

전자레인지 포장품의 클램핑 해석 및 설계

Clamping Analysis and Design of a Package of a Microwave Oven

이부윤^{1,✉}, 손병삼²
Boo Youn Lee^{1,✉} and Byung Sam Son²

¹ 계명대학교 기계자동차공학부 (School of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung Univ.)
² 계명대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung Univ.)
✉ Corresponding author: bylee@kmu.ac.kr, Tel: 053-580-5922

Manuscript received: 2008.10.7 / Revised: 2008.12.31 / Accepted: 2009.1.3

Behavior of a package of a microwave oven under the clamping condition is evaluated by tests and the finite element analyses. PAM-CRASH software is used for the finite element analyses. Results of the analyses are compared with those of the tests and accuracy is shown to be favorable. Under the clamping condition of the original design, severe deformation occurs and an improved design of the outer case and upper EPS(Expandable Poly Styrene) is proposed to reduce it. Face beads of the outer case are introduced and shape of the upper EPS is modified to reduce the deformation resulting from the clamping load. The improved design model is analyzed and its deformation is shown to be satisfactory. A prototype is produced according to the improved design and tests are performed. Results of the clamping test of the prototype show that the plastic deformation is removed totally.

Key Words: Microwave Oven (전자레인지), Package (포장품), Clamping (클램핑), Deformation (변형)

1. 서론

가전제품은 포장상태로 운송되는 도중에 제품에 가해질 수 있는 외부하중으로부터 파손에 대한 안전성이 보장되어야 한다. 특히 가전제품 포장품을 운송하는 과정에서 발생하는 압축하중은 제품의 기능 손상 및 기계적 파손을 초래할 수 있으므로, 제품개발 과정에서 압축하중에 대한 파손 안전성 평가를 위한 설계가 요구된다.

일반적으로 가전제품은 생산공장에서 개별 제품의 포장품 여러 개를 묶어서 대단위 포장품으로 만들어 출하하게 되며, 이 대단위 포장품은 운송 시에 기계장치를 이용하여 운반 및 적재, 상·하역을 하게 된다. 이러한 포장품의 상·하역 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 화

물운반대(pallet)에 적재하여 지게차 등으로 운반하는 방법이다. 두 번째 방법은 기계장치를 이용하여 대단위 포장품의 좌우측면에 직접적으로 반대 방향 압축하중을 가해 제품을 들어올려 운반하는 방법, 즉 클램핑(clamping) 방법이다. 이 클램핑 방법은 제품을 들어올리기 위해 좌우측면에서 가하는 압축하중이 직접 포장품 및 내부의 제품에 전달되므로 제품의 파손이 발생할 수 있다. 국내의 경우에는 주로 첫번째 방법이 사용되고 있으나, 미국 등의 일부 국가에서는 클램핑 방법을 주로 사용한다. 따라서, 수출용 가전제품의 경우 제품설계 및 포장설계 시에, 포장품에 측면 압축하중이 가해질 때의 파손에 대한 안전성 평가를 위해 클램핑 실험을 실시하고 있다. ASTM D642¹는 포장품의 압축하중에 대한 저항력을 측정하는 방법에 관

하여 규정하고 있다. 또한 가전제품 포장품의 압축 하중 평가를 위한 클램핑 실험은 ISTA(International Safe Transit Association)² 규격에 따라 실시하게 된다.

클램핑 하중에 대비한 설계는 완충을 위한 포장설계와 제품자체 강성을 높이는 제품설계가 동시에 이루어져야 한다. 설계자의 경험에 의존하는 기존 설계방법은 최종 제품을 생산하기 위해 많은 시행착오를 거쳐야 하는 비효율적인 개발과정을 포함하고 있어 수치해석법을 통한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 근래에는 CAE(Computer Aided Engineering) 소프트웨어의 발달과 컴퓨터의 성능향상으로 인해 컴퓨터를 이용한 해석 방법이 포장품 개발에서 중추적인 역할을 담당하고 있다. 수치해석법은 가전제품의 다양한 부품들과 포장재 사이의 접촉에 의해 발생하는 에너지 전과 과정을 분석하는데 있어 실험보다 용이하고, 취약부분에 대한 재설계를 상대적으로 짧은 시간에 평가할 수 있으므로 포장품 개발에 소요되는 기간과 비용을 크게 줄일 수 있다.

