

가전제품 설계상의 해석적 및 실험적 방법

전 삼 표

CAE and Experimental Methods for the Structural Design of Consumer Electronics Products

Sampyo Chun



● 전삼표 (삼성전자 기술총괄CAD센터)
● 1958년생,
● 동역학 및 최적제어를 전공하였으며,
CAE를 이용한 구조동역학 측면에서
의 최적화 설계에 관심을 가지고 있
다.

1. 머리말

1.1 개요

전 가전제품은 공장에서 출하 후 소비자의 손에 들어가기까지 복잡한 유통경로를 거친다. 특히 이 유통과정 중 제품이 받는 충격은 제품파손에 가장 큰 위험요소로서 일찍부터 제품에 포장을 실시함으로써 그 보호책을 강구해 왔다. 포장설계에는 보통 ASTM에 따른 5단계 포장설계법⁽¹⁾이 이용되는데 이 방법에 의하면 먼저 충격시험에 의한 제품의 허용충격치를 산출하고, 이 값에 의한 포장설계를 하도록 되어 있다. 그러나 충격시험을 실시하기 위해서는 여러 대의 시료가 필요하기 때문에 시작품 제작 단계에서는 불가능하고 금형제작이 끝난 EVT 단계 이후에나 가능하므로 충격시험을 실시하여도 제품구조가 취약하여 수정이 불가피할 경우에는 금형수정을 해야 되며, 이는 곧 금형수명을 단축하고 납기지연을 초래하게 된다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서 충격시

험을 대체할 수 있는 CAE를 이용한 시뮬레이션 기법이 연구되어 왔으나 당시는 CAE가 처음 도입되는 단계로서, 충분치 못한 H/W 여건 등으로 인해 충격해석의 기본과정 확립 및 정성적 결과확인에 만족해야 했다. 본 연구에서는 설계 초기단계에서 제품의 허용충격치를 시험에 의하지 않고, 충격해석을 통하여 산출하는 방법에 관한 것으로서 그 내용은 다음과 같다.

TV셋 한 모델을 선정하여 유한요소 모델링을 완성하고, 모드해석 및 모드시험 결과를 비교하여 모델 검증은 실시했다. 충격해석을 위해 선형 천이 해석(linear transient analysis)법을 이용하여 TV셋에서의 가속도, 변형률을 구하고 충격시험 결과와 비교하여 해석방법의 타당성을 검증했다. 또한 해석시 하중증가에 따른 파손여부를 충격파손이론에 의하여 결정하였고, 시험시 육안에 의한 파손결정 결과와 비교하여 해석에 의한 허용충격치 결정방법을 검증했다. 또한 해석데이터의 생성, 충격 해석, 파손여부 결정, 포장재 두께 및 접촉면적을 결정할 수 있는

프로그램을 개발하였다.

1.2 완충포장 설계법

(1) 5단계 완충포장 설계법

제품 설계자는 자신이 설계한 제품이 완전하게 소비자에게 전달되도록 해야 한다. 그러기 위해서는 유통과정중 발생될 수 있는 제품불량을 사전에 예방할 수 있도록 포장설계를 해야 한다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 포장 설계법은 다음의 5단계 완충설계 기법이다.

- 1단계 유통환경파악 : 유통시 예상되는 운송환경 규정.
- 2단계 제품 물리적 파손성 결정 : 충격시험을 실시하여 제품의 충격강도 평가.
- 3단계 완충재료 평가 및 선택 : 포장재에 충격 및 진동에 대한 특성평가.
- 4단계 포장설계 및 시작품제작 : 제품의 예상 낙하높이 허용충격치, 중량, 완충 특성곡선에 따라 포장설계 및 시작품 제작.
- 5단계 시작품 평가 : 포장재 평가시험.

(2) 제품의 충격파손성 평가

위의 포장설계 5단계 중에서 두번째 단계인 제품의 충격파손성 평가는 충격시험을 통한 제품 파손한계 곡선을 구함으로써 실시할 수 있다. 이 곡선은 그림 1에서 보듯이 수평축의 속도변화와 수직축의 충격가속도로 이루어진다. 속도변화는 가속도와 시간의 곱으로 정의되는데 제품에 포장을 가하지 않고 직접 낙하할 경우처럼 충격의 지속 시간이 짧을 경우에는 제품의 파손은 이 속도 변화량으로 규정된다. 또한 속도 변화가 낙하높이의 평방근에 비례하므로 그림 1과 같이 한계속도 변화를 구하면 한계낙하 높이를 알 수 있고, 이 값을 유통과정시의 낙하높이를 비교하여 포장의 필요성을 평가할 수 있다. 즉 유통시 취급 높이가 한계속도변화 좌측에 있다면 포장이 필요없게 된다. 그러나 대부분의 제품은 포장이 필요하게 되는데 이 때

한계속도변화

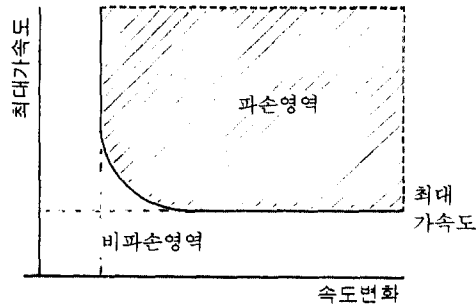


그림 1 파손한계 곡선

에는 제품의 손상되지 않고 견디는 최대가속도(G팩터)를 구해야 하고 이 값이 포장 설계시 이용된다. 그러므로 속도 변화값과 최고 가속도가 일치하는 점이 빗금친 영역에 들어갈 경우에는 제품이 파손된다는 것을 의미한다. 이 곡선은 충격 시험기를 이용하여 구하는데, 한계 속도변화는 낙하높이에 따라서 속도변화 값이 비례하여 변화하는 반사인 충격파를 이용하여 구하고, 임계가속도는 같은 속도변화에서 제품이 받는 충격이 가장 큰 사다리꼴 충격파를 이용하여 구한다. 참고로 앞의 G는 제품이 받는 가속도를 중력 가속도로 나누는 값으로 정의된다.

