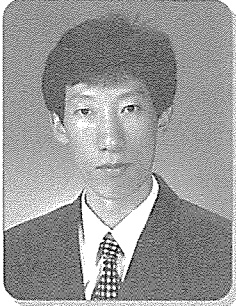


# 발전소용 DCS 시스템 환경시험 및 성능평가

Performance and Environment Test of Distributed Digital Control System for Power Plants



한전전력연구원 발전연구실 발전계전그룹

선임연구원 이주현

Tel : (042) 865-5263

## 1. 서 언

최근 컴퓨터기술의 발달과 더불어 각종 산업현장에서 사용되고 있는 계장시스템이 종래의 기계적, 전기적 시스템에서 디지털 제어시스템으로 바뀌어져 왔다. 발전소 고장으로 인한 경제적, 사회적 손실이 막대하다는 것을 고려할 때, 발전소의 설비 중에서 핵심적인 역할을 담당하는 제어시스템의 신뢰도를 확보하는 것은 매우 중요한 일이다. 특히 개발된 제어시스템의 환경시험을 통한 내환경성 확보 및 시스템의 기능을 체계적으로 점검하여 시스템의 안정화 하는 과정은 개발시스템의 신뢰도를 높이는 필수적인 과정이라 할 수 있다.

본 고에서는 국내·외 디지털 분산제어 시스템(Distributed Digital Control System)에 실시하는 성능평가의 방법을 조사하고 이를 바탕으로 분산제어 시스템에 적용하는 환경시험의 기준과 기능점검의 방법을 제안하였으며, 제안된 방법에 따라 실제 발전소 현장에 설치할 목적으로 제조된 디지털 분산제어 시스템에 대하여 기능점검 및 환경시험을 객관적 평가방법에 따라 시험평가를 실시함으로써 시스템의 기능특성 및 내환경 특성을 점검하고, 스크리닝 시험을 통하여 시스템 내의 잠재적인 초기 고장모드를 제거함으로써 시스템의 신뢰성을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

## 2. 성능평가 기준 및 적용방법

### 2.1. 환경시험 항목 및 기준

발전소용 제어시스템(DCS)에 대하여 당초 설계된 제원대로 각종 환경시험 조건하에서 제어시스템이 고

유의 기능을 유지하는지를 점검할 목적으로 사용되며, 각 제작사 별로 환경시험의 종류, 순서 및 가혹도는 시험 목적 및 적용 방법에 따라 다를 수 있다. [표 1]은 국내 화력발전소에 도입된 대표적인 DCS 시스템 제작사 중에 최신 제어설비에 적용하고 있는 환경시험의 기준과 국내 제어시스템의 사용 환경을 고려하여 선정된 시험기준을 제시하였다. 본 환경시험의 순서는 가혹도가 낮은 환경시험부터 시작하여 시험품이 손상을 받기 전에 가능한 한 많은 정보를 얻을 수 있도록 한 시험방법을 적용 하였으며, 적용된 시험 항목을 살펴보면 다음과 같다.

#### 가. 전원영향시험

- (1) 전원전압변동시험
- (2) 순시정전시험

#### 나. 기후시험

- (1) 저온시험
- (2) 고온시험
- (3) 온도변화시험(열충격시험)
- (4) 습도시험(정상상태)
- (5) 온도사이클(Burn-in) 시험
- (6) 부식시험(염수분무시험)

#### 다. 기계적시험(진동시험)

#### 라. EMC 시험

- (1) 도전잡음 전압
- (2) 잡음 전계강도
- (3) 정전기 방전(ESD)
- (4) 전자파 방사내성(RS)

