특 집 : 전자부품의 신뢰성

솔더접합부의 신뢰성 평가(II)

- 기계적 특성 및 신뢰성 평가 -

박 재 현 · 김 영 섭 · 강 정 윤

Reliability Tests of Solder Joints

Jaihyun Park, Youngsub Kim and Chungyun Kang

1. 서 론

솔더접합부의 신뢰성을 평가하기 위해서는 접합부에 대한 기본적인 기계적 특성 평가 및 온도, 수분, 진동, 응력 및 전압 등 각종 환경하에서의 접합부에 대한 장단기 신뢰성시험이 요구된다. 이러한 신뢰성평가는 전기전자부품의 환경시험을 토대로 하여 주로 수행되어 왔으며 기존의 유연솔더의 경우 그다지 큰 문제점은 발생하지 않았고 따라서 업계에서도 큰 관심도 없었다. 그러나 환경문제에 따라 최근 무연(lead free) 솔더 접합부에 대한 적용이 증가 하면서 종래에는 발생하지 않았던 것들이 문제점으로 발생하기 시작하였으며 이에대한 분석 및 접합부 신뢰성을 보증하기위한 새로운 연구들이 진행되어 왔다.

본 내용에서는 정부에서 부품소재 신뢰성평가사업의 일환으로 추진된 "무연솔더볼(규격번호:RS D 0015, 2003년 제정)"의 신뢰성 규격을 작성함에 있어 필요한 무연솔더볼 접합부의 기계적 특성평가 기준 및 신뢰성평가방법을 일부 언급하고 이외에도 전반적으로 전자부품등의 솔더접합부에서 평가가 필요한 각종 방법등에 대해 언급하였다.

2. 시료의 표준화

접합부의 신뢰성을 평가하기 위해서는 접합부 시료의 규격화가 필요하다. 하지만 사용되는 PCB 및 솔더나 플럭스의 재질이 워낙 다양 할 뿐 아니라 솔더볼의 경우 사이즈도 다양하므로 모든것에 대한 표준화를 하기는 어렵다. 따라서 기계적 특성이나 장기신뢰성 시험이 필요한 신뢰성 시험의 경우 시료의 표준에 대해 구체적으로 언급한 것들은 별로 없다. 하지만 솔더볼의 특성 및 신뢰성을 비교하기위한 시료의 표준화는 필요할 것으로 판단되며, Table 1은 2003년초 한국의 신뢰성 규격으로 제정된 "무연솔더볼의 신뢰성 규격(RS D0015)"[1] 에 언급된 기계적 특성평가나 신뢰성 평가등을 위한 시료의 표준에 대한 예를 나타내었다.

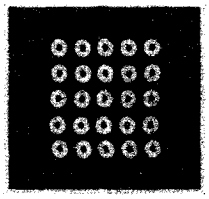
접합부 제조조건은 합금의 조성에 따라 달라지나 Table 2의 Sn-3.0Ag-0.5Cu성분의 경우 리플로우 프로파일(reflow profile)은 예열구간의 경우 150-180°C에서 110초, 솔더링가열구간은 217°C에서 40초, 피크온도는 245°C에서 4초를 권장한다.

3. 강도시험

3.1. 전단시험(shear test)

전단강도는 Fig. 1과 같이 전단팁을 이용 일정 속도

Table 1 Standard sample for BGA solder joint

구분		A형
package		특별히 정하지 않음
시험기판	재질	PCB(Print Circuit Board) FR-4
	두께	0.8mm
	최소크기	20X20mm
패드	표면처리	무전해Ni/Au도금
	두께	Ni : 2.54-7um Au : 0.7um이하
	크기	볼지름의 85%
	형상	 (5X5매트리스배열, 피치:1.5mm)
플럭스		RMA(Rosin Mildly Activated) 형

로 솔더볼을 밀어 강도를 측정하는 방법이다. 시험방법은 JEDEC 규격[2]에 있으며, 이 규격에 의하면 전단팁의 높이는 볼높이의 1/4이하가 되지 않도록 하고 어떠한 경우라도 50μm이하로는 내려가지 말것을 제한하고

