

# 솔더볼 피로강도에 대한 조성의 영향

## Effects of Solder Composition on Ball Fatigue Strength

김보성, 고근우, 김영철, 김근식, 이구홍  
ChipPAC Inc.

**초 록** : 솔더볼의 피로강도에 대한 솔더 조성의 영향을 조사하기 위하여 패키지 신뢰성 시험을 실시하였다. 공정조성 솔더,  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ,  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$  솔더를 사용해 제조된 시편을 MRT Lv 2a 조건에서 전처리 후 TC 시험을 수행하였다. 제조 직후, 전처리 후, TC 후 각각에 대하여 전단강도를 측정하였으며, 미세 조직 사진을 얻었다. 또한, SEM과 EDX를 이용하여 파괴 기구에 대한 분석을 실시하였으며, 신뢰성 시험 후 전단강도의 저하에 대하여 논의하였다.

**Abstract** : Package reliability test was conducted to investigate the effect of solder composition on ball fatigue strength. The specimens are first assembled using eutectic composition  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$ ,  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ,  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$  solder and pre-conditioned at MRT Lv 2a and then conducted under Temperature Cycle test(TC). For each case, the ball shear strength is obtained and micro structure photos are taken. SEM and EDX are used to analyze failure mechanism. The degradation of shear strength of solder balls after reliability test is discussed.

### 1. 서론

표면실장된 패키지는 사용 중 반복된 열충격을 받게 되고, 솔더의 금속 조직은 큰 변형을 받게 된다. 표면실장 후의 솔더 조직 변형에 대한 시뮬레이션을 위해, 패키지 신뢰성 시험을 실시하면, 시험 중 가해진 열 에너지에 의해 원자의 확산 운동이 촉진되고, 상호 고용도가 감소하므로 이종 원소를 조직 밖으로 배출하고 동종원소를 받아들리게 되어 솔더 조직의 조대화가 발생된다. 따라서, 솔더 벌크의 강도는 조직의 조대화에 비례하여 감소하게 된다. 또한, 반복된 열충격 하에서 조대화된 조직은 균열의 발생, 전파 장소가 되기도 한다.

특히 가장 문제가 되는 부분은 Sn 확산에 의해 생성되는 Sn 금속간 화합물의 성장이다. 볼 패드부에는 Ni 도금층의 산화 방지와 솔더링 과정 중 젖음성의 향상을 목적으로 Au가 최종적으로 도금이 된다. 이때, Sn-Au 금속간 화합물의 성장은 저융점이며, 취성적인 특성으로 인해 솔더부 파단의 중요한 원인으로 지적되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 솔더의 리플로우 과정에서는 Au는 용융 Sn과 결합하여 Sn-Au 금속간 화합물을 형성하며 솔더 내부로 용해되어, Sn 기지에 석출하거나, Pb-rich 영역에 잔류하게 된다. 따라서, 노출된 Ni와 Sn간의 금속간 화합물층이 형성되며, 원자 이동에 충분한 열에너지가 있을 경우 Sn-Au 금속간 화합물이 확산하여 두꺼운 층으로 성장하게 된다. 새로운 금속간 화합물 층의 형성은 계면에너지를 증가시켜 Sn-Au/Sn-Ni 계면간에는 큰 응력이 잔존하게 되고, 반복된 열충격이 가해질 때, 두 계면간 열팽창계수 차에 의해 균열의 발생 전파가 촉진됨으로써 솔더부를 파단시키게 된다. 부수적인 효과로 Sn-Au 층의 성장은 주변의 Sn를 소모시키면서 진행되는데, 이로 인하여 Sn-Au층 위에는 고농도의 Pb 층이 형성되며, Pb 층은 솔더 내의 모든 합금중 가장 연질이므로, Pb 층의 형성 또한 솔더 접합부 강도를 크게 저하시키게 된다.

본 실험에서는 Polyimide(PI)를 substrate로 사용한 칩스케일 패키지(Chip Scale Package, CSP)에 있어서 내피로강도의 향상을 목적으로, Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub> 공정합금을 기본으로 Sn<sub>62</sub>Pb<sub>36</sub>Ag<sub>2</sub>, Sn<sub>63</sub>Pb<sub>34.5</sub>Ag<sub>2</sub>Sb<sub>0.5</sub> 상용합금을 사용했을 때의 전단강도를 서로 비교함으로써, 솔더볼의 피로전단강도에 대한 솔더 조성의 영향에 대해서 알아보고자 한다.

