

에폭시 경화형 무세정 SAC305 솔더 페이스트의 리플로우 공정성과 보드레벨 BGA 솔더 접합부 특성

최한^{1,2} · 이소정² · 고용호² · 방정환² · 김준기^{1,2,†}

¹과학기술연합대학원대학교(UST) 전자패키징공학과

²한국생산기술연구원(KITECH) 용접접합그룹/마이크로조이닝센터

Reflow Behavior and Board Level BGA Solder Joint Properties of Epoxy Curable No-clean SAC305 Solder Paste

Han Choi^{1,2}, So-Jeong Lee², Yong-Ho Ko², Jung-Hwan Bang² and Jun-Ki Kim^{1,2,†}

¹Department of Electronic Packaging, KUST, Incheon 406-130, Korea

²Welding & Joining Group/Micro-Joining Center, KITECH, Incheon 406-130, Korea

(Received March 4, 2015; Corrected March 20, 2015; Accepted March 25, 2015)

초 록: 첨단 전자기기에 사용되는 전자부품의 크기와 접속피치가 감소하면서 리플로우 공정 후 플럭스 잔사의 세정이 어려워짐에 따라 무세정 솔더 페이스트에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 SAC305 솔더분말과 에폭시 레진을 주성분으로 하는 경화성 플럭스를 혼합하여 제조한 에폭시 경화형 솔더 페이스트에 대하여 리플로우 공정성, 플럭스 잔사의 부식성, 솔더볼 및 보드레벨 BGA 패키지 솔더 접합부의 기계적 거동을 기존 로진계 솔더 페이스트와 비교하여 평가하였다. 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 솔더 접합부 주변에 경화물 필렛을 형성한 것으로 보아 플럭싱 작용에 의해 솔더 접합부가 형성된 이후에 경화반응이 진행되는 것을 확인할 수 있었으며, 동판에 대한 젖음성 시험을 통해 기존 상용 솔더 페이스트 정도의 납퍼짐성을 갖는 것을 알 수 있었다. 리플로우 후 동판에 대한 고온 고습 시험을 통해 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 동판 부식을 전혀 발생시키지 않는 것으로 나타났는데, 이는 FT-IR 분석결과 에폭시 경화반응을 통해 단단히 고정된 결과로 생각되었다. 불전단, 불량김 및 다이전단 시험 결과, 솔더 접합부 주변에 형성된 경화물 필렛은 솔더 표면과 접촉본딩을 형성하며, 다이전단강도를 15~40% 정도 향상시키는 것으로 보아 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 플럭스 잔사 세정공정의 생략과 함께 솔더 접합부 보강효과를 통해 패키지 신뢰성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 생각되었다.

Abstract: With difficulties during the cleaning of reflow flux residues due to the decrease of the part size and interconnection pitch in the advanced electronic devices, the need for the no-clean solder paste is increasing. In this study, an epoxy curable solder paste was made with SAC305 solder powder and the curable flux of which the main ingredient is epoxy resin and its reflow solderability, flux residue corrosivity and solder joint mechanical properties was investigated with comparison to the commercial rosin type solder paste. The fillet shape of the cured product around the reflowed solder joint revealed that the curing reaction occurred following the fluxing reaction and solder joint formation. The copper plate solderability test result also revealed that the wettability of the epoxy curable solder paste was comparable to those of the commercial rosin type solder pastes. In the highly accelerated temperature and humidity test, the cured product residue of the curable solder paste showed no corrosion of copper plate. From FT-IR analysis, it was considered to be resulted from the formation of tight bond through epoxy curing reaction. Ball shear, ball pull and die shear tests revealed that the adhesive bonding was formed with the solder surface and the increase of die shear strength of about 15~40% was achieved. It was considered that the epoxy curable solder paste could contribute to the improvement of the package reliability as well as the removal of the flux residue cleaning process.

Keywords: Surface mount technology, Reflow process, Solder paste, Epoxy flux, Board level ball grid array package, Solder joint

[†]Corresponding author
E-mail: jkim@kitech.re.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.

