신뢰성 스트레스 스크리닝 및 성장 모델
- Reliability Stress Screening and Growth Model -

최 성 운 *
Choi Sung Woon

Abstract

This paper introduces reliability stress screening(RSS) for electronic hardware and components. This study also shows reliability centered maintenance(RCM), and reliability growth models.
Moreover, this paper presents goodness-of-fit tests and estimation methods of power law model.
Keywords : RSS, RCM, Reliability Growth, Power Law Model

1. 서 론

· 신뢰성 스트레스 스크리닝 전자 제품
· 전자 부품, 대량생산의 RSS
· 신뢰성 성장 모형
· 누승/거듭 제공 법칙 모델
· RCM

2. 신뢰성 스트레스 스크리닝

2.1 전자 제품[1]

2.1.1 신뢰성 스트레스 스크리닝 프로그램의 일반적 고려 사항
2.1.2 신뢰성 스트레스 스크리닝 과정의 일반 정보
2.1.3 신뢰성 스트레스 스크리닝 과정의 효과 분석

* 경원대학교 산업공학과 교수

2.1.4 성공적인 신뢰성 스트레스 스크리닝 프로그램의 특징
2.1.5 스크리닝의 종류
2.1.6 스크리닝 레벨
2.1.7 스크리닝 강도
2.1.8 스크리닝의 선택
2.1.9 신뢰성 스트레스 스크리닝 과정에서 탐지되는 결점
a) 고유 결점 b) 유도된 결점 c) 부적절한 설계
2.1.10 사전 생산 스크리닝 과정
2.1.11 신뢰성 스트레스 스크리닝 과정의 계획, 수행 및 제거
a) 개요

b) 1단계-목표와 소목표의 확인-목표의 확인-소목표의 확인-하드웨어의 복잡성-기술

-생산과정-서전 스크리닝 과정-사용환경

c) 2단계-스크리닝 과정 설계 및 적용-스크리닝 과정 종류-일반 스크리닝 과정

· 상승온도 - 온도주기 - 진통 - 온도 주기 및 진동 - 충동과 충격 - 등가속도 - 습도 - 동작부하 - 다중 작동 스트레스 스크리닝(Moss) -고장 메커니즘(Failure Mechanism) - 생산과정 - 작동 및 비작동 특정 한도 - 결점에 의해 발생된 고장의 탐지하는 기능 테스트의 적합성- 스크리닝 과정의 목표와 소목표 - 대체 스크리닝과 적용레벨의 비용

d) 3단계- 비용 편익 분석-개요-자료수집고장 분석-교정작업
2.1.12 대량 생산의 수리 가능한 제품의 RSS
a) 1단계-목표와 소목표 확인

b)2단계-스크리닝 과정 설계 및 적용

c)3단계-비용 편익 분석

d)4단계-스크리닝 계획의 준비

e)5단계-스크리닝 과정 자료 수집, 분석 및 교정 작업
2.1.13 전자 부품의 RSS
a)1단계-목표와 소목표 확인

b)2단계-스크리닝 과정 설계 및 적용

c)3단계-비용 편익 분석

d)4단계-스크리닝 계획의 준비

e)5단계-스크리닝 과정 자료 수집, 분석 및 교정 작업

2.2 전자 부품[2]
2.2.1 와이블(Weibull) 분석

a) 와이블 분포 함수

$F(t)=1-\exp(t/n)^{\beta}$, $n>0$, $\beta>0$

b) 30개 이상의 부품의 샘플 크기

$$Hi=\frac{i}{n}\times 100\%$$

c) 샘플 크기가 30이하의 샘플 크기

$$Hi=\frac{i-0.3}{n+0.4}\times 100\%$$

2.2.2 가속 계수 계산식

a) 온도 가속 계수: 아레니우스식(Arrhenius Equation)

$$\frac{t_1}{t_2}=\exp\left\{\frac{E_A}{K_B}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)\right\}$$

b) 진동 가속 계수: ASD(Acceleration Spectral Density)
PSD(Power Spectral Density)

$$\frac{r_1}{r_2}=\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{M}$$

$$\frac{r_1}{r_2}=\left(\frac{W_{n2}}{W_{n1}}\right)^{2M}$$

c) 전압 가속 계수

$$\frac{t_1}{t_2}=\exp\left\{\frac{c}{d_{ox}}(V_2-V_1)\right\}$$

d) 전류 가속 계수: EM(Electromigration)

