

발전소 전자제어설비 환경시험에 관한 고찰

정창기, 이주현, 류홍우
전력연구원

An investigation of environmental tests for electric control system in power plants

Chang-Ki Jeong, Joo-Hyun Lee, Hong-Woo Rhew
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - It is important to select a reliable electronic control system in power plants because a trip of a power plant caused by malfunction of the control system can lead to a great deal of economic and social loss. In this paper, environmental test specifications for evaluating the reliability of the electronic control system were developed in order to select a reliable one. Also, the electronic control systems made by domestic manufacturers were tested based on these developed environmental test specifications.

선택 기준의 마련은 국내 전자제어설비 산업계의 발전을 위하여 전자제어설비가 갖추어야 할 환경시험의 기준을 제공한다는 의미에 있어서도 중요한 문제이다. 이와 같은 필요에 의하여 본 연구에서는 신뢰성 있는 전자제어설비의 선택을 위한 기준을 마련하고자 하였다.

본 연구에서는 국내 발전소의 환경상태를 조사/분석하고 관련된 시험규격을 조사 검토하여 국내 실정에 맞는 발전소 전자제어설비의 환경시험기준을 제시하였다. 또한, 제시된 기준에 따라 국내에서 생산된 분산제어시스템의 환경시험을 실시하여 국내에서 생산된 제어설비의 신뢰성을 평가하였다.

1. 서 론

발전소 전자제어설비(분산제어시스템 또는 아날로그제어시스템)의 고장으로 인하여 발전소가 정지됨으로써 발생하는 경제적, 사회적 손실을 생각할 때 신뢰성이 높은 전자제어설비를 선택하는 것은 매우 중요한 일이다. 신뢰성이 높은 전자제어설비를 선택하기 위해서는 선택기준이 마련되어야 한다. 하지만, 국내 뿐만 아니라 세계적으로도 신뢰성 있는 전자제어설비를 선택하기 위한 규격화된 기준이 없기 때문에 국내 발전소에서 전자제어설비를 선택함에 있어서 일부 세계적인 제어설비 제조업체의 유명세에 의존할 수밖에 없었다. 이러한 상황에서 제어설비의 신뢰성을 평가하기 위한 기준의 필요성이 부각되고 있는 실정이다.

그 동안의 전력회사에서 사용되었던 수화력 발전소용 전자제어설비의 시험방법으로는 외국제품인 경우 제조업체 자체적으로 공장출발전 검사를 실시하여 납품하였고 국내 제품인 경우는 기능점검 수준에 머물렀다. 더구나 최근에 국내 대기업을 중심으로 각 업체들이 전자제어설비 산업에 참여하면서 전자제어설비를 선택할 수 있는 폭이 넓어짐에 따라 신뢰성 있는 전자제어설비를 선택하기 위한 기준 마련의 필요성이 더욱 증대하게 되었다. 이러한

2. 본 론

2.1 국내 발전소 환경조건 현황 조사/분석

전자제어설비에 영향을 줄수 있는 환경요소를 조사하고, 이 환경요소 중 우리나라의 환경조건에 비추어 설비에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단되는 온도와 습도 특성, 전자파 특성, 진동 특성 및 염분분포 특성을 측정, 분석하였다. 온도와 습도, 전자파 및 진동 특성은 국내 발전소를 대표할 수 있는 그림 1과 같은 10곳의 발전소를 선정하여 제어설비가 설치되어 있는 중앙제어실 및 I/O Rack이 설치되어 있는 곳을 측정 후 측정데이터를 분석하였고, 염분의 분포특성은 우리나라 해안가에 위치한 서천화력, 여수화력, 영동화력, 북제주화력 발전소를 대상으로 제어실 내부와 대기에 대하여 측정하고 서울의 염분분포와 비교하도록 하였다. 또한, 온도와 습도의 경우에는 추가적으로 발전소가 위치한 지역의 각종 기상데이터(년중 평균, 월별, 일별 기온분포)를 기상청으로부터 입수하여 분석하였다.

