

2002 추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## 원전 계측제어 기기 경년화 관리

### Ageing Management of I&C Equipments in NPPs

윤원영, 구철수, 부인형  
한국원자력안전기술원  
대전광역시 유성구 구성동 19

#### 요약

본 논문에서는 원전 안전관련 계측제어계통을 구성하는 신호감지기, 신호전송기, 지시기, 경보기, 기록계 모듈의 경년화 고장 내용을 분석하였다. 분석자료는 1984년에서 1988년까지 5년간 미국의 원전 고장보고서(LER)에 제시된 통계치를 사용하였으며 분석결과는 계통별 계측모듈의 고장분류와 운전 년도별 고장 추이로 나타내었다. 이외에도, 본 논문에서는 분석결과를 근거로 국내 원전 계측제어계통의 경년화 관리방안을 제시하였다.

#### Abstracts

This paper evaluates the age-induced failure of safety-related electronic modules particularly concerning to sensors, transmitters, indicators, annunciators and recorders used in nuclear power plant.. Failure data are collected from U.S. nuclear plant data bank of license event report(LER) from 1984 to 1988 and the evaluation results are presented with the system classification of failure module and yearly based failure variations. Additionally, the paper presents suggestions for effective ageing management strategy for domestic nuclear plant operation.

#### 1. 서론

1980년대 중반 이후 미국의 핵규제위원회(NRC)는 미국 내 원전의 기기 경년화로 인한 원전 안전성 문제를 정확히 진단하고 적절한 대응책을 수립하기 위한 중장기 원자력발전소 경년화 연구(NPAR)를 수행 중에 있으며 국제원자력기구(IAEA)를 위시한 유럽의 원전 보유국에서도 이와 유사한 형태의 원전 경년화 연구를 수행 중에 있다. 또한, 국내의 경우에도, 기기 경년화 문제는 최근 고리 1호기를 위시한 가동

원전의 주요 안전성 현안으로 부각되어 관련 연구가 활발히 진행 중에 있다.

원전 기기의 경년화 현상이란 원전 운전기간 중에 지속적으로 가해지는 내부 및 외부 스트레스로 인하여 대상 기기가 요구되는 기능을 충분히 발휘하지 못하고 성능이 저하되거나 기능을 상실하는 상태를 의미한다. 따라서 안전관련 기기 경년화 연구의 목적은 이러한 스트레스들의 실체와 진행 매커니즘을 규명하고 이를 효율적으로 관리 할 수 있는 방안을 수립하는 것이 되겠다.

그러나 원전 계측제어 기기의 특성상 그 수요가 방대하고 기기 제작업체 및 공급 모델의 종류가 매우 다양함으로 인하여 개별 기기의 경년화 현상을 각각 평가하고 이를 관리하는데는 현실적인 어려움에 직면하게 된다. 따라서 계측제어 기기 경년화 연구의 대부분은 제한된 범위의 안전관련 계측제어계통을 구성하는 주요 모듈에 대한 경년화 고장 내용을 평가하고, 이를 근거로 효율적인 기기 관리방안을 제시하는데 초점을 두고 있다.

본 논문에서도 이러한 측면에서 원전 안전관련 계측제어 계통을 구성하는 신호 감지기, 신호 전송기, 지시기, 경보기, 기록계 모듈의 경년화 고장 내용을 분석하고 이를 근거로 국내 원전 계측제어계통의 경년화 관리방안을 제시하고자 한다.

## 2. 경년화 스트레스

원전 운전 중 계측제어 기기에 가해지는 스트레스 인자는 환경 스트레스 인자와 운전 스트레스 인자로 구분할 수 있다. 이 중 환경 스트레스 인자는 외부 방사선, 온도, 습도 및 진동 등을 의미하며 운전 스트레스는 설비를 작동시키거나 운전하는 과정에 가해지는 전압, 전류 등을 의미한다. 이러한 스트레스의 영향은 설치기기의 위치, 설치조건 및 운전조건 등에 따라 각기 다르게 나타나며 때로는 이 중 몇 가지 효과가 상호 상승작용을 하는 스트레스 합성효과(Synergy Effect)로 나타나기도 한다. 이들 스트레스 인자의 내용과 그 효과를 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

### 2.1. 방사선 스트레스

방사선 스트레스는 원전설비에 한정되어 특수하게 나타나는 외적 스트레스이며 격납용기 내부에 설치되는 설비의 경년화에 가장 큰 영향을 주는 인자이다. 원전 운전환경에서 생성되는 주요 방사선으로는 알파선, 베타선, 감마선 및 중성자가 있으며 이 중 문제시되는 방사선은 베타선과 감마선 이다. 특히, 감마선의 경우는 발전소 운전 및 정지 기간 중에 항상 존재하며 물질 중 투과효과가 크므로 그 효과가 매우 광범위하게 나타나고 있다. 예로서, 전자설비의 절연재 및 연결부위에 널리 사용되는 천연고무의 경우, 감마선의 조사는 재질의 경화를 가속화시켜 절연저항과 탄성을 상실하게 하며 이로 인한 기기의 고장을 유발시킨다. 또한, 접착재 및 절연재로 널리 사용되는 플라스틱 소재의 경우에도 감마선 조사는 재질의 경화를 가속화시켜 이는 기기 고장의 원인이 된다. 이외에도 전자회로를 구성하는 반도체 부품,

저항, 캐패시터 등의 경우에는 방사선 조사에 의한 전기적 물리적 특성이 변화됨으로 인하여 이들 부품의 고장 및 성능저하가 발생된다.

