

研究論文

자동차 전장부품의 초 가속 신뢰성 수명시험 방법에 관한 연구

이종범* · 조재립**

* 자동차부품연구원 · ** 경희대학교 산업공학과

The Study on the High Acceleration Life Test Method for the Automotive Electric and Electronic Parts

* Jong-Beom Lee, ** Jai-Rip Cho

* Korea Automotive Technology Institute

** Dept. of Industrial Engineering, Kyung-Hee University

Abstract

Recently days, High Accelerated Life Test of electrical and electronic parts is increasing its importance. This study set the hypothesis to develop the method that was analysis and application of HALT for the automotive electrical and electronic parts, it used Arrhenius's Model and Eyring's Model, and ESS theory. Validity of application is proved by other test data.

Especially, this study emphasis on utility of acceleration to temperature, humidity, voltage, mechanical stress and other stress. In this process, this study set the pattern of practical application.

Therefore, this study emphasis on the application of the HALT and the use of other parameter by acceleration reliability test data.

The result of this study is as follows. 1) There is relationship between molar weight and material constant. 2) Characteristic of material is operating a acceleration factor as well as parts failure factors.

Of course, according to the characteristic of material, activation energy is often more important than molar weight. But it will be defined by more testing and improvements in practical application.

1. 서론

21세기를 맞이하면서 자동차부품기술의 발전은 급속하게 변화하고 있으며, 자동차에 적용되는 각종 부품의 복잡도 또한 급격하게 증가하고 있는 것이 현실이다. 더군다나, 각종 전기, 전자 시스템의 급증은 자동차의 안전과 직결되는 문제로 인식하게 되었으며, 이러한 문제로 인하여 각 개발단계에서 부품의 신뢰성을 최단기간 내에 확인하고 인증하여야 하는 문제에 직면하게 되었다.

따라서 자동차 전장 부품을 개발하고자 하는 기업의 입장에서 보면 High Acceleration Life Test야 말로 개발기간을 단축하고, 저비용 고효율의 개발Process를 구현하는 척도가 되고 있는 것이 현실이다.

이러한 이유로 인하여 HALT의 기법개발을 다양한 분야에서 개발하여 현업에 적용하고 있으며, 현실화하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 자동차 전장부품의 초 가속신뢰성시험의 가능성을 제시하고, 향후 산업계 전반에 불어닥칠 제조물 책임(PL)대책에 대비하기 위한 대안으로서 신뢰성 인증의 효율적인 접근을 위한 HALT방법론을 연구하였다.

이러한 PL 관점에서 보면 부품의 품질을 높이는 활동이 강화되어야 하는데, 국내기업의 경우 아직까지도 과거의 부품검사 혹은 수입검사 수준에 머물러 있어, 신뢰성 기술측면의 해결방안을 모색하는데 있어서는 선진

Maker에 비해 역부족인 수준으로 나타나고 있어 이에 대한 해결방안의 일부분으로서 부품의 초가속 시험기법의 개발 방향을 제시하고, "가속시험 형태를 실사례화함으로써 문제 해결의 실마리를 제공한다"는 명제를 안고 각종 이론의 현장접목을 위한 대안의 제시와 실제 문제해결을 위한 적용형태를 선진Maker의 가속시험기법과 각종 가속이론을 현실적인 측면에서 이해하고 접근함으로써 자동차 전장 부품 및 전기·전자 부품 분야의 각 분야별 전문가들이 보다 쉽게 신뢰성평가를 실시하도록 하기 위해 가속시험에 관한 이론의 복합적인 요소들에 대한 가속식의 조합과 관련 공학적인 이론의 접목을 시도하였으며, 이러한 관점에서 가속시험을 지원 혹은 보완하기 위해 물리화적인 고찰과 전기, 화학적 분석 및 고분자 측면의 분석적 접근을 도모했다.

물론 공학적인 측면의 이론전개에 보다 많은 시험과 분석이 이루어졌지만, 이들 관련 공학의 접근대안들이 가속시험 체계와 분석 Tool을 제공하는데 많은 역할을 수행했다고 생각하기 때문이다.

이러한 관점에서 본다면 아레니우스의 10도칙이나, Eyring Model식, Robinson의 선형누적손상식, Miner의 선형손상칙, n승 k도칙, Coffin-Manson의 관계식 Lasson-Miler의 식, 1/2승칙, Griffith의 식, Electromigration현상 등은 가속시험기법을 보다 구체화하고 논리적으로 접근하는데 있어 많은 도움을 주었으며, 이론

적인 바탕이 되었다.

일반적으로 국내 자동차 전장부품 및 전기·전자 업계에서 가속시험에 대한 이론적 인식 및 현장 적용에 대한 인식이 대부분 난해한 것으로 인식되어 있거나 장기간의 검증을 거쳐야 만이 하나의 가속시험 기법이 정립되는 것으로 인식되어 있는 것이 현실이다.

