# 에폭시 솔더 페이스트 소재와 적용

문 종 태 · 엄 용 성 · 이 종 현

대한용접·접합학회지 제33권 3호 별책

2015. 6

특 집 논 문

ISSN 1225-6153
Online ISSN 2287-8955

# 에폭시 솔더 페이스트 소재와 적용

문 종 태* · 엄 용 성** · 이 종 현***,†

*(주)호전에이블
**한국전자통신연구원 정보통신부품연구소
***서울과학기술대학교 신소재공학과

# Epoxy solder paste and its applications

Jong-Tae Moon*, Yong-Sung Eom** and Jong-Hyun Lee***,†

*Hojeonable, Inc. Daejeon 305-510, Korea
**Energy Transfer Device Lab., Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon 305-700, Korea
***Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

†Corresponding author : pljh@snut.ac.kr
*(Received June 22, 2015 ; Accepted June 25, 2015)*

## Abstract

With the simplicity of process and high reliability in chip or package bonding, epoxy solder paste (ESP) has been recently considered as a competitive bonding material. The ESP material is composed of solder powder and epoxy formulation which can remove oxide layers on the surface of solder powder and pad finish metal. The bonding formed using ESP shows outstanding bonding strength and suppresses electrical short between adjacent pads or leads owing to the reinforced structure by cured epoxy after the bonding. ESP is also expected to suppress the formation and growth of whisker on the pads or leads. With the mentioned advantages, ESP is anticipated to become a spotlighted bonding material in the assembly of flexible electronics and electronic modules in automotive vehicles.

Key Words : Bonding material, Solder paste, Epoxy, High reliability, Flexible electronics, Automotive electronic module

## 1. 서 론

최근 국내 전자 패키징 업체는 대만 업체의 기술 향상과 중국 업체의 규모의 경제로 인하여 물량 확보에서 큰 어려움을 겪고 있는 것으로 알려지고 있다. 이는 그동안 국내 패키징 업체들이 후발 국가들에 비하여 유능한 패키지 설계 인력 및 생산성 높은 공정 기술을 보유했음에도 적극적인 선행 투자에 주저하면서 패키지 조립 기술의 세계화(보편화)에 따른 생산 장비, 공정 및 신규 패키지 연구개발의 유사화로 후발 경쟁 업체들에 비하여 차별적 요소를 만들지 못한 상황에 기인한다. 따라서 최근 국내 패키징 파운더리 업체들은 이러한 상황을 개선시키기 위해 많은 노력들을 기울이고 있는데, 대표적으로 선진 외국업체에서 수입하여 사용하고 있는 패키징 소재들을 국산화하여 생산 가격을 절감하고자 노력하고 있다. 하지만, 현실적으로는 외산 대체용 소재를 국내 업체에서 공급받아 원가를 절감하고 싶어도 인텔, 퀄컴 등의 고객사들을 설득시킬 만큼 준비된 소재를 발견하기는 어려운 실정이다. 이는 단기간 고속 성장한 국내 전자 산업 특성상 오랜 기간 동안 지속적인 연구개발 및 투자를 필요로 하는 소재 산업보다는 자본 투입 효과가 바로 나타나는 조립 제품의 물량 위주 성장에 기인한 바가 크다.

따라서 그동안 제품 제조 비용에서 수 % 이하의 원가여서 주목받지 못한 여러 종류의 패키징 소재 개발에

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.

**Table 1** Classification of solder paste types by powder size

| Type | Powder size (㎛) |
|---|---|
| 2 | 45~75 |
| 3 | 25~45 |
| 4 | 20~38 |
| 5 | 10~25 |
| 6 | 5~15 |
| 7 | 2~11 |
| 8 | 2~8 |