## 2.2 온도 스트레스

온도 스트레스는 방사선 구역이 아닌 일반 환경에서 계측제어 부품의 경년화에 가장 영향을 미치는 인자로 알려져 있다. 또한, 온도 스트레스에 의한 경년화 현상은 이미 오래 전부터 광범위하게 연구의 대상이 되어왔으며 따라서 온도 스트레스와 경년화 현상과의 상관 관계도 Arrhenius 모델로 비교적 잘 규명되어져 있다. 계측제어 부품의 재질 중 온도 상승에 가장 취약한 것은 유기물 중합체 재질로서 대표적인 온도 스트레스 현상은 재질을 구성하는 탄소 사슬의 변형으로 인한 기계적, 전기적 성능의 저하를 초래한다. 특히, 장기간 대용량의 전류 또는 전압에 노출되는 전원공급기 회로의 경우, 자체 발생열로 인한 부품의 피로도가 누적되고 이는 조기 고장의 원인이 되어 중첩(다중) 설비의 공통원인 고장으로 작용한다.

## 2.3 습기 및 수분 스트레스

격납용기 내부에 설치되는 계측제어 모듈의 경우, 원전 운전 조건에서 종종 과도한 습기 및 수분에 노출되는 경우가 있으며 이는 부품의 성능저하를 초래하는 주요 원인으로 작용하게 된다. 특히, 계측제어 부품의 경우에 과도한 습기와 수분에 노출됨으로 인하여 회로간의 절연저항이 감소하고, 부품의 부식 및 화학적 변화를 유발하여 이는 설비의 고장 또는 성능저하의 요인이 된다. 이외에도 계측제어 모듈의 연결단자 또는 접속부위가 장기간 습기 및 수분에 노출되는 경우에는 연결부분의 접촉저항이 증가하여 신호 전송능력을 현격히 저하시키기도 한다.

## 2.4 진동 및 충격 스트레스

계측제어 설비의 운전 중 지속적으로 발생하는 기계적 진동은 부품의 피로도를 누적시켜 고장의 원인이 된다. 또한, 기계적 설정치 또는 교정 내용을 변화시키며 접속부 또는 연결구의 결합을 이완시키기도 한다. 이러한 현상은 현장 설치 기기의 경우에 주로 나타나고 있으나 제어실 내에 설치된 계측제어 부품의 경우에도 종종 발견되고 있다. 이외에도, 지속적인 기계적 진동 또는 대형 밸브 또는 펌프 등의 기동시에 단속적으로 발생하는 충격 진동이 일정 수준을 초과하는 경우에는 이로 인한 계측제어 기기의 고장이 종종 발생되고 있다.

## 2.5 스트레스 합성효과

기기의 경년화 스트레스에 의한 효과는 동일 스트레스라 할지라도 기기가 받는 스트레스의 종류별 적용내용에 따라 달라질 수 있다. 이와 같이 스트레스 합성효과란 다수의 스트레스가 동시에 복합적으로 작용하는 경우에 기기가 받는 스트레스 효과는 각각 스트레스 효과의 합보다 커지는 현상을 말한다. 예로서 온도 스트레스와 방사선 스트레스를 동시에 작용하는 경우의 총 스트레스 효과는 온도 스트레스

효과 + 방사선 스트레스효과 + 온도 및 방사선의 상호작용에 의한 스트레스효과로 나타난다. 여기에서 온도 및 방사선의 상호작용에 의한 스트레스효과가 바로 합성 효과에 해당한다. 현재까지 알려진 합성효과 중 중요한 것을 보면 열/방사선/진동 스트레스, 열/습도/방사선/진동 스트레스, 증기/화학물질 분무/방사선/진동 스트레스 등이 있으며 장기간 운전하는 경우에 그 효과가 크게 나타나는 것으로 알려져 있다.