2. 연구방법

2.1 실험적 방법

(1) 물성치 측정 실험

해석시 필요한 기본 데이터를 구하기 위한 물성치 측정실험과 질량 관성모멘트 측정실험을 실시한다. 물성치는 TV 케비넷과 PCB의 재질특성인 탄성계수(E)와 밀도(ρ)를 측정한다. 탄성계수는 케비넷 및 PCB에서 보 형태의 시편을 취출하여 외팔보의 첫 번째 고유치를 측정하고 고유치와 E값의 상관 관계에서 E값을 역산하여 구한다. PCB는 저항 등과 같은 부품이 붙어 있는 경우와 붙어 있지 않은 경우에 특성을 파악하기 위

해서 이 두 경우에 대해 탄성계수를 구한다. 밀도는 질량과 부피를 측정하여 질량을 부피로 나누어 줌으로써 구한다.

CRT는 해석의 직접적인 응력해석 대상이 아니고 케비넷에 외력으로 작용하기 때문에 질량 및 관성모멘트가 정확해야 한다. 그래서 CRT의 유한요소 모델검증을 위해서는 CRT의 질량과 질량 관성모멘트(I)를 측정한다. 실험은 주기 측정장치를 제작하여 구한다.⁽²⁾ 측정방법은 먼저 주기 측정장치에 CRT를 올려놓고 CRT 무게중심과 원판 무게중심을 일치시킨다. 원판을 흔든 후 주기(τ)를 측정한다. 이 때 CRT와 원판의 질량 관성모멘트는 식 (1)로 구한다.

$$I = \frac{MgR^2\tau^2}{4\pi^2L} \quad (1)$$

여기서, τ 는 측정된 주기, R 은 원판반지름, g 는 중력 가속도, L 은 원판고정용 선의 길이, M 은 원판+시료의 질량을 나타낸다. CRT의 질량 관성모멘트는 위식에서 위판의 질량 관성 모멘트 I_0 를 뺀 값이다.

(2) 고유치 측정 시험

CTV 각 단품의 유한요소 모델링 및 이들 단품의 체결조건이 정확히 표현되었는가를 알아보기 위해 고유치를 측정한다. 시험은 CTV 단품 및 조립품을 유연한 선으로 지그에 고정한 후, 케비넷 측면에서 Random 진동으로 가진하고 케비넷 각부에서 가속도를 측정한 후 이의 FFT(fast Fourier transformation)를 통하여 FRF(frequency response function)를 구한다. 측정시에는 제품의 여러 곳에서 가속도를 측정하여 모든 모드가 잘 나타나도록 한다. TV 전체모델에 대한 FRF의 한 예를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 20Hz 이하에 나타나는 피크는 케비넷 지지용 선의 강제 모드에 의한 것이므로 첫번째 고유치는 약 68Hz임을 알 수 있다. 두번째 고유치 86Hz와 세번째, 네번째 고유치인 95Hz, 97Hz는 그림 2에서는 명확

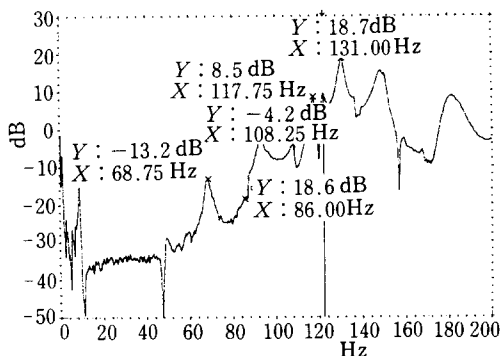


그림 2 CTV 전체 모델의 FRF 선도

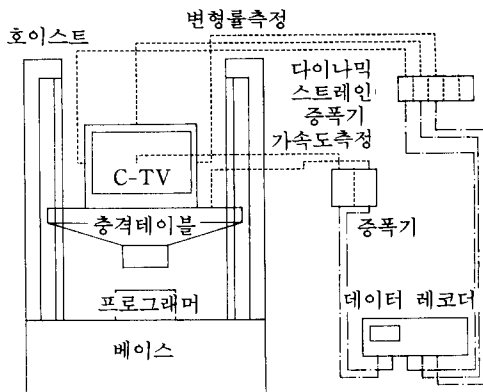


그림 3 충격시험기 구조 및 측정장치

한 구분이 어려우나 다른 부위의 FRF 선도에서 명확히 찾을 수 있었다.

(3) 충격시험

일반적으로 제품의 충격강도를 평가하기 위해서는 충격시험을 해야 한다. 본 연구는 충격시험을 대체하는 충격해석 기법을 확립하는 것이 목적이므로 해석의 타당성을 검증하기 위해서 충격시험을 실시한다. 즉 시험시 케비넷의 변형률 및 가속도를 측정하고 하중증가에 따른 제품의 파손을 결정하여 해석결과와 비교함으로써 해석의 신뢰성을 확보하기 위함이다. 본 시험에서 사용된 충격시험기는 그림 3과 같이 제품을 올려 놓을 수 있는 테이블과 충격파의 형태 및 크기를

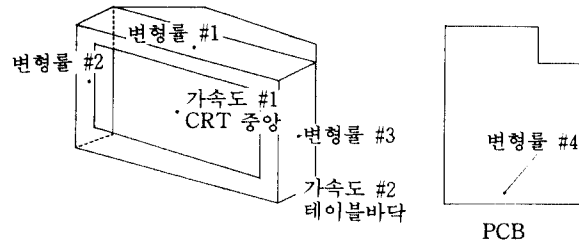


그림 4 변형률과 가속도 측정위치

조절할 수 있는 프로그래머, 그리고 테이블을 상하로 이동하는 호이스트 등으로 구성되어 있다. 측정 장비는 캐비닛의 변형률을 측정하기 위한 스트레인 게이지와 스트레인 앰프, 가속도를 측정하기 위한 가속도계, 이들 데이터를 저장하기 위한 데이터 레코더로 구성되어 있다. 변형률과 가속도 측정위치를 그림 4에 나타내었다.

