

# MIL-HDBK-217D를 利用한 電子部品 및 Board의 故障率 計算에 관한 研究

曹永炤·任德彬 / 品質研究室

## 〈要 約〉

本 研究에서는 MIL-HDBK-217D 의 part stress 解析方法을 利用하여 部品の 故障率을 계산하였다. 이 方法은 운용시 周圍環境, 周圍溫度에 의한 stress 등 많은 量의 자세한 情報가 필요하다.

本稿에서는 part stress 方法을 적용한 컴퓨터 프로그램을 개발하여 部品の 故障率 계산에 利用하였다. Fortran V로 쓰여진 이 프로그램은 다음의 4 개 部分으로 構成되었고 그 機能 및 構造를 提示하였다.

- (1) Raw data file
- (2) 部品別 연산 프로그램
- (3) 信賴度 modelling(직렬구조)
- (4) New data file

## 〈Abstract〉

This paper describes the applicable method of part stress analysis failure rate prediction for electronic components in the MIL-HDBK-217D.

The part stress analysis method requires the great amount of detailed informations,

such as operating temperature, operating environment, etc. This paper calculates the failure rate of electronic components using the computer program.

The program was written by Fortran V and has four basic units as follows

- (1) Raw data file
- (2) Failure rate calculation
- (3) Reliability modelling(Series only)
- (4) New data file

The Functions and structure of the program are illustrated.

## I. 序 論

시스템의 信賴度는 그 구성부품의 신뢰도에 의해서 크게 좌우된다. 單一부品の 故障으로 인하여 시스템 全体故障이 유발되기도 하며, 또한 시스템의 원활한 運用に 결정적인 주요한 要素가 될 수 있다. MIL-HDBK-217D 는 시스템 信賴度 예측에 기본적으로 필요한 전자부품의 故障率 예측방법을 제시하고 있으며 여기에 적용되는 部品類型은 다음과 같다.

- Microelectronics
- Discrete semiconductors

- Tubes
- Lasers
- Resistors
- Capacitors
- Inductive devices
- Relays
- Switches
- Connectors
- Wire & printed wire board
- Connections
- Miscellaneous

이와같이 여러 유형의 부품에 대하여 MIL-H DBK-217D 는 두가지의 故障率 예측방법을 제시하고 있다. Environmental factor, quality factor 등 부품의 개괄적인 구분에 따른 기본고장율(Base failure rate)을 주어진 表에서 찾아서 信賴度 예측에 사용하는 part count 방법과 각 부품에 가해지는 electrical, thermal stress 에 따른 기본 고장율에 environmental factor, quality factor 등을 곱하여 고장율을 구하는 part stress 해석방법으로 구분된다. 前者의 방법은 시스템 초기설계 과정에서 주로 적용이 되며 시스템의 도입, 또는 구매시 이의 信賴度에 관한 사항을 확인 평가하는 방법으로서 사용되고 있다.

本稿에서는 後者の part stress 해석방법을 적용한 컴퓨터 프로그램을 개발하여 부품의 故障率 계산과 이들 부품으로 구성된 board의 故障率 계산에 이용하였다.

- $T_R$  : 상대 温度(Reference temperature)
- $E_a$  : 주요 故障를 야기시키는 運動 에너지 (eV)
- $K$  : Boltzman 常数 ( $8.6123 \times 10^5$  eV/K)

2. 予測 모델

Part stress 해석방법을 이용한 故障率 予測 모델은 부품의 고장율에 影響을 주는 여러 變數들의 곱으로 나타나는데 本稿에서는 IC 및 필름형의 저항과 ceramic 콘덴서의 故障率 모델을 대상으로 分析하였다. 각 부품별 모델에 적용되는 變數들은 <表 1>과 같으며, 이들 變數 이외에도 品質變數(Quality factor), 環境變數(Environmental factor), 운용시 주위온도 등 各 部品에 공통적으로 필요한 여러 變數들을 고려하여야 한다.

