

환경물질을 제외한 전자부품의 신뢰성평가 방법 연구 -Pb와 Br을 제거한 PWB를 중심으로-

이종범* · 조재립**

*한국표준협회 신뢰성기술경영연구원 팀장, **경희대학교 산업공학과 교수

Reliability Assessment Methods for Electronic Component Removed Environmental Materials - focused on Printed Wiring Board without Pb and Br -

Jong-Beom Lee, Ph.D.* · Jai-Rip Cho, Ph.D.**

*Reliability Engineering Management Institute, KSA,

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

Key words : 가속수명시험, 신뢰성시험, 초가속신뢰성시험, 환경물질, 환경물질의 사용신뢰성, 환경물질의 제조신뢰성, ALT, FMEA, FMECA, FTA, HALT, HASS, HAST.

Abstract

The environmental problem is a main subject of the 21C and an environment destruction phenomenon by various kinds of environmental materials is reaching serious

level. Nations to be classified as the environmental developed country, are born again environmental rich country.

And they earn a large income by trade Every kind environmental resource in an international commercial transaction.

Especially, the study that a reliability assessment method to prevent to reliability problem to be happened when the solder lead(lead-free solder), non-cd component, non-bromide component(without the polybrominated biphenyls(PBB) and polybrominated diphenyl ethers(PBDE))and hexavalent chromium(Cr VI) clearance component and mercury-free applied to electronic equipment is progressed.

As the result of the study for applying of a reliability assessment technique of lead-free solder that recognized the most of urgent problem at the company, combination accelerated life test could taken by adding and applying the part of a humidity acceleration part to Eyring Model which is proposed by R.E.Thomas.

The reliability assessment methods study of PWB clean environmental materials is expected to respond to a reliability elevation and environmental material regulation policy spreading all over the world by beginning from Europe.

I. 서 론

PWB에서 환경규제 물질을 제거한다는 것은 PWB의 신뢰성을 약화시키는 것을 의미한다. 기업입장에서 환경물질을 제거한다는 사실은 부품 및 자재의 원가상승과 직결되는 문제로 인식되어 있으며, 이러한 문제로 인해 환경 대체 물질의 개발이 지연되거나 관련된 평가방법까지도 거의 연구되지 못한 실정에 있다. PWB에 포함되어 있는 환경규제물질의 형태는 납, 6가 크롬, 브롬계 화합물질, 카드뮴(백업용 배터리를 사용하는 PWB의 경우) 등이며, 이러한 환경물질을 제거한 이후의 PWB에 대한 신뢰성평가 방법으로는 기존의 IEC 규정이나, JIS, KS 등의 규격에 명시되어 있는 시험방법에 준하여 시험 및 평가를 진행 할 수 있으나, 시험 및 평가기간이 많이 소요되는 문제로 인하여 현장에 적용하기에는 부적합 한 것으로 알려져 있다.

가장 짧은 기간에 PWB의 문제점을 파악하고 환경물질의 제거유무를 판단 할 수 있는 방법론으로 논의된 형태가 가속수명시험과 초가속수명시험이며, 이러한 가속수명시험을 현장에서 환경물질을 제거한 제품 및 PWB에 적용 할 수 있는 응용평가모델을 연구함으로써 기업현장에서 오랫동안 환경물질이 포함된 부품 및 제품을 적용하면서 몰랐던 잠재적 고장 형태의 도출에 많은 도움을 줄 것으로 판단된다. 항상 가속수명시험은 부품수준에서 실시하는 것이 좋은 방법론이라는 고정관념을 깨뜨림으로서 PWB와 같이 복합적인

부품으로 이루어진 ASS'Y 영역과 제품영역까지 가속수명시험에 근거해서 평가 할 수 있다는 가능성을 열었다는 것에 대해 의미가 있다고 판단된다.

PWB에서 가장 취약한 Stress 수준을 확인할 수 있는 방법론과 환경대체물질 적용 및 제조공정개선을 위한 원가관리를 FMEA 혹은 FMECA를 통하여 접근할 수 있는 방법을 연구함으로써 FMEA 실행 결과에서 도출된 주요 스트레스를 가속수명시험(ALT)에 의해 한계수명에 도달 가능한 요인들을 평가함으로써 파괴상한영역과 파괴하한영역의 선정을 쉽게 설정할 수 있게 되어 정상 사용조건에서의 수명을 쉽게 추정하게 된다.

따라서 가속수명시험(ALT)조건으로부터 초가속수명시험(HALT)을 수행 할 수 있는 신뢰성시험 프로파일을 추론 할 수 있으며, 이렇게 추론된 시험 프로파일을 토대로 초가속수명시험(HALT)을 실행함으로써 HALT기법을 활용하여 PWB 혹은 제품의 수명시험을 최단기간에 달성 할 수 있는 방법론을 제시하였다는데 본 연구의 의의가 있다.

II. 이론적 배경

1. 환경물질 신뢰성 평가의 이론적 고찰

환경물질에 대한 신뢰성 평가를 실현하고, 빠른 기간내에 문제점을 검출 및 평가함으로써 원·부자재의 신뢰성을 개선함과 동시에 부품설계 및 제품설계의 오류를 단기간 내에 개선하여 부품과 제품의 신뢰성을 동시에 높이는데 역점을 두고 다음과 같이 환경물질에 대한 신뢰성 평가 기법을 전개해야 한다.

따라서 신뢰성평가기법의 다양한 분야 가운데서도 가속모델의 적용이 중요하며, 다음과 같은 가속모델을 적용할 수 있다.

가속이론의 기본적인 개념은 적용분야에 따라서 조금씩 다르게 나타나고 있고 이론적 기초는 Stress로부터 출발하기 때문에 환경물질의 핵심적인 Stress Factor가 어떤 것이 존재하는가를 명확하게 이해하고 적용할 필요가 있다.

즉, 전기적인 Stress의 경우는 식(2.1)의 경우처럼 역누승(inverse power relationship) 모델을 적용할 수 있는데 정상적인 사용전압을 가속화 하고자 하는 시험전압으로 나눈 값이 전기적인 스트레스에 의한 가속화 Parameter가 되는 것을 알 수 있다.

(Wayne Nelson,(1990)[40])

$$\gamma(V) = \frac{A}{V^{\gamma_1}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\gamma(V) = \frac{A'}{V^{\gamma_1}} \ \& \ \gamma(V) = A'' \left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

상기 수식(2.2)에서 γ 는 정상수명, V 는 스트레스 변수를 의미하며, A 와 γ_1 은 제품특성 파라미터이며, 특히 γ_1 은 누승(power) 혹은 먹지수(exponent)로 부른다. $\gamma(V)$ 는 전기적 스트레스 상황에서의 가속수명을 의미하고, A' 은 추정되는 전압조건에서의 정상수명을 의미한다. V 는 주어진 스트레스 상황에서의 전압스트레스를 의미하고, 가속된 전압조건에서의 수명으로 볼 수 있다. γ_1 은 전압스트레스 조건에서의 해당제품의 누승 값을 의미한다.