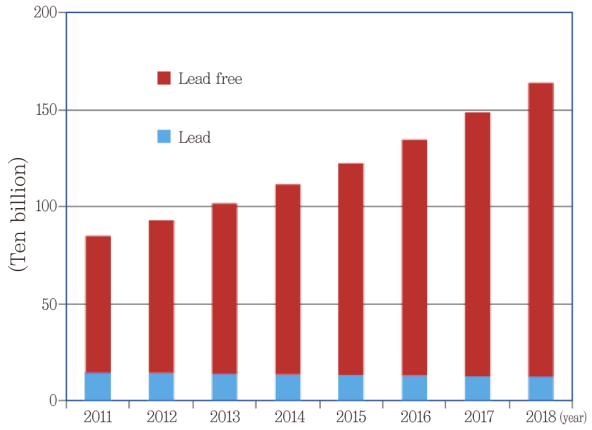


**Fig. 1** Predictive values in worldwide market size for solder paste

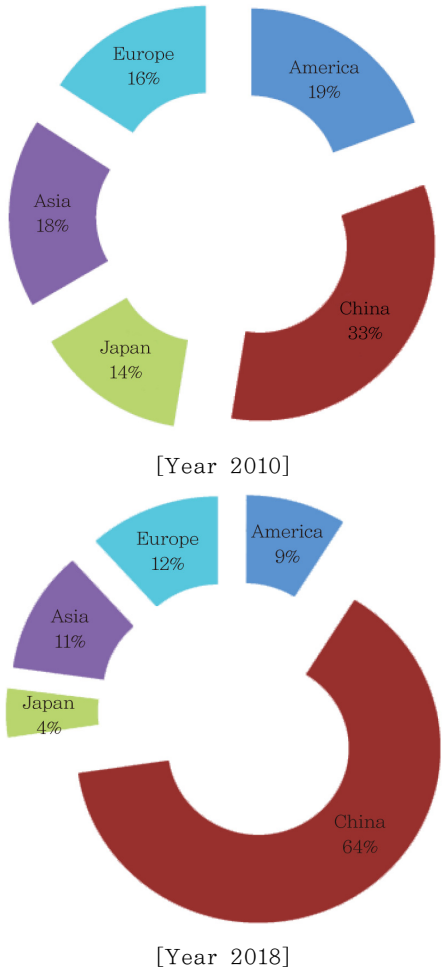


**Fig. 2** Worldwide market size by regional group for solder paste

많은 관심과 연구가 집중되기를 바라며, 본 기고문에서는 향후 광범위한 적용이 기대되는 에폭시 솔더 페이스트(epoxy solder paste, ESP) 소재의 기술적 원리 및 적용 분야에 대해 간략히 소개하고자 한다.[1-7] 이 소재는 2006년부터 한국전자통신연구원에서 국책 연구를 통하여 개발한 에폭시 기반 융합소재 기술이 그 태동으로, 이후 spin-off한 ㈜호전에이블에서 최근 제품화되었다.

## 2. 솔더 페이스트의 정의 및 시장 규모

솔더 페이스트란 PCB 보드 표면에 패키지 및 수동부품 등을 위치시킨 후 열을 가하여 이 부품들을 접합 및 고정할 때 사용하는 소재로, SMT 공정에서 사용하는 솔더 분말과 플럭스(flux)의 혼합 소재로 정의할 수 있다. 플럭스에는 로진(rosin), 솔벤트(solvent), 활성화제(activator), 칙소재(thixotropic agent), 계면활성제(surfactant) 등 기능별로 다양한 성분이 혼합되어 있으며, 이러한 주요 성분의 종류 및 함량이 솔더 페이스트 제품의 특성을 결정하게 된다. 솔더 페이스트 내에는 87~90 wt%의 솔더 분말이 포함되어 있는데, 미세한 분말을 사용할수록 미세 접합이 가능하므로 분말의 타입 변경은 궁극적으로 패키지의 집적도를 증가시킬 수 있다. 예를 들어 현재는 Table 1 중 타입 5의 솔더 분말이 스마트폰의 메인기판 SMT에 적용되고 있으나, 집적도 증가에 대한 지속적인 요구로 인하여 타입 6 크기의 솔더 분말도 점차적으로 사용될 것으로 예상된다.

전 세계 솔더 페이스트 시장을 보수적으로 예측하면 Fig. 1에서 확인되듯이 2014년 기준으로 약 1조 2천억원의 시장이 형성된 것으로 볼 있는데, 국내 시장 규모는 이 중 10%를 약간 넘는 규모로 파악되고 있다. 세계 시장을 지리적으로 분류하면 북미(캐나다, 멕시코, 미국), 유럽, 아시아(중국, 일본, 대만, 한국), 기타(남미, 중동 및 아프리카) 지역으로 각각 분류할 수 있는데, 최근 중국에서의 사용량 증가로 인해 아시아 지역의 매출액이 글로벌 시장의 50%를 넘는 상황이다. 솔

더 합금 조성 중 납(Pb)이 함유된 Pb-Sn계 합금은 지속적으로 그 사용량이 정체되고 있는데, 현재 중국에서도 무연(Pb-free) 솔더 페이스트의 사용량이 80%를 상회하고 있다.[8)]

또한 Fig. 2에 제시되었듯이 2010년부터 2018년까지의 지역별 시장 변화 상황을 예측하자면 미국 및 일본의 선진국 사용량은 점차 감소하는 반면에, 2010년 기준 전 세계 시장의 33%을 점유하던 중국 시장은 2018년(총 시장규모 약 1조 6천억원)에 이르러서는 이의 두배 정도인 64%로 증가할 것으로 예상된다. 실제 중국에서 발간된 최근 자료를 보면 2008년부터 2013년까지 중국 내 시장 규모는 매년 9~10%씩 성장하여 2012년에 이미 약 6천억원의 시장 규모를 형성한 것으로 나타났다.[8)]

