

노트북 컴퓨터에 장착된 SSD의 낙하 실험과 유한요소 해석을 활용한 취약부 및 수명 예측

Prediction of Vulnerable Location and Fatigue Life of an SSD Mounted on a Notebook Computer Utilizing Drop Test and Finite Element Analysis

조영정* · 장건희† · 한미쁨**

Yeungjung Cho*, Gunhee Jang† and Mibbeum Hahn**

(Received October 22, 2021 ; Revised November 8, 2021 ; Accepted November 8, 2021)

Key Words : SSD(solid state drive), Drop Simulation(낙하 해석), Solder Ball(솔더 볼), Finite Element Analysis (유한요소 해석), LCF(low cycle fatigue)

ABSTRACT

This study demonstrates a method for predicting the vulnerable location and fatigue life of an SSD (solid state drive) mounted on a notebook computer in a drop environment. In order to construct the drop environment of a notebook computer, a jig with the same weight and structure as the actual computer was used. The SSD was fixed in the same location as it would be on a notebook computer, and a drop experiment was performed. A drop analysis was performed by developing a finite element model of the notebook computer with the SSD. Additionally, we analyzed the effects of secondary contact between the SSD and other components. The vulnerable location was determined using the stress analysis results from the solder ball of the SSD. Using the analysis results and the Coffin–Manson equation, the fatigue life of the SSD in a drop environment was predicted.

1. 서 론

최근 휴대전화, 태블릿, 노트북 컴퓨터와 같은 휴대용 전자기기의 수요가 증가하고 있다. 휴대 편의성을 위하여 전자기기 부품은 소형화, 경량화, 다기능화되고 있으며 내부 구조는 복잡하고 조밀하게 설계되고 있다. 휴대용 전자기기 특성상 사용자 부주의로 떨어뜨리는 경우가 빈번하게 발생하며 이는 전자기기 수

명에 악영향을 미친다. 특히, SSD(solid state drive)는 휴대용 전자기기에 필수적으로 사용되는 데이터 저장장치이며 낙하 시 데이터 소실 위험이 있어 필수적으로 안전성이 보장되어야 한다. 한 번에 파괴가 되지 않더라도 반복된 충격은 SSD의 solder joint에 균열을 유발하며 결국 SSD의 기능을 잃게 된다. 이러한 배경 속에서, 전자기기의 낙하 환경에 관한 신뢰성 연구가 활발히 진행되고 있다.

Board level 낙하 실험은 JEDEC(joint electron device engineering council)에서 표준 시험 방법을 제

† Corresponding Author; Member, Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang university, Professor
E-mail : ghjang@hanyang.ac.kr

* Member, Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang university, Student

** Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang university, Student

A part of this paper was presented at the KSNVE 2020 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Jae Young Kang

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

공하고 있어 연구의 기준이 되고 있다⁽¹⁾. 많은 연구자들이 해당 기준에서 제시하는 시험 보드와 낙하 조건을 이용해서 낙하 환경에 대한 신뢰성 분석을 수행하였다. Lee 등은⁽²⁾ 낙하 환경에서 다양한 표면 마감과 reflow 과정에 따른 신뢰성에 대한 연구를 수행하여 최적의 표면 마감 방법을 제시하였다. Che 등은⁽³⁾ solder ball의 탄성, 탄소성, rate dependent 소성 물성치를 실험을 통하여 도출하였으며, 수명 실험 결과와 비교하여 낙하 환경에서는 rate dependent 소성 물성치가 낙하 해석에 가장 적합하다는 결론을 도출하였다. Wang 등은⁽⁴⁾ 소성 변형 에너지와 낙하 횟수 간의 상관관계를 도출하여 board-level reliability test board의 수명 예측에 기여하였다. Wu 등은⁽⁵⁾ SAC102와 SAC305 solder joint에 대하여 낙하 환경 해석과 실험을 통하여 응력과 수명의 상관 관계 곡선을 도출하여 피로 수명을 예측하였다. Sridhar 등은⁽⁶⁾ 낙하 환경에서 solder paste의 종류와 aging이 수명에 미치는 영향을 연구하였다. Nguyen 등은⁽⁷⁾ 낙하 실험과 해석을 통하여 재료 물성을 구하여 검증하였다. 하지만 이러한 연구들은 JEDEC 규격에 따라 연구되어 실제 낙하 환경을 대변하지 못했다. 이러한 연구의 한계를 극복하기 위하여 실제 작동 환경을 고려한 제품 단계에서의 낙하에 관한 연구가 수행되었다.

