

친환경 무연솔더를 적용한 수동부품의 솔더 접합부 전단강도 비교

송병석 · 조제립

경희대학교 산업공학과

Shear Strength Comparison of Passive Component Using the Environmental-Friendly Lead-Free Solder

Byeong-Suk Song · Jai-Rip Cho

Dept. of Industrial Engineering, Kyung Hee University

Abstract

Recently European Council(EU) published the RoHS(restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) which is prohibit the use of Pb, Hg, Cd, Cr⁺⁶, PBB or PBDE in the electrical and electronic equipments. So EU member States shall ensure that, from 1 July 2006, new electrical and electronic equipment put on the market does not contain 6 hazardous substances. So many kinds of projects is proceeding to ensure the reliability of Pb-free electronics in the worlds. Especially it is necessary to evaluate of pb-free solder joints in electronics.

Therefore, on this paper, we compared with solder joint strength of chip components, respectively SnPb, Pb-free solder as follows reliability test methods. We also measured the shear strength of solder joint and also compared the effects of environmental test methods. In this results, we analyzed and compared the shear strength variation as follows solder materials and reliability test conditions.

1. 서론

환경보존을 위한 선진국의 환경정책에 따라 EU의 RoHS에서는 2006년 7월 1일부터 EU 역내 모든 국가가 전기전자 제품 제조시 납(Pb), 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 6가 크롬(Cr), PBB¹⁾ 및 PBDE²⁾ 등의 유해물질 사용을 금지하도록 하였다. 이러한 유해물질의 규제는 사실상 우리나라에 무역장벽으로 활용될 것으로 예측된다. 이러한 선진국의 친환경 정책에 따라 전자제품의 제조에 사용되고 있는 솔더(solder) 중 납을 제거한 무연솔더(Pb-free solder)를 적용하는 솔더링 공정과 무연솔더를 적용한 제품의 신뢰성을 확보하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 일본, 미국 등 선진국에서는 이미 무연솔더를 적용한 전자제품의 생산을 위해 친환경 전자제품에 대한 신뢰성 평가에 많은 연구를 수행하고 있다. 특히 전자 부품과 기판의 솔더 접합부에 대한 접합특성의 정량적 평가는 제품의 수명평가에 직접적인 영향을 미치기 때문에 더욱 필요한 연구 분야라 할 수 있다.

2. 연구목적

따라서 본 연구에서는 전자제품에 가장 많

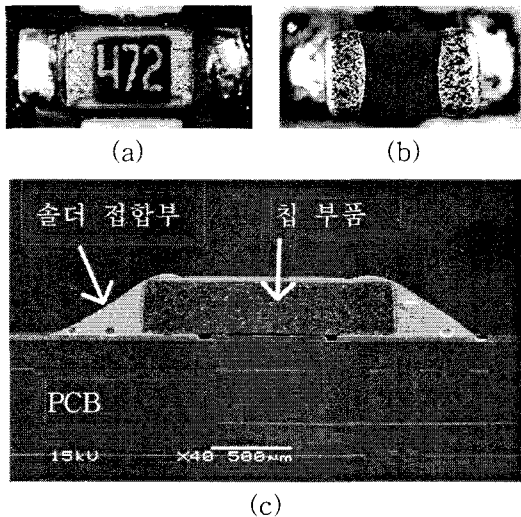
1) Polybrominated Biphenyls

2) Polybrominated Diphenyls Ethers

이 사용되고 있는 수동부품 중 칩(Chip) 부품에 대한 무연솔더 접합부의 접합특성을 비교 연구하였다. 실험방법으로 기존의 SnPb 유연솔더와 Sn3.0Ag0.5Cu 무연솔더를 사용하여 칩 형태의 저항기 및 인덕터에 대한 솔더 접합강도를 비교평가 하였다. 접합특성의 비교는 솔더 접합부에 가장 큰 영향을 미치는 전단강도시험(Shear Strength Test)을 통해 정량적으로 평가하였다. 또한 수동부품의 솔더 접합부 신뢰성평가를 위해 유무연 솔더를 사용하여 실장된 부품에 대해 열충격시험(Thermal Shock Test)과 같은 신뢰성시험 전후의 전단강도를 비교분석하였다. 이 결과로부터 유무연 솔더 적용 제품의 신뢰성시험 방법에 따른 전단강도를 분석하여 최적의 시험방법 및 조건을 선정하였다.

