



KR0101212

KAERI/AR-571/2000

디지털 계측 제어 기기의 확률론적 안전성평가를
위한 하드웨어 신뢰도 예측 방법

Methodologies of the Hardware Reliability Prediction
for PSA of Digital I&C Systems

한국원자력연구소

32 / 48

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2000년도 “차세대원자로 설계관련 요소기술 개발” 과제의 기술
현황분석보고서로 제출합니다.

2000. 9.

주 제 자 : 정환성

공 제 자 : 성태용
엄홍섭
박진균
강현국
박종균

요약문

디지털 계측제어 시스템의 사용이 확산되고 규제 방향이 위험도 기반으로 정착되면서 디지털 계측제어 시스템의 확률론적 안전성 평가의 필요성이 대두되었다. 소프트웨어와 하드웨어를 통합한 시스템에 대한 신뢰도 예측 방법은 아직까지 확립된 것이 없다. 본 보고서에서는 디지털 계측제어 시스템의 하드웨어의 신뢰도 예측에 사용될 수 있는 방법들을 조사하였다. 하드웨어의 신뢰도 예측방법은 이미 많이 개발되어 있고, 사용목적에 따라 방법을 달리하고, 그에 따른 예측 결과도 서로 다르게 나타나고 있다. 따라서 각 방법들의 특징과 장단점을 분석하고, 특히 대표적인 신뢰도 예측 방법인 MIL-HDBK-217 과 Bellcore TR-332 방법을 집중 비교 검토하였다.

본 보고서에서는 시스템 수준에서 정량적인 신뢰도 평가를 하는데 사용할 수 있는 방법에 대하여도 검토 분석하였다. 또한 계측제어시스템의 하드웨어 신뢰도 예측에 사용하는 소프트웨어들의 현황도 조사하였다.

SUMMARY

Digital I&C systems are being used widely in the non-safety systems of the NPP and they are expanding their applications to safety critical systems. The regulatory body shifts their policy to risk based and may require Probabilistic Safety Assessment for the digital I&C systems. But there is no established reliability prediction methodology for the digital I&C systems including both software and hardware yet. This survey report includes a lot of reliability prediction methods for electronic systems in view of hardware. Each method has both the strong and the weak points. This report provides the state-of-art of prediction methods and focus on Bellcore TR-332 method and MIL-HDBK-217F method extensively. The reliability analysis models are reviewed and discussed to help analysts. Also this report includes state-of-art of software tools for the reliability prediction.

목차

요약문 -----	2
제 1 장 서론 -----	7
제 2 장 신뢰도 개요 -----	8
2.1 개요 -----	8
2.2 하드웨어의 수명 곡선 -----	8
2.3 신뢰도 모델 -----	11
2.4 고장 분포 -----	15
2.5 신뢰도 예측에 필요한 요건 -----	16
2.6 신뢰도의 분류 -----	16
2.7 신뢰도 예측 절차 -----	17
2.8 신뢰도 예측 결과의 이용 -----	18
2.9 원자력 발전소 계측제어시스템의 신뢰도 요건 -----	19
2.10 원자력 분야의 PSA 에서의 신뢰도 예측 결과 이용 -----	21
제 3 장 고장데이터(부품의 신뢰도 예측) -----	22
3.1 개요 -----	22
3.2 MIL-HDBK-217 -----	25
3.3 Bellcore TR-332 -----	33
3.4 부품 신뢰도 예측 방법 비교 -----	49
3.5 MIL-HDBK-217 과 Bellcore TR-332 의 비교 -----	53
제 4 장 시스템 신뢰도 분석 방법 -----	55
4.1 개요 -----	55
4.2 부품 카운트 법 -----	55
4.3 신뢰도 블록도 법 -----	56
4.4 고장 수목 분석법 -----	58
4.5 상태 천이도 분석법 -----	60
4.6 페트리 넷 -----	62
4.7 몬테 카를로 시뮬레이션 모델 -----	63
4.8 GO 방법 -----	64
4.9 단계화 임무 분석법 -----	64
4.10 복합 기술 -----	65

제 5 장 신뢰도 예측 소프트웨어 도구 -----	66
5.1 부품 신뢰도 예측 -----	66
5.2 시스템 신뢰도 예측 -----	67
제 6 장 문제점 및 향후 과제 -----	71
제 7 장 참고 문헌 -----	73

제 1장 서론

전자 기술의 발달과 더불어 계측제어 시스템에서 디지털 기술로 대표되는 컴퓨터의 사용은 필수적이 되었다. 이러한 추세는 일반 산업계에서 분산 컴퓨터 시스템 또는 프로그래머블 제어기 형태의 제어 시스템으로 개발되어 쓰이고 있다. 그리고 일반 산업계에서는 그 사용범위와 적용의 대상이 광범위하여 그 성능을 인정받고 있다. 그리고 원자력 발전소의 계측제어 계통에서도 비 안전 계통에서는 널리 사용하고 있다. 다만 보호계통 등 안전과 직접 관련되는 계통에서는 성능 검증 및 입증 과정의 어려움으로 일반화되어 있지는 않지만 새로 건설 및 연구되는 원자력 발전소에서는 보호계통을 포함한 모든 계측제어 시스템의 디지털화 추진하고 있다. 그러나 현재 어려움을 겪고 있는 것은 디지털 계측시스템의 사용에 관한 인허가이다. 아직까지 이에 대한 확고한 규제 지침이 없고, 산업계에서도 이에 대한 표준이 확립되어 있지 않다. 다만 규제의 방향이 위험도 기반으로 변화되면서 디지털 계측제어 계통의 규제도 정량 분석을 이용하는 방향으로 정착되고 있다. [1] 디지털 시스템은 특성상 기존의 아날로그 기기의 정량 분석방법을 따르는데 어려움이 있다. 아날로그 시스템에서는 신뢰도 모델링 시 하드웨어만을 고려하면 되었으나 디지털 시스템은 하드웨어만으로는 그 기능을 모델 할 수 없다. 하드웨어는 소프트웨어가 주어진 기능을 수행하기 위한 기반만을 제공한다. 따라서 전체 시스템의 신뢰도를 분석하기 위하여는 이 두 가지가 복합된 것을 다루어야 한다. 물론 하드웨어와 소프트웨어를 나누어 각각의 신뢰도를 계산하는 방법은 많이 개발되어 있다. 물론 이들 방법도 아직 전형적인 방법으로서 자리잡고 있지 못한 실정이다. 그리고 역시 이들을 통합하여 다루는 분야도 현재 논의가 활발하게 이루어지고 있다. [2]

본 보고서에서는 디지털 계측제어시스템의 하드웨어만을 고려하여 이의 신뢰도를 정량적으로 평가하는 방법들을 검토하고 비교하고자 한다. 규제기관의 기본적인 입장은 디지털 시스템이 아날로그 시스템보다 신뢰도가 떨어지지 않아야 한다는 것이다. 그러나 아직까지 디지털 시스템의 신뢰도가 아날로그보다 신뢰도가 크게 좋다는 입증은 하지 못하고 있다. 이와 같은 원인은 여러 가지가 있겠지만 소프트웨어의 고장이 명확하게 밝혀지지 않았고, 또한 디지털 시스템은 집적도가 높기 때문에 하나의 부품이나 기기에 많은 기능이 주어져서 특정 부품의 고장이 전체에 미치는 영향이 크게 나타나는 것도 하나의 원인이 될 수 있을 것이다. 그리고 소프트웨어와의 간섭 부분에 대한 명확한 구명과 상호작용으로 인한 고장의 발생역학이 고려되지 않기 때문이다. 이런 관점에서 보면 그동안 보수적으로 계산하던 부품의 고장율을 가능하면 정확하게 계산할 필요가 있다. 이러한 노력은 원자력 발전소 등에서 수집한 고장자료를 피드백 하여 정확하게 데이터베이스를 만드는 일과 모델 방법의

적절함을 모색하는 것으로 규정 할 수 있을 것이다. 하드웨어의 부품의 신뢰도 예측방법은 이미 많이 개발되어 있으나, 사용목적에 따라 고장 데이터와 그 적용 방법을 약간씩 달리한 것들이 있고, 그에 따른 예측 결과도 서로 다르게 나타나고 있다. 시스템이나 유닛 단위의 모델링 방법은 고장을 배제하기 위한 중복 구성을 다룰 수 있다. 그리고 최근에는 상태 천이를 시뮬레이션을 할 수 있는 페트리 넷과 같이 소프트웨어와의 상호작용을 고려할 수 있는 방법들이 연구 및 개발되고 있다.

본 보고서는 디지털 계측제어기기의 하드웨어에 적용할 수 있는 신뢰도 예측 방법과 부품의 고장률 예측 방법들을 비교 검토하여, 디지털 계측제어시스템의 신뢰도 정량 평가 시에 도움을 주고자 한다.

제 2 장 신뢰도 개요

2.1 개요

1991년 미국 전자공학회 생산성 조사(American Electronics Association 1991 Productivity Survey)에 의하면 고도의 기술 시장에서 성공하기 위한 가장 중요한 요소로 상품의 품질과 신뢰성이 보고되었다. 이처럼 사용자의 고도의 품질 요구에 따라 시스템의 신뢰성에 대한 중요성은 어느 때보다도 강조되고 있다. 여기서 신뢰성(reliability)이란 시간에 따른 품질 특성(time domain quality)으로서 '규정된 사용 조건 하에서 시스템이 일정 기간동안 정해진 기능을 만족할 만하게 수행할 확률'로 정의된다. 즉, 부품이나 시스템이 주어진 환경에서 고장(failure) 없이 일정 기간동안 요구되는 기능을 수행하는 능력을 의미하는 정성적(qualitative)인 정의에서 출발하여 오늘날에는 경제성을 고려하여 확률을 도입한 정량적(quantitative)인 개념으로 확장하여 정의되고 있다. 하드웨어 관점에서의 신뢰도를 정의하면 '하드웨어가 주어진 목적에 맞는 실제 적용환경에서 충분한 시간동안 공장에서 출고 될 때의 성능이나 특성을 만족시키는 것'으로 해석할 수 있다. 이와 같이 기본적으로 신뢰도는 결정론적인 변수가 아니므로 확률로서 표현되어야 한다. 신뢰도는 성능, 시간, 사용조건의 함수이다. 성능은 고장인가 아닌가를 결정하는 성능기준이다. 이 성능기준을 만족하지 못하면 고장으로 분류된다. 시간은 대상 시스템이 주어진 성능을 나타내면서 작동하여야 하는 운전 시간이다. 사용조건은 시스템이 작동되는 모든 환경, 즉 정상상태뿐만 아니라 과도 상태, 주기적인 변화상태에서의 대기적, 물리적, 전기적, 열적 환경 조건을 의미한다.

2.2 하드웨어의 수명 곡선

신뢰성을 측정할 수 있는 척도(measure)로는 신뢰도(reliability), 가용도(availability), 평균 고장 시간(mean time between failures: MTBF), 고장 시간(down time), 고장률(failure rate) 등이 있다. 신뢰도란 부품이나 시스템이 규정 조건 하에서 일정 기간동안 요구되는 기능을 수행할 수 있는 확률을 의미하고, 가용도란 시스템이 장기적으로 운용되었을 때 전체 운용시간에 대한 정상적으로 작동한 시간의 비율을 나타낸다. 평균 고장 시간이란 부품이나 시스템이 고장 없이 기능을 수행할 평균 시간을 의미하고, 고장 시간이란 시스템이 고장 상태에서 머무는 연 평균시간을 뜻한다. 고장률이란 주어진 측정 단위 시간에 대한 고장 횟수로서 어느 시점까지 고장 없이 동작해 오던 시스템이 그 시점부터 단위 시간 내에 고장

을 일으키는 비율을 나타낸다. 이의 변화를 보이기 위해 하나의 제품이나 부품의 고장 특성을 전체 수명기간에 걸쳐볼 때 세 구간으로 나누어 고려하고 그림 1과 같은 곡선으로 나타낸다.

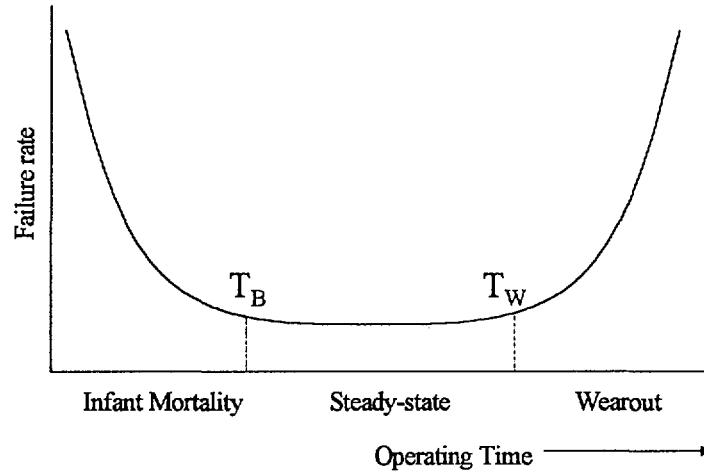


그림 1 전자 부품의 수명 특성 곡선 (Bathtub Curve)

2.2.1 초기 고장기간 (Infant Mortality)

부품의 모집단은 수명 초기에 높은 고장률을 나타내게 된다. 이 기간 동안에 고장률은 급격히 감소하여 고장이 없어지는 시점 T_B 에서 특정한 값으로 안정되는데 이러한 초기 고장은 잘못된 작업(설계에서 벗어난 작업)으로 인하여 부품 자체에 내재되는 결함, 수송 중 입는 충격 또는 설치시의 과오 등에 의해 발생한다. 특히 새로운 장비에서 초기 고장률이 높게 나타나는데, 많은 제작자들은 그 제품들을 출하하기 전에 초기 고장 배제기간을 두어 대부분의 초기 고장들이 제거되도록 함으로써 사용시 높은 수준의 신뢰도가 유지되도록 하는데 도움을 준다. 이러한 초기 고장의 예로서는 다음의 것들이 있다.

- 잘못된 용접이나 접착
- 잘못된 납땜 결합
- 잘못된 연결
- 재료의 표면이나 내부의 이물질이나 오염물질
- 금속이나 절연체내의 화학적 불순물
- 절연체나 보호 코팅내의 틈, 균열, 얇은 얼룩들
- 부품의 잘못된 위치선정

이러한 초기 고장들 중의 많은 부분은 제조 과정에 대한 통제를 개선함으로써 예방될 수 있다. 종종 이러한 제조상의 오차를 줄이기 위해 설계나 재료의 개선이 요구되지만 근본적으로 이러한 고장들은 부품이나 완제품의 제조능력과 제조과정에 대한 통제를 반영한 것이다. 그 결과 이러한 초기고장들은 공정 중 시험과 최종 시험, 공정 검사, 수명 시험, 환경 시험 중에 나타난다.

2.2.2 유효 수명기간 (Steady State)

초기 고장 배제가 이루어진 후에 부품의 모집단은 가장 최저의 고장률에 도달하게 된다. 이후 고장률은 이 수준에서 비교적 일정하게 유지된다. 이와 같은 일정한 고장률의 유지는 마모 또는 열화에 의해 고장률의 변화가 완만하게 이루어지기 전까지 계속된다. 이 두 번째 기간을 유효 수명기간이라고 부르며 주로 고장과 관련된 부하의 발생에 의해 특징 지워진다. 고장분포로는 지수분포가 이 기간을 설명해주는 수학적 모델로 널리 쓰이고 있다. 이 기간은 하드웨어의 형태에 따라 다르지만 신뢰도를 설계하는데 있어서 가장 중요한 기간이며, 또한 신뢰도 예측이나 평가에 있어서도 가장 중요한 기간이다.

2.2.3 마모 고장 기간(Wear-out)

마지막 수명기간은 부품 모집단의 고장률이 현저히 증가하는 지점 T_w 에서 시작된다. 이 지점은 유효수명의 끝 혹은 마모의 시작이라고 정의되는데 시간 축에서 이점을 지나게 되면 고장률은 급격히 증가하게 된다. 마모에 의한 기계의 고장이 한계 값 이상이면 부품의 대체나 수리가 이루어져야한다. 가장 짧은 수명을 가진 부품에 대한 대체 계획은 이러한 고장률에 대한 이해에 기초를 두고 이뤄져야한다. 마모 고장은 기기의 운영과 환경의 변화에 의하여 초래되는 기기의 설계 강도의 감소에 기본적 원인이 있다. 이러한 강도의 감소는 보통 몇 가지 화학적, 물리적 현상의 결과로 일어난다.

- 부식 또는 산화
- 절연이 파괴 또는 불량
- 진공이나 표면상의 금속에서의 미온의 이동
- 마모나 피로
- 플라스틱 제품의 수축이나 균열

2.3 신뢰도 모델

신뢰도를 최적화하기 위해서는 이러한 3가지 수명 기간을 모두 그리고 각각에 대하여 고려해 주어야한다. 초기고장은 선별과정(screening)과 초기고장 배제 시험의 체계적인 절차에 의해 제거되어야하고 부하량에 의한 고장은 적당한 설계여유를 줌으로써 최소화되어야한다. 마모고장은 짧은 수명을 가진 부품에 대해 적기에 예방대체를 함으로써 제거해야한다. 이와 같이 시스템의 신뢰도를 최적화하거나 관리하기 위해서는 시스템의 운영 신뢰도에 영향을 주는 모든 중요한 요소들을 설계 시에 파악하고 감안해 주어야한다. 일반적으로 신뢰성 추정을 위한 척도들은 그림 1의 유효 수명 기간이라고 명시된 부분에서 고려되는 값들로서, 신뢰도(reliability)는 매개변수(parameter)가 하나인 지수분포에 의하여 설명될 수 있다. 즉,

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

단, $R(t)$ 는 명시된 운영 조건 하에서 부품이 t 시간동안 고장 없이 작동할 확률이다. λ 는 부품의 고장률로서 이는 주어진 부하량, 온도 그리고 품질 수준 상태에 따라 일정하며, 많은 양의 수집된 자료와 시험과정을 거쳐 각 부품에 대하여 결정된다. 위 식에 적당한 λ 와 t 값을 대입하면 시간 t 에 대한 신뢰도를 얻을 수 있다. 고장률의 역수는 평균 고장 시간(MTBF)으로 다음과 같이 정의된다.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

MTBF는 기본적인 비교 수치로서, 이것에 의하여 하나의 하드웨어를 다른 하드웨어와 비교할 수 있다. 또한 MTBF는 유효 수명 기간 동안의 고장률(λ)의 척도이다. 좀더 일반적인 모델은 고장을 분포가 알려 지면 이 분포 함수를 적분하여 신뢰도를 전체 고장 확률을 구하고 이어서 신뢰도를 계산한다. 물론 이 모델은 다음과 같은 확률 이론을 바탕으로 한다.