## 2.6. 전자계 간섭 스트레스

전자계 간섭효과는 반도체 소자의 운전에 상당한 영향을 주고 있으며, 특히 디지털 장비의 경우에 전자계 간섭 스트레스에 매우 취약한 것으로 알려져 있다. 따라서 최근 전자 계측제어계통 설계의 디지털화 영역이 점차 확대되어감에 따라 전자계 간섭 스트레스에 의한 기기의 성능저하가 중요 관심사로 부각되고 있는 실정이다. 전자계 간섭효과는 발생잡음과 계측설비와의 결합방식에 따라 방사성(Radiated) 간섭 효과와 전도성(Conducted)간섭 효과로 구분되며 전자계 간섭을 유발하는 잡음 발생 원인으로는 일반적으로 전기용접 등에 의해 발생하는 과도펄스(Transient Impulse)와 낙뢰(Lighting), 무선 주파수 장비 및 전원 공급기 등이 있다.

## 2.7. 인적 스트레스

인적 스트레스란 운전 중 계측제어 설비의 건전성을 확인하기 위한 주기적 시험, 계측기기 교정과 기기의 오 조작 등으로 인하여 발생하는 기기 고장 및 성능저하를 의미한다. 이러한 효과는 기기의 운전 필수적인 것이나 빈번하게 수행될 경우에는 해당 기기의 수명을 단축하는 요인으로 작용한다. 따라서 최근에는 기기의 시험 및 교정 주기를 운전성능 측면에서 재검토하여 적절히 조정하기 위한 관련 연구가 원전 사업자에 의해서 수행되고 있으며 이를 기기 예방정비 프로그램에 확대 적용하려는 움직임이 점차 증가되고 있다.

## 3. 경년화 고장 분석

계측제어 설비의 고장율은 원전의 설계 내용 이외에도 운전 및 보수 활동에 따라 각각 다르게 나타난다. 따라서 국내 원전의 고유한 기기 고장율을 분석하여 적절한 대비책을 강구하는 것이 국내 원전에 대한 최선의 경년화 관리 방안이 될 것이다. 그러나 국내 가동 원전의 수효와 운전 년수가 고장자료 분석에 충분치 못하며 그간 국내 원자력 사업자에 의한 고장자료 분석이 체계적으로 이루어지지 못한 관계로 본 연구에서는 미국의 원전 고장보고서(LER)에 나타난 통계치를 근거로 비교평가를 시도하였다. 조사대상 자료는 NUREG/CR-5700 에 제시된 1984년에서 1988년까지 5년 간의 미국의 전 원전을 대상으로 자료를 정리한 내용을 채택하였다. 이에 따라 조사기간 중 나타난 안전관련 계측기기 모듈의 전반적인 고장 내용은 표 1에 나타

내었으며 보다 세부적인 고장분석 내용은 3.1절~ 3.5.절에 기술하였다.

표1. 안전관련 계측 모듈 고장데이터(1984~1988 LER)

계측모듈 분류	총 고장 건수	경년화 고장건수	경년화 고장율(I)	경년화 고장율(II)
감지기	424	199	32%	1.4%
전송기	296	79	12%	0.6%
제어기	397	105	17%	0.8%
지시기	997	220	35%	1.6%
경보기	101	17	3%	0.1%
기록계	61	8	1%	0.06%
총 계	2276	628	100%	4.6%

주1 : 경년화 고장율(I) = 개별 계측제어 모듈의 경년화 고장 건수를 전체 계측제어 모듈의 경년화 고장건수(628)로 나눈 값의 백분율

주2 : 경년화 고장율(II) = 개별 계측제어 모듈의 경년화 고장 건수를 전체 기기의 경년화 고장건수(13,726)로 나눈 값의 백분율

### 3.1. 신호 감지기

신호 감지기는 열악한 원전 운전조건에 직접 노출됨으로 인하여 비교적 경년화 현상이 급속히 진행되는 부분이며 따라서 경년화에 의한 고장도 매우 높게 나타나고 있다. 즉, 1984년에서 1988년 기간의 미국의 원전 LER을 분석한 결과에 의하면 총 424건의 고장내용 중 199건이 경년화에 의한 고장으로 이는 계측제거 기기의 경년화 고장의 약 32%를 차지하는 것으로 나타나고 있으며 이는 조사 기간 중 총 기기 고장율의 1.4%를 차지하고 있다. 또한, 초기에 대부분의 고장이 나타나고 있다. 표 2에는 기능별 감지기의 고장율을 나타내었으며 그림1에는 운전 연도별 신호 감지기의 경년화 고장 발생을 변화를 나타내었다.

