

환경물질에 대한 사용 신뢰성평가 방법에 관한 연구

이종범* · 조재립**

*한국표준 협회 · **경희대학교 산업공학과

A useful reliability evaluation method for the environmental material

Jong-Beom Lee* · Jai-Rip Cho**

*Dept. of PL Reliability Academy, Korean Standards Association

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

Key Words : Environment Material, Environmental reliability, Hazard Material

Abstract

Recently, The problems with which our country's company is confronted for business of manufacturing goods. This study set the hypothesis to develop the method that was analysis and application of A reliability evaluation method of environmental material for circuit components in Computer, Color TV, Monitor, Microwave oven, Electric Refrigerator, Automobile parts, other goods.

Especially, this study emphasis on regulate export of the EU and North America that it's a environmental material's hazards problem.

In this process, this study set the pattern of practical application.

Therefore, this study emphasis on the application of A reliability evaluation method of environmental material and the use of other parameters by environmental reliability test data.

The result of this study is as follows.

- 1) There is relationship between regulate material and technical protecting system.
- 2) Characteristics of hazard materials is operating a healthcare damage factor as well as regulate environmental factors.

1. 서론

2003년도 환경백서가 환경부에서 6월에 발간되었다. 환경백서의 내용은 2003년도

환경정책 추진방향과 행정추진체계를 비롯하여, 협력체제, 국제환경 협력 파트너쉽 구축, 환경정보화 추진, 민간환경 협력강화방안, 환경보전 연구 및 측정분석 사업 방향,

오염피해의 구제를 위한 환경분쟁 조정제도에 관한 사항 등이 수록되어 있다. 과거에 비해 환경부의 행정관행이 선순환 구조로 바뀐 것은 변화의 시작이 아니겠느냐는 것이 환경정책을 이해하고, 연구하는 분들의 생각이다. 환경문제는 이제 국민전체의 생존권을 위협하는 수준에 도달하고 있으며, 과거에 비해 많은 개선과 수준 향상이 이루어지고 있다는 일각의 시각적인 변화도 있으나, 2003년 9월 추석연휴에 한반도를 강타한 “태풍 매미”는 수많은 환경문제를 원점에서 다시 생각해야 한다는 시각의 변화를 예고하고 있는 것 또한 현실이다. 환경을 자연환경을 구성하는 생태계만으로 국한 할 것인가?, 아니면 광의적인 시각에서 인간이 생존을 위해 설치하거나 건설한 구조물까지를 포함할 것인가라는 현실에 직면하고 있는 것은 아닌가?, 환경파괴의 원인은 어디에서 출발하는가? “태풍 매미”가 휩쓸고 간 이후에 파괴된 각종 구조물, 건축물, 각종공장의 생산을 위한 약품(맹독성물질 들, 강산, 약산 등 각종 환경오염물질 들), 각종 폐유와 유독성 유류, 플라스틱 레진류와 각종 건축자재들(본드류, 환경오염 물질들), 페인트류와 자동차 관련한 휘발유, 구동오일류, 등등의 바다유입에 의한 해양오염은 과연 피해의 정도가 얼마나 심각한 수준에 이르고 있는가? 실로 상상할 수 없을 만큼 심각하고도 광범위한 환경파괴와 오염을 초래 했을 것으로 판단된다.

언론에서 추론하고, 정부에서 발표하는 “태풍 매미” 로 인한 피해복구비용은 “6조7천억 수준”이라고 하지만, 환경오염을 포함한 피해금액은 아마도 상상 할 수 없을 만큼 어마어마한 금액이 될 것으로 추산된다. 그렇다면 환경오염의 범주를 어디까지

로 제한 할 것 인가? 라는 문제와 더불어 어떤 문제가 가장 우선적으로 해결되어야 할 급한 상황인가? 라는 명제를 놓고 볼 때 가장 우선적으로 해결해야 할 사안은 환경에 대한 인식의 변화와 환경문제의 새로운 패러다임 설정이 선행되어야 한다고 본다.

환경의 범위설정을 이제는 자연자체와 인공적인 모든 개체를 포괄하는 새로운 개념으로 바라볼 필요가 있다고 판단되며, 이러한 개념의 변화가 수반되지 않은 상태에서의 환경정책은 기업 활동의 위축과 국민의 질적인 삶의 향상을 방해 할 것으로 판단된다.

환경백서에 나타난 지표를 근거로 보면 향후 환경정책의 변화가 예고되고 있다, 가까운 장래에 환경부에서는 “토지피복지도”를 분류체계에 근거하여 제공할 계획이라고 한다. 이렇게 될 경우 이제 환경은 단순히 생태계에 국한 될 것으로 보지는 않는다. 광범위한 범위의 설정에 근거하여 이루어질 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 환경물질에 대한 사용 신뢰성평가 방법을 어떻게 발전시켜야 할 것인가 라는 명제를 근간으로 이론적인 전개를 하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 환경물질에 대한 신뢰성 평가 분석 이론의 개요

환경물질에 대한 신뢰성 평가와 분석 이론은 화학적, 물리학적, 공학적 요소가 총동원 되어야 실무 영역에서 접근 가능한 대안이 수립될 수 있는 사항들이며, 이런 특성으로 인하여 제품의 개발과정을 통한, 부품

및 제품의 문제점을 규명함과 동시에 기업의 기술적인 Knowhow를 축적하기 위한 활동을 강화할 때 비로소 접근 가능한 평가 및 분석기법이 정립될 것으로 판단된다. 최근 들어 심각해지는 제조업계의 원가혁신을 위한 노력 및 각종 부품에 대한 Global Sourcing 혹은 Material Resource 열풍은 기업간의 경쟁력을 심화시킴과 동시에 이러한 근원적인 환경물질 규제사항의 원천적인 대비를 방치하게 하고 있고, 이런 기업내부의 흐름이 장기적인 대안을 강구하는데 있어서 가장 심각한 장애요인으로 인식되고 있다.