- 어떤 사건 A 가 발생할 확률은 0 과 1 사이에 있다.
- 전체 샘플 공간에 대한 확률의 합은 1 이다.
- 서로 다른 두 개의 배타적인 사건의 합집합의 확률은 각각의 확률의 합이다.

즉 일반적인 신뢰도 계산 모델은 다음과 같다.

위에서 유도 수명기간의 고장률은 대표적인 지수 분포로 가정하였다. 지수 분포를 포함한 확률 분포함수와 이에 대응하는 신뢰도, 고장률 그림 2 와 3에 정리 하였다. [3]

$$\begin{aligned} \text{고장률(위험 함수) } h(t) &= \frac{f(t)}{R(t)} \\ \text{신뢰도 함수: } R(t) &= 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u) du \\ \text{누적 고장 함수: } F(t) &= \int_0^t f(u) du \\ \text{고장 분포 함수: } f(t) & \end{aligned}$$

Type of distribution	Range	Hazard function h(t)	Probability density function f(t)	Reliability R(t)	MTTF	Variance
Rectangular	a ≤ t ≤ b	$\frac{1}{b-a}$	$\frac{1}{b-a}$	$\frac{b-t}{b-a}$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$
Normal	0 ≤ t < ∞ 0 < μ < ∞ σ > 0	$\frac{f(t)}{1-F(t)}$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp[-(x-\mu)^2/2\sigma^2] dx$	μ	σ ²
Lognormal	0 ≤ t < ∞ -∞ < μ < ∞ σ > 0	$\frac{f(t)}{1-F(t)}$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp[-(\log t - \mu)^2/2\sigma^2]$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp[-(x-u)^2/2\sigma^2] dx$	$\exp[(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2)]$	$\exp(2\mu + \sigma^2) [\exp(\sigma^2) - 1]$
Exponential	t ≥ 0 λ > 0	λ	λ e ^{-λt}	exp(-λt)	1/λ	1/λ ²
Rayleigh	t ≥ 0	kt	kt exp(-kt ² /2)	exp(- $\frac{kt^2}{2}$)	√(π/2k)	$\frac{2}{k} (1 - \pi/4)$
Erlangian	t ≥ 0 λ > 0	$\frac{\lambda^2 t}{(1+\lambda t)}$	λ ² t exp(-λt)	(1+λt) exp(-λt)	2/λ	$\frac{2}{\lambda^2}$
Weibull	t ≥ 0 α > 0 β > 0	$\frac{\alpha t^{\alpha-1}}{\beta}$	$\frac{\alpha t^{\alpha-1}}{\beta} \exp(-t^\alpha/\beta)$	exp(-t ^α /β)	β ^{1/α} Γ($\frac{1+\alpha}{\alpha}$)	β ^{2/α} [Γ($\frac{2+\alpha}{\alpha}$) - Γ ² ($\frac{1+\alpha}{\alpha}$)]
Gamma	t ≥ 0 α > 0 β > 0	$\frac{\exp(-t/\beta) t^{\alpha-1}}{\int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx}$ or $\frac{t^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha) \sum_{j=0}^{\alpha-1} (\frac{t}{\beta})^j \frac{1}{\Gamma(j+1)}}$	$\frac{t^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-t/\beta)$	$\frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha) t} \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$ or $\exp(-t/\beta) \sum_{j=0}^{\alpha-1} (\frac{t}{\beta})^j \frac{1}{\Gamma(j+1)}$	αβ	αβ ²
Extreme value (Gumbel) Type I	t > γ β > 0					
Min. Type :		$\frac{1}{\beta} \exp\left\{\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right\}$	$\frac{1}{\beta} \exp\left\{\frac{(t-\gamma)}{\beta} \left[-\exp\left(-\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right)\right]\right\}$	exp $\left[-\exp\left(-\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right)\right]$	γ ± 0.577β - for minimum + for maximum	1.6461β ²
Max. Type :		$\frac{1}{\beta} \exp\left[-\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right]$	$\frac{1}{\beta} \exp\left[-\frac{(t-\gamma)}{\beta} \left[-\exp\left(-\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right)\right]\right]$	exp $\left[-\exp\left(-\frac{(t-\gamma)}{\beta}\right)\right]$		

Note : The cumulative distribution function, i.e., F(t) or Q(t) is given by 1-R(t) and has therefore not been included in this table. However, in some distributions like normal and log-normal, F(t) can be obtained from the expression of R(t) by changing limits i.e., of \int_t^{∞} and \int_0^t to \int_0^t and \int_t^{∞} , respectively.

TYPE OF DISTRIBUTION	HAZARD RATE $h(t)$	FAILURE DISTRIBUTION $f(t)$	RELIABILITY FUNCTION $R(t)$
Rectangular			
Normal			
Lognormal			
Exponential			
Rayleigh			
Special Erlangian			
Weibull			
Gamma			
Extreme value			

그림 3 여러 가지 신뢰도 분포

2.4 고장 분포

신뢰도는 시스템 신뢰도, 네트워크 신뢰도, 기본 부품(component) 신뢰도로 분류되고 시스템 신뢰도에는 하드웨어 신뢰도와 소프트웨어 신뢰도, 인적(human) 신뢰도가 포함된다. 기존의 기계 설비나 아날로그 회로의 경우 하드웨어 신뢰도와 기본 부품 신뢰도가 전체 시스템의 신뢰도를 결정한다. 미국의 Reliability Analysis Center 에 의하여 조사된 전자 시스템의 고장률 분포는 그림 4와 같다. [4]

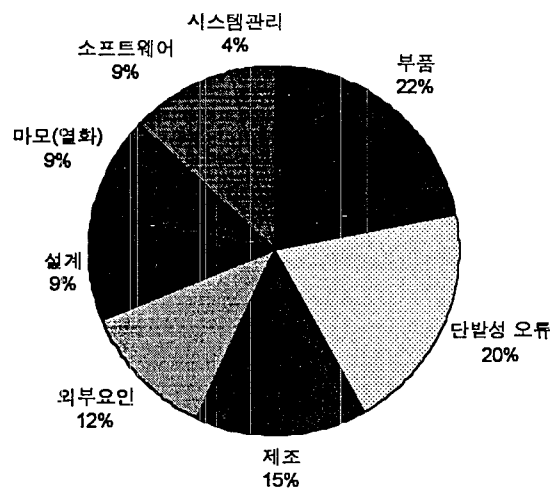


그림 4 전자 시스템의 고장률 분포

여기서 부품은 마이크로회로나 트랜지스터, 저항, 연결단자등의 부품 고장으로 인한 것을 말한다. 단발성 오류는 고장으로 발견되었으나 재현할 수 없는 경우로서 실제 고장이 아닌 경우일 수도 있다. 제조는 제조상의 결함으로 인한 경우이다. 외부 요인은 전기적 충격이나 잘못된 보수로 인한 고장을 의미한다. 설계는 허용 한계 누적, 로직 불 합리, 내환경 미비등의 설계상의 오류로 인한 것을 의미하고 마모는 기기의 열화로 인한 고장을 의미한다. 소프트웨어는 소프트웨어로 인한 고장을 의미하고 시스템 관리의 시스템 요건 해석 오류나 설계, 구축에 필요한 자원을 공급하지 못한 경우 등을 말한다. [4]

이와 같이 가장 큰 고장 요인이 부품의 고장이지만 그 이외에 설계, 제조, 외부요인, 미확인 단발성 요인도 중요한 요인이다. 그리고 이 조사에서는 소프트웨어에 의한 경우는 9%로 비중은 작지만, 최근의 추세는 응용 연구비의 60%이상을 소프

트웨어 신뢰성 연구에 투자하여야할 정도로 소프트웨어 고장이 시스템 신뢰도에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

2.5 신뢰도 예측에 필요한 요건

신뢰도 예측에 필요한 요건, 정밀도의 수준, 제품의 기능, 사용자, 운전 환경, 주위환경 조건 등이 신뢰도 예측 자료에 포함되어야 하며 주요한 사항은 다음과 같다. [22]

- 예측 대상의 정의와 설명
- 예측 결과의 적용
- 예측에 사용한 방법
- 선정된 방법에 필요한 입력
 - * 입력이 확보된 범위
 - * 확보된 입력 데이터의 출처
 - * 미 규명 입력 데이터에 대한 가정
- 예측 결과
 - * 결과 값
 - * 결론 및 제안
- 예측의 확신도
 - * 불확실성의 출처
 - * 제한 사항
 - * 반복성

2.6 신뢰도의 분류

신뢰도를 다루는 관점을 시간을 가지고 분류하면 정적(static)인 신뢰도와 동적(dynamic)인 신뢰도로 나누어진다. 정적인 신뢰도는 다음과 같이 시간이 경과하는데 따른 신뢰도 변화보다는 그 한 단면만이 요구되는 경우이다. [16]

- 품질관리의 문제로서 시간 $t=0$ 에서 시스템의 신뢰도에 관심이 있을 경우이며 부품의 제작공정에서 생기는 불량률이 주어졌을 때 이런 부품들로 조립된 시스템이 불량률 확률을 구하는 경우
- 이미 임무 자체와 그 지속시간이 결정된 상태에서 $t=t_1$ 에서의 시스템의 신뢰도에 관심이 있을 경우이며 $t=t_1$ 에서의 부품의 신뢰도가 주어졌을

- 때 시스템이 임무를 성공시킬 확률을 구하는 경우
- 폭약, 미사일 연료, 특정 릴레이와 같이 요구가 있을 때 작동할 확률이 시간의 함수가 아니고 상수인 요구 신뢰도(demand reliability)의 경우

동적인 신뢰도는 고장률이 상수가 아니고 시간의 함수인 경우에 적용된다. 단지 정적인 경우는 신뢰도가 상수인 확률로서 취급되고, 동적인 경우는 시간의 함수로 표현된다.

2.7 신뢰도 예측 절차

2.7.1 시스템 정의

이 단계에서는 기능이나 신뢰도 측면에서 시스템의 구조를 정의한다. 어떤 기기가 해당 기능에 필수적인지를 명확히 파악하는 것이 중요하다. 이 단계에서 다음의 도식적 방법을 사용하면 유용하다. 이들 도식적 방법에 대한 개략적인 설명은 4장에서 기술된다.

- 신뢰도 구성도 (Reliability Block Diagram, RBD)
- 상태 천이도 (State Transition Diagram, STD)
- 고장 수목(Fault Tree Diagram, FTD)

2.7.2 신뢰도 척도 선정

신뢰도 예측을 하기 전에 어떠한 척도(Measure)를 사용할 것인지가 결정되어야 한다.

원자력 발전소의 안전성 평가에 사용되는 척도의 예는 다음과 같다.

- 가용도 (Availability)
- 비가용도 (Unavailability)
- 고장 주기 (Failure Frequency)
- 평균 보수 시간 (Mean Time To Repair)
- 평균 고장 시간 (Mean Time Between Failure)

이 외에도 사용하는 목적에 따라 알맞는 척도를 사용할 수 있다.

2.7.3 구조 분석 및 해체

정적이거나 동적이거나 시스템의 구성 즉 부품의 조합은 복잡할 수 있다. 따라서 전체 시스템의 신뢰도를 계산하기 위해서는 단위 모듈로 묶을 수 있는 만큼 크게 그룹화 하여 신뢰도를 계산한 다음 이를 전체로 확장해 나가는 것이 좋다. 이러한 방법을 구조 분석 및 해체라 하며 다음과 같은 대표적인 구조 형태로 나눌 수 있다.

- 직렬구조
- 병렬구조
- 직 병렬구조
- 대기 구조(Standby)
- n 중 m 구조 (m out of n)
- 복합 구조

이 단계에서 고장 유형 및 영향 분석법 (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)를 수행하면 구조를 해석하는데 도움이 된다.

2.7.4 구조 모델링

이 단계에서는 시스템을 나타낼 수 있도록 구조를 모델 한다. 이 때는 부품들간의 상호작용, 운전 특성, 고장 발견 및 격리 특성 등이 고려되어야 한다.

2.7.4 매개변수 결정

신뢰도 예측에 있어서 가장 중요한 것은 매개 변수를 결정하는 것이다. 매개변수는 회로 팩의 고장률, 보수 및 회복 시간, 검출 및 적용 범위와 같은 것이다.

2.8 신뢰도 예측 결과의 이용

신뢰도 예측은 대량 생산이나 실제 사용에 앞서 개발 기간 중에 시스템이나 장비의 신뢰도를 정량적으로 평가하는 과정으로서 설계 대안들을 신뢰도의 관점에서 평가할 수 있는 정량적 지침으로 사용된다. 또한 신뢰도 예측은 신뢰도 성장과 전시 시험, 보급 비용에 관한 연구 그리고 다른 개발 업무에 대한 기준을 제공한다. 신뢰도 예측의 목적은 다음과 같다.

첫째, 적절성 조사(or 가능성 조사: feasibility study)에 활용 가능하다. 상품의 초기 설계 개념이 제안되었을 때 신뢰성이 고려되는 한 신뢰도 예

측은 설계의 적절성에 관한 정보를 제공한다. 비록 이러한 초기 단계의 예측이 제한된, 근사화된 설계 정보를 기초로 하고 있다 할지라도 그것은 설계 결정에 대한 방향을 제시해 줄 수 있다.

둘째, 설계 대안들의 사전 비교가 가능하다. 상세 설계 단계로 접어들게 되면 설계자는 여러 설계 대안에 대한 많은 결정을 해야할 것이다. 성능, 비용 등과 병행하여 신뢰성 예측은 설계 결정에 대한 근간(basis)을 제공할 수 있다.

셋째, 상세 설계 단계에서 발생 가능한 문제점들을 조기에 규명해 낼 수 있다

넷째, 시스템 설계 인자들을 상호 절충 시킬 수 있다. 시스템 설계시 성능, 비용, 크기, 무게, 신뢰도 등의 상품의 전체 가치를 결정하는 많은 인자들을 고려해야 하고, 이들 인자들은 성공적인 시스템 설계를 위해 상호 조정되어야한다. 이에 신뢰도 예측은 설계 인자들간의 상호 절충에 대한 결정을 보조하기 위한 정량적인 척도를 제공할 수 있다.

이와 같이 신뢰도 예측은 시스템 개발의 증추가 되고 신뢰도는 설계 과정에서 필수 불가결한 요소가 되고있다. 여기서 효과적인 신뢰도 예측을 위해서는 기술 변수(설계자의 용어)를 신뢰도 변수(신뢰도 공학자의 용어)와 연결시킬 수 있는 예측 기법들이 필요하다. 신뢰도 예측은 시스템의 가장 낮은 수준의 부품 신뢰도를 결정하고 이를 중간 단계 수준으로 발전시켜 궁극적인 시스템 신뢰도에 대한 예측이 얻어질 때까지 진행함으로써 얻어진다.

2.9 원자력 발전소 계측제어시스템의 신뢰도 요건

2.9.1 안전관련 계측제어 시스템의 기본 요건

미국의 경우를 예를 들어 요건들을 정리하면 다음과 같다.

원자력발전소의 계측제어시스템에 적용되는 규제 요건은 10 CFR 50 (Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities)에서 부터 도출된다. 계측제어시스템이 기본적으로 갖추어야 할 요건이 10 CFR 50.55a 에 기술되어 있다. 또한 Appendix A (General Design Criteria) 에는 설계 기준이 명시되어 있고,

Appendix B (Quality Assurance Criteria) 에는 품질 요건이 명시되어 있다.

계측제어 시스템이 10 CFR 50 의 요건을 충족하는지를 판정하기 위한 규제 요건은 RG (Regulatory Guide) 1.152 (Criteria for Digital Computers in Safety Systems of Nuclear Power Plants) 와 1.153 (Criteria for Power , Instrumentation, and Control Portions of Safety Systems) 이다. 물론 세부적이거나 간접 사항들은 다른 부분에도 언급되어 있다.

규제 요건을 만족시키기 위한 표준은 IEEE 279 (Criteria for Protection Systems for Nuclear Generating Stations), 603 (Standard Criteria for Safety System for Nuclear Power Generating Stations), 7-4.3.2 (Applications Criteria for Programmable Digital Computer System in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations) 이다.

그리고 사업자 입장에서 작성한 요건들이 EPRI URD (Users Requirement Document) 에 기술되어 있다. 이 요건은 설계 시에 최대한 반영하여야 하는 것으로 정부의 규제 요건은 아니다.

국내에서는 상기의 요건들과 유사한 원자력법, 시행령, 시행규칙, 기술기준을 적용하고, 상기의 미국요건이나, 원자로 공급 국의 요건을 적용한다.

2.9.2 안전관련 계측제어 시스템의 신뢰도 요건

디지털 기기를 포함한 안전 관련 계측제어 시스템의 신뢰도에 관한 요건은 기본적으로 안전 관련 계측제어 시스템의 요건의 일부로서 기술되어 있다. 10 CFR 50 Appendix A 의 GDC 21 (Protection System Reliability and Testability) 에 “보호계통은 안전 기능을 수행할 수 있도록 고도의 기능적 신뢰도를 가지게 설계되어야 한다”고 기술하였다. 이러한 요건은 RG 1.152, 1.153에도 기술되어 있다. 그리고 IEEE 279, 603에도 요건이 기술되어있으나 이러한 기준들은 과거의 아날로그 시스템에서부터 출발한 것으로 디지털 시스템에 대한 규정이 명확하지 않다. 따라서 IEEE 7-4.3.2를 제정하여 디지털 시스템에 관한 요건은 규정하였다. 그리고 여기에는 신뢰도에 관한 요건도 언급되어 있다.

신뢰도 분석에 대해서는 IEEE 577 (Standard Requirements for Reliability Analysis in the Design and Operation of Safety System for Nuclear Power Generating Stations) 과 352 (Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Safety Systems) 에 상세히 기술하

고 있다. 물론 이들 문서에 정량적인 방법만을 규정하거나, 숫자로 신뢰도 값을 규정하지는 않았다.

그러나 EPRI URD 10 장(MMIS)에서는 가용도(Availability), 고장시간간격(MTBF), 비가용도(Unavailability), 고장 발견 및 보수시간에 관한 요건을 숫자로 명시하였으며, 신뢰도 분석 시에 사용할 기준으로 IEEE 338 (Electronic Reliability Design Handbook) 및 MIL-HDBK-217, MIL-STD-781 (Reliability Test Methods, Plans, and Environments of Engineering Development, Qualification, and Production), MIL-STD-1629A (Procedure for Performing a Failure Modes Effects and Criticality Analysis) 등을 규정하였다.

