

# 전동기 제어반 Class 1E을 위한 기기검증

(부제: 운전노화시험)

2023.09.07.

발표자: 서 윤 석

한국에스지에스(주) 성능시험팀

## 목 차

1.

개요

2.

원자력발전소 운전노화시험

3.

원자력발전소 운전노화시험 사례

4.

결론 및 향후계획

## 1. 개요

### ◆ 배경

- 원자력발전소에서 “**운전노화**” 는 발전소의 운영 기간 동안 발생하는 시설 및 장비의 노후화와 연관된 개념으로써 **시간이 지남에 따라 자연적인 노화와 부식, 피로** 등으로 **성능이 저하되는 경우**, 안전에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 신규건설원전, 가동원전 및 계속원전에 있어서 가동 수명에 맞게 안전성을 확보하는 것은 중요하다.

### ◆ 목적

- 본 발표주제는 원자력발전소에서 수행하는 기기검증 요소 중 “**운전노화시험**” 에 대한 제반절차를 간략하게 설명하고, 실제 운전노화시험 시 발생된 문제점을 파악하여 개선한 사례를 제공하고자 함을 목적으로 한다.

## 1. 개요

## ◆ 관련 코드

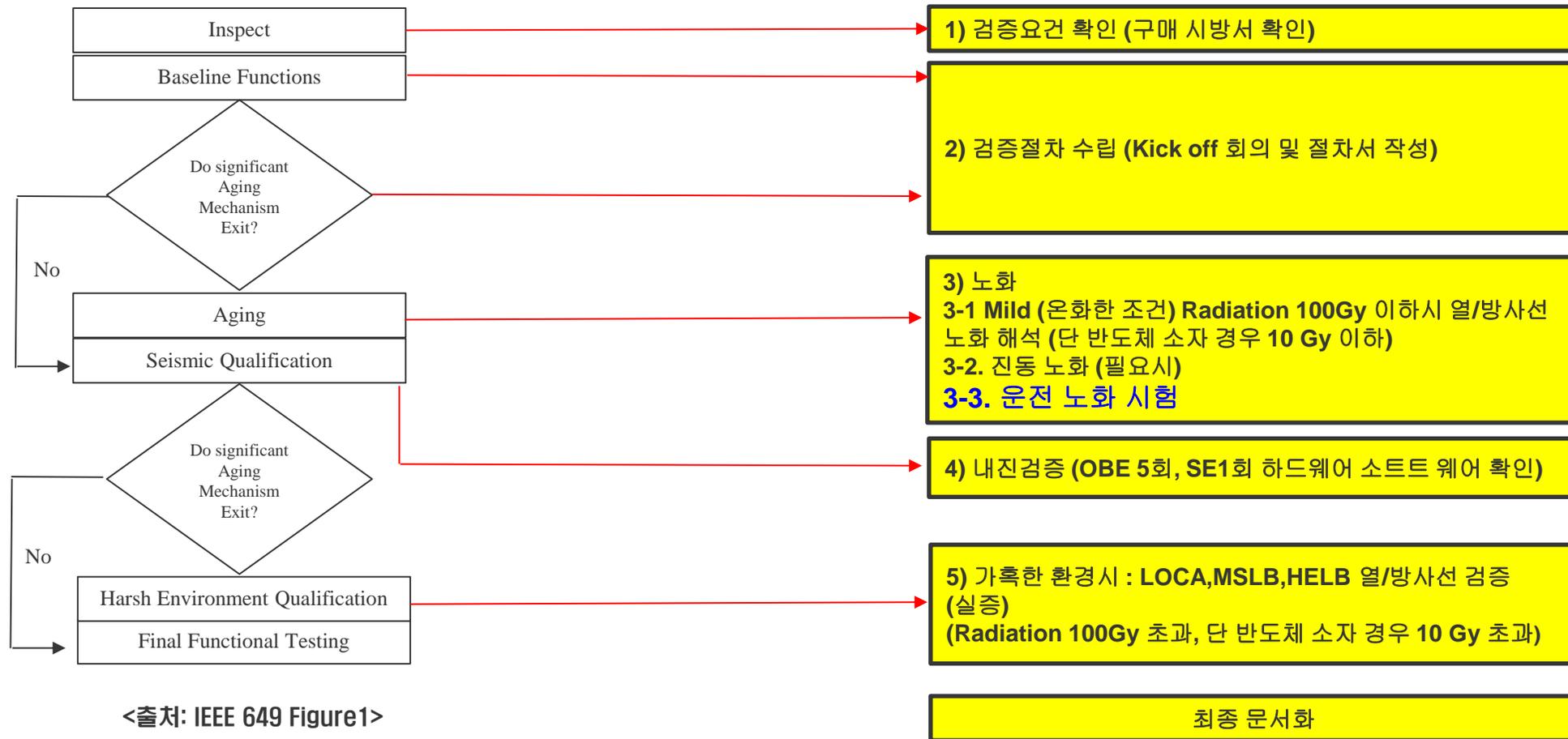
- KEPIC END 1100 (2005) : KEPIC END 1100(IEEE 323) 안전등급(Class 1E) 기기 검증 기준
- KEPIC END 3220 (2005) : KEPIC END 3220(IEEE 649) 노화처리 기준
- IEEE 323 (2003) : IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
- IEEE 649 (2006) : IEEE Standard for Qualifying Class 1E Motor Control Centers for Nuclear Power Generating

