

## 강력한 임의진동 하에서 PBGA 패키지의 실험적 신뢰성 검증

김영국<sup>1,†</sup> · 황도순<sup>2</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 공과대학 자율전공학부, <sup>2</sup>한국항공우주연구원

### Experimental Assessment of PBGA Packaging Reliability under Strong Random Vibrations

Yeong K. Kim<sup>1,†</sup> and Dosoon Hwang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Convergence Engineering and Management, Inha University, 100 Inharo, Nam-gu, Incheon-si 402-751, Korea

<sup>2</sup>Korea Aerospace Research Institute, 169-84 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-806, Korea

(2013년 9월 16일 접수: 2013년 9월 25일 수정: 2013년 9월 27일 게재확정)

**초 록:** Plastic ball grid array (PBGA)에 대한 강력한 임의 진동에서의 신뢰성을 실험적으로 검증하였다. 실험시편을 만들기 위해 데이지 체인이 형성된 PCB에 칩을 실장시킨 후 그중 절반은 underfill 공정을 거쳤다. 임의 진동 프로파일은 인공위성 전자장비의 신뢰성 검증에서 사용되는 두 종류의 진동 수준, 즉 판정시험 (acceptance level) 및 합격시험 (qualification level)을 사용하였으며 각각의 power spectrum density는 22.7 Grms와 32.1 Grms였다. 실험후 underfill과 관계없이 모든 샘플에서 솔더의 균열이 발생되지 않았으며, 차후 항공 및 우주용 전자장비를 대체할 수 있는 패키징 구조의 가능성을 보여 줬다.

**Abstract:** Experimental analyses on the solder joint reliability of plastic ball grid array under harsh random vibration were presented. The chips were assembled on the daisy chained circuit boards for the test samples preparation, half of which were processed for underfill to investigate the underfill effects on the solder failures. Acceptance and qualification levels were applied for the solder failure tests, and the overall controlled RMS of the power spectrum densities of the steps were 22.7 Grms and 32.1 Grms, respectively. It was found that the samples survived without any solder failure during the tests, demonstrating the robustness of the packaging structure for potential avionics and space applications.

**Keywords:** PBGA; Reliability, Random vibration, Solder failure

## 1. 서 론

현재 인공위성에서 사용되고 있는 전자장비의 패키징 기술은 상당히 초보단계에 머물러 있다. 그 이유는 오랜 시간동안 검증된 기술을 사용하고, 다량 생산이 아닌 단품 생산이며, 특수한 목적이 아니면 지형 사진이나 일기 예보용 위성 등은 뛰어난 성능이 요구되는 제품이 아니기 때문이다. 따라서 오래된 기술을 사용하여 그 안정성을 입증하였으나, 반면에 그 구조가 투박하고 부피나 무게 등이 요구 성능에 비해 과도한 형태를 가지고 있다. 따라서 그 구조를 지탱하기 위해 주변 구조물도 커져야 하고, 필요 이상의 전력 소모를 야기함으로써 전력 공급 시스템이 커짐에 따라 관련 기기 및 솔라 패널의 크기 역시

커지며 결과적으로 전체 실 하중(payload)에 직접적인 영향을 끼친다. 이러한 무게 및 부피의 증가는 발사체의 크기를 증가시켜 결국은 전체 소요되는 경비의 증가를 가져 오게 된다. 실 하중을 감소하기 위해 인공위성 구조에 대한 다각적인 노력이 진행되고 있지만 인공위성 전자장비에 대한 근본적인 소형화 및 최적화가 이루어지지 않으면 그 한계가 있다.

반면 휴대용 전화기를 중심으로 일반 전기 전자 제품은 보다 작고 가벼운 제품을 만들기 위해 끊임없이 발전을 하고 계속 새로운 패키지 형태를 개발하고 있다. 이러한 패키지에 대한 온도 및 습도 하에서의 신뢰성 예측은 과거 10년간 비교적 많은 연구가 이루어 졌으나, 진동에 의한 신뢰성은 최근에 자동차 전장품을 중심으로 연구가

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: ykkim@inha.ac.kr

© 2013, 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.

