

신뢰성, 보전성 및 가용성 적용 모델

- Application Guide of Reliability Maintainability and Availability -

최성운 *
Choi Sung Woon

Abstract

This paper shows application guide of dependability data from the field, life cycle costing, and maintainability. Moreover, this study introduces mathematical expressions and predictions for reliability, availability and maintainability. This paper also shows compliance test procedures for steady-state availability, and application of Markov techniques.

Keywords : Field Data, Life Cycle Costing, Reliability, Maintainability, Availability

1. 서 론

- 필드 신인성 데이터
- 수명주기 원가 계산
- 보전성
- 예측값
- 안전 상태 가용성
- 마코프기법
- 수학적 표현

2. 신인성 관리 적용지침

2.1 필드 신인성 데이터[1]

* 경원대학교 산업공학과 교수

2.1.1 데이터 요구사항별 신인성 규격

- a) 확인되는 비용 요소의 비용 및 프로젝트의 총 비용: KS A IEC 60300-3-3
- b) 확인되는 사건 발생 빈도, 사건 발생의 가능성 및 사건 발생중속 기간: KS A IEC 60300-3-9
- c) 연관 구성 요소의 고장수, 구성 요소의 고장 유형 및 연관 구성 요소의 고장 시간: KS A IEC 60319
- d) 아이템의 고장 시간(그림으로 나타내기 위해서는 최소한 4개의 고장 시간 관측이 필요함):
KS A IEC 60605-4
- e) 모든 관련 고장에 대한 고장시간(수치적 절차를 위해서는 최소 10개의 고장 시간을 관측할 필요가 있고, 그림으로 나타내기 위해서는 최소한 4개의 고장 시간 관측이 필요함.): KS A IEC 60605-6
- f) 모든 연관 고장에 대한 고장 시간(수치적 절차를 위해서는 최소 10개의 고장 시간을 관측할 필요가 있고, 그림으로 나타내기 위해서는 최소한 4개의 고장 시간 관측이 필요함.): KS A IEC 60605-6
- g) 보전 활동의 이유, 완료된 보전 활동의 유형, 보전 활동의 인시(人時) 및 일에 대한 달력상 경과 시간, 보전팀의 수 및 기술 수준, 시험 및 검사 장비의 이용 및 예비품 소모: IEC 60706-3
- h) 특정 장비에 대해 보전을 수행하는데 필요한 시간: IEC 60706-6
- i) 사건 발생의 확률 및 사건 발생의 빈도: KS A IEC 60812
- j) 사건 발생의 확률: KS A IEC 61025
- k) 하나의 수리 아이টে에 대한 작동 시간 및 비작동시간: KS A IEC 61070
- l) 아이টে 구조에 대한 기술 및 각 블록에 대한 고장률: KS A IEC 61078
- m) 관측된 연관 고장수 및 누적 연관 운영 시간 또는 누적 연관 달력 시간: KS A IEC 61124
- n) 관측된 연관 고장수 및 누적 연관 운영 시간 또는 누적 연관 달력 시간: KS A IEC 61124
- o) 관측된 연관 고장수 및 누적 연관 운영 시간 또는 누적 연관 달력 시간: KS A IEC 61124
- p) 관측된 연관 고장수 및 누적 연관 운영 시간 또는 누적 연관 달력 시간: KS A IEC 61124
- q) 관찰 중인 아이টে 또는 사건에 대한 고장률 또는 고장 강도, 사건의 발생 빈도, 아이টে의 고장 유형과 고장 메커니즘 및 발생률: IEC 61160
- r) 각각의 연관 고장 시 누적된 연관 시험 시간 및 연관 총 고장수: KS A IEC 61164
- s) 시험 중인 아이টে 수 미 각 고장난 아이টে의 고장시간: KS A IEC 61649
- t) 연관 아이টে에 대한 고장 시간 및 위험에 처한 아이টে의 수: KS A IEC 61650
- u) 정의된 상태하에 전자 부품에 대한 고장률과 전자 부품이 사용될 환경에 관한 정보: KS A IEC 61709
- v) 모든 연관 고장에 대한 고장 시간: KS A IEC 61710

2.1.2 데이터 수집

- a) 시간기준 - 연속형 및 불연속형, - 연속형 데이터 수집, - 원도형 데이터 수집, - 다중 원도형 데이터 수집, - 회전식 원도형 데이터 수집
- b) 데이터수집에서 데이터 중도중단
 - 오른쪽 중도 중단(정지된)데이터: 어떤 사건도 발생하지 않은 유닛을 포함
 - 구간 중도 중단 데이터: 사건이 어떤 구간 안에 발생했는지 정확히 알 수 없는 경우

