S_TbDelay	ECIOC	float (usec)	5
4	BPS End delay	E_TbDelay	ECIOC	float (usec)	5
5	RF Blank Time	TrfSet	ECIOC	float (usec)	50
6	V reflection max	Vrflmax	ECIOC	float (V)	2
7	fault reset	faultReset	ECIOC	bit	LO
8	Peak Vc diff	cVDp	ECIOC	float (kV)	2
9	Vc high diff	cVDh	ECIOC	float (kV)	2
10	Vc low diff	cVDl	ECIOC	float (kV)	2
11	Peak Ic diff	cIDp	ECIOC	float (A)	5
12	Ic high diff	cIDh	ECIOC	float (A)	2
13	Ic low diff	cIDl	ECIOC	float (A)	2
14	CPS settling time	TcSet	ECIOC	float (usec)	10
15	Peak Vb diff	bVDp	ECIOC	float (kV)	2
16	Vb high diff	bVDh	ECIOC	float (kV)	1
17	Vb low diff	bVDl	ECIOC	float (kV)	1
18	Peak Ib diff	bIDp	ECIOC	float (mA)	150
19	Ib high diff	bIDh	ECIOC	float (mA)	20
20	Ib low diff	bIDl	ECIOC	float (mA)	20
21	BPS settling time	TbSet	ECIOC	float (usec)	10
22	fwd Voltage diff	VfwdDI	ECIOC	float (mV)	200
23	cathode conductance	cConduct	ECIOC	float (mS)	1
24	body conductance	bConduct	ECIOC	float (mS)	0.0017

표 21. ECFC slow signal - Input

ECFC slow signal - Output

	Description	name	Target	spec
1	Operation status	OPstatus	ECIOC	byte
2	Fault status	FLTstatus	ECIOC	byte
3	First event	Fevent	ECIOC	byte

표 22. ECFC slow signal - Output

No.	Part No.	Set	Role	Description
1	RackPak/M5-1	1EA	Crate	PowerBridge, 2U, 6Double mid size AMC slots, 4uRTM slots, MCH & PM slot
2	NAT-PM-AC600D	1EA	Power	N.A.T. 600W expected workload of 12 AMCs, 2 CUs and 2 MCH
3	MCH-HUB-PCle-x48	1EA	MCH	N.A.T. 12 AMCs,Gigabit Ethernet switching, PCI Express(Gen 3) switching
4	ACQ425ELF-16-2000	3EA	ADC	D-Tacq, 16 Ch., 16 bit resolution, 2000kSPS/Ch.
5	AO424ELF-16	1EA	DAC	D-Tacq, 16 Ch., 16 bit resolution, 1000kSPS/Ch.
6	ACQ400-MTCA-RTM2	2EA	RTM	D-Tacq, Two module carrier sites(FMC, ELF)
7	KMCU-Z30	2EA	AMC	SeedCore, Zynq, 2 x SFP+Ethernet - RJ45 microSD LEMO CLK/TRIG
8	BNCPANEL-32	4EA	Terminal	32 isolated BNC connectors, 1U 19" form factor providing connectivity for various D-TACQ products which use SCSI-68 or VHDCI connectors
9	HATRx Module (DRAFC-623)	4EA	Optic Converter Input	4ch +/- 10V analog Input, 16bit, 10MSPS ADC, 1.25Gbps SFP, 4ch Analog signal capture Through USB 3.0 Interface
10	HATRx Module (DRAFC-624)	4EA	Optic Converter Input	4ch +/- 10V analog Output, 16bit, 10MSPS ADC, 1.25Gbps SFP, 4ch Analog signal capture Through USB 3.0 Interface
11	Dell Precision Tower 5820	2EA	Server	<ul style="list-style-type: none"> - 프로세서 인텔 제온 W-2133 3.6GHz, 3.9GHz Turbo, 6C, 8.25M 캐시, HT, (140W) DDR4-2666 - 메모리 32GB (2x16GB) 2666MHz DDR4 ECC RDIMM 메모리 - 비디오 솔루션 NVIDIA Quadro P400, 2GB (5820T) - Boot 드라이브 옵션 SATA/SAS하드 드라이브/SSD - 하드 컨트롤러 통합형 인텔 AHCI SATA chipset 컨트롤러 (8x6.0Gb/s), SW RAID 0,1,5,10 - 1st 하드 드라이브 2.5인치 512GB SATA class 20 SSD - 보조하드 드라이브 2.5인치 512GB SATA class 20 SSD - 섀시 옵션 Dell precision 5820 타워 950W 섀시 - 슬림형 Bay 옵션 8X DVD+/- 슬림형 - 8x DVD+/- RW 슬림형
12	PCIE-5565RC-10000	1EA	RFM Card	PCLe type RFM CARD
13	Intel Ethernet I210-T1	2EA	Network Card	Netrowk Card for TCN, IEEE1588
14	MX312B-XCCT광랜	1EA	Network Card	10G Ethernet Interface for SDN
15	ACQ-FIBER-HBA	2EA	Adapter	D-Tacq, Provides 2x SFP Transceiver ports at up to 2.5Gbps, 3. Standard PCIe x1 Gen 1.0 card

