

우주용 상용 PEM 소자의 적용 및 검증기술 동향

조영준*, 이창호**, 이춘우***, 황도순****

Application and Verification Trend of COTS PEM Devices in Space Program

Young-Jun Cho*, Chang-Ho Lee**, Choon-Woo Lee***, Do-Soon Hwang****

ABSTRACT

As the system requirements of performance, weight, cost are increasing, the needs of electronic parts which have high performance and efficiency are growing. To satisfy such requirements, demand of high performance and rapid upgraded commercial parts is also increasing compared to NASA or ESA standard parts. Especially, commercial PEM(Plastic Encapsulated Microcircuit) parts are applied in many space programs and research is continuing to broaden its application area. In this paper, concerns and verification trends of commercial PEM parts in space applications are introduced.

초 록

위성시스템의 성능 및 무게, 비용 등의 요구조건이 높아지면서 시스템 설계를 위한 고성능, 고효율의 전기전자부품이 요구되고 있다. 이런 요구를 충족하기 위하여 NASA나 ESA에서 사용하고 있는 고 신뢰성과 안전성에 바탕을 둔 기존의 표준소자에 비해 신기술과 고성능으로 빠르게 업그레이드되고 있는 상용부품의 수요가 증가하고 있다. 특히 상용집적소자인 PEM은 많은 우주프로그램에서 사용되고 있고 그 영역을 넓히기 위한 연구가 계속되고 있다. 본 논문에서는 우주 프로그램에 사용하기 위한 상용 PEM소자의 고려사항과 검증동향에 대해 소개하고자 한다.

Key Words : Commercial Part(상용부품), PEM(플라스틱 패키징 집적소자), EEE Part(전기, 전자, 전기기계 부품), MSL(습기민감도레벨)

* 조영준, 한국항공우주연구원 위성기술사업단 위성구조팀
yjcho@kari.re.kr

** 이창호, 한국항공우주연구원 위성기술사업단 위성구조팀
chlee@kari.re.kr

*** 이춘우, 한국항공우주연구원 위성기술사업단 위성구조팀
lcw@kari.re.kr

**** 황도순, 한국항공우주연구원 위성기술사업단 위성구조팀
dshwang@kari.re.kr

1. 서론

PEM(Plastic Encapsulated Microcircuits)소자는 성능, 크기, 무게, 비용 등의 이점으로 인해 항공기, 통신, 군 및 우주급에 광범위하게 사용되고 있다. 특히 기술적, 비용적인 압력은 우주 프로그램과 같이 고 신뢰도를 요구하는 시스템에까지 적용비중을 증가시키고 있다. 그러나 플라스틱 패키징이 가지는 근본적인 취약점과 우주프로그램에서 사용되는 밀폐형 표준소자와의 차이, 그리고 통제프로그램의 차이는 상용 PEM 부품의 우주 프로그램 적용에 대해 신중한 접근을 요구한다.

2. 우주프로그램에서의 상용 전기 전자부품의 요건현황

NASA(National Aeronautics and Space Administration), ESA(European Space Agency), JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 우주프로그램용 전기전자부품의 기준 요건을 보면 표준부품의 경우 각 기관이 서로 공유하여 인정하고 있어 큰 차이는 없다. ESA에서는 최근 2007년 7월에 전기전자 부품관련 기준서인 ECSS-Q-60B(Space Product Assurance, Electrical, Electronic and Electromechanical Components) 개정판을 발행하였고 부품의 품질단계를 기존의 2단계에서 NASA와 같이 3단계로 분리하여 세부적인 요건을 제시하고 있다. ESA의 상용부품에 대한 요건은 프로그램에 따라 적정성을 평가하여 승인하도록 하고 있고, 추가적인 로트 샘플시험이나 파괴시험 등의 요건을 기술하고 있다. JAXA의 관련 기준문서인 GBA-99010(Standard for EEE Parts Program)에서는 표 1과 같이 상용부품을 비표준소자로 분류하여 통제규격을 통해 검증요건 및 관련 기준을 프로그램에서 승인하도록 하고 있다. ESA와 JAXA가 상용 부품에 대한 상위레벨의 가이드라인만을 제시하는 반면 NASA의 EEE-INST-002(Instruction for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating)에서는 특히 상용 집적소자인 PEM에 대한 세부적인 요건을 제시하고 있고 별도의 문서인 PEM-INST-001(Instruction for Plastic Encapsulated

Microcircuit Selection, Screening, Qualification)을 통해 부품의 선정부터 세부 검증항목 및 적용시의 고려사항 등의 상세 가이드라인을 제시하고 있다.