그리고 차세대 원자로에 적용하기 위해 개발하고 있는 규제 요건(안)에도 신뢰도 분석을 요구하고 있다. 물론 이들이 정량적인 요건만을 요구하는 것은 아니다. 그러나 규제 요건 검토 과정에서 확률론적 안전성 평가 결과를 참조하도록 하고 있기 때문에 이를 위해서는 정량적 신뢰도 분석 결과가 필요할 것이다.

2.10 원자력 분야의 PSA에서의 신뢰도 예측 결과 이용

1975년 NRC가 WASH-1400으로 상업용 원자력 발전소의 사고 위험도 평가라는 원자로 안전 연구를 시작한 이후로, 여러 기관들이 모든 원자력 발전소에 대하여 확률론적 안전성 평가(PSA)를 해오고 있다. 확률론적 안전성 평가는 크게 두 가지 업무로 구분된다. 첫째는 사고의 유형과 발생 빈도를 정하는 것이고, 두 번째는 각 사고의 영향을 정량화 하는 일이다. PSA에서 초기 사건으로 부터 플랜트나 노심 손상 상태로 이어지는 사건 진행 과정에서 각 계통이나 기능의 고장상태로 진전되는 확률을 구할 때 일반적으로 사건수목(Event Tree)과 고장수목(Fault Tree)을 이용한다. 이들 분석에 필요한 정량적인 값들은 시스템 단위나 부품 단위의 신뢰도(고장율)에 기초하여 계산한다. 따라서 PSA에서 신뢰도 분석은 필수적이다. 이때 사용되는 신뢰도값은 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어, 인간, 외부 요인 등을 모두 고려한다.[5][6] 그러나 본 보고서에서는 하드웨어만을 고려한다.

3. 고장 데이터 (부품의 신뢰도 예측)

3.1 개요

신뢰도 분석에서 가장 중요한 것의 하나는 신뢰할 수 있는 고장 데이터를 수집하는 것이다. 이것은 하드웨어, 소프트웨어, 인간실수, 공동원인 고장등에 대한 수치 값이다. 그리고 대부분의 고장률 자료는 모두 부품이 가지는 고유한(intrinsic) 특성만을 나타낸다. 이 고장률 데이터가 실제 운전 조건과 환경에서 나타나는 고장률과는 다를 수 있다. 이것은 고장률 데이터가 실제 운전 조건이나 환경을 정확히 반영하지 못한 결과이다.

확률론적 안전성 평가와 같이 정량적인 분석을 위해서는 주어진 기간안에 일어난 고장 횟수만의 자료로는 불충분하다. 환경인자의 영향, 보수의 품질이나 주기등을 판단하기 위해서는 다음과 같은 정보가 필요하다.

- 고장 유형
- 표본 크기
- 특정운전 조건이나 환경조건
- 고장과 관련한 성공적인 운전 횟수
- 조사기간내에서 실제 운전한 시간
- 보수 시간
- 고장간격
- 주기시험 기간 또는 빈도

고장률이 중요한 만큼, 신뢰도 분석을 해서 기계부품까지 포함한 고장률 데이터를 보유하고 있는 참고자료(프로그램 또는 프로젝트)가 많이 개발되었다. 최초의 원자력 발전소의 확률론적 안전성 평가인 WASH-1400에서 사용한 데이터는 표1과 같다. 최근에는 이러한 고장 데이터를 더욱 개발하여 국제적인 것들도 사용이 가능하다. PSA 에 적용이 가능한 것들을 정리하면 표 2와 같다. [20]

표 1 WASH-1400 에서 사용한 고장을 자료

고장을 자료	제공자	내용
Reactor Incident File (anually updated)	Office of Operation Evaluatin of Regulatory Operatins, NRC	원자력시설의 고장 자료
EEL Availability Report (Component Failure Data)	Edison Electric Institute	화력, 원자력발전소 의 고장자료
System Reliability Service	United Kingdom Atomic Energy Authority	영국과 유럽의 고장 자료
FARADA (Converged Failure Rate Data Handbook)	Fleet Missile Systems Analysis and Evaluation Group Annex	육, 해, 공군 및 NASA 고장자료
LMEC (Failure Data Handbook for Nuclear Power Facilities)	Liquid Metal Engineering Center	시험로와 연구로의 고장자료

표 2 PSA 에 적용 가능한 DB 현황

구분	이름
국제 공용 DB	Int. Reporting System - NEA IRS (Incident Reporting System) - WANO Reporting System
	IAEA - IAEA DB Version 1.0 (1988)
	ICDE - ICDE (Int. CCF Data Exchange)
	NEA - NEA COMPSIS DB
국가별 DB	- TUD (Swedish Reliability DB) - DACNE (Spanish Databank) - 일본 NIC (Nuclear Info. Center) DB System - 미국 NRC DB
미국 산업계 DB	- NPRDS - EPRD - EPIX - IEEE STD-500 - MIL-HDBK-217
특수 DB	- HRA DB - IPE DB

상기의 고장을 데이터(데이터 베이스)는 기계부품을 포함한것으로서 전자 기기를 구성하는 세부 부품에 관한 자료는 많지 않다. 특히 디지털 시스템에 관해서는 더욱 더 자료가 많지 않은 실정이다. 따라서 전자기기의 신뢰도를 계산하기 위하여 사용하는 고장 데이터는 주로 군사 분야나 통신 분야의 자료를 이용한다. 특히 개발단계 또는 사용이력이 많지 않은 부품에 대한 고장율을 계산하기 위해서는 고장율을 예측하는 절차가 포함되어야 한다. 그리고 부품의 고장율을 계산하는 방법은 그 목적과 사용 주체에 따라 여러 가지가 개발되어 사용되고 있다.

전자 기기의 신뢰도 예측을 위해 가장 널리 알려지고 사용되는 핸드북은 MIL-HDBK-217이다. 이는 전자 장비의 신뢰도 예측을 위한 군사 핸드북으로 Rome 연구소와 신뢰도 분석 센터(Reliability Analysis Center: RAC)의 연구를 기반으로 미 국방성에서 편찬하였다. MIL-HDBK-217은 전자 시스템에서 사용되는 다양한 전자 부품, 즉 집적회로, 트랜지스터, 다이오드, 저항, 커패시터, 릴레이, 스위치, 커넥터 등 19종 84 타입에 대한 고장률을 포함하고 있다. 이러한 전자 부품의 고장률 모델은 다양한 시스템과 부품들에 대해 얻어질 수 있는 현장 데이터를 기반으로 하고 있으며 이용 가능한 모델을 생성하기 위해서 많은 단순화된 가정들을 기반으로 하고 있다.

신뢰도 예측을 위한 또 다른 방법은 Bellcore 방법 TR-332 이다. 많은 상업적인 전자 제품 회사들은 그들 제품의 신뢰도 예측을 위해 Bellcore방법을 선택하고 있다. Bellcore는 벨 통신 연구소의 이름을 인용한 것으로서 이전에는 신뢰성 예측을 위해 MIL-HDBK-217을 많이 사용하였으나 MIL-HDBK-217의 근본적인 목적이 군사 전자 장비들의 신뢰성 예측에 있기 때문에 몇몇 상업 전자 제품에 대해서는 지나치게 보수적인 수치가 도출되기도 하였다. 따라서 Bellcore는 1985년 그들의 현장 경험을 보다 더 잘 반영시키기 위해 모델을 수정하였고, 상업적인 전자 제품들에 보다 더 응용 적절한 Bellcore 신뢰도 예측 절차를 개발하였다. 컴퓨터, 통신 시스템, 의학 장비, 파워 서플라이 등을 생산하는 많은 상업적 고객들은 그들 제품의 신뢰성 예측을 위해서 Bellcore 방법을 사용할 것을 요구하고 있다. 이 밖에도 통신분야의 대규모 업체에서 개발한 HRD(영국), Siemens(독일), NTT(일본), Italtel(이탈리아), CNET(프랑스) 등의 신뢰도 예측 방법들이 있고 각 나라마다 그들에게 맞는 방법을 적용하고 있다. 이들을 정리하면 표 3 과 같다.

표 3 전자 기기의 고장을 자료

고장을 데이터	제공자	참고 문헌
MIL-HDBK-217F	DOE, USA	[7]
Bellcore 6 (TR-TSY-000332)	Bellcore, USA	[11]
HRD4	British Telecom, U.K.	[8]
Siemens (SN29500)	Siemens AG, Germany	[9]
CNET	CNET, France	[10]
Italtel IRPH93	Italtel corporate, Italy	[12]
NTT	NTT, Japan	[13]

본 장에서는 디지털 전자기기의 고장율을 부품단위까지 예측하는데 가장 많이 사용하는 두 가지 방법인 MIL-HDBK-217 와 Bellcore TR-332 방법을 자세히 검토한다.

3.2 MIL-HDBK-217

3.2.1 개요

MIL-HDBK-217은 설계 단계의 지침을 제공해 주며 일정한 시스템 신뢰도에 개개 부품의 고장률을 결합하는 것을 가능하게 해준다. 가장 최근의 개정판인 MIL-HDBK-217F는 군사 전자 장비의 신뢰성을 추정하기 위한 것으로 군사 전자 시스템에 대한 신뢰도 예측과 비교를 위한 기본 토대(common basis)를 확립하고 있다. 신뢰도 예측을 위해 부품 스트레스 분석법(part stress analysis)과 부품 카운트 분석법(part count analysis)을 적용한다. 이 분석법들은 적용 할 때 요구되는 정보의 수준에 따라 구분된다. 부품 스트레스 분석법은 상당량의 상세 정보가 필요하고 하드웨어와 전자 회로가 실제로 설계되는 설계 후반부에 적용 가능하다. 부품 카운트 분석법은 설계 초반에 적용 가능한 방법으로 다소 적은 량의 정보를 필요로 하는데 부품량, 부품 품질 그리고 적용 환경에 관한 정보가 필요하다. 일반적으로 부품 카운트 분석법은 부품 스트레스 분석법에 비해 보수적 추정치(conservative estimate), 즉 보다 높은 고장률을 유발한다. MIL-HDBK-217F에서 지원하는 전자 부품 고장률 부품 종류는 표 4 및 표 5와 같고, 부품 스트레스 분석법과 부품 카운트 분석법의 차이점 비교는 표 6과 같다.

표 4 MIL-HDBK-217F에서 지원되는 전자 부품 고장률 모델 종류

복합 반도체	Gate/Logic arrays and Microprocessor		
	Memories		
	VHSIC/VHSIC-LIKE and VLSI CMOS		
	GaAs MIC and Digital devices		
	Hybrids		
	SAW devices		
	Magnetic bubble memories		
단일 반도체	Diodes	Low frequency	
		High frequency(Microwave, RF)	
	Transistors	Low frequency, Bipolar	
		Low frequency, Si FET	
		Unijunction	
		Low Noise, High frequency, Bipolar	
		High Power, High frequency, Bipolar	
		High frequency, GaAs FET	
		High frequency, Si FET	
	Thyristors and SCRs		
	Opto electronics	Detectors, Isolators, Emitters	
		Alphanumeric displays	
		Laser diode	
튜브	All types except TWT and Magnetron		
	Traveling Wave Tube(TWT)		
	Magnetron		
레이저	Helium and Argon		
	Carbon Dioxide	Sealed	
		Following	
	Solid State, ND: YAG and Rudy Rod		
저항	Fixed	Composition (RCR, RC)	
		Film	RLR, RL, RN(R, C, or N), RN
			Power (RD)
		Network, Fixed, Film (RZ)	
		Wirewound	RBR, RB
			Power (RWR, RW)
			Power, Chassis Mounted (RER, RE)
	Thermister (RTH)		
	Variable	Wirewound	RTR, RT
			Precision (RR)
			Semiprecision (RA, RK)
			Power (RP)
		Composition (RV)	
	Nonwirewound	RJ, RJR	
		Film and Precision (RQ, RVC)	

표 5 MIL-HDBK-217F에서 지원되는 전자 부품 고장률 모델 종류(계속)

콘덴서	Fixed	Paper, By-Pass (CP, CA)	
		Feed-Through (CZR, CZ)	
		Paper and Plastic Film (CPV, CQR and CQ)	
		Metalized Paper, Paper-Plastic and Plastic (Ch, CHR)	
		Plastic and Metalized Plastic	
		Super-Metalized Plastic (CRH)	
		MICA	CM, OMR Button (CB)
		Glass (CY, OMR)	
		Ceramic	General Purpose (CK, CKR)
			Temperature Compensating and Chip (CCR, CC, CDR)
	Electrolytic	Tantalum, Solid (CSR)	
		Tantalum, Non-Solid (Cl, CLR)	
		Aluminum (CUR, CU)	
		(Dry), Aluminum(CE)	
Variable	Ceramic (CV)		
	Piston Type (PC)		
	Air Trimmer (CT)		
Variable and Fixed, Gas or Vacuum (CG)			
유도 기기	Transformers Coils		
회전 기기	Motors Synchros and Resolvers Elapsed Time Meters		
계전기	Mechanical Solid State and Time Delay		
스위치	Toggle or Pushbutton Basic Sensitive Rotary Thumbwheel Circuit Breakers		
컨넥터	General(Except Printed Circuit Board) Printed Circuit Board Integrated Circuits Sockets		
연결체 (Interconnection Assemblies)			
연결			
계기			
수정 발전자			
램프			
전기 필터			
퓨즈			
기타 부품			

표 6 부품 카운트 법과 부품 스트레스 분석법의 비교

	부품 카운트 법	부품 스트레스 분석법
적용단계	초기 설계 단계	상세 설계 단계
필요 정보	적은 정보 (품질, 환경, 수량)	상세한 많은 정보
고유고장을 크기(계산)	부품-스트레스 모델에 기본값(default value) 적용	부품-스트레스 모델에 상세 정보 적용

부품 카운트 법에 적용하는 고유 고장을 데이터는 부품 스트레스 법의 공식(모델)에 기본값(default value)를 적용한 것으로서 일반적인 경우로 볼 수 있다. 따라서 스트레스나 환경 조건이 다르게 되며 부품 스트레스 분석법에 의한 고유 고장값이 부품 카운트에 의한 값보다 크거나 적을 수 있다. 한가지 저항에 대하여 두 가지 방법을 적용한 예는 표 7 와 같다.

표 7 저항에 대한 부품 카운트 법과 부품 스트레스 분석법 적용

	부품 카운트 법	부품 스트레스 법
필요 정보	환경: 지상 고정 주위 온도: 40°C 품질: MIL-spec	
	필요 없음	정격 전력: 0.2 W 범위: 500k Ω 탭 수: 3 소비 전력: 0.06W 연결: Not Ganged
품질 인자(π_Q)	3.0	2.5
기본 고장율(λ_b)	0.11	0.047
스트레스 인자들	필요 없음	$\pi_{TAPS} \pi_R \pi_V \pi_E =$ (1.0)(1.4)(1.0)(2.0)
부품의 고유 고장율	$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q =$ (0.11)(3.0) = 0.33 고장/10 ⁶ 시간	$\lambda_p = \lambda_b \pi_{TAPS} \pi_R \pi_V \pi_Q \pi_E =$ (0.047)(1.0)(1.4)(1.0)(2.5)(2.0) = 0.33 고장/10 ⁶ 시간

3.2.1. 부품 스트레스 분석법 (Part stress analysis)

부품 스트레스를 포함한 부품에 관한 상세 정보 즉, 부품명, 부품 설명, 사용 개수, 제조업자 등의 공통 데이터와 품목 고유의 중요 데이터 즉, 집적회로의 경우엔 LSI, MSI, SSI 등의 집적도, TTL, LIN, MOS 등의 로직, 게이트, 트랜지스터 개수, 리드(lead) 수, 최대 전압, 최대 전류, 접합 온도에 관한 정보, 커패시터의 경우 정격 전압, 품질 수준, 정전 용량에 관한 데이터, 개별 반도체의 경우 온도 특성, 재질, 정격 전압, 정격 전력, 품목 등에 관한 데이터가 사용 가능할 때 적용 가능하다. 이것은 부품 선택, 스트레스와 신뢰성간의 절충을 위해 설계 후반부에

사용될 수 있다. 제시된 고장률은 전원이 켜진 상태에서 주어진 환경에서 주어진 기능을 수행하는 등의 정상적인 동작을 수행하는 장비에 적용된다. 보드 레벨(혹은 시스템 레벨)의 고장률을 결정하기 위한 일반적인 절차는 각 소자 단위로 개별적으로 계산된 고장률을 모두 합하는 것이다. 이러한 합은 회로 보드에 대한 고장률, 납땀된 점프선의 고장률, 커넥터에 대한 고장률에 더해진다. 부품 고장 모델은 부품의 형태에 따라 서로 다르게 변하나 일반적인 형태의 부품 전체의 고장률(λ_p)은 다음과 같다.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_A \pi_Q \cdots \pi_n$$

(1) 기저 고장률 (λ_b)

기저 고장률은 각각의 일반적인 부품의 범위에 대하여 표본 추출된 부품 시험 자료로부터 얻어지는데, 일반적으로 이 자료들은 고장률에 대하여 정규화된 부하와 온도에 의해 나타낸다. 부품에 기본적으로 걸리게 되는 부하와 안전요소는 이 기저 고장률 값에 반영된다. λ_b 의 값은 예상 작동 온도에서 예견되는 부하 수준(즉, 전력과 전압)에 의해 결정된다. 부품의 정격 부하와 상대적으로 적용된 부하 값은 부품의 궁극적인 신뢰도에 영향을 미치는 변수들을 나타낸다.

(2) 품질 인자(Quality factor: π_Q)

부품 고장률에 직접적인 영향을 미치는 인자로 부품이 사용자에게 보내지기 전에 제조되고 시험되는 제조 통제의 정도를 설명하는데 사용된다. 많은 부품들이 여러 가지 품질 수준을 갖는 명세서에 의해 표시된다. 표 8, 9에 여러 가지 품질 수준의 명세가 나와있다.

표 8 복합 등급 품질 사양을 갖는 부품들

Part	Quality Designators
Microcircuits	S, B, B-1, Other: Quality Judged by Screening Level
Discrete Semiconductors	JANTXV, JANTX, JAN
Capacitors, Established Reliability(ER)	D, C, S, R, B, P, M, L
Resistors, Established Reliability(ER)	S, R, P, M
Coils, Modeled, R.F., Reliability(ER)	S, R, P, M
Relays, Established Reliability(ER)	R, P, M, L

표 9 품질 등급

품질 수준	설명
S	MIL-M-38510, A-Level (JGN)
B	MIL-M-38510, B-Level (JAN)
B-1	MIL-STD-883, 5004, B-Level
B-2	MIL-STD-883, 5004, B-Level
C	MIL-M-38510, C-Level (JAN)
D	Irregular Screening Level Commercial Parts
트랜지스터 품질 인자	
JANTXV	MIL-S-19500 for Linear Logic Switching and High Frequency Adaptation
JANTX	
JAN	

(3) 환경 인자(Environmental factor: π_E)

환경 조정 인자 π_E 는 온도와 방사선의 영향을 제외한 모든 환경 스트레스를 정량화한 값으로서 부품이 수행해야하는 군사적인 작동 환경(진동, 습기 등)과 관계가 있다. 특정한 부품의 형태나 구조에 따라 π_E 값은 0.2에서부터 120까지의 값을 취한다. 미사일을 발사하는 주변 환경은 일반적으로 매우 엄격하며 가장 높은 값의 π_E 를 요구한다. MIL-HDBK-217 F에서 고려하는 환경 인자는 표 10 과 같다.

