전자부품 수명 특성과 유도탄 저장신뢰도의 관계

박용태*, 김무철*, 송일호* *(주)한화 종합연구소 e-mail:mckim0424@hanwha.com

The relationship between property of useful life of electronic component and storage reliability of guided missile

Yong-Tae Park*, Moo-Cheol Kim*, Il-Ho Song*
*Defence R&D Center Hanwha Corporation

요 약

전자 부품의 고장 메커니즘이 명확 해지면서 전자 부품의 품질과 신뢰성이 크게 향상되었다. 고장물리에 따라 장기 저장 조건에서 일부 전자 부품은 작동 조건에서 발생하지 않는 고장을 일으킬 수 있다. 장기 저장된 유도탄 전자부품 고장의 주요원인은 부품의 물리적 특성의 손실이라 가정하고 수명관점에서의 신뢰도 접근을 수행하였다. 결과 유도탄저 장신뢰도 예측을 위한 기존의 확률적인 방법이 아닌 전자부품특성과 고장매커니즘을 고려한 접근방법을 제시한다.

1. 서론

무기체계 개발의 RAM분석 목적은 수명주기간 정비소요 도출에 가장 큰 목적을 두고 있다. 그러므로, MTTF(Mean Time To Failure), MTBF(Mean Time Between Failure)가 분석의 지표가 된다. 탄약, 미사일 같은 원샷(One-Shot) 시스 템의 경우 저장조건의 MTTF를 산출하여 주기적 점검을 통 한 신뢰도 관리 방법이 전통적으로 적용되어 장기간 저장상 태에서 신뢰도를 유지하도록 설계된다.

이 같은 방법을 적용하기 위해서는 저장상태의 탄약, 미사일 같은 원샷시스템의 저장상태에서의 고장률값이 필요하다. 일 반적으로 MIL-HDBK-217F나, Rome Air Development Center(現 Rome Laboratory)의 보고서 "IMPACT OF NONOPERATING **PERIODS** ON **EQUIPMENT** RELIABILITY"를 통해 저장간 고장률을 예측한다. 문제는 이런 자료들에 포함된 데이터가 4~50년전의 필드데이터를 기 반으로 하며, 현대 전자부품의 고장률로 적용하기에는 차이 가 심하다는 것이다. 또한, 위에 언급한 자료에서는 장기간 저 장되는 원샷시스템의 수명을 예측할만한 방법이 포함되어 있 지 않다. 본 연구에서는 원샷시스템의 저장신뢰도와 수명을 예측하는 방법에 대해 좀더 근원적으로 접근할 수 있는 방법 과 발전 방향을 제시하고자 한다.

2. 저장수명 예측

2.1 수명과 MTTF

제품 혹은 부품의 수명은 설계된 목적을 정상적으로 수행할 수 있는 시간이며, MTTF는 고장이 발생하는 기대시간으로 그 의미상의 차이가 분명히 있다. 일반적으로 신뢰도분석을 수행할 때, 제품의 수명간 고장률이 일정하게 가정한다. Fig.2 의 A제품의 경우 B제품에 비해 높은 고장률(낮은 MTTF)값을 가지지만 기대 수명(Useful life)는 B제품에 비해 길다. B제품은 수명간 고장률 값은 낮지만, 일정한 고장률이 유지되는 수명은 A제품에 비해 짧다.

2.1.1 수명

수명은 제품의 고장메커니즘에 따라 제품의 수명을 가속시키는 요소(온도,습도,전력 등)별 가속수명시험을 통해 결정된다. 대부분의 전자제품은 JEDEC STD 47의 기준에따라 10년의 수명을 보장하지만, 고신뢰성제품의 경우 20년이상 기준의 수명시험을 별도로 진행하기도 한다.

2.1.2 MTTF

전자부품의 MTTF는 보통 수명시험의 결과로 측정된다. 부품의 시험이 누적될수록 산출된 MTTF는 계속 증가하 게 된다. 표1은 제조사에서 제공하는 Catalog등급의 SN74HC08과 Space등급의 SN54HC08의 고장률 값이다. 두 제품은 패키지타입의 차이가 있을 뿐, 동일한 반도체 소재를 사용하기 때문에 MTTF가 동일하다. 즉 MTTF만 으로는, 사용목적에 맞는 부품의 신뢰도를 예측하기에는 무리가 있다는 것이다.

[표 1] 부품의 제조사 고장률 비교

모델명	SN54HC08	SN74HC08
등급	Space	Catalog(상용)
FIT	0.3	0.3

2.2 고장메커니즘과 수명예측

저장수명을 예측하기 위해서는 결국 고장메커니즘을 파악하고, 그에 맞는 부품을 선정하는 것이 가장 기본적인 방법일 것이다. MIL-HDBK-217방법의 한계에 따라, 전자부품의 신뢰도 분석 방법은 물리학기반의 고장모델을 규명하는 방법으로 발전해왔으며, 여러 단체에서 고장모델에 대한 수명시험방법의 기준을 제시하고 있다. 대부분의 고장모델은 아레니우스, 아이링 방정식을 기초로 하며, 수명을 앞당기는 요인은 각 고장메커니즘에 부합하는 부품과환경상태이다.

