한국정밀공학회지 제 24 권 제 10 호 (2007 년 10 월)
Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 10, October 2007

액정 디스플레이(LCD) 낙하 충격해석에 관한 연구

정재학#, 김한바라*, 승용호**, 최현호***

A Study on Strength Evaluation of LCD Glass for Drop test

Jae-Hak Joung#, Han-Ba-Ra Kim*, Young-Ho Seong** and Hyun-Ho Choi***

ABSTRACT

As the structure of a mobile phone becomes thin to catch up with a slim product trend, the reliability of a LCD module is on the rise as a big issue for a product design. A drop test is the most basic and important verification method for a mechanical quality control but it requires much time and cost during a product development process. Thus many manufacturers have considered design guide lines using CAE and simulation for more effective usage of limited resources on the market. In this paper, the Maximum Principle Stress of a LCD glass panel is calculated on the basis of explicit FE Analyses method and input conditions are determined according to the general test standard. The design guideline for reliability improvements are suggested on the basis of the results of FE Analysis.

Key Words : LCD (액정 디스플레이), Mobile phone (휴대폰), LCD Module (LCD 모듈), Drop test (낙하 시험), Drop Impact Simulation (낙하충격해석), FE Analysis (유한요소해석), CAE (컴퓨터 응용공학), Design guideline (설계지침)

1. 서론

최근 휴대폰이 소형화 되는 추세에 따라 LCD 모듈의 두께가 지속적으로 얇아지고 있다. 이 때문에 LCD 모듈의 구조적 강성이 줄어들게 되며, 제품 사용환경에 따른 신뢰성 문제가 개발의 주요 문제로 대두되고 있다. 낙하 시 LCD 모듈의 유리판(glass panel)에 균열(crack)이 일어나는 현상은 가장 일반적으로 발생하는 결함(failure)이기 때문에 제품의 내 충격성은 개발자들이 설계작업을 수행할 때 가장 중점적으로 고려하는 사항이다.

제품의 기구적 신뢰성을 점검하기 위해 설계단계에서 사용환경, 운송환경, 생산환경에서 발생가능한 조건들을 고려한 시험항목으로 품질평가를 실시하며, 휴대폰의 경우에는 지상으로부터 일정 높이(test height)에서 제품을 떨어뜨린 후 제품이 정상적으로 동작하는지 여부와 외관의 파손여부를 확인하는 낙하 시험(drop test)을 수행하게 된다.

낙하 시험에는 실제 견본품(prototype)이 사용되기 때문에 순수 설계작업 이외의 추가적인 시간과 비용이 요구되며, 이 점을 개선하기 위하여 유한요소 법(FE analysis)을 활용한 제품의 파손예측에

☞ 접수일: 2006 년 12 월 15 일; 게재승인일: 2007 년 8 월 28 일
교신저자: LG 이노텍 부품연구소
E-mail: freestyle_air@yahoo.co.kr Tel: (010)7999-0098
* LG 생산기술원 디자인엔지니어링 그룹
** LG 전자 MC 연구소
*** LG 이노텍 부품연구소

관한 연구가 많은 관련기관에서 수행되어 왔다.

랩탑(laptop) 컴퓨터 및 대형 TV 용 LCD 모듈에 대한 내 충격성 평가 관련 연구가 국내 제조업체들을 중심으로 진행되어 왔으며 [1-2], 휴대폰 단말기의 경우에는 휴대폰 개폐(open-close) 시의 기구적 내구성 평가 방법 [6] 과 낙하충격에 대한 해석결과를 실험결과와 비교 검증하는 연구사례들이 발표되었다.[10-12]

일반적으로 충격강도를 평가하기 위한 정량적인 기준으로 최대 응력(max. stress)과 변형 량(deformation)을 사용하고 있으며, 본 논문에서도 동일한 기준을 적용하였다. 개발자들은 해석결과를 바탕으로 설계상의 기구적 문제점을 도출하고, 추가적인 개선작업을 진행하게 된다.

본 논문에서는 휴대폰 완제품을 낙하시키는 경우와 부속품인 LCD 모듈만을 따로 낙하시켰을 때에 LCD 유리패널에 인가되는 응력을 각각 산출하여 상호 비교하였고, 균열 발생가능성에 대하여 정량적으로 예측하여 설계개선 방향을 제시하였다.

2. 현상 분석

2.1 낙하 시험

낙하 충격시험의 시험 높이는 제조사 및 제품의 종류별로 다소 차이가 있으며, 휴대폰과 같은 소형 전기 기기의 경우는 1.5m ~ 1.8m 사이의 높이를 적용하는 것이 일반적이다.

