

# 이동형 정보통신 기기용 화면표시 장치의 내충격 평가 방법 연구

김병선\*, 김정우\*, 구자춘#, 이덕진\*, 최재봉\*\*, 김영진\*\*, 백승현\*\*, 주영비\*\*\*

## Study on The Anti-Shock Performance Evaluation of TFT-LCD module for Mobile IT Devices

Byung Sun Kim\*, Jung Woo Kim\*, Ja Choon Koo#, Dock Jin Lee\*, Jae Boong Choi\*\*, Young Jin Kim\*\*, Seung Hyun Baik\*\* and Young Bee Chu\*\*\*

### 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** : TFT-LCD(박막 트랜지스터 액정 표시 장치), Anti-Shock Performance Evaluation(내충격 평가), Impact Tester(충격 시험기), 이동형 정보통신 기기(Mobile IT device)

### 1. 서론

평 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display)의 대표기술로 상징되는 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 이동형 정보통신 기기

(Mobile IT Device), Note PC, 모니터(Monitor), TV 등 소형 통신기기에서부터 대형 가전기기까지 광범위하게 사용되고 있는 장치이다. TFT-LCD는 소비전력이 기존 브라운관 방식 대비 30~40% 정도이며, 경량 박형이 가능하고 유해 전자파를 방출하지 않

접수일: 2005년 9월 12일; 게재승인일: 2006년 6월 16일

\* 성균관대학교 대학원

# 교신저자: 성균관대학교 기계공학부

E-mail [ickoo@me.skku.ac.kr](mailto:ickoo@me.skku.ac.kr) Tel. (031) 290-7454

\*\* 성균관대학교 기계공학부

\*\*\* 삼성전자

는다는 장점을 갖고 있다.<sup>1</sup>

TFT-LCD 모듈은 일반적으로 휴대용 기기의 화면표시 장치로 사용되므로 경량박형을 요한다. 또한 이동형 정보통신 기기의 사용환경은 날로 가혹해지고 있는 실정이며, 화면표시 장치인 TFT-LCD 모듈은 사용환경에서 야기될 수 있는 모든 충격에 대한 내충격 성능을 필요로 한다.<sup>2</sup> 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 IT 기기와 같은 첨단 제품의 재개발에 따르는 막대한 경제적, 시간적 손실을 야기한다.<sup>3</sup>

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 화면표시에 쓰이는 TFT-LCD에 대한 손상평가와 충격 거동에 대한 연구가 이루어진 바 있다.<sup>1,5</sup>

그러나 이동형 정보통신 기기의 TFT-LCD 모듈의 충격거동에 관한 연구는 미흡한 것으로 알려져 있다. 이동형 정보통신 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, 이동형 정보통신 기기의 TFT-LCD 모듈에 대한 정량적이고 엄격한 설계 기준의 정립이 요구되고 있으며 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 유한요소해석(Finite Element Analysis) 기법을 이용하여 이동형 정보통신 기기용 화면표시 장치인 TFT-LCD의 내충격 평가 방법을 제시하고자 한다. 또한 이동형 정보통신 기기의 TFT-LCD 모듈에 대한 정량적인 충격손상평가를 위하여 반복성 있는 충격을 가할 수 있는 충격 시험기를 제작하여 유한요소해석의 결과를 검증하고 정량적인 내충격 평가를 위한 시험기로 활용하고자 한다.

## 2. TFT-LCD 모듈의 충격시험

### 2.1 충격 시험기

본 논문의 연구 대상인 이동형 정보통신 기기용 TFT-LCD 모듈은 휴대용 전화기에 장착되는 제품으로 40x50mm<sup>2</sup>의 크기로 화면표시 장치 중 상당히 작은 크기에 해당된다. 따라서, 상용화된 충격 시험기를 통한 시험이 불가능하여 시험기를 자체 제작하였다.

시편 고정을 위한 지그(jig)는 시험기의 개략도와 함께 Fig. 1에 나타내었다. 시험기의 재료 중 충격 팔과 지그는 가공이 쉽고 강성이 강한 두랄루민(Duralumin)을 사용하였고 볼트는 탄소강을 사용하였다. 완충재는 구하기 쉽고 현장에서 많이 이용되는 부직포를 사용하였다. 지그는 충격 팔에서 일정범위로 이동이 가능하도록 구성하여 시험시 힌지(hinge)에 가해지는 충격을 최소화하도록 하였다.