표 2. 신호 감지기 고장 내용 분류

계통별 감지기 분류	고장 율(%)	계통별 감지기 분류	고장 율(%)
유해성 가스분석계통	40	온도 계측계통	9
방사선 감시계통	21	압력/차압 계측계통	4
핵 계측 계통	14	기타	12

### 3.2. 신호전송기

신호 전송기 모듈은 원전의 운전조건에 직접 노출되지는 않으나 대부분 격납용기 및 현장에 설치되는 관계로 비교적 경년화에 의한 고장이 높게 나타나는 부분이다. 상기 조사 기간 중 총 296건의 고장 내용 중 79건이 경년화에 의한 고장으로 이는 계측제거 기기의 경년화 고장의 약 12%를 차지하며 이는 총 기기 고장의 약 0.6% 정도로 나타나고 있다. 또한, 신호 전송기 모듈의 경우 설치 후 8년 이후 고장율이

급격히 증가하며 최대 수명은 약 18년 정도인 것으로 나타나있다. 표 3 에는 세부 계통별 신호 전송기 모듈의 고장율을 나타내었으며 그림 2에는 신호 전송기 모듈의 운전 년도별 경년화 고장 발생을 변화를 나타내었다.

표 3 신호 전송기 고장 내용 분류

계통별 전송기 분류	고장 율(%)	계통별 전송기 분류	고장 율(%)
원자로 냉각계통	22	고압 냉각수 주입계통	6
주 급수계통	12	비상 급수 지시/제어계통	6
증기계통	11	냉각수 주입계통	5
증기 발생기계통	8	노심 격리 냉각계통	5
터빈-발전기계통	8	원자로 냉각수 정화계통	5
보조 전력계통	6	기타	6

### 3.3. 제어기

대부분의 제어기는 비교적 운전환경이 열악한 현장제어 캐비닛에 설치되어있으며 잦은 출력 전류의 변화 등으로 인하여 고장율이 비교적 높게 나타나고 있다. 상기 조사기간 중에 나타난 고장 건수는 총 397건으로 이중 105건이 경년화에 의한 고장으로 판명되었다. 이는 총 계측제어 기기 고장 건수의 17%에 해당하며 전체 기기 고장의 0.8%에 해당하는 비율이 된다. 또한, 제어기의 경우에도 설치 후 약 9년 이후에서 고장율이 급격히 높아져서 최대 수명은 18년 정도인 것으로 나타나고 있다. 표 4에는 계통별 제어기 모듈의 고장 비율을 나타내었으며 그림 3에는 운전 년도별 제어기 모듈의 운전 년도별 경년화 고장 발생 변화율을 나타내었다.

표 4. 제어기 고장 내용 분류

계통별 제어기 분류	고장율(%)	계통별 제어기 분류	고장율(%)
보조/주급수 계통	25	핵계측계통	6
터빈-발전기계통	17	고압 냉각수 주입계통	5
증기 감지기	11	잔열제거계통	4
증기 발생기계통	10	제어봉 구동계통	2
노심격리 냉각계통	7	기타	6
노심 냉각계통	7		

### 3.4. 지시기

대부분의 지시기는 비교적 운전환경이 온화한 주제어실에 설치되어 있으나 일부 지시기의 경우에는 설치환경이 열악한 현장 제어반에 설치되어있다. 따라서 지시기의 고장율은 설치 환경에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 상기 조사기간 중 나타난 지시기의 고장건수는 총 997건으로 이중 220건이 경년화에 의한 고장으로 나타났다. 이는 전체 계측기기 고장 건수의 35%에 해당되며 총 기기 고장의 1.6%에 해당

하는 비율이 된다. 또한, 지시기의 경우, 설치 후 5년에서 고장율이 증가하여 이후에는 비교적 고장율이 균등하게 나타나고 있으며 최대 수명은 20년 정도인 것으로 나타나고 있다. 표 5에는 이러한 계통별 지시기 모듈의 고장 비율을 나타내었으며 그림 4에는 지시기 모듈의 운전 년도별 경년화 고장 발생을 변화를 나타내었다.

표 5. 지시기 고장 내용 분류

계통별 지시기 분류	고장율(%)	계통별 지시기 분류	고장율(%)
핵계측 계통	19	원자로 냉각재계통	3
공기정화계통	18	배기계통	3
방사선 감시계통	16	원자로 보호계통	2
유해성 가스측정계통	8	노심 격리 냉각계통	1
격납용기계통	7	원자로 냉각수 정화계통	1
증기계통	6	잔열제거계통	1
급수계통	4	기타	11

### 3.5 경보기

대부분의 경보기는 지시기와 마찬가지로 주제어실에 설치되어있으나 일부의 경보기가 현장제어 패널에 설치되어 있는 관계로 설치 환경에 따라 고장율도 상당한 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 상기 조사기간 중 나타난 경보기의 고장건수는 101건으로 이중 17건이 경년화에 의한 고장으로 나타났다. 이는 전체 계측제어 기기 고장의 3%에 해당하는 것으로 총 기기 고장의 0.1%에 해당한다. 특이한 것으로, 경보기 고장의 경우에는 타 부품과는 달리 설치초기에서 최대수명인 18년까지 매우 고장이 불규칙하게 나타나고 있는 점이다. 이는 경보기 고장이 운전원에 의해 수시로 쉽게 인지되는 관계로 잦은 고장 발생시 경보기에 대한 예방정비 활동이 강화되는 것과 관계가 있을 것으로 추정되어진다. 표 6에는 계통별 경보기의 고장율을 나타내었으며 그림 5에는 경보기의 운전 년도별 경년화 고장 발생을 변화를 나타내었다.

