

MIL-HDBK-217의 部品故障率 予測方法 分析

申成文 · 鄭仁命 / 品質工學研究室

〈要 約〉

전자부품의 고장률은 그부품 고유의 activation 에너지에 의해 결정되며 이 activation 에너지는 온도의 변화에 관계없이 일정하다.

본고에서는 온도 변화에 따른 부품의 고장률과 activation 에너지와의 관계를 검토 함으로써 MIL-HDBK-217의 부품고장률 예측방법을 분석하였다.

I. 서 론

일반적으로 전자부품의 고장률을 예측할때는 MIL-HDBK-217에서 제시한 부품의 특성 (핀 수, 게이트 수, 운용환경조건 등)에 따라 주어진 식을 계산하여 부품고장률 예측치를 구한다. 따라서 계산되어 나온값(부품의 고장률)은 부품의 고장률의 특성을 만족하여야 한다. 전자부품은 그 부품의 고유 activation 에너지를 가지고 있으며 이것은 외부환경(온도, 습도 등)의 변화에 따른 그 부품의 반작용 상수이다. 동일 부품에 있어서 부품의 activation 에너지는 온도의 영향에 관계없이 항상 일정하다.

본고에서는 MIL-HDBK-217에 따라 온도변화에 따른 부품의 고장률 예측치가 이 activation 에너지의 특성에 만족하는가를 분석함으로써 부품의 고장률 예측 방법을 제고시키고자 한다.

II. 본 론

부품의 activation 에너지는 아래와 같은 Arrhenius Eq. 을 만족한다.

$$R = A \cdot \exp(-E_a / KT) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서 R : Reaction Rate
- Ea : Activation Energy (eV)
- K : 볼츠만 상수 ($= 8.617 \times 10^{-5} \text{eV/K}$)
- T : 절대온도
- A : 상수

따라서 Arrhenius Eq. 에 따라 온도를 $i^\circ\text{C}$ 에서 $j^\circ\text{C}$ 로 변할 경우 이 부품의 reaction rate는

$$R_j/R_i = A \cdot \exp(-E_a/K \cdot T_j) / A \cdot \exp(-E_a/K \cdot T_i) = \exp(E_a/K \cdot (1/T_i - 1/T_j)) \dots\dots(2)$$

- 여기서 Ri : 온도 $i^\circ\text{C}$ 에서의 reaction rate
- Rj : 온도 $j^\circ\text{C}$ 에서의 reaction rate

$$T_i : 273 + i$$

$$T_j : 273 + j$$

로 나타낼 수 있다.

식(2)에서 activation 에너지 (E_a)는

$$E_a = K \cdot (T_i \cdot T_j / T_j - T_i) \cdot \ln(R_j/R_i) \dots\dots (3)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 부품을 일반 TTL IC (SSI)로 가정하여 MIL-HDBK-217 D에 따라 부품고장률을 구하는 식을 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_p = \pi_Q [c_1 \pi_T \pi_V + (c_2 + c_3) \pi_E] \pi_L \dots\dots\dots (4)$$

여기서 λ_p : 부품의 고장률 (단위 F/10⁶h)

π_Q : Quality factor

π_T : Temperature acceleration factor

π_V : Voltage derating factor

π_E : Application environment factor

c_1, c_2, c_3 : Complexity failure rate

π_L : Learning factor

식(3)에서 R_i, R_j 는 온도 $i^\circ\text{C}, j^\circ\text{C}$ 에서 부품반응률이므로 이것은 온도 $i^\circ\text{C}, j^\circ\text{C}$ 에서의 부품반응률, 부품의 고장률에 대한 반응으로 간주할 수 있다. 부품고장률 λ_p 에서 activation 에너지를 구해보면 다음과 같다.

식(4)에서 온도에 관련된 factor는 π_T 밖에 없으며 나머지 factor는 부품의 특성이 정해지면 결정되는 상수이다.

따라서 식(4)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda_p = M \cdot \pi_T + N \dots\dots\dots (5)$$

여기서 $M = \pi_Q c_1 \pi_V \pi_L$; 상수

$N = \pi_Q (c_2 + c_3) \pi_E \pi_L$; 상수

온도 i, j 에 따른 고장률 ($\lambda_{p,i}, \lambda_{p,j}$)을 식(3)에 대입하면,

$$E_a = K (T_i \cdot T_j / T_j - T_i) \cdot \ln(M \cdot \pi_{T,i} + N / M \cdot \pi_{T,j} + N) \dots\dots\dots (6)$$

여기서 $\pi_{T,i}$: 온도 i 에서의 π_T

$\pi_{T,j}$: 온도 j 에서의 π_T

MIL-HDBK-217 따라 $\pi_{T,i}, \pi_{T,j}$ 값을 식(6)에 대입하여 정리하면,

$$E_a = K (T_i \cdot T_j / T_j - T_i) \cdot \{ \ln(0.1M \cdot \exp(-A(1/T_i - 1/298)) + N) - \ln(0.1M \cdot \exp(-A(1/T_j - 1/298)) + N) \} \dots\dots\dots (7)$$

