

TFT-LCD 모듈의 내충격성 향상을 위한 통합 CAE 시스템의 개발

서형원*, 문성인*, 구자춘#, 최재봉*, 김영진*, 최성식**, 이정권**

Development of Integrated CAE System for Mechanical Shock Proof Design of TFT-LCD Modules

Hyong-Won Seo*, Seong-In Moon*, Ja-Choon Koo#, Jae-Boong Choi*, Young-Jin Kim*,
Seong-Sik Choi** and Jeung-Gwen Lee**

ABSTRACT

Anti-shock performance is one of the most important design specifications of TFT-LCD modules. Since they are adopted for major display units of many mobile applications such as lap-top PCs, cellular phones, and palm pilots, they are able to accommodate and endure high level transient mechanical energy inputs. For the reasons, not only the LCD unit manufacturers but their customers like PC makers perform a series of strict impact/drop test on the units. Currently, designers are mostly relying on their own trial-error based experience for the anti-shock design. Thus those designs depending on only experience may result in disqualification from the drop/impact test during final product evaluation. Those shock failures of any new designs are prohibitive for both LCD and PC manufacturers. In order to avoid this problem, many designers are focusing on the development of computer-aided design tools that is directly connected to shock simulation capabilities and then shock-proof design cycle time could be significantly reduced. Development of an integrated CAE system for the shock-proof design is presented in this article. At every stages of the development of present work, practical industrial applicability and mass production feasibility are seriously considered and tested so that the system is to be used in the LCD design engineering field.

Key Words : TFT-LCD (초박막 액정 표시장치), Impact Analysis (충격해석), Automatic Mesh Generation (자동 유한요소망 생성), Optimization (최적화)

1. 서론

TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal

Display)는 PDP(Plasma Display Panel), FED(Field Emission Display) 및 유기 EL(Organic Electro-Luminescent) 등과 함께 FPD(Flat Panel Display) 중

접수일: 2003년 12월 1일; 게재승인일: 2004년 6월 11일

* 성균관대학교 기계공학부

교신저자: 성균관대학교 기계공학부

E-mail jckoo@me.skku.ac.kr Tel. (031) 290-7454

** 삼성전자(주) AMLCD 사업부 광기구개발팀

대표적인 차세대 첨단 디지털 디스플레이 소자로서 브라운관 방식에 비해 소비전력이 약 30~40% 정도이며, 경량박형으로 제작이 가능하고 유해 전자파를 방출하지 않는다는 장점을 가지고 있다.

TFT-LCD는 일반적으로 휴대가 용이한 제품의 디스플레이로 사용되므로 그 두께가 얇아지고 부품의 기계적 강성은 줄어들고 있는 실정이다. 그러므로 사용자들은 제품의 사용환경뿐만 아니라 운송환경, 생산환경에서 발생 가능한 모든 충격 조건을 고려한 내충격성을 요구하고 있다. 따라서 설계 단계에서 이를 만족시키기 위한 제품규격을 설정하게 되며 최근에는 그 규격이 더욱 강화되고 있는 실정이다.¹

일반적으로 TFT-LCD 모듈의 충격에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 설계에 따라 시제품을 제작한 후, 충격실험을 통해서 안전성 여부를 판단한다. 그러나 시제품이 제작된 상태에서 충격요구조건을 만족하지 못하는 경우에는 경제적 손실과 재개발에 소요되는 시간적 손실이 발생하게 된다.² 최근 TFT-LCD 제품이 다양화되면서 기존의 설계 경험에 의존한 방법만으로는 다양한 충격요구조건을 만족시키는데 한계점을 드러내고 있다. 실제로 시제품 제작 후 수행한 충격실험에서 탑새시(top chassis)의 영구변형, 탑 새시와 LCD 패널(LCD panel)의 체결불량, 그리고 램프(lamp) 및 LCD 패널의 파손 등의 손상이 발생하고 있다.

