

대형 Digital TV 용 Display Unit 의 강성 측정

김창희^{*}, 문성인^{*}, 구자춘[#], 최재봉^{*}, 김영진^{*}, 이정권^{**}

Elastic Modulus Measurement of a Large Size Digital TV Display Unit

Chang Hoi Kim^{*}, Seong In Moon^{*}, Ja Choon Koo[#], Jae Boong Choi^{*},
Young Jin Kim^{*} and Jeoung Gwen Lee^{**}

ABSTRACT

As the digital TV markets rapidly growing, many manufacturers introduce large size flat screen TV units. There are two different display types available to large size models which are plasma and TFT-LCD. Since both are constructed with thin large panels that are mostly fragile to even moderate mechanical shock inputs. Some large size panels are severely resonated by the acoustic sound generated TV which deteriorates video quality. Recognizing the potential problems of large displays, accurate measurement of the panels is to be an essential task for the reliable design. Measurement of mechanical properties of a thin large crystallized panel such as TFT-LCD display with traditional material testing equipments is challenging. Since TFT-LCDs are constructed with combination of brittle glass panels, polymer sheets, and liquid crystal, their properties are not only anisotropic but also usually non-linear. Accurate measurement of the properties often requires very expensive facilities. Especially when the size of the test sample is as large as 40-inch or wider, direct measurement cost is prohibitive. Even worse, machining of the large TFT-LCD to make a smaller size specimen that could be fit into a material tester is not possible because of liquid crystal leakage. A new method for the measurement of elastic modulus of large TFT-LCD panel is presented in this article. The suggested method provides a simple, economic, and user-friendly way for measuring the elastic modulus of large panels with considerable level of accuracy.

Key Words : TFT-LCD(초박막 액정 표시장치), Impact(충격), Elastic Modulus(탄성계수)

1. 서론

현재 많은 전자제품 및 각종 기기의 디스플레이 장치에 사용되고 있는 초박막 액정 표시장치(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display: TFT-LCD)는

PDP(Plasma Display Panel), FED(Field Emission Display) 및 유기 EL(Organic Electro-Luminescent) 등과 함께 FPD(Flat Panel Display)를 대표하는 차세대 디지털 디스플레이(digital display) 소자이다. TFT-LCD 는 브라운관 방식에 비해 소비전력이 낮

^{***} 접수일: 2004 년 6 월 3 일; 게재승인일: 2004 년 12 월 10 일

^{*} 성균관대학교 기계공학부

[#] 교신저자: 성균관대학교 기계공학부

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

^{**} 삼성전자㈜ AMLCD 총괄 광기구조개발팀

고 경량 박형이 가능하며, 유해 전자파를 방출하지 않을 뿐만 아니라 선명도가 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 TFT-LCD 는 모니터, 노트북, 핸드폰, TV 등 다양한 디지털 디스플레이 제품에 응용되고 있으며, 가격측면에서 경쟁력을 확보하면서 시장의 수요가 빠르게 증가하고 있는 추세이다.

TFT-LCD 가 휴대용 기기의 디스플레이 장치에 주요 부품으로 사용되면서 TFT-LCD 디스플레이 장치의 내충격성은 더욱 중요한 설계요소로 부각되었다. 최근에는 가혹한 조건에서 사용되는 디스플레이 장치에 TFT-LCD 가 적용됨에 따라 더욱 강한 기계적 성질이 요구되고 있다. 최근 대형 디지털 TV 시장에서도 TFT-LCD 디스플레이 장치의 내충격성은 설계 시 가장 중요한 고려사항 중 하나로 인식되고 있다. 그러나 TFT-LCD 디스플레이 장치의 주요 부품인 패널이 취성 재료로 구성되어 있다는 특징 때문에 TFT-LCD 디스플레이 장치의 내충격성 확보에 많은 어려움이 따르는 실정이다.

제품의 설계를 위해 설계자는 많은 부분을 컴퓨터를 이용한 수치해석에 의존하고 있으며, TFT-LCD 디스플레이 장치의 경우에도 시제품을 제작하기 전에 설계된 제품의 내충격성을 평가하기 위해 유한요소해석(Finite Element Analysis: FEA)을 수행하고 있다. 그러나 유한요소해석을 수행하여 타당성 있는 해석결과를 얻기 위해서는 재료거동을 정확하게 표현할 수 있는 재료물성이 필요하다.

