

## 전자레인지 포장품의 낙하충격 해석 및 설계

김원진\* · 이부윤<sup>†</sup> · 손병삼\*\*

(2008년 10월 9일 접수, 2009년 2월 21일 수정, 2009년 3월 11일 심사완료)

### Drop-Impact Analysis and Design of a Package of a Microwave Oven

Won Jin Kim, Boo Youn Lee and Byung Sam Son

**Key Words:** Microwave Oven(전자레인지), Package(포장품), Drop-Impact(낙하충격), Deformation(변형)

#### Abstract

Dynamic behaviour of a package of a microwave oven under the drop-impact conditions is evaluated by the finite element analysis and tests. PAM-CRASH software is used for the finite element analysis and the tests are performed according to the ISTA(International Safe Transit Association) specification. Results of the analyses are compared with those of the tests and accuracy is shown to be favourable. Under the drop-impact condition of the original design, severe deformation occurs and an improved design is proposed to reduce it. The approach presented in this research can be successfully applied to reduce costs and time required to develop new models of the microwave oven.

#### 1. 서 론

전자제품의 낙하충격 실험은 규정된 높이에서 제품을 자유낙하시켜 파손 여부를 확인하기 위하여 실시한다. 전자제품의 낙하충격 문제는 유통 과정에서 발생하는 포장상태의 낙하충격과 사용 중에 발생하는 제품 자체의 직접적인 낙하충격으로 나눌 수 있다. 낙하충격이 발생하는 빈도는 휴대전화기, 노트북, 휴대용 카세트 등과 같이 가벼운 전자제품일 경우에는 사용 중에 사용자 부주의로 발생하는 낙하충격이 대부분이며, 냉장고, 대형 TV, 세탁기, 전자레인지(microwave oven) 등과 같은 무거운 제품의 경우에는 사용 중에 발생하는 낙하충격보다는 포장품을 운송하는 과정에서 발생하는 낙하충격이 대부분이다.

ASTM(American Society for Testing and Materials)<sup>(1,2)</sup>에서 낙하충격 실험 및 측정방법에 관한 표준들을 규정하고 있으며, 가전제품 포장품의 낙하충격 실험은 ISTA(International Safe Transit Association)<sup>(3)</sup> 규격에 따라 실시하도록 규정되어 있다. 낙하충격과 같은 동적하중을 받는 제품의 설계는 충격에 의한 동적거동을 정확히 파악하기 어렵기 때문에 많은 어려움에 직면하게 된다. 특히, 가전제품 포장품의 낙하충격에 대비한 설계는 충격에 대한 완충을 위한 포장설계와 제품 자체의 강성을 높이는 기구설계가 동시에 이루어져야 한다.

그동안 발표된 전자레인지의 해석과 설계를 주제로 다룬 연구는 다음과 같다. Cho 등<sup>(4)</sup>은 전자레인지의 충격해석 결과를 제시하였다. Lee와 Koo<sup>(5)</sup>는 과도응답 해석을 수행하여 전자레인지 도어를 당길 때 래치의 동적 거동, 도어프레임(door frame)의 비틀림 변형, 안전 스위치 작동 시간 등을 평가하였다. Lee와 Koo<sup>(6)</sup>는 전자파 누설에 영향을 미치는 도어부의 비틀림 변형을 저감시키기 위하여 도어프레임에 부착할 수 있는 보

† 책임저자, 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

E-mail : bylee@kmu.ac.kr

TEL : (053)580-5922 FAX : (053)580-5165

\* 계명대학교 기계자동차공학부

\*\* 계명대학교 대학원 기계공학과

강 브래킷 설계방안을 제시하였다. Lee 등<sup>(7)</sup>은 도어를 당기는 동적 하중 하에서 도어의 비틀림 변형을 저감시키기 위한 도어프레임의 형상 최적설계 방법을 제시하였다. 최근에 Kim 등<sup>(8)</sup>은 전자레인지 포장품의 운송과정에서 발생할 수 있는 측면 압축하중에 의한 클램핑 문제를 해석과 실험을 통하여 분석하였다.

본 연구에서는 수출용 전자레인지 포장품을 대상으로 하여, 제품에 손상을 줄 수 있는 낙하충격에 대한 설계 안전성을 유한요소해석을 이용하여 평가하였다. 기존설계안의 해석결과를 실험결과와 비교하여 취약부와 취약원인을 체계적으로 분석함으로써 설계개선안을 도출하였다. 그리고 설계개선안에 대한 해석과 시제품의 실험을 통하여 개선효과를 검증하였다.

