

## 자동차 전장용 무연 솔더 기술

이순재 · 정재필<sup>†</sup>

서울시립대학교 신소재공학과

### Lead-free Solder Technology and Reliability for Automotive Electronics

Soon-Jae Lee and Jae-Pil Jung<sup>†</sup>

Department of Materials Science and Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received September 3, 2015; Corrected September 17, 2015; Accepted September 23, 2015)

**Abstract:** In this study, properties of Pb-free solders for automotive electronics parts were discussed. Lead-free solders for electronics became important after RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances) to avoid environmental pollution. Also the growing electronic rate in automotive parts and ELV (End-of Life Vehicles) make Pb-free solder for automotive electronics to be inevitable trend. Definitely, Pb-free solder for automotive electronics should have good wettability, basic strength, but need more reliability than other solders, since it has harsh condition like high temperature, humidity and engine vibration. Thus, shear strength test, thermal shock, drop test and many others are needed to ensure the high reliability. This study describes the properties and requirements of Pb-free solders for automotive electronics.

**Keywords:** automotive electronics, Pb-free solder, ELV, reliability

## 1. 서 론

전자재료 전반에 걸쳐 사용되던 주석(Sn)-납(Pb)계 솔더는 2000년 중반 이후 유해물질사용제한지침(RoHS, Restriction of the use of certain Hazardous Substances)이 시행되면서 점차 사용량이 줄어들고, 반대로 무연솔더에 관한 개발 및 적용이 증대되었다. 무연솔더는 종전에 사용하던 인체에 유해한 납을 배제하고 그에 대한 대체재로 주석(Sn), 은(Ag), 구리(Cu), 니켈(Ni) 등을 사용한 합금계 솔더이다. 이러한 무연솔더는 냉장고, 에어컨, 컴퓨터 등 대부분의 가전제품에는 자리를 잡은 상태이나, 최근 자동차 산업에서 차량내 편의기능을 갖춘 전자기기와 부품이 보급되면서 자동차 전장용 무연솔더에 대한 적용도 압박해 있다.

자동차의 경우 RoHS와 더불어 폐차처리지침(ELV, End-of Life Vehicles)<sup>1)</sup>에 의해 부품이 친환경적이어야 하므로, 자동차 전장용 전자기기에도 무연솔더의 적용이 불가피하다. 자동차 전장품 시장은 앞서 말한 요구에 맞춰 지속적으로 증가하는 추세이며 차량 전장화율은 2010년 35%에서 2030년에는 50%에 육박할 것으로 예상되고(Fig.

1 참조), 차량 내 원가 비중으로 보면 2010년에는 32%, 2020년에는 70% 도달할 것으로 전망하고 있다(Fig. 1 참조).<sup>1)</sup>

자동차 전장용 부품들은 다른 전자산업 부품에 비해 높은 기술력 및 원가가 높은 재료를 필요로 한다. 자동차 전장용 부품들의 원가가 높은 이유로는 여타 전자제품에 비해 고신뢰성이 요구되기 때문인 것으로 생각된다.<sup>2)</sup> 즉, 1) 자동차 엔진열을 견딜 수 있는 내열특성과 2) 자동차 운행 중 기상변화에 의해 발생 될 수 있는 고습 조건에 따른 내습특성 3) 엔진 및 운행 중 발생하는 진동에 견딜 수 있는 내구성 등이 필요하기 때문이다.

본고에서는 무연 솔더를 자동차 전장용으로 사용하기 위한 무연 솔더 합금, 무연 솔더 특성, 신뢰성 확보 등에 관하여 기술하고자 한다.

## 2. 자동차 전장용 무연 솔더링

### 2.1. 솔더링

솔더링(Soldering)은 통상 금속을 450°C 이하의 저온에서 접합하는 방법으로 전자제품이 보급되면서 급격히 발

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: [jjung@uos.ac.kr](mailto:jjung@uos.ac.kr)

© 2015, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

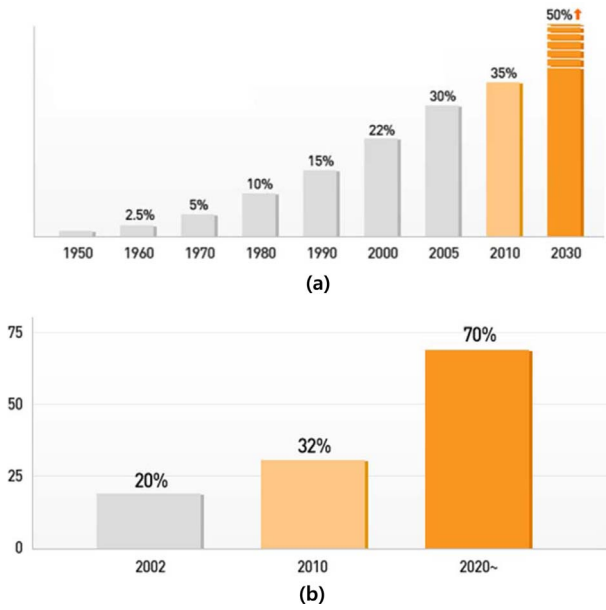


Fig. 1. (a) The ratio of electrical parts in automotive, (b) Cost ratio of automotive electronics to produce automobile.<sup>3)</sup>