표 1. JAXA 표준소자 및 비표준소자 기준

자료 : JAXA GBA-99010C, 2004

| Quality level | Standard parts | Non-standard parts ⁽¹⁾ |
|---------------|---|--|
| Class I | 1) Class I parts listed in JAXA QPL/QML | Parts qualified and evaluated per a part specification that requires quality levels equivalent to those with Class I standard parts |
| | Level 1 parts listed in NPSL ⁽²⁾ | |
| | Level B parts listed in ESCC QPL (former ESA/SCC QPL) | |
| | Parts listed in Part I of EPPL (ECSS-Q-60-01) | |
| | Level 1 parts listed in GSFC EEE-INST-002 ⁽²⁾ | |
| | Grade 1 parts listed in GSFC PPL-21 ⁽²⁾ | |
| | Parts (a quality level is based on the NPSL level 1) listed in MIL QPL/QML(2) | |
| Class II | 2) Class II parts listed in JAXA QPL/QML | Parts qualified and evaluated per a part specification that requires quality levels equivalent to those with Class II standard parts |
| | Level 2 parts listed in NPSL ⁽²⁾ | |
| | Level B parts listed in ESCC QPL (former ESA/SCC QPL) | |
| | Parts listed in Part I of EPPL (ECSS-Q-60-01) | |
| | Level 2 parts listed in GSFC EEE-INST-002 ⁽²⁾ | |
| | Grade 2 parts listed in GSFC PPL-21 ⁽²⁾ | |
| | Parts (a quality level is based on the NPSL level 2) listed in MIL QPL/QML(2) | |

Notes :

- (1) NSPAR is required.
- (2) All application notes in NPSL, GSFC EEE-INST-002 and GSFC PPL-21 shall apply.

3. 상용 PEM 소자와 우주급 표준부품과의 차이점

현재 알려진 부품시장은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- Space & Military
 - Military Space Level Parts
 - Military Level Parts

- Manufacturer Military equivalent parts-883
- Manufacturer Internal Specification
- Agency or Customer Specification
- Automotive
- Medical
- Industrial
- Commercial

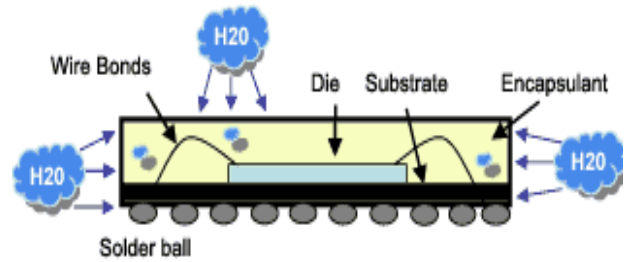
이중 우주급 또는 군용으로 검증되지 않은 상용부품의 경우 우주급 적용을 위해서는 적용분야에 따라 부품 선정단계부터 적합성 검증까지 통제가 이루어져야 한다. 즉, 임무의 중요도, 임무기간, 적용회로의 단일고장모드 가능성, 시스템 신뢰성 요구조건 등에 따라 상용부품의 적용가능성 및 통제 수준을 결정한다.

상용부품과 군용급 이상의 우주급 소자와의 가장 큰 차이는 표 2에서와 같이 동작온도 범위에 있다. 가혹한 환경에서 운용 가능하도록 설계되는 군용급 소자의 경우 보다 넓은 동작온도 범위를 가진다. 따라서 온도범위가 상대적으로 작은 상용부품은 위성과 같은 우주프로그램에 사용하기 전에 시스템의 열적 운용환경을 고려하여야 한다. 상용 집적소자에 주로 사용되는 플라스틱 패키징은 군용급 밀폐형 소자와 비교하여 또 다른 주요 차이점이 된다. 군용급 표준소자 중에도 플라스틱 패키징이 존재하나 이 경우에도 동작온도 범위가 군용급 표준온도범위를 가지므로 상용 PEM부품과는 차이가 있다.

표 2. COTS vs Mil 부품의 동작온도 범위

| Usage | Temperature range |
|------------|-------------------|
| Military | -55°C to +125°C |
| Commercial | 0°C to +70°C |
| Industrial | -40°C to +85°C |
| Automotive | -40°C to +105°C |

상용 PEM 소자와 밀폐형 우주급 집적소자와의 패키징 차이는 부품의 신뢰성에 큰 영향을 준다. 이는 밀폐형 소자의 경우 다이가 외부환경과 차단된 상태이나 플라스틱 패키징의 경우 그림 1과 같이 외부의 습기가 투과되는 효과가 있어 이와 관련한 여러 고장메커니즘을 내재하고 있다.



자료 : www.qctconnect.com

그림 1. 플라스틱 패키징 소자의 습기 투과 효과

이밖에 부품의 전기적, 물리적인 차이와 품질관리 감독의 주체가 제작사에 있는지 아니면 제 3의 기관에 있는지의 차이가 있다.

