

# 전자산업에서의 무연 솔더와 신뢰성

정재필 (서울시립대학교 재료공학과)

## Pb-free solders and their reliabilities in Electronics

Jae Pil Jung (Dept. of Material Sci. and Eng., Univ. of Seoul)

### 1. 무연솔더 도입의 배경

Sn-Pb계 유연(有鉛) 솔더는 오랜 기간동안 전자기기의 가장 효과적인 접합재료로 사용되어 왔다. 그러나, 근년 솔더가 포함된 전자기기의 폐기 시에 산성비에 의해 솔더 중에 함유된 납(Pb) 성분이 용출되어 지하수를 오염시키고, 이것이 인체에 흡수되면 납 중독, 지능저하, 생식기능저하 등 인체에 해를 미치는 환경오염 물질로 지적되고 있다 (그림 1<sup>1)</sup>참조).

Sn-Pb계 솔더 중에 함유된 납은 아래와 같은 반응에 의해 용출되는 것으로 알려져 있다. 즉, 솔더 중의 납은 대기 중에서 PbO로 산화된 후, 산성비 속에 포함된 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)이나 질산(HNO<sub>3</sub>)에 의해 PbSO<sub>4</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>로 용출된다. 용출된 납성분은 지하로 스며들어 지하수에 유입되고, 이것을 우리들이 마시게 되는 것이다.

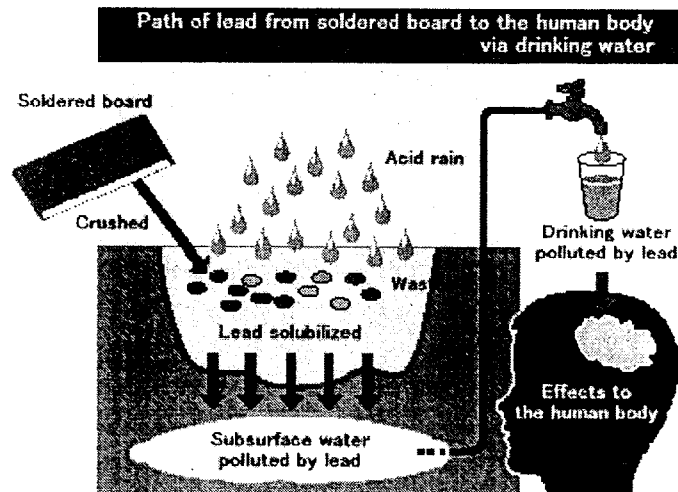
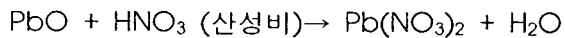
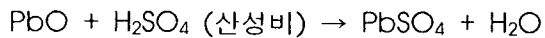
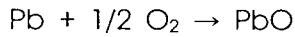


그림 1 Pb의 용출과 인체로의 흡수과정

이러한 문제점으로 인해, 1990년 미국에서 전기전자용 솔더 중의 납 규제에 관한 검토를 발단으로, 무연 솔더에 관한 연구가 세계적으로 진행되었다. 무연 솔더의 개발과 관련된 연구는 먼저 미국에서 NCMS 프로젝트 (1992-96)로 진행되었으며, 유럽에서는 IDEALS 프로젝트 (1996-99)로 진행되었다. 일본에서는 이보다는 늦게었지만 무연 솔더의 기초 및 적용 기술에 관하여는 유럽이나 미국보다 앞서 나가고 있는 것으로 평가된다.

그림 2는 일본에서의 무연 솔더에 관한 연구진행 상황과 대표적인 기업의 무연 솔더 폐지 일정을 보인 것이다<sup>2)</sup>. 일본에서는 이미 가전제품이나 노트북 등 일부 전자기기의 생산에 무연 솔더를 적용하고 있으며, 그림 2에서 보듯이 향후 1-2년 이내에 조사된 9개 대기업 중 6개 기업이 유연 솔더를 전폐할 계획이다. 한편, 미국에서는 2004년, 유럽에서는 2006년(?)에 전자전기 기기 중의 유연 솔더를 전폐할 계획이다. 이처럼, 국가별로 시기적으로 약간의 차이는 있으나 무연 솔더의 사용은 세계적인 추세이다.

