

# KSTAR 전류전송제어시스템의 원격운전을 위한 EPICS 기반 제어계 구축

김명규\* · 백설희 · 김국희 · 박미경

국가핵융합연구소 KSTAR연구센터, 대전 305-333

(2007년 11월 9일)

KSTAR 전류전송제어시스템은 네트워크기반의 실시간 분산제어시스템으로 EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)를 미들웨어로 채용하여 구축하였다. 전류전송제어시스템은 초전도자석시스템에 전류를 전송하기 위한 시스템으로서 전류전송과 동시에 초전도자석이 초전도상태를 유지하기 위한 냉매의 전송도 담당하고 있다. 주제어실에서의 원격운전을 위하여 EPICS IOC(Input Output Controller) 서버를 현장에 설치하였고 이를 통하여 전류전송제어시스템은 고유의 이름(PV)에 적절한 조작 및 감시 명령을 부여하여 주제어실의 운전화면을 통하여 시스템의 감시 및 조작이 가능하도록 하였다. EPICS와 PLC의 통신을 위하여 ether-ip 드라이버를 이용하여 EPICS IOC를 구축하였으며, 시험 결과 안정성 및 운용성 측면에서 만족할 만한 결과를 획득하였다.

주제어 : KSTAR, 전류전송, 제어시스템, EPICS

## I. 서 론

KSTAR장치의 제어시스템의 특징은 네트워크 기반의 분산제어시스템으로 KSTAR 주제어시스템과 실험동의 곳곳에 산재한 다수의 지역제어시스템이 네트워크를 중심으로 연결되어 있으며, 각 시스템이 자신이 맡은 임무를 수행하면 주변 시스템과 네트워크를 통하여 유기적으로 상호작용하도록 설계되어 있다[1].

KSTAR 제어시스템은 그 기능과 용도에 따라 5개의 분리된 네트워크를 이용하여 상호간의 통신이 가능하게 된다. 이 네트워크는 약어로 MERIT라고 부르며 각각의 의미는 아래와 같다.

- M - Machine Network : 장치운전과 관련된 이벤트 및 데이터 교환 네트워크
- E - Experimental Data Network : 플라즈마 실험 데이터 전달을 위한 네트워크
- R - Real-Time Network : 고속의 실시간 데이터 교환이 필요한 피드백(Feedback) 운전을 위한 네트워크
- I - Interlock Network : 장치보호를 위한 인터록 시스템에서 사용하는 네트워크
- T- Timing Network : 각 장치의 시간을 동기화하고 정

교한 Timing Event를 전달하는데 사용하는 네트워크

각각의 지역제어시스템은 각각의 고유의 기능에 따라 위에서 언급된 네트워크를 필요에 따라 선택해서 사용하도록 설계되어 있으며, 대부분의 개별 시스템은 Machine Network과 Interlock Network은 필수적으로 사용하고 있다. Fig. 1은 각각의 네트워크를 활용하여 구축된 KSTAR 통합제어시스템의 전반적인 기능을 보여주고 있다.

KSTAR 지역제어시스템은 대부분 리눅스(Linux)를 OS(Operating System)로 사용하고 있으며, 미들웨어인 EPICS를 제어용 소프트웨어로 사용하고 있다. EPICS (Experimental Physics And Industrial Control System)는 입자/방사광 가속기, 천체망원경 어레이 등 대형 연구장치 및 산업용 제어시스템에 적합하도록 개발된 분산제어시스템의 이름으로 미국의 로스알라모스 국립연구소에서 TCS (The Control System)라는 이름으로 개발되었으며, 그 성능이 입증되어 다수의 가속기연구소와 각종 실험장치 및 산업용 장치의 제어시스템에 채용되어 그 활용범위를 넓혀 나가고 있다. 현재는 알곤 국립연구소에서 그 소스코드와 주요개발을 담당하고 있으며, 다양한 연구소에서 개발에 참여하고 있다. 라이선스 정책은 변형된 GNU 라이선스 정책을 따르며 연구용 및 상업용으로도 활용이 가능하다