4. 상용 PEM 소자의 우려사항

플라스틱 패키징이 적용되는 상용 PEM 소자는 신뢰성 데이터의 부족, 환경영향의 취약성, 내재된 고장메커니즘으로 인해 고 신뢰도를 요구하는 우주프로그램에서 한동안 배제되어 있었다. 상용 PEM 소자가 갖는 대표적인 문제점들을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 습기침투로 인한 고장메커니즘

플라스틱 패키징된 소자의 경우 외부 습기가 투과되는 현상으로 인해 내부 다이의 노출된 패드부분과 와이어 본딩 부분에서 부식의 우려가 있다. 또한 다이 재질의 패시베이션 특성에 따라 물 분자 및 이온의 침투가 가능하여 오염을 유발할 수 있다. 미국 전자산업협회의 반도체공학 표준체인 JEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)은 패키징에 따라 습기에 대한 민감도인 MSL(Moisture Sensitivity Level)을 표 3과 같이 분류하고 있고 각 제작업체마다 패키징소재 및 타입별 MSL을 명시하고 있다. 그러나 NASA NEPP의 한 보고서에 의하면 제작사별 각 부품 타입의 MSL을 검증한 결과 표 4와 같이 5개중 3개 업체의 부품이 JEDEC의 MSL기준을 만족하지 못하는 것으로 나왔다. 따라서 우주프로그램과 같은 고 신뢰도 시스템을 요구하는 경우 제작사의 데이터를 그대로 수용하는데 위험성이 있음을 보여주고 있다.

표 3. IPC/JEDEC J-STD-20 MSL 분류

| Level | Floor Life | | Soak Requirements | | | |
|-------|------------|----------------|-------------------|------------------|-------------|------------------|
| | | | Standard | | Accelerated | |
| | Time | Cond degC/ %RH | Time (hrs) | Cond derate %/RH | Time (hrs) | Cond derate %/RH |
| 1 | unlimited | <=30/85% | 168+5/-0 | 85/85 | n/a | n/a |
| 2 | 1 year | <=30/60% | 168+5/-0 | 85/60 | n/a | n/a |
| 2a | 4 weeks | <=30/60% | 696+5/-0 | 30/60 | 120+1/-0 | 60/60 |
| 3 | 168 hours | <=30/60% | 192+5/-0 | 30/60 | 40+1/-0 | 60/60 |
| 4 | 72 hours | <=30/60% | 96+2/-0 | 30/60 | 20+0.5/-0 | 60/60 |
| 5 | 48 hours | <=30/60% | 72+2/-0 | 30/60 | 15+0.5/-0 | 60/60 |
| 5a | 24 hours | <=30/60% | 48+2/-0 | 30/60 | 10+0.5/-0 | 60/60 |
| 6 | TOL | <=30/60% | TOL | 30/60 | n/a | 60/60 |

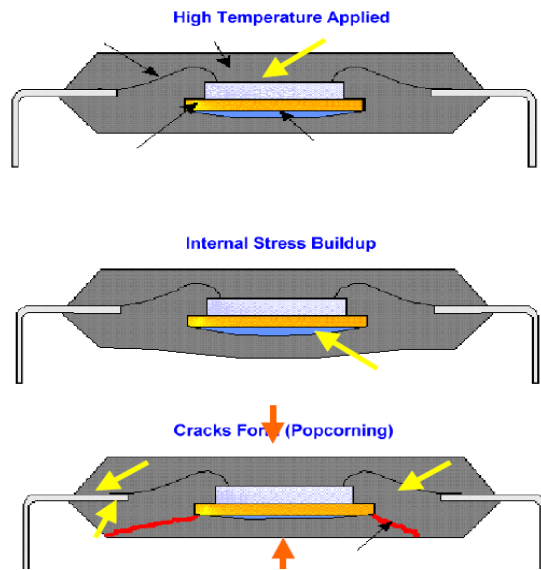
표 4. MSL 검증시험 샘플 및 결과

| Part Type | Sample Size | Vendor | MSL | Electrical Test | C-SAM Inspection | Final Test |
|-------------|-------------|--------|-----|-----------------|------------------|------------|
| A/D | 11 | A | 1 | pass | fail | fail |
| Multiplexer | 11 | B | 1 | pass | fail | fail |
| Op Amp | 11 | C | 1 | pass | fail | fail |
| Reference | 11 | D | 1 | pass | pass | pass |
| Amplifier | 11 | E | 3 | pass | pass | pass |

수분을 흡수한 패키징에 순간적인 열이 가해지면 증기 압력에 의해 그림 2와 같이 내부 delamination이나 균열 등의 팝콘현상이 발생할 수 있다. 팝콘현상의 경우 표면실장타입의 부품에서 솔더 프로세스시에 발생가능성이 있으나 한번 보드에 실장된 이후에는 우려가 될 만한 온도 변화의 가능성이 적고 우주환경의 경우 습기가 없기 때문에 지상에서의 조립과정이 더 중요하게 여겨지고 있다.