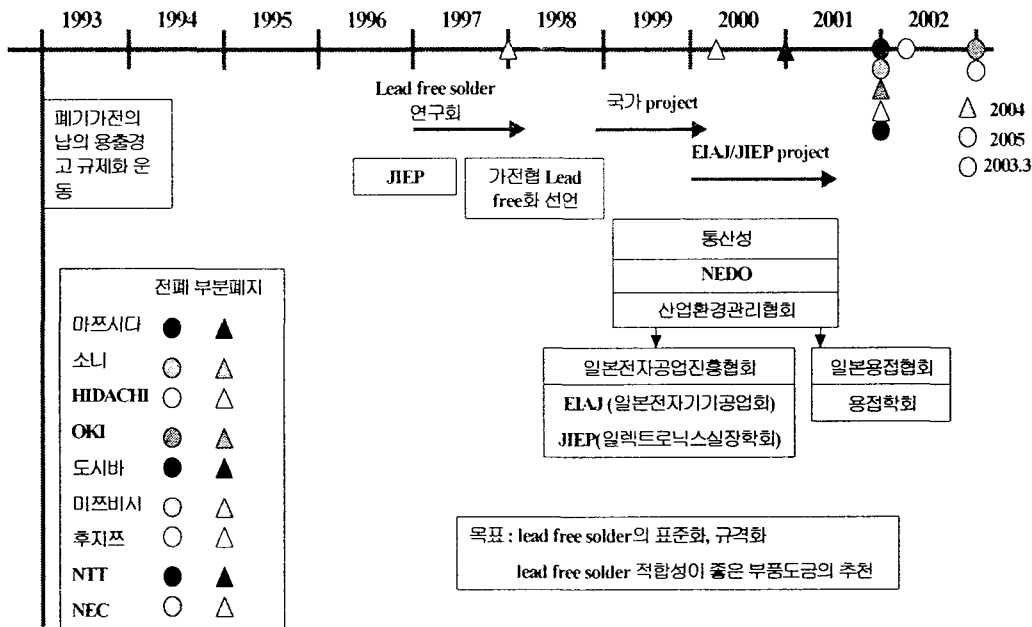


그림 2 일본에서의 무연 솔더에 관한 연구진행과 적용 일정

## 2. 무연솔더의 종류와 특성

종래의 Sn-37Pb 공정합금 (용점 183°C) 부근의 용점을 갖는 무연 솔더로는 Sn-8.8Zn(공정온도 199°C), Sn-3.5Ag(221°C 공정), Sn-0.75Cu(227°C 공정) 등이 있다. 이들 합금 중 젓음성과 신뢰성이 높은 것으로 알려진 Sn-3.5Ag와 Sn-0.7Cu 합금은 용점이 다소 높기 때문에, 용점강하를 위해 Bi, In을 첨가한 것이 무연 솔더의 대표적인 후보합금으로 검토되어 왔다.

그림 3은 대체적인 무연 솔더 합금계의 종류와 용점, 솔더링 프로세스와의 관계를 보인 것이다<sup>2)</sup>. 그림에서 보듯이 웨이브 (혹은 flow) 솔더링의 경우 부품의 내열한계는 약 260°C, 리플로 솔더링의 경우 약 240°C로 보고 있다. 웨이브 솔더링에 적절한 솔더로는 Sn-Cu계와 Sn-Ag-Cu가 있으며, 리플로용으로는 Sn-Ag-Cu계, Sn-Ag-Bi-(In)계, Sn-Zn-Bi계가 있다.