자연재해의 강도가 점차 강해지는 현실에서 볼 때 근원적인 환경물질의 유출방지와 사용제한을 체계적으로 통제하기 위해서는 환경물질의 규제를 현행법 보다 엄격하게 제한할 필요도 있지만 근본적으로 법체계의 운영보다는 공학적인 대안이 필요하다고 본다. 특히, 위험물질 및 환경물질을 관리하는 영역의 구조물과 System설계를 신뢰성 있게 관리해야 할 시점에 있으며, 선진국의 경우 Safeware라는 공학적인 학문영역에서 이러한 환경물질에 대한 사용 관련한 신뢰성 및 안전에 대한 평가와 관리를 충실하게 선행하고 있다는 점을 인식해야 할 것으로 본다.

본연구의 목적인 환경물질에 대한 신뢰성 평가 방법에 관한 연구에 있어서 중요한 핵심사항으로는

첫째, 환경물질자체의 규제는 이미 돌이킬 수 없는 상황으로 진입한 상황이기 때문에 더 이상 확대피해를 유발하지 않도록 하는 것이 중요하다고 판단되며, 이미 오염된 환경의 재활영역은 별도의 장기적인 관점에서 접근해야 할 것으로 판단된다.

둘째, 급격한 지구온난화로 인한 해수온도 상승은 기상이변을 가속화 시키고 있으며, 한반도의 구조물 및 각종 공공시설물의 시스템 변경을 강요하고 있는 실정이다.

셋째, 환경물질에 대한 신뢰성 평가를 요구함과 동시에 환경물질 그 자체를 사용함으로써 발생 할 수 있는 영역에서의 신뢰성 평가 방법에 관한 대책과 대응을 요구하고 있다.

1) 환경물질의 사용 신뢰성평가에 대해 기업영역에서는 무엇을 해야 하는가?

환경물질에 대한 신뢰성 평가를 실현하고, 빠른 기간 내에 문제점을 검출 및 평가함으로써 원부자재의 신뢰성을 개선함과 동시에 부품설계 및 제품설계의 오류를 단 기간 내에 개선하여 부품과 제품의 신뢰성을 동시에 높이는데 역점을 두고 다음과 같이 환경물질에 대한 신뢰 평가 기법을 전개해야 한다.

$$\text{Miner의 선형 손상칙은 } \sum_{i=1}^n N_i \times S_i = 1$$

의 형태로 정의하고 주로 금속재료의 피로 파괴에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 개념의 모호성 때문에 Robinson의 선형누적 손상식을 적용하고 있다. 그러나 Miner 모델을 적용할 경우 각종 Pb Less Solder(물론 현재 Ag+Sn+Cu 중심의 Solder가 개발되어 있기는 하지만)의 PCB상의 내구성 및 신뢰성 평가가 가능하리라고 판단된다. PL법 시행 환경을 고려 할 때 제품의 Control 단계 해당되는 PCB의 내구수명(MTTF, MTBF)을 10년 이상 보증하려면 철저한 환경 신뢰

성평가가 필요로 하게 되는데 이때 적용성의 범주를 결정하기 위한 대안으로써 Miner 모델의 적용이 필요하다고 본다. 물론 Non Bromide 계통의 난연 재질 개발을 위한 평가에서도 가속모델식을 적용 할 수 있겠는데, 이때는 온도 변화에 대한 Creep 수명의 평가가 정확하게 전개 되지 못할 경우 신뢰성 평가가 부실해질 수도 있겠다. 온도의 변동 하에서 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 $\Delta r t \times N f^a =$ 일정한 형태로 정의하고 주로 정가속도 및 진동에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 복합 환경에 의한 가속시험에 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다.

Larson - Miler의 식은 $T(20 + \ln t_3) = \sigma$ 에 대해 일정한 형태로 정의하고 주로 정가속도에 대한 응력변화에 기인한 가속성의 평가에 적용하고 있으나 현실적으로는 진동시험이나 복합 환경시험에 의한 가속시험을 더욱더 많이 적용하고 있는 실정이다.

Electro-migration은 $MTF = wt / j^a \exp(\Psi / kT)$ 혹은 $MTF = ad^b$ (여기서 a 는 결정입경)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. [5] 그러나 문제의 핵심은 과연 Pb Less solder가 온도차에 의한 급격한 외부환경 변화에 노출되었을 때 전기적인 short 현상을 유발

하는 electro-migration 현상으로부터 자유로울 수 있는지가 관건이 아닐 수 없다.