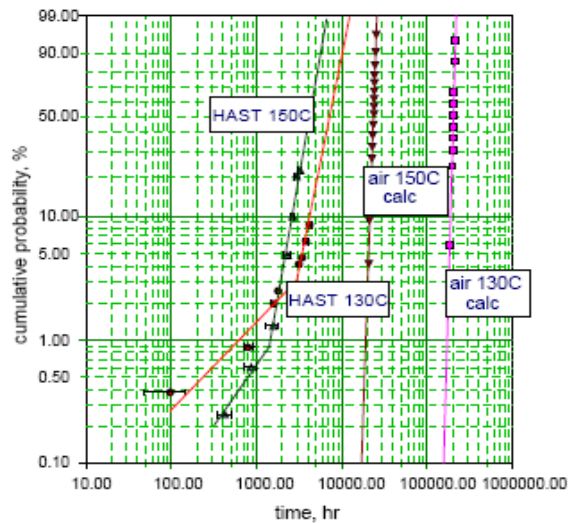
(2) 온도영향에 의한 와이어 본딩 품질 저하

Au/Al 와이어 본딩 품질 저하 현상은 상용 PEM 소자가 갖는 큰 단점 중에 하나이다. 이는 온도와 시간의 함수로 고온으로 운용시에 와이어 본딩 사이에 중간물질의 형성 및 빈공간효과는 가속화 된다. 와이어의 본딩 접합저항을 측정할 시험자료를 보면 고온에서 운용된 부품일수록 접합저항 및 본딩 품질이 저하되는 결과를 보여준다. 그림 3은 시험조건에 따른 와이어 본딩 고장율의 결과이다. HAST 시험 후에 저하된 본딩 품질의 SEM 이미지는 그림 4와 같다.



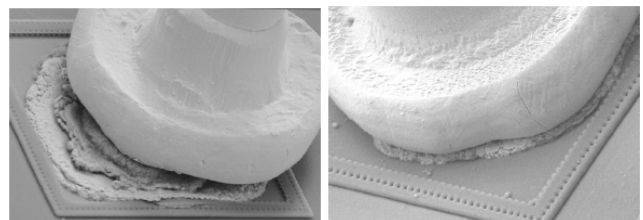
자료 : Nondestructive methods for COTS PEMs Screening and Qualification, JPL

그림 2. PEM Popcorn 효과



자료 : Reliability of COTS PEM

그림 3. 130°C 150°C Wire bonding failure (Weibull distribution)



자료 : Reliability of COTS PEM

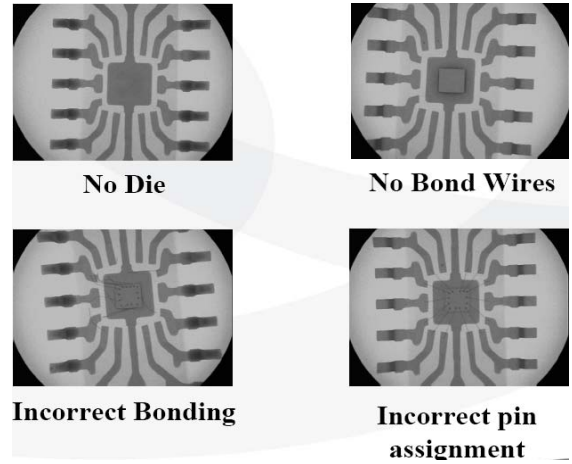
그림 4. HAST Wire Bonding 품질 저하

(3) 기타 발생 문제점

PEM 소자의 경우 다이 근처의 몰당자재에 포함된 이온이 2차 방사원의 원인이 되기 때문에 우주방사선에 취약할 수 있다. 때문에 상용 PEM 소자의 우주프로그램 적용을 위해서는 임무 우주환경과 해당 부품의 우주 방사선 특성을 확인해야 한다.

터미널리드 소재의 경우 환경규제로 인해 납성분이 없는 순수 주석인 경우가 대부분으로 그림 5에서와 같은 tin whisker 문제의 위험성을 가진다. 상용부품의 경우 관련 규격이 타 기관에 의해 통제되지 않기 때문에 제작사가 임의로 설계나 적용소재, 공정 등을 바꿀 수 있다. 또한 동일한 부품이라도 여러 생산라인에서 제작되기 때문에 그림 6과 같이 로트의 동질성이 보장되지 않는 점이 있다. 따라서 형상변경이 정부기관의 인증규격에 의해 통제되는 표준소자와는 달리 상용부품은 검증의 측면에서 신중한 접근이 요구된다.

근래에는 그림 7과 같은 가짜 부품들이 늘어나고 있어 인증된 부품 공급원의 확인 및 인수 검사 시에 주의가 필요하다.



