

217Plus™을 통한 전자 부품들의 고장률 산출

Failure Rates of Electronic Parts through 217Plus™

전 태 보*
Jeon, Tae-Bo

Abstract

Reliability predictions for selected electronic parts using 217-Plus have been performed in this study. 217-Plus has recently developed and may be applied for electronics failure prediction as a surrogate of MIL-HDBK-217. We first briefly reviewed 217-Plus component models. Based on three selected components, predictions using both MIL-HDBK-217 and 217-Plus have been made and the results were compared. Even though the comprehensive conclusion may be drawn from extensive component and system level analyses, the results in this study may provide general insights towards reliability through two specifications.

키워드 : 신뢰성예측, MIL-HDBK-217, 217-Plus, 부품모형

Keywords : reliability prediction, MIL-HDBK-217, 217-Plus, component models

1. 서론

제품의 품질과 신뢰성의 중요성이 매우 강조되고 있으며 우리 생활 속에 깊이 함께하고 있는 가신제품을 포함한 전기전자 제품들에 대한 신뢰성 차원에서의 한 단계 성숙된 기술의 정착이 요구되고 있다. 전자시스템의 경우 신뢰성 예측의 가장 보편적인 접근은 신뢰성 규격을 통한 예측이며 전기전자 부품 관련 세계적인 신뢰성 규격에는 미국방성의 MIL-HDBK-217[1,2,3], Telcordia 회사의 규격인 SR-332[4], 그리고 미국 DoD RAC (Reliability Analysis Center)의 PRISM[5] 등이 대표적이라 하겠다. 최근 RIAC (Reliability

Information Analysis Center)에서는 PRISM의 차세대 버전이며 MIL-HDBK-217의 공식적인 대체 방법론으로 217Plus™ [6,7] (이하, 217-plus로 표기)을 개발, 소프트웨어 시스템으로 함께 출시하였다. 참고로, RAC는 2006년 RIAC로 개명되었다. 그간 예측의 정확성과 신 기술에 대한 고려 미비 등으로 비판을 받아 온 측면에서 이 분야의 신뢰성 예측에 기대가 된다. 217-Plus는 MIL-HDBK-217이나 SR-332 등 전통적인 신뢰성 규격과 달리 부품 신뢰도 모형 뿐 아니라 설계, 부품, 제조, 시스템 관리, 마모, 전기적 과부하, 납땜 접착부(solder joint), 소프트웨어 등 여러 비부품 요인들을 고려하는 시스템 수준의 예측, 그리고 필드 관측치의 획득에 따라 고장률에 통합해가는 베이지안 (Bayesian) 기법이 포함되는 종합적인 방법론으로 적용에 있어 훨씬 복잡성이 요구된다. 따라

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

서, 아직까지 이를 적용하여 실제로 활용한 예가 매우 제한적 [8,9]이며, 예측 결과에 대하여도 충분히 검증되지 않은 상태이다.

본 연구에서는 향후 전기전자 시스템의 신뢰성에 활용이 기대되는 217-Plus를 중심으로 활용성을 검토하고자 한다. 이를 위하여 특별히 일부 선정된 부품들을 중심으로 신뢰성 예측을 수행하고자 한다. 217-Plus의 복잡성과 시스템 수준에서의 신뢰도 예측에는 다양한 측면의 프로세스(process) 평가가 수반되므로 시스템 보다는 부품 수준의 예측을 수행하며 MIL-HDBK-217을 통한 예측과의 방법 및 결과와 비교한다. 제 2절과 3절에서는 MIL-HDBK-217과 217-Plus의 부품 모형에 대하여 간단히 개요를 고찰한다. 4절에서는 이들 방법론을 통하여 선정된 부품들의 신뢰도를 계산하고 결과를 비교한다. 마지막으로, 연구의 결론과 향후의 방향에 대한 제언을 한다.

