

OLED 모듈의 충격시험용 표준 지그 개발

이광주^{1*}, 김민영²

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부, ²한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

Design of Standard Jigs for Drop Tests of OLED Modules

Kwangju Lee^{1*} and Minyeong Kim²

¹School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

²Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Korea University of Technology and Education

요약 이동전화기의 낙하 충격 시 디스플레이 모듈의 파손은 이동전화기의 재료, 강성 및 형상에 의하여 많은 영향을 받는다. 이동전화기 개발의 초기 단계에서는, 디스플레이 모듈의 내구성을 판단하기 위하여 모듈을 지그에 장착하여 낙하시험을 수행한다. 본 연구에서는 OLED 모듈의 충격 시험을 수행하기 위한 지그를 개발하였다. 지그의 재료, 두께 및 리브의 개수와 방향 등을 설계변수로 고려하여 실제 이동전화기가 낙하할 때 OLED 모듈이 받는 충격 응력과 가장 유사한 응력이 발생하도록 지그를 개발하였다. ABAQUS/Explicit를 사용한 1.5m 높이 충격 해석에서, 개발된 지그에 장착된 OLED 모듈의 유리에서 발생하는 최대주응력은 이동전화기에 장착된 동일 모듈의 유리에서 발생하는 최대주응력과 유사함을 확인할 수 있었다.

Abstract The failure of display modules in cellular phones due to drop impact depends on the materials, stiffnesses and shapes of the phones. In the early development stage of cellular phones, the behavior of the display modules due to drop impact is tested using jigs where the display modules are installed. In this study, jigs of cellular phones for drop impact test of OLED modules were designed. The material, thickness and number and orientation of ribs were considered as design variables. Jigs were designed in a way that responses of modules due to drop impact were similar to those of modules in cellular phones. The maximum principal stresses at the upper glasses of modules were considered as responses, which were analyzed using a commercial software ABAQUS/Explicit. The drop impact analysis at the height of 1.5 meters showed that the responses of OLED module in the developed jig were in a good agreement with those in cellular phone.

Key Words : Drop impact test, OLED modules, Cellular phones, Jig design, FEM

1. 서론

1.1 연구배경

이동전화기와 같은 소형 가전제품은 휴대성이 중요하기 때문에, 휴대 중에 발생하는 낙하 충격에 대한 내구성이 반드시 고려되어야 한다. 이동전화기 디스플레이 모듈의 낙하 충격에 대한 특성은, 모듈이 탑재되는 이동전화기의 형상, 재료, 하중 등에 따라서 크게 달라진다. 따라서 이동전화기에서 사용되는 디스플레이 모듈의 낙하 충

격 특성은 이 모듈을 해당 이동전화기에 탑재하여 파악해야 한다.

그러나 이동전화기의 개발 초기 단계에는 디스플레이 모듈의 낙하 시험을 수행할 이동전화기가 없다. 또한 이동전화기의 설계가 이루어 졌다고 하더라도 개발 단계에서는 이 설계가 수시로 변경되기 때문에, 이 이동전화기와 형상, 재료, 하중 등이 동일한 모형을 제작하여 낙하 충격 시험을 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 이동전화기 개발 단계에서는 이동전화기의 지그를 사용하여 모듈에 대한 낙하 충격 시험을 수행할 수밖에 없다.

*교신저자 : 이광주 (klee@kut.ac.kr)

접수일 11년 04월 5일

수정일 (1차 11년 05월 17일, 2차 11년 06월 08일)

게재확정일 11년 06월 09일

1.2 연구동향

무선통신이 보편화되면서 이동전화기와 같은 휴대용 전자기기의 낙하 충격에 대한 연구의 중요성이 증가하고 있다. 박상후 등 [1]은 액정 디스플레이의 유리의 절단면은 휠커터의 영향으로 인하여 초기 결함을 많이 내포하게 되어 균열성장의 시작점이 된다는 것을 알아내었다. 정재학 등 [2]은 액정 디스플레이 (LCD) 모듈에 대한 충격 해석을 수행하여 구조적인 내충격성을 향상시키는 설계 방향을 제시하였다.

Goyal 등 [3]은 이동전화기의 낙하실험에 있어서 낙하 직전의 자세 유지를 위한 연구를 하였다. Park 등 [4]은 기존 실험에서 국부적인 스트레인과 가속도를 측정했던 것과 달리 초고속 카메라를 이용하여 전체적인 스트레인과 가속도의 분포를 측정하는 기법을 연구하였다.