시작되었다. 그러나 인공위성에서 요구되는 기계적 신뢰성은 자동차 전자장비에서 요구되는 기계적 신뢰성에 대한 요구 조건보다 훨씬 높은 뿐 아니라 항공기의 그것보다도 높다. 예를 들어 F-15 전투기의 전자부품 신뢰성을 증명하기 위한 실험 임의진동 power spectrum density(PSD)는 주파수 40-100 Hz내에서 가속 진폭 범위가  $0.15 \text{ g}^2/\text{Hz}$ - $0.25 \text{ g}^2/\text{Hz}$ 로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 반면 발사체에 실려 운반되는 인공위성에 전달되는 진동은 일반적으로 20-2000 Hz내에서 가속 진폭범위가  $0.7 \text{ g}^2/\text{Hz}$ 이며 이것을 비교해보면 그 차이가 얼마나 큰 것인가를 알 수 있다. 이러한 조건에서 수행된 신뢰성에 대한 연구 보고는 찾아 볼 수 없으며, 더욱이 우주에 사용되는 구조물에 대한 배타성과 보안성에 의해 관련 자료에 대한 접근성 제한으로 정보 획득에 상당한 어려움이 있다.

이러한 조건에서 그나마 국외의 기술력을 가늠할 수 있는 자료는 기 발표된 논문을 통해서 알 수 있는데, 이에 의하면 항공 우주용 전자장비에 대한 신뢰성 연구는 상당히 최근부터 공개된 것을 알 수 있다. 예를 들어 Qi등은 PBGA를 항공기 avionics에 응용하기 위한 기계적 신뢰성을 연구 2007년 발표하였다.<sup>2)</sup> 또한 군용 항공기에 대한 전자장비를 상용부품(COTS: commercially-off-the-shelf)을 이용해 개발하기 위한 기초 연구도 수행되었다.<sup>3)</sup> 그리고 연구 결과가 정확히 어느 분야에 적용될 수 있는가에 대한 내용은 나와 있지 않지만 높은 주파수에 의한 패키징의 기계적 신뢰성에 대한 연구 결과가 최근에 많이 발표되는 것을 볼 수 있다.<sup>4,14)</sup> 그러나 이 연구에서 고려하는 인공위성 전자장비에 발생하는 강력한 임의진동 레벨에서의 연구는 나와 있지 않다. 국내에서는 한국항공우주연구원의 주도로 한국항공우주산업에서 제품 개발 및 평가가 이루어지고 있고, 국내 학술 논문집에 신뢰성에 관련된 논문이 게재되고 있으나 기술적 해석에 있어서 기초단계에 머무르고 있으며, 따라서 국내 항공 우주용 전자장비에 대한 자체 설계와 신뢰성 평가 및 해석 기술은 거의 전무하다고 할 수 있다.

이 연구의 목표는 상용 전자장비에서 가장 많이 쓰이는 plastic ball grid array (PBGA)패키징 구조가 인공위성 전자장비로 사용될 수 있는가에 대한 기본적 평가를 실험적으로 검증하고자 한다. 이를 위해 발사체가 발사될 때 발생하는 강력한 임의의 진동 하에서 기 만들어진 PBGA샘플에 대해 실시간으로 솔더의 저항을 측정, 그에 대한 신뢰성을 알아보고 궁극적으로 PBGA가 인공위성 전자장비에 사용될 수 있는지에 대한 가능성에 대해 알아보기로 한다.

