발전소 통합감시제어시스템의 MBC 개발 로직 설계통 적용

Application of IMCS MBC Logic for Thermal Power Plant

신 만 수[†] · 유 광 명^{*} · 변 승 현^{**}

(Man-Su Shin · Kwang-Myeng Yoo · Seung-Hyun Byun)

Abstract - Because the existing control system has been operating for about 20 years, it is necessary to upgrade the system for stable and efficient operation. But, there is a difficulty in maintenance by difference of manufacturer of each main control systems for boiler, turbine and generator. This developed IMCS(Integrated Monitoring and Control System) consists of more than 10,000 inputs and outputs for large scale thermal power plant. This paper consists of the development journey of IMCS MBC(mill and burner control) ; core binary protection & monitoring logic including prevention circuit of boiler explosion & implosion. In this project, the IMCS for boiler, turbine and generator was developed on basis of one communications platform. In this paper, the whole journey of development of IMCS MBC is dealt with designing software and hardware, coding application software, and validating software and hardware.

Key Words : IMCS, MBC, Logic, Retrofit, Simulator, Plant, Control system

1. 서 론

화력발전소의 설계수명은 현재 30년 전후로, 경제 수명은 그 보다 짧은 25-30년 정도이다. 발전소 수명연장을 통해서 약 40년까지 연장시키는데, 발전소의 신경회로에 해당되는 제어시스템의 수명은 각종 전자부품으로 인해서 수명이 15-25년 정도로 보는 경향이 있다. 이에 따라 안정적으로 발전소를 운용하기 위해서 발전소 설계수명의 중간정도에서 한두 번 제어시스템의 개조가 필요한 실정이다. 기존 제어시스템은 약 20년 가까이 운전된 관계로 노후화가 진행되어 개조가 필요한 시점이 도래하였고, 보일러-터빈-발전기 제어시스템의 제작사가 상이하여 유지 정비에 애로사항이 있었다. 개발된 통합감시제어시스템(이하 IMCS)은 입출력점이 10,000점에 육박하는 대형 발전소 시스템의 제어회로를 관장한다. 이러한 IMCS에서도 Mill & burner control(이하 MBC) 분야는 보일러 폭발방지회로 등의 보일러 보호 회로를 내장하고 있는 여러 제어 로직 중에서도 핵심이라 할 수 있다. 위와 같은 MBC의 코딩 로직 검증은 1차적으로 도면 전량 협동 검토와 2차적으로 주요 루프에 대해서 에뮬레이션 방법으로 수행되었다. 3차적으로 발전소 시뮬레이터와 연계하여 최종 검증하였고, 마지막으로 현장에 적용하여 상업운전 중에 있다. 즉, 전 코딩 로직 도면에 대해서 설계 담당자와 코딩 담당자가 같은 공간에서 질의 응답을 통해서 도면 협동 검토가 이루어졌고 에뮬레이션은 EWS(로직 코딩 프로그램이 탑재된 컴퓨터) 기반에서 설계된 대로 코딩

되었는지 사전에 검증 환경을 모의한 상태에서 수행되었다. 최종적으로 발전소 시뮬레이터와 연계하여 검증하였는데, 이 방법이 설계통과 가장 유사하면서도 오류를 효과적으로 제거할 수 있는 방법이었다.

2. 본 론

2.1 기존 시스템 분석

기존 제어시스템은 약 20년 가까이 운전된 디지털 제어시스템으로 개조 시 큰 애로사항은 없었으나 제작사 전략이 상이하여 그 부분을 변환해 주었다. 기존 MBC 로직 구성 현황은 안전 관련 주요 로직이 입력-연산-출력이 이중화 되어 있다. 즉, 트립과 관련되는 입력신호가 Primary 큐비클과 Redundant 큐비클에 단락(短絡) 연결되어 있으며, 트립과 관련되는 주로 펌프등을 정지시키거나 밸브 등을 폐쇄시키는 신호가 이중화 출력되도록 구성되어 있다. MBC의 주요 루프는 다음과 같다[1].

