

## Sn-3.0 Ag-0.5 Cu/OSP 무연솔더 접합계면의 접합강도 변화에 따른 전자부품 열충격 사이클 최적화

홍원식<sup>†</sup> · 김휘성\* · 송병석 · 김광배\*

전자부품연구원 신뢰성평가센터

\*한국항공대학교 항공재료공학과

## Thermal Shock Cycles Optimization of Sn-3.0 Ag-0.5 Cu/OSP Solder Joint with Bonding Strength Variation for Electronic Components

Won Sik Hong<sup>†</sup>, Whee Sung Kim\*, Byeong Suk Song and Kwang-Bae Kim\*

Reliability and Failure Analysis Center, Korea Electronics Technology Institute, Gyeonggi, 463-816, Korea

\*Department of Materials Engineering, Hankuk Aviation University, Gyeonggi, 412-791, Korea

(2007년 2월 13일 받음, 2007년 3월 12일 최종수정본 받음)

**Abstract** When the electronics are tested with thermal shock for Pb-free solder joint reliability, there are temperature conditions with use environment but number of cycles for test don't clearly exist. To obtain the long term reliability data, electronic companies have spent the cost and times. Therefore this studies show the test method and number of thermal shock cycles for evaluating the solder joint reliability of electronic components and also research bonding strength variation with formation and growth of intermetallic compounds (IMC). SMD (surface mount device) 3216 chip resistor and 44 pin QFP (quad flat package) was utilized for experiments and each components were soldered with Sn-40Pb and Sn-3.0 Ag-0.5 Cu solder on the FR-4 PCB(printed circuit board) using by reflow soldering process. To reliability evaluation, thermal shock test was conducted between  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+125^{\circ}\text{C}$  for 2,000 cycles, 10 minute dwell time, respectively. Also we analyzed the IMCs of solder joint using by SEM and EDX. To compare with bonding strength, resistor and QFP were tested shear strength and  $45^{\circ}$  lead pull strength, respectively. From these results, optimized number of cycles was proposed with variation of bonding strength under thermal shock.

**Key words** Pb-free solder, thermal shock, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu, reliability, intermetallic compounds

### 1. 서 론

선진국 친환경 정책에 따라 전자제품에 유연솔더(SnPb)의 사용을 억제하는 추세에 있다. 이중 유럽연합(EU)은 '06년 7월부터 자국 내에 사용되는 모든 제품에 대한 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬 등 6개 물질에 대해 사용금지 조치인 "특정유해물질 사용제한 지침(RoHS)"을 발효하였다. 이에 따라 전자제품 제조시 사용된 유연솔더에 납(Pb)을 사용하지 않은 무연솔더(Pb-free solder)에 대한 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다. 기존의 연구는 무연솔더 접합계면에 형성되는 금속간화합물에 대한 연구가 집중되어 있었으며, 실제 무연솔더 적용 제품의 신뢰성평가 및 접합특성에 반드시 필요한 시험방법 및 시험조건 등에 대한 자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 무연솔더를 사용한 전자제품의 신뢰성평가기 적절한 시험

방법과 시험시간을 제시하고 이에 따른 솔더 접합계면의 금속간화합물 형성 및 성장에 따른 접합강도의 변화에 대해 연구하였다. 실험에 사용된 시편은 표면실장형 부품(surface mount device, SMD)인 QFP(quad flat package)와 칩 저항기(chip resistor)를 Sn-40 Pb 유연솔더와 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 무연솔더를 사용하여 FR-4 기판에 리플로우 솔더링 방법으로 실장하였다. 솔더 접합부 신뢰성평가를 위해 시편은 열충격시험(thermal shock test)을  $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $+125^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 각각 10분간 유지하여, 총 2,000 사이클 동안 시험을 진행하였다. 열충격시험 후 시편은 주사전자현미경(SEM) 및 에너지분산스펙트럼분석(EDX)을 이용하여 시험시간에 따라 접합계면에 형성된 금속간화합물(intermetallic compound, IMC)을 분석하였으며, 유무연 솔더 접합부 접합강도를 측정하기 위해 QFP와 칩저항기 각각을  $45^{\circ}$ 리드인장강도시험과 전단강도시험을 실시하여 비교분석 하였다. 이러한 실험 결과로부터 무연솔더 접합부 신뢰성평가를 위한 열충격시험을

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail : wshong@keti.re.kr (W. S. Hong)

진행하는 경우 요구되는 최소 시험시간에 대한 기준을 제안하였다.

## 2. 실험 방법

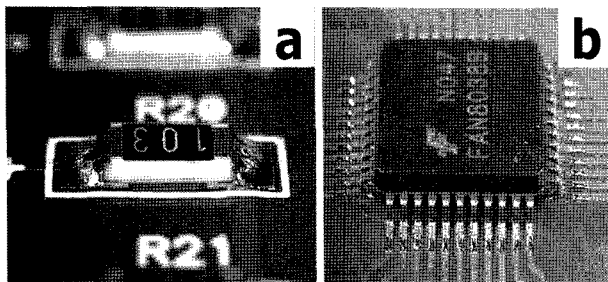
본 실험에 사용된 시편은 SMD 형태의 44 pin QFP와 3216 칩 저항기를 사용하였으며, Sn-40 Pb 유연솔더와 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 무연솔더를 사용하여 FR-4(glass fiber/epoxy resin) 기판에 열풍방식의 리플로우 장비를 이용하여 솔더링 하였다. 시험용 쿠폰(coupon) 제작을 위한 기판 및 부품의 도금 및 설계 조건은 Table 1과 같으며, Fig. 1은 솔더링된 부품의 광학현미경 사진으로 솔더가 적절한 필렛(fillet)을 형성하여 실장된 것을 알 수 있다. 리플로우 솔더링시 솔더링 최고 온도는 유무연 각각의 경우 220, 245°C 이었으며, X-선 비파괴검사(non-destructive test, NDT) 장비를 이용하여 솔더링 후 솔더 접합부 보이드(void) 및 결함 유무를 검사하였다. 실장된 기판은 열충격 시험을 진행 하였으며, 열충격시험 싸이클에 따른 칩저항기와 QFP의 솔더 접합부 접합강도를 측정 하였으며, SEM, EDX 분석을 이용하여 열충격시험 후 유무연 솔더 접합면에 형성된 금속간화합물을 분석하였다.