2.1.1 온습도 상태 조사 및 분석

실내 온습도는 발전기 제어실을 중심으로 제어가 가동되는 실내에 온습도계를 설치하거나 이미 설치되어 있는 온습도계의 기록을 이용하여 약 1년

동안의 데이터를 수집, 분석하였다. 실외의 온습도는 1961년부터 1990년까지의 기후자료를 바탕으로 기상청에서 1991년에 발간한 "한국의 기후표제 2 권(1)"을 기초로 하여 각 발전소가 위치한 지역의 온습도를 추출하여 실외의 온습도로 사용하였다. 조사된 발전소별 온습도를 그림 2~4에 나타내었다. 실내 온습도는 발전소 내에 제어가 설치되어 있는 공간이 항온항습 상태를 유지하기 위하여 온도와 습도가 관리되고 있어 변동이 크지 않으므로 평균기온과 평균습도로 나타내었고, 실외의 온습도는 월 평균값으로 나타내었다. 그림 2~4로부터 국내 발전소의 실내온도는 약 15°C~30°C, 상대습도는 약 35~50%이며, 실외온도는 약 -10°C~30°C, 상대습도는 약 50~85%임을 알 수 있다.

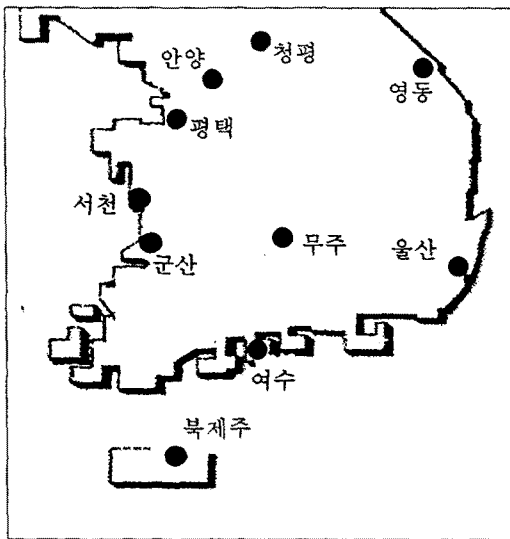


그림 1. 환경 조사 대상발전소

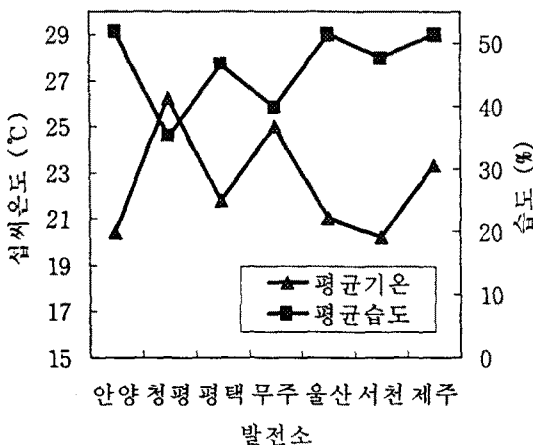


그림 2. 발전소별 실내 온습도 현황

2.1.2 전자파 특성 조사 및 분석

각 발전소에서 전자제어설비가 설치된 곳의 방사전자파환경(잡음전계강도)을 CISPR 22 측정방법(2)으로 측정 주파수 30~1000MHz범위에서 스펙트럼분석기(8563A-H.P.)와 안테나(BBA9106 - Schwarzbeck과 3146 - EMCO)를 이용하여 측정하였다. 측정결과를 그림 5에 나타내었다. 측정결과를 살펴보면 방사전계강도가 최대 92.7dB $\mu\text{V}/\text{m}$ 까지 측정되었음을 볼 수 있다.

2.1.3 진동 특성 조사 및 분석

발전소의 진동 특성은 전자제어설비가 설치된 곳을 기준으로 측정하였으나, 발전소별로 현장여건에 따라 중앙제어실과 전자제어설비가 설치된 곳이 분리되어 있는 등 현장별로 다양한 조건이 발생하여 측정방법 및 측정시간은 현장별로 상황에 따라 설정하였다. 각 실에서의 진동측정은 진동으로 인한 전자제어설비의 피해가 가장 우려되는 지점을 측정해야 하므로 가장 높은 진동레벨을 가지는 곳을 찾아 2회에 걸쳐 측정을 하였으며 기반진동을 기준하여 100Hz미만의 진동을 분석하였다. 진동특성측정결과를 그림 6에 나타내었다. 국내 발전소의 진동특성은 무주양수발전소가 1, 2차 측정데이터를 평균하여 수직진동수준 93.7dB, 수평진동수준 84.85dB로 가장 진동이 심하고, 다른 발전소의 경우 수직진동이 60dB~80dB, 수평진동이 50dB~70dB수준인 것으로 조사되었다.