전하였다. 전자재료에 흔히 쓰이는 SAC305(Sn96.5%, Ag3%, Cu0.5%)의 용점이 약 218°C인 것과 높은 수율을 위해 용점에 비해 약 25-45°C 정도 높은 온도에서 공정이 진행되는 것을 감안하면 전자재료 접합공정의 온도는 250°C 내외이고, 대부분의 전자재료는 솔더링을 통하여 접합된다.

솔더링은 기본적으로 모세관 현상(Capillary phenomenon)에 의해 흡수, 접합되는 과정을 거치므로 접합이 잘 이루어지기 위해서 첫째로 필요한 것은 모재와 필러간의 충분한 젖음성(wettability) 또는 접촉각(contact angle)이다. 접촉각을 측정하는 것을 물방울모양분석(DSA, Drop Shape Analysis)으로 접촉각이 작을 수록 잘 젖었다고 한다(Fig. 2 참조).<sup>5)</sup> 그러나 실제 공정에서는 젖음성을 젖음 속도 즉 젖음시간으로 판단하기도 하는데, 젖음시간은 모재에 솔더가 젖는데 걸리는 시간 또는 젖어있는 시간을

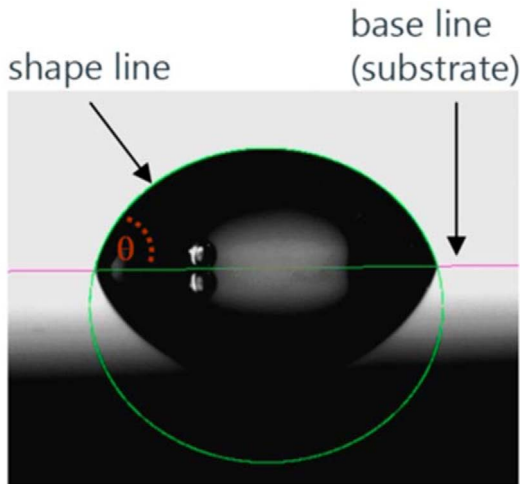


Fig. 2. DSA (Drop Shape Analysis).<sup>5)</sup>

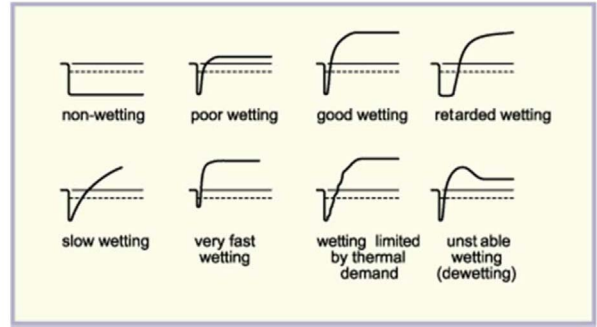
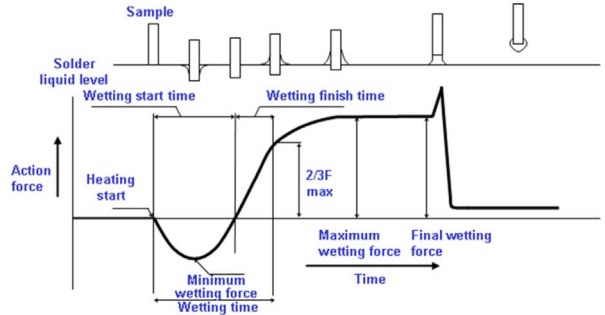


Fig. 3. Wetting balance test.<sup>7,8)</sup>

말한다. 이러한 젖음시간을 측정할 때에는 IEC 68-2-20 평가방법<sup>6)</sup>(Wetting balace test)을 사용하는데(Fig. 3 참조),<sup>7,8)</sup> 이 때에는 영점 시간(ZCT, Zero-Cross Time)과 젖음력(Wetting Force)을 통해 젖음성을 판단한다.<sup>9)</sup> 젖음성이 좋을 수록 동일한 조건에서 영점 시간이 짧고 젖은 후의 젖음력이 커야한다. SnAgCu 계열의 솔더의 경우 245°C에서 실험 시 영점 시간이 3초 이내가 되어야 사용 가능한 솔더로 규정하고 있고, 모든 솔더에서 젖음력이 0인 경우 솔더링이 불가능하다고 판단한다.