솔더 페이스트의 주요 생산 업체는 높은 기술력을 바탕으로 고품질의 제품을 생산하면서 글로벌화가 정착된 Cookson group의 알파메탈과 일본의 센쥬사를 들 수 있는데, 이들 두 회사의 전 세계 시장 점유율이 50%에 이르는 것으로 알려지고 있다. 현재 국내외의 많은 솔더 페이스트 업체들은 치열한 가격 경쟁을 통하여 시장 점유율의 확대 및 유지에 노력하고 있으나, 가격 경쟁 외 기술적 차별성, 즉, 고객사 제품에 신속하게 대응할 수 있는 솔더 페이스트 또는 플럭스 기술을 보유하거나 기타 타 회사와의 확연한 차별적 기능의 제품 생산 없이는 향후 솔더 페이스트 시장에서 생존하기 어려울 것으로 예상된다. 일예로 중국 내 솔더 페이스트 생산 업체는 2007년 기준으로 3,277개사가 존재하였고, 2012년 기준으로는 3,728개사로 증가하였으나, 업체수의 증가 및 생산 설비 확장으로 인하여 2015년부터는 공급 과잉이 예상되는 바, 향후 핵심 기술 및 차별화 제품 전략이 약한 기업을 중심으로 M&A 및 폐업 절차가 급속히 진행될 것으로 보고되고 있다.[9)] 즉, 향후 몇 년 안에 이루어질 중국 내 솔더 페이스트 업체간의 구조 조정은 중국 기업과 외국 선진기업간의 현 기술 격차(3~5년)를 더욱 단축시킬 것으로 예상이며, 이러한 중국 업체의 자본 및 기술 경쟁력 강화는 국내 솔더 페이스트 업체에도 직접적으로 영향을 미칠 것으로 예측된다.

## 3. 에폭시 솔더 페이스트의 개발 및 주요 특징

최근 접합 소재 시장에서 큰 관심을 받고 있는 에폭시 솔더 페이스트는 에폭시 포물레이션(formulation)과 솔더 분말의 혼합체로 구성되는데, 기존 솔더 페이스트에서 솔더 분말 표면 산화물 및 PCB Cu 패드(pad) 표면 산화물을 환원시켜 깨끗한 금속 표면을 형성시키는 플럭스의 역할을 에폭시 포물레이션이 대신하게 된다. 에폭시 포물레이션을 구성하는 원재료는 주제, 경화제, 경화촉진제, 칙소제, 기타 첨가제 등으로 이들이 특정 비율로 혼합되어 있는데, 여러 원재료 종류간 상호 적합성 및 반응에 대한 충분한 연구 및 이해가 제품 개발의 바탕 기술이 된다. 아울러 솔더 접합부에 보이드(void)의 형성을 야기시키는 휘발성 솔벤트의 사용 및 기상 반응물의 생성을 피해가는 포물레이션 기술 개발 또한 ESP 소재 개발의 핵심 기술이다. 일반적인 솔더 페이스트에 대한 ESP의 특장들은 Table 2와 같다.

ESP 접합재는 휘발성 특성 및 잔류물이 발생하는 플럭스 대신 에폭시 포물레이션을 이용하므로 특유의 장점과 단점이 동시에 나타나게 되는데, 장점으로는 ESP 내에 휘발성 솔벤트가 없기 때문에 공정 중 휘발 성분에 의한 리플로우(reflow) 장비 오염 및 접합부에서 보이드 형성을 최소화 할 수 있으며, 공정 후 잔류 플러스가 존재하지 않음으로 추가 세척 공정이 필요 없고, 에폭시 포물레이션의 경화에 의한 접합강도의 상승 효과를 얻을 수 있다.[1)] 반면 ESP 내 에폭시(제품 내 10~12 wt% 포함) 성분에 의해 pot-life 및 shelf-life가 기존 솔더 페이스트에 비하여 떨어지므로 현재 제품 수준으로는 냉동 보관하여야 하는 단점이 있다. 또한 ESP 소재는 플럭스에 비해서는 점도가 매우 높은 에폭시 포물레이션이 함유되므로 인쇄 과정에서 빠짐성이 떨어지게 되므로 현재 제품 수준으로는 미세 패턴의 인쇄가 불량한 단점이 있으나, 페이스트 제조법 및 공정법의 개선으로 미세 피치 대응성을 향상시키기 위한 연구가 지속적으로 시도되고 있다.

