

무연 납땜용 볼의 표준화에 관한 연구

(The Study of Standardization for Pb-free Solder Ball)

김성철, 최승철*, 김원중**

주)뮤테크놀러지, 아주대학교 재료공학과*, 아주대학교 산업공학과**

Abstract : 전자부품의 고성능화·고집적화를 위한 표면실장기술의 발전과 환경과 건강에 대한 관심의 증가로 납납 중의 납의 독성과 그에 따른 납 사용 규제 움직임과 선진국의 법규제에 대응하여 무연 납납이 개발되고 있다. 본 연구는 이러한 배경에서 무연 납납용 볼에 관한 기술정보의 유용성의 제고와 객관적인 비교평가를 위한 표준을 제시하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 납땜용 볼의 표준화 현황을 조사하고, 기업을 대상으로 설문조사를 실시하여 납땜용 볼에 대한 인식과 표준화 현황을 조사하였다. 또, 기존에 납땜용 볼에 관하여 발표되었던 자료들을 조사하여, 유연·무연 납땜용 볼의 품질특성과 그 평가방법을 비교하여 연구하였다. 무연 납땜용 볼은 외관이 거칠고, 용점과 표면장력의 차이로 인하여 젖음성이 떨어지며, 리플로우 조건에 따라 접합부의 높이에 변화가 있으며, 접합강도는 높아지는 특성을 보였으며 접합부의 신뢰성에서도 유연 납땜용 볼과는 많은 차이를 보였다. 이런 무연 납납의 특성을 감안하여, 몇 가지 품질특성별 평가방법 및 기준을 제시하였다.

1. Introduction

고객만족이란(Customer Satisfaction: CS) 고객이 '원하는 것(need or wants)'을 찾아내어 고객의 만족조건을 최대로 보장하고 충족시켜 주는 것을 말한다. 품질경영의 발전단계를 규격지향품질→규격충족품질→고객요구품질→고객만족품질로 구분¹⁾할 때, 표준화가 이루어지지 않고서는 고객의 요구를 만족시키고 시장을 선도해 나갈 수 없을 것이다. 글로벌 시대의 고객만족을 위하여서도, 6시그마 운동이나 전사적품질경영(TQM: Total Quality Management) 활동의 전개를 위하여서도 부품단위의 요소 표준화는 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 시장의 요구에 대응하여 개발되고 있는 무연 납땜용 볼(Lead-free Solder Ball)에 관한 품질특성을 기존의 유연 납땜용 볼과 비교·분석하고, 유연과 무연 납땜용 볼의 품질평가방법의 차이점을 서술하고, 실제로 무연 납땜용 볼의 품질을 평가할 수 있는 기준을 제시하고, 향후 납땜용 볼의 표준화에 활용될 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 본 연구는 먼저 한국산업규격(KS)을 비롯한 국가표준과 국제표준(ISO) 등에서의 납땜용 볼의 표준화 현황을 조사하였다. 다음에는 소비자의 납땜용 볼에 대한 인식과 요구품질 등에 관한 설문조사를 실시하였으며, 기술자료의 입수를 위주로 제조자가 중점적으로 관리하는 납땜용 볼의 품질특성과 그 평가방법을 확인하였다. 또, 기존에 연구된 납땜용 볼에 관한 자료들을 조사하고, 특히 납이 함유되지 않은 무연 납납을 이용한 납땜용 볼에 관한 품질특성과 평가방법이 기존의 납이 함유된 납땜용 볼과 어떠한 차이가 있는지를 중점적으로 검토하였다. 최종적으로는 이런 내용들을 기초로 하여 소비자의 요구품질과 무연 납납의 특성을 감안하여, 품질특성별 평가방법 및 기준을 제시하고 표준화하였다