- Unit 부분(전체 보호 감시) : 자동 부하 증감발, 세정, 연료 완전 상실(MFT), 화염 미감지, 경보 회로, 경유 차단 밸브, 시스템 감시, 경유 누설 시험, 화염감지기 냉각팬, 미분기 밀봉팬, 보일러 연료 점화, 1-2차 공기 제어
- Oil 부분(경유 버너) : Elevation control, Oil control corner 1-4(Gun / 점화기 / 경유 밸브)
- Coal 부분(미분탄 버너) : 미분기 제어, 소화, 미분기 전동기 조작, 급탄기 전동기 기동 조작 등

기존 태안 1호기 DCS(Distributed control system; 분산 제어 시스템) 큐비클은 각 루프별로 기본(Primary)와 여분(Redundant) FG(Function Group; 로직 그룹)으로 구성되며, 입출력 신호 현황 및 FG 현황은 표 1, 2와 같다.

[†] Corresponding Author : KEPSCO RI Senior Researcher

E-mail : fullstone@kepco.co.kr

* KEPSCO RI Researcher

** KEPSCO RI Principal Researcher

Received : March 23, 2013; Accepted : April 29, 2013

표 1 입출력 현황**Table 1** The Input and output status

구분	이진 입력	이진 출력
Unit 부분	69	26
Coal 부분	253	132
Oil 부분	132	72
소계	454	230

표 2 기존 발전소 FG 구성 분석**Table 2** The analysis of integration for the existed TPP FG

구분	구분	기본(P)	여분(R)
Unit 부분	로직매수	198	105
	공통로직 루프	12	12
	Primary에만 있는 루프	6	
	Redundant에만 있는 루프		0
Coal 부분	로직매수	456	114
	공통로직 루프	6	6
	Primary에만 있는 루프	114	
	Redundant에만 있는 루프		12
Oil 부분	로직매수	249	147
	공통로직 루프	15	15
	Primary에만 있는 루프	36	
	Redundant에만 있는 루프		0

2.2 개발 시스템 설계

개발 시스템 설계는 기존 시스템의 근간을 유지하고 변경시에는 신뢰도를 저하하지 않도록 구성하였다. 태안 1호기를 대상으로 개발한 IMCS의 MBC 구성은 기존 구성처럼 Primary와 Redundant FG으로 구성하였는데, FG의 제어기 큐비클 배치는 약간 차이가 있다. 각각의 Primary와 Redundant 큐비클의 주연산 모듈을 이중화한 것이 차이점이다. 즉, 기존 제어기 큐비클과 그것과 직접 연결되는 케이블을 철거하였으며 그 공간에 신규 IMCS 제어기 큐비클과 케이블을 각각 설치 및 포설하였고, 현장과 제어기 간의 연결 역할을 하는 인터페이스 큐비클과 현장에서 오는 케이블은 재사용하였다.

이 밖에도 기존에는 백업 조작반이 별도로 설치되어 있어서 CRT 조작이 불가능한 상황에서도 운전원 조작이 가능토록 구성되어 있으나, 개조시에는 MFT 트립 버튼만 남기고 전량 철거하였고 CRT에서만 운전원 조작이 가능토록 구성하였다.

2.3 개발 시스템 기기검증시험 및 로직 검증

관련 국제규격이나 선행호기 사례를 분석하여 기기검증시험 및 로직 검증을 수행하였다.

2.3.1 개발 시스템 기기검증시험

관련 국제규격이나 선행호기 사례를 분석하여 제작된 하드웨어에 대하여 기기검증시험을 수행하였다. 개발 시스템은 삼중화 시스템과 이중화 시스템으로 구분할 수 있는데

연결 신호점이 방대한 보일러의 경우 이중화 시스템을 선택하였고 연결 신호점이 적고 설비의 고신뢰성을 요구하는 터빈과 발전기의 경우에는 삼중화 시스템을 선택하였다. 보일러 제어시스템의 경우 전체를 이중화하는 것이 아니고 주연산기와 통신 부분을 이중화하였다.

기기검증시험은 크게 세 가지 종류의 시험으로 구분할 수 있다. 내환경시험, 전자파 적합성시험과 진동시험(또는 내진시험)으로 구분할 수 있다. 원자력 기기와 비원자력 기기의 큰 차이점으로는 원자력 기기 중 안전등급은 비상상황(지진 등의 악조건) 발생시에도 가동되어야 하는데 반해서 원자력기기 중 비안전등급과 비원자력기기는 비상 상황때는 정지되고 열화 내력(기기수명 보장능력)과 운반 중 발생할 수 있는 고장사항에 대해서 사전에 검증하는 측면이 강하다. 여기서는 성격이 다른 원자력 기기 사례를 제외하고, 개발하고 있는 화력발전소용 통합감시제어시스템의 기기검증시험과 기존에 수행되었던 화력발전소용 기기검증시험 사례를 비교 분석한 내용을 기술하고자 한다.