많은 논문들에서 다양한 장비들을 이용하여 재료의 물성치 측정 방법을 제시하고 있으며 그 중 일부는 얇은 박판의 물성치 측정에 높은 정밀도를 보여준바 있다.¹⁻² 그러나 이와 같은 시험법으로 물성치를 측정하기 위해서는 ASTM 등의 표준 시험 절차서에 따라 시편을 제작해야 하지만 TFT-LCD 는 TFT 가 형성되어 있는 하부 유리기판과 컬러필터(color filter)가 형성되어 있는 상부 유리기판 사이에 액정(liquid crystal)이 채워져 있는 구조로 구성되어 있기 때문에 이를 잘라 시편을 제작하는 것이 불가능한 실정이다.

타 연구자들은 3 점 굽힘 시험을 수행하여 노트북용 소형 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정해 바 있다. 그러나 32" 이상의 대형 TFT-LCD 패널을 사용하여 3 점 굽힘시험을 수행할 경우에는 TFT-LCD 패널 크기에 알맞은 실험장치를 구성하는 것이 어려울 뿐만 아니라 자중에 의한 초기 처짐이 발생하기 때문에 3 점 굽힘시험을 수행하여 탄성계

수를 측정하는 것은 사실상 불가능하다. 현재까지 대형 TFT-LCD TV set 에 대한 유한요소 해석을 수행하기 위해 소형 TFT-LCD 패널을 사용하여 측정된 탄성계수를 사용하고 있으나, TFT-LCD 패널은 다층복합재료로서 비선형 거동을 보이기 때문에 다른 크기의 TFT-LCD 패널을 이용하여 측정된 값을 사용하여 해석을 수행할 경우에는 잘못된 해석결과를 초래할 수 있다.³⁻⁵ 따라서, 대형 TFT-LCD 패널의 탄성계수 측정을 위한 새로운 방법론이 필요한 실정이다.

본 논문의 목적은 대형 TFT-LCD 패널의 거동을 모사할 수 있는 정확한 탄성계수를 측정하는 것이다. 이를 위해 정적인 처짐을 이용한 새로운 탄성계수 측정방법을 제안하였다. 제시된 방법론의 타당성을 검증하기 위해 TFT-LCD 패널을 2 차원 보로 가정하여 탄성유한요소해석을 수행하였으며, 모드해석(modal analysis)과 모드실험(modal test)을 수행하였다. 또한 본 논문에서 측정된 탄성계수를 사용해 충격해석을 수행하였으며, 그 결과를 낙하충격 실험결과와 비교하여 탄성계수 측정 방법론을 검증하였다.

2. 탄성계수 측정 방법론

32" 이상의 대형 TFT-LCD 패널은 두께에 비해 폭과 길이가 충분히 크기 때문에 단순지지형태의 구속조건 하에서 자중에 의해 상당히 큰 처짐이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 정적처짐에 의해 발생하는 변형률과 처짐량을 이용하여 TFT-LCD 패널의 탄성 계수를 측정하였다.

2.1 처짐량을 이용한 탄성계수 측정

단순지지형태의 구속조건하에 있는 대형 TFT-LCD 패널은 자중이 분포하중의 형태로 작용한다고 가정하면 Fig. 1 에 나타난 것과 같이 2 차원 형태의 보로 가정 할 수 있다. 이때 자중에 의한 보의 최대 처짐은 다음 식으로 계산할 수 있다.⁶

$$\delta = \frac{1}{EI} \left[\frac{-5\omega_0 L^4}{384} + \frac{5\omega_0 a L^3}{48} - \frac{\omega_0 a^2 L^2}{4} + \frac{\omega_0 a^3 L}{6} + \frac{\omega_0 a^4}{24} \right] \quad (1)$$

여기서, δ 은 보의 최대 처짐량, E 는 보의 탄성계수, L 은 지지점 사이의 거리, a 는 보의 끝 단과 지

지점 사이의 거리, l 는 단면계수, ω_0 은 보에 작용하는 분포하중이다. 보의 처짐량을 알면 위 식으로부터 보의 탄성계수를 계산할 수 있다. 따라서 단순지지 형태의 구속조건하에 있는 TFT-LCD 패널의 최대 처짐량을 측정하면 식 (1)로부터 쉽게 탄성계수를 계산할 수 있다.