## 2. 낙하충격 실험 및 유한요소모델

본 연구의 대상은 Fig. 1(a)에 보여진 수출용 전자레인지로서, Fig. 1(b)는 골판지로 만든 포장상자 내에 들어가는 주요 부품들의 형상 및 명칭을 나타낸다. 포장품 내의 주요 부품은 강판재, 플라스틱 사출품, 발포폴리스티렌(EPS: Expandable Polystyrene),<sup>(9)</sup> 자전관(magnetron) 및 변압기(transformer), 전기 및 전자부품 등이다.

Fig. 2는 실험에 사용한 낙하실험 장비를 보여준다. 낙하충격 실험방법은 68 kg 이하의 전자제품 포장품을 대상으로 하는 ISTA Procedure 2A<sup>(3)</sup> 규격에 따라 낙하높이 70 cm에서 실시하였다. 낙하충격 실험에서 가장 불리한 낙하방향은 6 면 중의 한 면이 바닥을 향하여 낙하하는 것이다. Fig. 3은 포장방향 및 면낙하실험 방향과 순서를 나타내는데, 우측면, 좌측면, 바닥면, 상부면, 후면, 전면의 순으로 각 면이 지면을 향하여 낙하하도록 포장품을 거치하여 실험을 실시한다.

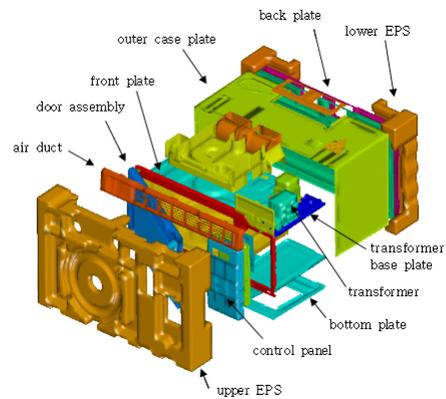
낙하충격 해석에는 비선형 동적 유한요소해석 소프트웨어인 PAM-CRASH<sup>(10)</sup>를 사용하였다. 기존 설계안의 낙하충격 해석을 위한 유한요소 모델은 Fig. 4에 나타난 각 부품의 유한요소들을 체결 조건을 고려하여 조립하여 구성하였다. 전체의 절점 수는 53639개, 쉘요소 수는 32461개, 솔리드요소 수는 11654개이다. 각종 강판재 부품은 탄소성 박판 쉘요소, 강성이 매우 높은 변압기는 강체 솔리드요소, EPS는 비선형 탄성 폼(foam) 솔

리드요소, 플라스틱 사출물은 선형 탄성 박판 쉘 요소를 사용하여 모델링하였다. 해석에 사용한 주요 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

전자레인지의 각 부품을 체결하는 점용접(spot welding)과 볼트 체결 점에 대해서는 체결 위치의 두 절점의 자유도를 연계(couple)시켰다. 접촉조건으로서 EPS와 전자레인지 사이에는 면대면 접촉(surface-to-surface contact)을, 전체 모델에 대하여 자체 접촉(self contact)을 부여하였다. 접촉조건을 부여하기 위해 부품들이 접하는 부분은 부품 간의 초기간격이 0.3 mm가 되도록 모델을 구성하고, 침투(penetration)조건을 정의하기 위하여 벌칙계수(penalty factor)를 0.1로 설정하였다. 지면은 강체모델로 정의하고 모든 자유도를 구속하였다.