제품의 충격에 대한 성능과 파손 메카니즘을 이해하기 위하여 일반적으로 실험과 유한요소해석(finite element analysis)이 가장 널리 사용되고 있다. 실험을 통한 방법은 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 원하는 위치에서의 데이터 취득이 어렵다는 단점이 있다. 반면에 유한요소해석을 이용할 경우에는 데이터 종류와 취득위치에 관계없이 필요한 모든 정보를 빠른 시간에 얻을 수 있다는 장점이 있다. 지금까지 자동차 부품³과 항공기⁴ 분야에서는 충격손상을 고려한 연구들이 널리 수행되어 왔다. 그러나 가전제품⁵, 이동전화기 및 포장시스템 등에 대해서는 아직까지 신뢰성 있는 데이터를 제시하지 못하고 있으며, 제품의 개발기간이 단축됨에 따라 적기에 정확한 해석결과를 제시하기 어려운 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 설계단계에서부터 충격에 대한 안전성을 검토할 수 있는 공학적 해석기법을 제시하고, 설계변

경시 빠른 시간에 자동으로 유한요소망 생성과 후처리를 수행할 수 있는 통합 CAE(Computer Aided Engineering) 시스템을 개발하였다.

2. 충격 해석

본 연구에서는 14.1" TFT-LCD 모듈에 대한 충격해석을 수행하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA3D Ver. 960⁶을 사용하였다. LS-DYNA3D와 같이 요소의 크기에 따라 해석시간이 결정되는 양함수법을 이용한 프로그램은 정밀하게 설계된 모델을 사용하여 유한요소모델을 구성할 경우 해석결과에 영향을 미치지 않는 부분에 지나치게 작은 요소가 생성되어 해석이 불가능한 경우가 발생할 수 있다.⁷ 따라서 실제 설계시 작성된 CAD 모델을 바탕으로 유한요소모델을 단순화하는 방안이 필요하며, 해석시간과 정확성을 모두 만족시킬 수 있는 유한요소모델 및 해석방법이 요구된다.

2.1 형상 단순화

형상 단순화를 위해 볼트(bolt) 체결을 위한 원형 홀(hole)을 정사각형 처리하였다. 후크 등과 같이 체결을 위해 패이거나 돌출되게 설계된 부위를 평면처리하였으며 해당부위의 자유도를 구속함으로써 실제 구속조건을 반영하였다.

원형 홀의 경우 사각형으로 단순화하여 요소 생성을 용이하게 하였으며 해석에 영향을 미치지 않는 부위는 요소 크기가 작아져 해석시간이 지나치게 길어지는 상황을 피하였다. 원형 홀을 팔각형으로 구성한 경우는 사각형으로 구성한 경우에 비하여 2배 이상의 해석시간이 소요되었지만 주요 관심부위의 해석결과에는 영향을 미치지 않았다.

LCD 패널은 상하부 유리기관 사이에 액정이 채워져 있고 유리기관 상하면에 편광판이 부착되어 있는 적층구조로 구성되어 있다. 액정의 기계적 물성이 알려져 있지 않을 뿐만 아니라 유리기관과 편광판의 두께가 매우 얇기 때문에 이를 솔리드(solid) 요소로 모델링하면 수렴하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 LCD 패널을 단층의 셸(shell) 요소로 모델링하였으며 등가의 영계수(Young's modulus)를 이용하여 해석을 수행하였다.⁸

또한, 여러 장의 광학 시트(sheet)의 위치를 고정하기 위한 테이프는 구조적 강성을 무시할 수

있는 것으로 판단하여 모델링에서 제외하였다.

