

## Sn-Ag-Bi-In계 BGA볼의 솔더링 특성 연구

문준권\*·김문일\*·정재필\*

\*서울시립대학교 공과대학 재료공학과

### A Study on the Soldering Characteristics of Sn-Ag-Bi-In Ball in BGA

Joon-Kwon Moon\*, Moon-Il Kim\* and Jae-Pil Jung\*

\*Dept. Materials Sci. and Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

#### Abstract

Pb is considered to be eliminated from solder, due to its toxicity. However, melting temperatures of most Pb-free solders are known higher than that of Sn37Pb. Therefore, there is a difficulty to apply Pb-free solders to electronic industry. Since Sn3Ag8Bi5In has relatively lower melting range as 188~200°C, on this study. Wettability and soldering characteristics of Sn3Ag8Bi5In solder in BGA were investigated to solve for what kind of problem. Zero cross time, wetting time, and equilibrium force of Sn3Ag8Bi5In solder for Cu and plated Cu such as Sn, Ni, and Au/Ni-plated on Cu were estimated. Plated Sn on Cu showed best wettability for zero cross time, wetting time and equilibrium force. Shear strength of the reflowed joint with Sn3Ag8Bi5In ball in BGA was investigated. Diameter of the ball was 0.5mm, UBM(under bump metallurgy) was Au(0.5 $\mu$ m)/Ni(5 $\mu$ m)/Cu(18 $\mu$ m) and flux was RMA type. For the reflow soldering, the peak reflow temperature was changed in the range of 220~250°C, and conveyor speed was 0.6m/min.. The shear strength of Sn3Ag8Bi5In ball showed similar level as those of Sn37Pb. The soldered balls are aged at 110°C for 36days and their shear strengths were evaluated. The shear strength of Sn3Ag8Bi5In ball was increased from 480gf to 580gf by aging for 5 days.

(Received December 12, 2001)

Key Words : Pb-free Solder, SnAgBiIn, Wettability, BGA, Joint Strength

#### 1. 서 론

현재의 솔더링 기술은 전자기기를 구성하는 전자 부품 및 반도체의 조립에 효과적인 접합 수단 중의 한 가지이다. 현대의 전자기기는 보다 집적화, 소형화, 박형화 되어가고 있으며 이에 대응하기 위해 솔더링 기술 또한 정밀화한 마이크로 솔더링 기술로 변화하고 있다. 그 중에서 1960년대 중반 군용과 항공 우주용 전자 부품에 적용하기 위하여 개발된 표면 실장기술(Surface mount technology), 특히 BGA(ball grid array) 전자 패키징법은 단위 칩당의 I/O 개수가 높고, 제조공정의 신뢰성이 높으며, 실장 면적을 줄일 수 있는 장점이 있어, 최근 상업용 전자 부품 제조에 그의 사용 비중이 급속히 높아지고 있다.

또, 솔더링 기술의 마이크로화를 비롯한 기술발전과

대립적 관계에 있으면서 조화를 이루어 나아가야 할 분야가 인류의 생활환경 문제일 것이다. 즉, 기존에 사용하던 Pb를 함유한 유연솔더가 인체에 심각한 해를 끼치는 문제가 대두된 것이다. 1990년대 초 미국에서 시작된 솔더 내의 납 규제 시도는 이후 무연솔더 개발에 관한 국제적인 연구의 기폭제가 되었다. 세계의 각 단체와 기업에서 무연 솔더의 적용계획이 발표되고, 폐기 전 부품의 재활용에 관한 법률과 제한이 이어져 왔다<sup>1)</sup>. 이와 관련하여 최근 전자제품에서는 Pb를 함유한 솔더를 대체하기 위한 노력으로 무연솔더의 개발과 이에 관한 평가가 관심의 대상이 되고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 이러한 무연솔더로의 대체에 있어서, 대부분의 무연솔더가 용점이 기존에 사용하던 Sn-Pb 공정솔더에 비하여 높다는 것이 문제시 되고 있으며, 이로 인하여 기존에 사용하던 솔더링 장비들을 그대로 이용하는 것에 제약을 받

게 되었다<sup>3)</sup>.