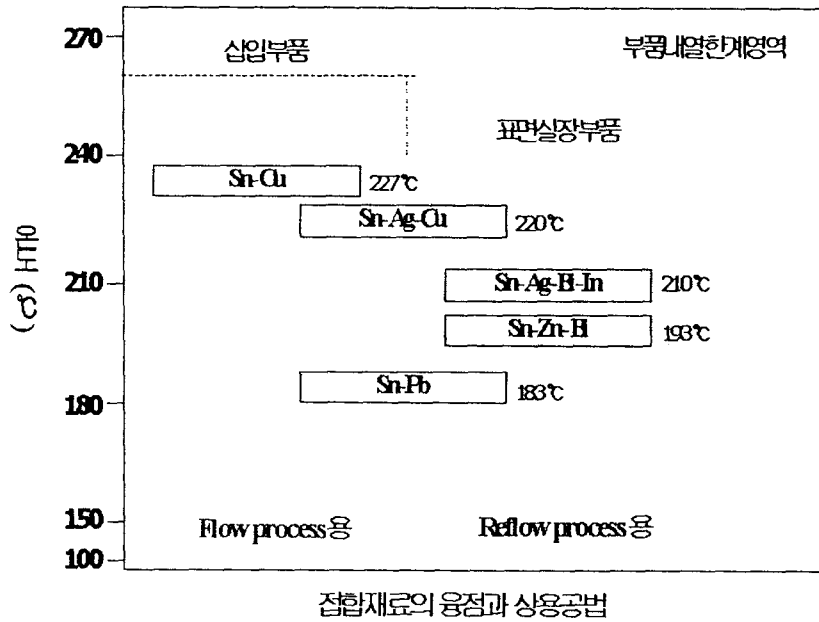


그림 3 무연 솔더 합금계의 종류와 용점, 솔더링 프로세스와의 관계

해외의 각 국에서 무연솔더에 관해 연구한 결과, 추천하고 있는 무연 솔더는 약간씩 다른데, 표 1은 각 국에서 수행한 연구 결과 현시점에서 추천하고 있는 무연 솔더를 정리한 것이다<sup>2)</sup>. 그러나, 아래에 표시한 무연 솔더는 절대적이 아니며, 솔더링 프로세스나 부품의 내열성, 도금, 가격, 장비 등에 따라 사용 솔더는 달라질 수 있다. 결국, 무연 솔더는 기존의 Sn-Pb 합금과 같이 어떤 조건에서도 사용할 수 있는 만능의 솔더를 기대하기 어려우며, 경우에 따라 적절한 것을 선택하여야 한다.

표 1 해외의 연구결과 추천하고 있는 무연 솔더

단체명	추천 무연 솔더
NEDO 프로젝트	Sn-3.0Ag-0.5Cu
NEMI 프로젝트	Sn-3.9Ag-0.6Cu
IDEALS 프로젝트	Sn-3.8Ag-0.7Cu Sn-3.8Ag-0.7Cu-0.5Sb
ITRI	Sn-(3.4~4.1)Ag-(0.45~0.9)Cu (Sn-4.0Ag-0.5Cu)

현재 실용화에 가장 근접하여 있으며, 일부 실용화되기 시작한 것으로 Sn-Ag계가 있다. Sn-3.5Ag 공정합금의 25°C에서의 항복강도는 약 23MPa (2.35kg/mm<sup>2</sup>), 인장강도는 약 35MPa (Sn-37Pb 약 41MPa), 연신율은 약 53% (Sn-37Pb 약 32%) 정도이다. 또한, 120°C에서의 Sn-3.5Ag 합금의 인장강도는 20MPa (Sn-37Pb 약 14MPa), 연신율은 약 47% (Sn-37Pb 약 80%) 정도이다. 인장강도는 변형 속도에 따라 다소 차이가 있는데, 저변형 속도에서는 Sn-3.5Ag의 강도가 Sn-37Pb보다 높다. 120°C에서 500시간 정도의 열처리를 행

하면, 상기 25℃에서의 값에 비해 Sn-3.5Ag 합금의 인장강도는 약 10% 감소하고, 연신율은 약 15% 증가한다. Sn-Ag계는 Sn-37Pb 공정과 비교하여 우수한 열피로 특성을 가지고 있으며 마이그레이션 감수성이 낮으므로, 솔더링 후 이음부 신뢰성이 우수하여 제품의 수명을 늘리게 된다. 따라서 Sn-Ag계와 같은 경우, 이미 BGA, CSP용으로 무연솔더의 적용이 개시되었다.

