

전자부품 통합 신뢰성 Simulator 개발

김완두[†]·이승우*·한승우*· Michael Osterman**

Development of Reliability Simulator for Electronic Components

Wan Doo Kim, Seung Woo Lee, Seung Woo Han and Michael Osterman

Key Words: Reliability Simulator(신뢰성 Simulator), Electronic Components(전자부품), Physics of Failure(고장물리), Failure Rate Model(고장률모델)

Abstract

The reliability, that is Long-Term Quality, require an approaching different from Short-Term Quality which is used before. As the electronic components are able to be easily normalized on the reliability testing, various testing standards are used. In this study, we proposed two reliability simulator that is PoF(Physics of Failure)-based and failure rate models-based. PoF-based simulator is introduced based on CalceEP program that is created by University of Maryland. This simulator can be modified by user interface of properties and PoF models and operated on stand alone system. Failure rate models-based simulator introduced according to analyzing reliability prediction documents. Also, unified database including failure data models is built from existing MIL-HDBK-217F N2, PRISM, and Bellcore, and web-based simulator is developed. The developed reliability simulator will service of the PoF model, properties, failure rate model accumulated and its data by web and internet.

1. 서 론

전자부품의 고기능, 소형화 추세와 더불어 각 부품에 포함되는 새로운 소재의 적용과 전자부품의 고집적화에 따른 신뢰성 확보는 전자산업에서 매우 중요한 팩터가 되었다. 전자부품의 경우 이동성, 사용재질의 다양화, 사용 온도의 다양화 등의 사용환경이 더욱 가혹해지고 있는 실정이다.

신뢰성이란 장기간의 관점에 측정·평가되어야 하는 장기간의 품질(Long-Term Quality)로서 설계 단계에서 확보되어야만 제품생산의 비용과 양산에서의 손실비용을 줄일 수 있다. 따라서 설계단

계에서 전자부품의 신뢰성을 평가할 수 있는 도구가 필요하다. 이를 위해서는 국산 전자부품 소재의 물성, 평가방법, 평가모델의 데이터베이스화 등이 뒷받침되어야 한다.

본 연구에서는 설계단계에서 전자부품의 수명을 파악할 수 있는 통합 신뢰성 Simulator를 개발하였다. 개발된 Simulator는 제품파손의 근본 원인을 해석하고 신뢰성에 영향을 주는 결함과 응력을 평가하여 수명을 예측하는 고장물리(PoF, Physics of Failure) 기반의 Simulator와 가속수명테스트를 통하여 얻어진 결과와 실험 및 필드데이터, 여러 스트레스 요소를 더하여 고장률을 산출하는 고장률 모델(Failure rate Model)을 기반의 Simulator로 구성된다.

개발된 통합 Simulator의 사용으로 첨단 전자부품의 신뢰성 향상을 통한 전자산업의 경쟁력 향상을 추구하여 매출증대, 국제 경쟁력 향상과 누적 고장률 수준을 선진국 수준으로 향상시키고자 한다.

† 한국기계연구원 미래기술연구부

E-mail : wdKim@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7627 FAX : (042)868-1234

* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부

** University of Maryland CALCE 센터

2. 고장물리 기반 신뢰성 Simulator

하나의 전자부품에 대해 고장물리를 기반으로 신뢰성을 평가할 수 있는 Simulator를 개발하였다. 본 Simulator는 Fig. 1과 같이 부품을 설계하고 정의하는 모듈, 재료 물성 관련 모듈, 하중 관련 모듈, 고장물리 관련 모듈로 구성되어 있다.

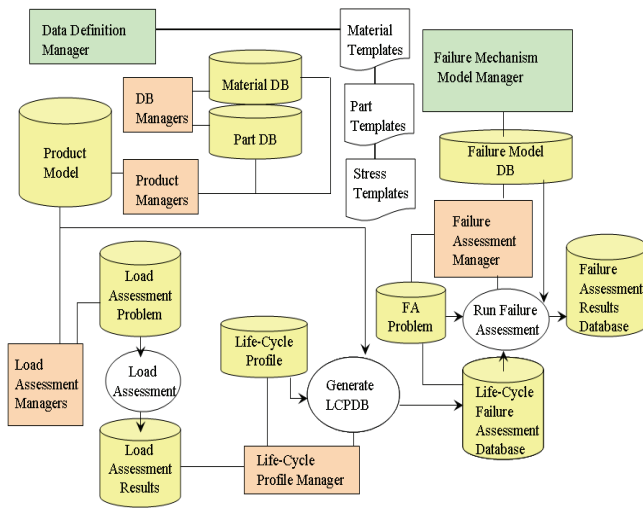


Fig. 1 Reliability Simulator Diagram

지원되는 패키지 종류로는 Plastic leaded chip carrier, Plastic quad flat package, Plastic ball grid array, Metal, Leadless ceramic chip carrier의 5종류이다.

