Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 19, No. 4, p. 1-5. 2012
http://dx.doi.org/10.6117/kmeps.2012.19.4.001

특집 : 일본 무연패키지 신뢰성 평가기술의 최신동향 (3)

전자기기의 시장환경조건과 신뢰성시험

H. Tanaka[1] · 김근수[2,†]
[1]에스펙 주식회사, [2]호서대학교 융합기술연구소

Market Environmental Conditions and Reliability Testing for Electronic Equipments

Hirokazu Tanaka[1] and Keun-Soo Kim[2,†]
[1] ESPEC Co., Osaka 530-8550, Japan
[2]Fusion Technology Lab., Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(2012년 12월 12일 접수: 2012년 12월 14일 수정: 2012년 12월 17일 게재확정)

Abstract: The quality and performance of electronic parts and equipment are affected by various types of stresses. Thermal stress caused by changes in the ambient usage environment and mechanical stress from vibration shock during transportation can degrade both quality and performance. This paper gives an overview about recent researches for measuring market environmental conditions of electronic equipments.

Keywords: temperature, humidity, fluctuation, vehicle, vibration

1. 서 론

신뢰성 시험은 부품이나 기기의 수명을 추정하여 제품의 사용 중 고장을 감소 시켜, 안심하고 사용할 수 있는 제품 개발과 소비자에게는 제품을 보증하기 위한 기술이다. 신뢰성 시험은 어셈블리 공장의 환경조건과 제품으로 출하한 후의 수송, 보관, 소비자의 사용환경, 사용방법과 같은 사용자의 시장환경조건, 이러한 두 가지 측면에서 검토하지 않으면 안 된다. 특히 최근에는 전자기기의 소형화, 고기능화를 위해 반도체 디바이스 소자의 미세화와 고밀도 실장이 보급되어, 실장 기판 접합부의 미세화와 핏치 간격 미세화가 기기의 수명을 좌우하는 요인으로 표면화되고 있다. 예를 들면 온도변화는 부품이나 기기를 구성하는 재료의 열팽창계수 차에 의한 치수변화를 야기하여 접합부에서 큰 열응력을 발생시키고 이것이 반복되면 열피로가 발생한다.[1,2] 또한 습도변화는 결로현상 등을 일으켜 전기적 절연성을 열화시키는 경우도 있다. 따라서 부품이나 기기를 개발하는 사람은 제품이 설치되는 환경조건인 온도, 습도 등에 대한 최고치나 최저치를 미리 파악해야 할 필요가 있다.

IEC(International Electro-technical Commission)에서는 Table 1에 나타낸 바와 같이 전자기기가 노출되는 환경인자를 분류하고[3] 환경 시험조건을 정의하고 있다.[4] 하지만, 제품이 설치되는 환경조건이나 사용조건이 제품의 종류, 사용하는 사람에 따라 달라질 수 있기 때문에 적절한 시험조건의 선택은 쉬운 일이 아니다. 본 고에서는 자동차 내부의 온도습도 환경의 변화, 수송 중의 진동환경의 변화, 프린트 기판의 자기발열 등 각종 환경조건을 실제로 측정하여 전자기기가 어떠한 환경에 노출되는지, 어떤 시험을 선택하면 좋은지에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

2. 자동차 내부의 온도 · 습도 환경[5]

2.1. 자동차 환경의 측정방법

자동차 환경 측정기는 승용차의 캐빈 좌석 밑 (이하 자동차 내부로 함)에 설치하였다. 그 이유는 일사량이나 비의 직접적인 영향을 받지 않고, 에어컨에 의한 송풍의 영향도 받지 않아 자동차 내부의 온도습도 변화를 측정 가능하기 때문이다. 승용차의 주차장소는 실외(햇빛이 드는 평지)이다. 측정시간은 동절기(1월)와 하절기(8월)의 1개월 동안 30분 간격으로 측정하였다. 기록계는 일정시간, 일정간격으로 측정 가능한 온습도 기록계(Espec사제, RS-11)을 사용하였다.