Wu 등 [5]은 휴대용 전자기기 설계에서 실제 모형을 만들어 실험하는 비용을 줄이기 위하여 충격 해석을 수행하였다. Wang 등 [6]은 전자 제품에 대한 충격 해석에서 충격 각도의 중요성을 연구하였다. 이들은 이동전화기 케이스 해석에서, 충격 각도에서 $\pm 5\%$ 정도의 작은 차이가 충격 응력에서 36%의 차이를 발생시키는 것을 확인하였다.

1.3 연구목적

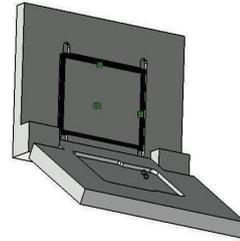
디스플레이 모듈의 낙하 충격 시험에서는 이미 기존에 개발된 이동전화기의 지그가 사용되어 왔다. 그러나 이 지그의 경우, 실제 이동전화기가 디스플레이 모듈에 전달하는 충격 응력을 제대로 구현하지 못하고 있다. 또한 충격 시험은 다양한 조건에서 수백 회 이상 반복적으로 수행하게 되는데, 디스플레이 모듈의 파손 여부를 관찰하고 필요시 교체하는 것이 용이하지 않은 형상으로 설계되어 있었다. 본 연구에서는 실제 이동전화기가 디스플레이 모듈에 전달하는 충격과 유사한 충격을 지그 내부의 디스플레이 모듈에 전달하고, 반복 시험이 용이하고, 적은 비용으로 제작이 가능한 이동전화기 충격 낙하 시험용 지그를 설계하고자 한다. 2.8인치 크기의 OLED 모듈을 사용하는 바 형태의 이동전화기 (bar-type cellular phone)를 대상으로 하였다.

2. 지그 설계

2.1 기존 지그

현재 일부 업체에서 낙하시험용으로 사용하는 지그 그림 1는 재료, 비중, 강성, 형상 등이 이동전화기와 상이하

여, 지그가 OLED 모듈에 전달하는 충격 특성은 실제 이동전화기가 동일한 OLED 모듈에 전달하는 충격 특성과 매우 상이하다. 이 지그의 재료는 Polyacetal이며 OLED 모듈을 제외한 무게는 143g으로 실제 이동전화기의 무게 71g보다 더 무겁다. 이 지그는 OLED 모듈을 장착 및 탈착하기가 매우 힘들어 반복적인 시험을 수행하기 불편한 형상으로 설계되어 있다.



[그림 1] OLED 모듈 낙하 시험용 기존 지그
[Fig. 1] Current jig for drop test of OLED module

2.2 개량 지그의 설계

본 논문에서는 연구목적에서 언급한 여러 가지 관점을 종합하여 개량 지그를 설계하였다. 정확성 (또는 충격 전달성)과 경제성을 높이기 위하여 이동전화기에서 많이 사용하는 PC (Polycarbonate) 재료와 충격 특성이 가장 흡사한 탄소/에폭시 복합재료 (Carbon/Epoxy Composite Material)를 사용하였다. 이 재료의 경우, 원하는 형상으로 미리 재료를 재단하여 성형하기 때문에 제작 공정 및 비용을 대폭 축소할 수 있는 장점도 있다.

지그의 기본 재료로 탄소/에폭시 복합재료를 사용할 경우에 오히려 무게가 너무 가벼워지는 문제가 발생하였다. 따라서 알루미늄이나 강재를 적절히 혼용하여 이동전화기와 유사한 무게를 얻었다. 금속 재료의 혼용으로 충격에 취약한 부위를 보강하는 효과도 거둘 수 있었다.

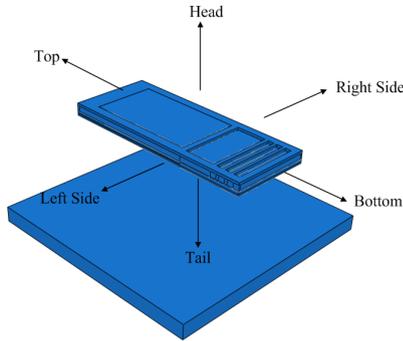
수백 회 반복되는 시험에서 모듈 유리의 파손 여부를 확인하기 위해서 항상 2개의 볼트를 해제하여야 하는 불편함을 기존 지그가 가지고 있었다. 이에 반하여 개량 지그는, 모듈이 지그에 장착된 상태에서도 모듈 유리의 파손 여부를 육안으로 관찰할 수 있도록 설계하였다. 따라서 수백 회 반복되는 시험에서 개량 지그를 사용할 경우 엄청난 시험 시간을 줄이는 효과를 거둘 수 있다. 또한 모듈이 복합재료로 제작된 외부 케이스 속으로 미끄러져 들어가는 “Sliding” 방식을 사용하여 유리가 파손된 모듈의 교체를 쉽게 하였다.