- 왼쪽 중도 중단 데이터: 특정 시점 전이라고 하는 것

2.1.3 샘플링

- 샘플링 시스템 또는 계획의 선택 가이드: ISO/TR 8550
- 샘플링 계획 및 절차: KS A ISO 2859-0
- 합격 품질 수준(AQL): KS A ISO 2859-1
- 한계 품질 수준(LQL): KS A ISO 2859-2
- 스킵로트 샘플링: KS A ISO 2859-3
- 불량률%: ISO 3951
- 축차 샘플링 계획: KS A ISO 8422, KS A ISO 8423
- 합격 샘플링 계획: ISO 10725
- 샘플링의 통계적 측면: ISO 11648

2.2 수명주기 원가계산[2]

2.2.1 비용 요소 예측 방법

- : 비용 예측 관계(Cost Estimating Relationships : CERs)
- a) 기술 비용 방법 b) 분석 비용 방법 c) 모수적 비용 방법

2.2.2 수명 주기 원가 계산 과정

- a) LCC 분석 계획 b) LCC 모델 개발 c) LCC 모델 분석 d) LCC 분석 문서화
- e) LCC 결과의 재조사 f) LCC 분석 경신

2.2.3 제품 수명 주기 단계에서 전형적인 비용

- a) 디자인 및 개발
 - 프로젝트 관리
 - 신뢰성, 보전성, 그리고 환경적 보호 활동을 포함하는 시스템 및 디자인 공학
 - 디자인 문서화, - 표준 제작, - 소프트웨어 개발, - 시험 및 평가, - 생산성 기술 및 계획, - 매각인 선택, - 시범 및 타당성, - 품질 관리
- b) 제조 및 설치
 - 산업 공학 및 작동 분석, - 시설 구조, - 생산 도구 및 시험 장비, - 특별 지원 및 시험 장비, - 초기 예비 부품 및 수리 부품, - 초기 훈련, - 문서화, - 소프트웨어
 - 시험(인증 시험), - 생산 관리 및 공학, - 시설 보전, - 제작(노동, 재료 등), - 품질 관리 및 검사, - 조립, 설치 및 점검, - 포장, 저장, 선적 및 운송, - 진행 훈련
- c) 운용 및 보전
 - 노동/훈련, - 재료 및 소모품, - 전 원, - 장비 및 시설, - 기술 변경, - 신소프트웨어 배포, - 노동/훈련, - 시설, - 계약자 서비스, - 소프트웨어 보전, - 노동/훈련, - 예비 부품 및 수리 재료, - 저장 시설, - 포장, 선적 및 운송
- d) 처분

2.3 보전성[3]