Chung 등은⁽⁸⁾ 실제 제품에 적용되는 다양한 PBA(printed board assembly)의 고정 방법에 따른 낙하 환경에서의 신뢰성에 관한 분석을 수행하였다. Yu 등은⁽⁹⁾ 다양한 휴대폰 case 형상에 따라 낙하 시 발생하는 변위를 측정하여 고정부가 많은 수록 변형이 줄어드는 것을 확인했다. Sharan 등은⁽¹⁰⁾ 휴대폰에 사용되는 PCB의 낙하에 따른 응답을 이론적 풀이를 통하여 계산하였고 해석과 비교하여 정합성을 확인하여 이론적 분석의 가능성을 증명하였다. 이러한 제품 단계의 연구들 또한 실제 제품에 사용되는 PCB는 구현하였지만 제품 전체의 구조를 고려하거나 다른 부품과의 2차 충돌은 고려하지 않았다. Ong 등은⁽¹¹⁾ 휴대폰 완제품의 낙하 실험을 수행하였으나 실험을 통한 현상 측정에만 머물렀으며 해석을 통한 분석이나 수명을 예측하는 등의 활용법이 부족했다. 다만 현상 분석을 통해 제품 단계에서는 1차 충격보다 2차 충격에 의한 손상이 더 심할 수 있다고 언급하여 완제품 단계에서의 연구 필요성을 제시하였다. Yau 등은⁽¹²⁾ 휴대용기기의 낙하 충격에 관한 문헌들을 정리하였다. 많은 문헌들을 종합한 결과 보드 레벨 낙하 분석과 실제 제품의

낙하 분석의 상관관계는 확립되지 않으며 제품 단계에서 많은 연구가 이뤄져야 한다고 발표하였다.

실제 사용되는 제품의 수명 평가는 다른 부품과의 2차 충돌 여부, 구조, 무게 등 고려해야 할 변수들이 많아 어려운 평가로 분류되며 이전 연구자들의 연구만으로는 실제 제품의 수명을 예측하기에는 한계가 따른다. 이 연구는 기존 연구와는 다르게 실험 환경이 아닌 실제 제품에 장착된 환경에서 SSD의 신뢰성을 분석하였다. 또한, 단품의 신뢰성 연구로 밝힐 수 없는 다른 부품과의 2차 충돌에 대한 영향을 분석하였다. 실제 작동 환경을 고려하여 낙하 시험을 수행하였고 유한요소 해석과 Coffin Manson 식을 통하여 노트북 컴퓨터에 장착된 실제 SSD의 수명을 예측하였다. 낙하 충격 시험기를 이용하여 SSD가 포함된 노트북 컴퓨터 지그의 낙하 실험을 진행하였다. 이를 통해 노트북 컴퓨터 지그에 가해지는 가속도와 SSD의 변형률을 측정하였다. 또한 노트북 컴퓨터 지그와 SSD의 유한요소 모델을 개발하여 낙하 해석을 수행하였다. 실험에서 측정된 SSD의 변형률과 해석에서 계산된 변형률을 비교하여 해석 모델의 정합성을 검증하였다. 해석 결과를 바탕으로 낙하 환경에서 취약한 solder ball의 위치를 도출하였으며 이때 응력과 변형률을 도출하였다. 최종적으로 계산된 변형률과 Coffin Manson 식을 활용하여 노트북 컴퓨터 낙하 시 SSD의 수명을 예측하였다.

