

발전소용 분산제어시스템의 스크리닝 시험에 관한 고찰

이주현, 마복렬, 오영일, 정 문식
전력연구원, 전력연구원, 전력연구원, 산업기술시험원

An Investigation of ESS(Environmental Stress Screening) Test of the DCS to be used for a thermal power plant.

J.H.Lee, B.R.Ma, Y.I.Oh, M.S.Jung,
KEPRI, KEPRI, KEPRI, KTL.

Abstract - According to the reports about the failure mode analysis of modules and systems, It is said that there are many early failure of system. To remove latent defects which causes early failures like that, It is necessary that screening test is performed. ESS is often used for screening electronic equipments, and is proposed by the most powerful tool for removing latent defects of electronic equipments.[1][2]

In this report, the procedure of the environmental stress screening which uses the temperature cycling stress is proposed. It is considered about environmental conditions of distributed control system(DCS) to be tested, design specifications of the system, recommended conditions of relative IEC-STD and applied conditions of similar company. ESS test was applied at the DCS to be installed in power plant. As the results of analyzing discovered problems, It was found that almost latent defects of electronic control systems was discovered early.

1. 서 론

발전소 전자제어설비(분산제어 시스템 등)의 고장으로 인하여 발전소가 정지됨으로써 발생하는 경제적, 사회적 손실을 생각할 때 신뢰성이 높은 시스템을 선택하는 일은 매우 중요한 일이다. 시스템의 고장분석을 통하여 발표된 자료에 의하면 시스템의 초기 고장이 많은 것을 알 수 있다. 이와 같은 초기고장의 원인이 되는 잠재적인 결함을 제거하기 위하여 시스템을 현장에 설치하기 전에 스크리닝 시험을 실시한다. 시험조건은 결함의 종류나 그 고장 메커니즘에 따라 특정한 스트레스를 선택하는 것이 중요하며, 시험방법은 육안 스크리닝 방법, 전기적 스크리닝 방법 및 환경 스트레스 스크리닝(ESS: Environmental Stress Screening)방법으로 구분할 수 있다. 발전소 제어시스템에 주로 사용되는 방법으로는 ESS를 꼽을 수 있으며, 제품에 잠재되어 있는 결함을 제거하는 가장 강력한 도구로 제안되고 있다. [1][2]

본 논문에서는 분산제어시스템의 사용 환경조건, 시스템의 설계사양, IEC규격 등에서의 권고조건 및 유사제조업체의 적용기준 등을 감안하여 온도사이클 스트레스를 이용한 환경 스트레스 스크리닝(ESS) 절차를 제안하였다. 또한 ESS의 스크리닝 시간을 결정하는 방법에 대하여 수학적인 모델링을 제시하였고, 제안된 절차에 따라 발전소 현장에 설치 예정인 분산제어 시스템(DCS : Distributed Control System)에 ESS 시험을 적용하여 시험중 발견된 문제점을 검토/분석한 결과에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

전기적, 환경적 스트레스를 인가하여 제품의 제조 및 조립과정에서 발생할 수 있는 잠재 결함에 의한 초기고장을 제거하기 위하여 스크리닝 시험을 실시한다. 스크

리닝 시험중에서 환경 스트레스 스크리닝 시험이 초기고장 제거율이 가장 높은 것으로 발표되고 있으며 ESS중에서 정해진 시간동안 시험품의 안정화를 위한 번인시험(Burn-in Test)은 적은 수의 초기고장을 가속시키는 데 성공하였지만 필드고장률을 크게 바꾸지는 못하였으며, 많은 시간과 비용이 소요된다. 이러한 단점이 보완된 방법이 온도사이클 스트레스를 제품에 인가하는 스크리닝 시험방법으로 Burn-in시험에 비하여 다음과 같은 장점이 있다[3].

- 많은 제품이 최대온도를 유지하는 경우에는 고장이 나지 않았지만 온도사이클 스트레스를 가하는 경우에는 많은 고장 발생됨.
- 현장에서 발생하는 타입의 고장이 Burn-in시험의 경우보다 온도사이클 스트레스를 가하는 경우에 보다 가속됨.
- 온도사이클 스트레스가 Burn-in시험의 경우보다 짧은 시간에 고장을 가속시킴.

