

기술 보고

국방분야 전자기기의 무연솔더 적용을 위한 신뢰성 검증방안

정재성 · 오철민 · 구기영 · 윤영호 · 황운희 · 홍원식

Reliability Validation Methodology for Implementation Pb-free Solder to Military Electronics

Jaesseong Jeong, Chulmin Oh, Gi-Young Goo, Young-Ho Yoon, Un Hee Hwang and Won Sik Hong

1. 서 론

솔더링(soldering)¹⁾은 전자부품의 실장에 필수적인 기술로써 95% 정도가 전기전자 기기용으로 사용되고 있다. 솔더링은 450°C 미만의 용점(melting point)을 가지는 솔더를 이용하여 접합하고자 하는 피접합재를 접합시키는 기술로, 모재는 녹지 않고 솔더만 용접한 후 응고시켜 접합하는 기술이다. 솔더(solder)는 피접합재를 접합시킬 때 사용하는 재료로 주석-납(Sn-Pb, 이하 유연솔더)의 합금재료가 사용되어 왔다. 주석-납의 비율을 조절하거나 Ag(Silver), Bi(Bismuth), Zn(Zinc), In(Indium), Pd(Palladium), Sb(Antimony) 등의 미량 첨가원소를 첨가함으로써 솔더의 접합특성 및 물리적 특성을 다양화 하여 사용되고 있다.

유연솔더는 안정적인 솔더링 공정과 접합 신뢰성이 뛰어나 오랜 기간 안정적인 접합수단으로 사용되어 왔다. 그러나 Fig. 1과 같이 Pb의 유해성 문제로 인해 유럽연합(EU)을 중심으로 선진국에서 납의 사용이 금지 되었다. EU는 '06년 7월부터 자국 내에 사용되는 모든 전기전자 제품에 Pb, 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 6가 크롬(Cr⁶⁺)과 같은 중금속 4개 원소와 2종의 브롬계 난연제인 PBB(polybrominated-biphenyl)와 PBDE

Table 1 Restriction of Hazardous Substances each nation^{3,4,6,7)}

Banning	Description	Due date
RoHS ³⁾ (EU)	- Six hazardous substances Pb, Hg, Cd, Cr ⁶⁺ , PBB, PBDE	2006. 07
WEEE ⁴⁾ (EU)	- Recycling and recovery targets for all types of electrical goods - Standard of recycling (50%~75%)	2007. 01
EuP ⁶⁾ (EU)	- Eco friendly design of Energy-related products - Merge with CE Mark	2005. 08
(US) California Proposition ⁷⁾	- Proposition 65 List of Chemicals - Lead : Cancer	1999. 04

(polybrominated diphenyls ethers) 물질에 대해 사용을 금지하는 “특정유해물질사용제한지침(Restriction of Hazardous Substances Directive, RoHS)”을 발효하였다^{2,3)}. Table 1은 선진국을 중심으로 현재 규제되고 있는 다양한 규제현황을 나타내었다⁴⁾.

이러한 Pb 관련 환경규제에 따라 유연솔더 합금을 적용하는 솔더링의 경우 직접적인 영향을 받게 되었으며, 유연솔더 합금을 대체할 무연솔더 합금이 요구되었다. Pb가 포함되어 있지 않은 솔더 재료를 무연(Pb-free or Lead-free, 無鉛) 솔더라고 한다. 순수 주석(Sn) 100%만을 가지고 솔더를 제조 할 경우 솔더링 공정 및 신뢰성에 많은 문제가 있다. 따라서 기존 유연솔더 합금과 같은 공정안정성과 신뢰성을 확보하기 위해 무연솔더 합금에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다⁸⁾. 현재까지 개발된 중금계 무연솔더 합금 중 Sn-Ag-Cu 3원계 무연솔더 합금이 가장 많이 전자제품에 적용되고 있다⁹⁾. 현재 모든 전기전자 부품·시스템 업체는 RoHS 대응에 기반한 무연솔더 적용 전기전자 부품만 생산하고 있다. 따라서 RoHS 예외조상에 있는

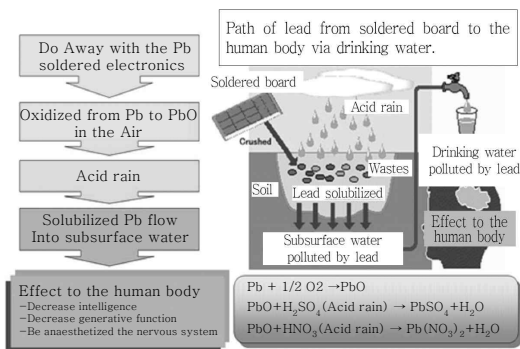


Fig. 1 Path of lead from hazardous SnPb solder assembled electronics⁵⁾

품목을 제외하고 Pb가 함유된 전자부품은 현재 거의 없는 실정이다. 현재 예외조항에 있는 품목에 대해서는 선진국 중심으로 기술개발이 활발히 이루어지고 있으며, 가까운 기간 내에 RoHS II의 2단계 규제가 시행될 것으로 예상된다.

국방분야의 경우 유연솔더 합금 적용에 대해 예외조항으로 인정되고 있다. 이러한 이유는 국방분야의 전자기기는 사용 환경과 목적상 특수성으로 인해 성능과 신뢰성 이슈가 친환경 이슈보다 더 중요한 부분으로 인식되기 때문이다. 하지만 국방 무기들의 첨단 전자시스템화 및 저비용화를 위해 민수부품 적용이 활발히 이루어지고 있으며, 국방 전자기기에 사용되던 Pb 함유 부품의 경우 부품 단종으로 인해 민수용 무연 전자부품이 일부 적용되고 있다. 따라서 민수부품에 적용된 무연솔더 합금에 대한 국방분야의 적용은 선택이 아닌 필수가 되었다. 무연솔더 합금을 국방분야에 적용하기 위해 규격 대체방안 연구로써 신뢰성 확보방안에 대한 연구가 필수적으로 요구되고 있다. 무연솔더 접합부의 신뢰성은 제품의 안정성 및 기능 발휘를 위해 기본적으로 확보되어야 하는 요소 기술이다¹⁰⁾. 특히 국방제품의 사용 환경은 매우 가혹하면서도 장시간 사용하는 특성을 가진다. 그러므로 무연화 국방 전자기기에 대한 신뢰성 검증기준으로써 시험항목, 시험조건 및 시험 대상제품에 대한 내용이 결정되어야 한다. 또한 무연솔더 관련 국내·외 국방 및 민수분야의 표준화 동향 및 기술수준 등의 동향을 조사하여, 국방정책 및 제도에 반영되어야 한다. 솔더 접합부의 신뢰성평가 방법에는 솔더 접합부에 대한 열적, 기계적, 전기적 스트레스를 특정 환경에서 인가함으로써 실사용 환경에서 유발되는 여러 스트