- (5) 전기적 빠른 과도현상(EFT)
- (6) 전도내성(CS)
- (7) 전원주파수 자체내성
- (8) Surge

- 공정제어관련기능 : 공정신호 입출력기능, 공정제어 기능, 제어기튜닝 기능
- 이중화관련기능 : 모듈의 이중화 기능, 통신루프의 이중화 기능

[표 1] 주요 DCS 제조사 환경시험기준 비교표

시험항목	Bailey 社	ABB 社	한전 적용기준
저온시험	-30°C	-40°C, IEC 1131-2	-25°C, IEC 68-2-1
고온시험	65°C	70°C, IEC 1131-2	70°C, IEC 68-2-2
습도시험	20%-80%	5%-95%, IEC 1131-2	93%(+2,-3), 40±2°C, IEC 68-2-3
온도사이클 시험	10°C/40°C	0/40°C or 0/55°C ±3°C/min, IEC 1131-2 5-200Hz : 2.5m/s <sup>2</sup>	5/55°C, ±1°C/min IEC 68-2-14 Nb 10-13-100Hz
진동시험	MIL-STD 810E에 따름	10-57-150Hz : 10m/s <sup>2</sup> IEC 1131-2	0.75mm, 1g IEC 68-2-6
부식시험 (염수분무 시험)	ISA S71.04 Level 1	IEC 664 & 664A에 따름 Level 2	40°C, 93% KSC0224-1990 IEC 68-2-11

## 2.2. 기능점검 항목 및 판정기준

### 가. 기능점검 항목

기본적으로 DCS에 갖추어져 있어야 된다고 판단되는 기본 기능은 운전관련기능, 공정제어관련기능 및 이중화관련기능으로 크게 나눌 수 있으며, 세부내용은 [표 2.1]과 같이 구분될 수 있으며, 항목의 선정은 [표 2.2]에서 나타난 각 사의 기능 점검항목과 관련된 자료 및 국내 DCS 제조사의 관련자료를 분석하여 제시하였다.

- 운전관련기능 : 데이터베이스 기능, 화면표시 기능, 알람표시 기능, 보고서작성 기능, 이력관리 기능

### 나. 기능 점검시 판정기준

기능점검은 시스템이 당초 설계된 대로 기능이 유지되는지를 점검하기 위하여 시행되며 정의된 기능항목 및 절차에 따라 실시되어진다. 시스템의 각 기능 정의된 내용에 대하여 초기 기능 점검한 내용을 기준으로 하여 각 환경시험을 거치면서 어떠한 변화가 있었는지를 비교 점검함으로써 정상적으로 작동되었는지를 판단한다. 시뮬레이터를 이용하여 점검하는 경우, 초기 기능점검 내용 및 각 환경시험 후의 기능점검 내용이 파일로 저장되어 있고 이를 분석함으로써 이상유무를 확

[표 2.2] 각 업체별 DCS 기능 점검항목 비교표

점검항목	Bailey社	G.E. 社	국내A社	국내B社
System Hardware	System Hardware - Hardware config. - Module and loop redundancy - Power supplies	Design and Config. - Control system - Operation center - Plant control sys. - Aux. equip. device *power supply	System configuration - CCS(OIS) - DPC - PCS - Power supplies	System configuration - OIS - PCS - Power supplies
Communication	Data links - G/T to DCS - S/T to DCS - DCS to S/m, turbine - G/T & S/T data link failover - PLC to DCS	Communication - DCS data highway - S/T data - G/T data comm. - Motor control switch	Communication - Process Station to I/O module - OIS to PCS	Communication - Process Station to I/O module - OIS to PCS
Process Control	Process Configuration - I/O Verification - Configuration testing - Plant load control - Auto sequence - Protection logic	Software - Data center S/W - Custom S/W - Other S/W * language compiler * data historian	Process controller	Process programming
Man Machine Interface	Management Command system(MCS) - MCS Database - Displays - Alarms/ADS panel - Logs	Operation center - Operations Event log - Alarm log - Alarm History - System summaries - Operations report	Operation function - CRT display - Operation control - Alarm monitoring - Maul-operation protection - Historical data storing - Report output - Graphic building - Function block building	Operation function - CRT display - Operation control - Alarm monitoring - Maul-operation protection - Historical data storing - Report output - Graphic building - Function block building
Data Logging	Vax - Historian - Performance Monitoring			