충격 팔의 크기는 휴대용 정보통신 기기의 사용 중 발생할 수 있는 낙하 충격의 높이를 고려하여 제작하였다.

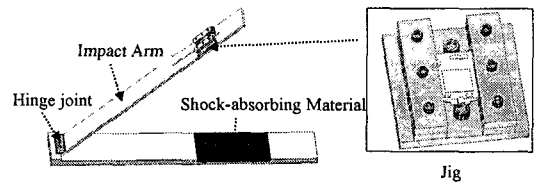


Fig. 1 3D model of impact tester and jig

### 2.2 시험기의 신뢰성

동등한 조건하에서 지그에 일정한 가속도 충격이 전달되는지를 평가하기 위한 모의 시험을 실시하였다. Fig. 2에 측정위치를 달리한 경우를 나타내었고, 이때 측정된 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에 나타낸 측정 결과가 양에서 음으로 음에서 양으로 진동하는 것은 낙하 후 완충재와의 충돌 시점을 기준으로 측정된 데이터를 나타내기 때문이다. 시험 결과 측정 위치에 따른 가속도의 변화가 미미한 것으로 나타났고 이를 통해 시험기의 신뢰성을 확보하였다.

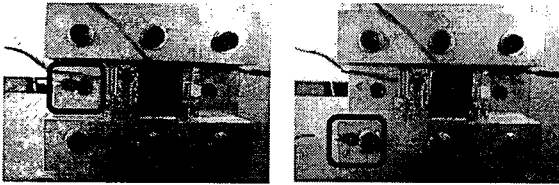


Fig. 2 Different position of the accelerometer

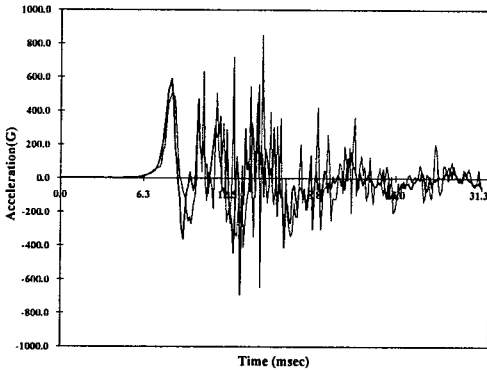


Fig. 3 The acceleration data when the position of the acceleration sensor is changed

### 2.3 시험장치 구성

Fig. 4 는 시험장치의 구성을 나타낸 것이며 시편으로는 휴대용 전화기에 장착되는 TFT-LCD 모듈을 사용하였다. 소형 TFT-LCD 모듈의 충격시험을 위해 충격 시험기를 제작하여 시험을 수행하였다. 충격 팔을 자유낙하 시키면 지그에 전달된 가속도가 TFT-LCD 모듈의 양 끝단에 입력된다. TFT-LCD 모듈의 주요 관심 부품인 패널 유리에 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였고, 지그에 가속도계를 부착하여 가속도를 측정하였다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 패널 유리에 부착된 변형률 게이지와 지그에 부착된 가속도계를 나타낸 것이다. 충격하중이 가해진 이후에 TFT-LCD 모듈의 주요 부품인 패널 유리 중심부의 변형률과 지그를 통해 전달되는 가속도를 각각 증폭기(amplifier)에 의해 증폭시킨 후, 동적 신호 분석기(dynamic signal analyzer)에 실시간으로 저장하였다.<sup>6</sup> 측정된 데이터는 내충격 평가를 위한 유한요소모델을 검증하기 위한 기본 데이터로 활용하였다.