온도사이클 시험이 Burn-in시험 보다 효과적이라는 것이 확인됨에 따라 본 논문에서는 온도사이클 스크리닝 시험절차를 제안하고, 제안된 절차에 따라 발전소용 DCS에 적용한 후 결과를 검토/분석한다.

2.1 ESS의 내용 및 수립절차

ESS의 형태 및 내용은 다음 <표.1>과 같다.

<표.1> ESS의 형태 및 내용

형태	내용
온도 사이클	온도 상하한 값, 온도 변화율 및 사이클수로 결정됨
임의 진동시험	여러 가지 진동시험중 Random vibration이 가장효과적임(Sine wave fixed frequency, swept frequency) 다른 ESS 프로그램보다 적은 시간소요
고온 시험	최근의 연구를 통해서 보면 이와 같은 Static burn-in보다 온도사이클 시험이 더 효과적임.
전기적 스트레스	Power cycling 방법과 Voltage margining 방법이 있음. 온도 또는 진동 스트레스보다 비효과적임. 그러나 비교적 비용 저렴.
복합 환경 스트레스	온도사이클과 Random vibration을 결합하여 실시함.
기타 형태	Thermal shock, sine wave, low Temp.

환경 스트레스 스크리닝의 단계는 크게 ESS의 절차 수립단계, ESS의 실시단계 및 효과검토 단계의 3단계로 구분할 수 있으며, 단계별 역할은 다음과 같다.

- 1 단계 : ESS 절차 수립
 - 스크리닝의 목표설정
 - 스크리닝 계획수립
- 2 단계 : ESS 실시
 - 데이터 수집
 - 스크리닝 시험실시
- 3 단계 : 효과검토

- 효과검토
- 스크리닝 목표만족 여부 확인

(표.2) ESS 환경요소의 검토대상별 내용

검토대상	환경요소 내용(온도)
국내환경조건	국내 최저온도 : -32.6℃(81.1.5 양평) 국내 최고온도 : 40.0℃(81.8.1 대구) 지역간 최대 일중온도차: 22℃
KS 표준주위온도	15℃ ~ 35℃ (KSC 0210)
IEC 규격의 권고안	저온 : -40, -25, -10, +5℃ 고온 : 150, 125, 100, 85, 70, 55, 40, 30℃ (IEC Pub. 68-2-1, 2) 온도변화율 : 1, 3, 5℃/min, cycles : 3
제조업체의 설계온도 조건	0℃ ~ 60℃(LG 산전 : Master P-3000)
유사업체	-5℃ ~ 60℃ 적용(Japan Bailey) 0.54℃/min, cycles : 3
제한시험조건 (ESS시험)	5℃ ~ 55℃ 적용, 1℃/min, Cycles : 5

2.2 ESS의 통계적 정량화 및 최적화

제품을 구성하는 부품중 잠재적인 결함을 가진 부품의 비율이 p_b , 결함이 없는 부품의 비율이 p_g 이고, 잠재적인 결함을 가진 부품의 수명분포는 고장률 λ_b 를 갖는 지수분포를 따르고, 결함이 없는 부품의 수명분포는 고장률 λ_g 를 갖는 지수분포를 따른다고 한다면, 제품의 수명분포는 다음과 같다. [3]

○ 제품의 신뢰도 함수

$$R(t) = p_b R_b(t) + p_g R_g(t) \quad (1)$$

○ 제품의 확률밀도 함수

$$f(t) = -d[R(t)]/dt = p_b \lambda_b e^{-\lambda_b t} + p_g \lambda_g e^{-\lambda_g t} \quad (2)$$

○ 제품의 고장률 함수

$$\lambda(t) = \frac{p_b \lambda_b e^{-\lambda_b t} + p_g \lambda_g e^{-\lambda_g t}}{p_b e^{-\lambda_b t} + p_g e^{-\lambda_g t}} \quad (3)$$

$$\lambda(0) = p_b \lambda_b + p_g \lambda_g \quad (4)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_g + \frac{p_b (\lambda_b - \lambda_g) e^{-(\lambda_b - \lambda_g)t}}{p_g + p_b e^{-(\lambda_b - \lambda_g)t}} = \lambda_g \quad (5)$$

고장률 함수는 시간에 따라 감소함을 알 수 있으며, 위의 수식으로부터 ESS 시간을 추정할 수 있다.

