

# 기계의 한계수명과 예방정비(Ⅱ)

부 산 수 산 대 학 교  
공과대학 기계공학과  
부 교 수 양 보 석

(제57호에서 계속)

## 4.3 안정성 평가

설계단계에서 위험성 또는 안정성을 평가하기 위해 고장 data를 사용한 예가 Stewart와 Hensley에 의해 보호되고 있다. 평가의 목적은 다음 항목의 파악이다.

가) 위험한 상태로 될 수 있는 모든 고려될 수 있는 고장조건, 상태

나) 위험한 상태로 되는 것을 방지하기 위한 고도의 보호설비의 기능

다) 위험한 상태가 일어날 확률과 33000년에 1회 이하로 하는 목표사양과의 비교

위험한 상태를 최소화하기 위해 보호 system이 적용되고 있다면, 설비의 고장 확률, 즉 부분적으로 기능을 하지 않는 시간(fit)과 가동을 요구하는 빈도(demand)와, 플랜트에 바람직하지 않는 위험이 발생할 비율과의 사이에는 다음의 관계가 있고, 각각의 고정상태에 독립적으로 적용된다. 이 관계(이것은 개개의 고장조건에 각각 별개로 적용된다)는 다음과 같이 나타내어진다.

위험률(Hazard) = demand × 보호 system fit

Demand 율이란(위험한 상태로 될 수 있다), 고장의 발생이 예상되는 비율이다. 가능한 한 논리도의 사용에 의해 고장의 상태를 명확히 하고, 고장의 전파 mechanism을 연구할 필요가 있다. 보호설비는 고장의 영향을 받지 않도록, 또 충분히 검토

한 보호기능이 그 사명을 달성하도록 설계해야만 한다.

## 4.4 설비의 고장해석

고장의 빈도, 영향, 가능성의 매개변수를 추진 system의 신뢰성설계에 사용이 가능한지 아닌지를 검토하는 데에 간단한 system 해석이 이용된다. 이 방법의 예로서 Davies는 gas turbine에 관해서 고려하고 있다. 완전한 system에 대해 99.9%의 신뢰도를 목표로 한다면, 이것은 고장이 0.1%인 것을 의미한다.

즉 1,000시간내에서 1unit의 평균가동시간을 4시간이라 하면, 신뢰도는

$$R = e^{-\lambda t} \\ = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{1 \cdot 2} - \frac{(\lambda t)^3}{1 \cdot 2 \cdot 3}$$

근사식을 이용하여

$$R = 1 - \lambda t = 1 - 4\lambda = 0.999$$

$$\lambda = 0.00025 = 0.25/1,000h$$

이  $\lambda$ 의 값은 완전한 system의 고장율이다. 즉, 완전한 추진 system의 고장율 = 0.25/1,000  
평균고장간격 = 4,000h

## 4.5 허용고장율

신뢰도 100%는 실현이 불가능하고 파국고장을

포함하여 각종 고장이 발생할 가능성을 인정해야만 한다. 고장빈도가 허용을 이하가 된다면 만족할 수 있다. Davise는 99.9%의 신뢰도를 목표로 하는 항공관계의 정시출발의 추진 system에 대하여 간단한 system 해석을 수행하였다.

가) 각 추진 system에 대해서 신뢰도의 목표가 99.9%라 하는 것은 1,000회의 비행에서 power-unit의 고장에 의한 지연이 한번밖에 허용되지 않음을 의미한다.

나) 평균비행시간은 4시간이다.

다)  $e^{-\lambda t}$ 의 식으로부터 system의 고장율은 0.25/1,000h이다.

라) 8개 sub-system(표 6참조)의 각각에 대하여 안전도, 복구 cost 및 수선시간에 따른 위약금 등에 의해 중요인자를 가중치를 고려하여 평가한다.(1이 최고 평점이다)

마) 부품의 총수 및 기술의 내용에 따라 가중치를 고려하고 각 sub-system에 복잡성인자를 고려한다. 또한 복합인자로서 (라)의 중요성인자와 복잡성인자의 곱을 고려한다.