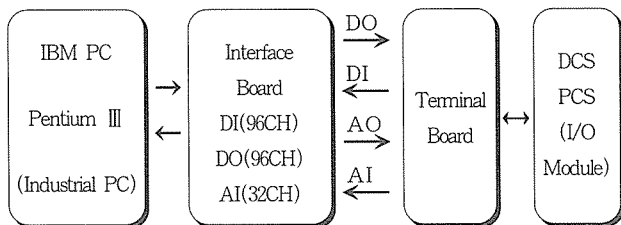
[표 2.1] 기능점검 항목 및 세부내용

대분류	소분류	세부 내용	비고
시스템 하드웨어 점검	구성품 및 결선 상태 점검	시험품의 구성상태 점검, 구성품의 형명 및 주요제원, 신호 케이블 점검	
	전원장치 점검	전원장치의 종류, 형명 등, 전원결선상태, 절연특성 및 냉각장치의 점검	
	이중화구조의 구성 점검	모듈, 통신루프 및 전원장치 등의 이중화 구성상태 점검	
운전관련 기능 점검	DB기능 점검	DB 종류, 공학단위 변환방법, 알람치 설정, 스캔주기, 그룹설정, 변경/저장 기능 등 점검	
	화면표시기능	운전메뉴의 트리플 확인, 설명서와 일치여부 점검	
	알람처리기능	알람의 설정, 표시방법 확인, 알람관련 데이터 또는 화면의 호출 가능성, 알람 해제시 변화내용 확인	
	보고서 작성기능	보고서의 종류, 형식, 내용 점검	
	이력관리 기능	수집된 파일의 저장위치, 관리주기, 출력형태 등 점검	
공정제어 관련 기능 점검	자기진단 기능	시스템의 자기진단기능 및 진단범위, 진단주기 등	
	공정신호 입출력 기능	공정신호용 입출력기능 점검, 입력데이터계획 및 수집된 데이터의 보관 (파일명, 보관위치)	시뮬레이터 이용
	공정제어 기능	제어기능에 대한 다이내믹 특성을 점검(SV, PV, MV값 저장), 디지털 입출력 및 시퀀스 로직 기록/점검	
제어기 튜닝기능	제어기 튜닝 가능여부, 튜닝범위, Plant 특성별 튜닝값 기록/점검		
이중화관련 기능 점검	모듈의 이중화 기능	이중화 기능 확인(작동모듈의 고장시 백업모듈로 천이여부, 소요시간 및 제어기능에 미치는 영향 점검)	
	통신루프의 이중화 기능	통신루프의 이중화 기능 점검(천이여부, 소요시간 및 제어기능에 미치는 영향 점검)	

인할 수 있으며, DCS 자체의 시스템 및 공정제어 체계에 대한 이상유무 알람을 발생하고 기록 및 저장되므로 이를 통하여 시스템의 이상유무를 확인한다.

### 다. 기능 점검용 시뮬레이터 구성 및 기능

발전소용 DCS는 시스템의 규모 및 기능 면에서 매우 방대하고 복잡한 제어시스템으로 구성되어 있으며, 이러한 시스템의 모든 제어루프의 제어기능을 점검하는 것은 매우 어려운 문제가 된다. [그림 2.1]은 이와 같은 시스템의 제어특성을 점검하기 위해 구축된 시뮬레이터로서 아날로그/디지털 입출력 기능을 기초로 하여, 데이터 프로그램핑과 데이터로깅이 가능하도록 구성되었으며, 제어특성의 점검에 필수적인 다이내믹 데이터의 입출력이 가능하고 또한 대량의 데이터 처리가 가능하며 항상 일정한 시험조건을 유지하는 것이 가능하게 하였다.



[그림 2.1] 제어특성 점검용 시뮬레이터 구성

## 3. 적용 DCS 시스템 구성 및 기능

DCS 시스템의 성능평가는 기본 시스템과 현장 적용시스템으로 구분하여 시험 평가하였으며, 기본 시스템은 각각의 환경시험에 대한 내성을 점검하기 위한 목적으로 사용되어지며, 현장 적용 시스템은 본 시험이 끝나면 화력발전소에 직접 적용할 시스템으로 전체 시스템(PCS 22면, 약 4500Point 규모)을 포함하며 제조 및 조립과정에서 발생시킬 수 있는 초기 고장을 제거하고 시스템의 안정화를 목적으로 시험 및 성능을 평가하였다.