◆ 기술적 용어의 정의 <sup>Stations</sup> <출처: KEPIC-END 1100 / IEEE 649>

- **기기 검증** [Equipment Qualification] : 기기가 정상 및 비정상 운전조건과 가상 설계기준사건 동안, 계통요건을 충족하기 위해 요구에 따라 운전이 가능함을 보증하기 위한 증거의 생성 및 유지.
- **운전노화** [Operational aging] : 원자로 및 원전 시설의 장기적인 운영으로 인해 발생하는 시설의 물리적, 화학적, 기계적인 변화 및 손상을 말함.
- **전기1급** [Class 1E] : 전기적 안전을 위한 안전등급 분류 중 하나로써 “1E” 란 “**Emergency Essential**”의 약어로, 비상 시에도 운전 중요도가 높은 장비 및 시스템을 가리키는 용어임.
- **전동기 제어반** [Motor Control Center] : 수평 전력 모선이 설치되어 있으며, 주로 전동기 기동 유닛의 조합을 포함한 하나 이상의 수직단면으로 바닥에 설치된 집합체.

## 2. 원자력발전소 운전노화시험

### ◆ 원자력발전소 기기검증 절차



<출처: IEEE 649 Figure1>

<검증,시험 기관 Process>

## 2. 원자력발전소 운전노화시험

### ◆ 운전노화 시험의 필요성

원자력발전소에서 운전노화에 의해 기기의 성능 저하, 고장 가능성 증가, 안전문제 대두, 유지보수 비용 증가, 그리고 환경 영향 등과 같이 다양한 현상과 문제를 초래할 수 있다. 따라서 운전노화에 대한 시험이 필요하며, 다음과 같은 지침에 의거하여 수행한다.

- IEEE 323에 노화 메커니즘 중 총 4가지 열,방사선,진동, 마모 중 마모에 해당.
- 내진시험 전 부품을 설계 수명 말까지 전기적,기계적 노화를 통하여 모의 시험.
- 모기기에 조립하고 운전노화 시험대상으로 선정되는 부품들은 주로 접점이 있는 부품.
- 구조적,기능적 건전성 확인.
- 부품들은 전압,전류인가 또는 사람의 조작으로 노화되는 제품들로 접점에 전기적, 기계적 (NC↔NO) 노화 후 내진시험을 진행
- 운전노화 시험은 설계수명 (목표설계수명 + 1년[사고조건])으로 시험 (IEEE 649 or END 3220)

## 2. 원자력발전소 운전노화시험

### ◆ 운전노화 선정 방법

| Equip. | No. | Item            | Model | Maker | q'ty | remark |
|--------|-----|-----------------|-------|-------|------|--------|
| XX     | 1   | Cable           | A     | A-1   | 8    |        |
|        | 2   | Cable           | B     | B-1   | 9    |        |
|        | 3   | Air Flow Switch | C     | C-1   | 3    |        |
|        | 4   | Lug             | D     | D-1   | 22   |        |
|        | 5   | Fuse            | E     | E-1   | 4    |        |
|        | 6   | MCCB            | F     | F-1   | 2    |        |
|        | 7   | Relay           | G     | G-1   | 10   |        |
|        | 8   | Terminal Block  | H     | H-1   | 10   |        |

#### 9.5.1.13.3 Arrangements

The arrangement (physical position) of units within the vertical sections is critical to the seismic qualification of motor control centers. The arrangements of units shall be as specified in the equipment specification. If no arrangement is specified, then it is recommended that the test sample be arranged in the worst case seismic configuration to provide the greatest freedom for location of units within the motor control center when installed in the plant. Greatest freedom is achieved when the most seismically sensitive units and largest equipment masses are located in the test sample as near the top of the structure as is practical.