2. Experimental

본 연구에서는 실증분석을 위하여 주로 전기·전자업종의 업체를 대상으로, 2001년 9월 18일부터 11월 22일 기간에, 우편 또는 전자우편을 이용하여 설문조사를 실시하였다. 최종적으로 설문조사는 14명이 회신하였으며, 이는 설문조사를 전기·전자업체 중 납땜을 실시하는 업체로 제한하였기 때문인 것으로 판단된다. 설문 내용은 납땜용 볼의 표준화 상태, 소비자의 요구품질, 무연 납납에 대한 인지도 등을 파악하기 위하여 24개 항목으로 구성하였다. 조사 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 납땜용 볼을 그 사용량은 점차 늘어날 것이다. 무연 납땜용 볼은 아직 사용하고 있지는

않으나, 향후 사용할 계획이다. 둘째, 납땜용 볼의 품질에 대하여 대체로 만족하고 있지만, 산화문제가 가장 큰 불만이다. 셋째, 납땜용 볼에 관한 표준은 대부분 보유하고 있지 않으며, 보유하고 있다 하더라도 다른 회사나 단체의 기술자료가 대부분이다. 넷째, 무연 납납에 관한 품질특성을 잘 모르고 있으며, 유연 납납과의 차이점에 대한 인식도 불충분하다. 다섯째, 표준화의 필요성을 인식하고 있으며, 표준화의 형태는 국가표준을 원하고 있다. 여섯째, 고객이 제공하거나 요구하는 표준의 활용도가 가장 높으며, 국가표준의 활용도도 KS보다는 JIS의 활용도가 높다. 일곱째, 시험·검사 방법 및 조건은 어떤 원칙보다는 임의로 다양하게 정하여져 시행되고 있다. 전체적으로는 시장의 요구는 납땜용 볼 사용의 증가와 무연 납납 등 새로운 기술의 출현으로, 이에 관련한 다양한 기술정보의 공유와 객관적인 품질평가의 실시를 위한 도구로서 요소부품 또는 소재단위의 표준화를 필요로 하는 상황인 것으로 조사되었다. 납땜용 볼 공급자가 기본적으로 관리하고 있는 품질특성과 무연 납납에 대한 대응 현황 등을 알아보기 위하여, 국내시장 점유율이 가장 높은 일본의 S사의 기술자료와 국내 M사의 기술자료를 입수하여 검토하였다. 이들 기술자료는 각각 2001년 2월과 2001년 8월에 작성된 것이다. 먼저 일본 S사는 납땜용 볼에 대한 규격에서 품질특성을 Chemical Composition, Melting Temperature Range and Specific Gravity, Appearance, Diameter, Tolerance 등으로 나누어 서술하고 있으며, 별도의 기술자료에서는 볼의 사용조건인 리플로우 프로파일(Reflow Profile), 볼의 접합 강도, 볼의 산화와 정전기 문제 등으로 나누어 서술하고 있으며, 부분적으로 일본산업규격(JIS)을 인용하고 있다. 한국의 M사는 별도의 규격은 제시하지 않고, 검사성적서에서 품질특성을 외관 중 광택(blight), 치수, 용점, 비중등으로 나누어 서술하고 있으며, 별도의 기술자료에서 볼의 접합강도, 볼의 납땜성(solderability) 등의 품질평가 내용을 제시하고 있으며, 특별히 다른 규격을 인용하고 있지는 않다. 소비자 설문조사에서 불만으로 제기된 산화에 대한 관리 내용과 리플로우 프로파일이 누락되어 있다. 또 두 회사 공통적으로 무연 납땜용 볼에 대하여 기술적인 자료를 제공하고 있으나, 일본의 S사가 유연·무연의 차이점 및 이로 인한 납땜 작업조건의 주의사항 등을 상세히 기술하는 반면, 한국의 M사는 무연 납땜용 볼의 조성, 용점, 비중 등의 소개에 그치고 있다. 이것은 일본의 S사가 고객을 위한 기술적인 정보의 제공에서 한발 앞서 가고 있다고 볼 수 있다. 그러나, 소비자 설문조사 내용의 품질에 대한 인식이나 무연 납납에 대한 기술적인 면에서는 앞서 있는 것으로 보여지며, 이는 고객만족을 지향하는 최근의 추세에 적합하다고 할 수 있다. 다만, 체계적인 연구개발 결과의 정리와 정리된 기술정보를 고객에게 제공하고 공유하는 면에서는 아직 미흡하다고 하겠다.