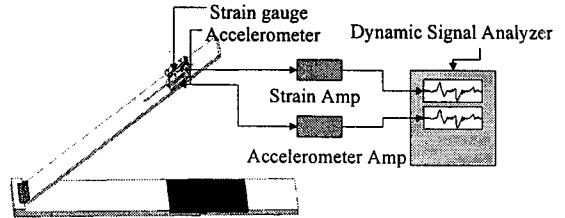


Fig. 4 Schematic diagram of the measurement system for impact test

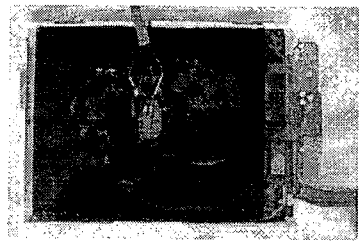


Fig. 5 The strain gauge attached on LCD module

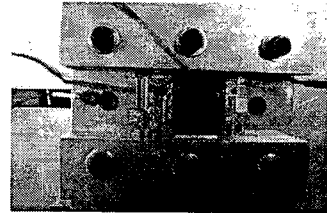


Fig. 6 Jig and specimen with accelerometer

### 2.4 변형률 및 가속도 측정

대형 디지털 TV 의 디스플레이(display) 모듈과 달리 이동형 정보통신 기기에 장착되는 소형 TFT-LCD 모듈의 경우 시편의 크기가 작기 때문에 물리적인 값을 측정하는데 제한이 따른다. 따라서 충격시험 시 TFT-LCD 모듈의 주요 기능을 담당하는 패널 유리에서 가장 큰 변형을 일으키는 지점인 패널 유리의 중앙 부에서 변형률을 측정하였다. 충격 시험을 통해 8 개의 데이터 확보하였다. 시험 조건은 완충재와 충격 팔의 끝까지의 높이를 각각 0.35m, 0.5m 로 하였다. 각각의 조건에서 2 회씩 측정하였다.

Fig. 7 과 Fig. 8 에 각각 0.35m 의 시험 조건에서 측정된 TFT-LCD 모듈의 입력 가속도와 주 패널 유리의 중심부 변형률을 나타내었고, Fig. 9 와 Fig. 10 에 0.5m 의 시험 조건에서 측정된 입력 가속도와 패널 유리의 중심부 변형률을 나타내었다. 변

형률과 가속도는 10kHz 로 동적 신호 분석기에 저장하였다. 시험결과로부터 자체 제작한 충격 시험기가 이동형 정보통신 기기의 정량적인 내충격 평가를 위한 데이터를 확보하는데 적절하다고 판단된다.

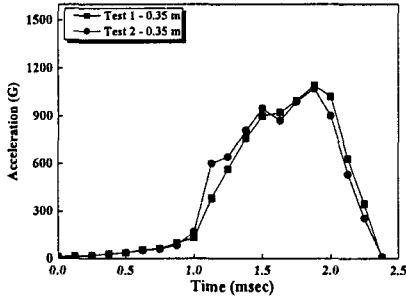


Fig. 7 The acceleration when the height of the LCD module is 0.35m

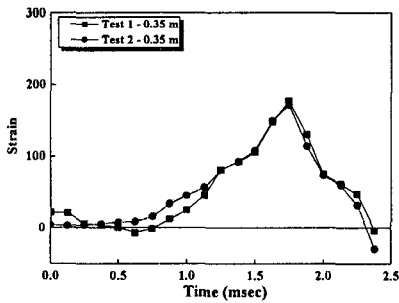


Fig. 8 The strain when the height of the LCD module is 0.35m

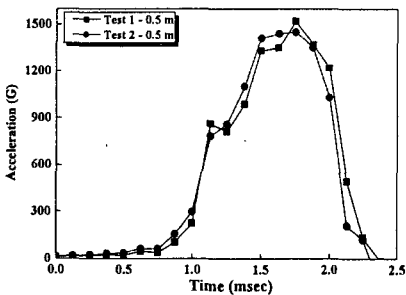


Fig. 9 The acceleration when the height of the LCD module is 0.50m

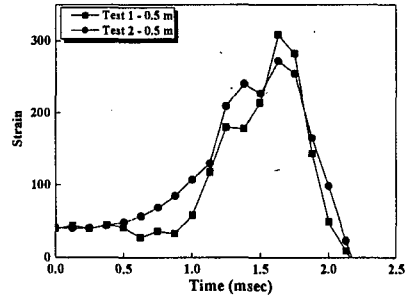


Fig. 10 The strain when the height of the LCD module is 0.50m

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 형상 단순화

본 연구에서는 TFT-LCD 모듈의 충격해석을 위한 상용유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA3D v.970 을 사용하였다.<sup>8, 9</sup> 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.<sup>10</sup>

유한요소해석대상은 소형 TFT-LCD 모듈로서 총 23 개의 부품들로 이루어져 있으며 해석 결과의 타당성 확보 측면에서 충중량을 고려하여 모델을 작성하였다. Fig. 11 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 EDS 사의 I-DEAS 를 이용하였다.<sup>11</sup>

Fig. 12 에 나타낸 바와 같이 각 부품의 필렛(fillet) 또는 요철부와 같이 해석결과에 큰 영향을 미치지 않는 부분은 형상을 단순화하여 국부적으로 요소의 크기가 작아지지 않도록 하였다.