(4) 적용 인자 (π_A)

이 요소는 부품의 적용에 관련되며, 부차적인 부하와 신뢰도에 중요하다고 여겨지는 적용 요소들을 고려에 넣는다.

(5) 반복 인자 (π_n)

이 값은 구성 등급 그리고 고장률을 수정하는 다른 요소들을 설명해주는 추가적인 조정인자들의 갯수를 나타내는 기호이다.

(6) 온도 인자(Temperature factor: π_T)

부품의 신뢰도는 온도에 매우 민감하기 때문에 부품 모델 사용시 요구되는 온도에 관한 정확한 열적(thermal) 동작 특성을 나타내는 인자로, 이에 대한 자료는 설계 자료로부터 취득된다.

표 10 MIL-HDBK-217F에서 고려하는 환경 인자

환경	π_E 심볼	설명
Ground, Benign	G_B	Nonmobile, temperature and humidity controlled environments readily accessible to maintenance: includes laboratory instruments and test equipment, medical electronic equipment, business and scientific computer complexes, and missiles and support equipment in ground silos.
Ground, Fixed	G_F	Moderately controlled environments such as installation in permanent rack with adequate cooling air and possible installation in unheated buildings: includes permanent installation of air traffic control radar and communications facilities.
Ground, Mobile	G_M	Equipment installed on wheeled or tracked vehicles and equipment manually transported: includes tactical missile ground support equipment, mobile communication equipment, tactical fire direction systems, handheld communications equipment, laser designations and range finders.
Naval, Sheltered	N_S	Includes sheltered or below deck conditions on surface ships and equipment installed in submarines.
Naval, Unsheltered	N_U	Unprotected surface shipborne equipment exposed to weather conditions and equipment immersed in salt water. Includes sonar equipment and equipment installed on hydrofoil vessels.
Airborne, Inhabited, Cargo	A_{IC}	Typical conditions in cargo compartments which can be occupied by an aircrew. Environment extremes of pressure, temperature, shock and vibration are minimal.
Airborne, Inhabited, Fighter	A_{IF}	Same as A_{IC} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors.
Airborne, Uninhabited, Cargo	A_{UC}	Environmentally uncontrolled areas which cannot be inhabited by an aircrew during flight. Environmental extremes of pressure, temperature and shock may be severe.
Airborne, Uninhabited, Fighter	A_{UF}	Same A_{UC} but installed on high performance aircraft such as fighters and interceptors.
Airborne, Rotary Winged	A_{RW}	Equipment installed on helicopters. Applies to both internally and externally mounted equipment such as laser designators, fire control systems, and communications equipment.
Space, Flight	S_F	Earth orbital. Approaches benign ground conditions. Vehicle neither under powered flight nor in atmospheric reentry: Includes satellites and shuttles.
Missile, Flight	M_F	Conditions related to powered flight of air breathing missiles, cruise missiles, and missiles in unpowered free flight.
Missile, Launch	M_L	Severe conditions related to missile launch(air, ground and sea), space vehicle boost into orbit, and vehicle re-entry and landing by parachute. Also applies to solid rocket motor propulsion powered flight, and torpedo and missile launch from submarines.
Cannon, Launch	C_L	Extremely severe conditions related to cannon launching of 155mm and 5 inch guided projectiles. Conditions apply to the projectile from launch to target impact.

3.2.3. 부품 카운트 분석법 (Part count analysis)

부품 스트레스 분석을 적용하기에 정보량이 불충분할 경우에 사용 가능한 방법으로서는 시스템 초기 설계 과정, 제안 단계에서 적용 가능하다. 이 방법을 적용하기 위해 필요한 정보로는 일반적인 부품 타입과 부품 량, 부품 품질, 장비가 사용되는 환경에 관한 내용이다. 전자 시스템의 고장률은 MIL-HDBK-217F (issue 2)에서 테이블로 주어진 각 소자들의 고유 고장률(generic failure rate)과 부품 품질 인자를 곱한 값을 장비의 다른 소자들의 고장률에 단순히 더해줌으로써 얻어질 수 있다. 이 분석 기법은 초기 설계단계에서 이용 가능한 기술적 정보를 사용하며, 개개 부품의 부하와 설계에 관련된 상세 자료를 요구하지 않는다. 일반적인 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_{EQUIP} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i (\lambda_g \pi_Q)_i$$

여기서 각각의 변수는 다음과 같다.

- λ_{EQUIP} : 기기의 총 고장율 (고장/10⁶ 시간)
- λ_g : i 번째 부품의 고유 고장율 (고장/10⁶ 시간)
- π_Q : i 번째 고유 부품의 품질 인자
- N_j : i 번째 고유 부품의 숫자
- n : 기기 내에 있는 고유 부품 카테고리의 수

이 계산식은 전체 기기가 동일한 환경에 놓이는 것으로 간주한다. 만약 기기가 서로 다른 환경에서 작동되는 여러 단위기기가 모여서 구성된 경우에는 계산을 각각의 환경 조건별로 수행하여야 한다. 따라서 기기의 총 고장율을 구하기 위해서는 이와 같은 “환경-기기” 고장율들을 더해야 한다. 품질 인자도 표에 나타나있으나 부품 스트레스 분석법에서 사용하는 값과 같은 것은 아니다. 집적 회로에 대하여는 λ_g 외에 π_L 이라는 인자를 곱한다. 이 인자는 공정의 성숙도를 나타내는 것으로서 생산한지 2년 이상인 경우에는 보정이 필요 없다 ($\pi_L=1$). 생산 이력이 2년 이하인 경우의 해당 기간별로 표에 있는 값을 고려한다. 특별히 전형화된 설계가 없는 하이브리드 마이크로 회로에 대하여는 일반적인 고장율자료가 없다. 따라서 이런 경우에는 부품 스트레스 분석법에 있는 방법을 적용한다.

부품 카운트 법에 쓰이는 고장율 자료는 부품스트레스 법에서 사용하는 모델에 변수의 기본 값을 대입하여 계산되었다. 따라서 기본 환경 조건과 기본 스트레스 조건에서는 부품 스트레스 분석법과 부품 카운트법의 계산 결과가 같다. (표 4 참조) 이 기본 값들은 부품 스트레스 분석법의 기본(고유) 고장율인 λ_g 자료에 나타나 있다. 그러나 기본 값과 상이한 부품이나 많은 량의 부품을 고려할 경우에는 부품 스트레스 방법을 따를 수 있다.

3.3 Bellcore TR-332

3.3.1 개요

Bellcore 방법 역시 MIL-HDBK-217 과 같이 직렬연결(serial system) 시스템을 대상으로 하고 있고, 소프트웨어에 의한 고장은 고려하지 않고 있다. 가장최근에 발행된 Bellcore 자료는 TR-332 로서 6번째 개정판이다. Bellcore 는 이 방법으로 신뢰도를 예측하는 목적을 다음과 같이 기술하고 있다.

- 제품의 신뢰도가 특정시스템의 현장운용에 필요한 예비부품의 량과 보수 활동에 미치는 영향을 평가. (따라서 고려되는 변수는 정상상태 고장율, 첫째 승수(first year multiplier) 이다)
- 시스템 수준의 신뢰도 계산에 사용
- 유닛이나 시스템 수준의 생명주기 비용 계산의 입력 자료로 사용
- 경쟁 제품 중에서 우수한 제품 선정시 사용 (공통의 절차필요)
- 공장 신뢰도 시험을 표준화하는데 사용
- 현장 성능을 평가하는 표준을 설정하는데 사용

신뢰도 예측의 결과를 사용하는 목적에 따라 고려하여야 하는 관점이 조금씩 다르므로 신뢰도 예측으로 제공하여야 하는 사항을 명시하여야 한다. 대부분의 경우에 정상상태 고장율과 첫째 승수 값을 제시하도록 요구한다. 첫째 승수는 운전 첫째(8760 시간)의 평균 고장율을 정상 상태 고장율의 배수로서 나타낸 것이다. 정상 상태 고장율은 장기간에 걸친 제품의 성능을 나타낸다. 기본적으로 Bellcore 방법은 정상상태 고장율 예측과 첫째승수 값을 예측하는 방법이다. Bellcore 에서는 신뢰도 예측 방법으로 3가지를 제안하였다. 이 방법들은 다음과 같다.

- 방법 I : 부품 카운트 법
- 방법 II : 부품카운트 법에 burn-in 시험 결과를 복합한 방법
- 방법 III : 현장자료 추적을 근거로 한 통계적 예측법

Bellcore 에서는 특정방법의 선택을 강요하지는 않으나 방법 II, III을 선택할 때는, 비교를 위하여 방법I 에 의한 결과를 첨부하도록 하고 있다. 그리고 Bellcore 은 기술적으로 뒷받침되는 근거가 있는 고장 자료를 사용토록 하고 있다. 이들은 현장 자료, 실험실 자료, MIL-HDBK-217, 기기 제작자 자료, 기기 공급자의 자료, 공학적 분석 등이다. 각 방법에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

3.3.2 방법I : 부품 카운트 법

이 방법은 MIL-HDBK-217의 부품카운트 법과 동일하며, 유닛의 고장율을 계산하기 위하여 개별기기의 고장율을 더한다. 개별 기기의 신뢰도를 결정하는 변수는 기기의 운전 환경, 품질 요건, 적용 조건(온도와 전기적인 스트레스) 이다. 이 방법 적용을 위한 지침으로 사용조건과 burn-in 취급방법에 따라 3가지로 분류하였다.

- 경우 1 : 사용온도 40℃이고 전기적 스트레스가 50%로 가정하고 기기 burn-in은 없고, 유닛/시스템 burn-in이 1시간 이하인 블랙 박스로 취급
- 경우 2 : 사용온도 40℃이고 전기적 스트레스가 50%로 가정하고 기기 burn-in은 없고, 유닛/시스템 burn-in이 1시간 이상인 블랙 박스로 취급
- 경우 3 : 위의 두 경우가 아닌 모든 경우 (예를 들면 사용온도가 사용온도 40℃ 이상이고 전기적 스트레스가 50% 이상)

경우 1이 가장 단순하고 경우 3이 가장 복잡하다. 따라서 첫째 승수와 정상상태 고장율을 계산하는 방법도 복잡도가 다르다. 경우 2를 사용하는 이유는 경우1이 burn-in 결과를 반영하지 못하므로, burn-in 시험결과를 반영하여 초기의 고장율을 줄이고자 하는 것이다. 경우 3은 그보다 더 시험조건을 반영하여 고장율을 최적으로 반영하기 위한 것이다. 먼저 정상상태 고장율은 다음과 같이 계산한다.

(1) 정상상태 고장율

경우 3이 일반적인 형태이고 이에 대한 모델은 다음과 같다.

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i} \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i}$$

여기서

λ_{G_i} : i 번째 부품의 고유 고장율

π_{Q_i} : i 번째 부품의 품질 인자

π_{S_i} : i 번째 부품의 스트레스 인자

π_{T_i} : i 번째 부품의 온도 인자 (정상 상태의 운전 온도) 이다.

부품의 고유 고장율은 MIL-HDBK-217에서 인용하거나, Bellcore에서 자체적으로 구하여 고장율 자료 표 (TR-332 Table 11) 에 정리하였다. Bellcore 절차서에서 고장율을 제공하는 기기의 종류는 표 11 과 같다.

표 11 Bellcore에서 고장율을 제공하는 기기 종류

기기 종류	구분	
Integrated Circuits	Digital	Bipolar
		NMOS
		CMOS
	RAM	Bipolar
		NMOS Static
		CMOS Static
		NMOS Dynamic
	ROMS, PROMS, EPROMS	Bipolar
		NMOS
		CMOS
	Microprocessors	
	Analog	
	Hybrid Microcircuit	
Opto-Electronic Devices		
Other Optical devices		
Single Isolators		
Dual Isolators		
Alpha-Numeric Displays		
Transistors		
Diodes		
Thermistor		
Resistor	Discrete	
Thick or Thin Film Resistor Network		
Capacitors	Discrete	
Capacitor Network		
Inductive Devices		
Connectors		
Switches		
Relays		
Rotating Devices		
Miscellaneous Devices	Gyroscope, Vibrator, Quartz crystal, Circuit breaker, Fuse, Lamp, Meter, Heater, Microwave elements, Cooler	
Computer related systems or subsystems	Clock, Displys(monitor), Drives(HDD, CD-ROM, etc), Ethernet, IEEE bus, keyboard, Modem, Mouse, PC, Power supply, Printer, Workstation	

따라서 사용자는 고장률 자료 표에서 사양에 알맞는 것을 선정하여 계산에 이용하면 된다. 단 하이브리드형의 집적 회로(microcircuit)는 일반적인 유형으로 구분이 어렵고 이름만으로 구성의 복잡도등을 알 수 없으므로 MIL-HDBK-217의 식을 변형한 다음과 같은 별도의 고장율 모델이 있다.

$$\lambda_{HIC} = \sum(\lambda_C \pi_Q \pi_S \pi_T) + (N_I \lambda_I N_C \lambda_C N_R \lambda_R)(\pi_F)$$

여기서

λ_C = 개별 칩이나 팩키지 된 기기에 대한 고장율

π_Q = 품질 인자

π_S = 스트레스 인자

π_T = 온도 인자

N_I = 내부의 연결선 숫자

$\lambda_I = 0.8$

N_C = 얇거나 두꺼운 커패시터의 숫자

$\lambda_C = 0.5$

N_R = 얇거나 두꺼운 박막형 저항의 숫자

$\lambda_R = 0.2$

π_F = 회로 기능 인자(1.0 : 디지털 HIC, 1.25 : 선형 또는 선형-디지털 HIC) 이다.

이 값은 기기의 총 고장율이다. 만일 burn-in 에 대한 효과를 반영하려면 다음과 같이 $\pi_S \pi_T$ 를 구한다.

$$\pi_S \pi_T = \frac{\lambda_{HIC}}{\lambda_{HIC_{bb}}}$$

여기서 $\lambda_{HIC_{bb}}$ 는 HIC 내에 있는 모든 기기의 π_S 와 π_T 를 1.0 으로 설정했을때의 HIC의 고장율이다.

그리고 품질 등급에 따른 인자는 표 12 와 같은 기준에 의하여 구한다.

기기나 유닛의 스트레스 인자도 MIL-HDBK-217 과는 다르게 표 13 과 같이 제공되어 있다. 또한 온도 인자도 표 14 과 같이 작성하여 쉽게 적용이 가능하다.

표 12 기기 품질 인자

품질 등급 회로 구분		품질등급 0 :	품질등급 I :	품질등급 II :	품질등급 III :
		상업적 제품	상업적 제품으로 특별한 품질 관리는 적용되지 않으나 일반적이 공정관리, 하자관리는 수행함	품질등급 I의 요건 외에 엄격한 구매 사양이 있고, 기기 검증 및 공급자 자격 관리체계가 있으며, 로트 단위의 품질 관리를 수행함	품질 등급 I과 II 외에 주기적 기기 검증, 100% 사전 검증을 수행함(MIL 규격에 따름)
Semiconductor Devices (Discrete and Integrated)	Hermetic	6.0	3.0	1.0	0.9
	Non-hermetic	6.0	3.0	1.0	0.9
All other devices		6.0	3.0	1.0	0.9

표 13 스트레스 인자 (π_s)

% 스트레스	전기적 스트레스										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
10	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	1.0
20	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0
30	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	1.0
40	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	1.0
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
60	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8	1.1
70	1.1	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	2.3	2.3	2.5	3.3	1.1
80	1.2	1.3	1.5	2.1	2.4	2.9	3.4	3.4	4.0	5.9	1.2
90	1.3	1.4	1.7	2.6	3.2	4.1	5.2	5.2	6.3	10.6	1.3

표 14 온도 인자 π_T

운전 온도 ℃	온도 스트레스 커브									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4
31	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
32	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
33	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
34	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
35	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
36	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
37	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
38	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8
39	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
41	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1
42	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2
43	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
44	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
45	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
46	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6
47	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.6	1.8
48	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.7	1.9
49	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.1
50	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.2
51	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	2.4
52	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.2	2.6
53	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	2.3	2.8
54	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.4	3.0
55	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	2.6	3.3
56	1.0	1.2	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.8	3.5
57	1.0	1.2	1.3	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.9	3.8
58	1.1	1.2	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	3.1	4.1
59	1.1	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	3.3	4.4
60	1.1	1.2	1.3	1.5	1.9	2.2	2.4	2.7	3.5	4.8
61	1.1	1.2	1.3	1.5	1.9	2.3	2.5	2.9	3.7	5.1
62	1.1	1.2	1.3	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.9	5.5
63	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.4	2.8	3.1	4.2	5.9
64	1.1	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	4.4	6.4
65	1.1	1.2	1.4	1.7	2.2	2.6	3.0	3.4	4.7	6.8
70							3.7			
75							4.5			
80							5.4			
85							6.5			
90							7.7			
95							9.2			
100							11			
105							13			
110							15			
115							18			
120							21			
125							24			
130							28			
135							32			
140							37			
145							42			
150							48			

온도가 40 °C 이고 스트레스가 50% 일 때는 경우 1, 2 는 $\pi_T = \pi_S = 1.0$ 이므로 공식은 간단해진다.

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i} \pi_{Q_i}$$

유닛의 정상상태 고장율은 유닛 내의 모든 기기의 고장율의 합에 유닛의 환경인자를 곱하여 계산한다.

$$\lambda_{SS} = \pi_E \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{SS_i}$$

여기서

n = 유닛내의 서로 다른 기기의 종류

N_i = i 번째 종류의 기기 수

π_E = 유닛의 환경 인자이다.

환경 조건과 그에 대한 환경 인자 값은 표 15와 같다.