실사용에 있어서 기기의 고유한 성능이 사용조건에 따라 크게 영향을 받는 것을 미연에 방지하기 위해 실시하는 것이 환경시험이다. 발전소의 제어시스템은 불시정지시 높은 기동동력비와 기동지연으로 인한 발전정지비용, 인축의 안전성 등을 고려할 때 높은 신뢰성이 요구된다. 환경시험을 실시하기 위해서는 해당 시험조건을 설정해야 하는데, 이 시험은 기기의 요건에 만족하는가를 확인하기 위해서 실시한다. 대표적인 시험규격에는 IEC와 MIL이 있다. 먼저 MIL의 규격은 미군이 사용하는 기기의 모든 것에 적용되는 것이고, IEC 규격은 국제전기표준이며 기기가 어떤 규정의 환경조건에 견디어 낸다는 보증을 어떤 척도로 실증하기 위해 이루어지는 것을 목적으로 한다.

이번에 개발한 시스템의 기기검증시험 범위는 이중화 제어시스템(보일러 제어) 1면, 삼중화 제어시스템(터빈 제어) 1면 등 총 3면이었다. 검증시험 기간은 약 60일이 소요되었다. 시험실 환경은 온도 15~35[°C], 습도 45~75[%]에서 실시되었다. 시험조건 구성은 외부 평가장치에서 시험대상 시스템에 기준신호를 공급하고 다시 그 신호를 캐환받아서 시간 오차,

그림 1 통합감시제어시스템 기기검증시험 환경구성**Fig. 1** The integration of the equipment test for IMCS

표 3 화력발전소 제어시스템 기기검증시험 사례

Table 3 Example of the equipment test for control system of TPP

구분	시험 항목		주요 사양(개발 사례)	주요 사양(기존 사례)
내 환경시험	염수분무		미설시(항온항습실에 위치로 옥의 노출 가능성 없음)	-
	온습도	온도싸이클	55℃/5℃, 각 3시간, ±1℃/분, 5회(40h)	시험기준:A
		온도(열충격)	70℃/-25℃ 각 3시간 5회(총30 시간)	시험기준:D
		습도	40℃ 93%RH 10시간	시험기준:D
전자파 장애시험	도전잡음 전압(CE)		0.15~0.5MHz:66dB μ V 0.5~30MHz:73dB μ V	시험기준:A
	잡음 전계강도(RE)		30~230MHz:40dB μ V/m 230~1000MHz:47dB μ V/m	시험기준:A
전자파 내성 시험	고주파 전도성 간섭에 대한 내성시험(CS)		0.15~80MHz:10V	시험기준:A
	복사 전기장에 대한 내성시험(RS)		80~1000MHz : 10V/m	시험기준:A
	정전기방전(ESD)		접촉:±4kV 금속표면 기중:±8kV 절연물	시험기준:B
	전기적 빠른 과도현상(EFT)		교류입출력:1.0kV 5kHz 그 외 전원:0.5kV 5kHz	시험기준:B
	낙뢰시험(Surge)		교류전원:1.0kV, 2.0kV 직류전원:0.5kV 신호선:4.0kV, 1.5kV	시험기준:B
진동시험	진동		1g 0.75mm/10~13~100Hz X, Y, Z축 각30분씩	시험기준:D

주기오차, 범위 오차 등의 상태를 판정한다. 상호 주고 받는 신호의 종류는 통신선, 기준신호(크기가 일정한 신호), 이진 입출력, 아날로그 입출력(사인파와 삼각파)와 LVDT 신호 등이 있다. 시험 환경 구성은 그림 1과 같다. 시험 종류는 표 3과 같으며 평가기준은 기존 기기검증시험 사례와 같이 A, B, C, D로 구분하였는데 상황에 맞게 적용하였는데, 그 평가기준은 A(시험 중에도 시험품의 성능을 유지하여야 함), B(시험 도중에는 정해놓은 성능 범위를 벗어나지만 시험 종료 후에는 정상으로 자동복귀됨), C(시험중에 성능 저하가 발생하고 시험 종료 후 전원 개폐 또는 재기동에 의해서 정상으로 복귀됨), D(시험 중에 시스템에 전원 미인가하고 시험 종료 후 전원 인가하여 성능 확인)로 구분할 수 있다[2].