바) 각 sub-system에 대한 1,000시간당의 최대허용고장율은 다음식으로 주어진다.

$$\frac{\text{system의 고장율} \times \text{복합인자}}{\text{복합인자의 합}} = \frac{0.25 \times \text{복합인자}}{150}$$

전형적인 system에 이것을 적용하면 표 4의 값을 얻는다.

표 4 최대허용고장율의 평가

sub시스템	중요성인자	복합성인자	복합인자	최대 허용치	
				고장율/1000h	MTBF(h)
주 엔진	1	24	24	0.04	25,000
윤활유시스템	3	2	6	0.01	100,000
연료 및 제어	2	24	48	0.08	12,500
연소시스템	2	15	30	0.05	20,000
보조기구등	2	6	12	0.02	50,000
전기통	3	2	6	0.01	100,000
가변흡입구	2	6	12	0.02	50,000
가변노즐	2	6	12	0.02	50,000

#### 4.6 고장율과 평균고장간격(MTBF)

신뢰성기술의 매우 유익한 입문서로서 Lewis의 문헌이 있다. 이중에 고장율과 평균고장간격의 계산방법 예로서 4000시간당의 100개 부품의 신뢰성시험을 수행한 결과를 예시하고 있다.(표 5)

표 5

component수	1	1	4	5	3	86
고장시점(h)	250	300	415	800	1,200	무고장

이들 자료로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{총잔존} &= (250 \times 1) + (300 \times 1) + (415 \times 4) + \\ &\quad (800 \times 5) + (1,200 \times 3) + (4,000 \times 86) \\ &= 353,810(\text{component 시간}) \end{aligned}$$

$$\text{총고장} = 1 + 1 + 4 + 5 + 3 = 14$$

이므로 평균고장간격(MTBF)과 고장율은 다음과 같이 된다.

$$\text{평균고장간격} = \frac{353,810}{14} = 25,270 \text{ h}$$

$$\begin{aligned} \text{고장율}(\lambda) &= \frac{1}{\text{평균고장간격}} \\ &= \frac{1}{25,270} \end{aligned}$$

$$= 3.957 \times 10^{-5} / \text{h} = 3.957\% / 1,000 \text{ h}$$

이 문헌에는 이외에도 동일한 예가 다수 제시되어 있고, 이 문제를 상세하게 공부하는 데에 도움이 될 것이다.

#### 5. 이용성(Availability)

아무리 주의깊게 설계되고 제조하였다 해도 절대로 고장이 없는 설비는 불가능하다. 통상 비교적 큰 부하 혹은 큰 부하와 작동조건의 악화의 중복이 설비의 availability를 악화시킨다. T시간 이상의 수리나 정비도 하지 않은 상태에서 자동차가 Xkm를 주행하였을 때의 availability를 계산하기 위



에 대해 51척의 유조선(tanker)에 대한 1~4년간의 data를 집계한 것으로 총운전시간은 100척·년이다. 증유연소보일러의 평균고장간격이 매우 낮은 이유는 보일러의 추정사용기간이 연 30~40일로 짧기 때문이다. 28번의 고장이 보일러에 대해 기록되어 있으나, 45척·년에 대한 기록임에도 함께운전시간은 불과 40,000시간이었다. 디젤발전기에 대한 고장의 정보는 1년간의 여러 기간에 대해 운전결과에서 얻어진 것이다. 보조디젤engine에 대해 연간 얻어진 고장수는 기기의 용도가 달라도 그다지 변하지 않고 평균고장간격의 값이 넓은 범위의 것으로 되어 있다. 유감이지만 집계된 data의 양은 평균고장간격과 기기의 사용방법간의 관계를 정하는 데는 불충분하였다.

### 5.3 예비품의 재고수준

일정의 고장율을 가지는 1개의 기기에 대해 시간  $t$  사이의 고장회수가  $r$ 이하일 확률은 다음과 같은 Poisson분포로 주어진다.

$$P(r) = \sum_{i=1}^r \frac{(\lambda t)^i}{i!} \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

Alven에 의하면 고장이 일어나는 회수와 소정의 신뢰수준으로부터 정해진 예비품의 수는 같다. 예비품이 사용된 경우, 즉시 주문하는 것으로 하면, 필요한 재고량을 최소로 할 수 있다. 단 운송시간이 재고량의 하한을 결정한다. 식 (1)을 이용한 예로서 Buffham, Freshwater 및 Lees가 100개의 차압변환기를 이용한 장치에 대해 설명한 예가 있다. 이것들의 고장율이 0.5회/년, 운송시간이 6개월로 하고, 90%의 신뢰수준을 만족하는 차압변환기의 재고량에 대해 계산하고 있다. 즉,

$$t = 0.5\text{년}, \lambda = 0.5\text{회/년}, P(r) = 0.9$$

식 (가)에서 변환기 1 대당의  $r$ 은 1.4가 되고, 100대의 변환기에 대해서 140대의 재고가 필요되고 있다.