(a) A microwave oven



(b) Exploded view of internal parts

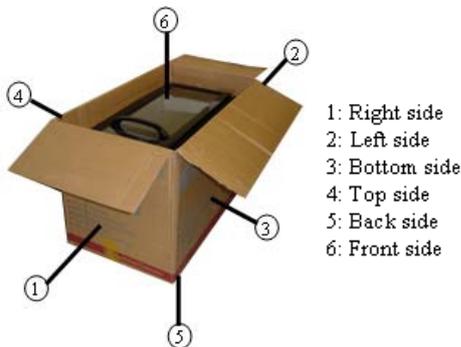
Fig. 1 A microwave oven



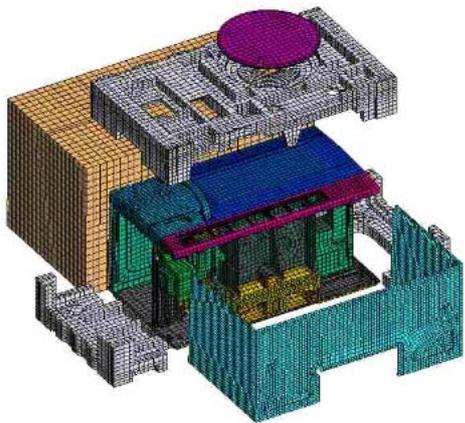
Fig. 2 Drop tester

**Table 1** Material properties

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	yield strength (MPa)
steel plate	211	0.29	234
plastic	36.7	0.38	-
EPS	0.924	-	-
paper box	0.076	0.28	-



**Fig. 3** Direction and sequence of drop tests

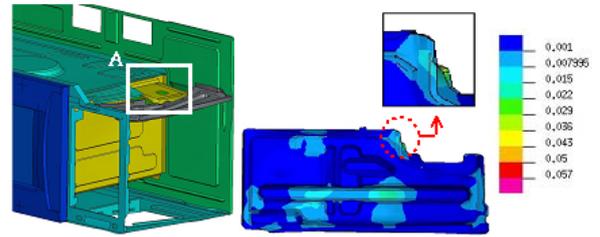


**Fig. 4** Finite element model

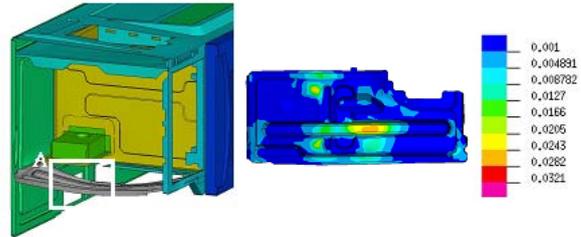
### 3. 기존설계안의 낙하충격 해석과 실험

앞 장에서 기술된 해석 모델을 사용하여 Fig. 3에 표시된 6가지의 면낙하방향 각각에 대하여 PAM-CRASH로 해석을 수행하였다. 이 장에서는 전자레인지 포장품에 대한 기존설계안의 낙하충격 해석 결과를 실험과 비교하여 기술하고자 한다.

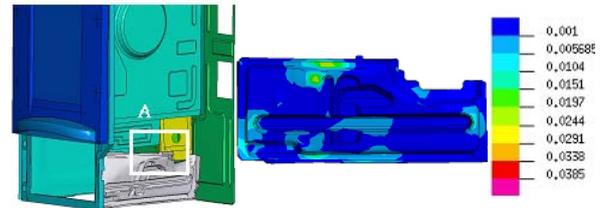
낙하충격에서는 지면과 충돌한 1차 충격 이후에 반발에 의한 2차 충격이 발생할 수 있다. 전자레인지 포장품은 자유낙하하여 지면과 1차 충격시에 완충효과로 인해 제품이 반발하는 속도와



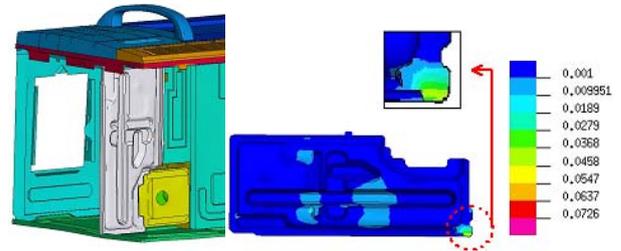
(a) Bottom-side drop



(b) Top-side drop



(c) Right-side drop



(d) Back-side drop

**Fig. 5** Plastic strain from drop-impact analysis

높이가 아주 작기 때문에 반발에 의한 2차 낙하 충격은 제품 손상에 크게 영향을 주지 못한다. 따라서 본 연구에서는 1차 충격만을 고려하여 해석시간을 설정하였다. 이에 따라 포장품이 지면에 부딪치는 순간의 초기속도 3.835 m/s를 가하여 지면에 부딪치는 순간부터 시간 40 ms까지 해석을 수행하였다. 1차 충격 직후인 40 ms 까지만 해석하였으므로 해석종료 시점의 변형량은 탄성 변형과 소성변형의 합으로 나타나는 반면에, 실험결과는 육안으로 확인할 수 있는 영구변형량으로 나타난다. 따라서 탄성변형까지 포함하고 있는 40 ms 시점의 해석결과를 실험결과와 비교평가하기 위하여 해석된 소성변형률을 위주로 하여 분석하고자 한다.