†Corresponding author
E-mail: keunsookim@hoseo.edu

© 2012, The Korean Microelectronics and Packaging Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Environments of electronic products.[3)]

Environmental Factor	Unit	Condition
Temperature	℃	-80 to 85(200)
Change of temperature	K/min	0.1 to 10
Relative humidity	%	4 to 10
Absolute humidity	g/m^3	0.003 to 80
Atmospheric pressure	Kpa	30 to 106
Change of Pressure	Kpa/min	0.1 to 1
Rain	mm/min	6 to 15
Solar intensity	W/m^2	500 to 1120
Acceleration	m/S^2	5 to 20
Drop	m	0.025 to 1.5
Electric intensity	V/m	0.03 to 600

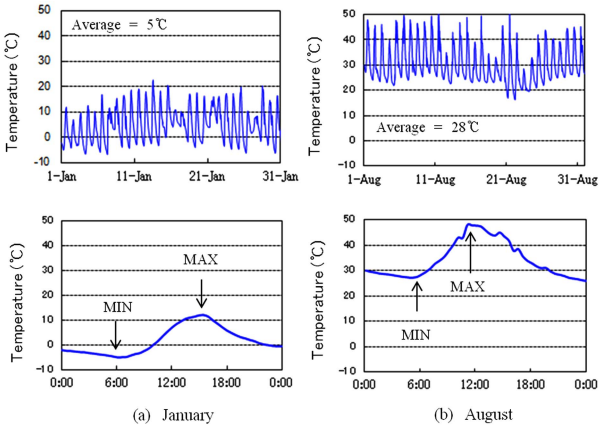


Fig. 1. Indoor temperature changes in vehicle. (Utsunomiya, Japan)

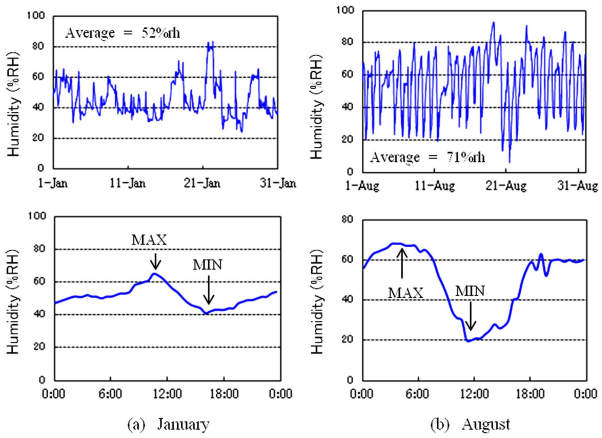


Fig. 2. Indoor humidity changes in vehicle. (Utsunomiya, Japan)

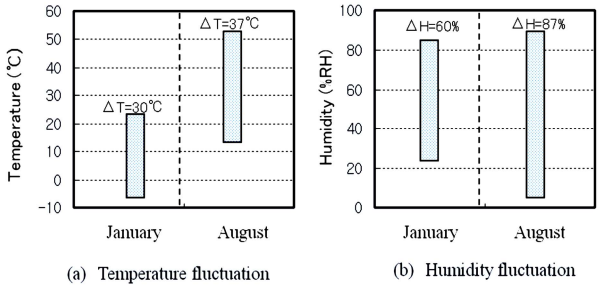


Fig. 3. Comparison of maximum temperature and humidity fluctuations. (ΔT = Range of temperature fluctuation; ΔH = Range of humidity fluctuation)

2.2. 자동차 노출환경의 온도습도 환경변화

Fig. 1에 동절기와 하절기의 각 1개월 동안과 1일 동안의 온도변화를 나타내었다. 온도변화는 1일 에 사이클 변화를 보였다. 하절기는 동절기에 비해 온도 변화가 큰 폭으로 나타났다. 월간 평균온도는 동절기는 5℃, 하절기는 28℃로 측정되었다. 1일간의 온도변화를 자세히 보면, 동절기에는 6시경에 최저온도를 나타내었고, 그 후 서서히 상승하여 15시경 최고온도에 도달한 후 다시 하강하였다. 하강 시의 온도변화는 2℃/hour였다. 한편 하절기에는 5시경 최저온도를 나타내고 12시경에 최고온도에 도달한 후, 하강하였으며 속도는 3℃/hour로 동절기에 비해 큰 변화를 나타내었다.

