

휴대용 IT 기기의 디스플레이 내충격 설계를 위한 손상평가 연구

김병선*(성균관대 대학원 기계설계과), 이덕진(성균관대 대학원 기계공학과),
구자춘(성균관대 기계공학부), 최재봉(성균관대 기계공학부), 김영진(성균관대 기계공학부), 주영비(삼성전자)

Study on The Shock Damage Evaluation of TFT-LCD module for Mobile IT Devices

B. S. Kim(Mechanical Eng. Dept., SKKU), D. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., SKKU), J. C. Koo(Mechanical Eng. Dept., SKKU),
J. B. Choi(Mechanical Eng. Dept., SKKU), Y. J. Kim(Mechanical Eng. Dept., SKKU), Y. B. Chu(SAMSUNG)

ABSTRACT

TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) module is representative commercial product of FPD(Flat Panel Display). Thickness of TFT-LCD module is very thin. It is adopted for major display unit for IT devices such as Cellular Phone, Camcorder, Digital camera and etc. Due to the harsh user environment of mobile IT devices, it requires complicated structure and tight assembly. And user requirements for the mechanical functionalities of TFT-LCD module become more strict. However, TFT-LCD module is normally weak to high level transient mechanical shock. Since it uses thin crystallized panel. Therefore, anti-shock performance is classified as one of the most important design specifications. Traditionally, the product reliability against mechanical shock is confirmed by empirical method in the design-prototype-drop/impact test-redesign paradigm. The method is time-consuming and expensive process. It lacks scientific insight and quantitative evaluation. In this article, a systematic design evaluation of TFT-LCD module for mobile IT devices is presented with combinations of FEA and testing to support the optimal shock proof display design procedure.

Key Words : Impact tester 충격시험기), Shock Damage Evaluation (충격손상평가), TFT-LCD (초박막 액정 표시장치), Anti-shock performance (내충격 성능)

1. 서론

평 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display)의 대표기술로 상징되는 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 휴대용 IT 기기(Mobile IT Device), Note PC, 모니터(Monitor), TV 등 소형 통신 기기에서부터 대형 가전기기까지 광범위하게 사용되고 있는 장치이다. TFT-LCD는 소비전력이 기존 브라운관 방식 대비 30~40% 정도이며, 경량 박형이 가능하고 유해 전자파를 방출하지 않는다는 장점을 갖고 있다.⁽¹⁾

TFT-LCD 모듈은 일반적으로 휴대용 기기의 화면표시장치로 사용되므로 경량박형을 요한다. 또한 휴대용 IT기기의 사용환경은 날로 가혹해지고 있는 실정이며, TFT-LCD 모듈은 사용환경에서 야기될 수 있는 모든 충격에 대한 내충격 성능을 필요로 한

다.⁽²⁾ 그러나, TFT-LCD 모듈은 박형의 유리 기판을 사용하기 때문에 충격에 매우 취약한 특징을 갖는다. 따라서, TFT-LCD 모듈의 내충격 성능은 주요한 설계인자로서 취급되고 있다.

일반적으로 TFT-LCD 모듈의 내충격 평가를 위해서는 설계에 따라 시제품을 제작한 후, 충격시험을 통해 안전성 여부를 판단하게 된다. 그러나 시제품이 내충격성을 만족하지 못할 경우에는 휴대용 IT기기와 같은 첨단 제품의 재개발에 따르는 막대한 경제적, 시간적 손실을 야기한다.⁽³⁾

이러한 문제를 해결하기 위해 유한요소해석(Finite Element Analysis) 기법을 이용하여 설계단계에서 TFT-LCD의 내충격 평가를 수행할 수 있는 공학적 해결 방법이 필요하다. 이러한 필요에 의해 노트북, 모니터, 대형 디지털 TV의 디스플레이에 쓰이는 TFT-LCD에 대한 손상평가와 충격 거동에

대한 연구가 이루어진 바 있다.⁽¹⁻⁵⁾

그러나 휴대용 IT 기기의 TFT-LCD 모듈의 충격 거동에 관한 연구는 미흡한 것으로 알려져 있다. 휴대용 IT 기기의 TFT-LCD 모듈의 경우 구동 IC의 파손, LCD 패널(LCD panel)의 깨짐, 액정 주입구의 깨짐 등 패널에 대한 손상이 주 파손 현상으로 나타나고 있다. 따라서, 휴대용 IT 기기의 TFT-LCD 모듈에 대한 정량적이고 엄격한 설계 기준의 정립이 요구되고 있으며 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 유한요소해석(Finite Element Analysis) 기법을 이용하여 설계단계에서 TFT-LCD의 충격손상평가를 수행할 수 있는 충격해석 기법을 제시하고자 한다. 또한 휴대용 IT 기기의 TFT-LCD 모듈에 대한 정량적인 충격손상평가를 위하여 반복성 있는 충격을 가할 수 있는 충격시험기를 제작하여 유한요소해석의 결과를 검증하고 정량적인 내충격평가를 위한 시험기로 활용하고자 한다.