전자과 부문 Stress의 경우는 식(2.3)의 경우처럼 정상적인 전자과 내성(Immunity)을 가속화 하고자 하는 전자과 내성으로 나눈 값이 전자과적인 스트레스에 의한 가속화 Parameter가 된다.(回路部品の故障モードと加速試験, トリケップ,(1992)[41])

$$A_I = \left(\frac{I_n}{I_a} \right)^P \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서 A_I 는 전자과 스트레스 상황에서의 가속수명을 의미하고, I_n 은 정상적인 전자과 내성조건에서의 수명, I_a 는 가속된 전자과 내성조건에서의 수명을 의미하고, P 는 전자과 스트레스 조건에서의 해당제품의 누승 값을 의미한다.

화학적인 부문의 Stress의 경우는 식(2.4)의 경우처럼 정상적인 C 화합물질의 농도를 가진 사용물질을 가속화 하고자 하는 화학물질로 나눈 값이 화학적인 스트레스에 의한 가속화 Parameter가 된다.(高分子 材料の壽命の豫測, トリケップ,(1992)[42])

$$A_c = \left(\frac{C_{xn}}{C_{xa}} \right)^n \left(\frac{C_{yn}}{C_{ya}} \right)^m \dots\dots\dots (2.4)$$

따라서, 정상적인 환경물질의 일반적인 환경에서의 생분해 혹은 자연으로 회귀하는데 소요되는 각종 시간 및 반응한계를 짧은 기간내에 가속화 시험을 통하여 문제점을 파악하고 확인함으로써 향후 인류에게 닥칠 각종 재앙 및 환경문제로부터 안전영역을 확보 하고자 한다.

이러한 관점에서 본다면 아레니우스의 10도칙이나, Eyring Model식, Robinson의 선형누적손상식, Miner의 선형손상칙, n승 k도칙, Coffin-Manson의 관계식 Larson-Miler의 식, 1/2승칙, Griffith의 식, Electro-migration현상 등은 가속시험기법을 보다 구체화하고 논리적으로 접근하는데 있어 많은 도움을 주었으며, 이론적인 바탕이 되고 있다. (Elsayed A. Elsayed,(1996)[35])

마쓰시다전자부품(주)에서는 1990년대 초에 이미 전압, 온도, 증기압을 동시에 인가하는 복합 가속시험조건식을 실험식인 (2.5)의 수식형태로 적용하고 있었으며, 수식의 전개 형태는 다음과 같다.

$$L_1 = L_2 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^n \times \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^a \times 2^{\left[\left(\frac{T_2 - T_1}{\theta} \right) \right]} \dots\dots\dots (2.5)$$

여기서 L_1 은 수증기압 P_1 , 전압 V_1 , 온도 T_1 시점의 수명을 의미하고, L_2 은 수증기압 P_2 , 전압 V_2 , 온도 T_2 시점의 수명을 의미한다. n 은 수증기압에 대한 가속계수이다. 단, a 는 전압에 대한 가속계수이고, θ 는 온도계수를 의미한다.

일반적으로 국내 자동차 전장부품 및 전기·전자 업계에서 환경부문의 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 나타나게 된 주된 원인은 각종 환경Factor에 대한 이해부족에 의한 것으로 판단된다. 예를 들어서 온도와 습도에 대한 환경 영향도를 분석하여 보면, 어떤 환경물질에 대해 왜 고온, 고습시험을 실시해야 하는가 하는 문제를 이해하게 되며 그에 대한 적합한 시험의 타당성을 확인할 수 있게 된다는 사실이다.

즉, 수출을 많이 하는 제품이라면 전 세계 각 지역별 환경물질규제와 저온 및 고온특성에 의해 문제시 되는 현황 파악과 환경 분석부터 실시한 이후에 시험평가를 위한 시험조건을 설정해야 할 것이라는 판단이다.

극한랭지대의 경우 온도분포는 -70°C 에서 $+35^{\circ}\text{C}$ 까지 분포하며, 습도는 95%RH수준에 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 고온고습시험을 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 진전되고 있는 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 환경물질의 가속시험을 위한 기본이론의 적용을 연구하였으며, 각각의 기본이론들을 어떻게 응용해야하는가에 고찰하였다.

특히 온도에 대한 의존성이 있는 경우의 가속은 일반적으로 식 (2.6) 및 (2.7)의 Arrhenius's model과 Eyring's model에 따르는데 다음과 같다.

(Elsayed A. Elsayed,(1996)[35])

$$L_2 = L_1 \exp\left\{-\frac{E}{k}\left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A}\right)\right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$L_2 = L_1 \left(\frac{T_N}{T_A}\right) \exp\left\{-\frac{E}{k}\left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A}\right) + \left\{ \begin{array}{l} + C(S_N - S_A) + \\ + \frac{D}{k}\left(\frac{S_N}{T_N} - \frac{S_A}{T_A}\right) \end{array} \right\}\right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

여기서 E, D는 활성화 에너지(Activation Energy; Ea)값을 의미하며, C는 재질의 상수, k는 Boltzmann정수 $8.6159 \times 10^{-5} eV/^{\circ}k$ 를 의미한다. L_1 은 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +사용온도 T_N 에서의 수명이고 L_2 는 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +가속시험온도 T_A 에서의 수명이다. T_N 은 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +정상사용온도를 의미하며, T_A 는 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +가속시험온도를 의미한다. S_N 은 정상사용 스트레스를 의미하며, S_A 는 가속시험 스트레스조건을 의미한다.

본 연구에서 적용한 응용의 범위는 식(2.6)와 식(2.7)를 혼합한 형태를 적용하여 전기, 전자부품 및 제품의 가속수식을 결정하였으며, 인가 스트레스는 온도와 습도 그리고 전기적인 STRESS로 규정하고 접근함으로써 그적용에 있어서 보편적이면서 논리적인 접근을 시도하였고, 향후 전개될 각종 가속식의 응용 범위를 확대 하고자 노력했다.