3. 충격 해석

3.1 충격 해석 방법

본 논문에서는 충격 해석을 하기 위하여 상용 프로그램 ABAQUS/Explicit Ver.6.7을 사용하였다. OLED 모듈, 이동전화기 및 지그를 Node가 8개인 3차원 유한요소 C3D8R로 모델링 하였다 [7].

1.5m의 높이에서 자유 낙하하여 초기 속도 5.4m/sec로 바닥에 도착하는 순간부터 3.0×10^{-4} sec 동안 해석을 수행하였다. 해석에서는 2.5×10^{-6} sec의 시간간격을 사용하였다. 충격 이후 이동전화기에 탑재된 모듈의 유리에서 발생하는 최대주응력 (Maximum Principal Stress)을 계산하였다.



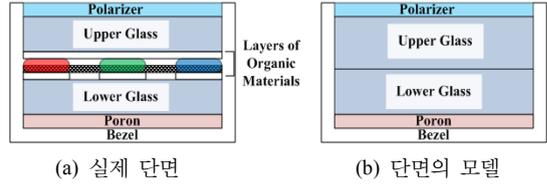
[그림 2] 낙하 방향의 정의
[Fig. 2] Definition of drop directions

낙하 방향은 그림 2와 같이 정의하였다. 해석에서 사용된 이동전화기와 지그들이 모두 좌우 대칭의 구조를 갖고 있기 때문에 실제 해석에서는 그림 2와 같이 우측면 (Right Side)와 좌측면 (Left Side) 중 한 경우에 대한 해석만 수행하였다.

3.2 OLED 모듈의 모델링

OLED 모듈은 그림 3(a)와 같이 얇은 두께의 서로 상이한 물성을 갖는 재료들이 서로 접착된 형상을 갖는다. 본 논문에서는 그림 3(a)에서 도시된 유기 재료 층을 무시하고 OLED 모듈이 Polarizer, 유리 2장, Poron 그리고 강재 재료의 Bezel로 구성되어 있다고 가정하고 모델링을 수행하였다. Polarizer와 Upper Glass는 전면 접착, Upper Glass와 Lower Glass의 경우는 가장자리를 따라서 2mm 만큼의 폭을 ‘ㄱ’자 형태로 접착, Lower Glass와 Poron은 전면 접착, Poron과 Bezel의 경우도 전면 접착되어 있다. ABAQUS/Explicit내의 Contact 조건 중 Tie를 이

용하여 접착부위를 모델링하였다.



[그림 3] OLED 모듈의 단면
[Fig. 3] Cross sections of OLED module

OLED 모듈을 구성하는 4가지 재료들의 두께와 탄성계수 값을 표 1에 정리하였다. Poron의 경우에는 폴리에탄 재질로서 가해지는 압력에 따라 변형의 정도와 탄성계수 값이 달라지므로 탄성계수가 한 값으로 정의될 수 없다. 따라서 표 1에서 Poron의 물성값을 제외하였다. 압축시험에서 사용한 응력의 범위는 0.2~75MPa이며, 변형률의 범위는 0.005~0.8이었다. 압축시험의 결과로 얻은 Poron의 물성치는 ABAQUS내에서 Hyperform을 사용하여 입력하였다 [7].