$$\frac{t_1}{t_2}=\left(\frac{J_2}{J_1}\right)^{n}\exp\left\{\frac{E_A}{K_B}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)\right\}$$

e) 피로 가속 계수(Fatigue Acceleration Factor)

$$\frac{N_1}{N_2}=\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{q}\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)^{\beta}\frac{G_1(Tmax,1)}{G_2(Tmax,2)}$$

f) 다중 스트레스 가속 계수: 아이링식(Eyring)

$$\frac{t_1}{t_2}=\exp\left\{\frac{E_A}{K_B}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)\right\}\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n_1}\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{n_2}$$

3.1 신뢰성 성장[3]

3.1.1 통합 신뢰성 성장 과정

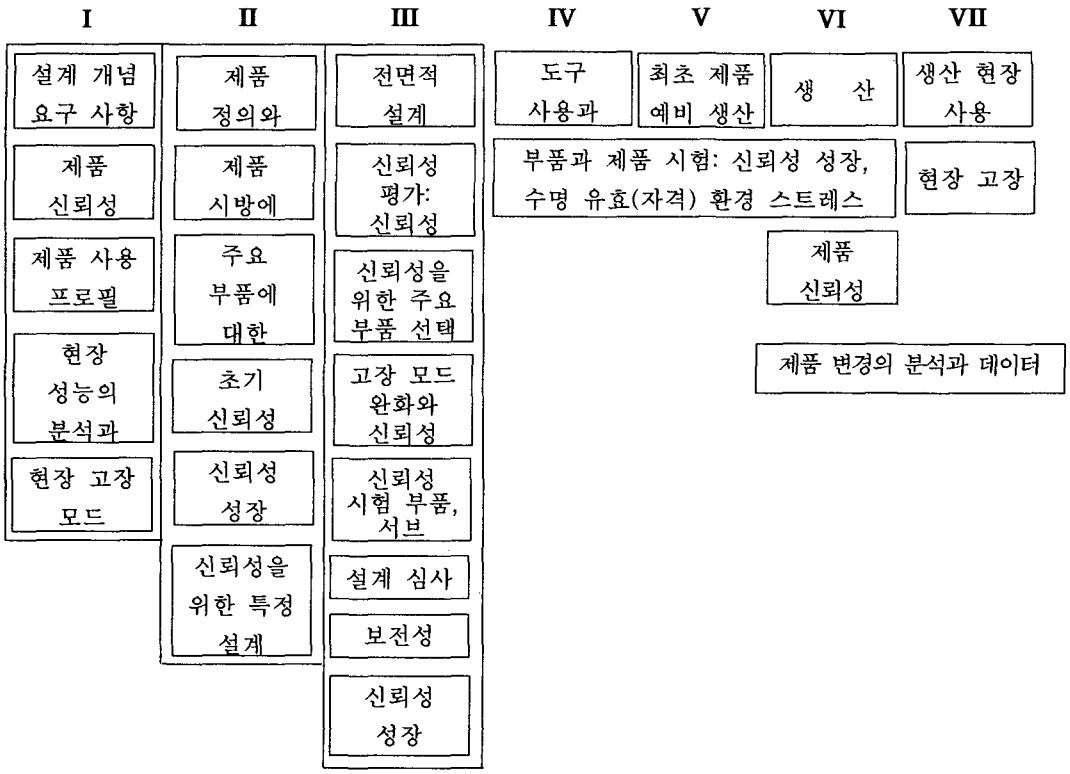

도표1. 통합 신뢰성 기술 과정[3]

3.1.2 고장 분류

3.1.3 비연관 고장군

a) 이차고장
b) 오용고장
c) 개량 과정에서의 고장 또는 설계 개량에 의하여 이미 제거된 고장
c) 동일한 간헐적 고장
e) 운용자 조정이냐 보전을 필요로 하는 고장(정상 운용자만 사용)
f) 시방 시험을 만족시키지 못하나 그들의 특정 기능에서는 만족스러운 부품
g) 수락 가능한 수명 이후에 발생한 고장
h) 신뢰성 선별 중의 고장

3.1.4 연관 고장군

a) 체계적 고장
b) 잔여 고장

3.1.5 모형에 사용된 신뢰성 성장 시험에서의 신뢰성 척도의 개념

a) 순간 고장 강도
b) 외삽 고장 강도
c) 예상 고장 강도
d) 기타 추정값

3.2 누승/거듭 제곱 법칙 모델[4]