16	ETOS-300-DX-F0R	1EA	Serial To Ethernet	2 Ports Ethernet, 16 Ports RS-232, 이중화 전원
17	19" rack	1EA	Rack	W700*H2000 (제품사양서 제출하여 승인 후 납품)

표 23 ECICS 전체 하드웨어 리스트

6.3 검사 및 성능 시험 사양

제작 장비는 24시간/365일 동작이 가능 하여야 하며 KSTAR 플라즈마 실험에 정밀 동기 운전이 가능하여야 한다. 이를 위하여 “6.2 ECICS 상세기술사항”에 명시된 모든 기능 및 성능 검사를 수행함과 동시에 개발 시스템의 최대 성능을 측정하여 제공하여야 한다.

시험 방식은 NFRI와 충분한 협의 후 절차서를 작성한 뒤 수행하며 시험을 위한 장비 및 환경은 계약자가 제공하도록 한다. 단, KSTAR와의 연계 운전에 필요한 사항은 NFRI가 지원하도록 한다.

시스템의 성능 및 기능 시험은 KSTAR 가열장치 통합제어실에서 수행하며 수행 전 “검사 및 시험 계획서”를 NFRI에 제출하여 승인을 득하고 NFRI의 입회하에 실시하여야 한다.

7. 시험 및 검사

7.1. 적용범위

- 1) 이 문서는 기술시방서에 명시된 대로 구매품목, 제어 부품 설치, 프로그래밍의 작업 공정에 대한 구매자의 품질검사권한, 검사진행요령, 계약자의 자체 품질관리 책임 등을 규정한다.

7.2. 용어의 정의

- 1) 구매자
국가핵융합연구소(NFRI) 또는 그의 위임자를 의미하며, 공사계약의 경우 발주자로도 정의함.
- 2) 계약자
구매자에게 계약에 의거 기자재 및 용역을 공급하는 자 또는 공사계약을 체결한 자로서 이 시방서에서는 공급자, 판매자 및 하도급계약자 등을 포함함.
- 3) 품질검사계획(Quality Plan 또는 Inspection & Test Plan)
공급품목의 구분, 작업공정 설정, 적용서류의 명시, 검사자 입회점 등을 포함하는 서류로서 계약자가 작성하여 작업착수이전에 구매자의 검토를 받아야 함.
- 4) 입회점(Witness Point)
계약자가 작업을 진행하기 이전에 구매자에게 서면으로 입회검사를 요청해야 하는 중요 제작 및 시험검사 단계로서 그 입회검사결과가 만족하다는 구매자의 확인서명 후에 다음 공정을 진행할 수 있음. 다만 계약자가 구매자에게 입회요청을 명확하게 하였고 구매자가 입회할 의사가 없음이 확인되면 계약자 판단 하에 작업을 진행할 수 있음.
- 5) 필수확인점(Hold Point)
입회점보다 더 중시되는 제작 및 시험검사 단계로서 구매자가 입회하거나, 또는 구매자가 입회할 의사가 없음을 서류상으로 확인하기 전에는 해당 작업을 진행할 수 없음.
- 6) 출하승인서
구매자가 계획한 모든 입회검사결과가 만족할 경우 구매자가 계약자에게 발행하는 서류로서 제작공장에서 제품을 출하하기 위해서는 본 출하승인서를 사전에 발급받아야 함. 출하승인서는 품질증빙서류와 같이 기자재 인도시 구매자에게 제출되어야 하며 출하승인서가 없을 경우 구매자는 기자재 인도를 거부할 수 있음.
단, 구매자의 형편에 따라 출하검사를 생략할 수 있음.
- 7) 검 사

어떤 품목 또는 업무가 명시된 요건에 일치하는지를 확인하기 위하여 시험, 조사 또는 측정 등을 하는 행위로서 이 부록에서는 품질검사, 입회검사, 검사 등으로 표시됨.

7.3. 계약자 자체 품질검사 요건

- 1) 계약자의 품질검사조직은 계약서 요건, 계약서가 요구하는 기술기준, NFRI가 검토한 설계서류 및 품질보증계획서 등의 요건에 맞는 품질검사업무를 관리할 수 있도록 해당 검사관련 지시서, 절차서 등을 작성하여 이행하여야 한다.
- 2) 품질검사 관련 업무에는 품질보증, 설계, 구매, 성능시험, 포장, 취급, 선적, 운송 등이 포함된다.
- 3) NFRI의 검사 또는 공인검사를 받기 전에 계약자의 자체 품질검사가 선행되어 필요한 후속조치가 완료되어야 한다. 계약자의 자체 품질검사가 선행되지 아니하였을 경우 NFRI는 검사진행을 거절할 수 있다. 다만, 압력시험 등 부득이한 검사공정의 경우에는 NFRI와 계약자 검사인원이 동시에 검사를 진행할 수 있다.
- 4) 계약자는 원활한 구매자의 품질검사를 위해 NFRI의 비용지불 없이 NFRI의 품질검사가 계약자의 해당 공장출입, 자료열람 및 검사장비 사용 등 관련 업무에 협조해야 한다.