레스 요인에 대한 솔더 접합부의 신뢰성을 검증하게 된다. 따라서 국내외 무연솔더 적용 사례 및 신뢰성평가를 위한 시험항목 및 시험기준 자료에 대한 사례를 조사하고, 이를 분석하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 국방분야 유도무기용 전기전자부품·시스템에 무연솔더 적용을 위해 잠재불량을 분석하고 국방 및 민수환경을 비교하여 국방환경에 무연솔더 합금 적용 및 상용화에 가장 중요한 신뢰성 방안에 대해 제안하였다.

2. 무연솔더 개발현황

Pb 제거로 무연솔더는 다양한 문제점을 가지게 되며 이는 순수 Sn만 적용하여 솔더링 할 경우 기존의 유연솔더 합금에 비해 젖음성 및 퍼짐성 취약, 산화, 휘스커 성장 등의 원류적인 문제점들을 가지게 된다⁵⁾. 이러한 문제점은 신뢰성 취약으로 이어진다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 Table 2와 같이 무연솔더 재료 및 조성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중 Sn-Ag-Cu(SAC) 솔더합금은 기계적강도와 열피로·크리프 특성이 양호하고 타 무연솔더 합금에 비해 장기적인 실사용 검증으로 민수 전기전자제품에 적용되어 상용화되고 있다. 국외 전문 표준 단체들에서도 Table 3과 같이 SAC를 중심으로 약간의 조성 차이를 두며 다양한 3원계 및 4원계 무연솔더 합금이 개발되어 왔다. 합금별 장단점은 민수 환경 기준에 평가·적용되었을 경우를 말한다. 다시 말해 군방 환경에 적용될 경우 현재의 장단점이 어떻게 변할지는 정량적인 평가를 통하지 않고서는 말할 수 없다.

Table 2 Advantages and disadvantages of Lead-free solder alloys^{11,12)}

Solder alloy	Melting Temperature, T_m (°C)	Advantages	Disadvantages
Sn-37Pb	183	Good reliability	Deficiency of thermal fatigue and creep property
Sn-Cu system : Sn-0.7 Cu - Additional elements : Ag, Ni, P, Ga etc	227	Good mechanical(strength fatigue, creep) property Low price	High T_m Deficiency of wettability
Sn-Ag system - Sn-3.5Ag, Sn-3.0Ag-0.5Cu - Sn-(2~4)Ag-(1~6)Bi	221	Good mechanical(strength fatigue, creep) property Long term lifetime data	High T_m Deficiency of wettability
Sn-Zn system - Sn-9Zn, Sn-8Zn-3Bi Sn-Ag-In system - Sn-3.0Ag-(6-8)In	198	T_m is similar to Sn-Pb solder Good mechanical properties	Oxidation Deficiency of wettability Metallic bonded with Zn
Sn-Bi system - Sn-57Bi	139	Low T_m Good wettability	Void formation Low T_m Low mechanical strength

Table 3 Pb-free solder alloy candidates recommended from various projects

Consortium	Proposed solder alloy
iNEMI ^{13,14)}	Sn-3.9Ag-0.6Cu
NEDO ¹⁵⁾	Sn-3.0Ag-0.5Cu
JEIDA ¹⁶⁾	Sn-3.5Ag-0.75Cu, Sn-2.0Ag-0.75Cu-3.0Bi, Sn-2.0Ag-4.0Bi-0.5Cu-0.1Ge, Sn-3.0Ag-3.0Bi, Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-2.5Bi-2.5In
IDEALS ¹⁷⁾	Sn-3.8Ag-0.7Cu, Sn-3.8Ag-0.7Cu-0.5Sb, Sn/Ag/Cu&Sn/Ag/Bi+additives
NCMS ¹⁸⁾	Sn/58Bi, Sn-3.5Ag-4.8Bi, Sn-3.5Ag

3. 무연솔더 합금 접합부 고장 메카니즘

무연솔더 합금 적용시 고용점, Ag₃Sn과 같은 금속간 화합물(intermetallic, IMC)의 형성, 잔류응력, 표면 장력, 기계적 강도 등이 무연솔더 합금과 다른 물리적 특성으로 다양한 공정 및 실사용 고장모드(failure mode)를 유발한다.