그러나 이러한 현상이 나타나게된 주된원인은 각종 환경Factor에 대한 이해부족에 의한 것으로 판단된다. 예를 들어서 온도와 습도에 대한 영향도를 분석하여 보면 왜 고온, 고습시험을 실시해야 하는가 하는 문제를 이해하게되어 그에 대한 적합한 시험을 실시할 수 있게 된다는 사실이다.

즉, 수출을 많이 하는 제품이라면 전세계 각 지역별 저온 및 고온특성부터 분석을 실시한 이후에 시험평가를 위한 시험조건을 설정해야 할 것이라는 판단이다.

극한랭 지대의 경우 온도분포는 -70°C 에서 $+35^{\circ}\text{C}$ 까지 분포하며, 습도는 95% RH 수준에 이른다. 이러한 경우 시험은 반드시 저온상태에서의 시험 혹은 온도CYCLE시험을 실시해야 하며, 고온다습지대의 경우 온도분포는 $+5^{\circ}\text{C}$ 에서 $+47^{\circ}\text{C}$ 까지 분포하고, 습도는 100% RH 수준에 이르므로 시험은 반드시 고온고습 시험을 실시해야하는데 실제로 현업에서 실시하는 시험형태를 보면 각 지역별 온도분포에 근거하여 차별화된 시험 및 평가를 실시하는 사례는 일부기업에서 적용하는 것으로 알려져 있으며, 대다수의 기업이 일반화된

국제규격이나 국가규격에 따르는 것으로 되어 있어 급속하게 진전되고있는 기업의 국제화와 지역별로 신장하고 있는 기술력의 발달속도를 각종규격이 보증하지 못한다는 점에서 보편화된 규격적용에 의한 각종 시험평가는 점점 치열해지는 국제경쟁에서 값싸고 좋은 품질을 선호하는 일반인들의 취향을 만족시키기는 어려울 것이다.

그러므로 이러한 상황에서 고품질을 유지하고 적절한 가격과 개발기간의 단축을 도모하려면 가속시험에 의한 문제점의 조기발견과 신뢰성 확보를 기해야 한다. 따라서 이러한 관점에서 가속시험을 위한 기본이론의 적용을 연구하였으며, 각각의 기본이론들을 어떻게 응용해야하는가를 고찰하였다.

특히 온도에 대한 의존성이 있는 경우의 가속은 일반적으로 식 (1) 및 (2)의 Arrhenius's model과 Eyring's model에 따르는데 다음과 같다.

$$L_2 = L_1 \exp \left\{ -E/k(1/T_1 - 1/T_2) \right\} \quad (1)$$

$$L_2 = L_1 (T_1/T_2) \exp \left\{ -E/k(1/T_1 - 1/T_2) + C(S_1 - S_2) + D/k(S_1/T_1 - S_2/T_2) \right\} \quad (2)$$

여기서 E, D는 Activation energy를 의미하며, C는 재질의 상수, k는 Boltzmann정수 $8.61 \times 10^{-5} \text{ eV/k}$ 를 의미한다.(여기서 n은 -5이다), L_1 은 절대온도($273 + \alpha_1$) T_1 에서의 수명이고 L_2 는 절대온도($273 + \alpha_2$) T_2 에서의 수명이다.

단, α_1 은 시험온도를 의미하고 α_2 는 사용온

도를 의미한다.

S_1 과 S_2 의 경우는 전기적 STRESS를 의미하며, 적용형태는 정격STRESS대비 사용 STRESS를 산출하여 적용한다[1,2].

본 연구에서 적용한 응용의 범위는식(1) 과 식(2)를 혼합한 형태를 적용하여 전기, 전자 부품 및 제품의 가속성에 대한 기본을 온도와 습도 그리고 전기적인 STRESS로 규정하고 접근함으로써 그 적용에 있어서 보편적이면서 논리적인 접근을 시도하려고 노력했으며, 향후 전개될 각종 가속식의 응용 범위를 확대하고자 노력했다.

또한 활성화 에너지 값의 범위를 0.6에서 0.8까지의 범위에서 적용하였으며, 시험시간의 단축을 위해서는 시험보증시간과 가속계수와의 상관관계를 분석하여 접근함으로써 문제해결의 합리성을 기하고자 하였으며, 각종 재료의 물성과 화학적인 구조를 실무측면에서 분석하여 적용함으로써 현업과의 격차를 최소화 하였다.

예를 들면 자동차 전장품인 ECU(Engine Control Unit)의 경우 각종 SMD 부품이 적용되고 있으나, 정작 필요한 전자부품의 특성과 자동차 전장품으로써의 근본적인 복합환경조건에서의 UNIT 자체의 신뢰성 검증은 부실한 것이 현실이다.