본 연구에서는 솔더의 용점이 높아서 발생하는 문제점을 해결하기 위한 한가지 방법으로써 중온계 합금인 Sn-3wt%Ag-8wt%Bi-5wt%In(이하 wt%를 의미함) 무연솔더의 젖음특성과 BGA에서의 솔더링 특성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 Wetting balance test

젖음성 실험에 사용된 솔더는 Sn3Ag8Bi5In솔더, Sn37Pb솔더, 그리고 Sn3.5Ag솔더이며 각 솔더의 용점은 205°C, 183°C, 221°C이다. 시편은 Table 1과 같이 표면도금처리를 하지 않은 구리 패드(copper pad)(10mm×20mm×0.3mm)과 그 구리패드에 각각 Sn, Ni, Au/Ni로 무전해 표면도금처리된 것 등의 4가지 종류를 사용하였다. 그리고 플럭스는 RMA (resin mildly activated)-type을 사용하였다. 본 연구에서는 기판의 표면도금처리가 솔더의 젖음성에 미치는 영향만을 비교하기 위해서 솔더 배스(bath)의 온도를 고정하였다. 각 솔더의 용점을 고려하여 Sn3Ag8Bi5In 솔더는 240°C, Sn37Pb 솔더 및 Sn3.5Ag 솔더는 각각 230°C와 270°C로 하였다. 침지깊이 (immersion depth)는 4mm, 침지속도는 5mm/sec, 침지시간은 5초를 유지하여, 50mN의 측정범위에서 실험하였다. 이 때, 시편 표면에 존재하는 이물질을 제거하기 위하여 플럭스 도포 전에 메탄올 등으로 초음파 세척을 하였다. 납조 위에서의 예열을 통하여 플럭스를 활성화한 후, Wetting balance tester를 이용하여 젖음성 실험을 행하였다. 젖음성을 나타내는 지표로서 통용되고 있는 영점시간(zero cross time)과 젖음시간(wetting time)을 비교하였다<sup>4)</sup>. 이 때, 영점시간은 시편에 솔더가 젖기 시작할때의 시간을 의미하며, 젖음시간은 젖음력이 평형젖음력(equilibrium force)의 2/3 되는 때의 시간을 나타낸다. 젖음성 실험 데이터는 PC를 사용하여 그 결과를 분석하였다.

Table 1 Plated condition of specimen

Type	Plated condition
A	Cu(300 $\mu$ m)
B	Sn(5 $\mu$ m)/Cu(300 $\mu$ m)
C	Ni(5 $\mu$ m)/Cu(300 $\mu$ m)
D	Au(500Å)/Ni(5 $\mu$ m)/Cu(300 $\mu$ m)

### 2.2 BGA 솔더볼의 전단강도

BGA(ball grid array)에 솔더링된 볼의 접합강도는 전단강도로 평가하였다. 전단강도 시험을 위해 사용된 솔더는 직경 0.5mm의 Sn3Ag8Bi5In 솔더볼과 Sn37Pb 솔더볼이며, 기판은 일반적인 FR4 기판에 Cu(18 $\mu$ m), Ni(5 $\mu$ m), Au(0.5 $\mu$ m)가 순차적으로 무전해도금된 기판을 사용하였다. 두 가지 솔더볼을 도금된 FR4 기판 위에 플럭스를 사용하여 세팅하였다. 플럭스는 RMA-type의 tacky플럭스이다. BGA의 솔더링을 위하여 열풍 적외선 리플로(reflow) 머신을 이용하여 대기분위기에서 솔더링을 실시하였다. 리플로(Reflow) 솔더링 온도는 220~250°C, 컨베이어 속도는 0.6m/m으로 설정하였다(Fig. 1).