2. MIL-HDBK-217 개요

MIL-HDBK-217[1,2,3]은 미 국방성의 전자통신관련 군수산업 제품을 대상으로 제정된 신뢰성 규격이다. 60년대 초 처음 개발된 이래 여러 차례 개정을 거듭하였으며 현재 존재하는 것은 1995년 개정된 version F, notice 2인 MIL-HDBK-217FN2이다. 1995년 이후 추가적인 노력이 이루어지지 않은 관계로 이후의 버전은 존재하지 않지만 현재까지 세계적으로 전기전자 부품이나 제품 신뢰성예측의 중심적인 역할을 해오고 있다. 비록 정확성의 문제가 대두되나 방법론으로서 뿐 아니라 정확성 측면에서 대안이 뚜렷하지 못하기 때문이다.

MIL-HDBK-217에서의 시스템 고장률(failure rate)은 식 (1)과 같이 정의되는 부품 고장률을 근간으로 한다.

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \prod_{i=1}^k \pi_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

이 식에서 λ_b 는 대상 부품의 기본 고장률(basic failure rate)로 부품범주, 종류(type), 그리고 전기적 특성(전류, 전압, 전력 등)에 따라 다른 값으로 제공된다. π_i 는 동작상의 온도, 동작시 부품에 인가되는 전기적 부하(electric stress), 제조상의 품질수준, 그리고 사용환경 등의 팩터를 의미한다. 고장률 공식과 적용되는 팩터들은 부품별로 다르며 동일 부품에 대해서도 범주 및 타입별로 팩터의 적용 값들이 다르다. 부품의 수명은 지수분포(exponential distribution) 즉, 임의 고장률(random failure rate)을 가정하며, 고장률은 10^6

(매년) 동작(operating) 시간을 단위로 정의된다.

최종적으로, 전체 시스템의 고장률은 부품별 고장률을 계산한 뒤 개별 부품들이 서로 독립임을 가정하여 이들의 합으로 정의한다.

3. 217-Plus의 개요

MIL-HDBK-217이 1995년을 끝으로 더 이상의 개정작업이 없는 가운데, 1998년 PRISM 방법론[5]이 새로이 개발되었으며 이의 후속 버전(PRISM V2.0)이며 2006년 개발된 버전인 217-Plus[6,7]가 공식적으로 MIL-HDBK-217를 대신한다. 종합적인 시스템 신뢰성 예측 방법론으로서 이의 세부 내용은 복잡하며 부품들에 대한 고장률 모형과 시스템 수준의 모형이 별도로 구성되며 또한 필드상의 고장률 관측치를 중심으로 신뢰도를 개선해가는 베이지안 방법론 등이 포함된다. 본 연구에서는 이들 중 부품 모형을 중심으로 간단히 개념을 고찰한 뒤 고장률을 산출하는 예를 소개하고자 한다. 이를 통하여 217-Plus의 이해 뿐 아니라 그간 활용해 온 MIL-HDBK-217 결과와의 비교도 가능할 것이다.

3.1 부품 모형

MIL-HDBK-217에서는 식 (1)에서와 같이 각 부품들의 신뢰도 예측 모형이 곱셈(multiplicative) 형태를 취하나, 이런 곱셈 모형의 주된 단점은 예측고장률이 극단적인 값의 조건(모든 팩터들이 그들의 최소 또는 최대치를 가질 때)에서 비현실적으로 크거나 작은 값을 갖게 된다는 점이다. 동시에 고장 범주별 고장 메카니즘이 명확히 고려되지 않는다는 한계를 갖는다. 217-Plus에서는 일반적인 범주의 고장 메카니즘 별로 개별적인 고장률을 예측하는 곱셈 및 덧셈의 복합형태가 단순한 곱셈형태보다 더 좋다고 믿으며, 고장범주 별로 분류를 바탕으로 한 형태를 가지며 총 12가지의 전자부품들에 대하여 제공된다.