상기내용에서 보는 바와 같이 모든 기본적인 이론전개의 방향이 실무와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 현 업무에 적용될 수 있는 수식전개를 기본으로 전개되어야 한다는 명제 하에 본 연구를 하였다. 그리고, 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 노력하여야 한다. 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 $\pm 3\sigma$ 관리범위의 원자재 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 환경물질에 대한 신뢰성평가를 실시하였다. 특히 환경물질에 대한 신뢰성평가는 단순히 시험에만 의존 할 수 없는 속성이 있으므로 인체에 미치는 영향을 평가하기 위한 Preliminary Hazards Analysis등을 통한 인체유해정도의 평가와 더불어 환경물질의 위해성 평가를 위한 각종 분석기법들을 활용하여야 하겠다. 근래에 NASA 혹은 선진기업의 경우는 신뢰성평가를 단순히 신뢰성시험에만 국

한하고 있지 않으며, 실제 사용고객의 정보를 활용하거나, 환경중심의 사고방식에 근거하는 사용 혹은 안전성 중심의 신뢰성평가를 실시한다는 것을 인식하여야 하겠다.

1) 환경물질의 사용 신뢰성평가에 대해 공공영역에서는 무엇을 해야 하는가?

공공기관 및 행정조직이 해야 할 일은 기업이 수행해야 할 일처럼 복잡하거나 정밀한 것이 아니고, 국토보존을 위한 환경물질사용에 따른 국민들이 이해하고 대응해야 할 기본적인 사항의 홍보와 규제 및 시스템화에 전력투구해야 할 것으로 판단된다.

환경물질의 분류체계가 이미 존재하고 있지만 일반인이 이해하고 일상생활에서 실천하기에는 역부족인 것이 현실이다. 따라서 일반인이 이해하고 일상생활 속에서 실행할 수 있는 Mechanism의 설계가 절실히 필요하다. 예를 들면 공공기관의 사용신뢰성의 평가형태는 승용차의 경우를 상징할 경우 일상적으로 사용할 경우에는 승용차가 환경에 영향을 미치는 요소로 배기가스에 의한 대기오염에 국한되지만, 만약 자연재해로 인하여 승용차가 파손되었을 경우에는 심각한 자연환경 파괴 Process가 진행된다.

즉, 차량파손에 의한 자연환경파괴를 전개하여보면 아래와 같다.

- 엔진영역 ; 엔진오일누출에 의한 수질오염 및 토양오염유발
- 윤활계통 ; 각종 윤활유 누출에 의한 수질 및 토양오염유발
- 플라스틱영역 ; 자동차에 적용되는 각종 Engineering Plastic류의 하천 및 근해 바다 유입에 의한 환경파괴 및 토양오염

유발

- 금속 및 타이어 ; 중금속 및 타이어의 방치 및 하천과 근해바다유입은 심각한 환경오염과 토양오염유발

이러한 상황으로부터 환경물질의 사용 신뢰성을 확보하기 위해서는 자연재해뿐만 아니라 인위적인 측면에서 발생하는 각종 문제점들을 종합적으로 파악하고 관리함으로써 환경물질의 유출을 방지하고 예방하는 활동을 해야 한다.

환경물질에 대한 사용 신뢰성평가는 환경물질들의 유출가능여부를 파악해야 하며, 환경물질 유출가능성 평가를 근간한 공공시설물의 시스템적인 접근이 반드시 수반되어야 한다고 판단된다. 즉, 공단지역의 경우 이번 태풍으로 인하여 평소에 잘 관리하여 온 폐수 및 오염물질 정화시스템이 무력화되었으며, 이로 인한 환경오염은 심각한 수준이다. 태풍으로 인한 쓰레기량이 8만톤 수준이라니 상상이 되는가? 따라서 공공영역에서는 근본적인 대책으로써 국토의 지질환경 및 지역별 특성에 근거하는 방재체계에 대한 각 구조물들의 신뢰성평가를 선행해야 한다.

2. 환경물질에 대한 사용 신뢰성평가기법의 현장 적용을 위한 응용형태 연구

환경물질에 대한 사용 신뢰성평가기법의 현장적용을 위한 응용형태로서는 가속수명시험과 화학적인 분석기법의 활용 및 응용 통계처리의 방법론을 적용하여야 할 것으로 판단되며, 기존의 화학분석 중심의 사고방식에서 탈피한 방법론을 적용하여야 할 것

으로 예견되며, 사용시 문제점을 파악하고 평가하기 위해서는 Safeware측면의 공공시스템 전반에 대한 PHA, FTA, FMEA, FMECA, RCM, 등의 분석적인 대안이 강구되어야 할 시점에 있다. 독일의 Munichre는 이미 자연재해에 대응하기 위한 21세기 산업사회의 각종 Mechanism(빌딩/도로구조물/각종 시설물과 편의시설 등등)의 재설계가 필요하다는 연구결과를 제시하고 있다.

Ⅲ. 현업적용을 위한 PATTERN연구

현업적용을 위한 환경물질의 신뢰성평가에 대한 응용PATTERN은 실무중심으로 전개 되어야 하며, 공학적인 배경을 반드시 유지하여야 한다. 환경물질의 속성을 고려할 때 실무중심의 분석절차는 물질분석의 유효성을 근간으로 이루어져야 하므로 실무적인 관점의 시험분석과 사용상의 문제점을 근거로 접근하여야 하며, 제조생산 현장에서의 문제점을 개선하기 위한 실질적인 문제해결에 집중하여야 할 것으로 판단된다.