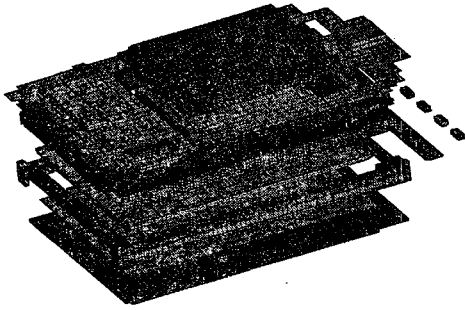
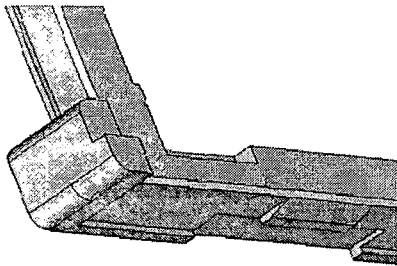
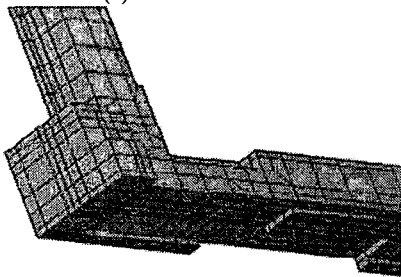


Fig. 11 FE-models of small type TFT-LCD module



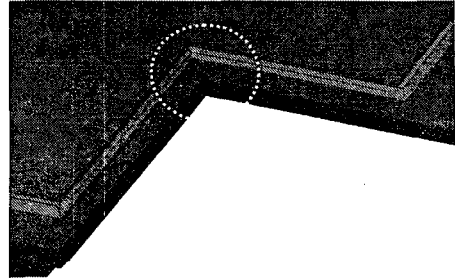
(a) 3D CAD model



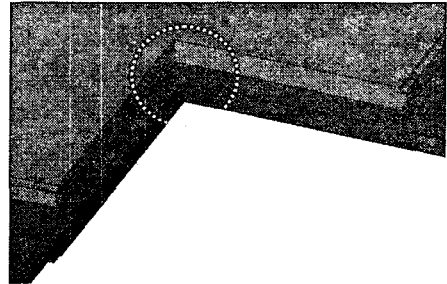
(b) Finite element model

Fig. 12 Simplification of the geometry

특히 주요 관심 부위인 패널유리의 경우 편광막(polarizer)과 액정 주입부에 대한 영향을 비교 검토하기 위하여 2 가지 모델을 작성하였다. Fig. 13에 나타난 바와 같이 유리 및 편광막을 하나의 모델로 작성한 통합모델과 각각 독립적인 모델로 작성한 독립모델을 작성하였다. 독립모델의 경우 액정 주입의 영향을 반영하기 위해 패널 유리의 상판과 하판 사이에  $3\mu\text{m}$ 의 간격을 부여하였다.



(a) Independent FE-model of Panel



(b) Integrated FE-model of Panel

Fig. 13 FE-models of small type TFT-LCD module

### 3.2 유한요소모델

유한요소모델은 형상 단순화를 고려하여 구성하였다. Table 1은 각 부품별로 사용한 요소의 종류를 나타낸 것으로 광학 시트, 회로기판, 새시(chassis) 등과 같이 얇은 부품은 S/R(Selectively Reduced corotational) 셸(shell)요소를 나머지 부품은 S/R(fully integrated Selectively Reduced) 솔리드(solid) 요소를 사용하였다. 이와 같은 요소적분 방법은 체결부위와 접촉부위가 많은 TFT-LCD와 같은 제품의 해석에 대하여 높은 정확성을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 전체적인 hourglass의 감소에 효과적인 것으로 알려져 있다.<sup>12</sup>

Table 1에서 나타난 바와 같이 LCD 패널에 대해서 패널 유리 및 편광판을 통합한 통합모델과 분리한 독립모델의 경우 요소의 개수가 동일하도록 작성하였다. 총 요소의 개수는 43,895개로 구성하였다. 유한요소모델의 모든 셸 요소는 사각형 요소(quad element)를 사용하였으며, 솔리드 요소의 경우는 모두 육면체 요소(hex element)를 사용하였다.