7.4. 품질검사계획(Quality Plan) 제출 요건

- 1) (제출 및 검토) 계약자는 공급품목(하도급 품목 포함)에 대한 설치 및 시공과 검사 및 시험공정을 자세히 기술하는 품질검사 및 시험계획(ITP)을 작성, 제출하여 설치 또는 작업착수 이전까지 NFRI의 검토를 받아야 하며 NFRI는 계약자 품질검사계획에 NFRI의 품질검사점(입회점, 필수확인점)을 선정한다.
- 2) (기술기준의 준수) 품질검사계획은 계약요건에 의해 적용되는 모든 기술기준을 준수할 수 있도록 설치 및 시험검사 공정이 설정되어야 한다.
- 3) (작성방법) 품질검사 및 시험계획에는 최소한 다음사항이 포함되도록 해야 하며 양식 견본은 품질검사 및 시험계획서(붙임 1)를 참조할 수 있다.
 - ① 계약번호 및 계약명
 - ② 기기명, 기기번호
 - ③ 품질검사계획번호 및 개정번호
 - ④ 작업, 시험, 검사공정
 - ⑤ 공정별 적용서류(절차서, 도면 등) 및 개정번호
 - ⑥ 계약자 자체 입회점 및 필수확인점
 - ⑦ NFRI의 입회점 및 필수확인점 표시란

- ⑧ 검사결과 확인서명란
 - ⑨ 해당 공정의 품질보증기록 제출여부 등
- 4) 계약자는 NFRI가 품질검사계획에 대해 승인하지 않은 상태에서는 제작공정을 진행해서는 안된다.

7.5. NFRI의 품질검사 요건

7.5.1 일반요건

- 1) NFRI는 계약자와의 원활한 업무수행을 위하여 담당 검사자를 임명하여 구매품목의 설치 전에 계약자와 필요한 사항을 협의할 수 있다.
- 2) 계약 체결 후 조속한 시일 내에 NFRI가 설치 전 방문을 할 수 있도록 계약자는 NFRI에게 연락하여야 한다.
- 3) 설치 전 방문은 NFRI와 계약자간 업무편의를 위한 것으로서 설치 전 방문 시에 협의된 내용이 계약요건을 변경할 수 없으며 계약자의 책임을 면제할 수 없다.
- 4) 계약자는 NFRI가 품질검사점 선정에 필요한 자료 및 정보 제출을 요구 시에는 그 해당 자료를 NFRI에게 제공하여야 한다.

7.5.2 설치 전 검사

- 1) 계약자는 NFRI의 입회점이나 필수 확인점에 대하여 실제 작업 최소 5일전에 NFRI의 담당 검사자에게 서면으로 입회요청을 해야 하며 다시 2일전에 구두로 확인해야 한다.
- 2) 입회검사요청서에는 계약번호, 계약명, 검사품명, 검사공정, 수량, 예정일자, 검사장소, 계약자 측 담당자 및 전화번호 등이 포함되어야 한다.
- 3) 설치, 시험, 검사에 적용하는 절차서, 도면 등은 계약요건에 따라 사전에 NFRI 기술부서의 검토 또는 필요시 승인을 받아야 한다.
- 4) 검사과정에서 부적합사항이 발견되면 해당 작업을 중단하고 필요한 시정조치 완료 후 필요시 NFRI의 재검사를 받아야 한다.
- 5) NFRI는 검사결과가 만족한 경우에는 승인된 품질검사 및 시험계획에 서명하고, 불만족한 경우에는 부적합보고서 또는 시정조치요구서를 발행하여 부적합 품목에 대한 시정을 요구할 수 있다.

7.5.3 출하검사

- 1) 계약자는 제품을 공장에서 출하를 하려면 아래사항에 대한 조치가 완결된 후 NFRI의 출하검사를 받아야 한다.
 - ① 출하품목에 관련한 설계, 품질서류의 제출 및 NFRI 승인종결
 - ② 설치, 시험, 검사 및 감사 관련 지적사항 종결(NCR, CAR 등)
 - ③ 품질증빙서류의 완비(각종 품질검사 및 기록서류 등)
 - ④ 계약자 품질보증확인서(Certificate of Conformance) 발행
 - 재료인 경우에는 적용 기술기준에 따라 재료확인서 (Certificate of Compliance)를 제출해야 한다.
- 2) 상기 사항이 완료된 후 구매자에게 출하검사를 요청하여 그 결과가 만족하면 NFRI의 검사자는 출하승인서를 발급하며 불만족할 경우 출하를 보류할 권한을 갖는다.
- 3) 출하승인서의 발급이 선적지시를 의미하는 것은 아니며 계약서에 명시된 별도의 인도일정 또는 NFRI의 지시에 따라 선적을 해야 한다.
- 4) NFRI의 출하승인이 제품의 품질보증을 의미하지 아니하며 NFRI가 출하 승인을 한 후 발견된 어떠한 품질문제점에 대한 책임도 계약자에게 있다.
- 5) 품질증빙서류 제출에 대한 세부요건은 구매 시방서 서류제출요건에 따른다.