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

가장 보편적으로 알려진 가속이론의 기본적인 범주를 확인해 보면 다음과 같으며 이러한 기본수식을 응용하여 적용범위를 설정하고 시험을 통하여 규정화 하고 있다.

n승 k도 모델은 (2.8)의 수식으로 정의하고, 여기서 V_1 은 정상사용조건에서의 전압 값을 의미하고, V_2 는 가속시험조건에서의 전압 값을, T_1 은 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +정상사용온도를 의미하며, T_2 는 $273.16^{\circ}K$ +가속시험온도, k는 볼츠만 상수 값으로 $8.6159 \times 10^{-5} eV/^{\circ}k$ 를 의미한다.

$$L_2 = L_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n \times \frac{2(T_1 - T_2)}{k} \dots\dots\dots (2.8)$$

주로 종이프라스틱 마일러 콘덴서 (n = 4 ~ 6), 세라믹 콘덴서 (n = 3, k = 10), Glass콘덴서 (n = 2.5, k = 20), 박형Tantal콘덴서 (n = 5, 10), 고체Tantal콘덴서 (n = 4 ~ 5 , k = 10), 마이카 콘덴서 (k = 50) 등으로 확인되고 있으며, 주로 전압과 온도에 의존하는 경우에 적용되는 것으로 되어있다.(越川清重,(1990)[43])

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

Eyring's Model은 수식(2.9)의 형태로 정의하며, 주로 복합환경조건에 적용하기에 적합한 수식으로 알려져 있으며, 다양한 응용이 가능한 수식으로 현업에서 가장 많이 활용하는 수식가운데 하나이다. 여기서 T_1 은 절대온도 $273.16^{\circ}K$ +정상사용온도를 의미하며, T_2 는 $273.16^{\circ}K$ +가속시험온도, k는 볼츠만 상수값으로 $8.6159 \times 10^{-5} eV/^{\circ}k$ 를, S_1 은 정상사용조건에서의 스트레스, S_2 는 가속시험스트레스, E, C, D는 재질상수 혹은 해당물질의 활성화 에너지(Activation Energy; Ea)값을 의미한다. Eyring's model은 주로 수지, 반도체 수명

의 온도 및 Stress에 의존하는 경우에 적용되는 것으로 되어있으며, 현업 적용 단계에서는 각각의 상이한 재질에 대한 문제점을 도출하기위한 대안으로서 적용하고 있으나 실제로는 Arrhenius's Model과 결합한 형태의 가속 Model식을 더 많이 적용하고 있다. (Elsayed A. Elsayed,(1996)[35])

$$L_2 = L_1 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \exp \frac{-E}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + C(S_1 - S_2) + \frac{D}{k} \left(\frac{S_1}{T_1} - \frac{S_2}{T_2} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

여기서 E,C,D는 각각 다른 물질을 의미하며, 수식의 기본 형태는 Arrhenius Combination Model과 유사하나 수식의 전개와 물질의 구성에서 상당한 차이를 보이고 있으므로, 각기 다른 환경물질들에 대한 유해성 및 유효수명 평가에 도움이 될 것으로 본다.

Miner 선형 손상칙은 수식(2.10)의 형태로 정의되며, 주로 금속재료의 피로파괴에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 개념의 모호성 때문에 Robinson의 선형누적손상식을 적용하고 있다.

$$\sum_{i=1}^n N_i \times S_i = 1 \dots\dots\dots (2.10)$$

그러나 Miner 모델을 적용할 경우 각종 무연(Lead-Free)Solder의 PCB상의 내구성 및 신뢰성 평가가 가능하리라고 판단된다. 환경물질의 규제 환경을 고려 할 때 제품의 Controller의 핵심부품에 해당되는 PCB의 내구수명 보증에 따른 환경물질을 관리하고, 개선하려면 철저한 환경 신뢰성평가가 필요로 하게 되는데 이때 적용성의 범주를 결정하기 위한 대안으로써 Miner 모델의 적용이 필요하다고 본다.

특히, 온도의 변동조건하에서 Creep수명평가에 대한 제안은 Robinson의 선형누적 손상칙에 준하여 각 온도 Level의 수명소비율 합이 '1'이 되었을 때 파단이 발생하는 것을 관계식으로 규명해서 적용하고 있다.(高分子 材料の壽命の豫測,トリケップ, (1992)[42])

Coffin-Manson의 관계식은 (2.11)식의 형태로 정의하고 주로 정가속도 및 진동에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 복합 환경에 의한 가속시험을 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다. (高分子材料の壽命の豫測,トリケップ, (1992)[42])

$$\Delta r t \times N f^a = \text{일정} \dots\dots\dots (2.11)$$

Larson - Miler의 식은 (2.12)의 형태로 정의하고 주로 정가속도에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 진동시험이나 복합환경시험에 의한 가속시험을 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다.

$$T(20 + \ln t_3) = \sigma \text{에 대해 일정} \dots\dots\dots (2.12)$$

1 / 2 승칙은 \sqrt{t} 의존성 의 형태로 정의하고 주로 습도 및 온도에 대한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로 대부분 아레니우스식이나 Eyring's Model을 더 많이 활용하고 있는 실정이다.

Electro-migration은 수식(2.13)의 형태로 정의하고 주로 전기적 환경에 대한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로 볼 때 온도차에 의한 결로현상에 기인한 Electro-migration 평가에 치중하고 있는 것이 현실이다.(Elsayed A.Elsayed,(1996)[35])

$$MTF = \frac{wt}{j^n} \exp\left(\frac{\psi}{kT}\right) \text{ 혹은 } MTF = ad^n \text{ (여기서 } a \text{는 결정입경)} \dots\dots\dots (2.13)$$

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

시험 발생이 되는 Design 단계에서부터 시작하여 시험을 위한 시험계획의 수립 및 시료 입수 등은 현업에서 가장 첨예하게 문제시 되는 사항이므로 보다 객관적이고 실현가능한 범위에서 시험계획을 수립하고 시료를 입수관리 함으로서 시험초기에 발생하는 각종 문제점을 현실화 하고자 하는 노력을 하여야 한다.

또한 시험이 실시되면서 어떻게 문제를 조기에 검출하고 개선해야 할지에 대해서는 시험실시 도중에 CAT (Computer Aided Test)나 각종 Sensor를 이용하여 실시간에 발생되는 부품의 각종 문제점들을 검출하고 개선하여야 하며, 시험실시 이후에 발생하는 판정 문제에 대해서는 정규분포를 이용하여 $\pm 3\sigma$ 관리범위의 장기공정관리 측면에서 부품의 특성치가 존재하는 경우에 대하여 수입검사 혹은 인증 및 인정시험에서 합부판정을 실시함으로서 제조 공정중에 발생하는 환경물질의 유입과 변형에 대한 조사와 공정 내부의 평가가 동시에 수반되어야 하며, 단순히 시험평가결과에만 의존하여 합부판정을 함으로서 발생될 수 있는 제반 문제점들을 제거하는데 역점을 두고 환경물질에 대한 가속시험의 실시를 하여야한다.