따라서, 자동차 전장품의 고 신뢰성 보증을 위한 대안으로서 각 부품별 HALT평가에 근거하는 UNIT평가가 절실히 요구되고 있으나, 이제 시작하는 단계이고 보면 앞으로 개척해

야 할 사안들이 산재해 있는 현실이다.

따라서 SMD 부품중에 많이 사용되고 있는 CHIP Capacitor 및 각종 motor내부에 내장되는 surge absorber용 혹은 Noise제거용 Plastic film capacitor의 경우 각종 재질별로 적용되는 사용온도 범위 및 특성은 다양한 차이를 보이고 있다.

그러므로, Capacitor류의 가속식을 정의하기 위해서는 재질별 특성을 정의하지 않고서는 불가능하다는 것을 이해해야 한다.

즉, 폴리에스테일 + 폴리프로필렌의 경우는 적용 온도범위가 「-55°C ~ +155°C」이기 때문에 재질특성이 지니는 사용온도 범위내에서 사용은 물론 시험 및 평가 역시 실시되어야 한다.

그러므로 본 연구에서 고려한 가장 중요한 원칙은 각각의 부품 및 제품의 원부자재 구성의 형태에 역점을 두고 가속식의 성립 여부와 시험평가를 위한 수식전개를 실시하였으며, 해당 시험 및 평가시에는 계수발체 1회 Sampling을 실시함으로써 소비자 위험부담을 고려한 시험평가를 최대한 실시하고자 했다.

특히 시험실시 이후의 재현성 평가에 있어서 중요한 Factor의 일부로 선정된 산포의 경우는 $\pm 3\sigma$ 한계내에 특성치가 존재할 때 각종 자동차 전장 부품 및 전기, 전자부품의 고장에 대한 재현성이 있다고 판단하고, 그렇지 못할 경우는 재현성이 희박하거나 부족하다고 판단함으로써 문제 접근에 있어서 통계적

인 기법을 활용하였다.

따라서 본 연구의 핵심은 실질적인 문제 해결을 위한 접근대안을 신뢰도 공학적으로 접근하되 가속시험의 근본이 되는 물리, 화학적인 각종 재질 특성을 반드시 검토하여 그 문제의 재현성을 통계적으로 확인함으로써 자동차 전장품 및 전기, 전자부품의 가속시험에 대한 타당성을 입증하여 보았다.

2. 이론적 배경

1. 가속시험의 개요

최근들어 심각해지는 제조업계의 원가절감을 위한 노력 및 각종 부품에 대한 Global Sourcing 열풍은 기업간의 경쟁력을 심화시킴과 동시에 부품의 구매단계에서부터 제품개발단계의 단축을 위한 각종 가속시험을 요구하고 있으며, 이러한 추이에 대응하기 위한 각종 가속식의 개발과정을 통하여 부품 및 제품의 문제점을 규명함과 동시에 기업의 기술적인 Knowhow를 축적하기 위한 활동을 강화해야 한다.

본 연구의 목적인 시험평가 기간의 단축을 실현하고, 빠른 기간 내에 문제점을 검출함으로써 부품의 품질을 개선함과 동시에 부품설계 및 제품설계의 오류를 단기간 내에 개선하여 부품과 제품의 신뢰성을 동시에 높이는 데 역점을 두고 가속시험기법을 개발하였다.

가장 보편적으로 알려진 가속이론의 기본적인 범주를 확인해 보면 다음과 같으며 이

러한 기본수식을 응용하여 적용범위를 설정하고 시험을 통하여 규정화하고 있다.

n승 k도치는 $L_2=L_1(V_1/V_2)^n \times 2(T_1-T_2)k$ 의 형태로 정의하고 주로 종이프라스틱 마일러 콘덴서 ($n=4\sim6$), 세라믹 콘덴서 ($n=3, k=10$), Glass 콘덴서 ($n=2.5, k=20$), 박형 Tantal콘덴서 ($n=5, k=10$), 고체 Tantal콘덴서 ($n=4\sim5, k=10$), 마이카 콘덴서 ($k=50$) 등으로 확인되고 있으며, 주로 전압과 온도에 의존하는 경우에 적용되는 것으로 되어있다.

그러나 현업 적용 단계에서는 압력이나 또 다른 Factor를 대입하여 적용하는 것으로 인식되어 있으므로 n승 k도치의 적용을 위해서는 주어진 수식의 적용이라는 단순 논리의 접근은 배제되고 보다 복합적이고 구체적인 현업적용 Factor를 고려하여 적용하고 있다.

Arrhenius, s Model은 $L_2=L_1 \exp \{-E/k(1/T_1 - 1/T_2)\}$ 의 형태로 정의하고 주로 수지, 반도체 수명의 온도에 의존하는 경우에 적용되는 것으로 되어있다.

그러나 현업 적용 단계에서는 온도 가속성에만 의존할 수 없으므로 Arrhenius, s Model에 습도나 Stress를 대입한 형태의 가속식 Model을 응용하여 현업 적용 Factor를 도출하고 있다.