관련 적용규격은 내환경시험과 진동시험 항목 모두 IEC Std. 68-2의 요구조건을 만족하였다. 전자파적합성시험 항목은 CISPR 22와 24의 요구조건을 만족하였다. 최종적으로 전 항목에서 통과하였지만 진행 과정에서 다음 항목에 대해서 보완한 후 재시험에서 통과하였다.

- 내환경시험 사례 : 온도 싸이클 시험시 삼중화 제어시스템의 PLU 모듈에서 에러가 발생하여, 한 제어기의 PLU 모듈의 아날로그 입력신호 이상을 발견하고 프로그램 디버깅 조치로 재시험시 통과됨.
- 전자파 적합성시험 : 잡음전계강도 시험에서는 현장 설치 조건과 동일하게 호일을 이용하여 패널 하부를 차폐하여 재시험시 통과하였고, 잡음 단자 전압 시험에서는 내부배선처리 변경, 노이즈 필터 위치 변경 및 영향 분석하여 재시험시 통과하였음. 또한 정전기 방전에 대한 내성시험에서는 CPU 보드의 위치독 복귀 기능을 추가하여 재시험시 통과하였음.

그림 2 통합감시제어시스템 제어 큐비클(좌 : 이중화용, 우 : 삼중화용)

Fig. 2 Control cubicle for IMCS(left : duplex, right : triple)

2.3.2 개발 시스템 로직 검증

개발 로직은 이중화되어 있는데 전량이 이중화되어 있는 것은 아니고 상대적으로 중요하다고 판단되는 부분이, 전체의 1/3 정도가 이중화되어 있다. 입출력 큐비클은 그대로 사용하였으며, 제어기 큐비클은 그림 2와 같이 신뢰성을 떨어뜨리지 않는 범위 내에서 입출력 신호접수에 따라서 재배치하였다. 보일러 및 노 관련하여 국제적으로 통용되고 있는 NFPA 85 규격을 적용하였다. 특히 보일러 폭발 방지와 직접적으로 관련된 NFPA 8502 규격을 따랐다.

개발시스템의 로직 검증은 그림 3과 같이 에뮬레이션 방법과 시뮬레이터를 이용한 방법, 두 가지를 병행하였다. 동시에 여러 제어루프의 검증이 이루어짐에 따라서 MBC 로직은 처음에는 에뮬레이션 방법으로 로직 코딩 오류를 제거

한 다음 시뮬레이터를 이용하여 로직 검증을 수행하였다. 도면 검토와 에뮬레이션 로직 검증에서는 여러가지 사정상 기본(Primary) 로직 위주로 수행하였다. 그런 관계로 시뮬레이터를 이용한 제어 로직 검증과 실계통 시운전시 여분(Redundant) 로직에서 오류가 두세 건 발생하였다.

그림 3 제어 로직 검증 순서

Fig. 3 The procedure of validation for control logic

2.3.2.1 에뮬레이션으로 개발 시스템 로직 검증

MBC의 로직은 이진 로직으로 거의 대부분 이루어진 관계로, 로직 검증은 우선 코딩 로직에 대한 도면 검토를 선행하였다. 그 다음에 주요 루프에 대해서 에뮬레이션 검증방법으로 코딩 로직을 검증하였다. 에뮬레이션은 EWS 기반에서 진행되었는데 시퀀스 흐름에 따라서 HMI를 작성하고 진행순서에 따라서 HMI에 표시되도록 하였으며 이때 트렌드 기능도 동작시켜서 진행결과에 대해서 정밀 분석이 가능토록 하였다. 좀더 부연하면 모델은 해당 루프를 시험하기 위해서 원래 필요한 코딩 로직 외에 별도의 로직이 구성되어 코딩 로직으로 신호를 주고 받게 되어 있다. 그렇다 보니 로직을 코딩하는데 소요되는 시간 이상으로 시간이 소요되었다. 이것은 개발된 로직검증용 시뮬레이터의 한계상 동시에 시험하기 어려운 측면으로 효과적으로 검증업무를 진행하기 위해서 불가피했다. 에뮬레이션 방법은 다음 그림 4, 5와 같이 나타낼 수 있으며, 여러 가지 루프에 대해서 에뮬레이션을 진행하였다. 여기서는 지면 관계상 Oil Leak Test에 대한 루프만 소개한다.