3. 실험방법

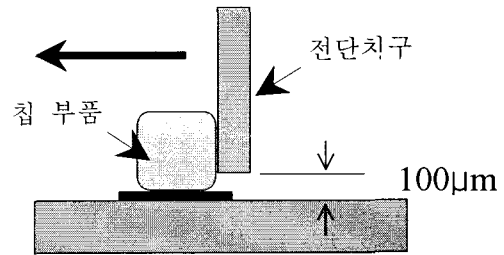
솔더 접합부의 접합강도를 비교평가 하기 위해 신뢰성시험과 전단강도를 측정하였다. 사용한 제품은 D-TV 모듈, 위성용 셋톱박스, SMPS 등의 실제품에 실장된 칩 부품의 신뢰성시험 전후 전단강도를 비교분석 하였다. 사용된 부품으로 칩저항기(chip resistor), 칩캐패시터(chip capacitor)를 사용하였다.



<그림 1> 시험에 사용된 부품: (a) 1608 칩 저항기, (b) 1608 칩 캐패시터, (c) 칩 부품의 실장 후 단면사진

3.1 전단강도시험

전단강도의 변화를 조사하기 위해 DAGE 4000(DAGE사, 영국) 장비를 사용하여 전단속도 167μm/sec로 시험하였으며, 관련 시험방법은 JEITA에서 권장하는 시험방법을 사용하였다. 전단시험은 부품을 기판(PCB)에 솔더링(soldering)하여 접합한 후 열충격시험 전후에 대해 칩 부품의 전단강도를 비교분석 하였다.



<그림 2> 칩부품의 전단강도시험 개략도

3.2 신뢰성시험

솔더 접합부의 접합강도에 대한 수명을 평가하기 위한 신뢰성시험으로 열충격시험을 실시하였으며, 시험조건은 제품의 사용 환경을 고려하여 다음 <표 1>과 같이 조건1~5까지 분류하여 실시하였다.

<표 1> 신뢰성시험 항목별 조건

조건	시험항목	시험조건
1	열충격시험	-40℃ ~ +85℃, 15분유지, 240시간
2	고온저장시험	85℃, 24시간
3	고온고습시험	85℃, 85%RH, 24시간
4	진동시험	10~500 Hz, 1.5G, Sine Wave, 60분/각축

4. 결과 및 고찰

4.1 전단강도시험 결과

신뢰성시험 전후 칩 부품에 대한 전단시험 결과 다음 <표 2>, <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 2> 칩 캐패시터 및 인덕터의 신뢰성시험 전후 솔더 집합부 전단강도 변화

구분	Capacitor 1608 / Sn-37Pb(kgf)				Capacitor 1608 / Sn-3.0Ag-0.5Cu(kgf)			
	시험전	조건 1	조건 2	조건 3	시험전	조건 1	조건 2	조건 3
1	2.928	2.363	2.356	2.766	2.072	2.478	2.007	2.042
2	2.287	2.080	2.284	2.329	2.14	2.11	1.98	2.025
3	2.735	2.424	2.449	2.071	2.127	1.895	2.557	2.631
4	2.774	2.393	2.605	2.743	2.139	2.415	1.962	2.303
5	3.096	2.245	3.991	2.563	2.039	2.15	2.238	2.368
6	2.392	2.631	2.636	2.47	2.01	2.865	2.27	2.196
7	2.422	2.141	3.605	2.257	1.862	2.339	2.663	2.311
8	2.374	-	3.951	2.755	2.223	2.471	2.36	-
9	2.857	2.530	2.553	1.905	2.774	2.416	2.7	2.835
10	2.678	2.467	2.646	2.225	2.646	2.333	2.746	2.744
11	2.446	2.518	2.675	2.832	2.487	2.672	2.583	2.663
12	3.007	2.782	2.683	2.432	2.85	2.548	2.994	2.447
13	3.408	2.658	2.904	2.599	2.904	2.655	2.858	2.633
14	2.871	2.447	2.872	2.216	2.549	2.739	2.402	2.566
15	2.463	2.521	-	2.124	2.86	2.759	2.485	2.481
16	3.591	3.073	-	2.181	2.538	2.389	2.702	2.769
17	2.532	2.196	2.562	2.025	2.771	2.702	2.382	2.838
18	1.994	2.109	2.778	2.551	2.752	2.941	2.819	3.345
19	3.436	3.431	2.709	2.377	2.138	3.617	2.883	2.6
20	2.716	3.042	2.834	2.821	2.423	2.611	2.941	2.495
21	3.143	2.492	3.092	2.32	2.901	3.209	2.972	2.129
22	3.944	2.713	2.900	2.831	2.891	2.55	3.61	2.698
23	3.474	2.629	2.544	2.239	2.918	2.772	2.612	2.416
24	2.377	2.400	1.987	2.53	2.948	2.966	2.6	1.922
평균	2.831	2.429	2.567	2.423	2.498	2.608	2.597	2.394
변화율		-14.22%	-9.31%	-14.40%		4.40%	3.94%	-4.18%