IC(Integrated circuit)	콘덴서	저항
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technology type (TTL, CMOS, 기타)</li> <li>• 게이트수, 메모리 bit 수</li> <li>• 정격 / 인가 전력</li> <li>• Junction to thermal resistance (°C/watt)</li> <li>• Pin의 수</li> <li>• Package type (Flatpack, cans 기타)</li> <li>• 기타</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Part type</li> <li>• 인가전압 (인가 직류전압+ 최대교류전압)</li> <li>• 용량</li> <li>• 기타</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Part type</li> <li>• 인가전압, 전력</li> <li>• 저항치</li> <li>• 기타</li> </ul>

<表 1> 故障率 予測에 필요한 變數例

II. 故障率 予測 모델

1. 假 定

MIL-HDBK-217D의 予測모델은 故障率이 시간에 관계없이 일정하다는 假定下에서 成立한다. 그리고 IC(Integrated circuit)의 故障率은 IC의 게이트數, 메모리部品인 경우 bit의 數 등, 그 部品の 복잡성(Complexity) 등에 有関하며, 温度와 故障率과의 관계를 나타낸 다음의 Arrhenius 방정식을 만족한다.

$$\lambda_p(T) = \lambda_p(T_R) \exp[A(T_R^{-1} - T^{-1})]$$

- A :  $E_a/K$
- $\lambda_p$  : 部品の 故障率
- $T_j$  : 運用 温度

가. IC의 故障率 모델

$$\lambda_{IC} = \pi_q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$$

Fail/10<sup>6</sup>h

$\pi_q$ : Quality factor  
 = .5 Class S } MIL-STD-883  
 8.0 Class C } Methods 5004, 5005에  
 17.5 Class D } 따른 분류

$\pi_T$ : Temperatures acceleration factor  
 =  $0.1 \exp\left[-A\left(\frac{1}{T_j+273} - \frac{1}{298}\right)\right]$

A: Technology temperature factor

예) =4635 (Hermetic TTL, HTTL)  
 5214 (Hermetic LTTL, STTL)

$T_J$  : Worst case junction temperature

$$T_J = T_c + \theta_{JC} \cdot P$$

$T_c$  : Case temperature (°C)

$\theta_{JC}$  : junction to case thermal resistance (°C/watt)

$P$  : worst case power realized in a system application

$\pi_v$  : Voltage derating stress factor

$$\pi_v = 0.110 \exp\left[\frac{0.168 V_s (T_J + 273)}{298}\right]$$

(12 Volt  $\leq V_{ada} \leq$  15.5 Volts)

$$= 0.068 \exp\left[\frac{0.135 V_s (T_J + 273)}{298}\right]$$

(18 Volt  $\leq V_{ada} \leq$  20 Volts)

$$= 1.0 \text{ (기타)}$$

$V_{ada}$  : recommended operating supply voltage

$V_s$  : operating supply voltage in actual application

$\pi_E$  : Environmental factor

$$= 0.90 \text{ (Space flight)}$$

$$1.0 \text{ (Ground, fixed)}$$

$$4.2 \text{ (Ground, Mobile)}$$

$\pi_L$  : Learning factor = 10 (초기 생산부품)

$$1 \text{ (다량 생산부품)}$$

$C_1, C_2$  : Circuit complexity factor

(gate 나 메모리의 수에 따른 변수)

$$\text{예) LSI : } \left. \begin{aligned} C_1 &= 1.48 \times 10^{-3} (N_g)^{0.506} \\ C_2 &= 3.20 \times 10^{-4} (N_g)^{0.279} \end{aligned} \right\}$$

$N_g$  : gate 의 수 ( $\leq 20000$ )

$C_3$  : Package complexity factor (Pin의 수

에 따른 변수)

예) Hermetic DIPS

$$C_3 = 2.8 \times 10^{-4} (N_p)^{1.51}$$

$N_p$  : number of pins

나. Film 型 저항의 故障率 모델

$$\lambda_{Resistor} = \lambda_{Base} (\pi_E \times \pi_R \times \pi_Q) \text{ Fail}/10^6 \text{ h}$$