또한, 각 온도별(220~250°C) 리플로 솔더링된 시편을 110°C에서 36일(864hours)까지 등온열처리함으로써 등온열처리 시간의 증가에 따른 전단강도의 변화를 조사하였다.

전단강도 측정시의 조건은 Fig. 2의 모식도에서 보이는 바와 같이, 팁은 기판의 10 $\mu$ m 높이에서 200 $\mu$ m/sec의 속도로 실시하였다.

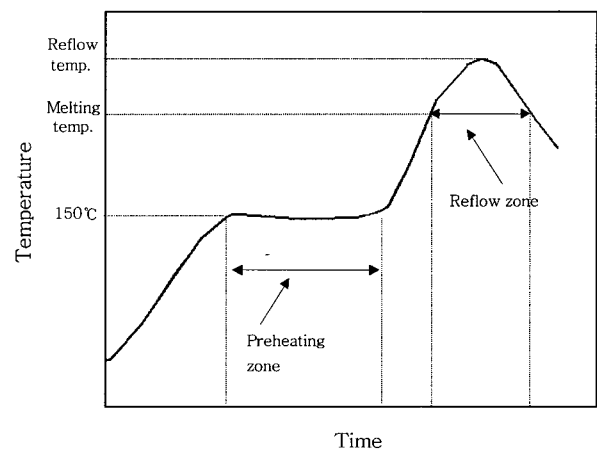


Fig. 1 Temp. profile of reflow machine

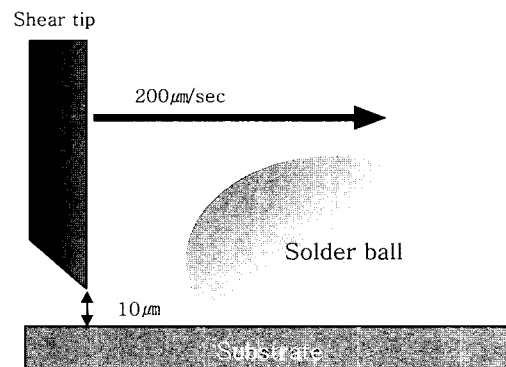


Fig. 2 Illustration of ball shear strength test

### 3. 실험결과 및 토론

#### 3.1 Wetting balance test

Cu, Sn/Cu, Ni/Cu, Au/Ni/Cu 등 각기 다른 표면도금처리를 한 구리 패드에 대하여 Sn3Ag8Bi5In, Sn3.5Ag, Sn37Pb 등 3가지 솔더의 영점시간을 비교하였다. Fig. 3는 표면처리 종류에 따른 각 솔더 (Sn3Ag8Bi5In:240℃, Sn3.5Ag:270℃, Sn37Pb:230℃)의 영점시간의 변화를 나타낸 것으로, 전체적으로 Ni/Cu층과 Cu층은 길고, Au/Ni/Cu층과 Sn/Cu층은 짧은 편이다. Cu시편에 대한 영점시간은 3가지 솔더에서 모두 약 1.0~1.8초이며, Sn으로 도금된 시편은 Cu시편의 경우와 비교하여 불 때에 50% 수준으로 감소되어 0.4~0.9초였다. 이것은 Sn의 용점이 230℃로 낮아서 젖음성 시험시 기판에 도금된 Sn이 용융되고, 용융된 솔더 또한 Sn이 주성분이기 때문에 솔더가 기판에 쉽게 젖을 수 있었던 것으로 추정된다. Ni 도금된 Cu시편의 경우에는 Cu시편과 비교해 불 때 Sn37Pb솔더는 0.7초, SnAg솔더는 0.1초, Sn3Ag8Bi5In솔더는 0.1초로 영점시간은 증가하였다. 이러한 연구결과는 Choi. 등의 연구<sup>5)</sup>에서와 동일한 경향으로 나타났다. 또한, 무전해 Au/Ni 도금된 Cu시편의 경우에는 일반적인 Cu시편의 50% 수준인 0.6~0.8초 정도의 영점시간을 보이고 있는데, 이는 젖음층으로 사용된 Au층의 양호한 젖음특성으로 인하여 영점시간이 감소된 것으로 보인다<sup>6)</sup>.