시험은 ASTM D3332에 의거하여 실시하는데 그 방법은 다음과 같다. 프로그래머의 실린더 압력을 낮게 설정하여 가속도가 낮은 반사인파의 충격이 발생되도록 한 후 제품을 낙하시킨다. 제품에 이상이 없을 경우에는 프로그래머의 압력을 높여 충격이 크게 발생되도록 하면서 계속 시험한다. 제품에 이상이 발생되면 이 때의 속도변화를 한계속도 변화로 결정한다. 새로운 제품을 테이블에 고정시키고 프로그래머를 조절하여 앞의 시험에서 손상이 발견된 것보다 2배 이상의 충격을 갖는 사다리꼴과 충격이 가해지도록 한 후 낙하시킨다. 충격파의 속도변화가 일정하게 유지된 상태에서 충격주기를 줄이고 가속도 값은 증가시키면서 낙하시킨다. 제품이 파손될 때까지 시험을 반복하여 임계가속도를 결정한 후 파손한계곡선을 작성한다. 또한 각 시험시 변형률과 가속도를 측정한다.

2.2 해석적 방법

(1) 충격해석방법 및 파손결정법

어떤 구조물이 동적하중 및 충격하중을 받을 경우 내부의 한 점에 대한 변형정도를 나

타내는 변형률은 시간에 따라 변화한다. 이 변화량의 시간에 대한 비율을 변형률 속도로나타낼 수 있으며, 구조물이 외부로부터 하중을 받을 경우 그 거동에 대한 해석은 변형률 속도에 따라 달라진다. 높은 변형률 속도 하에서는 구조물 전체에서 탄성 에너지와의 전파효과가 커지므로 선형해석법을 적용할 수 없고 재질특성치의 측정방법도 각각의 하중상태에 따라 다르게 적용해야 한다.

일반적으로 변형률 속도가 낮은 하중상태의 시뮬레이션에는 선형탄성 해석법을 이용할 수 있으며, 파손판정에도 표준 시험법에 의해 구한 인장강도 및 굴곡강도를 이용할 수 있다. 변형률 속도에 따른 하중상태를 나타내면 그림 5와 같다.⁽³⁾

본 충격해석에서는 제품의 각 부분에서 충격시험시 변형률 속도를 구함으로써 하중상태를 판단하였다. 충격시험 결과 캐비닛 각부에서 변형률 속도는 $0.2 \sim 0.7(s^{-1})$ 로 나타났다. 따라서 충격해석에는 선형탄성 해석법을 이용하고 파손판정은 표준 시험법에 의해 추출한 강도를 기준으로 하였다.

해석에는 MSC/NASTRAN의 선형천이해석(linear transient analysis, SOL 109) 방법

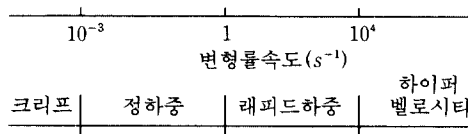


그림 5 변형률 속도에 따른 하중조건

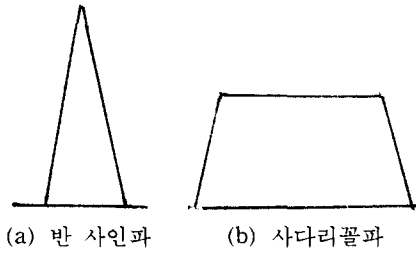


그림 6 충격파의 형태

을⁽⁴⁾ 이용한다. 하중은 충격시험시 테이블에서 측정된 가속도를 제품의 바닥면 리브에 Large Mass Method을 이용하여 부가한다. 이 방법은 하중이 부가되는 절점에 가상의 큰 질량(구조물 전체 질량의 10⁶배 이상)을 달고 이 질량에 질량과 가속도 곱에 해당되는 크기의 힘을 부가하는 방법이다. 해석은 시험과 동일한 하중에 대해서 실시하고 각 해석결과를 바탕으로 파손한계를 결정한다. 해석에 이용한 충격파의 두 가지 형태를 간단하게 나타내면 그림 6과 같다.

해석시에는 시험과 동일한 위치에서(그림 4 참조) 가속도 및 변형률을 구하여 시험 결과와 비교하였고, 이 결과를 바탕으로 충격 해석 방법의 타당성을 검증하였다.

(2) 유한요소 모델링 및 모드해석

TV셋의 유한요소 모델은 I-DEAS을 이용하여 프론트 캐비넷, 백 캐비넷, PCB 및 CRT 부분으로 나누어서 모델링하였다.⁽⁵⁾

프론트 캐비넷은 다수의 리브 및 CRT를 체결하기 위한 보스가 있어서 구조가 복잡하다. 또한 CRT에 의한 하중을 직접 받는 부분이어서 요소의 크기를 15 mm 정도로 작게 하여 모델링한다. 캐비넷은 두께 3 mm의 셀 요소로, 리브 및 보스는 두께 1.5 mm와 2 mm의 셀 요소로 모델링하였다. 완성된 모델을 그림 7에 나타내었다.

백 캐비넷은 형상이 비교적 간단하고 리브의 수가 적으며, 직접 하중을 받지 않으므로 비교적 요소의 크기를 크게 하여 모델링한

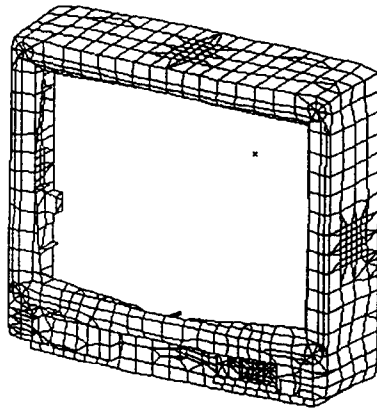


그림 7 프론트 캐비넷 유한요소모델

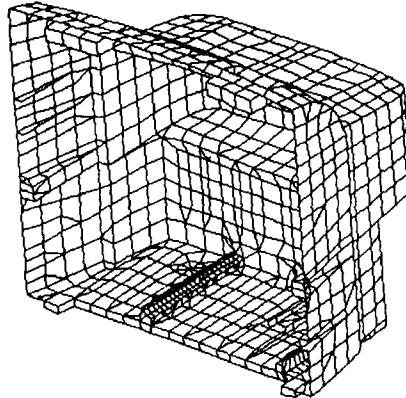


그림 8 백 캐비넷 유한요소 모델

다. 캐비넷 전체 두께는 3 mm로 하였고 Ventilation 부위는 두께 2 mm로 모델링하였다. 완성된 모델을 그림 8에 나타내었다.