표 15 환경조건과 그에 따른 인자

환경	E 심벌	π_E	규정 환경 조건
Ground, Benign	G_B	1.0	최적의 운전 및 보수로 환경 스트레스가 거의 영(zero)임 (공조 설비가 된 중앙 제어실)
Ground, Fixed	G_F	2.0	보수가 용이하지 않고 약간의 환경 스트레스가 있어 이상적이지 않음 (진동, 온도 변화 등이 있음)
Ground, Mobile (and Portable)	G_M	6.0	진동이나 충격이 심하고, 보수가 어렵고 운전원의 오작동 가능성이 있음 (이동식이나 휴대형 기기)
Airborne, Commercial	A_c	10	항공기 객실환경등에 적용되며 보수가 어렵고 조건이 G_F 보다 열악함
Spacebased, Commercial	S_c	15	A_c 와 비슷하나 보수가 안됨. 인공위성등에 적용

(2) 첫째 승수

① 유효 burn-in 시간

i 번째 종류의 기기의 승수(배수)를 구하기 위해서는 그 기기의 유효 burn-in 시간을 계산하여야 한다. 경우 3에 대한 유효 burn-in 시간 t_{e_i} 는 다음과 같다.

$$t_{e_i} = \frac{A_{b,d} t_{b,d} + A_{b,u} t_{b,u} + A_{op} \pi_{S_i}}{A_{op} \pi_{S_i}}$$

여기서

$A_{b,d}$ = 기기 burn-in 온도에 대응되는 아레니우스 가속인자

$t_{b,d}$ = 기기 burn-in 시간 (시간)

$A_{b,u}$ = 유닛 burn-in 온도에 대응되는 아레니우스 가속인자

$t_{b,u}$ = 유닛 burn-in 시간 (시간)

$A_{b,s}$ = 시스템 burn-in 온도에 대응되는 아레니우스 가속인자

$t_{b,s}$ = 시스템 burn-in 시간 (시간)

A_{op} = 정상 운전 온도에 대응되는 온도 가속인자

π_{S_i} = 정상 운전 조건에서의 전기적 스트레스인자이다

온도가 40 °C 이고 스트레스가 50% 인 경우 2 는 $t_{b,d}=0.0$ $A_{op}=\pi_{S_i}=1.0$ 이므로 공식은 간단해진다.

$$t_{e_i} = A_{b,u} t_{b,u} + A_{b,s} t_{b,s}$$

경우1은 유닛/시스템의 burn-in 시간이 1시간이하이고 기기의 burn-in 이 없으므로 더욱 간단하다.

$$t_{e_i} = 0.0$$

② 기기 첫째 승수 π_{FY_i}

위에서 구한 유효 burn-in 시간에 따라 다음과 같이 구한다.

i) 경우 3 이고 burn-in 이 1시간 이상 일 때(표 16)

표 16 첫째 승수(경우 3, burn-in ≥ 1 시간)

t_{e_i} 의 범위	π_{FY_i}
$t_{e_i} \geq \frac{10,000}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}}$	$\pi_{FY_i} = 1.0$
$\frac{10,000}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}} - 8760 < t_{e_i} < \frac{10,000}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}}$	$\pi_{FY_i} = \frac{1.14}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}} \left[\frac{t_{e_i} \pi_{T_i} \pi_{S_i}}{10,000} - 4 \left(\frac{t_{e_i} \pi_{T_i} \pi_{S_i}}{10,000} \right)^{0.25} + 3 \right] + 1$
$t_{e_i} \leq \frac{10,000}{\pi_{T_i} \pi_{S_i}} - 8760$	$\pi_{FY_i} = \frac{0.46}{(\pi_{T_i} \pi_{S_i})^{0.75}} \left[(t_{e_i} + 8760)^{0.25} - t_{e_i}^{0.25} \right]$

ii) 경우 3 이고 burn-in 이 1시간 이내 일때(표 17)

표 17 첫해 승수(경우 3, burn-in ≤1 시간)

t_{e_i} 의 범위	π_{FY_i}
$10,000 \geq 8760 \pi_{T_i} \pi_{S_i}$	$\pi_{FY_i} = \frac{4}{(\pi_{T_i} \pi_{S_i})^{0.75}}$
그 외의 모든 범위	$\pi_{FY_i} = 1 + \frac{3}{(\pi_{T_i} \pi_{S_i})}$

iii) 경우 2일 때 (표 18)

$\pi_T = \pi_S = 1.0$ 이므로 다음과 같다.

표 18 첫해 승수(경우 2)

t_{e_i} 의 범위	π_{FY_i}
$0 < t_{e_i} < 10,000$	$\pi_{FY_i} = \text{TR-332, 표 11-9 에서 선택}$
$t_{e_i} > 10,000$	$\pi_{FY_i} = 1.0$

유효 burn-in 시간이 10,000 시간미만 인 경우의 첫해 승수는 TR-332 표 11-9 에 나타나 있고 크기는 1.0 에서 4.0 까지 분포되어 있다.

iv) 경우 1은 항상 다음과 같다.

$$\pi_{FY_i} = 4.0$$

③ 유닛의 첫해 승수

유닛의 첫해 승수는 다음과 같이 구한다.

$$\pi_{FY} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \lambda_{SS_i} \pi_{FY_i})}{\sum_{i=1}^n (N_i \lambda_{SS_i})}$$

3.3.3 방법 II : 부품 카운트 법과 실험 자료를 복합한 예측 방법

방법II 는 실험 자료를 이용하여 신뢰도를 예측하는 방법이다. 이 절차의 목적은

기기 제작자가 현실적이고 유용한 실험실 시험(laboratory test)을 수행하도록 체계를 확립하는데 있다. 실험실 시험은 비용이 수반되므로 이 결과가 방법 I에 의한 고장율에 미치는 효과를 고려하여 비교검토후 실시하는 것이 바람직하다. 방법 II는 부품 카운트 법에 의한 고유 고장율과 실험실 시험 고장 자료의 가중 평균을 계산하는 것이다. 물론 가중치는 실험실 시험의 결과에 의하여 결정된다. 기기의 고유 고장율 값은 TR-332의 표11-1에서 구하고, 유닛의 고장율 값은 $\lambda_{SS}/(\pi_E \pi_T)$ 이다. 실험실 자료가 유용하면 방법 II에 의한 고장율은 실험실 시험 결과에 좌우되고, 그렇지 않으면 방법 II의 결과는 고유고장율에 좌우된다. 방법 II에 의한 결과를 이용하면 기기(device)나 유닛(unit)의 기초 고장율은 부품 카운트 법의 고유 고장율을 대신한다. 이 기초 고장율은 방법 II의 정상상태 고장율을 계산하는데 사용된다. 또한 이 기기 기초 고장율은 유닛 수준의 부품 카운트 법에 사용하는 TR-332 표11-1의 고유 고장율을 대치한다. 유닛 수준의 고장율이 시스템의 신뢰도 모델에 입력으로 사용될 때는 방법 II에 의한 유닛의 정상상태 고장율이 부품 카운트 법에 의한 고장율을 대체한다. 단 방법 II는 TR-332 표11-1에 기기에 대한 고유 고장율 자료가 없는, 품질 등급 II나 III에 따라 구매하거나 제작된 기기에도 적용가능하다. TR-332 표11-1에 자료가 없는 품질 등급 I에 해당되는 기기의 고장율은 기타 다른 자료를 사용할 수 있다.

방법 II를 적용하기 위한 경우는 4가지로 나누어지며 다음과 같다.

- 경우 L1 : 이전에 기기 burn-in이 없는 기기의 실험실 시험
- 경우 L2 : 이전에 기기/유닛 burn-in이 없는 유닛의 실험실 시험
- 경우 L3 : 이전에 기기 burn-in이 있는 기기의 실험실 시험
- 경우 L4 : 이전에 기기/유닛 burn-in이 있는 유닛의 실험실 시험

각각의 경우의 방법 II에 의한 기초 고장율 (λ_{G_i})과 각 식에 나타나는 기호는 다음과 같다.

- n = 실험실 시험에서의 고장 횟수
- λ_{G_i} = TR-332 표11-1에 있는 기기 고유 고장율 [FITS], 만일 표에 없으면 다른 자료 이용
- N_0 = 시험한 기기/ 유닛 숫자
- T_1 = 유효 시험 시간, 실제 시간 (T_a)에 TR-332 표11-7 커브 7의 온도 가속 인자 (A_L)를 곱한 값

π_Q = 기기 품질 인자 (TR-332 표11-4)

λ_G = 유닛 고유 고장율($\lambda_{SS}/(\pi_E \pi_T)$)

$\lambda_{G_i}^*$ = 기기 기초 고장율

λ_G^* = 유닛 기초 고장율

i) 경우 L1 : Burn-in 이 없는 기기

만약 $T_1 \leq 10,000$ 이면

$$\lambda_{G_i}^* = [2+n]/[(2/\lambda_{G_i}) + (4 \times 10^{-6}) N_0 (T_1)^{0.25} \pi_Q]$$

만약 $T_1 > 10,000$ 이면

$$\lambda_{G_i}^* = [2+n]/[(2/\lambda_{G_i}) + ((3 \times 10^{-5}) + (T_1 \times 10^{-9})) N_0 \pi_Q]$$

방법 II에 의한 기기 정상상태 고장율은 방법 I에서 λ_{G_i} 를 $\lambda_{G_i}^*$ 로 대체하면 된다.

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i}^* \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i} \quad (\text{경우 3})$$

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i}^* \pi_{Q_i} \quad (\text{경우 1, 2})$$

ii) 경우 L2 : burn-in 이 없는 유닛

만약 $T_1 \leq 10,000$ 이면

$$\lambda_G^* = [2+n]/[(2/\lambda_G) + (4 \times 10^{-6}) N_0 (T_1)^{0.25}]$$

만약 $T_1 > 10,000$ 이면

$$\lambda_G^* = [2+n]/[(2/\lambda_G) + ((3 \times 10^{-5}) + (T_1 \times 10^{-9})) N_0]$$

방법 II의 유닛 정상상태 고장율은 다음과 같다.

$$\lambda_{SS}^* = \lambda_G^* \pi_E \pi_T$$

iii) 경우 L3 : Burn-in 이 있는 기기

우선 총 유효 burn-in 시간을 정의한다.

$$T_e = A_{b,d} t_{b,d}$$

여기서

$A_{b,d}$ = 기기 burn-in 온도에 대응되는 온도 가속 인자

$t_{b,d}$ = 기기 burn-in 시간 (시간) 이다

방법 II에 의한 기초 고장율($\lambda_{G_i}^*$)은 다음과 같다.

$$\lambda_{G_i}^* = [2+n] / [(2/\lambda_{G_i}) + (4 \times 10^{-6}) N_0 W \pi_{Q_i}]$$

W 는 다음과 같이 계산한다.

만약 $T_1 + T_e \leq 10,000$ 이면

$$W = (T_1 + T_e)^{0.25} - T_e^{0.25}$$

만약 $T_1 + T_e > 10,000 \geq T_e$ 이면

$$W = ((T_1 + T_e)/4000) + 7.5 - T_e^{0.25}$$

만약 $T_e > 10,000$ 이면

$$W = T_1/4000 \text{ 이다.}$$

그리고 방법 II에 의한 유니트의 정상상태 고장율은 다음과 같이 방법 I에서 λ_{G_i} 를 $\lambda_{G_i}^*$ 로 대체하면 된다.

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i}^* \pi_{Q_i} \pi_{S_i} \pi_{T_i} \text{ (경우 3)}$$

$$\lambda_{SS_i} = \lambda_{G_i}^* \pi_{Q_i} \text{ (경우 1, 2)}$$

iv) 경우 L4 : Burn-in 이 있는 유닛

우선 총 유효 burn-in 시간을 정의한다.

$$T_e = T_{b,d}^* + A_{b,u} t_{b,u}$$

여기서

$T_{b,d}^*$ = 기기 평균 유효 burn-in 시간

$A_{b,u}$ = 유닛 burn-in 온도에 대응되는 온도 가속 인자

$t_{b,u}$ = 유닛 burn-in 시간 (시간) 이다

방법 II 에 의한 기초 고장율($\lambda_{G_i}^*$)은 다음과 같다.

$$\lambda_{G_i}^* = [2+n] / [(2/\lambda_{G_i}) + (4 \times 10^{-6}) N_0 W]$$

W 는 다음과 같이 계산한다.

만약 $T_1 + T_e \leq 10,000$ 이면

$$W = (T_1 + T_e)^{0.25} - T_e^{0.25}$$

만약 $T_1 + T_e > 10,000 \geq T_e$ 이면

$$W = ((T_1 + T_e)/4000) + 7.5 - T_e^{0.25}$$

만약 $T_e > 10,000$ 이면

$$W = T_1/4000 \text{ 이다.}$$

방법 II의 유닛 정상상태 고장율은 다음과 같다.

$$\lambda_{SS}^* = \lambda_G^* \pi_E \pi_T$$

v) 시험 대상 유닛 또는 기기의 수

다음 식에 의하여 시험 중 적어도 2번의 고장이 일어날 것을 기대할 수 있는 기기의 숫자는 다음과 같다.

$$N_0 = (0.5 \times 10^6) / [R((T_1 + T_e)^{0.25} - T_e^{0.25})]$$

여기서 언급한 기호들은 이전 절에서 사용한 것들이다. 단지 R은 방법 I 또는 다른 방법으로 고장율 예측 값이다.

3.3.4 방법 III : 현장 추적 자료를 이용한 통계적 예측

현장에서 발생한 고장을 추적하여 수집한 자료를 이용하여 기기나 유닛의 현장 고장율을 계산할 수 있다. 그리고 계산된 값으로 기기나 유닛의 방법 III 정상상태 고장율을 계산하는데 사용하고, 이 결과는 시스템 수준의 신뢰도 모델에 적용할 수 있다. 이 방법에 적용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- 대상 시스템 : 유닛 수준의 고장율 예측이 특정 시스템의 분석에 이용될 때의 대상 시스템을 말한다.
- 대상 유닛 : 대상 시스템에 속한 유닛이다.
- 추적 시스템들 : 현장 추적자료가 수집된 가동중인 계통들의 특정한 표본으로 대상 시스템과 다를 수 있다.
- 추적 유닛 : 추적 시스템에 속한 유닛으로서 신뢰도 자료가 수집된 것을 말한다. 이것 역시 대상 유닛과는 다를 수 있다.

또한 방법 III에 적용되는 식에 포함된 기호는 다음과 같다.

t = 추적 시스템 내에 있는 기기나 유닛의 총 운전 시간

f = t 시간 내에 추적 시스템 내에서 관측된 고장의 숫자

ϕ = 미지의 숫자로 정상 상태 고장율

$\phi' = \text{현장 고장율} \left(\frac{f}{t} \right) \text{ [FITs]}$

$N_i = i \text{ 번째 기기의 숫자}$

$\lambda_{SS_1} = \text{방법 I 에 의한 유닛이나 기기의 고장율 예측값}$

$\lambda_{SS_1} = \lambda_{SS} \quad \text{-- 대상 유닛}$

$\lambda_{SS_1} = \lambda_{SS_i} \pi_E \quad \text{-- 대상 기기}$

$\lambda_{SS_2} = \text{방법 I, 경우 3 에 의한 유닛의 고장율 예측값}$

$\lambda_{SS_2} = \lambda_{SS}$

$\theta_{SS_i} = \text{방법 III 에 의한 } i \text{ 번째 기기의 고장율 예측값}$

$\theta_{SS} = \text{방법 III 에 의한 유닛의 고장율 예측값}$

$\theta_{SS_3} = \text{방법 III 에 의한 유닛이나 기기의 고장율 예측 값을 나타내는 일반적 기호}$

$\pi_{T_1}, \pi_{T_2} = \text{대상(1) 과 추적(2) 시스템의 온도 인자 (TR-332, 표 11-7)}$

방법 III은 현장 자료의 출처에 따라 다음과 같이 3가지로 분류된다.

- 방법 III(a) : 대상 시스템의 일부분으로서 사용되는 기기, 유닛, 하부시스템의 운전 성능에 기초한 고장율 예측 방법
- 방법 III(b) : 다른 시스템의 일부분으로서 사용되는 기기, 유닛, 하부시스템의 운전 성능에 기초한 고장율을 근거로 대상 시스템의 기기, 유닛, 하부시스템의 고장율 예측 방법 (서로 다른 시스템간의 운전 조건/ 환경의 차이가 고려됨)
- 방법 III(c) : 동일 제작자가 만든 재료나 기술이 비슷하고 유사한 환경과 적용이 비슷한 유사 부품으로부터 수집된 자료를 이용하여 유닛이나 하부 시스템의 고장율을 예측하는 방법 (기간의 차이점이 고려됨)

방법 III은 어떠한 품질등급이나 환경등급에도 적용이 가능하다. 단 대상 시스템의 품질등급이 추적시스템의 등급보다 같거나 높아야 한다. 그리고 대상 시스템의 환경도 추적시스템의 환경보다 같거나 온화해야 적용이 가능하다. 따라서 지상 온화, 지상 고정, 지상 이동 (Ground benign, Ground fixed, Ground mobile) 환경에서 적용이 가능하다. 방법 III 을 적용하기 위한 기본 현장 추적 시간은 최소한 3000

시간이 넘어야 하고 총 운전 시간 t 는 다음 조건(표 19)을 만족시켜야 한다.

표 19 운전 시간 기준

방법 III(a) 및 III(b)	$t \geq \frac{2 \times 10^9}{\lambda_{SS_1}}$
방법 III(c)	$t \geq \frac{2 \times 10^9}{\lambda_{SS_2}}$

방법 III 의 수행 절차는 다음과 같다.

- (1) 추적 시스템에서 기기나 유닛의 고장을 f 과 총 운전 시간 t 를 결정한다.
- (2) 방법 III(b) 또는 III(c) 인 경우에는 주어진 표에서 대상(1), 추적(2) 시스템의 운전 온도에 따른 인자 π_{T_1} , π_{T_2} 를 결정한다.
- (3) 대상 기기의 고장을 데이터가 주어진 고장률 표에 있는 경우에는 다음과 같이 λ_{SS_1} 을 구한다.

- 방법 III(a) 및 III(b) : 방법 I , 경우 1 또는 경우 3 으로 λ_{SS_1} 을 계산

- 방법 III(c) : 방법 I , 경우 3 으로 λ_{SS_1} 을 계산

- (4) 추적 기기가 대상 기기와 다를 때는 방법 I 을 적용하여 λ_{SS_2} 를 계산한다.
- (5) 조정 값을 다음(표 20)과 같이 계산한다.

표 20 조정 값

$V =$	1.0	방법 III(a)
	$\frac{\pi_{T_2}}{\pi_{T_1}}$	방법 III(b)
	$\frac{\lambda_{SS_2}}{\lambda_{SS_1}}$	방법 III(c)

- (6) 방법 III에 의한 고장률을 다음(표 21)과 같이 구한다.