Fig. 2에 동절기와 하절기, 각 1일간의 습도변화를 나타내었다. 습도의 사이클 변화를 살펴보면, 하절기는 동절기에 비해 큰 습도변화를 보였으며, 월간 평균습도는 동절기는 52%RH, 하절기는 71%RH였다. 1일 동안의 습도변화는 동절기에는 10시경 최고습도를 나타내었고, 서서히 하강하여 16시경에 최저습도에 도달한 후, 다시 아침까지 서서히 상승하였다. 하절기에는 4시경에 최고습도를 나타낸 후, 서서히 하강하여 12시경에 최저습도에 도달하였다. 아침까지 다시 서서히 상승하여, 온도변화와 정반대의 경향을 나타내었다. 그 요인은 반밀폐공간인 자동차 내부가 낮에는 고온이 되기 때문에 포화수증기압에 대한 상대적인 습도가 저하하기 때문이며 밤에는 그 반대이기 때문이다.

Fig. 3에 동절기와 하절기의 월간 온습도 폭을 비교하여 나타내었다. 월간 최저 및 최고 온습도에 대한 폭을 나타낸 것으로 온도 폭은 동절기와 하절기가 큰 차가 없으나, 전체적으로 온도 폭이 이동하는 경향을 나타내었다. 한편 습도 폭은 동절기에 비해 하절기가 컸다. 자동차 내부는 온도와 습도의 변화가 심한 환경조건이어서 자동차에 설치되는 전자기기는 건물의 실내에 설치되어 사용되는 전자기기에 비해 높은 내구성이 필요함을 알 수 있다. 최근에는 자동차용 전자기기의 환경시험방법으로 온도변화시험, 결로시험 등 가혹한 환경조건도 규격화되고 있다.[6)]

3. 전자기기 수송시의 진동환경[5)]

3.1. 수송환경의 측정방법

진동측정을 위해 이용한 수송용 트럭은 적재량 4톤급, 에어 서스펜션(air suspension) 사양이며, 측정대상은 트럭 적재부 중앙에 설치한 프린트 실장기판이 들어있는 케이

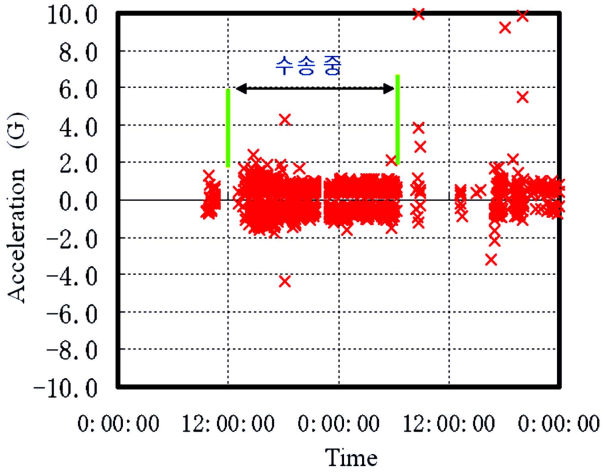


Fig. 4. Vibration acceleration changes in transit.[5)]

스로, 이 케이스의 상부에 진동기록계(Yoshida Seiki사제, DER-SMART)를 고정하였다. 진동기록 방향은 XYZ방향의 3축, 12분 간격으로 측정하였고, 구간은 도치기현 우쯔노미아시에서 효고현 고베시까지의 700 km로 하였다.

3.2. 수송 중의 진동환경

Fig. 4는 진동가속도가 가장 큰 값을 나타낸 상, 하 (Z) 방향의 시간-진동 가속도 발생 그래프이다. 그래프 중의 x 표시는 ±0.5 G (4.9 m/s^2) 이상의 진동이 발생할 때의 시간과 가속도의 관계를 나타낸다. 수송 중의 진동가속도는 약 ±1 G (9.8 m/s^2) 정도이며, 연속적인 진동상태임을 알 수 있다. 일시적으로 큰 진동가속도가 나타나는 것은 화물을 쌓고 내리는 작업 때문이다. 또한 수송 도중의 진동가속도가 0인 기간은 트럭의 정차에 의한 것이다.