공공영역의 시스템적인 환경물질에 대한 사용 신뢰성평가방법에 관한 현업적용 형태를 볼 때 Safeware중심의 응용 패턴적용이 필요하다.

1. 환경물질 분석을 위한 조사 및 연구

1.1 환경물질의 재질별 특성분류 일반

1.1.1 Bisphenol-A (BPA)는 폴리카본네이트, 에폭시수지의 원료로서 광범위하게 사용되고 있는 공업원료의 하나이다. 최근,

BPA의 내분비 교란 작용이 지적되었고, 한편 환경중 또는 식품 등에서 BPA의 검출이 보고되고 있다. 그러므로, 저 농도의 BPA를 측정하기 위해서는 시료의 전 처리에 많은 노력과 시간, 더불어 기술이 필요하다고 보고 되었다. 실험에서 mili-Q水を 사용한 95. C, 30분 동안의 용출시험 등에서 폴리카보나이트의 우유편, 머그컵, 급식용 식기에서 N.D-8.6ppb의 BPA가 검출되었다. 신제품에 비해 사용하던 제품에서 검출 양이 많았는데 그 이유로는 세척 또는 표면의 마모에 의해 표면적이 넓어진 것으로 판단된다. 그리고, 용출 온도가 높을수록 고농도의 BPA가 용출 되었다는 보고가 있다

1.1.2 '내분비계 장애물질(Endocrine Disrupter)'에 관한 문제이다. 내분비계 장애물질 문제처럼 과학적인 불확실성을 많이 안고 있으면서 예측되는 피해가 치명적인 환경문제도 없을 것이기 때문이다. 내분비계 장애물질은 아직 과학적으로 완벽하게 규명되지 아니한 연구 분야이다. '내분비계 장애물질'이란 이론적으로 환경중의 화학물질이 생물체 내에 들어가 정상적인 호르몬의 작용을 방해함으로써 암수교란, 발암, 기형유발 등의 악영향을 미칠 수 있는 물질로 일컬어진다. 그러나 어떠한 화학물질이 인체에 대하여 그러한 작용을 가지는지에 대해서 완벽하게 증명된 물질은 없는 상황이다. 그럼에도 불구하고 내분비계 장애물질에 관한 많은 연구들은 그 피해가 치명적일 수 있음을 시사하고 있다.

그 "첫째"는 내분비계 장애물질로 추정되는 물질의 상당수가 잔류성이 있어 사람이나 생물체의 몸속에 쌓인다는 사실이다. 장기적으로 이러한 물질에 노출되었을 때의 영

향은 쉽게 예측하기 어렵다.

“둘째”는 최근 활발히 논의되고 있는 저용량에서의 악영향(Low-dose adverse effect)에 관한 가설이다. 일반적으로 생각하는 화학물질의 독성은 노출량이 많으면 강해지고 노출량이 적으면 적어진다고 알려져 있다. 그러나 어떠한 화학물질이 내분비계에 미치는 영향은 그러한 패턴을 따르지 않는다는 것이다. 즉 높은 농도에서는 전혀 나타나지 않던 악영향이 오히려 낮은 농도에서 나타나는 경우가 있다는 것이다.

“셋째”는 피해가 예측되는 분야가 생식, 면역, 성장 등 내분비계의 작용이 미치는 모든 분야로 매우 다양하고, 축적되는 물질의 경우 후손에까지 영향을 미칠 수 있다는 가설이다. 이러한 이유로 내분비계 장애물질의 문제는 많은 부분이 과학적으로 규명되어 있지 않음에도 불구하고 1990년대 후반부터 전세계인의 비상한 관심을 끌고 있는 것이다.

이러한 상황에서 세계 각국의 정책당국이 이 문제를 해결하는 방식은 사전예방 원칙의 적용이라는 관점에서 시사하는 바가 크다. 세계 각국은 우선적으로 내분비계장애물질에 관한 시험, 검색법의 개발과 같이 내분비계장애물질을 과학적으로 규명할 수 있는 연구, 조사에 일차적으로 주력하고 있다. 아울러 내분비계장애물질 중 잔류성이 강하여 사람의 몸 속에 축적되거나 후세에까지 전달될 수 있는 물질들을 엄격하게 관리하고 있다. 또한 TBT(유기주석류의 일종, Tributyl Tin)와 같이 생물체에 임포섹스 등의 악영향을 일으키는 물질에 대하여 연근해 등에서의 사용을 규제함으로써 자국의 생태계를 보호하고 있다. 내분비계장애

물질이라는 일반적인 범주로 문제를 해결하는 것이 아니라 추정물질을 과학적인 증거에 따라 분류한 잔류성이 있어 피해가 축적되거나 피해를 주는 것으로 상당 부분 입증된 것에 대해서는 적극적인 규제조치를 취하고 아직 과학적인 증거가 부족한 부분에 대해서는 연구를 지속하는 것, 이 정도면 사전예방의 원칙을 적절하게 적용하였다고 볼 수 있을 것도 같다.