2. TFT-LCD 모듈의 충격실험

2.1 충격시험기

휴대용 IT 기기의 디스플레이 장치인 TFT-LCD 모듈의 경우 상용화된 충격 시험기를 통한 충격실험을 수행하기에는 무리가 있다고 판단되어 자체 제작을 하였다. 시험기의 구조는 충격 팔의 회전관성을 이용하여 시편을 잡고있는 지그에 충격하중이 가해지도록 하였다. Fig. 1은 충격시험기와 지그의 3차원 모델을 나타낸 것이다. 2차 충격을 방지하기 위하여 완충재를 사용하였으며, 주변에서 쉽게 구할 수 있는 부직포를 이용하였다. 지그는 시편을 양 측면에서 단단히 잡아줄 수 있도록 제작하였고, 시험기의 재질은 두랄루민(duralumin)을 사용하였다.

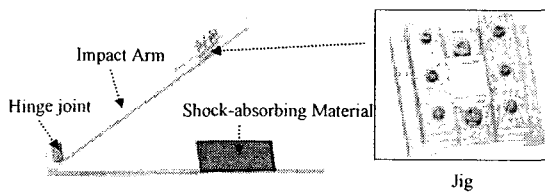


Fig. 1 3D model of impact tester and jig

2.2 실험장치 구성

Fig. 2은 실험장치의 구성을 나타낸 것이며 시편으로는 휴대용 전화기에 장착되는 TFT-LCD 모듈을 사용하였다. 소형 TFT-LCD 모듈의 충격시험을 위해 모의 충격 시험기를 제작하여 실험을 수행하였다. 충격 팔을 자유낙하 시키면 회전 관성력에

의해 지그에 전달된 가속도가 TFT-LCD모듈의 양 끝단에 입력된다. TFT-LCD 모듈의 주요 관심 부품인 패널 유리에 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였고, 지그에서 가속도계를 부착하여 가속도를 측정하였다. Fig. 3, Fig. 4는 패널 유리에 부착된 변형률 게이지와 지그에 부착된 가속도계를 나타낸 것이다. 충격하중이 가해진 이후에 TFT-LCD모듈의 주요 부품인 유리 패널 중심에서의 변형률과 지그를 통해 전달되는 가속도를 각각 앰프(amplifier)에 의해 증폭시킨 후, 동적 신호분석기(dynamic signal analyzer)에 실시간으로 저장하였다.^(6, 7) 측정된 데이터는 내충격 평가를 위한 유한요소모델을 검증하기 위한 기본 데이터로 활용하였다.

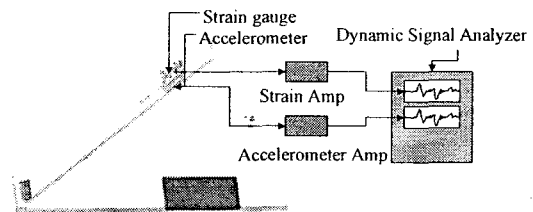


Fig. 2 Schematic diagram of the measurement system for impact test

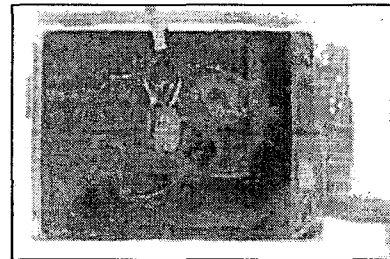


Fig. 3 The strain gage attached on LCD module

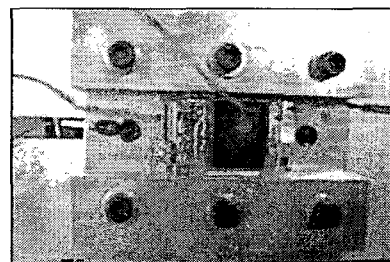


Fig. 4 Jig and specimen with accelerometer

2.3 변형률 및 가속도 측정

대형 디지털 TV의 디스플레이(display) 모듈과 달리 휴대용 IT 기기에 장착되는 소형 TFT-LCD 모듈의 경우 시편자체의 절대적인 크기가 작기 때문에 물리적인 값을 측정하는데 제한이 따른다. 따라

서 충격실험 시 TFT-LCD 모듈의 주요 기능을 담당하는 패널 유리에서 가장 큰 변형을 일으키는 지점인 패널 유리의 중앙 부에서 변형률을 측정하였다.

