

유해물질 사용제한에 따라 무연솔더링 공정으로 생산된
전자제품의 신뢰성 확보 방안
A Study on the Reliability Assurance of the Electronic Equipment made
with Lead-Free Solder
- in the restriction of the use of hazardous substances -

송병석 · 조재립

경희대학교 산업공학과

Byeong-Suk Song · Jai-Rip Cho

Dept. of Industrial Engineering, Kyung Hee University

Abstract

European Union Member States shall ensure that, from 1 July 2006, new electrical and electronic equipment put on the market does not contain mercury, cadmium, lead, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls(PBB) or polybrominated diphenyl ethers(PBDE) (by Directive 2002/95/EC of The European Parliament and the Council of 27 January, 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment). So, It is important to develop lead free solder and to assure the reliability of appliance. But lead free solder(i.e. Sn-3Ag-0.5Cu) have some problems such as lift off, whisker, migration and crack, etc. In this paper we discuss the reliability assurance method in lead free solder and appliance.

1. 서론

1992년 브라질의 리오에서 “개발과 환경에 대한 관련국 회의”가 개최된 이후 세계 각국은 하나 뿐인 지구를 환경오염으로부터 보존하기 위한 노력을 계속하고 있고, “지속가능한 개발”이라는 대 전제를 공유하기에 이르렀다. 이러한 추세 속에서 90년대 초 미국이 전자제품에 사용되는 솔더의 납에 대해 문제를 제기하였고, 이후 유럽연합(EU), 일본 및 미국 중심으로 활발한 기술개발, 실용화 및 규제 등이 이루어지고 있다.

2003년 1월 EU의회 및 심의회는 2006년 7월 1일부터 EU 역내 모든 국가가 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 6가 크롬(Cr), PBB¹⁾ 및 PBDE²⁾등을 포함하지 않은 전기 및 전자 제품을 출고해야 한다고 의결하였다. 즉, 6가지 유해물질을 포함한 전기 및 전자제품은 EU에 수출(판매)할 수 없다는 사실상의 무역규제(무역장벽)를 선언하였다. 이러한 사실은 90년대 초부터 지속적으로 논의되어 왔기 때문에 대부분의 선진국은 대응방안을 마련하였다. 즉, 오래 동안 모든 전기·전자제품의 조립(솔더링)에 거의 필수적으로 사용되어 왔던 납(Pb)은 대체물질을 개발하고 실용화를 위한 노력을 하지 않으면 심각한 문제가 발생하기 때문에 EU, 일본 및 미국 등이 특별히 무연솔더링(lead-free soldering)에 대한 국가연구 프로젝트를 수행하여 규제에 대응하고 있다.

2. 연구목적

따라서 본 소고는 6가지 유해물질 중 전자제품의 솔더링에 사용되는 솔더에 한정하여 논의하되, EU, 일본 및 미국을 중심으로 개발된 대체물질(lead-free solder)과 이 물질들의 사용에 따른 문제점들을 검토해보고 우리나라의 대응 방안을 논의하고자 한다.

3. 선진국의 무연솔더링 규제현황

3.1 EU의 규제현황

EU는 1996년부터 1999년까지 필립스, 지멘스 등 다국적기업이 참여하는 연구개발사업(IDEAL

1) Polybrominated Biphenyls

2) Polybrominated Diphenyls Ethers

S3)을 실시하고 무연솔더링과 관련한 대체물질 개발 및 현장에서 적용 가능한 공정기술개발을 하였다. 이후에는 역내 각 기업들이 자사제품의 무연화를 추진하여, 2006년 7월 1일부터 납 사용규제가 가능토록 준비하였다.

선진 각국의 유해물질 사용규제의 모델이 되고 있는 RoHS⁴⁾에 따르면 2006년 7월 1일부터 EU에서 판매되는 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨 등 거의 모든 전기·전자제품(전압: DC 1kV, AC 1kV 미만 적용)에 납, 수은, 카드뮴, 수은, 6가 크롬, PBB 및 PBDE등이 포함되지 말아야 하고(일부 예외를 인정), 위반 될 경우 처벌에 관한 사항은 회원국이 2004년 8월13일까지 법제화해야 한다.