2.2 변형률을 이용한 탄성계수 측정

Fig. 1 에 나타난 단순지지보의 중앙 부위에서의 굽힘모멘트 M 은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$M = -\frac{\omega_0 L^2}{8} + \frac{\omega_0 L}{2} \left(\frac{L}{2} - a\right) \quad (2)$$

또한 굽힘모멘트에 의해 보에 발생하는 최대 응력과 최대 변형률은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\sigma_{\max} = \frac{Mt}{2I} ; \quad \varepsilon_{\max} = \frac{Mt}{2EI} \quad (3)$$

여기서, σ_{\max} 는 최대 응력, ε_{\max} 는 최대 변형률, t 는 보의 두께이다. 보의 최대 변형률을 알면 식 (3)으로부터 보의 탄성계수를 계산할 수 있다. 따라서 단순지지 형태의 구속조건하에 있는 TFT-LCD 패널의 최대 변형률을 측정하면 식 (2)와 (3)으로부터 쉽게 탄성계수를 계산할 수 있다.

3. 탄성계수 측정

대형 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정하기 위해 폭 893mm, 길이 545mm, 두께 2mm, 중량 2.044kg 인 40" TFT-LCD 패널을 시편으로 사용하였다. 처짐량과 변형률을 측정하기 위해 Fig. 2 와

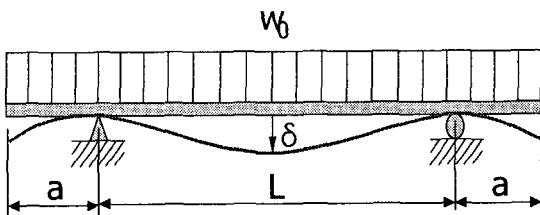


Fig. 1 Deflection of a simply supported beam under distributed load

같이 실험장치를 구성하였으며 a 가 0 인 지점에서 두개의 받침대가 패널을 지지하도록 하였다. TFT-LCD 패널의 처짐량은 정밀도가 0.01mm 인 높이 게이지(height gauge)를 이용하여 측정하였으며 변형률은 Fig. 3 에 나타난 것과 같이 패널 중앙과 중앙 하단부위에 부착된 변형률 게이지를 사용하여 측정하였다. TFT-LCD 패널의 중앙 하단부위에서는 처짐량과 변형률을 모두 측정하였으며 중앙에서는 변형률만을 측정하였다. 또한 TFT-LCD 패널을 구성하는 얇은 층들의 두께 방향 비대칭성과 초기 휨 변형을 고려하기위해 TFT-LCD 패널의 정면부와 후면부를 구분하여 측정하였다. 정적처짐을 이용한 탄성계수 측정 방법론을 검증하기 위해 단일재료로 만들어져 있고 탄성계수가 3.39GPa 로 알려져 있는 확산판(diffuser plate)에 대해 TFT-LCD 패널과 동일한 실험을 수행하였다.

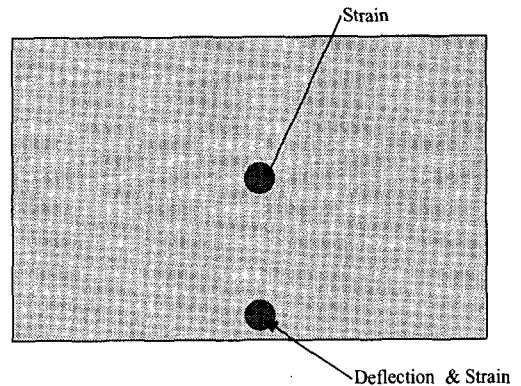


Fig. 2 Measurement Locations

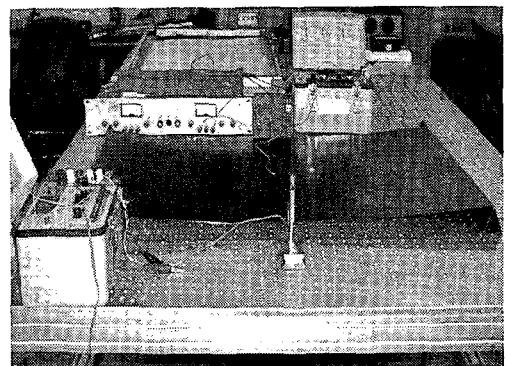


Fig. 3 Deflection and strain measurement set-up for a large TFT-LCD Panel

Table 1 Test Results of a 40-inch TFT-LCD and Diffuser panels

Specimen	Loading Direction	δ (mm)	$\mu \epsilon$		E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	
			Center	Edge		Center	Edge
Diffuser Plate	Rear	28.43	588	628	4.19	3.47	3.37
Diffuser Plate	Front	32.91	580	624	3.57	3.49	3.41
LCD Panel	Rear	23.09	200	240	22.68	27.96	26.25
LCD Panel	Front	19.52	184	215	26.82	31.15	29.30