자체 제작한 모의 충격실험기를 통해 얻은 가속도 파형과 변형률을 Fig. 5 와 Fig. 6 에 나타내었다. 측정위치를 달리하여도 동일한 가속도 파형이 지그로 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 변형률은 패널 유리의 중앙부에서 측정하였고, 가속도는 지그와 충격 팔의 체결부위에서 측정하였다. 그리고 변형률과 가속도는 동시에 10kHz의 sampling rate 으로 저장하였다.

충격실험의 결과 재현성이 우수하다고 판단되었다. 이 실험을 통하여 정량적인 내충격 설계평가를 위한 기초적인 데이터들을 확보하였으며 유한요소모델의 타당성을 검증하기 위한 기본 데이터를 취득하였다.

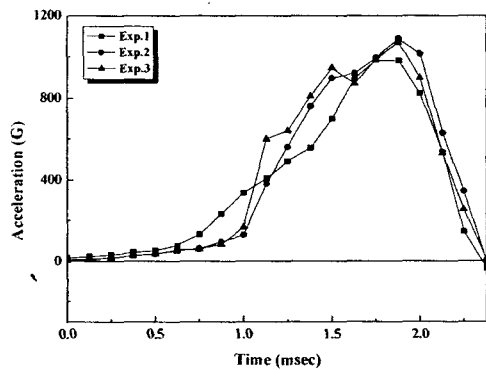


Fig. 5 Impact acceleration curves

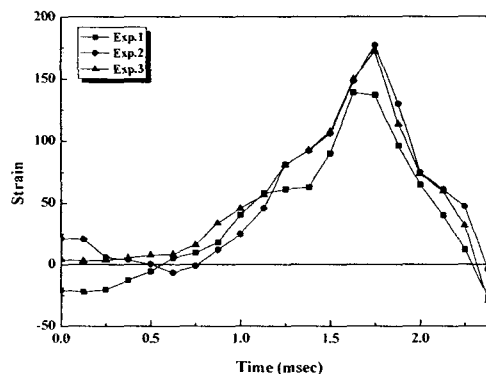


Fig. 6 Strain curves at center of main panel glass

3. 유한요소해석

3.1 형상 단순화

본 연구에서는 TFT-LCD 모듈의 충격해석을 위한 상용유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA3D Ver970 을 사용하였다.^{18, 19} 충격해석과 같은 동적 유한요소해석을 수행하기 위해서는 계산 시간이 빠르고 수렴이 보장되는 양함수법(explicit time integration)을 이용하는 것이 효율적이다. 그러나 요소 크기에 의해서 해석 시간이 결정되는 양함수법 유한요소해석 코드는 작은 요소로 인해서 해석이 불가능한 경우가 발생할 수 있다. 따라서 유한요소모델의 단순화가 불가피하며, 해석시간과 정확성을 고려한 해석 기법이 요구된다.¹⁰⁾

유한요소해석대상은 휴대용 전화기용 소형 TFT-LCD 모듈로서 총 23 개의 부품들로 이루어져 있으며 해석 결과의 타당성 확보 측면에서 총중량을 고려하여 모델을 작성하였다. Fig. 7 은 TFT-LCD 모듈의 구성품인 새시(chassis), LCD 패널, LED, 몰드프레임(mold frame), 광학 시트(sheet) 등을 나타낸 것이다. LCD 패널간 신호를 주고 받는 FPC(flexible printed circuit board)와 부품간 체결을 위한 테이프(tape)는 하중을 지지하지 못하는 것으로 판단되어 해석대상에서 제외하였다. 유한요소모델 작성은 상용 3 차원 CAD 프로그램인 EDS사의 I-DEAS⁽¹¹⁾를 이용하였다.

Fig. 8 에 나타낸 바와 같이 각 부품의 필렛(fillet) 또는 요철부와 같이 파손이 일어나지 않고 해석결과에 큰 영향을 미치지 않는 부분은 형상을 단순화하여 국부적으로 요소의 크기가 작아지지 않도록 하였다.