1. 서 론

전자부품을 기판에 실장하는 2차 레벨 전자패키징 공정에서는 저 용점 금속인 솔더의 용융, 젖음, 응고과정을 통해 솔더 접합부가 형성된다. SMT(surface mounting technology) 공정은 솔더 페이스트를 기판의 패드에 스크린 인쇄한 후 칩부품을 얹고 리플로우 오븐을 통과시켜 솔더 접합부를 형성하는 공정이다.

SMT 공정에서 필수적으로 사용되고 있는 솔더 페이스트는 일정 입도의 솔더 분말과 11 wt.% 정도의 플럭스로 구성되어 있다. 플럭스는 스크린 인쇄성을 위한 적절한 레올로지 특성을 부여하면서 리플로우 시 패드 및 솔더 표면의 산화피막을 제거하여 용융솔더의 젖음성을 향상시키는 중요한 역할을 한다.

플럭스는 대개 20~30%의 로진과 1% 미만의 활성제를 함유하여 산화환원 반응을 통해 산화피막을 제거하는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 로진의 대표적 성분인 아비에트산은 카복실기를 갖는 화합물로, 174°C의 녹는점과 250°C의 끓는점을 가져 리플로우 온도 프로파일에서 효과적인 플럭스로 작용한다.

리플로우 공정이 완료된 이후 플럭스는 응고되어 솔더 접합부 주위에 남게 되는데, 이러한 플럭스 잔사는 습기를 흡수하여 부식을 일으키거나 언더필 적용 시 젖음을 방해하여 패키지 신뢰성을 저하시키는 문제를 야기할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 플럭스 세정공정이 실시되고 있다.²⁾

플럭스 잔사는 리플로우 공정 직후 신속한 세정공정을 통해 적절하게 제거되어 왔다. 그러나 최근 전자제품의 소형화 및 고기능화에 따라 사용되는 전자부품의 크기와 접촉피치가 감소하면서 세정액이 침투하는 틈새가 감소하여 세정이 어려워지는 문제가 발생하고 있으며, 이에 따라 세정이 보다 용이하거나 세정이 필요 없는 무세정 플럭스에 대한 요구가 증가하고 있다.

세정이 용이한 플럭스로는 수용성 플럭스가 있다. 수용성 플럭스는 로진이 아닌 산과 알코올만을 함유하여 물에 잘 녹기 때문에 세척이 용이하고 세척 시 용제를 사용하지 않아 친환경적이라는 장점이 있다.

무세정 플럭스로는 활성제가 최소화된 저 잔사 타입의 플럭스가 주로 사용되고 있다. 이들은 활성제를 함유하지 않거나 혹은 공정온도에서 쉽게 휘발하도록 하여 최소한

의 잔사만을 남김으로써 문제를 최소화하는 방법이다. 그러나 무세정 플럭스라 하더라도 여전히 미량의 잔사나 반응성 이온 등이 잔류할 가능성이 있어 실제적으로는 대부분의 경우 세정공정이 이루어지고 있다.

플럭스 잔사 세정공정을 완전히 생략할 수 있는 방안으로는 에폭시의 경화기구를 활용하여 리플로우 공정이 완료된 다음 플럭스 성분을 단단히 고정하는 방법을 생각할 수 있다. 즉, 에폭시 레진을 비이클로 사용하고, 플럭스 기능과 경화제 기능을 동시에 나타내는 플럭스제를 도입함으로써 리플로우 공정 중 승온 시에는 플럭싱 작용을 하고 용융온도에서는 가교결합을 일으켜 고정되도록 하는 것이다.

본 연구에서는 Sn-3.0Ag-0.5Cu(SAC305) 솔더분말과 에폭시 레진을 주성분으로 하는 경화성 플럭스를 혼합하여 제조한 에폭시 경화형 솔더 페이스트에 대하여 리플로우 공정성, 플럭스 잔사의 부식성, 솔더불 접합부 및 보드레벨 BGA 패키지 접합부의 기계적 거동을 기존 로진계 솔더 페이스트와 비교하여 평가하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 경화성 솔더 페이스트 제조