$\lambda(T_s)$ 는 ESS를 T_s 기간동안 실시한 후의 조립품 고장률이라고 할 때 ϵ (Screen Residue)에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\epsilon = [\lambda(T_s) - \lambda_g] / \lambda_g \quad (6)$$

그리고 $1 - \epsilon$ 는 Screen Efficiency이라 한다.

위의 식(6) 정의로부터 $\lambda(T_s) = \lambda_g(1 + \epsilon)$ 이다.

그러므로 ESS 시간의 결정은 적절한 ϵ 을 미리 정한 다음 $\lambda(T_s) = \lambda_g(1 + \epsilon)$ 식으로부터 T_s 를 구하면 다음과 같다.

$$T_s = \frac{p_b (\lambda_b - \lambda_g) - \epsilon \lambda_g p_b}{\epsilon \lambda_g p_g} \quad (7)$$

위 (7)식에 따라 ESS의 시간을 구할 수가 있으나 선결되어야 할 내용으로 p_b , p_g , λ_b 및 λ_g 의 값이 주어져야 한다. 이러한 내용의 값은 기존제품의 필드고장이력, 설계시 목표고장률, 초기고장기간 및 초기고장이력 등의 값으로부터 구해줄 수 있다.

2.3 발전소용 DCS의 스크리닝시험 절차

2.3.1 환경요소 검토

온도사이클 스크리닝 시험의 온도 상·하한 값, 온도 변화율 및 사이클수로 결정됨에 따라 각 요소에 대하여 적용상황을 검토하여 발전소용 DCS의 스크리닝시험에 적합한 요소를 도출한다. 각 환경요소의 검토대상별 내용은 다음 <표.2>와 같다.

각 기관의 규격 및 유사제품의 적용사례를 참조하여 <표.2>의 제안 시험조건과 같이 온도 사이클링 스크리닝 시험조건을 제시하였다. 제안된 시험조건은 설계온도범위의 설정조건보다 낮게 설정하였다. 이는 설계조건에 대한 마진을 감안하여 설정한 것이며 가속도를 다소 낮게 설정한 대신 시간을 늘려 잡음으로 동일한 효과를 얻도록 하였다.

2.3.2 시험절차

시험순서는 시험되어질 시험품의 기능이 설계조건에 부합되는지를 효율적으로 검증할 수 있는 순서로 결정한다. 시험절차는 다음과 같이 시험품에 적용한다.

가. 육안 검사

시험품이 설계사양에 적합한가를 검증하기 위해 조립상태, 패턴의 배치, 부품배열, 사용재질 및 마무리 상태를 검사한다.

나. 시험품의 설치

(1) 시험품을 시험할 수 있도록 적절히 연결한다.

(2) 시험품의 설치시에는 의도된 모든 동작을 할 수 있는지 또한 의도된 동작조건 보다 한가지 이상의 제한을 갖는지를 생각하여야 한다.

다. 교정 및 조절

(1) 시험품은 기준동작 조건하에서 특성값을 측정하기 위하여 교정 및 조절 되어진다.

(2) 시험 진행 단계에서 재교정이 요구될 수도 있으나 이는 각 시험 진행단계에서 요구된 특성값의 편차가 이후 시험에서 계산되어 진다는 조건하에서만 가능하다.

라. 기준운전 조건하에서의 기능점검

기준운전 조건하에서 운전하여 특성값을 측정 및 기록한다. 이곳에서 측정 및 기록된 내용은 이후에 적용되어질 보다 가혹한 조건의 시험에서 얻어지는 데이터의 기준이 된다

마. 절연 및 기동 특성

입출력 신호 및 시스템 부팅과 관련된 각종 영향특성을 점검한다.

