

낙하/충격해석을 통한 전자렌지의 내충격설계 Design for Improving Impact Resistance of Microwave Oven Using Drop/Impact Analysis

김진곤 · 김정윤 · 김홍수

J. G. Kim, J. Y. Kim and H. S. Kim

(접수일 : 2009년 4월 9일, 수정일 : 2009년 6월 18일, 채택확정 : 2009년 6월 24일)

Key Words : Microwave Oven(전자렌지), Drop/Impact Analysis(낙하충격해석), Finite Element Model(유한요소모델), LS-DYNA3D

Abstract : The importance of cost reduction has grown bigger to ensure the competitive power of products in the electric home appliances industry. Thus, it is necessary to assess the reliability due to drop-impact happening in process of distribution of microwave ovens with the panel and cavity of thinner thickness for cost reduction. In the present study, the drop/impact simulation using the explicit code LS-DYNA3D has been carried out for improving the impact resistance of a microwave oven. This CAE-based design approach can be successfully applied to enhance the deteriorated dynamic behavior under the impact conditions of dropping height 70cm according to ISTA procedure 2A.

1. 서 론

갈수록 심화되는 전자제품 시장에서 제품의 경쟁력 확보를 위해서 원가절감에 대한 관련업체의 관심과 중요성이 매우 커지고 있다. 이와 더불어, 생활수준 향상 및 기술의 발전으로 전자제품의 품질에 대한 소비자의 요구 수준은 점차 높아지고 있으며, 외부 충격으로부터 제품을 보호하기 위하여 낙하, 진동에 관한 환경시험 조건들이 보다 엄격하게 강화되고 있다. 하지만 제품의 원가절감과 제품의 품질향상은 일반적으로 서로 상치되기 때문에 제품개발 시 품질평가에서 만족할만한 결과를 얻기 위해서 설계단계에서 많은 노력을 기울이고 있다.

냉장고, TV, 전자렌지 등과 같은 대형 전자제품은 공장에서 생산되어 소비자에게 전달되는 운송과정 동안 낙하나 외부 충격 등에 의해서 제품에 손상이 발생할 수 있다. 따라서 제조사들은 충격에너지를 잘 흡수할 수 있도록 완충재를 설계하여 제품을 충격으로부터 보호하지만, 이와 더불어 초기 설계단

계부터 충격에 강한 구조로 제품을 개발하기 위한 연구에 힘쓰고 있다. 이러한 전자제품의 내충격 설계를 위해서 실제 제품을 이용한 낙하충격시험은 많은 시간과 비용이 요구되며 충격에 의한 동적거동을 명확하게 파악하기도 어려운 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 노트북, TV, LCD 모니터, 오디오, 전자렌지, 핸드폰 등의 전자제품의 낙하충격에 따른 동적거동 및 포장설계에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁵⁾.

본 연구에서는 원가절감을 위해 기존 전자렌지의 외판의 소재두께를 줄이면서 발생하는 제품의 강성 및 강도저하 문제를 개선할 수 있는 설계안을 도출하기 위하여 LS-DYNA3D⁶⁾를 이용하여 낙하충격해석을 수행하였다. 낙하충격해석은 ISTA(International Safe Transit Association) Procedure 2A⁷⁾ 규격에 따라 70cm 낙하높이에서 여섯 방향(1각 2면 3모서리)의 충격에 대한 제품의 거동을 살펴봄으로써 충격에 대한 해석모델의 취약부위를 확인할 수 있었다. 또한 전자렌지의 밀판 형상과 HVT 고정판의 크기가 전자렌지의 내충격성에 미치는 영향을 살펴 보았다. 이로부터 충격에너지를 최대한 흡수하여 제품의 손상 및 변형을 방지하여 내충격성을 향상시킬 수 있는 전자렌지의 설계개선안을 도출할 수 있

김진곤(책임저자) : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
E-mail : kimjg1@cu.ac.kr, Tel : 053-850-2711
김정윤, 김홍수 : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

었다.