## 2. 샘플 제작

Fig. 1은 이 연구에서 사용된 PBGA와 PCB 샘플을 보여주고 있다. 가로와 세로의 크기가 8 mm이고 솔더는 8x8개로 총 64개로 구성되어 있다. 솔더의 크기는  $450 \mu\text{m}$

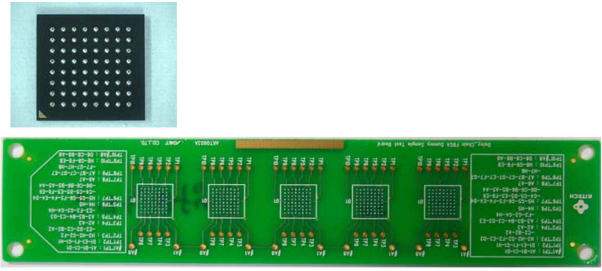


Fig. 1. PBGA chip and PCB for the test specimen.

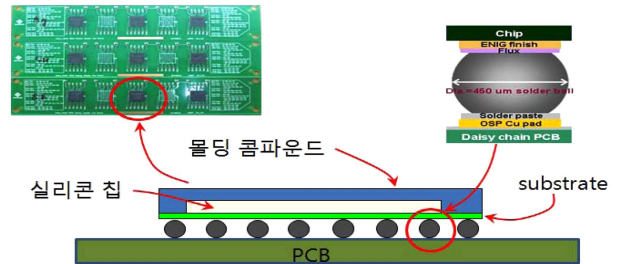


Fig. 2. Section of the PBGA and the surface treatments of the Cu pad.

이고 솔더간의 피치 사이즈는  $810 \mu\text{m}$ 이다. 몰딩 콤파운드 안에 dummy 실리콘 칩이 들어 있고 이 칩은 daisy chain이 있는 BT substrate에 붙어 있으며, 솔더의 재료는 Sn63Pb37이다. 칩 패드에는 무전해 니켈 용융 금도금 (ENIG: Electroless Nickel Immersion Gold) 표면 처리를. 그리고 PCB의 패드는 OSP (Organic Solderability Preservative) 표면 처리를 하여 Cu 패드의 산화를 막고 솔더의 접합성을 증가시켰다. PCB 역시 daisy chain이 되어 있어 칩이 실장된 후 전체가 회로를 형성하여 실시간으로 솔더의 균열을 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 PBGA의 내부 구조와 Cu 패드의 표면 처리 등을 상세하게 보여 준다.

칩과 PCB는 reflow 과정을 통하여 접합되었으며 이중 절반은 underfill 과정이 수반되었다. 모든 과정이 끝난 후 데이지 체인 저항 측정을 통하여 접합상태를 확인하였다.

## 3. 임의 진동 실험

전자장비의 랜덤진동 시험은 통상, Acceptance Level과 Qualification Level로 나뉘는데 Acceptance Level은 Qualification Level을 수행하기 전 전자장비 및 시험 치구 등의 이상유무를 검증하는 단계로 Acceptance Level에 3dB (약2배)를 고려한다. 이 실험에서는 Acceptance Level을 1분간, 그리고 Qualification Level을 2분간 연속적으로 가하는 것으로 하였고 각각 22.7 Grms 과 32.1 Grms를 사용하였다. Fig. 3은 이 두 레벨의 PSD를 그린 것이다.

PCB시편을 고정하기 위해 특별히 지그가 제작되었으며, Fig. 4는 공기압 진동기에 설치된 지그의 고정을 위한 블록, 실험 지그와 그 위에 고정된 PCB시편, 그리고 실

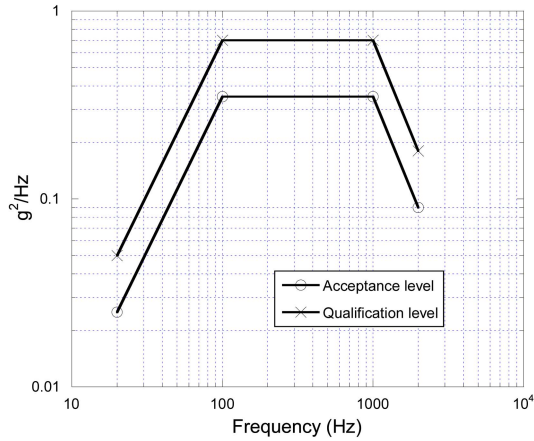


Fig. 3. Power spectrum density profiles of the acceptance level and qualification level.