→ 제일 상단부의 위치한 제품을 대표성으로 선정 (출처: IEEE 649 Section )



### ◆ 운전노화 시험 방법 (운전노화 시험 전·후 성능시험)

<출처: IEEE 649 Section 8>

| No. | 품목   | AC 품목   | DC 품목  |
|-----|--|---|--|
| 1   | Auxiliary Relay / Contactor / Timing devices                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>코일 정격전압 85% ~ 110 % 동작 확인</li> <li>코일 정격전압 70 % 이상 드랍아웃 되지 않을 것.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>코일 정격전압 80% ~ 110 % 동작 확인</li> <li>코일 정격전압 70 % 이상 드랍아웃 되지 않을 것.</li> </ul> |
| 2   | Overload relay   | 정격전류 200 % 시험<br>(제조사에서 제시된 Curve 곡선내에 동작 확인)   | 동일   |
| 3   | Undervoltage and overvoltage relay / Ground fault-sensor relay | 특정한 운전노화 파라미터에 대해 공급자와 협의 필요  | 동일   |
| 4   | Switch   | 작동 및 차단   | 동일   |
| 5   | MCCB   | <ul style="list-style-type: none"> <li>동작 확인 (On/Off)</li> <li>200 % 과부하 시험 시 제조사에서 제시된 Curve 곡선내에 동작 확인</li> <li>순시 Trip 전류 80 ~ 120% Trip 제조사에서 제시된 Curve 곡선내에 동작 확인</li> </ul> | 동일   |
| 6   | Solid-state devices  | 공급자 또는 제작사 협의 필요  | 동일   |
| 7   | Fuse and Fuse Holder   | 정격전류 작동 확인  | 동일   |

## 2. 원자력발전소 운전노화시험

### ◆ 운전노화 시험 방법

<출처: IEEE 649 Section 8>

| No. | 품목  | 시험 방법   | 41년 기준   |
|-----|---|---|--|
| 1   | Auxiliary Relay / Switch / Contactor                            | 750회 (분당 최대 6회) 공칭전압으로 동작시키며, 한 개의 접점 (NC, NO)중 유도성 정격부하 전류를 인가   | 6150 회   |
| 2   | Under voltage and overvoltage relay / Ground fault-sensor relay | 특정한 운전노화 파라미터에 대해 공급자와 협의 필요  | 41년 기준 공급자 조건제시  |
| 3   | Overload relay  | 정격전류 200 % 에서 5회  | 41 회   |
| 4   | 600 A 이하의 MCCB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 ~ 600 %에서 2회 과부하 트립</li> <li>• 정격조건 100 %에서 125회 수동 운전 (분당 최대 4회)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 회</li> <li>• 1025 회</li> </ul> |
| 5   | 600 A 이상의 MCCB  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 ~ 600 %에서 2회 과부하 트립</li> <li>• 정격조건 100 %에서 60회 수동 운전 (분당 최대 1회)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 회</li> <li>• 492 회</li> </ul>  |
| 6   | Solid-state devices, Transfer switches                          | 공급자 또는 제작사 협의 필요  | 41년 기준 공급자 조건제시  |
| 7   | Pull apart terminal blocks                                      | 5회 체결 및 분리  | 41 회   |
| 8   | Transformer, Indicating light modules, Resistors                | 운전노화 불필요  | 운전노화 불필요   |
| 9   | Fuse and Fuse Holder  | 운전노화 불필요  | 자연노화(natural aging), 가속노화(accelerated aging)로 입증                           |

## 2. 원자력발전소 운전노화시험

### ◆ 운전노화 시험 시 고려사항

원자력발전소에서 **부품**에 대한 **운전노화 시험을 수행할 때** 안전성과 정확성을 보장하기 위해 다음과 같은 유의사항을 고려하여야 한다.

- Relay, Switch 접점에 부하는 유도성 및 저항성 부하를 이용
- 제품에 대한 설치 조건확인 후, 설치조건에 적합한지 확인
- 시료에 대한 분당 최고 속도 확인 후 시험 진행
- 운전노화 전·후 기능검사는 AC, DC 제품에 따른 시험 기준 확인
- 특정한 운전노화 파라미터에 대해 절차서 작성 전 계획 수립
- 실제 사용조건인 전압 및 전류 조건으로 시험
- 제품이 권장하는 연결단자 사용