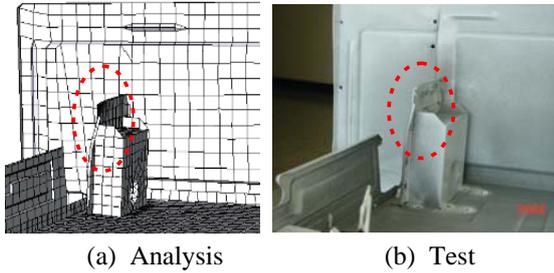


Fig. 6 Deformed shape of magnetron base plate after bottom-side drop

면낙하충격 시에는 포장상자 외면과 지면이 면대면으로 접촉하여 충격이 발생하므로, 포장재인 골판지와 EPS는 실험과 해석결과에서 특별한 연구변형과 손상이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 전자레인지 제품을 위주로 하여 해석과 실험 결과를 분석하고자 한다.

면낙하충격 해석결과, 모든 낙하방향에서 변압기 저판(transformer base plate)의 소성변형률이 높게 나타났다. 변압기 저판은 구성 부품들 중에서 가장 무거운 변압기를 지지하는 부품으로, 변압기에 저장된 운동에너지가 일차적으로 변압기 저판에 전달되기 때문에 변형이 가장 크게 발생하였다. Fig. 5는 대표적 방향인 바닥면, 상부면, 우측면, 후면 방향의 낙하충격 해석결과의 변형형상과 변압기 저판의 소성변형률을 나타낸다. Fig. 5(a)의 A 영역과 같이 바닥면 낙하충격에서 변압기 저판은 자전판 저판(magnetron base plate)과 접촉하여 처짐이 다소 방지되지만, 모서리(점선 원 위치)에서 소성변형률이 집중된다. Fig. 5(b)와 같이 상부면 낙하충격에서는 자전판 저판과 접촉이 발생하지 않기 때문에 소성변형 영역이 중앙부에 넓게 발생한다. Fig. 5(c)의 우측면 낙하충격에서는 자전판 저판과의 접촉 위치에서 변압기 저판의 소성변형 영역이 발생한다. Fig. 5(d)에서 볼 수 있듯이 후면 낙하충격에서는 변형부 발생영역이 다른 면 낙하충격과 비교하여 크지 않으나, 점선 원의 모서리 위치에서 소성변형이 발생한다. 이는 모서리 위치가 다른 부분들에 비해 굽힘 변형보다는 외판(outer case plate) 및 뒷판(back plate)과 접촉하여 압축에 의한 변형이 크기 때문으로 판단된다. Fig. 6은 바닥면 낙하충격 해석과 실험 결과로 나타난 자전판 저판의 변형 형태로서 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 7은 전자레인지 변압기 저판의 실험 후 변형형상을 나타내는데, 점선으로 표시된 위치에서 심한 변형을 보이고