재료 물성에 있어서는 Via, PTH, Undefill, Package material, Die, Lead와 Soder balls, Board, Board inserts, Interconnect materials, Die, Die attach 등의 카타고리로 분류되어 있으며, 이에 대한 기계적, 전기적, 화학적, 열적 물성에 대한 데이터베이스가 구축되어 있다.

수명평가를 위하여 전자부품이 받을 것으로 예상되는 기계적 하중, 온도, 습도 등의 하중 종류를 선택하고, 하중 프로파일을 만들고 관리할 수 있다.

Simulator에서 지원하는 고장물리 모델은 다음과 같다.

- 1) Electromigration
- 2) Stress driven diffusive voiding
- 3) Time Dependent dielectric breakdown
- 4) Metallization corrosion
- 5) Electrolytic breakdown

- 6) Dielectric breakdown
- 7) Die attach thermal fatigue
- 8) Wire bond thermal fatigue

Simulator는 기존에 보유하고 있는 고장물리 모델 외에 새로운 고장물리 모델에 대하여 추가할 수 있는 기능을 가지고 있다. Fig. 2는 새로운 고장물리 식을 작성할 수 있는 관리화면을 보여준다. 고장물리 식은 Simulator가 보유하고 있는 연산자에 의해 작성하고 수정할 수 있으며, 복잡한 수식일 경우 C 프로그램을 작성하여 Simulator에 포함시킬 수 있도록 연계시켜 놓았다.

고장물리 식을 작성할 때 필요한 새로운 데이터에 대해서는 Fig. 3과 같이 Resource Editor에 의해서 그 속성(Attribute)과 형식(Type)을 정의할 수 있다.

새로운 고장물리 모델을 생성하기 위해서는 먼저 신뢰성을 평가할 부품을 먼저 선택한다. 그리고 고장모델에 대한 하중을 정의하고 하중프로파일을 작성한다. 다음으로 고장물리 모델을 작성하기 위해 새로운 데이터의 속성과 형식을 정의하거나 기존의 데이터를 이용하여 고장물리 식을 작성한다. 새로 작성된 고장물리 모델이 오류가 없는지 확인절차를 밟은 후 선택한 부품에 대해 신뢰성 평가를 실시한다.

개발된 고장물리 기반의 Simulator를 이용하게 되면 전자부품에 대해 신뢰성을 고려한 설계가 가능할 뿐만 아니라 개발기간을 단축함으로써 경비도 절감할 수 있다.