2. 노트북 컴퓨터에 장착된 SSD의 실험 및 해석 방법

2.1 SSD의 낙하 실험 방법

이 연구에 사용한 SSD는 NAND(Negative AND), DRAM(dynamic random access memory), controller가 PCB에 solder ball을 매개로 하여 실장되어 있으며 Fig. 1에 나타나 있다. 그 주위에 작은 수동 소자가 배치되어 있으며 절연 수지의 일종인 underfill을 이용하여 패키지 아래의 빈 곳을 모두 메웠다. Fig. 1

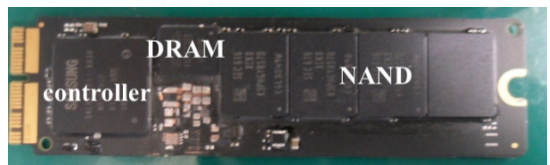
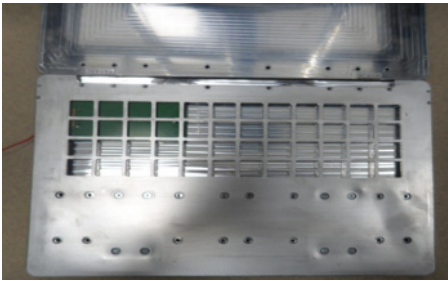


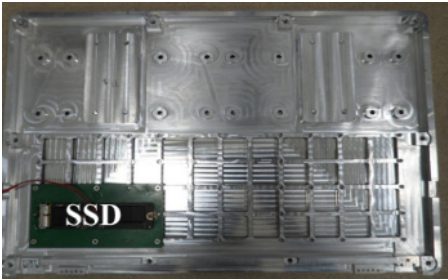
Fig. 1 SSD structure

의 좌측인 SSD의 앞부분은 전용 커넥터에 연결되며 뒷부분은 나사를 이용하여 고정된다. Fig. 2(a)는 SSD가 장착되는 노트북 컴퓨터를 모사한 지그를 보여준다.

키보드 및 접었다 펼치는 경첩을 구현하여 실제 노트북 컴퓨터를 모사하였으며 무게 또한 실제 제품과 동일하게 제작하였다. Fig. 2(b)와 같이 SSD를 실제 장착되는 위치와 동일하게 노트북 컴퓨터 지그에 고정하였다. 노트북 컴퓨터 지그에 가속도계를 부착하여 가속도를 측정하였으며 SSD에는 Fig. 3과 같이 변형이 가장 클 것으로 예상되는 부위에 strain gauge를 부착하여 변형률을 측정하였다. 노트북 컴퓨터 지그를 경량낙하시험기(DT-202)를 이용하여 50 cm 높이에서 자유 낙하시키면서 변형률을 측정하였다.



(a) Top view



(b) Bottom view

Fig. 2 Notebook computer jig with SSD

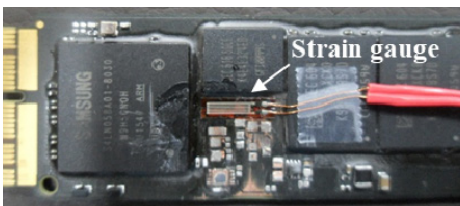


Fig. 3 SSD with strain gauge

2.2 유한요소 모델

유한요소 해석을 위하여 상용프로그램인 ANSYS APDL을 이용하여 SSD의 유한요소 모델을 개발하였다. PCB, NAND, DRAM, controller, solder ball 그리고 underfill을 구현하였으며 제작된 유한요소 모델은 경계조건과 함께 Fig. 4에 나타나 있다. 작은 수동소자의 경우 전체적인 거동에 영향을 미치지 않기 때문에 구현하지 않았다. 개발된 유한요소 모델은 50 406개의 8-절점 사각형 요소로 구성되어 있다. SSD가 장착된 노트북 컴퓨터의 윗면 덮개, mainboard, 아랫면 덮개를 구현한 노트북 컴퓨터의 유한요소 모델을 개발하였으며 80 375개의 4-절점 쉘 요소를 사용하였다. SSD가 장착된 노트북 컴퓨터의 유한요소 모델과 경계조건은 Fig. 5에 나타나 있으며 총 130 781개의 요소를 사용하였다. Mainboard와 윗면 덮개는 나사로 고정되어 있으며 SSD는 mainboard에 장착되어 있는 모습을 해석 모델로 구현하였다. 또한 윗면 덮개와 바닥면 덮개의 외각 절점들이 위, 아래로 함께 움직이도록 강체로 연결하여 단단한 노트북 컴퓨터의 외관을 구현하였다. PCB, NAND, DRAM, controller