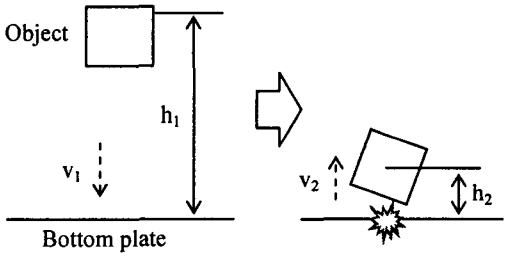
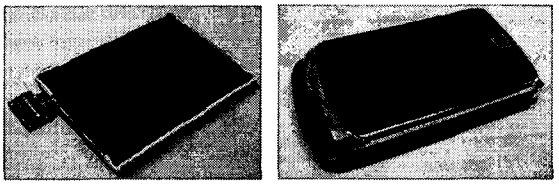


Fig. 1 Schematic diagram of drop test

한국 공업규격(KS)[3] 에는 시험 대상물의 고장이 가장 발생하기 쉽다고 판단되는 서로 수직인 3 축을 선정하여, 각 방향에 3 회, 합계 9 회의 연속한 충격펄스(pulse)를 가한 후 정상동작 여부를 확인하는 것으로 명시되어 있다. 이 기준을 바탕으로 각 제조사 별로 고유의 신뢰성 평가기준을 지정하여 개발단계에서 적용하고 있다.

물체가 지상으로 떨어질 때 공중에서 회전하는 경우가 발생할 수 있는데, 이를 방지하기 위한 시험 장치가 Wu, J.[4] 등에 의해 제안되었다. 하지만 장치의 복잡성 때문에 일반적인 개발현장에서는 공중에서의 물체 회전에 대한 점검을 하지 않으며, 초기 낙하 방향과 최종 제품 성능을 중심으로 제품의 낙하 신뢰성을 평가한다.

본 연구에서는 마찰계수(coefficient of kinetic friction) 0.4, 댐핑 비(damping ratio) 0.01 의 주철(cast iron) 바닥 면(bottom plate)이 장착된 충격시험기를 사용하였으며, 공중에서의 자세 제어를 위한 별도의 시험 장치는 구성하지 않은 상태에서 자유낙하 시험을 수행하였다.



(a) LCD module (b) Mobile phone

Fig. 2 Experiment models

시험용 시료는 Fig. 2 의 폴더 형 휴대폰을 사용하였으며, LCD 모듈의 단품 상태와 LCD 모듈이 조립된 휴대폰 완제품 상태에 대하여 각각 1.5m 높이에서 자유낙하를 시켜 LCD 유리패널에 균열이 발생하는지 여부와 물체의 충돌 거동을 관찰하였다. 시험 시 Fig. 3 에 정의한 대로 제품의 각 면에 대한 방향으로 낙하시험을 실시하였으며, 폴더형 (folder type) 휴대폰의 경우에는 폴더가 열린 상태에서의 시험을 추가하였다.

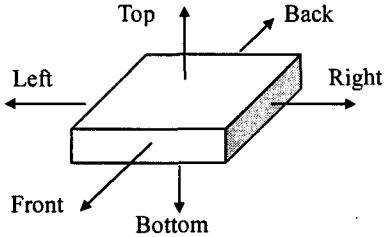


Fig. 3 Falling directions for drop test

Table 1 은 낙하시험 결과로 시료가 지면과의

충돌 후 튀어 오르는 높이(rebound height)와 LCD 유리 패널의 균열 발생여부를 나타낸 것이다.

Table 1 Drop test result

	Initial drop direction	Rebound height, h_2 (cm)		LCD crack
		Mean	Standard deviation	
LCD module	Main LCD Glass impact	1.04	0.65	None
	Sub LCD Glass impact	1.07	0.58	None
Mobile phone	Lower folder impact	3.33	1.02	None
	Upper folder impact	3.78	0.85	None
	Side impact (Left, Right)	3.61	2.83	None
	Front folder impact	3.72	1.27	None
	Back (Hinge) side impact	3.67	2.53	None
	Open state impact	3.16	1.29	None

지면과 충돌 후 튀어 오르는 높이는 물체의 낙하 방향에 따라 다소 차이가 있으며, 물체의 모서리(edge) 부분이 지면과 충돌하는 경우가 물체의 면(face) 부분이 충돌하는 경우에 비해 더 높이 튀어 오르는 경향을 보였다. 휴대폰 모서리 부분의 충돌 시 불규칙한 방향으로 튀어 오르면서 배터리(battery)가 분리되는 경우가 발생할 수 있는데, 이러한 경우는 일정한 경향성 없이 간헐적으로 관찰되었다.

시험 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 다수의 시편으로 반복시험을 실시하여 평균값(mean)과 표준편차 값(standard deviation)을 산출했으며, 표준 편차 값이 클수록 불규칙하게 튀어 오르는 빈도가 높다고 판단할 수 있다. Table 1 에서 휴대폰 측면(side) 방향에 대한 낙하 시의 표준 편차 값이 상대적으로 높은 것으로 나타났는데, 이는 물체가 지면과 충돌하는 순간에 접촉하는 부분이 모서리가 될 확률이 다른 낙하 방향에 비해 상대적으로 높기 때문인 것으로 판단된다.

시험 결과 모든 낙하방향에 대하여 LCD 모듈과 폴더 형 휴대폰 완제품 상의 LCD 유리패널에 균열이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 평균 낙하 충격력

낙하하는 물체가 지면과 충돌하기 직전의 속도 v_1 과 충돌 직후 튀어 오르는 속도 v_2 는 에너지 보존법칙에서 유도된 식 (1), (2)을 이용하여 계산할 수 있다.