### 5.4 정비요원수에 의한 보완

설비에 필요한 이용성으로부터 그 설비가 필요로 하는 정비요원의 수를 산출할 수 있다. 설비요원의 수 및 구성의 차이에 대응하는 이용성을 계산하는 하나의 방법으로서 마르코프(Markov)의 모델이 이용될 수 있다.

예를 들면,  $N$ 개의 component로 이루어지는 설비가 1인의 정비요원에 담당시키고 있는 경우, 0, 1, 2, …,  $n$  개의 component가 고장이 나는 각 케이스의 확률은 다음과 같이 산출된다. 설비의 동작 중에는 모든 component가 자동하고 있다고 하면, 설비의 정상상태의 이용성 ( $A$ )은

$$A(\infty) = \frac{(\mu/\lambda)^n}{n! \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\mu/\lambda)^i}{i}} \quad (2)$$

여기서  $\mu$ 는 복구율,  $\lambda$ 는 고장율이다.

### 5.5 예방정비

우발고장의 수를 줄이는 것은 불가능하지만, 마모고장은 예방정비에 의해 감소시킬 수 있다. 마모고장까지의 평균시간이  $M$ , 그 표준편차가  $\sigma$ 일때, 분해검사(overhaul)의 간격  $T_o$ 는 Bazovsky에 의하면

$$T_o = M - 6\sigma \quad (3)$$

로 된다. 예방정비에 의해 진짜의 마모원인은 실제로는 제거된다. 개략 계산에 의한 표준편차는 통상

$$\sigma = 0.1M \quad (4)$$

이다. 따라서 식(3)은

$$T_o = 0.4M \quad (5)$$

로 된다. 마모의 2번째의 형은 총체적인 고장율이 우발고장율  $\lambda_c$ 와 정상상태의 마모고장율  $\lambda_w$ 의 합으로 나타내는 것이다.

$$\lambda = \lambda_c + \lambda_w \tag{6}$$

이 때문에 예방정비 시스템의 합리적 설계에는 마모고장에 대한 데이터가 필요하다. 특정의 정비 정책이 채용되면, 필요한 수리의 회수가 결정되고 정비가 실시된다. 고장일 때마다 수리되고, 또한 정기적으로 수리된다고 하면 아래식이 성립한다.

$$R(T_0) = \exp(-\lambda T_0) \tag{7}$$

여기서  $T_0$ 는 평균고장간격이다. 또 수리의 평균 간격  $T^*$ 는

$$T^* = \int_0^{T_0} R(t) dt = \int_0^{T_0} \exp(-\lambda t) dt = -\frac{1}{\lambda} [\exp(-\lambda t)]_0^{T_0} = \frac{Q(T_0)}{\lambda} \tag{8}$$

로 된다. 이 원리의 응용예로서 6 대의 크로마토그래프를 이용한 장치가 Buffham 등에 의해 연구되었다. 장치의 평균고장 간격은 600시간이고, 정기수리의 간격은 2주간이었다. 수리의 평균간격을 산출하면,  $T_0 = 2$ 주간 = 336 시간,  $M = 600$  시간, 그리고  $Q(T_0) = 0.429$ 이다. 1대의 크로마토그래프에 대해  $T^* = 257$ 시간, 따라서 6개의 그래프의 평균 수리간격은  $257/6 = 43$ 시간이 된다.

### 5.6 이용가능성(v)

component 또는 시스템의 이용가능성이란 시간을 기준으로 한 utility로서 실가동시간과 총시간의 비율이다. 그 총시간은 정기정비 및 고장에 의한 정비에 요구되는 정비시간, 관리상의 문제 등에 의해 정비완료에서 사용까지 생기는 대기시간 및 실가동시간의 합이다. 따라서

$$v = \frac{t_1}{t_1 + t_2 + t_3} \tag{9}$$

여기서  $t_1$  = 실가동시간,  $t_2$  = 정비시간,  $t_3$  = 대기시간이다.