7.5.4 포장, 취급, 선적 및 운송관리

- 1) 품질검사계획에 포장준비, 포장 및 선적과정이 포함된 경우에는 NFRI의 입회검사를 받아야 한다.
- 2) 계약자는 NFRI의 출하 승인 후에도 제품이 포장, 취급, 선적 및 운송과정에서 손상을 입지 않고 안전하게 NFRI에게 인도될 수 있도록 필요한 제반 조치를 취해야 한다.
- 3) 대형 중량물과 운송중 손상이 우려되는 품목은 필요에 따라 특별한 조치를 취하여야 한다.

7.6. 부적합사항 관리

- 1) 계약자는 설치, 시험, 검사과정에서 부적합사항이 발견되면 즉시 해당 품목의 작업을 중지하고 품질보증 요건에 따라 처리하여야 한다.
- 2) 부적합사항의 처리과정이 다중의 작업공정, 검사 및 시험이 요구되는 경우 별도의 품질검사계획서를 작성하여 NFRI의 검토를 받아 시행하여야 한다.
- 3) 부적합품목을 현 상태 사용(Use-As-Is) 또는 수리(Repair)하여 사용할 경우 NFRI의 승인을 받아야 한다.
- 4) 계약자는 NFRI가 승인한 내용에 따라 필요한 조치를 완료하고 NFRI의 담당 검사자

로부터 종결확인 서명을 받아야 한다.

5) 종결된 계약자 부적합사항보고서는 품질증빙서류에 포함되어야 한다.

7.7. 공급자 불일치 사항 관리

- 1) 계약자는 계약 이행 과정 중 아래와 같은 구매시방서 요건과 불일치사항이 발생한 경우에는 불임3 양식의 “공급자 불일치사항 처리 요청서(SDDR; Supplier Deviation Disposition Request)”를 발행하여 NFRI에게 제출하여야 한다.
 - 납품 물품이 구매 계약 요건에 맞지 않을 때
 - 계약자가 계약서상의 일부 내용을 변경하고자 할 때
 - 부적합사항에 대해 현 상태 사용(Use-As-Is) 또는 수리(Repair) 사용 시
- 2) 계약자는 공급자 불일치사항 처리 요청서가 종결되지 않은 상태에서 기자재(또는 용역 및 공사)를 출하할 수 없다.
- 3) 공급자 불일치사항 처리요청서는 부적합 사항보고서 (NCR ; Non-Conformance Report)의 처리수단으로는 가능하나 그 대체 목적으로는 발행할 수 없다.
- 4) 종결된 공급자 불일치사항 처리 요청서는 품질증빙서류에 포함되어야 한다.

8. 제출문서

8.1. 적용범위

- 1) 이 챕터는 계약자가 NFRI에게 제출해야 할 각종 서류, 도면 및 품질증빙서류 등에 대한 세부요건을 규정한다.
- 2) 계약서 본문(계약일반조건, 계약특수조건, 기술시방서 본문 등)에 규정된 요건은 이 시방서에 기술된 내용에 우선하여 계약자에게 적용한다.
만일, 이 시방서와 계약서 본문내용이 상호 불일치하거나 불명확한 내용이 있을 경우에 계약자는 NFRI에게 통보하여 명확한 해석을 받은 후 이행하여야 한다.

8.2. 용어의 정의

- 1) 구매자
국가핵융합연구소 또는 그의 위임자를 의미하며, 공사 계약의 경우 발주자로도 정의함.
- 2) 계약자
구매자에게 계약에 의거 기자재 및 용역을 공급하는 자 또는 공사 계약을 체결한 자로서 이 시방서에서는 공급자, 판매자, 하도급 계약자 등을 포함함.

3) 서류

계약 이행을 위하여 계약자가 구매자에게 제출해야 할 설계, 구매, 품질, 사업관리업무 등에 관련된 계획서, 지시서, 절차서, 규격서, 도면 등을 총칭하는 말로서 좁은 의미로 사용 시에는 도면은 제외됨.

4) 품질증빙서류

품질보증활동결과 생산된 각종 시험, 검사 등의 관련서류를 종합 정리한 것으로서 계약요건에 따라 구매자에게 제출됨.