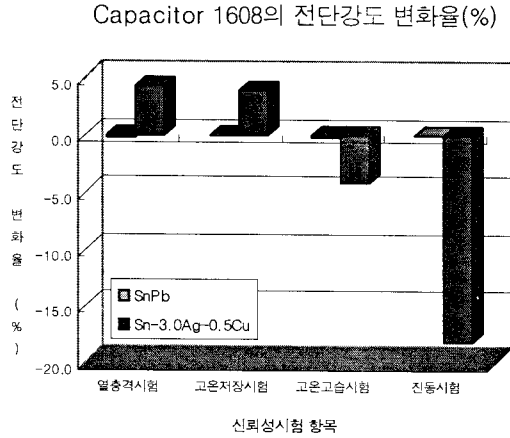
구분	Inductor 2012 / Sn-37Pb(kgf)				Inductor 2012 / Sn-3.0Ag-0.5Cu(kgf)			
	시험전	조건 1	조건 2	조건 3	시험전	조건 1	조건 2	조건 3
1	3.273	3.485	3.839	2.659	2.075	1.944	1.76	3.44
2	3.901	3.469	4.141	3.37	2.019	2.885	2.768	2.607
3	4.008	3.247	4.135	3.406	2.301	3.308	3.622	2.235
4	3.592	3.347	3.691	3.409	2.043	3.373	3.387	3.616
5	2.94	2.835	4.506	2.803	2.393	2.05	1.742	3.661
6	3.907	3.604	3.737	2.547	1.954	3.357	3.239	3.599
7	3.189	3.934	2.755	2.879	1.811	2.737	2.969	2.319
8	3.178	2.622	3.521	4.228	3.068	2.905	-	2.882
평균	3.499	3.318	3.791	3.163	2.208	2.820	2.436	3.045
변화율		-5.16%	8.35%	-9.60%		27.71%	10.32%	37.90%

<표 3> 칩 레지스터의 신뢰성시험 전후 전단강도시험 결과

구분	Resistor 1608 / Sn-37Pb				Resistor 1608 / Sn-3.0Ag-0.5Cu			
	시험전	조건 1	조건 2	조건 3	시험전	조건 1	조건 2	조건 3
1	2.947	3.137	2.647	2.694	2.554	1.897	2.967	2.028
2	3.277	2.616	2.511	2.395	2.253	2.385	2.842	2.476
3	2.84	2.753	3.409	2.398	2.201	2.134	2.492	2.515
4	2.711	2.576	2.908	2.353	2.181	2.152	2.768	2.048
5	2.49	2.64	2.754	2.831	2.391	1.768	2.305	2.478
6	2.471	2.493	2.662	2.603	2.192	2.442	2.813	2.016
7	2.615	2.492	2.615	2.449	2.228	1.954	2.29	2.315
8	2.863	3.029	2.212	2.77	2.224	2.413	2.996	2.187
평균	2.777	2.717	2.715	2.562	2.278	2.143	2.684	2.258
변화율		-2.15%	-2.23%	-7.75%		-5.92%	17.83%	-0.88%