217-Plus의 특징 중 하나는 전체 고장률을 가동중(operating), 비가동중(non-operating), 사이클링(cycling), 유도(induced) 및 전기적 과부하(EOS), 그리고 납땜 접속부(solder joint) 등 5 범주별 고장률로 분류한다는 것이다. 217-Plus 소프트웨어 시스템에서는 부품들의 고장률 산출에 있어 각 범주별 고장률도 함께 산출하여 제공해 준다. 이들에 대해서는 다음 절에서 고찰한다.

전통적인 신뢰성 예측모형에서는 고장률을 부품의 동작시간(operating time)에 근거한다. 예를 들어, MIL-HDBK-217에서는 백만(10^6) 동작 시간당 고장회수로, Telcordia SR-332에서는 십억(10^9) 동작 시간당 고장회수로 정의한다. 그러나,

217 Plus에서는 고장률의 단위로 백만(10⁶) 캘린더 시간 (CH: calendar hours)으로 표현된다. 동작 시간을 기본으로 사용하지 않는 이유는, 앞서 설명한 바와같이 동작중, 비동작중, 사이클링, 그리고 유도(induced) 등 고장률에 영향을 미치는 구간을 모두 고려하기 때문이다. 따라서, 대등한 동작시간 당 고장률(λ_{OP})로 표현하기 위해서는 CH 기준의 고장률(λ_{CH})을 duty cycle로 나누면 된다. 즉,

$$\lambda_{OP} = \frac{\lambda_{CH}}{DC} \quad (2)$$

단, DC - duty cycle (년중 동작중의 시간 비율 (%))

3.2 주요 모형 변수 및 파라미터

217-Plus 부품모형의 변수 및 파라미터들과 관련한 세부 내용에 대해 고찰한다.

신뢰도 성장 (reliability growth)

기술 수준의 발전에 따라 부품 고장률이 감소할 것이며 217-Plus은 이러한 신뢰도 개선을 반영하는 팩터를 포함하며 다음 식과 같다.

$$\pi_G = e^{-\beta(t-1993)} \quad (3)$$

단, β - 성장률 (growth rate)
 t - 제조년도 (year)

즉, 1993년을 기준으로 시간이 지남에 따라 신뢰도 성장이 이루어지고 고장률도 감소한다. 그림 1이 신뢰도 성장 함수를 도시하며, 성장률(β)는 부품 유형별로 표로 제공된다. 기술적인 성장이 빠른 IC 등의 경우 β 가 크고, 반면 스위치, inductor, 그리고 트랜스포머 등은 신뢰도 성장이 (거의) 없고 β 가 작다.

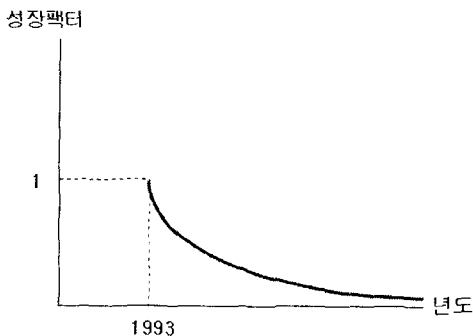


그림 1 부품 신뢰도 성장 함수

환경 스트레스 및 동작 프로파일

MIL-HDBK-217에서는 시스템/부품이 운용되는 환경 (application environment) 뿐 아니라 시스템/부품의 동작 프로파일 (operating profile) 관련 변수들도 포함하여 모든 환경 및 동작 스트레스들의 영향을 한 변수로 통합하였다. 14개의 정성적 (qualitative)인 범주로 분류된 운영환경을 중심으로 각각 상이한 팩터(π_E) 값을 정의한다.