2. 유한요소모델링 및 해석조건

본 연구의 대상은 Fig. 1에 보여진 전자레인지로서, Fig. 2는 골판지로 만들어진 포장상자 내에 들어가는 EPS(expanded polystyrene) 포장재를 포함한 주요 부품들의 형상 및 명칭을 나타내고 있다. 전자레인지 전체와 포장재(EPS 40% 발포), 골판지 상자에 대해서 총 30,454개의 셀요소와 61,886개의 솔리드요소를 이용하여 유한요소모델링을 수행하였다. 각종 강판재 부품은 탄소성 박판 셀요소, 강성이 매우 높은 HVT(고압 트랜스포머)와 MGT(자전관)는 강체 솔리드 요소, EPS는 Fig. 3과 같은 비선형 폼(foam) 솔리드요소, 플라스틱 사출물은 선형 탄성 박판 셀요소를 사용하였다. 해석에 사용된 주요 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

낙하충격 해석에는 대변형과 재료의 비선형성을 쉽게 처리할 수 있어 충격해석에 널리 사용되고 있는 비선형 과도 동적해석 소프트웨어인 LS-DYNA3D를 사용하였다. 포장재와 접촉이 되는 부품들은 조립에 필요한 볼트에 의한 결합부와 용접 부위는 두 절점의 자유도를 연계시켜 모델링하였다. 지면은 강체벽(rigid wall)으로 정의하고 모든 자유도를 구속하였으며, ISTA 규격에 따라 낙하높이 70cm에서 낙하 충격 시 가장 문제가 되는 HVT가 위치한 곳을 중심으로 Fig. 4와 같이 1각 2면 3모서리 방향에서 낙하충격해석을 수행하였다. 계산시간을 절약하기 위해서 해당 높이 h 에서 자유낙하하여 지면에 부딪히기 직전의 속도 $v_0 = \sqrt{2gh}$ 를 초기속도로 제품에 부여하였다.

접촉 타입에 따른 해석결과와의 차이는 관심영역이 충격 후 몇 번 되튐 후가 아니면 결과에 큰 영향이 없으며, 외연적(explicit) 방법에서는 접촉 처리에 소요되는 계산시간이 전체 계산시간에서 차지하는 비중이 낮으므로 각 부품들간의 접촉조건은 자동 면대면 접촉(automatic surface to surface contact)을 사용하여 자동적으로 처리되도록 하였다. 해석 시 시간 간격(time step)의 크기는 가장 작은 요소에 대해 Courant-Freidrichs-Levy 조건³⁸⁾에 의해 설정된다. 제품의 상세 모델링을 위해 불가피하게 사용되어지는 매우 작은 요소는 해석시간을 증가시켜, 제품의 내충격 설계를 위한 반복적 해석작업을 어렵게 만든다. 본 연구에서는, LS-DYNA3D에서 제

공하는 식 (1)의 질량보정(mass scaling) 방법을 이용하여 시간 간격을 0.1228 msec에서 0.25 msec로 조정하였지만 이로 인한 질량의 증가는 0.0011%로 거의 무시할 수 있는 수준이었다.

$$\left(\frac{\Delta t_{specified}}{l_i}\right)^2 = \frac{(1-\nu^2)\rho_i}{E}$$

$$\rho_i = \frac{(\Delta t_{specified})^2 E}{l_i^2 (1-\nu^2)} \quad \text{for element } i \quad (1)$$

위 식에서, ρ_i 는 요소의 질량밀도, E는 탄성계수, ν 는 프와송비를 나타내며 l_i 는 요소의 특성길이(characteristic length)를 나타낸다.

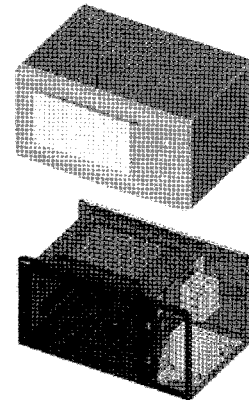


Fig. 1 Finite element model of microwave oven

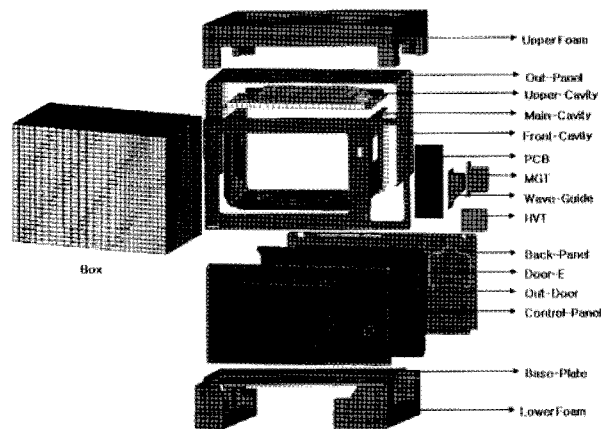


Fig. 2 Exploded view of finite element model

Table 1 Material properties

	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield stress (MPa)
steel plate	210	0.28	260
plastic	36.7	0.38	-
paper box	0.097	0.29	-