Table 1 Parts and corresponding finite elements type

Part Name	Type	No. of Elements
Moldframe	Solid	3689
Main-FPC	Shell	438
Main-FPC-chip	Solid	160
I/F	Shell	719
I/F-Flash	Solid	32
I/F-interface	Solid	60
Tape	Shell	17
Control IC	Solid	370
Sub-Panel-Glass	Solid	5772
Main-Panel-Glass	Solid	13974
Sub-Pol	Solid	2516
Main-Pol	Solid	5858
Sub-Sheet	Shell	717
Main-Sheet	Shell	528
Chassis	Shell	7000
LGP	Solid	1529
FPC-LED	Shell	396
LED	Solid	120
Sub-Panel (integrated model)	Solid	8288
Main-Panel (integrated model)	Solid	19832
Total	Solid	34080
	Shell	9815

### 3.3 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 초기속도로 설정하였다. Fig. 14 에 나타낸 바와 같이 가속도 충격은 시험에서 측정된 가속도를 입력 값으로 하였다.

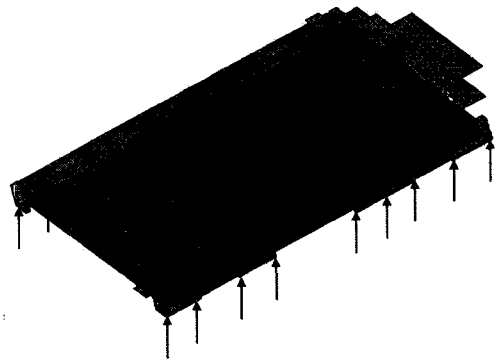


Fig. 14 Schematic illustration of impact loading condition

### 3.4 접촉 조건

유한요소해석에서 접촉이 발생하는 두 면은 슬레이브(slave)와 마스터(master)로 구성되며 일반적인 방법은 요소가 조밀한 면을 슬레이브로 한다. 또한 셸 요소와 솔리드 요소가 접촉할 경우에는 셸 요소를 슬레이브로 설정하는 것이 좋은 결과를 얻는다고 알려져 있다. 그러나 적층 구조로 구성되어 있는 TFT-LCD 같은 경우에는 슬레이브(slave)와 마스터(master)의 변경을 통하여 최적의 결과를 얻어야 한다.<sup>4</sup> 본 연구에서는 유한요소해석 시 부품간 접촉을 고려하기 위하여 LS-DYNA3D 에서 지원하는 \*automatic single surface 옵션을 사용하였으며 두 접촉면 사이에서 발생하는 마찰을 고려하기 위해서 정 마찰 계수와 동 마찰 계수로 각각 0.3 과 0.2 를 사용하였다.<sup>9</sup>

## 4. 결과 및 토의

본 연구에서는 낙하충격시험을 통하여 얻은 변형률과 가속도 값을 유한요소해석 결과와 비교하여 유한요소모델을 검증하였으며 검증된 유한요소모델의 해석결과를 이용하여 패널 유리의 변형률을 구하였다. 충격가속도가 입력에 의한 2.5 msec 까지 유한요소해석을 수행하였다. 충격해석 시 비정상적인 해석의 유무를 판단하기 위해 hourglass 에너지의 영향을 검토하는 것으로 알려져 있다.<sup>4</sup> 본 연구에서 hourglass 에너지 값은 0 으로 그 영향은 없는 것으로 나타났다.

주요 관심 부위인 LCD 패널 유리의 중앙부에서의 변형률을 비교하였다. Fig. 15 는 LCD 패널

유리의 중앙부 변형률을 나타낸 것으로 해석결과와 시험결과와의 시간차(time delay)는 발생하지 않은 것으로 판단된다. 이는 대상물의 크기가 TV 나 중대형 디스플레이 장치로 사용되는 TFT-LCD 보다 상대적으로 매우 작은 크기를 갖기 때문이다. 대상물의 크기가 작으면 구조물 사이에 가속도가 전달되는 시간이 짧아지고 이는 시간차를 발생하지 않는다.