가. 젖음성 불량 (De-wetting or non-wetting)

무연솔더 적용 BGA(ball grid array)의 경우 솔더 볼과 솔더 페이스트가 제대로 용융되지 못해 Fig. 2와 같이 두 개의 볼이 솔더링된 형태의 고장모드가 발생된다. 이것은 리플로우 예열 단계시 산화가 진행되어 있거나 솔더 페이스트의 활성이 부족할 경우 발생할 수 있는 메카니즘이다¹⁹⁾. 또한 리플로우 온도가 높아져 패키지 또는 PCB의 휨에 의해서도 발생 될 수 있다. 이러한 고장모드는 부품에 하중을 인가하면 동작을 하는

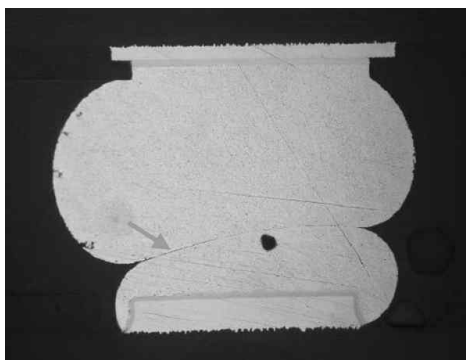


Fig. 2 Dewetting failure of Lead-free solder ball¹⁹⁾

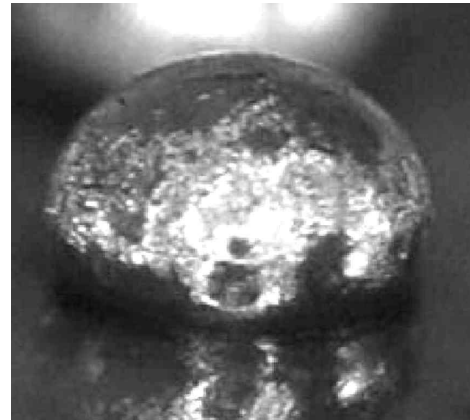


Fig. 3 Yellowing discoloration of Pb-free solder ball caused by solder surface oxidation²⁰⁾

전기적 특성을 보이기도 한다. Fig. 3은 Sn-Ag-Cu계 무연솔더 볼이 산화되어 노란색을 띄고 있음을 볼 수 있다²⁰⁾.

나. 솔더 접합부 균열

일반적으로 크랙은 열팽창 계수(coefficient of thermal expansion, CTE) 차이(mismatch)에 의해 발생하는 열적 피로 스트레스에 의한 균열과 기계적인 크립(creep)과 진동 스트레스에 기인한 다양한 에너지를 통해 균열이 발생될 수 있다. SAC 무연솔더 합금의 경우 높은 변형률(high strain rate)과 충격(shock) 조건에서 무연솔더 합금에 비해 기계적 특성이 취약하다. Fig. 4의 응력-변형률(stress-strain) 특성 곡선에서 볼 수 있듯이 저온에서는 무연솔더 합금과 유연솔더 합금의 기계적 특성 차이는 미미하다. 그러나 온도가 증가할수록 유연솔더 합금의 경우 연성이 증가하는 것에 반해 무연솔더 합금은 높은 탄성계수(elastic modulus)와 항복강도(yield strength)를 나타내었다. 이것으로 볼 때 무연솔더 합금은 강도는 높으나 연신율과 충격 저항성이 기존의 유연솔더 합금보다 낮은 것을 알 수

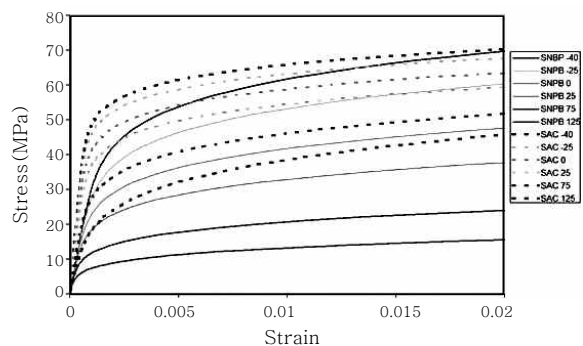


Fig. 4 Stress-strain curves for SnPb and SAC305 at different temperatures²¹⁾

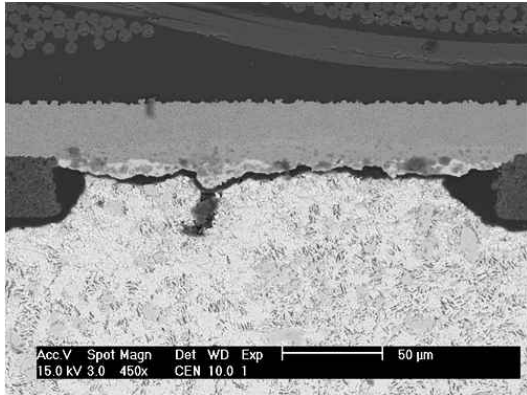


Fig. 5 Crack mode in SAC alloys after 4-points bending fatigue testing²²⁾

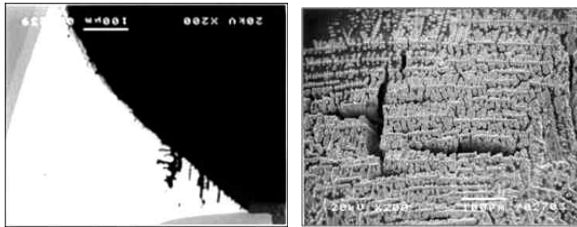


Fig. 6 Solidification defect after soldering of Pb-free solder alloy²³⁾

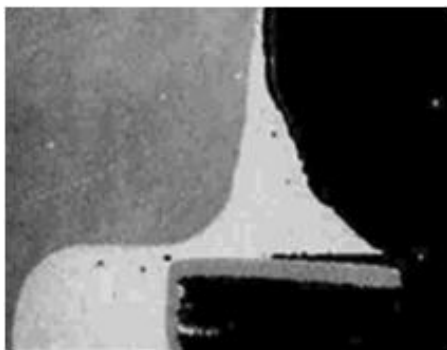


Fig. 7 Lift-off defect between Cu pad and Pb-free solder²⁴⁾

있다. 이러한 기계적 특성은 4점 굽힘 피로시험(4 points bending fatigue test)의 경우 무연솔더 합금이 유연솔더 합금보다 빠르게 균열이 발생하는 것에서도 잘 나타나고 있다²¹⁾. Fig. 5는 4점 힘 피로시험 후 SAC 솔더 접합부의 계면에서 발생한 균열을 보여주고 있다²²⁾.