대기시간( $t_3$ )이 0, 정비시간( $t_2$ )이 최소일 때, 이 이용가능성(utilization)은 최대로 된다. 이때  $t_3 = 0$

이므로 이용가능성 (v)은 이용성(A)과 일치한다.

$$A = v_{\max} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \tag{10}$$

여기서  $t_2$ '는 정비시간의 최소값이다. 즉 시스템(component)의 확실성이란 정비시간이 고장에 의한 부정기의 수리에 필요한 시간만인 경우, 결국 정비시간이 정기수리에 소비되는 시간을 포함하지 않은  $t_2$ '인 경우의 이용성이다.

### 5.7 이용성 함수

시스템이 사용가능한지 아닌지는 대부분의 상태에 의존하고 있다. 마르코프방법은 계산을 기초로 하는 모델이라 할 수 있다(Sandler). 양호한 상태(0) 또는 불량상태(1)에 있는 1개의 기기에 대해 다음식이 성립된다.

단  $T$  = 교환시간,  $\mu$  = 복구율( $\mu = 1/T$ ),  $\lambda$  = 고장율이다.

$$P_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \tag{11}$$

$$P_1(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \tag{12}$$

초기상태를  $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$ 로 가정하면, 이용성함수  $A(t)$ 는

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp[-(\lambda + \mu)t] \tag{13}$$

중요한 장기간 또는 정상상태의 이용성은

$$A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{14}$$

로 된다. 많은 시스템에 있어서 신뢰성은 고장율만이 아니라, 고장부분의 부품교환에 드는 시간에도 의존하고 있다. 그와 같은 시스템에서는 신속한 검출과 수리가 요구된다. 다만 빠른 수리에는 교환 부품과 정비요원을 항상 사용가능하도록 해 놓을 필요가 있기 때문에 비용이 들므로 어느 정도의 타협을 필요로 한다.

### 6. Hazard을 곡선

위험율(Hazard) 곡선은 그림 8과 같이 욕조(bath tub)형을 이루며, (1) 초기 고장 (2) 우발 고장 (3) 마모 고장의 3단계로 이루어지는, 고장과 시간의 관계로서 나타내어진다. 통상의 분포함수(지수, 정규, 대수정규, Weibull, 극치)에 의해, 이 욕조(bath tub)형 위험율 곡선을 나타낼 수는 없으나, 3단계부분의 각각을 적당한 확률밀도함수로 나타내는 것에 의해 이 곡선을 근사화하는 것이 가능하다. 즉, 위험율 곡선은 다음식으로 나타내어진다.

$$f(t) = \sum_{i=1}^3 f_i(t) \cdot p_i$$

여기서는  $p_i$  구간  $i$ 에 대한 고장의 확률이다.

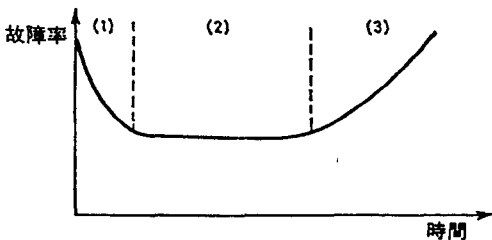


그림 8 욕조(bath tub)형 위험율 곡선

#### 6.1 수리를 동반하는 경우

위험율 곡선의 형상은 재상 가능한 것으로 복구에 의해 변화한다. 재생, 즉 본래의 기능을 완전히 복구하기 위한 부품교환 또는 정비작업이 즉시에 행하여진다고 하면, 고장발생시점은 그림 9와 같이 된다.

$$t_1 = z_1, t_2 = z_1 + z_2, t_m = z_1 + z_2 + \dots + z_m$$

이 우발적인 흐름은 재생과정이라 불리운다. 확률변수의 합의 분포이론을 적용하면  $n$ 번째 고장시의 밀도함수는 다음식으로 주어진다.