Table 2 Chemical compositions and melting points of lead free solders

번호	화학성분	용융온도°C		비고
		고상선	액상선	
1	Sn-5.0Sb	240	243	
2	Sn-0.7Cu-0.3Sb	227	229	
3	Sn-0.75Cu	227		
4	Sn-3.5Ag	221		
5	Sn-3.5Ag-0.75Cu	217	219	
6	Sn-1.0Ag-0.5Cu	217	227	
7	Sn-0.7Cu-0.3Ag	217	227	
8	Sn-2.5Ag-1.0Bi-0.5Cu	214	221	
9	Sn-2.0Ag-0.5Cu-2.0Bi	211	221	
10	Sn-2.0Ag-0.5Cu-3.0Bi	207	218	
11	Sn-3.0Ag-0.7Cu-1.0In	214	217	
12	Sn-3.0Ag-0.7Cu-1.0Bi-2.5In	204	215	
13	Sn-3.0Ag-0.7Cu	217	219	
14	Sn-3.35Ag-0.7Cu-0.3Sb	218	220	
15	Sn-3.0Ag-0.5Cu	217	220	
16	Sn-2.0Ag-0.5Cu	217	223	
17	Sn-1.0Ag-4.0Cu	217	353	
18	Sn-2.0Ag-6.0Cu	217	380	
19	Sn-8.0Zn-3.0Bi	190	197	
20	Sn-58Bi	139		
21	Sn-2.0Ag-0.5Cu-7.5Bi	189	213	
22	Sn-57Bi-1.0Ag	138	204	
23	Sn-9Zn	199		
24	Sn-37b	183		유연

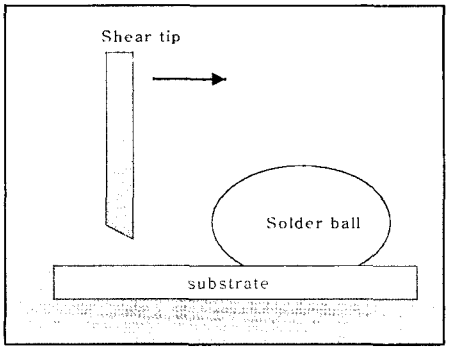


Fig. 1 Example of Shear test on the Solder Ball

있다. 하지만 최근에는 고밀도 집적회로 추세로 볼의 크기가 작아져 100μm이하의 것들도 존재하므로 50μm규정은 다소 수정되어야 할것으로 보인다. 전단속도는 시험조건[3]에 따라 30% 이상 차이가 나므로(속도가 빠르면 강도가 상승) 시험시 전단속도를 명시해야 한다. Fig. 2는 전단이나 당김시험을 할 수 있는 시험기의 외관을 나타낸 것이며 Fig. 3은 이시험기를 이용 무연솔더의 특성을 측정한 결과이다. Sn-Pb 공정솔더의 경우 동일한 조건에서 1200-1500gf 정도의 값이 측정되므로 무연의 강도값이 다소 높음을 알수 있다[4].

3.2 당김시험(pull test)

볼의 접합강도를 평가하기 위해 지금까지는 대부분 전단시험만을 주로 하였다. 그러나 전단시험 방식에서는 "납땜과 기판 Land와의 접합계면의 본연의 접합강도를 측정하지 못한다" 라는 의견도 많이 있었다. 이 전단시험시 특히 케비티구조의 Land에 있어서 납땜과 Land의 접합계면은 기판표면의 한단계 아래부분에 위

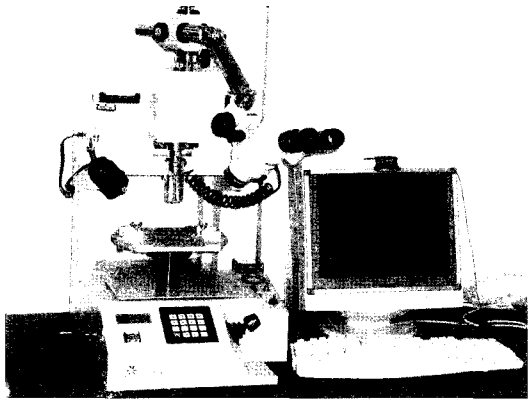


Fig. 2 Appearance of bonding tester

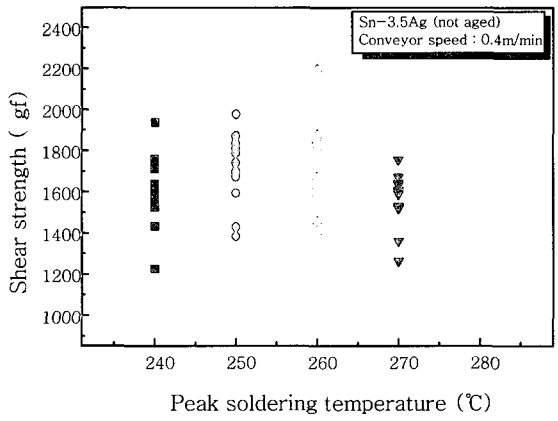


Fig. 3 Shear strength of Sn-3.5Ag solder ball (dia.: 0.76mm)

