

발전소 시뮬레이터 I/O 인터페이스 시스템 구축에 관한 연구

변승현, 장태인, 조지용, 곽귀일
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16
little@kepri.re.kr

An Implementation of I/O Interface System for Power Plant Simulator

S.H.Byun, T.I.Jang, J.Y.Cho, K.Y.Gwak
KEPRI, KEPCO
103-16 MunJi-Dong, YuSeong-Ku, Taejeon, 305-380
little@kepri.re.kr

Abstract

For providing good quality power steadily, it is required that operators manipulate the control system of power plant with the good knowledge of power plant system and the control strategies, and cope with accidents effectively. With those requirements, it is general to train operators in power plant control room using full-scope simulator. A full scope simulator adopts the I&C instruments in the main control room, so has to include I/O interface system to interface the simulation computer with I&C instruments in main control room. In already developed simulators, most of I/O interface systems are closed, vendor-dependent, proprietary systems, so have the many disadvantages in terms of cost and maintenance. In this paper, we suggest the method to configure I/O interface system for Thermal Power Plant Simulator based on standard technology which gives the advantages of ease-of-use, cost effectiveness, and simplicity of maintenance by using off-the-shelf products for system integration.

1. 서론

한 나라의 기간산업으로서 중요한 전력산업은 사회 발전과 더불어 증가되는 전력 소비량과 양질의 전력 요구에 의해 지속적으로 발전되고 있다. 양질의 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 발전소를 고장없이 효율적으로 운영하는 것이 중요하며, 이에 대해 제어실 요원의 유사시 상황 대처 능력 배양과 제어 시스템의 최적관리 중요성이 부각되고 있다[1].

발전소 사고 사례를 보면 많은 경우에 운전원의 부적절한 사고 대처에 기인하고 있다. 또한, 발전소 시스템의 복잡성으로 인해 시스템의 특성을 충분히 숙지하고 운전할 때만이 만족스러운 운전 결과를 얻을 수 있다. 따라서 양질의 전력의

안정적 공급을 위해서는 발전소 운전원의 훈련이 필요하다[2].

발전소 운전원의 훈련에는 기존 발전소 주제어실의 각종 패널과 계기들을 기계적으로 동일하게 만들고 정확한 수학적 모델로 발전소 시스템을 모사한 Full-Scope 시뮬레이터가 주로 이용된다[3]. Full-Scope 시뮬레이터는 실제 현장을 모사하는 시뮬레이션 컴퓨터와 주제어실의 패널 계기들을 연결시켜 주는 I/O 인터페이스 시스템을 필요로 한다. 선행 후기 시뮬레이터의 I/O 인터페이스 시스템을 보면, 특정 벤더의 I/O 모듈과 네트워크 프로토콜을 채용하고 있어서, SPARE PART의 입수가 어려워 유지보수가 어렵고, 많은 비용을 지불해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 유지보수 용이성과 경제적 측면에서 특정 벤더 규격에 종속되지 않고 일반적인 표준을 따르는 off-the-shelf 제품을 이용하는 발전소 시뮬레이터 I/O 인터페이스 시스템의 구축이 요구된다[1]. 본 논문에서는 하동화력을 대상으로 시뮬레이터 I/O 인터페이스 시스템을 구축하고자 한다.

2절에서는 구축하고자 하는 하동화력 시뮬레이터와 I/O 인터페이스 시스템의 개요와 I/O 인터페이스 시스템의 요구사항을 기술하고, 3절에서는 요구사항을 만족하는 I/O 인터페이스 시스템의 구현방법을 제시하고, 4절에서 결론을 맺고자 한다.

2. 시뮬레이터와 I/O 인터페이스 시스템

2.1 시뮬레이터의 구성

본 논문에서 대상으로 삼은 하동화력 시뮬레이터에 대해서 먼저 알아보도록 하겠다. 하동화력 시뮬레이터의 전체 구성도는 그림 1과 같으며, 시뮬레이터를 구성하고 있는 각 시스템에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

가. 시뮬레이션 컴퓨터 : 발전소 시스템을 모델링하여 모사하는 컴퓨터로 현장 모델과 제어를 내장한다.

나. 엔지니어링 워크스테이션 : 제어 프로그램 다운로드, 각종 파라미터 수정 등 엔지니어링 작업을 수행한다.

다. I/O 인터페이스 시스템 : 현장의 상태들을 배전반에 알려주는 각종 패널의 I&C 계기, 콘솔 데이터를 시뮬레이션 컴퓨터와 인터페이스 시켜주는 시스템이다.