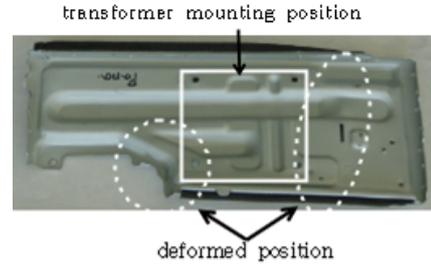


Fig. 7 Deformed shape of transformer base plate after drop test



Fig. 8 Results of back-side drop test

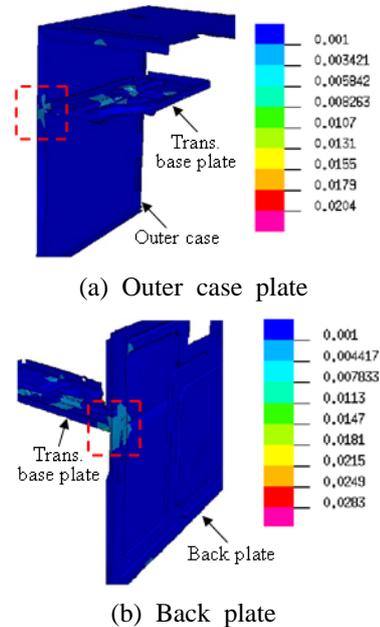


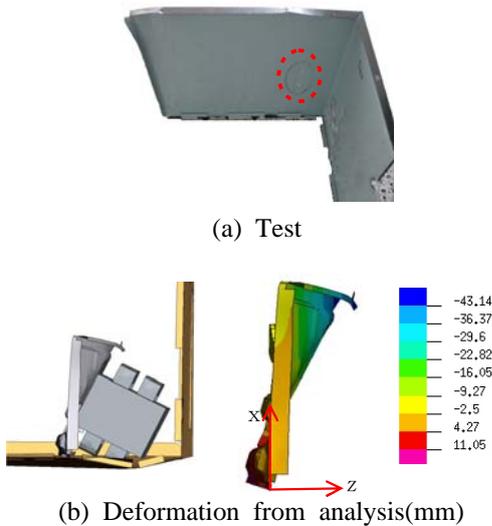
Fig. 9 Plastic strain from back-side drop analysis

있다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 변압기 저판의 변형은 변압기 설치 가장자리에서 발생하며, 이는 변압기의 강성이 변압기 저판에 비하여 매우 높기 때문이다. 이와 같이 변압기 저판의 변형도 해석과 실험의 결과가 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

후면 낙하충격 실험에서 Fig. 8과 같이 외판과 뒷판이 꺾여지는 변형이 발생하는데, 이러한 변형은 Fig. 5(d)의 해석결과에서 볼 수 있듯이 후

**Table 2** Summary of results of analysis

	bottom-side	top-side	right-side	left-side	front-side	back-side
restitution time(ms)	9.8	9.3	8.7	7.9	8.1	6
plastic strain of transformer base plate	0.057	0.032	0.039	0.067	0.024	0.073



**Fig. 10** Results of right-side drop

면 낙하충격시 뒷판과 수직하게 체결된 변압기 저판때문에 발생하며 변압기 저판의 모서리부(Fig. 5(d)의 점선 원)와 접촉하는 외판과 뒷판 위치에서 꺾여지는 변형이 발생한다. Fig. 9(a)와 (b)는 후면 낙하충격 해석 결과의 외판 및 뒷판의 소성 변형률인데, 변압기 저판이 되결되는 부위에서 소성변형률이 국부적으로 집중되는 것을 보여준다.

우측면 낙하충격 실험에서 Fig. 10(a)와 같이 외판의 측면부에 찍힘 변형(dented deformation)이 발생한다. Fig. 10(b)는 우측면 낙하충격 해석에서 구한 변압기의 변형형상과 변압기 저판에 수직한 z축 방향 변위를 나타내며, 변압기 저판의 최대 비틀림량(z축 방향 변위의 최대와 최소값의 차)은 54 mm로 상당히 크다. 이와 같이 변압기는 우측면 낙하충격에서 변압기 저판의 과도한 비틀림에 의해 외판과 충돌하게 되며 이로 인하여 외판에 찍힘 변형이 발생하는 것으로 판단된다.

Table 2는 지면에 충돌한 후에 반발이 발생하는 시간과 변압기 저판의 최대 소성변형률을 나타낸다. 반발이 10 ms 이내 시점에서 발생하므로

1차 충격만을 고려한 해석 시간은 충분한 것으로 확인된다. 변압기 저판의 최대 소성변형률은 바닥면과 좌측면, 후면 낙하충격의 경우가 다른 면의 낙하충격에 비하여 상대적으로 높게 나타났다.

그리고, 변압기 저판은 바닥면과 상부면 낙하충격시에 무겁고 강성이 높은 변압기의 동하중을 수직으로 전달받게 되므로 매우 큰 굽힘을 받게 된다. 이는 Fig. 5(a)와 (b)의 해석결과 및 Fig. 7의 실험결과에서 나타난 변압기 저판의 변형으로부터 명백히 드러난다. 다음 장에서는 이에 착안하여 변압기 저판의 설계개선안을 도출하였다.

