

# 전자제품 포장의 신기술

## CAE의 적용

### 1. 머리말

디지털경제가 이루어지고 컴퓨터의 일반적인 보급으로 인하여 우리의 일상생활들은 더욱 첨단화에 가까워지고 있다. 제품의 포장기술에 있어서도 컴퓨터 시뮬레이션 기법이 응용되어 금형을 떠서 실험에 들어가는 비용 및 시간의 절약을 가져오고 있는데 바로 CAE(Computer Aided Engineering) 기법이다.

기업은 포장디자인을 함에 있어 EPS 사용규제로 제품의 구조적 데미지를 최대한 줄이는 방법을 모색하게 되었고 제품에 대한 적정 강도 및 기타 제반사항들을 체크해 가는 지속적인 실험 과정에서 탄생한 이 기법은 제품에 대한 모델링이 가능한 수치들을 이용하여 컴퓨터 화면상으로 제품에 대한 여러가지 성능테스트가 가능하게 되었다. 다음에서 CAE를 적용한 컴퓨터모니터에 대한 패키지디자인이 어떻게 이루어지는지 살펴보기로 한다.

### 2. 적용사례

#### <사 례> L사의 컴퓨터 모니터

본 연구에서는 PC용 15" 모니터를 대상으로

포장상태의 제품에 대한 낙하충격시험을 실시하여 파손을 일으키는 낙하조건과 파손위치 등을 찾아내고 시험에서와 같은 조건으로 완충재를 포함한 제품의 낙하충격 Simulation을 수행하였다.

또한 다구찌기법을 이용하여 완충재 설계변수들에 대한 민감도해석을 실시하여 완충재의 형상을 최적화를 구현했다.

#### 2-1. 현상분석

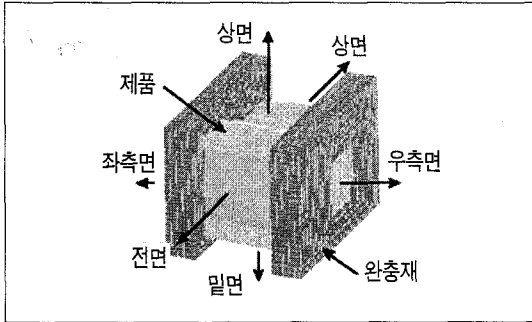
##### 2-1-1. 개요

완충재를 포함한 제품의 자유낙하시험 및 등가낙하시험을 통해 완충재의 안전성 평가 및 낙하충격시 제품의 거동을 고찰하고 낙하충격 해석결과의 신뢰성을 평가하기 위하여 제품에 파손이 발생하는 낙하높이와 낙하조건, 파손위치를 검토하였다.

##### 2-1-2. 규격낙하시험

기존 제품에 대해서 낙하충격시 완충재 및 제품의 파손양상을 분석하기 위해 자유낙하시험과 등가낙하시험을 실시하였다. 방향의 정의는 (그림 1)과 같으며, 자유낙하시험은 1각→3모→밀면→상면→우측면→좌측면→전면→후면의 순서

(그림 1) 낙하방향의 정의



(표 1) 규격낙하시험결과

항목/시료	시험 방법	기판파손	영상불량
#1	자유낙하시험-낙하높이=76cm	없음	없음
#2	자유낙하시험-낙하높이=76cm	없음	없음
#3	자유낙하시험-낙하높이=76cm	없음	없음
#4	등가낙하시험-등가높이=76cm	없음	없음

로 시험하고 등가낙하시험은 면낙하만 시행하였다. 시험결과 정상적인 조건하에서 불량현상은 나타나지 않았다.

### 2-1-3. 파손한계시험

불량이 발생하는 조건을 찾기 위해 기준 낙하 높이에서부터 그 높이를 증가시켜가면서 자유낙하시험을 수행하였다. 완충재는 낙하높이를 바꾸어 줄 때마다 새것으로 실험하였으며, 제품에 파손이 발생하는 낙하조건을 찾기 위해 매 시험