## 3. 원자력발전소 운전노화시험 사례

### ◆ 사례1 : MCCB [41년 기준 / 1025회 노화]



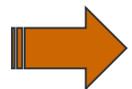
BDL26060

| Requirement or Value                 | Acceptance Criteria         | Pre-operational cycling | Post-operational cycling     |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Rated Current 200 %<br>(120 A) - 한시  | Trip Time<br>[90 ~ 400] sec | 1 P : 101.52 sec        | 1 P : 120.83 sec [약 19 % 증가] |
|                                      |                             | 2 P : 107.17 sec        | 2 P : 122.45 sec [약 14 % 증가] |
| Rated Current 1100 %<br>(660 A) - 순시 | Trip time<br>Below 12 sec   | 1 P : 0.517 sec         | 1 P : 2.117 sec [약 400 % 증가] |
|                                      |                             | 2 P : 1.294 sec         | 2 P : 2.998 sec [약 230 % 증가] |



BDL26080

| Requirement or Value                | Acceptance Criteria | Pre-operational cycling | Post-operational cycling     |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------|
| Rated Current 200 %<br>(160 A)- 한시  | 90 ~ 400 sec        | 1 P : 120.98 sec        | 1 P : 153.51 sec [약 26 % 증가] |
|                                     |                     | 2 P : 124.34 sec        | 2 P : 164.68 sec [약 32 % 증가] |
| Rated Current 900 %<br>(720 A) - 순시 | Below 12 sec        | 1 P : 1.266 sec         | 1 P : 4.309 sec [약 340 % 증가] |
|                                     |                     | 2 P : 1.489 sec         | 2 P : 3.351 sec [약 220 % 증가] |

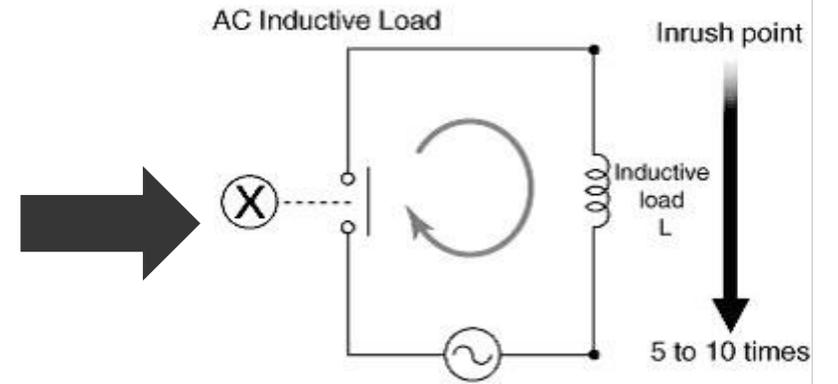
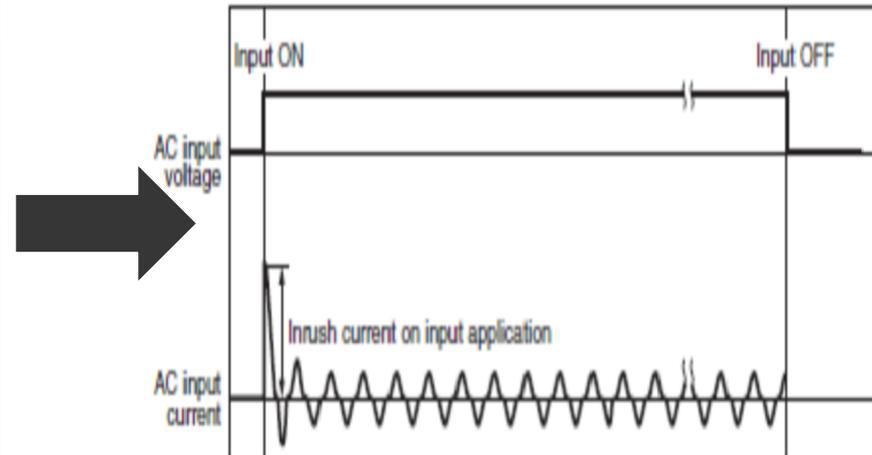


운전노화시험 후, 제품의 특성 [Trip 시간 및 노화특성]이 현저하게 변화됨을 확인함.

## 3. 원자력발전소 운전노화시험 사례

### 사례2 : Relay

⋮ 운전노화 운전노화 시험 후 접점위치 그을림 발생 (41년 기준 / 6150회 노화)