전자레인지의 구조해석 및 기구설계와 관련된 주제를 다룬 연구는 그 수가 많지 않다. Kim 등³은 LS-DYNA⁴를 사용하여 전자레인지에 대한 낙하충격해석으로 취약 부분의 구조설계 개선 방법을 제시하였다. Cho 등⁵은 전자레인지의 충격해석을 통하여 내충격 설계와 포장설계 결과를 제시하였다. Noh⁶는 전자레인지 도어의 개폐 성능 개선을 위한 실험적 연구를 수행하였다. Lee와 Koo⁷는 과도응답 해석을 수행하여 전자레인지 도어를 당길 때 래치의 동적 거동, 도어 프레임의 비틀림 변형, 안전 스위치 작동 시간 등을 평가하였다. Lee와 Koo⁸와 Lee 등⁹은 각각 정적 해석과 동특성 해석을 통하여 전자파 누설에 영향을 미치는 도어부의 비틀림 변형을 저감시키기 위한 보강 브래킷 설계 방안을 제시하였다. Lee와 Koo¹⁰와 Lee 등¹¹은 각각 정적 및 동적 하중 하에서 도어의 비틀림 변형을 저감시키기 위한 도어프레임의 형상 최적설계 방법을 제시하였다.

이상과 같이 이전의 연구는 주로 전자레인지의 충격 및 전자파 누설 저감을 위한 설계에 국한되었으며, 전자레인지 포장품의 상·하역 과정에서 대두되는 클램핑 하중에 대비한 해석 및 설계에 대하여는 그 중요성에도 불구하고 연구 결과가 발표된 적이 없다. 본 연구에서는 대표적 가전제품 중의 하나인 전자레인지(microwave oven) 포장품의

운송과정에서 발생할 수 있는 클램핑 문제를 유한요소법으로 해석하고 실험을 실시하여 해석의 타당성을 검토하고자 한다. 또한 클램핑 하중을 받을 때 발생하는 제품의 구조적 문제점을 분석하고 파손에 대하여 안전한 설계안을 제시하고자 한다.

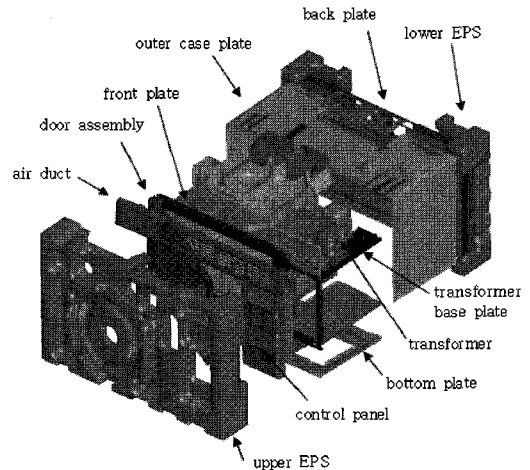
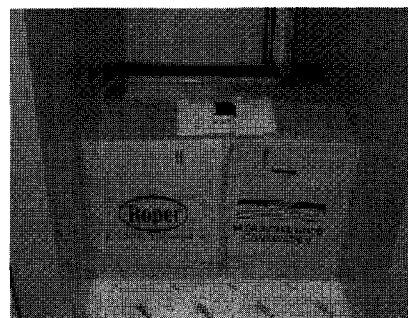


Fig. 1 Exploded view of a microwave oven



(a) Longitudinal-direction full side test



(b) Transverse-direction offset test

Fig. 2 Photograph of the clamping test

2. 클램핑 실험 방법

본 연구의 대상은 수출용 전자레인지로서, 포장품을 구성하는 주요 부품은 냉연강판 부품, 플라스틱 사출물, 발포폴리스티렌(EPS: Expandable Poly-Styrene),¹² 자전관(magnetron) 및 변압기(transformer), 전기 및 전자부품 등으로 구성되어 있으며, 골판지로 만들어지는 포장상자로 포장된다. Fig. 1 은 포장상자 내에 들어가는 주요 부품들의 형상 및 명칭을 나타낸다.