2.2 유한요소해석

해석대상은 14.1" TFT-LCD 모듈이며 유한요소해석을 위하여 9가지 주요 부품을 선정하였으며 그 주요 부품을 Fig. 1에 나타내었다. 탑 새시, LCD 패널, 백 커버, 램프, 램프 커버(lamp cover)는 쉘 요소를 사용하였으며 몰드 프레임(mold frame), LGP(Light Guide Plate), 램프 홀더(lamp holder), 램프 링(lamp ring)은 솔리드 요소를 사용하여 요소망을 구성하였고, 각각 17,801개와 15,985개의 요소를 사용하였다. S/R(Selectively Reduced co-rotational) 쉘 요소와 완전 적분 S/R(fully integrated Selectively Reduced) 솔리드 요소를 사용하여 hourglass 에너지가 발생하지 않도록 하였다.

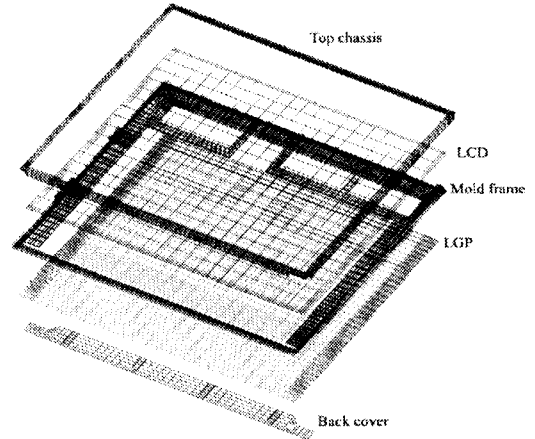


Fig. 1 FE model of 14.1" TFT-LCD assembly

2.2.1 하중조건

하중은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 TFT-LCD 모듈의 8개 사용자 홀(user hole)에 -Z 방향으로 0.002초 동안 220G half-sine wave의 가속도 충격을 가하였으며, 해석시 입력한 가속도를 Fig. 3에 나타내었다. 또한 충격실험을 모사하기 위해 초기 속도를 1,764m/s로 고려하였다.

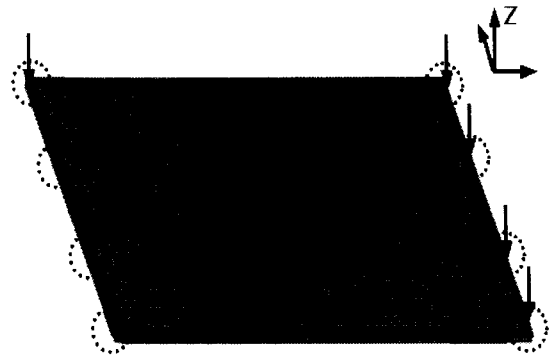


Fig. 2 Schematic illustration of impact loading condition

2.2.2 경계조건 및 접촉조건

탑 새시와 몰드 프레임의 볼트 체결부위를 모사하기 위해 MPC(Multi-Point Constraint) 옵션을 사용하여 X, Y, Z 방향의 자유도를 구속하였으며, 후크(hook) 체결부위는 Z 방향만을 구속하였다.

접촉이 발생하는 두 면은 slave와 master로 지정해 주어야 하지만 TFT-LCD 모듈과 같은 적층 구조물의 해석에서는 면 사이의 접촉뿐 아니라 모서리(edge) 사이에도 접촉이 발생할 수 있으므로 이를 고려하기 위하여 automatic single surface 옵션을 사용하였다.

2.3 모드 해석(Modal Analysis)

충격에 대한 정확한 거동을 이해하기 위해서는 부품차원의 연구가 선행되어야 한다. 이를 위해서 주요 부품의 모드해석을 수행하였다. 구속조건은 다른 부품들과의 조립상태를 고려하여 실제 상태와 최대한 유사하도록 설정하였다. 모드 해석으로부터 얻은 각 주요 부품별 1~3번 모드와 고유진동수를 Table 1에 나타내었다.