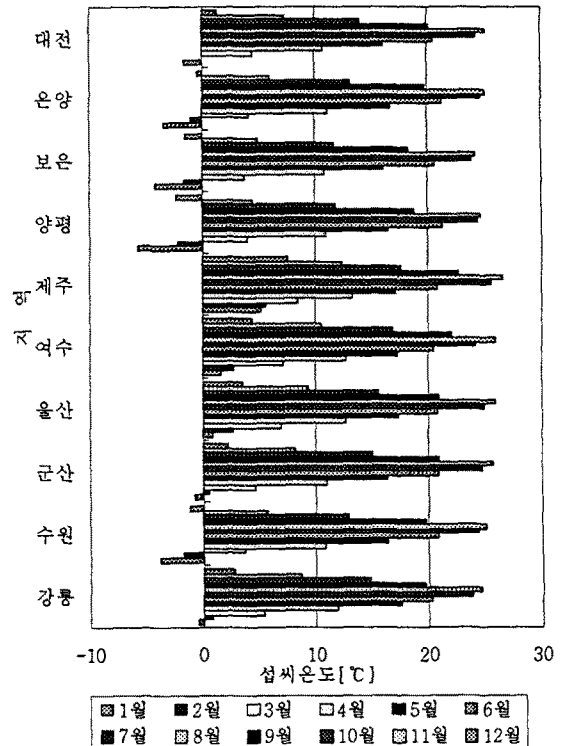


그림 3. 지역별 월평균기온

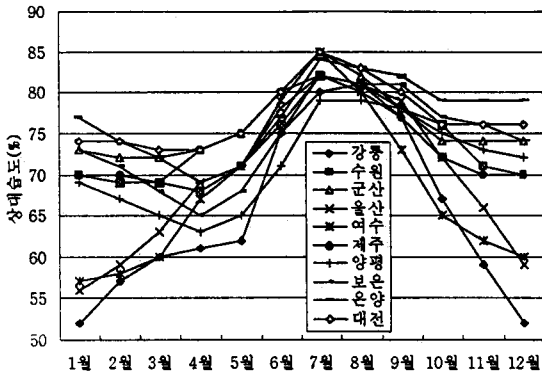
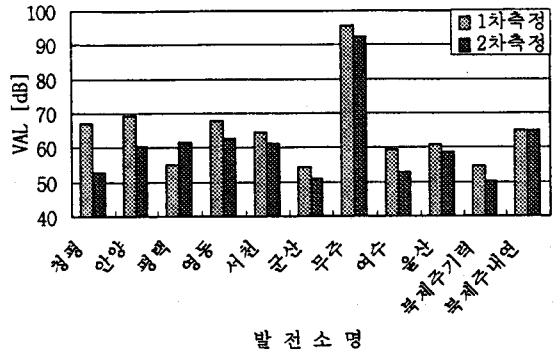


그림 4. 지역별 월평균 상대음도



(b) 수평진동수준 (dB)



그림 5. 발전소별 잡음전계강도

그림 6. 발전소별 진동특성

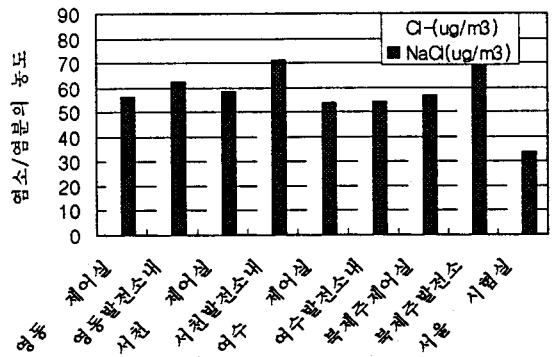
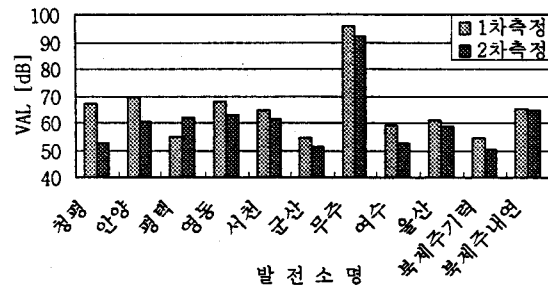


그림 7. 발전소별 염소분포도

2.1.4 염분분포 특성 조사 및 분석

염분분포는 발전소 제어실의 내부와 외기에 대하여 대기시료 0.5몰 소듐 아세테이트(sodium acetate)가 담긴 소형집진기(midget impinger)를 이용하여 시료를 채취하고, 시료 중에 분포되어 있는 염소이온선택성전극을 이용하여 염소를 분석한 후 염분으로 환산하였다. 발전소별 염소분포도를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 보면 염소의 농도는 $20\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 염분의 농도는 $30\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며 서울(구로구)에 비하여 최고 약 2.5배의 농도를 갖는 것으로 나타났다.