### 2.1 미세조직 및 접합강도 평가

유무연 솔더의 열충격 싸이클에 따른 미세조직을 광학현미경 및 SEM으로 관찰하였고, 솔더 접합부의 IMC 형성을 조사하기 위해 EDX 분석을 이용하여 성분분석을 실시하였다. 열충격시험 전후 유무연 솔더 접합부의 접

**Table 1.** Design conditions of test coupons for 3216 chip resistor and 44 pin QFP

Classifications	3216 Chip Resistor	44 Pin QFP
PCB materials	FR-4(t=1.6mm, Tg=135°C)	
Pad surface finish	Cu foil(1 oz)/Cu plating(25 µm)/OSP	
Pad size of PCB	0.4×2.5 mm	1.6×1.6 mm
Surface finish	Ni-P/Sn	Cu lead/Ni-P/Sn
Lead pitch	-	0.8 mm



**Fig. 1.** Photographs of (a) 3216 chip resistor and (b) 44 pin QFP soldered on the FR-4 PCB.

합강도 비교분석을 위해 DAGE 4000 Bonding Tester를 이용하여 칩저항기와, QFP 실장부품에 대해 각각 전단강도시험과 45° 리드 인장강도시험을 실시하였다. 강도측정에 사용된 시험조건으로 전단 및 45°인장 속도는 167 µm/sec, 전단치구 높이는 50 µm로 측정하였으며, 동종의 10개 부품을 반복 측정하여 평균값을 사용하였다.

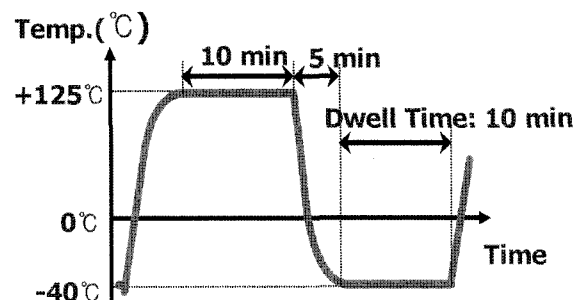
### 2.2 열충격시험

솔더 접합부 신뢰성평가를 위해 칩 저항기와 QFP 부품이 실장된 기판은 엘리베이터 방식의 열충격시험 장비를 이용하여 열충격시험(thermal shock test)을 -40°C~+125°C의 온도범위에서 각각 고온과 저온에서 10분간 유지하며, 각 온도에서 변화속도는 5분 이내로 하여 총 2,000 사이클 동안 시험을 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 X-선 비파괴 및 광학현미경 분석

솔더링 후 유무연 솔더 접합부의 보이드 함유 상태를 검사하기 위해 X-ray NDT를 Fig. 3과 같이 수행하였다. 분석결과 Sn-40 Pb를 적용한 시편은 모든 부품에 대해 접합상태 및 보이드 함유율이 낮게 나타났지만, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더를 적용한 칩 저항기와 QFP 모두에서 유연솔더에 비해 많은 보이드 함량을 나타내었다. 그러나 솔더 접합부에 잔존하는 보이드로 인해 접합부의 장기 수명에 미치는 영향은 작은 것으로 보인다. 그렇지만 접합수명에 미치는 영향이 작으려면, 보이드의 함유율이 20% 정도 이하가 되어야 신뢰성이 있는 것으로 전자업체에서는 일반 기준으로 사용하고 있다. 실제 제품에서 무연솔더의 퍼짐성 저하, 보이드 함유율의 증가 등이 무연솔더 적용시 고질적 문제로 대두됨에 따라 보이드 함량 기준을 최대 30% 이내를 적용하기도 한다. 본 실험에 실장 되어 사용된 시편의 경우, X-ray NDT로 솔더 접합부의 보이드 함유율을 계산한 결과 대부분 10% 내외로 접합특성을 평가하기에 적절한 것으로 나타났다.



**Fig. 2.** Temperature profile of thermal shock test.

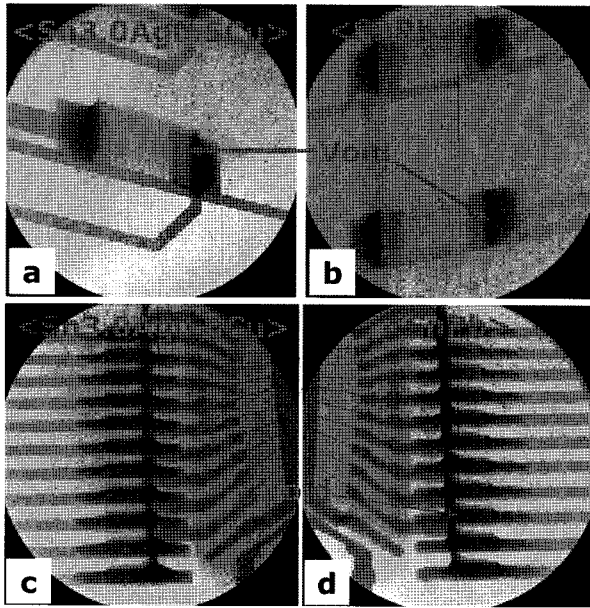


Fig. 3. X-ray nondestructive analysis of solder joint for 3216 chip resistor and 44 pin QFP soldered with (a), (c) Sn-3.0 Ag-0.5 Cu and (b), (d) Sn-40 Pb, respectively.