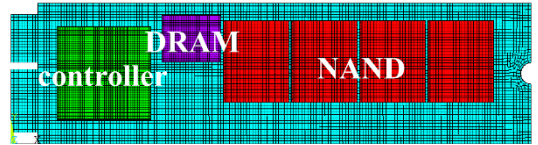


Fig. 4 Finite element model of SSD with boundary condition

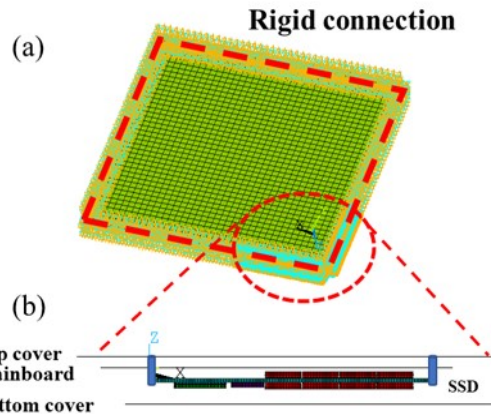


Fig. 5 Finite element model of a notebook computer jig with SSD: (a) quarter view (b) side view

그리고 underfill은 탄성 거동을 가정하였으며 각 부품들의 물성치는 이전 연구자들의 연구를 인용하였고 Table 1과 같다⁽¹³⁻¹⁵⁾. Solder ball은 SAC305 무연 solder이며 bilinear 탄소성 거동을 가정하였다. 이전 연구자의 연구를 인용하여 solder ball의 항복 응력은 33 MPa를 적용하였으며, 항복 응력을 넘어서는 구간에서 응력-변형률 곡선의 기울기인 접선 계수는 120 MPa를 적용하였다⁽¹⁶⁾.

2.3 유한요소 해석 방법

초기 연구자들의 낙하 환경 해석은 모든 낙하 과정을 구현하여 낙하하는 동안의 거동과 바닥 면과 충돌까지 해석하였다. 하지만 해석 모델이 크고 복잡해짐에 따라 이러한 해석들은 해석 시간이 기하급수적으로 증가하게 되었다. 이에 따라 새로운 해석 기법이 필요하게 되었고 다양한 연구가 진행되어왔다. 그 중에서 Luan 등은⁽¹⁷⁾ Input G 방법을 고안하였고 실험과의 비교를 통하여 해당 해석 방법이 충분히 실험 상황을 대변할 수 있음을 확인하였다. Input G 방법은 대상체의 고정부의 절점에 큰 질량 요소를 더해준 후 질량 요소에 가속도를 입력하여 충격을 적용시키는 방법이다. Input G 방법의 높은 정확성, 빠른 해석시간, 해석의 유연성, 유용성, 편의성으로 많은 연구자들이 사용해 왔다^(3,4,12,18,19). 이 연구에서도 노트북 컴퓨터 외각부에 Input G 방법을 적용하였다. 해석에 사용된 solver는 ANSYS LS-DYNA를 이용하였다. LS-DYNA는 음해법을 이용하여 계산하기 때문에 해가 안정적으로 수렴하는 장점이 있다. 낙하 해석 같은 경우 충격 지속 시간이 매우 짧으므로 음해법이 양해법에 비하여 더욱 효율적이고 정확한 결과를 얻을 수 있으며 많은 낙하 연구에서 사용되고 있다^(18,20,21).