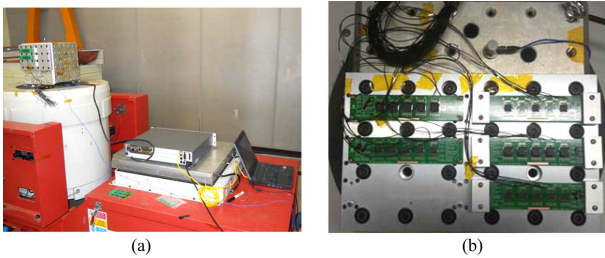


Fig. 4. (a) Test setup for the in-situ measurements (b) Fixture on the jig for the z directional test.

험을 진행하는 동안 실시간으로 저항을 측정할 수 있는 측정 시스템을 보여 준다. PCB시편은 이미 만들어진 PCB 구멍을 볼트로 고정하였다. 실험은 X(평면 장방향), Y(평면 단방향), Z(두께 방향) 세 축에 대해 실시하였다. 진동 실험을 시작하기 전 각 샘플의 저항을 측정하여 이상 유무를 확인하고 초기 값을 조사하였다. 진동 실험 중에는 진동 장치의 진동이 적절히 전달되었는가를 확인하기 위해 지그에 가속 센서를 부착하고 또한 PCB의 중앙에도 가속계를 부착하여 실험중 PCB의 거동을 측정하였다.

#### 4. 실험 결과

앞에서 설명된 진동 프로파일을 따라 진동 실험을 3분간 실시하였다. Fig. 5는 지그와 PCB에 부착된 가속도 센서로 측정된 PSD의 결과이다. 보는 바와 같이 블럭의 PSD는 예정된 PSD 프로파일을 잘 따르는 것으로 나타났다. 그러나 진동판의 PSD는 자체의 고유 진동수에서는 진동이 더해져서 더 높은 가속을 보여주고 있다. 특히 200 Hz부근에서는 가속도가 200 g²/Hz에 도달할 정도로 심하게 진동하였다. Fig. 6은 실시간 측정된 칩 솔더의 저항값을 보여 주고 있다. 보는바와 같이 underfill에 상관없이 이상이 없는 것으로 확인되었다.

시편에 대한 구조적 강건성을 보기 위해 실험이 끝난 후 Qualification level을 이용하여 시편들을 계속 진동상

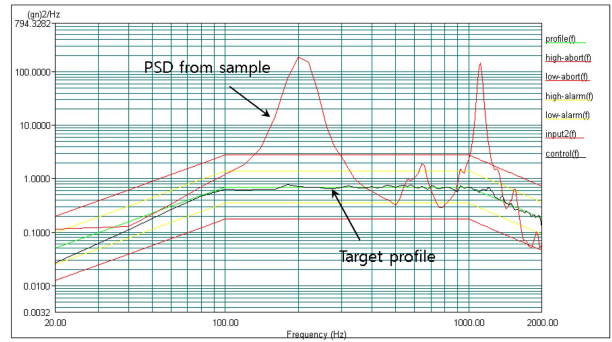


Fig. 5. Measurement results of the power spectrum density of the qualification level.