부피에 비하여 상대적으로 두께가 얇은 광학 시트와 PCB(printed circuit board)는 쉘 요소를 사용하여 유한요소모델을 구성하였고, 그 외의 부품들은 완전 적분 S/R(fully integrated Selectively-Reduced) 육면체 요소를 사용하였다. 중요 관심 부위인 패널유리의 경우 편광막과 액정 주입부에 대한 영향을 비교 검토하기 위하여 2 가지 유한요소 모델을 작성하였다. Fig. 9 에 나타난 바와 같이 유리와 편광막을 하나의 모델로 작성한 통합모델과 각각 독립적인 유한요소모델로 작성하였다. 독립적인 모델의 경우 액정 주입의 영향을 반영하기 위해 패널 유리의 상판과 하판 사이에 3 μ m의 간격을 부여하였다.

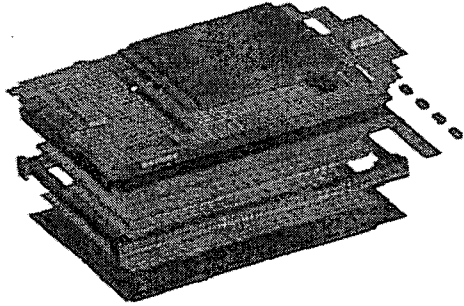
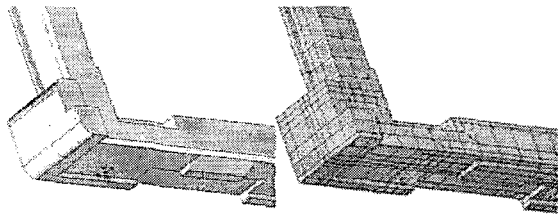
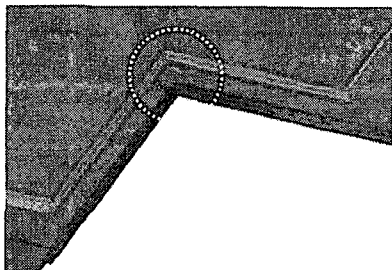


Fig. 7 FE-models of small type TFT-LCD module

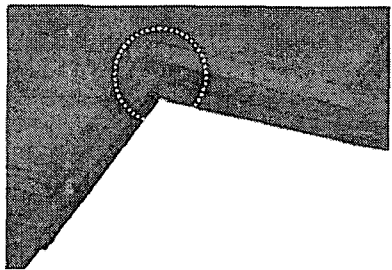


(a) 3D CAD model (b) Finite element model

Fig. 8 Simplification of the geometry



(a) Independent FE-model of Panel



(b) Integrated FE-model of Panel

Fig. 9 FE-models of small type TFT-LCD module

3.2 재료 물성치 및 구속 조건

유한요소모델의 전체 질량은 독립모델(independent FE-model)에서 약 11%정도 차이를 보였으며, 통합모델(integrated FE-model)에서는 1.3%의

오차를 보였다. 이는 해석대상이 절대적으로 작은 크기를 갖는 대상체이고, 단순화 과정에서 제외되고 생략된 부분의 효과가 질량에 반영된 것으로 판단된다. 각 부품간 테이프에 의한 체결부위는 MPC(Multi-Point Constraint) 기능을 사용하여 X, Y, Z 방향으로 구속하여 부품간 체결 효과를 나타내도록 하였다. 충격 팔에 의한 충격 직전의 속도를 초기 속도로 설정하였으며, 3,141.1 mm/s 이다. Fig. 10에 나타낸 바와 같이 가속도 충격은 실험에서 측정된 가속도를 입력 값으로 하였다.

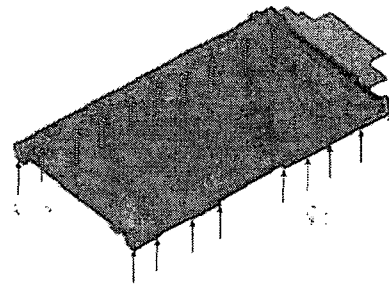


Fig. 10 Schematic illustration of impact loading condition

3.3 접촉 조건

일반적으로 적층 구조를 갖는 대상의 경우에는 접촉 조건의 적용 시 slave와 master의 적절한 변경이 이루어져야 최적의 결과를 얻을 수 있다고 알려져 있다.⁽⁴⁾ 본 연구에서는 셸 요소의 모서리(edge)가 서로 접촉되는 현상을 고려하고 사용의 편의성을 위해 LS-DYNA3D에서 지원하는 automatic single surface 기능을 사용하였다.