Arrhenius Combination Model의 경우는 수식(2.14)의 형태로 정의되며, 온도, 습도 및 전압 스트레스에 대한 가속 factor를 산출하는 목적으로 활용되는 수식이다. 1984년 Kececioglu 와 Jacks의 Inverse power rule 모델, 1983년 Gunn, Camenga, and Malik의 상대습도 및 전압조건 모델식과 Arrhenius 반응속도론 모델을 조합한 Combination Model로써 환경물질이 온도와 전압의 조합에 의해 반응할 때 발생하는 각종 문제점을 규명하고, 개선하는데 유용한 가속모델식이 될 것으로 판단된다.

$$A_F = \frac{t_N}{t_A} = \frac{v_N}{v_A} e^{\frac{E_a}{k} \left[\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A} \right] - \beta \left[\frac{1}{RH_N} - \frac{1}{RH_A} \right]} \dots\dots\dots (2.14)$$

물론 기본 모델식은 (2.15)식으로부터 도출된 것이며, 여기서 L_N 는 정상작동조건 수명,

L_A 는 가속스트레스조건에서의 수명, V_N 는 정상작동전압, V_A 는 가속스트레스 전압, T_N 는 정상작동온도, T_A 는 가속스트레스 온도를 의미한다.

$$\frac{L_N}{L_A} = \left(\frac{V_N}{V_A} \right)^{-n} \exp \left[E_a / k \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A} \right) - \beta \left(\frac{1}{RH_N} - \frac{1}{RH_A} \right) \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Fatigue Failures Model식은 (2.16)식의 형태로 정의되며 환경물질의 Creep특성이나 열팽창에 의한 열적 혹은 기계적인 피로현상에 대한 가속수명을 평가할 때 적용하는 모델식으로서 1993년 Engelmaier(1993)가 발표한 Model을 적용할 수 있다.

$$N_f(x\%) = \frac{1}{2} \left[\frac{2\epsilon}{F} \frac{h}{L_D \Delta_\alpha \Delta T_e} \right]^{-\frac{1}{c}} \times \left[\frac{\ln(1-0.01x)}{\ln(0.5)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots (2.16)$$

여기서 $N_f(x\%)$ 는 x 퍼센터 피로수명에 대한 반복회수를 의미하고, ϵ 은 Solder의 연성, F는 실험인자 h와 L_D 는 Solder의 부착치수, Δ_α 는 열팽창계수(CTE)값을 의미하는데 이값은 재질별로 다르게 분포한다, ΔT_e 는 유효한 열적 Cycling 범위를 의미한다.

상기 수식 이외에도 수많은 가속모델식이 존재하고 있으며, 최근에는 각 기업별로 회사의 수익성 극대화를 위한 대안으로써 가속모델을 연구개발하거나 현장에 적용하는 것이 보편화 되고 있다.

환경물질의 신뢰성 평가는 1차적으로는 물질의 안전성을 일정기간 동안 어떻게 확보할 것인가라는 관점과 이미 사용되어지고 있는 환경물질을 어떻게 안전하게 사용하게 할 것인가라는 관점에서 접근이 되어야 하며, 2차적으로는 환경물질의 유효사용기간을 유통단계이전에 통계적으로 예측함으로써 사용자에게 대한 환경물질의 유효성을 인식시킴과 동시에 환경물질의 위해성이 일정기간 동안 어떻게 영향을 미칠 수 있는가를 공시함으로써 국민 개개인이 환경물질이 자연생태계와 인체에 어떤 영향을 미칠 수 있는가를 깨달게 함으로써 이미 사용되어지고 있는 환경물질로 인한 확대 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

환경물질의 신뢰성평가를 실시하는 가장 중요한 이유로는 국민의 안전과 국민생활의 위해로부터 안정성 확보가 가장 중요하며, 이를 실행하기 위한 대안으로서 신뢰성평가 기법의 적용과 장기간에 발생하는 환경물질의 특성을 사전에 파악하고 대처하기 위한 가속수명시험 및 HALT방법론 등의 새로운 환경 물질에 대한 신뢰성평가 기법의 개발과 적용이 절실한 상황이다.

이미 국가의 천년대계를 위한 각종 프로젝트가 시행중이거나 시작단계이기는 하지만 환경문제에 대한 범국가적인 대책수립이 전제되지 않고서는 산업기반의 존립조차 위태로울 상황이라는 사실에 주목해야 하며, 이러한 현실적인 상황을 기반으로 볼 때 환경문제의 적극적인 개선 대안과 지속가능성개발이라는 국제사회의 준엄한 산업정책에 동참하기 위한 대안으로서 환경물질의 신뢰성 평가기법의 현장적용은 중요한 정책적인 사안이 될 것

으로 판단된다.

따라서 환경물질의 본질적인 문제를 인식하고, 문제의 본질에 근접한 개념에서 환경물질의 신뢰성 평가가 이루어져야 하므로 다음의 절차를 만족하여야 하겠다.

- (1) 먼저 유해환경별 스트레스에 대한 정의가 이루어져야 한다.
- (2) 고객이 사용환경에 위해를 가하지 않기 위한 조건을 찾아야 한다.
- (3) 환경물질에 대한 특성을 정의해야 한다.
- (4) 인체상의 위해요소를 정의하고, 개념을 정확히 분석해야 한다.
- (5) PHA를 실행함으로써 환경적인 위해 요인을 계량화 하여야 한다.
- (6) SHA를 실행함으로써 예비단계환경위해 요인들을 시스템적인관점에서 분석하고 계량화 하여야 한다.
- (7) Health Care FMEA를 실행함으로써 환경상의 위해요인 분석은 물론 PL(제조물책임)관점의 문제점 개선을 실행함으로써 근원적인 위험 요소제거를 위한 노력을 하여야 한다.
- (8) 위해요인에 대한 통계처리를 실행하여야하며, 환경 및 신뢰성 측면의 통계분석에 근거하는 문제 해결을 추구하여야 한다.
- (9) 환경물질의 위해성 잔류기간 및 기존 사용되고 있는 환경물질의 위해성 유효기간을 예측하기 위한 ALT(Accelerated Life Test) 및 HALT(Highly Accelerated Life Test)를 실행하여야 한다.
- (10) 사후관리를 위한 환경물질의 Tracking System을 FMECA체계로 전환된 개념으로 운영해야 한다.

따라서, 환경물질의 신뢰성 평가는 상기의 절차를 기준으로 실행되어야 하며, 환경 문제의 제거를 위한 기업내부 활동의 방향도 상기 개념에서 진행되고 준수되어야 할 것으로 판단된다.

2. 초가속수명시험(HALT)이론연구

2.1.초가속수명시험(HALT)방법론

환경물질의 안전성 확보를 위한 연구개발단계의 각종 규격에 의한 신뢰성시험 및 평가는 많은 시험항목과 장기간 시험의 시간적인 제약조건을 지니고 있고, 짧은 기간내에 문제점을 규명하기에는 어려운 현실적인 문제가 있다.