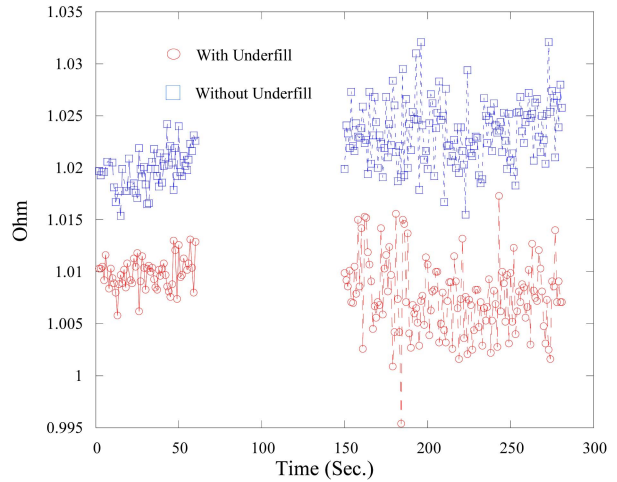


Fig. 6. In-situ resistance measurement results during the tests.

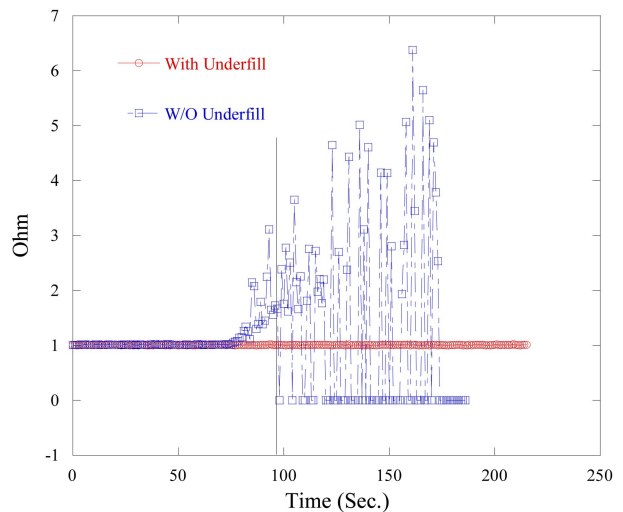


Fig. 7. In-situ resistance measurement results under extended test.

태에 두면서 측정을 실시하였으며, Fig. 7는 솔더의 저항 측정 결과를 나타낸다. 보는 바와 같이 실험을 실시한지 약 80초만에 underfill이 없는 칩의 균열이 시작되는 것을 측정하였고, 100초에는 균열이 완전하게 발생한 것으로 나타났다. 반면에 underfill이 있는 시편은 200초 이상 문

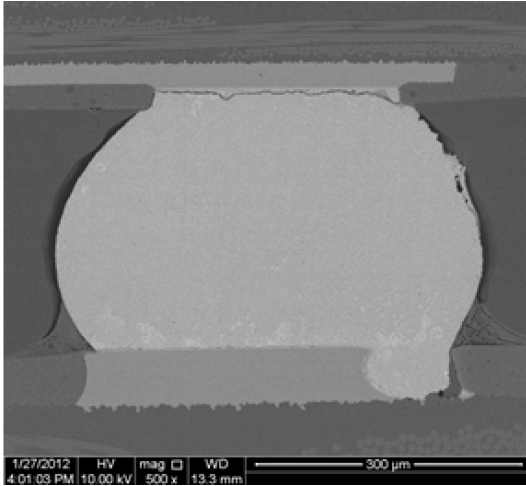


Fig. 8. Solder crack at the intermetallic layer by SEM.

제없이 견디는 것으로 나타났으며, 진동기의 무리를 피하기 위해 실험을 중단하였다. 따라서 underfill이 솔더에 발생하는 응력의 상당부분을 감당하는 것으로 예상된다.

솔더의 파손을 확인하기 위해 단면을 SEM으로 확대하여 보았으며 그 사진이 Fig. 8에 나타나 있다. 이 솔더는 PCB의 가운데 위치한 PBGA의 가장자리에 위치한 것으로서 ENIG 처리가 된 칩 패드에서 intermetallic layer와 솔더 재료의 경계에서 균열이 발견되었다.