물론 상기 물질이외에도 우리가 잘 알고 있는, Pb, Bromide 등은 당연히 인체에 유해한 성분을 가지고 있으며, 고온에 노출될 수록 치명적인 문제를 야기 한다는 사실을 이해하여야 하겠으며, 이러한 문제를 사전에 개선하고 제거하기 위해서는

사전예방 원칙인 위해성평가(Risk Assessment) 및 위해성 관리(Risk Management)가 매 단계별로 과학적인 불확실성을 확인해 나가면서 적용되어야 함을 제시하고 있다. 또한 정책결정자는 모든 가용한 과학적인 정보를 활용하여 해당 문제에 대하여 과학적인 불확실성이 어느 정도 인지를 인지할 필요가 있으며, 어느 정도 수준이 수용가능한지 (Acceptable), 위해수준(Hazards Level)인지는 사회적인 합의가 필요한, 정치적인 사안임을 지적하고 있다.

사전예방의 원칙이라는 것이 과학을 뛰어넘어 환경만을 최고의 가치로 하는 '환경지상주의'의 논거가 아니라는 사실을 자명하다. 또한, 많은 환경문제들이 그 원인과 영향이 분명히 밝혀지지 않은 상황에서도 우리는 우리의 환경을 보호하기 위해서 무엇인가를 하여야 하고, 사전예방 원칙은 그러한 문제를 해결하는 좋은 이론적 도구가 될

수 있다. 지금이라도 우리사회에서 사전예방 원칙이 보다 합리적이고 과학적으로 정책에 적용되기 위해서는 많은 연구와 합의 그리고 정책 실험이 시작되어야 할 것이다.

1.2 환경물질에 대한 선진국의 관리형태 조사

1.2.1 오스트리아에서는 '94년 기준으로 일부 발생원에 대하여 총 28.7g I-TEQ의 다이옥신류가 배출된 것으로 예측하고 있다 (UBAVIE 1996). 비산업계 연소발생원에서 전체의 58%인 16.7g I-TEQ가 배출되었으며 가정용 연소시설(보일러 등)에서도 많은 양이 배출되고 있다.

오스트리아는 현재 환경매체나 식품에 대한 공식적인 가이드라인은 없다. 그러나 과거에는 각 경우에 대하여 최고허용농도를 설정하였고 토양에 대해서는 독일의 기준을 그대로 사용하였다. 우유에 대한 다이옥신류 오염을 우려하여 젖소에게 공급되는 목초에 대하여 최고 3ng I-TEQ/kg-건조중량을 권고하여 왔으나 현재까지 정보로는 가이드라인으로 발전될 가능성은 적은 것으로 파악되고 있다.

일일내용섭취량(TDI 슬러지 Tolerable Daily Intake)은 10pg 2,3,7,8-TCDD/kg-체중을 권고하고 있으며 이를 초과할 경우 폭로를 저감시키기 위한 조치를 취하여야 한다. TDI의 목표치는 1pg 2,3,7,8-TCDD/kg-체중으로 설정하고 있다.

1.2.2 덴마크에서는 북유럽국가들에 의해 권고된 일일내용섭취량 5pg N-TEQ/kg-체중을 자국에 적용하고 있다.

1.2.3 핀란드에서는 도시폐기물소각시설에 대해서만 다이옥신류를 규제하고 있다. '95년에 기존시설 1.0ng I-TEQ/m, 신규시설('90. 12. 1부터)도 1.0ng I-TEQ/m으로 정하고 목표치로서 0.1ng I-TEQ/m을 설정하였다. 핀란드는 '90년 이전에 설치된 시설도 포함시켜 모든 도시폐기물소각시설에 대하여 다이옥신류의 목표배출농도를 0.1ng/m으로 설정하였다. 오염토양에 대해서는 2ng I-TEQ/kg의 가이드라인과 500ng I-TEQ/kg의 법적 기준을 제안하고 있는 상태이다. 핀란드도 북유럽국가들에 의해 권고된 일일내용섭취량 5pg N-TEQ/kg-체중을 적용하고 있다.

1.2.4 프랑스에서 다이옥신류에 대한 법적 규제는 신규 도시폐기물소각시설에 대하여 '97년 2월 24일부터 유럽연합지령에 따라 0.1ng I-TEQ/m으로 설정하였다.

'97년 2월에 기존 도시폐기물소각시설에 대하여 0.1ng I-TEQ/m의 다이옥신류 가이드라인을 설정하였고, 지방정부에서는 각 사안에 따라 법적 규제치를 별도로 설정하고 있으나 국가적 차원에서 다이옥신류 배출농도를 0.1ng/m을 초과하지 않도록 권고하고 있다.

금속산업 및 제지산업에 대해서는 배출 권고치로 1ng I-TEQ/년이 설정되어 있고, 이 농도를 초과하면 저감조치를 취하고 시설 주변 3km이내의 생산되는 우유의 분석을 실시하여야 한다. 이외에 시멘트 및 석회제조 시설에서 폐기물 혼합 소각시 0.1ng I-TEQ/m의 권고치가 설정되어 있다.

프랑스 농업부는 우유 및 유제품에 대하여 최대농도로서 5pg I-TEQ/g-지방을 권고하고 있으며 이 농도이상이면 판매를 금지하

고 있다. 목표치는 1pg I-TEQ/g-지방이하이다. 일일내용섭취량은 Conseil Suprieur d'Hygine Publique of France에서 권고한 1pg I-TEQ/kg-체중이다.