ESP 소재의 공정성을 결정하는 핵심 기술은 Fig. 3의 시차주사열량계(differential scanning calorimeter, DSC) 결과로 제시할 수 있다. 그림에서 보듯이 가열

**Table 2** Characteristic comparisons between solder paste and epoxy solder paste (ESP)

| Bonding material | Solder paste | ESP |
|---|---|---|
| Reducing component | Flux | Epoxy formulation |
| Bonding reaction | Solder powder | Solder powder and epoxy formulation |
| Cleaning after bonding | Cleaning flux residue | Not necessary |
| Reinforcement of bonding | Underfill | Not necessary |

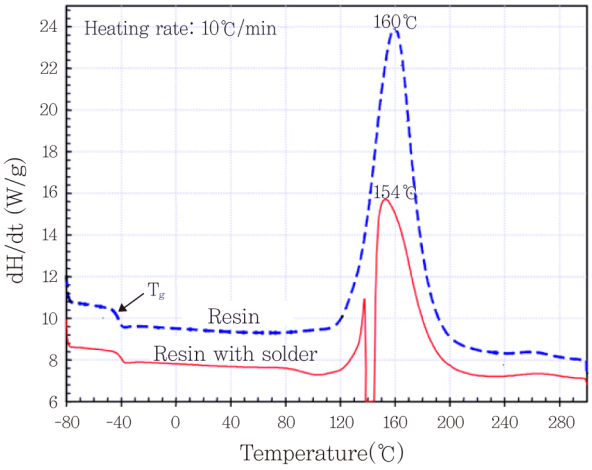


**Fig. 3** Dynamic differential scanning calorimetry thermograms of epoxy resin formulation and ESP including Sn-58Bi solder powder with a heating rate of 10℃/min[2)]