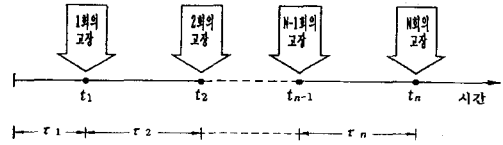


그림 9 재생과정

$$f(t_n)(t) = h^{(n)}(t)$$

$f(t_n)(t)dt$ 는  $n$ 번째의 복구가  $[t, t+dt]$ 의 기간에 생기는 확률을 나타내고 있으므로, 다음식이 성립된다.

$$m(t)dt = \sum_{i=1}^{\infty} f(t_n)(t)dt \tag{15}$$

여기서  $m(t)$ 는 재생률이라 불리우는 밀도함수이다.

점근 재생과정에 있어서는 동작시간의 누적에 길게됨에 따라  $m(t)$ 의 값이 일정값에 접근하므로 다음식이 성립한다(Barlow & Proschan).

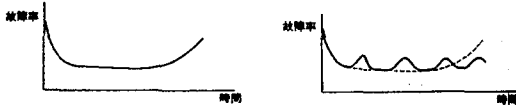
$$\lim_{x \rightarrow \infty} m(t) = \frac{i}{MTTF}$$

여기서 MTTF는 고장까지의 평균시간, 즉 최초의 고장에 도달하기 까지의 시간의 기대치이다.

욕조(bath tub)형 곡선에 있어서 이 재생과정의 효과는 그림 10에 나타내어져 있고, Krohn에 의해서 상세히 설명되고 있다. 정기 복구란 반드시 지수 분포를 동반하는 Poisson과정을 의미하는 것은 아니다. 욕조(bath tub)형의 Hazard율곡선에서 일정한 고장율이 상정되는 수명의 중간기에 있어서는 복잡한 복구 가능시스템에의 적용이 고려된다.

#### 6.2 설비의 수명예측

초기의 고장에서 말기의 고장에 이르는 추이에 관한 Collacott연구에서 위험율의 변화를 파곡고장



a) 욕조(bath tub)형 곡선      b) 재생의 효과

그림 10 복구의 효과(위험률 곡선상의 재생)

에 이르기 전 상태의 감시 및 치명도의 결정에 관계지우려는 시도를 행하고 있다.

초기의 파괴와 말기의 고장에 기여하는 요인의 위험율이 그림 11과 13에, 또 누적결과는 그림 12과 14에 나타내고 있다. 이들의 누적곡선에서 총 수명의 위험율은 다음식과 같이 표현된다.

$$y = \frac{K_1}{(t)^M} + \frac{K_4}{(t-t)^P} = K_1\{(tx)^{-M} + r^{-1}(t(1-x))^P\}$$

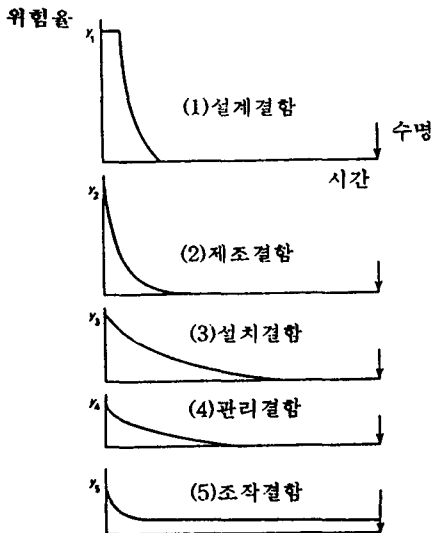


그림 11 초기 고장을 형성하는 요인

단  $x = t/t_1$ ,  $r = K_1/K_4$ ,  $t_1 = 1.0$ ,  $K_1 = 1.0$

이들의 관계로부터 고장의 위험이 최저로 되는 시점이 평가된다. 그 시점부터는 파괴고장으로 향하고 위험이 증대한다.