Table 1 에는 TFT-LCD 패널과 확산판으로부터 측정된 δ , ϵ 을 나타내었으며, 식 (1)을 사용하여 처짐량으로부터 계산된 탄성계수 E_1 과 식 (3)을 사용하여 변형률로부터 계산된 E_2 를 함께 나타내었다. Table 1 에 나타난 것과 같이 처짐량으로부터 구한 탄성계수에 비해 변형률로부터 구한 탄성계수가 실제 확산판의 탄성계수에 근사한 값을 나타내었다. 이는 TFT-LCD 패널이 한쪽 방향으로 초기 휨 변형이 존재하는데 처짐량으로부터 탄성계수를 측정하는 방법은 초기 휨 변형을 고려하지 못하는 반면 변형률로 측정하는 방법은 이를 고려해 줄 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 변형률로부터 탄성계수를 구하는 방법이 타당한 것으로 판단된다.

단일재료로 만들어진 확산판의 경우 변형률로 측정하는 방법은 탄성계수를 3%이내에서 정확하게 예측하였으며, 이로부터 제안된 방법론의 타당성을 검증하였다. 따라서, 본 논문에서 제안한 방법론을 사용하여 40" TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정하였으며, 26GPa 과 31.15GPa 사이의 값을 갖는 것으로 측정되었다. 이는 3 점 굽힘시험에 의해 12" TFT-LCD 패널로부터 측정된 탄성계수 12GPa 보다 약 2.5 배 큰 값을 나타낸다.⁷ 따라서 작은 크기의 패널을 사용하여 측정된 탄성계수를 대형 TFT-LCD 패널의 탄성계수로 사용하는 것은 논리적으로 타당하지 않은 것으로 판단된다.

4. 탄성계수 측정 방법론의 검증

본 장에서는 정적처짐을 이용하여 측정된 탄성계수를 다음 3 가지 방법을 사용하여 검증 하였다.

첫째, 측정된 탄성계수를 사용하여 2 차원 유한요소해석을 수행하여 계산된 변형률을 측정결과와

비교하였다. 둘째, 측정된 탄성계수를 사용하여 모드해석을 수행하였으며 그 결과와 모드실험 결과를 비교하였다. 셋째, 측정된 탄성계수를 사용하여 TFT-LCD TV set 의 충격해석을 수행하였으며 그 결과와 충격실험 결과를 비교하였다.

4.1 2 차원 탄성 유한요소해석

식 (1)과 (3)은 소규모 변형률 해석(small strain analysis)에 기초한 식이다. 실험에서 측정된 최대 처짐은 TFT-LCD 패널의 두께보다 10 배 이상 크기 때문에 우선 이 식을 TFT-LCD 패널에 적용 가능한지 여부를 판단해야 한다. 이를 위해 본 논문에서 측정된 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 사용하여 2 차원 유한요소해석을 수행하였다.

Fig. 1 에서 a 를 0 이라 가정하였으며, L/t 가 50, 100, 200, 400 인 4 가지 경우에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS Ver. 6.3 을 이용하여 수행하였다. 유한요소모델은 대칭성을 고려하여 1/2 만을 모델링 하였으며, 8 절점 평면변형률요소(plane strain element)를 사용하였다. 각 유한요소모델에 대해 소규모 변형률 해석과 대규모 변형률 해석(large strain analysis)을 수행하였다.

Fig. 4 와 5 는 분포하중 하에서 보의 최대 처짐과 최대 변형률을 나타낸 것으로서, L/t 가 커짐에 따라 소규모 변형률과 대규모 변형률 해석 결과의 차이가 작아지는 것으로 나타났다. 따라서 대형 TFT-LCD 패널은 L/t 가 400 이상으로 매우 크기 때문에 처짐은 소규모 변형률과 대규모 회전(large rotation)에 의해 지배된다고 할 수 있다. 유한요소해석 결과로부터 패널의 자중에 의한 변형률은 상대적으로 그 크기가 작은 것을 알 수 있다. 따라서, 소규모 변형률 해석에 기초하여 구한 식 (1)과

(3)은 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정하기 위해 사용 가능한 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 전제로 하여 2 차원 탄성 소규모 변형률 해석을 수행하여 계산한 변형률과 측정된 변형률을 비교하여 본 논문에서 측정된 탄성계수를 검증하였다.