2.3.1 보전성 설계

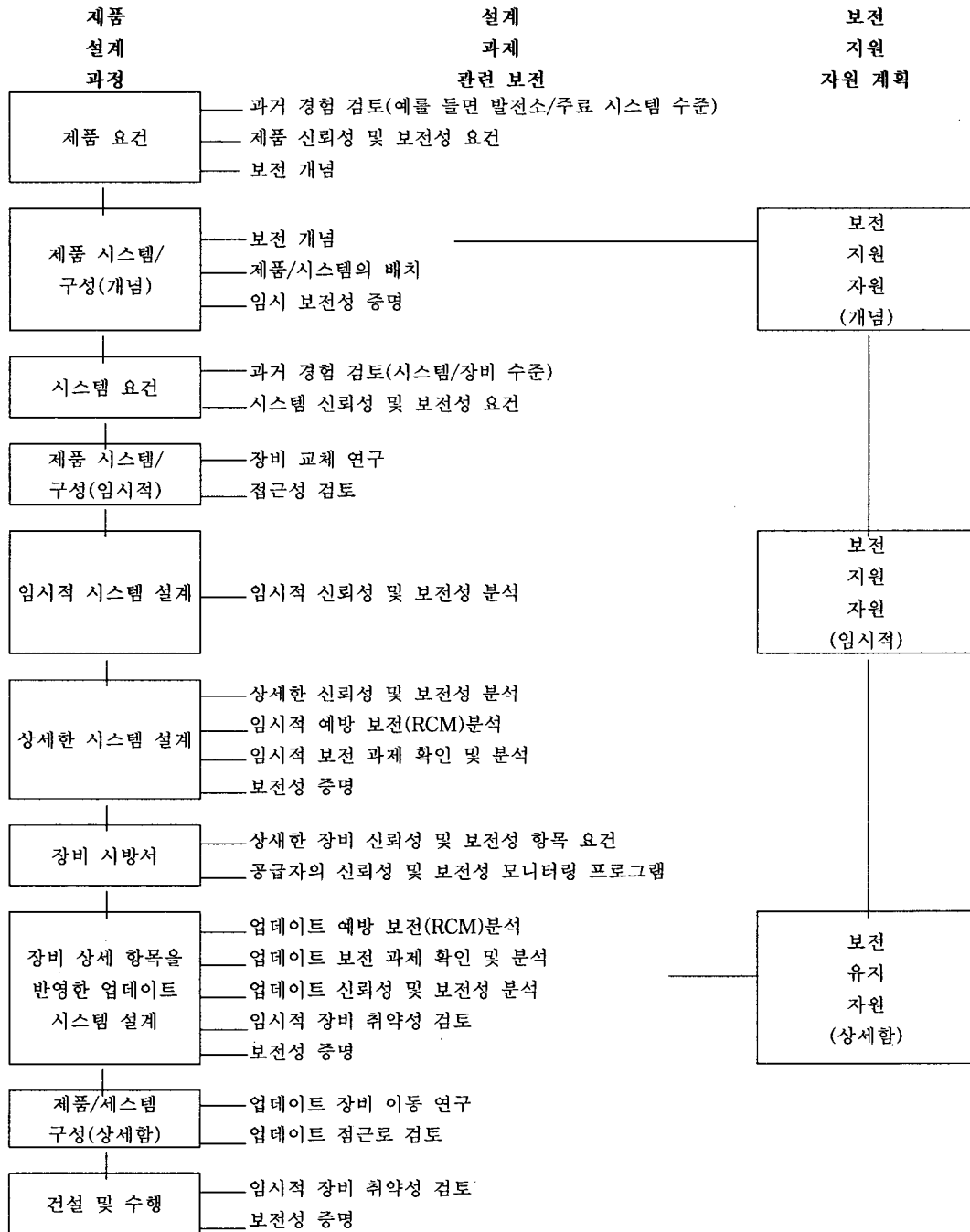


도표 1. 설계 과정 및 설계 과제에 관련된 보전성[3]

3. 신뢰성, 보전성 및 가용성 계량 모델

3.1 예측값[4]

3.1.1 요약

3.1.2 예측의 목적

3.1.3 예측의 목표

3.1.4 특성

3.1.5 요구와 조건

a) 시스템/장비 기능, b) 고장 정의, c) 품질/신뢰도 프로그램, d) 환경 조건, e) 운영조건, f) 보전 활동의 정의, g) 예방 보전 조건, h) 개량 보전 조건, I) 보전 지원성 조건

3.1.6 분석

a) 신뢰도 구조 분석, b) 스트레스 분석, c) 보전성 분석, d) 보전 지원성 분석

3.1.7 모형

a) 신뢰도, b) 구조 모형, c) 모형 적용, d) 수리 모형, e) 보전성, f) 구조 모형, g) 모형 적용, h) 수리 모형, I) 가용성, j) 구조 모형, k) 모형 적용, l) 수리 모형

3.1.8 자료 출처

a) 신뢰도 자료, b) 보전성 자료, c) 보전 지원성 자료, d) 계산 원칙, e) 예측 결과

3.2 안정 상태 가용성[5]

3.2.1 추세 시험

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - n \frac{T^*}{2}}{T^* \left[\frac{n}{12} \right]^{1/2}} \quad (1\text{종}), \quad S = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - (n-1)n \frac{T_n}{2}}{T_n \left[\frac{n-1}{12} \right]^{1/2}} \quad (2\text{종})$$

3.2.2 적합 시험 계획

a) 시험계획1: 고장수 고정

$$F_{1-\alpha}(2pn, 2n) \times F_{1-\beta}(2n, 2pn) \leq D(1-U_0)/(1-DU_0)$$

$$Y/T > U_{\text{lim}} \text{이면 기각하고} \{ \text{여기에서 } U_{\text{lim}} = F_{1-\alpha}(2pn, 2n) \times U_0 / (1-U_0) \}$$

b) 시험계획2: 고정시간이 15개의 평균가동 시간보다 긴 경우

$$T^* = m_u(1+p^{-1}) \left\{ \frac{u_{1-\alpha}\sqrt{1-U_0} + \left[\frac{u_{1-\beta}(1-DU_0)\sqrt{D}}{1-\sqrt{U_0}} \right]}{(D-1)} \right\}^2$$