표 6. 경보기 고장 내용 분류

계통 분류	고장 율(%)	감지기 분류	고장 율(%)
주급수계통	21	노심 격리냉각계통	5
핵 계측계통	17	원자로 냉각수 정화계통	5
원자로 냉각재계통	12	기타	28
방사선 감시계통	12		

### 3.5 기록계

대부분의 기록계는 주제어실에 설치되어있으며 그 수효도 기타 계측제어 기기에 비하여 가장 적은 것으로 알려져 있다. 따라서 기록계의 고장율은 기타 계측제어

기기의 경우에 비하여 비교적 적게 나타나고있다. 상기 조사기간 중 나타난 기록계의 고장건수는 61건으로 이중 8건이 경년화에 의한 고장으로 나타났다. 이는 계측기기 고장의 1%에 해당하는 것으로 총 기기 고장의 0.06%에 해당한다. 그러나 기록계 고장의 경우에는 여타 모듈과는 달리 고장 데이터가 충분치 못한 관계로 고장 특성을 일괄적으로 규정하기 어려우며 단지 기록계의 최대 수명은 18년 정도인 것으로 추정할 수 있을 뿐이다. 표 7에는 주요 계통별 기록계의 고장 비율을 나타내었으며 그림 6에는 이러한 기록계의 운전 년도별 경년화 고장 발생을 변화를 나타내었다.

표 7. 기록계 고장 내용 분류

계통 분류	고장 율(%)	감지기 분류	고장 율(%)
급수계통	38	지진 감시계통	12
터빈-발전기계통	25	방사선 감시계통	12
원자로 냉각재계통	13		

#### 4. 경년화 관리

계측제어 기기의 경년화 현상은 기기 설치 이후 지속적으로 진행되는 과정이므로 이의 관리도 설치 초기 단계부터 지속적으로 이루어져야한다. 또한, 효율적 경년화 관리를 위해서는 원전의 운전특성과 운영체계 등을 고려하여 체계적 관리프로그램을 확립하여야한다. 이를 위하여 원전 공급자는 운영기술지침서 및 관련 절차서 등에 계측제어 기기의 관리지침을 제시하고있으며 규제기관은 이의 이행 여부를 주기적으로 확인하고 있다. 현재 국내 원전 사업자에 의해 수행되는 경년화 관리 내용을 간략히 기술하면 다음과 같다.

##### 4.1. 기기 교체

기기 교체방법은 문제시된 기기를 신품의 기기를 교체하는 것으로 기기의 성능을 최상의 상태로 유지할 수 있는 이상적인 방법이나 경제적인 관점에서 교체 시점에 대한 충분한 검토가 요구된다. 따라서 국내 원전의 경우에 원전 사업자는 계측제어 기기의 관리등급을 안전성 관점에서 4등급으로 분류하고 이중 1등급 및 2등급 기기의 경우에는 기기 교체주기를 각각 10 주기 및 15주기로 규정하고, 이들 기기 교체주기에 따라 고장 여부에 관계없이 기기를 교체하고있다. 그러나 3, 4등급 기기의 경우에는 현장 실무 부서의 판단에 의거 단지 고장이 발생된 기기만을 선별적으로 교체하거나 기기 시험 및 보수 과정 중 발견된 성능저하 기기만을 교체하고 있다. 이외에도 특수한 환경에서 운영되는 비안전성 관련 기기의 경우에는 성능 저하된 기기를 일정기간 계속운전 후 정해진 보수기간 중에 보수하기도 한다.



#### 4.2. 주기적 시험

대부분의 원전 계측제어 설비들은 주기적으로 동작상태를 점검하고 기기의 운전성을 확인하고 있으며 점검기준은 제작사 또는 설계사의 권고에 따라 수행된다. 안전관련 계측제어 기기들의 점검기준은 발전소 운영기술지침서에 기술되어있으며 원전 사업자는 이들 내용에 의거 주기적 시험 및 점검을 수행하고 있다. 수행되는 주기적 시험 및 점검내용은 계측제어 채널점검, 채널 기능시험, 채널 교정상태 확인 시험, 채널 응답시간 측정시험, 보호논리 회로점검 등이 있으며 각각에 대한 세부 내용 및 방법 등은 관련 절차서에 기술되어있다.

#### 4.3. 운전상태 감시

운전 상태감시는 주로 운전 중 접근이 어려운 계측제어 기기의 건전성을 간접적인 방법에 의하여 감시하는 방법으로 원전 산업계에 의해서 다양한 방법이 제시되고 있으며 매우 경제적이고 효율적으로 분석하고 있다. 예로서, 진동 분석법 또는 잡음 분석법은 펌프 모터 등의 회전기기 상태를 진단하는 효과적인 방법으로 알려져 보편화 사용되고 있으며 따라서 국내 원전에서도 이들 방법을 적용하여 운전 중 일부 기기의 건전성을 실시간으로 감시하고 있다.