수송 중의 화물에 큰 진동가속도가 가해지지 않은 이유는 주행 중의 도로가 대부분 고속도로였고, 수송용 트럭이 에어 서스펜션을 사용하고 있어 화물 적재부의 진동을 저감하여 수송품질을 확보하고 있었기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 계측한 상하방향의 진동데이터를 주파수 분석한 결과이다. 횡축은 주파수, 종축은 진동에너지인 PSD

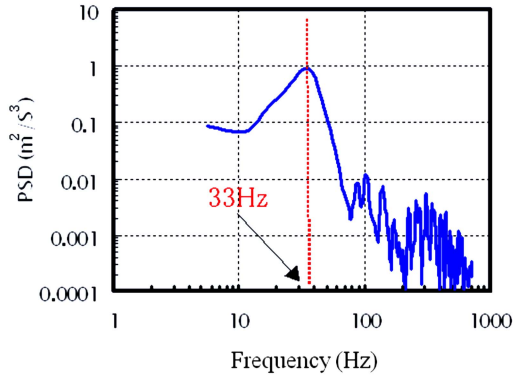


Fig. 5. Vibration frequency changes in transit.[5)]

(Power Spectral Density, 단위: m^2/s^3) 값이다. PSD 피크 치는 33 Hz 부근이며, 그 이상의 주파수 대역에서는 급격히 저하되었다. 이 33 Hz는 JIS(Japanese Industrial Standards)에 있는 자동차 부품의 진동내구성 시험방법[6)]의 시험진동수와 유사한 정도이다.

본 실험의 결과로부터 실제 차량 주행에 의한 진동특성을 수치화하면, 진동시험기에 의한 재현시험이 가능하여 제품출하 후 수송 중의 적절한 포장 설계의 검증에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 프린트 실장기판의 발열온도 측정[8)]

4.1. 실장기판의 발열온도 측정방법

온도측정에 이용한 프린트 실장기판은 4층 글래스 에폭시 기재로 그 양면에 전자부품이 실장되어 있으며, 중심부에는 208핀 QFP 패키지의 32비트 마이크로 프로세서가 탑재되어 있다. 열화상의 측정은 적외선 열화상 카메라(Nippon Avionics사제, TVS-500)를 이용하여 프린트 실장기판의 상부에서 1분 간격으로 기록하였다.

4.2. 자기발열에 의한 온도변화

Fig. 6(a)에는 무통전, (b)에는 통전 시(통전 15분 후)의 프린트 실장기판 표면의 열화상(무풍환경, 주위온도는 22ºC)를 나타내었다. 무통전 시는 기판 전체가 주위환경과 큰 차이가 없었으나, 통전 시에는 마이크로프로세서 중심부가 46ºC 정도를 나타내었고, 그 주위에 열을 전도하고 있는 상황임을 알 수 있었다. 부품 간이나 주위공기와의 온도 차는 재료의 열팽창계수나 열용량의 차에 의한 열응력으로 표현된다. 특히, 최근의 소형 고밀도 실장