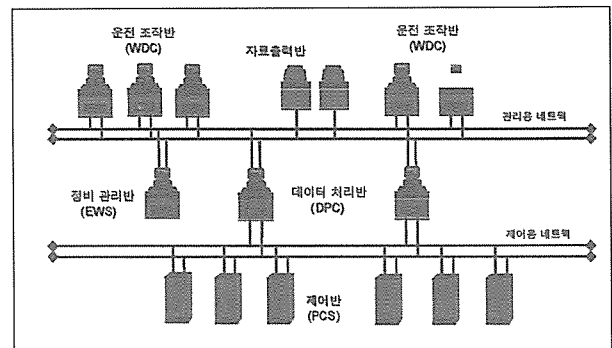
적용된 DCS 시스템의 구성은 아래의 [그림 3.1]과 같이 PCS(Process Control Station)와 WDC(Workstation Display Center), DPC(Database Processing Center), EWS (Engineering WorkStation) 및 주변기기(Hub, Printer, Hard Copier) 그리고 이들을 접속해주는 통신 네트워크(EtherNet)으로 되어 있다.

RCS는 각종 현장 데이터를 수집하여 제어 및 연산, 고속의 데이터 입출력 및 알람을 처리하는 기능을 수행하며, MPU(Main Processing Unit) Shelf, I/O Shelf 및

Power Supply로 이루어져 있다.

WDC는 운전원을 위한 감시 및 제어조작과 데이터 처리 전용 시스템인 DPC로부터 현재 데이터를 전달 받아 화면에 표시하고, 운전원의 제어 조작시 DPC를 경유하여 PCS로 전달하는 기능을 수행한다.

DPC는 PCS에서 수집된 현장 제어신호 및 감시 데이터를 처리하는 데이터베이스 처리 전용의 워크스테이션이다. DPC에서 처리되는 내용은 알람 및 이벤트 처리, WDC에서 요구된 화면 데이터 처리, 트렌드와 레포트와 같은 이력 데이터 처리 등을 수행한다.



[그림 3.1] 적용된 DCS 시스템 구성도

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 시험장비 목록

[표 4.1] 제어특성 시험장비 목록

시험 장비	제 조 회 사	모 델 명
항온항습기	Tabai Espec	PSL-2SP
항온항습기	Tabai Espec	PSL-2S
항온항습기	Heraeus Votsch	HC7020
항온항습기	Heraeus Votsch	HT7010
Voltage/Current source	Keithley	228A
Power Supply	HP	E3611A
진동 시험기	LDS	DSC 81MKII (Controller) V726(Vibrator)
Data logger	Fluke	HYDRA
Digital multimeter	HP	3438A
Digital Oscilloscope	Tektronix	11403
절연저항/내전압계	KIKUSUI	TOS 8750
Recorder	Yokogawa	3057
번-인 챔버	KTL	EER Chamber
Simulator	KTL	Analog/Digital Simulator

## 4.2 기능항목별 측정방법

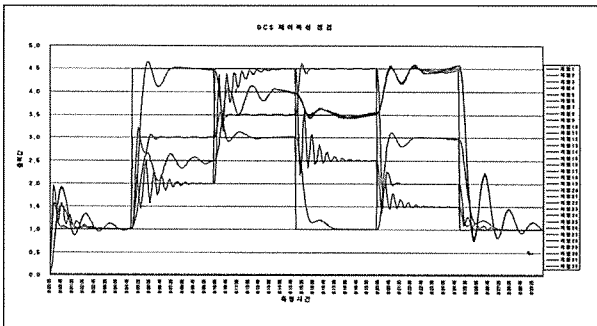
DCS의 기능항목은 앞 절에서 언급한 바와 같으며 특히 시뮬레이터의 이용이 필수적인 항목인 공정제어 기능에 대하여 설명한다. 모의 플랜트의 시뮬레이션은 4개의 그룹으로 나누어 구성하였으며 각 그룹은 8개의 루프로 구성하였다. DCS와 시뮬레이터의 각 그룹별 제어 파라미터는 [표 4.2]과 같이 주고 측정하였으며, 출력파형은 [그림 4.1]과 같이 주어지며 출력파일로 저장되어진다.