### 3.2 솔더 접합부 금속간화합물 형성 및 균열 발생 메카니즘

솔더 접합부에 형성된 금속간화합물의 종류를 분석한 결과 다음 Fig. 4~Fig. 7에 각각 칩 저항기와 QFP에 대한 단면 SEM 사진을 나타내었다. 단면분석 결과 열충격 사이클의 증가에 따라 접합계면에 형성된 IMC 층의 두께가 증가되는 것을 관찰할 수 있었고, 솔더 접합 계면에 형성된 IMC의 종류에 대해 분석한 결과는 다음과 같다. 칩 저항기나 QFP의 기판 표면처리는 Cu/OSP 기판으로써, 솔더와 Cu 계면에는  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 가 형성되었으며, 열충격시험 사이클 증가에 따라  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 와 Cu 계면에는  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 이 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 이렇게 형성된 IMC는 Cu/Sn 계면에 형성되는 기본적인 IMC로써 대부분의 솔더 접합계면에 형성된 것을 알 수 있다. 부품의 전극 및 리드에 Ni-P/Sn 도금된 QFP와 칩 저항기의 경우 부품과 솔더의 접합계면에는  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$  IMC가 형성된 것을 EDX 분석을 통해 알 수 있었다. Ni 도금 층은 Cu-Sn계 금속간화합물의 형성을 억제하기 위한 목적으로 솔더와 Cu기판 사이에서 확산 방지층(diffusion barrier) 역할을 목적으로 부품 도금에 적용된다. Ni-Sn 평형상태도에서 알 수 있듯이 형성되는 IMC의 종류는  $\text{Ni}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ <sup>1)</sup> 외에  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ ,  $(\text{Ni},\text{Cu})_3\text{Sn}_4$ <sup>1,3-6)</sup> 5종류의 IMC가 형성된다고 보고되고 있다. 솔더링시 즉 고상/액상 확산에서 Ni기판은 솔더 내로 용해되며 계면에서는 Ni-Sn 금속간화합물인  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 가 지속적으로 성장하게 된다. 일단 금속간화합물이 생성되면 금속간 화합물 사이에는 채널(channel)이 형성되며 Ni은 금속간화합

물 층을 통하여 확산해 나가는 것보다 이러한 채널을 통하여 우선적으로 확산하게 된다.<sup>7)</sup> 금속간화합물의 생성 엔탈피( $\Delta H_f$ )는 298 K에서 각각  $-235.3$ ,  $-192.5$ ,  $-102.8$  kJ/mol 로써  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 의 생성 엔탈피가 가장 낮다.<sup>8)</sup> 따라서  $\text{Ni}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$ 는  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  보다 핵생성이 어렵기 때문에 솔더링시 계면에서 생성되어 성장하는 금속간화합물은  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 로 알려져 있다. 본 실험에서 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더를 사용한 경우 Ni 도금된 부품과 솔더 계면에서는  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 이 형성되었으며, Sn-40 Pb 솔더 접합부에서는  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 가 형성되었다. 이것은 솔더에 함유된 Cu로 인해 접합계면에서는 여러 종류의 IMC 구조를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 IMC는 용융솔더와 Ni 층과의 반응에 의해 계면에  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 를 생성하게 된다. Yoon<sup>4)</sup>의 IMC 분석에 따르면 Ni은 16.05~20.59 at%, Cu는 33.84~40.05 at% 그리고 Sn은 34.77~40.12 at%의 조성범위를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 성분분석 결과 Ni은 20.40~20.28 at%, Cu는 33.41~35.15 at% 그리고 Sn은 39.99~46.06 at%의 조성범위를 갖는 것으로 분석되었다. 이때 확산된 Cu는 솔더를 제외하고는 계면근처에서 존재하지 않으므로  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 에 존재하는 Cu는 솔더 내부로부터 확산된 것으로 볼 수 있다.  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 의 생성은  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  IMC 격자 내에 Ni 원자가 치환형으로 포함된 것으로 생각할 수 있다. Cu-Ni 2원계 합금은 완전한 전용고용체(complete solid solution)를 형성하게 된다. 왜냐하면 Cu와 Ni의 원자 크기는 단지 2% 정도 밖에 차이가 나지 않으며, 동일한 FCC(face-centered cubic) 결정격자를 가지고 있기 때문에  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 속으로 Ni 원자가 치환형으로 확산되는 경우 결정격자의 왜곡(distortion)이나 새로운 상의 형성 없이 치환될 수 있게 된다.<sup>5)</sup> 반응이 지속되는 경우  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$  층 밑부분에서  $(\text{Ni},\text{Cu})_3\text{Sn}_4$  IMC 층이 형성되기 시작한다.<sup>9)</sup>  $(\text{Ni},\text{Cu})_3\text{Sn}_4$  IMC의 형성은 계면으로 유입되는 Cu의 확산이 감소됨에 따라 Ni-P 층 주변에서 형성한다고 보고되고 있으며, 이때 IMC의 조성을 보면 Ni이 34.77~40.12 at%, Cu가 6.02~10.40 at% 그리고 Sn이 53.62~54.83 at%의 조성범위를 가지는 것으로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup> 또한 Ni-P/Sn에서 생성되는 IMC로  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 외에  $\text{NiSnP}$ ,  $\text{Ni}_3\text{P}$ 가 생성된다는 연구 결과<sup>3)</sup>와 같이 본 실험 결과에서도  $\text{Ni}_3\text{P}$ 가  $(\text{Cu},\text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 와 Ni-P 사이의 계면에서 발생한 것을 관찰할 수 있었다. 장시간 시간이 경과되는 경우  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ 와  $\text{Ni}_3\text{P}$  계면에서는 Ni-Sn-P 3원계 상이 생성된다고 알려져 있다. Suganuma<sup>10)</sup>의 연구결과에 의하면  $\text{Ni}_3\text{P}$  층은 순수한  $\text{Ni}_3\text{P}$ 로 구성된 것이 아니라  $\text{Ni}_3\text{P}$ 와 Ni로 구성된 것이라는 주장도 있다. Ni 하지도금이 포함된 경우 솔더와의 계면에는 Cu-Sn 계면의 IMC 보다 좀더 복잡한 구조를 가지게 된다. 왜냐하면 계면에 형성되는 IMC 이외에 솔더의 재료 내부에는 Ag-Sn계