3.2 일본의 규제현황

일본은 1994년부터 1997년까지 회로실장학회의 무연솔더연구회가 무연솔더 개발프로젝트를 수행하였다. 통산산업성 주도로 신에너지-산업기술종합개발기구(NEDO⁵⁾)에서 국가프로젝트로 개발자금을 지원하여 1998년부터 2000년 3월까지 일본전자공업진흥협회(JEIDA) 주관으로 일본전자기기공업회(EIAJ)가 전자부품의 무연솔더에 대한 조사연구를 수행하고, 일렉트로닉스실장학회(JIEP)가 저온무연솔더를 연구하였으며, 일본용접협회(JWES) 주도로 용접학회가 무연솔더재료의 특성 표준화 관련 조사연구가 시행되었다. 2001년부터는 히타치제작소 주도로 EU컨소시엄 6개국, 일본컨소시엄 및 한국컨소시엄이 무연솔더의 특성평가, 신뢰성평가 등 규격을 제정을 위한 기술고도화 사업, 무연솔더가 인쇄 및 동·식물에 미치는 영향 연구 그리고 재활용의 경제성 평가등의 사업을 실시하고 있다. 2000년부터는 일본전자공업진흥협회(JEITA)가 주관하여 무연솔더 실용화 연구를 수행하여 매년 성과보고서를 발행하고 있다.

일본의 무연솔더 관련 연구 및 실용화는 학계·연구계·기업·협회·정부가 참여하는 광범위한 컨소시엄을 구성하여 정부와 기업이 개발자금을 투자하고, 1998년 제정된 “가전리사이클법”에 기초하여 업계가 자율적으로 규제한다는 특징을 가지고 있다. 또한 일본전자공업진흥협회(JEITA)가 2002년 8월에 “무연솔더 로드맵 2002”를 발표하였고, 부품은 2004년까지 그리고 제품은 2005년까지 완전 무연화를 추진하도록 하고 있으나 실제 종합가전사를 중심으로 이 일정보다 빠르게 무연화를 추진하고 있는 실정이다.

3.3 미국의 규제현황

미국은 제일먼저 납사용 규제의 필요성을 제기하였고, 1993년부터 1997년까지 무연솔더의 부품실장특성과 신뢰성평가 연구를 NCMS⁶⁾프로젝트를 통해 수행하였으며, 1999년부터 2003년까지 부품 및

- 3) Improved Design Life & Environmentally Aware Manufacture of Electronic Assemblies by Lead-Rfree Soldering
- 4) Directive on Restriction on the use of Certain Hazardous Substances
- 5) New Energy Development Organization
- 6) National Center for Manufacturing Sciences

제품의 무연화 연구를 NEMI⁷⁾ 프로젝트로 추진하였다.

그러나 업계의 반대에 직면하여 연방정부 차원의 규제 대신 주정부에서 규제하고 있다. 즉, 납 사용금지와 관련하여 Texas, Rhode Island, Vermont, California, Washington 등에서 규제법안을 제정중이고, 실제 시행 시기는 명확하지 않은 상태이다.

3.4 중국의 규제현황

중국은 2003년 국무원 신식산업부(國務院 信息產業部)가 주관하여 EU의 WEEE⁸⁾ & RoHS를 근간으로 “전자정보제품 생산오염방지법”을 제정하려고 하였으나 중증급성호흡기증후군의 영향으로 미루고 있는 상태이다.

검토되고 있는 법안의 주요 규제 내용은 2003년 7월 1일부터 유해물질의 감량화 생산조치를 보충해야하고, 2006년 1월 1일부터 전술한 6가지 유해물질의 사용을 금지토록 하였다. 또한 EU규제에 부가하여 전자정보제품 상에 안전사용기한 표시, 유해물질의 함량표시 및 회수·재이용불가 마크표시, 제조자가 폐전자제품의 회수처리비용 부담 등을 규제하고 있다. 또한 별도로 “폐가전회수이용관리법”을 제정할 예정이다.

3.5 우리나라의 규제현황

우리나라는 최근 2~3년간 산업자원부 주관으로 친환경디자인 기법 및 활용방안에 대한 조사, 휴대폰 및 냉장고 조립에 대한 환경친화적 설계기법과 교육훈련 교재개발, 무연솔더 크립 개발 등의 조사·개발이 이루어졌다. 환경부 주관으로는 에코디자인 일반지침서 등이 개발·보급되고 있다.

산업자원부 주관으로 무연솔더 관련 표준화와 제품개발 연구, 사업자 단체를 중심으로 산업별 환경규제 대응방안이 연구·개발·교육·홍보되고 있다. 또한 2004년 후반기부터 “전자제품의 무연솔더링 기반구축 및 지원사업이 시행될 예정이다.

학계에서는 무연솔더링 관련 많은 연구논문들이 발표되었고, 종합가전사를 중심으로 테스크포스가 구성되어 2003년 말 까지 특정제품에 대해서 무연화가 추진되었으며, 2004년 말 까지 모든 제품을 무연화 한다는 계획을 추진하고 있다.

4. 각국의 무연솔더 및 적용상의 문제점

전술한 바와 같이 선진 각국은 국가적인 사업으로 90년대 중반부터 무연솔더의 개발과 실용화 연구개발을 추진하였고, 각국의 제품환경에 적합한 실용화 무연솔더를 선정 발표하였다.

