

전자제품의 고장 메커니즘

글 ◻ 김진우 / 대우전자(주) e-mail ◻ jinwoo@web.dwe.co.kr

이 글에서는 전자제품의 고장 메커니즘의 개념에 대하여 설명하고, 고장 발생 유형에 따른 분류에 대해 설명한다.

우리나라 전자제품의 생산량은 세계 3위로 초일류 국가의 대열에 끼어 있으며, 생산에 필요한 설계와 제작 및 공정에 대한 제반 기술은 선진국과 대등한 수준이고 향후 정보화 추세가 꾸준히 확산될 것으로 보여 전자산업은 지속적으로 성장이 예상된다. 한편, 이들 제품에 적용하고 있는 부품의 국산화 비중은 정보통신 제품의 경우 매우 저조한 실정이고 가전제품의 경우도 100% 국산화를 못하고 있는 실정이다. 전자제품의 신 동향은 고부가 신제품 중심의 품목구조로 변화되고 있으나, 핵심부품의 기술수준은 아직 저조하며, 전자제품의 수출량이 증가하지만 적자폭도 함께 증가하는 이유는 신뢰성이 요구되는 핵심부품을 일본, 미국 등 선진국에서 수입에 의존하고 고부가가치 부품의 원천기술과 첨단부품의 설계기술이 선진국에 비해 취약하기 때문이다. 이는 핵심부품에 대한 연구투자가 대대적으로 이루어지고 있지만 부품의 신뢰성을 향상시키고 고부가가치를 실현하기 위한 신뢰성 평가기술과 연구는 미흡한 수준을 실증하는 것이라고 볼 수 있다.

우리나라는 '90년대 중반 이후부터 대기업을 중심으로 신뢰성 평가 개념이 도입되기

시작한 도입 초기단계로 신뢰성 관련 전문 평가기술이 낙후되어 있다. 또한 현재 국내의 대기업을 포함해 많은 기업들이 품질과 신뢰성에 관심을 갖고 있으며, 이에 대한 활동방안으로서 single ppm, 6시그마운동과 같은 품질혁신 활동 기법을 통해서 시간이 지나야 확인할 수 있는 미래의 품질인 신뢰성이 향상되리라고 잘못 이해하고 있다. 이렇다 보니, 공정불량은 줄었는데 시장고장 증가로 품질비용 상승, 매출은 늘었는데 품질비용을 따져보면 오히려 손해, 소비자로부터 불신 증대 등의 현상이 발생되어 기업의 궁극적 목표인 고객만족을 통한 수익성 창출의 걸림돌이 되고 있다.

반면 미국, 일본, 유럽 등 기술 선진국에서는 오랜 기간 동안 신뢰성기술을 지속적으로 개발해 왔고 그 결과 신뢰성 평가에 소요되는 시간을 대폭 단축 및 설계단계에서 신뢰성평가가 적극적으로 이루어질 수 있게 되었다. 지금부터 약 30~20년 정도 전의 신뢰성 공학에서는 와이불(Weibull)·해저드(hazard) 해석에 대표되는 수명 데이터의 해석이 주류이었다. 즉 부품레벨에서의 신뢰성 시험을 철저히 해서 그 결과에 따라 가속시



험의 유효성이나 실 수명의 추정 등을 실시해 왔고, 고장품의 분석결과에 따라 개선 대책을 세웠지만 재평가후 제품 적용을 하기까지는 수개월의 시간이 필요로 했다. 그것이 약 10년 정도 전부터는 분포해석을 실시할 수 있을 정도의 고장 발생이 없어지게 되었고 고장 한 개 한 개를 분석하는 고장분석이 신뢰성의 주류가 되어 왔다. 이를 위해서 신뢰성평가 접근 방법도 큰 변화가 있었다. 즉 고장물리(physics-of-failure) 방법론을 이용하여 고장을 물리적으로 규명해서 거의 제로로 하는 것이 필수요건으로 되었다. 설계초기 단계부터 각 고장 메커니즘에 대해서 검출감도가 높은 부품의 시험시편을 사용해서 신뢰성평가를 실시하는 것으로서 이 방법은 2주~1개월 정도의 사이클로 개선할 수 있도록 했다. 최근에는 신뢰성이 높은 신제품을 단기간에 개발하기 위해서 시작품 개발기간을 최소한으로 하고 공정 시뮬레이션이나 신뢰성 시뮬레이션(virtual qualification)을 사용하여 가속수명시험을 하지 않고 짧은 시간에 제품 개선은 물론 수명예측 등도 할 수 있도록 개발 완료하여 전자제품에 적용 중에 있다.