3.2.1 누승 법칙 모델

$$E[N(t)] = \lambda t^{\beta},\ \lambda > 0,\ \beta > 0,\ t > 0$$

$$z(t) = \frac{d}{dt} E[N(t)] = \lambda \beta t^{\beta-1},\ t > 0$$

3.2.2 데이터 요구 조건

a) 케이스 1 - 동일 모집단으로 부터의 1개 이상의 복사체(copy)에 대한 모든 관련 고장의 시간 데이터

-케이스 1a) - 1개의 수리 아이템
-케이스 1b) - 동일 기간 동안 관측된 수리 아이템의 다중 복사체
-케이스 1c) - 다른 기간 동안 관측된 수리 아이템의 다중 복사체

b) 케이스 2 - 동일 모집단으로 부터의 1개 이상의 복사체에 대한 관련 고장의 그룹별 시간 데이터

c) 케이스 3 - 다른 모집단으로 부터의 1개 이상의 수리 아이템에 대한 모든 관련 고장의 시간 데이터

3.2.3 점 추정

a) 케이스 1가)와 나) - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

- 단계 1

$$S_1 = \sum_{j=1}^{N} \ln\left(\frac{T^*}{t_j}\right) \qquad \text{(시간 중단)}$$

$$S_1 = \sum_{j=1}^{N} \ln\left(\frac{T_L}{t_j}\right) \qquad \text{(고장 중단)}$$

- 단계 2

$$\hat{\beta} = \frac{N-1}{S_1} \qquad \text{(시간 중단)}$$

$$\hat{\beta}=\frac{N-2}{S_2} \qquad \text{(고장 중단)}$$

- 단계 3

$$\hat{\lambda}=\frac{N}{k(T^*)^{\hat{\beta}}} \qquad \text{(시간 중단)}$$

$$\hat{\lambda}=\frac{N}{(T_N)^{\hat{\beta}}} \qquad \text{(고장 중단)}$$

b) 케이스 1다) - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

- 단계 1 $t_i, i=1,2,\cdots,N$
  $t_j, j=1,2,\cdots,K$

- 단계2

$$\frac{N}{\hat{\beta}}+\sum_{i=1}^{N}\ln t_i-\frac{N\sum_{i=1}^{k}T_j^{\hat{\beta}}\ln T_j}{\sum_{i=1}^{k}T_j^{\hat{\beta}}}=0$$

- 단계3

$$\hat{\lambda}=\frac{N}{\sum_{i=1}^{k}T_j^{\hat{\beta}}}$$

- 단계4

$$\hat{z}(t)=\hat{\lambda}\hat{\beta}t^{\hat{\beta}}-1$$

케이스2 - 관련 고장의 그룹별 시간 데이터

- 단계1

$$N=\sum_{i=1}^{d}N_i$$

- 단계2

$$\sum_{i=1}^{d}N_1\left[\frac{[t(i)]^{\hat{\beta}}\ln t(i)-[t(i-1)]^{\hat{\beta}}\ln t(i-1)}{[t(i)]^{\hat{\beta}}-[t(i-1)]^{\hat{\beta}}}-\ln t(d)\right]=0$$

- 단계3

$$\hat{\lambda}=\frac{N}{t(d)^{\hat{\beta}}}$$

- 단계4

$$\hat{z}(t)=\hat{\lambda}\hat{\beta}t^{\hat{\beta}-1}$$

3.2.4 적합도 검정

a) 케이스1 - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

i) Cramer-Von-Mises 검정법

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산

- 단계2: $C^2=\frac{1}{12M}+\sum_{j=1}^{M}\left[\left(\frac{t_j}{T}\right)-\left(\frac{2j-1}{2M}\right)\right]^2$

- 단계3: $C^2 > C^2_{0.90}(M)$ 가설이 기각

ii) 그래프 방법

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산 $\hat{\lambda}$를 계산

- 단계2: $\hat{E}(t_j)=\left(\frac{j}{\hat{\lambda}}\right)^{\frac{1}{\beta}}$

- 단계3: 선형 스케일로 $\hat{E}(t_j)$을 t_j에 대하여 플롯

b) 케이스2 - 관련 고장의 그룹별 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산 $\hat{\lambda}$를 계산