(a) 수직진동수준 (dB)

2.2 관련규격 조사

발전소 제어설비의 환경시험 기준을 마련하기 위하여 관련 규격을 조사한 바 다음과 같은 규격들이 널리 사용되고 있었다.

- 환경시험과 관련된 규격으로는 원자력발전소용 기기 및 제어모듈을 대상으로 한 IEEE Std.323과 IEEE Std.381(4)
 - 군용장비에 적용되는 Mil-Std-810(6)
 - 환경시험에 대한 국제규격인 IEC Pub.68(3)
- 이와같은 관련규격들을 검토하여 국내 발전소 제어설비에 적합한 시험항목과 환경시험조건을 선택하였다.

2.3 발전소 제어설비의 환경시험 항목 및 조건

2.2절에서 언급한 바와 같이 관련규격을 검토하여 국내 발전소 제어설비에 적합한 시험항목을 표 1과 같이 선택하였다.

표 1. 환경시험항목

전원영향시험	전원전압변동시험
	순시정전시험
기후시험	저온시험
	고온시험
	온도변화시험(열충격시험)
	습도시험(정상상태)
	Burn-in 시험
기계적시험	부식시험(염수분무시험)
	진동시험
EMC시험	도전잡음전압(50 μ H/50 Ω , LSIN)
	잡음 전계강도(10m 거리)
	정전기 방전(ESD)
	전자파 방사내성(RS)
	전기적 빠른 과도현상(EFT)
	전도내성(CS)
	전원주파수 자체내성
Surge(EN55104)	

시험조건은 국내 발전소 환경조건의 측정결과와 관련규격의 시험조건을 토대로 표 2와 같이 정하였다.

표 2. 환경시험조건

전원영향시험	전원전압변동시험	<p>기준운전조건에서 시험품의 모든 부하를 최대로 한 상태에서 입력전압을 아래와 같이 변동.</p> <p>Vmin Vmax 10분 1분 1분 10회 반복</p> <p>Vmin:설계범위 운전조건하에서의 하한값 Vmax:설계범위 운전조건하에서의 상한값</p>
	순시정전시험	<p>내성 인가조건:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 순시정전: 95%이상 감소(250주기) - 전압강하: 95%이상 감소(1주기), 30%감소(25주기)
기후시험	저온시험	-25℃, 72시간
	고온시험	70℃, 72시간
	온도변화시험	-25℃(3시간)→온도변화(2~3분)→70℃(3시간), 5회
	습도시험	40℃/93%, 240시간
	Burn-in 시험	5℃(3시간)→온도변화(1℃/분)→ 55℃(3시간), 5회
기후시험	부식시험	염수분무(2시간)→40℃/93% (20 ~ 22시간), 3회