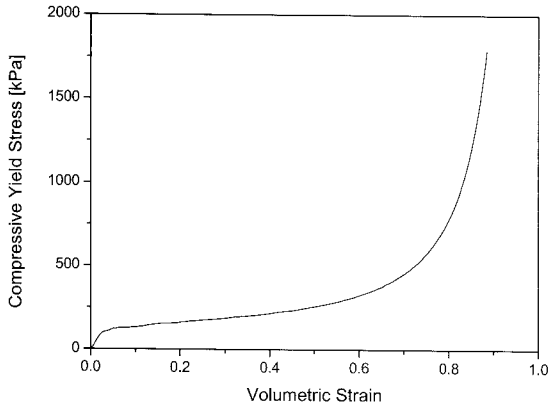


Fig. 3 Stress and strain curve of EPS(40% expanded)

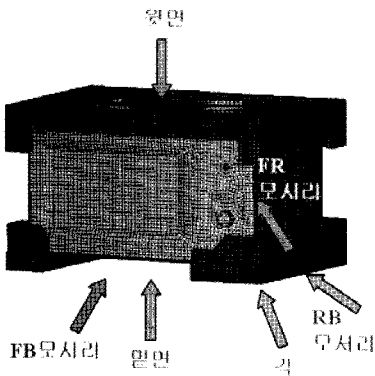


Fig. 4 Direction of drop tests

3. 기존모델 해석 결과

Fig. 4의 6방향에 대한 낙하충격해석결과로부터 각 파타들의 시간에 대한 변형과 응력값을 알 수가 있다. 변형에 의한 벌어짐 현상은 비교하고자 하는 위치에서 두 부품간의 상대적인 최대 변위 차이로 비교하였으며, 찢어짐/찍힘과 같은 파손현상은 비교 위치에서의 최대응력값을 비교하였다. 비교 위치들은 Fig. 5와 같이 실제 제품의 낙하충격실험 시 발생한 취약부위들로 선정하였다.

Fig. 5는 밑면 방향의 낙하충격 시 충돌 후 15msec가 경과한 후 발생하는 응력분포를 보여주고 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 6방향의 낙하충격 시 주요 위치에서의 부품간 상대적인 최대 변위차와 최대응력값을 보여주고 있다. 완전 포장상태의 낙하충격 시 선, 각 방향의 낙하보다는 면 낙하에서 가장 큰 충격을 받음을 알 수 있다. 특히, 밑면 낙하시 위치 5에서 하판(base-plate)와 외판(out-panel) 사이의 벌어짐 현상이 상대적으로 매우 크게 발생하였으며, 위치 8에서는 면 낙하시 상대적으로 매우

큰 수준의 응력집중현상이 발생하였다. 이러한 이유는 면 낙하 경우에 제품의 충격을 포장재가 제대로 흡수하지 못하기 때문이다. 반면에 선, 각 낙하에서는 면 낙하 때보다도 포장재의 두께가 상대적으로 크기 때문에 포장재의 변형에 의해 더 큰 충격을 흡수하고 있음을 알 수 있다.

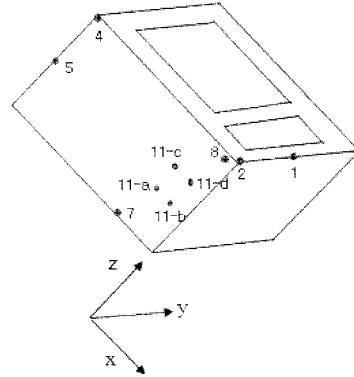


Fig. 5 Weak points in real drop tests

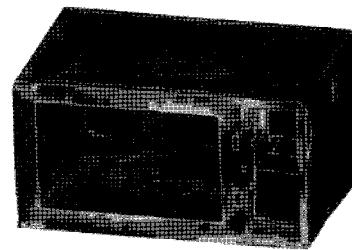


Fig. 6 Stress distribution in drop-impact of normal direction to base-plate (t=15msec)