Eyring, s model은 $L_2=L_1(T_1/T_2) \exp \{-E/k(1/T_1 - 1/T_2) + C(S_1 - S_2) + D/k(S_1/T_1 - S_2/T_2)\}$ 의 형태로 정의하고 주로 수지, 반도체 수명의 온도 및 Stress에 의존하는 경우에 적용되는 것으로 되어있으며, 현업적용 단계에서는 각각의 상이한 재질에 대한 문제점을 도출하기 위

한 접근대안으로서 적용하고 있으나 실제로는 Arrhenius, s Model과 결합한 형태의 가속 Model식을 더 많이 적용하고 있다[3].

Miner의 선형 손상칙은 $\sum Ni \times Si = 1$ 의 형태로 정의하고 주로 1로 금속재료의 피로파괴에 대한 응력 변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 개념의 모호성 때문에 Robinson의 선형누적손상식을 적용하고 있다.

온도의 변동하에서 Creep수명평가에 대한 제안은 Robinson의 선형누적 손상칙에 준하여 각 온도 Level의 수명 소비율 합이 '1'이 되었을 때 파단이 발생하는 것을 관계식으로 규명해서 적용하고 있다[4].

Coffin-Manson의 관계식은 $\Delta \epsilon_t \times N_f^m = \text{일정}$ 의 형태로 정의하고 주로 정가속도 및 진동에 대한 응력 변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 복합환경에 의한 가속시험을 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다.

Lason-Miler의 식은 $T(20 + \ln t_s) = \sigma$ 에 대해 일정한 형태로 정의하고 주로 정가속도에 대한 응력 변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 진동시험이나 복합 환경시험에 의한 가속시험을 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다.

1/2 승칙은 \sqrt{t} 의존성의 형태로 정의하고 주로 습도 및 온도에 대한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로 대부분 아레니우스식이나 Eyring, s Model을 더 많이 활용하고 있는 실정이다.

Electromigration은 $MTF = wt^m \exp(-\phi/kT)$ 혹은 $MTF = \alpha d^n$ (여기서 α 는 결정입경)의 형태로 정의하고 주로 전기적 환경에 대한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로 볼 때 온도차에 의한 결로 현상에 기인한 Electromigration 평가에 치중하고 있는 것이 현실이다[5].

상기내용에서 보는 바와 같이 모든 기본적인 이론전개의 방향이 실무와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 현 업무에 반영 될 수 있는 수식전개를 기본으로 전개되어야 한다는 명제하에 본 연구를 하였다.

시험 발생이 되는 Design 단계에서부터 시작하여 시험을 위한 시험계획의 수립 및 시료입수 등은 현업에서 가장 첨예하게 문제시되는 사항이므로 보다 객관적이고 실현가능한 범위에서 시험계획을 수립하고 시료를 입수관리 함으로서 시험초기에 발생하는 각종 문제점을 현실화 하고자 노력했다.

또한 시험이 실시되면서 어떻게 문제를 조기에 검출하고 개선해야 할지에 대해서는 시험실시 도중에 CAT(Computer Aided Test) 나 각종 Sensor를 이용하여 실시간에 발생하는 부품의 각종 문제점들을 검출하고 개선하고자 하였으며, 시험실시 이후에 발생하는 판정문제에 대해서는 정규분포를 이용하여 $\pm 3\sigma$ 관리 범위에 부품의 특성치가 존재하는 경우에 대하여 수입검사 혹은 인증 및 인정시험에서 적합 판정을 실시함으로써 단순히 시험평가결과에 의존하여 합부 판정을 함으로서 발생될 수 있는 제반문제점들을 제거하는데 역점을 두고 가속시험의 적용과 실시를 하였다.

특히 가속시험의 가장 현실적인 문제점인 고장 혹은 불량률의 재현성 문제에 대해서는 고장 물리적인 판단기준과 정규분포를 이용한 고장을 추정개념에 의한 판정기준을 동시에 적용시킴으로서 가속시험 결과가 정상적인 시험결과와 대비했을 때 단순히 시간에 대한 가속성을 확보함으로써 발생하는 제품 혹은 부품의 개발단계의 납기단축만을 목표로 하는 것이 아니라 제품 혹은 부품의 개발단계에서부터 신뢰성 확보를 위한 설계 문제점의 개선과 보완에 역점을 두고 실시한다는 것이다.

따라서 가속시험의 이론적인 배경은 기본적인 가속이론 및 Sampling이론, 통계적 공정관리이론, 정규분포이론, DR(Design Review)이론, 고장물리 및 고장해석에 관련된 제반이론과 경험에 의한 실무적인 내용들이 이론적인 배경으로 적용되었다.