#### 4. 설계개선안의 낙하충격 해석과 실험

##### 4.1 설계개선안 도출

변압기 저판의 변형은 낙하충격시 운동에너지가 큰 변압기에 의해 발생한다. 낙하방향에 따라 변압기의 운동거동이 달라지게 되므로 변압기 저판은 다양한 굽힘 하중을 받게 된다. Fig. 11(a)는 기존설계안의 변압기 저판을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 변압기 저판은 장축과 단축의 길이비가 2.5:1로서, 굽힘에 의한 변압기 저판의 변형은 단축에 비해 장축 방향이 취약한 구조로 되어 있음을 알 수 있다. 낙하충격에서 변압기 저판의 변형을 막기 위해서는 기존 변압기 저판의 장축 방향에 대한 굽힘 강성을 높이는 설계안이 필요하다. 기존설계안은 장축방향과 단축방향의 비드를 모두 포함하고 있으나, 단축방향 비드는 강제거동을 하는 변압기 아래에 위치하고 있어 불필요한 것으로 판단된다. 따라서 기존의 단축방향의 비드는 제거해도 무방하다. Fig. 11(b)는 본 연구에서 도출한 변압기 저판의 설계개선안 모델을 나타낸다. 비드 C, D는 없애고, 비드 A는 폭과 깊이를 동일하게 하여 장축방향으로 최대도 확장하고, E 영역에 장축방향으로 삼각 단면 비드를 추가하여 장축방향 굽힘강성을 최대한 높였다.

한편, 우측면 낙하시 발생하는 외판의 찍힘 변형과 상부면 및 바닥면 낙하시 발생하는 변압기 저판의 변형을 최소화하기 위하여 변압기 저판의 볼트 체결점을 추가하였다. 변압기 저판은 총 4개의 볼트로 다른 부품들과 결합되어 있다. 외판 측면과 변압기 저판을 결합하는 위치 및 자전관 저판과 변압기 저판을 결합하는 위치에 각각 볼

트 체결을 추가하였다.

4.2 설계개선안 해석 및 실험 결과

설계개선안에 대한 해석은 기존설계안 해석에서 변형이 크게 발생한 바닥면, 상부면, 우측면, 후면 낙하에 대하여 수행하였다. 바닥면과 상부면 낙하는 변압기 저판의 굽힘 변형량을 평가하고, 우측면 낙하는 외판의 찍힘 변형에 대해 평가하고, 그리고 후면 낙하는 뒷판과 외판에 발생하는 변형을 평가하기 위해 실시하였다.

Fig. 12(a)와 (b)는 바닥면과 상부면 낙하충격 해석결과를 나타낸다. 소성변형이 완전히 없어지는 않았지만 변형이 발생하는 영역은 기존설계안의 Fig. 5(a)와 (b)에 비해 감소하였다. 바닥면 낙하의 경우, 최대 소성변형률이 0.0282로 Fig. 5(a)의 0.057 대비 약 50% 감소하였다. 상부면 낙하의 경우, 최대 소성변형률은 0.0375로 Fig. 5(b)의 0.0321보다 오히려 약간 크게 나타났으나, 최대값을 나타내는 영역은 단지 볼트 체결을 추가한 점선 원 위치에서만 국부적으로 나타났다. 이와 같이 설계개선안에 대한 바닥면과 상부면 낙하충격 해석결과는 소성변형률 및 변형영역이 기존설계안보다 현저히 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 13은 우측면 낙하충격 해석결과를 나타낸다. 변압기 저판의 비틀림량(z축 방향 변위의 최대와 최소값의 차이)이 34 mm로 기존설계안 Fig. 10(b)의 54 mm 대비 37% 감소하였으며 외판의 찍힘 변형이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

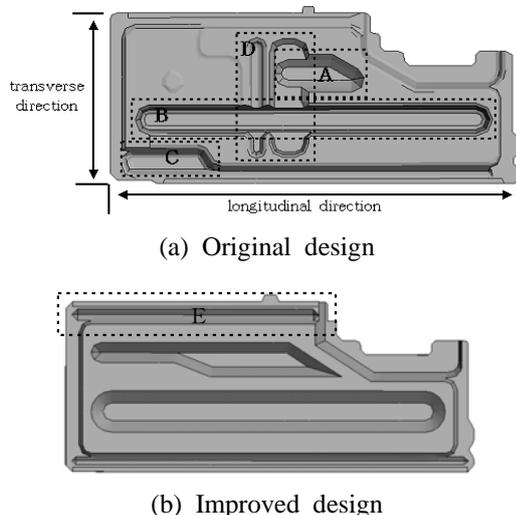


Fig. 11 Bead shape of the transformer base plate

Table 3 Summary of analysis results between the original and improved designs

	bottom-side drop	top-side drop
original design	- plastic strain of trans. base: 0.0570	- plastic strain of trans. base: 0.0321
improved design	- plastic strain of trans. base: 0.0282	- plastic strain of trans. base: 0.0375
	right-side drop	back-side drop
original design	- twisting of trans. base: 54 mm	- plastic strain of outer case: 0.0204 - plastic strain of back plate: 0.0283
improved design	- twisting of trans. base: 34 mm	- plastic strain of outer case: 0.0055 - plastic strain of back plate: 0.0189