치하고 있고 전단팁이 기판표면을 수평이동하고 Shear (깎는 역할)만 하기 때문에 납땜과 Land와의 접합계면의 정확한 강도와 파괴 모드(mode)는 진단하기가 거의 불가능한 경우가 많다. 또 납땜 자체의 파괴강도가 케비티의 측벽에서 밀리어 접합강도가 낮은데도 강한 강도를 표시하는 경우가 있다. 또한 솔더범퍼와 기판사이에 설정된 Barrier Metal층 중에서 어느 계면이 가장 약한가를 진단하지 못하며 전단팁에 가해진 파괴강도가 피크에 도달한 때, 납땜이 상당히 변형되어 접합면적이 달라지게 된다는 단점도 있었다[5]. 이러한 단점 때문에 동일시험재에 대한 강도평가를 동시에할 경우 전단강도에서는 우수한 값이 나오지만 당김강도는 낮게 나오거나, 파단모드도 전단시험의 경우 여러종의 시험편을 시험시 시험편에 따른 파단모드의 차이가 없으나 당김시험의 경우에는 파단모드의 차이가 나는 것으로 보고되고 있다[6].

시험방법은 Fig. 2의 장비에서 지그만을 교환하여 솔더볼의 접합부에 대한 당김강도를 평가할 수 있으며 Fig. 4에 시험원리를 나타내었다. 시험방법 등은 아직까지 정해져 있는 규격이 없는 상태이나 당김속도는 100-200μm/sec 로 통상적으로 시험한다. 강도는 볼의 크기나 작업조건에 따라 다소 차이는 있으나 0.76mm Sn-Ag 무연솔더볼의 경우 1500gf 내외의 강도를 나타내며 유연솔더보다는 약간 우수한 것으로 보고되고 있다[7].

4. 신뢰성시험

솔더 접합부의 신뢰성 시험에서는 앞절과 같은 단순강도 평가보다는 시간의 함수로서 다소 장기간의 시험 및 특정환경 조건하에서 수행되는 시험이다. 시험방법에 있어서는 전자부품의 환경시험 등 신뢰성평가시험과 큰 차이가 없으며 다만 솔더볼 접합부등 솔더링부에서의 평가 및 수명에 초점이 맞춰진다.

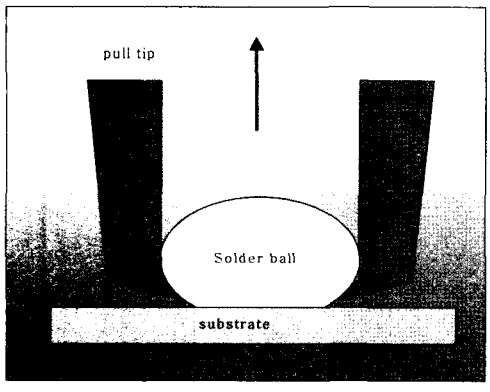


Fig. 4 Example of pull test on the solder ball

4.1. 열피로(사이클) 시험

열피로 파괴는 구성재료의 열팽창계수 차이로 인해 열변형을 재료의 항복 응력을 초과하였을 때 발생하는 것으로 전기, 전자재료의 부품은 대부분 이중재료로 구성되기 때문에 접합부에 Table 3과 같은 열팽창계수의 차이에 의한 응력이 발생, 응력이 집중하여 파괴하게 된다. 즉, 환경의 온도변화나 전자회로의 발열, 냉각의 반복으로 인해, 솔더접합부에 응력이 집중하여 Fig. 5와 같은 현상이 발생하게 된다.

이러한 열피로 시험을 위한 규격은 IEC 60068-2-14,[8] JIS C 0025,[9] SS-00254-7,[10] 등 매우 다양하고 최저/최고 온도범위 및 유지시간도 다양하며 최저온도의 경우 -40~0°C, 최고온도는 100~150°C범위에서 주로 행해지나 온도범위는 제품이 실제 사용되는 조건을 고려하여 설계한다. 사용되는 장비는 챔버형태의 장비를 사용하며 Fig. 6은 전형적인 열피로 시험

Table 3 Thermal expension Coefficients of typical materials in a flip chip package

Materials	Si	GaAs	Solder	Encapsula-tion	Al_2O_3	FR-4
CTE (pmm/℃)	2.8	6~7	23~29	18~60	6~7	15~22