$\pi_E$  : Environmental factor

$$= 0.4 \text{ (Space, flight)}$$

$$2.4 \text{ (Ground, Fixed)}$$

$$7.8 \text{ (Ground, Mobile)}$$

$\pi_R$  : Resistance factor

$$= 1.0 \text{ (100 K}\Omega \text{ 이하)}$$

$$1.1 \text{ (0.1M}\Omega \sim 1 \text{ M}\Omega)$$

$\pi_Q$  : Quality factor

$$= 0.03 \text{ (Upper Level)}$$

$$5.0 \text{ (Medium Level)}$$

$$15.0 \text{ (Lower Level)}$$

$\lambda_{Base}$  : Base failure rate

$$= A \exp\left[B \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G\right] \times \exp\left[\left(\frac{S}{N_S}\right) \left(\frac{T+273}{273}\right)^T\right]$$

$A$  : Adjustment factor for type of Resistor

$B$  : Shaping parameter

$N_T$  : Temperature constant

$T$  : Ambient operating temperature (°C)

$G, H, J$  : Acceleration constant

$N_S$  : Stress constant

$S$  : Stress ratio =  $\frac{\text{operating power}}{\text{rated power}}$

예) Resistor, Fixed, Film

$$A = 7.33 \times 10^{-3} \quad B = 0.202$$

$$N_T = 298 \quad G = 2.6 \quad N_S = 1.45$$

$$H = 1.3 \quad J = 0.89$$

다. Ceramic 콘덴서의 故障率 모델

$$\lambda_{Capacitor} = \lambda_{Base} (\pi_E \times \pi_Q \times \pi_{Cv}) \text{ Fail}/10^6 \text{ h}$$

$\pi_E$  : Environmental factor

$$= 0.8 \text{ (Space, flight)}$$

$$1.6 \text{ (Ground, Fixed)}$$

$$7.8 \text{ (Ground, Mobile)}$$

$\pi_Q$  : Quality factor

$$= 0.03 \text{ (Upper Level)}$$

$$3 \text{ (Medium Level)}$$

$$10 \text{ (Lower Level)}$$

$\pi_{Cv}$  : Capacitance factor

$$\pi_{Cv} = -0.41 C^{0.11} \text{ (C: capacitance in PF)}$$

$\lambda_{Base}$  : Base failure rate

$$= A \left[ \left(\frac{S}{N_S}\right)^H + 1 \right] \cdot \exp\left[B \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G\right]$$

$A$  : Adjustment factor for type of capacitor

$S$  : Stress ratio =  $\frac{\text{operating voltage}}{\text{rated voltage}}$

$N_S$  : Stress constant

$T$  : Operating temperature (°C)

$N_T$  : Temperature constant

$B$  : Shaping parameter

$G, H$  : Acceleration constant

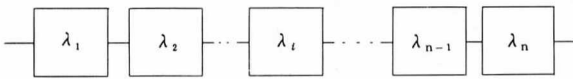
예) Ceramic capacitor (General purpose)

- 1) T=85°C or T=125°C 의 경우  
 $A=3.0 \times 10^{-4}$   $B=1.0$   $N_T=358$   
 $G=1.0$   $N_s=0.3$   $H=3$
- 2) T=150°C 의 경우  
 $A=3.0 \times 10^{-4}$   $B=1.0$   $N_T=423$   
 $G=1.0$   $N_s=0.3$   $H=3$

### 3. Board level 의 信賴度

PCB(Printed Circuit Board)의 信賴度 예측은 내장된 부품의 故障率로부터 유도된다. 먼저 信賴度 모델을 해당 PCB를 구성하는 部品들中에서 어느 한개라도 故障가 발생했을 경우에 해당 PCB의 기능이 완전히 정지되는 직렬구조로 구성되었다고 가정하였다. <그림 1>에서 故障율  $\lambda_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )를 갖는  $n$ 개의 부품으로 구성된 직렬구조를 나타내었다.