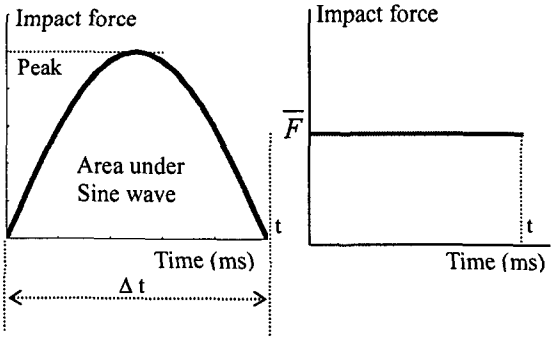
$$\textit{Impact velocity} \quad v_1 = \sqrt{2gh_1} \tag{1}$$

$$\textit{Rebound velocity} \quad v_2 = -e \times v_1 \tag{2}$$

여기서 e 는 반발계수(coefficient of restitution)로 충돌 전후의 운동속도 변화 량을 정의하며, 식 (3)을 이용하여 계산된다. h_1 은 초기 낙하 높이, h_2 는 충돌 후 튀어 오르는 높이를 각각 나타낸다.

$$e = v_2 / v_1 = \sqrt{h_2 / h_1} \tag{3}$$

지면과의 충돌 시 물체로 가해지는 힘(force)은 Fig. 4 (a)와 같은 반 사인(half-sine)파 형태로 표현된다.



(a) Impact force (b) Average impact force

Fig. 4 Drop impact force

이러한 반 사인파 형태의 충격력 곡선으로부터 식 (4)를 이용하여 평균 충격력(average impact force)을 계산할 수 있다. (Fig. 4 참조)

$$\overline{F} = \text{Area under Sine wave} / \Delta t \tag{4}$$

$$\overline{F} = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{5}$$

$$\Delta v = |v_1| + |v_2| \quad (6)$$

식 (4)의 Δt 는 물체가 낙하하여 충돌하는 순간에 지면과 접촉하는 시간인 충격지속시간(duration)을 의미한다. 충격지속시간에 영향을 미치는 인자(factor)들 중 대표적인 것이 상호 충돌하는 물체들의 재질(material)이며, 일반적으로 충돌 대상 물체의 경도(stiffness)가 높을수록 충격지속 시간은 감소하는 경향을 나타낸다.[6]

휴대폰을 비롯한 소형 가전제품의 낙하 시 일반적인 충격 지속 시간의 범위는 약 1.0 ~ 2.0 ms 사이에 분포하는데 바닥 재질이 목재일 경우에는 2.0 ms 에 가까운 값이 측정되며, 주철 바닥과 같이 강체에 가까운 재질에 부딪칠 때에는 그 값이 작아진다.[10-13]

선행 연구사례들의 실험적 근거들을 바탕으로 본 연구에서는 1.0 ms 의 Δt 를 적용하여 평균 낙하 충격력을 계산하였다.

2.3 계산 결과

식 (5)와 (6)을 이용하여 1.5m 높이에서 낙하 시 가해지는 평균 충격력(average impact force)을 계산하였다. 이를 위해 Table 1 의 높이 h_2 에 대한 평균치와 정밀 저울을 이용하여 각 물체의 질량(mass)를 각각 산출하였다. (Table 2 참조)

Table 2 Average impact force

	Mass (g)	h_2 (cm)	e	Δ v	Average impact force (N)
LCD module	9.8	1.0	0.08	5.85	57
Mobile phone	86.5	3.5	0.15	6.23	539

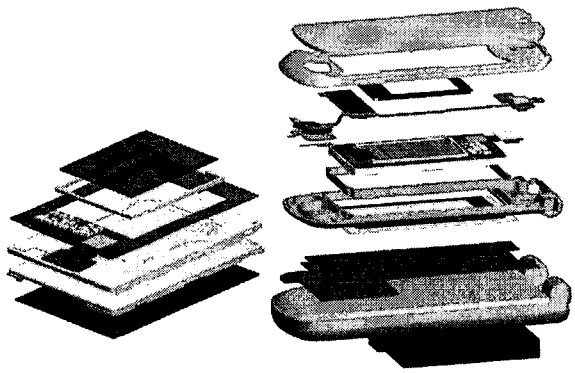
계산을 수행한 결과, 휴대폰 완제품을 낙하 시켰을 경우에 외곽 케이스(case)에 가해지는 평균 충격력이 LCD 모듈만을 별도로 낙하 시켰을 경우의 충격력에 비하여 약 9.5 배 정도 큰 것으로 산출되었다. 이 같은 이유 때문에 제품 개발 시 휴대폰 외곽 케이스의 표면으로부터 LCD 모듈로 전달되는 충격력을 완화시킬 수 있는 방안이 반드시 고려되어야 한다.