기존의 로진계 솔더 페이스트와 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 성분을 비교하여 Table 1에 나타내었다. 기존의 로진계 SAC305 솔더 페이스트는 SAC305 솔더분말, 로진, 활성제, 비이클 등의 성분으로 구성되어 있는 반면에 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 에폭시 레진, 활성제, 칩소재 등으로 구성된 경화성 플럭스와 SAC305 솔더분말로 구성된다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트 제조에는 덕산하이메탈(주)에서 제공받은 type-4 SAC305 솔더분말이 사용되었다. 경

Table 1. Ingredients of the conventional and the epoxy curable solder pastes

	Conventional solder paste	Epoxy curable solder paste
Solder	SAC 305 powder	SAC 305 powder
Flux	Rosin Activator Vehicle	Epoxy resin Epoxy curable fluxing agent Thixotropic agent

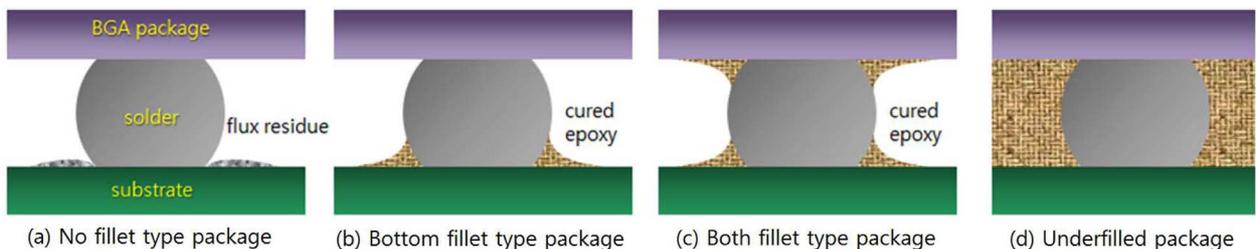


Fig. 1. Schematic view of the board-level BGA solder joint structures.

화성 플럭스 제조에는 국도화학(주)의 비스페놀A 계열 에폭시인 YD-128 레진을 기본으로 하여 플럭스 작용과 경화제 작용을 겸하여 나타내는 아민계열 플럭스제를 사용하였다. 혼합 과정에서는 레진 내에 솔더분말을 고르게 분산시키기 위해 대화테크(주)의 PDM-300D 공자전 믹서를 사용하였다.

특성 비교를 위한 기준 로진계 솔더 페이스트로는 동일하게 type-4 SAC305 솔더분말을 함유하는 S사의 할로겐프리 제품을 사용하였으며 언더필 재료로는 (주)하이텍코리아의 UNIQUE-305B 모델을 사용하였다.

2.2. 보드레벨 BGA 패키지 제작

에폭시 경화형 솔더 페이스트와 기준 로진계 솔더 페이스트의 리플로우 공정성과 다이전단강도를 평가하기 위해 Fig. 1에 나타난 4가지 솔더 접합부 형태의 보드레벨 BGA 패키지를 제작하였다.

Fig. 1의 (a)는 기준 로진계 솔더 페이스트를 리플로우한 후 세정 전의 시편이고, (d)는 세정 후 언더필을 충전하여 경화시킨 시편을 나타낸다. (b)는 기준 플럭스를 사용하여 붙어태치한 BGA 칩을 세척한 다음 에폭시 경화형 솔더 페이스트를 사용하여 리플로우한 시편이고, (c)는 솔더분말을 함유하지 않은 경화성 플럭스를 사용하여 붙어태치한 BGA 칩을 에폭시 경화형 솔더 페이스트를 사용하여 리플로우한 시편이다.

보드레벨 BGA 패키지 제작에 사용된 BGA 칩은 0.8 mm 피치, 8 × 8 mm 면적의 BGA 패키지를 (주)어셈텍으로부터 제공받았다. 접속부를 형성할 솔더 볼은 덕산하이메탈(주)에서 제공받은 450 μm 크기의 SAC305 조성을 사용하였다.

보드레벨 BGA 패키지 제작에 사용된 기판은 FR-4 PCB로 이오에스(주)로부터 제공받았다. 기판의 두께와 면적은 각각 1 mm, 132 × 31 mm이었으며, 패드는 NSMD(non solder mask defined) 타입으로 OSP로 처리하였다.