(표 2) 파손한계시험결과

항목	시료	시험 방법 - 높이(cm)	기판 파손	영상 불량
#1	1차	자유낙하 - 낙하높이=90cm	없음	없음
		자유낙하 - 낙하높이=90cm	없음	없음
		자유낙하 - 낙하높이=110cm	없음	없음
		자유낙하 - 낙하높이=110cm	우측면낙하시 FET부 파손	불량발생
#2	1차	등가낙하 - 등가높이=110cm	우측면낙하시 Heatsink, FET부 파손	불량발생
		등가낙하 - 등가높이=110cm	없음	불량발생
#3	1차	등가낙하 - 등가높이=110cm	없음	불량발생
#4	1차	등가낙하 - 등가높이=110cm	우측면낙하시 FET부 파손	불량발생

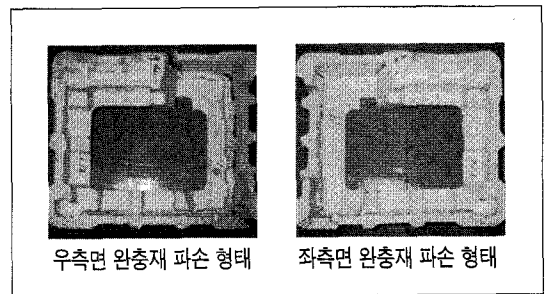
마다 불량 여부를 검토하였다.

### 2-1-4. 파손양상

본 제품의 경우, 등가낙하시험에서 등가높이가 110cm일 때 불량으로 판정되는 파손이 기관의 FBT(고압발생장치)부근과 브라운관에서 발생하는 것으로 나타났다.

이러한 파손은 우측면 낙하시 주로 나타났다. 완충재의 파손 역시 우측면 낙하시 파손의 정도가 심하게 나타났다.

(그림 2) 완충재의 파손



## 2-2. 재료특성시험

### 2-2-1. 완충재(EPS)

포장용 완충재인 EPS의 설계정보를 확보하기 위하여 실제 사용되고 있는 모니터 완충재에서 시편을 채취하여 동적압축시험을 시행하였다. 이 시험에서는 시험편의 압축방향 변위가 70% 정도 (시험편 두께 40mm)가 되도록 중추의 질량

과 낙하높이를 조절하였다.

(1) 시험장비 : YOSHIDA SEIKI CST-320SB

(2) 시험편 : 재료밀도 :  $1.8 \times 10^{-8} \text{[kg/mm}^3\text{]}$

시험크기 :  $100 \times 100 \times 40 \text{[mm]}$

시험결과 초기의 5% 정도의 변형률까지는 선형, 탄성적 변형을 하며 항복 후 약 50%의 변형률까지 큰 하중의 증가없이 압축된다. 50%이후의 변형률부터는 저항응력의 크기가 급격히 증가하여 70% 변형률에서는 약 0.44MPa의 Stress가 측정되었다.

### 2-2-2. PCB(폐놀복합재)

PCB의 재료특성곡선을 얻기 위해 Solder 방향을 중심으로 0°, 45°, 90° 방향의 시험편을 가공하여 인장시험 및 3점굽힘시험을 하였다. 각 방향에 대해 2개의 시험편을 시험하였으며, 재료의 두께는 1.6mm이다.

시험결과 재료의 이방성은 뚜렷하지 않았으며, 인장시험에서의 파단강도는 약 110MPa, 인장탄성계수는 9,890MPa, 그리고 굽힘시험시 파단강도는 약 168MPa, 굽힘탄성계수는 13,590MPa로 측정되었다.

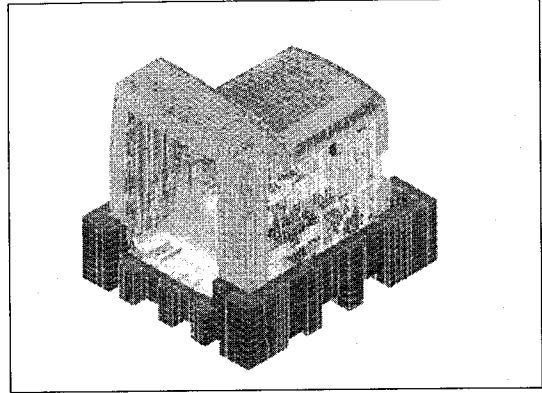
제품의 낙하충격시험에서 PCB는 중량부품에 의해 굽힘변형이 지배적으로 나타나므로 굽힘시험에서의 재료특성을 해석정보로 활용하였다.