Fig. 4은 동판의 표면도금처리 종류에 따른 젖음시간의 변화를 보인 것이다. 전반적으로 젖음시간은 Ni/Cu, Cu층에 비하여 Au/Ni/Cu, Sn/Cu층이 짧게 나타나고 있다. Cu시편을 이용하여 젖음성시험을 한 경우에는 각 솔더의 젖음시간이 1.2~2.6초 사이였다. Sn도금 및 무전해 Au/Ni 도금시에 Sn3Ag8Bi5In솔더는

젖음시간이 각각 1.3초, 0.8초 정도 감소하였다. Sn37Pb솔더는 1초, 0.8초 정도, Sn3.5Ag솔더는 0.4초, 0.2초 가량 젖음시간이 감소하였다. 무전해 Ni층만 도금하였을 때에는 Sn37Pb솔더 및 Sn3.5Ag솔더의 젖음시간이 1.2초~0.2초 증가하였다. 이 때에도 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 경우에는 기판표면에 Ni을 도금함에 따라서 젖음시간이 0.2초 감소하였다.

Fig. 5는 각 솔더마다의 시험온도에서 동판에의 Cu, Sn/Cu, Ni/Cu, Au/Ni/Cu 등 각기 다른 표면도금처리에 따른 평형젖음력의 변화를 보인 것이다. Sn3Ag8Bi5In솔더를 보면 Sn도금한 시편은 도금하지 않았을 때의 시편에 비하여 젖음력이 2mN정도 증가하였다. 무전해 Ni도금한 Cu시편은 젖음력이 0.2mN정도 감소하였으며, 무전해 Au/Ni 도금한 시편도 Cu시편의 경우보다 1mN정도 감소하였다. 전체적으로 불 때 Sn/Cu층과 Cu 시편은 젖음력이 솔더의 종류에 관계없이 대체로 일정하였지만, Ni/Cu, Au/Ni/Cu층 시편은 솔더의 종류에 따라 젖음력의 편차가 크게 나타났다. 즉, Ni층을 도금한 경우 솔더의 종류에 따라 젖음력의 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다.

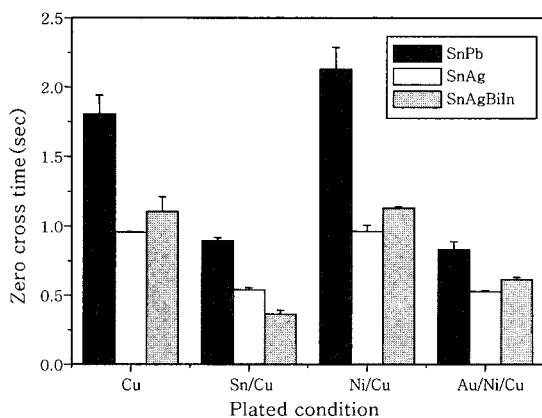


Fig. 3 Effect of plated condition on zero cross time for Sn37Pb, Sn3.5Ag and Sn3Ag8Bi5In

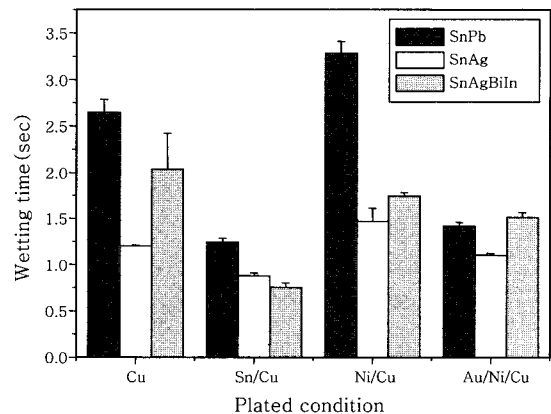


Fig. 4 Effect of plated condition on wetting time for Sn37Pb, Sn3.5Ag and Sn3Ag8Bi5In