- 단계2: $e_i=\hat{\lambda}\{[t(i)]^{\hat{\beta}}-[t(i-1)]^{\hat{\beta}}\}$

- 단계3: $\chi^2=\sum_{i=1}^{d}\frac{(N_i-e_i)^2}{e_i}$

- 단계4: 기각값 $\chi^2_{0.90}(d-2)$를 선택

- 단계5: χ^2이 기각값 $\chi^2_{0.90}(d-2)$를 초과하면 가설을 기각한다.

i) 그래프 방법

- 단계1: $N[t(2)]=\sum_{j=1}^{1}N_k$

- 단계2: $\hat{E}[N[t(i)]]=\hat{\lambda}t(i)^{\hat{\beta}}$

- 단계3: 선형 스케일로 $\hat{E}[N[t(i)]]$를 $N[t(i)]$에 대하여 플롯

3.2.5 형상 모수의 신뢰 구간

a) 케이스1 - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

β의 양쪽 90% 신뢰구간 - 시간 중단 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산
- 단계2: $D_L = \dfrac{\chi^2_{0.05}(2N)}{2(N-1)}$

$$D_L = \frac{\chi^2_{0.95}(2N)}{2(N-1)}$$

- 단계3: $\beta_{LB} = D_L\hat{\beta}$

$\beta_{UB} = D_U\hat{\beta}$

- 단계4: 신뢰 구간은 $(\beta_{L\beta}, \beta_{U\beta})$

b) 케이스2 - 관련 고장의 그룹별 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산
- 단계2: $P(i) = \dfrac{t(i)}{t(d)}$
- 단계3: $A = \sum_{i=1}^{d} \dfrac{\left[[P(i)]^{\hat{\beta}}\ln[P(i)]^{\hat{\beta}} - [P(i-1)]^{\hat{\beta}}\ln[P(i-1)]^{\hat{\beta}}\right]^2}{\left[[P(i)]^{\hat{\beta}} - [P(i-1)]^{\hat{\beta}}\right]}$
- 단계4: $C = \dfrac{1}{\sqrt{A}}$
- 단계5: $S = \dfrac{1.65C}{\sqrt{N}}$
- 단계6: $\beta_{LB} = \hat{\beta}(1-b)$

$\beta_{UB} = \hat{\beta}(1+b)$

- 단계7: 신뢰 구간은 $(\beta_{L\beta}, \beta_{U\beta})$

3.2.6 고장 강도의 신뢰 구간

a) 케이스1 - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

- 단계1: $\hat{z}(t)$를 계산
- 단계2: 적당한 샘플 크기 N에 대한 L과 U의 값
- 단계3: $Z_{LB} = \dfrac{\hat{z}(t)}{L}$

$$Z_{UB} = \frac{\hat{z}(t)}{U}$$

- 산계4: 신뢰구간은 (Z_{LB}, Z_{UB})

b) 케이스2 - 관련 고장의 그룹별 시간 데이터

- 단계1: $\hat{Z}(t)$를 계산
- 단계2: $P(i)=\frac{t(i)}{t(d)}$
- 단계3: $A=\sum_{i=1}^{d}\frac{\left[[P(i)]^{\hat{\beta}}\ln[P(i)]^{\hat{\beta}}-[P(i-1)]^{\hat{\beta}}\ln[P(i-1)]^{\hat{\beta}}\right]^2}{\left[[P(i)]^{\hat{\beta}}-[P(i-1)]^{\hat{\beta}}\right]}$
- 단계4: $D=\sqrt{\frac{1}{A}+1}$
- 단계5: $S=\frac{1.64D}{\sqrt{N}}$
- 단계6: $Z_{LB}=\frac{\hat{Z}(t)}{1+S}$

  $Z_{UB}=\frac{\hat{Z}(t)}{1-S}$
- 단계7: 신뢰 구간은 (Z_{LB}, Z_{UB})

3.2.7 단일 아이템의 장래 고장 시간의 예측 구간

a) 케이스1에 대한 다음 고장시간의 예측구간 - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산
- 단계2: $\hat{T}_{1L}=t_N exp\left[\frac{0.95^{\frac{-1}{N-1}}-1}{N\hat{\beta}/(N-1)}\right]$ (시간 중단)

  $\hat{T}_{1L}=t_N exp\left[\frac{0.05^{\frac{-1}{N-1}}-1}{N\hat{\beta}/(N-2)}\right]$ (고장 중단)