Table 1 의 h_2 값들을 각각 적용하여 휴대폰 완제품에 인가되는 평균 충격력들을 계산했을 때, 낙하 방향 별로 산출된 값들의 차이는 2% 범위를 넘지 않았다. 이로부터 휴대폰 완제품의 낙하 방향 별 평균 충격력의 차이는 크지 않다는 것을 확인할 수 있다.

3. 충격낙하 해석

3.1 모델 단순화

휴대폰 내에는 LCD 모듈을 비롯한 많은 부품이 포함되어 있으며, 각각의 부품들은 볼트 체결, 테이프 부착과 같은 다양한 방법으로 상호결합이 되어 있다. 해석모델은 실제 제품의 형상을 최대한 반영하되, LCD 유리패널의 응력산출에 직접적으로 관련이 되는 부품들을 중심으로 실제 모델을 재구성하였다.



(a) LCD module (b) Mobile phone

Fig. 5 Model simplification

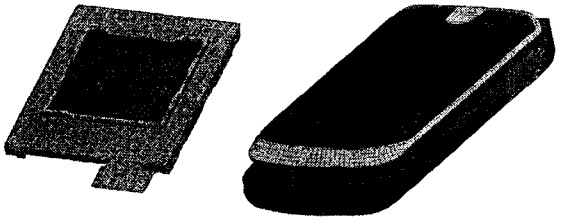
카메라 모듈, 키 패드(keypad)와 같이 형상이 복잡하면서 LCD 유리패널의 충격강도에 큰 영향을 주지 않는 부품들은 원통이나 직육면체와 같은 기본 도형(primitive)들로 단순화하여 모델에 포함시켰다. (Fig. 5 참조)

3.2 유한요소 모델 생성

Fig. 6 는 단순화 된 모델을 기준으로 유한요소 모델을 생성한 것으로 휴대폰의 외곽 케이스, 기판 (PCB) 등을 비롯한 대부분의 부품들이 쉘 요소(shell element)로 구성되어 있다. 하지만 완충용 스폰지와 같이 두께 방향 특성에 대한 정의가 필요하거나, LCD 모듈의 몰드 프레임(mold frame)과 같

이 다양한 단면적을 지닌 부품은 쉘 요소로 표현하기 부적절하기 때문에 솔리드 요소(solid element)를 사용하였다.

쉘 요소로 구성된 부품들은 중립면(mid-surface) 상에 메쉬를 생성해주고 두께를 정의해주었다.



(a) LCD module (b) Mobile phone

Fig. 6 Finite element model

Fig. 6 (b)의 휴대폰 모델은 40,000 여 개의 쉘 요소와 20,000 여 개의 솔리드 요소의 조합으로 이루어져 있으며, 유한요소의 크기는 LCD 유리 패널을 중심으로 가능한 조밀하게 구성하였다.

3.3 경계조건 설정

구성 부품들에 대한 정확한 물성치(material property)의 확보는 신뢰성 있는 해석결과를 도출하기 위한 전제 조건으로 본 연구에 적용된 주요 물성치들은 인장 시험 등과 같은 기계적 강도시험들을 통하여 산출하였다.

Choi, S.S.[5] 등의 연구에 LCD 유리를 비롯하여 휴대폰에 적용되는 주요 부품들에 대한 물성치가 일부 수록되어 있으며, 본 연구에서는 기존에 발표된 논문들이 제시하고 있는 물성치 자료들을 취합한 후, 실험으로 산출된 값들과 비교하여 각 부품별로 가장 타당성이 높다고 판단되는 수치들을 적용하였다.

Table 3 는 부품 별 재질과 물성치를 나타낸 것으로, ρ 는 밀도, E 는 탄성계수 (Young's modulus), ν 는 포아송 비(Poisson's ratio), σ_y 는 항복응력(yield stress)를 각각 의미한다.

낙하 충격력은 물체의 무게에 비례하는 경향을 가지기 때문에, 해석 모델의 무게는 계산 신뢰성을 확보하기 위한 중요한 요소이다.

Table 4 는 실제 제품의 무게와 해석 모델의 무게를 상호 비교한 것이다. 부품 별 물성치의 밀도를 조절하여 해석 모델의 무게를 실제 모델의 무게에 근접하도록 조정하였다.

Table 3 Material property

	Material	ρ (kg/mm³)	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)
LCM Chassis	SUS304	7.4E-6	200.0	0.29 ~ 0.30	275
TFT Panel	Glass	2.1E-6	61.0 ~ 80.0	0.22 ~ 0.25	60 ~ 75
LGP	LX2801	1.0E-6	1.2 ~ 3.8	0.38	44 ~ 58
POL	PET	1.05E-6	3.0	0.33 ~ 0.41	55
PCB	Phenol	6.4E-6	3.0 ~ 20	0.30 ~ 0.35	350 ~ 400
Case	PC	1.32E-6	6.0 ~ 14.6	0.30 ~ 0.38	200 ~ 230
Key pad	Acryl	1.5E-6	1.2 ~ 2.8	0.38	44 ~ 58
Tester bottom	Cast iron	7.2E-6	200.0	0.29	310