## 2. 실험방법

Polyimide tape을 사용하여 EconoCSP-T™ 시편을 제조하였으며, 볼 패드의 니켈도금은 4um, 금도금은 0.65~0.70um이었다. 패키지 신뢰성 시험을 위해 JEDEC MRT Lv. 2a 전처리 후, 3회 리플로우를 거친 시편을 Temperature Cycle test(TC) 500회, 1000회를 실시하였다.

그림 1에 EconoCSP-T™의 구조를 도시하였고, 표 1에 신뢰성 시험조건, 표 2에 본 실험에 사용된 시편에 관한 정보를 나타내었다. 각 시편은 Shear tester dage series 2400을 사용하여, PI 면을 기준으로 30um 높이에서 shear blade를 고정시키고, 200um/sec 속도로 하중을 부가하여 최고 전단 하중을 측정하였으며, 이 값을 전단강도로 사용하였다. EOL(End of Line), MRT 처리 후, TC 500회 처리 후, TC 1000회 처리 후에 각 조건에 대하여 5개의 시편을 무작위로 선택하여 시편당 10개의 전단강도값을 얻었으며, 광학 현미경, 주사전자현미경(SEM)과 EDX(Energy Dispersive X-ray)로 솔더볼의 미세조직과 성분을 조사하였다.

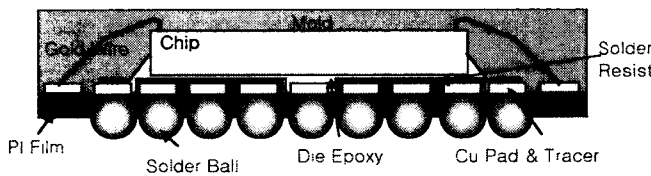


Fig. 1. Structure of EconoCSP-T™

Table 1. Package Reliability Condition, JEDEC standard.

Test	Condition	Remarks
MRT (Moisture Resistance Test)	JEDEC Lv. 2a 60°C 60%RH, 120hrs	Floor life 4 weeks, Failure verification : SAT
T/C (Temperature Cycle)	JEDEC "C" Cold step : ≥10min, -65°C Hot step : ≥10min, +150°C	Read-out : 0, 500, 1000 cycles Failure verification : Open/Short Test at each read-out

Table 2. Specimen status

Leg	Substrate via Dia.	Solder ball composition	Ball Dia.	Reliability test condition
1	0.28mm via	Sn <sub>63</sub> Pb <sub>37</sub>	0.35mm	EOL, MRT Lv.2a, TC "C"
2	0.28mm via	Sn <sub>62</sub> Pb <sub>36</sub> Ag <sub>2</sub>	0.35mm	EOL, MRT Lv.2a, TC "C"
3	0.28mm via	Sn <sub>63</sub> Pb <sub>37</sub>	0.45mm	EOL, MRT Lv.2a, TC "C"
4	0.28mm via	Sn <sub>63</sub> Pb <sub>34.5</sub> Ag <sub>2</sub> Sb <sub>0.5</sub>	0.45mm	EOL, MRT Lv.2a, TC "C"

EconoCSP-T™은 ChipPAC Inc.의 등록 상표임.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2.에서는 Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub> 솔더볼에 대해 Sn<sub>62</sub>Pb<sub>36</sub>Ag<sub>2</sub> 솔더볼, Sn<sub>63</sub>Pb<sub>34.5</sub>Ag<sub>2</sub>Sb<sub>0.5</sub> 솔더볼의 신뢰성 시험 조건에 따른 전단강도와 전단 파단면의 위치 변화를 비교하였다. 두 조성의 합금 모두 Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub> 솔더볼에 비해 높은 전단강도를 유지하고 있으며, 신뢰성 시험 조건이 가혹해질수록 전단강도는 감소하고 있다.