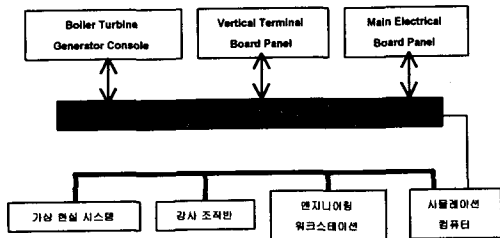


그림 1. 하동화력 시뮬레이터 구성도

라. 감사 조작반 : 감사가 훈련을 위해 시뮬레이터의 상태나 조건들을 조작하여 시연할 수 있는 컴퓨터 시스템이다.

마. 가상 현실 시스템 : 복잡한 플랜트를 다양한 각도로 볼 수 있는 가상현실 그래픽 시스템으로 유지보수에 드는 시간을 단축하고 시스템 이해에 도움을 주기 위한 시스템이다.(1).

2.2 I/O 인터페이스 시스템

I/O 인터페이스 시스템은 발전소 주제어실을 모사하기 위해 주제어실 패널 계기들을 수용하면서 시뮬레이션 컴퓨터와의 인터페이스 기능을 제공하여야 하므로 I/O 처리 기능과 통신 기능을 갖는다. 본 논문에서는 (4)에서 나온 결과를 토대로 I/O 인터페이스 시스템을 설계 구현하고자 한다. 통신 기능과 I/O 처리 기능을 고려하여 구성된 I/O 인터페이스 시스템의 구성도는 그림 2와 같다.

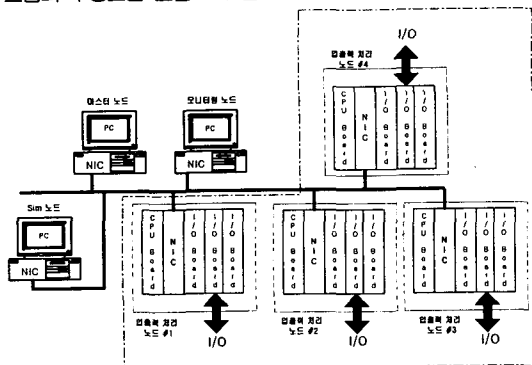


그림 2. I/O 인터페이스 시스템 구성도

가. 입출력 처리 노드 : 시뮬레이터 패널과 콘솔의 I/O 포인트들을 담당하는 노드로, 시뮬레이터 패널의 I&C 계기와 콘솔의 상태들을 시뮬레이션 컴퓨터에 전달하고, 또한 시뮬레이션 컴퓨터에서의 모델링 결과들을 I&C 계기들에 출력하여 계기들로 하여금 지시치나 상태치 등을 지시하게 하는 노드로, CPU 카드, Expansion Chassis, I/O 카드, 네트워크 카드 등으로 구성된다.

나. 마스터 노드 : 입출력 처리 노드, 모니터링 노드, Sim 노드 간에 통신을 관장하는 노드로 매체 제어를 담당하는 일

종의 버스 중재자 역할을 하며, 네트워크 카드를 내장하고 있는 PC(Personal Computer)로 구성되어진다.

다. 모니터링 노드 : 각 노드 간에 통신을 모니터링 하여 각 노드의 이상유무를 판별하여 알려주는 노드이며, 마스터 노드가 이상이 있을 경우에는 마스터 노드를 대신하는 일종의 마스터 노드 백업 노드 역할도 한다. 모니터링 노드 역시 네트워크 카드를 내장하고 있는 PC로 구성되어진다.

라. Sim 노드 : 입출력 처리 노드와 시뮬레이션 컴퓨터 간의 통신을 중개하는 노드로 발전소 시스템을 모사하는 시뮬레이션 컴퓨터 안에 탑재된 네트워크 카드로 구성되어진다.

2.3 I/O 인터페이스 시스템의 요구사항

본 논문에서 구현하고자 하는 I/O 인터페이스 시스템의 요구사항은 다음과 같다.

가. 시뮬레이션 컴퓨터가 I/O 인터페이스 시스템을 통하여 패널과 콘솔 데이터를 1초에 12번 스캐닝할 수 있게끔 I/O 처리 속도와 노드간 통신 네트워크 속도가 고속이어야 한다.

나. I/O 인터페이스 시스템은 네트워크에서 시스템 아키텍처까지 표준 인터페이스 방식을 사용하며 유지 보수 및 시스템 확장이 용이하도록 off-the-shelf 제품을 사용하여야 한다.

3. I/O 인터페이스 시스템의 구현

하동화력 시뮬레이터 제어실의 각 패널 배치도는 그림 3과 같으며, I/O 인터페이스 시스템 구성에 있어서 관심이 되는 대상은 VTB 패널, MEB 패널, BTG 콘솔이 해당된다.