Table 4 Weight correlation of models

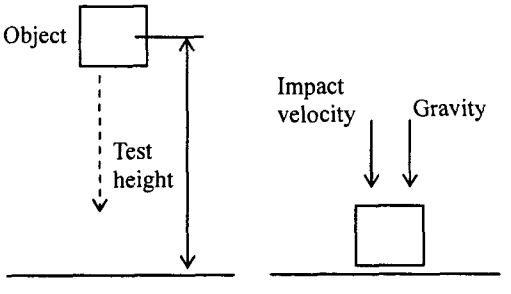
	Actual weight (g)	Model weight (g)
LCD module	9.8	9.7
Mobile phone	86.5	85.9

각각의 부품들은 볼트, 테이프, 키와 홈 등의 다양한 방법으로 결합이 되어 있다. 해석모델 상에서 부품들 사이의 결합을 정의하기 위하여 볼트 체결 부분에는 강체(rigid body)결합을 적용하였고, 양면 테이프로 접착되는 부분은 요소 상의 노드(node)들을 서로 묶어주는 방식으로 표현하였다.[8-9]

휴대폰이 지면과 충돌할 때 충격으로 인해 폴더가 열리는 현상이 발생할 수 있는데, 이러한 거동을 표현하기 위하여 힌지(hinge) 부의 모델링, 국소 좌표 계(local coordinate system)의 정의, 회전각도 별 토크(torque) 크기 입력 등의 절차를 수행한다.

낙하충격 해석 시 가장 일반적으로 적용되는 하중 조건(loading condition) 정의 방법은 Fig. 4 (a)와 같은 반 사인파 형태의 충격가속도 입력을 충격이 가해지는 위치에 인가해주는 것이다. Choi,

S.S.[2] 등은 TFT-LCD 모듈 상에 특정 점을 지정하고, 반 사인파 형태의 충격가속도를 인가하여 낙하 해석을 수행하였다. 이 경우에는 입력 조건인 충격 가속도를 측정하기 위한 시험절차가 선행되어야 한다.



(a) Real drop (b) Loading condition

Fig. 7 Finite element model

본 연구에서는 휴대폰의 개발 시 일반적으로 수행하는 낙하 신뢰성 시험과 동일한 현상을 표현하기 위하여 Fig 7 (b)와 같은 하중 조건을 적용하였다. 물체를 지면 바로 위에 위치시키고 충돌 직전의 속도와 중력가속도를 인가해줌으로써 Fig. 7 (a)와 같은 실제 낙하와 동일한 해석결과를 도출할 수 있으며, 계산에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 낙하 대상 물체와 지면 사이의 접촉 강성(contact stiffness)는 0.1 을 적용하였다.

유한요소 모델 생성에는 매쉬 생성 소프트웨어인 Altair HyperMesh 를, 해석 수행에는 비선형 충돌 해석 전용 소프트웨어인 PAM/CRASH 2G 를 각각 이용하였다.

3.4 해석결과

해석 작업 시 충격에 취약하다고 판단되는 낙하방향을 선별하여 계산을 수행하였다. 취약 방향은 개발 단계에서의 낙하 시험 중 불량 발생빈도를 기준으로 선정하였다.

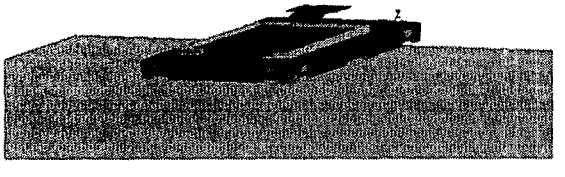
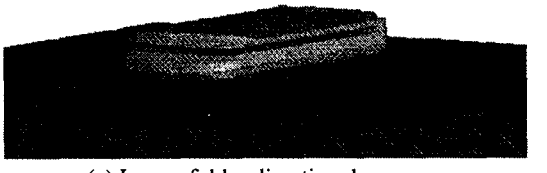
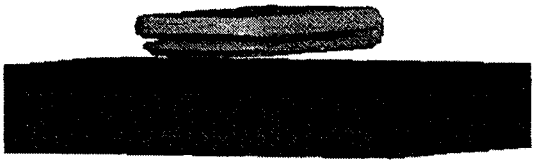


Fig. 8 Drop direction of LCD module

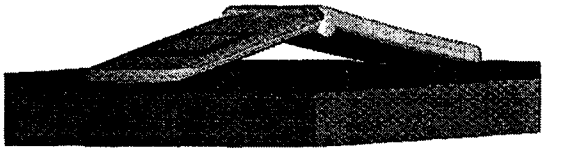
LCD 모듈만을 낙하시킬 때에는 일반적으로 Fig. 8 과 같이 주 LCD 유리패널(main LCD glass panel)이 아래쪽을 향할 때 충격에 취약한 경향을 보였다. 실제 LCD 모듈 시편을 가지고 반복적인 낙하시험을 하면 지면과 충돌 후 튀어 오르는 높이가 상대적으로 낮은 경우가 발생하는데, 이 때의 파손 가능성이 높다는 것을 확인할 수 있다. 이는 충격력의 상당 부분이 지면과 접촉하는 부품의 내부로 흡수되기 때문인 것으로 판단된다.