4.1 일본의 무연솔더 현황

일본은 Sn-3Ag-0.5Cu를 대표 합금으로 추천하고 있으나, 2003년 2월의 Soldertec자료에 따르면 실제적용 비율은 리플로우 공정에서 SnAgCu가 58%,

- 7) National Electronics Manufacturing Initiative
- 8) Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment

SnZnBi가 9%, SnAg가 9%, SnAgCuBi가 5%, SnAgBi가 3%, SnCu가 1%, 기타가 15%로 나타나고 있다. 웨이브 공정에서는 SnAgCu가 64%, SnCu가 20%, SnAg가 5%, SnAgCuBi가 2%, SnAgBi가 1%, 기타가 8%로 나타나고 있다. 또한 수동솔더링에서는 SnAgCu가 77%, SnCu가 12%, SnAg가 6%, SnAgBi가 1%, 기타가 4%로 나타나고 있다.

표1은 일본의 대표적인 실용화 무연솔더이다.

<표1. 일본의 실용화 무연솔더>

프로세스		실용화 무연솔더
웨이브		Sn-Ag 群 Sn-3Ag-0.5Cu > Sn-0.7Cu > Sn-3.5Ag
리플로우	고온계	Sn-Ag 群 Sn-3Ag-0.5Cu > Sn-3Ag > Sn-(2~4)Ag-(1~6)Bi
	중온계	Sn-Zn 群 Sn-8Zn-3Bi > Sn-9Zn-Al Sn-Ag-In 群 Sn-Ag-(6~8)In(-Bi)
	저온계	Sn-Bi 群 Sn-57Bi-(0~1)Ag
수동		Sn-Ag 群(Bi 미량첨가) Sn-3Ag-0.5Cu > Sn-0.7Cu > Sn-3.5Ag

4.2 EU의 무연솔더 현황

EU는 I DEALS 프로젝트에서 제안된 Sn-3.8Ag-0.7Cu 합금이 대표합금으로 추천되고 있고, Soldertec 자료에 따르면 실제적용 비율은 리플로우 공정에서 SnAgCu가 64%, SnAg가 8%, SnBi가 4%, 기타가 4%로 미정이 20%로 나타나고 있다. 웨이브 공정에서는 SnAgCu가 42%, SnCu가 17%, SnAg가 8%, SnBi가 4%, 기타가 4%, 미정이 25%로 나타나고 있다. 또한 수동 솔더링에서는 SnAgCu가 46%, SnCu가 4%, SnAg가 17%, SnBi가 4%, 기타가 4%, 미정이 29%로 나타나고 있다.

4.3 미국의 무연솔더 현황

미국은 NEMI 프로젝트에서 리플로우 솔더링 공정은 Sn-3.9Ag-0.6Cu 합금, 웨이브솔더링 공정은 Sn-3.5Ag, Sn-0.7Cu를 대표합금으로 추천되고 있고, NCMS 프로젝트에서는 표면실장(리플로우 솔더링) 합금을 다음 표2와 같이 추천하고 있다.

<표2. NCMS의 웨이브솔더링 무연솔더>

구분	무연솔더	적용범위
고온계	Sn-3.5Ag	- 일반가전제품 - 휴대폰
중온계	Sn-3.5Ag-4.8Bi	- 일반가전제품 - 휴대폰, 자동차 - 항공·우주
저온계	Sn-58Bi	- 일반가전제품 - 휴대폰, 자동차 - 항공·우주

4.4 우리나라의 무연솔더 현황

우리나라는 주로 일본의 영향을 받아 일본의 실용화 무연솔더를 준용하는 실정이고, LG전자가 5종, 삼성전기 및 삼성전자 9종 등 일부 특허를 보유하고 있다. 표3은 한국의 무연솔더 특허보유 현황을 보여주고 있다.

<표3. 한국의 무연솔더 특허현황>

공정	회사	무연솔더 합금
고온계	삼성	- Sn-(0.1-5)Ag-(0.1-5.5)Cu-(0.1-1)Bi-(0.1-3)Sb
		- Sn-(0.1-5)Ag-(0.1-5.5)Cu-(0.1-1)Bi-(0.1-3)Sb
중온계	LG	- Sn-(1-3)Ag-(0.2-0.4)Cu-(2.4)Bi
		- Sn-2Ag-(3-10)Bi-(2-6)In
	삼성	- Sn-2Ag-0.2Cu-3Bi
		- Sn-2Ag-0.3Cu-3Bi
저온계	삼성	- Sn-(3-5)Ag-(0.1-2)Cu-(5-10)Bi
		- Sn-(3.04-4.5)Ag-(5-10)Bi-(0.05-0.3)Si
저온계	삼성	- Sn-(2.5-3.5)Ag-(5-10)Bi-(0.1-1)Al
		- Sn-(8-9)Zn-(0.1-1)Al
저온계	삼성	- Sn-(5-9)Bi-(2-5)In-(1-6)Zn
		- Sn-(1-3.1)Ag-(1-10)Bi-(2-6)Sb
		- Sn-(3-4)Ag-(6-14)Bi-(2-5)In