$Y/(Y+T) > U_{\text{lim}}$ 이면 기각하고

$$U_{\text{lim}} = U_0 \times \frac{[u_{1-\alpha}D(1-U_0) + u_{1-\beta}\sqrt{D}(1-Du_0)]}{[u_{1-\alpha}(1-U_0) + u_{1-\beta}\sqrt{D}(1-Du_0)]} \text{ 과 같다.}$$

c) 시험계획3: 고정시간($U < 0.05$)

$Y/(Y+T) > U_{\text{lim}}$ 이면 기각

d) 시험계획 4: 축차시험

$Y/T > Re(r) \times U_0 / (1-U_0)$ 이면 기각하고

$Y/T > Ac(r) \times U_0 / (1-u_0)$ 이면 채택하며

$Ac(r) \times U_0(1-U_0) \leq Y/T \leq Re(r) \times U_0 / (1-U_0)$ 이면 시험을 계속한다.

의사 결정 한계 $Ac(r)$ 와 $Re(r)$ 는 다음과 같은 방식으로 결정된다.

$$r > \frac{\ln[(1-\alpha)/\beta]}{p \cdot \ln(D)} \text{ 이면 } Ac(r) = \frac{[D-H(r)]}{p[H(r)-1]} \text{ 그렇지 않으면 } Ac(r) = 0$$

$$r > \frac{\ln[(1-\beta)/\alpha]}{p \cdot \ln(D)} \text{ 이면 } Ac(r) = \frac{[D-G(r)]}{p[G(r)-1]} \text{ 그렇지 않으면 } Re(r) = \infty$$

여기에서 $G(r) = D^{1/(1+p)} [a/(1-\beta)]^{1/(r+p)}$ 이고, $H(r) = D^{1/(1+p)} [(1-\alpha)/\beta]^{1/(r+p)}$ 이다.

3.3 마코프 기법[6]

3.3.1 신뢰도 구조

구조형태	$R(t)$	MTTF
1-out-of- n (n 중 1) (일반적인 식)	$1 - \prod_{k=1}^n [1 - R_k(t)]$	$(\frac{1}{\lambda_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_n}) -$ $(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j}) +$ $(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} + \dots + \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j + \lambda_k}) - \dots +$ $\frac{(-1)^{n+1}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$
n 중 1	$1 - (1-p)^n$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$
n 중 ($n-1$)	$np^{n-1} - (n-1)p^n$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{2n-1}{n(n-1)}$
3 중 2	$3p^2 - 2p^3$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{5}{6}$
4 중 2	$6p^2 - 8p^3 + 3p^4$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{13}{12}$
5 중 3	$10p^3 - 15p^4 + 6p^5$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{47}{60}$
n 중 r	$\sum_{i=r}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$	$\frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=r}^n \frac{1}{i}, 1 \leq r \leq n$
n 중 1 ($n-1$) 유닛은 대기 상태 (이상적인 스위치)	$e^{-\mu} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\mu)^i}{i!}$	$\frac{1}{\lambda} \cdot n$
n 중 r ($n-p$) 유닛은 대기 상태 (이상적인 스위치)		$\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{n-r+1}{r}, 1 \leq r \leq n$
비고	$p = e^{-\mu}$	

도표2. 비복원 중복 구조의 신뢰도 $R(t)$ 와 평균 고장 시간 MTTF[6]

구조 형태	중복 형태	평균 시스템 고장률
1-out-of- n (n 중 1)	a	$\left(\prod_{k=1}^n \lambda_{\mu_k}\right) \sum_{k=1}^n \frac{1}{\mu_k}$
n 중 1(동일 유닛)	a	$n\lambda^n \mu^{n-1}$
n 중 ($n-1$)	a	$n(n-1)\lambda^2 \mu$
2 중 1	a	$2\lambda^2 \mu$
3 중 1	a	$3\lambda^3 \mu^2$
3 중 2	a	$6\lambda^2 \mu$
2 중 1	s	$\lambda^2 \mu$
n 중 ($n-1$)	s	$(n-1)^2 \lambda^2 \mu$
비고 1. 중복 형태 a: 활성 중복 s: 비활성 중복 2. 가정 a) 고장수만큼의 수리공 b) 이상적인 스위치 c) $\lambda_{\mu} \ll 1$		