(a) Lower folder direction drop



(b) Upper folder direction drop



(c) Open state drop

Fig. 9 Drop direction of Mobile phone

Table 5 Max. Stress on LCD Glass Panel

	Drop direction	Max. Principle stress (MPa)
LCD module	Main LCD Glass impact	57.0
Mobile phone	Lower folder impact	26.1
	Upper folder impact	56.7
	Open state impact	42.2

LCD 모듈이 조립된 휴대폰 완제품 모델은 Fig. 9 과 같이 3 가지 낙하방향을 설정하여 해석을 수행하였다. 폴더가 닫힌 상태에서 2 가지 방향, 폴더가 열린 상태에서 1 가지 방향을 정하여 각각의 해석결과를 도출하였다.

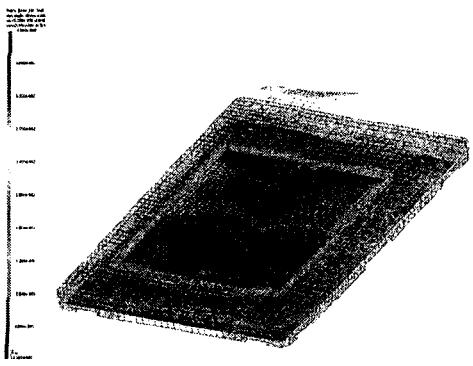
Table 5 는 각 낙하방향에 대하여 LCD 유리패널에 인가되는 최대 주 응력 (Max. Principle stress) 값을 나타낸 것이다.

LCD 유리패널의 파손을 규정하기 위하여 Park, S.H.[1] 등은 한계응력(σ_{max})과 한계 표면 거칠기를 각각 286.6 MPa, 19.9 μm 로 정의하였으며, Choi, S.S.[2] 등은 한계응력 (ultimate stress) 70 MPa 을 파손의 판단기준으로 사용하였다. 이외의 많은 연구사례에서 파손여부의 판단 기준으로 물성치의 한계응력을 적용해 왔으며, LCD 유리패널의 한계응력은 제조사에 따른 다소의 차이가 있지만 일반적으로는 65 ~ 75 MPa 사이의 값으로 알려져 있다.

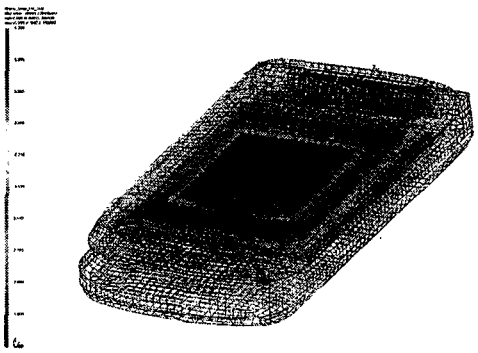
본 연구에서는 LCD 유리패널 상의 최대 주 응력 값이 70 MPa 을 초과할 때 크랙과 같은 파손 발생의 가능성이 상대적으로 높은 것으로 판단하였다.

Table 5 에서 LCD 모듈 및 휴대품 완제품에 대한 모든 낙하 방향에서의 계산결과 값이 파손 기준 응력인 70 MPa 이하로 산출되었으며, 이를 근거로 본 연구에 적용된 해석 모델의 구조적 설계가 낙하에 대한 내 충격성을 가질 수 있다고 판단할 수 있다.

실제 낙하시험 시 어떠한 방향으로 낙하를 시켜도 LCD 유리패널 상의 파손이 발생하지 않았기 때문에(2.1 절 참조) 실제 시험결과와 해석결과가 비슷한 경향성을 나타낸다고 볼 수 있다.



(a) Stress distribution of LCD module



(b) Stress distribution of mobile phone

Fig. 10 Max. Principle stress of drop object

Fig. 10 은 대상 물체가 지면과 충돌하는 순간에 받는 응력의 분포를 나타낸 것으로, 높은 응력이 집중된 곳의 파손 가능성이 상대적으로 높다고 판단할 수 있다.