Fig. 6은 SAC 솔더의 웨이브 솔더링 후 발생하는 솔더 필렛(fillet) 부위의 응고결함²³⁾을 나타내었다. Fig. 7의 PTH(plated through hole) 패드부위 들뜸

²⁴⁾도 Sn-Bi계 무연솔더의 적용에 따라 발생하는 편석 발생에 의한 불량원인 중 하나이다. 이러한 다양한 원인에 의해 무연솔더를 적용할 경우, 접합계면은 기존보다 짧은 수명을 갖게된다. 따라서 접합수명에 대한 검증과 대응방안 마련은 필수적으로 요구되고 있다.

다. 전기화학적 이온마이그레이션

전극배선에서 가지처럼 뻗어나가 금속 배선과 배선 사이를 전기적으로 연결시켜 오동작을 일으키는 현상으로 고장모드는 정의된다. 전기적 회로가 구성되어 수분과 전위 차가 존재할 경우, 양극에서는 금속이 전기화학적으로 이온화하며, 이온화된 금속이온은 양극과 음극의 전위차로 인해 음극에서 환원되어 석출하게 된다. 이러한 현상은 전기화학적 분해반응과 석출반응에 의해 발생하는 현상이다. 즉 전위차가 존재하는 전극 사이에 전압을 인가하였을 때 이온화된 금속이 불순물 등에 의해 금속으로 석출되어 Fig. 8과 같이 수지상정(dendrite)을 성장하여 전기적 단락을 유발하는 현상이다. 일반적인 발생 조건은 두 배선 간에 전기가 흐르고 수분이 존재하는 경우 발생되며, 가속인자로는 온도, 습도, 전압, pH 등이 이온화를 촉진시킨다. 이온 마이그레이션이 발생하는 전기화학적 반응 메카니즘은 다음의 3가지 단계로 구별하여 설명할 수 있다²⁵⁻²⁸⁾.

- (1) 1st Step : Anodic reaction (metal dissolution) (“M” stands for metal)
 - $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$
 - $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$
 - $M + H_2O \rightarrow MO + 2H^{+} + 2e^{-}$
- (2) 2nd Step : Cathodic reaction (metal or metal-oxide deposits)
 - $M^{n+} + ne^{-} \rightarrow M$
 - $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$
 - $2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$

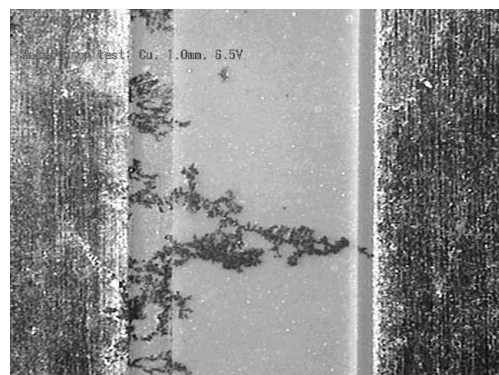


Fig. 8 Photographs of electrochemical copper ion migration due to the dendritic growth²⁷⁾

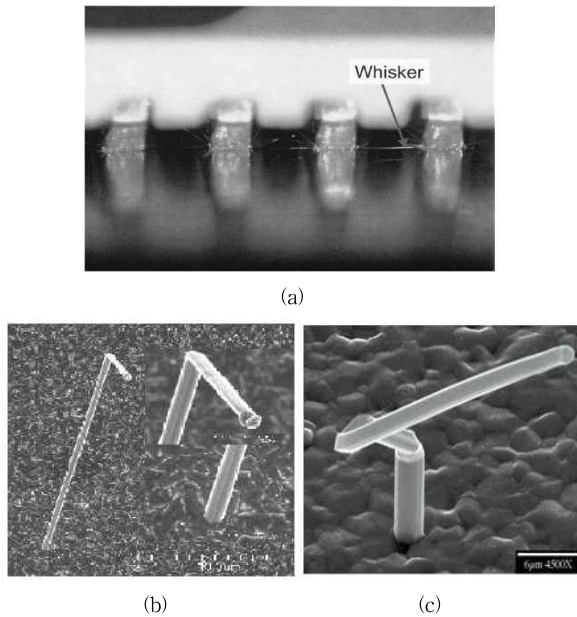
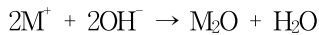


Fig. 9 Various types of Sn whiskers³⁰⁾: (a), (b) needle or filament and (c) kinked shape

(3) 3rd Step : Inter-electrode reaction (migrate metal ion & metal-oxide deposits)



라. 휘스커

무연솔더 합금에서 매우 중요한 문제로 Fig. 9와 같이 Sn 금속 표면에서 원기둥 모양의 단결정이 자발적으로 성장한 수염 형상의 휘스커 문제가 있다. Sn 휘스커가 인접한 부품의 리드나 단자까지 성장하여 접촉되면 전기적 오동작을 일으킬 수 있다. 또한 진동, 충격에 의해 끊어진 휘스커가 전자보드의 표면을 이동하며 원치 않는 전기적 신호 전달을 발생 시킬 수 있다. 이러한 현상은 필드 사용 중 문제를 유발하여 고장현상을 나타내지만, 원인규명을 위한 처리 및 취급 중 충격

으로 떨어져 나갈 수 있어 NFF(no fault found)로 분류될 수 있다²⁹⁾.