젖음성은 솔더링 공정과정에서 중요하지만, 솔더링 후에는 우수한 접합강도를 확보하는 것이 중요하다. 접합강도 평가의 대표적인 것으로, 전단강도나 충격특성 평가에 많이 사용되는 낙하 시험법(drop test)이 있다. 솔더링의 전단강도측정은 크게 저속(0.0001-0.0008 m/s)과 고속(0.01-1.0 m/s 이상)으로 나뉘며<sup>7)</sup> 시험규격으로는 JEDEC (Joint Electron Device Engineering Councils) 규격 JESD22-B117A이 있다.<sup>10)</sup> 또한 전단강도 측정은 강도 외에도 파단면 분석을 통하여 솔더의 특성을 평가하는 척도로 사용이 되는데, 파단면을 분석하여 연성파괴(ductile fracture)와 취성파괴(brittle fracture)를 분류한다(Fig. 4 참조).<sup>9)</sup> 파단면을 보면 연성파괴와 취성파괴가 동시에 일어나거나 취성파괴만 일어난 것을 확인 할 수 있다. Fig. 4의 경우 전단강도 속도에 따라 파괴 단면을 나타내었는데, 속도가 증가 할수록 연성파괴가 일어나는 면적이 줄어들고 1.0 m/s일 때 100% 취성파괴가 일어났다. 취성파괴는 대체로 솔더링 과정에서 생성된 금속간 화합물(IMC, Intermetallic compound)에서 일어나게 되어 강도의 급격한 저하를 가져온다. 따라서 파단면 분석 시 연성파괴가 주로 일어나는 솔더가 강도도 더 우수한 솔더링에 적합

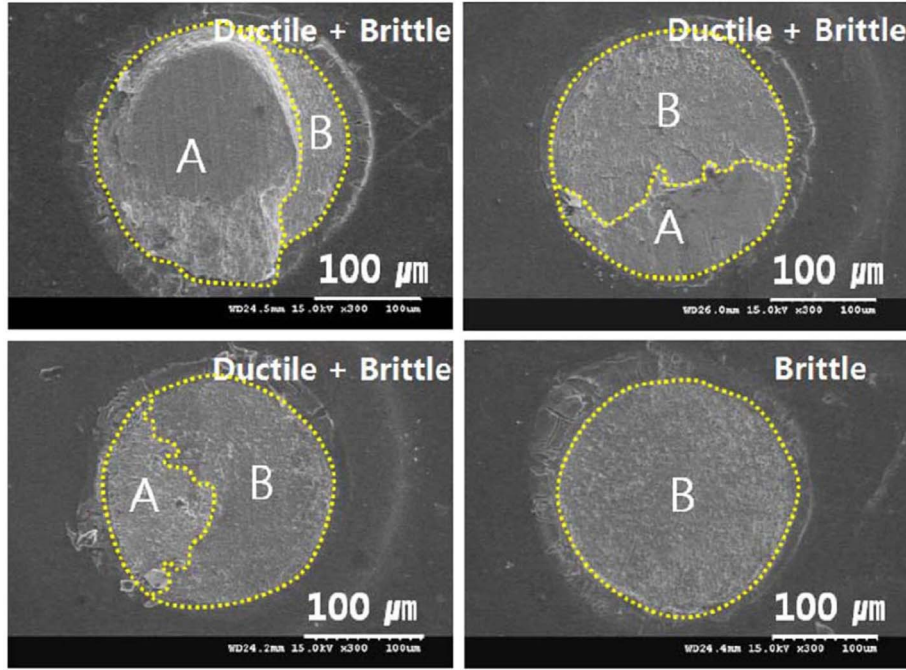


Fig. 4. Fracture surfaces with various speeds for ENIG (SAC305, A;ductile, B; brittle fracture, shearing speed; (a) 0.25 m/s, (b) 0.3 m/s, (c) 0.6 m/s, (d) 1.0 m/s).<sup>9)</sup>

한 솔더라 할 수 있다.<sup>11)</sup>

2.2. 무연 솔더 9 12

2006년 유해물질사용제한지침 이후 여러 무연 솔더가 개발 되었으며 현재 SAC305, SAC105(Sn98.5%, Ag1%, Cu0.5%)가 전자제품에서 가장 많이 쓰이고 관련된 특성 연구도 활발히 진행되고 있다.<sup>9,12-15)</sup> 그 외에도 비스무스(Bi),<sup>16,17)</sup> 니켈(Ni),<sup>18)</sup> 금(Au),<sup>19)</sup> 텅스텐(W)<sup>20)</sup> 등을 사용한 합금이나 SAC의 함량비를 바꾸어 진행한 연구 또한 보고되고 있다. 각각 첨가된 합금원소들은 저융점 특성, 도금 특성, 열팽창계수에 영향을 준다.