바. 환경시험

(1) 시험품의 미래수명(Advanced life)을 시뮬레이션하기 위한 에이징을 한다.

(2) 에이징을 하는 동안 열화될 수 있는 특성값을 모니터링하고 기록한다.

(3) 이들 값은 기기가 시험전의 기능을 만족스럽게 수행하고 있는지를 판정하고 또한 통계적인 분석에 활용된다.

(4) 에이징을 하는 동안 또는 후에 교정 및 보수는 그 간격이 정상 설치된 내용수명 동안의 정상적인 교정 및 보수와 비교하여 같은 간격일 때만 허용된다.

(5) 시험이 종료되기 전에 교체해야 할 부품이 발생하는 고장이 일어나면 다음 두방법중 한가지를 택한다.

(가) 남은 시험결과에 영향을 주지 않는다고 판단되는 부품의 교체는 교체후 시험을 계속한다. (예: 휴즈 단선 등)

(나) 고장난 부품과 같은 과정에 따라 시험되어온 부품으로 교체후 시험을 계속한다.

사. 최종 기능점검

기준운전 조건하에서 운전하여 특성값을 측정 및 기록한다. 이곳에서 측정 및 기록된 내용은 초기 기준운전 조건하에서 운전하여 얻은 특성값과 비교하여 환경영향에 의한 영향을 평가하게 된다.

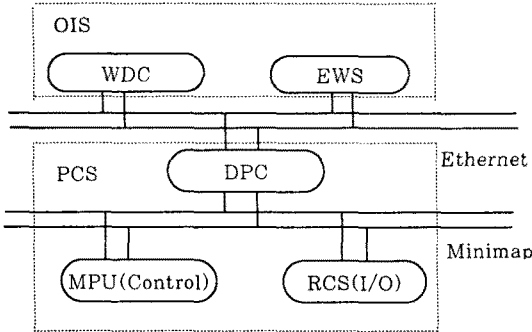
아. 수집된 Data로부터 시험품의 평가 합격판정 기준에 의거하여 수집된 Data로부터 시험품의 환경시험을 실시하고 평가한다.

자. 시험완료
시험보고서를 완성시키고 검토를 거쳐 승인을 받는다.

2.4 발전소용 DCS의 스크리닝시험 적용

2.4.1 시험 적용

제안된 스크리닝시험 절차에 따라 발전소 현장에 적용할 DCS에 스크리닝 시험을 적용하였다. 적용 대상 시스템은 <그림.1>과 같은 구조를 가지며 대상 시스템의 범위는 <표.3>과 같고, 환경시험 전후의 기능점검은 별도의 기능점검 절차서에 따라 실시하였다.



<그림.1> 적용 대상 시스템의 기본구성

<표.3> 시험대상 DCS 범위

항 목	내 용
PCS	Cabinet panel 19 sets
OIS	Console 3sets, Aux.Desk : 2sets (Printer, Hard copier 포함)
I/O Points	DI : 2297, DO : 1901 AI : 446, AO : 114

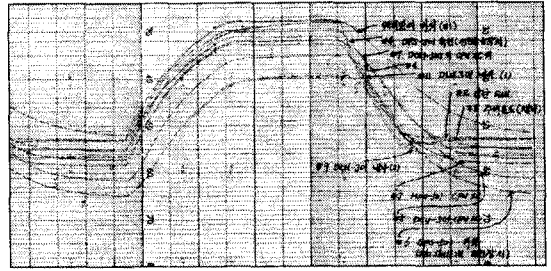
2.4.2 시험결과 도출된 문제점 및 분석

시험절차에 따라 항온항습조에 시스템을 설치하고 온도 사이클 조건에 맞추어 스크리닝 시험을 실시하였다. 시험중에 발견된 내용을 <표.4>에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 제조 또는 조립과정에서 야기되어진 것으로 추측되는 잠재결함이 ESS 초기에 결함의 대부분이 발견됨을 알 수 있었고, 이후 사이클에서는 결함이 발견되지 않았다. 본 스크리닝 시험을 통하여 발전소용 제어시스템의 초기 잠재결함을 제거할 수 있었고, 또한 온도사이클 시험중에서도 초기사이클에서 결함내용이 대부분 발견됨을 알 수 있었다.