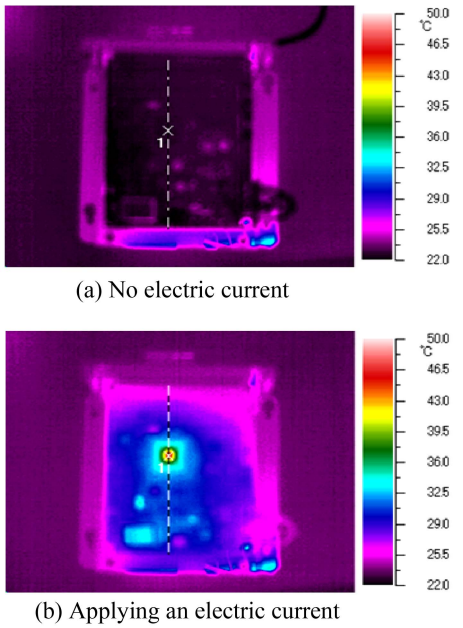
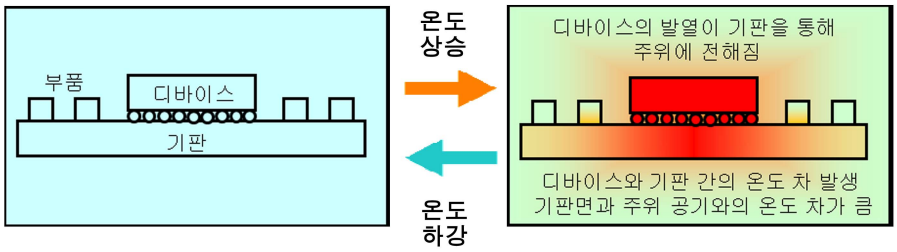


Fig. 6. Thermal infrared images of electronic components mounted on a printed circuit board.[9)]



(a) No electric current (b) Applying an electric current

Fig. 7. Temperature changes of electronic components mounted on a printed circuit board.

Table 2. IEC standards and their test conditions.[4)]

Standard Name (IEC No.)	Test Conditions
Cold (60068-2-1)	Temperature: -65, -55, -50, -40, -33, -25, -10, -5, +5°C Duration: 2, 16, 72, 96Hr
Dry heat (60068-2-2)	Temperature: +30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 85, 100, 125, 155, 175, 200°C Duration: 2, 16, 72, 96, 168, 240, 336, 1000Hr
Damp heat, steady state, accelerated test primarily intended for components (60068-2-67)	Temperature: 85°C, 85% Duration: 168, 504, 1000, 2000Hr
Change of temperature (60068-2-14)	Minmum Temperature: Choice from the IEC 60068-2-1 Maximum Temperature: Choice from the IEC 60068-2-2
Damp heat, cyclic (12h+12h cycle) (60068-2-30)	1. 40°C/90~96% and 25°C/95% 2. 55°C/90~96% and 25°C/95%

기판은 구조가 매우 복잡하고 미세접합으로 연결되어 있어, 여기에 열부하가 더해지면 온도 차가 발생하면 이종재료 사이에 열응력이 발생하고, 이것이 반복되면 응력이 집중되어 크랙이 발생하거나 고장의 원인이 된다.

Fig. 7은 전자기기 내부를 모사한 통전 시의 온도변화의 개념도이다. 통전이 개시되면 디바이스가 발열하여 기판을 통해 열이 주위에 전달된다. 또한 그 일부는 자연방열에 의해 주위공기의 온도도 상승시키게 된다. 그 후 통전을 멈추면 주위공기의 온도로 냉각된다. 주위환경의 변화가 기기에 영향을 미치는 경우와는 다르게 스마트폰 등의 고밀도화된 실장기판에서는 전원의 On/Off에 의해 반복적인 자기발열과 냉각으로 발생하는 온도변화가 신뢰성에 영향을 미치기 때문에 온도사이클 시험을 중요시 하고 있다.[10,11)]

5. 시장환경조건과 신뢰성시험

위에서 시장환경의 몇가지 예를 설명하였다. 제품개발에 있어서 시장환경조건을 무시하고 제품의 신뢰성을 논할 수는 없다. 수집되어야 할 환경조건 데이터에 부족함이 있으면 신뢰성은 확보될 수 없다. Table 3은 제품개발 프로세스에 있어서 시장환경 수집이나 신뢰성시험의 역할을 나타내고 있다. 먼저, 사용환경, 관련 시험규격 조사, 종래 제품의 고장 경향 등의 정보를 수집한다. 다음으로 어떤 고장이 일어날지를 예상하여 그 고장은 어떤 환경에서 발생하고 어떤 시험으로 검출 가능한 지를 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)나 FTA(Fault Tree Analysis) 등을 이용하여 추정한 후 시험계획을 세운다. 그 후 신뢰성시험을 실시하여 고장을 검출하고 문제가 있으면 개선한다. 개선대책을 적용한 제품과 그렇지 않은 제품을 비교 시험하여 개선대책이 적절한 지를 재확인한다. 마지막으로 적용한 시험방법이나 검사방법을 수정, 보완하고 순서화하며, 시장 데이터 등을 보고서로 축적한다.