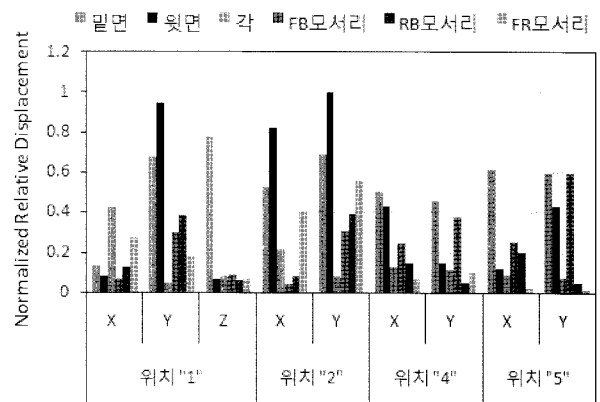


Fig. 7 Comparison of maximum relative displacement between parts in six drop directions

4. 설계개선안 낙하충격해석

6방향에 대한 기존모델의 낙하충격해석결과를 바탕으로 하여, 두 가지 형상 변경모델의 거동을 살펴

보았다. 전 절의 결과로부터 가장 큰 충격을 주는 윗면방향에 대해 낙하충격해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

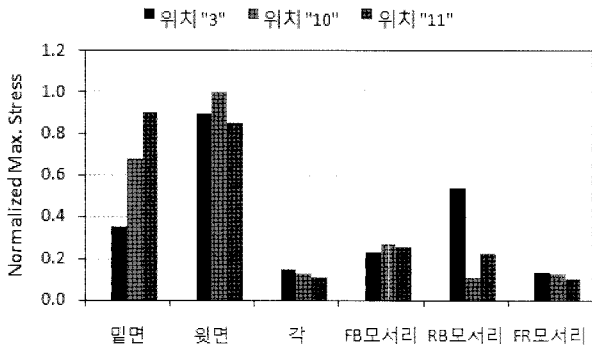


Fig. 8 Comparison of maximum stress between parts in six drop directions

4.1 전자렌지 밀판 형상 변경

전자렌지 밀판(base plate)은 낙하충격 시 HVT 무게로 인해 가장 크게 충격에 의한 영향을 받는 부품이다. 본 연구에서는 HVT와 직접적으로 연결되는 전자렌지 밀판의 형상을 Fig. 9와 같이 변경하여 개선된 결과를 얻고자 하였다. Fig. 9와 Fig. 10의 비교결과로부터 변경된 3가지 형상 모두 부품간의 벌어짐과 최대응력값의 수준이 개선되는 효과를 보임을 알 수 있다. 모든 경우 비교위치 1과 2에서 부품간의 벌상대변위가 크게 감소하였으며, HVT 부근의 국부적인 최대응력값도 7-20% 가까이 감소됨을 알 수 있다. 특히, 전자렌지 밀판의 3가지 변경안 중 "ㄷ" 형상의 경우 변형과 응력값 모두에서 개선된 결과를 보여주었다.

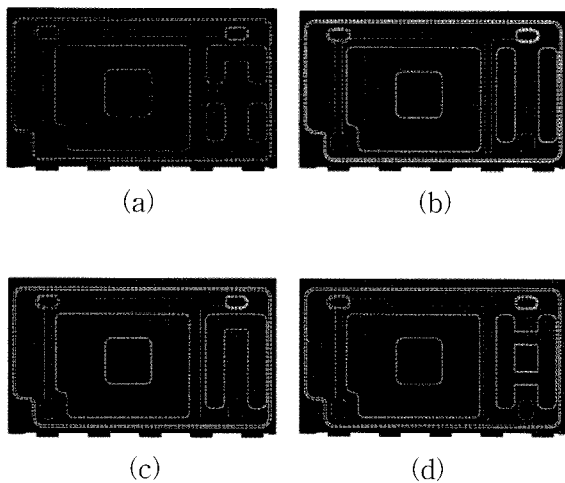


Fig. 9 Various shapes of base-plate: (a) original shape, (b) "11" shape, (c) "ㄷ" shape, (d) "ㄹ" shape

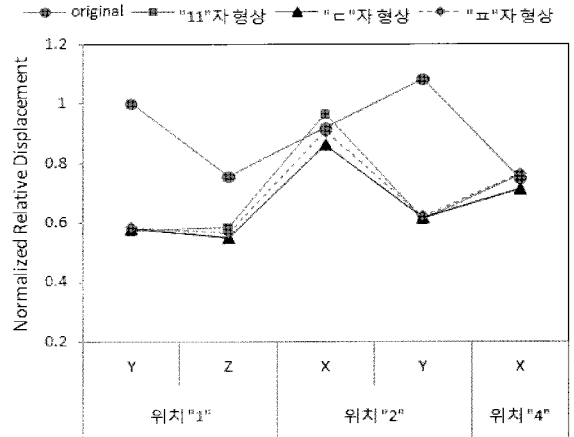


Fig. 10 Comparison of maximum relative displacement between parts in drop direction normal to out panel