CRT는 전면의 Panel 부와 전장물이 조립되는 후면 Funnel 부로 나누어서 모델링한다. Panel은 외곽치수인 반경이 주어지므로 외곽형상을 만들고 여기에 두께 14 mm인 셀 요소를 작성하여 모델링하였다. Funnel은 형상이 점 데이터로 주어지므로 점의 좌표를 입력하여 전체 외곽형상을 만들고 여기에 셀 요소를 생성한다. CRT는 응력해석 결과를 비교할 대상이 아니고 주로 캐비넷에 하중을 전달하는 작용만 하므로, CRT 전체의 형상

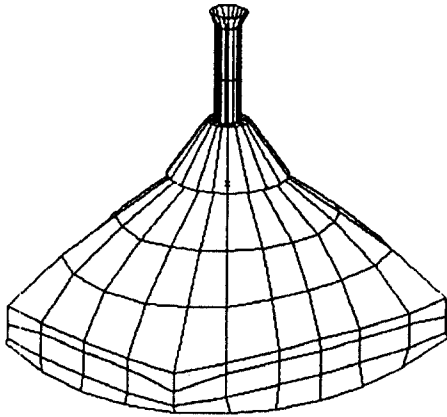


그림 9 CRT 유한요소 모델

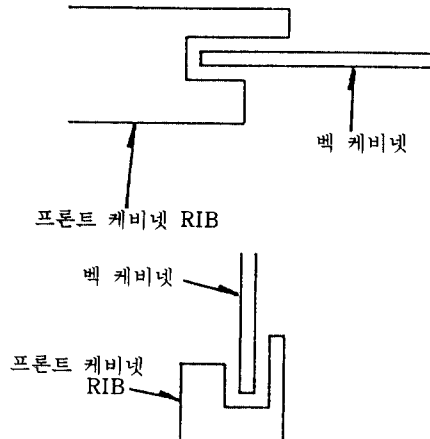


그림 11 캐비닛 연결부

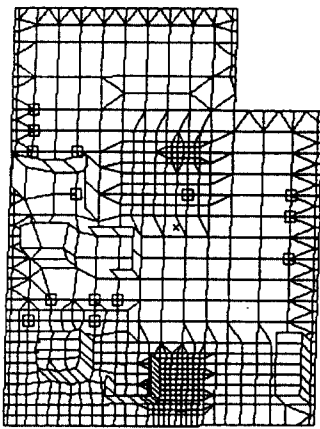


그림 10 PCB 유한요소 모델



그림 12 PCB 고정부

만을 표현하기 위하여 요소의 크기를 50 mm 정도로 크게 하여 모델링하였다. 완성된 모델을 그림 9에 나타내었다.

PCB는 페놀수지로 된 판에 저항, TR과 같은 작은 부품과 FBT (fly back transformer), 코일, 콘덴서와 같은 큰 전자부품이 붙어 있는 구조이다. PCB 판은 길이 25 mm, 두께 1.7 mm의 셸요소로 모델링하고, FBT, 코일, 콘덴서 등은 솔리드 요소로, 이외에 무게가 나가는 부품은 Lumped Mass 요소로 모델링하였다. 완성된 모델을 그림 10에 나타내었다.

각 단품들의 모델을 완성한 후 체결조건을 고려하여 각 단품의 연결부를 모델링한다. 프론트 캐비닛과 CRT는 4개의 나사로 체결되어 있으며, CRT 면과 프론트 캐비닛 전면부가 접촉하고 있다. 여기서 나사는 재질이 강(steel)인 보 요소로 모델링하고, 접촉면은 CRT와 프론트 캐비닛 전면방향의 변위가 같은 거동을 하도록 모델링한다. 프론트 캐비닛과 백 캐비닛은 6개의 나사로 체결됨과 동시에 캐비닛 상·하·좌·우면에서 리브 부분이 맞물려 있다. 나사는 재질이 강이고 프론트와 백 캐비닛을 고정하는 역할을 하므로 Rigid Bar 요소로 모델링한다. 리브 부분이 맞물리는 부분은 그림 11과 같이 상하단에서는 상하방향, 좌우면에서는 좌우방향의 변위가 같도록 모델링하였다. PCB는 그림 12와 같이 캐비닛의 가이드 레일에 끼

위져 있다. 여기서 PCB는 가이드와 약 0.6 mm 정도의 Gap이 있다. 이 부분을 정확히 모델링하기 위해서는 Gap 요소를 사용해야 하지만, Gap 요소의 비선형성으로 인한 해석시간을 고려할 때 거의 사용이 불가능하다. 따라서 이 부분은 캐비넷과 PCB의 접촉점에 상하 방향의 변위가 같게 모델링하였다.

각 단품을 연결하여 CTV셋의 전체 유한요소 모델을 완성하면 그림 13과 같고 각 단품과 전체모델의 요소 및 절점수를 나타내면 표 1과 같다.

작성된 유한요소 모델의 동적 거동에 관한 신뢰성을 검증하기 위하여 모드해석을 하였다. 모드해석에는 I-DEAS를 이용하였으며 각각의 단품에 대한 해석을 실시한 후 전체 모델에 대하여 해석함으로써 1결조건에 대한 모델링을 검증하였다. 충 격시 주어지는 하중은 주파수 대역에서 볼 때 100Hz 정도이므로 그 근방의 고유치까지만을 구하였다.