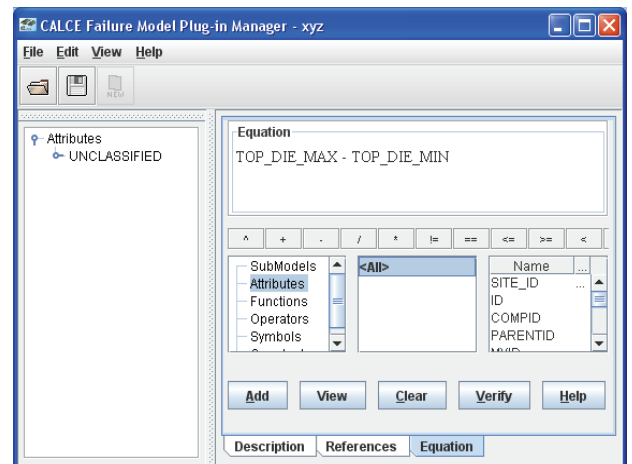


Fig. 2 Failure model manager

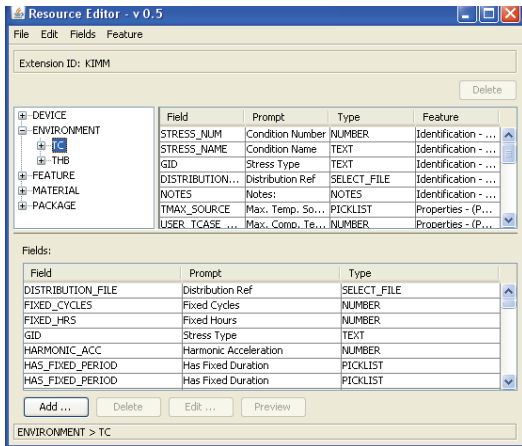


Fig. 3 Resource Editor

3. 고장률 모델 기반 신뢰성 Simulator

전자부품은 부품 (Part, Device), 유닛 (Unit, Assembly), 시스템 (System) 등으로 구분할 수 있으며, 기계류 부품에 비해 신뢰성 예측의 일반화(normalization)가 용이한 편이라서, 모델화하기가 쉽다. 이러한 모델들은 대부분 가속 수명 테스트(ALT)를 통하여 얻어지며, 기본적으로 각 부품에는 고유(intrinsic)의 고장이 있다고 가정한다. 이 고유고장에 스트레스, 실험 및 필드데이터 등의 요소들을 더하여 최종 고장률을 산출하는 방식이다. 전자부품의 신뢰성 평가를 위해서 여러 가지 규격서 들이 많이 나와 있으며 사용의 편리성 때문에 아직도 많이 사용되고 있다. 전자부품에 대한 신뢰성 평가는 진공관 시대에서부터 시작되었으며, 군에 의하여 발전하였다.

전자부품의 고장률은 수명 주기 전체 시간동안 항상 일정한 것이 아니며, Fig. 4와 같은 고장률 변화 곡선을 갖는다. 물론 구성부품 혹은 시스템에 따라 차이는 있지만 대체적으로 3가지의 구간으로 나누어 고장률을 설명한다. 초기고장(Infant mortality) 구간에서는 고장률은 높지만 급격히 감소한다. 고장시간은 와이블 함수로 모델링 할 수 있으며, 초기 고장 기간은 제품작동 1년까지라는 가정을 하고 있다. 정상상태(steady state)구간에서는 고장이 항상 일정비율로 발생하며, 고장 시간을 지수분포로 모델링하고 있다. 일반적으로 MIL 규격, PRISM 등 전자부품 예측 규격서에서는 항상 고장률이 일정하다고 가정하고 있다. 마모(wear out) 구간에서는 고장률이 급격히 증가하며, 보통 마모형태의 고장은 전자부품의 서비스 기간

(약 20년)동안 발생하지 않는다.

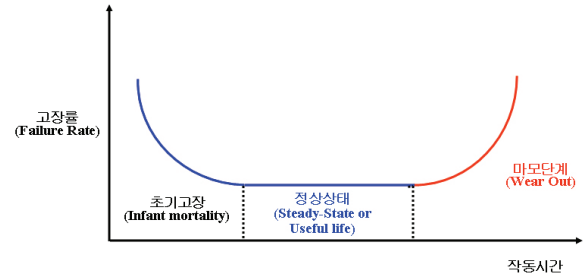


Fig. 4 Failure rate change curve

3.1 고장률 모델

본 연구에서는 전자부품의 고장률 예측에 가장 많이 쓰이는 MIL-HDBK-217F N2, Telcordia, PRISM 규격서를 분석하여 각 규격서에서 제공하는 모델을 데이터베이스로 구성하였다.

MIL-HDBK-217은 미국방성에서 1962년부터 제정하였으며, 1995년에 F버전 Notice2가 발간되었다. 각 부품마다 고장률을 산출하는 모델이 있으며, 식 (1)은 MIL 규격에서 IC의 Gate/Logic Arrays의 고장률 산출에 사용하는 모델식이다.

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L \quad (1)$$

λ_p 는 부품의 고장률을 나타내며 이고장률은 각 요소에 값의 합으로 나타내어진다. 사용되어지는 각 요소들로서 C_1 , C_2 는 복잡도 요소로서 트랜지스터나 논리 게이트가 어느 정도 집적되어 있는지를 반영한다. π_T 는 온도요소, π_E 는 사용 환경, π_Q 는 품질등급, π_L 은 부품 성숙도 등의 요소가 사용된다.