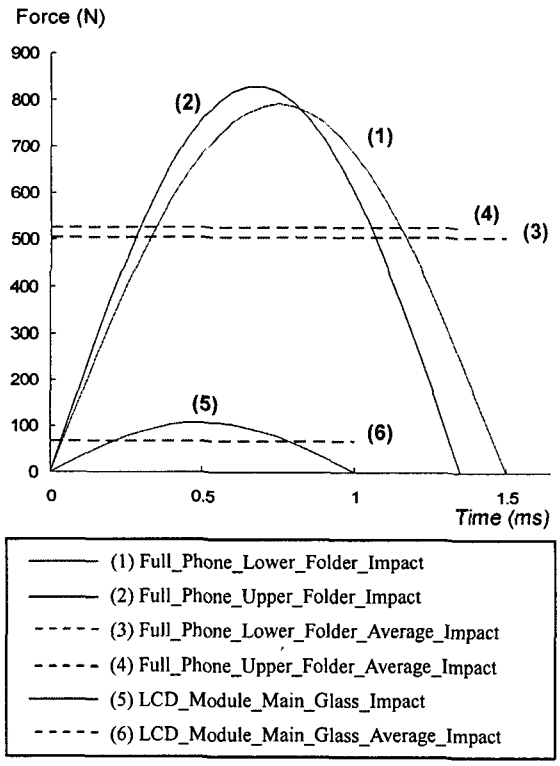


Fig. 11 Impact force

Fig. 11 은 각 낙하 방향에 대한 충격력 곡선을

나타낸 것이다. 휴대폰 완제품이 아래쪽 폴더(lower folder) 방향으로 낙하하는 경우에 피크 값 792 N, Δt 값 1.5 ms 인 반 사인파 형태의 충격력이 휴대폰 외곽 케이스에 가해지게 되며, 산출된 충격력 곡선을 식 (4)를 이용하여 평균 충격력으로 변환하면 504 N 의 값이 산출된다. 이와 같은 방법으로 다른 낙하 방향에 대한 평균 충격력도 계산할 수 있다.

Table 6 은 각 낙하 방향에 대한 해석결과로부터 산출된 평균 충격력과, 2.3 절에서 실제 낙하 시험 결과를 이용하여 계산되었던 평균 충격력을 비교한 것이다. (Table 2 참조)

Table 6 Average impact force

	FE Analysis result (N)		Calculation on the basis of h_2 (N)
LCD module	Main LCD Glass impact	69	57
Mobile phone	Lower folder impact	504	539
	Upper folder impact	527	

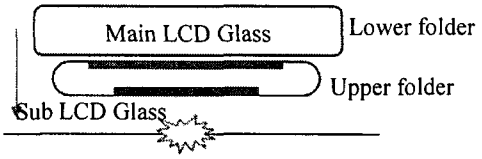
해석 결과로부터 산출된 평균 충격력 값을 실제 낙하시험 결과 h_2 를 이용하여 계산된 값들과 비교했을 때 80% 내외의 수준에서 상호 일치하였다.

휴대폰 완제품이 낙하하는 상황에 대한 해석 결과를 분석한 결과, 지면과의 최초 충격 발생 시 780 ~ 840 N 범위의 피크 값과 1.0 ~ 1.6 ms 사이의 Δt 값을 가지는 충격력 곡선이 산출되었으며, 평균 충격력의 범위는 495 ~ 530 N 이었다.

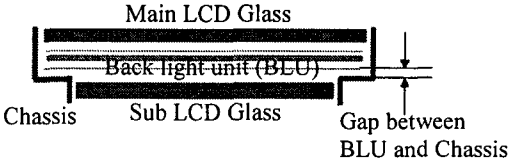
휴대폰 완제품에서 위쪽 폴더 방향으로의 평균 낙하 충격력은 아래쪽 폴더 방향의 평균 충격력에 비해 약 4.6% 정도 높지만, LCD 유리 패널에 인가되는 최대 응력은 위쪽 폴더 방향으로 낙하하는 경우가 아래쪽 폴더 방향으로 낙하하는 경우에 비해 2 배 이상 높다는 것을 확인할 수 있다. (Table 5 참조) 이는 휴대폰의 기구적 구조 상 아래쪽 폴더의 부품들이 위쪽 폴더에 위치한 LCD 유리 패널로 전달되는 낙하 충격력을 어느 정도 완충시켜주기 때문인 것으로 판단된다. 위쪽 폴더 방향으로의 낙하 시에는 충격을 완충해 줄 수 있는 부품이 다른 낙하방향에 비하여 적기 때문에, 상대적으로 높은 응력이 LCD 유리패널에 인가된다.

3.5 개선방안

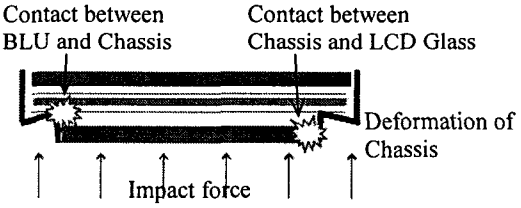
낙하 충격해석의 결과자료는 제품 설계자들이 구조적인 강도가 약한 부분을 인지하고, 기구적인 보강을 위한 작업 방향을 설정하기 위한 참고 자료로 활용될 수 있다.



(a) Upper folder direction drop



(b) Structure of LCD Module



(c) Deformation for impact force

Fig. 12 Breakage of LCD Module

Table 5 에서 휴대폰을 위쪽 폴더 방향으로 낙하시킬 때의 LCD 유리 패널의 파손 가능성이 다른 방향의 낙하하는 상황에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났는데, Fig. 12 는 발생 가능한 파손 원인들을 분석한 것이다.

휴대폰 외곽 케이스가 지면과 접촉하는 순간에 충격력이 LCD 유리 패널 주위를 둘러싼 새시(chassis) 쪽으로 전달되는데, 이 때 Fig. 12 (c)에 표현된 지점에 형상 변형이 발생될 수 있으며, 이로 인하여 LCD Glass 에 직접적인 충격이 가해져 파손가능성이 높아질 수 있다.