Sn-Ag계에 Bi가 첨가된 합금은, 강도는 높아지지만 연신율이나 내시효성은 떨어진다. 또, Bi와 In이 첨가된 합금은 강도와 연신의 균형은 이루어지지만 In이 고가이고, 웨이브 솔더링 용으로는 적절치 않다. In만이 첨가된 합금도 유사한 문제점을 가지고 있다. 한편, Cu가 첨가된 Sn-Ag-Cu계는 용점이 약간 높고, 솔더링시 브리지가 다소 발생하기 쉬운 단점은 있지만, 제반 솔더링 특성과 신뢰도가 양호하므로, 가장 유력한 무연 솔더중의 하나로 평가되고 있다.

Sn-3.5Ag 합금에 Cu를 첨가하더라도 실온 강도의 향상은 적는데, Cu를 2% 첨가한 경우, 20% 정도만 실온 강도가 상승한다. 반면, 연신율 감소는 커서 약 53%에서 26%로 감소한다. Cu를 첨가에 따른 실온 강도의 상승 폭이 적은 것은 Sn에 대해 Cu의 고용강화 효과가 적고, Cu와 Sn간의 금속간화합물(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>)이 생성되어도 그 크기가 커서 분산강화 효과가 적기 때문인 것으로 사료된다.

그림 5는 직경 0.3mm의 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더 볼을 사용하여 컨베이어 속도를 0.6m/min로 고정시키고, 솔더링 피크온도 변화에 따른 전단강도 변화를 보인 것이다<sup>3)</sup>. 리플로 피크온도를 230℃에서 260℃로 증가시키기에 따라 전단강도는 227gf에서 603gf로 증가하였으며, 최고강도는 250℃에서의 617gf이다. 그러나, 통상적인 리플로 솔더링 범위에 속하는 240℃에서의 전단강도 값도 평균 약 550gf 정도로 양호한 값을 보였다.

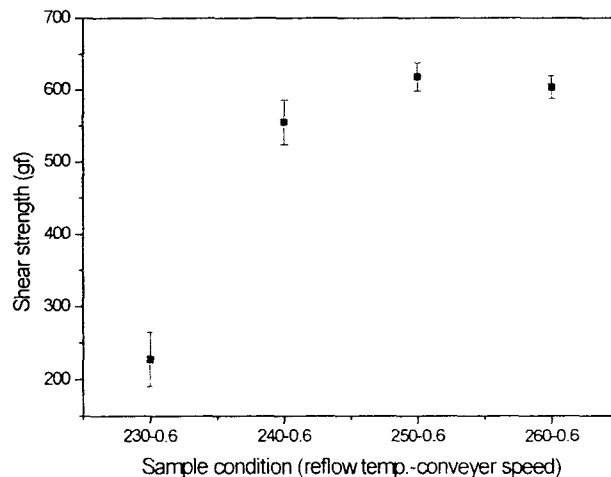


그림 4 직경 0.3mm의 Sn-3.5Ag-0.7Cu 솔더 볼의 솔더링 조건과 전단강도

### 3. 위스커 (Whisker)

전자공업에서의 위스커(whisker)는 Sn 혹은 Sn의 조성에 가까운 합금의 도금면에서 성장하는 단결정에 가까운 탄성이 있는 수염같은 결정질을 말한다. 위스커는 주석 이외의 다른 금속이나 화합물에서도 발생할 수 있다. 그림 5는 Sn의 도금면에서 성장하는 위스커의 예

를 보인 것이다. 위스커는 PCB의 회로 단락이나, 오버 브리지 (over bridge)의 원인이 된다.