예를들면 PCB의  $i$ 번째 부품이 故障없이 운용될 確率(즉, 부품  $i$ 의 信賴度)  $P_i(t)$  및 PCB가 故障없이 운용될 確率(즉, PCB의 信賴度)  $P(t)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.



<그림 1> PCB의 信賴度 모델

常數의 故障율을 갖는 지수분포로 가정하면

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$$

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t}$$

$$= e^{-\lambda_1 t} \cdots e^{-\lambda_2 t} \cdots e^{-\lambda_i t} \cdots e^{-\lambda_n t}$$

$$= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_i + \cdots + \lambda_n) t}$$

위의 식과 같이 직렬구조를 가진 PCB의 故障率은 내장된 부품 각각의 故障率의 합이 됨을 알 수 있으며 동일 部品이 여러개 포함되어있는 경우에는, 다음의 관계식에 의하여 PCB의 故障率을 計算할 수 있다.

$$\lambda_{PCB} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i$$

$\lambda_{PCB}$  : PCB의 故障율 (Failures/ $10^6$  hour)

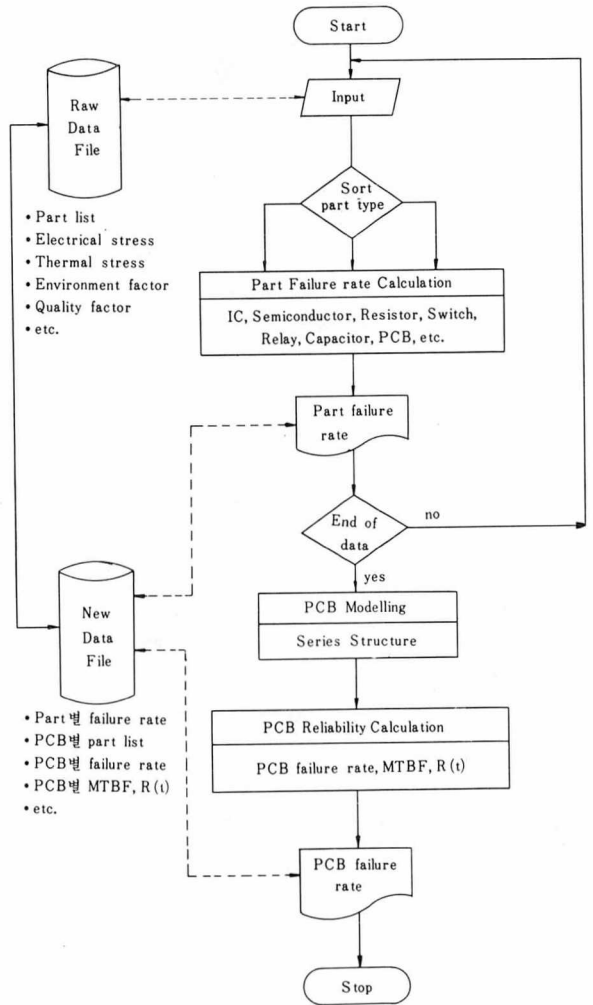
$N_i$  :  $i$ 번째 부품의 수량

$\lambda_i$  :  $i$ 번째 부품의 故障율

### Ⅲ. 故障率 予測 프로그램

前述한 바와 같이 故障率을 구하는 데는 그

부품의 故障율 모델에 적용되는 變數와 그 變數를 결정하는 部品特性等의 입력자료가 필요하다. 그러나 그 자료들의 다양함과 시스템을 구성하는 여러 種類의 部品으로 인하여 手作業으로 처리하기는 거의 不可能하다. 따라서 本稿에서는 部品의 故障率과 PCB의 故障율을 計算하고 아울러 다음 단계의 信賴度 作業(Subsystem 및 시스템의 信賴度 計算)의 輸入 자료를 filing하는 프로그램을 開發하였다. <그림 2>는 이 프로그램의 簡략한 흐름圖이다.



<그림 2> 프로그램 構成圖

#### 1. 프로그램 概要

<그림 2>와 같이 電子部品 및 PCB의 故障率

予測 프로그램은 다음의 4 개 부분으로 構成되어 있다.