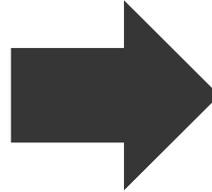


문제 발생 :  
운전노화 시험 후  
릴레이 접점 부분  
그을림 발생

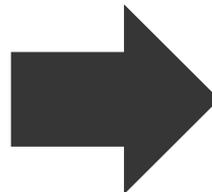
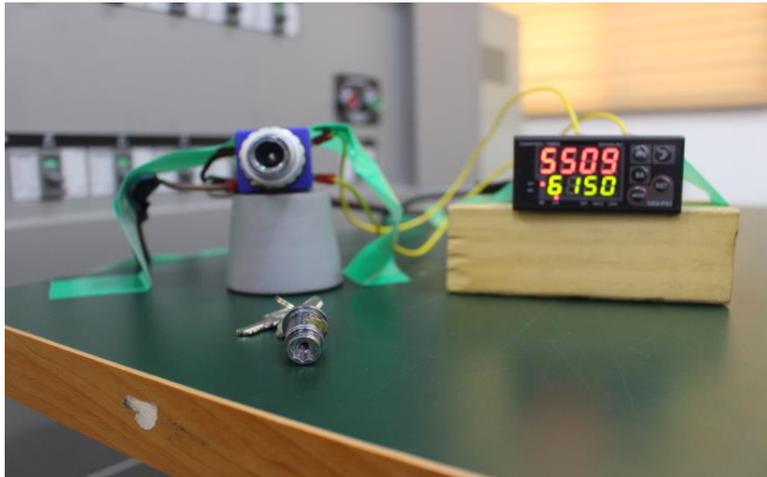
문제 원인 분석 :  
사용 장비 확인  
Capacitance 특성이  
있는 부하로 진행  
(지속적인 Inrush Current 발생)

해결 방안 :  
유도성 부하 (Inductive  
Load)를 사용하여  
재시험 진행, 제품정상

### 사례3: Limit Switch 운전노화 시험 중 Switch 미작동 [41년 기준 / 6150 회 노화]

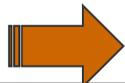


| 분류명 (Classified Type)                 | 형상 (Shape) | 형식구분 (Designation) | 최대 LEVER 동작각도 (Max. lever operating angle) |
|---------------------------------------|------------|--------------------|--|
| 로라레버형 (Roller lever type)             |            | YS 511RL, 611RL    | 좌우 (Left/Right) 90°                        |
| 양레버걸림형 (Both lever suspending type)   |            | YS 512RL, 612RL    | 좌우 (Left/Right) 90°                        |
| 로라조절레버형 (Roller adjusting lever type) |            | YS 513RL, 613RL    | 좌우 (Left/Right) 90°                        |
| 로드스프링레버형 (Rod spring lever type)      |            | YS 513SL, 613SL    | 좌우 (Left/Right) 90°                        |
| 로드조절레버형 (Rod adjusting lever type)    |            | YS 515L, 615L      | 좌우 (Left/Right) 90°                        |
| 푸시플런저형 (Push plunger type)            |            | YS 516P, 616P      | 상하 (Top,Bottom)                            |
| 톱볼형 (Top ball type)                   |            | YS 516PB, 616PB    | 상하 (Top,Bottom)                            |
| 로라플런저형 (Roller plunger type)          |            | YS 517RP, 617RP    | 상하 (Top,Bottom)                            |
| 코일스프링형 (Coil spring type)             |            | YS 518S, 618S      | 무지향성 (Non-directional)                     |
| 대로라레버형 (Large roller lever type)      |            | YS 519RL, 619RL    | 좌우 (Left/Right) 90°                        |



**작업지도서**

|   |   |  |                    |
|---|---|--|--------------------|
| 문서번호 : QW-G40-008   | 제품명 : AK 스위치  | 공정명 : KEY 볼타 + KEY 용지 조립                                     | 관련문서 : 도번 A40C017N |
| 소 1. 기어 볼트(M3x8L)<br>요 2. 기어 (2단, 3단)<br>자 3. 기어 O 링<br>재   | 4. 키 볼타 볼트 (M2x8L)<br>5. 키 맞새이 (φ25, φ30)<br>6. 홀타 (φ25, φ30) |  |                    |
| 작업방법<br>1. 우측 그림과 같이 볼타(6)에 키 맞새이(5)를 홈에 맞게 끼운다.<br>2. 우측 그림과 같이 키 볼타 볼트(4) 두개를 체결한다.<br>3. 우측 그림과 같이 단수에 맞는 기어(2)를 삽입한다.(쌍수 주문시 기어 O링(3)을 삽입)<br>4. 우측 그림과 같이 키 맞새이 가운데에 기어 볼트(1)를 체결한다. |   |  |                    |
| 관리방법<br>1. 조립 후 키의 회전이 원활 할 것.<br>2. 키와 기어 조립방향에 유의 할 것.<br>3. 기어는 주문사항에 따라 조립 할 것.(2단, 3단)   |   |  |                    |
| 주의사항<br>1. 오링 및 기어 마찰면은 수지용 오일 도포 할 것.<br>2. 토크 드라이버를 사용하여 8kgfcm로 작업 할 것.  |   | 개정 일자<br>1 2019.01.28 전동 드라이버 토크 기준 추가<br>0 2007.03.06 신규 제정 |                    |