[표 1] OLED 모듈 구성품의 두께 및 탄성계수
[Table 1] Thicknesses and Young's moduli of constituent parts of OLED module

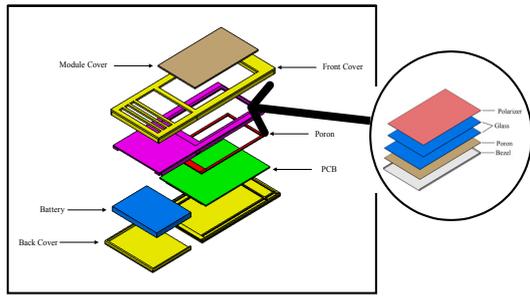
구성 부품	두께 (mm)	탄성계수 (GPa)
Polarizer	0.2	2.4
Glass(Top layer)	0.4	73.0
Glass(Bottom layer)	0.4	73.0
Poron	0.2	-
Bezel	0.2	200.0

3.3 이동전화기 및 지그의 모델링

이동전화기의 모습을 그림 4에 도시하였다. 이동전화기는 바 형태로, 그 두께가 8mm이고 가로 및 세로의 크기가 $53 \times 129mm$ 이며 전면부의 상단에 모듈이 위치하고 그 밑에 버튼이 위치한다.

체결된 결합부위는 Tie조건을 이용하였다. 체결되지 않고 서로 면이 맞닿아 있는 부품들 사이에는 Contact 조건과 함께 마찰계수 값을 부여하였다. Poron과 다른 부품 사이의 마찰계수는 0.8, 다른 부품들 사이의 마찰계수는 0.3으로 가정하였다.

기존 지그의 모델링에서는 힌지와 고정 나사를 자세히 모델링하는 대신에 접촉하는 두면의 Node를 결합하여 좌우가 대칭이라 가정하였다.

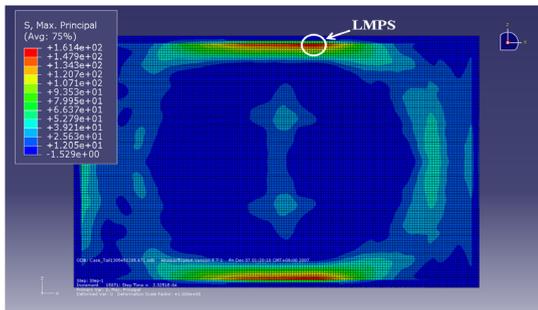


[그림 4] 개발 중인 이동전화기의 구성도
[Fig. 4] Constituent parts of a cellular phone under development

4. 연구 결과

4.1 이동전화기의 해석 결과

유리와 같은 취성재료의 경우 주응력이 파단에 영향을 미친다 [8]. 따라서 해석에서는 최대주응력을 구하였다. Head 방향의 낙하 [그림 2]때 발생한 최대주응력의 분포를 그림 5에서 도시하였다.



[그림 5] Head 방향 낙하 시, OLED 모듈 유리에서 최대주응력의 분포 (LMPS: 최대주응력의 최대값)
[Fig. 5] Distribution of maximum principal stress on OLED module in a cellular phone. Head direction drop

OLED 모듈 유리의 파손 여부는 최대주응력의 최대값 (the largest maximum principal stress)에 의하여 결정된다. 최대주응력의 최대값을 표 2에 정리 하였다.

4.2 기존 지그의 해석 결과

이동전화기와 기존 지그를 사용한 충격 해석 결과를 모두 표 2에서 정리하였다. 이 표로부터, 모든 방향으로의 평균 오차는 약 50.4%로 기존 지그와 이동전화기의 해석 결과에 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

[표 2] 기존 지그 내부 OLED 모듈 유리의 최대주응력의 최대값

[Table 2] LMPS* on the upper glass of OLED module in current jig

낙하방향	이동전화기(MPa)	기존지그(MPa)	오차 (%)
Head	161.4	260.8	61.6
Tail	222.8	241.8	8.5
Top	132.2	96.9	-26.7
Bottom	533.4	86.2	-83.8
Side	229.7	66.2	-71.2

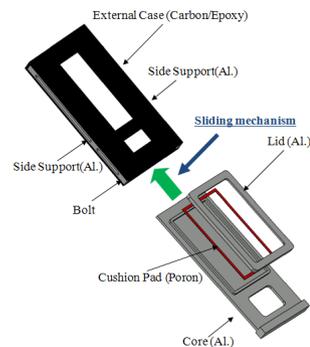
* LMPS: the largest maximum principal stress

4.3 개량 지그 No.1의 설계 및 해석 결과

2.2절에서 언급한 내용들을 감안하여 개량 지그 No.1을 설계하였다 [그림 6]. 외부 케이스 (External Case)는 탄소+에폭시 복합재료를 사용하였다. 외부 케이스의 두께는 2mm이며 그 앞면에 마-자 모양의 창을 만들어 모듈 유리의 파손 여부를 쉽게 관찰할 수 있도록 하였다. 외부 케이스의 뒷면에는 무게 감소를 위하여 구멍을 만들었다. 외부 케이스의 좌우 측면에는 좌우 지지대 (Side Support)를 만들어 외부 케이스에 볼트로 부착하도록 설계하였다.