Table 1 Material properties of a notebook jig with SSD

Component	Density	Young's modulus	Poisson's ratio
PCB, mainboard	2752	50 000	0.33
NAND, DRAM, controller	2138	13 000	0.40
Solder ball	7094	44 113	0.36
Underfill	1130	2990	0.3
Notebook cover	1800	45 000	0.35

3. 노트북 컴퓨터에 장착된 SSD의 실험 및 해석 결과

3.1 실험 및 해석 결과

SSD를 포함한 노트북 컴퓨터 지그의 낙하 실험을 20회 반복 수행하였다. Strain gauge를 통하여 측정된 시간에 따른 변형률 선도의 예시는 Fig. 6과 같다. 노트북 컴퓨터 지그에서 측정된 평균 최대 가속도는 679 G였으며 평균 지속 시간은 0.52 ms로 나타났으며 Fig. 7과 같다. 측정된 가속도를 유한요소 해석 조건으로 적용하여 해석하였으며 Fig. 8과 같이 실제 strain gauge의 넓이에 해당하는 90개 요소의 평균 변형률을 계산하였다. 이때 해석을 통한 변형률은 120.7 $\mu\text{m}/\text{m}$ 으로 계산되었다. 해석과 실험의 변형률

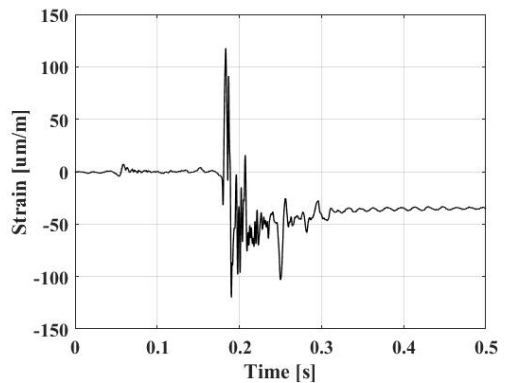


Fig. 6 Measured strain on SSD

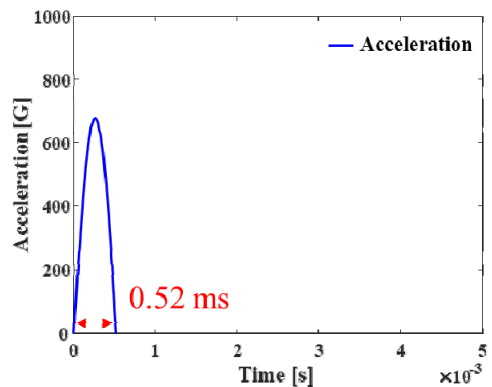


Fig. 7 Measured acceleration on a notebook computer jig

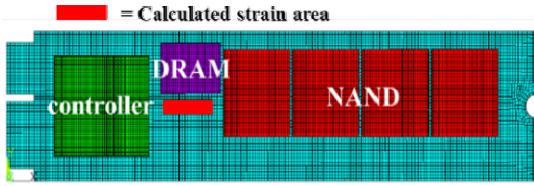


Fig. 8 Strain calculation area of SSD

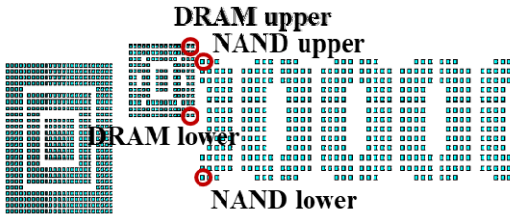


Fig. 9 Location of critical solder ball

결과를 비교하였으며 두 결과의 차이는 3.5%로 동등한 수준으로 나타났다. 이를 통하여 해석 모델의 정합성을 검증하였다.

Fig. 9는 응력이 가장 크게 발생한 네 개의 solder ball의 위치를 보여준다. 이 결과는 solder ball의 최외각에서 응력집중이 발생한다는 이전 연구자의 결과와 동일한 결과이다^(13,22,23). 해당 위치에서의 시간에 따른 응력은 Fig. 10과 같다. NAND 좌측 상단부, DRAM 우측 하단부, DRAM 우측 상단부, NAND 좌측 하단부 순서로 응력이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 외력에 의하여 발생하는 1차 충격 보다 이후 발생하는 최대 충격 구간이 존재하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 11은 1차 충격 구간과 최대 충격구간에서 SSD의 변형 형상을 보여준다. 1차 충격 구간에서는 바닥면 덮개와 접촉이 일어나지 않았지만 최대 충격구간에서는 바닥면 덮개와 접촉하여 2차 충동이 발생한 것을 확인할 수 있다. 서로반대 방향으로 거동하는 SSD와 바닥면 덮개가 부딪혀 1차 충돌보다 큰 응력을 발생시킨 것을 확인하였다.