\* [전자우편] mkkim@nfri.re.kr

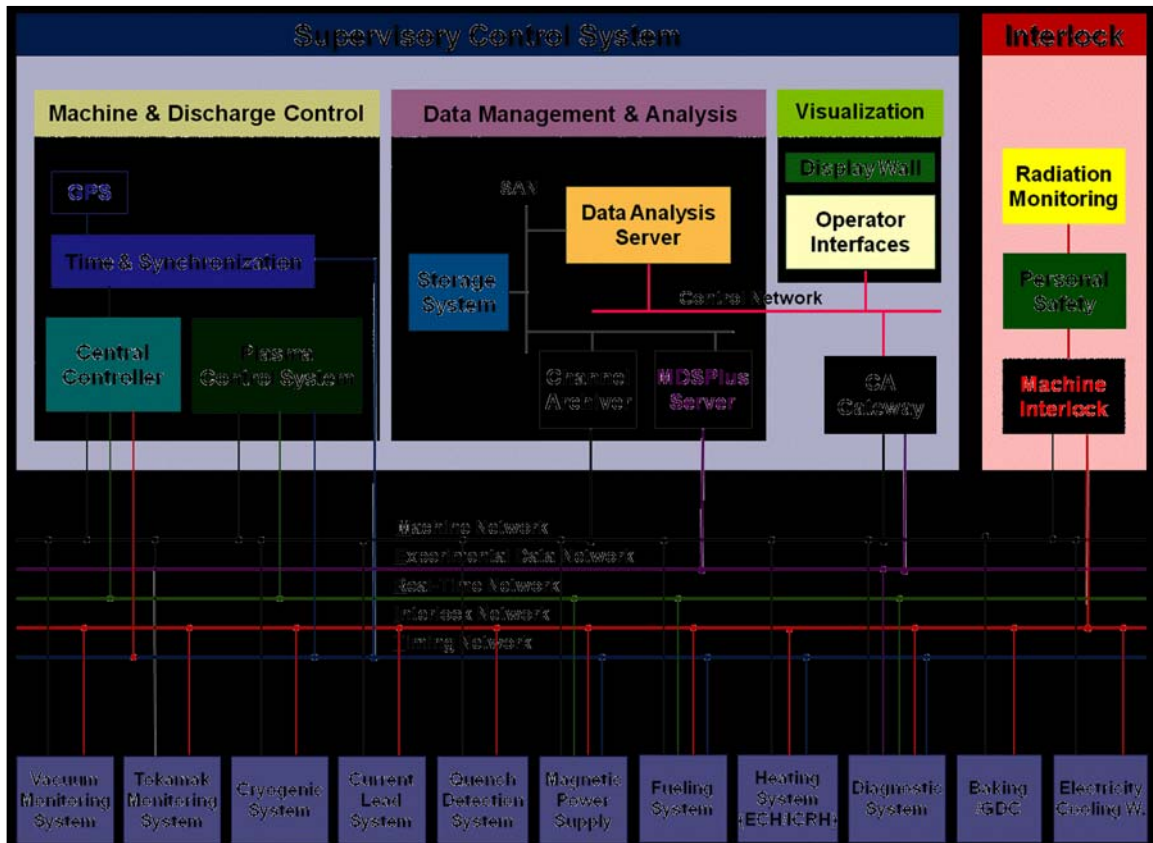


Fig. 1. Configuration of KSTAR Control System Network

도록 되어 있다[2].

KSTAR 지역제어시스템에 EPICS를 제어용 미들웨어 소프트웨어로 채택한 동기는 다음의 세 가지로 요약이 될 수 있다. 첫째, 안정성 및 대용량의 데이터처리에 있어서 다수의 적용사례가 있다는 점으로 대용량 고성능의 첨단 장치인 입자/방사광 가속기 분야에서 현재 EPICS는 널리 사용 중이다. 둘째, EPICS는 여러 연구소 및 기업의 기여로 개발되었을 뿐만 아니라 모든 소프트웨어의 소스코드(source code)가 공개되어 있어서 KSTAR에서 독자적으로 필요로 하는 기능을 자체적으로 개발하기에 용이하다는 점이다. 마지막으로 이러한 정책의 결과로 소프트웨어의 라이선스 비용 지불 없이 사용할 수 있다는 점이다[3,4].

Fig. 2는 본 논문에서 자세히 설명하고자 하는 전류전송 제어시스템 및 KSTAR에서 현재까지 구축이 완료된 지역 제어시스템인 토카막모니터링 시스템, 켈치검출 시스템, 진단 데이터 획득시스템, 진공모니터링 시스템, MPS 제어 시스템, ECH 제어 시스템, 연료주입 및 방전시스템 등을 KSTAR 실험동 건물내의 설치위치와 함께 보여주고 있다.

실험동의 각 지역에 흩어져 설치된 지역제어시스템에서 주제어실까지 운전 데이터의 흐름을 요약하면 다음과 같이 설명할 수 있다. KSTAR 지역제어시스템에는 지역제어기를 위한 EPICS IOC (Input/Output Controller) 소프트웨어가 동작하고 있다. IOC는 이더넷을 통하여 CA (Channel Access) 프로토콜을 이용하여 CA Gateway에 연결된다. CA Gateway는 주제어실의 OPI (Operator Interface)에 지역제어기와의 CA 통신을 중계하게 된다. 이렇게 해서 주 제어실의 운전자는 OPI 화면을 통하여 지역제어계를 운전 및 감시할 수 있게 된다.

한편 Fig. 1에서 보여지는 것처럼 KSTAR의 장치 운전 에 관련된 운전데이터는 Channel Archiver를 통하여, 그리고 플라즈마 및 핵융합 실험과 관련된 실험데이터는 MDSPlus를 통하여 수집하여 저장하도록 되어 있다. 이 두 시스템이 수집한 데이터는 KSTAR 데이터저장시스템에 저장되며, 이 시스템은 IBM DS8100 스토리지 시스템 (현재 9.6TB 용량)과 Channel Archiver 및 MDSPlus를 연결하는 Storage Area Network (SAN)으로 구성이 되어 있다.