**Switch 시험 시 최대동작범위, 토크 인자를 고려하여 시험을 진행 해야 할 것.**

## 3. 원자력발전소 운전노화시험 사례

### 사례4 : 모기기 구성하는 카드 중 Solid-state devices (41년 기준 / 제작사와 협의)

#### 접점부

|             |                                    |           |                                |
|-------------|------------------------------------|-----------|--------------------------------|
| 접점구성        | 1 Form A (SPST) to 1 Form C (SPDT) |           |                                |
| 접점재질        | Ag Alloy                           |           |                                |
| 초기접촉저항      | 100mΩ max.                         |           |                                |
| 정격전류 (저항부하) | 1 Form A                           | 1 Form B  | 1 Form C                       |
|             | 40A 14VDC                          | 30A 14VDC | NO: 40A 14VDC<br>NC: 30A 14VDC |

<실제 제품의 카탈로그 Spec>

| HR-AMRS-CE12 | 17VDC / 4.2A | - CNC-PPS-12 M01의 전원모듈에 입력되는 최대 전압 및 전류 적용   |
|--------------|--------------|--|
| 항 목          | 시험 기준        | 산출 근거  |
| 동작 횟수        | 726회         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 납품 시 성능 점검 : 54회                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 납품 시 1회</li> <li>• 시험 항목(8개) x 3회 x 2(마진)</li> </ul> </li> <li>- 정기점검(OH) 시 성능점검 : 672회                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 42년간 총 28번 점검(42년/1.5년)</li> <li>• 시험 항목(8개) x 3회</li> <li>• 실제 시험 항목은 납품 시 성능 점검 항목보다 적음</li> </ul> </li> </ul> |

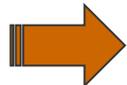
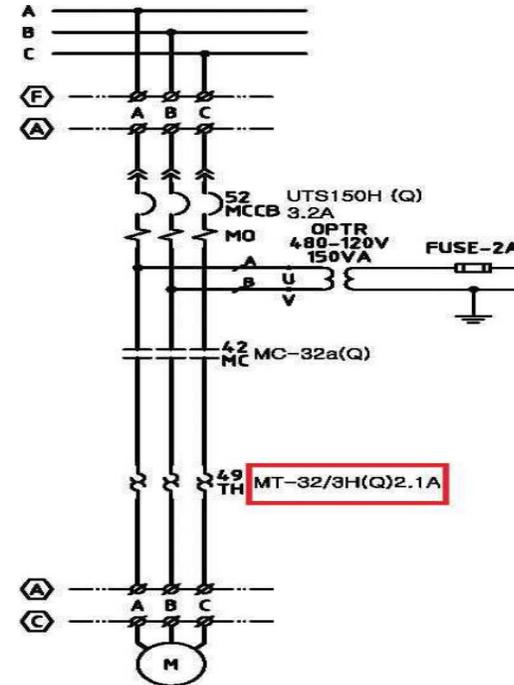
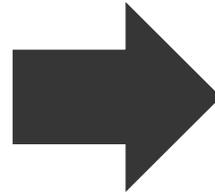
<제작사의 실사용 조건 및 파라미터 제공>