## 2-3. 낙하충격해석

### 2-3-1. 모델링

기판과 기판에 부착된 부품을 중심으로 3g 이상되는 부품들을 실제의 형상대로 모델링하였고, Plastic Case는 Shell Element를 사용하여 모델링하였다. 브라운관은 강체로 모델링하고 4곳이 Plastic Case에 체결되도록 하였다.

(그림 3) 제품과 완충재의 유한요소 모델



그리고 완충재인 EPS는 8 Nodes를 갖는 Brick Element로 모델링하고 Reduced integration을 사용하였으며, 실제 완충재와 제품이 접촉하는 곳에 Contact을 정의하여 낙하시의 충격력이 제품에 전달되도록 하였다.

해석조건은 제품의 실제 낙하높이(h)를 바닥면에 부딪히는 순간의 속도 ( $g$ =중력가속도)로 환산하여 전체 Nodes의 초기속도로 부여하고 바닥면을 Rigid wall로 정의하여 부딪히기 직전부터 해석하였다.

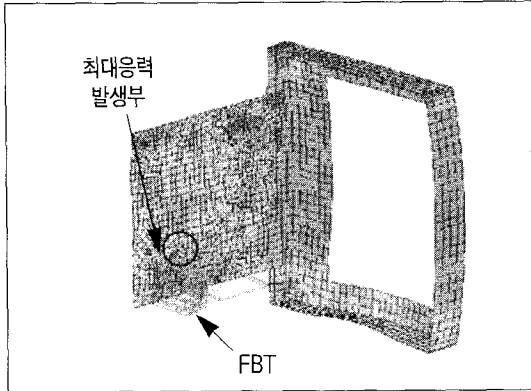
해석은 충격해석 전용 S/W인 PAM-CRASH를 이용하였다.

### 2-3-2. 해석모델의 신뢰성 검토

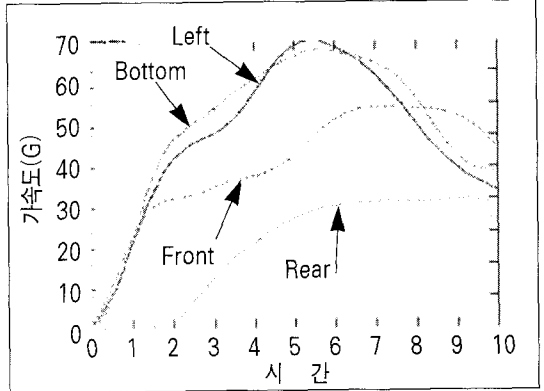
낙하충격시험에서 제품에 가장 취약한 낙하면으로 나타난 측면 낙하에 대해서 실험결과와 비교하였다.

결과는 좌, 우측면 낙하시 전체 모델의 충격거동을 나타내는 G값의 최대치와 측면 낙하시 기판에서의 파손위치가 일치하는가의 여부를 비교하였고, G값의 비교위치는 브라운관의 중앙점으로 하였다.

(그림 4) PCB에서의 응력분포



(그림 5) CDT 중앙점에서의 방향별 가속도 Plot



(표 3) 브라운관의 중앙점에서의 G값 비교

가속도 / 낙하방향	최대가속도(G)	실험해석
좌측면	64.0	70
우측면	67.2	70

해석결과 G값의 경우 실험결과와 10%이 내의 오차를 가지고 잘 일치하고 있으며(표 3), 측면 낙하시의 G값이 가장 큰 것으로 나타나 실험에서와 같이 측면 낙하가 제품의 파손에 가장 취약한 것으로 해석 되었다(그림 5).

또한 PCB에서의 응력은 FBT(고압발생장치)

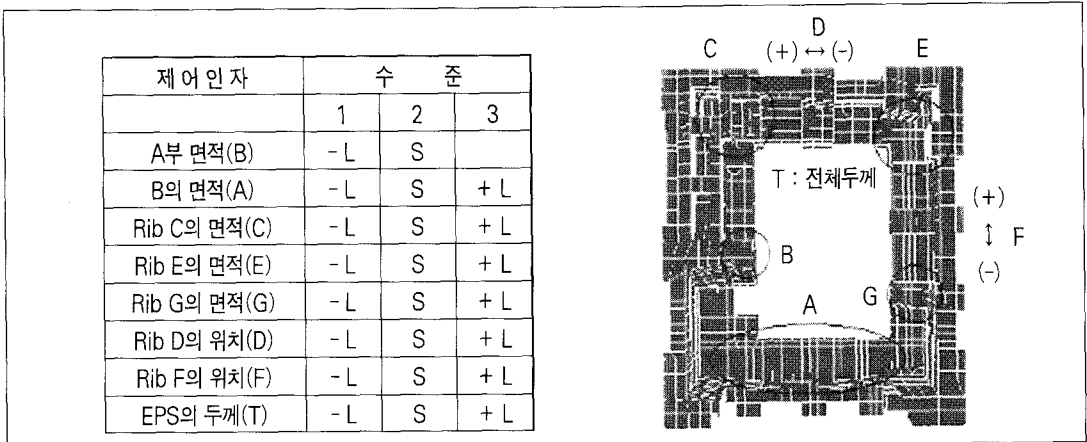
부근이 가장 크게 나타나 파손위치가 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다(그림 4)