클램핑 실험은 68kg 이하의 포장품에 대한 ISTA Procedure 2A 의 규정에 따라 실시하게 된다. Fig. 2 는 전자레인지 포장품을 클램핑 실험기에 장착하여 클램핑 실험을 실시하는 모습으로, 좌우 양측의 클램퍼(clamper)가 포장상자의 먼 전체(Fig. 1(a)) 혹은 먼 일부(Fig. 1(b))을 압축하면서 클램핑 하중을 가하는 모습을 보여준다. 클램핑 실험은 포장제품을 바닥에 놓은 상태에서 클램퍼를 포장품의 장축방향(longitudinal direction)과 단축방향(transverse direction)에 수직한 먼 전체에 하중을 가하는 전면(full side) 클램핑 실험(Fig. 2(a) 참조)과 클램퍼를 바닥 및 좌측 또는 우측 모서리에서 152.4mm(6 in.) 이동시켜 하중을 가하는 오프셋(offset) 클램핑 실험(Fig. 2(b) 참조)으로 나눌 수 있다. ISTA Procedure 2A² 에 따라 압축하중 크기는 8.9kN(2000 lb)이며, 정적으로 하중을 부여한 후에 클램퍼가 포장품을 압축하면서 진행하여 더 이상 이동하지 않을 때까지 실험을 수행하였다. 클램핑 실험은 장축과 단축에 대해 각각 전면 클램핑 1 회, 좌측 모서리 기준 오프셋(1), 우측 모서리 기준 오프셋(2)의 오프셋 클램핑 2 회를 실시하며, 총 6 가지 조건에 대하여 실시하였다.

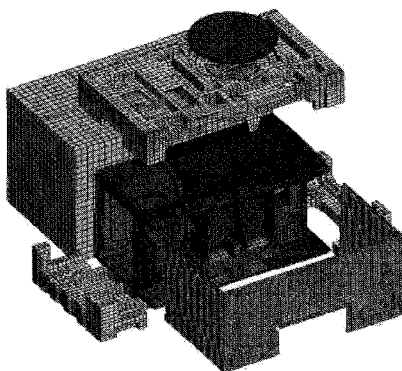


Fig. 3 Exploded view of the finite element model

Table 1 Material properties

Material type	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield strength (MPa)
Steel plate	211.0	0.29	234
Plastic	36.7	0.38	-
EPS	0.924	-	-
Paper box	0.076	0.28	-

3. 클램핑 해석을 위한 유한요소 모델

본 연구의 대상인 전자레인지는 두께가 얇은 냉연강판을 프레스 가공한 판재부품과 플라스틱 사출물, 전기 및 전자 부품 등으로 결합된 복잡하고 부품간의 접촉부위가 많은 해석 모델이다. 클램핑 해석에는 비선형 동적 유한요소해석 소프트웨어인 PAM-CRASH¹³ 를 사용하였다. 3 차원 CAD 소프트웨어인 CATIA¹⁴ 를 이용하여 각종 판재부품과 플라스틱 사출물에 대해서는 곡면(surface) 모델을 구성하고, 변압기와 EPS 등의 체적이 큰 부품은 솔리드(solid) 모델을 구성하였다. 전후처리 소프트웨어인 PATRAN¹⁵ 을 사용하여 CAD 모델로부터 유한요소 모델을 생성하였다. 해석을 위한 경계조건과 부품간의 결합은 PAM-GENERIS¹³ 를 사용하였다. 해석에 사용할 기존설계안의 유한요소 모델은 Fig. 3 과 같은 각 부품들이 조립되어 구성되며, 절점 53639 개, 셀요소 32461 개와 솔리드요소 11654 개로 구성된다. 해석에 사용한 주요 부품의 재료 물성치는 Table 1 과 같다. 해석에 사용한 유한요소의 재료 거동은 PAM-CRASH 의 요소 특성에 따라 정의된다. 판재강판의 요소 거동은 탄소성 박판 모델(elastic-plastic thin shell material model)을 사용하고, EPS 에 사용한 요소의 거동은 비선형 탄성 폼 모델(non-linear elastic foam model)을 사용하였다. 변압기는 변형이 발생하지 않기 때문에 강체 거동(rigid body)을 한다고 가정하였다. 그리고 플라스틱 사출물은 선형 탄성 모델(linear elastic material model)을 사용하였다. 판재부품과 EPS 의 응력-변형률 선도는 인장시험으로 구하여 사용하였다.