솔더 페이스트의 스크린 인쇄는 MINAMI Co., Ltd.의 MK-878SV 모델을 이용하여 상용 100 μm 두께로 시행하였으며, 리플로우 오븐은 HELLA KGaA Hueck & Co.의 1809MARKIII을 사용하였다. 리플로우 온도프로파일은 Fig. 2에 나타난 기준 로진계 SAC305 솔더 페이스트에서 사용되는 상용 리플로우 프로파일을 동일하게 사용하였다.

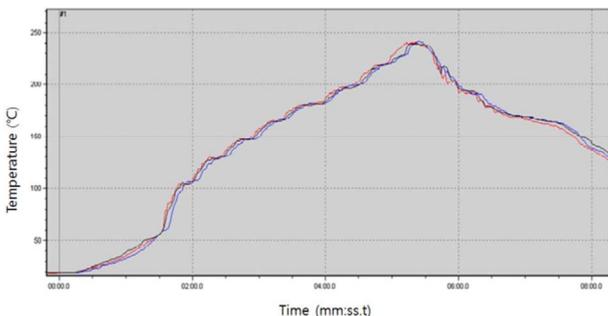


Fig. 2. Reflow temperature profile for SAC305 solder.

2.3. 리플로우 공정성 시험

리플로우 공정성 평가를 위해 상용 리플로우 공정으로 제작된 보드레벨 BGA 패키지에 대하여 단면 광학 관찰을 통해 솔더 접합부 및 필렛 형상을 확인하였고, 160 kV X-선 투과검사를 통해 솔더볼 잔사를 관찰하였다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트의 납퍼짐성을 평가하기 위해 50 × 50 × 0.3 mm 구리 플레이트를 150°C에서 한 시간 동안 산화시킨 시편에 솔더 페이스트를 떨어뜨린 후 리플로우하여 형성된 솔더의 접촉각을 측정하여 납퍼짐성을 계산하였다.

2.4. 부식성 시험

에폭시 경화형 솔더 페이스트의 리플로우 후 경화물 잔사의 부식거동을 평가하기 위해 부식성 시험을 실시하였다. JIS-Z 3197 플럭스 평가 규격에 따라 50 × 50 × 0.3 mm 구리 플레이트에 솔더 페이스트를 0.3 g 정도 떨어뜨린 후 250°C에서 5초간 가열하여 제작한 시편을 40°C, 95% RH 조건에서 96시간 방치한 후 육안으로 부식의 발생여부를 관찰하였다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트의 부식방지 거동을 확인하기 위하여 FT-IR 스펙트럼을 분석하여 에폭시에 의한 플럭스 반응기 소실 여부를 확인하였다.

2.5. 볼 전단 시험

에폭시 경화형 솔더 페이스트의 리플로우 후 형성된 경화물 필렛이 솔더 접합부 강도에 미치는 효과를 조사하기 위해 Dage 4000을 이용하여 볼 전단강도를 측정하였다.^{3,4)} 시험은 JESD22-B117 규격⁵⁾을 참조하여 200 μm/s 전단속도로 진행하였으며,⁶⁾ 시편치수 및 시험조건을 Fig. 3(a)에 나타내었다.

2.6. 볼 당김 시험

경화물 필렛과 솔더표면의 접촉분당 형성 여부를 평가하기 위해 하중이 기판에 수직으로 작용하는 볼 당김 시험을 당김시험용 jaw를 장착한 Dage 4000을 이용하여 수행하였다.^{4,5)} 시편치수와 시험의 개략도를 Fig. 3(b)에 나타내었다. 당김시험 속도와 높이를 각각 1000 μm/s와 50 μm로 고정하고 물립하중을 100 g으로 설정하여 시험을 수행하였다.

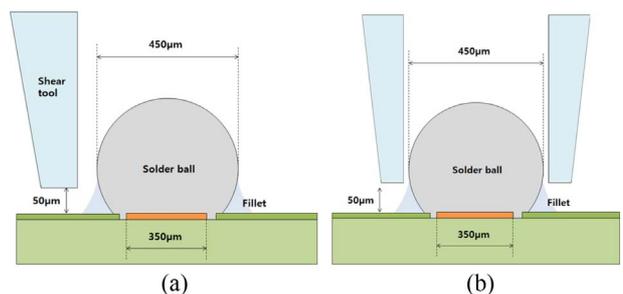


Fig. 3. Configurations of (a) ball shear and (b) ball pull tests.