## 5. 결 론

항공우주용 전자장비에 대한 경량화 및 소형화를 위해 상용 패키지 구조인 PBGA를 인공위성에서 발생할 수 있는 혹독한 임의 진동하에서 실험적으로 구조적 신뢰성을 평가하였다. 이 결과에 의하면 PBGA구조는 underfill이 없이도 요구조건을 만족할 만큼 강건한 구조로 나타났으며, 앞으로 인공위성 전자장비에 적용할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 특히 underfill이 사용되었을 때에는 상당 시간 솔더의 균열이 발생하지 않는 것으로 관찰되었다. 차후 보다 큰 사이즈의 칩에 대한 신뢰성 검증과 강한 진동에서의 응력 발생 메커니즘 그리고 그에 따른 수명 예측 등에 대한 연구가 이루어지면 신뢰성 검증에 대해 보다 구체적으로 이해될 것으로 기대한다.

## 감사의 글

이 논문은 항공우주연구원의 연구비 지원에 의하여 연

구되었으며 이에 감사합니다.

## 참고문헌

1. R. Ghaffarian, "CCGA Packages for Space Applications", *Microelectron. Reliab.*, 46, 2006 (2006).
2. H. Qi, M. Osterman and M. Pecht, "Plastic Ball Grid Array Solder Joint Reliability for Avionics Applications", *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.*, 30(2), 242 (2007).
3. M. Elik and C. Genc, "Mechanical Fatigue of an Electronic Component under Random Vibration", *Fatigue Fract. Engng Mater. Struct.*, 31(7), 505 (2008).
4. F. X. Che and J. H. L. Pang, "Vibration Reliability Test and Finite Element Analysis for Flip Chip Solder Joints", *Microelectron. Reliab.*, 49, 754 (2009).
5. Y. Zhou, M. Al-Bassyouni and A. Dasgupta, "Vibration Durability Assessment of Sn3.0Ag0.5Cu and Sn37Pb Solders under Harmonic Excitation", *ASME J. Electron. Packag.*, 131(1), 011016 (2009).
6. D. Yu, A. Al-Yafawi, T. T. Nguyen, S. Park and S. Chung, "High-Cycle Fatigue Life Prediction for Pb-free BGA under Random Vibration Loading", *Microelectron. Reliab.*, 51, 649 (2011).
7. M. Wu, "Design of Experiments to Investigate Reliability for Solder Joints PBGA Package under High Cycle Fatigue", *Microelectron. Reliab.*, 50, 127 (2010).
8. R. S. Li, "A Methodology for Fatigue Prediction of Electronic Components under Random Vibration Load", *ASME J. Electron. Packag.*, 123(4), 394 (1999).
9. Y. Zhou, M. Al-Bassyouni and A. Dasgupta, "Harmonic and Random Vibration Durability of SAC305 and Sn37Pb Solder Alloys", *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.*, 33, 319 (2010).
10. C. Basaran, A. Cartwright and Y. Zhao, "Experimental Damage Mechanics of Microelectronics Solder Joints under Concurrent Vibration and Thermal Loading", *Int. J. Damage Mechanics*, 10, 153 (2001).
11. C. Basaran and R. Chandaroy, "Thermomechanical Analysis of Solder Joints under Thermal and Vibrational Loading", *Trans. ASME*, 124, 60 (2002).
12. Y. Zhao, C. Basaran, A. Cartwright and T. Dishongh, "Thermomechanical Behavior of Micron Scale Solder Joints under Dynamic Loads", *Mechanics Mater.*, 3, 161 (2000).
13. Y.-H. Ko, T.-S. Kim, Y.-K. Lee, S. Yoo and C.-W. Lee, "Reliability of High Temperature and Vibration in Sn3.5Ag and Sn0.7Cu Lead-free Solders", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 19(3), 31 (2012).
14. D. S. Steinberg, *Vibration Analysis for Electronics Equipment*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York (2000).