## 3. 원자력발전소 운전노화시험 사례

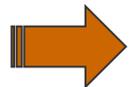
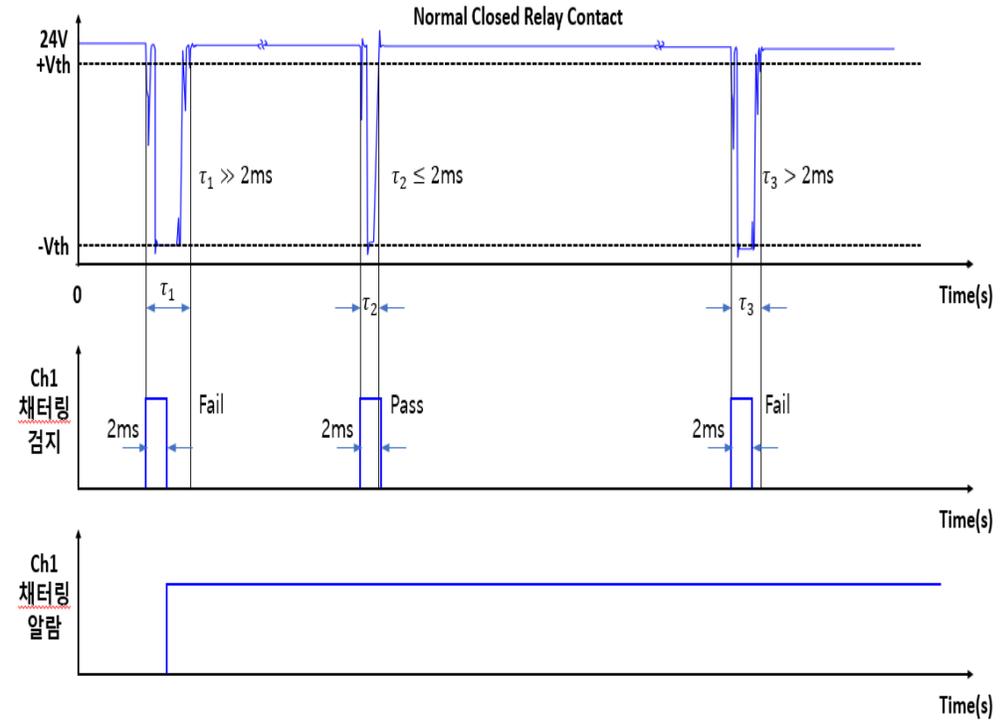
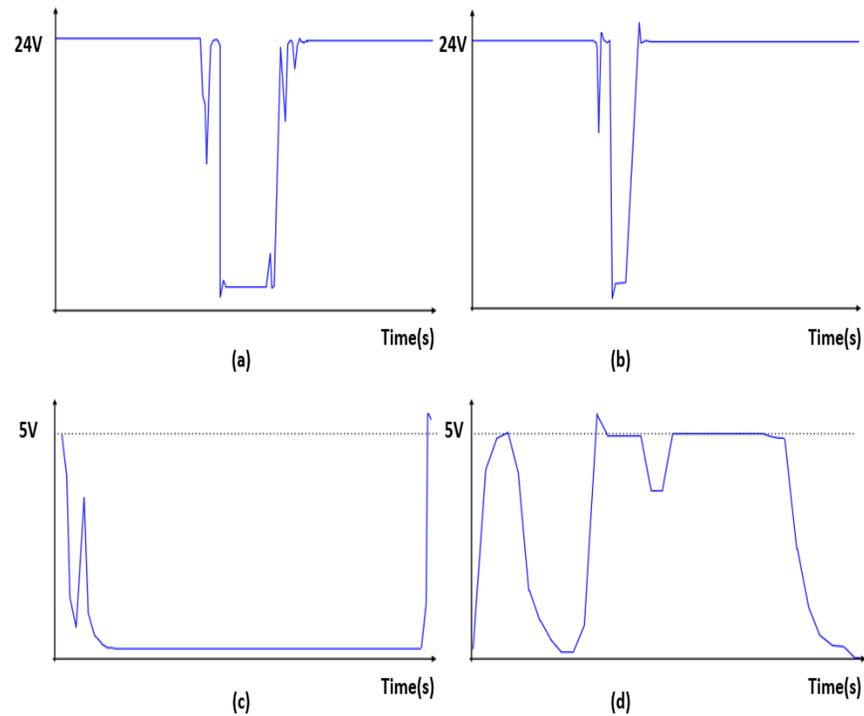
### 사례5 : OverLoad Relay 시험 전 중 후 Setting error [41년 기준 / 41 회 노화]

|             |      |              |              |                             |  |
|-------------|------|--------------|--------------|-----------------------------|--|
| OVERLOAD RY | LSIS | MT-32/3H (Q) | 1. Trip Test | 200 % Rated Current (1.3 A) | Should be tripped within 27 sec to 2 min |
|-------------|------|--------------|--------------|-----------------------------|--|