두께 2mm의 알루미늄 코어(Core)가 지그 내부에 들어간다. OLED 모듈을 알루미늄 코어 위에 올리고 덮개(Lid)를 씌운 다음에 이를 좌우 지지대 내부에 만들어진 홈을 따라서 외부 케이스 안쪽으로 밀어 넣고 볼트를 이용하여 고정하는 방식을 채택하였다.

개량 지그 No.1을 사용한 충격 해석 결과를 표 3에 정리하였다. 표 3에 의하면, Head 방향으로 낙하하는 경우를 제외하고 나머지 모든 경우에서 이동전화기의 해석 결과와 큰 차이가 있다. 즉 개량 지그 No.1이 모듈에 전달하는 충격 특성은 실제 이동전화기가 모듈에 전달하는 것과 매우 상이하였는데 이는 개량 지그 No.1의 외부 케이스 좌우에 위치한 알루미늄 지지대로 인하여 강성이 이동전화기에 비하여 과도하게 높기 때문이다.



[그림 6] 개량 지그 No.1
[Fig. 6] New jig No.1

[표 3] 개량 지그 No.1 내부 OLED 모듈 유리의 최대주응력의 최대값

[Table 3] LMPS* on the upper glass of OLED module in new jig No.1

낙하방향	이동전화기 (MPa)	개량 지그 No.1 (MPa)	오차 (%)
Head	161.4	155.1	-3.9
Tail	222.8	61.8	-72.3
Top	132.2	55.4	-58.1
Bottom	533.4	39.9	-92.5
Side	229.7	61.2	-73.4

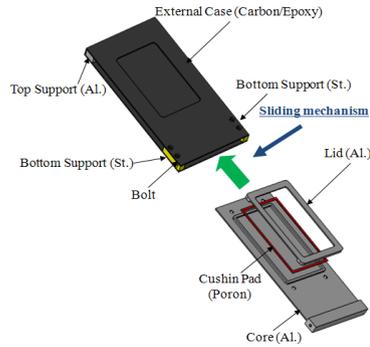
* LMPS: the largest maximum principal stress

4.4 개량 지그 No.2의 설계 및 해석 결과

개량 지그 No.1의 강성을 줄이기 위하여 외부 케이스에 부착된 좌우 지지대 (Side Support)를 제거하고 외부 케이스의 크기를 증가시키는 방향으로 개량 지그 No.2를 설계하였다 [그림 7]. 외부 케이스 뒷면의 구멍을 제거하고 외부 케이스 상단부에 알루미늄 상부 지지대 (Top Support)를 부착하였다. 외부 케이스의 하단부에는 강재로 만든 하부 지지대 (Bottom Support)를 부착하였다. 내부 코어 두께는 1mm로 얇게 하였다.

개량 지그 No.2에서 최적의 외부 케이스 두께를 찾기 위해서 외부 케이스 두께를 2.0, 1.5, 1.2mm로 변화시키면서 낙하 해석을 수행하였다. 해석결과에 의하면, 개량 지그 No.2의 외부 케이스 두께를 작게 할수록 이동전화기 해석 결과와 더 유사하였다. 제작 상의 문제로 개량 지그 No.2의 두께를 1.2mm보다 더 작게 감소하는 것은 불가능하며 두께가 너무 얇아질 경우 충격 시험에서 외부 케이스가 파손될 수도 있다. 따라서 외부 케이스 두께를 1.2mm로 결정하였다. 개량 지그 No.2를 이용한 해석 결과를 표 4에 정리하였다.

개량 지그 No.2의 해석 결과는 Head 방향의 해석 결과를 제외하고는 모두 개량 지그 No.1의 해석 결과보다 더 개선되었음을 알 수 있다. 그러나 개량 지그 No.2의 경우 일부 방향의 낙하 시에 응력 값이 매우 작음을 알 수 있다. 실제 이동전화기에 탑재되는 모듈의 경우 많은 면적이 이동전화기와 접촉을 하고 있으나, 지그 No.2 내부에 탑재되는 모듈의 경우 그 가장자리를 제외하고는 지그와 접촉하는 면적이 작기 때문이었다.