정비관련 기초용어

**정비(maintenance)** : 수리가능한 계, 기기, 부품 등의 신뢰성을 유지하기 위해 이루어지는 처치

**정비성(maintainability)** : 수리가능한 계, 기기, 부품 등에 준비되어지는 정비의 용이함을 나타내는 정도 또는 성질

**예방정비(preventive maintenance)** : 정해진 순서에 의해 계획적으로 점검검사, 시험, 재정비 등을 수행하고, 사용 중의 고장을 미연에 방지하기 위해 이루어지는 정비

**사후정비(corrective maintenance)** : 고장의 발생후에 이루어지는 정비

**고장(failure)** : 계, 기기, 부품 등이 규정의 기능을 잃어버리는 것

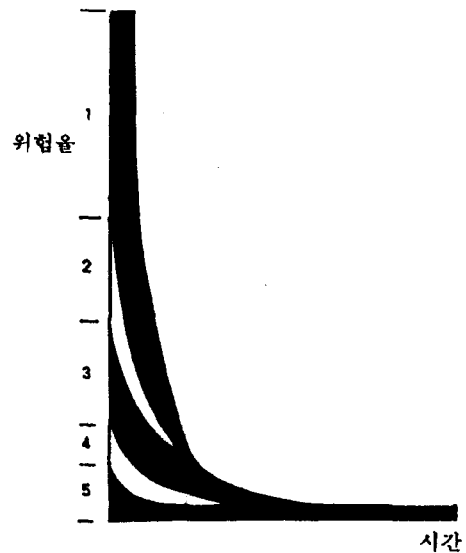


그림 12 초기고장요인의 합

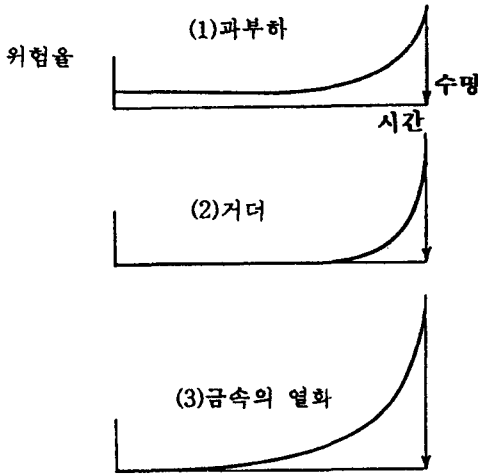


그림 13 말기고장을 형성하는 요인

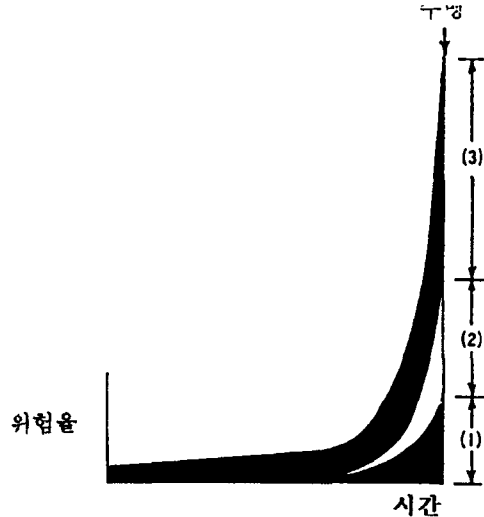


그림 14 말기고장요인의 합

**초기고장(initial failure)**: 사용개시후 비교적 빠른 시기에 설계·제조상의 결함 또는 사용환경과의 부적합에 의해 발생하는 고장

**우발고장(random failure)**: 초기고장기간을 지나 마모고장기간에 이르기 이전의 시기에 우발적으로 발생하는 고장

**마모고장(wear out failure)**: 피로, 마모, 노화현상 등에 의해 시간과 함께 고장율이 높게 되는 시기의 고장

**파국고장(catastrophic failure)**: 돌연발생하고 또한 그 기능을 완전히 잃어버리는 고장

**열화고장(degradation failure)**: 특성이 점점 열화하여 발생하는 고장

**과급(2차)고장(secondary failure)**: 다른 부분의 고장이 원인으로 되어 발생하는 고장

**간헐고장(intermittent failure)**: 어느 시간 고장상태에 이르나 자연히 본래의 기능을 회복하고 이것을 반복하는 고장

**고장모드(failure mode)**: 고장상태의 형식 분류,

예로 단선, 단락, 파손, 특성의 열화 등

**고장판정기준(failure criterion)**: 고장인가 아닌가를 판단하는 기준이 되는 기능의 한계치

**고장율(failure rate)**: 어느 시점까지 동작되어온 계, 기기, 부품 등이 계속하여 단위 기간내에 고장을 일으키는 비율, 신뢰도 함수  $R(t)$ 를 이용하면 고장율  $\lambda(t)$ 는 시간의 함수로서 다음과 같다.