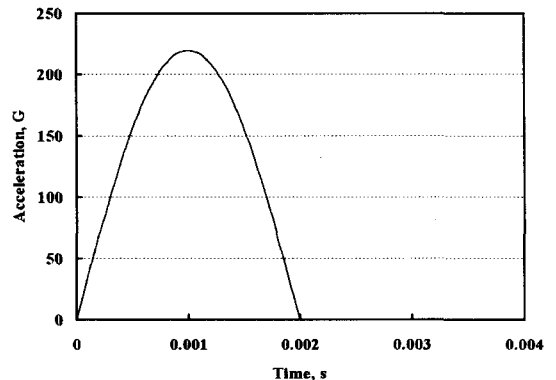


Fig. 3 Impact acceleration curve

Table 1 Natural frequency

Mode	Natural frequency (Hz)			
	LCD	LGP	Mold frame	Top chassis
1	364	85	523	112
2	620	160	590	620
3	856	222	837	856

3. 해석결과 및 토의

유한요소해석은 충격을 가한 후 8ms까지 수행하였다. 하중이 직접 전달된 탑 새시의 체결부위에서 가장 높은 응력이 발생하였으며, LCD 패널의 중앙부위에서 가장 큰 변형이 발생하였다.

해석결과의 타당성을 검증하기 위해 삼성전자에서 제공받은 변형률 데이터⁹와 해석결과를 비교하였다. Fig. 4는 탑 새시 하단부위의 X 방향 변형률을 나타낸 것이다. 해석결과가 실험결과에 비해 절대값은 작지만 충격 거동에 대한 주기가 동일하였다. Fig. 5는 탑 새시 하단부위에서의 X 방향 변형률을 FFT한 결과이며, 모드해석 결과와 비교하여 제 1 모드가 TFT-LCD 모듈의 전체 충격거동에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 6은 LGP 하단부위에서의 변형률을 비교한 그래프이며 변형률의 크기와 주기가 잘 일치함을 확인할 수 있다. Fig. 6에서 80Hz의 성분이 나타나며 이는 LGP의 제 1 모드와 일치한다. 이상의 결과로부터 해석모델의 신뢰성을 확보하였고 부품별 거동이 TFT-LCD 모듈의 전체 거동에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

3.1 탑 새시의 영구변형

TFT-LCD 모듈의 각 부품 중에서 충격 하중이 입력되는 탑 새시에서 가장 큰 응력이 발생하며 특히, 볼트 체결부위나 후크 체결부위에서 가장 큰 응력이 발생한다. 그러나 이러한 체결부위를 제외하면 탑 새시 하단부 모서리 부분에서 최대 응력이 발생된다. 이 부분의 최대응력은 783MPa로 탑 새시의 항복강도 522MPa를 초과하여 영구 변형이 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

최대응력이 발생하는 시점은 LCD 패널이 이탈되는 순간이며 LCD 패널의 이탈을 방지하면 탑

새시의 영구변형 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

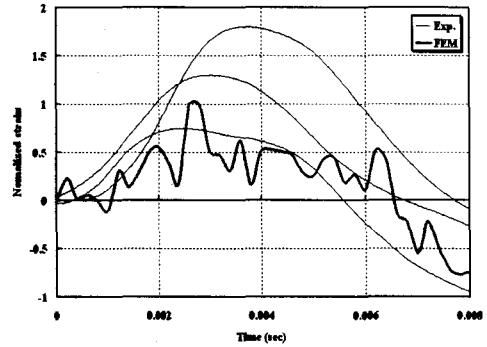


Fig. 4 Comparison of the X-direction strain at the lower region of top chassis

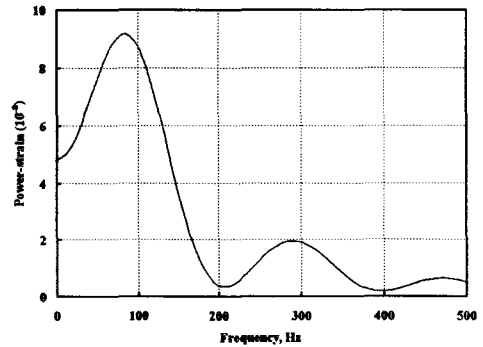


Fig. 5 FFT result for strain X-direction strain at the lower region of top chassis