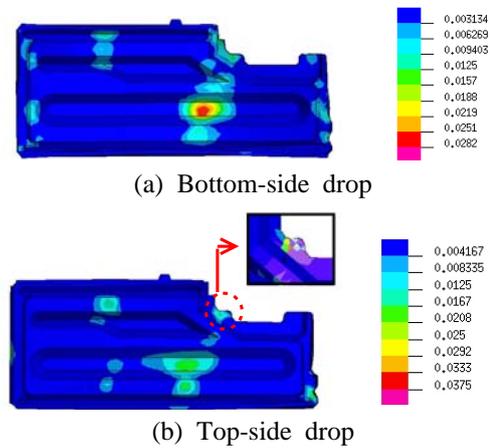


Fig. 12 Plastic strain from bottom and top-side drop analysis for the improved design

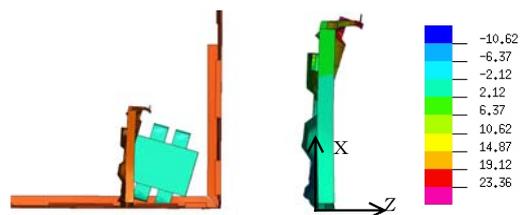


Fig. 13 Deformation from right-side drop analysis for the improved design(mm)

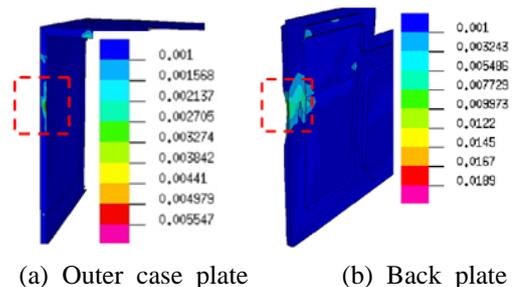
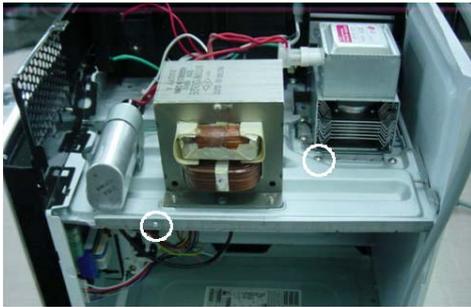


Fig. 14 Plastic strain from back-side drop analysis for the improved design



(a) Transformer base plate



(b) Internal view and two added bolt positions

**Fig. 15** Prototype for the improved design

(a) Original design (b) Improved design

**Fig. 16** Results of transformer base plates after drop test

Fig. 14(a)와 (b)는 후면 낙하충격에서 큰 영향을 받는 외판과 뒷판의 소성변형률을 나타낸다. 기존설계안에 비하여 외판의 소성변형률은 Fig. 9(a)의 0.0204에서 0.0055로 70% 감소하였으며, 뒷판의 경우에는 Fig. 9(b)의 0.0283에서 0.0189로 43% 감소하였다.

이상에서 기술된 바닥면, 상부면, 우측면, 후면 낙하에 대한 설계개선안의 해석결과를 기존설계안과 비교하여 Table 3에 요약하였다.

도출된 설계개선안을 반영하여 시작품(prototype)을 제작하고 낙하충격 실험을 실시하였다. 설계개선안의 시작품은 기존설계안에 비하여 변압기 저판의 비드 형상이 Fig. 15(a)와 같이 변경되고, Fig. 15(b)와 같이 변압기 저판의 볼트 체결점이 두 곳이 추가되었다.