따라서 신뢰성분야에서는 일반적으로 시간단축을 위한 방안으로 가속수명시험을 실시하고 있으며, 가속수명시험을 통하여 일반적인 수명예측에 필요한 가속계수 값을 산출하고 수명예측을 위한 시험을 진행하여 분포의 적합성을 평가한 이후에 문제개선을 위한 다양

한 시도를 하고 있으나, 아직까지는 가속수명시험 이론의 기본적인 모델을 근간으로 현업 적용을 추진하고 있는 단계이며, 응용모델의 활용이나 현장 적합성이 좋은 모델의 개발이나 현업적용은 미흡한 단계에 있다.

특히, 대부분의 신뢰성 평가 모형이 아레니우스 모델에 의존하는 한계점을 가지고 있으며, 신뢰성 평가 모형의 현장적용 범위가 부품에 의존하는 등의 한계를 벗어나지 못하는 구조적인 문제를 지니고 있는 것이 현실이다.

이러한 구조적인 문제점을 극복하기 위해서는 부품에 국한된 신뢰성 평가 모형을 ASS'Y 혹은 UNIT 단위의 신뢰성 평가 모형으로 영역을 확대하여야 하며, 아울러 제품 영역의 신뢰성 평가 모형의 설계가 필요한 시점에 있다.

2.2. 초가속수명시험(HALT)과 스트레스 수준

가속시험에서 Strength(강도)와 스트레스 수준은 사용조건에서 관측하고자 하는 고장(고장모드) 혹은 유해성 결함(유해성 결함모드)을 유발시킬 수 있도록 선택되어야 한다. 단, 사용조건에서 발생하지 않는 고장 혹은 결함을 유발시키지는 말아야 한다. 사용조건에서의 주요고장모드를 파악하고 그 고장모드를 유발시키는 스트레스를 찾아내기 위해서 FMECA, QFD, FMEA, Field Data 분석을 비롯하여 앞에서 언급한 신뢰성시험 및 평가기법에 의한 결과 등을 활용할 수 있다. 보통 스트레스의 수준은 규격한계(specification limit)는 초과하되 작동한계(Operating limit)는 초과하지 않도록 설정하고 관리되어야 한다.

Strength와 스트레스 수준의 선택, 그리고 가속시험의 설계는 매우 중요하다. 어떤 스트레스가 적합한지, 적절한 수준은 얼마인지를 결정하기 전에 다양한 정보를 획득하여야 하며, 환경물질에 대한 의학적인 정보와 공학적인 정보를 취합하여 인체 및 환경에 미치는 영향을 평가하여야 한다.

만약 이러한 가속인자(스트레스)에 대한 정보가 전혀 없다면 Field Data의 정보를 최대한 활용하고, 소량의 샘플로 시험하여 정보를 구하거나 정성적 시험단계에서 얻어진 분석 결과를 참고할 수도 있다. 또한 스트레스와 수준을 결정하기 위해 실험계획법의 적용을 고려하여야 한다.

적합한 스트레스의 선택과 함께 스트레스를 논리적으로 정량화하여 적용할 수 있는 방법 역시 중요하며, 스트레스 수준을 높일수록 시험기간은 단축되나 extrapolation(외삽(外挿))의 불확실성은 반대로 증가하기 때문에 사용조건에서의 수명특성의 예측결과에 대한 불확실성은 관리Spec에 대한 신뢰구간의 추정을 통해 평가하여야 한다.

초가속수명시험(HALT; Highly Accelerated Life Test)를 수행하기 위한 단계별 분석절차는 다음과 같은 여덟 가지 절차에 의한 진행을 하여야 한다.

첫째, ALT(가속수명시험) 대상 선택을 신중하게 진행한다. 이유는 신뢰성시험 및 평가시간이 비교적 짧거나 평가의 필요성이 크지 않을 경우 불필요하게 ALT를 실시할 필요가 없기 때문에 대상의 선정에 주의해야 한다. 물론 FMEA 혹은 FMECA 결과를 근거로 하면 좋다.

둘째, 주요고장모드를 결정하기 위해서는 제조단계 신뢰성평가의 방법과 동일한 FMEA

의 실행이 요구된다.

셋째, 적용 스트레스 결정 및 가속모델 결정은 Field 데이터의 해석을 토대로 FMEA의 실행과 고장물리 및 화학적인 데이터 해석을 근거로 결정하여야 한다.

넷째, 가속 모형의 도출은 해당 제품 및 부품이 어떤 가속모델에 반응하는가를 분석해서 적용해야 하는데, 이것은 환경물질 신뢰성 평가의 이론적 고찰을 통하여 구체적인 가속 모델식을 참조해서 해당되는 모델식을 적용해야 한다.

다섯째, 활성화 에너지(Activation energy; Ea)값의 조사 및 상정을 위해서는 부품의 소재에 근거하는 데이터를 기반으로 적용한다.

여섯째, 통계적 모형으로부터의 수명추정을 실시하기 위해서는 시험 샘플수를 많이 발췌하여야 하며, 소 시료평가일 경우 부품스트레스 분석에 근거 한다.

일곱째, HALT 실시 전, 후의 산포분석 및 합·부 판정은 각 시료의 설계특성 값에 대한 데이터 값을 근간으로 정규성 유무와 부품스트레스 분석결과와의 적합성을 근거로 판정을 실시한다.

여덟째, 가속수명시험결과의 보고서 작성 및 종합 검토를 실시하되, 시험장비의 적합성과 계측장비의 재현성 및 반복성을 검증한 이후에 실시한다.

III. 환경물질제거 PWB의 Lee-Eyring Model에 의한 평가방법

Eyring Model식의 현장적용을 위한 수식전개형태를 연구한 결과 온도에 대한 사항은 보편적으로 그 적용성이 증명된 사항이나 전압, 습도, 기계적 응력, 온도, 등 복합 Stress에 관련된 적용성 검토나 현장적용은 제외되어 있어 이에 대한 문제 해결을 위한 Lee-Eyring Model에 의한 평가 방법을 연구하였다.

따라서 기본적인 Eyring Model식의 수식전개로부터 복합 Stress에 관련된 수식의 전개 과정을 다음과 같이 실증적으로 입증할 수 있었다.

온도가속성에 관한 Eyring Model은 온도에 관한 수식부분이 아레니우스 Model을 대체하는 수식으로서 활용되고 있으며 이것은 양자역학에 근거하며, Glasstone, Laidler, Eyring에 의해서 1941년에 화학적인 경감곡선에 관한 반응물의 실험결과로부터 수식형태로 제시된 것이다.