도표3. 복원 가능한 병렬 중복 구조의 평균 시스템 고장률[6]

3.4 수학적 표현[7]

3.4.1 비수리 아이템

a) 신뢰도

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x) dx\right) = \int_0^\infty f(x) dx, \quad \widehat{R}(t) = \frac{n_s(t)}{n}$$

b) 순간 고장률

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad \widehat{\lambda}(t) = \frac{n_s(t) - n_s(t + \Delta t)}{n_s(t) \Delta t}$$

c) 평균 고장률

$$\overline{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{R(t_1)}{R(t_2)}$$

d) 고장까지 평균 시간

$$MTTF = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty R(t) dt, \quad \widehat{MTTF} = \frac{\sum_{i=1}^n TTF_i}{n}$$

3.4.2 회복까지 시간이 걸리지 않는 수리 아이템

a) 신뢰도

$$R(t_1, t_2) = R(t_2) + \int_0^{t_1} R(t_2 - t)z(t)dt$$

b) 순간 고장 강도

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{Z(t + \Delta t) - Z(t)}{\Delta t} = \frac{dZ(t)}{dt}, \quad z(t) = \sum_{n=1}^{\infty} h_{CTTF}^{(n)}(t)$$

$$, \quad h_{CTTF}^{(1)}(t) = f_U(t)$$

$$h_{CTTF}^{(n)}(t) = \int_0^t f_U(x)h_{CTTF}^{(n-1)}(t-x)dx, \quad n > 1$$

c) 평균 고장 강도

$$\bar{z}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} z(t)dt$$

d) 평균 고장 시간

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

e) 평균 고장 간격 시간

$$MT = \int_0^{\infty} t f_U(t)dt$$

f) 평균 고장간 운용시간

$$MTBF = MTTF = \int_0^{\infty} t f(t)dt$$

g) 평균 가동시간

MUT 는 고장 사이의 평균 시간 이며, 연속적으로 작동하는 아이템에 대하여
 $MUT = MTTF = MTBF$

3.4.3 회복까지 시간이 걸리는 수리 아이템

a) 신뢰도

$$R(t_1, t_2) = R(t_2) + \int_0^{t_1} R(t_2 - t)v(t)dt$$

b) 순간 고장 강도

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Z(t + \Delta t) - Z(t)}{\Delta t} = \frac{dZ(t)}{dt}, \quad z(t) = \sum_{n=1}^{\infty} h_{CTTF}^{(n)}(t)$$

$$, \quad h_{CTTF}^{(1)}(t) = f_U(t), \quad h_{CTTF}^{(n)}(t) = \int_0^t h_{CTTF}^{(n-1)}(x)f_{U+R}(t-x)dx, \quad n > 1$$

$$f_{U+R}(t) = \int_0^t g_R(t-s)f_U(s)ds$$

c) 평균 고장 강도

$$\bar{z}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} z(t)dt$$

d) 평균 고장 시간

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

e) 평균 고장간격 시간

평균 고장 간격 시간 = $MUT + MTTF$

$$= \int_0^{\infty} tf_U(t)dt + \int_0^{\infty} tg_R(t)dt$$

아이템이 연속적으로 운용된다면 평균 고장 간격 시간 = $MTTF + MTTR$

f) 평균 고장간 운용시간

$$MTTBF = MTTF$$

g) 순간 가용도

$$A(t) = R_U(t) + \int_0^t R_U(t-x)v(x)dx$$

h) 순간 비가용도

$$U(t) = 1 - A(t) = \int_0^t [1 - G_r(t-x)]z(x)dx$$

$$G_R(t) = \int_0^t g_R(s)ds$$

i) 평균가용도

$$\bar{A}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t)dt$$

j) 평균 비가용도

$$\bar{U}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U(t)dt = 1 - \bar{A}(t_1, t_2)$$

$$MADT = \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt = \bar{U}(t_1, t_2) \times (t_2, t_1)$$