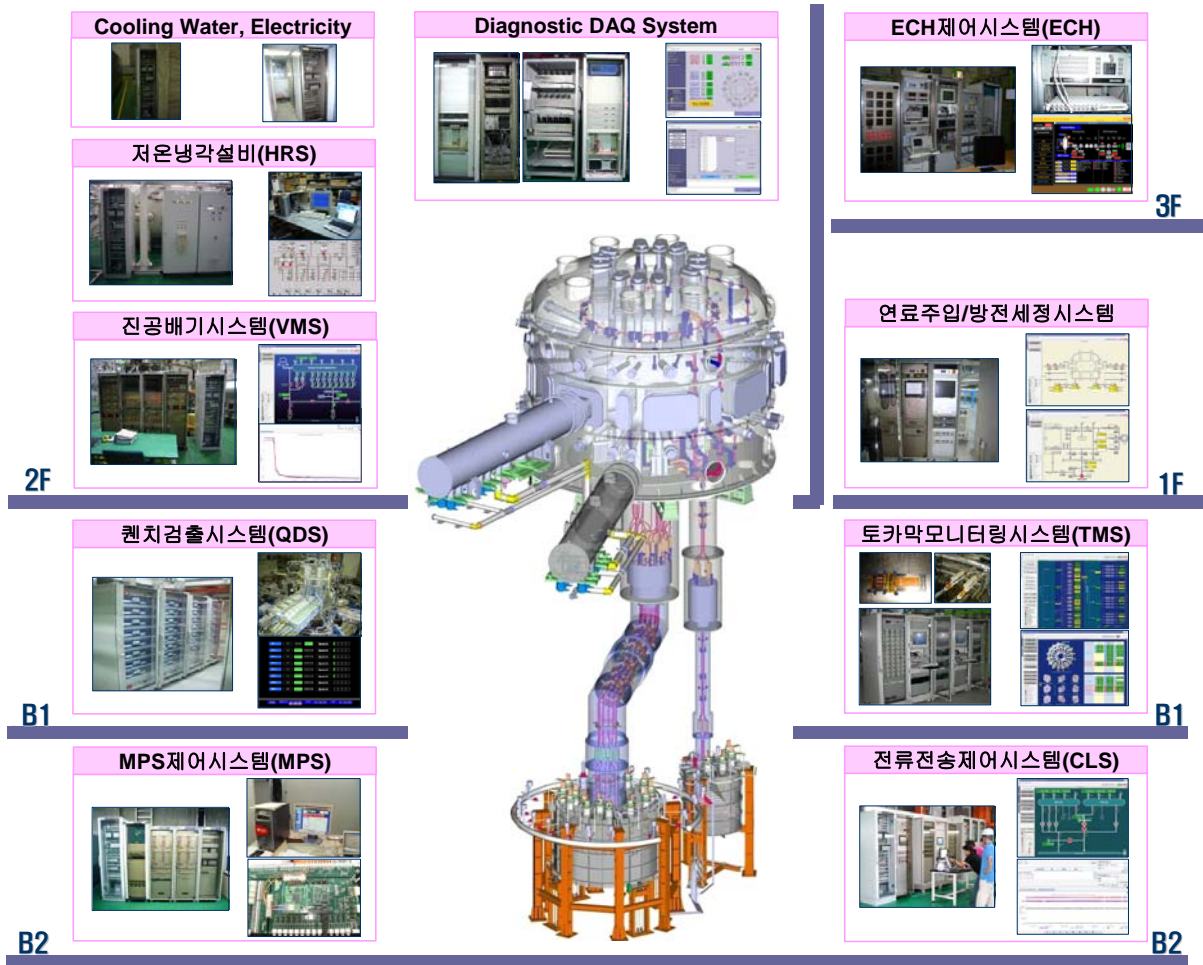


Fig. 2. KSTAR Local Control System

## II. 지역제어계 구축

전류전송제어시스템의 제어계는 KSTAR 주제어시스템과 연동운전 및 단독 운전이 가능한 구성이 되어야한다. 또한, 실시간으로 제어 및 자료획득이 가능해야하며 장비상호간의 interlock이 구축되어 장비간의 유기적인 운전이 가능해야 한다. 개별 제어기는 자체로 통합된 분산제어시스템이어야 하고 오류에 대비한 제어시스템으로 구성되어야 한다.