전자레인지의 각 부품간 체결은 주로 점용접(spot welding)과 볼트 체결로 이루어져 있다. 점용접과 볼트 체결점에 대해서는 결합이 끊어지지 않는다고 가정하였다. 점용접에 대해서는 PAM-

CRASH 의 결합접촉(tied contact) 방법을 사용하며, 볼트 체결점은 체결위치에 있는 절점을 선택하여 선택된 절점들의 무게중심이 강체 거동을 하도록 하였다. 클램핑 해석에서 발생하는 접촉조건으로서 EPS 와 전자레인지 사이에는 면대면 접촉(surface-to-surface contact)을 부여하고, 전체 모델에 대하여 자체 접촉(self contact)을 부여하였다.¹³ 접촉 조건을 부여하기 위해 부품들이 접하는 부분은 0.3mm 간격을 두고 유한요소 모델을 생성하였다. 접촉 조건은 두 부품 사이의 간격이 0.1mm 이내로 근접하면 침투가 발생한 것으로 가정하고, 벌칙계수(penalty factor)¹³를 0.1로 설정하였다.

클램핑 해석을 위하여 Fig. 4 와 같이 포장품에 압축하중을 가할 수 있는 클램퍼를 해석 모델에 추가하였다. 클램퍼는 변형이 발생하지 않고 하중을 제품에 전달하는 역할을 담당하는 부분이므로 강체모델로 가정하였다. 클램퍼는 쉘요소로 모델링하고 하중방향으로만 움직일 수 있도록 하중방향을 제외한 모든 자유도를 구속하였다. 클램핑 해석은 전면 클램핑, 좌측 모서리 기준 오프셋(1) 클램핑, 우측 모서리 기준 오프셋(2) 클램핑의 3 가지 조건을 장축과 단축 각각에 대하여 실시하여, 총 6 가지 조건을 해석하였다.

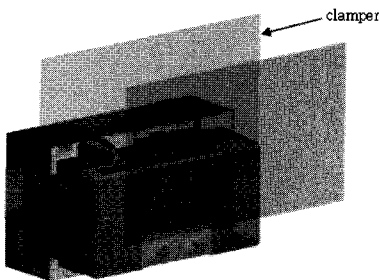


Fig. 4 Clamping analysis model

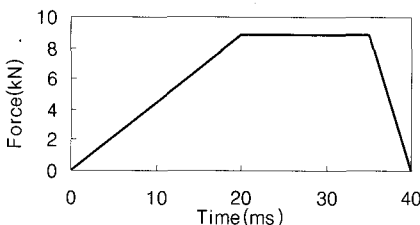


Fig. 5 Clamping load

Fig. 5 는 시간에 따른 클램핑 하중 크기를 나타낸다. 0~20ms 동안에 하중이 8.9kN(2000 lbf)까지 선

형 증가하도록 하중을 부여하였다. 이는 초기하중이 갑자기 크게 작용할 경우에 발생하는 과도응답의 크기를 줄이기 위함이다. 그리고 35ms 에서 40ms 까지는 하중을 0 까지 선형 감소시켰다.