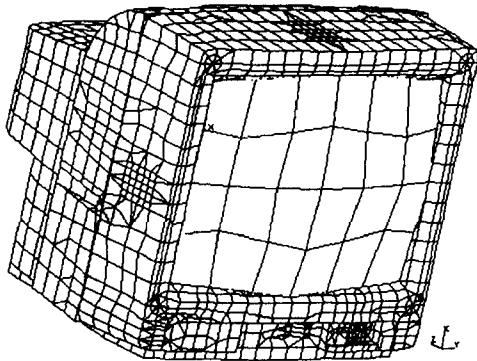


그림 13 CTV 세트의 전체 유한요소 모델

표 1 유한요소 모델의 요소 및 절점수

	프론트 캐비넷	백 캐비넷	CRT	PCB	연결 요소	전체 모델
요소수	1737	1453	304	845	326	4665
절점수	1553	1381	335	834	96	4095

3. 결과 및 검토

3.1 기본 물성치

캐비넷과 PCB 재질은 PP와 페놀(Phenol) 수지이며, 제품 카다로그에 나타난 굴곡 탄성계수 및 밀도값과 실험에 의하여 측정된 값을 표 2에서 보여준다. 두 값이 8% 이내에서 서로 일치함을 알 수 있으며 본 연구에서는 해석시에 측정된 값을 사용하였다. 해석시 PCB를 모델링 할 때 기판에 꽂혀 있는 저항을 무시하였으므로, 이것의 영향을 추정하기 위하여 저항이 있을 때와 없을 때에 측정된 굴곡 탄성계수를 비교하였다. 표 3에서 보여지듯이 두 값이 10% 이내에서 일치함을 알 수 있다.

CRT의 재질은 유리이며 탄성계수는 캐비넷과 PCB와 비교하여 크고, 중량도 크므로 충격해석시 탄성체로 유한요소 모델링은 하지만 해석결과에 미치는 영향은 중량이 큰 강성체로서의 영향이 지배적이다. 그러므로

표 2 캐비넷 물성치 비교

	측정치	문헌치	오차(%)
탄성계수 (*10 ⁶ mN/mm ²)	2.443	2.254	7.73
밀도 (*10 ⁻⁶ Kg/mm ³)	1.031	1.040	0.87

표 3 PCB 물성치 비교

	저항有	저항無	오차(%)
탄성계수 *10 ⁶ (mN/mm ²)	8.85	9.79	9.60

표 4 CRT 질량 및 관성모멘트 비교

	질량 (Kg)	I _{xx} (Kg mm ⁴)	I _{yy} (Kg mm ⁴)	I _{zz} (Kg mm ⁴)
해석치	13.14	239500	317700	382700
실험치	12.64	237052	316796	388941
오차(%)	3.96	0.77	0.28	0.50

CRT의 질량 및 관성 모멘트를 측정하고 모델링하여 계산된 값과 비교하여 CRT 모델링의 신뢰성을 검증하였다. 표 4에서 보듯이 측정치와 계산된 값은 4% 이내로 서로 일치함을 알 수 있다.

3.2 모드시험 및 해석 결과

선형 탄성체로 유한요소 모델링된 TV셋 모델의 동적 거동에 관한 신뢰성을 검증하기 위하여 모드시험과 해석결과를 표 5, 6, 7에 비교 제시하였다. 모드해석에는 I-DEAS를 이용하였으며 시험과의 비교는 고유치만을 대상으로 하였다. 충격시험시 주어지는 하중은 주파수 대역에서 볼 때 100 Hz 정도이므로 그 이내의 고유치만을 비교하였으며, 단

표 5 FRONT 케비넷 고유치 (단위 : Hz)

MODE	해석	시험	오차(%)
1 st	12	14	14.2
2 nd	45	44	2.2
3 rd	55	53	3.7
4 th	66	62	6.4

표 6 BACK 케비넷 고유치 (단위 : Hz)

MODE	해석	시험	오차(%)
1 st	19	18	5.5
2 nd	43	40	7.5
3 rd	51	50	2.0
4 th	53	54	1.8

표 7 PCB 고유치 (단위 : Hz)

MODE	해석	시험	오차(%)
1 st	20	20	0.0
2 nd	25	22	13.6
3 rd	29	33	12.1
4 th	41	38	7.8

표 8 전체 모델 고유치 (단위 : Hz)

MODE	해석	시험	오차(%)
1 st	69	65	6.1
2 nd	86	88	2.2
3 rd	95	96	1.0
4 th	97	105	7.6
5 th	104	113	7.9
6 th	113	119	5.0

품의 정확한 모델링과 올바른 연결 조건을 찾기 위해서 각 단품과 이것을 차례대로 조립시킬 경우에 고유치를 비교 검증하였다.

표 5~8에서 보듯이 케비넷 단품의 경우 14% 이내에서 서로 일치했으며, PCB인 경우도 14% 이내에서 서로 일치했다. CRT의 경우는 앞에서 언급했듯이 거의 강성체에 가까운 거동을 하므로 관성 모멘트로 검증했으며, 케비넷과 CRT가 조립된 전체모델 고유치는 8% 이내에서 일치함을 알 수 있다. 전체모델 고유치가 각 단품의 고유치보다 더 정확하게 계산된 이유는 CRT의 중량 효과가 각 단품의 국부모드의 영향보다 더 크기 때문이다.

전체 모델의 고유치는 PCB가 있는 경우와 없는 경우가 거의 동일하였다. PCB와 케비넷의 연결부는 충격시험을 통해서 검증하였다. 즉 케비넷에 레일식으로 PCB가 끼워지는 부분을 접착제로 붙인 경우와 붙이지 않은 원래의 상태일 경우에 PCB상에서 측정된 변형률이 거의 일치함을 확인하여 모델링 시 이곳의 변위를 같게 한 조건이 올바름을 확인하였다.