217-Plus은 스트레스 간 민감도를 분석 할 수 있음을 전제로 하며 운영환경과 동작 프로파일을 분리하여 모형을 설정할 수 있도록 하였다. 운영환경에 대해서는 총 37 종류로 분류된 환경들 중 적절한 환경을 선택하고 환경 스트레스 (동작중 온도, 비동작중 온도, 상대습도, 그리고 진동수준)들 값을 입력하도록 설계되었다. 실제 시스템이 동작될 동작 프로파일도 10 종류로 분류된 사용 장비들 중 하나를 선정하고 관련 파라미터들인 duty cycle과 cycling rate들 값을 입력한다. 사이클링률 (cycling rate)이란 연간 시스템의 전원동작(power on) 횟수를 의미한다.

품질수준(quality level)

MIL-HDBK-217 모형 수립상 한 가지 문제는 품질과 환경의 영향을 분리하는 것이었다. 부품 품질 수준은 부품의 예측 고장률에 영향을 미치는 주된 변수들 중 하나였으며, 군 규격(military specification)에서의 적용 기준에 따라 정의된 품질수준들을 기반으로 범주화되었다.

부품 품질의 영향을 정량화하기 위한 217-Plus에서의 접근은 이를 프로세스 등급(process grade)을 결정하기 위한 "고장요인(failure cause)"의 하나로 취급하는 것이다. 이렇게 함으로써 자격증, 프로세스 보증, 선별, 그리고 품질시스템에 따른 영향을 개별적으로 규명할 수 있다. 결론적으로, MIL-HDBK-217 모형에서 중요한 변수인 품질팩터(π_Q)를 217-Plus에서는 명시적으로 사용하지 않는다는 점으로 부품 보다는 시스템에 대한 프로세스 등급화 과정을 통하여 품질과 관련한 속성들을 고려하게 된다.

4. 고장률 산출

이제 규격들을 통한 신뢰도 산출의 예를 고려한다. 본 연구에서 고려하는 부품은 특정 전기전자 시스템에 이용되는 부품들로 캐패시터, 다이오드, 그리고 inductor 코일을 예로 한다.

첫째, 캐패시터는 2005년도 제조된 것으로 유형이 film 또는 plastic이다. 이의 용량은 0.5 μF 이며 정격전압(rated voltage)은 300V 그리고 인가전압(applied voltage)은 220V이다. 동작중의 온도는 섭

써 50°C로 측정되었다. 둘째로, 다이오드(diode)는 유형이 LOW FREQUENCY이고, 타입은 "fast recovery power rectifier"이며 2005년도에 제조되었다. 동작온도는 60°C이다. 마지막으로, 코일은 범주(category)가 inductive device이며 세부범주(sub-category)는 코일이다. 역시 2005년도에 제조되었으며, 동작온도는 80°C로 측정되었다.

4.1 MIL-HDBK-217에 의한 고장률 산출

MIL-HDBK-217의 캐패시터, 다이오드, 그리고 코일의 고장률은 다음 식들로 정의된다.

$$\lambda_P = \lambda_b \Pi_T \Pi_C \Pi_V \Pi_{SR} \Pi_Q \Pi_E$$

$$\lambda_P = \lambda_b \Pi_T \Pi_S \Pi_C \Pi_Q \Pi_E$$

$$\lambda_P = \lambda_b \Pi_T \Pi_Q \Pi_E$$

단, Π_C - 용량팩터 (capacitance factor)

Π_V - 전압 스트레스 팩터(voltage stress factor)

Π_{SR} - 직렬저항 팩터 (series resistance factor)

Π_S - 전기적부하 팩터 (electric stress factor)

Π_C - 접촉부 처리 팩터(contact construction factor)

Π_T, Π_Q, Π_E - 온도, 품질, 환경팩터

캐패시터는 세부분류가 CHR(Fixed, Metalized Paper, Paper Plastic Film or Plastic Film Dielectric)으로 용량(C)이 0.5μF이다. 이를 기준으로 각 팩터 값들은 다음과 같다. 즉,

$$\lambda_b = 0.00051 \quad (\text{CHR})$$

$$\Pi_T = 1.6 \quad (50^\circ\text{C})$$

$$\Pi_C = 0.94 \quad (\text{용량 } C=0.5\mu\text{F이며, } \Pi_C = C^{0.09} \text{이다.})$$