4. 기존설계안의 클램핑 해석

앞 장에서 기술된 해석 모델을 사용하여 PAM-CRASH 로 클램핑 해석을 수행하였다. 이 장에서는 전자레인지 포장품의 기존설계안의 클램핑 해석 결과를 실험과 비교하여 기술하고자 한다.

본 연구와 같은 탄소성 해석에서 해석종료 시점(Fig. 5 에 표시된 40ms)의 변형량은 탄성변형량과 소성변형량의 합으로 나타나는 반면에, 실험결과는 육안으로 확인할 수 있는 영구변형량만으로 나타난다. 따라서 탄성변형까지 포함하고 있는 40ms 시점의 해석결과를 실험결과의 영구변형량과 비교평가하기 위하여 해석 종료시점인 40ms 에서의 소성변형률을 위주로 하여 분석하고자 한다.

전면 클램핑에서는 클램퍼가 상부와 하부의 EPS 와 접촉하게 되므로 클램핑 하중이 상부와 하부의 두 EPS 에 나누어 전달된다. 따라서 전면 클램핑에서는 하중이 상부 EPS 로만 전달되는 오프셋 클램핑에 비하여 제품에서 발생하는 응력 수준이 낮게 된다. Fig. 6 은 장축 전면 클램핑 해석결과로 나타나는 최대 유효응력 분포를 나타내며, 최대 유효응력은 220MPa 이다. 단축 전면 클램핑 해석 결과 최대 유효응력은 210MPa 로 계산되었다. 이와 같은 최대응력은 클램핑 하중이 전달되는 EPS 와 외판과의 접촉 부분에서 크게 발생하며, 유효응력이 항복강도(234MPa)를 초과하지 않으므로 소성변형은 나타나지 않는다. 따라서 전면 클램핑 하중에 대해서는 제품이 안전한 것으로 판단되며, 이는 클램핑 실험을 통하여 검증되었다.

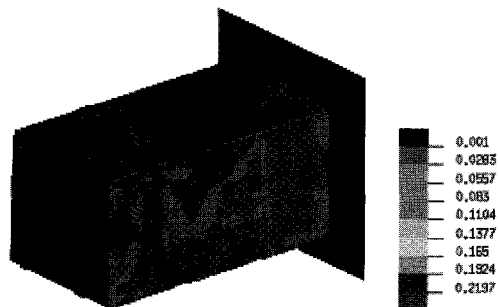


Fig. 6 Effective stress of full side clamping (GPa)

오프셋 클램핑 해석시에 클램퍼는 Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 같이 상부 EPS 를 통해 전자레인지 도어부와 제어패널에 하중을 전달하게 된다. 따라서 도어부와 제어패널과 접촉하는 외판의 가장자리에 최대응력과 소성변형이 발생하며, 모서리부분은 응력집중이 발생한다. Fig. 7 과 Fig. 8 은 각각 장축 오프셋(1)과 오프셋(2)의 클램핑 해석에서 발생하는 유효응력과 소성변형률 분포를 나타낸다. Fig. 8 에서 볼 수 있듯이 소성변형은 장축 오프셋(1)의 경우에는 에어덕트(air duct)와 외판이 접촉하는 전자레인지 상부 모서리에서 발생하며, 오프셋(2)의 경우에는 도어의 하단과 바닥판이 접하는 전자레인지 하단 모서리에서 발생한다.