2. 가속시험의 현장적용을 위한 응용형태 연구

1). n승 k도칙에 대한 응용형태 연구

n승 k도칙에 대한 현장적용을 위한 수식전개형태를 연구한 결과 전압 및 온도에 대한 사항까지는 보편적으로 적용되고 있고 증명된 사항이나 습도에 대한 사항이 제외되어

있어 이에 대한 문제 해결을 위해 n승 k도칙에 증기압을 산술적으로 대입하여 현장적용을 위한 기법을 정립하였다.

따라서 수식전개 형태는

$L_1=L_2 \times (P_2/P_1)^n \times (V_2/V_1)^a \times 2^{(T_2-T_1)/\theta}$ 의 형태로 전개되는데 이때 가속계수 $A=L_1/L_2$ 를 적용하였으며 P_2 는 시험시의 수증기압, P_1 은 사용조건인 대기압력 범위에 대한 수증기압력 수준, V_2 는 시험전압, V_1 은 정격전압, T_2 는 시험온도, T_1 은 사용온도범위를 적용하되 각각 절대온도인 273도를 합산한 DATA를 기준으로 산출했다.

이때 주의할 사항으로는 n 은 1.1, $\theta=10$, $a=6$ 정도를 적용하나 이러한 적용 상수는 일부 선진Maker의 경험치에 의한 Data 적용임을 밝혀둔다.

그러므로 n승 k도칙에 대한 현장적용 대상 Item으로는 AL전해콘덴서, Metallized Film Capacitor, 폴리에스테르+폴리프로필렌 Capacitor, 폴리에치렌 Capacitor 등의 Plastic Film Capacitor에 적용가능하며, 현실적으로 볼 때 수동소자류(저항기,콘덴서,코일류)에 적용가능한 수식으로 판단되며, 특히 Metallized Film Capacitor에 대한 Test 기법으로 적용되거나 적용하여 실질적인 부품 특성평가에 적용하고 있다.

<표 1> ECU 회로에 적용되는 각종 SMD 부품의 Ea값

silicon oxide -----	1.0	1.05eV
silicon-silicon oxide interface -----		1.3eV
metallization -----	0.5	1.2eV
bonds and other mechanical interfaces -----	1.0	1.05eV
metal penetration -----	1.4	1.6eV

상기 내용에서 보는 바와 같이 n승 k도칙의 적용을 위한 응용형태는 전압 및 온도 가속성만으로는 문제가 있어 기존의 가속Factor에 증기압을 추가함으로써 가속의 수준을 보다 종합적으로 향상시킨 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 사실들은 향후 현업적용에 있어서 명확한 근거자료로서 그 활용성이 높다고 하겠다.

n승 k도칙의 적용은 가속시험을 위한 시험 계획수립단계에서 보다 완벽한 계획입안과 시험진행을 위해서는 정확한 응용형태를 사전에 조사하고 연구하여 적용단계에서 발생될 수 있는 문제점을 미연에 제거하여 현업 적용을 하여야 하겠다.

2) Eyring Model 식에 대한 응용형태 연구

Eyring Model식의 현장적용을 위한 수식전개 형태를 연구한 결과 온도에 대한 사항은 보편적으로 그 적용성이 증명된 사항이나 전압, 습도, 기계적응력, 온도, 각종 Stress에 관련된 적용성 검토나 현장적용은 제외되어 있어 이에 대한 문제 해결을 위해 응용 Model식의 적용형태를 정립하였다.

따라서 수식전개 형태는 $A=a(kT/h) \times \exp(-E/kT) \times \exp\{f(S) \times (c+d/T)\}$ 의 형태로 전개되는데 여기서 ac,d는 각종 재료의 고유상수이거나 경험에 의한 정수값을 취하는 것으로 되어있으며, S는 온도 이외의 전기적 혹은 기계적인 stress를 나타내고 k는 Boltzmann정수 ($8.61 \times 10^{-5} \text{ eV/k}$)이고, E는 활성화 에너지이며 일반

적으로 0.6에서 0.8을 적용한다.

또한, 자동차 전장부품의 SMD 회로의 급격한 진전은 온도에 관련한 Activation Energy 값의 중요성을 더욱 증대시키고 있는 것이 현실이다.

본 연구에 필요한 ECU 회로에 적용되는 각종 SMD 부품의 Ea값을 <표 1>과 같이 정리하여 보았다.

상기 수식에서 h는 Planck 상수를 의미하고, T는 Eyring Model식에서 적용하는 '1/T, -1/T'의 형태로 변형하여 적용함으로써 시험온도와 정격온도 혹은 주위온도 혹은 적용온도와 비교치에 대한 Data추출이 용이하였다.

이때 주의할 사항은 각 부품의 재질별로 상이하게 발생하는 활성화 에너지값에 대한 사항이며, 실제로 현실적인 측면에서 접근한 결과로는 ac,d 값들이 Activation Energy값을 기본으로 적용되었을 때 가속조건의 성립이 명확해진다는 사실이다.