비스무스의 경우 Sn과의 공정점인 Sn-58 wt.%Bi를 주로 사용하는데, 융점이 138°C로 저융점 솔더링에 주로 사용되며 대표적으로 이방성 도전막(ACF, Anisotropic Conductive Films)에 사용된다. 또한 금, 은 같은 귀금속을 함유하지 않아 가격이 저렴하지만 취성이 강하다고 알려져 있다.<sup>16,17)</sup> 취성이 강한 성질을 보완하기 위해 에폭시 복합솔더에 관한 연구도 진행 중이며 에폭시 복합솔더를 통하여 전단강도가 약 두 배정도 증가한 연구도 보고되고 있다.<sup>26)</sup> 니켈이나 금의 경우 SAC305 또는 구리의 대체수단으로써 TSV에 충전하거나 범프형성을 위해 연구 되고 있으며 구리-니켈 합금을 TSV에 충전하여 Cu에 비해 1.3 배 빠르게 충전한 연구결과가 보고되고 있고,<sup>18)</sup> 전도성이 좋은 금을 이용한 범프형성에 관한 컴퓨터 모델링 연구도 보고되고 있다.<sup>19)</sup> 텅스텐의 경우 구리에 비해 열팽창계수(CTE, Coefficient of Expansion)가 작음을 이용하여 TSV 충전 후 돌출을 억제하는 연구가 보고되고 있다(Fig. 5 참조).<sup>20)</sup> TSV가 주로 사용되는 전자기기의 경우 오랜

시간 사용함에 따라 지속적인 열이 가해진다. 이러한 열에 의한 충격(Thermal stress)는 TSV내의 금속의 열팽창을 원인이 되고 팽창한 TSV내의 Cu는 제품의 신뢰성 및 수명에 악영향을 미친다. Fig. 5의 (a)는 450°C에서 30분 동안 열처리한 구리를 충전한 TSV의 돌출 거동이고 (b)는 같은 조건에서 구리-텅스텐 합금을 충전한 TSV의 돌출 거동이다. 구리를 충전했을 때가 구리-텅스텐 합금을 충전했을 때 보다 약 4배 더 돌출되었다.<sup>20)</sup> 이러한 돌출 경향은 텅스텐 외에도 Cu에 비해 열팽창계수가 작은 금속을 합금으로 사용함으로써 감소시킬 수 있으나, 귀금속을 사용하는 경우 가격의 상승이 불가피 하고, 설계된 합금의 성질에 따라 취성을 가지거나 전도성이 저하되는 경우도 발생한다.<sup>16,17)</sup> 전술한 합금들은 크립솔더 형태로 PCB(Printed Circuit Board)에 프린팅 한 후 리플로우(reflow)공정을 거치며 솔더링이 진행되었거나 FCP, TSV에 사용할 수 있는 솔더볼(Solder ball), 범프(Bump)를 형성하였다.<sup>9,11-20)</sup>

2.3. 자동차 전장용 솔더의 신뢰성

전자기기 분야에서 SAC계열의 무연 솔더가 보편적으로 쓰이고 있다고 해도 가혹한 사용환경을 요구하는 자동차 전장용 솔더로써는 앞서 언급한대로 내열특성, 내진동특성, 내구성 등이 부족한 상황이다. 자동차 전장품은 일반적인 전자기기와 달리 반복적인 가열 및 냉각, 진동, 충격 등에 노출되어 있기 때문에 자동차 전장품의 환경시험 조건은 다른 전자기기에 비해 그 기준이 높다 (Table 1 참조).<sup>23)</sup> Table 1을 참고하면 가정에서 사용하는 제품의 경우 사용온도가 0°C에서 40°C, 산업에 사용하는