### 2-3-3. 완충재 형상 최적화

#### 2-3-3-1. 개요

완충재 형상 최적화를 위해 다구찌기법을 이용하였다. 이 방법을 적용하기 위해 기존에 사용되고 있는 완충재 형상에서 변경 가능한 형상변수를 도출해 내고(그림 5) 이 변수들의 적절한 조합을 위한 직교배열표를 선정하게 된다.

(그림 6) PCB에서의 응력분포





또한 해석결과를 평가하기 위해서 평가특성을 선정하여야 하는데, 낙하충격시험에서 불량으로 판정되는 파손이 가장 먼저 발생하는 PCB에서의 최대응력을 망소특성(적을수록 좋은 특성)으로 하여 완충재 형상에 따른 완충성능을 평가하였다.

### 2-3-3-2. 해석결과 분석

PCB에서의 최대응력을 평가특성으로 결과를 분석한 결과 각각의 완충재 형상변경 인자가 PCB에 미치는 영향을 판단할 수 있었다.

[그림 6]에서 나타난 바와 같이 완충재의 두께에 의한 영향이 현저히 나타났으며, Rib E의 면적은 클수록, Rib F의 위치는 뒷쪽으로 이동될수록 최대응력값이 적게 나타났다. 따라서 중간부보다는 뒷부분의 면적(E)을 늘리는 것이 유리한 구조로 나타났다.

### 2-3-3-3. 최종 완충재 형상 도출 및 검증

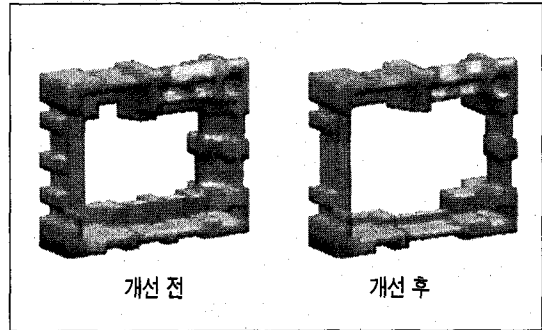
다구찌기법을 적용하여 민감도 해석을 수행한 결과로부터 평가특성인 PCB에서의 최대응력값에 영향을 미치는 인자에 대해서는 설계에서 허용하는 정도의 최대값 또는 최소값을 반영하여 전체완충재 두께는 기존대로 하되 Rib E 부분을 보강하고 PCB의 최대응력값에 미치는 영향이 적은 인자의 경우는 없애는 방향으로 완충재를 설계하여 재료절감과 완충효율을 높이는 개선안을 도출할 수 있었다.

그 결과 완충재는 기존 대비 20% 감량하고도 완충효과는 18% 향상시킬 수 있었다. 또한 양산제품의 적용성 평가를 위해 개선된 형상대로 완충재를 만들어 시험한 결과 측면 낙하에서 브라운관 중앙점에서의 최대가속도가 약 13G 정

[표 4] 개선 완충재 형상에 대한 실험 결과

항목 / 시료	최대가속도(G)-직측면낙하시	파손여부
기존시료	64	파손없음
개선시료 #1	51.5	파손없음
개선시료 #2	52.0	파손없음

[그림 7] 개선 전과 후의 완충재 형상



도 감소하는 것으로 나타나 완충효율이 개선됨을 알 수 있었다.

## 2-4. 연구결과

본 연구에서는 이전까지는 실험과 경험에 의존했던 완충재 설계를 낙하충격 시뮬레이션 기법을 활용하여 제품과 완충재를 동시에 평가할 수 있는 해석모델을 만들었다.