표 21 방법 III 의 고장률

λ_{SS_1} 이 있는 경우	$\theta_{SS_3} = \frac{2+f}{\frac{2}{\lambda_{SS_1}} + (V \times t \times 10^9)}$
λ_{SS_1} 이 없는 경우(방법 III(a) 및 III(c))	$\theta_{SS_3} = \frac{10^9 \times U}{t \times V}$

여기서 U 는 관측된 f 고장이 관측된 Poisson 변수의 평균에 대한 95% 확신도의 상한 값이다.

Bellcore 방법에 의한 직렬 시스템에 대한 전체 시스템 수준의 신뢰도는 모든 유닛의 정상상태 고장율을 다음과 같이 합산하여 계산한다.

$$\lambda_{SYS} = \sum_{j=1}^M \lambda_{SS(j)}$$

여기서 $\lambda_{SS(j)}$ 은 유닛 j 의 정상상태 고장율이고, M 은 유닛의 숫자이다. 그리고 직렬 시스템의 첫해 승수는 다음과 같이 구한다.

$$\pi_{FYSYS} = \frac{\sum_{j=1}^M \lambda_{SS(j)} \pi_{FY(j)}}{\lambda_{SYS}}$$

여기서 $\pi_{FY(j)}$ 는 j 번째 유닛의 첫해 승수이다.

3.4 부품 신뢰도 예측 방법 비교

앞 절에서 자세히 검토한 MIL-HDBK-217 과 Bellcore TR-332 방법을 포함한 여러 가지 방법은 거의 유사한 다음과 같은 신뢰도 식을 사용한다.

$$\lambda_{PART_i} = \lambda_{G_i} \sum_{i=1}^n \pi_{F_i}$$

$$\lambda_{EQUIP} = \pi_E \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{PART_i}$$

즉 정상상태에서 기기의 고장율은 부품의 고장율과 π 인자에 의하여 결정된다. 각 방법별로 영향이 두드러지는 인자들이 있는데 이를 살펴보면 다음 표 22와 같다. [14]

표 22 신뢰도 예측 방법별 민감 인자

예측방법	최대 민감 인자
Bellcore	Electrical stress
CNET	Quality
HRD4	Quality
MIL-HDBK-217	Environment, Quality
Siemens	Temperature

그러나 이들 방법의 직접적인 비교는 신중하여야 한다. 예를 들면 같은 품질인자라도 그에 해당되는 기준은 해당 방법에서 독특하게 정의하기 때문이다. 따라서 각 방법에 따른 신뢰도 데이터는 핸드북형태로 출판되어 사용되고 있는데 그 값이 서로 달라 직접 비교하기는 어렵다. 가장 좋은 방법은 사용자로부터 직접 얻은 현장의 고장데이터를 사용하는 것이다. 일부는 핸드북의 자료에 현장 경험 자료를 복합 시켜서 사용하기도 한다. 따라서 각각의 방법에 의한 결과가 서로 상이하다. 그리고 각 방법의 편차는 현재보다 과거가 더 심하였다. 그 예로서 64K DRAM 부품의 고장율 예측 결과를 표 23 에 나타내었다. [15]

또한 같은 사양의 부품에 대한 고장율을 8년뒤의 데이터를 근거로 예측한 결과는 이전의 값과 상당히 다르다. 물론 최근의 값이 보다 현장 자료에 근접한다. 표 20 보다 8 년후에 예측한 결과는 표 24 에 나타나 있다.

표 23 64K DRAM 의 고장을 예측 비교(1986)

	1개의 64K DRAM - 주위온도 : 40℃ - 접합점 온도 : 47.5℃ - 사용 환경 : 지상 온화 - 제작 : 16pin non-hermetic 포장 - 품질 : 상용 등급	사양 고 장 을 [FIT]
핸드북	MIL-HBBK-217D	11250
	HRD 3	10
	CNET	541
	NTT	542
	Bellcore TR-332	550

표 24 64K DRAM 의 고장을 예측 비교(1994)

	1개의 64K DRAM - 주위온도 : 40℃ - 접합점 온도 : 47.5℃ - 사용 환경 : 지상 온화 - 제작 : 16pin non-hermetic 포장 - 품질 : 상용 등급	사양 고 장 을 [FIT]
핸드북	MIL-HDBK-217F	49
	HRD 4	8
	CNET	22
	Italtel IRPH93	14
	Bellcore TR-332	45

이 결과는 최근의 방법이 보다 정확하고 방법들간의 편차가 적음을 나타낸다. 이것은 부품 고유의 신뢰도를 예측하는 모델과 현장이력이 반영된 “지식인자”(learning factor)를 나타낸다. 즉 과거에 모델에 있어서 부적합하거나 불확실한 것은 제거하고, 현장 이력을 반영하여 고장 자료를 갱신 한 결과이다.

다른 관점은 예측한 결과와 실측한 고장율과의 비교이다. 예측 자체만으로 제품의 우열을 가리거나 하는 등의 설계나 개발단계에서의 목적을 이룰 수는 있겠지만 보다 근본적인 것은 사용자가 감지하는 신뢰도인 것이다. 예로서 프린트 회로 기판을 대상으로 9개의 제작자의 설계를 비교하기 위한 고장율 예측 결과를 표 25 에 나타내었다. [15] 이 결과에서 보면 한 제작자를 제외하고는 예측 값이 관측값보다 낙관적(고장율이 적음)으로 평가되었다. 이는 실제 적용환경이 설계시에 고려한 운전 조건과 환경보다 과하거나 열악하기 때문이다. 또 다른 예를 표 26과 표 27에 나타내었다. [14] 표 26과 표 27의 예제는 영국의 국제 전자 신뢰도 연구소 (The International Electronic Reliability Institute)의 연구 결과인데 주목할 점은 각 방법별 차이와 실제 현장에서 수집한 신뢰도와의 차이이다. 현장에서 측정한 고장율이 예측한 값 보다 항상 높은 것은 아니고 경우에 따라서는 낮게 나타난다. 이것은 방법 선택과 고장 자료의 중요성을 의미한다.

표 25 신뢰도 예측값과 관측값의 비교(1987)

기판 제작자	MIL-HDBK-217 예측 (FIT/1000)	관측결과 (FIT/1000)
A	400	19607
B	400	460
C	800	2119
D	138	862
E	173	13513
F	500	947
G	286	1600
H	625	277
I	714	10200

표 26 CB #2 부품별 신뢰도와 예측값과 현장 신뢰도와의 비교 (단위=no/FIT)

Device	Bellcore	CNET	HRD4	MIL217	Siemens
Transformer	3	9	7	6	5
Coil activated relay	770	605	440	1430	88
Aluminum electrolytic capacitor	210	22	120	16	120
Polyester capacitor	17	4	6	1	14
pn-Junction diode	230	149	345	152	230
Zener diode	16	63	87	94	350
LED	9	15	280	65	0
Bipolar digital IC(11-100gates)	59	413	7	3	20
Bipolar linear IC(11-10gates)	14	57	13	3	500
Bipolar linear IC(11-100gates)	42	80	13	3	150
MOS digital IC (1-10 gates)	83	903	27	3	40
Rectangular connector	7	1	50	8	22
Varistor	6	0	10	0	10
Carbon film resistor	182	27	10	11	26
Wire-wound resistor	127	42	6	1	30
Metal film resistor	7	25	0.5	0.5	2
Rocker switch	5	44	30	1	20
Bipolar Transistor	25	19	16	38	20
TOTAL failure rate	1812	2478	1467.5	1835.5	1647
Field failure rate			587		
Deviation	1225	1891	880	1248	1060

표 27 CB #1 부품별 신뢰도 예측값과 현장 신뢰도와의 비교 (단위=no/FIT)

Device	Bellcore	CNET	HRD4	MIL217	Siemens
ceramic multilayer capacitor	210	45	3	4	35
pn_junctiondiode	125	300	300	9	25
Bipolar digital IC	936	390	168	50	60
Metal oxide resistor	1590	596	51	52	795
Discrete bipolar transistor	7812	20937	4000	1225	1250
Tantalum electrolytic capacitor	1350	3780	40	594	180
TOTAL failure rate	12023	26048	4562	1934	2345
Field failure rate			4274		
Deviation	7749	21774	288	-2340	-1929

3.5 MIL-HDBK-217 과 Bellcore TR-332 의 비교

전 절에서 많은 예측방법을 다루었지만 실제 적용관점에서, 현재 세계적인 전자 부품제작자나 신뢰도 엔지니어들이 가장 많이 사용하는 MIL-HDBK-217 과 Bellcore 방법을 비교한다. MIL-HDBK-217 과 Bellcore에 의한 평균 고장 시간(MTBF) 비교 테스트에 의하면 Bellcore 결과가 일반적으로 상업적 전자 장비들에 대해 더 나은 결과를 추정해 낼 수 있으며 많은 상업적 고객들에 의하면 Bellcore에 의해 추정된 평균 고장 시간(MTBF)이 실제 현장 경험과 매우 일관된 결과를 나타낸다고 보고하고 있다. 그러나 Bellcore 도 부품의 기본 고장율(basic failure rate) 는 MIL-HDBK-217의 자료를 토대로 하고 있다. MIL-HDBK-217과 Bellcore TR-332를 비교하면 다음과 같은 차이를 보이고 있다. [17]

- (1) Bellcore는 5개의 환경 조건만 고려하는 반면에 MIL-HDBK-217는 그라운드와 우주, 수중에서의 14가지 환경 조건을 고려한다. 이렇듯, 만일 실제 제품이 우주나 수중에서 사용된다면 보다 더 정확한 신뢰도 예측을 위해서 MIL-HDBK-217을 사용하여야한다.
- (2) Bellcore는 모든 부품 고장률을 주변 온도(ambient temperature)를 토대로 함으로써 모델을 단순화시키고 있다. 반면에 MIL-HDBK-217 은 집적회로와 반도체 소자들의 부품 접합 온도를 기반으로 고장률을 계산한다. Bellcore 방법이 빠르고 쉽지만 고 전력 소모 부품에 대해서는 부정확할 수도 있다.
- (3) Bellcore는 SMT(smalltalk)소자를 포함하지 않는다. 다시 말해서 기존의 일반적인 소자 고장률과 SMT소자 고장률 사이의 중요한 차이를 반영하지 못한다. MIL-HDBK-217은 SMT 모델을 평가하도록 개발되었고 SMT 소자를 더욱 더 상세히 평가할 수 있다.
- (4) Bellcore는 정상 상태에서의 고장률뿐만 아니라 초기 고장률도 계산할 수 있으나 MIL-HDBK-217은 유효 수명 기간의 전자 부품 고장률만 계산할 수 있다.
- (5) Bellcore는 미국이외의 지역에서는 광범위하게 사용되지 않는다. 전 세계적으로 80 %이상이 MIL-HDBK-217 자료를 사용하고 있다.
- (6) Bellcore 는 상업용 제품의 신뢰도 평가가 주 대상이지만 MIL-HDBK-217은 군 사용은 물론 상업용 제품까지 포함하여 광범위하게 지원한다.
- (7) 두 가지 방법의 계산은 비슷하지만 Bellcore 방법이 보다 낙관적으로 예측한다. 그리고 계산 시에 Bellcore 방법이 보다 적은 변수를 사용한다.
- (8) Bellcore 방법은 burn-in, 실험실 시험, 현장 자료를 반영하여 계산할 수 있다. 이 방법은 경험자료를 이용하는 것으로 스트레스 인자만을 고려할 때보

다 실질적이다. 또한 burn-in 자료를 이용하여 첫해승수(first year multiplier)를 계산할 수 있다.

- (9) Bellcore 방법은 고장율을 FIT (Failure in time, in 10^9 hours)으로 나타내고, MIL-HDBK-217 은 FPM (Failure per million(10^6) hour)으로 나타낸다.
- (10) Bellcore 는 gyroscope, battery, heater, cooler, computer 에 대해, MIL-HDBK-217 은 PCB, laser, SAWS, magnetic bubble memory, tube 에 대해 고유하게 자료를 제공한다.
- (11) Bellcore 는 품질 등급을 4개로 나누고 이를 모든 부품에 다 적용하지만, MIL-HDBK-217 은 부품별로 품질 등급이 다르게 정의되어 있다.

따라서 두 가지 방법 중에서 어떤 것을 적용할 것인지는 대상에 따라 환경에 따라 결정되어야 한다. 일부 전자 제품 제조업자는 두 가지 방법을 모두 적용한 결과를 동시에 제공하고 있다. 한 통신 장비의 예를 그림 7 에 나타내었다. [18]







	Product Number	Product Name	Product Description	MIL-HDBK-217 FN2		Bellcore 6	
				MTBF	Failure Rate *	MTBF	Failure Rate *
	8000P	Aries	8 port 115.2 kbps Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	86,731 hours	11.529865	411,197 hours	2.431924
	16000P	Aries	16 port 115.2 kbps Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	45,235 hours	22.106959	339,410 hours	2.318805
	4020P	Apollo	4 port 230.4 kbps Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	192,112 hours	5.205288	934,546 hours	1.070038
	2520P	Saturn	2 port 230.4 kbps Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	485,088 hours	2.061481	1,338,160 hours	0.747295
	4520P	Saturn	4 port Synchronous/Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	192,112 hours	5.205288	934,546 hours	1.070038
	8520P	Saturn	8 port Synchronous/Asynchronous PCI-Bus Serial Controller for Solaris and WindowsNT	64,072 hours	15.607424	785,046 hours	1.273811

그림 7 MIL-HDBK-217 과 Bellcore TR-332 의 적용 예

제 4 장 시스템 신뢰도 분석 방법

4.1 개요

신뢰도 분석은 부품 뿐만 아니라 우리가 알고자하는 것은 부품들이 조합된 유닛 또는 시스템의 신뢰도를 구하는 것이다. 시스템의 신뢰도 계산에서 중요한 두 가지 요건은 (1) 시스템환경에서 사용된 부품의 신뢰도 예측과 (2) 부품들의 조합에 대한 신뢰도 계산이다. 부품의 신뢰도는 실제데이터에 근거한 통계적 자료나, MIL-HDBK-217, 또는 Bellcore TR-332 에 의한 방법으로 구할 수 있다.

일단 부품의 신뢰도에 대한 올바른 값을 얻었거나 추정치가 있다면 아무리 복잡하게 조합된 부품들로 이루어진 시스템이라 하더라도 시스템의 신뢰도는 정확히 구할 수 있다. 물론 소프트웨어의 영향을 배제하는 가정을 적용한 경우이다.

하드웨어의 신뢰도 분석에 사용되는 주요한 정량적 신뢰도 예측 방법을 분류하면 다음과 같다. [6]

- 부품 카운트 모델 (Part Count models)
 - 부품 카운트법(Part Count Method)
- 조합 모델(combinatorial models)
 - 신뢰도 블록도 법 (Reliability Block Diagram)
 - 고장 수목 분석법 (Fault Tree Analysis)
 - 상태 공간 분석법 (State Space or Markov Analysis)
 - 페트리 넷 (Petri Nets)
 - 몬테카를로 시뮬레이션 모델(Monte Carlo Simulation Models)
 - GO 방법(Go method)
 - 단계화 임무 분석법(Phased Mission Analysis)
 - 복합 기술 (Hybrid techniques)

4.2 부품 카운트 법

MIL-HDBK-217의 부품 카운트 법을 시스템 수준의 신뢰도 예측에 적용하는 데는 다음과 같은 비판이 있다. [16]

- (1) 근래의 경험에 의하면, 현대의 전자 시스템의 고장 중에서 극히 적은 부분만이 내적 이유로 인한 부품 고장 때문이다. (전형적으로 1-10 %)

- (2) 근래에는 군사기준과 고선별 수준에 이르는 ‘고등급’ 부품들의 신뢰도가 제조업자 사양으로 구매한 좋은 상용등급의 부품들보다 항상 높지는 않다.
- (3) 고장율의 온도 의존도는 현대 경험이나 고장 물리에 의해서 지지되지 못하고 있다.
- (4) 모델들에 사용된 변수들의 타당성에 의심이 간다. 예를들면 복잡도가 증가하는데 따라 고장률이 현저히 증가하지 않는다. 계속되는 공정 개선이 복잡도의 효과를 상쇄하기 때문이다.
- (5) 과도(transient) 과부하, 온도 순환(cycling), 조립 통제, 시험과 보전 등과 같이 신뢰도에 영향을 주는 많은 요인들을 고려하지 않는다.

또한 부품 카운트 법은 ‘ 제 3장 고장 데이터(부품의 신뢰도 예측)’ 에서 다루었으며 직렬 구조를 가정하여 계산하는 방법이다. 따라서 이 장에서는 별도로 다루지 않는다.

4.3 신뢰도 블록도 법(Reliability Block Diagram , RBD)

RBD는 주어진 시스템이 성공-경로(success path way) 에 의해 표현될 수 있는 귀납적 절차를 나타내는 것으로서 시스템의 고유 요소를 나타내는 블록들로 나뉜다. 이 방법은 발전소나 시스템의 신뢰성 예측, 할당에 주로 사용되는 것으로서 이러한 응용 분야에서 시스템 블록은 요구되는 상세 수준이 달성되고, 시스템 신뢰성 계산 값이 얻어지며, 민감도 연구를 통해 요구되는 신뢰도를 할당할 수 있을 때까지, 그리고 전체 시스템의 신뢰도를 최적화 할 수 있을 때까지 연속적으로 분해(decompose)된다.

RBD는 원자력발전소의 확률론적 위험도 평가(Probabilistic Safety Assessment: PSA)의 고장 수목의 정량화에 대한 명확성을 부여하고 그러한 정량화를 좀더 용이하게 하기 위해 사용되어왔다. RBD 형태의 전형적인 시스템 분석이 표 28 에 나타나 있다. RBD는 시스템 구성요소가 갖는 중요성을 분석자가 알 수 있게 해주며, 시스템 불가용도를 계산하기 위한 불린(boolean) 표현을 용이하게 한다.

PSA과정에서 사용하는 RBD는 시스템 트레인의 유사한 구성 요소들을 하나의 부품과 같이 다룰 수 있는 큰 신뢰도 단위로 조합하고 그들을 병렬로 연결하여 대상 시스템과 유사한 모델을 만들어내는 것이다. 전체 신뢰도 단위들의 신뢰성 분포는 선택된 각 구성성분의 신뢰성 분포의 조합으로 이뤄지며 이러한 구성성분들은 정량적인 고장수목 계산의 최소 단절 집합을 기반으로 하고 있다. 이러한 RBD의 장점은 정량

화 과정을 보다 명백히 하면서 분포의 조합이 단계적으로 수행된다는 것이다.