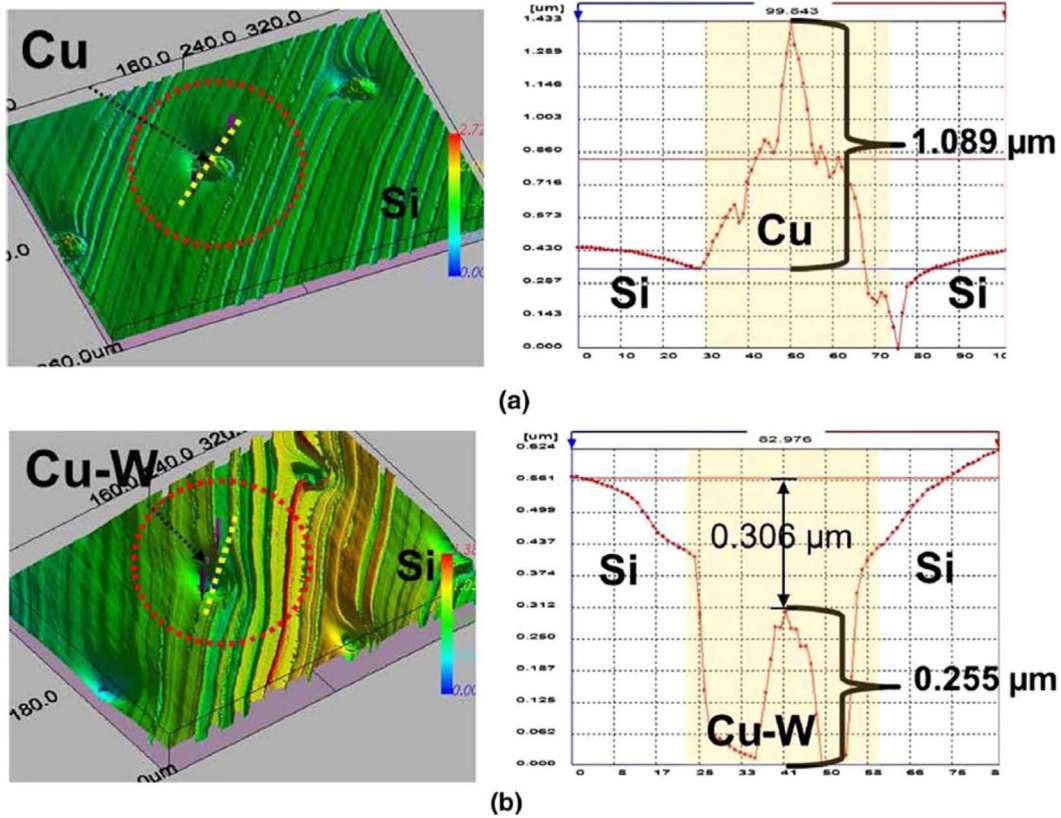


Fig. 5. 3D surface images and the corresponding depth profiles of (a) Cu-filled TSV and (b) Cu-W filled TSV via after annealing for 30 min at 723 K (450°C).<sup>20)</sup>

Table 1. Condition of reliability test for using electronic product<sup>23)</sup>

Parameter	Consumer	Industrial	Automotive
Temperature	0°C ~ +40°C	-10°C ~ +70°C	-40°C ~ +155°C
Operation Time	1~3 years	5~10 years	up to 15 years
Humidity	Low	Environment	0-100%
Tolerated failure rates	3%	<<1%	failure
Supply	up to 2 years	up to 5 years	up to 30 years

온도가 -10°C에서 70°C인 반면 자동차의 경우 -40°C에서 최고 155°C까지 견뎌야 한다. 자동차는 실외에서 사용하기 때문에 나라별로 -40°C에서 작동해야 하거나, 엔진 또는 외부 온도에 의해 150°C 이상에서도 작동이 가능해야 한다. 또한 가정용 제품의 최대 5배, 산업용 제품의 최대 3배의 사용시간을 갖고, 공급기간은 가정용의 15배, 산업용의 6배를 요구한다. 습도 또한 외부환경에 의해 최대 100%까지 견딜 수 있어야 하며, 안전과 직결되는 제품 손상률은 0%를 목표로 한다.

자동차 전장품의 가혹한 사용환경들을 극복하기 위해 여러 무연 솔더 합금이 개발되고 있으며 솔더들에 대한 신뢰성 테스트에 관한 연구도 진행되고 있다. 고온용 솔더로는 상업적으로 Sn-3.5Ag, Sn-0.7Cu, Sn-5.0Sb가 상업적으로 많이 사용되며 이에 대한 연구도 보고 되고 있다 (Fig. 6 참조).<sup>24)</sup> Fig. 6의 그래프는 열충격시험, 열사이클,

복합진동시험에 따른 저항의 변화를 나타내었다. 열충격, 열사이클의 수가 증가할수록 Sn3.5Ag 솔더의 전기 저항이 급격하게 증가하는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 판상의 금속간화합물 Ag<sub>3</sub>Sn이 성장하면서 전기저항의 증가한 것으로 알려져있다. 이는 은을 포함한 솔더가 열충격과 열사이클이 반복되는 열피로 환경 즉 전장용으로 사용되기 어렵다는 결과이다.<sup>24)</sup> 이에 자동차 전장용 솔더로 은을 첨가하지 않고 칼슘(Ca)이나 크롬(Cr)을 첨가하여 솔더의 특성을 향상 시키기는 중온계 솔더에 관한 연구도 보고되고 있다. 크롬이나 칼슘은 산화에 취약하여 주석과 압연하여 용융 시키는 방법으로 합금화 하여 사용하는데, 주석-구리 솔더에 크롬을 0.2% 첨가함으로써 230.9°C로 약 4°C의 용점 상승과, 칼슘을 추가로 0.15% 첨가함으로써 231.3°C로 용점이 상승하였다. 또한 크롬의 첨가가 구리와 주석의 금속간 화합물인 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 형