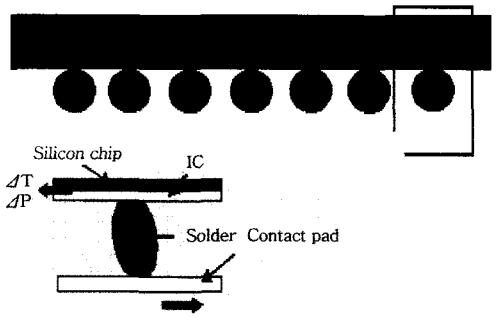


Fig. 5 Shear straining due to thermal mismatch

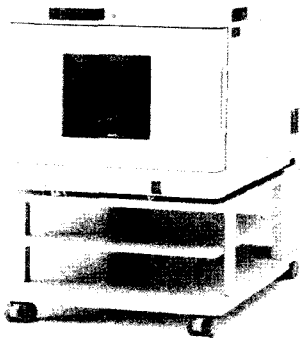


Fig. 6 Appearance of thermal cycle tester

장치를 나타내고 있다. 이러한 시험장치는 제품에 따라 다소 차이는 있으나 -40°C~150°C까지 상승하는데 50-'70분 정도 소요된다.

4.1.1 파단메카니즘

솔더볼 접합부의 경우 파단은 대부분 열피로에 의한 것으로 보고되고 있으며(Table 4)[11] 대부분의 경우에 있어 솔더볼과 패키지쪽 경계나 솔더볼과 PCB 쪽의 경계부에서 파단이 일어난다[12]. Fig. 7[13]은 이러한 사실을 보여주는 예이다. 이러한 원인 규명을 위해 FEM 등을 이용 응력해석을 하였으며 그 결과 대부분의 연구 결과에서 Fig. 8[14,15]과 같이 솔더볼의 상하 모서리 부위에서 균열의 발생가능성이 가장 높음을 알 수 있다[14-16].

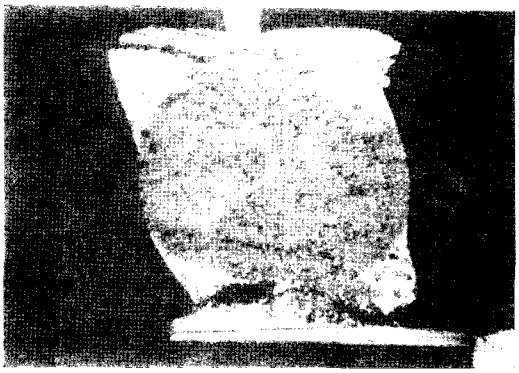


Fig. 7 Thermal cycling failure mode of IBM's CBGA[12]

4.1.2 수명예측 및 무고장 시험시간

파단까지 이르는 시간 즉, 파괴수명(N_f)은 접합부의 형상에 의존하며, 소성변형율(plastic strain), 반복주파수, 온도의 폭 등에 의해 결정된다. 열피로파괴시험은 식 (1)의 Coffin-Manson의 수정식을 이용하여 추정할 수 있다.

$$N_f = CF^n(\Delta\varepsilon_p)^m \exp\left(\frac{Q}{kT_{max}}\right) \quad (1)$$

여기서, C는 재료상수, m과 n은 지수, F는 반복주파수, $\Delta\varepsilon_p$는 소성변형율 진폭, Q는 활성화 에너지, k는 볼츠만 상수, T_{max}는 사용 최고온도이다.

열피로시험결과를 확률분포로 나타내면 대부분 와이블 분포로 나타낼 수 있다. 와이블 분포에서 형태모수

Table 4 Failure Sites, Operational Stresses and Failure Mechanisms[12]

Failure sites	Stresses						
	Conta-minant	Range of relative humidity	Range of temperature cycle	Relative humidity	Temperature	Vibration /shock	Voltage /current
Die		J	M, G	J	O	A, M, G	
Die attach			F, G, H, M			M, G, C	
Interconnects Flip chip Tape of TAB Bond of TAB Wire Wire bond	 J J, K J J, F	 J J J J	 M, G C, E M, G G, M G, M, F	 J J, K J J, F	 B, C, J, N A, B, J, K, N	 M, G E M, G G, M, E G, M, E, F	 N N, K
Substrate			M, G			A, B, G, M	
Substrate attach			F, G, M			C, G, M	
Leads	J, K	J	M	J, K	J	M	M, K
Lead seal	F		F, A		F, M, G	F, A	
Board		J	A, B, G, M		O	G, M	
Outer solder joint			B, F, G, H, M			F, G, M	

A-Brittle fracture; B-Ductile fracture; C-Yield; D-Buckling; E-Large elastic deformation; F-Interfacial de-adhesion; G-fatigue crack initiation; H-Creep; I -Wear; J-Corrosion; K-Dendritic growth; L-Interdiffusion; M-Fatigue crack propagation; N-Diffusion; O-Excessive temperature.