  $\hat{T}_{1U}=t_N exp\left[\frac{0.05^{\frac{-1}{N-1}}-1}{N\hat{\beta}/(N-1)}\right]$ (시간 중단)

  $\hat{T}_{1U}=t_N exp\left[\frac{0.95^{\frac{-1}{N-1}}-1}{N\hat{\beta}/(N-2)}\right]$ (고장 중단)
- 단계3: 예측 구간은(T_{1L}, T_{1U})

b) 케이스1에 대한 R번째 장래 고장시간의 예측구간 - 모든 관련 고장에 대한 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산

- 단계2: $G=\left[\frac{(N-0.5)(N+R-0.5)}{NR}\right]\ln\left[\frac{N+R-0.5}{N-0.5}\right]$
- 단계3: $V=2NGln\left[\frac{N+R-0.5}{N-0.5}\right]$
- 단계4: $T_{RL}=T_N\exp\left[\frac{V(N-2)}{2N(N-1)G\hat{\beta}F_{0.95}(2(N-1)V')}\right]$ (고장 중단)

$$T_{RL}=T_N\exp\left[\frac{V}{2NG\hat{\beta}F_{0.95}(2(N-1)V')}\right] \quad \text{(시간 중단)}$$

$$T_{RU}=T_N\exp\left[\frac{V(N-2)F_{0.95}(V'2(N-1))}{2N(N-1)G\hat{\beta}}\right] \quad \text{(고장 중단)}$$

$$T_{RU}=T_N\exp\left[\frac{VF_{0.95}(V'2(N-1))}{2NG\hat{\beta}}\right] \quad \text{(시간 중단)}$$

- 단계5: 예측 구간은 (T_{RL}, T_{RU})

3.2.8 형상모수 $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_k$의 검정법

a) 케이스3 - 다른 모집단으로 부터의 2개의 아이템에 대한 모든 관련 고장의 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta_1}, \hat{\beta_2}$를 계산
- 단계2: $S_1=\sum_{i=1}^{N_1-1}\ln\left[\frac{t_{N_1}}{t_{i_1}}\right]$

$$S_2=\sum_{i=1}^{N_2-1}\ln\left[\frac{t_{N_2}}{t_{i_2}}\right]$$

- 단계3: $F=\frac{S_1(N_2-1)}{S_2(N_1-1)}$
- 단계4: $\frac{1}{F_{0.95}(2(N_2-1)2(N_1-1))}<F<{}_{0.95}(2(N_1-1)2(N_1-1))$

b) 케이스3 - 다른 모집단으로 부터의 3개 이상의 아이템에 대한 모든 관련 고장의 시간 데이터

- 단계1: $\hat{\beta}$를 계산
- 단계2: $S_j=\sum_{i=1}^{N_j-1}\ln\left[\frac{t_{N_j}}{t_{i_j}}\right]$
- 단계3: $N=\sum_{i=1}^{N_j-1}N_j$

- 단계4: $W=1+\frac{1}{3(k-1)}\left[\sum_{j=1}^{k}\frac{1}{2(N_j-1)}-\frac{1}{2(N-k)}\right]$

- 단계5: $Y=2(N-k)\ln\left[\left(\frac{1}{N-k}\right)\sum_{j=1}^{k}S_j\right]-\sum_{j=1}^{k}2(N_j-1)\ln\left[\frac{S_j}{N_j-1}\right]$