- Raw data file
- 部品별 演算 프로그램
- 信賴度 Modelling (直列구조의 PCB)
- New data file

Raw data file은 주위환경, 온도 등 시스템의 운용시 部品에 영향을 주는 변수(Part dependant parameters)와 定格電圧, gate수 등, 운용시의 조건과는 無関한 변수(Part independant parameters) 및 PCB를 構成하는 部品目錄을 포함한 모든 情報를 가지고 있다. 또한 演算 프로그램은 IC, 半導體, 抵抗 등의 部品 종류별 sub-program으로 構成되어 있으며, 각각의 故

障率 모델과 raw data file의 입력에 의해 部品の 故障率을 계산하게 된다. 여기에서의 演算 결과는 部品개개의 故障率과 아울러 部品에 加해지는 각종 stress와 environment factor, quality factor 등을 포함하여 입력자료에 결함이 없는지 raw data와 비교할 수 있으며, 이들 部品の 故障率 data는 new data file에 임시 저장되고 이들을 입력으로 하여 board별 故障率, MTBF(Mean Time Between Failures) 등이 PCB modelling 및 故障率 계산 sub-program에 의해 연속적으로 new data file에 저장된다. 참고로 raw data file과 new data file의 基本的인 format을 나타내면 <表 2> 및 <表 3>과 같다.

Part type code	Part name	Discription	Quantity	Environmental Factor ( $\pi_E$ )	Learning Factor ( $\pi_L$ )	Quality Factor ( $\pi_Q$ )	Circuit complexity Factor	Package type	Number of pin	Number of gate	Junction to thermal resistance (°C/W)	Power dissipation (W)	Manufacture

<表 2> Raw data file의 data format (IC)

Circuit name :  
DOC. number :

CKD :  
Date :

Part name	Description	Environmental factor ( $\pi_E$ )	Learning factor ( $\pi_L$ )	Quality factor ( $\pi_Q$ )	Quantity (n)	Part Failure rate (Failures/10 <sup>6</sup> h)	Quantity * Failure rate (Failures/10 <sup>6</sup> h)	Cumulative Failure rate (Failures/10 <sup>6</sup> h)

Total Failure rate; Failure/10<sup>6</sup> h  
MTBF; hour

<表 3> New data file의 data format

2. 디지털 交換機에의 적용例

현재 개발중에 있는 디지털 交換機(TDX-1)는 60여종의 PCB로 구성될 전망이다.本稿에서는 既完了된 PCB中 multiplexer board를 예로써 적용하였다. 먼저 raw data file의 data를 기본으로하여 각 구성부품의故障率을 계산한후, PCB 내의 각부품이 직렬로 구성되었다고 가정

한 모델로써 PCB의 故障率과 MTBF를 구하였다. 각부품에 인가되는 負荷는 제일 나쁜경우, 즉, 정격전압대 인가전압의 비율을 1로하였고 주위환경은 G<sub>F</sub>(Ground, Fixed), 部品の 品質等級은 Lower 等級, 주위온도는 45°C로 假定하여 계산하였다. <表 4>, <表 5>에 multiplexer board의 부품목록 및 계산결과를 나타내었다.

부 품 명	설 명	신뢰도관련 data
capacitor	ceramic 0.1u/50v	67 3 6 .1 45
capacitor	tantal 68u/50v	1 3 6 68.0 45
inductor	choke coil 100mh/5a	1 3 6 100 45
mic74LS164N	8-b Para-o ser, Res	32 3 2 8 5 1143690 .1545TI
mic74LS374J	Octal D-type f/f	32 3 2 8 5 1205880 .2245MO
mic74LS154J	4-L to 16-L decod	2 3 2 8 5 1242580 .2745MO
mic74S04J	Hex Inverter	1 3 2 8 3 114 690 .3045TI
mic74LS74AJ	Dual D-type F/F	1 3 2 8 5 1141290 .0545MO
resistor	47k 1/4w	66 3 5 47
pcb	8.2*13*1.6t	1 3 2000