Fig. 6 은 2 차원 탄성 소규모 변형률 해석으로부터 계산된 TFT-LCD 패널의 탄성계수와 변형률의 관계를 나타낸 것이다. 실험을 통해 패널 중앙부에서 측정된 변형률 184×10^{-6} , 200×10^{-6} 이었으며, Fig. 6 에서 이에 해당하는 탄성계수는 29.86GPa 과 27.5GPa 이었다. 이는 본 연구에서 제안한 측정 방법론을 사용하여 얻은 결과와 약 4.3%의 범위 내에서 잘 일치하였다.

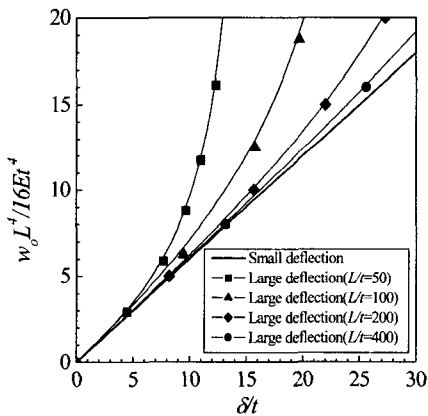


Fig. 4 Deflection of 2D beam under distributed load

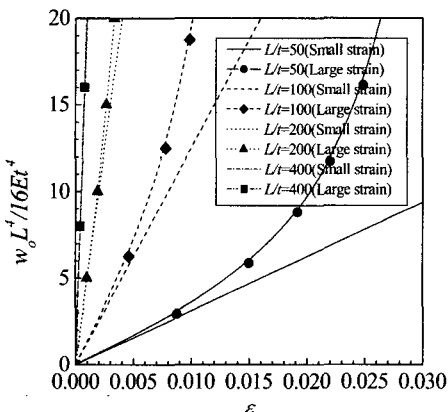


Fig. 5 Strain of 2D beam under distributed load

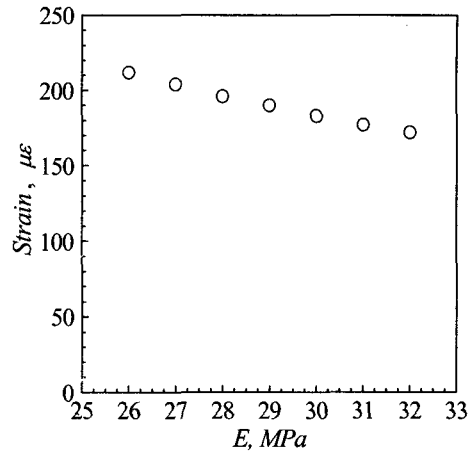


Fig. 6 FE analysis result of 2D beam under distributed load

4.2 모드해석

일반적으로 탄성체에서 파(wave)의 전달은 탄성 계수, 포아송비 ν , 밀도 ρ 등에 의해 영향을 받으며, 탄성체의 고유진동수는 탄성계수의 함수로 표현이 될 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 개념을 바탕으로 하여 TFT-LCD 패널에 대해 모드실험을 수행하여 고유진동수를 측정하고 모드해석의 결과와 비교하여 정적 처짐으로부터 구한 탄성계수 측정방법을 검증하였다.

TFT-LCD 패널에 최대한 자유경계조건을 부여하기 위해 패널의 모서리 한 부분만을 매달고 실험을 수행하였다. 진동 망치로 TFT-LCD 패널을 가진 시킨 후, TFT-LCD 패널에 부착된 가속도센서에서 출력된 신호를 FFT(Fast Fourier Transform) Analyzer 에 저장하여 분석하였다.

Fig. 7 은 모드실험을 수행하여 얻은 TFT-LCD 패널의 고유 진동수를 나타낸 것이며 기본 진동수는 9.5Hz 를 나타내었다.