<표 4> 칩 레지스터 및 캐패시터의 진동시험 전후 전단강도시험 결과

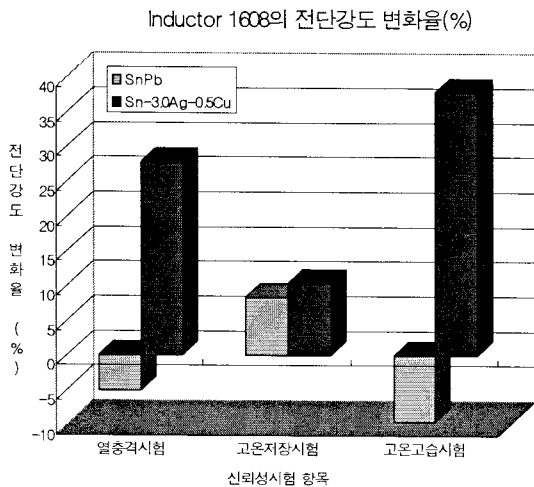
구분	Resistor 1608		Capacitor 1608	
	시험전	조건 4	시험전	조건 4
1	4.0580	1.9850	1.6740	1.5060
2	3.0980	4.0290	1.6810	2.1820
3	4.2160	1.4490	2.0920	1.4880
4	3.5280	3.6710	1.7250	1.7890
5	3.1120	3.3100	3.1760	1.5950
6	4.2270	2.9980	3.4510	1.8030
7	3.2150	2.4950	2.1350	2.4100
8	3.0920	3.3040	2.4710	2.0900
9	3.2890	3.0250	1.8250	2.9300
10	3.5090	3.4850	2.6570	2.5590
11	3.5850	3.3280	4.5980	2.5320
12	3.3210	3.1860	3.4140	2.3850
13	2.7820	2.5050	2.4900	1.5860
14	3.3300	2.5140	2.2270	2.4500
15	3.1200	2.2710	2.9760	3.1230
16	2.3500	3.6460	2.8710	2.1300
17	2.4900	2.6420	3.7080	2.5790
18	2.6600	2.5940	2.9840	2.1930
19	2.4540	2.7180	2.8610	2.0770
20	3.4140	2.7750	2.4670	2.1050
21	3.3900	3.1780	2.5310	2.3990
22	2.9060	2.4240	1.9420	1.7770
23	2.4600	2.4340	1.8540	1.7490
24	3.5360	3.3860	2.6510	1.8330
25	4.5880	2.8990	3.3130	2.1310
26	3.2220	3.4110	2.5960	2.0030
27	3.8980	3.6330	3.4290	2.1820
28	3.2800	3.3600	3.4990	2.0090
29	3.3530	3.1600	3.2200	2.0830
30	3.3560	2.9730	1.8910	2.7450
31	2.7390	3.1920	3.6230	1.5780
32	4.1790	3.2480	1.6760	3.0220
33	3.2170	2.8120	3.0900	1.9750
34	3.5720	3.1030	2.7450	3.6000
35	2.8230	3.9290	1.9950	2.6220
36	4.5300	2.7310	3.2070	1.8970
평균	3.3305	2.9945	2.3035	1.8837
변화율		-10.09%		-18.22%



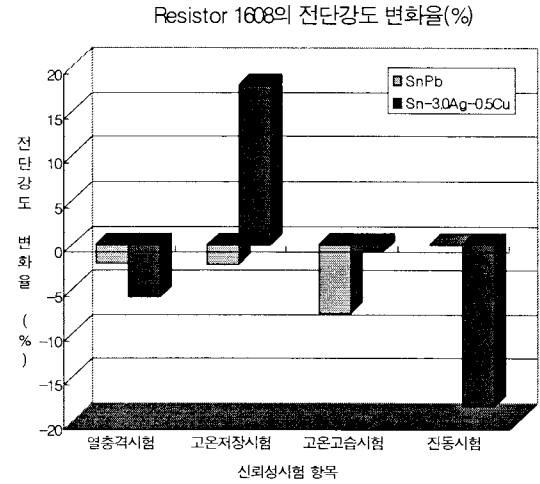
<그림 3> 1608 칩 캐패시터의 신뢰성시험 전후 전단강도 변화율

<그림 3>은 1608 칩 캐패시터의 신뢰성시험 전후 전단강도의 변화율을 나타낸 그림이다. 유연솔더 제품의 경우 열충격, 고온저장, 고온고습시험에서 전단강도는 약 최대 14.4% 정도 감소한 반면, 무연솔더를 적용한 경우 4.2% 감소만 나타났다. 그러나 진동시험의 경우 무연솔더는 약 18.2%의 강도 저하를 보였다.

<그림 4>는 1608 칩 인덕터의 신뢰성시험 전후 전단강도의 변화율을 나타낸 그림이다. 유연솔더 제품의 경우 열충격, 고온저장, 고온



<그림 4> 1608 칩 인덕터 신뢰성시험 전후 전단강도 변화율



<그림 5> 1608 칩 저항기 신뢰성시험 전후 전단강도 변화율

고습시험에서 전단강도는 약 최대 9.6% 정도 감소한 반면, 무연솔더를 적용한 경우 오히려 37.9% 증가한 것으로 나타났다.