3.3 가속도와 변형률

해석결과와 시험결과를 비교하여 반사인파 충격 및 사다리꼴과 충격시 CRT의 가속도 및 케비넷, PCB에서의 변형률 분포를 그래프로 나타내면 그림 14~21과 같다. 각 그래

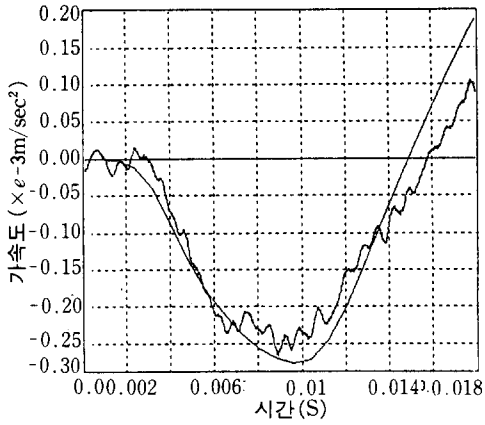


그림 14 반사인과 충격시 CRT 가속도 변화

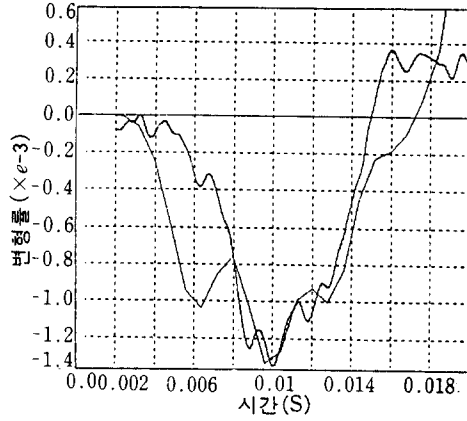


그림 17 반사인과 충격시 PCB 변형률

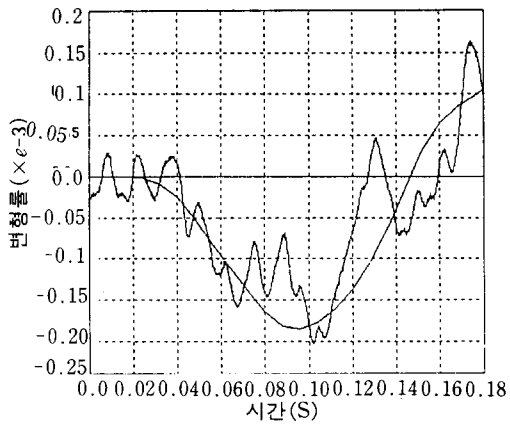


그림 15 반사인과충격시 캐비닛 상단의 변형률

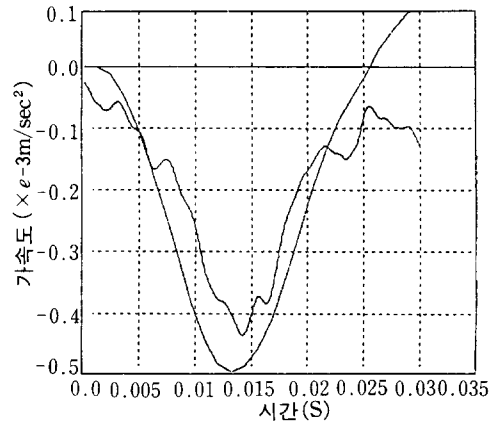


그림 18 사다리꼴과 충격시 CRT 가속도 변화

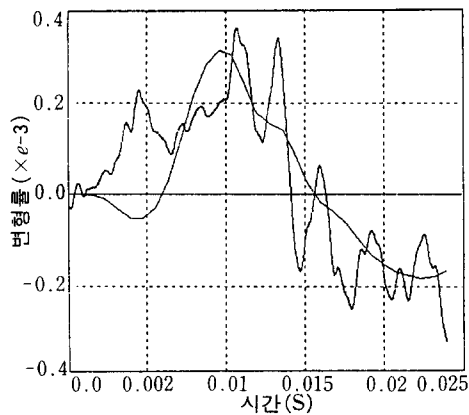


그림 16 반사인과충격시 캐비닛 우측의 변형률

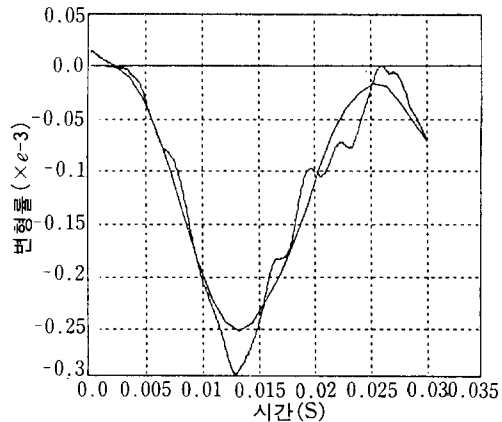


그림 19 사다리꼴과 충격시 캐비닛 상단의 변형률

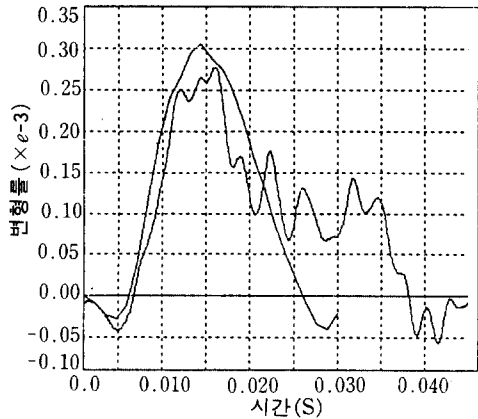


그림 20 사다리꼴과 충격시 캐비넷 우측의 변형률

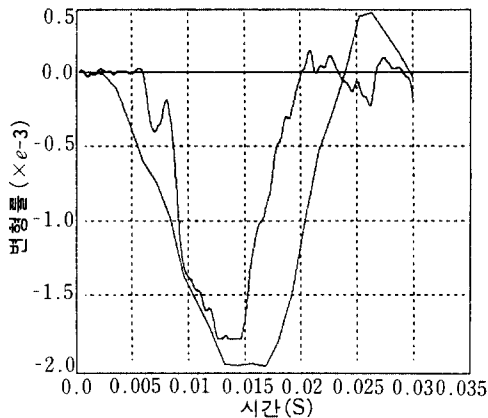


그림 21 사다리꼴과 충격시 PCB 변형률

프에서 굴곡이 심하게 나타나는 것이 시험결과이며 Smooth한 곡선이 해석결과를 나타낸다. 두 곡선을 정량적으로 직접 비교하기가 어려우므로 각 곡선의 첫번째 피크치와 충격지속시간을 구하여 표 10과 같이 나타내었다.