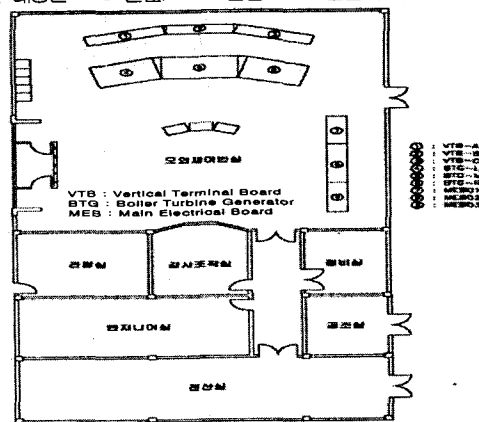


그림 3. 하동화력 시뮬레이터 제어실 배치도

먼저 시뮬레이터에서 수용해야 하는 각 패널별 I/O 포인트 수를 조사하고, 입출력 처리 노드를 구성하도록 하겠다.

3.1 시뮬레이터에서 수용해야 하는 패널별 I/O 포인트 수
 각 패널별에서 수용해야 하는 I/O 포인트 수를 나열하면 표 1과 같으며, 총 I/O 포인트 수는 3,486 포인트이다. 이는 디지털 입력으로 Push Button 신호가 대부분이며, DO는 디

지탈 출력으로 주로 램프 구동용 출력신호를 나타낸다. RO는 릴레이 출력을 나타내며, AO는 아날로그 출력으로 0-10[V]의 아날로그 출력신호를 나타낸다.

표 1. 각 판넬에서 수용해야 하는 I/O 포인트 수

판넬 \ 신호유형	DI	DO	RO	AO	합계
BTG-L	50	154	0	31	235
BTG-M	190	399	0	108	697
BTG-R	141	239	0	44	424
MEB01	98	0	290	31	419
MEB02	183	0	321	102	606
MEB03	46	0	168	53	267
VTB-A	230	283	2	93	608
VTB-B	0	4	0	34	38
VTB-C	35	49	44	64	192
	973	1128	825	560	3486

3.2 I/O 포인트 분산과 입출력 처리 노드 구성

표 1에서 시뮬레이터에서 요구하는 I/O 포인트 수가 3,500 포인트 정도이므로 이 I/O 포인트들을 I/O 인터페이스 시스템에서 수용하기 위해서는 각 판넬에서 수용해야 하는 I/O 포인트들을 위치와 수량을 고려해 적당히 분산한 후 입출력 처리 노드의 갯수를 결정하고, 각 입출력 처리 노드를 네트워크로 연결함으로써 I/O 인터페이스 시스템을 구현할 수 있다. 그림 3의 제어실 배치도의 판넬 위치와 표 1의 I/O 포인트 수를 고려하여 I/O 포인트를 분산하면 그림 4와 같이 입출력 처리 노드를 나눌 수 있다.

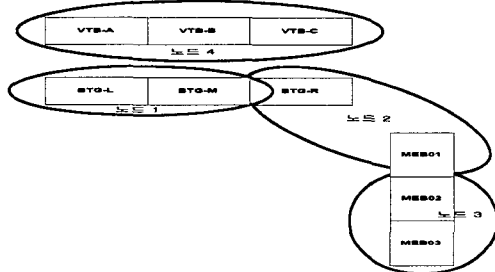


그림 4. 입출력 처리 노드 분산

표 2. 각 노드에서 수용해야 하는 I/O 포인트 수

노드 \ 신호유형	DI	DO	RO	AO	합계
노드 1	240	553	0	139	932
노드 2	239	239	290	75	843
노드 3	229	0	489	155	873
노드 4	265	336	46	191	838
	973	1128	825	560	3486

노드 1은 BTG-L과 BTG-M의 I/O 포인트를 수용하며, 노드 2는 BTG-R과 MEB01의 I/O 포인트를 수용한다. 노드 3은 MEB02와 MEB03의 I/O 포인트를 수용하며, 노드 4는 VTB의 I/O 포인트를 수용한다. 노드별 I/O 포인트 수는 표 2와 같다.