3.2 해석 결과를 이용한 SSD의 수명 예측

앞선 해석 결과를 토대로 NAND 좌측 상단부 외각 solder ball을 취약부로 판별하였으며 해당 solder ball의 수명을 예측하였다. 항복 응력 이하의 거동에서는 수명이 미치는 영향이 크지 않기 때문에 항복

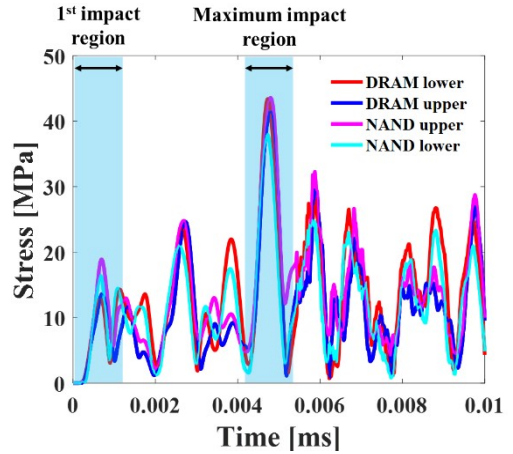


Fig. 10 Von Mises stress of critical solder balls



(a) Deformation in the 1st impact region



(b) Deformation in the maximum impact region

Fig. 11 Deformed shape of a notebook computer jig with SSD

응력 이상의 거동만 고려하였다. 최대 충격 구간을 제외하면 항복 응력을 넘어서지 않는 것을 해석 결과를 바탕으로 확인하였다. 최대 충격 구간에서 해당 solder ball에서의 소성변형률은 0.0889 m/m으로 나타났다. 100 000 cycle 미만의 피로 파괴에 대해서는 LCF(low cycle fatigue)를 표현하는 Coffin Manson 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta\epsilon_p = \epsilon'_f (2N_f)^c \tag{1}$$

여기서 $\Delta\epsilon_p$ 는 소성변형률, N_f 는 파괴에 필요한 cycle, ϵ'_f 는 fatigue ductility coefficient 그리고 c 는 fatigue

ductility exponent이다. ϵ_f 과 c 는 재료의 종류에 따라 결정되는 상수들로 Zhou 등⁽²⁴⁾의 논문에서 사용된 SAC305에 대한 값을 참고하였다. Coffin Manson 식에 계산된 변형률을 입력하여 예상 수명을 계산하였다. 계산 결과를 통해 동일한 하중을 87번 반복하였을 때 파괴가 발생할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 탁상 높이에 해당하는 50 cm 높이에서 노트북 컴퓨터의 낙하 환경에 대한 약 80회의 신뢰성을 보증할 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

이 연구를 통하여 실제 노트북 컴퓨터에 장착된 SSD의 환경을 고려한 낙하 실험과 해석을 수행하여 낙하 상황에서 SSD의 예상 수명을 계산하였다. 실험을 위하여 실제 노트북 컴퓨터를 대변할 수 있는 지그를 제작하였으며 이를 통하여 실제와 유사한 환경을 구현할 수 있었다. 낙하 실험을 통하여 가속도와 변형률을 측정하였으며, 해당 결과를 유한요소 해석에서의 외력 조건으로 사용하였다. 해석에서 계산된 변형률과 실험에서 측정된 변형률의 비교를 통하여 해석 모델의 적합성을 검증하였다. 해석 결과를 통하여 NAND 좌측 상단부 외각 solder ball이 최대 응력이 발생하는 것을 확인하였으며 해당 위치를 취약부로 판별하였다. 또한 취약부로 판별된 solder ball의 소성 변형률을 LCF를 나타내는 Coffin Manson식에 적용하여 87 cycle에 파괴가 발생할 것이라 예측하였다. 이로써 낙하 해석과 낙하 실험을 통하여 낙하 시 실제 제품에 장착된 SSD의 수명을 예측하였다. 향후, 노트북 컴퓨터의 설계 시 바닥면 덮개와 간격 증가시키거나 SSD를 추가적으로 고정하여 2차 충돌이 발생하지 않게 주의가 필요하다. 또한, 취약부로 판단된 DRAM 우측 상단, NAND 좌측 상단 위치의 solder ball을 전기적 연결 기능을 하지 않는 dummy solder ball로 변경하여 낙하 환경에서 SSD의 수명의 증가를 기대할 수 있다.