2.1.2 저장환경에서의 수명예측

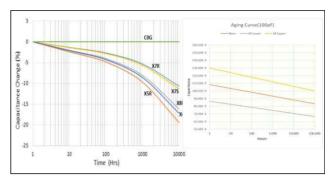
탄약과 미사일 같은 원샷시스템은 장기간 저장동안 모든 기능 부품들이 정상적인 상태로 유지되어야지만 정상적으로 작동한다. 즉 원샷시스템의 수명은 가장 짧은 수명을 가진 부품의 수명으로 볼 수 있으며, 해당 부품을 점검, 교체하면서 수명을 관리 할 수 있다.

대부분의 IC나 반도체 소자의 경우 소자의 패키지, 제품의 기밀, 외부환경의 온/습도 유지를 통해 저장 기간 동안충분한 수명이 보장된다. 일부 부품은 저장환경에서 상태변화가 일어나며, 운용환경에서 고려하지 않는 고장유형이발생 할 수 있다.

미군의 탄약관리규정에서는 유도탄과 같은 탄약의 수명을 구성품의 수명중 가장 짧은 수명을 가진 부품으로 간주하며, 해당 구성품의 관리를 통해 수명을 연장시켜 나가게 된다.

2.1.2 MLCC의 Aging

타 연구사례의 저장상태에서의 수명예측과 부품의 특서의 관계로 커패시터의 Aging이 원샷시스템의 수명에 미치는 영향을 예로 들겠다. MLCC Class 2부터 4의 부품들은 시간이 지남에 따라 용량의 변화가 생기게 된다.



[그림 1] MLCC의 Aging특성(좌)과 용량변화(100pF, X5R)(우)

이들은 시간이 지남에 따라 유전체의 개별적인 다이폴 구조형태의 변화로 용량이 변하게 된다. 즉, 설계 허용치이상의 용량 저하가 발생하며, 전원인가시 허용치 이상의 과전압이 발생하게 된다. 커패시터의 에이징에 의한 고장은 주기점검을 통해서 확인할 수 없는 유형이며, 이미 조립된 제품의 커패시터를 De-Aging 할 방법은 마땅치 않다. 제조사 모델에 따라 커패시터의 Aging 수명이 10년에서 20년 이상 다양하기 때문에 설계 초기에 충분한 수명을 가지는 제품을 선정해야 한다.

2.1.3 소프트웨어, 저장매체

미군의 탄약관리 규정에서 유도탄의 주기점검은 주로 소프트웨어 업데이트 위주로 수행함을 확인할 수 있다. 또한비운용상태의 능동소자들의 경우, 습도 등의 외부 환경조건이 통제된다면, 저장수명은 환경의 변화 즉, 운용시부터적용됨을 부품제조사의 레퍼런스를 통해 확인할 수 있었다. 즉, 장기간의 저장상태의 전자부품의 경우는 Aging같은 부품의 특성을 제외한다면, 소프트웨어의 정상적인 유지가 또다른 주요 고장유형이 될 것이다. 전원이 인가되어있지 않은 저장상태에서 저장매체 내부의 소프트웨어 데이터가 20년이상 유지될 수 있을지는 중요한 문제가 될것이다.

3. 결론

전통적인 MTTF 예측 방법의 한계와 커패시터 Aging현상 및 저장매체의 신뢰도를 비추어 볼때, 장기간 저장되는 원샷시스템의 신뢰도와 수명예측을 위해서는 설계조건에 부합하는 시험을 통한 수명예측이 가능한 부품들을 선정해 나가는 과정이 무엇보다 중요 하며, 이를 통해 신뢰도, 수명, 고장을 예측하고 주기적 점검의 필요성과 효과적인 방법을 제시 할 수 있을 것이다. 전자부품의 특성을 고려한 고장모델과 수명에 대한 지속적인 연구를 통해 저장신뢰도 예측에 대한 방법을 구체화 시켜나가고자 한다.

참고문헌

- [1] J. Srinivasan, "RAMP: A Model for Reliability Aware Micro Processor Design", IBM, 2003
- [2]ESA WP, "Effective Reliability Prediction for Space Applications", ESA, 2016
- [3]M. White, "Microelectronics Reliability: Physics-of-Failure Based Modeling", JPL NASA, 2008
- [4]S. Hong, "Guide to Using Automotive-Grade EEEE Parts in Space Applications", NEPP Workshop, 2018
- [5]R. R. Madsen, "Component Reliability After Long Term Storage" Texas Instruments AR, 2008
- [6] "Calculating Useful Lifetimes of Embedded Processors" Texas Instruments AR, 2014
- [7]S. Maloy "What is the Capacitance of this Capacitor?", TDK
- [8]A. Gurav "Advances in Ceramic Capacitors for High Temperature Applications", HiTEN, 2015
- [9] D. R. Trapp, "An Approach for Assessing Missile System Dormant Reliability", BDM, 1981
- [10]JESD47, "Stress-Test-Driven Qualification of Integrated Circuits", 2009
- [11] JEP122, "Failure Mechanisms and Models for Semiconductor Devices", 2011
- [12] 박용태, "전자부품 수명 특성이 장기저장 탄약의 저장신 뢰도에 미치는 영향", 한국군사과학기술학회 종합학술대 회, pp. 1915-1916, 2020년