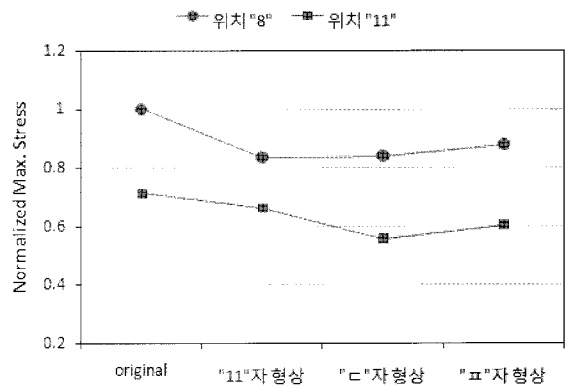


Fig. 11 Comparison of maximum stress between parts in drop direction normal to out panel

4.2 HVT 고정판 크기 변경

다음으로 전자렌지 밀판에 작용하는 HVT의 무게를 분산시키기 위해서 HVT를 밀판에 고정시키는 고정판의 크기를 Fig. 11과 변화시킨 후 밀면방향에 대해 낙하충격해석을 수행하였다. Fig. 12와 Fig. 13의 해석결과로부터 HVT 고정판의 크기를 변화시켜 무게를 분산시키는 경우 1, 2 위치에서의 외판(out panel)의 y방향 벌어짐 현상을 크게 개선시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 HVT 부근의 국부적으로 발생하는 최대응력값도 20% 이상 감소시켰다. 이러한 결과로부터 HVT 고정판의 크기가 전자렌지의 내충격설계에 중요한 설계변수임을 확인할 수 있었다.

4.3 전자렌지 밀판 및 HVT 고정판 크기 변경

마지막으로 전자렌지 밀판의 형상 중 가장 개선 효과가 좋았던 "ㄷ" 형상과 HVT 고정판의 크기 변경을 동시에 적용한 경우를 살펴보았다. Fig. 14와

Fig. 15의 해석결과로부터 주요 위치에서 부품간의 벌어짐 현상과 최대응력 수준을 크게 낮출 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 위치 3에서는 최대응력값을 60% 이상 감소시켰다. 이로부터, 전자렌지 밀판의 형상변경과 HVT 고정판의 크기변화를 통한 하중분산효과가 충격 시 전자렌지에 미치는 긍정적인 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

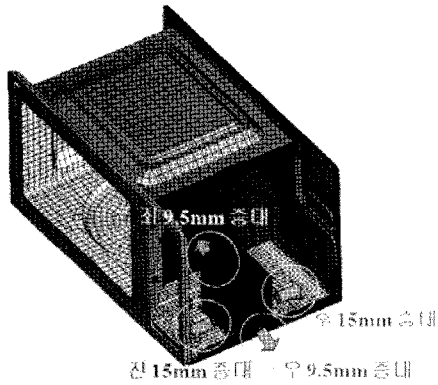


Fig. 12 Alteration of HVT fixed plate

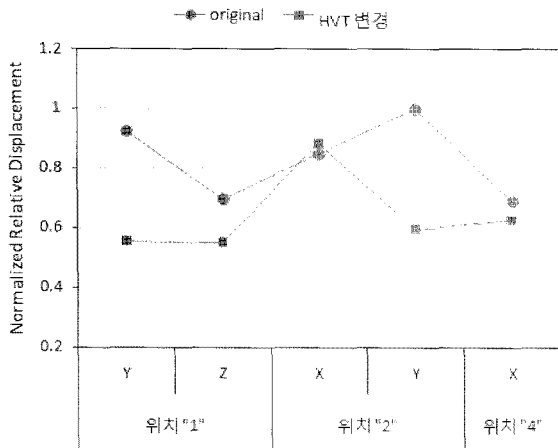


Fig. 13 Comparison of maximum relative displacement between parts in drop direction normal to out panel