k) 접근 비가용도

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

l) 접근 비가용도

$$U = \lim_{t \rightarrow \infty} U(t) = \frac{MTTR}{MUT + MTTR} = 1 - A$$

m) 평균 가동시간

$$MT = \int_0^{\infty} t f_U(t) dt = \int_0^{\infty} R_U(t) dt$$

n) 평균 다운시간

$$MDT = \int_0^{\infty} t g_D(t) dt$$

o) 보전도

$$M(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} g_{AM}(t) dt$$

p) 평균 수리 시간

$$MRT = \int_0^{\infty} t g_{Rep}(t) dt, \quad MRT = MACMT - MTD$$

q) 평균 실 개량 보전시간

$$MACMT = \int_0^{\infty} t g_{ACM}(t) dt, \quad MACMT = MRT + MTD$$

r) 회복까지 평균 시간

$$MTTR = \int_0^{\infty} t g_R(t) dt$$

$$\begin{aligned} MTTR &= MUFT + MAD + MLD + MACMT \\ &= MUFR + MAD + MLD + MTD + MRT \end{aligned}$$

s) 평균 행정 지연

$$MAD = \int_0^{\infty} t g_{AD}(t) dt$$

t) 평균 로지스틱 지연

$$MLD = \int_0^{\infty} t g_{LD}(t) dt$$

3.4.4 신뢰성 척도 관계

	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
$F(t)$	-	$\frac{dF(t)}{dt}$	$1 - F(t)$	$\frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt}$
$f(t)$	$\int_0^t f(x)dx$	-	$\int_t^\infty f(x)dx$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(x)dx}$
$R(t)$	$1 - R(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	-	$-\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$
$\lambda(t)$	$1 - \exp[-\int_0^t \lambda(x)dx]$	$\lambda(t)\exp[-\int_0^t \lambda(x)dx]$	$\exp[-\int_0^t \lambda(x)dx]$	-

도표3. 연속적으로 운용중인 아이템의 고장 시간에 대한 기능 척도간의 관계[7]

분포	범위	확률 밀도 함수 $f(t)$	신뢰도(생존 함수) $R(t)$	고장률 $\lambda(t)$	기대값 $MTTF$	분산
지수	$\lambda > 0$ $t \geq 0$	$\lambda \exp(-\lambda t)$	$\exp(-\lambda t)$	λ	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
와이블	$\alpha > 0, \beta > 0$ $t \geq 0$	$\beta \alpha (\alpha t)^{\beta-1} \exp[-(\alpha t)^\beta]$	$\exp[-(\alpha t)^\beta]$	$\beta \alpha (\alpha t)^{\beta-1}$	$\frac{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})}{\alpha}$	$\frac{1}{\alpha^2} \left[\Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\beta}) \right]$
감마	$\alpha > 0, \beta > 0$ $t \geq 0$	$\frac{\alpha (\alpha t)^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} \exp(-\alpha t)$	$\int_t^\infty f(u)du$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\frac{\beta}{\alpha}$	$\frac{\beta}{\alpha^2}$
얼랑	$\lambda > 0$ $k \in \{1, 2, \dots\}$ $t \geq 0$	$\frac{\lambda (\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \exp(-\lambda t)$	$\exp(-\lambda t) \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\frac{k}{\lambda}$	$\frac{k}{\lambda^2}$
레일리	$k \in \{1, 2, \dots\}$ $t \geq 0$	$kt \exp(-\frac{kt^2}{2})$	$\exp(-\frac{kt^2}{2})$	kt	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \frac{\pi}{4})$
대수정규	$-\infty < m < +\infty$ $\sigma > 0, t > 0$	$\frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{(\ln t - m)^2}{2\sigma^2}]$	$\int_t^\infty f(u)du$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\exp(m + \frac{\sigma^2}{2})$	$\exp(2m + 2\sigma^2) - \exp(2m + \sigma^2)$

$\Gamma(x)$ 는 완전 감마 함수이며 $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt, x > 0$

도표4. 연속적으로 운용하는 아이템의 고정 시간에 대한 확률분포척도[7]