KSTAR 전류전송제어시스템은 전류인입선(CL, Current Lead) 및 초전도버스라인의 열 차폐를 위한 저온용기인 전류인입선박스(CLB, Current Lead Box)의 진공배기를 위한 시스템인 CLB 진공시스템과 초전도버스라인 및 전류인입선에 초임계/액체/가스 헬륨을 공급하여 시스템의 온도를 제어하기 위한 헬륨냉매제어시스템(HCS)으로 이루어져

있다. CLB 진공시스템의 구성은 저 진공영역을 담당하는 초벌진공배기계통, 고 진공영역을 담당하는 고진공배기계통, 진공의 개폐를 담당하는 진공밸브계통 및 진공의 측정을 위한 진공 게이지 시스템으로 이루어져 있고, 헬륨냉매

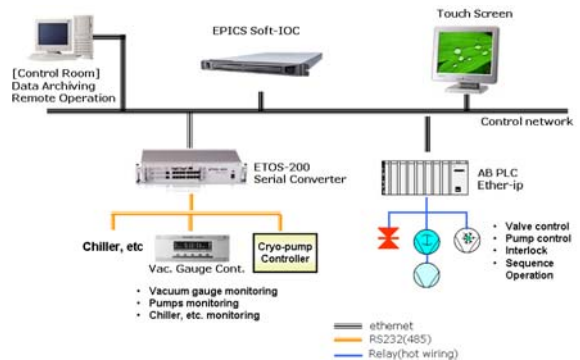


Fig. 3. Configuration of KSTAR Current Lead Control System

제어시스템은 헬륨의 유량을 조절하기 위한 극저온밸브 및 밸브컨트롤러와 온도 조절을 위한 히터, 온도센서, 압력센서, 유량센서 등으로 구성되어 되어 있다[5,6].

제어시스템의 구성은 Fig. 3에 보여지는 것처럼 사용자가 원격지인 주제어실에서 장비에 명령을 하달하거나 장비의 상황을 감시하기 위한 운전자화면인 OPI, 리눅스에 설치되어 소프트웨어만으로 EPICS IOC(Input/Output Controller) 역할을 수행하는 EPICS Soft-IOC 서버, RS-232나 RS-485통신을 Ethernet 통신으로 변환해주고 진공게이지의 측정, 진공 펌프의 운전상황을 감시하고, RS232통신을 사용하는 계측기의 정보를 PLC에 수집하기 위하여 사용하는 ETOS 서버, 현장에서의 시스템 조작 및 감시를 위한 터치스크린, 그리고 밸브나 펌프의 ON/OFF 제어와 감시, 시스템의 자체적인 interlock 기능을 하기 위한 PLC(programmable Logic Circuit)로 구성되어 있다. 각 장치의 특징은 다음과 같다.

•EPICS Soft-IOC 서버

리눅스 OS(operating system)에 설치되어 소프트웨어만으로 EPICS IOC(Input/Output Controller) 역할을 수행하며, 이 Soft-IOC를 통하여 개별 장비의 제어 및 모니터링이 EPICS에서 가능하게 된다. EPICS에서 제공하는 “ether-ip” 드라이버를 이용하여 PLC와 정보를 주고받을 수 있다.

•운전자 화면(OPI)

사용자가 직접 장비에 명령을 하달하거나 장비의 상황을 감시하는 운전자 화면을 EPICS에서는 OPI(Operator Interface)라 부르며, EPICS상에서 운전자는 모든 시스템의 정보를 OPI를 통해서 보고 또 필요한 명령을 장비에 하달한다. KSTAR 전류전송제어시스템을 운전하기 위한 OPI는 주제어실에 설치되어 있는 OPI #15 서버에 할당되어 있다.

•ETOS 서버

RS232 통신을 LAN(TCP/IP)통신으로 변환해 주는 변환기이다. RS232 통신은 거리의 제약(5m 이내), 전송속도의 제한 및 메시지 전송시 별도의 메시지 확인 코드를 추가로 첨가하여야 하는 단점이 있으나 이 메시지를 TCP/IP를 이용하여 전송할 경우에는 이러한 단점을 쉽게 극복할 수 있다. RS232 명령어는 단지 물리적인 전송경로만 RS232에

서 TCP/IP로 바뀌어 전송된다. 시스템내의 모든 RS232 통신 장비는 ETOS 서버를 통하여 메시지가 변환된 후 PLC의 태그(Tag)에 정보를 입출력 할 수 있게 된다.

•PLC

가장 핵심적인 제어장치로 EPICS에서 제공되는 “ether-ip” 드라이버를 이용하여 EPICS IOC와 통신을 통하여 PLC의 입출력 단에 연결된 장치의 정보 읽기 및 쓰기를 수행하며, EPICS IOC와의 통신시 PLC는 태그라는 메모리 값과 EPICS의 레코드가 통신을 통하여 정보를 교환한다. PLC는 프로그램이 시스템 내에 내장이 되므로 가장 핵심이 되는 중요한 기능을 포함하고 있고, 개별 장치 상호간의 인터락 처리 및 중앙 인터락과의 연결도 PLC를 통하여 이루어진다.

•터치스크린

지역제어계가 설치된 현장에서 운전자가 직접 운전시에는 현장에 설치된 터치스크린을 이용하여 직접 제어 및 감시를 한다. 터치스크린은 PLC와 이터넷을 통한 통신을 이용하여 정보를 교환하며, 별도의 입력장치를 이용하지 않고 화면을 직접 누름으로써 조작이 되도록 구축되어 있다.

Fig. 4에서 보여지는 것처럼 KSTAR 실험동 지하2층에 설치된 전류전송제어시스템을 300m 이상 떨어진 지상2층의 주제어실에서 실시간으로 운전 및 감시를 하는 과정은 다음과 같이 설명할 수 있다.