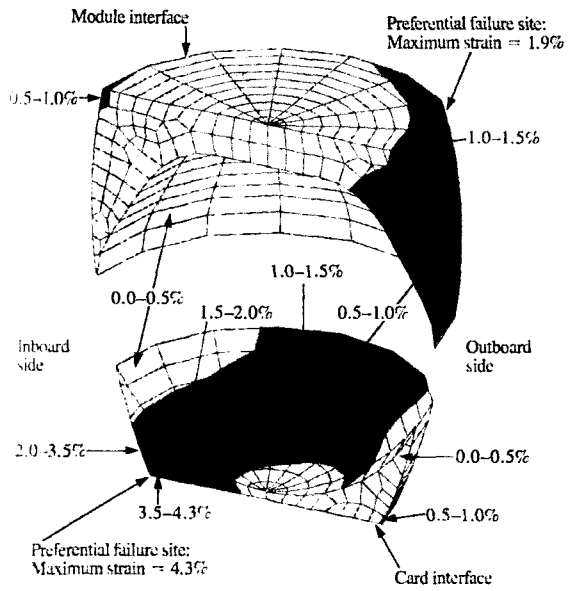


Fig. 8 Equivalent plastic strain distribution in the eutetic solder of IBM's CBGA13)14)

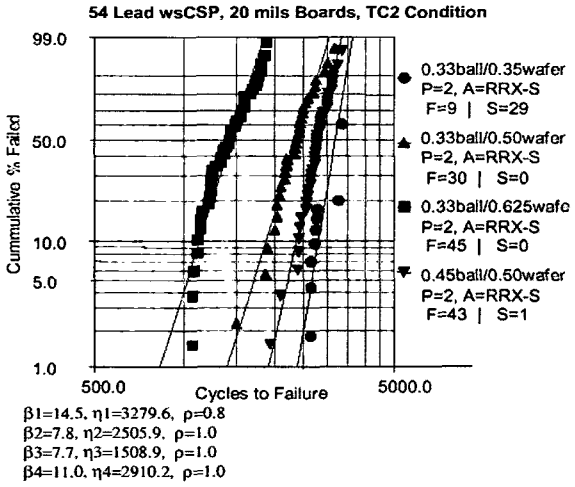


Fig. 9 Thermal cycle distribution of solder joint

m(혹은 β로 표시)를 알면 평균수명을 알 수있는데 문헌에 의하면 열피로시험 결과로부터 얻어지는 형태모수의 값은 Fig. 9와 같이 7 이상이다[12,17].

평균수명(MTTF, Mean time to failure)은 다음과 같이 나타내 진다[18].

$$MTTF = \frac{t_p \Gamma(1+\frac{1}{m})}{[-\ln(1-p)]^{\frac{1}{m}}} \quad (2)$$

Γ : 감마함수

t_p : 백분위수(B_{10}수명)

p : t_p에서의 불신도

m : 형태모수

솔더접합부의 경우 전자부품에 사용되는 경우 문헌에 의하면 수명이 최소 7년 이상으로 보고되고 있다[19]. 따라서 솔더접합부의 경우 B10수명은 7년(2555일)은 최소한 보장해야 하고, 형태모수는 7이상인 것으로 알려져 있으므로 7로 잡으면 되고 이를 위의 식에 대입하면

$$MTTF = \frac{2555\Gamma(1+\frac{1}{7})}{[-\ln(1-0.1)]^{\frac{1}{7}}} = 3296\text{일 이다.}$$

다음으로 시험하는 솔더접합부가 위의 MTTF와 형태모수를 따르는지 검증하기 위해서는 몇 개의 샘플들로 열피로 실험을 하여 몇 시간동안 고장이 나지 않아야 하는지를 계산하여야 한다. 평균수명과 형태모수를 알 때 신뢰수준과 샘플의 수를 결정하면 다음의 식으로 무고장시험시간 Tn을 계산할 수 있다[18].

$$Tn = \frac{MTTF}{\Gamma(1+\frac{1}{m})}\left[\frac{\chi^2_{\beta}(2(C+1))}{2n}\right]^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

C : 불량품의 개수, n : 샘플수, β :소비자위험율

형태모수는 7이고 신뢰수준을 90%, 샘플의 수를 10개로 할때 아래와 같이 무고장 시험 시간 Tn은 2857일이 나온다.

$$Tn = \frac{3296}{\Gamma(1+\frac{1}{7})}\left[\frac{\chi^2_{0.1}(2)}{20}\right]^{\frac{1}{7}} = 2857$$