척도	비수리 아이템 ($\mu_R=0$)	수리 아이템의 회복까지 시간	
		0일 때 ($\mu_R \rightarrow \infty$))	0이 아닐 때 ($0 < \mu_R < \infty$)
신뢰도 함수 $R(t) = R(0, t)$	$\exp(-\lambda t)$	$\exp(-\lambda t)$	$\exp(-\lambda t)$
신뢰도 $R(t_1, t_2)$	$\exp(-\lambda t_2)$	$\exp[-\lambda(t_2 - t_1)]$	$\left(\frac{\mu_R}{\lambda + \mu_R} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu_R} \exp[-(\lambda + \mu_R)t_1]\right) \exp[-\lambda(t_2 - t_1)]$
평균 고장 시간 $MTTF$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
평균 고장간 운용 시간 $MTBF$	-	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
평균 고장 간격 시간	-	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu_R}$
순간 고장 강도 $\lambda(t)$	$\lambda \exp(-\lambda t)$	λ	$\frac{\lambda \mu_R}{\lambda + \mu_R} + \frac{\lambda^2}{\lambda + \mu_R} \exp[-(\lambda + \mu_R)t]$
평균 고장 강도 $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$	$\frac{\exp(-\lambda t_1) - \exp(-\lambda t_2)}{t_2 - t_1}$	λ	$\frac{\lambda \mu_R}{\lambda + \mu_R} + \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu_R)^2} \frac{\exp[-(\lambda + \mu_R)t_1] - \exp[-(\lambda + \mu_R)t_2]}{t_2 - t_1}$
순간 가용도 $A(t)$	$\exp(-\lambda t)$	1	$\frac{\mu_R}{\lambda + \mu_R} \frac{\lambda}{\lambda + \mu_R} \exp[-(\lambda + \mu_R)t]$
평균 가용도 $\bar{A}(t_1, t_2)$	$\frac{\exp(-\lambda t_1) - \exp(-\lambda t_2)}{\lambda(t_2 - t_1)}$	1	$\frac{\mu_R}{\lambda + \mu_R} + \frac{\lambda}{(\lambda + \mu_R)^2} \frac{\exp[-(\lambda + \mu_R)t_1] - \exp[-(\lambda + \mu_R)t_2]}{t_2 - t_1}$
점근 가용도 A	0	1	$\frac{\mu_R}{\lambda + \mu_R}$
순간 비가용도 $U(t)$	$1 - \exp(-\lambda t)$	0	$\frac{\lambda}{\lambda + \mu_R} (1 - \exp[-(\lambda + \mu_R)t])$
평균 비가용도 $\bar{U}(t_1, t_2)$	$1 - \frac{\exp(-\lambda t_1) - \exp(-\lambda t_2)}{\lambda(t_2 - t_1)}$	0	$\frac{\lambda}{\lambda + \mu_R} + \frac{\lambda}{(\lambda + \mu_R)^2} \frac{\exp[-(\lambda + \mu_R)t_1] - \exp[-(\lambda + \mu_R)t_2]}{t_2 - t_1}$
점근 비가용도 U	1	0	$\frac{\lambda}{\lambda + \mu_R}$

도표5. 일정 고장률 λ 와 회복률 μ_R 인 연속적으로 운영하는 아이템의 신인성 척도 비교[7]

4. 결 론

- 필드 신인성 데이터 : 데이터 요구 사항별 신인성 규격, 데이터 수집, 샘플링
- 수명주기 원가계산 : 비용 요소 예측 방법, 수명 주기 원가 계산 과정, 제품 수명 주기 단계에서 전형적인 비용
- 보전성 : 보전성 설계
- 예측값 : 요구되는 정보
- 안전상태 가용성 : 추세시험, 적합시험계획
- 마코프 기법 : 신뢰도 구조
- 수학적 표현 : 비수리 아이템, 수리까지 시간이 걸리지 않는 수리 아이템

5. 참 고 문 헌

- [1] KS A IEC 60300-3-2 : 신인성관리 - 제3부 : 적용지침 - 제2절 : 필드로부터의 신인성 데이터 수집, 한국표준협회, 2005.
- [2] KS A IEC 60300-3-3 : 신인성관리 - 제 3부 : 적용지침 - 제3절 : 수명주기 원가 계산, 한국표준협회, 2005.
- [3] KS A IEC 60300-3-10 : 신인성관리 - 제 3부 : 적용지침- 제10절 : 보전성, 한국표준협회, 2004.
- [4] KS A IEC 60863 : 신뢰성, 보전성 및 가용성 예측값의 소개, 한국표준협회, 2003.
- [5] KS A IEC 61070 : 안전상태 가용성에 대한 적합시험 절차, 한국표준협회, 2003.
- [6] KS A IEC 61165 : 마코프 기법의 응용, 한국표준협회, 2004.
- [7] KS A IEC 61703 : 신뢰성, 가용성, 보전성 및 보전지원 용어에 대한 수학적 표현, 한국표준협회, 2004.