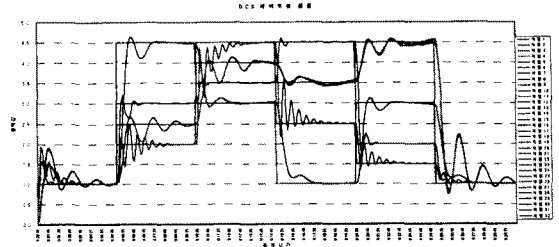
<표.4> 온도사이클 스크리닝시험 도중 발견된 문제점

도출문제	내 용
WDC 오동작	첫 사이클 저온부에서 WDC#1이 동작되지 않는 현상 발견 (재부팅함으로써 동작이 원활히 되었으며 이후 같은 현상은 발견되지 않았음)
OIS-DPC 사이의 통신모듈 Fail	첫 사이클 고온부에서 WDC#2 가 동작되지 않는 현상 발견(통신 모듈의 이상으로 판명)
OIS-PCS 데이터 전송안됨	두번째 사이클에서 데이터 전송이 안됨 (PCS의 Field bus인 RS485 Cable의 납땜불량 발견)

대형시스템으로 통계적인 자료를 유추하기에 많은 제약이 따르고 취급하기에 어려움이 있었으나, 이러한 자료가 계속 누적된다면 향후 좋은 신뢰성자료가 될 것으로 기대된다.



(그림 2) 시험온도 및 중요부위 온도그래프



(그림 3) 시험전후 DCS 제어특성 점검

3. 결 론

본 연구는 시스템의 초기고장을 제거하는 방법 중에서 가장 강력한 도구로 발표되고 있는 온도사이클 스크리닝 시험방법을 제안하였고, ESS의 통계적 정량화 및 최적화에서 스크리닝 방법에 대한 수학적 모델링을 제시하였다. 발전소 제어시스템으로 사용 예정인 DCS에 제안된 시험절차를 적용하였으며, 시스템에 잠재해 있는 초기고장 내용을 제거함으로써 시스템의 신뢰도를 향상시킬 수 있었다. 본 연구는 국내 발전소 제어시스템에 적용할 스크리닝 시험에 대한 시험기준 및 절차를 구체화되어있지 않은 상태에서 시험규격 및 절차를 제시하였는데 큰 의의가 있으며, 시스템의 신뢰성 향상에 많은 도움이 될 것으로 확신한다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y.L.Mok, M.Xie and T.N.Goh, "Planning environmental stress screening based on DOD-HDBK-344- a case study", Microelectron. Reliab., Vol. 36. No. 1, pp. 83-90, 1996.
- [2] H. Caruso, "An overview of environmental stress testing standards and documents for electronic assemblies", J. of Environmental Sciences, 32, 15-25, 1989.
- [3] D. Kececioglu and F.B. Sun, "Environmental stress screening its qualification, optimization and managements", Prentice Hall, 1995.
- [4] KEPRI, "Procedures and a base of selection of environmental test methods for Electric Control System in Power plants", Technical report TM.96SJ40.197.521, 1997.7.
- [5] KSC0210, "환경시험 방법(전기, 전자) 통칙,
- [6] Japan Bailey, "DCS 설비의 정비 및 품질관리", 1996.8.
- [7] 기상청, "한국의 기후표", 제2권, 1991.
- [8] IEC Pub. 68-2-1, -2 Series.
- [9] DOD-HDBK-344, "Environmental Stress Screening(ESS) of Electronic Equipment", 20. October, 1986.
- [10] MIL-STD-2164, "Environmental Stress Screening Process for Electronic Equipment", 5. April, 1985.