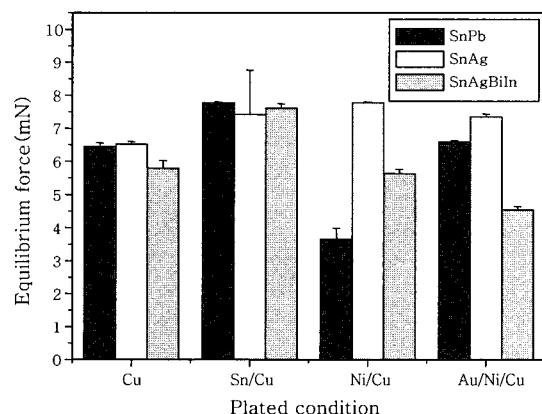


Fig. 5 Effect of plated condition on Equilibrium force for Sn37Pb, Sn3.5Ag and Sn3Ag8Bi5In

### 3.2 BGA 전단강도

Fig. 6는 리플로 솔더링 온도가 전단강도에 미치는 영향을 알아보기 위해서 리플로 솔더링 온도 변화에 따른 Sn3Ag8Bi5In솔더와 Sn37Pb솔더의 전단강도값의 변화를 두 가지 방법으로 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에 리플로 솔더링 온도의 증가에 따른 Sn3Ag8Bi5In솔더와 Sn37Pb솔더의 전단강도 변화를 나타내었다. 두 솔더 모두 리플로 솔더링 온도 변화에 따른 전단강도값이 크게 감소하거나 증가하지 않는 양상을 보이고 있다. 리플로 솔더링 온도가 220~250℃로 변화함에 따라 Sn3.5Ag8Bi5In솔더와 Sn37Pb솔더 모두 전단강도값이 약 400~550gf로 나타났다. 이 결과로부터 리플로 솔더링이 220~250℃ 온도 구간에서 행하여진다면 Sn3Ag8Bi5In솔더가 Sn37Pb솔더와 비슷한 전단강도값을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 특히 일반적인 솔더링 온도인 220~240℃에서는 Sn3Ag8Bi5In 솔더가 Sn37Pb솔더보다 약 50gf정도 높은 강도값을 보였다. 이는 Bi에 의한 고용강화, 입자분산강화 그리고 Ag3Sn 입자분산강화 등 여러 가지 현상이 작용한 것으로 추정된다.

Fig. 6(b)는 리플로 솔더링 온도와 솔더의 용융온도의 차이 변화에 따른 전단강도 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 SnAgBiIn솔더와 SnPb솔더의 리플로 솔더링 온도조건은 같은 반면 두 솔더의 용점(Sn3Ag8Bi5In:205℃, Sn37Pb:183℃)이 다르기 때문에 전구간의 비교에 곤란한 점이 있다. 하지만 리플로 솔더링 온도와 솔더의 용융온도의 차가 약 35~45℃일 때, 즉 솔더의 용점보다 약 35~45℃ 높은 온도로 리플로 솔더링을 행한다면 Sn3Ag8Bi5In솔더의 전단강도값이 Sn37Pb솔더보다 약 20~50gf 정도 높음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 Sn3Ag8Bi5In솔더를 220℃~250℃로 리플로 솔더링 한 후, 110℃에서의 시효에 따른 전단강도 변화를 나타내고 있다. 솔더링 직후의 강도보다 등온열처리를 거치면서 전단강도값이 증가하여 일정수준의 강도값을 유지하고 있다. 온도별로는 220℃의 경우 약간 강도가 상대적으로 낮은편이나, 230~250℃의 경우 강도는 대체로 유사하였다.