PRISM은 필드에서 사용되는 전자부품 및 시스템의 신뢰도를 추정하기 위해 미국의 RAC에서 개발한 신뢰도 예측 방법이다. PRISM은 초기개발단계에서 실험테스트 및 필드데이터의 적용까지 신뢰성 예측에 적용할 수 있다. PRISM의 가장 큰 특징 중의 하나는 고장원인에 대한 프로세스 등급(제조공정 등급, process grade)을 신뢰도 추정에 사용하는 것이다. 즉, 신뢰도 예측에 사용된 요소들을 각각의 고장원인 범주에 등급을 정하는 것이다. 이 등급은 자체검사와 과정 평가에 의해서 완성된다. PRISM의 산출 고장률식은 MIL 규격과 달리 여러 가지 요소의 곱이 합해져 부품의 고장률을 나타낸다.

Telcordia 고장률 계산모델은 항상 일정한 상태로 고장률 발생이 있어야 하며, 이것은 장시간동안 제품작동에 대한 정보가 있어야 한다. Telcordia 신뢰성 예측 모델에 영향을 미치는 팩터로는 전기적인 스트레스가 가장 중요하다. 기본적인 동작온도는 40℃로 가정하며, 환경조건으로는 Ground Fixed, Ground Mobile 환경에서 1에서 15까지의 스트레스요소를 가진다. 이 모델식 역시 세 가지 방법으로 구분하고 Method I은 부품의 초기설계단계에서 신뢰성 예측에 필요한 정보가 전혀 없는 경우에 사용한다. 이 방법보다 좀 더 복잡한 예측 방법으로 실험 데이터와 일반 데이터를 혼합하여 사용할 수 있는 Method II와 필드수집(Tracking) 데이터를 얻는 단계에서 앞에서 구해진 일반데이터, 실험데이터 및 필드데이터를 혼합하여 예측하는 MethodIII가 있다.

3.2 웹기반 통합 Simulator

신뢰성 정보를 관련 있는 다양한 사용자가 거리, 시간 제약 없이 이용하기 위해 Web을 이용한 통합 Simulator를 개발 하였다. 고장률 모델 기반 Simulator의 초기화면에서는 사용자가 사용하고자 하는 고장률 모델을 먼저 선택하여야 한다.

Fig. x는 신뢰성 평가 대상 품목을 선택하는 것으로 MIL-HDBK-217F N2의 경우 Category로 IC, Diodes, Transistor, Thyristor and SCR, Optoelectronics, Detector, Isolator, Emitter로 하고 각각의 Category에 Subcategory로 전자부품을 분류해 놓았다. Fig. 5에서는 IC(Micro circuits)에서 GaAs MMIC and Digital Devices를 대상부품으로 선택하였다.

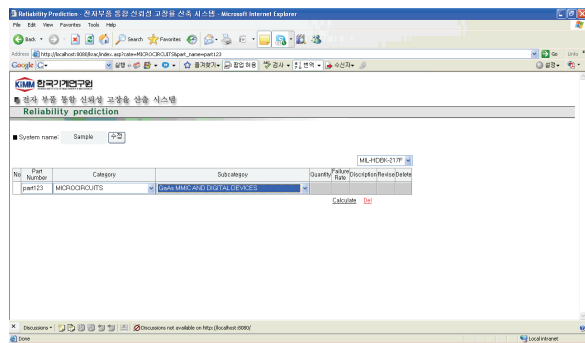


Fig. 5 Selection of target components

선택된 부품의 신뢰성 정보를 입력하기 위해

예측규격에서 필요로 하는 정보를 입력하여야 한다. Fig. 6는 앞에서 선택한 부품에서 필요한 신뢰성 정보 입력창을 표시한 것이다. 복잡도 (Complexity), 사용 온도, 응용 분야, Package 고장률 등을 데이터베이스화 하여 사용자가 쉽게 해당 팩터를 찾을 수 있게 하였다. 또한 전자부품의 특성상 성능 편수에 의한 고장률을 자동으로 산정하게 하였다. 환경 팩터, Learning 팩터, 품질 팩터 등의 기본 입력 값 역시 데이터베이스화 하여 등급을 선정하면 자동으로 모델식에 값을 입력한다.