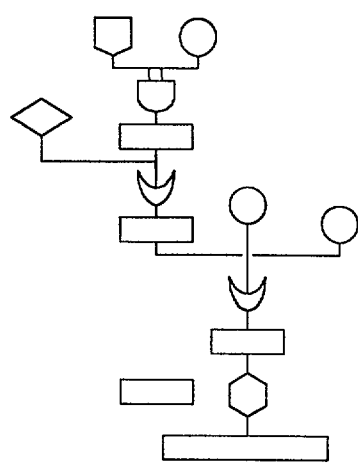
표 28 RBD 작성 방법

RBD 작성						
기본 법칙	<ul style="list-style-type: none"> - Failure Independence Of Block Failures - Bimodal Device Status - System Operational If All Devices Operate - System Failure If All Devices Fail - A Device Failure Cannot Make a Failed System Operational - System Remains Operational After Any Device Repair - All Block Connecting Lines Have A Reliability Of 1 - A Block Fails If Any Part Of the Block Fails 					
연결구조	기본	Series		$\prod_{i=1}^n R_i$		
		Redundant	simple parallel		$1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$	
			m out of n		$\sum_{i=m}^n \binom{n}{i} R_i^i (1 - R)^{n-i}$	
		Special Redundant	Standby redundancy	standby redundancy		$e^{-\lambda t} [1 + \frac{\lambda}{\lambda_r} (1 - e^{-\lambda_r t})]$
				parallel-serial		$2R_a R_b - R_a^2 R_b^2$
				serial-parallel		$(2R_a - R_a^2)(2R_b - R_b^2)$
		Duplex redundancy				
		Majority voting				
		복합	Bridge			

장점 : 신뢰도 블록도가 기능 블록도와 일대일 대응과 같이 구성되어 간단하며 잘

그림 8 고장 수목

기본 원인으로부터 발생하는 사건이나 원인으로 개입이 가능	□
발생 확률이 주어질 수 있는 기본 원상 (인간적 오류, 특정 회로, 부품, 인간 실수)	○
장모, 시간, 시건 혹은 개치가 없어도 개입되지 않는 원상	◇
AND Gate, 모든 입력 사건이 주어졌을 때 발생하는 출력 사건	∩
OR Gate, 하나 이상의 입력 사건이 주어 졌을 때 발생하는 출력 사건	∪
NOT Gate, AND Gate와 비슷하나 조건부 사건을 적용할 때 사용	◊
중요 사건에 대한 설명	◻



체계, 운영 시험 혹은 설계 자료 분석 동안에 발견된 고장 유형을 분석하는데 적합한 분석 도구이다. FTA 절차는 기본적인 결함을 발견하여 이들의 원인과 결과를 밝히려고 이들의 발생 확률을 결정하는 반복적인 기술 과정으로 특징 지워진다. 그 과정이 그림 8, 9에 나타나 있다. 시스템 고장이나 위험사건을 일으키는 원인에 대한 기본 결함이나 사건을 설명하는 고장 수목 논리도를 작성하고 확률값 계산은 위해 기본 결함 자료와 고장 확률 자료를 수집한다. 그런 다음에 기본 결함을 분석하고 고장 유형에 대한 확률을 결정하며 지명도를 결정한다.

4.4 고장 수목 분석법 (Fault Tree Analysis , FTA)

이해할 수 있고, 사용하기가 간편하다. 따라서 신뢰도 계산의 출발점으로서 편리 사용된다.
단점 : 신뢰도 블록도는 모든 부품이 임무 수행 중에 가입되어 있는 제한된 다음 구성만 표현이 가능하다. 즉 기율 블록도에 현대인 대응이 되지 않는 중속관 계나 운용원인 고장등을 나타낼 수가 없다. 따라서 복잡한 형태로 구성된 시스템의 평가를 위해서는 추가적인 표시가 필요하고 이를 위한 특수한 계산식 틀이 개발되어야 한다.

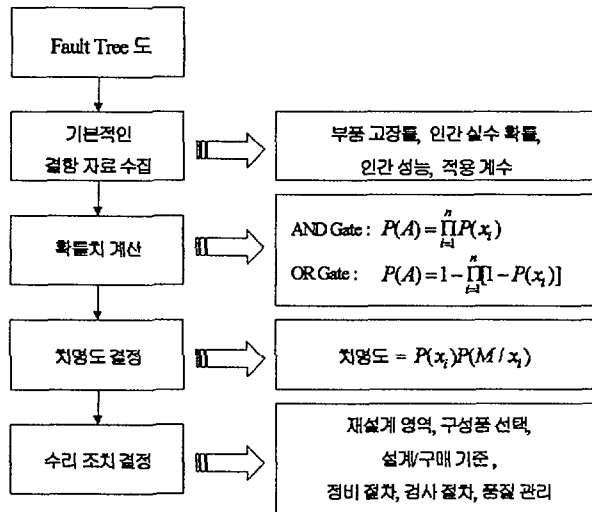


그림 9 고장 수목 분석 절차

이러한 FTA 절차는 시스템의 생명주기 어느 단계에도 적용이 가능하나 다음의 경우에 가장 효과적이다.

- ① 기초적인 설계단계에서 설계정보와 실험실 혹은 기술적 시험 모델에 근거하여 적용할 경우
- ② 최종 설계가 끝나고 대량생산이 이루어지기 전에 생산 설계와 초기 생산 모델을 근거하여 적용할 경우

첫 번째 경우는 고장 유형을 결정하고 다른 대안(일차적으로 설계분야에서)을 도출할 때 수행된다. 두 번째 경우는 신뢰도와 안전도 관점에서 시스템의 생산이 수용 가능한가를 보여주는 데 사용된다. 두 번째 분석으로부터 도출된 개선사항이나 척도는 제조에 따른 설계 구조의 관점에서 수행될 수 있는 관리나 체계적인 조치에 중점을 두고 있다.

장점 : 고장수목으로 표현하면 시스템의 고장 프로세스와 고장 전파를 명확히 파악할 수 있다.

단점 : 고장수목이 널리 사용되고 있지만 다중 구성의 시스템을 다루는데는 부족한 점이 있으며, 단점들을 열거하면 다음과 같다.

- 시간 표현 : 다단계 임무(multiphase mission) 는 수행시 각 단계마다 서로 다른 기기구성을 요구한다. 그러나 고장수목을 가지고 나타내기가 쉽지 않다. 또한 다중 시스템에서 전환 시에 걸리는 시간과 같은 시간 간격을 표현 할 수 없다.
- 고장의 심각도 : 복잡한 시스템에서는 다중고장과 같이 고장유형도 복잡할 수 있다. 기기가 기능을 못하는 것과 기기는 영향이 적으나 인명이 위태로운 경우 등을 구분하기가 어렵다.
- 고장 순서 : 복잡한 다중 시스템에서는 고장의 영향을 파악하기 위해서는 고장 순서가 중요하다. 시스템의 대응이 고장 순서에 따라 달라지기 때문에 중요한 다중 시스템에서는 고장 발생 순서가 더욱 중요하다. 그러나 고장 수목은 이것을 나타낼 수가 없다.
- 고장 중복 : 동일한 형태의 고장이 다른 곳에서도 나타날 수가 있는데 이것을 구분하여야 에러가 발생되지 않는다.
- 고장 전파 : 다중 시스템에서 한 시스템에 고장이 발생되면 이 고장을 복구 또는 우회하기 위하여 시스템 구성이 동적으로 변경된다. 즉 동적 신뢰도 모델이 필요하나 고장 수목으로는 이를 표현할 수 없다.
- 복구 및 보수 : 다중시스템에서는 복구와 보수가 중요한 운전 상태이다. 그러나 고장수목으로는 이러한 프로세스를 표현할 수 없다.

4.5 상태 천이도 (State Transition Diagram STD) 분석법

상태 천이도는 마코프 프로세스를 도식적으로 나타낸다. 마코프 확률 모형은 두 확률변수의 함수로써, 시스템의 상태(state)를 나타내는 확률변수 X 와 관측시간을 나타내는 확률변수 t 의 함수이다. 여기서 X 와 t 가 각각 이산적(discrete)인가 연속적(continuous)인가에 따라 마코프 모형을 4가지로 분류할 수 있으며 그 중에서 상태가 이산적이고 관측 시간이 연속적인 모형은 신뢰도 공학에서 중요한 의미를 가진다. 마코프 모형은 어떤 상태 i 에서 다른 상태 j 로의 천이(transition) 확률의 집합 P_{ij} 로 정의된다. 마코프 모형의 중요한 특성 중 하나는 천이 확률 P_{ij} 가 상태 i 와 j 에만 달려 있어서 과거의 상태와는 전혀 관계가 없다는 것이다

(independent).

마코프 과정은 연립 미분 방정식과 초기조건으로 나타나게 된다. 단지 최종상태만이 확률을 결정한다는 마코프 과정의 기본 가정 때문에 항상 연립 1계 미방을 얻게 된다. 연립 미방에서 인자들을 천이 행렬(transition matrix)로 만들어 명시할 수 있다. 행(Row)는 과정이 시간 t 에 있을 상태를 나타내고 열(column)은 과정이 시간 $t+dt$ 에 천이할 상태를 나타내며 전자를 초기상태(initial state), 후자를 최종상태(final state)라 한다. 여기서 P_{ij} 는 시간 간격 dt 사이에 시스템이 초기 상태 i 에서 최종상태 j 로 천이할 확률을 나타낸다. 이렇게 정의된 미분 방정식을 풀어냄으로써 시스템이 각 상태에 존재할 확률을 구하게 된다.

일반적으로 마코프 모형을 모사하기 위해서 시스템 상태를 나타내는 마디(node)와 천이 확률을 나타내는 가지(branch)로 이루어진 마코프 그래프를 사용하는 경우가 많다.

장점 : 기본 적인 마코프 모델은 공식을 형성하기가 간단하다. 그리고 컴퓨터로 지원되는 도구를 쓰면 더욱 편리하다. 이 모델은 또한 적용이 광범위하다. 이 방법은 일부 고장율이 알려지지 않고, 다만 1차 근사값만 있는 경우에도 적용이 가능하다. 따라서 초기 고장율이 부정확하고, 결과는 중요한 경우에 최적화하는 데도 사용된다. 상태 천이도는 보다 많은 상태와 부품간의 의존 관계를 나타낼 수 있기 때문에 신뢰도 블록도 보다도 정확하다. 그리고 몬테 카를로 시뮬레이션으로 나타내기 곤란한 시스템 차원의 묘사를 마코프 모델로 보완할 수 있다.

단점 : 마코프 모델이 일반적이기는 하지만 모든 경우에 적용할 수는 없으며, 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

- 지수 고장율 가정 : 마코프 모델의 기본 가정은 메모리가 없는 프로세스이다. 그러나 실제 프로세스는 지수형태가 아닐 수 있으며, 따라서 보다 복잡한 모델이 필요하다. 이 경우에는 추가적인 상태(state)를 도입하여 마코프 모델로 근사화 시킨다.
- 모델 근사화 : 비 선형적인 경우를 제외하고도 , 실제 프로세스에서 일어나는 모든 상태를 다룬다면 마코프 모델이 너무 복잡해진다. 따라서 시스템 분할, 천이프로세스 절단, 상태 통합등의 방법으로 모델을 간단히 한다.
- 고 난도 문제 : 고장율이 매우 낮고, 복원율이 매우 높은 경우와 같은 문

제를 다루기에는 많은 시간과 노력이 소요된다.

4.6 페트리 넷 (PETRI Nets)

Petri Nets는 사건의 발생을 나타내는 천이 (transition, 그림에서 막대로 표현)과 특정조건을 나타내는 지점 (place, 그림에서는 원으로 표현)로 이산이벤트 시스템을 모델링하고 해석하는 도구이다. 지점이 나타내는 조건의 유효성은 지점 안에 점 (token이라고 한다)을 찍어 나타낸다. 즉, 지점에 토큰이 있는 경우 해당 지점이 표현하는 조건이 유효함을 나타낸다. Petri Nets은 지점과 천이로 조건과 사건을 정의하고 시스템의 특성에 맞게 아크를 연결하여 사건과 조건을 연결시키면서 지점에서 토큰의 변화를 통해 시스템의 거동을 기술한다. 사건의 발생은 특정 천이의 점화(firing)를 통해 표현된다. 천이는 자신의 모든 입력 지점에 해당 지점에서 천이로의 아크의 갯수 이상의 토큰이 있으면 점화가능(enabled)하다고 한다. 천이가 점화되는 경우 점화하는 천이는 자신의 모든 입력 지점에서 해당 천이로의 아크의 갯수 만큼의 토큰을 제거하고 자신의 모든 출력 지점으로 아크 갯수만큼 토큰을 추가한다. Petri Nets에서 시스템의 상태는 토큰수로 표현되는데 토큰수는 어떤 지점에 얼마만큼의 토큰이 있는가를 나타낸다.

두 개의 부품이 병렬로 연결된 시스템을 페트리 넷으로 표현한 예가 그림10 과 같다.

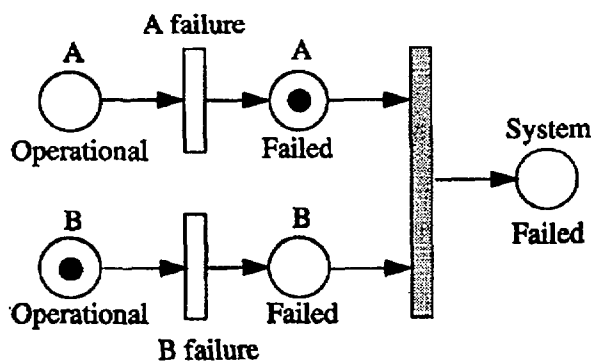


그림 8 부품 A가 고장인 페트리 넷

장점 : 동적인 특성을 나타낼수 있어 시스템의 거동을 묘사하기 쉽다.

단점 : 페트리넷을 이용한 모델은 기호들로 구성되어 복잡한 시스템을 이해하기가 어렵다.

4.7 몬테 카를로 시뮬레이션 모델

Monte Carlo Simulation Model 방법에서 신뢰도는 임의 분포로부터 추출된 매개변수 값을 이용하여 반복적으로 평가된다. 이 방법은 마코프 프로세스 조건이 적용되지 않을 때 사용되어 가치를 나타낸다. MTBF등을 평가하기 위해서 다음 단계를 적용한다.

단계 1 : 시뮬레이션 모델에 필요한 임의 변수에 임의의 값을 적용한다.

단계 2 : 요구되는 함수 (MTBF, MTTF, 등)를 평가한다.

단계 3 : n 개의 표본이 추출될 때까지 단계 1,2를 반복한다. 시스템고장

시간의 예는 다음과 같다.

$$T(1), T(2), T(3), \dots, T(n)$$

단계 4 : 원하는 변수를 평가한다. 예를 들어, 시스템의 고장율의 기대값은 다음과 같다.

$$E(T) = \overline{MTBF} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T(i) \right)$$

단계 5 : 표본 표준편차와 같은 추정 값의 정확성을 추정한다.

$$S_T = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T(i) - \bar{T})^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

장점 : 여러 가지 형태의 시스템 구성과 고장률 모델을 다룰 수 있다.

단점 : 시스템 구성이 표준이고, 도구가 제공되지 않으면, 사용자가 직접 프로그램을 개발하여야 한다. 그리고 정확한 계산을 하려면 많은 시간(컴퓨터 실행) 이 필요하다.

4.8 Go 방법

Go 방법은 Kaman Science Corporation에서 1960 년대에 개발한 방법으로 17개의 연산자를 이용하여 주로 군사용 전자 기기의 신뢰도 분석용으로 사용되었다. 이후 EPRI 의 지원으로 수정된 방법이 원자력 발전소의 신뢰도 분석에 사용되었으며 특징은 다음과 같다. [19][6]

- 계통 모델이 일반적인 공정 흐름을 따름
- 모델의 요소가 물리적인 부품과 거의 일 대 일 대응을 함
- 부품과 계통의 상호 작용과 의존 관계가 명확하게 모델 됨
- 모델이 간결하고 검증하기 쉬움
- 모델 평가는 성공과 실패 모두에 적용가능 함
- 모델 변경이 용이 함
- 잠재적 계통 고장도 표현 가능 함
- 수치적 오류는 모델의 계산 정밀도로 조정 됨
- 불확실성 분석도 가능함

장점 : GO 방법은 대상 시스템의 경계조건이 개략도나 기타 설계 도서에 의하여 명확히 규정된 경우와 데이터가 부품 단계까지 제공된 경우에 적합하다. 도면과 대응되므로 사용하기가 용이하다.

단점 : Go 방법은 고장 유형과 최상위 사건을 초래하는 고장 유형의 조합을 조사하는 경우와 하드웨어와 소프트웨어를 동시에 고려하는 경우에 표현하기 어렵다. 또한 GO 차트는 암시적인 고장 유형을 표현할 수 없어 도면에 표현된 것 이상의 차원에서 고장을 정의할 수 없다. 즉 1차 2차 고장을 정의하고, 물리적인 차원에서 명확하지 않은 의존성 등의 모든 사건을 다루는 안전성 분석에는 적합하지 않다.

4.9 단계화 임무 분석법(Phased Mission Analysis)

디지털 기기나 고장 내구성이 있는 시스템의 복잡한 임무는 고장 혹은 우발변동 기간을 갖는 일련의 시간간격(단계) 들로 구성되며, 이 단계들은 임무 지속 시간동안 개별적으로 계속 수행된다. 주어진 임무 단계 중 특정 장비 군이 고장으로 더 이상 기능을 발휘하지 못하면 그 임무는 중단된다. 만약 각 임무수행이 성공적이면 그 시스템은 임무의 다음 단계로 진행 할 수 있다. 임무는 모든 단계가 성공적이

어야 완료된다. 따라서 임무 신뢰도는 모든 조건부 단계 신뢰도들을 곱함으로써 구할 수 있다. 즉 모든 단계를 성공적으로 완수하는 시스템의 신뢰도는 다음과 같다.

$$mR = \prod_{j=1}^p R_j = \exp\left(-\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \lambda_i d_{ij} t_j\right) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i T_i\right)$$

여기서

d_{ij} : 단계 j 중 하부 시스템 i 에 대한 수요 프로파일(demand profile. 요구되면 1)

mR : 임무 신뢰도

R_j : 시스템이 직전 단계를 생존한다는 것이 주어졌을 때의 시스템의 단계 j 에서의 조건부 신뢰도

t_j : 임무의 단계 j 지속시간, $1 \leq j \leq p$

T_i : 하부시스템 i가 요구된 유한 시간, $\sum_{j=1}^p d_{ij} t_j$

λ_i : 하부 시스템 i의 고장율, $1 \leq i \leq n$ 이다.