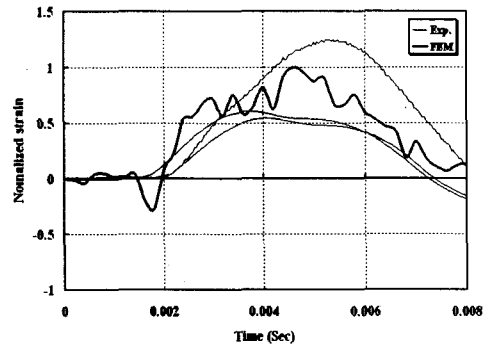


Fig. 6 Comparison of the X-direction strain at the lower region of LGP

3.2 LCD 패널의 손상

TFT-LCD 모듈의 각 부품 중에서 취성파괴의 위험이 가장 큰 부분은 LCD 패널이다. LCD 패널에서 가장 큰 응력이 발생하는 부분은 LCD 패널 하단 중앙부이다. 이 부분의 최대응력은 81MPa로 탑 새시의 항복강도 70MPa를 초과하여 취성파괴의 가능성이 있는 것으로 판단된다. 탑 새시의 경우와 마찬가지로 LCD 패널의 이탈이 발생하는 순간에 최대 응력이 발생하며, LCD 패널과 탑 새시가 함께 거동할 수 있도록 설계를 변경하면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 내충격성 향상을 위한 통합 CAE 시스템 개발

본 논문에서는 TFT-LCD 모듈의 충격손상평가를 위한 통합 CAE 시스템, LIAS(LCD Impact Analysis System)를 개발하였다. LIAS는 설계시 작성한 CAD 데이터로부터 충격해석을 위한 유한요소망을 자동으로 작성하고, LS-DYNA3D와 연계하여 시뮬레이션을 수행한 후 결과처리를 자동화하기 위한 시스템이다. 유한요소망의 자동 생성을 위해서 MSC-PATRAN¹⁰의 저널(journal) 파일을 이용하였다. LIAS는 GUI환경을 적용하여 Microsoft의 Visual C++로 작성하였으며, 사용자는 변경된 설계 변수만을 입력함으로써 충격해석을 수행하고 해석결과를 자동으로 처리할 수 있도록 하였다.

4.1 자동유한요소망 생성 알고리즘

유한요소의 크기에 따라 해석시간이 결정되는 양함수법이 적용될 경우, 설계변경 후에도 최적의 결과를 가져올 수 있는 요소의 크기가 유지되어야 한다. 본 논문에서는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 변경된 길이에 따라 먼저 체결부위를 이동하고, 체결부위 양쪽에 적당한 간격의 선분을 생성하여 그 범위 안에서 유한요소가 작성되도록 자동 요소 생성 알고리즘을 구성하였다. 이를 통해 설계변경 후에도 요소크기가 지나치게 크거나 작아지는 상황을 피할 수 있도록 하였다.

4.2 통합시스템의 구성

Fig. 8은 LIAS를 이용한 설계 흐름도(flow chart)를 나타낸 것이다. 설계자는 변경된 모델 데

이터를 이용하여 새로운 유한요소망을 생성하고이를 통해 충격해석을 수행한다. 이와 같은 과정을 손상에 대해 만족한 결과가 나올 때까지 반복 수행한다. LIAS는 Fig. 9와 같이 전처리기(pre-processor)와 유한요소 해석 solver를 독립 서버(server)로 구성하고, 내장된 FTP(File Transfer Protocol)와 텔넷(telnet)모듈을 이용해 접근하는 네트워크 기반 시스템으로 구성하였다. 따라서 설계자는 별도의 CAE 프로그램을 설치할 필요 없으며, 또한 CAE 서버 접속을 위한 별도의 작업도 프로그램 내부적으로 지원하도록 함으로써 사용자 편의성과 CAE 프로그램의 효율성을 동시에 해결하였다. Fig. 10은 LIAS의 초기화면으로 각 구성 모듈들은 독립적인 모듈로 개발하여 임의의 단계 작업을 가능하게 하였다.