먼저 로직 검증시 착안 사항은 다음과 같다. Function

그림 6 경유 누설 시험 타이밍 차트

Fig. 6 The timing chart of oil leak test

그림 4 에뮬레이션 검증 순서

Fig. 4 The procedure of emulation validation

그림 5 에뮬레이션 환경

Fig. 5 The emulation environment of

Group(Binary Loop)간 인터페이스와, 타 보일러 제어와의 인터페이스와 이중화된 로직에 유의하며, 시뮬레이터와 IMCS간 인터페이스에 한계가 있는 관계로 최대한 단위 루프로 세분하여 검증하며, 그림 6의 예상 타이밍 차트를 최대한 활용하여 그림 7의 결과 트렌드와 비교하여 유효성을 판정한다. 시험은 인터페이스 큐비클에 연결되는 이진 입출력 목록을 기준으로 하였다.

단위 루프별 로직 검증 범위는 다음과 같다. MFT 회로 구성, 세정, 경유 누설 시험, 경유 버너 점·소화, 미분기 및 급탕기 기동·정지, 자동 부하 증감발, 미분기 예열 등이다.

그림 7의 경유 누설 시험 에뮬레이션 결과 타이밍 차트는

검증 후에 작성되어 최종 확인한 것이며, 에뮬레이션 진행 중에는 그림 8의 HMI 화면에서 일차적으로 신호를 확인하였다. 여기서는 경유 누설 시험 검증시 EWS 기반에서 코딩 로직과 모의 환경 모델을 그림 9, 10과 같이 구성하여 수행하였다[3][4].

그림 7 경유 누설 시험 결과 타이밍 차트
Fig. 7 The timing chart of oil leak test result

그림 8 모의 환경(HMI 구성 예시 ; 경유 누설 시험)
Fig. 8 Simulation environment(example of HMI integration for oil leak test)

그림 9 모의 환경 모델(EWS 기반)
Fig. 9 Simulation environment model(based on EWS)

2.3.2.2 시뮬레이터를 이용한 개발 시스템 로직 검증

좀더 부연하자면, 통합 환경에서의 시뮬레이터를 이용한 냉간 모의 기동을 위해서 그림 11과 같이 IMCS와 검증용 시뮬레이터간 연계하여, IMCS가 시뮬레이터에 내장된 제어모

델 역할을 대체하도록 하였다. IMCS와 시뮬레이터간 연계는 직접 결선 방식과 통신 방식을 이용한 하이브리드 방식으로 구현하였다. IMCS와 시뮬레이터간 연계 구성에서, IMCS의 제어 큐비클별 시뮬레이터와의 연계 방식과 제어 큐비클이 담당하는 제어 로직을 정리하면 표 4와 같다. 표에서 보면 보일러 제어를 위한 제어 큐비클인 BP01, BP02, ..., BP30 중 제어 큐비클의 I/O 카드를 통해 제어 큐비클의 제어기인 CPU 보드와 I/O를 주고 받는 제어 큐비클은 확장 큐비클을 포함하여 BP01~03, BP11~13, BP21~22, BP30이다[3].

그림 10 코딩 로직(EWS 기반)
Fig. 10 Coding logic(based on EWS)

또한 상정고장을 모의하여 시퀀스가 예상대로 진행되는지 확인하는 방법이다. 이것은 복잡한 로직이 한치의 오차없이 구현되었는지를 확인하는데 유용한 방법이다. 임의로 상정고장 항목을 정하였는데, 미분기 화재, 미분기 한대 불시 정지, 부하 증발시 경유 버너 소화, 미분기와 급탕기 그룹 기동/정지 등을 모의하였다. 모의 결과 미분기 화재와 불시 정지시에는 예상된 시퀀스 대로 진행되었으나 그 밖에는 예상 시퀀스와 달라서 개발 로직을 정밀 점검하여 그 오류를 수정하였다. 수정 내역은 다음과 같다.