Eyring Model식에서 정상수명을 γ (감마;gamma)라고 하면,

$$\gamma = \left(\frac{A}{T}\right)\exp\left(\frac{B}{kT}\right) \dots\dots\dots (3.1)$$

여기서 A와 B는 제품의 특성값이고, k는 Boltzmann정수($8.61 \times 10^{-5} eV / ^\circ k$) T는 “절대

온도273.16°+시험시점에 적용되는 온도”를 의미한다. 이 수식모델은 온도 의존성만을 강조한 것이며, 현장 적용시점의 온도에 의한 열화특성(degradation)을 나타내는 경우에 적용이 가능한 수식이다.(Wayne Nelson, (1990)[40])

수식(3.1)에서 응용한 가속모델인 Generalized Eyring 모델에서는 온도에 전기적인 Stress를 동시에 인가함으로써 전기 및 전자부품에 대한 가속시험을 시도하였는데 수식은 다음과 같다.

$$\gamma = \left(\frac{A}{T}\right) \exp\left(\frac{B}{kT}\right) \times \exp\left\{V\left[C + \left(\frac{D}{kT}\right)\right]\right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

여기서 A,B,C,D는 data로부터 추정되는 계수치(재질상수 등)를 의미하며, T는 “절대온도273.16° K+시험시점에 적용되는 온도”를 의미하며, k는 Boltzmann정수(8.61×10⁻⁵ eV/° k)를 의미한다. 대부분의 경우에 현장에서는 V에 대해서는 ln(V)형태로 응용하고 있다.(Wayne Nelson,(1990)[40])

Peck은 1986년에 Eyring Model을 응용하여 Peck Model을 (3.3)의 수식 형태로 제안하였다.

$$\gamma = A(RH)^{-n} \exp\left[\frac{E}{kT}\right] \dots\dots\dots (3.3)$$

Peck Model은 단일 습도조건에서의 가속성을 평가하고자 하였으며, 온도 및 습도에 대한 가속성을 보이는 부품에 적용하였다. 여기서 A와 E는 data로부터 추정되는 추정치이며, RH는 상대습도를 의미하고, T는 “절대온도 273.16° K+시험시점에 적용되는 온도”를 의미하며, k는 Boltzmann정수(8.61×10⁻⁵ eV/° k)를 의미한다. n은 2.7을 적용하였는데 이것은 제조공정의 수율에 의존하는 추정치로 알려져 있다.

(Wayne Nelson,(1990)[40])

인텔사의 경우 1988년에 Eyring Model의 응용식을 이용하여 반도체의 가속수명시험을 위한 평가방법을 (3.4)의 수식형태로 제안하였다.

$$\gamma = A \exp(-B \cdot RH) \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \dots\dots\dots (3.4)$$

인텔사의 경우 단일 습도를 적용하였으며, A,B,E는 data로부터 추정되는 추정치이며, RH는 상대습도를 의미하고, T는 “절대온도273.16°K+시험시점에 적용되는 온도”를 의미하며, k는 Boltzmann정수(8.61×10⁻⁵ e V/° k)를 의미한다.(Wayne Nelson,(1990)[40])

R.E.Thomas는 Electronic Design(Vol.12, No.1)에서 온도 및 스트레스, 그리고 온도×스

트레스에 가속성을 보이는 Eyring Model의 응용식을 (3.5)의 수식형태로 전개하였다. (越川清重,(1990)[43])

$$L_2 = L_1 \frac{T_1}{T_2} \exp \left\{ \begin{aligned} &-\frac{B}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + \\ &+ C(S_1 - S_2) + \\ &+ \frac{D}{k} \left(\frac{S_1}{T_1} - \frac{S_2}{T_2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.5)$$

여기서 L_2 는 가속수명시험조건에서의 수명을 의미하며, L_1 은 정상수명환경조건에서의 수명을 의미한다. T_1 은 “절대온도273.16°K+정상사용온도”를 의미하며, T_2 는 “절대온도 273.16°K+가속수명시험온도”를 의미한다. k 는 Boltzmann정수($8.61 \times 10^{-5} eV / ^\circ k$), B, C, D 는 data로부터 추정되는 계수치(재질상수 등)를 의미하며 S_1 은 정상사용 스트레스, S_2 는 가속수명시험조건에서의 스트레스를 의미한다.

수식 (3.5)로부터 가속계수를 산출하기 위한 수식으로 변환을 하면 (3.6)과 같은 수식형태로 전개되며, 이렇게 전개된 수식을 근거로 현업에 적용한다.(越川清重,(1990)[43])

$$Af = \frac{L_1}{L_2} = \frac{T_2}{T_1} e^{\left\{ \frac{B}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) - C(S_1 - S_2) - \frac{D}{k} \left(\frac{S_1}{T_1} - \frac{S_2}{T_2} \right) \right\}} \dots\dots\dots (3.6)$$

1. 환경물질제거 PWB의 Lee-Eyring Model과 실무적용

본 연구에서는 1984년 Kececioglu와 Jacks의 Inverse power rule 모델, 1983년 Gunn, Camenga, and Malik의 상대습도 및 전압조건 모델식과 Arrhenius 반응속도론 모델을 조합한 Arrhenius Combination Model 수식의 온도, 습도 및 전압 스트레스에 대한 가속 factor의 산출수식의 개념과 R.E.Thomas의 온도 및 스트레스, 그리고 온도×스트레스에 가속성을 보이는 Eyring Model의 응용식을 근거로 Lee-Eyring 모델을 개발할 수 있었다. 물론 Arrhenius Combination Model 수식에서 습도 부분을 R.E.Thomas-Eyring Model 수식(3.5)에 추가 적용함으로써 환경물질을 제거한 이후의 PWB에서 발생하는 전기적 혹은 기계적 스트레스, 온도스트레스, 습도스트레스, 온도×전기적 혹은 기계적 스트레스에 대한 복합 가속신뢰성 시험 및 평가를 진행 할 수 있었다. 이러한 복합스트레스 요인에 의한 가속신뢰성 시험의 필요성은 기존의 전자부품에서 환경물질을 제거한 이후에 발생하는 고장형태분석에 근거한 것이며 환경물질을 제거한 PWB에서 난연성의 유지와 흡습성 평가 및 전자 부품의 접합부 강도 평가를 동시에 수행하기 위한 방법론으로서 복합 스트레스에 근거하는 가속평가 모델을 구성하였다.

따라서, Lee-Eyring 모델의 전개를 수식(3.7)과 같이 전개할 수 있으며, 습도 스트레스의 추가 형태는 습도에 의한 부하경감 특성을 고려하여 적용한 결과 “ $-C(\frac{1}{RH_1} - \frac{1}{RH_2})$ ”의 형태로 적용할 때 습도에 의한 디레이팅(Derating; 부하경감 현상)이 명확하게 나타남을 확인 할 수 있었다.

$$L_2 = L_1 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \exp \left\{ \frac{-B}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + \left[\begin{array}{l} + (-C(\frac{1}{RH_1} - \frac{1}{RH_2})) + \\ + D(S_1 - S_2) + \\ + \frac{E}{k} \left(\frac{S_1}{T_1} - \frac{S_2}{T_2} \right) \end{array} \right] \right\} \dots\dots\dots (3.7)$$

- L_1 : 정상수명환경조건에서의 수명,
- L_2 : 가속수명시험조건에서의 수명,
- B : 활성화 에너지,
- T_1 : “절대온도273.16°K+정상사용온도”,
- T_2 : “절대온도273.16°K+가속수명시험온도”,
- k : Boltzmann정수($8.61 \times 10^{-5} eV / ^\circ k$),
- RH_1 : 정상수명 환경조건에서의 습도,
- RH_2 : 가속수명시험조건에서의 습도,
- C, D, E : data로부터 추정되는 계수치(재질상수, 활성화 에너지 등),
- S_1 : 정상사용 스트레스,
- S_2 : 가속수명시험조건에서의 스트레스.