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

일반적으로 순간고장율과 평균고장율이 사용되며, 고장율이란, 순간고장율을 나타내는 경우가 많다. 평균고장율은

$$\text{평균고장율} = \frac{\text{총동작시간 중의 총고장율}}{\text{총동작시간}}$$

**고장율 수준(failure rate level)**: 고장율을 몇개의 그룹, 즉 수준으로 구분하고 기호를 붙인 편리한



고장율의 구분

평균고장간격(MTBF, mean time between failure) : 수리하면서 사용하는 계, 기기, 부품 등의 서로 인접한 고장사이의 동작시간의 평균치

고장간격이 지수분포를 따르는 경우에는 어느 기간을 취해도 고장율은 일정하고 평균고장간격은 고장율의 역수가 된다.

고장까지의 평균시간(MTTF, mean time to failure) : 수리하지 않은 계, 기기, 부품 등의 고장까지의 동작시간의 평균치

최초고장까지의 평균시간(MTTF, mean time to first failure) : 수리하면서 사용하는 계, 기기, 부품 등의 최초고장까지의 동작시간의 평균치

신뢰성(reliability) : 계, 기기, 부품 등의 성능의 시간적 안정성을 나타내는 정도 또는 성질

신뢰도(reliability) : 계, 기기, 부품 등이 규정 조건하에서 의도하는 기간 중, 규정의 기능을 수행하는 확률

관측신뢰도(observed reliability) : 실제 date로 부터 관측된 신뢰도

추정신뢰도(assessed reliability) : date에 기초하여 신뢰수준을 불허 통계적으로 구한 신뢰도

유용수명(useful life) : 고장율이 규정값 보다도 낮은 기간의 길이, 규정값은 정비비용이 목표치 보다 크게 되지 않도록 고려하여 결정된다.

신뢰도 수준(reliability level) : 신뢰도를 계, 기기, 부품 등의 복잡함이나 환경의 가혹함(severity)등을 기준으로 하여 서로 비교하기 위한 척도, 여기서 복잡함의 예로는 기기의 사용되는 주요 부품수 등이다.

환경(environment) : 계, 기기, 부품 등이 놓여져 있는 주위조건

스트레스(stress) : 계, 기기, 부품 등의 기능에 영향을 주는 요인, 예로 온도, 전압, 진동, 충격 등

동작시간(operating time) : 계, 기기, 부품 등이 규정의 기능을 다하고 있는 시간

동작가능시간(up time) : 계, 기기, 부품 등이 규정의 기능을 다할 수 있는 상태에 있는 시간

동작불가능시간(down time) : 계, 기기, 부품 등이 규정의 기능을 다할 수 있는 상태에 있지 않는 시간, 정비시간, 보급대기 시간, 관리시간이 있다.

평균동작가능시간(mean up time) : 동작가능시간의 평균치

평균동작불가능시간(mean down time) : 동작불가능시간의 평균치

평균수리시간(MTTR mean time to repair) : 사후정비에 요하는 시간의 평균치

정비시간(maintenance time) : 정비에 필요한 시간, 이는 현장에서의 준비, 고장탐색, 부품구입, 수리, 교환, 조정, 교정, 점검, 주유, 청소, 검사, 시험 등에 요하는 시간이다.

보급대기시간(supply delay time) : 정비에 필요한 부품, 재료가 즉각 입수 될 수 없으므로 정비작업이 실시될 수 없는 시간

관리시간(administrative time) : down time 중 정비시간, 보급대기시간을 제외한 시간

총동적시간(total operating time) : 계, 기기, 부품 등에 대해 측정된 개개의 동작시간의 총합시간

참고문헌

1. 豊田利夫, 設備診断の進め方, 日本maintenance協會, 1982.
2. 권오관, 기계시스템의 상태진단기술, 기계와유행 1993-10월호
3. R.A.Collacott, Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring, Chapman and Hall, London, 1977
4. 鹽見弘, 信賴性工學入門, 丸善, 1981