References

(1) JEDEC Solid State Technology Association, 2003, Board Level Drop Test Method of Components for Handheld Electronic Products, JEDEC Standard

JESD22-B111.

(2) Lee, S. M., Yoon, J.-W. and Jung, S.-B., 2016, Board Level Drop Reliability of Epoxy-containing Sn-58 Mass% Bi Solder Joints with Various Surface Finishes, *Materials Transactions*, Vol. 57, No. 3, pp. 466~471.

(3) Che, F. X. and Pang, J. H., 2015, Study on Board-level Drop Impact Reliability of Sn-Ag-Cu Solder Joint by Considering Strain Rate Dependent Properties of Solder, *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 15, No. 2, pp. 181~190.

(4) Wang, W., Robbins, D. and Glancey, C., 2016, Simulation Model to Predict Failure Cycles in Board Level Drop Test, *IEEE 66th Electronic Components and Technology Conference(ECTC): IEEE*, pp. 1886~1891.

(5) Wu, M. L. and Lan, J.-S., 2018, Reliability and Failure Analysis of SAC 105 and SAC 1205N Lead-free Solder Alloys During Drop Test Events, *Microelectronics Reliability*, Vol. 80, pp. 213~222.

(6) Sridhar, S., Raj, A., Gordon, S. et al., 2016, Drop Impact Reliability Testing of Isothermally Aged Doped Low Creep Lead-free Solder Paste Alloys, *15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm): IEEE*, pp. 501~506.

(7) Nguyen, T. T. and Park, S., 2011, Characterization of Elasto-plastic Behavior of Actual SAC Solder Joints for Drop Test Modeling, *Microelectronics Reliability*, Vol. 51, No. 8, pp. 1385~1392.

(8) Chung, S. and Kwak, J. B., 2020, Comparative Study on Reliability and Advanced Numerical Analysis of BGA Subjected to Product-level Drop Impact Test for Portable Electronics, *Electronics*, Vol. 9, No. 9, p. 1515.

(9) Yu, D., Kwak, J. B., Park, S. and Lee, J., 2010, Dynamic Responses of PCB under Product-level Free Drop Impact, *Microelectronics Reliability*, Vol. 50, No.7, pp. 1028~1038.

(10) Sharan, K. Lahoti, S. and Zhou, J., 2006, Dynamic Response of a Portable Electronic Product Subjected to An Impact Load, *Thermal and Thermomechanical Proceedings 10th Intersociety Conference on Phenomena in Electronics Systems*,

ITHERM 2006: IEEE, pp. 1049~1055.

(11) Ong, Y., Shim, V., Chai, T. and Lim, C., 2003, Comparison of Mechanical Response of PCBs Subjected to Product-level and Board-level Drop Impact Tests, Proceedings of the 5th Electronics Packaging Technology Conference(EPTC 2003): IEEE, pp. 223~227.

(12) Yau, Y. and Hua, S. N., 2011, A Comprehensive Review of Drop Impact Modeling on Portable Electronic Devices, Applied Mechanics Reviews, Vol. 64. No. 2, 020803.

(13) Jang, J., Jang, G., Lee, J., Cho, Y. and Cinar, Y., 2016, Fatigue Life Estimations of Solid-state Drives with Dummy Solder Balls under Vibration, International Journal of Fatigue, Vol. 88, pp. 42~48.