- 부하 증발시 경유버너 소화때 MFT가 비정상적으로 발생하였는데, 이는 SOE를 분석한 결과 이중화 채널 2의 Loss of All Fuel에 의해서 발생한 것으로 판단하였음. 이에 따라 채널 2의 관련 로직을 분석한 결과 부

그림 11 통합 환경에서의 제어시스템과 시뮬레이터간 연계 구성[3]

Fig. 11 Interface between control system and simulator under integrated environment[3]

정(Not) 게이트가 누락된 것을 확인하였고 추가하였음.

- 미분기와 급탄기 그룹 기동시험시 실제통과 시뮬레이터의 모의 상황(모델링)간 차이가 발생하여 미분기와 Hot air gate는 기동되고 개방되었으나 급탄기는 기동되지 않았는데, 코딩 로직에서 미분기 출구측 온도 54[℃] 초과 접점을 2분 후에 강제 출력되도록 하여 자동모드에서 그룹기동이 가능토록 하였고, 별도로 코딩 로직을 보완하지 않았음.

표 4 제어시스템 큐비클별 연계방식과 담당 제어 로직

Table 4 Control logics embeded on control system cubicles

제어큐비클	연계 방식	담당 제어 로직
BP01~03	직접 결선	MBC Unit CHI & Elevation AB, CD, EF
BP04	네트워크 이중화	MBC Unit CH2
BP10	네트워크	공용 & 경보
BP11	직접 결선	마스터
BP12~13	직접 결선	보일러 급수 및 증기
BP14~15	네트워크 이중화	통풍계통
BP16~19	네트워크	BOP, 복급수가열기
BP21~22	직접 결선	보일러 급수펌프
BP23~24	네트워크	SLP, SWYD
BP30	결선(시뮬레이터 미연계)	큐비클 감시
TP01&02	직접 결선	터빈 주 제어
TP03	네트워크	터빈 감시
TP04	직접 결선	터빈 보호

2.4 개발 시스템 실계통 적용

본 시운전을 개시하기 전에 루프시험을 진행하였는데, 제어 큐비클(1BP01~1BP04)을 교체한 후 케이블 연결점이 바뀌는 부분은 전수 점검하였으며, 바뀌지 않는 부분도 조작이 가능한 부분에 대해서 현장 기기 조작을 통해서 확인하였다. 기존 MBC에서는 그림 12와 같이 모니터 조작 외에 백업 조작반이 별도 구비되어 있었다. 이번 개조에서는 백업 조작반이 철거되었고, 대신 백업 조작반에 있었던 운전원 수동조작용 보일러 비상정지 버튼 2개(접선 표시)가 운전원 콘솔에 부착되었다. 그 대신 제어 큐비클의 이중화와 주요 기기 정지 신호 등의 이중화를 실현하여 시스템 신뢰도에 영향을 주지 않게 구현하였다.

또한 MBC에서도 가장 중요한 보일러 안전 회로인 MFT 회로 이중화 구성 확인 및 보안검사를 표 5의 MFT 항목과 같이 보안 검사를 실시하였다. 로직상 세정 시간은 5분인데 보안시험시에는 이 시간을 1초로 강제입력해 놓고 실시하여 시험시간을 단축하였다[5].

또한 시뮬레이터를 이용한 로직 검증 방법으로, 개발 로직을 현장에 설치될 제어시스템에 탑재한 가운데 시뮬레이터와 연계하여 현장에서와 같이 냉간기동을 절차서에 준하여 실시하였으며 신호를 모의하여 MFT 시험도 실시하였다. MFT 시험은 특정 부하대를 스냅처리하여 실시하였다. 현장에서는 본 시험을 한번 정도 실시하고, 보일러가 기동되기 전에 신호를 강제 입력하여 확인하지만, 시뮬레이터와 연계한 상태에서는 자유자재로 실시할 수 있다는 점이 큰 특징이라고 할 수 있다.