$$\Pi_V = 3.7 \quad (\text{동작전압 대 정격전압의 비(S)의 함수로 정의된다. } S = \frac{220}{300} = 0.73 \text{이며, } \Pi_V = (\frac{0.73}{0.6})^5 + 1 \text{ 이다.})$$

$$\Pi_{SR} = 1 \quad (\text{여러 타입중 탄탈 CSR 타입에만 적용되며 기타는 모두 1 값으로 정의된다.})$$

$$\Pi_Q = 10 \quad (\text{Commercial/ unknown screening level})$$

$$\Pi_E = 20 \quad (G_M \text{을 가정})$$

$$\lambda_P = 0.00051 \times 1.6 \times 0.94 \times 3.7 \times 1.0 \times 10 \times 20 = 0.5676 \quad (4)$$

다이오드의 범주는 LOW FREQUENCY이고, 타입은 "fast recovery power rectifier"이다. 공식의 Π_S 는 전압 스트레스를 반영하는 인가전압 대 정격전압 비 ($\frac{V_{operated}}{V_{rated}}$)의 함수로 이 값이 클수록 큰 스트레스를 갖는다. Π_C 는 접촉부위가 야금적(metallurgically) 또는 비야금적(non-metallurgically) 처리에 따라 각각 1과 2 값을 갖도록 정의된다. 이제, 기본고장률, 팩터 값들, 그리고 최종 고장률은 다음과 같다.

$$\lambda_b = 0.025 \text{ (fast recovery power rectifier)}$$

$$\Pi_T = 3.0 \quad (\text{동작온도 } 60^\circ\text{C})$$

$$\Pi_S = 0.054 \quad (\frac{V_{operated}}{V_{rated}} = \frac{110}{700} \leq 0.3 \text{에 해당})$$

$$\Pi_C = 1.0 \quad (\text{Metallurgically bonded})$$

$$\Pi_Q = 5.5 \quad (\text{Lower를 가정})$$

$$\Pi_E = 9 \quad (G_M \text{을 가정})$$

$$\lambda_P = 0.025 \times 3.0 \times 0.054 \times 1.0 \times 5.5 \times 9 = 0.2005 \quad (5)$$

코일의 범주(category)는 inductive device이며 세부범주(sub-category)는 코일이다. 타입(type)은 fixed inductor or choke이며 기본 고장률은 0.000030으로 주어진다. 코일의 동작온도는 80°C로 가정되며 $\Pi_T = 1.9$ 이다. 품질수준은 Lower를 가정한 $\Pi_Q = 3.0$, 환경팩터는 G_F 를 가정하며 $\Pi_E = 6$ 으로 정의된다. 따라서, 고장률은

$$\lambda_P = 0.000030 \times 1.9 \times 3.0 \times 6.0 = 0.01026 \quad (6)$$

으로 주어진다.

4.2 217-Plus에 의한 고장률 산출

217-Plus에서 캐패시터, 다이오드, 그리고 코일 에 대한 고장률 공식은 각각 다음과 같다.

$$\lambda_P = \pi_G \pi_C (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$$

$$\lambda_P = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$$

$$\lambda_P = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{IND}$$

이들 식에 사용된 기호들은 다음과 같이 요약된다.

λ_P - 예측 고장률
(백만 캘린더 시간당 고장수)

$\lambda_{OB}, \lambda_{EB}, \lambda_{TCB}, \lambda_{SJB}, \lambda_{EOS}$
- 동작, 환경(비동작), 온도 사이클, 납땜(solder joint), 그리고 전기적 과부하 등에 대한 고장률

$\pi_G, \pi_C, \pi_{DCO}, \pi_{TO}, \pi_S$
- 신뢰도 성장(growth), 용량 (capacitance), (동작중) duty cycle, 동작중 온도, 그리고 전기적 스트레스에 대한 고장률 승수