3. Result and Discussion

볼의 외관은 현재의 유연 납땜용 볼의 경우 표면 산화를 제외하고는 거의 문제가 되지 않았다. 그러나 무연 납땜용 볼의 경우에는 볼의 표면이 거칠어지는 경향이 있어 이에 대한 고려가 필요하다. 물론 볼의 표면이 거칠어지는 것이 납땜용 볼의 최종적인 사용목적에 어떠한 영향을 미치는지는 별도로 검토되어야 할 사항이지만, 유연 납땜용 볼의 경우 광택이 균일하게 나는 것을 양품으로 하고 광택이 없거나 균일하지 않은 것을 불량으로 간주하던 판정기준은 재검토되어야 한다.²⁾ 납땜용 볼의 측정은 비접촉식 측정방법(non contact measuring method)이 필수적이며, 3차원 자동측정(3D automatic size measurement) 소프트웨어가 내장된 측정기기를 사용하는 것이 좋다. 특히 볼의 규격이 0.001mm 단위이므로 가능한 최소측정단위는 0.0001mm가 적당하다. 부품을 6 σ 수준으로 관리하기 위하여서는 볼의 불량률은 백만 개 당 0.000000133개, 즉 10억 개 당 133개 수준이 되어야 한다. 따라서 볼의 지름의 허용공차의 관리 못지 않게 중요한 것이 공정능력(Cpk)의 확보이다. 보통은 6시그마 수준인 Cpk=1.5를 관리의 이상적인 상태로 인정하고 있으나, 볼의 치수의 관리는 Cpk=1.5로는 불충분하며 Cpk=2.0 수준을 목표로 하여야 한다. 본 연구에서는 공정능력지수 Cpk=2.0을 전제로 하여, 새롭게 납땜용 볼 치수의 허용공차를 설정하여 표 1과 같이 제

시하였다.³⁾ 예를 들어 지름이 0.30mm인 볼은 허용공차는 $\pm 0.015\text{mm}$ 이지만, 현실적으로 $C_{pk}=2.0$ 을 만족시키기 위하여서는 볼 지름은 $\pm 0.005\text{mm}$ 범위안에 있어야 한다는 의미이다.

표 1. 공정능력($C_{pk}=2.0$)을 감안한 볼 지름의 허용공차

Land pitch size	Ball Diameter	Ball height (Max-Min)	Ball Diameter Tolerance	Expected Distribution Limits
1.00	0.76	0.15	± 0.038	± 0.012
0.80	0.50	0.12	± 0.025	± 0.008
0.65	0.40	0.10	± 0.020	± 0.006
0.50	0.30	0.08	± 0.015	± 0.005

진구도의 계산은 볼의 지름의 측정 최대치에서 최소치를 뺀 값을 중앙값으로 나누어 100을 곱한 값으로 하고 단위는 %로 한다.

$$\text{진구도} = \text{볼의 지름} \{(\text{Max} - \text{Min}) / \text{Mid}\} \times 100\%$$

표 2는 표 1에서 제시한 허용공차를 적용하였을 때의 기대되는 볼 지름의 분포범위와 진구도를 1.5%로 하였을 때의 최대허용공차를 비교한 것이다.