[그림 7] 개량 지그 No.2

[Fig. 7] New jig No.2

[표 4] 개량 지그 No.2 내부 OLED 모듈 유리의 최대주응력의 최대값

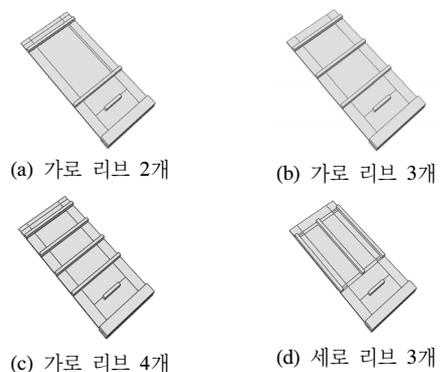
[Table 4] LMPS* on the upper glass of OLED module in new jig No.2

낙하방향	이동전화기 (MPa)	개량 지그 No.2 (MPa)	오차 (%)
Head	161.4	87.0	-46.1
Tail	222.8	212.9	-4.4
Top	132.2	70.7	-46.5
Bottom	533.4	69.2	-87.0
Side	229.7	70.1	-69.5

* LMPS: the largest maximum principal stress

4.5 개량 지그 No.3의 설계 및 해석 결과

지그가 낙하할 때의 충격에너지가 모듈에 잘 전달될 수 있도록 코어의 뒷면에 리브 (Rib)를 설치하여 개량 지그 No.3를 설계하였다. 그림 8과 같이 리브를 가로로 2, 3, 4개를 설치한 경우와 세로로 3개를 설치한 경우에 대해 낙하 해석을 수행하였다. 개량 지그 No.3의 외부 케이스 두께는 1.2mm로 하였다.



[그림 8] 개량 지그 No.3의 알루미늄 코어

[Fig. 8] Aluminum core of New jig No.3

개량 지그 No. 3를 사용한 충격 해석 결과를 표 5에 정리하였다. 그림 8(b)와 같이 리브를 가로로 3개 설치할 때 개량 지그 No.3의 해석 결과가 이동전화기의 해석 결과와 가장 유사함을 알 수 있다. 이 경우에 모든 방향으로의 평균 오차는 약 10.3%로 기존 지그의 평균 오차 50.4%에 비하여 크게 개선되었음을 알 수 있다.

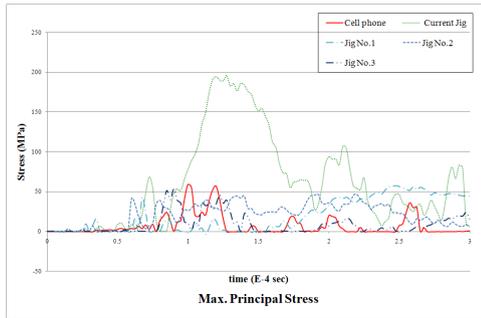
[표 5] 개량 지그 No.3 내부 OLED 모듈 유리의 최대주응력의 최대값 (단위: MPa)

[Table 5] LMPS* on the upper glass of OLED module in new jig No.3 (unit: MPa)

낙하방향	이동전화기	개량 지그 No.3			
		가로리브 2개	가로리브 3개	가로리브 4개	세로리브 3개
Head	161.4	85.3	159.6	151.7	159.6
Tail	222.8	244.8	236.6	252.4	247.3
Top	132.2	99.2	151.9	136.5	92.4
Bottom	533.4	81.5	473.6	79.2	68.1
Side	229.7	97.9	271.7	107.8	115.8

4.6 모듈 유리 중앙에서 최대주응력 해석 결과

이동전화기와 여러 지그들에서 OLED 모듈의 유리 중앙에서 최대주응력이 시간에 따라서 변화하는 값을 그림 9에 나타내었다.



[그림 9] Head 방향 낙하 시, OLED 모듈 윗 유리 중앙에서의 최대주응력

[Fig. 9] Maximum principal stress (MPS) at the center of upper glass of OLED module. Head direction drop

위 그림에서 사용된 개량 지그 No.2의 두께는 1.2mm 이고, 개량 지그 No.3의 코어는 가로 방향의 리브 3개를 사용하였다. 기존 지그의 경우 이동전화기보다 훨씬 큰 응력이 발생하였다. 위 그림에 의하면 개량 지그 No.3가 가장 최적의 설계라고 말할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기존에 사용되던 OLED 모듈의 낙하 충격 시험용 지그를 개선하여 새로운 지그를 설계하였다.