설계개선안의 시작품 실험을 통하여 낙하충격에 대한 설계개선안의 타당성을 검증하였다. Fig. 16(a)와 (b)는 각각 기존설계안과 설계개선안에 대한 낙하충격 실험 후의 변압기 저판의 변형형상을 비교하여 나타낸다. 기존설계안에서 과도한

변형이 발생한 변압기 저판은 설계개선안의 시작품에서는 변형이 미소하게 발생하였는데, 이 미소한 변형 위치는 나사못 체결 위치에 국한되며 충분히 만족할 수 있는 것으로 판단되었다. 설계개선안 시작품에서는 기존설계안의 후면 낙하충격에서 발생했던 뒷판과 변압기 저판의 체결 위치의 변형이 나타나지 않았다. 이와 같이 설계개선안 시작품의 낙하충격 실험을 통하여 기존설계안에서 나타났던 주요 부위의 영구변형이 제거되었음을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 연구를 통해 전자레인지 포장품의 운송과정에서 가해질 수 있는 면방향 낙하충격 하중에 대한 유한요소해석 모델링과 해석방법을 제시하고, 해석결과를 실험결과와 비교하여 정확성을 검증하였다.

기존설계안을 해석한 결과, 낙하충격에 의한 변형은 변압기가 주요 원인으로 작용하였다. 변압기는 다른 부품에 비하여 상대적으로 매우 무거운 부품이며, 변압기 자체는 변형이 거의 발생하지 않는 강체거동을 하기 때문이다. 따라서 변압기가 설치되는 변압기 저판이 과도하게 변형되면서 주변 부품에 영구변형이 많이 발생하였다. 변압기 저판은 장축방향의 굽힘변형이 크게 발생하였다. 해석 결과에 의거하여 장축방향의 굽힘변형을 최소화하는 설계와 주변 부품들로 전달되는 하중을 분산하기 위한 볼트 체결점 추가 설계를 도출하였다.

본 연구를 토대로 하여 설계개선안 시작품을 제작하여 낙하충격 실험을 실시한 결과, 해석에 의한 예측과 실험결과가 잘 일치하였으며 기존설계안에서 나타나던 주요 부위의 영구변형이 제거되었다.

낙하충격 실험에서는 다양한 낙하방향에 대하여 중첩된 변형이 발생하므로, 실험결과와 체계적 분석이 어렵다. 반면에 해석적 방법에서는 각각의 낙하방향에 대하여 독립적으로 해석을 수행할 수 있으므로 취약한 낙하방향 및 취약부, 그리고 변형원인을 보다 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 가전제품 포장품의 개발단계에서 본 연구에서 제시한 해석방법을 활용함으로써, 보다 효율적으로 취약부의 설계개선안을 도출할 수 있다.

## 참고문헌

- (1) ASTM D3332, Standard Test Methods For Mechanical-Shock Fragility of Products Machines, American Society for Testing and Materials.
- (2) ASTM D5276-98, Standard Test Method for Drop Test of Loaded Containers by Free Fall, American Society for Testing and Materials.
- (3) ISTA Procedure 2A, Packaged-Products Weighing 150 lb(68 kg) or Less, International Safe Transit Association.
- (4) Cho, W. J., Kim, H., Lee, C. S. and Lee, D. R., 2000, "Drop-Impact Simulation of Micro Wave Oven," *HANPAM 2000 Users Conference in Korea*, pp. 61~67.
- (5) Lee, B. Y. and Koo, J. Y., 2005, "Evaluation of Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven by Transient Response Analysis," *Trans. Korean Soc. Mech. Engrs. A*, Vol. 29, No. 9, pp. 1282~1288.
- (6) Lee, B. Y. and Koo, J. Y., 2006, "Shape Optimal Design of the Door Frame of a Microwave Oven to Minimize Its Twisting Deformation," *Trans. Korean Soc. Mech. Engrs. A*, Vol. 30, No. 8, pp. 1016~1023.
- (7) Lee, B. Y., Koo, J. Y. and Kim, W. J., 2006, "Shape Optimal Design to Minimize Dynamic Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven," *Trans. Korean Soc. Mech. Engrs. A*, Vol. 30, No. 11, pp. 1479~1485.
- (8) Kim W. J., Son, B. S. and Lee, B. Y., 2008, "Clamping Analysis and Design of a Package of a Microwave Oven," *J. of Korean Soc. Precision Eng.*, Submitted.
- (9) KS A 1513, Korean Standards Association, 1996.
- (10) PAM-SYSTEM, Reference Manual, PAM System International, 2002.