제품의 신뢰성은 설계단계에서 결정되며 제조단계에 이르면 이미 제품의 신뢰성은 결정된 상태이기 때문에 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방법이 극히 제한적이 된다. 즉 설계단계에서 신뢰성 향상 비용이 10이라면 평가시 신뢰성 개선비용은 100이고 완성후 신뢰성 향상 비용은 100 이상이 소요됨을 인지하고 있어야만 한다. 이에 대해서 고장이 발생하지 않도록 제품을 설계하고 설계후 제품이 목표한 신뢰성을 갖는지 짧은 시간 내에 평가하기 위한 효율적인 방법은 제품에서 발생 가능한 고장 메커니즘에 대한 근원적 연구를 통한 신뢰성평가 방법의 개발이 필수적이라고 할 수 있

다. 정량적인 신뢰성 평가는 제품이 놓이게 될 환경에서 발생할 수 있는 잠재 고장에 대해서 고장 메커니즘을 규명하여 고장 메커니즘을 모델링하고 모든 입력 파라미터의 확률 변수를 기초로 한 파라미터 및 민감도 분석을 실시하여 그 결과를 목표로 하는 기간 동안 만족할 만한 성능의 확률로서 나타내는 것이다. 정확한 고장 메커니즘 모델을 수립하기 위해서는 잠재 스트레스와 고장 메커니즘의 명쾌한 이해가 필요하다. 다음은 제품의 신뢰성을 향상시키기 위해서 필요한 고장 메커니즘에 대한 이해를 돕기 위해서 필요한 기본적 개념을 기술한다.

아이템(item)에 작용하는 부하는 스트레스를 유발시키고, 이 스트레스는 다양한 고장 메커니즘을 일으켜 부품의 고장을 발생시킨다. JIS Z 8115는 고장 메커니즘을 "물리적·화학적, 기계적, 전기적, 인간적 원인 등으로 아이템이 고장을 일으키는 것"으로 정의하고 있으며, 즉 설계 및 제조공정에 기인한 대상 아이템 내부의 소재요인이 외부에서 스트레스 및 사용 환경조건의 변화에 따라 물리·화학적으로 변화해서 고장에 이르는 것을 고장 메커니즘이라고 한다. 그림 1은 고장역학 측면에서 고장에 대하여 명명한 것이다.

○ 고장모드(failure mode)는 고장 메커니즘과 구별되어야 한다. 고장모드는 메커니즘을 나타내는 방법이며, 징후(symptom)이지 고장의 근본원인(root cause)은 아니다. 고장

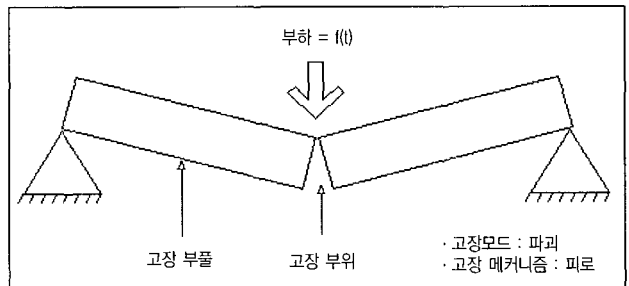
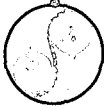


그림 1 부품 고장의 명명



난 샘플에서 처음에 확인할 수 있는 것은 고장 모드이고 고장 메커니즘은 근본원인 고장분석(failure analysis)을 통해서 규명될 수 있다.

○ 설계단계에서 제품에서 일어날 수 있는 고장 메커니즘을 체계적으로 규명함으로써 완벽한 제품은 설계할 수 있다. 즉, 잠재 고장 메커니즘(potential failure mechanism)을 구체적으로 이해하고 있을 때 개발 및 설계단계에서 고장을 예방할 수 있으며, 이를 통해 효과적으로 신뢰성 있는 제품을 만들 수 있다.