4. 결과 및 토의

본 연구에서는 낙하충격실험을 통하여 얻은 변형률과 가속도 값을 유한요소해석 결과와 비교하여 유한요소모델을 검증하였으며 검증된 유한요소모델의 해석결과를 이용하여 패널 유리의 변형률을 구하였다. 충격가속도가 입력에 의한 2.5 msec까지 유한요소해석을 수행하였다. 충격해석 시 비정상적인 해석의 유무를 판단하기 위해 hourglass에너지의 영향을 검토하는 것으로 알려져 있다.⁽⁴⁾ 본 연구에서 hourglass 에너지 값은 0 으로 그 영향은 없는 것으로 나타났다.

주요 관심 부위인 LCD 패널 유리의 중앙부에서의 변형률을 비교하였다. Fig. 11은 LCD 패널 유리의 중앙부에서의 X 방향의 변형률을 나타낸 것으로 해석결과와 실험결과의 시간차(time delay)는 발생하지 않은 것으로 판단된다. 이는 시험편과 해석대상의 크기가 TV나 중대형 디스플레이 장치로 사용되

는 TFT-LCD 보다 상대적으로 매우 작은 크기를 갖는 것이기 때문에 구조물 사이에 가속도가 전달되는 시간이 짧기 때문인 것으로 파악된다. 두가지 해석모델에 대한 결과를 검토해 보면 꼭대기 값(peak value)의 차이가 독립모델의 경우 약 3.3% 통합모델의 경우 50%로 나타났으며 두 모델의 충격 거동은 유사한 경향을 갖는 것으로 파악되었다.

대상물의 크기가 작아짐으로써 편광막과 액정의 영향이 증대되어 독립된 유한요소모델을 사용한 독립모델의 경우가 실험결과에 가까운 것으로 판단하였다.

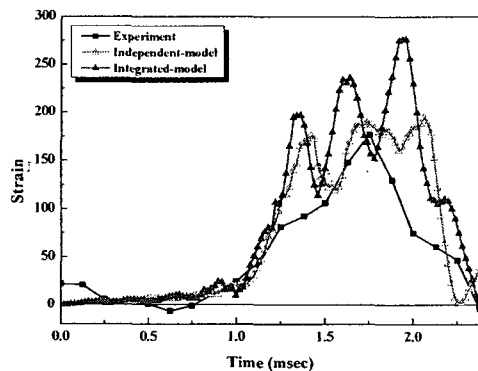


Fig. 11 X-direction strain at the center of main panel glass

5. 결론

이 연구에서는 휴대용 IT 기기의 화면표시소자로 사용되고 있는 소형 TFT-LCD 모듈에 대한 설계 단계에서의 내충격 성능평가에 관하여 연구를 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 자체제작한 충격실험기를 소형 TFT-LCD 모듈의 패널 유리에 대한 변형률 데이터를 확보하였으며 내충격 평가를 위한 기초 자료로 사용하였다.
- 2) 자체제작한 충격실험기의 재현성을 확보함으로써 정량적인 성능평가의 방법론을 확보하였다.
- 3) 소형 TFT-LCD 모듈에 대하여 유한요소해석을 수행하였으며, 선행된 실험결과를 바탕으로 비교 검증하였다. 이를 기반으로 소형 TFT-LCD 모듈의 내충격 평가를 수행하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터와 삼성전자의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 서형원, 문성인 등, "TFT-LCD 모듈의 내충격성 향상을 위한 통합 CAE 시스템의 개발", 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 9 호, pp. 135~141, 2003.
2. 박상후, 이부윤, 엄윤용, "액정 디스플레이(LCD)의 판넬유리 파손평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 12 호, pp. 76~81, 2000.
3. Wu, Jason, Suoshu Song, Chao-pin Yeh, Karl Wyatt, "Drop/Impact Simulation and Test Validation of Telecommunication Product? InterSociety Conference on Thermal Phenomena, pp. 330~336, 1998.
4. 문성인 등, "대형 디지털 TV Display 모듈의 내충격 설계를 위한 손상평가 연구", 한국소음진동공학회논문집, 제 14 권, 제 10 호, pp. 945~954, 2003.
5. 이정권, 최성식, "TFT-LCD 모듈의 충격해석에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A 권, 제 28 권, 제 5 호, pp. 571~577, 2004.
6. Cyril M. Harris, Shock And Vibration Handbook, McGRAW-HILL, 1995.
7. 한국기계연구원, "LCD 모듈의 내충격성 한계 평가실험", 2001.
8. John O. Hallquist, LS-DYNA Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corporation, 1998.
9. LS-DYNA Users Manual, Ver. 960, Livermore Software Technology Corporation, 2001
10. Bathe, K. J., Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice Hall, 1982.
11. I-DEAS Update Training, SDRC, 2000.