수식 (3.7)로부터 가속계수를 산출하기 위한 수식으로 변환을 하면 (3.8)과 같은 수식형태로 전개되며, (3.8)의 수식을 근거로 가속시험을 실시하였다.

$$Af = \frac{L_1}{L_2} = \frac{T_2}{T_1} e^{\left\{ \begin{array}{l} \frac{B}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) - \left(-C \left(\frac{1}{RH_1} - \frac{1}{RH_2} \right) \right) - \\ - D(S_1 - S_2) - \frac{E}{k} \left(\frac{S_1}{T_1} - \frac{S_2}{T_2} \right) \end{array} \right\}} \dots\dots\dots (3.8)$$

또한, 온도와 관련한 활성화 에너지(Activation Energy; Ea)값의 중요성이 증가하고 있는 현실을 감안하여, 연구에 필요한 PWB 회로에 적용되는 각종 SMD부품의 Ea값을 아래와 같이 정리하여 현업적용을 하였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 환경물질을 제거한 PWB의 신뢰성평가 방법에 대해 연구하였다. 최근 들어 환경물질에 대한 세계 각국의 규제현황은 유럽의 전자, 전기기기의 폐기에 관한 EU지령에 의한 유해물질사용제한(Restriction on the use of Certain Hazardous Substances; RoHS)과 생산자 폐 전기, 전자제품회수, 재생의무(Waste Electric and Electronic Equipment; WEEE)에 의한 규제환경물질인 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, 할로겐 난연제(PBB, PBDE)로 집중되는 현상이 발생되고 있으며, 해당되는 적용제품은 대형가전, 소형가전, IT, 통신기기, 일반 민생기기, 조명, 전동공구, 완구, 레저기기, 의료기기, 모니터 기기, 자동판매기가 주요대상이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 상기 대상 제품에 공통적으로 적용되는 PWB에서 환경물질을 제거한 이후에 발생될 신뢰성 문제의 예방을 위한 방법으로서 신뢰성평가 방법을 연구하였다.

연구결과로서 FMEA 혹은 FMECA의 실행을 근거로 PWB(환경물질이 제거된 PWB)의 주요 스트레스 요인을 분석하였으며, 이러한 분석결과를 토대로 하여 가속수명시험(ALT)을 위한 구체적인 가속모델을 설계 할 수 있었다.

물론 과거의 가속모델 수식 자료를 근거로 진행하였으나, 대다수 가속모델 수식의 경우 대부분이 현장의 경험식을 기초로 전개되는 특성으로 인하여 수식부분의 검증체계가 타 부분에 비해 허술하지만, 선진 기업과 수많은 석학들의 경험식을 기업현장에서 그대로 사용하고 있는 실정이다. 이러한 현상의 원인은 재료 및 부품의 복잡성 때문으로 추정하고 있다.

본 연구에서 제안하는 환경물질을 제거한 PWB의 신뢰성평가방법 가속 모델 수식은 R.E.Thomas가 제안한 Eyring Model식에 습도 가속성 부분을 추가 적용함으로써 복합 가속수명시험을 통해 환경물질이 제거된 PWB의 신뢰성을 평가 할 수 있었으며, 평가결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 온도 스트레스에 의한 PWB(환경물질이 제거된 PWB)의 고장발생 원인은 열팽창 계수 문제로 밝혀졌으며, 이것은 PWB내부의 PCB와 납성분이 제거된 각종 부품의 리더 와이어와의 접합성 문제로부터 발생된 것으로 판단된다.

둘째, 가속모델식을 설계하는 단계에서 예견되었던 습도스트레스에 의한 PWB(환경물질이 제거된 PWB)의 고장발생 원인은 각종 부품의 package의 내열성을 높이기 위한 bromide성분이 환경물질로 규제됨에 따라 non-bromide계 에폭시로 전환하는 과정에서 흡습성이 높은 에폭시가 형성됨으로 인한 에폭시내부의 popcorn 현상으로 인하여 부품내부의 micro-crack을 유발시키는 문제를 발생시켰다. 따라서 습도스트레스의 고장재현성을 확인할 수 있었다.

셋째, 전압 스트레스에 의한 PWB(환경물질이 제거된 PWB)의 고장발생 원인은 부품의 전압에 의한 부하경감(derating)특성으로 인하여 전기적인 서어지(surge)전류(current)에 의한 부품내부 번트(burnt)등의 문제가 발생되는 것을 재현 할 수 있었다.

넷째, 온도×전압 스트레스에 의한 PWB(환경물질이 제거된 PWB)의 경우는 전압 및 온도의 복합적인 부하경감특성으로 인하여 반도체 부품류의 솔더 접합부 온도의 급격한 상승으로 인하여 micro-crack 및 electro-migration 현상의 재현이 검증되었다.

환경규제물질이 PWB에서 제거된 이후의 제품신뢰성에 대한 평가방법을 기존의 경험식에 의존해서는 곤란하며, 본 연구에서 도출된 경험식의 적용에 근거하는 신뢰성평가 및 시험이 필요하다고 판단된다.

특히, 솔더링 이후의 전단강도의 비교에서 상당한 차이를 나타내고 있으며, 이러한 차이로 인하여 납 성분이 제거된 이후의 문제점은 강도가 약해지는 약점을 어떻게 보완 할 것인가라는 것이다. 프라스틱 재질의 부품류는 이미 난연성에 대한 문제가 발생되고 있으며, 대체물질로 제시되고 있는 프라스틱의 경우 원가상승문제로 인한 비용적인 부담으로 작용하고 있다.

선진기업들은 이미 장기간에 걸쳐서 다양한 환경물질규제 정책에 대비하여 왔으나 우리 기업의 경우 이제 시작단계에 있으며, 세계적인 환경물질규제정책의 정보관리체계 또한 미흡한 수준이다. 기업의 제조공정을 송두리째 바꾸어야 할 정도로 제조단계의 환경물질 대응체계는 복잡하고 비용이 많이 수반되는 프로세스임에도 불구하고 현재 우리가 처한 현실은 어려운 상황에 있다.