그림 2.에서 알 수 있는 바와 같이 열, 흡습 조건이 가중될수록 솔더볼의 전단 파단면이 솔더 볼크로부터 솔더/금속간 화합물층 계면으로 이동함으로써 전단강도가 급격히 감소함을 알 수 있다.

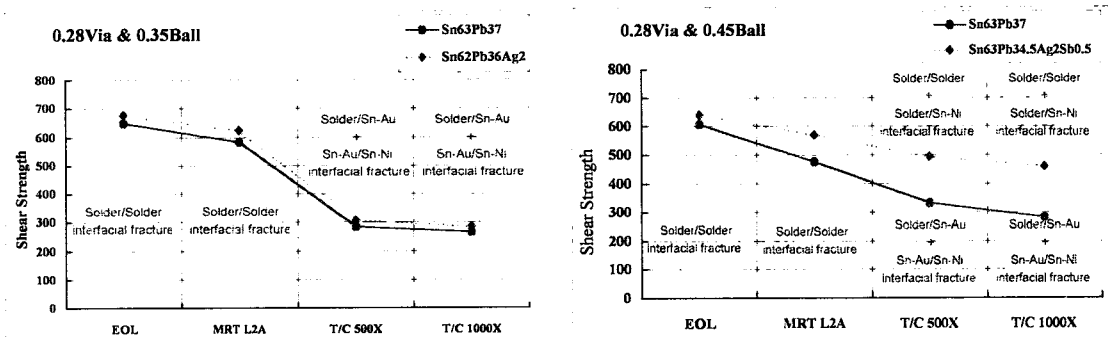


Fig 2. Ball shear strength of Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub>, Sn<sub>62</sub>Pb<sub>36</sub>Ag<sub>2</sub>, and Sn<sub>63</sub>Pb<sub>34.5</sub>Ag<sub>2</sub>Sb<sub>0.5</sub> solder after package reliability test. Shear fracture site is also described according to reliability test condition.

그림 3.에서는 공정 조성 솔더볼의 신뢰성 시험 조건에 따른 전단 파단면의 변화를 보여주고 있다. 동일한 0.28mm 비아 크기에 대해 솔더볼의 크기가 0.35mm에서 0.45mm로 커질 경우, 전단 응력에 저항하는 접합부의 크기가 상대적으로 줄어들므로, 0.45mm 솔더볼을 사용한 패드부 주위는 0.35mm 솔더볼에 비해 응력 집중현상이 심해진다. 따라서, 실제 전단시험에서 패드부 주위의 좁은 영역이 파단면으로 나타나는 경향이 증가하여, 이로 인한 0.35mm 솔더볼보다 전단강도가 감소된 것으로 추측된다.

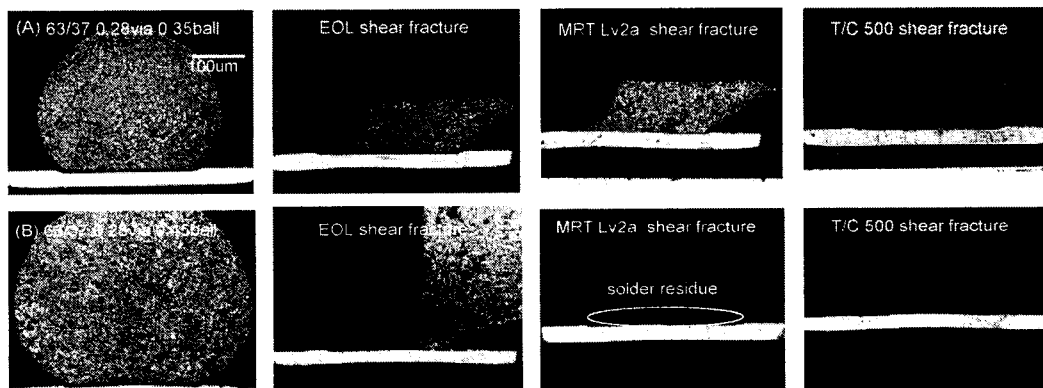


Fig. 3 Ball size effect on Shear fracture according to reliability test condition  
(A) 0.28mm via, 0.35mm Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub> solder, (B) 0.28mm via, 0.45mm Sn<sub>63</sub>Pb<sub>37</sub> solder

그림 4.에서는 신뢰성 시험 조건에 따른 솔더 벌크의 조직변화, 볼 패드부의 금속간 화합물 층의 성장, 전단시험 후 파단면의 SEM 사진을 솔더 조성별로 정리하여 나타내었다.