개량 지그는 낙하 시험 수행 후 지그의 체결부를 해제하지 않고 즉시 육안으로 모듈 유리의 파손 여부를 관찰할 수 있으며 모듈 유리가 파손된 경우에도 쉽게 이를 교체할 수 있도록 설계되었다. 개량 지그에서는 실제 이동전화기에서 많이 사용하는 PC (Polycarbonate)와 충격 특성이 유사하고 제작이 손쉬운 탄소/에폭시 복합재료를 사용하여 외부 케이스를 제작하였다. PC 재료를 사용하는 지그에 비하여 금형 비용 등이 들어가지 않기 때문에, 개량 지그는 매우 적은 비용으로 제작할 수 있는 장점이 있다.

개량 지그에서 OLED 모듈의 유리가 받는 최대주응력의 최대값이 이동전화기에서의 최대값과 유사하도록 지그를 설계하였다. 탄소/에폭시 복합재료를 사용한 외부 케이스의 두께가 작을수록 개량 지그에서의 OLED 모듈의 거동이 이동전화기에서의 거동과 유사하였다. 두께가 지나치게 작아지면 가공이 힘들고 충격시험에서 지그 자체의 파손이 발생하므로, 최적의 두께는 1.2mm라고 판단 된다.

이동전화기와 유사한 크기의 충격응력을 OLED 모듈에게 전달하기 위하여 지그 내부에 리브를 설치하였다. 리브의 개수와 방향을 설계변수로 고려하였다. 충격응력의 해석 결과, 3개의 리브를 가로 방향으로 설치할 경우 지그 내부에서 OLED 모듈의 거동이 이동전화기에서의 거동과 가장 유사하다는 결과를 얻었다. 이렇게 설계된 지그를 사용한 충격해석 결과는 이동전화기를 사용한 해석 결과와 평균 10.3%의 오차가 발생하며, 기존 지그에서의 평균 오차 50.4%에 비하여 크게 개선되었음을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 개발한 충격시험용 지그는 실제 이동전화기의 거동과 유사하며, 이동전화기의 개발 초기 단계에서 이동전화기를 대신하여 OLED 모듈의 거동에 대한 실험에 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

References

[1] Park, S.H., Lee, B.Y. and Earmme, Y.Y., "Analysis on the Fracture of a Panel Glass in a Liquid Crystal Display Module under Mechanical Shock", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.17, No.12, pp.76~81, 2000.

[2] Joung, J-H., Kim, H-B-R., Seong, Y-H. and Choi, H-H., "A Study on Strength Evaluation of LCD Glass for Drop Test", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.24, No.10, pp.99~108, 2007.

[3] S. Goyal, S. Upasani, D.M.patel, "Improving Impact Tolerance of Portable Electronic Products: Case study of Cellular Phones", *Experimental Mechanics*, Vol.39 No.1, 1999.

[4] Seung-bae Park, Chirag Shah, Jae Kwak, Changsoo Jang, James Pitarresi, "Transient Dynamic Simulation and Full-Field Test Validation for A Slim-PCB of Mobile Phone under Drop/Impact", *Electronic Components & Technology Conference*, pp.914~923, 2007.

[5] Jason Wu, Guoshu Song, Chao-pin Yeh, Karl Wyatt, "Drop/Impact Simulation and Test Validation of Telecommunication Products", *Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, pp.330~336, 1998.

[6] Hsing-Ling Wang, Shia-Chung Chen, Lei-Ti Huang, Ying Chieh Wang, "Simulation and Verification of the Drop Test of 3C Products", *8th International LS-DYNA Users Conference*, pp.14-7~14-18, 2004.

[7] Dasso Simulia, Abaqus version 6.7 Example Problems Manual, Vol. 1.

[8] Norman E. Dowling, *Mechanical Behavior of Materials*, 3rd ed., Pearson Prentice Hall, pp. 278~279, 2007.

김 민 영(Min Yeong Kim)

[정회원]



- 2007년 8월 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 (공학학사)
- 2009년 12월 ~ 현재 : (주)오스 템 선행연구팀

<관심분야>

자동차 구조 해석, 구조 시험

이 광 주(Kwangju Lee)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학학사)
- 1991년 11월 : Department of Aerospace and Ocean Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 교수

<관심분야>

구조역학, 신뢰성