4.1.3 가속수명시험

솔더볼에 대해 2857일동안 실험하는 것은 현실적이지 못하므로 가속실험을 실시하게 된다. 기계적 부하나 온도, 습도, 전압 등 사용조건(Stress)를 강화하여 고장시간을 단축시키는 수명시험을 가속수명시험이라고 한다. 따라서 만일 정상사용조건을 n, 정상조건에서의 고장시간을 t_n, 강화된 사용조건을 S, 강화된 사용조건에서의 고장시간을 t_s라고 하면 Stress와 고장시간은 선형관계를 나타낸다. 그리고 가속계수(Acceleration factor) AF는 각 사용조건에서의 고장시간의 관계를 나타내는 상수가 되고 t_n과 t_s 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$tn = AF \times ts \quad (4)$$

열싸이클 실험에서의 가속모델로 Modified Coffin-Manson식을 이용할 수 있다. 솔더볼의 경우 가속율 AF는 아래의 식과 같은 것으로 알려져 있다[19].

$$AF=[\frac{\Delta T_L}{\Delta T_F}]^{1.9}[\frac{F_F}{F_L}]^{\frac{1}{3}}e^{1414(\frac{1}{T\max_F}-\frac{1}{T\max_L})} \quad (5)$$

T : 평상시의 온도와 작동시의 온도차
Tmax : 솔더 연결부의 최고온도
F : 싸이클 Frequency
F, L Subscripts : 각각 Field, Lab조건

위의 식에 각각 아래의 값들을 대입하면

$\Delta T_L = 140℃$(-35℃ ~ 105℃이라 가정시) 이고

$\Delta T_F = 19℃$(실내 일때 $\Delta T_F = 15℃$, 실외 일 때 $\Delta T_F = 35℃$, 일반적인 사용환경은 실내가 주가 되므로 각각에 0.8, 0.2의 Weight를 줌)[20].

$T_{MAX_L} = 378(105℃+273)$

$T_{MAX_F} = 318(45℃+273)$

$F_L = 12$(실험실에서의 열피로 적용횟수)

$F_F = 1$(field에서의 열피로 조건/day,)

가속율 $AF = 39.34$를 얻을 수 있다. 이때 필요한 사이클 수 = 2857일 / AF × 하루당 사이클 수 = 2857 / 39.34 × 12 = 871(Cycle)이 된다. 따라서 871사이클만으로도 실제의 조건을 묘사할 수 있으며 이 횟수의 열피로 시험후 고장이 없으면 B_{10} 수명 7년을 신뢰수준 90%에서 최소한 보장할 수 있게 되는 것이다.

4.2 반복굽힘시험

솔더접합부의 경우 실부품에서 사용중 휘거나 굽힘을 받는 현상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 신뢰성 시험이 필요하다. 굽힘시험은 3점굽힘 혹은 4점굽힘 시험 등을 할 수 있으며 실제 사용조건에서 작용하중 및 굽힘폭이 크지 않으므로 미세한 하중 및 진폭까지도 제어가 되는 시험기를 사용하는 것이 바람직하다. 굽힘시험의 경우에도 접합부의 균열은 솔더볼의 양 모서리에서 주로 발생하며[12] Fig. 10은 최대하중이 400N, 변위가 10-0.1mm 범위인 미세굽힘 피로시험기를 나타내고 있다.

4.3 열충격시험

급격한 온도변화에 의한 접합부의 신뢰성을 평가하기 위한 시험방법이다. 시험기는 두개의 챔버로 구성된 공간안에서 일정시간동안 유지후 고온조와 저온조를 번갈아 가면서 각각의 환경에 노출시켜 균열발생등을 시험

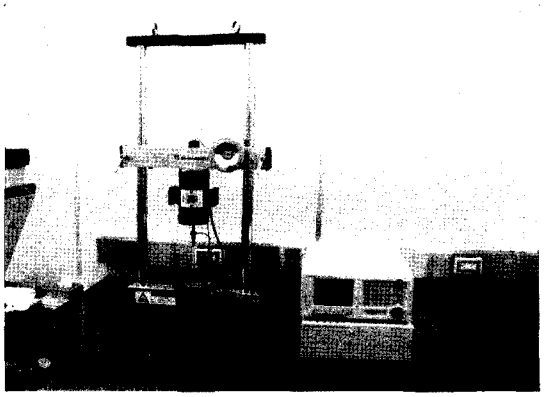


Fig. 10 Appearance of micro bending tester

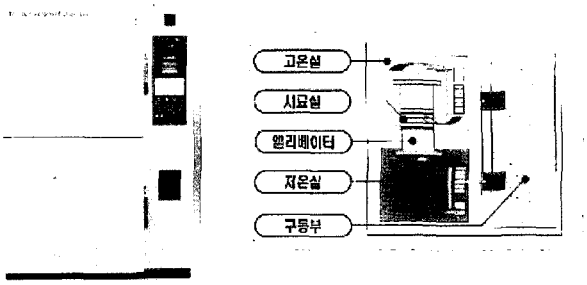


Fig. 11 Appearance and operation principle of thermal shock tester

하는 방법이다.(Fig. 11)