$\pi_{DCN}, \pi_{TE}, \pi_{CR}, \pi_{DT}, \pi_{SJD}$
- (비동작 중의) duty cycle, 온도-환경, 사이클 률(cycling rate), 온도변화(delta temperature), 그리고 납땜 접착부 온도변화에 대한 고장률 승수

상술한 바와 같이 217-Plus의 특징은 고장률을 범주별로 분류한다는 점이며, 캐패시터의 경우 범주별 고장률은 다음과 같다,

동작: $\lambda_{OB} \pi_G \pi_C \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S$

비 동작: $\lambda_{EB} \pi_G \pi_C \pi_{DCN} \pi_{TE}$

사이클링: $\lambda_{TCB} \pi_G \pi_C \pi_{CR} \pi_{DT}$

납땜 접착부: $\lambda_{SJB} \pi_{SJD}$

전기적 과부하: λ_{EOS}

● 캐패시터의 유형에 따라 성장률 상수는 0.0082 이고, 제조년도가 2005년 이므로 신뢰도 성장 고장률 승수 (π_G)의 계산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_G &= e^{-\beta(t-1993)} \\ &= e^{-0.0082(2005-1993)} \\ &= 0.9138 \end{aligned}$$

● 본 부품의 용량(capacitance)이 $05\mu F$ 이며, C_1 과 CE 는 표로부터 각각 0.1과 0.09이며 캐패시턴스 고장률 승수 (π_C)의 계산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_C &= \left(\frac{C}{C_1} \right)^{CE} \\ &= \left(\frac{0.5}{0.1} \right)^{0.09} \\ &= 1.156 \end{aligned}$$

● 동작중의 duty cycle에 대한 고장률 승수 (π_{DCO})는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_{DCO} &= \frac{DC}{DC_{10p}} \\ &= \frac{0.30}{0.17} \\ &= 1.765 \end{aligned}$$

● 동작중의 온도 고장률 승수(π_{TO})의 계산은 다음과 같다. 표로부터 활성화 에너지(E_{aop} , activation energy)는 0.2이며 동작중의 이 부품에 대한 주위온도는 50도 이다. 따라서, π_{TO} 는

$$\begin{aligned} \pi_{TO} &= e^{\left(-\frac{0.2}{0.00008617} \left(\frac{1}{50+273} - \frac{1}{298} \right) \right)} \\ &= 1.827 \end{aligned}$$

로 계산된다.

● 다음으로 전기적 스트레스 고장률 승수(π_S)로 정격 및 인가 전압이 각각 300V 및 220V이므로 스트레스 비(ratio), $S_A=0.7333$ 이다. 따라서, π_S 의 계산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_S &= \left(\frac{S_A}{S_1} \right)^n \\ &= \left(\frac{0.7333}{0.6} \right)^6 \\ &= 3.334 \end{aligned}$$

단, S_1 과 n은 상수로 표 값으로 제공된다.

- 비동작중 duty cycle로 인한 고정률 승수 (π_{DCN})의 비동작중의 duty cycle 0.8333에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \pi_{DCN} &= \frac{1-DC}{DC_{nonop}} \\ &= \frac{1-0.3}{0.8333} \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

- 비 동작중 온도-환경에 대한 고정률 승수 (π_{TE})는 비 동작중의 활성화에너지 Ea_{nonop} =0.2, 비 동작온도 25도에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \pi_{TE} &= e^{\left(-\frac{Ea_{nonop}}{0.00008617} \left(\frac{1}{T_{AE}+273} - \frac{1}{298}\right)\right)} \\ &= e^{\left(-\frac{0.2}{0.00008617} \left(\frac{1}{25+273} - \frac{1}{298}\right)\right)} \\ &= 1 \end{aligned}$$

- 사이클 률(cycling rate)에 대한 고정률 승수 (π_{CR})는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_{CR} &= \frac{CR}{CR_1} \\ &= \frac{1500}{1140.35} \\ &= 1.3154 \end{aligned}$$