따라서 현업에서 이수식의 적용을 통해 취할 수 있는 이점은 다양한 재질로 조합된 부품이나 제품의 가속식을 유추하거나 실질적인 적용pattern을 규명하고자 할 경우 유용하다고 할 수 있다.

그러나 본 연구의 목적인 자동차 전장 부품과 전기, 전자부품에 대한 가속신뢰성 시험 기법에 관한 연구를 실시한다는 목적에 부합시킨다면 그 적용 범위가 주로 ECU, TCU, 각종 전장 UNIT 부품(Alternator, window motor 등), Hybrid IC, SMPS 및 각종Unit에 적용 가능할 것

으로 판단된다.

3. 현업적용을 위한 PATTERN 연구

자동차 전장 부품 및 전기, 전자부품에 대한 가속시험을 효과적으로 실시하기 위한 방편으로서 기존의 가속신뢰성시험 기본이론을 얼마나 잘 활용하여 적용할 수 있는냐 하는 것과, 기존수식의 문제점을 보완해서 보다더 종합적인 문제해결의 돌파구를 개척하느냐 하는 문제가 있다.

이러한 문제를 놓고 현업적용을 위한 가속식의 응용 PATTERN을 연구하는 단계에서 다음과 같은 응용 PATTERN을 전개할 수 있었다.

1. SMD 부품류의 가속시험을 위한 연구

1) SMD 부품류의 재질별 특성분류

SMD 부품의 재질은 다양한 형태로 적용되고 있으나, 최근의 추이를 분석하여 보면, SMT 시점의 신뢰성 향상을 위한 전제조건으로 Ceramic 계열의 소자를 대부분 선호하고 있으며, 실제로 급속하게 적용이 확산되는 상황이다.

예를들면 Power inductor의 경우 대부분 ceramic base를 응용하고 있는 실정이다.

일반 반도체 소자의 경우도 과거의 에폭시 수지 형태에서 발전하여 내흡습성이 강한 재질로 바뀌고 있으며, ESD 현상에 의한 부품

파괴를 고려한 설계 형태가 적용되면서 재질의 다양한 적용 형태가 보편화되고 있다.

수동소자의 경우는 저항류의 경우 재질이 거의 알루미늄나 소체를 적용하기도 하지만 다양한 재질적용이 시도되고 있으며, 캐패시터의 경우는 회로의 시정수를 결정짓는 중요한 부품으로서의 특성 때문에 상세한 접근을 시도하여 보았다.

Capacitor의 형태를 제조형태에 의해 분류하는데, 예를 들면 권취형인지, 아니면 증착형인지 등을 분류한다. 이때 주의해야 할 사항으로는 각각의 부품별로 지니는 특성치의 대부분이 이러한 기본적인 제조형태와 제조공정의 산포에 의해 결정되므로 신중하게 분류해야 한다. 재질에 따른 분류형태는 AL전해 컨덴서, Tantal 컨덴서, 폴리에스텔 + 폴리프로필렌 Film Capacitor, 폴리에스텔 + 폴리카보네이트 Film Capacitor, 폴리에스텔 + 종이 Film Capacitor, 폴리프로필렌 + 폴리카보네이트 Film Capacitor, 폴리에치렌 Film Capacitor, 폴리스로판 Film Capacitor, 폴리프로필렌 + 종이 Film Capacitor, 폴리페니렌 슬쉬트 Film Capacitor, 폴리카보네이트 + 종이 Film Capacitor, 폴리에스텔 Film Capacitor, 폴리프로필렌 Film Capacitor, 폴리스치렌 Film Capacitor, 폴리테트라 프로에칠렌 Film Capacitor, 폴리카보네이트 Film Capacitor, Metallized 폴리에스터 Film Capacitor, Metallized 폴리프로필렌 Film Capacitor 등으로 분류되며, 각 재질에 따라 사용온도범위가 다르게 분포한다.

2) SMD 부품의 환경 Stress Factor 분석

SMD 부품의 환경 Stress Factor는 온도, 습도, 전압, 증기압, 진동으로 분류할 수 있으며, 온도의 경우는 부품에 인가되는 전압에 의한 Joule 열 형태의 발열에 의한 온도발생 및 아레니우스 10도칙에 의한 수명반감 현상 유발에 중점을 둔다.

습도의 경우는 부품재료의 함유 수분량의 증가시에 유전정접 Tan δ값의 정비례 관계로 인한 특성저하 등, SMD 부품 제조시 에폭시 도포이후 혹은 Molding이후에 실시되는 건조, 함침 조건 등이 충분치 못하여 발생하는 수분의 내부잔류와 기포잔류로 인한 Corona현상 발생 및 Gas발생, 절연체의 Void발생 등으로 절연파괴가 발생할 수 있으며, 기판 혹은 내부회로에 잔류하는 습기로 인한 migration 현상의 발생은 unit 부품에 치명적인 문제의 유발과 함께, 부품의 수명을 급격하게 반감시키므로, 흡습에 의한 부품 수명이 반감되는 부분에 역점을 둔다.