SEM을 이용한 파단면 관찰과 동시에 EDX를 통한 조직 성분 분석이 이루어 졌으며, Sn, Pb, Sn-Ni 금속간 화합물, Sn-Au 금속간 화합물이 생성되었음을 확인할 수 있었다. 이 결과를 SEM 사진 상에서 표기하였다. Sn-Ni, Sn-Au 금속간 화합물의 경우, EDX로 정확한 성분 비율에 대한 분석은 할 수 없었지만, 이미 다른 자료들에서 이들 금속간 화합물의 조성이  $Ni_3Sn_4$ ,  $AuSn_4$  임이 잘 알려져 있다.<sup>[3]</sup>

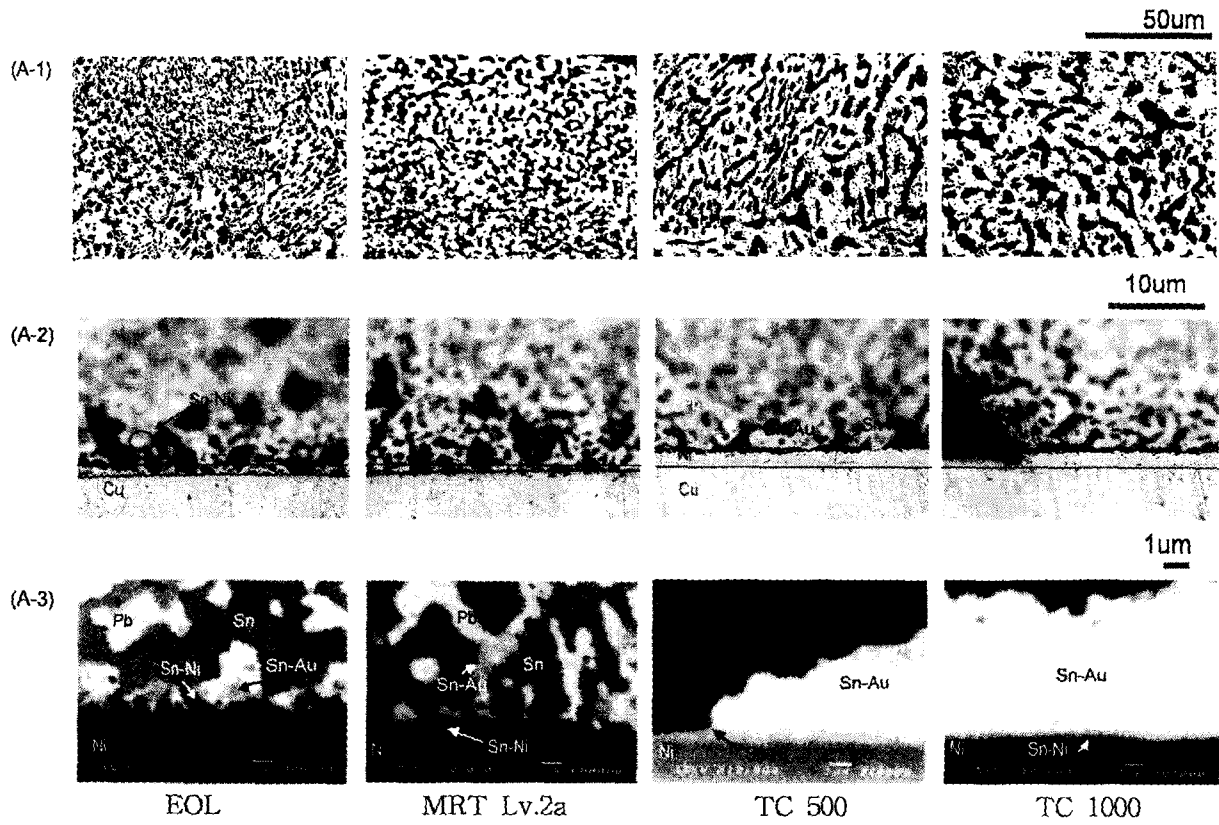
먼저  $Sn_{63}Pb_{37}$  공정 조성 솔더에 대해 살펴보면 (A-1)에서 알 수 있는 바와 같이 신뢰도 시험 조건에 따라 솔더 벌크 내에서 Sn과 Pb의 조대화가 관찰되며, (A-2)와 (A-3)을 통해 TC 500회 이후에는 두꺼운 금속간 화합물 층이 형성됨을 알 수 있다. 또한, 금속간 화합물 층 위에는 연질의 Pb 층이 형성되어 있음이 관찰된다. 따라서, 그림 3.에서 살펴 본 바와 같이 전단 파단면은 MRT까지는 솔더 벌크 내에서 나타나지만, TC 500회 이후에서는 가장 취약한 Sn-Au/Sn-Ni 계면에서 균열이 발생, 계면을 따라 전파되고, 이 균열은 Sn-Au 층을 통과하여 최종적으로 솔더를 패드와 분리시키게 된다. 이와 같이 MRT 후의 전단강도의 감소는 솔더 조직의 조대화에 따른 솔더 벌크의 기계적 강도 감소로 설명되며, TC 후는 취성적 성질을 가지는 Sn-Au 금속간 화합물이 두껍게 성장함으로써 강도가 감소함을 알 수 있다.