TFT-LCD 패널의 모드해석을 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA3D Ver. 960 을 사용하였으며 탄성계수의 변화에 따른 기본 진동수를 Fig. 8 에 나타내었다. 측정된 기본진동수인 9.5Hz 에 해당하는 탄성계수는 30GPa 이었으며, 이는 본 연구에서 제안한 측정 방법론을 사용하여 얻은 결과와 약 6.8%의 범위 내에서 일치하였다.

Table 2 는 각각 12", 40" TFT-LCD 패널로부터

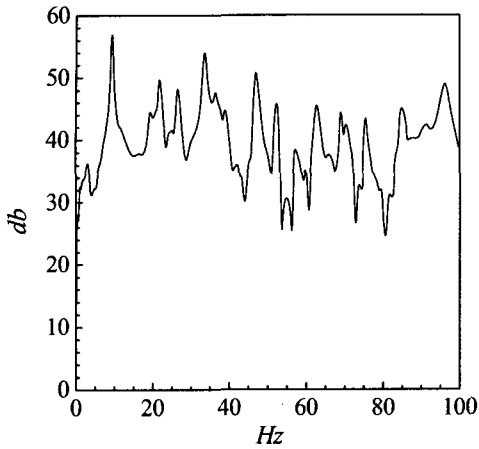


Fig. 7 Modal test result

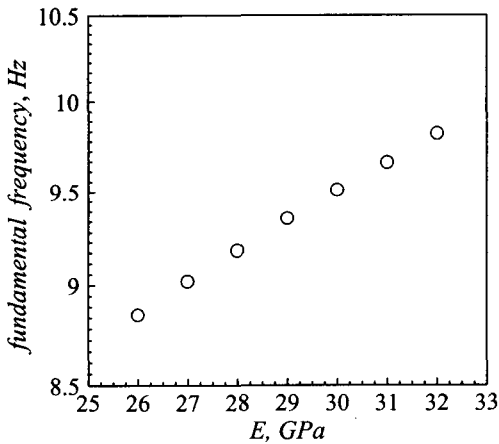


Fig. 8 Modal analysis result

Table 2 Results of modal test and analysis

Mode	F.E. Analysis (Hz)		Modal Test (Hz)
	E=12GPa	E=30GPa	
1	6.01	9.50	9.50
2	6.15	9.73	-
3	13.96	22.06	22.40
4	16.56	26.18	26.20
5	16.67	26.35	-
6	21.19	33.50	33.50
7	25.29	40.00	40.60
8	30.66	48.48	48.00

측정한 탄성계수 12GPa 과 30GPa 을 입력하여 각 각 모드해석을 수행 한 결과와 실제 40" TFT-LCD 패널의 모드실험으로부터 얻은 결과를 나타 낸 것이다. 이는 탄성계수로서 30GPa 을 이용하여 해석한 결과가 12GPa 을 이용하여 해석한 결과에 비해 실험결과와 잘 일치하는 것을 보여준다.

4.3 충격해석

패널은 TFT-LCD TV Set 의 주요 부품 중 하나 이므로 본 논문에서 측정한 탄성계수를 사용하여 TFT-LCD TV set 의 충격해석을 수행하였으며, 이를 충격실험 결과와 비교하여 탄성계수 측정방법을 검증하였다.

충격해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA3D Ver. 960 을 사용하였으며, 유한요소모델 은 Fig. 9 에 나타내었다. 하중은 Fig. 10 에 나타낸 것과 같이 50g 11ms 의 사인파 형태의 가속도를 TFT-LCD TV set 의 사용자 홀(user hole)에 입력시켰다.

해석결과와 실험결과를 비교하였으며 패널 중앙과 패널 상단에서 12GPa 과 30GPa 을 입력하여 얻은 결과를 Fig. 11(a)와 Fig. 11(b)에 나타내었다. 12" TFT-LCD 패널을 사용하여 3 점 굽힘시험으로부터 측정된 탄성계수인 12GPa 을 사용하여 해석한 결과에 비해 본 논문에서 측정한 탄성계수인 30GPa 를 사용하여 해석한 결과가 실험 결과와 더 유사한 경향을 보였다. 이로부터 본 논문에서 새롭게 제시한 측정 방법의 타당성이 입증되었다.