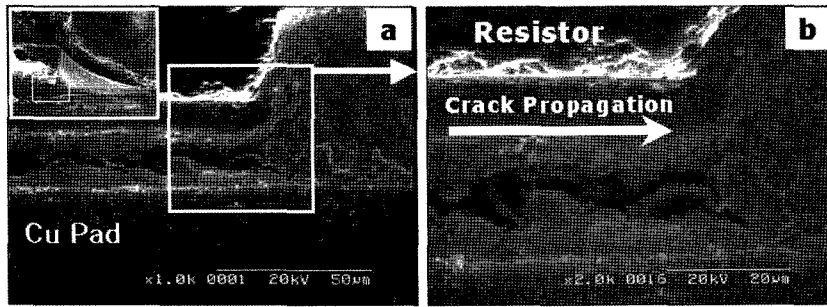


Fig. 4. Cross section images of 3216 chip resistor soldered with Sn-40 Pb after thermal shock test, 1400 cycles: (a) overall shape of joint and (b) magnified view of crack tip.

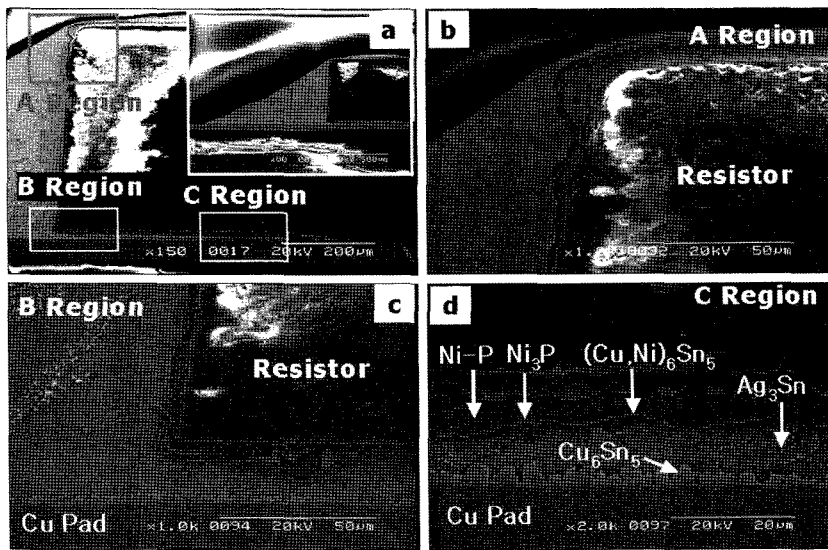


Fig. 5. Cross section images of 3216 chip resistor soldered with Sn-3.0 Ag-0.5 Cu after thermal shock test, 1800 cycles: (a) overall shape of joint, (b) magnified view of region A, (c) magnified view of region B, and (d) magnified view of region C.

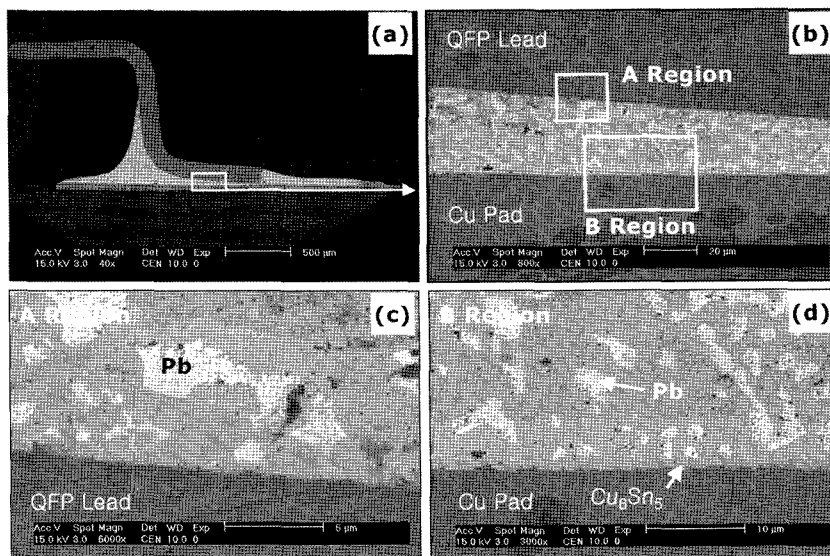


Fig. 6. Cross section images of 44 pin QFP soldered with Sn-40 Pb after thermal shock test, 2,000 cycles: (a) overall shape of solder joint, (b) magnified view of solder joint, (c) microstructure of QFP lead side and (d) microstructure of Cu pad side.