2.7. 다이 전단 시험

에폭시 경화형 솔더페이스트의 적용이 다이전단강도에 미치는 효과를 평가하기 위해 Fig. 1에 나타낸 4종의 보드 레벨 BGA 패키지에 대하여 Dage 4000을 이용하여 전단속도 200 μm/s, 전단높이 50 μm로 다이전단시험을 수행하였다.⁶⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 리플로우 공정성

에폭시 경화형 솔더 페이스트와 기존 로진계 솔더 페이스트에 대하여 리플로우 후 BGA 패키지 솔더 접합부의 단면사진을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보면 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 기존 로진계 솔더 페이스트와 같이 적절한 형태의 솔더 볼-구리 패드 간 솔더 접합부를 형성했음을 알 수 있다. 또한 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 경우 Fig. 4(b)에서는 솔더 접합부 하단 주변에, Fig. 4(c)에서는 하단 및 상단 주변에 필렛이 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

일반적인 에폭시-아민계 조성물의 경우에는 최고 240°C에 이르는 리플로우 온도에서 경화가 급격히 진행되어 솔

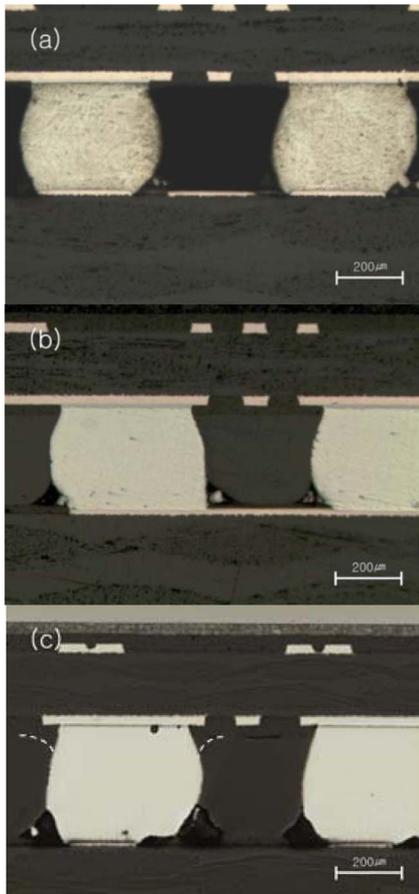


Fig. 4. Cross sectional microstructure of as reflowed BGA solder joints; (a) conventional solder paste, (b) epoxy curable solder paste with bottom side fillet and (c) with both bottom and top side fillets.

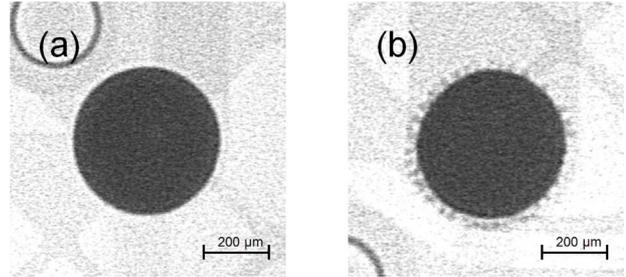


Fig. 5. X-ray images of as reflowed BGA solder joints; (a) conventional solder paste and (b) curable solder paste with both bottom and top side fillets.

더분말간 융합이 이루어지지 않는다. 이에 비해 에폭시 경화형 솔더 페이스트 적용시 솔더 접합부 형상이 양호하고 주변에 경화물 필렛이 형성되었다는 것은 리플로우 공정 동안 플럭싱 작용에 의해 솔더 접합부가 형성된 이후에 경화가 진행되었음을 의미한다.