Table 3. Product development process.

STEP	항목	실시내용
1	정보수집	• 시장환경의 파악 • 관련 시험규격의 조사 • 과거의 고장 경향, 고장 수 조사
2	고장의 추정 시험계획	• 고장의 추정(FMEA, FTA) • 고장 메커니즘에 대응한 시험계획
3	신뢰성 시험의 실시	• 시장환경에 기초한 시험 • 고장의 검출
4	제품개선	• 제품의 개선 • 개선대책과 제품과 미 대책 제품과의 비교시험
5	문서화, 데이터 축적	• 시험, 조사방법을 수정하여 순서를 결정 • 시장환경 데이터의 축적

6. 결 론

본고에서는 시장환경과 신뢰성 시험방법과의 관계에

대해 기술하였다. 시대에 따라 시장환경이 급격히 변화하고 있어, 오랜 사용실적이 있고 신뢰성이 높다고 인식되던 부품이나 기기라고 할지라도 생활양식이 바뀜에 따라 사용환경도 변화하여 신뢰성이 저하되는 예가 다수 보고되고 있다. 제품의 신뢰성을 유지하기 위해서는 전자기기가 사용되는 환경을 항상 수집하고 시험방법을 바꾸어 나아가야 한다.

참고문헌

1. S. Y. Hong, S. M. Jin, J. W. Yi, S. H. Cho, J. C. Doh and H. Y. Lee, “Reliability Improvement of Cu/Low K Flip-chip Packaging Using Underfill Materials”, J. Microelectron. Packag. Soc., 18(4), 19 (2011).
2. J. W. Joo and D. H. Kim, “Thermo-Mechanical Deformation Analysis of Flip Chip PBGA Package Subjected to Temperature Change”, J. Microelectron. Packag. Soc., 13(4), 17 (2006).
3. IEC-60721-1, “Classification of Environmental Conditions-Part 1: Environmental Parameters and Their Severities”, International Electro-Technical Commission (2002).
4. IEC-68-1, “Environmental Testing Part 1: General and Guidance”, International Electro-Technical Commission (1988).
5. H. Tanaka, “Measuring Temperature, Humidity, and Vibration in Micro-Environments”, ESPEC Technology Report, 19, 8 (2005).
6. ISO-16750-4, “Road Vehicles-Environmental Conditions and Testing for Electrical and Electronic Equipment-Part 4: Climatic Loads”, International Organization for Standardization (2010).
7. H. Hirata and Y. Tokunaga, “Method for Estimating Cargo Damage during Truck Transportation” (In Japanese), Matsusita Technology Report, 99 (2002).
8. JIS-D-1601, “Vibration Testing Methods for Automobile Parts” (In Japanese), Japanese Industrial Standard (1995).
9. S. Sakami and H. Tanaka, “Measuring Temperature, Humidity, and Vibration in Micro-Environments Part 2” (In Japanese), ESPEC Technology Report, 48, 1 (2007).
10. Z. Radivojevic, Y. Abdul-Quadir, P. Myllykoshi and J. Rantana, “Reliability Prediction for TFBGA Assemblies”, IEEE Trans. Compo. Packag. Technol., 29(2), 379 (2006).
11. N. Vichar, V. Evaloy and M. Pecht, “In-situ Temperature Measuring of the Notebook Computer”, IEEE Trans. Device Mater. Reliab., 4(4), 658 (2004).

• Horikazu Tanaka (田中浩和)
• 1964년생
• ESPEC CORP.
• 신뢰성공학, 금속부식공학, 전기화학공학
• E-mail: h-tanaka@espec.co.jp

• 김근수 (金槿銖)
• 1970년생
• 호서대학교대학원 나노융합기술학과/융합기술연구소
• 무연 패키징, 인쇄전자
• E-mail: keunsookim@hoseo.edu