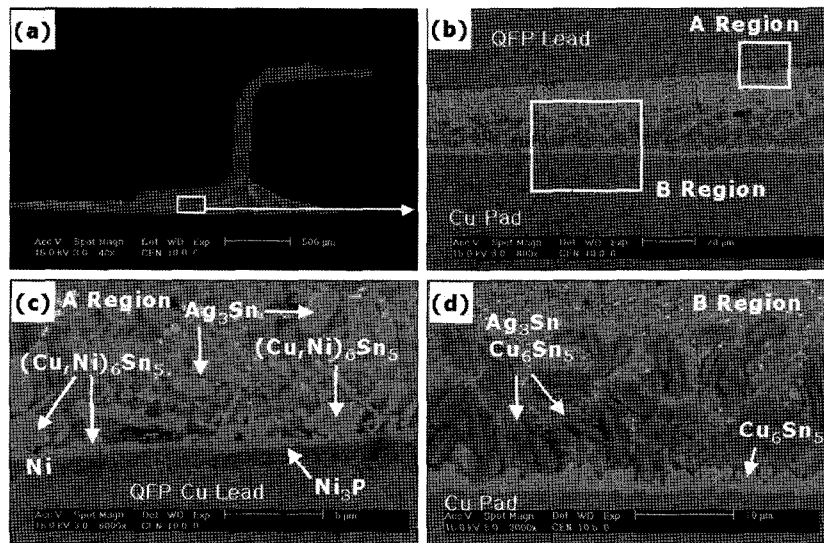


Fig. 7. Cross section images of 44 pin QFP soldered with Sn-3.0 Ag-0.5 Cu after thermal shock test, 2,000 cycles: (a) overall shape of solder joint, (b) magnified view of solder joint, (c) microstructure of QFP lead side and (d) microstructure of Cu pad side.

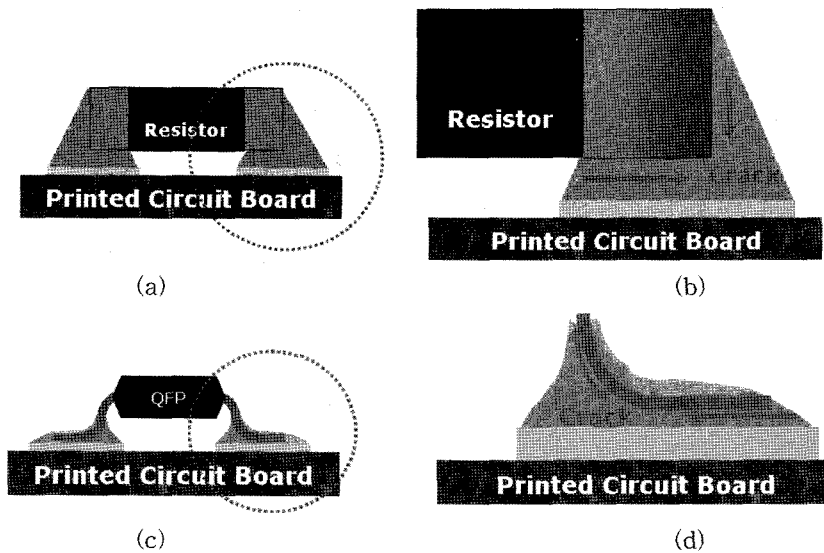


Fig. 8. Crack propagation mechanism of solder joint for (a), (b) chip resistor and (c), and (d) QFP.

IMC인  $Ag_3Sn$ 이 형성되고 있고,  $Cu_6Sn_5$  IMC도 일부 형성되고 있어 매우 복잡한 구조를 가지게 된다. 이렇게 형성된 IMC는 모두 열팽창계수(coefficient of thermal expansion, CTE)가 다르므로, 반복적 열의 공급과 소멸로 인해 솔더 접합부는 CTE mismatch에 의한 열적 피로 상태에 놓이게 된다.<sup>11-13)</sup> 따라서 열충격시험 결과 Sn-40 Pb, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더 접합부 모두에서 IMC 계면 층에서 균열이 발생, 성장한 것으로 나타났으며, 이러한 균열의 도입과 성장이 솔더 접합부 신뢰성을 저하시키는 주요 원인으로 작용하게 된다. Sn-40 Pb 솔더를 사용하여 실장한 칩 저항기의 경우 열충격시험 1400,

1600, 1800 cycles에서 모두 IMC와 솔더 계면에서 균열이 발생된 것을 관찰할 수 있었으며, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu의 경우 1400, 2000 cycles에서 균열이 관찰되었다.