[표 4.2] DCS 및 시뮬레이터의 각 그룹별 제어파라미터

Group	DCS PID Parameter		Simulator Parameter	
Group A	P.G.	70%	N.F.	0.05Hz
	I.G.	30%	D.F.	0.3
Group B	P.G.	150%	N.F.	0.02Hz
	I.G.	25%	D.F.	0.3
Group C	P.G.	95%	N.F.	0.05Hz
	I.G.	10%	D.F.	0.7
Group D	P.G.	100%	N.F.	0.02Hz
	I.G.	25%	D.F.	0.7

※ P.G. : Proportional Gain, I.G. : Integral Gain  
N.F. : Natural Frequency, D.F. : Damping Factor

[그림 4.1] 제어특성 점검결과 자료 (graph) I



## 4.3 시험결과 및 분석

### 가. 기능점검 결과 및 분석

[표 4.3]에서 보듯이 기능 점검 절차에 따라 시험한 결과 대체적으로 양호 하였으나, 일부 통신루프 이중화 구조에서 알람처리 기능의 보완이 필요하며, 시뮬레이터에서 설정치 값을 바꿀 때 I/O 모듈의 출력상에는 정상적으로 동작하고 있으나 운전원 화면상에서 지연되어 표시되는 현상이 발견되어 확인 결과 WDC(Workstation Display Center) 자체의 문제로 판명되어 보완하였다.

[표 4.3] 기능 점검 결과

대분류(항목)	소분류(점검항목)	점검결과	특기사항
시스템 하드웨어 점검	구성품 및 결선상태	양 호	
	전원장치점검	양 호	
	이중화구조의 구성점검	양 호	
운전관련 기능 점검	DB기능점검	양 호	
	화면표시기능	보 완	보완후 시험 (양호)
	알람처리기능	양 호	
	보고서 작성기능	양 호	
	이력관리기능	양 호	
공정제어 관련기능 점검	자기진단기능	양 호	
	공정신호입출력 기능	양 호	시뮬레이터이용
	공정제어기능	양 호	"
이중화관련 기능 점검	제어기 튜닝기능	양 호	"
	모듈의 이중화기능	양 호	"
통신루프의 이중화기능	통신루프의 이중화기능	보 완	보완후 시험 (양호)

### 나. 환경시험 결과 및 분석

여러 가지 환경시험에서 전자파 시험을 제외하고는 대체로 양호한 것으로 판단되었으며, 온도사이클 시험 중 통신불량의 현상이 발견되어 원인을 분석한 결과

[표 4.4] 환경 시험 결과

환경시험항목	시험기준	시험결과	비 고	
저온시험	-25°C, 16시간	양 호		
고온시험	70°C, 16시간	양 호		
습도시험	40±2°C, RH 93(+2,-3)%	양 호		
번-인 시험	저온 : 5°C, 고온 : 55°C	양 호		
전자파 시험	잡음단자전압	0.15-0.5MHz : 79, 66 dBuV 0.5-30MHz : 73, 60 dBuV	양 호	
	잡음전계강도	30-230MHz : 40dBuV/m 230-1000MHz : 47dBuV/m	부적합 (기준 초과)	보완후 재시험: 양 호
	정전기방전 내성(ESD)	접촉방전 : ±4kV 기중방전 : ±8kV	부적합 (통신 오류 발생)	보완후 재시험: 양 호
	방사무선 전자파내성(RS)	80-1000MHz : 10V/m	양 호	
	전기적빠른 과도현상(EFT)	5KHz, ±1kV, ±2kV	양 호	
	서지내성 (Surge)	라인간 : ±1kV 라인과 접지간 : ±2kV	양 호	
	무선전자파에 의한 전도간섭	150kHz-80MHz : 10V AM 80%, 1kHz 정현파	양 호	
	전원주파수 자기장 내성	60Hz, 30A/m	양 호	
	순시정전에 대한 내성	100ms간 전원전압의 40% 10ms간 전원전압의 70%	양 호	
	진동시험	진동주파수 : 10-100Hz 가혹도 : 0.75mm, 1g	양 호	
염수분무시험	온도 : 40±2°C 상대습도 : 93 +2,-3%	양 호		