IMCS MBC 시운전 항목은 다음과 같다. 경유 누설 시험, 세정, 화염 감지기 냉각팬 기동·정지, 경유 버너 점·소화,

미분기 밀봉팬 기동·정지, 미분기 윤활유 펌프, 고압유 펌프 기동·정지, 미분기 및 급탄기 기동·정지, 석탄 버너(각종 게이트, 댐퍼류 개·폐), 해당 필요조건이 미비한 상태에서 개별적인 연소장치의 기동 방지, 운전 중 노내 화염 상태 감시 등이 있다. 약간의 문제가 있었던 항목이 있었는데 다음과 같다.

그림 12 기존 MBC 백업 조작반

Fig. 12 The existed back-up console for MBC

예방정비공사 후 최초 경유버너 점화시 점화에 다소 문제가 있었다. 분사용 공기의 압력이 일정크기 이상(3.5kg/cm² 이상)으로 적절하게 유지될 경우 신호가 감지되는 압력스위치치가 있는데 그 신호 불량으로 경유 차단 밸브가 닫히는 현상이 발생했다(이때 MFT가 발생했는데 'Loss of all fuel'이란 항목이었음). 그 이후에도 초기 점화에 실패하는 경우가 있었다. 한 층에는 4개 코너의 경유버너가 있는데 경유 밸브는 3개 이상 열리고 화염은 2개 이상 감지했을 때 점화에 성공했다는 신호가 생성된다. 또한 이 신호는 보일러 보호 회로에 사용된다(이때 화염 감지 실패시 경유 밸브는 닫혀 버리는 관계로 화염 2개 이상 감지는 화염 3개 이상 감지와 큰 차이가 없다).

미분기와 급탄기는 자동모드에서 그룹 기동 방식으로 기동 및 정지가 되는데 본 시운전에서는 자동모드에서 그룹 기동을 실시하지 못했다. 기존 태안 1호기 MBC 로직에도 자동모드에서 그룹 기동 방식이 가능하게 설계되어 있었으나 실시하지 않고 있었다. 기동시에는 미분기를 먼저 수동 기동하고 미분기가 예열되면(출구측 온도가 54[℃] 이상이 되면) 수동으로 해당 계열의 급탄기를 기동하였다. 정지시에는 수동으로 급탄기 속도를 최소로 조정하여 운전한 다음 온(溫) 공기 게이트를 닫아서 미분기 출구측 온도가 54[℃] 미만으로 떨어지면 급탄기 수동 정지하였고, 급탄기 정지 후 3~5분 경과 후에 미분기를 수동으로 정지하였다. 이 부분에 대해서 자동 그룹 기동·정지가 미 실시되는 이유로 시간 지연이 3~5분 이상 걸리기 때문일 것으로 판단되는데, 이것은 진행상황을 운전원에게 보여주는 운전화면을 개발하면 해결될 것으로 사료된다.

MBC는 보일러 폭발과 직접 관련이 되는 설비로, 경유버너나 석탄버너가 기동시 안전이 충분히 확보되지 않으면 기동이 안 되도록 설계되어 있는데, 시운전 개시 전에 시뮬레이터 등을 활용하여 관련 로직의 오류를 제거하였다. 기동(점화) 보다는 정지의 중요성을 인식하고, 정지(소화) 회로 쪽을 이중화로 구성하였다[6]. 기존에는 운전 정보에 대해서 모니터와 보드에 제공하였으나 IMCS에서는 모니터에만 운전 상황 정보를 제공토록 하였다. 그 대신 제어기의 완벽한

이중화와 정지 회로 등의 주요회로에 대해서 제어 큐비클 이중화로 구성하여 시스템 신뢰도를 높였다. 이 밖에 노내 화염 상태 감시는 기존 보드에 설치되어 있는 아날로그 계기를 모니터의 운전 화면으로 수용하였다.

표 5 MFT 발생 항목(보안검사)

Table 5 MFT contents(security test)