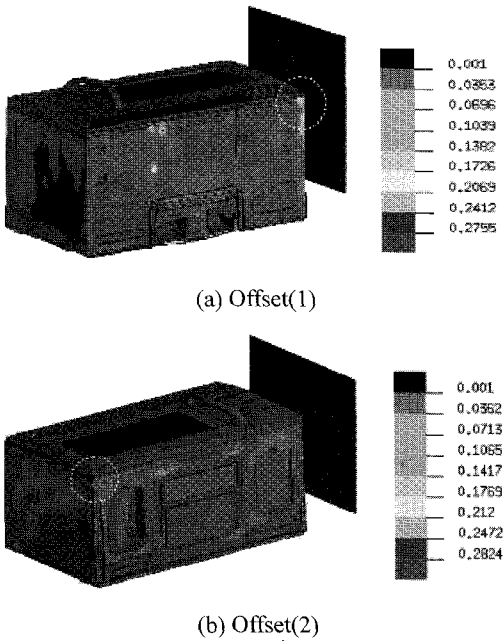
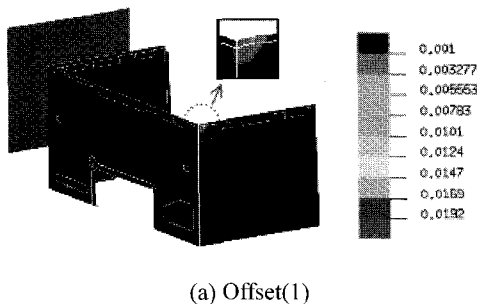
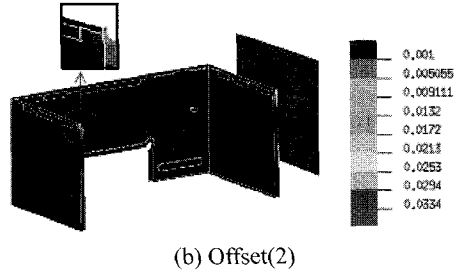


Fig. 7 Effective stress of longitudinal offset clamping (GPa)



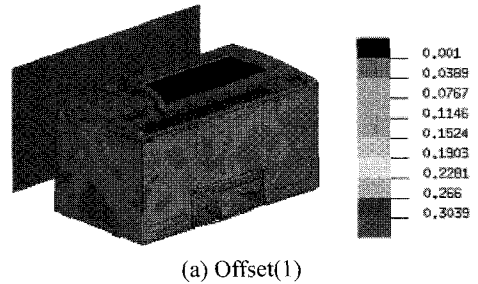
(a) Offset(1)



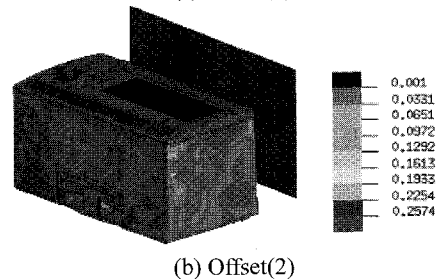
(b) Offset(2)

Fig. 8 Plastic strain of longitudinal offset clamping

Fig. 9 와 Fig. 10 은 단축 오프셋 클램핑 해석결과로 나타나는 최대 유효응력과 소성변형률을 각각 나타낸다. 장축과 마찬가지로 단축 오프셋에서의 응력은 상부 EPS 와 접하는 외판에서 크게 발생한다. 오프셋 클램핑 해석에서 발생하는 주요 변형부는 도어 상부의 에어덕트 주위의 외판 모서리 부분이다. 에어덕트는 도어부나 제어판에 비하여 강성이 낮은 플라스틱 사출물이므로 변형이 쉽게 일어난다. 외판은 이러한 에어덕트의 변형으로 하중을 직접 받게 되며, 모서리부는 응력집중으로 인해 소성변형이 발생하게 된다. 장축에 비하여 단축 클램핑의 경우에는 강성이 약한 에어덕트가 하중방향에 수직하게 놓여지므로 변형이 크게 발생하는 것으로 판단된다. 클램핑 하중의 크기는 전면과 오프셋일 때 동일하지만, 오프셋 클램핑의 경우 하중전달 면적이 전면 클램핑에 비하여 작기 때문에 상대적으로 변형이 크게 발생하게 된다.