전압의 경우는 일반적으로 SMD 부품에서 가장 중요한 Stress Factor로 인식되어있고, SMD 부품의 Stress하면 대부분이 전압을 거론할 정도이지만 최근에는 각종 전장품(ECU, TCU 등) 제조업체의 회로내부 Stress Margin 관리 강화 및 적절한 대책수립으로 인해 이러한 문제점은 점차 제거되고 있는 실정이다. 그러나 중요한 사실은 파괴전압(DC Kv/mil)의 내재된 문제점과 부품간의 간격이 극도로 가까워지면서 migration 현상에 의한 SMD 부품

의 수명 및 내구성에 결정적인 영향을 끼친다는 부분에 역점을 두어야 한다.

증기압의 경우는 기본적으로 습도에 의한 불량 Mode와 온도에 의한 불량 Mode의 복합적인 형태로 발생되나, 압력증가에 따른 수명 가속이 유발된다는 점에 역점을 둔다.

3) 시험계획 수립

시험계획수립 단계에서 적용되는 이론으로는 실험계획법에 의한 접근방법을 사용했으며, 특히 2⁴형 교각법을 적용하여 실험계획을 수립하였다. 이때 각각의 재질별로 발생하는 문제의 유형을 확인하기 위해 각기 다른 공정에서 Sampling한 시료를 대상으로 동일한 시험조건을 적용하여 실시하되 각 재질별로 발생하는 교호작용을 확인하기 위해 다음의 수식을 적용했다.

$$\begin{aligned}
 & ABCD \\
 & = 1/2^{4+1} [(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)] \\
 & = 1/8 \{ [(1)+ab+ac+ad+bc+bd+cd+abcd] \\
 & \quad - (a+b+c+d+abc+abd+acd+bcd) \} \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서 주의해야 할 사항으로는 부품의 각 부위별 재질변경 혹은 구조적인 Design변경에 의한 사항에 대해 상세한 이력을 가지고 적용성을 검토했다는 점이다[6].

4) 시험을 위한 Sampling

수립된 계획에 근거하여 Sampling을 실시하였으며, 이때 소비자 위험부담율에 기준을 두고 LTPD 혹은 LTFR 5%를 Sampling 기준으

로 하였으며, 적합성 여부에 대한 판단기준은 현실적인 문제로 인해 $C=0$ 판정을 실시한다.

LTPD 5%를 선정하게된 이유로는 대부분의 SMD 부품류 특히 수동소자에 해당되는 R,L,C부품에 대한 현업에서의 소요량이 월별 기준으로 볼 때 국내 전체 사용량이 수억개 혹은 수십억개 단위로 사용되고 있어 소시료 시험에 의한 판정 혹은 산포평가, 특성의 상관관계 분석등은 Data의 오류를 유발시키기 때문에 가장 최적의 산포 개념을 적용할 수 있는 수준으로 선택했다[7].

따라서 시료는 각 특성치 항목별로 45개를 취하였으며, Sampling방법은 Random Sampling 방법을 적용했다. 단, 가속시험을 실시하기 위한 전제 조건하에서 별도로 여분의 시료를 확보하였다는 점을 밝혀둔다.

5) 시험조건의 설정

시험조건은 항온 항습 시험을 실시하는 과정에서 Chamber내에서 사용하는 물의 형태 및 인가되는 전압의 형태, 시험도중에 시료 특성치의 변화량을 판단할 수 있는 형태 등을 고려하여 조건설정을 실시했으며, 물의 사용은 주로 DI-Water를 사용하였고, 전압의 안정성을 확보하기 위해 AVR을 통한 DC POWER SUPPLY의 적용을 실시하였으며, 시험도중에 시료의 특성치 확인을 위한 방편으로서 각종 Sensor를 이용한 온도(온도의 경우는 TC선을 사용함), 전압, 전류의 변화량을 측정하였다.

6) 가속시험을 위한 적용 Model식

SMD 부품류의 가속시험을 위한 적용 Model식으로는 2가지 형태를 적용하였으며, 다음과 같은 응용수식의 적용에 의해 시험방법을 설정하게 되었다.

$$A = \exp \{-B/k(1/T_1 - 1/T_2) + C(S_1 + S_2) + D/k(S_1/T_1 - S_2/T_2)\} \quad (4)$$

$$A = \exp \{Ea/k(1/T_1 - 1/T_2)\} \times \exp \{C(1/RH_1 - 1/RH_2)\} \quad (5)$$

상기 수식에서 각종 상수는 B와 Ea의 경우는 동일한 값으로 처리하여 0.7 eV를 적용하였으며, C값은 304를 적용하고, S_1 은 1.0(100%)를 적용하고, S_2 는 1.4(140%)를 적용하였다. T_1 은 절대온도(273°C)+사용온도조건을 적용하였으며, T_2 는 절대온도+시험온도조건을 적용하였다. 단, D값은 0.6 eV에서 0.8eV까지 가변하여 적용하였다.