자료 : Alter Technology Group, 2008

그림 7. 가짜 부품의 예



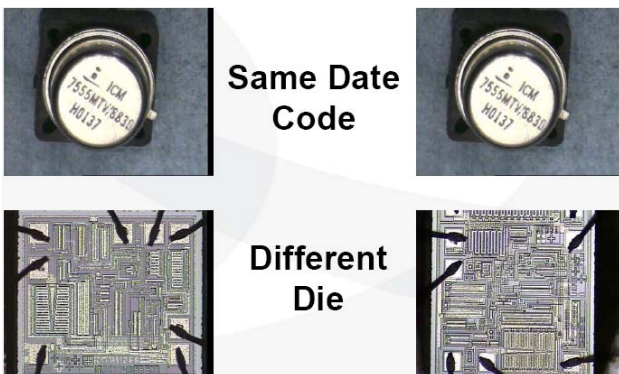
자료 : <http://nepp.nasa.gov>

그림 5. Tin whisker 현상

5. 상용 PEM 소자의 검증요건 동향

우주프로그램을 위한 상용 PEM 부품의 검증과 관련하여 NASA에서는 가이드라인을 제공하고 있고 이에 대한 폭넓은 연구가 진행되는 반면 유럽이나 일본의 경우는 공식적인 가이드라인이 없어 좀 더 보수적인 경향을 보이고 있다.

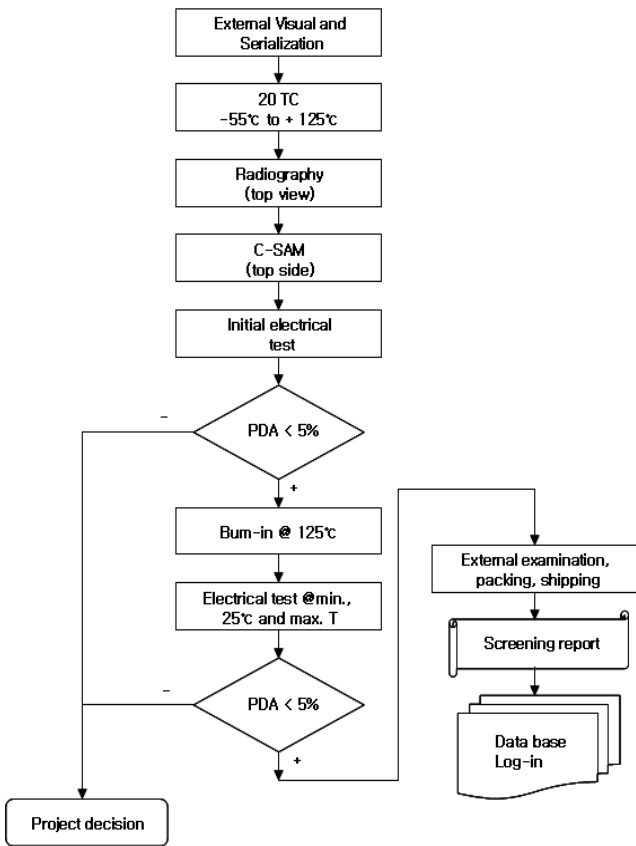
PEM소자의 검증은 크게 100% 수행되는 선별시험(Screening)과 샘플 검증 시험으로 나눌 수 있다. 그림 8은 NASA GSFC(Goddard Space Flight Center)의 PEM 선별시험을 보여준다. 선별시험의 주요항목을 보면 열주기 시험 후에 burn-in과 전기 성능검사를 수행하여 불량률 요건인 PDA(Percent Defect Allowable)를 적용하는 것으로 밀폐형 표준소자의 것과 비교할 때 큰 차이가 없다. 다만 C-SAM(C-mode Surface Acoustic Microscope)의 경우 비파괴 시험으로 PEM소자 내부의 delamination이나 빈공간, 갈라짐 등의 감춰진 결함을 걸러내기 위한 것으로 추가된 시험항목이다. NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory)의 경우도 내부 프로그램에서 이를 100% 선별시험으로 적용하여 부품의 초기결함의 확인 및 열기계적 내성에 대한 검증을 수행 하였다. 표 5는



자료 : Alter Technology Group, 2008

그림 6. 상용부품의 로트 동질성문제

상용 PEM 소자의 각 검증시험을 통한 불량률 데이터의 예를 보여준다.



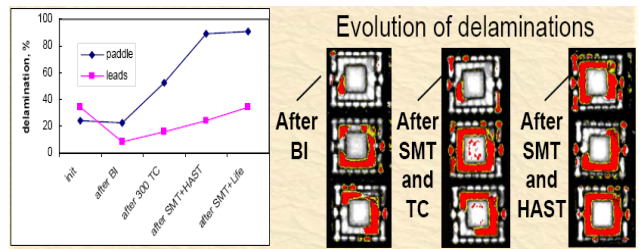
자료 : PEM-INST-001, Goddard Space Flight Center, NASA
 그림 8. NASA GSFC PEM Screening 시험 요건