#### 4.4. 예방정비 절차의 최적화

잡은 주기적 시험 및 교정은 때로는 기기 부품의 기계적 또는 전기적 피로도를 누적시킴으로서 불필요한 고장을 유발시킬 수 있다. 또한, 인위적인 운전개입이나 기기의 오작동 등으로 원전의 운전 안전성을 저해할 수 있다. 이와 관련하여 최근에는 확률론적 안전성분석 결과를 근거로 원전 계측제어 기기의 예방정비 및 보수 계획을 최적화하려는 움직임이 국내 원전 사업자에 의해서 시도되고 있다. 예로서, 신뢰도 기반 보수(RCM)기법은 계측제어 설비의 고장 이력과 고장 유형 등을 분석하고 해당 설비의 안전 중요도를 고려하여 최적의 예방정비 절차를 수립하는 것들을 들 수 있다.

#### 4.5. 설치환경 감시

원전 계측제어 기기의 수명은 설치환경에 크게 좌우된다. 일반적으로 계측제어 기기의 수명은 제작자가 가정한 운전 조건에서 정상운전이 이루어지는 것을 전제로 한 것이다. 만일, 계측제어 기기의 운전조건이 예상 운전조건 보다 개선된다면 기기의 수명을 더욱 연장시킬 수 있을 것이나 운전 조건이 예상 운전조건 보다 가혹하게 지속되는 경우에는 기기의 수명이 단축될 수 밖에 없다. 따라서 원전 사업자는 계측제어 기기의 설치 환경을 조사하여 이를 예상 운전 조건과 비교함으로써 기기의 운전 수명을 현실적으로 예측하고 이를 예방정비 계획수립에 반영하고 있다.

## 5. 결 론

원전 계측제어 기기의 경년화 고장율을 살펴보면 핵계측계통, 방사선 감시계통 및 공기 정화계통 감지기과 지시기의 경우에 고장율이 비교적 높게 나타나며 해당 기기의 수명도 비교적 짧게 나타남을 알 수 있다. 또한, 현장에 설치된 제어기와 전송기의 경우에도 제어실에 설치된 기기에 비하여 경년화 고장율이 비교적 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 현장에 설치된 이들 기기에 대하여 방사선에 의한 스트레스와 온도 및 기계적 스트레스 등에 의한 스트레스 합성효과가 강하게 작용하여 경년화 고장율이 상대적으로 높게 나타나는 것으로 추정되며 이러한 관점에서 이들 기기의 설치 및 운전환경에 대한 개선이 필요할 것으로 사료된다.

한편, 이러한 경향은 국내 원전의 경우에도 유사하게 나타날 것으로 추정되어진다. 따라서 국내 원전의 안전성 증진을 위하여 우리의 경우에도 국내 원전 고유의 계측 기기 경년화 고장에 대한 체계적 분석이 보다 확대되고, 이와 병행하여 원전 계측 제어 기기에 대한 다음과 같은 사업자 관리체제가 확립되어져야할 것이다.

- 1) 주기적 점검 및 시험으로 계측제어 기기의 성능을 주기적으로 확인하고 해당 기기 성능이 일정기간 보장 될 수 있는가를 분석하는 체제를 강화하여야 한다.
- 2) 문제시된 계측제어 기기 또는 관련 부품이 적시에 교체되어 기기 성능이 일정 수준을 유지할 수 있도록 충분한 예비부품을 확보하여야한다.
- 3) 안전관련 계측제어 기기의 성능, 신뢰도 및 잔여수명 등을 주기적으로 평가하여 그 결과를 발전소 보수계획에 반영하여야한다.
- 4) 안전관련 계측제어 기기의 경년화 성능저하 및 고장원인을 분석하여 문서화하고, 이를 최소화할 수 있는 적절한 대비책을 강구하여야한다.
- 5) 발전소 위험도 관점에서 중요 기기에 대한 특별관리 프로그램을 수립하고 이를 집중 관리하여야한다.