1.2.5 '97년에 독일환경청(UBA)은 과거 및 장래의 다이옥신류 배출량을 추산, 예측하여 보고하였다 (Johnke 1997). 80년대에는 독일연방의 총 다이옥신류 배출량이 1~2kg I-TEQ/년으로 추정되었으며, 90년대초까지 다이옥신류의 배출은 지속적으로 감소하였다. 90년대초에는 총 다이옥신류 배출량이

1,000g I-TEQ/년이상으로 추정되었으며 '94/'95년에는 약 300g I-TEQ/년으로 추정하고 있다. 그리고 2000년에는 다시 70g I-TEQ/년이하로 크게 감소할 것으로 예측하고 있다. '90년대초 이러한 다이옥신류 배출량의 급격한 감소는 폐기물소각시설에 대하여 기존 소각시설을 '97년부터는 모든 도시폐기물소각시설이 0.1ng I-TEQ/m(17th BImSchV, 1990)의 다이옥신류 규제를 받게 됨에 따라 도시폐기물소각시설에서 배출되는 다이옥신류의 배출량은 4g I-TEQ/년이하가 될 것으로 예측되고 있다. 평균 배

<표 1> 액상점 온도증가에 따른 Solder 합금의 특성과 Creep특성 비교 (Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices)

합금구성 wt %	No	액상점 ℃	고상점 ℃	CTE 10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	전기저항 μΩ-cm	인장응력 ksi	0.2% offset Yield Stress	신장율	Creep 저항
50Sn-50In	1	117			14.7	1.72			
40Sn-60In	2	122	113			1.10	0.67	5.5	낮음
42Sn-58Bi	3	138	138	14.9	34.5	9.71	6.03	1.3	보통
43Sn-43Pb-14Bi	4	163	144			5.60	3.60	2.5	낮음-보통
30In-70Sn	5	175	117			4.67	2.54	2.6	낮음
62Sn-36Pb-2Ag	6	179	179			4.50	2.57	17.9	높음
63Sn-37Pb	7	183	183	24.7	15.0	5.13	2.34	1.38	보통
60In-40Pb	8	185	174			4.29	2.89	10.7	보통
60Sn-40Pb	9	190	183	23.9	15.0	4.29	2.89	10.7	보통
80Sn-20Pb	10	199	183			6.27	4.30	0.82	보통
96.5Sn-3.5Ag	11	221	221		12.3	8.36	7.08	0.69	높음
85Sn-10Pb-5Sb	12	230	188			6.45	3.63	1.40	보통
95Sn-5Ag	13	240	221		13.7	8.09	5.86	0.84	높음
95Sn-5Sb	14	240	235	27		8.15	5.53	1.06	높음
30In-70Pb	15	253	240			4.83	3.58	15.1	보통
5Sn-85Pb-10Sb	16	255	245			5.57	3.67	3.50	높음
25Sn-75Pb	17	266	183			3.35	2.06	8.4	낮음
15Sn-82.5Pb-2.5Ag	18	280	252			3.85	2.40	12.8	보통
10Sn-88Pb-2Ag	19	290	296			3.94	2.25	15.9	보통-낮음
95Pb-5Sb	20	295	268			3.72	2.45	13.7	
5Sn-93.5Pb-1.5Ag	21	301	296			6.75	3.85	1.09	보통
10Sn-90Pb	22	302	268			3.53	2.02	18.3	보통
1Sn-97.5Pb-1.5Ag	23	309	309			5.58	4.34	1.15	보통
5Sn-95Pb	24	312	308			3.37	1.93	26.0	보통-높음
95Pb-5In	25	314	292		33.8	3.66	2.01	33.0	

출농도 0.015ng I-TEQ/m을 토대로 전체 용량 15.9백만톤/년을 곱하면 도시폐기물 소각시설로부터 배출량은 1.3g I-TEQ/년 또는 전체 인벤토리의 약 2%가 된다(70g I-TEQ/년이하)(Johnke 1997, 1998). '98년에는 평균 배출농도 0.05ng I-TEQ/m과 총 소각용량 13.6백만톤/년을 기준으로 배출량을 약 4g I-TEQ/년로 추정하고 있다.

1.2.6 영국의 농수산 식품부(Ministry for Agriculture, Fisheries and Foods, MAFF)에서는 우유중 다이옥신류(Co-PCB포함)에 대하여 최대내용농도(Maximum Tolerable Concentration ; MTC)를 0.66ng TEQ/kg(우유 전체로는 약 16.6ng TEQ/kg-유지방)으로 권고하고 있다.

여러 산업공정에 대하여 달성 가능한 다이옥신류 농도를 제시하고 있으며 이러한 가이드라인은 지침형태(IPC guidance Note)로 제시되고 있다. 각종 폐기물 소각시설(도시폐기물, 병원폐기물, 화학폐기물, 하수슬러지, 동물사체, 화장, 재생유)에 대해서는 0.1ng TEQ/m을 권고하고 있다. 연소시설(대형보일러, 산업로, 엔진, 시멘트석회킬른 등)에 대해서도 0.1ng TEQ/m이 권고되고 있다. 금속제조시설(철강, 비철금속, 주물 등)이나 종이펄프제조시설에 대해서는 1.0ng TEQ/m이 권고되고 있다.