3.3 입출력 처리노드의 시스템 아키텍처 선정

하동화력 시뮬레이터의 시뮬레이션 컴퓨터가 Windows NT 기반의 PC 시스템이므로 입출력 처리노드도 PC 기반 시스템으로 구성을 한다. 표 2의 각 노드가 대략 1,000 포인트 정도를 처리해야 하므로 시스템 아키텍처의 선택이 중요하다. 본 논문에서는 I/O 카드의 표준 인터페이스로 데이터 수집과 제어 분야에서 가장 널리 이용되어지고 있으며, 백플레인 상에서 다수의 카드를 채용할 수 있는 장점을 가지고 있는 ISA(Industry Standard Architecture) 버스를 채용한다[4]. 표 2에서 노드당 처리 데이터 양을 계산하면, 노드 4가 464byte로 가장 큼을 알 수 있다. 이 데이터를 8비트 표준 ISA 버스를 통해서 I/O 처리하는데 필요한 시간을 계산하면 0.36(ms)의 시간이 소요된다[4].

3.4 입출력 처리노드의 구성

입출력 처리 노드는 I/O 포인트를 직접 처리해야 하므로 I/O 카드를 채용한다. 본 논문에서는 카드당 채용가능한 채널 수와 성능, 가격 등을 고려하여 카드 규격을 선정하고, 각 노드의 I/O 포인트를 I/O 카드에 매핑하여, I/O list를 작성하고, 필요한 카드의 갯수를 산출하였다[1]. 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. 각 노드에서 필요한 I/O 카드 수

노드 \ 카드수	DI	DO	RO	AO	합계
노드 1	4	9	0	18	31
노드 2	4	4	11	10	29
노드 3	4	0	17	20	41
노드 4	5	6	2	24	37
	17	19	30	72	138

각 입출력 처리 노드에서는 표 3의 I/O 카드 뿐만 아니라 CPU 카드와 네트워크 카드를 수용해야 한다. 노드 3의 경우를 살펴보면 41장의 I/O 카드를 수용해야 한다. 이렇게 많은 I/O 카드를 수용하기 위해선 많은 ISA 슬롯을 필요로 한다. 본 논문에서는 많은 ISA 슬롯을 채용하기 위해서 ISA 버스 확장 카드를 이용하여 ISA 버스를 확장하는 방법을 채택하였다[4]. ISA 버스를 확장하여 구성한 입출력 처리 노드 3은 그림 5와 같으며 12개의 ISA 버스 슬롯을 가진 5개의 ISA 확장 chassis로 이루어진다. 그림 5에서 I/F Card는 ISA 버스 확장 카드를 말하며, NIC는 네트워크 카드를 의미한다. CPU 카드는 Passive 백플레인 타입의 산업용 CPU 카드를 채용하였다[4].

3.5 노드간의 네트워크 프로토콜 선정

I/O 인터페이스 시스템은 입출력 처리 노드를 4개로 선정함에 따라 총 7개의 통신 노드로 구성되어진다. 본 논문에서

는 시스템 구성상 표준을 따르면서 실시간 요구사항을 만족 시켜야 하므로, 저가이면서 표준으로 널리 쓰이고 있는 이더넷을 I/O 인터페이스 시스템의 노드간의 네트워크 프로토콜로 채택한다[4]. 본 논문에서는 응용 계층에서 TCP/IP를 거치지 않고 바로 이더넷 카드를 액세스 하며, 폴링 방식을 채용함으로써 실시간성을 보장하도록 하였다[1].

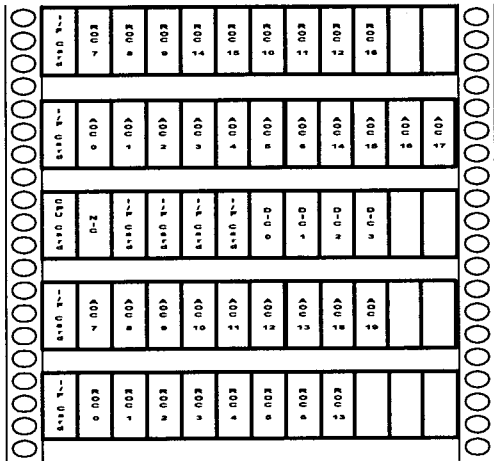


그림 5. 입출력 처리노드 3의 구성도

3.6 네트워크 프로토콜 성능을 포함한 전체 성능

이더넷 프레임 관점에서 시스템에서 요구하는 실시간성을 만족시키기 위해서 필요한 사항들을 점검해보도록 하였다. 표 2에서 각 노드별 처리 데이터를 고려하여 시뮬레이션 컴퓨터 관점에서의 최대 입력 데이터와 출력 데이터를 고려하면 입력 데이터는 34바이트, 출력 데이터는 430바이트를 계산할 수 있다. 그리고 본 논문에서 구현한 I/O 인터페이스 시스템에 적용된 이더넷 프레임 구조는 표 4와 같다.