## 6. 참고 문헌

1. IAEA, Management of Ageing of I&C Equipment in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1147, June 2000
2. IAEA, Data Collection and Record Keeping for the Management of Nuclear Power Plant Ageing; A Safety Practice, Safety Series, No. 50-P-3, 2000
3. IAEA, Methodology for the Management of Ageing of Nuclear Power Plant Components Important to Safety, Technical Report Series, No. 338, 1992
4. ORNL/NRC, Ageing Assessment of Reactor Instrumentation and Protection System Components, NUREG/CR-5700, 1992
5. 윤원영 외, 국내 웨스팅하우스형 원전 보호계통의 안전성 분석, KINS/AR-705, 한국원자력안전기술원, 1999. 12

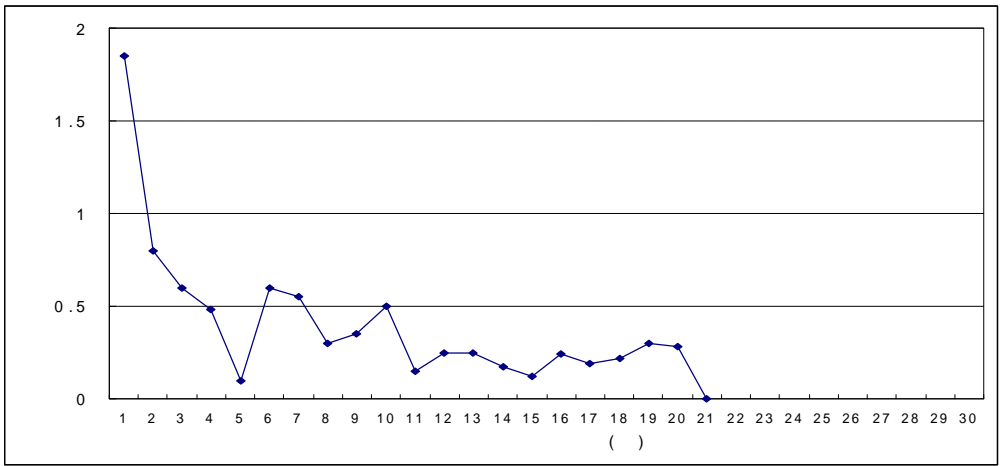


그림 1. 운전 년도별 감지기 경년화 고장 건수

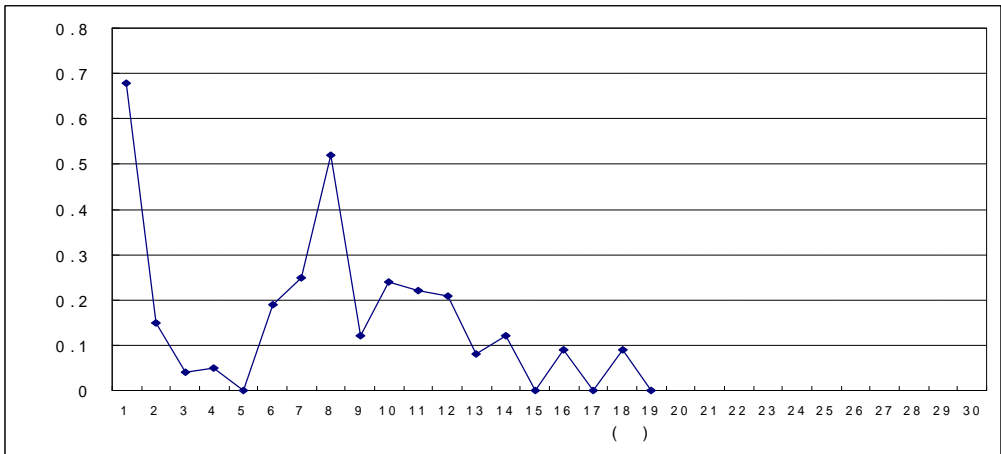


그림 2. 운전 년도별 전송기 경년화 고장 건수

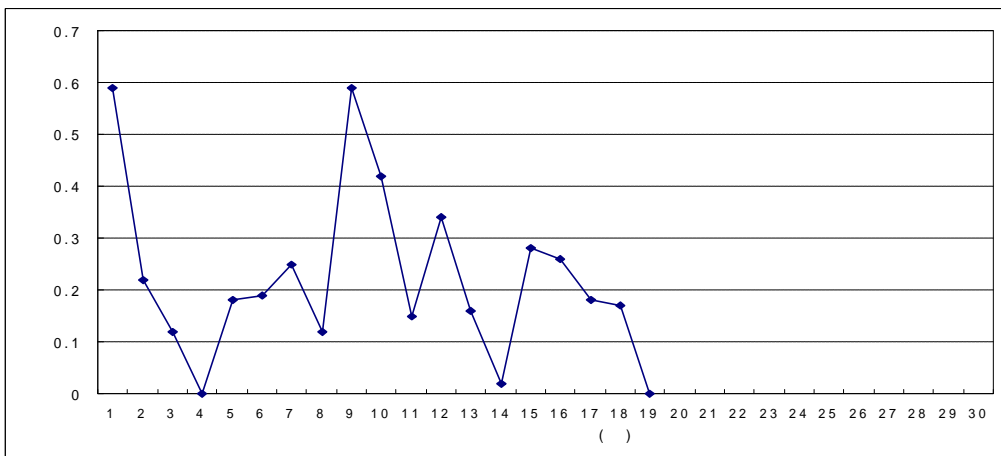


그림 3. 운전 년도별 제어기 경년화 고장 건수

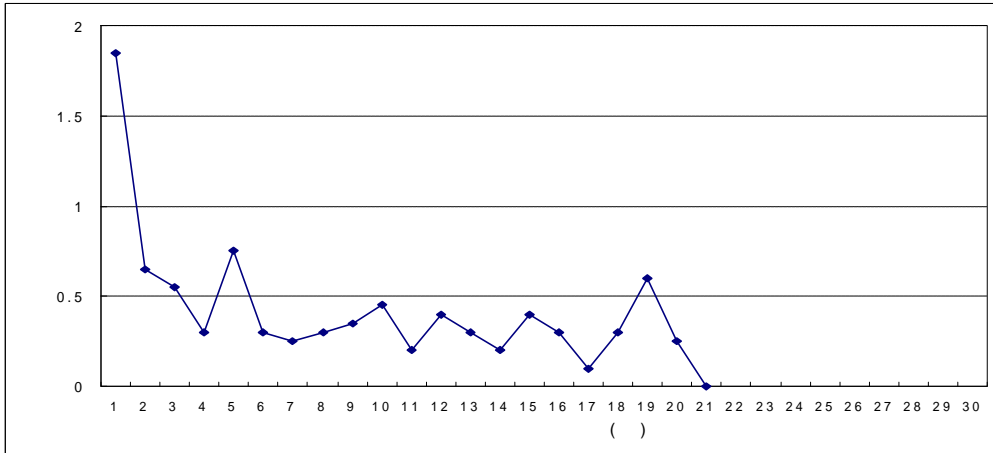


그림 4. 운전 년도별 지시기 경년화 고장율

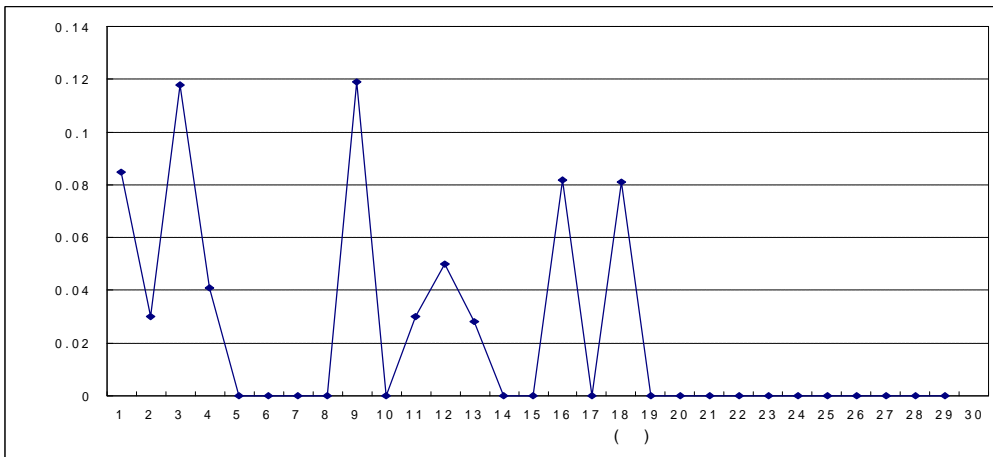


그림 5. 운전 년도별 경보기 경년화 고장율

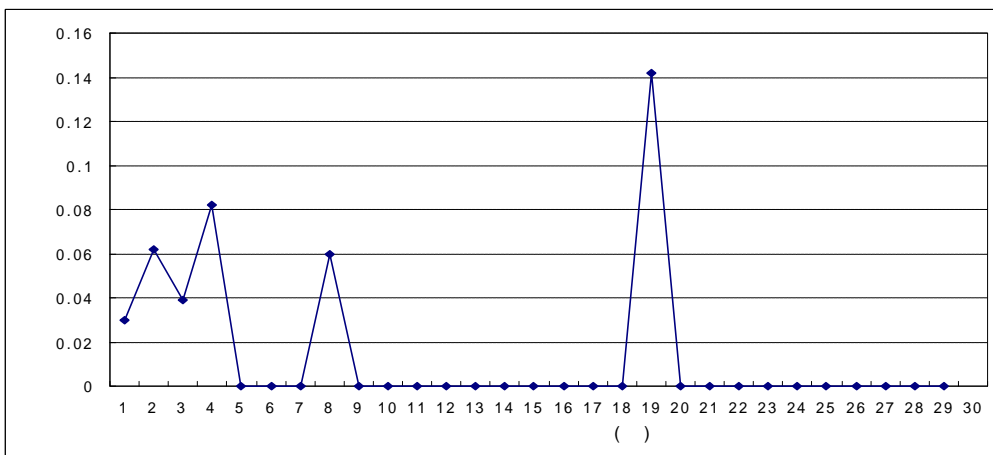


그림 6. 운전 년도별 기록계 경년화 고장율