QFP 부품의 경우 부품 리드는 Cu 위에 Ni/Sn 도금되었으며, 기판 패드에는 Cu/OSP 처리되었다. 따라서 솔더 접합 후 기판 패드와 솔더의 계면에는  $Cu_6Sn_5$ 와  $Cu_3Sn$ 이 형성되었으며, QFP 리드와 무연솔더의 계면에는  $(Cu,Ni)_6Sn_5$ 와  $(Ni,Cu)_3Sn_4$ 가 계면에 형성되었다. 유연솔더 접합계면에서는  $Ni_3Sn_4$ 가 형성되었으며, 솔더 내부에는 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더의 경우  $Cu_6Sn_5$ 와  $Ag_3Sn$ 이 형성된 것이 관찰되었다. 열충격시험 사이클 수의 증

가에 따라 IMC의 성장두께는 증가하였으며, 부품의 도금상태에 따라 생성된 IMC의 종류도 다양하게 형성된 것을 Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있다. Sn-40 Pb의 경우, 부품과 패드 사이의 거리는 약 20  $\mu\text{m}$  정도로 매우 근접하여 있으며 Sn-Pb 공정조직을 사이에 두고 양쪽으로 IMC 층이 형성된 구조를 가지고 있다. 따라서 솔더를 중심으로 양쪽 면이 취약한 형상을 가지고 있다. 솔더 접합부 균열은 Fig. 8에서와 같이 패드의 안쪽 면 부품/솔더 접합계면에서 시작되어 IMC/솔더 계면을 따라 전파되고 있음을 알 수 있고, 이러한 형태는 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더 접합계면에서도 동일하게 나타났다. Fig. 4, Fig. 5에서와 같이 균열의 시작은 칩 저항기 밑면의 패드 안쪽과 부품 측면의 IMC/솔더 계면에서 발생된 것으로 볼 때 이 부위에 응력의 집중이 발생하고 있음을 알 수 있다. Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더 계면에서도 이와 동일한 형태의 균열생성과 성장이 이루어지고 있으며, 모재에 형성되는  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 을 제외하고 계면에 생성되는 IMC는 Sn-40 Pb와 동일한 것으로 나타났다.

**3.3 열충격시험 사이클 수에 따른 전단강도 및 45° 리드 인장강도**

열충격시험 사이클에 따른 솔더 접합부 IMC 성장이 부품의 접합강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시험시간의 증가에 따라 칩 저항기의 접합강도시험을 통해 분석하였으며, Fig. 9는 접합강도 평가시험 후 부품 사진이고, 시험결과는 Fig. 11에 나타내었다. 접합강도시험은 각각의 온도 사이클 조건에서 10개의 시편에 대한 시험

결과의 평균값을 취한 결과이다. Sn-40 Pb 솔더 접합된 칩 저항기의 최대 전단강도는 89.13 N 이었으며, as-reflow 시편의 전단강도와 1,000 사이클 후의 최저 강도인 75.53N과의 변화 폭을 보면 약 3.49% 정도의 강도 감소를 보였다. Sn-3.0 Ag-0.5 Cu로 솔더링된 칩 저항기의 경우 초기 전단강도는 96.76N 이었으며, 1,400 사이클 후 75.05 N으로 최저 값을 나타내 초기값 대비 최대 22.43% 정도의 전단강도 변화를 나타냈다. 무연솔더의 경우 초기 전단강도는 1,000 사이클 정도까지는 감소율이 거의 나타나지 않았지만 1,200사이클부터 접합강도의 변화가 나타나기 시작하였다. 또한 표준편차를 보면 초기에는 편차가 크게 나타나지만 시간의 경과에 따라 전단강도 편차의 폭은 감소되고 있음을 알 수 있다. Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더의 경우 시효온도가 증가됨에 따라 미세조직에는  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 이 미세분산 되어 형성되고 있으며, 이로 인해 강도증가를 보이지만, 장시간 고온에 노출되는 경우  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 의 성장과 조대화에 의해 초정미가 형성되어 접합강도가 감소됨을 알 수 있다. 이러한 특징은 Fig. 5에서도 관찰할 수 있으며, 모재인 솔더에 형성된 IMC의 양이 사이클의 증가에 따라 많은 양이 조대화 되어 형성된 것을 알 수 있다. Sn-40 Pb 솔더는 Sn-Pb의 공정조직으로부터 시간경과에 따라 공정조직은 분해 되고, Pb의 응집현상이 증가하게 되어 Sn-rich 지역과 Pb-rich 지역으로 분할되어 조대화가 이루어짐을 알 수 있다.<sup>9)</sup> 이러한 미세조직의 조대화는 전단강도를 감소시키며, 솔더 접합계면의 균열발생시 Sn과 Pb의 입자 사이를 따라 IMC 계면으로 균열성장의 경로를 제공하고 있음을 알 수

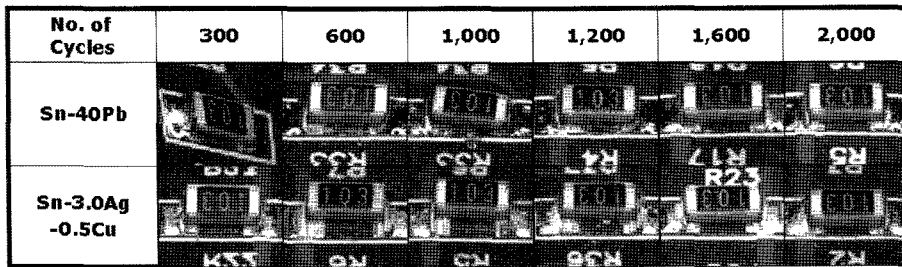


Fig. 9. Photographs of 3216 chip resistor after shear strength test with thermal shock cycles.