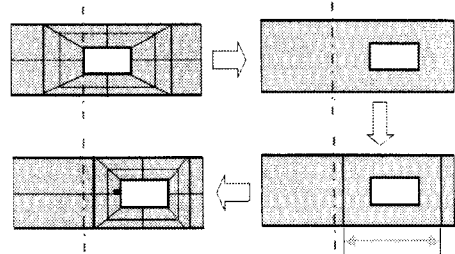


Fig. 7 Schematic illustration of re-meshing algorithm

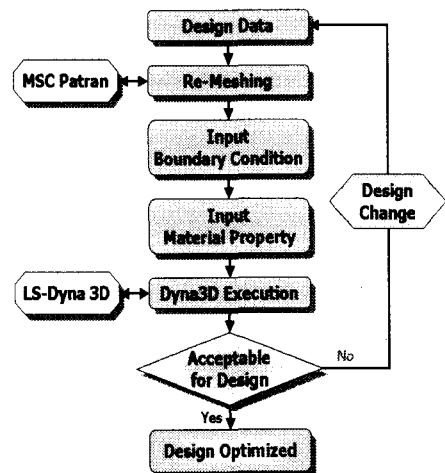


Fig. 8 Flow chart of impact damage evaluation using CAE system

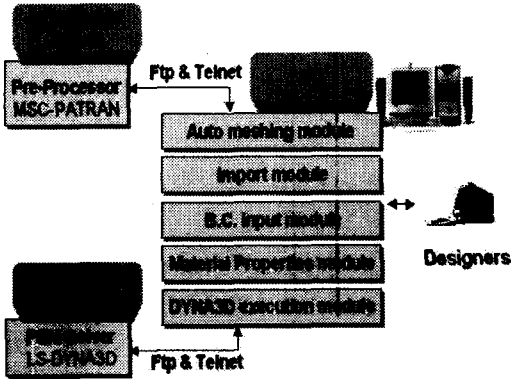


Fig. 9 Structure of impact damage evaluation integrity CAE system

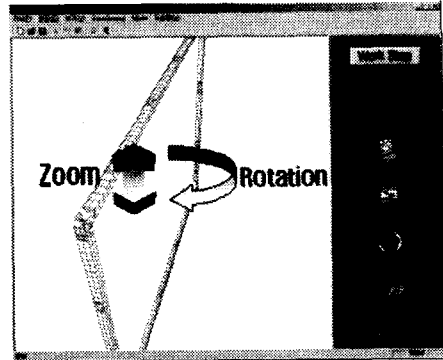


Fig. 11 Import module of LIAS

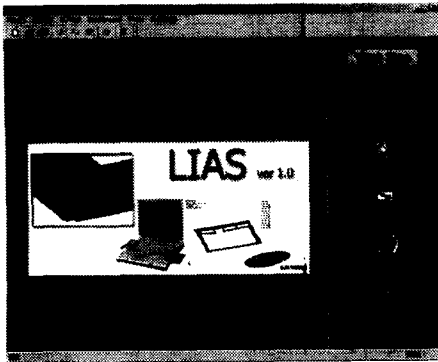


Fig. 10 Main window of LIAS

설계자는 자동 유한요소망 생성부를 통해 변경된 설계데이터를 전송 받아 유한요소망을 자동으로 생성할 수 있다. 설계 변경된 유한요소망의 검증 및 절점과 요소정보가 기록된 파일 생성은 임포트부(import module)에서 이루어진다. 임포트부는 3차원 그래픽과 모델링을 위한 라이브러리인 OpenGL(Open Graphic Library)을 사용하여 작성하였으며, Fig. 11과 같이 마우스 버튼을 이용하여 회전, 확대 및 축소를 가능하게 하였다. 또한 배경화면의 색상 변경과 유한요소망의 셰이딩(shading), 와이어프레임(wire frame) 기능을 추가하여 고품질의 그래픽을 구현하였다. LS-DYNA3D 입력파일은 절점과 요소정보를 바탕으로 하여 경계조건과 재료물성치 입력부에서 해당 정보를 입력 받아 작성된다. DYNA3D 실행부는 작성된 입력파일을 FTP와

텔넷을 이용하여 LS-DYNA3D가 설치된 서버로 전송하여 충격해석을 수행한다.