(1) PLC를 이용한 지역제어시스템의 현장 데이터 수집  
 현장에 설치된 ON/OFF 제어의 경우는 PLC의 I/O 모듈을 이용하고, RS232(485) 통신을 사용하는 장비의 경우는 ETOS 서버를 이용하여 현장에서 수집된 데이터를 PLC에

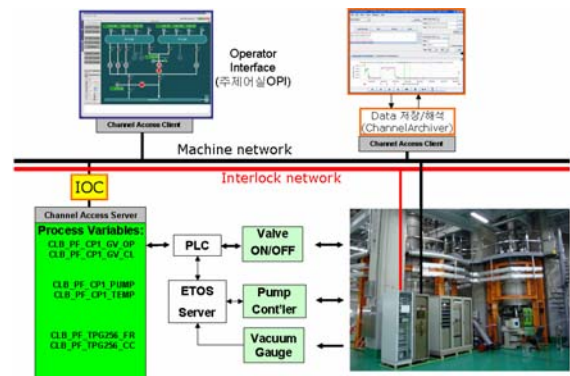


Fig. 4. EPICS Implementation of Current Lead Control System

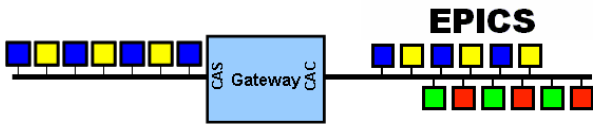


Fig. 5. CA Gateway Concept

태그의 형태로 메모리가 할당된다. 이후에는 태그의 정보를 읽거나 씌으로써 전체 시스템을 운전 및 감시 할 수 있게 된다.

(2) EPICS IOC를 이용한 지역제어시스템의 현장 데이터 수집

현장에 설치된 EPICS IOC는 주제어시스템과의 연계를 위하여 설치되어 있으며, IOC에서는 “ether-ip” 드라이버를 이용하여 PLC 태그와 통신을 통하여 정보를 교환한다.

(3) 현장 EPICS IOC의 CA Gateway 연결

현장에 설치된 EPICS IOC는 Machine network을 이용하여 주제어실에 설치된 CA Gateway 서버와 연결이 된다. 이때 Gateway 서버는 다수의 주제어실 OPI 서버에 의해서 현장의 EPICS IOC가 연결될 때 네트워크상의 부하를 최소화 하기 위하여 목적으로 설치되어 있으며, Fig. 5에서 보여지는 것처럼 CA Gateway 서버에는 CAS(Channel Access Server)와 CAC(Channel Access Client)가 동시에 동작하고 있다.

(4) 주제어실 Channel Archiever 서버 및 해석 서버의 연결

Channel Archiever 서버는 실시간으로 장치의 운전 데이터를 Machine network을 이용하여 중앙제어시스템의 저장장치(Storage Server)로 옮기는 역할을 하며, 해석 서버는 앞서의 Channel Archiever를 이용하여 기록된 데이터를 저장장치에서 다시 꺼집어 내어 운전 상황을 해석 및 분석하는데 활용이 된다.

(5) 중앙인터락시스템과의 연결

전류전송제어시스템은 중앙제어시스템이나 다른 지역제어시스템과의 연동운전이 필요한데, 이러한 연동운전에 필요한 정보는 Interlock network을 이용하여 전달된다. 지역제어장치에서 수집된 인터록 정보는 중앙인터락시스템에서 수집이 되고, 적절한 처리과정 및 연산을 통하여 관련된 개별 지역제어시스템에 정보를 하달하여 지역제어시스

템이 안정적으로 운전이 되도록 하고 있다.

III. EPICS 기반 소프트웨어의 개발

EPICS기반 소프트웨어는 타 시스템에서 개발이 되었다 라도 동일한 장비를 사용하는 경우 변경 없이 코드를 재사용할 수 있는 드라이버/디바이스 부분과 시스템의 순차제어를 위한 시나리오, 시스템자체에 의존적인 논리연산, 데이터 형태변환 등을 수행하는 프로세싱 데이터베이스 부분으로 구성이 되어 있다. 전류전송제어시스템의 EPICS기반 소프트웨어는 기능과 코드의 재사용을 고려하여 드라이버/디바이스 소프트웨어의 경우 LANL에서 개발한 “ether-ip”를 PLC와의 통신을 위한 소프트웨어로 사용하고 있고, HEPAK 계산루틴 드라이버는 헬륨의 유량을 “gram/sec” 단위로 계산하기 위하여 사용하고 있다. 또한 드라이버/디바이스를 이용하여 획득한 정보를 바탕으로 적절한 논리연산 및 데이터 변환을 수행하는 프로세싱 데이터베이스를 통하여 BI(binary input), BO(binary output), AI(analog input), AO(analog output)형태의 데이터를 처리할 수 있게 된다.