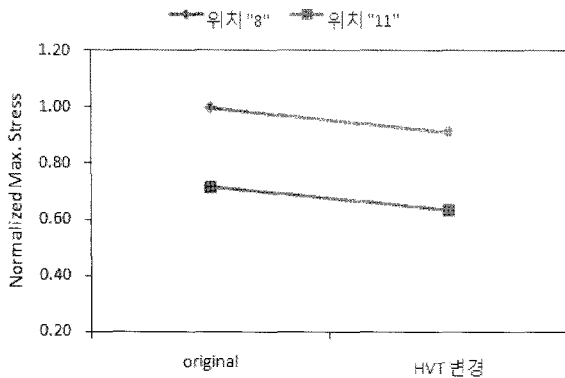


Fig. 14 Comparison of maximum stress between parts in drop direction normal to out panel

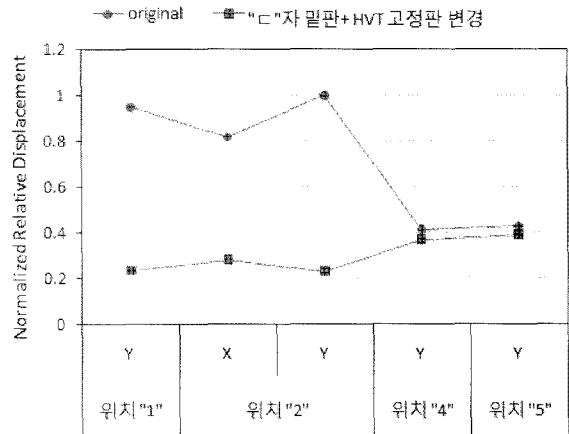


Fig. 15 Comparison of maximum relative displacement between parts in drop direction normal to out panel

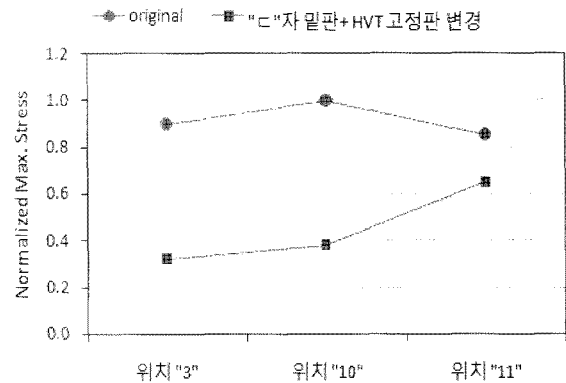


Fig. 16 Comparison of maximum stress between parts in drop direction normal to out panel

4. 결 론

본 연구에서는 전자렌지의 원가절감을 위해 외판의 소재두께를 줄이면서 발생하는 낙하충격시 제품의 강성 및 강도저하 문제를 개선할 수 있는 설계안을 도출하고자 하였다. 이를 위해 충격해석에 가장 널리 사용되고 있는 비선형 동적해석 프로그램인 LS-DYNA3D를 이용하여 다양한 경우에 대한 낙하충격해석을 수행하였다. 해석결과 기존모델의 경우 낙하의 경우 제품의 충격을 포장재가 제대로 흡수하지 못하여 다른 충격방향에 비해 상대적으로 큰 충격을 받는 것으로 나타났다. 이를 개선하기 위하여 전자렌지 밀판의 비드형상을 "C" 모양으로 변경하고, HVT 고정판의 크기를 변경하여 하중을 분산시킬 경우 제품의 충격을 크게 완화시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김진곤, 이준영, 이신영, 2001, "휴대용 단말기의 낙하충격해석 및 실험적 검증", 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제4호, pp. 695~702.
2. 금대현 외 4인, 2004, "낙하충격해석을 통한 대형 전자제품의 완충포장재 최적설계", 한국소음진동 공학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 128~135.
3. 김상범 외 5인, 2005, "CD-RW Drive의 낙하충격 손상평가", 대한기계학회 논문집 A권, 제29권, 제1호, pp. 81~87.
4. 김선우 외 5인, 2006, "전자제품의 낙하충격 평가 시스템 구축에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회, 제6권, 제1호, pp. 359~363.
5. 정재학외 4인, 2007, "액정 디스플레이(LCD) 낙하충격해석에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제24권, 제10호, pp. 99~108.
6. LSTC, LS-DYNA Keyword User's Manual, Ver. 960.
7. ISTA Procedure 2A, Packaged-Products Weighing 150 lb(68 kg) or Less, International Safe Transit Association.
8. ANSYS, Inc., ANSYS/LS-DYNA User's Guide, U.S.A.