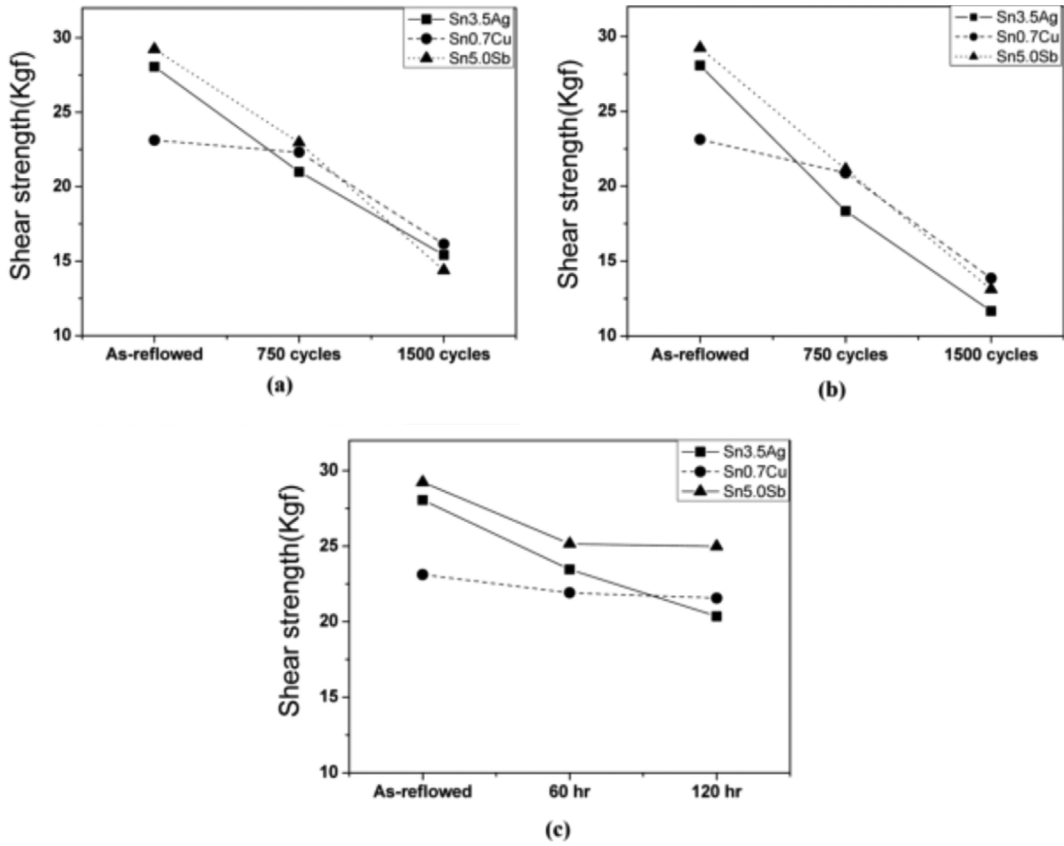


Fig. 6. Shear strength variation of the three lead-free solders during (a) thermal shock test, (b) thermal cycle test, and (c) complex vibration test.<sup>24)</sup>

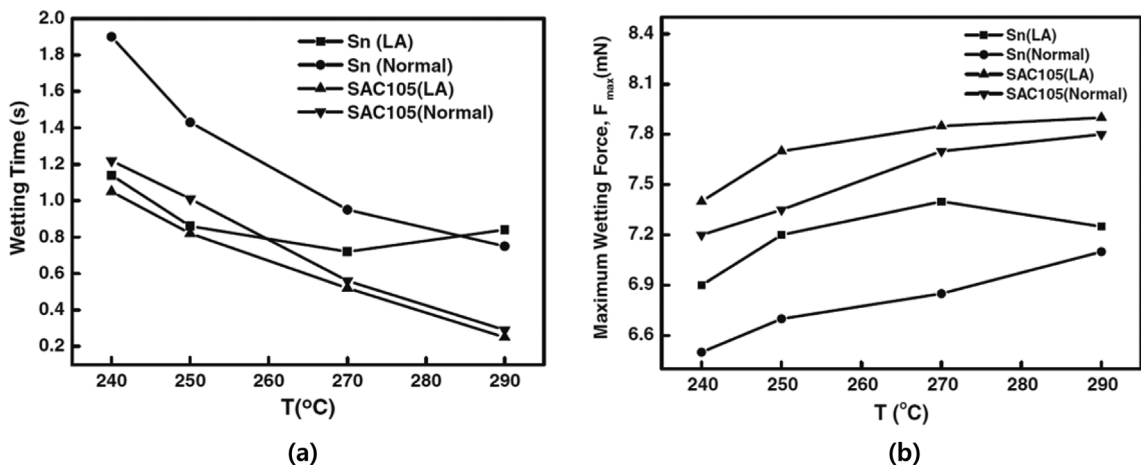


Fig. 7. (a) wetting time at various temperatures, and (b) Maximum wetting force versus temperature.<sup>26)</sup>