최대TDI로는 10pg TEQ/kg-체중(PCB포함)이 화학물질독성위원회(Committee on the Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment, COT)에 의해 추천되고 있다.

1.2.7 물론 Pb 및 Bromide에 대한 규제는 전 유럽 국가가 대부분 규제대상으로 분류

하여 규제를 하고 있거나 규제준비단계에 있으며, 이러한 배경에는 상기 내용과 같은 이유가 내재되어 있다고 보아야 한다.

1.3 Solder에 있어서 환경물질(Pb)과 Stress Factor 분석

위의 <표1>에서 보는바와 같이 Pb의 비율을 낮추면서 Ag, Sb 금속 물질 등을 이용해도, 일정한 온도까지는 고온Solder를 얻을 수 있으나, 250℃ 이상의 고온 Solder의 경우는 Pb를 사용해야 하는 어려움이 있다. 그러나 문제의 핵심은 Pb의 경우 이미 환경물질로 분류 된지 오래되었고, 인체에 유해한 문제를 유발시키는 속성이 강한 것으로 인식되고 있으나, 상기의 이유 등으로 인하여, 고열부위에 탑재되는 제품의 제조 과정에서는 사용을 하지 않을 수 없는 현실적인 문제가 있으며, 이러한 과제들을 어떻게 해결하느냐가 문제해결의 관건이 되고 있다. 따라서 문제의 핵심은 Creep저항을 높은 상태로 유지하면서 고온Solder를 얻을 수 있는 방법과 제품 설계시점에서 방열구조를 효과적으로 수행함으로써 저온 Solder(비교적 저온일 경우 Pb의 함량이 줄어 듦)의 사용을 늘리는 방법을 고려해야 할 것으로 판단된다. 그리고 이러한 Pb와 같은 환경물질들의 신뢰성평가에도 현실적인 문제들을 어떻게 수용하고, 기업에 대안을 제시 할 것인가에 대해 심사숙고해야 할 것으로 본다.

환경물질에 대한 신뢰성평가의 원칙은 현실적인 문제 해결에 주력하여야 하며, 제품을 설계하는 단계에서 자사 제품의 구조적인 문제점을 분석하여

개선함으로써 무역장벽으로서 작용하고 있는 각종 규제를 효과적으로 대응 할 수 있는 대안을 설계해나가야 한다.

특히, 환경물질의 신뢰성평가는 원부자재의 적용과 밀접한 관계가 있으므로, 보다 더 신중한 판단과 조사 연구가 뒷받침 되어야 하며, 이러한 조사와 연구를 토대로 하여 환경물질 규제에 대응하기 위한 대책 수단이 수립되어야 하겠다.

1.4 시험계획 수립

환경물질에 대한 신뢰성평가를 위한 시험계획은 주로 화학적인 입장에서 접근되어야 하므로 다음의 사항을 염두에 두고 판단하여야 할 것으로 본다.

- 1) 무기물의 분류를 실시하고, 무기물 가운데 환경 물질로 분류되는 요소들을 철저히 조사 및 분석하여야 하겠다.
- 2) 무기물 분석에 적용되는 시험방법들을 조사하여 분석에 필요한 시스템을 구축하여야 한다.
- 3) 분석 시스템의 구축은 주로 “ICP장비의 운용시스템 구축, SEM+EDS 시스템의 운용체계 구축, TA 혹은 TMA 장비 등의 운용체계 구축 등이 필요하며, 이러한 분석 시스템의 구축을 위한 전문분석인력의 육성과 양성은 향후 세계적인 TPS 체계에 대응하기 위한 근본적인 방패로서의 역할을 수행 할 것으로 본다.
- 4) 상기 절차에 의한 기본적인 사항이 구축된 이후에 시료의 전처리를 위한 화학적인 처리 프로세스를 구축하여야 하며, 초자기구, 화공약품등과 같은 전, 후 처리에 필요한 사항들을 준비해야 할 것으로 본다. 이때 시험 분석실의 환경적 안전에 만전을 기하여야 한다. 특히 강산

을 취급하는 경우에는 환기시설 및 폐수처리를 위한 시설, 약품 등의 보관조건에 대한 철저한 운영 체계 등이 유지 관리될 수 있도록 조치하여야 한다.

- 5) “1)번 ~5)번”까지의 준비가 완료되면, 시료를 채취하여 시험을 실시하고 분석단계에 들어가는데, 이때 반드시 실험계획법에 근거하는 시험을 실하여야 한다. 일반적으로 현장에서는 통계처리의 난해성을 호소하고 있지만 기본적인 통계 처리는 반드시 실시하여야 한다.
- 6) 후처리를 실시할 때 주의하여야 할 사항은 Data의 정확도 유지에 관한 사항이며 처리시 수질에 대한 순도유지 및 관련사항의 정밀도 유지가 반드시 수반되어야 한다.

1.5 환경물질의 신뢰성 평가를 위한 Sampling

평가를 위한 Sampling은 기본적으로 Random Sampling을 근간으로 실시하여야 한다. 단, LTPD방법론을 취할 경우 보다 더 정확한 Sampling이 될 수 있다고 본다. 물론 KS A의 계수 선별형 1회 샘플링검사를 실시하는 경우에는 P관리도에 의한 관리가 용이하게 된다.