(1) “ether-ip” 드라이버

전류전송제어시스템의 구성을 위해 사용된 모든 장치는 PLC에서 1차적으로 데이터가 수집된 후 주제어시스템과의 통신 및 다른 지역제어시스템과의 정보교환을 하게 되고 이러한 정보교환은 EPICS IOC에서 CA(Channel Access)를 이용하여 이루어진다. EPICS에서는 Allen-Bradley사의 ControlLogix PLC를 제어하기 위해 “ether-ip” 드라이버를 사용하고 있으며, Fig. 6에서 보여지는 것처럼 “ether-ip”는 네트워크 계층구조에서 Application 영역에서 구현된 CIP(Common Industrial Protocol)을 기반으로 하고 있고, 주요 사항은 다음과 같다.

- “Round-trip”으로 요청/응답 한다.
- Allen-Bradley ControlLogix 또는 CompactLogic PLC와의 통신
- 특별한 하드웨어나 설치 없이 바로사용 할 수 있다.
- PLC상의 태그는 어떤 데이터든지 읽고 쓸수 있다.
  - 지원하는 레코드 형태 : ai, ao, bi, bo, mbbi, mbbo, mbbiDirect, mbboDirect
  - 드라이버 사용 방법 : DTYP=“EtherIP”, INP=“@plc1 TEST”

- PLC 태그 데이터 형태: REAL, INT, DINT, BOOL,

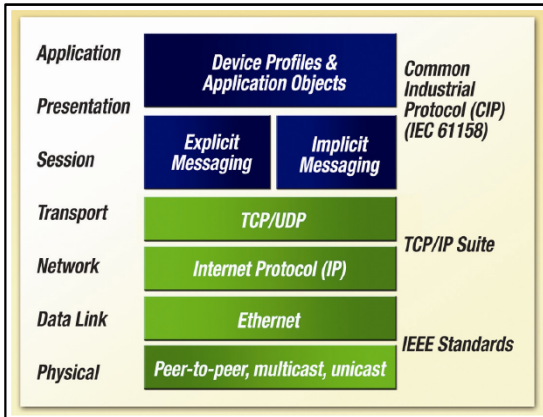


Fig. 6. ether-ip network layer[7]

scalar, struct.elements, array

- PLC의 래더로직(Ladder Logic)이 없어도 Data에 직접 읽기/쓰기 가능

- 다른 PLC에 있는 다른 태그를 사용할 경우에 INP/OUT 필드를 운전중(실행중)에도 변경 가능하다.
- IOC와의 연결해제/재연결을 관리한다. 예를 들면 PLC 재부팅 시에도 사용가능하다.
- PLC마다 하나의 통신 쓰레드(thread)를 생성하며 대략 500 바이트정도의 버퍼크기로 묶어서 통신한다.

시스템/기능	TEMPLATE 파일	DB 파일
--------	-------------	-------

(2) HEPAK 계산 드라이버

HEPAK은 헬륨의 상태방정식으로부터 물성치를 계산하기 위한 컴퓨터 프로그램으로, 0.8 K ~ 1500 K까지 계산이 가능하다[8]. HEPAK 서버루틴 레코드는 초전도시스템의 냉각시에 헬륨의 압력과 온도로 부터 원하는 물성값을 계산하기 위한 드라이버이다. 계산은 HEPAK이라는 FORTRAN 프로그램을 불러서 수행하며, HEPAK 서버루틴 레코드는 EPICS IOC에서 이 작업을 수행할 수 있도록 EPICS 레코드 형태의 인터페이스를 제공한다. HEPAK은 압력과 온도를 입력으로 하여 30여 가지의 헬륨의 물성값을 계산해 내며 이들 각각은 초유동, 단일상태, 액체상태, 기체상태, 액체 기체 혼합상태, "lambda line"등에 대해 따로 계산이 가능하다. HEPAK 계산 드라이버는 EPICS 레코드상에서 원하는 물성값의 인덱스 번호를 입력 받아 자신의 VAL 필드에 계산 값을 출력하며, EGU 필드에는 물성치가 바뀔 경우 단위를 자동으로 표시하도록 구현되어 있다. 전류전송제어시스템의 경우 오리피스 유량계를 이용하여 초임계 헬륨의 질량유량을 측정하기 위해 주로 사용하

Table 1. Current Lead Control System Processing DB

시스템/기능	TEMPLATE 파일	DB 파일	비 고
CLB AI	CLB_AI.template	CLB_AI.db	CLB AI(analog Input) record
CLB BI	CLB_BI.template	CLB_BI.db	CLB BI(점점 입력) record
CLB BO	CLB_BO.template	CLB_BO.db	CLB BO(점점 출력) record
HCS FLOW	CLS_He_AO_FLOW.template	CLS_FLOW.db	HCS 질량유량 계산 record
HCS AI	CLS_He_AI.template	CLS_He_AI.db	HCS AI(analog Input) record
HCS AI(P)	CLS_He_AI_P.template	CLS_He_AI_P.db	HCS AI(analog Input) PID P value record
HCS AO	CLS_He_AO.template	CLS_He_AO.db	HCS AO(analog output) record
HCS AO(SP)	CLS_He_AO_SP.template	CLS_He_AO_SP.db	HCS AO(analog output) record SP value
HCS BI	CLS_He_BI.template	CLS_He_BI.db	HCS BI(점점 입력) record
HCS BO(Manual)	CLS_He_BO_MANU.template	CLS_He_BO_MANU.db	HCS BO(점점 출력) record Controller Manual/Auto 선택
HCS BO(PLC)	CLS_He_BO_PLC.template	CLS_He_BI_PLC.db	HCS BO(점점 출력) record Controller/PLC