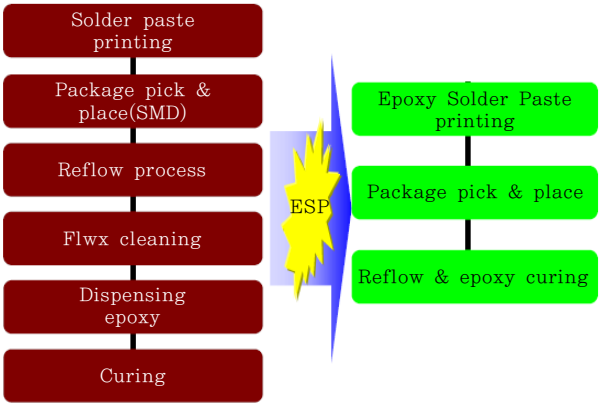


**Fig. 4** Process diagrams of surface mounting using conventional solder paste and ESP

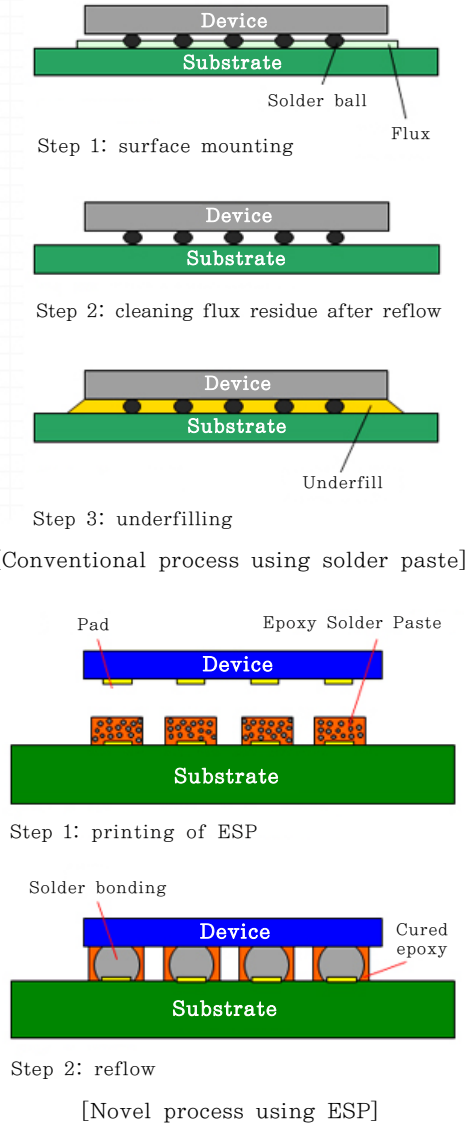


**Fig. 5** Conceptual diagrams of surface mounting processes using conventional solder paste and ESP[1)]

과정에서 ESP에 포함되는 에폭시 레진 포물레이션의 피크 발열온도가 160℃ 수준에서 형성되게 제어할 수 있다면 이에 Sn-58Bi 솔더 분말을 혼합한 ESP의 레진 경화는 약간의 피크 온도 이동이 일어나게 되지만, 결국 Sn-58Bi 솔더의 융점(138℃) 이후에 최대 경화가 발생하게 되므로 솔더링과 레진 경화를 순차적으로 구현할 수 있다. 즉, Sn-58Bi 솔더 분말을 혼합한 ESP를 실제 가열하게 되면 레진 포물레이션이 충분히 경화되기 전인 138℃부터 Sn-58Bi 솔더 분말이 완전히 용융되면서 리플로우 솔더링이 구현되고, 이후 솔더링부로부터 밀려난 레진 포물레이션 성분이 솔더링부를 감싼 상태에서 빠른 시간 내에 경화되면 원하는 접합 공정이 완수되게 된다.

Fig. 4는 기존 솔더 페이스트 대신 ESP를 적용할 경우의 공정 단축 효과를 모식적으로 나타낸 것으로, 솔더 페이스트 소재를 사용하여 SMT 공정을 진행할 경우 행하여지는 6단계의 공정이 ESP 적용 시 3단계로 간략하게 줄어들 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 일반 솔더 페이스트와 ESP의 공정을 상호 비교 모식도이다. 그림에서 알 수 있듯이 범프(bump) 타입 패키지의 실장 공정에서 ESP 소재를 인쇄하여 리플로우 할 경우 솔더 접합부 주변으로 에폭시가 유동하여 경화되므로 자연적으로 접합부에 보강 구조가 형성되게 된다. 이러한 에폭시 경화체는 불연속성을 가지므로 일반적인 언더필 경화체와는 다소 다른 구조이지만 보강 구조의 형성의 따라 접합부의 신뢰성이 개선될 수 있음을 쉽게 짐작할 수 있다.

Fig. 6은 ESP 소재의 리플로우 프로파일 예와 Cu 패드 위 인쇄 후 리플로우 시 반응 모식도 및 실제 리

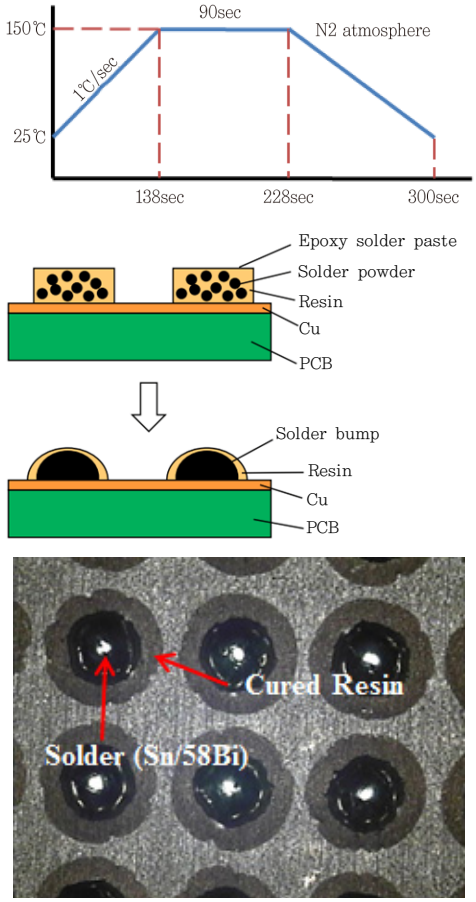


**Fig. 6** Example of temperature profile for the reflow using ESP, schematic diagram of ESP bumps reflowed after printing on Cu pads, and actual image of reflowed ESP bumps[1)]

플로우된 ESP 범프의 이미지이다. 제시된 온도 프로파일은 Sn-58Bi 솔더 분말 함유 ESP 소재에 대한 일예로서 승온-유지-냉각의 단순한 형태이다. 리플로우 시 질소 분위기가 필수 조건은 아니며, 150℃의 유지 온도도 사용자에 의해 다소간 변경이 가능하다. 리플로우 시 반응 모식도는 앞서 언급한 ESP 소재의 반응 특성을 다시 한번 모식적으로 보여준다. 즉, 인쇄된 ESP의 가열 시 138℃에 이르러 함유된 Sn-58Bi 솔더 분말이 우선적으로 용융되면서 젖음 형상이 일어나는 패드부를 중심으로 용융 솔더 분말들이 서로 엉겨붙으며 범프 형상을 형성하게 된다. 그리고 이 과정에서 밀려나는 레진 포물레이션 성분들은 형성된 범프를 덮은 상태에서 경화되게 된다. 이러한 과정을 통해 실제 리플로우 후 관찰된 범프들의 상부 촬영 이미지를 보면 솔더 범프들이 코어(core)를 이루고 그 주변을 투명한 경화 에폭시가 덮고 있는 것을 확인할 수 있다.