5) 품질보증확인서(Certificate of Conformance)

공급품목 또는 역무가 해당요건(계약서 및 계약서에서 요구하는 기술기준 등)에 만족하는 정도를 확인하도록 권한이 부여된 자에 의해 서명 또는 인증된 서류.

6) 재료확인서 (Certificate Of Compliance)

재료가 해당요건(계약서 및 계약서에서 요구하는 기술기준 등)에 만족하고 있다는 것을 입증하는 증명서.

8.3. 일반요건

- 1) (계약자 의무) 계약자는 이 지방서에서 정하는 대로 계약 이행을 위한 각종 서류 및 도면을 NFRI에게 제출하여야 한다.
- 2) (서류품질) 계약자가 제출하는 서류 및 도면은 정상적인 육안으로 판독이 가능할 수 있도록 작성 또는 복사상태가 양호해야 하며 재 복사 또는 전자매체 제작 등이 가능한 상태의 품질이 유지되어야 한다.
- 3) (NFRI의 검토) 계약자가 제출하는 서류 및 도면은 계약요건에 따라 업무에 적용하기 전에 NFRI의 검토를 받아야 한다.
- 4) (서류식별) 계약자가 제출하는 서류에는 서류명칭, 서류번호, 개정번호, 작성일자 등이 명확하게 기재되어야 하며 서류의 각 면마다 서류번호, 개정번호, 페이지가 표시되어야 한다.
- 5) (서류번호) 계약서요건에 NFRI가 제시한 서류분류번호 부여방법이 있을 경우 계약자는 이를 준수해야 한다.
- 6) (서류승인) 계약자가 제출하는 모든 서류에는 작성, 검토, 승인권자의 소속, 직책, 성명, 서명, 일자 등이 포함되어야 한다.

8.4. 서류 및 도면의 제출

- 1) 계약자는 시스템 구축 사양서 접수 후 아래에 명기된 사항이 포함된 추진방안 및 추진일정을 제출하여야 한다.

- 시스템 설계, 구축 및 품질관리 방안
 - 추진 인력 편성표(인원, 경력 등)
 - 시스템 구축 공정표
 - 기타 관련 자료
- 2) 설치 전 아래 명기한 자료를 제출해야 한다.
- 검사 및 시험 절차서
 - 검사 및 시험 계획서(ITP)
 - 설치 절차서
 - 시스템 설계서(SDD)
- 3) 시스템 구축 기간 중 아래 명기한 자료를 제출해야 한다.
- 공정에 대한 검사 및 시험 성적서
 - 주요공정의 진행상황 사진
 - 각 공정별 구축방법 및 품질관리 기록서
 - 부적합 보고서
- 4) 매주 주간 진척사항 및 업무진행 상황을 문서로 작성하여 제출한다.
- 5) 완료 시 아래 명기한 자료를 각 5부씩 제출해야 한다.
- 하드웨어 도면
 - 검사 및 시험 절차서
 - 검사 및 시험 성적서
 - 설치 절차서
 - 주요공정의 진행상황 자료
 - 각 공정별 구축방법 및 품질관리 기록서
 - 부적합 보고서
- 6) 자료 제출 일정
- 제작 추진방안 및 추진일정 자료: 계약 후 10일 이내
 - 제작 전 제출자료: 계약 후 1개월 이내
 - 제작 중 제출자료: 협의 후 결정
 - 완료 시 제출자료: 설치완료 검사 후 제출
- 7) (자체검토, 승인) 계약자가 NFRI에게 제출하는 모든 서류 및 도면은 계약서 및 계약서에서 요구하는 기술기준과 품질보증계획서에 따라 작성, 검토, 승인되어야 한다. 계약자가 자체승인하지 아니한 서류가 NFRI에게 제출되어서는 안된다.
- 8) (용지사용) 서류에는 일반적으로 A4용지를 사용하며 도면에는 크기에 따라 A0, A1, A2, A3 등의 용지를 사용한다.
- 9) (전자매체의 사용) NFRI의 요청에 따라 전자매체를 이용한 서류를 제출하는 경우 이 전자매체는 관리기준이 수립, 운영된 것이어야 하며 검색가능(Retrievable), 복사가능

(Copiable), 재생가능(Reproducible), 이중보관(Duplicable) 등의 품질요건이 충족되어야 한다.

- 10) (제출) 계약자는 서류 송부 전(붙임 3)을 사용하여 서류 및 도면을 NFRI에게 제출하여야 한다.
- 11) (재고기록) 계약자는 NFRI가 제공한 품목의 물량에 대한 재고기록을 유지하고 NFRI의 요청 시 재고기록보고서를 NFRI에게 서면으로 제출하여야 한다.