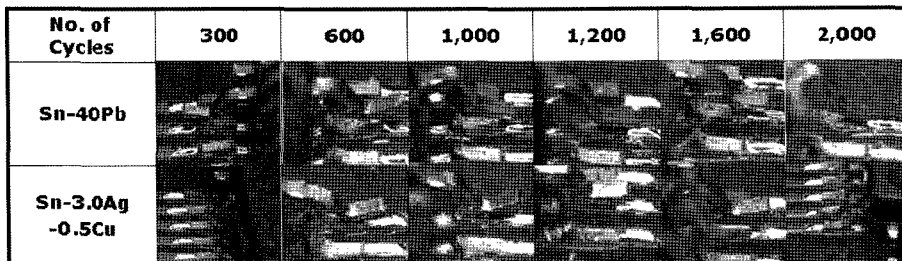


Fig. 10. Photographs of 44 pin QFP after 45° lead pull strength test with thermal shock cycles.

있다. 그러나 Sn-40 Pb 공정솔더는 열충격 사이클의 증가에 따라 강도의 변화는 크지 않은 것으로 나타났지만, IMC의 형성이 균열의 도입과 성장에 중요한 역할을 하는 것은 앞의 분석결과를 볼 때 명확하다고 할 수 있다. Fig. 11은 열충격시험 사이클에 따른 적합강도의 변화를 나타낸 곡선이며, Fig. 12는 초기 적합강도 대비 최저 적합강도의 변화비율을 나타낸 것이다. 이러한 결과로 볼 때 결국 열충격시험 사이클의 증가에 따라 무연솔더의 초기 강도 증가는 적은 변화를 나타내지만 시간의 경과에 따라 강도 감소는 크게 발생하고 있음을 알 수 있고, 대략 1,200 사이클 정도 경과 후부터 이러한 변화를 관찰할 수 있었다. 따라서 열충격시험 방법에 의한 솔더 접합부에 대한 수동부품의 전단강도 변화는 최소 1,200 사이클까지 수행되어야 그 변화를 관찰할 수 있음을 알 수 있다.

QFP 부품의 열충격시험 사이클 수에 따른 45° 리드 인장강도시험 후 사진을 Fig. 10에 나타내었다. 실험결과 Sn-40 Pb를 적용한 경우 2,000 사이클까지 인장강도의 변화 비율은 크지 않았으며, 전체적으로 균일한 인장강도를 보였고, 그 값은 최소 14.72~17.14 N 정도를 나타내었다. Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더로 실장된 경우 600 사이클까지 인장강도의 변화가 미비하였으나 800 사이클에서 강도의 저하가 크게 나타난 이후 2,000 사이클까지 비교적 균일한 리드의 인장강도를 보였다. 이것도 칩 저항기와 같이 무연솔더의 경우 초기 인장강도는 Sn-40 Pb 솔더보다 높게 나타나지만 일정시간 경과 후에는 강도의 저하 폭이 크게 변화하고, 이후에는 비교적 안정된 강도를 나타낸 것으로 보인다. 이러한 원인으로는 무연솔더에 생성되는 IMC의 생성과 성장에 기인하여 미세조직의 변화가 주요 원인이며, 무연솔더에 생성되는 IMC도  $Ag_3Sn$ 과  $Cu_6Sn_5$ 가 생성되었고, 솔더/Cu 패드 계면에는 Ni 도금에 의해  $(Cu,Ni)_6Sn_5$ ,  $Ni_3P$ 가 생성된 것을 앞서 설명한 Fig. 6, Fig. 7에서 알 수 있었다. 이러한 IMC의 생성으로 인해 열충격시험 후 800 사이클 이후에 리드의 인장강도는 급격히 저하되는 것으로 해석되며, Fig. 12에서와 같이 접합강도 변화 폭은 초기강도 대비 약 39%의 감소를 나타내어, Sn-40 Pb 솔더의 변화비율 약 12.9% 감소에 비해 매우 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 열충격시험을 이용하여 QFP와 같은 SMD 능동부품의 솔더 접합수명을 평가하고자 할 경우 최소 800 사이클 이상의 시험을 진행하여야 함을 알 수 있었다. 또한 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu가 Sn-40 Pb 솔더에 비해 as-reflow 후 접합강도는 매우 높게 나타나지만, 시간의 경과에 따라 접합강도의 감소비율은 매우 크게 나타난다는 결과를 얻었다. 이러한 접합강도의 변화로 Sn-Pb계 공정솔더는 Sn-Pb 공정조직에서 벗어나 Sn-rich, Pb-rich 지역으로 분할 조대화 됨에 따라 강도의 저하가 일부 나

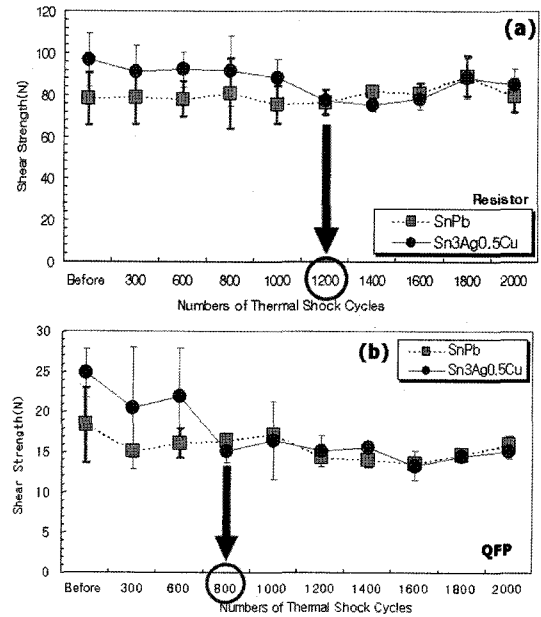


Fig. 11. Shear strength variation of (a) 3216 chip resistor and (b) 44 pin QFP under thermal shock cycles.