통신케이블(RS 485) 접속부위의 접촉불량이 발견되었으며, 이는 번-인을 함으로써 잠재결함이 현재화한 상태로 판단된다. 전자파 시험과정에서 부적합한 부분은 일부 통신모듈의 보완 및 시스템 패널의 EMC 방호용 밴드 부착 등의 보완을 거쳐 재시험한 결과 양호한 것으로 나타났다. 이는 향후 전자파에 대한 내성을 갖도록 설계 제작되어야 할 것으로 생각된다.

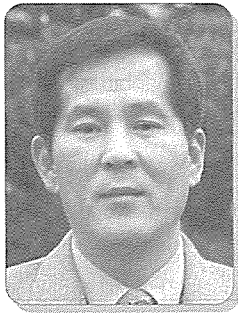
#### 4. 맺음말

국가 주요 기간산업인 발전소에 설치될 분산제어시

스템에 대하여, 현장 설치하기 전에 환경시험을 실시함으로써 개발품의 취약점을 파악하여 대책을 강구할 수 있게 되었다. 또한 현장적용 시스템에 대하여 온도 사이클 시험을 실시함으로써 제조 및 조립과정에서 발생할 수 있는 초기잠재고장을 제거함으로써 보다 신뢰성 있는 시스템을 설치할 수 있게 되었다.

이로써, 현장 가동 중의 고장에 따르게 될 막대한 경제적 손실을 사전에 방지할 수 있다고 판단된다. 향후에도 이러한 기술의 개발을 위해 노력한다면 국내 개발품의 신뢰성 향상에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

## 베어링과 윤활유 계통에 발생하는 문제점과 대책(Ⅱ-1)



한전기공(주) 기술개발원  
전문원 실장 정재원  
Tel : (031)710-4390

### 1. 서론

이 보고서는 공학도들과 발전 Plant에 근무하는 터빈 정비원들이 베어링 문제점을 해결하는데 도움을 주고 베어링 손상 형태(Mode)를 진단하는 방법 등에 대한 기록이다. 여섯 가지의 주된 베어링 손상 형태인 마멸(Abrasion),부식(Corrosion),전식(Electrical pitting), 피로(Fatigue),과열(Overheating),마찰(Wiping)에 대해 자세하게 다루었으며 각각의 손상 형태들을 명확하게 보여주고 그 발생 과정(Mechanism)에 대해 설명하였다. 또한 각 손상 형태에 따른 베어링의 육안 점검에 대해 설명하고 가능한 손상원인에 대해서도 검토하였다. 베어링 표면에서 발생한 손상형태에 대해 설명하고 손상 형태를 확인하는 실례를 들어 근본 원인과 그에 대한 정비방안을 제시하며 윤활 계통의 문제는 베어링 손상의 주된 원인이기 때문에 윤활유의 상태를

감시하는 효과적인 방법들에 대해서도 설명하였다.

### 2. 본론

터빈 발전기의 베어링 손상은 발전기를 운전하지 못하게 하는 주된 원인이 되며 베어링 계통뿐만 아니라 Rotor, Stator, 관련 설비들의 심각한 손상을 일으킬 수도 있다. 터빈 발전기의 손상 및 펌프, Fan, 가스터빈, 모터 등과 그 밖의 다른 회전기기의 베어링 손상도 또한 발전소 운전정지를 초래할 수 있다. Breakdown과 같은 중대한 상황이 발생되면 베어링 손상의 원인 규명과 효과적인 정비 방법이 아주 중요하게 된다. 전기 산업 설비에 종사하는 베어링 사용자, 제작자, 판매자들은 각각의 손상 형태를 잠재적 원인 및 근본 원인에 연관시켜 Thrust 및 Journal 베어링의 다양한 손상 형태들을 진단해왔으며 정비 조치 및 베