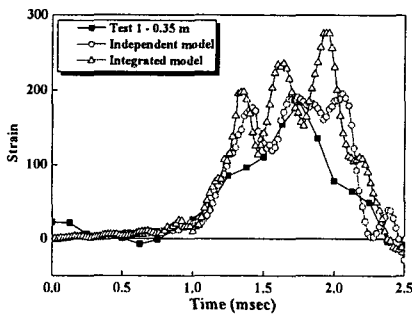


Fig. 15 Strain at the center of main panel glass

두 가지 해석모델에 대한 결과를 검토해 보면 꼭대기 값(peak value)의 차이가 통합모델의 경우 약 50% 독립모델의 경우 약 3.3%로 나타났으며 두 모델의 충격거동은 유사한 경향을 갖는 것으로 파악되었다. 독립모델의 경우가 시험결과에 더 가까운 것은 대상물의 크기가 작기 때문에 편광막과 액정의 영향이 증대된 결과라고 판단된다. 질량에 의한 오차는 대상물이 작기 때문에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다. 각각의 해석결과와 시험결과와의 비교는 Fig. 16 과 Fig. 17 에 나타내었다.

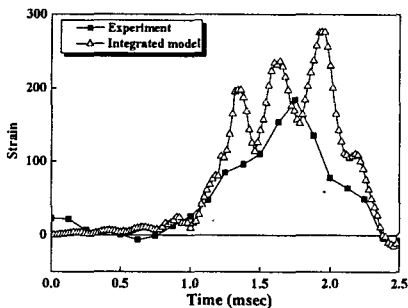


Fig. 16 Strain at the center of main-panel(integrated model)

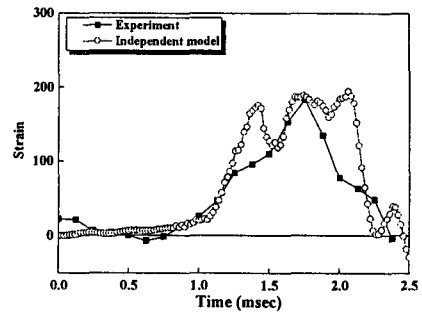


Fig. 17 Strain at the center of main-panel(independent model)

Fig. 16 과 Fig. 17 의 해석결과가 시험결과와는 다르게 3 개의 꼭대기 값이 발생한 것은 입력된 가속도 충격이 균질한 매질에 전달되기 때문인 것으로 판단된다. 즉 유한요소해석의 경우 시험에서 나타나는 구조적인 감쇠와 재료의 비선형에 의한 감쇠 등이 반영되지 못하기 때문이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 휴대용 IT 기기의 화면표시소자로 사용되고 있는 소형 TFT-LCD 모듈에 대한 내충격 평가방법에 관하여 연구를 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 자체 제작한 충격시험기의 신뢰성을 확보함으로써 정량적인 내충격 평가 방법론을 확보하였다.
- 2) 자체 제작한 충격 시험기를 이동형 정보통신 기기의 화면표시 소자인 소형 TFT-LCD 모듈의 내충격 평가에 사용하였으며, 이를 통해 패널 유리에 대한 변형률 데이터를 확보하였다.
- 3) 소형 TFT-LCD 모듈에 대하여 유한요소해석을 수행하였으며, 선행된 시험결과를 바탕으로 비교 검증하였다. 이를 기반으로 소형 TFT-LCD 모듈의 내충격 평가를 수행하였다.
- 4) 추가적으로 패널 유리의 손상 또는 파손에 대한 가속도 충격량, 변형률 등과의 관계 규명에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터(SAFE)와 삼성전자의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Seo, H. W., "Development of Integrated CAE System for Mechanical Shock Proof Design of TFT-LCD Modules," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 9, pp. 135-141, 2003.
2. Park, S. H., "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.
3. Wu, J., "Drop/Impact Simulation and Test Validation of Telecommunication Product," InterSociety Conference on Thermal Phenomena, pp. 330-336, 1998.
4. Moon, S. I., "A Shock Damage Evaluation Study of Large Digital TV Display Modules," Journal of KSNVE, Vol. 14, No. 10, pp. 945-954, 2003.
5. Lee, J. K. and Choi, S. S., "The Study of Impact Analysis of TFT-LCD Module," KSME Journal A, Vol. 28, No. 5, pp. 571-577, 2004.
6. Harris, C., "Shock And Vibration Handbook," McGRAW-HILL, 1995.
7. Hallquist, J., "LS-DYNA Theoretical Manual," Livermore Software Technology Corporation, 1998.
8. LS-DYNA Users Manual, Ver. 960, Livermore Software Technology Corporation, 2001.
9. Bathe, K. J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis," Prentice Hall, 1982.
10. I-DEAS Update Training, SDRC, 2000.