대규모적인 공정개선이나 설계변경을 실행하지 않는 범위에서 환경물질규제 정책을 지혜롭게 극복해야 하겠다.

본 논문에서 응용한 Eyring 모델은 아직까지는 경험식에 의존한 모델 수식이므로 이론적인 규명이 더 필요하며, 현장에서 더욱더 많은 시험데이터의 분석과 연구를 통하여 수식적인 규명과 이론적인 보완을 하여야 할 것으로 본다.

그리고, 각종 재료, 소재, 부품에 대한 활성화 에너지 값에 대한 데이터 베이스 구축도 강화하여야 하겠다.

참 고 문 헌

국내문헌

- [1] 강인선·김진규 (1998), “신뢰성 공학”, pp. 159~188.
- [2] 김성수(2004), 「21세기형 글로벌경영전략」, 삼영사.
- [3] 고복수 (1994), “샘플링 검사”, 보성문화사, pp. 93~120.
- [4] 박성현·박영현 (1997), “통계적 품질관리”, 민영사, pp. 514~526.
- [5] 박성현 (2003), “현대실험계획법”, pp. 521~564.
- [6] 신용철·이광용 (1999), “조선업의 도장작업시 취급하는 도료중 유해물질 성분에 관한

- 연구”, 한국산업위생학회지, Vol. 9, No. 1.
- [7] 안상형 · 이명호 (1995), “현대통계학”, pp. 162~186.
- [8] 이근철 (1992), 「FTA안전공학」, 기전연구사.
- [9] 이상용 (1996), 「신뢰성공학」, 형설출판사.
- [10] 이종범 (1995), “전자기기용 Plastic Film Capacitor에 대한 가속시험기법 연구”, 한국신뢰성연구회(한국표준협회,공업진흥청), 신뢰성·보전성 심포지엄
- [11] 이종범 · 조재립 (2003), “환경물질에 대한 사용 신뢰성평가 방법에 관한 연구”, 대한품질경영학회지, Vol. 31, No. 4 pp.226~238.
- [12] 이종범 · 조재립 (2000), “자동차 전장부품의 초 가속신뢰성 수명시험방법에 관한 연구”, 대한품질경영학회지, Vol. 28, No. 4 pp. 16~28.
- [13] 이치우 · 김선진 · 이성우 · 정상영 (1993), “신뢰성공학”, 원창출판사, pp. 21~79.
- [14] 윤호규 · 김환건(2001), 「고분자 전자재료」, 문운당.
- [15] 윤창인 (2000), “OECD의 권고이행평가 및 향후과제”, 내외경제연구원.
- [16] (주)모아소프트 신뢰성기술연구소 (2002), 「신뢰성예측가이드」, 교우사.
- [17] 조재립 (1995), “선형비용모델을 이용한 계수선별형 검사방식의 최적설계”, 대한품질경영학회지, 제23권, 제4호, pp. 74~89.
- [18] 조재립 (2001), 「품질경영」, 청문각.
- [19] 표면실장기술 (1996), Vol.6 No.1.
- [20] 환경부(2003), 「환경백서」

외국문헌

- [21] ARTHUR ANDERSEN(1999), “*Theory of Constraints(TOC)Management System Fundamentals*” Statement on Management Accounting, Statement No. 4HH
- [22] Bob Ross(1995), “*Investigating Mechanical Failures*”, pp. 142~163.
- [23] BRYAN DODSON & DENNIS NOLAN(1998), “*The Complete Guide to the CRE*”, Quality Publishing, pp. 291~369.
- [24] BRYAN DODSON & DENNIS NOLAN(1999), “*Reliability Engineering Hand-book*”, Quality Publishing, pp. 320~403.
- [25] Buehler, M., Zmani,N., and Dhiman, J.(1991), “*Electromigration Error Analysis for Optimal Experimental Design*”, NASA’s Jet Propulsion Laboratory, Case No. NPO-18012, August.
- [26] Chan,C.K., Boulanger, M.and Tortorella, M.(1994). “*Analysis of Parameter Degradation Data Using Life-Data Analysis Programs.*” 1994 Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Piscataway : IEEE, pp.288~291.
- [27] Chen, I. C., and Hu, C. (1987). “*Accelerated Testing of Time-Dependent Breakdown*”

- of SiO_2 ." IEEE Electron Device Letters 8(4), pp.140~142.
- [28] Christou, A.(1994). Integrating Reliability into Microelectronics Manufacturing. New York : John Wiley.
- [29] Cox, D. R.(1972). "*Regression Models and Life Tables(With Discussion).*" Journal of Royal Statistical Society B, pp.34, 187.
- [30] Dale, C.J.(1985). "*Application of the Proportional Hazards Model in the Reliability Field.*" Reliability Engineering pp. 10, 1~14.
- [31] DeSchepper, L., DeCeuninck, W., Lekens, G.,Stals, L., Vanhecke, B.,Roggen, J., Beyne, E., and Tielemans, L.(1994). "*Accelerated Aging with In Situ Electrical Testing : A Powerful Tool for the Building in Approach to Quality and Reliability in Electronics.*" Quality and Reliability Engineering International, pp.10, 15~26.
- [32] D.H, Stamatis(1995), "*Failure Mode and Effect Analysis*" ASQC Quality Press, pp. 25~247.
- [33] E.E. LEWIS(1994), "*Introduction to Reliability Engineering*", WILEY, pp. 142~244.
- [34] Engelmaier.W.(1993). "*Reliability of Surface Mount Solder Joints : Physics and Statistics of Failure.*" National Electronic Packaging and Production West Proceedings, Ann Arbor : University of Michigan.
- [35] Elsayed A. Elsayed(1996), "*Reliability Engineering*",ADDISON_WESLEY pp. 378~409.
- [36] Esaklul, K.(Ed).(1992). "*Handbook of Case Histories in Failure Analysis.*" Material Park, Ohio : ASM International.
- [37] Flaherty, J. M.(1994). "*How to Accelerate SMT Attachment Reliability Testing.*" Test and Measurement World(January), pp. 47~54.
- [38] GERALD SMITH.(1995). "Statistical Process Control and Quality Improvement" Prentice Hall, pp. 137~148.
- [39] Goldratt, Eliyahu M., and Jeff Cox,(1992). "The Goal." Great Barrington, MA : North River Press.
- [40] Wayne Nelson.(1990). "Accelerated Testing" Statistical Models, Test plans, and Data Analyses. John Wiley & Sons, pp. 77~94, 99~106.
- [41] 渡部篤 監修(1992), "回路部品の故障モードと加速試験", トリケップス, pp. 45~59.
- [42] トリケップ (1992), "高分子材料の寿命の豫測", pp. 36~464.
- [43] 越川清重(1990), "電子部品の信頼性試験",日科技連, pp. 156~169.