상기 적용 Model식을 기준으로 가속시험에 대한 수식전개부분의 타당성을 정의한 이후에 시험보증시간을 산출하기 위한 절차로서 $\lambda = 1/T$ 의 조건을 활용하여 시험보증시간은 사용기간과 가속계수의 상관관계를 이용하여 구하면 다음과 같은 형태로 전개시킬 수 있다.

즉, 시험보증시간 = 사용기간/가속계수 (A)의 형태로 전개시킬 수 있다.

7) 가속식 적용에 의한 시험조건 규명결과

일반적인 자동차 전장품의 In Case 온도가 45°C에서 130°C에 분포한다는 사실을 근거로 하여 사용온도는 45°C—130°C를 적용하고, 부품단체로 보았을 때 가장 가속성이 있다고

판단되는(주로 Epoxy재질의 습도침투온도 기준) 120°C를 적용했으며, 습도의 경우는 사용 습도조건을 60%RH, 시험을 위한 습도조건은 하절기에 노출될 수 있는 습도조건인 85% RH조건을 적용했다.

이때 가속계수는 176.6정도로 산출되었으며, 10년 보증을 기본으로 볼 때 사용기간을 '10년×365일×8시간'을 적용하였다. 따라서 시험보증시간은 165.3시간이 산출됨을 확인할 수 있었다.

그러므로 현업에서 시험을 위한 조건 적용 시 85°C에서 120°C, 85% RH에 정격전압의 140%의 전압을 인가하여 165시간 수준으로 시험을 실시할 경우 10년을 보증할 수 있다는 결론에 도달하게된다. 단, 가속시험을 실시하고 난 이후에 그 적합성 여부를 검증하기 위하여 $\pm 3\sigma$ 개념의 산포를 분명히 확인해야 하며, 이때 특성치의 분포가 관리범위를 벗어나는 정도가 불규칙하거나 정규분포하지 않을 때는 적합성이 없다고 판단하고 재시험을 실시하거나 가속기법의 적용을 재검토해야 한다.

4. 결 론

SMD 부품 전반에 대한 가속시험을 위한 기법으로서는 다양한 논리적인 접근방법이 있다. 특히 일부 선진업체에서 적용하고 있는 가속시험을 위한 Robust Design측면의 시험 전 단계 Parameter설계에 의한 방법과 각종 신뢰

성 시험에 의한 경험적인 접근 방법등이 있으나, 현실적으로 문제해결의 난해성과 현업에서의 시간적인 문제 등이 복합적으로 작용하기 때문에 그 적용이 제한되어있어 어떻게 하면 보다 쉽게 빠른 시간에 가속시험을 경제적으로 실시할 수 있는가 하는 문제에 집착하여 본 연구를 시행한 결과 아레니우스의 10도칙과 Eyring Model식을 동시에 활용하여 그 응용형태를 유추하고 검증함으로써 이러한 고민들이 해소되었다.

특히 가속시험을 실시하는데 있어서 각재질의 분자량의 크기와 활성화 에너지값의 크기가 중요한 결정요소로 작용했다.

또한, 초 가속시험을 실시한 이후의 현장 개선을 위한 Six Sigma, QS 9000, SPC, FMEA, FTA, PLP 등의 연동 체계는 이제현업에서 고려하지 않을 수 없는 현실 문제로 인식되고 있으며, 지속적인 발전이 필요한 단계로 진입하고 있다.

따라서, 향후 초 가속시험을 실시하는데 있어서 보다 풍부한 현업적용 형태의 연구가 필요하리라고 보며, 문제해결의 도구로서가 아닌 실질적인 기술개발의 원론적인 분야로서 가속시험이 논의되기를 희망한다.

참 고 문 헌

- [1] E.Tsunashima : IEEE Trans. CHMT, Vol. CHMT-1, No.2, pp.182-186, 1978
- [2] K.Sato, Y.Ogata, K.Ohano and H.Ikeo : 18th Reliability Physics, pp. 205-212, 1980

-
- [3] IBM : IEEE Trans 1989
[4] Three Caps : Environment Reliability Test for Electronic Parts and Electronic Equipment, 1992
[5] Tree Caps : Acceleration Test for RLC Components, 1992
[6] Beyond Total Quality Management : toward the emerging paradigm, 1994
[7] MIL-S-19500
[8] Riability and Degradation of Semiconductor Laser and Leds, 1991
[9] The vision of Six Sigma : A Roadmap for Breakthrough, 1994
-