8.5. 기록매체 제작 및 검사요건

- 1) 기록매체(USB 등)에 수록할 모든 자료(도면 및 문서)는 전자파일 그대로 수록하는 것을 원칙으로 한다.
- 2) USB에 수록할 모든 자료(도면 및 문서)의 Image File Format은 CCITT Group4 TIFF 압축 방식 또는 PDF(Portable Document Format)를 사용한다.
- 3) Image File은 화면 검색 및 출력 시 판독이 가능한 해상도(200DPI 이상)를 유지하도록 Scanning되어야 한다.
- 4) 도면 및 문서의 Image File 변환 시 Scanning 축척은 1:1로 하여야 한다.
- 5) 도면인 경우는 Multipage TIFF (1개의 이미지파일 내에 다수개의 페이지를 모두 포함시킬 수 있는 파일포맷)를 사용할 수 없으며, 문서인 경우에 한하여 Multipage TIFF를 사용한다.
- 6) USB에 수록할 경우 자료의 목록과 원문 이미지 데이터가 연계될 수 있도록 수록 폴더명, 파일명(File Name) 등을 동일하게 부여하여 수록토록 하여야 한다.
- 7) 전자매체에 수록하여 보관되는 모든 기록물은 사업주 전산시스템에 등록 가능한 형태의 자료이어야 한다.
- 8) (기록검사) 계약자가 제출한 전자매체에 수록된 기록물은 NFRI의 내부기준(수량 검사 및 파일 수록상태 검사, 화질 검사, 검색 연동성 검사 및 외관 검사, 표준 색인 목록 검사 등)에 따라 별도의 인수검사를 하여 전자매체 및 수록된 기록물의 품질이 불량하다고 판정 시에는 인수를 거절할 수 있다.

8.6. 품질증빙서류

- 1) (제출요건) 계약자는 모든 작업이 완료되고 품질보증계획서의 요건에 따라 제품을 공급함을 보증하는 품질증빙서류를 NFRI에게 제출하여야 한다.
- 2) (품질증빙서류의 종류) 일반적으로 품질증빙서류는 다음과 같다.
 - ① 자재/부품 목록[재료시험성적서 또는 재료확인서(Certificate Of Compliance) 포함]
 - ② 설치 중 발생된 각종 시험, 검사보고서

- ③ 특수 작업 기록
 - ④ 부적합보고서(NCR), 시정조치요구서, 공급자 불일치사항 처리요청서(SDDR)종결분
 - ⑤ 최종 도면(Final Fabrication Drawing)
 - ⑥ 일반규격품 적합성 인증서(Certification of Conformance for CGI Dedication)
 - ⑦ 기타 품질검사계획에 의거 요구되는 서류 (공정별 절차서)
- 3) (편철) 품질증빙서류는 편철, 색인, 페이지 부여 등에 있어 찾아보기에 불편함이 없어야 하며 계약자의 책임자가 그 앞 페이지에 최종검토, 확인서명을 해야 한다.
- 4) (식별) 품질증빙서류의 바인더 앞표지에는 품목 WBS, 계약번호, 계약명, 기기명, 계약자 등의 필요한 식별표시가 되어야 한다.
- 5) (제출 서류의 소유권) 계약자가 NFRI에게 제출한 서류 및 도면은 NFRI의 소유이며 계약자는 제출한 서류 또는 도면의 반환을 요구할 수 없다.

9. 품질요건

- 1) 계약자는 설계, 자재, 설치, 시험 및 검사, 포장, 운송 등 계약상 모든 업무에 대하여 이 기술시방서의 요건에 따라 설치 절차서를 작성하여 승인을 득한 후 이행하여야 한다.
- 2) 계약자의 업무 중 하도급 되는 부분이 있는 경우 하도급자에게도 동일한 본 기술시방서의 요건을 적용하여야 하며, 그 품질에 대하여 계약자가 책임을 진다.
- 3) 계약자는 ECICS용 고속 데이터 획득 장치의 설치 업무가 이 기술시방서의 제반 요건에 따라 완성되었음을 확인하는 품질보증 확인서를 제출하여야 한다.
- 4) 계약자는 NFRI가 제한 없이 공급자 또는 그 하도급자의 설계 및 설치 시설을 출입하여 검사, 감사 및 감독하며 모든 관련된 문서를 검토 및 열람할 수 있도록 조치하여야 한다.

10. 기타


- 1) ECICS용 고속 데이터 획득 장치의 계약 완료 후 하자보증 기간은 기본적으로 1년으로 한다. 보증기간 경과 후에도 설치 결함으로 인한 경우에는 필요한 협조(기술자문)를 제공해야 한다.
- 2) 업무 수행 중 업무의 내용이나 설계 및 도면, 그리고 사양(specification) 등의 변경이 필요할 경우 이에 대한 사유가 기재된 사유서를 NFRI에 제출하여야 하며 이러한 내용의 승인 여부에 대해 NFRI는 10일 이내에 계약자에게 통보하여야 한다. 그리고 NFRI가 위와 같은 업무내용을 변경하고자 할 경우에도 반드시 그 사유가 기재된 요청 사유서를 계약자에게 제출하여야 하며 계약자는 10일 이내에 NFRI의 요청 내용

에 대한 수용여부를 문서로 회신하여야 한다. NFRI와 계약자 간 합의 없이는 어떠한 도면, 사양의 변경은 불가하다.