$Sn_{62}Pb_{36}Ag_2$  조성의 경우는 공정 조성 솔더와 거의 유사한 파단 기구를 가지지만, 공정 솔더에 비해 솔더 벌크의 물성 자체가 높은 기계적 강도를 가지며, 또한 Sn-Au 금속간 화합물 층의 성장 역시 더 작기 때문에 전단 강도가 30~40gf 더 높은 값을 보였다.

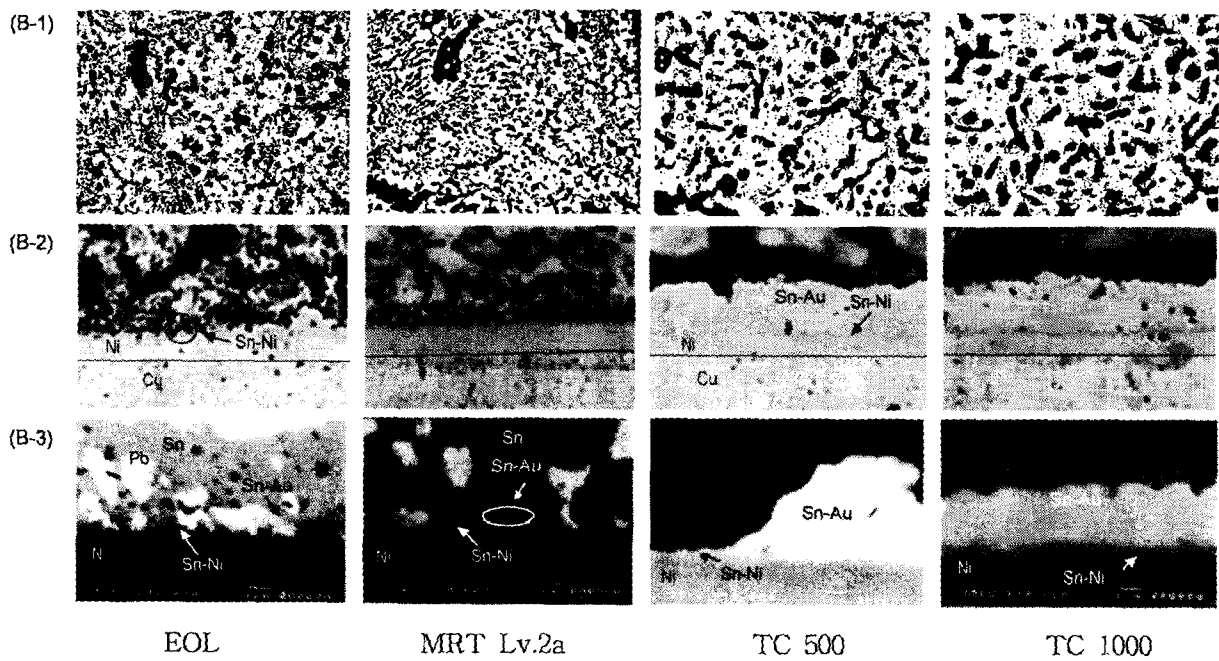
$Sn_{63}Pb_{34.5}Ag_2Sb_{0.5}$  조성의 경우 앞서 두 조성의 솔더와 조직상의 커다란 차이를 보이고 있다. (C-1)에 보여지는 바와 같이 MRT, TC 이후에도 솔더 벌크의 조대화가 억제되면서, (C-2)에서는 Sn-Au 층의 형성과 성장이 관찰되지 않는 대신, 약 1 $\mu$ m 정도의 얇은 Sn-Ni 금속간 화합물 층이 형성되면서, Sn-Ni 층 위에 연질의 Pb 층이 부분적으로 형성됨을 알 수 있다. (C-3)의 전단 파단면 SEM 사진에서 보여지는 바와 같이, MRT까지는 솔더 벌크 내부에서 파단이 일어나고 있으며, TC 500회 이후부터는 Sn-Ni/솔더 계면, 특히 연질의 Pb 층에서 균열이 생성, 계면을 따라 전파한 후 솔더 벌크를 통과해 파단이 이루어짐을 알 수 있다. 이와 같이  $Sn_{63}Pb_{34.5}Ag_2Sb_{0.5}$  조성 솔더의 경우 피로 전단강도의 향상 원인은 솔더 조직 조대화의 억제와 Sn-Au 층의 형성과 성장이 억제됨으로 인한 것임을 알 수 있다.