고 있으며, 유량을 “gram/sec”단위로 환산하기 위해서는 해당 온도 및 압력 하에서의 헬륨의 밀도가 필요한데,

```
* st.cmd
#!../bin/linux-x86/CLS

## Register all support components
dbLoadDatabase("../dbd/CLS.dbd")
CLS_registerRecordDeviceDriver(pdbbase)
##ether-ip driver initialize & loading
drvEtherIP_init()
drvEtherIP_define_PLCL("plc0", "172.17.101.31",0)
drvEtherIP_define_PLCL("plc1", "172.17.101.34",0)
EIP_verbosity(2)

## Load record instances
dbLoadRecords("../db/CLS_HEART.db")
dbLoadRecords("../db/CLS_TIME.db")
dbLoadRecords("../db/CLS_REMOTE.db")
dbLoadTemplate("../db/CLB_AO.template")
dbLoadTemplate("../db/CLB_AI.template")
dbLoadTemplate("../db/CLB_BO.template")
dbLoadTemplate("../db/CLB_BI.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AI.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AI_P.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_BI.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_BO_PLCL.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_BO_MANU.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AO.template")
#dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AO_test.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AO_SP.template")
#dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AO_SP_test.template")
dbLoadTemplate("../db/CLS_He_AO_FLOW.template")
dbLoadTemplate("../db/CLB_RGA.template")

#cd ${TOP}/iocBoot/${IOC}
iocInit()
```

HEPAK 계산 드라이버를 이용하면 간단하게 이를 계산해 낼 수 있고, 이렇게 계산된 밀도를 이용하여 질량유량값을 계산할 수 있다. 아래의 식 (1)은 질량유량을 계산하기 위한 식으로  $C_0$ 는 유출계수,  $A_0$ 는 배관의 단면적,  $p$ 는 주어진 온도 및 압력에서의 헬륨의 밀도,  $\Delta P$ 는 오리피스 전후의 압력차,  $\beta$ 는 오리피스의 개구비를 의미한다.

$$\frac{dm}{dt} = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2\rho\Delta P}{1-\beta^4}} \quad (1)$$

(3) EPICS 프로세싱 데이터베이스  
전류전송제어시스템의 프로세싱 데이터베이스는 레코드

의 설정과 레코드간의 네트워크를 정의한 데이터베이스파일과 1개 이상의 데이터베이스파일을 조합하여 다수의 인스턴스를 생성하도록 하는 템플레이트파일의 조합으로 구성되어 있다. 이때 각각의 데이터베이스파일과 템플레이트파일은 각 장치별로, 각각의 기능별로 적당히 분리시켜 놓아 장치의 변경이나 컨트롤로직이 변경되었을 때 최소한의 작업으로 변경할 수 있도록 구축하였다[9].

(4) EPICS IOC 시동을 위한 스크립트

EPICS는 IOC 프로그램을 시동하기 위해 “st.cmd”라는 스크립트를 사용한다. 이 스크립트 안에는 드라이버가 실제로 구현이 되어 있는 마이너리파일의 로딩, 드라이버 초기화, 데이터베이스로딩, 각종 환경변수 설정, IOC 초기화 등 모든 내용이 포함되어 있다.

#### IV. 운전화면(OPI) 개발

전류전송제어시스템의 OPI는 EPICS에서 제공하는 OPI 툴의 제약사항을 극복하기 위하여 “Qt” 소프트웨어를 이용하여 자체적으로 개발하였다. 현재 개발된 OPI는 전류전송제어시스템의 지역제어시스템의 실시간 원격운전을 목적으로 개발이 되었으며 여러 차례의 시운전을 거쳐 보완을 마친 상태이다. Fig. 7은 CLB 진공시스템의 운전감시 화면으로서 진공시스템의 전반적인 운전상황을 다이어그램으로 표현하여 파악하기 쉽도록 구축하였다. 개별 장치에 있어서 적색의 의미는, 밸브의 경우는 닫힌 상태(close)를 의미하고, 펌프의 경우는 운전중지(stop)상태를 의미한다. 마찬가지로 녹색은 각각 열린 상태(open)와 운전중인 상태를 의미한다. 운전화면의 상단에는 지역제어장치의 EPICS IOC 서버에서 보내주는 시간정보와 장치의 동작여부를 판단하기 위한 맥박신호(heart beat)를 보여주고 있다. 그리고 화면의 좌측 편은 다른 시스템으로의 이동을 위한 탭 버튼이 있고 그 안쪽에는 다른 화면으로 이동을 위한 버튼이 배치되어 있다. 버튼의 아래쪽에는 시스템의 운전 권한이 현장제어시스템이나 주제어실 인지를 확인할 수 있는 “Local/Remote” 램프가 있으며, 그 아래쪽에는 시스템 운전의 편의성을 위한 기기 다이어그램 기호의 의미가 “Legend” 박스에 설명되어 있다.