승인 된 절차서에 따라 시험 하기 에 앞서, BOM[도면]에 기재되어 있는 내용도 검토

### 사례6 : 운전노화 후 내진검증 (Chattering 발생)



운전노화시험 후, 내진성능평가 수행 시 발생하는 다양한 채터링 파형 및 수락기준

## 3. 원자력발전소 운전노화시험 사례

### 사례6 (계속)

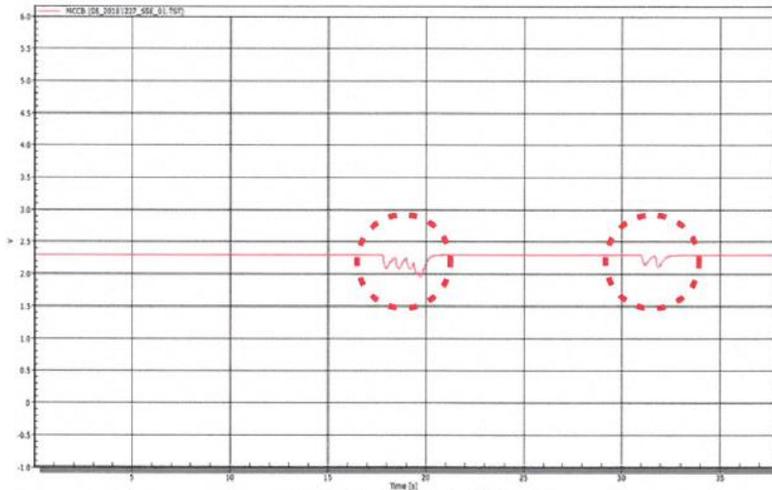


Fig.1 Chattering(MCCB)

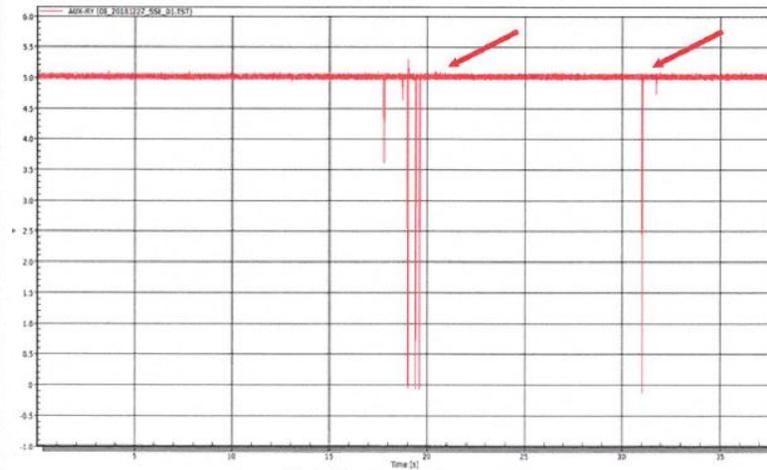


Fig.2 Chattering(Aux relay)

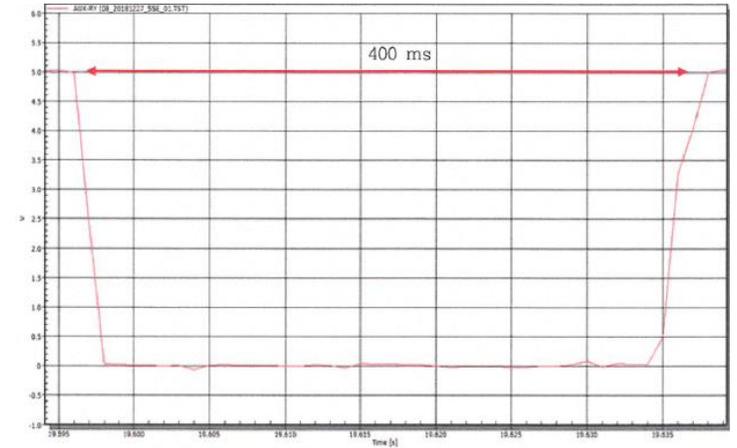
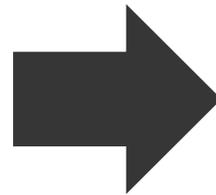


Fig.3 Chattering point(Aux relay)

문제 발생:  
다수의 운전노화 품목에서 SSE에 대한 내진값을 버티지 못하고 chattering 발생



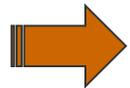
조치 방안 사례:

1. 운전노화 품목 배치 재고려
2. 전선 마감 절연 보강
3. 연결부 단자 강화
4. 접지 연결 확인
5. 제품 설치 방향 확인
6. 제품 구매시 기계적 수명 확인

## 4. 결론 및 향후계획

### ◆ 결론

- 운전노화 시험에 있어 정보 확인 필수 (코드, 제품 Spec, 도면, 모델명)
- 자재 특성을 고려
- 축척 된 데이터 적극 활용 (기존 납품 된 자재 Spare 확보)
- 운전노화 시험 후 내진검증(Chattering) 발생 여부 지소적 모니터링 강화
- 운전노화 시험 시간고려
- 제작사 실사용 조건에 대한 고찰



예산,시간,시설 불필요한 요소 감소 / 정확한 정보전달 / 합부판정 명확 / 문제발생 시 해결방안 제시

### ◆ 향후 계획

- 수명연장을 운전노화 시험 분석 (계속 운전을 위한 분석)
- 디지털 기기의 운전노화 시험 (디지털 기기에 맞는 운전노화 시험을 제시및 분석)

# QUESTIONS?