한편 에폭시 경화형 솔더 페이스트를 적용한 Fig. 4(b)와 4(c)의 하단 필렛 내부를 보면, 솔더 접합부에 융합되지 못한 솔더볼 잔사가 남아있는 것을 볼 수 있다. 이러한 솔더볼 잔사는 Fig. 5에 나타낸 X-선 투과이미지에서 보다 분명하게 관찰되는 것을 볼 수 있는데, 이는 기존 로진계 솔더 페이스트와 달리 에폭시 레진을 사용하는 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 특성에 기인하는 것으로, 향후 개선되어야 할 부분으로 생각된다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트와 기존 로진계 솔더 페이스트에 대하여 젖음성 시험결과를 Fig. 6에 나타내었다. 기존 솔더 페이스트와 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 젖음각은 각각 24.55°와 29.39°로 기존 솔더 페이스트가 보다 작은 젖음각을 나타내었다. 젖음성 시험결과로부터 솔더 적합성을 판단하기 위해 아래의 식 (1)을 이용하여 납퍼짐성을 계산하였다.⁸⁾

$$S = \frac{(D-H)}{D} \times 100\% \tag{1}$$

여기에서, S: 퍼짐성, D: 솔더볼 직경, H: 퍼짐 솔더 높이이다.

식 (1)로부터 계산된 기존 솔더 페이스트와 경화성 솔더 페이스트의 납퍼짐성은 각각 85.20%, 83.19%로 기존 솔더 페이스트가 납퍼짐성 면에서 보다 나은 효과를 보였지만,

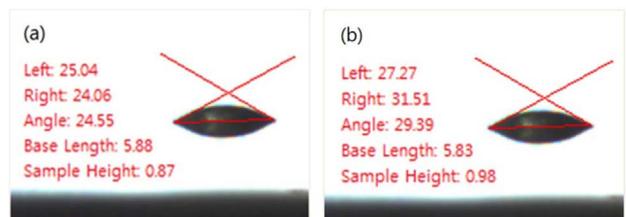


Fig. 6. Wetting angle after reflow on copper plate; (a) conventional solder paste and (b) epoxy curable solder paste.

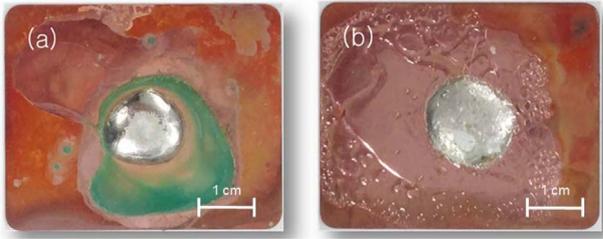


Fig. 7. Corrosion test results for (a) conventional solder paste and (b) epoxy curable solder paste.

이는 큰 차이는 아니었으며, 일반적 상용 솔더 페이스트의 퍼짐성이 대략 84% 정도임을 감안할 때, 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 납퍼짐성은 문제가 없는 것으로 판단된다.

3.2. 플럭스 경화물의 부식성

기존 로진계 솔더 페이스트와 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 부식성 시험결과를 Fig. 7에 나타내었다. 기존 솔더 페이스트인 Fig. 7(a)의 경우 솔더 주변이 녹색으로 변색된 반면, 에폭시 경화형 솔더 페이스트인 Fig. 7(b)의 경우에는 부식의 흔적 없이 깨끗한 표면이 유지된 것으로 보아 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 리플로우 후 경화물 잔사는 동판의 부식시키지 않는 것을 확인할 수 있다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트의 리플로우 거동을 조사하기 위해 솔더분말을 제외한 경화성 플럭스에 대하여 100°C에서 등온 노출시간에 따른 FT-IR을 측정하여 Fig. 8에 나타내었다. 측정된 FT-IR 스펙트럼을 보면 에폭시 고리(912 cm⁻¹)의 피크가 시간이 지남에 따라 감소되는 것으로 보아 에폭시 경화반응이 진행된 것을 알 수 있다.^{9,10)} 이는 에폭시 레진과 경화제 겸 플럭스제인 아민이 결합을 형성하여 경화물을 형성함을 의미하는 것으로, 금속산화물 환원반응에 참여하지 않고 잔류하는 아민계 플럭스제는 이러한 경화반응을 통해 경화물 내에 단단히 고정됨으로