한편 접합부가 면배열(area array) 패키지가 아닌 일반 수동부품과 리드(lead)를 가지는 패키지를 ESP

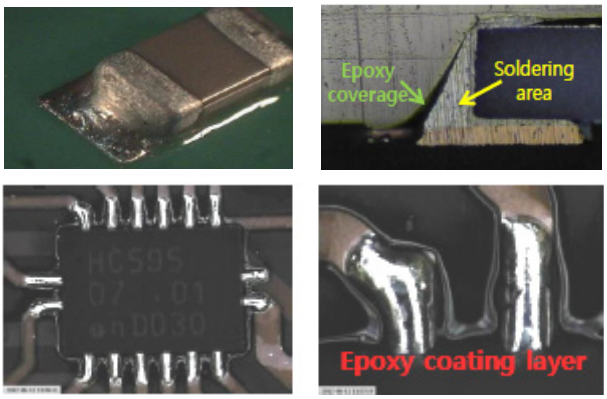


**Fig. 7** Actual images of devices surface-mounted using ESP

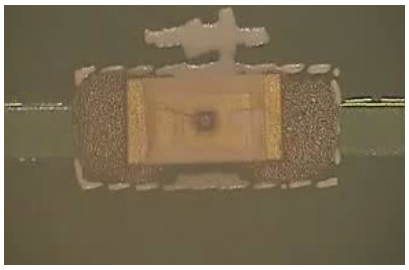

**Fig. 8** Image of LED chip mounted after printing ESP on electrodes in flexible substrate

소재로 표면실장한 결과는 Fig. 7에 제시되었다. 상위 두 사진은 실장된 수동부품의 이미지로 수동부품의 솔더링부 주위로 경화 에폭시 특유의 광택이 관찰되었는데, 그 단면을 자세히 살펴보면 솔더링 부 주위로 경화된 에폭시가 코팅되어 있는 것을 확연히 관찰할 수 있다. 아래 두 사진들은 리드를 가지는 패키지가 실장된 이미지로 광택이 나는 솔더가 리드부 및 패드(pad)부를 덮고 있어 안정적인 솔더링이 이루어졌음을 알 수 있었고, 리드와 리드 사이 및 개별 리드의 하부부터 상단부까지는 투명한 에폭시가 경화 코팅되어 있어 ESP 소재가 가지는 특별한 실장 결과를 확인할 수 있었다.

## 4. 에폭시 솔더 페이스트의 대표 적용 분야

### 4.1 플렉시블(flexible) 전자 제품 접합

ESP 소재는 함유된 에폭시 포물레이션의 경화를 통한 보강구조 형성으로 기본적으로 접합강도가 크게 증가되는 한편, 접합부의 장기 기계적 신뢰성 향상도 유도할 수 있다. 올해부터 본격적으로 상용화되고 있는 플렉시블 전자 제품의 경우 플렉시블한 특성에도 불구하고 충분한 신뢰성 확보는 기본적으로 반드시 필요하다.[10)]

Fig. 8은 투명 플렉시블 PET 필름 상 전극에 ESP 소재를 인쇄한 후 1608 LED 칩을 실장한 이미지이다. 이후 리플로우를 통해 당 LED는 PET 기판 상에

**Fig. 9** Transparent and flexible LED products assembled using ESP

성공적으로 접합시킬 수 있었다. PET는 낮은 내열성을 가지는 저가 플렉시블 기판이므로 피크 온도는 150℃ 이하로 설정하여 공정을 진행하였다.

Fig. 9는 ESP 소재를 투명 플렉시블 LED 제품에 적용한 경우로서 리플로우 동안 ESP 내에 포함되어 있던 솔더 분말이 용융되어 패키지와 플렉시블 기판 전극 사이를 접합시켰고, 에폭시 성분은 패키지 리드와 플렉시블 기판 사이에서 경화되어 언더필의 효과를 구현한 것이다. 이 경우 LED 패키지와 플렉시블 기판 사이의 접합강도는 기존 솔더 페이스트의 적용 조건에 비해 1.5배 상승한 것으로 측정되었고(rigid PCB에서도 동일한 경향임), 내굴곡성 테스트의 경우에도 기존 솔더 페이스트는 1,000회 정도에서 접합 부위에 크랙(crack)이 생성되어 단락이 발생하지만, ESP 솔더를 사용하는 경우에서는 10,000회 이상에서도 단락이 발생하지 않는 월등한 신뢰성 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 10은 ESP를 적용한 투명 플렉시블 LED 모듈의 기타 신뢰성 테스트 과정 및 결과로서 고온고습(85℃/85% RH, 240시간) 및 열충격(-40℃~85℃, 500회) 테스트를 진행한 뒤에도 LED의 색좌표와 휘도 변화는 거의 없는 것으로 평가되었다.