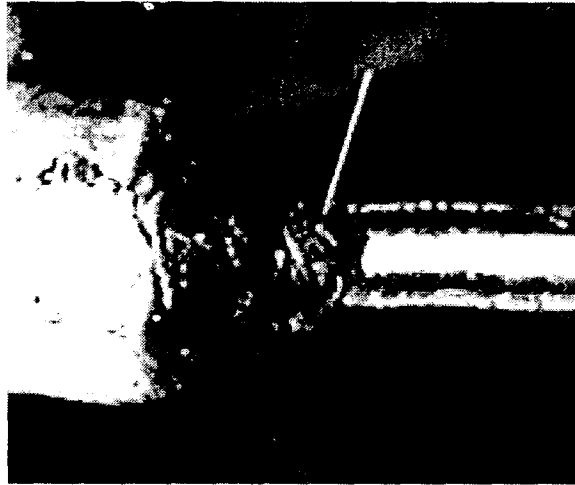


그림 5 Sn의 도금면에서 성장하는 위스커의 예

#### 4. 리프트 어프 (lift-off 혹은 fillet lifting)

Bi가 수% 함유된 Sn계 솔더를 사용하여 양면 쓰루 홀 솔더링을 하면, 솔더링부에는 수  $\mu\text{m}$ 에서 십수  $\mu\text{m}$  크기로 Bi가 미세 편석된다. 특히, 랜드와 솔더의 계면을 따라 쓰루 홀 쪽으로의 편석이 심해진다. 편석된 Bi는 저융점 합금을 형성하여, 솔더가 응고될 때 액상으로 잔류하다가 솔더의 응고 수축 및 리드의 열수축에 의해 솔더가 들어 올려지면서 강도가 약한 솔더와 랜드와의 계면에 박리가 발생한다. 이것을 리프트 어프라 하며, 리프트 어프는 접합 신뢰성을 저하시킨다. 한다. 그림 6은 Sn-3.5Ag 웨이브 솔더링 부에서 리프트 어프가 발생한 예를 보인 것<sup>4)</sup>이다.



그림 6 Sn-3.5Ag 무연 솔더링부에서 리프트 어프가 발생한 예

## 5. 맺음말

이상으로 무연 솔더에 관하여 아주 간략히 살펴 보았다. 요컨대, 현재까지의 연구결과 작업성과 신뢰성을 고려할 때, 리플로 및 웨이브 솔더링용 모두 Sn-Ag-Cu계가 적절한 것으로 평가되고 있다. 그러나, Sn-Ag-Cu계는 가격이 다소 비싸므로 웨이브 솔더링용으로는 Sn-Cu-(Ni)계의 적용 가능성도 유망해 보인다. 또한, 기존의 유연 솔더의 용점에 가까운 솔더로는 Sn-Zn계와 Sn-Ag-Bi-In계가 검토되고 있다.

국가에 따라 시기적으로 약간의 차이는 있으나 무연 솔더의 사용은 세계적인 추세이다. 무연 솔더의 사용은 지구환경의 보호라는 큰 목표가 있지만, 현실적으로 선진국에서는 유연 솔더를 사용한 제품의 수입금지나 규제를 추진하고 있기 때문에 기업이나 국가적으로도 철저한 사전 준비가 필요하다. 무연 솔더링 기술 자체로는 작은 문제일지라도, 솔더를 사용하여 제조된 전자제품을 생각하면 그 과급 효과는 상상하기 어려울 정도로 크기 때문이다. 무연 솔더링은 기존의 솔더링에 비해 작업성이 나빠서 작업조건이 엄격히 관리되지 않으면 도입 초기에 불량률이 급증할 수 있다. 또, 솔더와 패드의 박리(lift off)나 기판과 패드의 박리, 위스커 문제 등 기존의 솔더에는 발생하지 않았던 결함들이 나타날 수 있으므로 신뢰성 문제에 대해서도 철저히 대비해야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 마츠시타 무연솔더링 자료, (2001)
2. 정재필, 솔더링 기초기술 강좌-무연솔더와 그 특성, 표면실장기술, 2001년 5/6월호
3. 정재필 외, Sn-3.5Ag-0.7Cu micro-BGA의 soldering성 연구, 마이크로 전자 및 패키징 학회지, No.3, Vol.7 (2000)
4. Final report of Pb-free solders, NCMS, (1997)