- 단계6: $\frac{Y}{W}<\chi^2_{0.90}(k-1)$ 가설채택

3.3 RCM[5]

3.3.1 RCM 프로그램

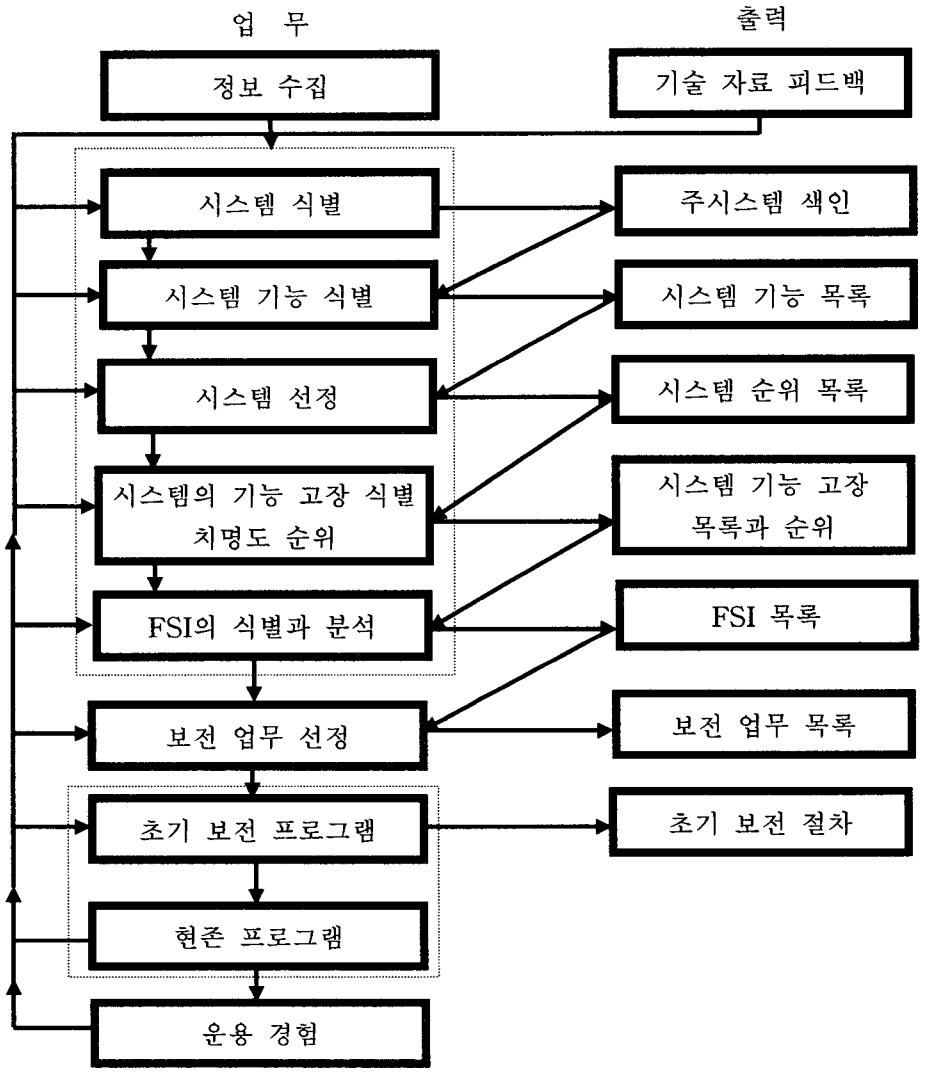

도표2. RCM에 기반을 둔 예방 보전 프로그램 개발 업무[5]

3.3.2 손상의 근원

a) 사고손상(Accidental Damage, AD)
b) 환경악화(Environmental Deterioration, ED)
c) 피로파괴(Fatigue Damage, FD)

4. 결 론

· 신뢰성 스트레스 스크리닝 전자 제품: 신뢰성 스트레스 스크리닝 과정의 효과 분석, 스크리닝의 종류
· 전자부품: 와이블(Weibull)분석, 가속 계수 계산식
· 신뢰성 성장 및 RCM: 통합 신뢰성 성장 과정, 모형에 사용된 신뢰성 성장 시험에서의 신뢰성 척도의 개념
· 누승/거듭 제곱 법칙 모델: 누승 법칙 모델, 데이터 요구 조건
· RCM: RCM 프로그램. 손상의 근원

5. 참 고 문 헌

[1] KS A IEC 60300-3-7 : 의존성 관리 - 제 3 부 : 사용지침서- 제 7 절 : 전자 제품의 신뢰성 스트레스 스크리닝, 한국표준협회, 2003.
[2] KS A IEC 61163-2 : 신뢰성 스트레스 스크리닝 - 제 2 부 : 전자부품, 한국표준협회, 2003.
[3] KS A IEC 61014 : 신뢰성 성장 프로그램, 한국표준협회, 2004.
[4] KS A IEC 61710 : 누승/거듭 제곱 법칙 모델 - 적합도 검정 및 추정 방법, 한국표준협회, 2003.
[5] KS A IEC 60300-3-11 : 신인성관리 -제 3 부: 적통지침- 제 11 절: 신뢰성 중심보전, 한국표준협회, 2004.