4. 국방분야 무연솔더 적용을 위한 고려사항

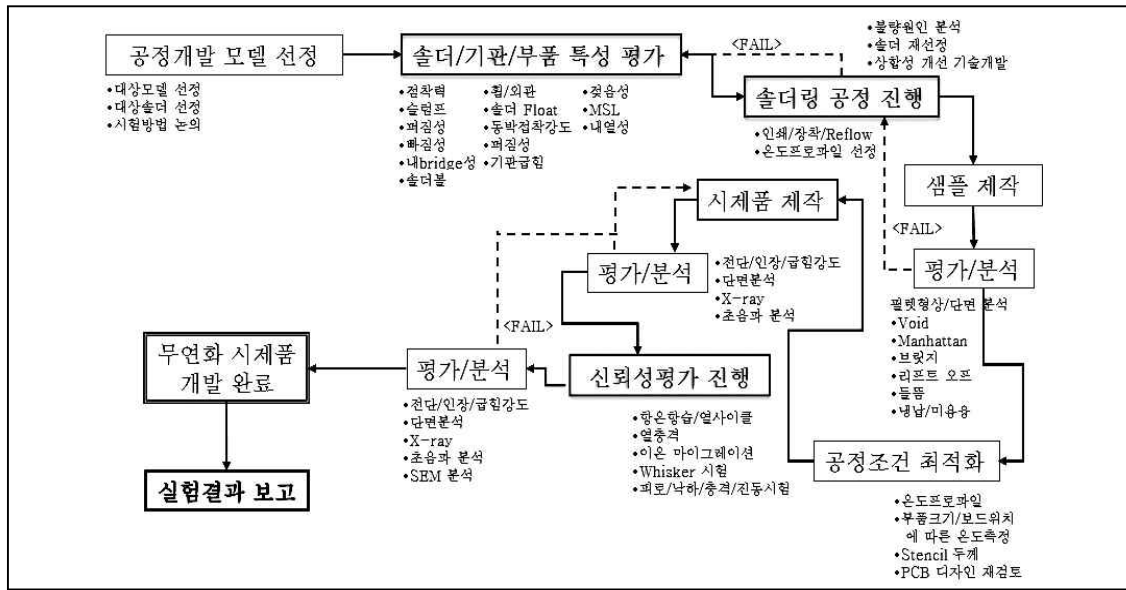
국방환경에 가장 적합한 무연솔더 합금을 찾아내고자 한다면 두 가지가 제시 될 수 있다. 첫번째는 기존의 제시된 주요 무연솔더 합금을 국방 환경에 적합한 신뢰성 시험을 통해 가장 강건한 무연솔더를 선정하는 것이고, 두번째는 신뢰성 시험을 통해 스트레스를 가속화하여 문제점을 빠른 시간 내에 도출하고 원하는 신뢰성 수준으로 물리적·기계적 특성을 향상시키는 것이다. 제안된 두가지 방법에는 신뢰성 평가라는 공통적인 항목이 적용되고 있다.

국방분야 무연솔더 적용을 위한 신뢰성평가를 위해서 우선 환경 스트레스에 대해 정의되어야 한다. 일반 민수용 전자제품에 비해 국방분야의 진장장비 사용 환경은 Table 4와 같이 극한환경 조건으로 고열충격, 고온/고습, 고진동 등 여러 스트레스 조건이 복합된 복합 환경의 가혹 조건이다. 국방 전기전자부품의 경우 동작 시 접합온도(junction temperature)가 125℃까지 구동된다. 따라서 열확산에 의해 솔더는 100℃ 이상의 고온스트레스를 겪게 된다. 여름철 해안가와 같은 환경에선 85% 이상의 상대습도 조건에 노출될 수 있다. 진동과 충격의 경우 적용되는 장비에 따라 달라질 수 있다. 휴대용 유도무기, 통신장비, 항공용 전장, 대전차무기 등 그 종류와 사용목적에 따라 실제 국방환경 사용 시 발생하는 진동과 충격을 실측하여 신뢰성 시험 조건에 반영할 필요가 있다. 국방분야의 제품 사용기간은 최대 20년까지도 요구되며, 보증기간도 10년으로 민수 전자제품 1년에 비해 장시간 신뢰성 보장 가능해야 한다. 사용 중 불량은 사람의 생명과 전쟁의 승패에 직접적인 관계로 불량률 0%가 요구된다. 따라서 솔더 접합

Table 4 Comparison of use environment of electronic devices for military missile weapon and commercial parts³¹⁾

Items	Military Electronics (Missile)	Commercial Electronics
Stress factors	Complex combined high stresses (high temperature, high humidity, high vibration, high impact)	Simple combined low stresses (temperature, humidity, vibration, dropping)
Use Temperature	-55 ~ (125 ~ 150) °C	-20 ~ 85 °C
Lifetime	10 ~ 20 years (over 10 years warranty)	5 ~ 10 years (1 year warranty)
Use Environment	Outdoors (mountains, seashore, in the water, a high altitude)	Indoors, office
Failure rate	near Zero	< 10%

Table 5 Reliability assessment procedure of Pb-free electronics⁴¹⁾



신뢰성을 평가하고 검증하기 위한 기준 확립이 요구 된다.

5. 국방분야 유도무기용 전자기기 무연 솔더용 신뢰성평가 방안

국방분야 유도무기용 전자기기 내 솔더 접합부에 적용하고자 무연솔더 합금의 열적, 기계적 신뢰성을 확보하기 위해 신뢰성 항목과 기준이 4장에서 논의된 환경 스트레스 인자를 반영하여 고찰되어야 한다. 신뢰성평가는 Table 5와 같이 최적화된 무연 솔더링 공정 후 제작된 시제품에 대해 평가 한다. 무연솔더 적용 제품의 신뢰성평가는 제품 전체가 아닌 PCB 또는 Ass'y 수준에서 수행되어 진다.

가. 열충격시험

국방환경 사용온도 구간 조건이 민수환경보다 $\Delta 180^{\circ}\text{C}$ 로 두 배이고 이것으로 인해 열팽창 계수는 더욱더 커지게 된다. 열충격 시험은 PCB와 솔더의 열팽창계수 차이로 인해 열-기계적 피로 스트레스(thermo-mechanical fatigue stress)를 인가하여 솔더 균열을 야기하기 위해 적용되는 시험이다. 또한 휘스커를 재현하는 평가로도 활용가능하다. 열충격 시험에 관한 국제규격은 JEDEC 22-A106B 규격을 참조 할 수 있다³²⁾. 민수용 전기전자 부품은 $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 조건에 기본 200 사이클을 일반적으로 적용하고 있으나 국방환경은 JEDEC22-A106B의 평가 C조건을 적용하여 $-55^{\circ}\text{C}/15\text{분} \sim 125^{\circ}\text{C}/15\text{분}$, >1000 사이클, 승온(감온)율 $\geq 20^{\circ}\text{C}/\text{분}$ 을 적용가능 하다. 시험 전·후 무연솔더 접합부의 균열발생 여부를 확인하기 위해 공진주파수를 측

정하며, 단면분석을 통한 솔더 접합부의 균열 발생 여부를 관찰할 수 있다. 열충격 평가 프로파일은 Fig. 10과 같다.