### 4.2 자동차 전장 부품 접합

최근 자동차를 구성하는 주요 부품들은 전통적인 기계 구조물에 각종 센서 기능이 내재된 전장제품이 융합되면서 자동차의 부가 가치를 증가시키고 있다. 특히

(High temperature and high humidity test)

(Thermal shock test)

(Luminescence measurement)

**Fig. 10** Procedure and result of long-term reliability tests performed with the transparent and flexible LED products assembled using ESP

자동차에서 전장 제품이 차지하는 비중은 2010년 기준 30%에서 2020년에는 50%까지 증가할 것으로 예상되는데, 전장 제품의 추가 사용은 연료 사용 절감 및 주행 중 안전 등과 관련하여 다양한 기능을 제공하게 된다. 하지만, 자동차 내 전장 제품 사용 증가는 전장 제품 단독 혹은 상호간의 간섭에 의한 오작동의 우려를 높이고 있어 이들의 오작동을 방지하기 위한 기술 개발 역시 필요한 상황이다.

일반적으로 자동차에 탑재된 전자 기기들은 일반 가전제품에 비하여 사용환경(온도, 습도, 진동, 충격, 외부 오염 등)이 혹독하여 높은 신뢰성 의 접합 소재를 필요로 하고 있으며,[11-14] 아울러 가혹한 환경에 따른 리드 또는 핀 코팅 무연 솔더부에서의 휘스커(whisker) 성장(Fig. 11)에 대한 우려가 여전히 존재하는 상황이다. 게다가 전장 제품에서도 PCB 단위 면적당 집적도가 지속적으로 증가하고 있어 패키지 리드 또는 단자간의 피치(pitch)가 미세화됨에 따라 휘스커 성장 및 이

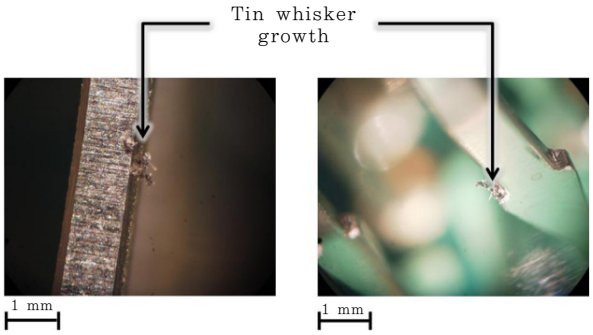


**Fig. 11** Tin whisker growth on tin-finished connector pin in automotive ECU[15)]

물질 침투에 의한 리드 또는 단자간 전기적 합선 가능성은 점차 증가되고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 자동차 전장 모듈 접합 소재로 ESP를 사용하게 될 경우 솔더 접합부가 경화 에폭시로 코팅, 보강되어 진동, 충격, 습도, 외부 오염 등에 대해 보다 우수한 장기 신뢰성을 나타낼 것으로 예상된다. 실제 본 저자들은 27.8 m/s$^2$의 가속도 조건에서 축당 20시간씩 총 60시간동안 실시한 ESP 접합부의 진동 내구성 시험 결과 7,210회의 저항 측정동안 1,000 Ω 이상의 파단 저항값이 한번도 측정되지 않아 ES 90000-04 스펙을 만족시킬 수 있었다. 아울러 ESP 소재의 리플로우 시 리드부 솔더 코팅 위에 생성되는 에폭시 코팅부는 구조적으로 휘스커의 생성 및 성장을 억제하는 역할을 수행할 수 있고, 만약 휘스커가 생성, 성장하더라도 에폭시 절연층의 존재로 휘스커에 의한 전기적 합선은 원천적으로 예방할 수 있을 것으로 기대된다. 단, 경화 에폭시 부분의 불충분한 내열 특성으로 인하여 ESP 소재가 적용 가능 전장 모듈은 장착되는 모듈의 주변 온도 환경에 따라 제한적일 것으로 예상된다.