- 3) 계약자는 본 사업의 수행과정에서 계약자가 설계 시 사용하거나 제공한 특허 또는 상품권으로 인하여 발생할 수 있는 어떠한 종류의 책임으로부터 NFRI는 완전히 면책되도록 하여야 한다. 단, NFRI가 작성한 사양서 및 도면과 관련되는 사항은 제외된다.
- 4) 본 계약에 의거 계약자가 공급한 기자재 (Know-How 포함)가 NFRI를 상대로 특허권 분쟁이 야기되었을 때, 이에 대한 모든 비용 및 손해는 계약자가 부담한다.
- 5) 계약자(하도급자 포함)는 본 사업의 수행과정에서 반출된 도면 및 기술자료, 습득한 제반 지식을 NFRI의 사전 승인 없이 국내외 타 프로젝트에 임의로 사용하거나 반출할 수 없으며, 이로 인해 야기된 제반 문제에 대해서는 계약자가 모든 책임을 진다.
- 6) 본 사양서에서 언급하고 있는 통합제어 시스템의 개발 및 설치에 관련된 모든 Know-how는 NFRI의 소유로 한다.

[illegible]

붙임 2 : Document Transmittal Sheet

	Document Transmittal Sheet			FAX	
				TEL	
				E-mail	
Registration No :				Filer	
PROJECT					
	NAME	WORK GROUP	WBS NO.	T-2-7-1 (ECH장치)	
FROM			TR. DATE		
TO(ATTN)			TR. NO.		
CC			REF. NO.	DR-EC-47-000000-000	
<p>■ Title :</p> <p>■ Contents :</p>					
<p>☞ THE FOLLOWING DOCUMENTS ARE TRANSMITTED FOR YOUR :</p> <p>▶ PART 1</p> <p> <input type="checkbox"/> Information <input type="checkbox"/> Approval <input checked="" type="checkbox"/> Review/Comment <input type="checkbox"/> Reference <input type="checkbox"/> Record <input type="checkbox"/> Technical Memo <input type="checkbox"/> _____ </p> <p>▶ PART 2</p> <p> <input type="checkbox"/> Design <input type="checkbox"/> Procurement <input type="checkbox"/> Manufacture/Construction <input type="checkbox"/> Installation/Erection <input type="checkbox"/> Inspection/Test <input type="checkbox"/> Commission <input type="checkbox"/> _____ </p> <p>☞ THESE DOCUMENTS ARE :</p> <p> <input type="checkbox"/> Draft <input type="checkbox"/> Preliminary <input checked="" type="checkbox"/> Final <input type="checkbox"/> Revision </p>					
No.	Document No.	Rev.No.	Q'TY	Description	
Distribution List :			Supplier Originator		
Organization Name	Division Name	Name :			
		Signed _____			
<p>Acknowledgement of Receipt :</p> <p><input type="checkbox"/> Not Required;</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Required; Please return a copy of this transmittal after signing bellow</p> <p>Received by : _____ Date : ____/____/____</p>					

붙임 3 : 시스템 설계서

	KSTAR 개발운영사업	개정번호: 0
	시스템 설계서(SDD) System Design Document	발행일자: . . . 페이지: 1 /

제 목 : ○○○○○○ ○○○○○○ 설계서

개정 이력

개정번호	개정일자	개 정 사 유
0	. . .	○○○○○을 위한 최초발행

관련부서 검토

소속/직책	성 명	서 명	일 자

작성, 검토 및 승인

구 분	소속/직책	성 명	서 명	일 자
작 성	담 당			
검 토	팀장 or 검토자			
승 인	부서장 or 승인자			

목 차

1. 목적	3
2. 범위	3
3. 기능규격	3
3.1 설계개념 및 설계방법	3
3.2 적용기준 및 언어	3
3.3 하드웨어 및 소프트웨어 환경	3
3.4 소프트웨어 구조	3
3.5 알고리즘 및 논리구조	3
3.6 출력형태	3
• • •	
4. 상세설계	3
4.1 상세 논리구조	3
4.2 내부 데이터구조	3
• • •	
5. 시스템 성능 시험 계획	3
5.1 조직, 일정, 자원, 책임사항	3
5.2 성능 시험 방법 및 기준	3
a) 필요한 시험 종류 및 순서 b) 필요한 입력매개변수의 범위	
c) 하드웨어 시험 기준 d) 소프트웨어 시험 기준	
e) 인터록 시험 방법 f) 예상 출력값 (결과)	
g) 적합여부 판정기준 h) 불만족시 처리방법	
5.3 시험 결과	3
n. 참고자료	xx
n+1. 붙임	xx

※ 보고서 목차 및 내용은 필요에 따라 협의 후 변경 가능함.