230~250℃의 솔더링 온도에서 리플로 솔더링한 직후에 약 460~480gf 정도의 전단강도값을 보이고 있으나, 5일정도의 등온열처리를 거치면서 약 550~600gf로 전단강도값이 급격히 증가하였다. 그리고 그 이후 36일까지는 전단강도가 대체로 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. Lee<sup>7)</sup>등과 Li 등<sup>8)</sup>은 Sn-Ag계 솔더가 솔더링 후에 등온열처리를 거치게 되면 전단강도값

이 서서히 감소하는 경향을 보인다고 보고한바 있다. 또한 일반적으로 Bi가 함유된 솔더는 등온열처리에 취약하다고 알려져있다<sup>9)</sup>. 그러나 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 Sn3Ag8Bi5In솔더는 리플로 솔더링을 행한 후 등온열처리를 거치면서 Lee와 Li 등의 보고와는 달

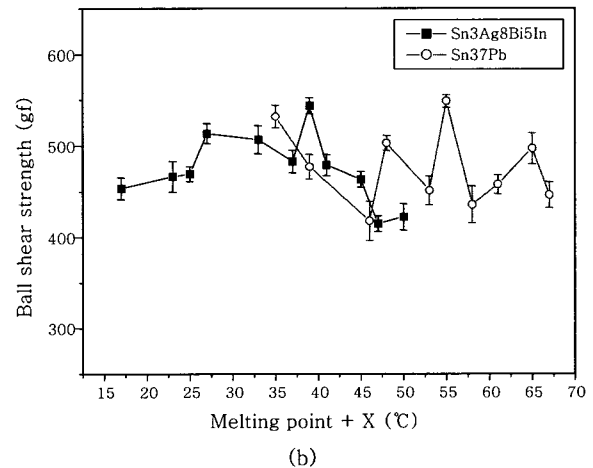
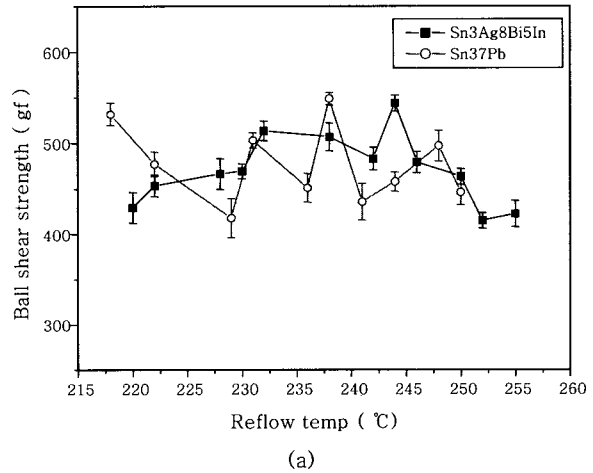


Fig. 6 Effect of reflow temperature(a), and melting temp+X℃(b) on ball shear strength

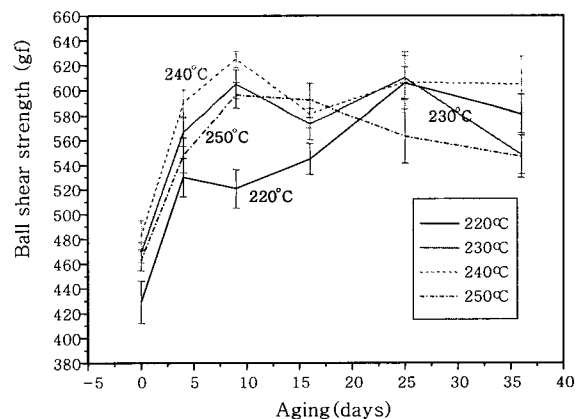


Fig. 7 Relationship between aging time and ball shear strength

리 강도값이 증가하였으며 36일(864hours)이 경과한 후에도 뚜렷한 전단강도값의 감소가 관찰되지 않았다. 이는 Bi가 첨가된 Sn-Ag계 합금에서 나타나는 문제점인 등온열처리에 따른 강도의 저하를 In이 함께 함유되면서 보완한 것으로 추정된다<sup>10)</sup>. 본 연구에서 사용된 Sn3Ag8Bi5In솔더의 장기간의 등온열처리에 대한 신뢰성을 평가하기 위해서는 열처리시간을 충분히 더 길게하여 연구할 필요가 있지만, 현재까지의 연구결과를 통하여 Sn3Ag8Bi5In솔더가 등온열처리를 거치면서 강도가 급격하게 떨어지지 않음을 추측할 수 있었다.