## 5. 맺 음 말

지금까지 향후 다양한 모듈의 패키징 시 접합소재로 그 적용이 예상되는 에폭시 솔더 페이스트의 특성 및 향후 기대되는 적용 분야에 대하여 기술하였다. 현재까지 개발된 ESP 제품들은 SMT 공정의 접합 재료로 지난 수십년간 사용되어 온 기존 솔더 페이스트에 비해 냉동 보관 및 인쇄성 등에서 다소의 단점이 존재하지만, ESP 소재가 보유한 탁월한 장점을 무기로 일반 소자 및 LED 뿐만 아니라 플렉시블 모듈, 자동차 전장용 모듈 등에서 향후 그 사용량이 증가할 것으로 예상된다. 즉, 기존 소재 대비 월등히 높은 접합 강도 및 우수한 내굴곡성은 플렉시블 모듈의 접합 소재로 매우 적합하며, 전기적 안정성과 기계적 강도의 유지를 동시에 요구하는 자동차 전장 모듈에도 그 적용이 이루어질 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원(2015-0971)으로 수행되었습니다.

## References

1. Y.-S. Eom, J.-H. Son, K.-S. Jang, H.-S. Lee, H.-C. Bae, K.-S. Choi and H.-S. Choi, Characterization of fluxing and hybrid underfills with micro-encapsulated catalyst for long pot life, *ETRI Journal*, 36(3) (2014), 343-351
2. Y.-S. Eom, K.-S. Jang, J.-T. Moon and J.-D. Nam, Electrical interconnection with a smart ACA composed of fluxing polymer and solder powder, *ETRI Journal*, 32(3) (2010), 414-420
3. Y.-S. Eom, J.-W. Back, J.-T. Moon, J.-D. Nam and J.-M. Kim, Characterization of polymer matrix and low melting point solder for anisotropic conductive film, *Microelectron. Eng*., 85(2) (2008), 327-331
4. J.-W. Baek, K.-S. Jang, Y.-S. Eom, J.-T Moon, J.-M. Kim and J.-D. Nam, Chemo-rheological characteristic of a self-assembling anisotropic conductive adhesive system containing a low-melting point solder, *Microelectron. Eng*., 87-10 (2010), 1968-1972
5. K.-S. Jang, Y.-S. Eom, J.-T. Moon, Y.-S. Oh and J.-D. Nam, Catalytic behavior of Sn/Bi metal powder in anhydride-based epoxy curing, *J. Nanosci. Nanotechnol*., 9(12) (2009), 7461-7466
6. J.-M. Kim, K. Yasuda and K. Fujimoto, Isotropic conductive adhesive with fusible filler particles, *J. Electron. Mater*., 33(11) (2004), 1331-1337
7. J.-M. Kim, K. Yasuda and K. Fujimoto, Novel interconnection method using electrically conductive paste with fusible filler, *J. Electron. Mater*., 34(5) (2005), 600-604
8. 中國 電子素材産業協會 朱錫 Solder 素材支會 發表資料 (in Chinese)
9. 中國 中企週硏, 2012-2015 資料 (in Chinese)
10. Y.-H. Ko, M.-S. Kim, T.-S. Kim, J.-H. Bang and C.-W. Lee, Study on joint of micro solder bump for application of flexible electronics, *Journal of KWJS*, 31(3) (2013), 4-10 (in Korean)
11. M.-S. Kang, J.-H Bang and C.-W. Lee, Joint reliability of Sn3.5Ag, Sn0.7Cu and Sn0.5Sb Pb-free solder and hybrids joining process for application of automobile electric module, *Journal of KWJS*, 30(6) (2012), 487-491 (in Korean)
12. Y.-H. Ko, J.-H. Bang, J.-H. Kim and C.-W. Lee, Evaluation of property and reliability of Sn3.5Ag and Sn0.7Cu Pb-free solder joint by complex vibration for application of automobile electric module, *Journal of*

*KWJS*, 31(1) (2013), 6-10 (in Korean)
13. W. S. Hong and C. M. Oh, Degradation behavior of solder joint and implementation technology for lead-free automotive electronics, *Journal of KWJS*, 31(3) (2013), 22-30 (in Korean)
14. A. Y. Kim and W. S. Hong, Degradation characteristics of eutectic and Pb-free solder joint of electronics mounted for automobile engine, *Journal of KWJS*, 32(3) (2014), 288-294 (in Korean)
15. E. George and M. Pecht, Tin whisker analysis of an automotive engine control unit, *Microelectron. Relab.*, 54(1) (2014), 214-219.

• 문종태
• 1963년생
• (주)호전에이블 대표
• 패키지 접합 소재
• e-mail : jtmoon@hojeonable.com

• 엄용성
• 1965년생
• 한국전자통신연구원(ETRI)
정보통신부품연구소
• 반도체 인터커넥션 소재 및 공정 개발
• e-mail : yseom@etri.re.kr

• 이종현
• 1973년생
• 서울과학기술대학교 신소재공학과
• 접합소재, 나노소재
• e-mail : pljh@seoultech.ac.kr