상을 컬럼러 구조에서 라운드 타입의 형상으로 바뀌게 되어 주석의 확산을 억제하고 이로 인해 금속간 화합물의 성장 또한 억제하는 효과가 있음을 연구하였다.<sup>23)</sup>

자동차 전장품은 일반적인 사용시간(Operation Time)이 최대 15년으로, 가혹한 환경 뿐 아니라 다른 전자기기에 비해 오랜기간 동안 사용이 가능해야 한다. 장기간 사용하여 그 신뢰성을 확보해야 하는 경우 학계에 이미 알려진 대로 알파선(alpha ray)에 의한 소프트 에러(soft error)에 대한 대비도 필수적으로 필요하다. 소프트 에러의 원

인이 되는 방사성 원소는 고순도의 솔더를 사용함으로써 해결할 수 있는데, 제조된 고순도 솔더는 기존의 솔더와 물성에도 차이를 가지게 된다. 고순도로 제작된 솔더의 물성은 대체로 향상되는 편이나,<sup>25,26)</sup> 고순도로 만들어진 로우알파(Low alpha)솔더는 제조공정 중 원가상승의 원인이 된다. 하지만 고신뢰성 및 안정성을 요구하는 자동차 전장용 솔더에는 불가피한 선택이 되었고 이에 따라 로우알파솔더와 기존의 솔더의 특성을 비교 평가하는 연구도 진행되고 있다(Fig. 7 참조).<sup>25,26)</sup> Fig. 7에서 각 온도

에 따른 로우알과 솔더는 기존의 솔더에 비해 대체로 젖음시간이 감소하고 젖음력이 증가하는 성향을 보인다. 온도가 증가할수록 그 차이가 뚜렷하게 보이는데, 290°C에서 두 로우알과 솔더는 약 0.3초, 기존솔더는 약 0.8초로 젖음시간이 측정되고 젖음력의 경우 두 로우알과 솔더는 약 7.9 mN 기존솔더는 7.1 mN로 측정되었다. 실험에 사용된 로우알과 솔더는 우라늄(U)과 토륨(Th)의 함량이 0.005 ppb 이하로(기존 솔더의 경우 0.5-1.2 ppb 수준), 로우알과를 위해 불순물을 제거하였으나 알과선의 감소 외에도 향상된 젖음성 또한 얻을 수 있다.<sup>25,26)</sup>

### 3. 결 론

자동차 전장용 무연 솔더링 기술과 고신뢰도 확보를 위한 가능성에 관하여 소개하였다. 차세대 무연 솔더는 저렴하면서 내열성, 내구성 등의 고신뢰도를 확보하여야 하며, 긴 수명을 가져야 한다. 또한 앞서말한 조건들을 충족시키면서 충분한 접합강도가 보장 되어야 한다. 본고에서는 무연 솔더합금의 개발이 지속적으로 이루어지면서 자동차 전장용 무연 솔더가 점차 최적화 될 것이라 기대한다.

### 감사의 글

This work (Grants No. C0213709) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy and Research Institute funded Korea Small and Medium business Administration in 2014.