기계적시험	진동시험	진동주파수: 10~100Hz, 소인속도: 1Octave/분, 진동변위 및 진동가속도: 0.75mm/g, 30분
	도전잡음전압	<p>한계치:</p> <p>주파수범위 0.15~0.5MHz에서</p> <ul style="list-style-type: none"> - 준첨두치: 79dBμV - 평균치: 66dBμV <p>주파수범위 0.5~30MHz에서</p> <ul style="list-style-type: none"> - 준첨두치: 73dBμV - 평균치: 60dBμV
	잡음전계강도	<p>한계치(준첨두치):</p> <p>주파수범위 30~230MHz:40dBμV</p> <p>주파수범위 230~1000MHz:47dBμV</p>
	ESD	<p>내성 인가조건(적용단자: 표면단자):</p> <ul style="list-style-type: none"> -4kV(접촉방전): 금속표면 -8kV(기중방전): 절연물표면 및 슬롯
	RS	<p>내성 인가조건(적용단자: 표면단자)</p> <p>80~1000MHz, 3V/m(변조 이전), 80% AM변조(1kHz)</p>
	EFT	<p>내성인가조건:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교류입력 전원단자(적용단자): 1.0kV (peak), 50ns/50ns(Tr/Th), 5kHz (반복주파수) - 직류 입력단자, 신호선단자 및 전송선단자(적용단자): 0.5kV(peak), 5ns /50ns(Tr/Th), 5kHz(반복주파수)
	CS	<p>내성 인가조건(적용단자: 교류, 직류입력 전원단자, 신호단자 및 전송단자): 0.15~80MHz, 3V(변조 이전), 80% AM변조</p>
	전원주파수 자체내성	<p>내성인가조건(적용단자: 표면단자): 60Hz, 1A/m(rms)</p>
	Surge	<p>내성인가조건:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교류 입력 전원단자(적용단자): 1.0kV (선과 선사이), 2.0kV(선과 접지사이), 1.2μs/50μs(Tr/Th) - 직류 입력 전원단자(적용단자): 0.5kV (선과 접지사이), 1.2μs/50μs(Tr/Th) - 신호단자 및 전송단자(적용단자): 4.0 kV(1차 보호회로가 있는 경우) 또는 1.5kV, 10μs/700μs(Tr/Th)

전자제어설비에 대한 환경시험을 실시하는 경우 전자제어설비가 고가이기 때문에 시료수에 제약울 받으므로 각 시험항목에 순서를 정하여 순차적으로 실시하여야 한다. 이 때, 시험순서가 시험결과에 큰 영향을 미치므로 신중하게 정해야 한다. JIS C

0010부속서(5)에 따르면 환경시험의 순서를 다음과 같은 원칙을 기초로 정한다.

- 시험 순서 초기에 고장의 경향을 알고자 하는 경우는, 가장 엄격한 시험부터 개시한다. 단, 시험품이 계속 시험에 견디어 낼 수 없는 것과 같은 시험은 중반부에 실시한다.
- 시험품이 손상을 받기 전에 되도록 많은 정보를 얻을 것을 목적으로 한 것으로서, 가장 엄격성이 낮은 시험(예컨대 비파괴시험)부터 개시한다.
- 가장 중요한 영향을 주는 시험의 순서를 사용한다.
- 실제로 가장 일어나기 쉬운 환경조건의 순서를 시뮬레이트하는 시험의 순서의 사용한다.

본 연구에서 제시한 환경시험 기준에서도 이와같은 원칙을 고려하여 시험순서를 정하였다. 표 1은 본 연구에서 정한 시험순서대로 시험항목을 나열한 것이다.

2.4 환경시험 기준 적용례

본 연구에서 제시한 환경시험 기준에 따라서 국내에서 생산한 제어설비를 시험하였다. 시험결과 국내에서 생산한 제어설비는 고온시험과 열충격시험후에 문제점이 발견됨을 알았고 EMC시험에 취약함을 알 수 있었다. 특히 전자파 내성에 대한 대책이 필요할 것으로 보인다.

3. 결 론

본 연구는 발전소의 환경특성을 조사, 분석하고 국내의 관련규격을 조사, 검토하여 국내 발전소 전자제어설비에 적합한 환경시험기준을 제시하였다. 환경시험항목은 크게 전원영향시험, 기후시험, 기계적시험, EMC시험 항목으로 나누고 다시 세부항목으로 17가지 시험항목을 정하여 각 시험항목의 시험조건과 시험항목들의 시험순서를 정하였다. 이와같이 정해진 기준에 따라 국내에서 생산된 제어설비의 환경시험을 실시하였는데 시험결과 국내에서 생산된 제어설비들이 EMC시험에 취약한 것으로 확인되었다.

본 연구는 국내외적으로 발전소 전자제어설비의 환경시험기준이 규격화되어 있지 않은 상태에서 국내 발전소에 적용할 환경시험기준을 제시하였다는 데 큰 의의가 있으며 국내 전자제어설비 신뢰성향상에 일익을 담당하길 기대한다.

(참 고 문 헌)

- (1) 한국의 기후표 제2권(1991), 기상청.
- (2) CISPR 22, Limit and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equi-

pment.

- (3) IEC Pub.68 Basic Environmental Testing Procedures.
- (4) IEEE Std. 323, 381 Class 1E modules for NPP.
- (5) JIS C 0010 부속서
- (6) Mil-Std-810