(14) Hassan, S., Ho, K. and Gupta, M., 2004, Increasing Elastic Modulus, Strength and CTE of AZ91 by Reinforcing Pure Magnesium with Elemental Copper, Materials Letters, Vol. 58, No. 16, pp. 2143~2146.

(15) Cho, Y., Jang, J. and Jang, G., 2018, Sensitivity Analysis on the Fatigue Life of Solid State Drive Solder Joints by the Finite Element Method and Monte Carlo simulation, Microsystem Technologies, Vol. 24, No. 11, pp. 4669~4676.

(16) Xu, Z., Jiang, T., Song, F., Lo, J. C. and Lee, S. R., 2010, Modeling of Board Level Solder Joint Reliability under Mechanical Drop Test with the Consideration of Plastic Strain Hardening of Lead-free Solder, 2010 IEEE CPMT Symposium Japan: IEEE, pp. 1~4.

(17) Luan, J. E. and Tee, T. Y., 2004, Novel Board Level Drop Test Simulation Using Implicit Transient Analysis with Input-G Method, Proceedings of 6th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2004)(IEEE Cat. No. 04EX971): IEEE, pp. 671~677.

(18) Luan, J. E., Tee, T. Y., Pek, E. et al., 2006, Advanced Numerical and Experimental Techniques for Analysis of Dynamic Responses and Solder Joint Reliability During Drop Impact, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 29, No. 3, pp. 449~456.

(19) Zhou, J., Sharan, K. and Lahoti, S., 2006, Analytical and Numerical Analysis of Drop Impact

Behavior for a Portable Electronic Device, EuroSime 2006: 7th International Conference on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems: IEEE, pp. 1~7.

(20) Gil, G., Lee, S., Jeon, J., Cho, K. and Jo, Y., 2018, Acquisition the Property of Cushioning Material with the Drop Test and Verification with Finite Element Shock Analysis, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 526~533.

(21) Tee, T. Y., Luan, J. E., Pek, E., Lim C. T. and Zhong, Z., 2004, Novel Numerical and Experimental Analysis of Dynamic Responses under Board Level Drop Test, 5th International Conference on Thermal and Mechanical Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, 2004 EuroSimE, pp. 133~140.

(22) Gu, J., Lin, J., Lei, Y. and Fu, H., 2018, Experimental Analysis of Sn-3.0 Ag-0.5 Cu Solder Joint Board-level Drop/Vibration Impact Failure Models after Thermal/Isothermal Cycling, Microelectronics Reliability, Vol. 80, pp. 29~36.

(23) Lee, J., Jang, G. and Jang, J., 2015, Fatigue Life Estimation of Solid-state Drive due to the Effect of Dummy Solder Ball under Forced Vibration, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 176~183.

(24) Zhou, Y., Al-Bassiyouni, M. and Dasgupta, A., 2010, Harmonic and Random Vibration Durability of SAC305 and Sn37Pb Solder Alloys, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 33, No. 2, pp. 319~328.



Yeungjung Cho received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Yeungnam University, Korea in 2015. He is currently working toward the Ph.D. degree in Convergence Mechanical Engineering at Hanyang University, Seoul, Korea.

His research interests involve the mechanical reliability of electronic components.



Gunhee Jang received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 1984, the M.S. degree in Mechanical Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Seoul, Korea in 1986 and the Ph.D. degree in Mechanical Engineering from University of California, Berkeley, USA in 1993. He is a professor in the Department of Convergence Mechanical Engineering and the director of the Precision Rotating Electromechanical Machine Laboratory (PREM) in Hanyang University, Seoul, Korea. His current research is focused on the failure analysis and reliability of electronic components. He has authored or coauthored over 300 articles published in journals and conferences in his field and the holder of several international patents.



Mibbeum Hanh received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Konkuk University, Korea in 2016. He is currently working toward the Ph.D. degree in Convergence Mechanical Engineering at Hanyang University, Seoul, Korea. His research interests involve the structural analysis of electronic components.