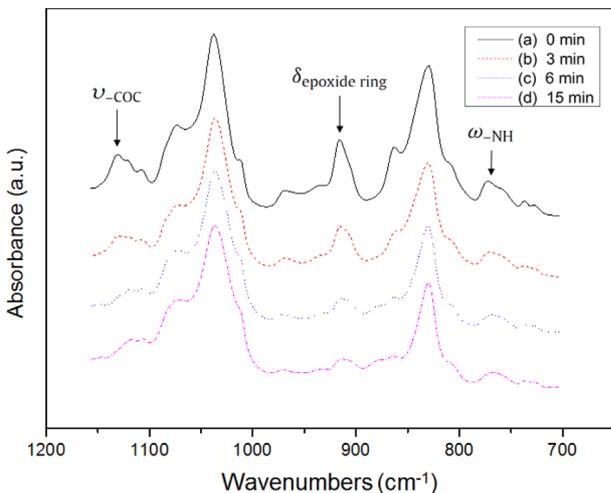


Fig. 8. FT-IR spectra of epoxy curable flux; (a) as-mixed, (b) after 3 min, (c) after 6 min and (c) after 15 min isothermal cure at 100°C.

써 용출이 억제되어 장기간 신뢰성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

3.3. 솔더 접합부의 기계적 거동

에폭시 경화형 솔더 페이스트를 적용한 경우 볼 전단 및 볼 당김 강도를 기존 로진계 솔더 페이스트와 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 에폭시 경화형 페이스트의 볼 전단 강도 및 볼 당김 강도는 기존 솔더 페이스트에 비해 각각 15%, 17% 높은 것을 볼 수 있다.

이는 에폭시 경화형 솔더 페이스트가 부식성 억제효과 뿐만 아니라 경화물 필렛을 형성함으로써 볼 전단응력에 대하여 보강효과가 있다는 것을 의미한다. 또한 볼 당김 강도가 증가되었다는 것은 경화물 필렛과 솔더 표면간에 접촉분당이 형성되었음을 의미한다.

보드레벨 BGA 패키지에 대한 다이전단강도를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에서 보면 에폭시 경화형 페이스트를 적용한 하단 필렛과 상하단 필렛 타입 패키지의 전단강도가 기존 솔더 페이스트 패키지에 비해 각각 15.7%, 46.5% 증가되었음을 알 수 있다. 이것으로 보아 에폭시 경

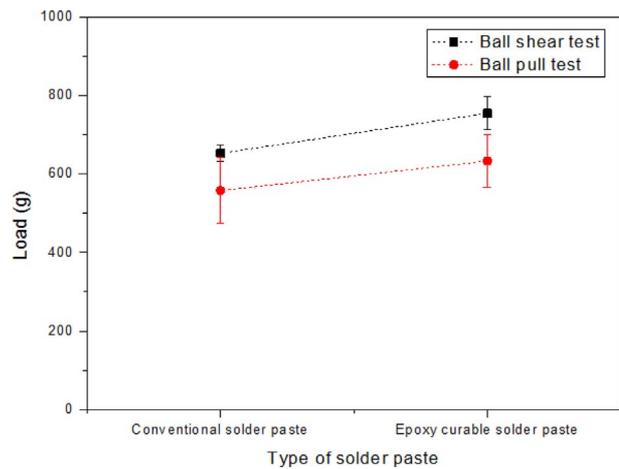


Fig. 9. Ball shear and ball pull load for the various solder pastes.

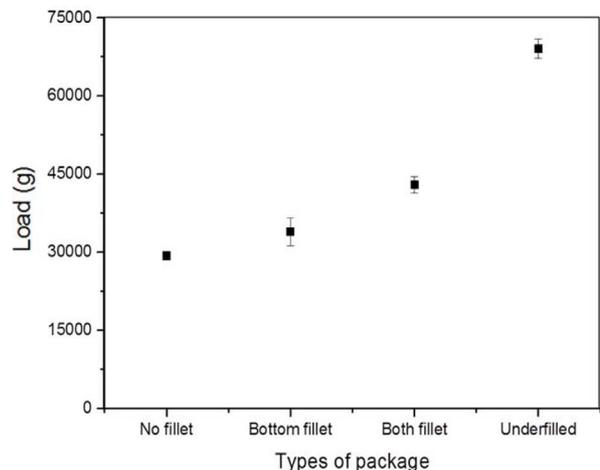


Fig. 10. Die shear strength for the various solder joint structures.