표 2. 진구도 1.5%에서의 최대허용공차

Ball Diameter	최대허용공차 (진구도 1.5%)	Expected Distribution Limits
0.76	0.0114	± 0.012
0.50	0.0750	± 0.008
0.40	0.0060	± 0.006
0.30	0.0045	± 0.005

납땜용 볼의 용점은 볼의 접합품질이 결정되는 리플로우 공정의 조건 설정과 밀접한 관계가 있다. 기존의 유연 납땜의 용점은 183°C 로 잘 알려져 있고, 적합한 리플로우 조건도 이미 설정되어 있으나, 무연 납땜의 경우에는 그 조성에 따라 용점이 달라, 용점을 모를 경우 적합한 리플로우 조건의 설정에 어려움이 따르게 된다. 본 연구에서는 납땜재료의 용점 측정은 시료중량 약 500g을 이용한 냉각곡선법으로 용고개시온도를 계측하고, 용융개시온도의 측정은 DSC나 DTA를 이용할 것을 제안한다. 또, 현재 KS D 6704 납땜(Soft Solder)에 고상선온도·액상선온도로 용융온도를 나타내는 것은 각각 용융개시온도·용고개시온도로 표시하는 것이 보다 학술적인 표기라는 판단으로 용어의 변경을 제안한다. 합금의 조성 분석은 KS D 1980 납땜의 분석 방법(Method for Chemical Analysis of Solder)에 의하며, Spark Emission Spectrometer와 같은 설비를 이용하여 합금의 화학적 분석을 실시하는 것이 좋다. 납땜용 볼은 서로의 마찰에 의하여 쉽게 산화가 진행되므로 이런 성질을 이용하여 다음과 같이 내산화성 시험을 하도록 제안한다. 먼저 100ml 크기의 유리 비이커에 $100 \pm 5\text{g}$ 의 볼을 넣는다. 초음파 세척기를 이용하여 진폭 10mm, 주파수 20kHz 조건으로, 분위기 온도 $23 \pm 3^\circ\text{C}$ 및 습도 50%RH에서 시험을 진행한다. 실험은 200분까지 진행하며, 매 20분마다 볼의 산화 여부를 육안으로 관찰한다. 비교 검토를 위하여, 비교하고자 하는 볼을 나란히 놓아서 동시에 실험할 것을 권장한다. 특히 무연 납땜용 볼을 시험할 경우에는 그 성분 따라 산화의 발생정도에 현저한 차이가 있으므로 유연 납땜용 볼을 비교 평가하는 것을 권장한다. 산화의 촉진을 위하여 비이커에 물이나 알코올 등의 용제를 넣어서 실험할 경우에는 반드시 그 조건을 명시하여야 한다. 납땜용 볼의 다양한 사용용도에 따라 실제 사용되는 접합 상대물은 다양하게 존재하겠지만, 접합품질이나 접합부의 신뢰성 시험에 사용할 시편은 표준화되어 있는 것이

여러 가지 측면에서 편리하다. 표준 시편의 사양을 표 3과 같이 제안하였다.

표 3. 시편의 표준

구 분		A 형	B 형
시험기판	재질	PCB FR-4	동(Cu)판
	두께	0.8~11.0 mm	0.5±0.005 mm
	최소크기	20mm×20mm	15mm×15mm
패드 (pad)	표면처리	무전해 NiAu 도금	-
	두께	Ni5~12 μ m, Au0.3~1.0 μ m	-
	크기	볼 지름의 85%	볼 지름의 85%
사용 플럭스 종류		RMA type	RMA type