1.6 환경물질에 대한 신뢰성평가방법의 설정

환경물질에 대한 신뢰성평가는 다각적인 시각에서 시도되어야 하며, 단순히 내구성 위주의 시험방법에 의존한다든가 제품의 수명유지 관점에서만 접근하여서도 안 된다는 것이다. 환경물질의 본질적인 문제를 인식하고, 문제의 본질에 근접한 개념에서 환경물질의 신뢰성 평가가 이루어져야 하므로

다음의 절차를 만족하여야 하겠다.

- 1) 먼저 유해환경에 대한 정의가 이루어져야 한다.
- 2) 고객의 사용 환경에 위해를 가하지 않기 위한 조건을 찾아야 한다.
- 3) 환경물질에 대한 특성을 정의하여야 한다.
- 4) 각종 인체상의 위해 요소들에 대해 정의하고, 개념을 정확히 분석해야 한다.
- 5) PHA를 실행함으로써 환경적인 위해요인을 계량화 하여야 한다.
- 6) SHA를 실행함으로써 예비단계 환경위해 요인들을 시스템적인 관점에서 분석하고 계량화 하여야 한다.
- 7) Health Care FMEA를 실행함으로써 환경상의 위해요인 분석은 물론 PL(제조물책임)관점의 문제점 개선을 실행함으로써 근원적인 위험요소 제거를 위한 노력을 하여야 한다.
- 8) 위해요인에 대한 통계처리를 실행하여야 하며, 환경 및 신뢰성 측면의 통계분석에 근거하는 문제 해결을 추구하여야 한다.

1.7 환경물질에 대한 사용 신뢰성평가방법의 전개

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

1.7.1 환경물질을 발생시키는 각 영역의 위험도 평가를 선행해야 한다.

- Preliminary Hazard Analysis를 실행해야 한다.
- Sub System Hazard Analysis를 실행해야 한다.

-System Hazard Analysis를 실행해야 한다.

1.7.2 환경물질에 대한 Risk Priority Number를 측정하여야 한다.

- 각종 환경물질 관리 시스템의 기능실패를 예견 할 수 있는 공공 시설물에 대한 FMEA를 실행 하여야 한다.

1.7.3 각종 건축물 및 구조물과 공공시설에 대한 철저한 신뢰성 평가가 수반 되어야 한다.

- Reliability Centered Maintenance를 실행함으로써 구조물 및 공공시설물의 안전성 및 신뢰성을 확보해야 한다.

IV. 결 론

반도체 부품 및 SMD 부품을 비롯하여, 우리가 일상에서 접하는 각종 플라스틱 용기와 우리가 사용하는 보일러, 그리고 항상 호흡하는 각종 편의시설로부터 발생하는 환경물질에 대한 문제와 쾌적한 환경유지를 위한 환경의 신뢰성평가 방법론은 다양한 각도에서 바라보고, 관리되어야 한다는 관점에서 볼 때 매우 난해하고 어렵게 보이기는 하나, 현실적인 시각을 가지고 바라본다면 그리 어려운 일은 아닐 것으로 판단된다.

특히, 공공시설물의 안전 및 신뢰성 시스템 결함은 자연환경의 급격한 변화에 대비할 수 있을 만큼의 내구력과 강성을 유지해야 하며, 유지하지 못하는 불행한 상황이 발생하는 경우 심각한 환경 재난으로 이어진다는 사실을 인식해야 한다. 따라서 환경물질에 대한 사용 신뢰성평가 방법에 관한

과제는 실로 어렵고 갈 길이 멀어 보인다. 하지만 보다 쾌적하고 안전한 환경에서 살 고자 하는 국민개개인의 본질적인 욕구는 이러한 사항들이 실현가능한 수준으로 진입 시킬 것으로 예측된다.

이미 선진국의 경우는 복지와 환경과 안전이라는 영역에서 앞서가고 있으며, 우리나라도 각계각층의 환경과 안전을 향상시키기 위한 방법론의 개발과 제안과 연구가 보다 적극적으로 시도되고 적극 지원되어야 한다고 본다.

- [9] Beyond Total Quality Management : toward the emerging paradigm, 1994
- [10] MIL-S- 19500
- [11] Reliability and Degradation of Semiconductor Laser and Leds, 1991
- [12] The vision of Six Sigma : A Roadmap for Breakthrough, 1994
- [13] AT & T Reliability Handbook, 1999
- [14] Introduction to Reliability Engineering, E. Lewis, 1997
- [15] 유럽국가의 다이옥신류 규제기준

참고문헌

- [1] Safeware ; system safety and computers : ADDISON-WELSLEY
Nancy G. Leveson , University of Washington, 2003
- [2] Accelerated Stress Testing Handbook : Edited by H.Anthony Chan and Paul J.Englert, IEEE PRESS, 2003
- [3] 환경백서 : 환경부 2003년 6월
- [4] E.Tsunashima : IEEE Trans. CHMT, Vol. CHMT-1, No.2, pp.182 - 186, 1978
- [5] K.Sato, Y.Ogata, K.Ohano and H.Ikeo: 18th Reliability Physics, pp. 205 - 212, 1980
- [6] IBM :IEEE Trans 1989
- [7] Three Caps : Environment Reliability Test for Electronic Parts and Electronic Equipment, 1992
- [8] Tree Caps : 고분자 물질의 속수명시험 방법론, 1997