5. 적용상의 문제점

대부분의 선진국에서는 무연솔더의 다양한 실용화 연구를 통해 공정조건이나 부품의 도금과 무연솔더의 적합성 관련 조건을 확보한 상태이나, 국내에서는 이제 시작단계이다. 특히 국내 PCB의 60%정도가 페놀수지를 사용하고 있는 것으로 추정됨에 따라 고온계 무연솔더의 사용에는 많은 문제점들이 예견되고 있어 주의를 요한다. 최근 선진국에서 이슈가 되고 있는 문제점은 무연솔더를 적용한 제품의 수명기간 동안의 신뢰성과 관련된 문제들로서 PCB의 배선먹힘 현상, 휘스커(whisker)발생, 리프트 오프(lift-off)현상, 마이그레이션(migration) 현상 및 랜드박리(land lifting)등을 들 수 있다.

(1) PCB의 배선먹힘 현상은 PCB의 홀 모서리 부분 구리배선이 무연솔더에 의해서 침식되는 현상으로서 원인은 침출(leaching)현상으로 추정될 뿐 정확히 밝혀지지 않았으나 심한 경우 회로가 단선(open)되는 고장을 발생 시킨다.

(2) 휘스커는 주석 혹은 주석합금이 고양이 수염과 같이 금속결정으로 성장하는 현상으로 주석계 도금층에서 주로 발생한다. 원인은 주석도금 부위에 응력이 잔류함으로써 휘스커가 성장하는 것으로 알려져 있고, 심한 경우 회로단락(short)의 고장이 발생한다.

(3) 리프트 오프는 PCB의 구리 패드(pad)와 솔더 사이가 박리되는 현상으로서 양면 PCB를 웨이브 솔더링 할 때 주로 발생하고, 비스무스를 함유한 무연솔더가 응고 시 비스무스의 미세 편석이

생기고 무연솔더의 응고 수축 및 열 수축에 의해 솔더가 들어 올려지는 것으로 알려져 있다. 심한 경우 회로단선(open) 고장을 일으킨다.

(4) 마이그레이션 현상은 PCB에 직류전압이 인가된 상태에서 회로패턴 사이 또는 내층 계면에서 전도성 금속 수지상(dendrite)의 필라멘트가 성장하는 현상으로서 심한 경우 회로단락(short) 고장을 일으킨다.

(5) 랜드박리는 무연솔더 접합부가 반복적인 열피로에 의해서 균열이 발생하는 현상으로서 심한 경우 회로단선(open) 고장을 일으킨다.

6. 결 론

무연솔더를 적용한 전기·전자제품의 신뢰성 확보는 위 5가지 문제점을 제거함으로써 가능할 것으로 판단되며, 각 제품의 사용 환경에 적합한 시험 평가를 통해서 신뢰성을 보증해야 할 것이다. 다음 표4에 위 5가지 문제점의 해결 방안을 요약하였다.

<표4. 무연솔더 적용 전자제품의 신뢰성확보 방안>

문제점	해결대책
배선 떡힘현상	- 침출(leaching)을 방지 할 수 있도록 솔더에 니켈을 소량 첨가
Whisker 발생	- 도금 후 열처리로 잔류응력제거 - Whisker 발생 경향이 낮은 솔더 사용 - 솔더조성 및 도금공정 변경
Lift-off 현상	- 솔더 응고 시 고액공존영역이 작은 합금 선택 - 솔더링 시 급냉 - PCB 패드의 직경을 축소
Migration 현상	- PCB 패턴에 습기 흡착 방지 - PCB 제조공정 상의 수분제거
Land lifting 현상	- Land 위까지 솔더레지스터 도포 - PCB 설계 변경

7. 참고문헌

1. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003.
2. 선진국 환경규제에 대한 전자업계 대응전략, 산업자원부, 2003.4.
3. 지속가능산업발전, 국가청정생산지원센터, Vol. 6 No.3, 2003.
4. Katsuaki Suganuma, 무연솔더링 기술, 공업조사회, 2001. 1. 20.
5. Jean-Paul Clech, Lead Free Solder Joint Reliability, Hobbs Engineering Corp., 2003.
6. Lead-free Roadmap 2002, JEITA, September 2002.
7. Second European Lead-Free Soldering Technology Roadmap, Soldertec at Tin Technology, February 2003.