무연 납납의 경우 대부분 용점이 유연 납납보다 높아지는 경향이 있어, 무연 납납의 용점에 적합한 리플로우 조건, 즉 온도와 시간을 조정하여야 한다. Shear Test는 Probe의 높이가 10~100 μ m, 속도는 100~300 μ m/sec로 다양하게 적용되고 있다. JEDIC Standard에서는 Probe의 높이를 상세하게 규정하고 있다. 보통 Shear Test를 실시하고 파단되는 측정값만을 검토하였으나, 무연 납납의 경우에는 반드시 파단되는 형태(Failure mode)를 관찰하여야 한다. Failure mode는 기본적으로 (a) 볼 자체가 파단되는 볼 파단(Ball Shear) (b) 패드(pad)가 떨어지는 패드 박리(Pad lift) (c) 볼과 패드의 경계부분이 파단되는 접합계면 파단(Intermetallic Break)으로 나누어지고 각각의 모드(mode)가 복합적으로 나타나기도 한다. 볼의 접합강도를 평가하는 방법으로 지금까지는 Shear Test를 하는 경우가 많았으나 이것만으로는 불충분하다. 특히 무연 납납 재료를 사용할 경우 열적, 기계적 성질이 잘 알려져 있지 않아 뒤틀림의 발생 가능성에 대하여 검증이 필요하다. 따라서 반드시 Pull Test를 실시하는 것이 좋다. 기본적으로 유연·무연 납납용 볼 접합부의 신뢰성 시험의 방법이나 결과의 해석은 별다른 차이가 없다. 볼은 사용되는 부품의 사용 조건에 따라 전자제품의 신뢰성 항목이 기준이 되어 평가되어진다. 따라서 본 연구에서는 일본의 SONY사가 무연 납납용 볼을 사용하여 제작한 CSP 시험 평가 사례를 시험항목, 시험조건과 판정내용 등으로 정리하여 참고하고자 한다. 이 자료에서는 고온 방치 시험, 굽힘 시험, 열사이클 시험등의 항목이 있으며 이 부분을 추천하고자 한다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

첫째, 무연 납납용 볼은 유연 납납용 볼에 비하여 표면이 거칠고 광택이 없어지는 것을 자료로 제시하였다. 이러한 외관은 SEM을 이용하여 200배, 1000배, 2000배로 관찰하는 것을 표준으로 제안하였다. 둘째, 납납용 볼의 외관 결함을 유형별로 정리하고 실증할 수 있는 사진을 SEM을 이용, 100~2000배율로 관찰하여 자료로 제시하였다. 셋째, 납납용 볼의 지름의 측정방법 제시하고 공정능력지수(Cpk)를 감안한 볼 지름의 허용공차를 새롭게 제시하였다. 넷째, 유연 납납의 용점 측정방법을 무연 납납에 적용할 경우의 문제점을 제기하고, 무연 납납의 용점 측정방법을 제안하였다. 다섯째, 소비자의 가장 큰 불만사항인 산화에 대한 발생과정을 검토하여, 내산화성 표준시험 방법을 제시하였다. 여섯째, 접합품질에 대한 정보의 공유를 위하여 시편의 표준과 리플로우 프로

파일의 표준을 제시하였다. 일곱째, 접합강도의 측정방법 중 전단강도 측정방법의 표준을 제시하였으며, 추가적으로 당김강도를 실시하도록 제안하였다. 또, 파단형태를 분류하고 이 유형에 따른 판정방법을 제시하였다. 여덟째, 리플로우 조건과 파단강도의 상관관계에 대한 자료를 제시하고, 이러한 자료를 고객에게 제공하여야 할 기술자료에 포함시킬 것을 제안하였다. 아홉째, 볼 접합부의 신뢰성에 관한 사례를 제시하고, 이를 신뢰성 시험의 표준 반영할 것을 제안하였다.

References

1. 이순룡, “표준화로 고객 만족을 높인다”, 표준화 1999년 3월호, 30(1999)
2. 한현주, 임석준, 문정탁, 이진, “A:V Ratio 변화에 따른 Sn-37Pb, Sn-4.0Ag-0.5Cu solder 접합부의 특성 연구”, 한국 마이크로 전자 및 패키징 학회 추계 기술 심포지엄, 67~73 (2001)
3. JEDEC publication 95 Design Guide 4.5, Table 4.5-2 Symbols, Demensions and Tolerances related to Ball Diameters