화형 솔더 페이스트는 플럭스 잔사 세정공정의 생략과 함께 솔더 접합부 보강효과를 통해 패키지 신뢰성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 생각되었다.

4. 결 론

에폭시 레진을 주성분으로 하는 경화성 플럭스를 사용하여 제조한 에폭시 경화형 솔더 페이스트에 대한 리플로우 공정성 시험결과, 보드레벨 BGA 솔더볼 주변에 경화물 필렛이 형성된 것으로 보아 플럭싱 작용에 의해 솔더 접합부가 형성된 이후에 경화반응이 진행된 것을 확인할 수 있었으며, 동판에 대한 젖음성 시험을 통해 기존 상용 솔더 페이스트 정도의 납퍼짐성을 갖는 것을 알 수 있었다.

리플로우 후 동판에 대한 고온 고습 노출시험 결과, 기존 로진계 솔더 페이스트의 경우 플럭스 잔사에 의해 동판 부식이 발생된 반면에 에폭시 경화형 솔더 페이스트의 경우에는 부식이 전혀 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었는데, 이는 FT-IR 분석결과 에폭시 경화반응에 의해 플럭스 성분이 단단히 고정된 결과로 생각된다.

에폭시 경화형 솔더 페이스트를 사용하여 어태치된 솔더볼에 대한 불전단 시험결과 경화물 필렛은 전단강도를 향상시키는 효과가 있는 것으로 나타났으며, 불당김 시험에서 당김하중이 증가된 것으로 보아 솔더표면과 접촉본딩을 형성한 것을 확인할 수 있었다. 에폭시 경화형 솔더 페이스트를 적용한 경우 다이전단강도가 15~40% 정도 향상되는 것으로 보아 에폭시 경화형 솔더 페이스트는 플럭스 잔사 세정공정의 생략과 함께 솔더 접합부 보강효과를 통해 패키지 신뢰성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 생각되었다.

References

1. R. J. Klein-Wassink, "Soldering in electronics", Electrochem. Soc., pp.132-171, Electrochemical Publications Ltd. (1994).
2. W. Schmitt, "Resin/Rosin Free Solder Pastes and Fluxes", Proc. 1st Electronics Systemintegration Technology Conference (ESTC), Dresden, 974, IEEE (2006).
3. X. Huang, S. W. R. Lee, C. C. Yan and S. Hui, "Characterization and Analysis of the Solder Ball Shear Testing Conditions", Proc. 51st Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, 1065, IEEE (2001).
4. K. D. Kim, S. H. Huh and J. S. Jang, "Failure Mechanism and Test Method for Reliability Standardization of Solder Joints", J. Microelectron. Packag. Soc., 18(4), 85 (2011).
5. Test Method for BGA Ball Shear, JEDEC Solid State Technology Association, JESD22-B117 (8-10), Arlington (2000).
6. J. H. Ahn, K. S. Kim, Y. C. Lee, Y. I. Kim and S. B. Jung, "Regulation in Shear Test Method for BGA of Flip-chip Packages", J. Microelectron. Packag. Soc., 17(3), 1 (2010).
7. H. I. Kim, S. W. Han, J. M. Kim, M. K. Choi and Y. E. Shin, "Evaluation of pull strength and Fracture Modes of Solder Joints by Modified Ball Pull Testing with Protrusion Jaw", Journal of KWS, 23(4), 34 (2005).
8. D. Xu, X. Li, C. Wang and B. Xu, "Study on wettability and corrosivity of a new no-clean flux for lead-free solder paste in electronic packaging technology", Proc. 2nd Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), Hohhot, 1706, IEEE (2011).
9. F. Contu, L. Fenzy and S. R. Taylor, "An FT-IR investigation of epoxy coatings as a function of electrolyte composition", Progress in Organic Coatings, 75(1-2), 92 (2012).
10. Y. G. Hsu, K. H. Lin, T. Y. Lin, Y. L. Fang, S. C. Chen and Y. C. Sung, "Properties of epoxy-amine networks containing nanostructured ether-crosslinked domains", Materials Chemistry and Physics, 132(2-3), 668 (2012).