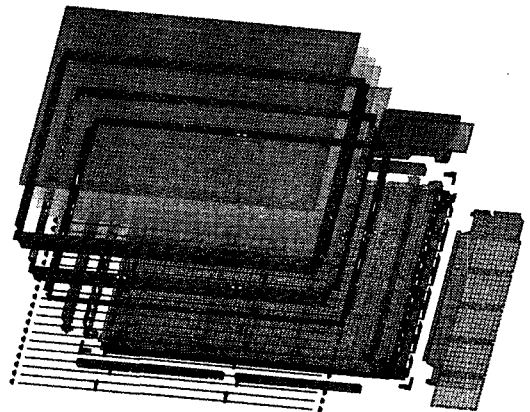


Fig. 9 Finite element model of a 40-inch digital TV set

5. 결론

본 논문에서는 대형 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정하기 위한 방법론을 새롭게 제시하였다. 제시된 방법론의 타당성을 검증하기 위해 TFT-LCD 패널을 2 차원 보로 가정하여 탄성 유한요소 해석을 수행하였으며, 모드해석과 모드실험을 수행하였다. 또한 충격해석과 충격실험을 수행하여 측정 방법론을 검증하였으며 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 복합재료로 구성된 TFT-LCD 패널의 탄성계수를 측정할 수 있는 측정 방법론을 새롭게 제시하였다.
- (2) 단순지지 형태의 구속조건에서 TFT-LCD 패널의 처짐은 소규모 변형률과 대규모 회전에 의해 지배되기 때문에 소규모 변형률 해석으로부터 탄성계수를 계산할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Rouzaud, Andre., "A Method for Elastic Modulus Measurements of Magnetron Sputtered Thin Films Dedicated to Mechanical Applications," Thin Solid films, Vol. 270, pp. 270-274.
2. Aksel, C. and Riley, F. L., "Young's Modulus Measurements of Magnesia-Spinel Composites Using Load-Deflection Curves, Sonic Modulus, Strain Gauges and Rayleigh Waves," J. of the European Ceramic Society, in press.
3. Luccioni, B. and Oller, S., "A Directional Damage Model," Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., Vol. 192, pp. 1119-1145, 2003.
4. Suhir, E. and Burke, R., "Dynamic Response of a Rectangular Plate to a Shock Load, With Application to portable Electronic Products," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing

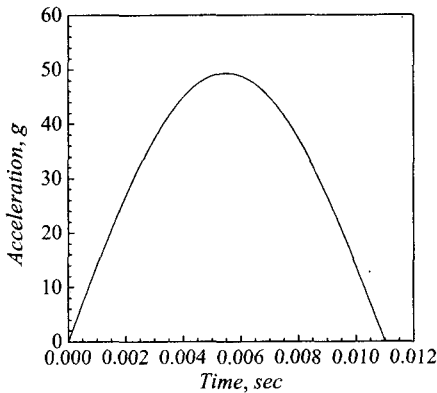
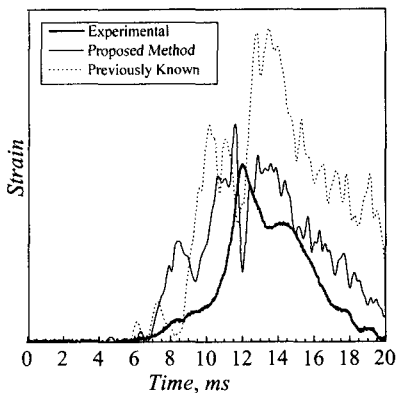
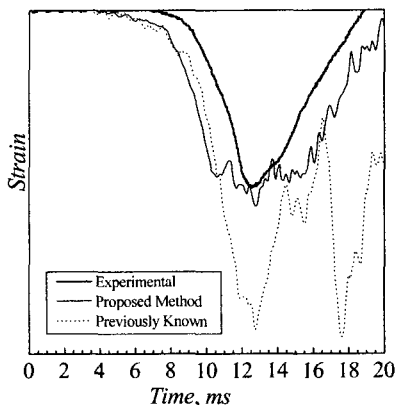


Fig. 10 Half sine wave shock input



(a)



(b)

Fig. 11 Impact test and analysis of 40-inch TFT-LCD TV

Technology-Part B, Vol. 17, No. 3, 1994.

5. Xue, H., "A Combined Finite Element-Riccati Transfer Matrix Method in Frequency Domain for Transient Structural Response," Computers and Structures, Vol. 62, No. 2, pp. 215-220, 1997.
6. Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., Mechanics of Materials, Brooks/Cole Engineering, 1983.
7. Samsung electronics, A Study on Shock Proof Design of Large TFT-LCD TVs, pp. 53-64, 2003.