CRT 중앙의 가속도는 피크치와 주기가 5% 이내로 잘 일치했으며, 변형률의 피크치는 한 경우를 제외하고는 약 8% 이내에서 일치하였고 주기는 캐비넷에서는 13% 정도, PCB에서는 약 20% 이내로 일치하였다. 가속도가 변형률보다 오차율이 작고 측정된 파

표 9 충격시험 및 해석의 변형률 결과 비교

		반사인파 충격		사다리꼴과 충격	
		PEAK 치	dt(ms)	PEAK 치	dt(ms)
CRT 가속도 (mm/s ²)	해석	267	13.5	380	24.5
	시험	267	13.0	398	24.0
	오차	0.0	3.8	4.5	2.1
캐비넷 상단 변형률 (X10 ⁻³)	해석	180	11.0	230	22.0
	시험	194	9.7	272	24.0
	오차	7.2	13.4	15.4	8.3
캐비넷 우측 (X10 ⁻³)	해석	325	15.0	325	23.5
	시험	346	14.0	312	21.0
	오차	6.0	7.1	4.1	11.9
PCB 변형률 (X10 ⁻³)	해석	1320	12.0	1950	17.0
	시험	1270	15.0	1780	21.0
	오차	3.9	20.0	7.5	19.0

표 10 리브에서의 변형률

위치 요소	리브 1		리브 2	
	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
E 1	-70	-88	480	-600
E 2	-66	-86	100	-200
E 3	-52	-78	40	-140
E 4	-49	-50	-12	-104
E 5	-15	-29	80	-150

(단위 : * 10⁻⁶)

형이 비교적 매끄러운데 그것은 가속도는 측정시 무게가 무거운 CRT 중앙에서 측정된 값으로써 충격시 전체적인 거동을 나타내는 반면에, 변형률은 캐비넷 표면에서 측정된 값으로 캐비넷 국부모드가 포함되어서 파의 굴곡이 심하게 나타났기 때문이다. 피크치가 주기보다 오차율이 작은 것은 실험치의 경우 하중의 시작점을 찾기 힘들고 정확한 영점의 오프셋을 찾기 힘들었기 때문으로 생각된다.

3.4 충격 파손성

각 하중 충격시험시 TV셋의 파손 여부를 관찰하여 파손한계 곡선을 작성하였다. 한계 속도변화는 PCB 및 케비넷의 리브가 파손되기 직전의 값인 4.25 m/sec로 결정되었으며 임계가속도는 PCB 파손을 기준으로 하면 35G, 케비넷 파손을 기준으로 하면 25G로 각각 결정되었다. 이를 그림으로 나타내면 그림 22와 같다.

충격해석에 의한 케비넷 부의 파손판정 이전에 정적해석을 실시한다. 이 결과를 이용하여 제품의 취약부위를 알 수 있으므로 충격해석 및 파손판정시 효율적인 작업이 가능하다. 정적해석 결과 응력이 집중되는 부분은 CRT 고정용 보스를 지지하는 리브 부분으로 충격 해석시에 이 부위의 응력만을 추출하여 파손을 판정한다. 파손판정에는 von Mises 응력⁽³⁾을 이용한다. 그러나 일반적으로 플라스틱 재질에서는 인장강도와 굴곡강

도가 다르기 때문에 변형상태에 따라 적절한 강도를 기준으로 해야 한다. 관심 부위인 리브의 단면은 그림 23과 같다.

충격해석 결과 리브 1 및 리브 2의 중립선에서의 Y방향 변형률은 표 11과 같다. 위에서 알 수 있듯이 보스에 수직으로 연결된 리브 1에서는 Z₁과 Z₂면이 서로 비슷한 변형률을 나타내므로 압축을, 리브 2에서는 Z₁과 Z₂면이 매우 상이한 값을 나타내므로 압축과 굽힘을 동시에 받고 있음을 알 수 있다. 따라서 파손판정시 리브 1에서는 인장강도를,

표 11 구조변형 해석 결과

	변경 내용	한계 낙하높이	임계 가속도
기 준	t=1.8, 2.0	108 mm	26 G
CASE 1	t=2.5, 2.5	150 mm	30 G
CASE 2	t=3.0, 3.0	190 mm	35 G
CASE 3	t=1.8, 2.0	150 mm	30 G

* CASE 3는 가로리브 추가

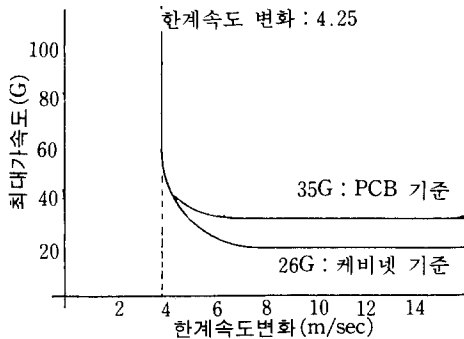


그림 22 파손한계 곡선

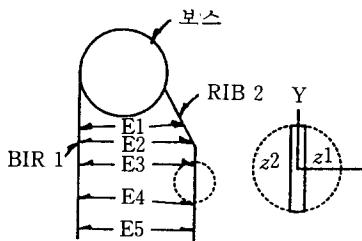


그림 23 리브단면

하중조건	해석결과	시험결과
1회 낙하높이 = 38		이상없음
2회 낙하높이 = 108		이상없음
3회 낙하높이 = 212		좌우측 RIB 휘어짐
4회 낙하높이 = 240		좌우측 RIB 파손

그림 24 반사인파 충격시 리브파손

하중조건	해석결과	시험결과
1회 22G		이상없음
2회 26G		이상없음
3회 30G		좌측 RIB 휘어짐
4회 35G		좌측 RIB파손 우측 RIB 휘어짐

그림 25 사다리꼴 충격시험 리브파손

리브 2에서는 인장강도와 굴곡강도의 평균값을 기준으로 파손여부를 결정하였다.