나. 전기화학적 이온 마이그레이션 시험

이온 마이그레이션의 발생 메카니즘은 3장에서 언급되었다. 무연솔더 적용으로 PCB 구리 패드의 산화를 방지하기 위해 새로운 PCB 표면처리 재료 및 방식이 필요로 한다. OSP(organic solderability preservative)³⁴⁾, Sn-HASL(hot Air solder levelling)³⁵⁾이 무연솔더용 표면처리 방식으로 개발되었다. 표면처리에 따른 전기화학적 반응으로 비정상적인 단락현상에 대한 신뢰성 또한 검토해야 한다. 관련 국제규격은 IPC-TM 650 Method 2.6.13(Water drop methods)³⁶⁾, IPC-TM 650 Method 2.6.14(Resistance to electrochemical migration, Polymer solder mask)³⁷⁾, JIS Z 3197(Insulation resistance test)³⁸⁾이 있다.

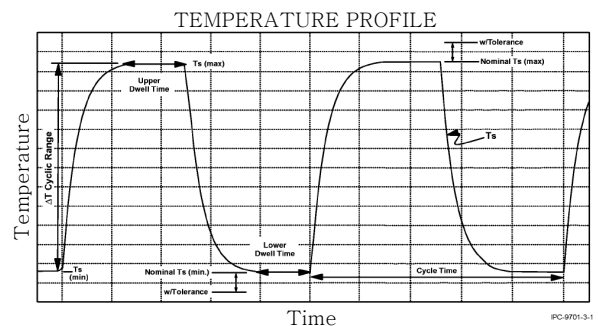


Fig. 10 Temperature profile example of thermal cycling test³³⁾

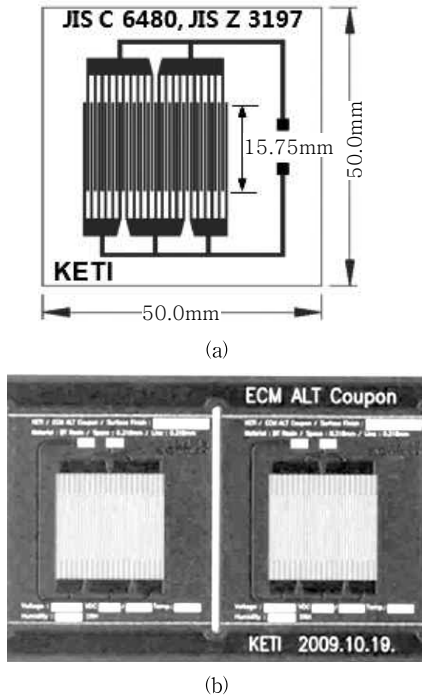


Fig. 11 Photograph of PCB coupon for electrochemical ion migration test: (a) is Comb pattern design and (b) is real test coupon

130℃, 85%RH, bias 조건의 Biasd-HAST(high accelerated stress test)³⁹⁾ 환경을 적용하는 경우와 60℃, 95%RH, 바이어스 / 85℃, 85%RH, 바이어스 같이 고온고습바이어스를 적용하는 경우가 있다. 고장판정은 1×10^6 옴이하 이다. 이온마이그레이션 시험용 샘플은 Fig. 11(a)와 같이 IPC 및 JIS에 규정된 콤파턴(comb pattern) 형상으로 설계되며 Fig. 11(b)와 같이 제작된다.

다. 증기압시험

무연솔더 합금의 경우 산화(oxidation)가 잘 일어난다. 따라서 고온고습환경에서 산화 및 부식(corrosion) 반응을 촉진시켜 고장 유무에 대한 평가가 필요하다. 하지만 85℃, 85%RH, 1,000시간 이상이라는 매우 장시간 시험이 필요로 하여 이와 유사한 고장 메커니즘을 평가하는데 적용할 수 있는 시험이 Fig. 12의 증기압시험(autoclave or pressure cook Test, PCT)이다. 국제 규격은 JESD22-A102-C이며, 조건은 121 ± 2 ℃, 100%RH, 2기압이다. 민수환경에서 일반적으로 C 조건인 96시간을 시험하며, 국방환경에서는 D와 E 조건인 168시간과 240시간이 적절한 것으로 사료된다.



Fig. 12 Photograph of pressure cooker test equipment

라. 진동 및 충격시험

유도무기는 가동 및 비가동 중 끊임없는 진동과 충격 스트레스를 받게 된다. 3장에서 검토되었듯이 무연솔더 합금의 경우 유연솔더 합금에 비해 젖음성 및 기계적 특성이 좋지 않아 유연성 취약으로 이어져 진동과 충격에 접합부가 취약하다. 따라서 국방환경에 무연솔더 합금 적용시 진동시험과 충격시험은 내구 신뢰성을 검증 위해 반드시 고려되어야 할 항목이다. 일반적으로 진동시험과 충격시험은 MIL-STD 810G Method⁴⁰⁾ 514.6과 516.6 기준을 따르거나 국내 실정에 맞게 개정하며 어떠한 제품인지에 따라 시험 조건이 달리 수행된다. Table 6은 유도무기 중 항공용 전자전장비에 적용되는 국내 국방 진동시험 평가 예이다.

민수용 전자제품의 경우 운송 시 받을 수 있는 손상으로 20 ~ 200 Hz, 복합진동이다. 하지만 국방환경은 사용 중에 지속적으로 진동스트레스를 받으며 10 ~ 2000 Hz 까지 광범위한 진동주파수를 겪고 있으므로 민수규격과는 차이가 있다. 진동시험 장비는 Fig. 13(a)와 같고 시험하기 위한 진동 프로파일 조건은 Fig. 13(b)와 같다.