표 5. PEM Upscreening 시험 결과 예
 자료 : Electronic Part Engineering Office, JPL

| COTS ⁺⁺ Upscreening Rejects by Part Type & Vendor | | | | | | |
|--|-------------|-------|--------|--------------|-------------|---------------|
| | Amplifier-A | ADC-B | ADC2-B | DC-DC Con.-C | Voltage C-A | S.Regulator-B |
| DPA | 0/4 | 1/8 | TBD | 0/4 | 0/4 | 0/4 |
| Incoming | 0/78 | n/a | 4/79 | 1/78 | 0/80 | 8/80 |
| C-SAM | 3/78 | 38/78 | 9/75 | 16/77 | 5/80 | 0/80 |
| Temp Cycle | 0/78 | 10/78 | 0/75 | 3/77 | 0/80 | 3/72 |
| Burn-In | 0/78 | 3/68 | 0/75 | 0/74 | 0/80 | 9/69 |
| QCI | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 | 0/10 |
| Total | 3/78 | 51/78 | TBD | 20/78 | 5/80 | 20/80 |

그러나 근래의 NEPP(NASA Electronic Parts and Packaging Program) 자료에서는 C-SAM의 100% 스크

리닝시험 적용에 대한 효율성에 대해서 재고하고자 하는 시험결과를 제시하고 있다. 그림 9는 245개의 part에 대해 각각 스크리닝 시험인 burn-in 이후와 샘플 검증시험인 SMT(Surface Mount Technology) 시물레이션, 열주기 및 HAST시험 이후의 C-SAM 측정 결과를 보여준다. 결과에서 볼 수 있듯이 delamination은 SMT 시물레이션이나 HAST와 같은 높은 스트레스시험에서 진전함을 통계적으로 보여주고 있다.

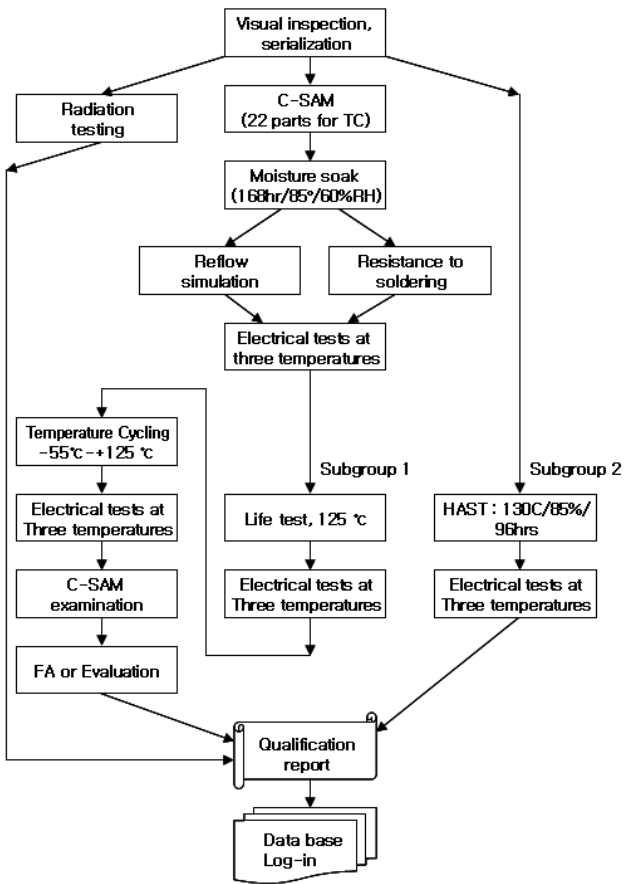


자료 : Results of Screening and Qualification Testing of COTS PEMs for Space Applications and Lessons Learned, 2005

그림 9. C-SAM 시험 결과

그림 10과 같은 샘플 검증시험의 경우 MIL-STD-883(Test Method Standard, Microcircuit)의 밀폐형 소자 검증과는 달리 플라스틱 패키징소자가 가지는 주요 고장 메커니즘인 열기계적 스트레스나 온습도에 의한 스트레스의 검증시험이 추가 된다. 표면실장 타입으로 솔더링시의 팝콘효과에 대한 내성을 검증하기 위한 솔더 리플로우 모사시험, 고온다습 환경에서의 전기적 성능시험인 HAST(Highly Accelerated Stress Test), 그리고 열주기 시험 및 C-SAM 등이 이런 검증시험이 된다. 와이어 본딩 품질을 확인하기 위하여 DPA(Destructive Physical Analysis)를 통해 본드폴 시험이나 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지를 통한 중간물질 형성 상태를 확인하는 것은 중요한 시험중의 하나이다. 최근에는 IR(Infrared) 등을 이용한 비파괴검증방법이 계속 연구 중에 있다.

표 6, 7 및 8은 상용부품 시험 업체의 자료로 전체적인 검증시험항목에서 유사한 경향을 보인다. 즉, 온도/습기/전기적 스트레스를 검증하는 시험항목들로 이루어 졌고 밀폐형소자에서 일반적으로 수행되는 기계충격 시험이나 진동 시험은 검증항목에서 제외되고 있다. 과거의 우주프로그램의 경우 밀폐형집적소자와 마찬가지로 MIL-STD-883의 그룹시험이 샘플 검증시험으로 적용된 사례도 있다.