4.4 크립시험

크립은 재료에 일정온도, 일정하중을 가하게 되면 시간과 더불어 변형이 일어나는 성질이다. 솔더는 융점이 낮기 때문에 사용환경의 온도가 높으면, 크립현상이 일어난다. 솔더의 융점은 183℃(Sn/Pb 공정조성) 전후에서 높아도 400℃정도이다. 반면에 사용한도 온도는 50~150℃로 높을 경우가 많다. 크립현상은 사용환경 온도가 솔더융점의 40%이상인 경우에 일어나기 쉽다. 단, 전자부품의 구성재료는, 탑재되는 부품 및 소자가 가볍고, 기하학적으로 구속되는 조건이 많기 때문에 크립에 의한 파괴는 많지 않다.

4.5 고온유지시험

솔더접합부 시료를 장시간 고온에서 유지시킨후 접합부의 열화정도를 평가하는 시험이다. MIL-STD-202F 등의 규격에 시험방법에 대해 언급되어 있으며 솔더접합부의 경우 장시간 고온에서 노출시 계면에 금속간화합물등이 발생하여 전단강도등이 저하하게 된다. 온도 및 유지시간은 제품이나 제조사별로 차이가 많으나 100℃, 500-1000시간유지조건이 많이 적용되고 있다[21].

4.6 이온마이그레이션 시험

이온마이그레이션(ion migration)이란 가동중인 전자기기의(전압이 걸린상태) 부품단자의 양극금속이온이 적당량의 수분 및 온도에서 이온으로 용출하여 이것이 음극에 금속으로 수지형상(dendrite)모양으로 석출하는 현상을 말한다. 이러한 현상이 발생하면 단락의 원인이 되며 발생방지를 위해서는 수분 및 온도제어가 필요하다. Fig. 12는 시험장비 및 솔더에서의 이온마이그레이션 현상을 나타내고 있다[22-24].

Fig. 13은 각종기판에 대해 가해지는 전계강도(전압)와 그에 따른 마이그레이션의 변화를 나타낸 그림으로 전계강도가 커질수록 이온마이그레이션이 용이함을 알 수 있다.

4.7 내열성 시험

반도체칩이 내장되는 패키지의 경우 내부에 솔더볼이나 범퍼가 접합되어 있으며 이러한 패키지와 PCB를 다시 솔더볼 등으로 접합하는 경우 패키지속의 솔더 등이 리플로우 온도에서 재용해되거나 접합부가 박리되는 현상 등이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 평가하기 위해 리플로우 솔더장비 등을 이용 일정온도에서 단시간

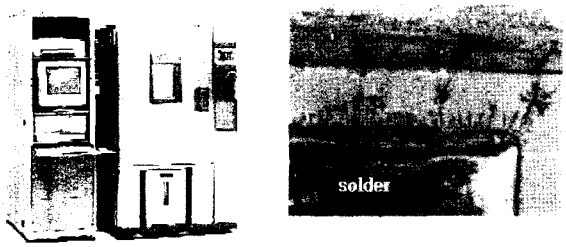


Fig. 12 Ion migration tester and phenomenia

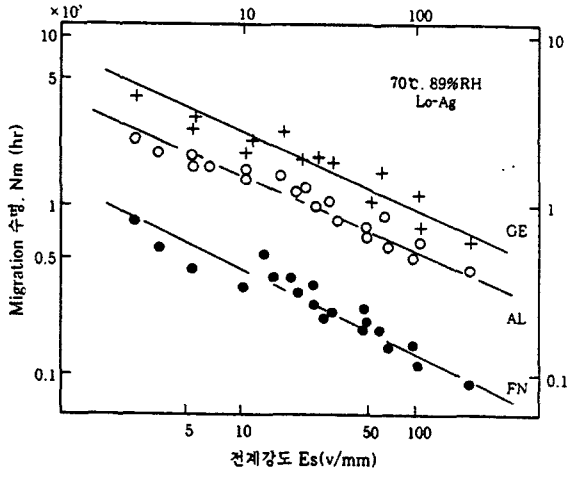


Fig. 13 Relationship between imposed voltage and ion migration

유지시킴으로서 1차접합부(패키지내 접합)의 건전성을 시험하는 것이다. 일본의 부품메이커자료에 의하면 230-260℃에서 10-40초간 유지시키는 것 등이 자체규격으로 되어 있으며 판정기준은 시험 후 박리나 균열 등이 없어야 하는 것이다.