이러한 점을 보완하기 위하여 새시의 처짐 변형량을 감소시킬 수 있는 기구적인 설계 변경 방

안들이 제안될 수 있다. 예를 들면 처짐이 예상되는 새시 표면에 길이방향과 수직으로 비드(bead)를 생성하는 방법, 새시 모서리부의 형상 설계를 변경하는 방법, 충격 완화 테이프(cushion tape)를 백 라이트 유닛(back light unit)과 새시 사이의 간극(gap)에 부착하는 것 등이 현업에서 적용 가능한 방안들이다.

Table 7 Design guideline of LCD module

Part	Improvement method
Chassis	Thickness adjustment
	Side edge design change
	Material change
Mold frame	Thickness adjustment
	Design change
FPCB	Thickness adjustment
LCD Glass & Mold frame	Gap size adjustment
Cushion tape	Thickness adjustment
	Material change
	Location change
	Size adjustment

Table 7 은 개발현장에서 LCD 모듈에 일반적으로 적용될 수 있는 기구적 보강 방법들을 정리한 것이다. 이러한 기구적 보강작업이 이루어지기 전과 적용된 이후의 구조물들을 각각 해석하여 상호 비교함으로써 LCD 유리 패널의 파손 가능성이 감소하였는지의 여부를 정량적으로 점검해 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) LCD 모듈과 휴대폰에 대한 기구적 신뢰성을 평가하기 위하여 낙하시험을 실시하였고, 낙하 시 물체가 튀어 오르는 높이를 측정하여 평균 충격력을 계산하였다.
2) LCD 모듈과 휴대폰 완제품의 실물을 기준으로 LCD 유리 패널의 강도를 효율적으로 평가할 수 있는 해석모델을 구성하였고, 유한 요소 법으로 최대 주 응력을 계산하여 내 충격성에 대한 구조적인 신뢰성을 판단할 수 있는 방법을 제시하였다.
3) 낙하 시험 시 떨어뜨리는 방향에 따라 LCD 유리 패널 상에 인가되는 최대 주 응력의 차이가 있음을 확인하였고, 구조적인 내 충격성을 향상시키는 데 참조 가능한 설계 지침들을 제시하였다.

연구에 적용된 유한 요소 모델은 실제모델을 단순화 하여 구성된 것이며, 각 부품 별로 적용된 물성치들은 편차가 배제된 평균적인 수치들이기 때문에 본 연구에서 소개된 해석 결과는 실제 거동과 어느 정도 차이를 보일 수 있다. 이러한 해석 결과의 신뢰성에 관련된 문제점들은 향후 더욱 정밀한 모델링 작업과 신뢰도가 향상된 물성치들의 데이터베이스를 활용함으로써 점진적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

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," J. KSPE, Vol. 17, No. 12, pp. 76-81, 2000.
2. Choi, S. S. and Lee, J. G., "Structural Design Review of LCD-TV Module by Impact Analysis," 4th European LS-DYNA Users Conference, pp. G-Ⅱ-01 ~ G-Ⅱ-10, 2003.
3. Korean Agency for Technology and Standards, "Shock Testing Procedure for Electric Machines and Equipment," Korean Industrial Standards (KS C 0905), 2006.
4. Wu, J., Song, G., Yeh, C. P. and Wyatt, K., "Drop/Impact Simulation and Test Validation of Telecommunication products," Inter. Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 330 -336, 1998.
5. Choi, S. S., Kang, E. and Kim, D. C., "Drop Impact Simulation for Optimum Design of TFT-LCD," 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998.
6. Kim, H. B. R., "A Study of case breakage for folder type cellular phone with in case of opened and closed," PAM Users Conference in Korea, HANPAM 2004, Session A, 2004.

7. Kim, Y. J., Koo, J. C., Moon, S. I. and Kim Y. J., "Simplified Impact Analysis Based on Equivalent Static Analysis for Impact Design of TFT-LCD Panels," Key Engineering Materials, Vols. 270-273, pp.114-119, 2004.
8. ESI GROUP, "PAM-CRASH™ PAM-SAFE™ 2005 Solver Notes Manual," ESI GROUP, 2005.
9. ESI GROUP, "PAM-CRASH™ PAM-SAFE™ 2005 Solver Reference Manual," ESI GROUP, 2005.
10. Wu, J., Song, G., Yeh, C. P. and Wyatt, K., "Drop/Impact Simulation and Test Validation in Motorola," 5th International LS-DYNA Users Conference, 1998.
11. Kim, J. G., Lee, J. Y. and Lee, S. Y., "Drop/Impact Simulation and Experimental Verification of Mobile Phone," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 25, No. 4, pp. 695-702, 2001.
12. Takada, S. and Musha, A., "Mobile-phone Structural Design Technology," MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE, Vol. 102, pp. 18-20, 2003.
13. Lim, C. T., Teo, Y. M. and Shim, V. P. W., "Numerical Simulation of the Drop Impact Response of a Portable Electronic Product," IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS AND PACKAGING TECHNOLOGIES, Vol. 25, No. 3, pp. 478-485, 2002.