과 같이 되어, 온도의 변화에 따라 activation

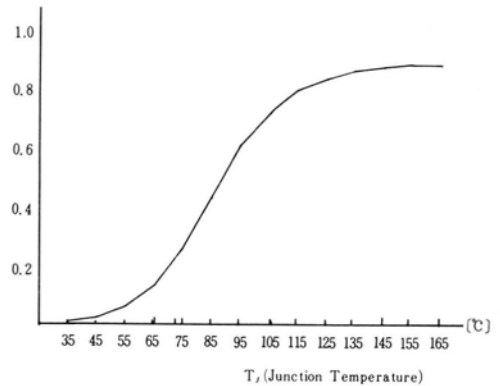
에너지가 일정치 않다는 것을 보여준다. 실제 MIL-HDBK-217에 따라 각 factor 값을 구하여 식(4)에 따라 부품의 고장률을 계산하면 <表 1>의 값과 같다.

각 온도에 따른 부품의 고장률을 식(3)에 대입하여 activation 에너지를 구하여 <表 1>에 보였다.

온도 (°C)	λ_p (F/10 ⁶ h)	E_a
25	0.04112	-
35	0.04148	0.01
45	0.04248	0.02
55	0.04520	0.06
65	0.05166	0.13
75	0.06645	0.26
85	0.10045	0.44
95	0.17355	0.62
105	0.32145	0.74
115	0.61045	0.81
125	1.16125	0.85
135	2.16935	0.88
145	3.96455	0.89
155	7.06875	0.90
165	12.29795	0.90

<表 1> Activation energy (온도변화 10°C)

<表 1>에서 보는 바와 같이 activation 에너지는 온도가 증가함에 따라 증가함을 보여주고 있으며 이것은 처음 activation 에너지가 일정하다는 사실에 어긋난다.



<그림 1> 온도변화에 따른 Activation Energy

<그림 1>은 <表 1>에서 구한 activation 에너지의 온도에 따른 변화를 도시화한 것으로 MIL-HDBK-217에 의한 부품고장률 결과에 문제점

이 있음을 보여준다. 이 현상은 제반 IC의 고장률 예측치에서 발생한다.

따라서 MIL-HDBK-217에 의한 부품이 고장 예측 방법에는 문제점이 있으며 이에대한 해결책이 필요하다.

만일 식 (4)에 나타난 여러 factor 값에 수정이 없다면 식 (4)를 고쳐야 한다. 식 (3)에서 부품의 고장률이 온도의 지수함수형이면 activation 에너지는 온도에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

MIL-HDBK-217에 의하면 temperature acceleration factor는 아래와 같이 주어진다.

$$\pi_T = 0.1 \exp(X) \quad \dots\dots\dots (8)$$

여기서 $X = -A(1/T_j + 273 - 1/298)$

A : 부품특성 상수

T_j: Junction temperature (°C)

식 (8)은 온도 T_j의 지수함수형이므로 부품의 고장률을 구하는 계산식의 형은 식 (5) 형에서 상수항이 없는 온도가속 factor 함수 식 (9)의 형으로 주어지면 부품의 고장률은 온도의 지수함수형으로 주어질 것이다.

$$\lambda_p = R \cdot \pi_T \quad \dots\dots\dots (9)$$

여기서 R : 복합 Factor (상수)

그러나 식 (9)에 제시된 것은 하나의 가정이며 이 가정은 증명되어야 할 것이다. 이것은 정확한 실험 및 부품의 운용 데이터에 의해 가능하며 앞으로 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

III. 결 론

시스템의 신뢰도가 정확하기 위해서는 부품의 고장률이 정확해야 한다는 것은 명백하다. 그러나 우리가 보통 적용하고 있는 MIL-HDBK-217에 의한 부품의 고장률 예측 방법은 전항에서 살펴본 바와 같이 문제점이 발견되었다. 따라서 이에 대한 대비책이 필요하며 그것은 정확한 부품의 운용 데이터에 의해서 세울 수 있다.

본고에서 제시한 해결책의 하나인 고장률의 π_T의 일차식 (9)는 하나의 보기에 지나지 않으며 이에 대한 연구가 계속되어 정확한 부품의 고장률을 구할 수 있는 방법이 제시되어야 하겠다.

〈参 考 文 献〉

1. MIL-HDBK-217D, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1982
2. 박경수, 신뢰도 공학, 탐출판사, 1982
3. Smith, D. J., Reliability and Maintainability in Perspective, McMillan Press, 1981
4. Shooman, M. L., Probabilistic Reliability; An Engineering Approach, McGraw-Hill, 1968.