자료 : PEM-INST-001, Goddard Space Flight Center, NASA
 그림 10. NASA GSFC PEM Qualification 시험 요건

시간과 비용 등의 제약으로 개별소자의 검증이 어려운 경우 상위레벨인 보드 레벨에서의 검증방안이 대안으로 제시되기도 한다.

6. PEM 소자의 개선 현황

우주프로그램과 같은 고 신뢰성을 요구하는 프로그램에서 우려되었던 PEM 부품의 취약점들이 개선되고 부족했던 신뢰성 자료들이 보완되고 있다.

플라스틱 패키징의 근본 취약문제였던 습기투과 및 열기계적 스트레스에 의한 문제는 몰딩 자재의 개선 및 다이 코팅 소재의 개선으로 나아지고 있다. 표 9는 PEM 공정, 재질, 시험과 관련한 개선사항 등을 나타낸다. Outgassing 특성도 우주급 기준을 만족하고 있다. 또한 부품의 신뢰성 검증 시험의 발전은 사전에 취약점을 걸러내고 장기적인 신뢰성 평가하는데 도움을 주고 있다.

표 6. RAD Inc. PEM Screening 시험

자료 : Radiation Assured Devices Inc. 2008

| Evaluation/Test | Conditions MIL-STD-883 | Sample Plan (Tested/Allowed Failures) |
|---|---|---------------------------------------|
| Select units for production From qualified material | - | - |
| Examination and Inspection | Method 2012 | 100% |
| Temperature Cycling | Method 1010, 10 cycles, Condition C | 100% |
| CSAM Acoustic Micro Imaging | J-STD-035, C Mode | 100% |
| Electrical Control Samples | - | 2 |
| Pre-Burn Electricals | -40, +25, +85 °C | 100% |
| Burn-in | Method 1015, Condition D 160-hours | 100% |
| Final Electricals | -40, +25, +85 °C | 100% |
| Delta Calculations | 25 °C Only | - |
| PDA Calculation | - | 20% allowable |
| Final Bake/Pack | 24 hours at 85 °C, Dry pack with Moisture indicator | - |

표 7. RAD Inc. PEM Qualification 시험

자료 : Radiation Assured Devices Inc. 2008

| Evaluation/Test | Conditions | Sample Plan (Tested/Allowed Failures) |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Incoming Inspection | Method 2009 | 100% |
| Structural Analysis | Cross-section in X and Y directions Baseline packaging construction, verify Die Revision in package | 2 |
| Serialization | Epoxy Based Ink | 100% |
| Select Control Samples | Paragraph 3.7 | 2 |
| X-Ray/Radiography | Method 2012, X and Z axis Inspect for wire sweep | 2 |
| Physical Dimension | MIL-STD-883, Method 2016 | 1 |
| Pre conditioning | J-Standard 020 Level 1 | 52 |
| Interim Electricals | | 52 |
| Highly Accelerated Stress Test (HAST) | JESD22-A110, 100 hours | 52 |
| Interim Electricals | | 52 |
| Sample Split | Temp Cycling (30 units) Life-Test(22 units) | 52 |
| Temperature Cycling | MIL-STD-883 Method 1010, Condition C, 1000 Cycles | 30 |
| External Visual | 40X | 30(0) |
| Interim Electricals | | 30(0) |
| CSAM, Acoustic Micro Imaging | In accordance with J-STD-035, C Mode | 30(0) |
| Life Test | MIL-STD-883, method 1005, Condition A or D, 1000 hours at TBD | 22(0) |
| End Point Electricals | | 22(0) |

표 8. PEM control 자료

자료 : www.sypris.com, SYPRIS

| Number | PEM Processing |
|--------|-----------------------------------|
| 1 | • Pre/Post Electrical Test |
| 2 | • Temp cycling |
| 3 | • Reflow Simulation |
| 4 | • HAST (Biased Temp / Humidity) |
| 5 | • Thermal Shock |
| 6 | • Thermal Cycling |
| 7 | • Burn-In |
| 8 | • Re-Bake of MSD's |
| 9 | • Dry Packing of MSD's |
| 10 | • Preconditioning |
| 11 | • CSAM / Acoustic Microscopy (AM) |
| 12 | • Moisture Resistance |

표 9. PEM / / 협 개선 동향

자료 : www.theriac.org, The Reliability Information Analysis Center

| No. | Some improvements of PEM processes/materials/testing |
|-----|--|
| 1 | • Materials – increased epoxy molding compound (e.g., resin) purity |
| 2 | • Material attributes – enhanced CTE, glass transition temperature, fracture toughness, moisture desorption, adhesion, viscosity, mold release, appearance |
| 3 | • Lead frame design |
| 4 | • Die coatings – high quality device passivation (i.e., silicon nitride) |
| 5 | • Die design |
| 6 | • Material characteristics – reduced chloride and other halides, flame retardant stability, ion scavengers |
| 7 | • Fabrication equipment |
| 8 | • Testing procedures –Highly Accelerated Stress Testing (HAST), autoclave, moisture absorbance, C-Mode Scanning Acoustic Microscopy (C-SAM), dye penetration |

표 10과 같은 최근의 PEM 제작사의 신뢰성보고서를 보면 환경시험에서도 좋은 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

현재 PEM 제작사는 습기에 대한 내성과 CTE (Coefficient of Thermal Expansion)의 개선을 위해 향상된 충전 소재를 개발해 가고 있고 이에 대한 outgassing이나 열전도, 신뢰성 등의 평가를 통해 소비자에게 접근하고 있어 그 사용 범위를 넓혀가고 있다.