붙임 4 : 시스템 개발 완료 보고서

	KSTAR 개발운영사업	개정번호: 0
	시스템 개발 완료 보고서 (SDR) System Development Report	발행일자: . . 페이지: 1 /

제 목 : ○○○○○ 시스템 개발 완료 보고서

개정 이력

개정번호	개정일자	개 정 사 유
0	...	○○○○○을 위한 최초발행

관련부서 검토

소속/직책	성 명	서 명	일 자

작성, 검토 및 승인

구 분	소속/직책	성 명	서 명	일 자
작 성	담 당			
검 토	팀장 or 검토자			
승 인	부서장 or 승인자			

목 차

1. 목적	3
2. 범위	3
3. 기능 및 설계 사양	3
<p style="margin-left: 40px;">SDD 의 기능 규격 및 설계 사양, 설계 내용 등 기술 소프트웨어, 하드웨어로 나누어 기술</p>	
4. 상세 개발 내용	3
<p style="margin-left: 40px;">각 모듈 별 개발 내용 상세히 기술</p>	
5. 성능 시험 결과	3
<p style="margin-left: 40px;">SDD의 시험 계획에 기준한 시험 결과 하드웨어 동작 성능 시험 시스템 통합 성능 시험</p>	
n. 참고자료	xx
n+1. 붙임 1. 구성도	xx
n+2. 붙임 2. 개발 코드	xx
n+3. 붙임 3. CAD 도면	xx
n+4. 붙임 4. Check List	xx

※ 보고서 목차 및 내용은 필요에 따라 협의 후 변경 가능함.

붙임 5 : 검사 및 시험계획서 표지

시공계약자 마크

검사 및 시험계획서(ITP)

Total ○○ Sheets

(with cover sheet)

품질 검사 및 시험계획서(ITP)

			
Document status			
<input type="checkbox"/> Approved. <input type="checkbox"/> Approved with comments. Work may proceed subject to comments noted. <input type="checkbox"/> Revise and resubmit. Work may not proceed.			
<u>Note</u>			
Approval or review hereunder shall not be construed to relieve Contractor of his responsibilities and liability under the Contract.			
Date	Approved	Approved	Approved

OWNER'S NAME : National Fusion Research Institute

PROJECT NAME : ○○○○○○○○○○○○○○○○○

DOC. NO. :

		- SAMPLE -			
0	...				
Rev. No.	Date	Descriptions	Prepared by	Reviewed by	Approved by

붙임 6 : 검사 및 시험계획서

통합제어 시스템 구축 검사 및 시험계획서			공 급 자 :				ITP No.		
			과 제 명 : (필요 항목으로 변경기재 가능)				개정번호 No.		
			구축단계 : (필요 항목으로 변경기재 가능)				Page of		
번호	공정	검사 및 시험종류	적용 규격 및 절차	검사주관				시험성적서 명 및 번호	비고
				시공업체		주관기관			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

주1) 검사주관에 검사점 기입 H : Hold Point, W : Witness Point, R : Review Point

붙임 7 : 제출서류 목록 및 제출 일정

No	Document	제출시기	부수	Remark
1	추진방안 및 추진일정 자료 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 설계, 구축 및 품질관리방안 - 시스템 설계, 구축 공정표 - 추진인력 편성표 - 시스템 구축 제안사항 - 설치와 관련한 기타 논의사항 	계약 후 7일 이내 (KOM)	2부	Print-out 서류(2부) 전자문서(PDF)
2	설치 전 절차서 자료 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 설계서(SDD) - 검사 및 시험 계획서(ITP) - 검사 및 시험 절차서 - 설치 절차서 	계약 후 1개월 이내	2부	Print-out 서류(2부) 전자문서(PDF)
3	시스템 구축 기간 중 제출자료 <ul style="list-style-type: none"> - 검사 및 시험성적서 - 주요 공정의 진행상황 사진 - 각 공정별 구축방법 및 품질관리 기록서 - 부적합 보고서 	구축 기간 중 수시 (계약 후 협의)	2부	Print-out 서류(2부) 전자문서(PDF)
4	구축 완료 후 제출자료(완료보고서) <ul style="list-style-type: none"> - 하드웨어 도면 - 설치 절차서 - 검사 및 시험 절차서 - 검사 및 시험 성적서 - 주요공정의 진행상황 자료 - 각 공정별 구축방법 및 품질관리 기록서 - 기간 중 발행된 부적합보고서 취합본 	계약 완료 시	2부	Print-out 서류(2부) 전자문서(PDF) (검수서류(5부)와 별 도 제출)
5	주/월간 진척사항 보고 <ul style="list-style-type: none"> - 주간보고자료 - 월간보고자료 	계약 기간 중 매 주/월간회의 1일 전	-	전자문서(PDF)