### References

1. Y. H. Ko, S. H. Yoo and C. W. Lee, "Evaluation on Reliability of High Temperature Lead-free Solder for Automotive Electronics", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 17(4), 35 (2010).
2. S. I. Son, Y. E. Shin and Y. J. Jeon, "A Study on Tensile Characteristic of QFP Lead-free Joint for Automotive Electrical Parts", *KSPE*, 1103-110 (2010).
3. Electronics in automotive form [http://www.spidconsulting.com/index.php/user/common/menu\\_link/2](http://www.spidconsulting.com/index.php/user/common/menu_link/2)
4. B. I. Noh, J. W. Yoon, Bui Quoc Vu and S. B. Jung, "Study on Wettability of Sn-Xwt%Cu Solder", *Journal of KWJS*, 25(6), 12 (2007).
5. KRUSS, "Drop Shape Analysis", <http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/drop-shape-analysis/>.
6. SEI Electronics Inc., Reliability Testing Procedures, [http://www.twinstar-tech.com/product\\_sei/SingleLayerApplication.pdf](http://www.twinstar-tech.com/product_sei/SingleLayerApplication.pdf).
7. JFE Techno-Research Corporation, "Solder wettability test", <http://www.jfe-tec.co.jp/en/electronic-component/case/case03.html>.
8. [http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0149\\_stst/index.html](http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0149_stst/index.html).
9. D. H. Jung, W. G. Lee and J. P. Jung, "Effect of Shearing Speed and UBMs on High Speed Shear Properties of Sn3.0Ag0.5Cu Solder Ball", *J. Met. Mater.*, 49(8), 1 (2011).
10. JESD22-B117A, JEDEC Solid State Tech. Association (2006).
11. C. H. Yu and K. S. Kim, "Thermal Cycling Analysis of Flip-Chip BGA Solder Joints", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 10(1), 45 (2003).
12. Y. G. Lee, H. Y. Lee, J. T. Moon, J. H. Park, S. S. Han and J. P. Jung, "Characteristics of the High Speed Shear Test for sn-3.0wt.%Ag-0.5wt.%Cu Solder Ball Joints", *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, 47(9), 580 (2009).
13. Santosh Kumar, J. Y. Park and J. P. Jung, "Analysis of high speed shear characteristics of Sn-Ag-Cu solder joints", *Electronic Materials Letters*, 7(4), 365 (2011).
14. D. H. Jung, Y. G. Lee and J. P. Jung, "Shearing Characteristics of Sn3.0Ag0.5Cu Solder Ball for Standardization of High Speed Shear Test", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 18(1), 35 (2011).
15. W. G. Lee and J. P. Jung, "Effect of Shearing Speed on High Speed shear Properties of Sn1.0Ag0.5Cu Solder Bump on Various UBM's", *Kor. J. Met. Mater.*, 49(3), 237 (2011).
16. Y. G. Lee, J. G. Park, C. W. Lee and J. P. Jung, "Electrodeposition of the Sn-58wt.%Bi Layer for Low-Temperature Soldering", *Met. Mater. Int.*, 17(1), 117 (2011).
17. M. H. Roh, J. P. Jung and W. J. Kim, "Electroplating Characteristics of Sn-Bi Microbumps for Low-Temperature Soldering", *IEEE Transactions on component Packaging and Manufacturing Technology*, 3(4), 566 (2013).
18. S. C. Hong, Santosh Kumar, D. H. Jung, W. J. Kim and J. P. Jung, "High Speed Cu-Ni Filling into TSV for 3-Dimensional Si Chip Stacking", *Met. Mater. Int.*, 18(1), 123 (2013).
19. W. H. Song, Ali Karimi, Wan Huang, Michael Mayer, Norman Zhou and J. P. Jung, "Finite Element Modeling of Simultaneous Ultrasonic Bumping With Au Balls", *J. Electronic Packaging*, 131, Dec. (2009).
20. M. H. Roh, Ashutosh Sharma, J. H. Lee and J. P. Jung, "Extrusion Suppression of TSV Filling Metal by Cu-W electroplating for Three-Dimensional Microelectronic Packaging", *Metall. and Mat. Trans. A* (2015).
21. M. H. Roh, H. Y. Lee, W. J. Kim and J. P. Jung, "Fabrication and Characteristics of electroplated Sn-0.7Cu Micro-bumps for Flip-Chip Packaging", *Kor. J. Met. Mater.*, 49(5), 411 (2011).
22. S. J. Hong, S. C. Hong, W. J. Kim and J. P. Jung, "Copper Filling to TSV(Through-Si-Via) and Simplification of Bumping Process", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 17(3), 79 (2010).
23. J. H. Bang, D. Y. Yu, Y. H. Ko, J. H. Kim and C. W. Lee, "Joint Property of Sn-Cu-Cr(Ca) Middle Temperature Solder for Automotive Electronic Module", *Journal of KWJS*, 31(5), 54 (2013).
24. Santosh Kumar, Shalu Agarwal and J. P. Jung, "Soft Error Issue and Importance of Low Alpha Solders for Microelectronics Packaging", *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 34, 185 (2013).
25. Santosh Kumar, D. H. Jung and J. P. Jung, "Wetting behavior and elastic properties of low alpha SAC105 and pure Sn solder", *J. Mater. Sci. Tater. Electron.*, 24(6), 1748 (2013).
26. J. S. Kim, W. R. Myung and S. B. Jung, "Effect of Aging treatment and Epoxy on Bonding Strength of Sn-58Bi solder nad OSP-finished PCB", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(4), 97 (2014.)



- 이순재
- 서울시립대학교 대학원생
- 마이크로접합, 브레이징, 전자패키징
- e-mail: tnswo123@uos.ac.kr



- 정재필
- 서울시립대학교 교수
- 마이크로접합, 전자패키징, 전해도금
- e-mail: jpjung@uos.ac.kr