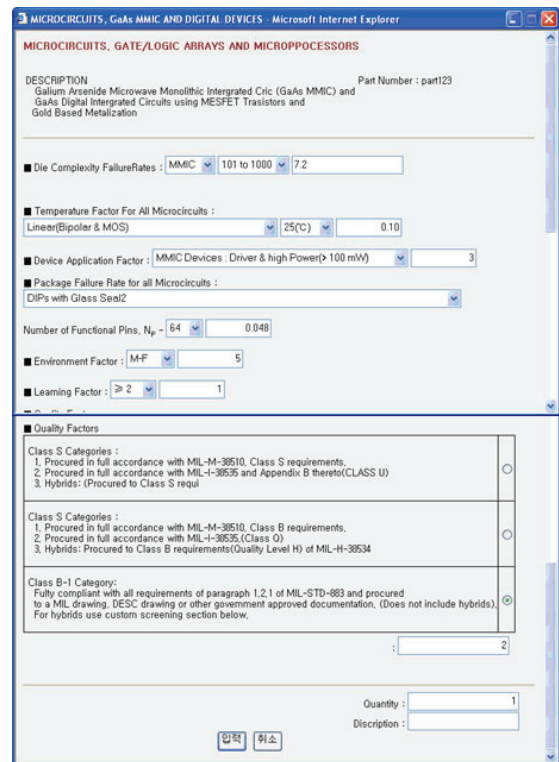


Fig. 6 Input reliability data for calculating failure rate

이렇게 입력된 팩터 값들은 MIL 규격에서 제안하는 신뢰성 산출 모델식에 따라 부품의 고장률을 계산한다. Fig. 7은 GaAs MMIC에 대한 신뢰성 평가 결과를 나타낸 것으로 고장률이 4.8 Failures/백만시간으로 MTBF(Mean Time Between Failure)는 약 208,333시간으로 산출되었다. 이는 평균수명이 23년 정도로 나타났으며 전자부품 단품의 경우에 양호한 것으로 여겨진다.

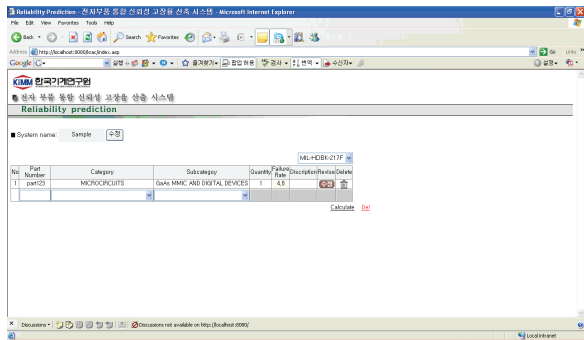


Fig. 7 Results of calculated failure rate

4. 결론

전자제품의 고부가가치화 및 초일류화에 가장 중요한 요소 중의 하나인 신뢰성 기술의 조기 확보를 위해 본 연구에서는 전자부품의 전 라이프 사이클에서 신뢰성을 평가할 수 있는 전자부품 통합 신뢰성 Simulator를 개발하였다. 개발된 통합 Simulator는 고장물리 기반의 신뢰성 평가 시스템과 고장률 모델 기반의 신뢰성 평가 시스템이 포함되어 있어 packaging을 포함한 일반 전자부품을 비롯한 MEMS 제품의 수명을 설계단계에서 예측할 수 있다. 개발된 simulator를 통하여 전자부품의 기술수준을 향상시키고 제품경쟁력을 가질 수 있으리라 판단된다.

후 기

이 연구는 특정연구개발사업인 전자부품신뢰성 설계기술 개발 사업의 전자부품 통합 시뮬레이터 개발의 일환으로 진행되었음.

참고문헌

(1) Saleh, J.H. and Marais K., 2006, "Reliability: How Much is it Worth? Beyond its Estimation or Prediction, the (net) Present Value of Reliability," Reliability Engineering and System Safety, Vol.91, No.6, pp.665-673.

(2) Cunningham, J., Valentin, R., Hillman, C., Dasgupta A. and Osterman, M., 2001, "A Demonstration of Virtual Qualification for the

Design of Electronic Hardware," IEST Conference.

(3) Kim W.D., Han, S.W. and Lee, S.W., 2006, "Integrated Reliability Simulator for Electronic Components," Proceeding of KSME for Reliability, pp.1-6.

(4) Lee, S.W., Han, S.W., Song, J.Y. and Kim, W.D., 2005, "Reliability Prediction for PCB using PRISM models," Proceeding of KSME(spring), pp. 143-146.

(5) CALCE, 2002, Simulation Assisted Reliability Assessment Software Training Workshop, University of Maryland.

(6) CALCE, 2005, Introducing CalcePWA 4.0, University of Maryland.

(7) Department Of Defense, 1995, MIL-HDBK-217F N2 document.

(8) Reliability Analysis Center, 1997, PRISM & Failure Mode/Mechanical Distribution.