$Sn_{62}Pb_{36}Ag_2$  조성 솔더와  $Sn_{63}Pb_{34.5}Ag_2Sb_{0.5}$  조성 솔더를 비교했을 때 동일 Ag 첨가에 대해 조직상 커다란 차이를 보이고 있다. 이것은 Sb의 첨가 효과라고 생각되며, Sb가 Sn-Au 금속간 화합물 확산의 효과적인 저항체로 작용하거나, 솔더내에 Sn-Au 금속간 화합물의 고용도를 증가시키는 역할을 했을 것으로 생각된다.

(A)  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$



(B)  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$



(C)  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$

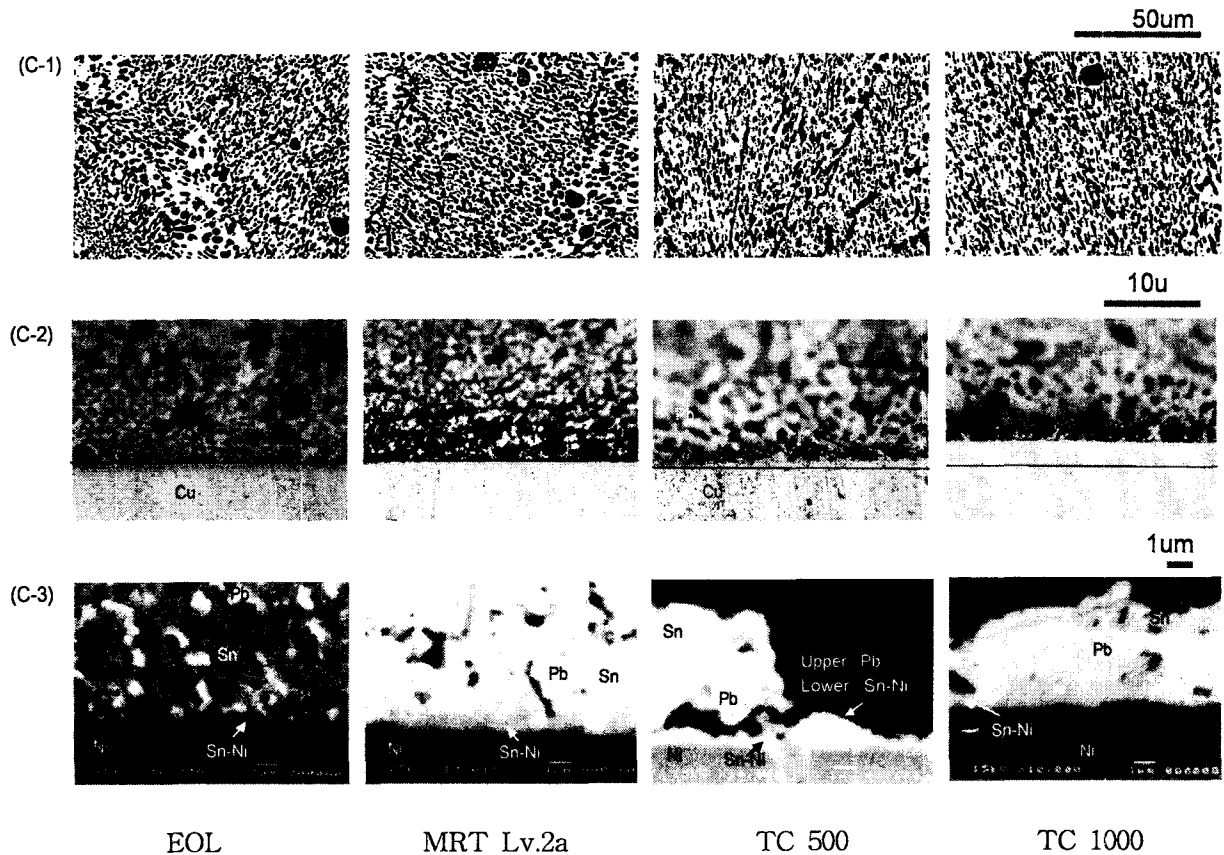


Fig 4. Micro-structural changes of  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$  eutectic solder,  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ,  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$  solder during package reliability test. First row optical photo shows grain coarsening inside of solder, Second row shows growth of intermetallic compound, Third row SEM photo shows fractured surface after ball shear test.

#### 4. 결론

$\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$ ,  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ,  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$ 에 대하여 내피로 강도의 변화를 알아보기 위하여 패키지 신뢰성 시험 후 전단강도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$  솔더에 있어서, 동일한 비아 크기에 대하여 솔더볼의 크기가 커질수록, 전단 파단면이 패드부의 좁은 영역에서 나타나는 경향이 커짐으로써, 전단강도가 저하됨을 알 수 있었다.