기존의 설계방법에 의한 완충재 설계에서는 단순시편의 완충재 시험에 의한 완충재 특성곡선에 의해 제품과의 접촉면적과 두께 정보만을 가지고 설계자의 경험에 의존해 왔는데, 비선형 물성을 갖는 완충재와 제품간의 접촉을 비교적 쉽게 처리할 수 있는 상용 S/W를 이용하여 완충재의 낙하충격 거동과 충격력의 전달 과정을 잘 구현할 수 있었다.

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) EPS 완충재를 포함한 제품의 낙하충격 시험을 통해 파손이 일어나는 낙하높이와 파손에 취약한 낙하조건, 그리고 실제 파손이 일어나는 위치를 파악하였다.

(2) 실험에서 나타나는 낙하충격시의 거동을 잘 구현하는 유한요소 모델을 만들었다. 이 해석 모델은 낙하방향에 있어서의 취약조건 및 파손이 발생하는 위치 등의 정성적 경향을 잘 예측하였으며, PCB에서의 최대응력값의 경우 정량적으로도 근사한 결과를 나타내었다.

(3) 낙하충격해석 및 설계정보를 얻기 위해 완충재의 동적압축시험을 통해 완충재의 동적 거동특성을 구하고 PCB의 재료특성을 구하기 위해 인장 및 굽힘시험을 수행하였다.

(4) 완충재 형상의 최적화를 위해 다구찌기법을 시뮬레이션에 활용하여 완충재로 사용되는 EPS를 기존 대비 20% 저감하였고, 기판에서의 최대응력 값은 기존의 수준을 유지할 수 있었다. 이러한 해석결과로 나온 완충재 형상을 제작하여 검증 시험한 결과, 제품에서 측정되는 G값의 최대값은 측면 낙하에서 18%정도 낮아졌다.

(5) 제품과 완충재를 동시에 고려한 해석으로 설계 초기단계에서의 제품의 강성설계가 가능해지고 설계의 완성도를 높일 수 있는 수단으로서의 유용성을 확보하였다.

### 3. 맺음말

고객의 신뢰를 받는 제품은 품질이 우수해야 할 뿐만 아니라 고객이 사용시 예기치 않은 문제로부터도 일정한 수준의 품질을 유지해야 한다.

그러한 문제로 낙하, 충격은 유통 중이나 취급 부주의에 의해 자주 발생하는 것으로 일반 가전

제품에서 발생하는 충격량 50~60G는 자중의 50~60배의 하중이 제품에 가해지는 효과와 동일한 것으로 제품의 파손과 같은 치명적인 품질 저하를 야기한다. 이와 같이 환경요인으로부터 제품을 보호하기 위해 제품에 포장을 하게 되는데, 포장설계는 제품 자체의 내충격 강도설계와 더불어 설계의 중요한 한 부분이다.

일반적으로 채택하고 있는 포장설계방법은 제품의 특성이나 유통 및 사용환경에 따라 차이가 있지만, 대체로 실험과 경험에 크게 의존하기 때문에 실험을 할 수 있을 정도로 제품개발이 거의 완료된 시점에서나 적용이 가능하게 된다.

또한 최종 양산의 단계까지 반복되는 내충격 강도시험과 금형수정의 불가피성으로 개발기간의 지연, 제품품질의 불안정을 야기하게 된다.

따라서 각 기업에서는 제품의 내충격 강도설계 기술의 확보와 설계단계에서 제품의 기계적 강도를 사전에 평가하고 포장설계와의 유기적 관계를 갖는 개발 Process의 혁신을 위한 노력을 기울이고 있다.

최근 컴퓨터의 급속한 성능향상과 해석기술의 발달에 따라 시뮬레이션의 설계 적용 범위가 넓어졌으며, 이러한 시뮬레이션 기법을 설계에 적용함으로써 납기단축 및 재료절감 등의 효과를 얻고 있다.

그렇지만 이 CAE도 현재는 완벽하다고 볼 수 없는 실정이다. 따라서 시뮬레이션을 이용한 제품 실험이 모든 부분에 있어서 다 적용되지 못하고 있다. 예전에 비해 많은 부분에 활용이 되고 있긴 하지만 앞으로 기업에서 충분하고 검토하여 발전시킬 만한 분야임에는 틀림없어 보인다. ☐

이선경 기자