케비넷 재질의 인장강도는 31,360 mN/mm², 굴곡강도는 46,060 mN/mm²이다. 이런 기준에 따라 리브의 각 요소에서 파손이 일어나는 부분을 빗금으로 나타내면 그림 24, 25와 같다.

이 때 리브의 전 요소중 파손한계를 넘는 리브의 수가 50%를 초과하면 리브의 전체적인 파손이라고 결정한다. 위의 파손판정 결과 한계속도 변화는 4.25 m/sec, 임계 가속도는 26G이며 이는 충격시험 결과와 일치한다.

케비넷의 경우와 마찬가지로 정적해석을 실시한 결과 응력집중은 FBT 부근에서 일어난다. 따라서 충격에 의한 파손여부는 FBT 부근의 von Mises 응력을 검토하여 판정하며, PCB는 구조상 굽힘을 주로 받으므로 굴곡 강도를 기준으로 한다.^(7,8) 파손판정 결과 한계 속도 변화는 4.25 m/sec, 임계 가

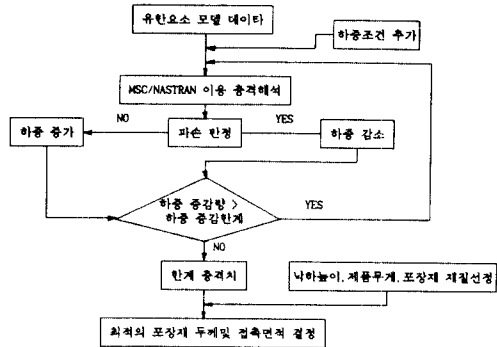


그림 26 포장재 자동 설계 프로그램

속도는 35G이며 이는 충격 시험 결과와 일치한다.

3.5 구조 변경

충격해석 결과 TV 제품에서 가장 취약한 부분은 CRT 고정용 보스를 지지하는 리브임을 알 수 있다. 제품설계시 이 부위의 구조를 보강하면 한계 충격치를 상당히 높일 수 있을 것으로 예상되어 구조를 변경하여 해석하였다. 구조변경은 리브의 두께를 바꾸는 두 가지의 경우와 가로방향의 리브를 추가하는 경우인데, 이에 대하여 반경내용 및 한계 충격치 변화를 표 11에 나타냈다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 취약부위의 구조를 조금만 변경하여도 상당한 임계 가속도의 상승효과를 얻을 수 있다. 이 결과를 제품설계에 적용하면 제품의 내충격성 및 포장설계의 효율성을 상당히 높일 수 있으며 다음절에서 설명할 포장재 자동설계 프로그램에 구현시켜 설계자가 구조변경을 쉽게 할 수 있게 한다.

3.6 포장재 자동설계법

제품의 유한요소 모델링 후 하중을 증가시키면서 충격해석 및 파손여부를 결정하여 한계 충격치를 구하고 그 결과를 이용하여 포장재의 두께 및 접촉 면적을 자동으로 결정할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 이 과정

을 간단히 나타내면 그림 26과 같다.

이 프로그램을 이용하여 제품 구조변경 및 포장재 설계를 할 경우, 설계기간 및 설계비용의 상당한 절감이 예상되며 최적의 포장재 설계가 가능하다. 또한 이 설계법은 전 제품으로의 확대적용이 가능하므로 향후 활발한 이용이 예상된다.

4. 맺음말

본 연구에서는 현재 시행착오적으로 이루어지고 있는 제품구조설계 및 포장설계 방법을 보다 합리적이고 효율적으로 개선해 보고자 하였다. 현재 설계 방법에서는 제품과 포장재 설계가 동시에 진행되며 EVT 단계에서 낙하시험을 하여 문제점 발생시 보완, 수정하는 방법에 의하고 있다. 따라서 설계수정 기간이 길어지며 금형수정에 소요되는 비용도 상당히 많을 뿐 아니라, 경험적으로 포장재 설계를 하므로 최적의 포장을 하기는 더욱 어려운 상황이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 해석에서는 TV에 대하여 충격시험에 대체하는 시뮬레이션 방법을 정형화하였고, 한계 충격치 산출 및 포장재 자동설계 방법을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) TV 20인치 세트에 대해 충격시험을 실시하고 충격해석을 통하여 같은 환경을 시뮬레이션하였을 때, 각 부위의 가속도와 변형률을 비교한 결과 잘 일치하였으며, 각 시험시 육안으로 파손 여부를 결정한 결과와 해석에서 얻은 응력값을 바탕으로 파손을 판정

한 결과가 서로 잘 일치함을 확인함으로써 해석에 의해 한계 충격치를 산출할 수 있음을 검증했다. 충격 시뮬레이션 기법을 TV의 타 기종 및 타 제품 개발시 확대 적용할 수 있다.

2) 제품구조 중 취약부의 형상 및 두께를 변경시켜 해석한 결과 허용 충격치의 상당한 상승효과를 얻었다. 그러므로 이 기법을 차기 제품 개발시 적용할 경우 합리적 구조 설계 및 포장 설계에 큰 효과가 있을 것이다.

3) 해석 데이터의 생성, 충격해석, 제품 파손여부 결정 및 포장재 두께 및 접촉 면적을 결정할 수 있는 프로그램을 개발하여 제품구조 및 포장설계를 쉽게 시뮬레이션할 수 있는 방법을 제시하였다.

참고문헌

- (1) 오상경, 김영진, 1990 "포장설계" (기계요소 과정 교재), 삼성 첨단기술연구소.
- (2) Harris, C. M., 1987, "Shock Vibration Handbook," McGraw Hill.
- (3) Macaulay, M. A., 1987, Introduction to Impact Engineering, CHAPMAN AND HALL.
- (4) MSC/NASTRAN Handbook for Dynamic Analysis, MSC, 1992.
- (5) MSC/NASTRAN Users Manual [I], [II], MSC, 1992.
- (6) 김천욱, 1983, "재료역학", 동명사.
- (7) Tsumura, H., 1988, "제품 수송강도의 해석 시뮬레이션," 포장기술.