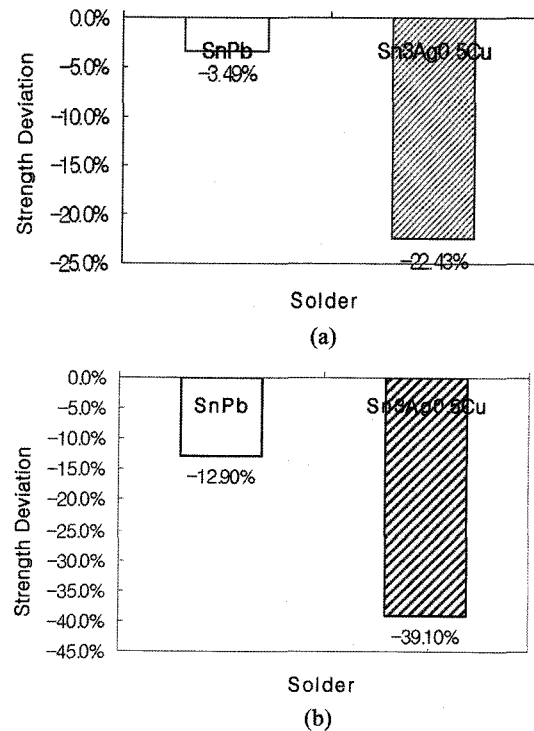


Fig. 12. Deviation of maximum shear strength and 45° lead pull strength for (a) chip resistor and (b) QFP after thermal shock, 2,000 cycles.

타나고, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더는 계면에 형성되는 IMC 외에 솔더에 분산 강화된  $Ag_3Sn$ 의 조대화가 접합강도 저하에 일부 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

Sn-40 Pb, Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더로 접합된 3216 칩 저항기와 44 pin QFP의 접합수명 및 신뢰성 평가를 위해 열충격시험 2,000 싸이클을 수행한 후 솔더 접합부의 금속간화합물 형성 및 접합강도에 대한 연구결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Sn 도금된 칩 저항기의 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더 접합계면에는  $Cu_6Sn_5$ 과  $Cu_3Sn$ 이 형성되었다. Ni/Sn 도금된 QFP 부품의 경우 Cu Pad와 솔더 계면 사이에는 칩 저항기와 동일한  $Cu_6Sn_5$ ,  $Cu_3Sn$ 이 형성되었고, 부품 리드와 솔더 계면 사이에는  $(Cu,Ni)_6Sn_5$ ,  $Cu_6Sn_5$ 이 형성되었다. 또한 솔더 내부에는  $Cu_6Sn_5$ 와  $Ag_3Sn$ 이 형성된 것을 알 수 있었다.

2. 칩 저항기와 QFP의 열충격시험 결과 초기 접합강도는 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더 접합부가 Sn-40 Pb 솔더 보다 높게 나타났으며, 이것은 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 솔더에  $Ag_3Sn$ 의 분산강화 효과에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 열충격시험 시간이 증가함에 따라 유연솔더와 유사한 접합강도를 나타냈으며, 이는  $Ag_3Sn$ 의 성장에 따라 결합으로 작용함으로써 강도저하가 발생된 반면, Sn-40 Pb 솔더는 변화가 크지 않은 것으로 나타났다.

3. 열충격시험을 이용하여 칩 부품과 SMD형 QFP 부품의 무연솔더 접합 신뢰성을 평가할 경우,  $-40^{\circ}C/10\text{ min} \sim +125^{\circ}C/10\text{ min}$ 의 시험조건이 적절한 조건으로 판단된다. 또한 열충격시험을 이용한 Sn-3.0 Ag-0.5 Cu 무연솔더 접합계면의 접합 신뢰성평가를 수행하는 경우, 칩 저항기

와 같은 수동부품은 최소 1,200 싸이클 이상, SMD형 QFP와 같은 능동부품의 경우에는 최소 800 싸이클 이상 시험을 진행해야 함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. J. W. Kim, D. G. Kim, W. S. Hong and S. B. Jung, *J. Elec. Mater.*, **34**(12), 1550 (2005).
2. J. W. Yoon, and S. B. Jung, *J. Alloys and Compounds*, **396**, 122 (2005).
3. D. G. Kim., J. W. Kim, J. G. Lee, H. Morib, D. J. Quesnel, and S. B. Jung, *J. Alloys and Compounds*, **395**, 80 (2005).
4. J. W. Yoon, S. W. Kim, and S. B. Jung, *J. Alloys and Compounds*, **392**, 247 (2005).
5. J. W. Yoon, S. W. Kim, and S. B. Jung, *J. Alloys and Compounds*, **391**, 82 (2005).
6. J. W. Yoon, D. G. Kim, and S. B. Jung, *Microelectron. Reliab.*, **46**, 535 (2006).
7. C. Gur and M. Bamberger, *Acta Mater.*, **46**(14), 4917 (1998).
8. C. J. Chen and K. L. Lin, *J. Elec. Mater.*, **29**, 1007 (2000).
9. W. S. Hong, and K. B. Kim, *Kor. J. Mater. Res.*, **15**(8), 536 (2005).
10. K. Saganuma, *Lead free soldering in electronics*, p.57, Marcel Dekker Inc., New York (2004).
11. JEITA, *Lead Free Soldering Tech.*, Corona Pub. Co. Ltd., Tokyo (2003).
12. K. N. Tu, C. C. Yeh, C. Y. Liu, and C. Chen, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 988 (2000).
13. R. Strauss, *SMT Soldering Handbook*, 2nd ed., p.148, Newnes, Oxford (1998).