2.  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$  솔더는 신뢰성 시험 조건이 가혹해 질수록 솔더 벌크 내의 조직의 조대화가 촉진되며, 취약한 Sn-Au 금속간 화합물 층이 두껍게 성장함으로써 전단강도가 저하됨을 알 수 있었다. 이때, 전단 파단 균열은 TC 500회 이후부터 Sn-Au/Sn-Ni 계면층에서 발생되어 Sn-Au 층을 통과하여 최종 파단이 이루어짐을 알 수 있었다.
3.  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$  솔더의 경우,  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$  솔더와 거의 유사한 파단 기구를 가지지만, 신뢰성 시험 과정 중 Sn-Au 층의 성장은 더 작음을 알 수 있었다. 따라서 전단 강도는  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$ 에 비해 30~40gf 높은 값을 보였다.

4.  $\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{34.5}\text{Ag}_2\text{Sb}_{0.5}$  솔더의 경우 신뢰성 시험 동안 조직의 조대화와 Sn-Au 금속간 화합물층의 생성과 성장이 관찰되지 않았고, 미세한 조직을 유지함으로써 전단강도 저하가 크지 않았다. 이는, Sb의 첨가가 솔더 내부의 원자 확산에 효과적인 저항체 역할을 한 것으로 생각되며, 여기에 대해서는 Sb 원소와 각 성분 원소간의 결합력에 대한 추가적인 조사가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] Mei, Z. et al, "Brittle Interfacial Fracture of PBGA Packages Soldered on Electroless Ni/Immersion Au", Hewlett-Packard Company
- [2] Ferguson, M. E. et al, "Manufacturing Concerns When Soldering with Au Plated Component Leads or Circuit Board Pads", IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C, Vol. 20, No. 3, July 1997, pp. 186-193
- [3] A. Zribi et al, "Solder Metalization Interdiffusion in Microelectronic Interconnects", IEEE, 1999 Electronic Components and Technology Conference, pp. 451-457