<表 4>Mux Board의 data 入力

```

=====
circuit name ;multiplexer                      CKD ;
Doc.number ;                                  date;
-----
name      discription      env  lea  sus  gun  failure  cumulative
          rn  ity  (n)  rate(f)  f*n      rate
-----
capacitor ceramic 0.1u/50v  Gf    Mil  67  .00914499  .61271417  .61271417
capacitor tantal 68u/50v   Gf    Mil  1   .17744891  .17744891  .79016310
inductor  choke coil 100mh/5a     Gf    Mil  1   .01020155  .01020155  .80036467
74LS164N  8-b Para-o ser, Res     Gfmatur  D 32  .34441653  11.02132893  11.82169342
74LS374J  Octal D-type f/f        Gfmatur  D 32  .51789439  16.57262039  28.39431381
74LS154J  4-L to 16-L decod       Gfmatur  D 2   .52632451  1.05264902  29.44696236
74S04J    Hex Inverter              Gfmatur  D 1   .27602547  .27602547  29.72298813
74LS74AJ  Dual D-type F/F         Gfmatur  D 1   .26460725  .26460725  29.98759460
resistor  47k 1/4w                 Gf      Mil  66  .02520000  1.66320014  31.65079498
pcb       8.2*13*1.6t             Gf      Mil  1   .02880000  .02880000  31.67959404
-----
Total failure rate ; 31.67959404  fail/e+6h
MTBF ; 31566.0625  hour
=====
    
```

<表 5>계산결과

IV. 結 論

信賴度 予測의 기본자료로서 部品の 故障率은 현장에서의 수집자료 및 部品 제조업체로부터의 信賴度 관련 자료로써 類推될 수 있으나, 本稿에서는 信賴度 予測 업무에 광범위하게 활용되고 있는 MIL-HDBK-217D를 이용하여 故障率을 구하였으며 또한 쉽게 適用할 수 있는

computer프로그램을 開發하였다. 이 프로그램은 当 研究所에서 開發中인 交換機시스템 뿐만 아니라 電子部品으로 構成된 제반 시스템에도 適用이 가능하다.

그러나, MIL-HDBK-217D는 軍用規格(Military specifications)에 의한部품을 주 對象으로 適用하기 때문에, 商業用이나 産業用 部品の 故障率 予測에 있어서는 차이를 나타낼 수 있

으며, 이들 部品の 適用時에는 시스템의 用途에 맞도록 세심한 주의를 기울여야 한다.

参 考 文 献

1. Bell, E. M. "Computer Aids for Reliability Prediction and Spares Provisioning" Electrical Com. Vol. 54, No. 2, 1979
2. Menicou, G. and L. Van OS, "Comprehensive Computer Programs for Solving Complex Reliability Problem" Electrical Communication, Vol. 48, No. 3, 1973
3. Henrik, V. J. Broberg "Methods and Procedures for Computer Based Handling of Components Reliability Data FTL (The Swedish Military Electronics Laboratory)" IEEE Trans. Reliability, Vol. R-23, No. 3, 1974
4. Gaertner, W. W. "Automatic Electronic Component Failure-Rate Prediction with MIL-HDBK-217B" IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-26, No. 3, August 1977
5. Wohak B. "Establishment of Reliability Data for Power Plant Components by Means of an Information System" IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-23, No. 3, 1974
6. Joji, Yasuda, "Correlation Between Laboratory Test & Field Part Failure Rates" IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-26, No. 2, 1977
7. Henry C. Rickers, "Microprocessor and LSI Microcircuit Reliability Prediction Model" IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-29, No. 3, 1980
8. Sauli, Palo, "Reliability Prediction of Microcircuits" Microelectronics and Reliability Vol. 23, No. 2, 1983
9. Jerome, Klion, RADC ORACLE, 1981 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium
10. O'Connor, P. D. T. "Microelectronic System Reliability Prediction" IEEE Trans. on Reliability, Vol. R-32, No. 1, 1983
11. MIL-HDBK-217D "Reliability Prediction of Electronic Equipment" 15, 1982