표 4. 이더넷 프레임 구조

	Preamble	DA	SA	Type	데이터 영역			FCS
					송신 ID	수신 ID	송수신 데이터	
Byte 수	8	6	6	2	1	1	44~1498	4
					46~1500			

표 4를 참조하면 시뮬레이션 컴퓨터 관점에서 입력 데이터는 72 바이트, 출력 데이터는 458 바이트가 된다. I/O 인터페이스 시스템의 노드간 통신 방법은 폴링 방식을 이용한다. 마스터 노드가 통신을 초기화하고 노드 1에 요청 프레임을 전송하면 노드 1은 시뮬레이션 컴퓨터 관점에서의 입력 데이터를 전송한다. 그 다음에 노드 2 ~ 노드 4에 차례로 요청 프레임을 전송하면, 노드 2 ~ 노드 4는 시뮬레이션 컴퓨터 관점에서의 입력 데이터를 전송한다. 모니터링 노드에 요청 프레임을 전송하면 모니터링 노드는 모니터링 노드의 활성화 여부를 전

송한다. 마지막으로 Sim노드에 요청 프레임을 전송하면, Sim노드는 출력 데이터를 노드 1부터 노드 4까지 차례대로 전송한다. 마스터 노드는 타이머를 2개 갖는데, 하나는 노드마다 요청 프레임을 전송하고, 데이터 프레임을 전송 받는데 적용하며, 하나는 전체 노드를 스캐닝 하는데 적용한다[1]. 마스터 노드에서 모든 노드를 폴링하는데 걸리는 시간을 계산하도록 하겠다. 먼저, 각 노드에서 다른 노드로부터 요청 프레임을 받고, 요청 프레임에 대한 응답 프레임을 전송하는데 걸리는 시간을 TR(turn around time)이라 하고, TR은 모든 노드에서 같다고 가정한다. 또한, 10Mbps의 이더넷 사용을 가정한다. 전송지연시간을 3μs으로 가정하고 전체 노드를 마스터 노드가 폴링하는데 걸리는 시간을 계산하면 (1)과 같다.

$$11TR + (9.6\mu s + 3\mu s) * 15 + 72 * 8 * 11 / 10M + 458 * 8 * 4 / 10M = 2.29ms + 11TR \quad (1)$$

식 (1)은 단지 네트워크 매체 상에서의 데이터 전송 시간이다. 입출력 처리 노드에 대해서 다른 시간 요소들을 고려해 보도록 하겠다. 노드 1 ~ 노드 4는 네트워크 이외에 네트워크로 전송되어진 데이터를 I/O 카드를 통해서 처리해야만 한다. 입출력 처리노드의 I/O 카드의 처리 시간을 ISA 버스 확장상에서의 시간지연을 무시하고, I/O 처리 시간을 순수한 입출력만으로 실현한 결과 노드 4의 경우가 최대인 경우로 1.26 [ms] 정도의 시간이 걸렸다. TR의 경우에는 486PC에서의 실험결과 1.5[ms] 정도의 실험 결과가 나왔다[5]. 이 실험결과를 식(1)에 포함시키면 20.05[ms] 정도가 나온다. 여기에 순수 입출력 이외에 데이터 가공 등의 시간이 포함된다고 하더라도 83[ms]의 요구조건을 충분히 만족함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기력 표준화력인 하동화력을 대상으로 시뮬레이터 I/O 인터페이스 시스템의 요구사항을 제시하고, 그 요구사항을 만족하는 I/O 인터페이스 시스템의 구성방법을 제시하였다. 본 논문에서 구현한 I/O 인터페이스 시스템은 표준 인터페이스 방식을 채용하면서 off-the-shelf 제품을 사용하여 경제성과 유지보수 측면에서 많은 장점을 가지고 있으며, 확장가능하여 수용 I/O 포인트수가 15,000 포인트 이상 되는 원자력 시뮬레이터에도 확장 적용 할 수 있으리라 본다.

참고문헌

- [1] 한전 전력연구원, "하동화력 발전소 시뮬레이터 개발", 중간보고서, 1998
- [2] 한전 전력연구원, "발전소 운전원 훈련용 모의제어반 국산화 개발 적용", 중간보고서, 1994.
- [3] 한전 전력연구원, "발전소 운전원 훈련용 모의제어반 국산화 개발 적용", 최종보고서, 1998
- [4] 변승현, 장태인, 광귀일, 조지용, "PC 기반 제어용 I/O 시스템 구축에 관한 연구", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 1998
- [5] 한전 전력연구원, "이더넷을 이용한 필드버스 통신 프로토콜 개발 연구", 최종보고서, 1998