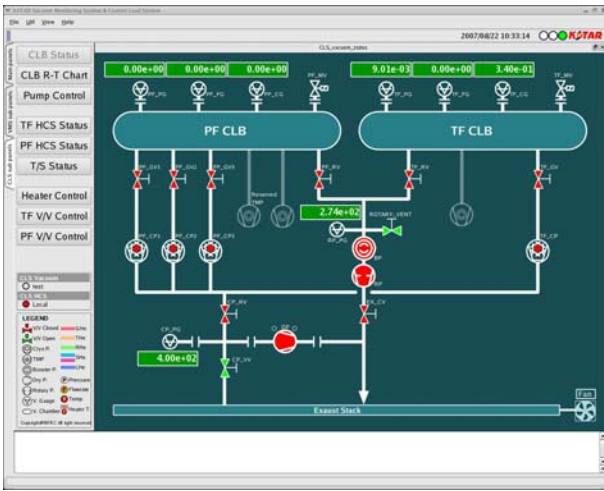


Fig. 7. Current Lead Box Vacuum System Monitoring Display



Fig. 8. Current Lead Box Vacuum System Control Display

## V. 요약

KSTAR장치의 전류전송제어시스템은 네트워크 기반의 실시간 분산제어시스템으로 EPICS(Experimental Physics and Industrial Control System)를 미들웨어로 채용하여 구축하였다. 전류전송제어시스템은 전류인입박스의 진공 제어시스템과 전류전송관 및 초전도버스의 냉매를 제어하기 위한 헬륨제어시스템으로 구성되어 있다. 진공제어시스템은 진공펌프의 운전/감시, 진공 밸브의 운전/감시 및 진공계기로부터의 진공 측정의 기본기능이외에 자체적인 인터락등 다양한 운전 편의 기능을 수행하며, 헬륨제어시스템은 헬륨의 유량을 조절하기 위한 극저온밸브의 감시

및 조작과 온도 조절을 위한 히터와 시스템의 상태과약을 위한 온도센서, 압력센서, 유량센서 등으로부터 데이터를 읽고 조작하는 기능을 수행한다. 이러한 기능을 만족시키기 위하여 지역제어시스템의 주제어기는 PLC를 이용하여 구축하였다. 현장에 설치된 EPICS IOC(Input Output Controller) 서버를 통하여 주제어실에서의 원격제어가 가능하도록 구축이 되어 있으며, 주제어실에서 운전화면을 통하여 고유의 이름(PV)에 조작 및 감시 명령을 하달하면 지역제어시스템의 감시 및 조작이 가능하도록 구축하였다. 여러 달에 걸친 장시간 시스템 운전시험 결과 안정성 및 운용성 측면에서 만족할 만한 결과를 얻었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 지원으로 수행한 차세대 초전도 핵융합 연구장치 개발 운영 사업으로 진행되었다.

## 참고문헌

- [1] Y.K. Oh et al., *KSTAR Integrated Control System Development*, NFRI 258-556, (2007).
- [2] EPICS Homepage, <http://www.aps.anl.gov/epics>.
- [3] Myungkyu Kim, et al., *Fusion Engineering and Design* **81**, 1823 (2006).
- [4] K.H. Kim et al., *Fusion Engineering and Design*, **81**, 1829 (2006).
- [5] N.H. Song et al., *Journal of Korean Vacuum Society* **16**, 388 (2007).
- [6] E.N. Bang et al., *Journal of Korean Vacuum Society* **16**, 153 (2007).
- [7] ODVA Technical Notes, *EtherNet/IP - CIP on Ethernet Technology* (2006).
- [8] HEPAC homepage, <http://www.htess.com/hepak.htm>.
- [9] M.R. Kramer et al., *EPICS:Input/Output Controller Application Developer's Guide*.



## **Implementation of EPICS based control system for KSTAR Current Lead System**

Myungkyu Kim, S. H. Baek, K. H. Kim, and M. K. Park

*National Fusion Research Institute(NFRI) Daejeon, 305-333*

(Received November 9 2007)

The KSTAR Current Lead System(CLS) with network based real-time distributed control system is implemented using an EPICS as a middle-ware software. The current lead system transfers current from magnet power supplies to superconducting magnet system and simultaneously supply the coolant to maintain superconducting state. To control the CLS at main control room an EPICS IOC server is installed in local control area. Using this server, it is able to be controlled and monitored the system in main control room through operator interface(OPI) which uses “caget” to read status and “caput” to write command with a unique name called PV. The EPICS IOC is developed using “ether-ip” driver to communicate with PLC. Also we achieved satisfactory results in operation and stability aspects from a long period commissioning test.

Keywords : KSTAR, current lead system, control system, EPICS

\*[E-mail] mkkim@nfri.re.kr