표 10. / Qualification 데이터

자료 : XILINX Device Reliability Report, 2008

| Reliability Test | Condition | Duration | Lot Qty | SS/lot | Acceptance |
|--|--------------------------------------|-------------------------|---------|--------|------------|
| Temperature Humidity Bias (THB) or High Accelerated Stress Test (HAST) | 85 °C, 85% R.H., V _{DD} | 1,000 hours | 3 | 25 | 0 fail |
| | 130 °C, 85% R.H., V _{DD} | 100 hours | | | |
| | 110 °C, 85% R.H., V _{DD} | 264 hours | | | |
| Temperature Cycling (TC) ⁽¹⁾ | -65 °C / +150 °C | 500 cycles | 3 | 25 | 0 fail |
| | -55 °C / +125 °C | 1,000 cycles | | | |
| | -40 °C / +125 °C | 1,000 cycles | | | |
| Autoclave or Temperature Humidity (Unbiased) or Unbiased High Accelerated Stress Test (Hast U) | 121 °C, 100% R.H. or 85 °C, 85% R.H. | 96 hours or 1,000 hours | 3 | 25 | 0 fail |
| | 130 °C, 85% R.H. | 100 hours | | | |
| | 110 °C, 85% R.H. | 264 hours | | | |
| High-Temperature Storage (HTS) | T _A =150 °C | 1,000 hours | 3 | 25 | 0 fail |

7. 결론

최근의 상용 PEM소자는 사용자재 및 공정, 시험기술의 향상으로 인해 부품의 신뢰성을 높여가고 있다. 설계의 완성도가 높은 부품의 경우 적절한 검증시험과 보관 및 적용요건의 통제를 통해 우주프로그램과 같은 고 신뢰도를 요구하는 분야에 적용되고 있다. 그러나 타 기관에 의해 규격요건이 통제되는 우주급 인증소자와는 달리 제작사가 관리하는 상용소자의 경우 성능과 비용향상을 목적으로 설계, 기술 및 공정의 변화가 빠르기 때문에 추적성이 어렵고 주기적인 신뢰성 시험결과가 부족하므로 이전 검증결과의 유효성에 대해 주의를 기울일 필요가 있다. 또한 상용 PEM 부품은 소재가 갖는 환경에 대한 민감도가 밀폐형 소자에 비해 상대적으로 높기 때문에 지상 보관 및 운영기간에 걸쳐 꾸준한 관리가 필요하다. 결국 우주프로그램에서 상용 PEM 소자를 적용하기 위해서는 높은 설계 및 제작품질을 가지는 부품을 선별하는 것과 이를 적절하게 검증하고 관리하는 것이 앞으로 꾸준히 남아있는 과제일 것이다.

참고문헌

1. Standard for Electrical, Electronic and Electro-mechanical Parts Program, JAXA, 2004
2. <http://www.qctconnect.com>
3. <http://www.siliconfareast.com/msl.htm>
4. R. D. Gerke, Moisture Sensitive Level(MSL) Packaging Evaluation, NEPP, 2004
5. M. Sandor, S. Agarwal, "Using Nondestructive Methods for COTS PEMs Screening and Qualification", Commercialization of Military & Space Electronics Conference, JPL
6. A. Teverovsky, "Effect of Environments on Deg-radiation of Molding Compound and Wire Bonds in PEM", NEPP, 2005
7. [http://nepp.nasa.gov/whisker/photos/pom/2004 april.htm](http://nepp.nasa.gov/whisker/photos/pom/2004%20april.htm)
8. G. Penhaligon, "Using Commercial Parts, Under-standing the risk and associated mitigating actions", 20th MEWS, JAXA, 2008
9. A. Teverovsky, K. Sahu, "Instruction for Plastic Encapsulated Microcircuit Selection, Screening, and Qualification", GSFC, NASA, 2003
10. A. Teverovsky, C. Greenwell, A. Sharma, N. Virmani, "Results of Screening and Qualification Testing of COTS PEMs for Space Applications and Lessons Learned", GSFC, NASA, 2005
11. A. Teverovsky, "Qualification of PEMs Using Board-level Testing", GSFC, NASA, 2003
11. J. M. Benedetto, "An Approach to Qualify COTS Components for Spaceborne Electronics Based on the Best Available Commercial Devices", Radiation Assured Devices, 2008
12. <http://www.sypris.com>
13. <http://www.theriac.org/newsandevents>
14. Device Reliability Report, XILINX, 2008