항공용 전자전장비의 충격시험 조건은 Table 7과 같이

Table 6 Vibration test condition for avionics electronics

Frequency range(Hz)	PSD(g^2/Hz)*
20 to 117.4	0.021
117.4 ~ 500	3dB/Oct
500 ~ 600	0.089

* Power Spectral Density(PSD): random vibration

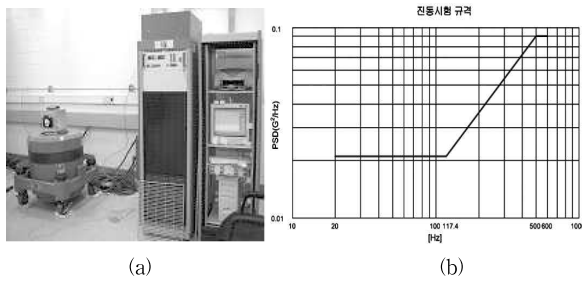


Fig. 13 Photographs of (a) vibration test equipment and (b) profile

Table 7 Shock test condition for Avionics electronics

Peak acceleration (g)	T _e (ms)*	Cross over frequency (Hz)
20	15~23	45

*T_e : effective shock duration

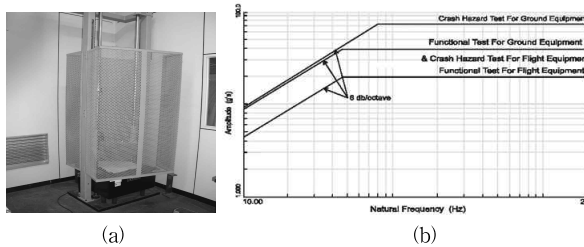


Fig. 14 Shock test (a) equipment and (b) test condition

MIL-STD-810F 516.5 Shock : SRS(shock response spectra)에 의존 한다. 충격시험 장비는 Fig. 14(a)와 같고 시험하기 위한 충격프로파일 셋팅은 Fig. 14(b)와 같다. 민수에서는 부품이나 보드 레벨로 충격시험을 하지 않으며 사용 중 충격을 재현하는 평가법도 현재로써는 개발된 것이 없는 실정이다. 실제 휴대폰을 2m 높이에서 낙하시험을 하고 있으나 이것은 충격량을 측정하는 것이 아닌 사용자 환경에 의한 고장을 사전 검사하는 수준의 시험방법이다.

진동 및 충격시험의 경우 지속적인 실환경 측정 연구를 통해 데이터를 확보하고 이를 기반으로 실사용 환경이 반영된 시험 조건을 만드는 것이 매우 중요하다.

6. 결 론

국방분야 유도무기용 전자기기에 효과적인 무연솔더 적용을 위해 접합 신뢰성 검증항목 선정 및 적용기준에

대한 비교, 분석하였다. 민수환경과 국방환경을 비교하여 어떠한 인자들이 차이가 발생하는지 분석하였다. 이를 통해 민수용 전기전자부품에 적용되어 사용되고 있는 신뢰성시험 적용이 가능함을 판단 할 수 있었다. 열 충격시험, 증기압시험, 전기화학적 이온 마이그레이션 시험, 충격/진동 시험 등이다. 그러나 대상제품의 사용 환경이 서로 다르므로 신뢰성시험 항목 내 시험조건을 변경하여야 하며 JEDEC과 MIL-STD를 활용하여 국방분야 유도무기용 저자기기의 무연솔더 접합신뢰성 검증을 위한 시험조건을 제시하였다. 제시된 신뢰성 시험 및 조건은 시험 후 접합계면 분석을 통해 솔더 접합부의 금속간화합물, 접합특성 해석을 통해 물리적인 고장 현상이 타당함을 반드시 증명해야 할 필요가 있다. 이러한 실험적 결과를 바탕으로 사용환경이 다른 무기들의 전자기기에 대해서도 무연솔더 적용을 위한 신뢰성 검증 항목과 조건의 재검토 및 개정이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국방부 민군규격통일화사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. R. Strauss, SMT Soldering Handbook, 2nd ed., Newnes, Oxford (1998) 148
2. W. S. Hong, W. S. Kim, B. S. Song and K. B. Kim, "Thermal Shock Cycles Optimization of Sn-3.0Ag-0.5Cu/OSP Solder Joint with Bonding Strength Variation for Electronic Components", Kor. J. Mater. Res., 17-3 (2007), 152-159 (in Korean)
3. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council, Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, EU (2003)
4. Commission of the european communities, directives of the european parliament and of the council on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (2008)
5. D. Napp : Lead-Free Interconnect Materials for the Electronic Industry : Proceeding of the 27th International SAMPE Technical Conference (1995)
6. Directive 2009/125/EC Of the European parliament and of the council : Official J. of the European Union, L285 (2009), 10-35
7. State of california environmental protection agency : Chemicals known to the state to cause cancer or reproductive toxicity, Proposition 65 List of Chemicals (2011)