장점 : 동적인 특성을 나타내기 쉬워 디지털 시스템에 적용이 용이하다.

단점 : 임무의 정의를 명확히하고, 각 임무 수행의 확률과 고장율이 파악에 노력이 많이 든다.

4.10 복합 기술 (Hybrid techniques)

고장수목, 신뢰도 블록도법, 마코프 모델을 복합적으로 사용하여 복잡한 중복 구성 시스템에 적용한다. 이 방법은 특별하게 정해진 것이 있지는 않다. 최근의 시스템 구성은 단일 고장 기준을 만족하기 위하여 중복성을 구현하고 있고, 고장을 검출하여 복원시키는 방법도 복잡하므로 특정한 방법만으로 모델링하는것은 어렵다.

5. 신뢰도 예측 소프트웨어 도구

5.1 부품 신뢰도 예측

부품의 신뢰도를 예측하는데 사용 할 수 있는 소프트웨어 도구들이 많이 개발되어 있다. 소프트웨어 도구들은 모델 도구와 고장을 데이터 베이스를 내장하고 있다. 따라서 개발자들은 필요한 모델을 지원하는 소프트웨어를 사용하면 노력을 줄일 수 있다. 인터넷을 통하여 쉽게 구할 수 있는 외국 제품들이 많은데 그 중 일부가 표 26 에 나열되어 있다.[23]

표 29 부품 신뢰도 예측 소프트웨어 도구

	Software Name	Company
부품 스트레스 분석법	217 Predicts	Evaluation Associates
	ARM(Advanced Reliability Modeling) E	Confidence Enhancements
	ARM(Advanced Reliability Modeling) F	Confidence Enhancements
	CARER MTBF HDBK-217 Module	
	Computer Aided Reliability Program (CARP)	JORI Corp
	Milstress for Windows	Item Software
	Milstress	Mitchell & Gothier
	PC MIL-HDBK-217F	Management Sciences
	PC Stress Analysis	Management Sciences
	PREVIEW	Systems Effectiveness Associates
	RI (includes RI-Lite, RI-Engine, RI-Professional and WinRI)	Systems Exchange
	RAMTOOL	JORI Corp
	REAP (Reliability Effectiveness Analysis Program)	Systems Effectiveness Associates
	REAPmate (Reliability Effectiveness Analysis Program for PC)	Systems Effectiveness Associates
	Rel +4	Evaluation Software
	Rel Plus III	Evaluation Software
	RelCalc for Windows - 217	T-Cubed Systems
	RelCalc for Windows - Bellcore	T-Cubed Systems
	Relex 217	Relex Software Corporation
	Reliability Parts Stress Prediction (Probabilistic Software)	Probabilistic Software
	Reliability Predictor	Mentor Graphics
	RL ORACLE	Rome Labs
	RPP (Reliability Prediction Program)	Powertronic Systems
TECMTBF	Tecnasa Electronica Professional	
TelStress	Item Software	
부품 카운트 법	CARER MTBF HDBK-217 Module	
	Computer Aided Reliability Program (CARP)	JORI Corp
	Rel +4	Evaluation Software
	Relex Parts Count	Relex Software Corporation
	Reliability Parts Count Prediction	Probabilistic Software
	RPC (Reliability Parts Count Program)	Powertronic Systems
	TECMTBF2	Tecnasa Electronica Professional

국내에서 개발된 소프트웨어는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개발한 ERIS 프로그램이 있고, 현재 한국과학기술원의 원자로 계측 제어 연구실에서 개발 중인 것이 있다. 물론 소프트웨어는 3장 과 4장에서 검토한 방법들을 컴퓨터로 지원하는 것이므로, 사용자의 요구 및 능력에 따라 개발하여 사용하거나 상용화 하는 것이므로, 이 밖에도 있을 수 있으나 그 현황이 모두 파악되고 있지는 않다.

5.2 시스템 신뢰도 예측

부품 단위의 신뢰도를 계산한 이후에 시스템의 신뢰도 모델, 예측, 및 분석을 도와 주는 소프트웨어 도구들이 많이 개발되어 있다. 각 방법별로 적용 가능한 도구들을 아래에 기술하였다.

5.2.1 고장 수목 분석법(FTA)

KwTree(KIRAP)

AAP606

BRAVO

CAFTA for Windows

CAFTA+

CAFTA Personal Version

ETA-II

EventTree for Windows

FTRAN

FaultTree

FaultTree+ for Windows

IMPORTANCE (Basic Event Cut Set Ranking)

MFAULT (Fault Tree Analysis Cut Set Production)

MSI-REALITY Design Evaluation Toolset

PREP/KITT (System Fault Tree Evaluation)

RESULTS III

Results II (Fault Tree Analysis)

SAICUT

SAIPLLOT

SAPHIRE (formerly know as IRRAS)

Tree-Master Software Family

5.2.2 마코프(Markov) 모델링

CARMS (Computer-Aided Rate Modeling and Simulation)

CARSA (Computer Aided Redundant System Reliability Analysis)

MKV

PC Availability (Markov)

5.2.3 FMECA/FMEA

1629A FMECA

AAP648: Failure Mode Effects Criticality Analysis

AQUA-FMEA Advanced Quality Assurance FMEA

AQuA 2

CARE-Computer Aided Reliability Engineering - FMECA

FME (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis Program)

FMEApplus

FMECA Processor for Windows

FMECA-TA

FORMUSER

FailMode

FailMode for Windows

Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis - Maint. Info.

Flame

MSI-REALITY Design Evaluation Toolset

PC NASA FMECA

PC Process FMECA

PFM (Product/Process Failure Modes and Effects Analysis)

PRO-FMECA

Pro-FMEA for Windows
QuickMode
RAMTOOL
RAMTOOL++
RCMCost
Relex FMECA
Reliability Workbench
TECFMEA

5.2.4 가용도(Availability)

ARAM (Automated Reliability / Availability / Maintainability)
AvSim
CARE-Computer Aided Reliability Engineering
ETARA (Event Time Availability, Reliability Analysis)
FRANTIC-NRC (Time Dependent System Unavailability)
ICARUS (Redundant System Unavailability Model)
PC Availability (Markov)
PREDICTOR Deployment Analysis
RAM Commander for Windows
RAMA (Reliability Availability Maintainability Analysis)
RAMP
RELAV (Reliability/Availability Analysis Program)
RelDraw
Relex RBD - Reliability Block Diagram

5.2.5 신뢰도 모델링

AAP232: Static and Dynamic Modeling
Analyst
ANNE
ANSAR

AvSim

CARE (Computer Aided Reliability Engineering) - RBD

CARE III (Computer Aided Reliability Estimation)

CARMS (Computer-Aided Rate Modeling and Simulation)

CARSA (Computer Aided Redundant System Reliability Analysis)

ETARA (Event Time Availability, Reliability Analysis)

FASTER (Fault Tolerant Architecture Simulation Tool)

Innovative Timely Solutions Miscellaneous

MSI-REALITY Design Evaluation Toolset

PC Process Reliability

PC Supportability

PREDICTOR Mission Reliability

QARMS (Quality Assurance, R&M, Statistics)

RAM4

RAMTOOL

RAMTOOL++

RBDA/CS-RAM

REAP (Reliability Effectiveness Analysis Program)

RELAV (Reliability/Availability Analysis Program)

RelDraw

Relex RBD - Reliability Block Diagram

ReliaSoft's Weibull++ Version 5.0

Reliability Mathematical Modeling

REST (RADC Reliability Simulation Tool)

SRP (System Reliability Program)

SYSREL (Reliability Analysis of Series Systems)

6. 문제점 및 향후 과제

디지털 계측 제어 시스템이 일반 산업계에서는 많이 사용되고 있지만 안전에 중요한 시스템 즉 원자력 발전소 보호계통과 같은 곳에서는 아직도 사용이 일반화되고 있지 않다. 그리고 안전과 관련된 분야에 적용하기 위하여는 정성적인 안전성 분석 외에 정량적인 분석이 요구된다. 그러나 기존 아날로그 기기와는 기기 구성이 다르고, 그 작동 방법도 물론 다르다. 또한 소프트웨어 구현은 적용에 따라 모두가 고유한 특성을 가진다. 기본적으로 디지털 계측제어 시스템은 하드웨어 기반에 소프트웨어에 의하여 작동된다. 따라서 과거의 아날로그 시스템의 데이터나 타 분야의 데이터를 이용한 신뢰도 예측은 불가능하다. 따라서 새로운 기기에 대한 고장률 데이터가 요구된다. 물론 이것은 소프트웨어를 고려하지 않는 것을 가정한다. 본 보고서에서는 이 경우 적용가능한 여러 가지 방법들을 검토하였으나, 이를 실제로 적용하기 위하여는 기기의 사용조건과 환경을 정확히 고려하여야 하며 특히 신뢰도 자료가 정립된 가정과 조건에 유의하여야 한다. 기기 사용상의 조건 즉 온도, 전기적 부하, 습도 등의 요인에 대한 적절한 모델을 사용하여야 하고, 외부적인 요인, 즉 화재, 전자기파, 지진, 방사선 등의 영향을 고려하여야 한다. 따라서 원자력 분야의 데이터 베이스를 이용하면 좋으나 자료가 충분치 않아, 지금까지 대부분의 계측 제어(전자) 기기의 신뢰도 예측시에 부품의 고장률 데이터는 MIL-HDBK-217 자료나 통신회사들의 고장률 데이터 베이스를 이용하고 있다.

그러나 MIL-HDBK-217 은 1991(version F) 이후 개정이 되지 않고 있고 또한 부품이 생산된 이후 수행하는 여러 단계의 초기 시험 (Burn-in) 의 효과를 반영하지 못하고 있다. 원자력 발전소의 데이터 베이스는 부품단위의 자료가 많지 않고, 디지털 시스템의 고장 자료가 별로 없어 계측제어 기기의 상세한 신뢰도 분석에는 충분하지 않다. 그리고 디지털 계측제어 시스템의 경우 발전소 건설허가 단계 이후에 설계나, 제작이 되는 경우가 많으므로 그 고장률 데이터를 확보하기가 어렵다. 따라서 MIL 핸드북과 같은 자료를 이용하여야 하는데, 이 경우 Bellcore TR-332 방법을 적용하면 비교적 최근의 자료를 사용할 수 있고, 초기 실험실 시험(lab. test)의 결과를 반영하여 보다 정확한 결과를 얻을 것으로 예상된다.

고장 데이터가 확보된 후에는 시스템의 구성과 거동을 적절히 모델링 할 수 있는 방법을 적용하여야 한다. 원자력 발전소 보호 시스템에는 단일 고장 기준을 만족시키기 위하여 중복으로 시스템을 구성하고, 또한 여러 가지 고장 검출 장치를 구비하고 있다. 3 중 2 (2 out of 3)회로에 대하여 같은 고장률 데이터로 신뢰도

예측 방법을 달리 할 경우 결과가 서로 다른 것을 그림 11에 나타내었다.[21] 따라서 시스템 구성 사항을 반영할 수 있는 시스템 모델링 방법을 사용하여야 한다. 물론 소프트웨어 도구도 이를 고려하여 선정하여야 한다.

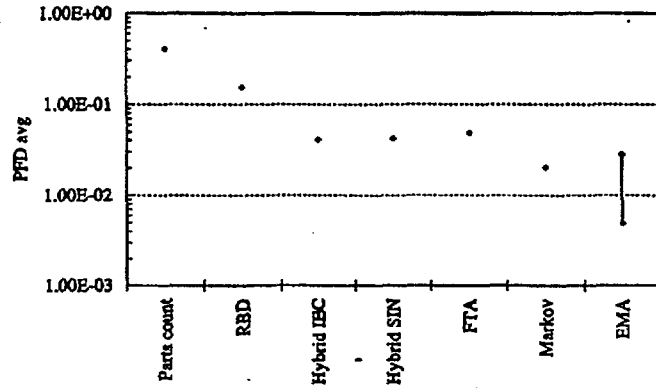


그림 11 여러가지 예측 방법 들 적용 결과

디지털 계측제어 시스템의 신뢰도는 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어에 의하여도 좌우된다. 따라서 시스템 차원에서는 어떠한 방법으로라도 소프트웨어의 영향, 즉 상호작용을 고려하여야 한다.

제 7 장 참고 문헌

- [1] Jalal Zamanali, "Probabilistic Risk Assessment Applications in the Nuclear Power Industry", IEEE Transaction on the Reliability, Vol. 47 NO.3-Sp, pp SP-36, 1998 September
- [2] 강현국 외 , "확률론적 안전성 평가에서의 디지털 계측제어 계통 고유 현안 분석", AR-560/2000, 한국원자력연구소, 2000
- [3] K. B. Misra, "Reliability Analysis and Prediction", pp 190-191, Elsevier, 1992
- [4] William Denson, "The History of Reliability Prediction", IEEE Trans. on Reliability Vol. 47 No. 3-SP ,pp SP-321 1998, September
- [5] Armanda A. lakner and Ronald T. Anderson, "Reliability Engineering for Nuclear and Other High technology Systems", Elsevier, 1985
- [6] Ralph R. Fullwood & Robert E. Hall, "Probabilistic Risk Assessment in the Nuclear Power Industry", pp115, pp130-170, BNL, 1988
- [7] US MIL-HDBK-217, "Reliability Prediction of Electronic Equipment", version F, DOD, USA, 1991
- [8] British Telecom, "Handbook of reliability data for components used in telecommunications systems", Issue 4, 1987
- [9] Siemens AG, SN29500, "Reliability and quality specifications failure rates of components", Siemens Technical Liaison and Standardization, 1986
- [10] Centre National d'Etudes des Telecommunications, "Recueil de Donnees de Fiabilite du CNET", (National Centre for Telecommunications Studies, 'Compilation of CNET's reliability data"). 1983 edition
- [11] Bellcore technical Ref. TR-TSY-000332, " Reliability prediction procedure for electronic equipment" issue 6, 1997
- [12] Italtel, "Italtel Reliability Prediction Handbook", Italtel corporate quality department, Milano, 1993
- [13] NTT, "Standard Reliability Tables for semiconductor devices", Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, 1982
- [14] Jeff Jones and Joseph hayes, "A Comparison of Electronic -Reliability Prediction Models", IEEE Trans. on Reliability, Vol. 48, No. 2, pp127-134 1999 JUNE

- [15] Finn jensen, "Electronic Component Reliability", pp245-247, John Wiley & Sons, England,1995
- [16] 박경수, "신뢰도 및 보전공학", pp 28, pp157 영지문화사, 1999
- [17] <http://www.innovsw.com/models.htm>
- [18] <http://support.auroratech.com/mtbf-pci.html>
- [19] EPRI NP-3123, "Go Methodology",1983
- [20] 이창주, "외국의 PSA 및 운전성능평가 DB 개발현황 고찰", 제 1 차 국내 원전의 효율적 DB 구축을 위한 워크샵, 한국원자력연구소, 1999.11.11.
- [21] J.L.Rouvroye & A.C. Brombacher, "New quantitative safety standards : different techniques, different results?", Transaction on Reliability Engineering and System Safety, Vol. 66, pp 121-125,1999
- [22] IEEE standard methodology for reliability prediction and assessment for electronic systems and equipment", IEEE Std 1413-1998
- [23] <http://rac.iitri.org/DATA/RMST>

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호	
KAERI/AR-571/2000					
제목 / 부제		디지털 계측 제어 기기의 확률론적 안전성 평가를 위한 하드웨어 신뢰도 예측 방법			
주 저 자		정환성 (하나로운영팀)			
연구자 및 부서명		성태용 (종합안전평가팀), 엄홍섭 (종합안전평가팀), 박진균 (종합안전평가팀), 강현국 (종합안전평가팀), 박종균 (동력로 개발팀)			
출판지	대전	발행기관	KAERI	발행년	2000.9.
페이지	74 p.	도 표	있음(○), 없음()	크 기	21×29.7cm
참고사항					
비밀여부	공개(○), 대외비(), _ 급비밀		보고서종류	기술현황분석보고서	
연구위탁기관				계약 번호	
초록		<p>디지털 계측제어 시스템의 사용이 확산되고 규제의 방향이 위험도 기반으로 정착되면서 디지털 계측제어 시스템의 확률론적 안전성 분석의 필요성이 대두되었다. 소프트웨어와 하드웨어를 통합한 시스템에 대한 신뢰도 예측 방법은 아직까지 확립된 것이 없다. 본 보고서에서는 디지털 계측 시스템의 하드웨어의 신뢰도 예측에 사용될 수 있는 방법들을 조사하였다. 하드웨어의 신뢰도 예측방법은 이미 많이 개발되어 있고, 사용목적에 따라 방법을 달리하고, 그에 따른 예측 결과도 서로 다르게 나타나고 있다. 따라서 각 방법들의 특징과 장단점을 분석하고, 특히 대표적인 신뢰도 예측 방법인 MIL-HDBK-217F 와 Bellcore 방법을 집중 비교 검토하였다. 또한 계측제어시스템의 하드웨어 신뢰도 예측에 사용하는 소프트웨어들의 현황도 조사하였다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)		디지털 시스템 신뢰도, 확률론적 안전성 평가, 하드웨어, Bellcore TR-332, MIL-HDBK-217F			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/AR-571-2000							
Title / Subtitle		Methodologies of the Hardware Reliability Prediction for PSA of Digital I&C Systems					
Project Manager and Department		H.S. Jung (Hanaro operation team)					
Researcher and Department		T.Y. Sung (ISA team), H.S. Eom (ISA team), <u>J.K. Park</u> (ISA team), H.G. Kang (ISA team), <u>J.K. Park</u> (ARTD team) <i>really the same?</i>					
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI		Publication Date	2000.9.	
Page	74 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input type="radio"/>), No (<input type="radio"/>)		Size	21 × 29.7cm	
Note							
Classified	Open(<input type="radio"/>), Restricted(<input type="radio"/>), ___ Class Document		Report Type		State of the Art Report		
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)		<p>Digital I&C systems are being used widely in the Non-safety systems of the NPP and they are expanding their applications to safety critical systems. The regulatory body shifts their policy to risk based and may require Probabilistic Safety Assessment for the digital I&C systems. But there is no established reliability prediction methodology for the digital I&C systems including both software and hardware yet. This survey report includes a lot of reliability prediction methods for electronic systems in view of hardware. Each method has both the strong and the weak points. This report provides the state-of-art of prediction methods and focus on Bellcore method and MIL-HDBK-217F method in deeply. The reliability analysis models are reviewed and discussed to help analysts. Also this report includes state-of-art of software tools that are supporting reliability prediction.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		Digital system reliability, Probabilistic safety assessment, hardware, BellcoreTR-332, MIL-HDBK-217F					