No.	항목	설정치	시지연	MFT Ch1	MFT Ch2	비고
1	노내압(-)	<-178mmH ₂ O	3초	○	○	2oo3
2		<-228mmH ₂ O	-	○	○	2oo3
3	노내압(+)	>230mmH ₂ O	3초	○	○	2oo3
4			2초	○	○	2oo3
5	연료 완전 상실			○	○	
6	통풍량 저하	25% 이하		○	○	116.7Nm/s
7	급수량 저하	333ton/h 이하	15초	○	○	
8	125VDC 전원상실		2초	○	-	125[Vdc]
9	모든 급수 펌프 정지		15초	○	○	
10	모든 압입 송풍기 정지			○	○	
11	모든 유인 송풍기 정지			○	○	
12	증발관 온도 상승	>493℃	3초	○	○	4 out of 60
13	화염 미감지			○	○	
14	최종 과열기 온도 상승	>570℃	20초	○	○	3oo4
15	최종 재열기 온도 상승	>570℃	20초	○	○	3oo4
16	비상정지버튼			○	○	
17	최종 과열기 압력 상승			○	○	>314kg/cm ²
18	화염상실중의 제어전원 상실			○	○	
19	재열기 보호			-	-	APC

상기와 같이 엄격한 로직 검증 과정을 거친 결과, 실계통에서 시운전시 로직 오류는 단 한 차례 발생하였는데, 그 내용은 다음과 같다. 기존에는 백업 조작반이 설치되어 있어서 CRT가 조작 불능일 경우 백업조작이 가능하도록 하였으나 이번 개조시에는 그 조작반이 철거되었다. 시운전시 미분기가 수동모드 상태에서 기동이 불가능한 상황에서 수동모드 기동 회로를 수정하고 '온라인 다운로드'를 실시하는 과정에서 보일러 MFT가 발생하였다. 이후 온라인 다운로드 기능에 대해서는 관련 소프트웨어를 보완하였다.

3. 결 론

IMCS의 MBC 로직 도면(A4 기준) 매수가 약 1,300장에 이르는 방대한 양을 한 치의 오류 없이 코딩한다는 것은 지극히 어려운 일이다. 그럼에도 불구하고 단 한 건의 오류 수정만으로 실계통에 적용하였는데, 이것은 로직 검증 절차와 시뮬레이터의 유용성을 나타내는 반증이라고 판단된다.

이번 연구에서는 설계자와 검증자가 동일인이었고 코딩자는 다른 사람이었다. 이 절차는 상당히 유용했다고 판단되며, 다른 경우도 설계자와 코딩자는 동일해도 무방하나, 반드시 검증자는 달라야 효과적으로 검증되어 무결점의 성과물이 현장에 적용될 것으로 판단된다. 본 논문이 향후 발전소 제어시스템 추가 개발시에 도움이 되기를 기대한다.

References

- [1] Man-Su Shin, Yong-Jeong Lee, etc, "Tae-An unit no.1 IMCS MBC Logic Validation Result Report", KEPSCO RI, '11전력연-단0815, 2011.
- [2] Man-Su Shin, Se-Gyeong Lee, etc, "Anaysis of Equipment Qualification Tests for IMCS(Integrated Monitoring & Control System) in Thermal Power Plants", Proceeding of the 42nd the KIEE Summer Conference, 2011.
- [3] In-Kyu Choi, Man-Su Shin, etc, "Performance Validation Result Report for Application of IMCS", KEPSCO RI, TR.8034.P2012.0560, 2012
- [4] Man-Su Shin, Yong-Jeong Lee, "Functional Tests for MBC of IMCS by Simulator", Proceeding of the 43rd the KIEE Summer Conference, 2012.
- [5] In-Kyu Choi, Man-Su Shin, etc, "Commissioning Result Report for IMCS of Tae-An Unit no.1", KEPSCO RI, '13전력연-단0002, 2013
- [6] NFPA, "Standard for the prevention of furnace explosion /implosions in multiple burner boilers, NFPA 8502, 1995

저 자 소 개

신 만 수 (申 滿 秀)

1970년 5월 10일생. 1996년 한양대 전기공학 학과 졸업. 2012년 충남대 박사 졸업. 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5132
Fax : 042-865-5128
E-mail : fullstone@kepco.co.kr

유 광 명 (劉 光 明)

1980년 5월 28일생. 2006년 부산대 전자전기통신공학부 졸업. 2008년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업. 2010년~현재 한전 전력연구원 일반연구원
Tel : 042-865-5656
E-mail : kmyu@kepco.co.kr

변 승 현 (邊 昇 炫)

1970년 1월 21일생. 1992년 연세대 전기공학과 졸업. 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업. 1994년~현재 한전 전력연구원 책임연구원
Tel : 042-865-5646
E-mail : little@kepco.co.kr