8. W. S. Hong, W. S. Kim, N. C. Park, K. B. Kim, "Activation Energy for Intermetallic Compound Formation of Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu Solder Joints", *Journal of Korean Welding and Joining Society*, 25-2 (2007), 84-190 (in Korean)
9. J. W. Yoon, S. W. Kim, and S. B. Jung : IMC morphology, interfacial reaction and joint reliability of Pb-free SnAgCu solder on electrolytic Ni BGA substrate, *J. Alloys and Compounds*, 392 (2005), 247-252
10. W. S. Hong : Reliability Validation Methodology for Implementation Pb-free Solder of Electronic Devices, Project report, Korea Electronics Technology Institute (KETI), 2005 (in Korean)
11. K. suganuma : Lead-free soldering in electronics, ISBN 0824741021, Marcel dekker Inc, USA, (2004)
12. Y. Fukuda, M. G. Pecht, K. Fukuda, and S. Fukuda : Lead-Free Soldering in the Japanese Electronics Industry, *IEEE T. on components and package Tech.*, 26-3 (2003), 616-624
13. G. Henshall, R. H. Ranjit, S. Pandher, K. Sweatman, K. Howell, R. Coyle, T. Sack, P. Snugovsky, S. Tisdale and F. Hua : iNEMI(National Electronic Manufacturing Initiative) Pb-free alloy alternatives project report, state of the industry, *J. of SMTA*, 21-4 (2008), 109-122
14. C. Handwerker, J. Bath, E. Benedetto, E. Bradley, R. Gedney, T. Siewert, P. Snugovsky, J. Sohn: NEMI Lead-Free Assembly Project: Comparison Between PbSn and SnAgCu Reliability and Microstructures, *SMTAI Conference Proceeding*, (2003), 664-669
15. NEDO Research and Development on Lead-Free Soldering, *JEIDA Report No. 00-ki-17* (2000)
16. Katsuki Saganuma : The development and commercialization of lead-free soldering, *MRS Bulletin/NOVEMBER* (2001), 880-884
17. IDEALS : Improved design life and environmentally aware manufacturing of electronics assemblies by lead-free soldering, *IDEALS synthesis report (Project BE95-1994)* (1999)
18. A. Arbor : NCMS lead-free solder project final report, No. 0401RE96 (1997)
19. H. I. Cha : Problem and solution of Pb-Free Solder, *K. Reliability Conference Proceeding*, 2010 (in Korean)
20. D. Cvasin : Yellow Solder: An Assessment of the Quality and Reliability of Pb-free Lead Finishes and Solder Ball Alloys Exhibiting Excessive Sn Oxidation, *ECTC Proceeding*, (2006), 1060-1063.
21. R. Schueller, N. Blattau, J. Arnold, and C. Hillman : Second generation Pb-free alloys, *SMTA Conference Proceedings*, (2009)
22. C.M. Oh, N. C Park, and W. S Hong : Solder joints fatigue life of BGA package with OSP and ENIG surface finish, *J. Kor. Inst. Met. & Mater* 46-2 (2008), 80-87 (in Korean)
23. G. S. Wable, S. Chada, B. Neal, and R. A. Fournelle : Solidification shrinkage defects in electronic solders, *JOM*, 57-6 (2005), 38-42
24. Gordon Whitten : Lead-free Solder Implementation for Automotive Electronics, *ECTC Proceedings*, (2000), 1410-1415
25. W. S. Hong, B. C. Kang, B. S. Song, K. B. Kim : "A study on the metallic ion migration phenomena of PCB", *Kor. J. Mater. Res.*, 15-1 (2005), 54-60 (in Korean)
26. Takeshi Yanagisawa : History of ionic migration and factor for its growth, *J. of the Surface Finishing Society of Japan*, 5-5 (2000), 479-483
27. H. Tanaka, F. ueta, S. Yoshihara, T. Shitakashi : Effects of reflow processing and flux residue on ionic migration of lead-free solder plating using the quartz crystal Microbalance method" *Materials Transactions*, 42-9, (2001), 3401-3406,
28. H. Tanak, M. Yamashita, Hi. Hiramatsu, M. nakamura, F. ueta, S. Yoshihara, T. Shitakashi : Investigation on Ionic Migration Phenomenon of Hot Dipped Lead-free Solders Using QCM method, *The Journal of Japan Institute of Electronics Packaging*, 5-2 (2002), 135-139
29. H. Qi, S. Ganesan, M. Pecht, "No-fault-found and intermittent failures in electronic products" *Microelectronics Reliability* 48 (2008), 663-674
30. JP002 : Current Tin Whiskers Theory and Mitigation Practices Guideline, JP002, JEDEC/IPC Joint Publication, (2006)
31. Military and commercial specification unification project : Korea Electronics Technology Institute (KETI), *DTAQ-07-1374-R* (2007)
32. www.jedec.org, *JESD22-A106B Thermal Shock*
33. IPC-9701, Performance Test Methods and Qualification Requirements for Surface Mount Solder Attachments, Northbrook, IL, (2002)
34. M. Ramirez, L. Henneken, S. Virtanen : Oxidation kinetics of thin copper films and wetting behaviour of copper and Organic Solderability Preservatives (OSP) with lead-free solder, *Applied Surface Science*, 257-15 (2011), 6481-6488
35. Jack Fellman : A study of the lead-free hot air solder levelling process, *Circuit World*, 31-2 (2005), 3-9
36. www.ipc.org, *IPC-TM 650, Method 2.6.13 Assessment of susceptibility to metallic dendriti growth: uncoated printed wiring*
37. www.ipc.org, *IPC-TM 650, Method 2.6.14 Solder mask - resistance to electrochemical migration*
38. JIS 3197, Testing methods for soldering fluxes, Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association, 1999
39. www.jedec.org, *JESD22-A110D Highly accelerated temperature and humidity stress test (HAST)*
40. United States Army's Developmental Test Command

: MIL-STD 810G Method department of defense test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests

41. Infrastructure establishment and supporting project for lead-free soldering in electronic products, Project report, Korea Electronics Technology Institute (KETI) (2007) (in Korean)



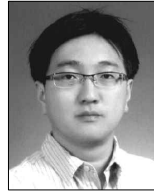
·정재성
·1975년생
·전자부품연구원
·Solder Joint Integrity
·e-mail : jjseicp@keti.re.kr



·오철민
·1976년생
·전자부품연구원
·Solder Joint Integrity
·e-mail : cmoh@keti.re.kr



·구기영
·1970년생
·국방기술품질원
·Soldering Process
·e-mail : kiyoung89@korea.com



·윤영호
·1973년생
·국방기술품질원
·Soldering Process
·e-mail : uhii@naver.com



·황운희
·1958년생
·국방기술품질원
·Solder Joint Reliability
·e-mail : uhhwang@chol.com



·홍원식
·1968년생
·전자부품연구원
·Pb-free Solder, Life Prediction
·e-mail : wshong@keti.re.kr