○ 일반적으로 고장의 근본원인은 시스템 내의 부품에 작용하는 하나 혹은 그 이상의 고장 메커니즘으로부터 추정할 수 있다. 따라서 고장 메커니즘은 시스템 부품이 고장 나기까지 부품에 작용하는 물리적 과정으로서

정의할 수 있으며, 단일 부품은 시스템에 인가된 부하로 인하여 하나 혹은 그 이상의 주요 고장 메커니즘을 가진다.

그림 2에서 고장 메커니즘을 FM_{i,j}로 표시하였으며, i는 시스템 내의 부품을 의미하고, j는 부품에 작용하는 고장 메커니즘을 의미한다.

○ 고장 메커니즘은 고장이 발생하는 유형에 따라 우발고장(overstress failure)과 마모 고장(wear-out failure)으로 구분할 수 있고, 또한 고장 메커니즘을 유발시키거나 가속하는 부하의 성질에 따라 기계, 열, 전기 및 화학 등으로 분류할 수 있다. 일반적으로 우발 메커니즘은 단일 부하에 의하여 고장이 발생하는 것으로 재료가 시간에 따른 열화가 없다는 것을 전제로 하고 있고, 마모 메커니즘은 시간

경과에 다른 부하 축적으로 인한 고장을 말한다. 그림 3은 전자제품에서 발생하는 몇 가지 고장 메커니즘에 대해서 고장을 유발하는 스트레스에 따라 고장 메커니즘을 분류한 것이다. 기본적인 고장 메커니즘 외에도 다양한 종류의 시스템, 반도체 및 부품에서 나타날 수 있는 많은 고장 메커니즘들이 있다.

세계화로 국가간 무역장벽이 없어져 해외 기업들과의 경쟁이 더욱 심화되고 있는 상황에서 제품 경쟁력의 열쇠는 신뢰성이고 이를 실현하기 위해서는 고장 메커니즘 규명과 고장을 및 수명 예측을 위한 모델화 기술이 필요하며, 전자제품의 신뢰성 설계를 위해 반드시 확보해야 하는 가장 핵심기술이며, 중추기술이다. 지금도 많은 기업에서는 목표로 하는 품질을 달성하기 위해서 선진국에서 실시하고 있는 많은 품질 향상 기법을 도입하여 적용 실시하고 있다. 과연 이러한 방법들이 무한 경쟁 시대에서 초일류 제품 탄생을 위한 최적의 방법인지 다시 한번 뒤돌아보고 점검을 해야 할 때이다.

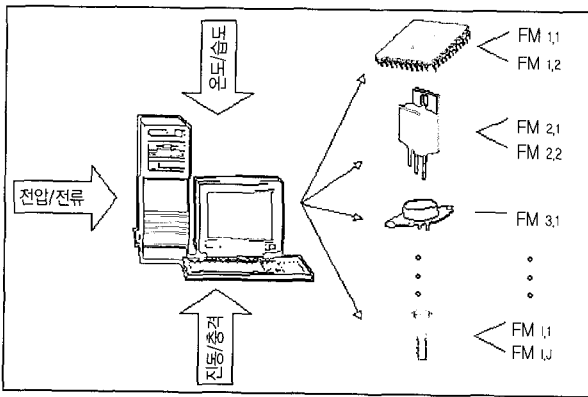


그림 2 설계단계에서 고장 저감에 필요한 시스템의 고장물리 견지

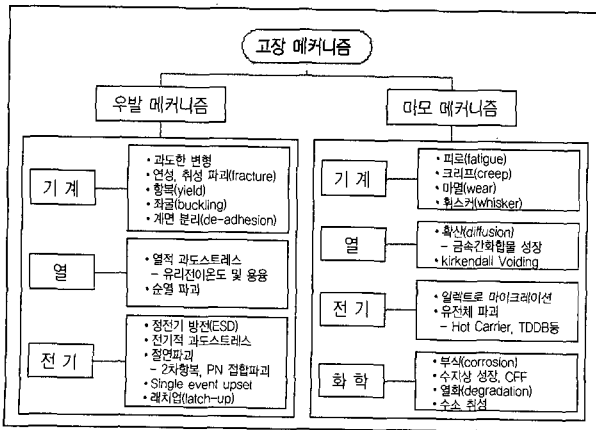


그림 3 고장 메커니즘의 분류