#### 4. 결 론

Sn3Ag8Bi5In 솔더, Sn37Pb 솔더 그리고 Sn3.5Ag 솔더를 사용하여 Sn, Ni, Au/Ni을 각각 무전해도금한 구리 패드에 대한 젖음특성을 알아보았다. 그리고 Au/Ni/Cu의 UBM을 형성시킨 FR4 기판에 대한 BGA 전단강도 시험을 행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 구리 패드에 Sn, Au/Ni을 도금한 시편의 영점시간은 도금하지 않았을 때보다 짧았고, Ni을 도금한 경우에는 도금하지 않았을 때보다 길었다.
- 2) 구리 패드에 Sn, Ni, Au/Ni을 각각 도금한 시편의 젖음시간은 도금하지 않았을 때보다 짧았다.
- 3) 구리 패드에 Sn을 도금한 시편의 젖음력은 도금하지 않았을 때보다 높았고, Ni 또는 Au/Ni을 도금한 경우에는 도금하지 않았을 때보다 낮았다.
- 4) 리플로 온도변화(220~250°C)에 따라 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 BGA전단강도는 Sn-Pb 솔더볼과 유사한 수준의 값을 얻을 수 있었다.
- 5) Sn3Ag8Bi5In솔더는 등온열처리에 따라 BGA전단강도가 급격하게 저하되지 않음을 확인할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 2001년도 서울시립대학교의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 정재필, 신영의, 임승수 : 무연 마이크로 솔더링, 삼성실업 (2001) (in Korean)
2. B. Trumble : Get the lead out!, IEEE spectrum, 35-5 (1998), 55-60
3. Moon Il Kim, Kyu Sik Shin, Jae Phi Jung : Research Trends of Sn-Ag Based Pb-Free Solders, Journal of KWS, 19-1 (2001), 15-20 (in Korean)
4. C. Lea and W. A. Dench : Quantitative Solderability Measurement of Electronic Components Part 2: An Index of Solderability, Soldering & Surface Mount Technology, No. 4, (1990), 14
5. Won Kyoung Choi, Hyuck Mo Lee : Effect of Ni layer thickness and soldering time on intermetallic compound formation at the interface between molten Sn-3.5wt%Ag and Ni/Cu substrate, Journal of Electronic Materials, 28-11 (1999), 1251-1255
6. C. Y. Liu, Jian Li, G. J. Vandentop, W. J. Choi and K. N. Tu : Wetting Reaction of Sn-Ag Based Solder Systems on Cu Substrates Plated with Au and/or Pb Layer, JEM, 30-5 (2001), 521-526
7. Ka Yau Lee, Ming Li, Dennis R. Olsen, William T. Chen, Ben T.C. Tan and Subodh Mhaisalkar : Microstructure, Joint Strength and Failure Mechanism of Sn-Ag, Sn-Ag-Cu versus Sn-Pb-Ag Solders in BGA Packages, Proceedings of 2001 Electronic Components and Technology Conference, (2001), 143-147
8. Li, Jin-Wook Jang and Becky Allmen : Shear Property and Microstructure Evaluation of Pb-free Solder Bumps under Room Temperature and Multiple Reflow/High Temperature Aging, Proceedings of 2001 International Symposium on Advanced Packaging Materials, (2001), 347-353.
9. C. Chen, C. E. Ho, A. H. Lin, and C. R. Kao : Long-Term Aging Study on the Solid-State Reaction Between 58Bi42Sn Solder and Ni Substrate, JEM, 29-10 (2000), 1200-1206
10. 정재필, 신영의, 임승수 : 무연 마이크로 솔더링, 삼성실업 (2001), 50-51 (in Korean)