- 온도변화(delta temperature)에 대한 고정률 승수 (π_{DT})는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_{DT} &= \left(\frac{T_{AO} - T_{AE}}{DT_1}\right)^2 \\ &= \left(\frac{50-25}{21}\right)^2 \\ &= 1.417 \end{aligned}$$

- 마지막으로, 납땜(solder joint) 온도변화에 대한 고정률 승수($\pi_{S,DT}$)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_{S,DT} &= \left(\frac{T_{AO} - T_{AE}}{44}\right)^{2.26} \\ &= \left(\frac{50-25}{44}\right)^{2.26} \\ &= 0.2787 \end{aligned}$$

다이오드와 코일에 대하여도 비슷한 방법에 의해 산출할 수 있다. 이들에 대하여는 생략하고 대신 표 1과 2가 이들을 대신한다.

표 1 부품별 주요 파라미터

부품	캐패시터	다이오드	Inductor
type	Plastic	Low Frequency	Chock
sub-type		Rectifier	
제조년도	2005	2005	2005
C(용량(uF))	0.5	-	-
정격전압	300	700	-
인가전압	220	110	-
S(A), V(s)	0.7333	0.1571	-
DC	0.3	0.3	0.3
T(AO)	50	60	80
T(AE)	25	25	25
T(R)	0	60	0
CR	1500	1500	1500
L(OB)	0.000994	0.0000457	0.0000766
L(EB)	0.001462	0.000481	0.0000819
L(TCB)	0.001657	0.000049	0.0000328
L(EOS/IND)	0.002531	0.00079	0.0000148
L(SJB)	0.00095	0.00021	-
성정률(B)	0.0082	0.297	0
DC(Iop)	0.17	0.23	0.4
Ea(op)	0.2	0.3	0.47
DC(Inonop)	0.83	0.77	0.6
Ea(nonop)	0.2	0.4	0.08
CR1	1140.35	736.84	413
DT1	21	80	8.94
n	6	-	-
C1	0.1	-	-
S1	0.6	-	-
CE	0.09	-	-

표 2 부품별 팩터 및 고장률 산출

부품	캐패시터	다이오드	Inductor
Pi_G	0.906286	0.028325	1.000000
Pi_C	1.155865	-	-
Pi_DCO	1.764706	1.304348	0.750000
Pi_TO	1.827283	16.845764	17.318293
Pi_S	3.333505	0.060232	-
Pi_DCN	0.843373	0.909091	1.166667
Pi_TE	1.000000	1.000000	1.000000
Pi_CR	1.315386	2.035720	3.631961
Pi_DT	1.417234	1.410156	37.848645
Pi_SJDT	0.278703	5.694457	-
동작중	0.011193	0.000002	0.000995
비동작중	0.001292	0.000012	0.000096
Cycle	0.003236	0.000004	0.004509
Solder	0.000265	0.001196	-
EOS/IN	0.002531	0.000790	0.000015
고장률(CH)	0.018516	0.002004	0.005614
고장률(OH)	0.061720	0.006680	0.018714

이중 표 1은 부품별 고장률을 산출하기 위한 입력 값들이다. 이들중 전반부는 분석자가 직접 정의하며 아래 부분은 217-Plus에서 표로 제공되는 값들이다. 표 2는 표 1의 입력 변수들을 중심으로 계산된 팩터들, 5개 범주별 고장률, 그리고 최종 고장률을 도시한다. 마지막 줄의 고장률(OH)은 켈린더 시간 중심의 고장률(CH)을 동작중 고장률로 변환한 결과이다.

참고로, 그림 2와 3은 캐패시터에 대하여 RIAC의 217-Plus 소프트웨어를 통하여 계산한 결과이다. 그림 2에 동작온도 50도, 비동작 온도 25도, 그리고 동작 프로파일 DC=30%, 사이클율 1500이 도시되었다. 동시에 그림 3에서는 파라미터 및 계산된 팩터들 값, 5개 범주별 고장률, 그리고 캐패시터의 고장률 (0.019)가 도시되었다. 표 2의 고장률(CH)과 비교하여 동일한 결과가 얻어졌음을 알 수 있다. (단, 그림 2의 결과에서 $\pi_{SJD T}$ 부분이 나와있지 않으며 이의 이유에 대해서는 명확하지 않다.)