5. 결 론

이상에서 솔더접합부의 신뢰성을 평가하기위한 기본적인 기계적 특성평가 및 신뢰성시험방법등에 대해 알아보았다. 서론에서도 언급했지만 환경문제 등으로 인해 WEEE, RHS등 유해물질에 대한 각종 환경규제법안이 유럽등에서 공표되고 2006년 이후 유럽등으로 수출하는 모든 가전제품 등에는 납을 포함하는 유해물질의 적용을 금지할 예정으로 있다. 국내에서도 삼성, LG등의 대기업을 중심으로 이에대한 대책을 시급히 서두르고 있으며 동반해서 무연솔더 접합부에 대한 기준 및 평가방법등도 나름대로 준비한 것으로 알고 있다. 일본의 경우 JEITA를 중심으로 해서 2003년말경 무연솔더에 대한 표준화된 규격을 공표할 예정[25]으로 있어 우리나라에서도 이에 대응하여 나름대로의 표준화된 규격등의 정립이 필요할 것으로 판단되고 더불어 국제무대에서 솔더접합부가 필수적으로 포함되는 전자 및 통신기기제품에서의 선두주자 자리를 확보하는데 정진해야 할것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 산업자원부 기술표준원, "무연솔더볼"의 신뢰성규격(RS D 0015), 2003.
2. JEDEC Solid State Technology Association , JEDIC Standard, JESD22-B117, "BGA Ball Shear", 2000.
3. Ja-Myeong Koo, Dae-Up Kim and Seung-Boo Jung. "CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF SHEAR TEST WITH TESTING CONDITIONS ON BGA PACKAGE", IWC-KOREA 2002, 慶州, pp.463.
4. 박재현, "무연솔더볼의 신뢰성 평가기법 개발" RIST 과제 결과보고서, 2002.
5. http//www.naracelltech.co.kr/BGAPull.htm
6. "노트북의 BGA.CSP 실장사례와 평가방법", 월간전자기술, 2월호, 2000, 41.
7. 일본전자공업진흥회, Pb free 솔더에 관한 연구조사 보고서.
8. IEC, IEC 60068-2-14 Basic environmental testing procedures, Part2, tests N: "Change of temperature"
9. 일본공업규격, JIS C 0025, "환경시험방법-온도변화시험방법"
10. Sony, 소니기술표준 SS-00254-7, 소니부품설계기준-"무연솔더 표면실장부품의 접합강도 내구성 시험"
11. Hu, J. M., "Knowledge-Based Qualification Testa for Electronic Components in Hiarsh Environments," Quality and Reliability Engineering International, 10:377-390, 1994
12. John H. Lau, Yi-hsin Pao, "Solder joint reliability

of BGA, CSP, Flip Chip, and Fine Pitch SMT Assembles", McGraw-Hill, 1997, pp. 153, 201
13. Caulfield, T., M. Cole, F. Cappo, J. Zitz and J. Beneati, "An Overview of Ceramic Ball and Column Grid Array Packaging." in Ball Grid Array Technology, J. H. Lau, ed., McGraw-Hill, New York, 1995, pp. 131-169.
14. Corbin, J. S., "Finite Element Anaysis of Solder Ball Connect Structural Design Optimization," IBM Journal of Research and Development, 37:585-596, 1993.
15. John H. Lau, Ball Grid Array Technology, Mcgraw-hill, 1995, 253
16. S. Shetty 외 : "Fatigue of CSP interconnect due to cycle bending", Trans. of ASME, Vol. 23, Sep. , 2001, 302
17. Amkor Technology,"Overview of Reliability Models and Data Needs", Ahmer Syed, 2001
18. 이상용, "신뢰성공학", 형설출판사, 1999, pp. 41
19. EIA, SSB-1-C, 2000, pp.7
20. Bill spink, "Solder Joint Reliability Testing Results Summary", MEG-array, 2001
21. 마쯔시다 PWB 신뢰성자료
22. 강춘식,정재필, "마이크로접합", 2002, pp79
23. 대한용접학회, "용접접합편람",1988, pp.935
24. ESPEC 카달로그
25. KMCC, "Lead free soldering 신뢰성보증기술" 일본 연수 자료, 2003.

• 박재현(朴宰顯)
• 1963년생
• 포항산업과학연구원 신뢰성평가2팀
• 솔더링/브레이징 신뢰성평가
• e-mail: pjhyun@rist.re.kr

• 강정윤
• 1953년생
• 부산대학교 금속공학과
• 확산접합, 브레이징, 솔더링, 용접야금
• e-mail: kangcy@pusan.ac.kr

• 김영섭(金榮燮)
• 1953년생
• 포항산업과학연구원 신뢰성평가2팀장
• 용접재료 신뢰성평가
• e-mail: youngsk@rist.re.kr