<그림 5>는 1608 칩 저항기의 신뢰성시험 전후 전단강도의 변화율을 나타낸 그림이다. 유연솔더 제품의 경우 열충격, 고온저장, 고온고습시험에서 전단강도는 약 최대 7.75% 정도 감소한 반면, 무연솔더를 적용한 경우 오히려 5.92% 감소한 것으로 나타났으며, 진동시험의 경우 18.22% 전단강도의 감소를 나타냈다.

이러한 결과로 볼 때 솔더 접합부 전단강도 평가를 이용한 수명평가 방법 중 가장 단시간에 평가할 수 있는 시험방법으로 진동시험이 적절한 것으로 나타났다. 또한 열충격시험, 고온저장시험, 고온고습시험 중에서는 열충격시험이 전단강도의 변화를 관찰하기에 적절할 것으로 판단된다. 그러나 이러한 온도, 습도 변수에 의한 전단강도를 평가하기 위해서는 시험시간이 보다 장시간 필요한 것으로 판단된다. 더욱이 무연솔더의 경우 단시간에 온습도 변화로는 적절한 솔더 접합강도를 평가하기 어려우며, 이것은 무연솔더의 재료적 특성상 시험시간이 짧은 경우 재료의 시효경화(aging hardening) 효과에 의해 오히려 강도

가 증가하는 경향을 나타낸 것으로 보인다. 무연솔더를 적용하는 경우, 무연솔더 재료의 시효경화뿐만 아니라 기판과 솔더 접합부 계면에 형성되는 금속간화합물(intermetallic compound, IMC)의 영향도 접합수명에 많은 영향을 미치게 된다. 단시간 신뢰성시험을 하는 경우 접합계면의 IMC가 형성되며, 형성 초기에는 접합강도를 증가시키는 요인이 되나, 이후 IMC의 성장과 함께 두께가 증가되는 경우 접합강도의 저하를 유발하게 된다. 따라서 칩부품의 접합수명 평가를 위해서는 500시간 이상의 시험시험이 적절할 것으로 사료된다.

5. 결 론

수동부품의 유무연 솔더 접합부 신뢰성평가를 위해 신뢰성시험 전후의 전단강도를 비교분석하였다. 또한 신뢰성시험 항목별 전단강도의 변화를 통해 무연 솔더 적용 전자제품의 신뢰성시험에 효과적 시험방법을 선정하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 1608 칩부품의 열충격시험, 고온저장시험, 고온고습시험 전후 전단강도를 비교한 결과 유연솔더 적용인 경우 최대 9.6%, 무연솔더의 경우 최대 5.92% 감소한 것으로 나타났다. 그러나 무연솔더를 적용한 진동시험의 경우 18.22%의 전단강도 감소를 나타냈다.

2) 온습도 변수에 의한 시험인 경우 무연솔더는 재료의 시효경화에 의해 200시간 내외에서는 접합강도가 증가하는 것으로 보이며, 500시간 이상 장시간 시험할 경우 시효효과의 감소 및 솔더 접합계면의 IMC 성장에 따라 접합강도가 감소하는 것으로 판단된다.

3) 솔더 접합부 수명평가를 위한 단시간 신뢰성시험 방법으로 진동시험이 가장 유효한 시험으로 사료되며, 온습도 변화에 의한 시험으로는 열충격시험이 가장 적절한 것으로 판단된다. 그러나 열충격시험을 수행할 경우 솔더 접합부의 열화를 관찰하기 위해서는 장시간

시험시간이 요구되는 것으로 판단된다.

8 . 참고문헌

- [1] Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council, Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, EU (2003).
- [2] JEITA 2001 Final Project Report, JEITA (2001).
- [3] JEITA 2002 Final Project Report, JEITA (2002).
- [4] JEITA 2003 Final Project Report, JEITA (2003).
- [5] K. Suganuma, Lead-Free Soldering in Electronics, Marcel Dekker (2003).
- [6] CLACE Electronic Products and System Consortium Technical Review Proceeding, CALCE, EPSC (2003).
- [7] S. Ganesan, M. Pecht, Lead-Free Electronics, CALCE EPSC Press, MA (2004).