충격해석이 완료되면 후처리(post-processor) 기능이 내장된 모듈을 이용하여 중요 관심부위에서의 응력 분포 및 변형에 대하여 파일정보 입력만으로 확인이 가능하고 관련 부품들의 해석결과를 그래프를 통하여 확인할 수 있다. 또한 간단한 사용자 정보를 입력하여 보고서까지 출력이 가능하도록 구성하였다.

5. 결론

본 논문에서는 TFT-LCD 모니터의 충격에 대한 안전성 확보를 위해 최적화된 해석 모델을 작성하고, 설계변경에 따라 충격손상평가를 신속하고 정확하게 수행 할 수 있도록 통합 CAE 시스템을 개발하였다. 또한 해석모델의 타당성을 검증하기 위해서 0.002 초 동안 220G half sine wave의 충격이 작용하는 경우에 대해 실험결과와 비교하였으며 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험결과와 비교하여 TFT-LCD 모듈의 충격거동을 예측할 수 있는 최적화된 충격해석 모델을 작성하였다.
- (2) 모드해석을 수행하여 부품의 거동이 TFT-LCD의 전체 거동에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.
- (3) 탑 새시로 부터 LCD 이탈되면서 LCD 패널과 탑 새시에 높은 응력이 발생하고, 이로 인하여 파손이 발생하는 것으로 판단된다. 탑 새시가 LCD 패널의 거동을 따라 변형하도록 기구학

적으로 설계변경하면 파손 가능성을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

- (4) 설계변경시 빠른 시간에 자동으로 유한요소망을 생성하고 후처리를 수행할 수 있는 통합 CAE시스템을 개발하였다. 이는 네트워크를 기반으로 하여 CAE 프로그램의 효율성과 사용자의 편의성을 확보 하였다.

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," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 12, pp. 68-81, 2000.
2. Wu, J., Song, S., Yeh, C. P., Wyatt K., "Drop/Impact Simulation and Test Validation of Telecommunication Product," InterSociety Conference on Thermal Phenomena, pp. 330-336, 1998.
3. Goldbach, H., Koch, B., "Car Door Made with Plastics/Steel-Sheet Composite," Kunststoffe German Plastics, Vol. 81, No. 7, pp. 634-637, 1991.
4. Foreman, A., Ross, H. D., Huggins, A., "Design, Manufacture, and Test of Lightweight Composite Sandwich Helmets," Plastics, Rubber, and Composites (UK), Vol. 28, No. 5, pp. 252-258, 1999.
5. Chung, Y. J., Boo, S. W., Chun, S. P. and Kim, D. C., "Impact Design of Electronic Product," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 35, No. 8, pp. 678-690, 1995.
6. LS-DYNA Users Manual, Ver. 960, Livermore Software Technology Corporation, 1998.
7. Cook, R. D., Malkus, D. S. and Plesha, M. E., "Concepts and Applications of Finite Analysis," JOHN WILEY & SONS, 1989.
8. Kim, Y. J., Koo, J. C., Moon, S. I. and Kim, Y. J., "An Effective Method for Measuring Elastic Modulus of Large TFT-LCD Panels," Proceeding of the 11th APCNDT, 2003.
9. Advanced MSC/PATRAN Usage PAT 302, Course Notes Release 8.0, MSC Software, 1999.
10. Nam, Y. Y., "Impact Test of LCD Modules," Test Report of KIMM, 2000.