그림 2 캐패시터에 대한 환경 및 동작프로파일

그림 3 캐패시터에 대한 파라미터 및 고장률

MIL-HDBK-217 및 217-Plus의 결과를 통하여 비록 제한적이긴 하나 두 규격들 간 개략적인 비교가 가능하다. 이들 세 부품 결과에서 우리는 217-Plus가 MIL-HDBK-217 보다 훨씬 낙관적인 결과를 제공함을 알 수 있다. 코일을 제외한 캐패시터와 다이오드에서 각각 1/10, 1/30의 예측 고장률 결과가 얻어졌다. 식 (1)에서 보듯이 MIL-HDBK-217의 고장률 예측은 캐패시터 용량, 전압(정격, 인가), 온도, 등 전기적 특성 및 스트레스 뿐 아니라 품질 및 환경 등에 크게 좌우된다. 환경의 경우 최소 1 이하의 작은 값에서부터 100 이상의 큰 값까지 운용환경에 따라 다양하고 품질 또한 제조시스템에 따라 환경의 경우 보다 차이는 작으나 비슷하다. 더욱이 제조년도와 관련한 신뢰성 성장을 전혀 고려하지 않는다. 반면, 217-Plus의 경우 품질에 대한 고려가 없으며 환경 또한 훨씬 덜 민감한 결과를 갖는다. 이들에 대한 보다 정확한 비교는 제품 수준의 프로세스 평가 등을 거친 뒤 가능하며, 정확성의 문제는 실제 필드상의 결과와 비교를 통하여 가능할 것이다. 다만, 본 예제의 경우 217-Plus의 결과가 너무 낙관적일 수 있다는 점이다. 시스템 수준의 평가를 추가하고 어느 한 순간의 예측보다는 오랜 시간 회사의 field data, warranty data, 그리고 기타 경험을 통하여 신뢰도를 보완함으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 일부 선정된 전자부품들을 중심으로 대표적인 신뢰성 규격인 217-Plus를 통하여 신뢰도를 계산하였다. 보다 완벽한 신뢰도는 시스템 내의 모든 부품들을 고려하고 또 시스템 수준의 여러 프로세스 평가를 통하여 보완함으로써 도출할 수 있으며 향후의 연구 과제이다. 동시에 MIL-HDBK-217와 같은 규격의 결과와 정확성에 대한 비교를 통하여 규격들의 활용도 또한 증대시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] MIL-HDBK-217F(1991), *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense.
 [2] MIL-HDBK-217F Notice 1(1993), *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of

Defense.
 [3] MIL-HDBK-217F Notice 2(1995), *Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Department of Defense.
 [4] Telcordia Special Report(2001), *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment* (document number SR-332, Issue 1), Telcordia Technologies.
 [5] Dylis, D.D.: March 2001; "PRISM: A new Approach to Reliability Prediction"; *American Society for Quality Control (ASQC) Reliability Review*: Volume 21; Number 1.
 [6] *Handbook of 217PlusTM Reliability Prediction Models*, 2006, 6, RIAC.
 [7] Nicholls, D. (2007), What is 217PlusTM and Where Did It Come From?, *IEEE*, pp. 22-27.
 [8] Brown, L. M. (2003): Comparing Reliability Predictions to field data for Plastic parts in a Military, Airborne Environment, *2003 Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 27-30 Jan, pp. 207 - 213.
 [9] Kley, A. and Bender, M. (2003), Enhanced Reliability Prediction Method Based on Merging Military Standards Approach with Manufacturer's Warranty Data, *2003 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, *IEEE*, pp. 202-206.