(a) Offset(1)



(b) Offset(2)

Fig. 9 Effective stress of transverse offset clamping (GPa)

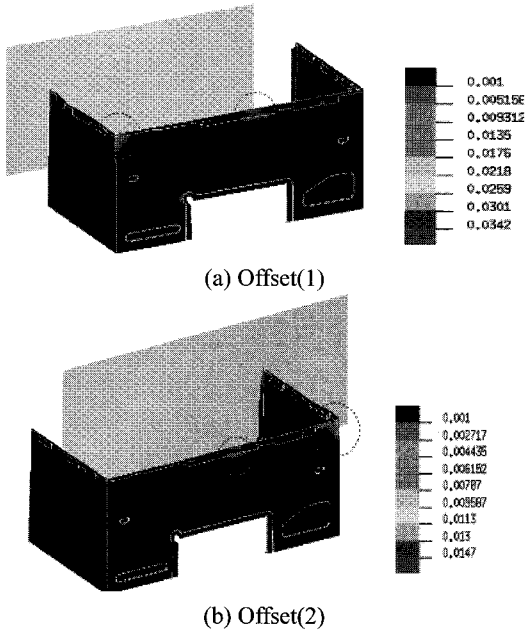


Fig. 10 Plastic strain of transverse offset clamping

Fig. 11 은 클램핑 실험에서 얻어진 전자레인지의 변형 모습이다. 클램핑 실험결과는 해석결과와 유사하게 외판의 모서리 부분 및 외판의 상부면 중앙에서 변형이 발생하였다. Fig. 12 는 클램핑 실험후의 상부 EPS 의 형상을 나타낸다. 상부 EPS 는 전면 오프셋에서는 하중을 하부 EPS 와 분담하여 받지만 오프셋 클램핑에서는 하중을 모두 전달받기 때문에 변형이 크게 발생하며, 점선 위치에서 크게 꺾어진 변형을 볼 수 있다. 외판의 상부면 중앙부분이 변형되는 이유는, Fig. 13 과 같이 상부 EPS 의 측면이 전자레인지의 외판 전체를 둘러싸지 못하고 단축 클램핑에서 상부 EPS 의 측면 중앙의 돌출부분(점선 원)에 의해 외판의 이 위치에 하중이 집중되기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. Fig. 14 는 단축 오프셋 해석에서 나타난 외판의 유효응력을 나타내는데, 외판의 가운데 부분의 응력이 높게 나타남을 알 수 있다.

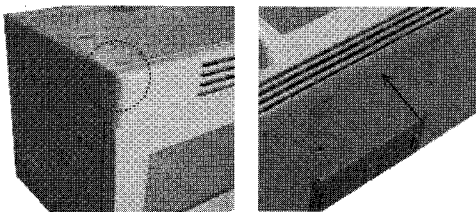


Fig. 11 Result of clamping test - outer case plate

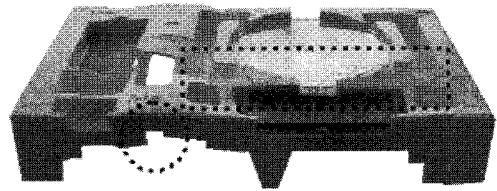


Fig. 12 Result of clamping test - upper EPS

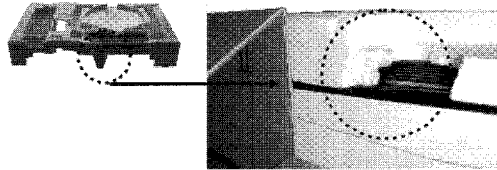


Fig. 13 Packed shape of EPS

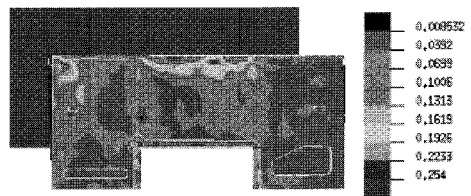


Fig. 14 Effective stress of outer case plate by transverse offset(1) clamping

5. 설계개선안의 클램핑 해석

5.1 설계개선안 도출

EPS 는 클램핑 하중을 일정량 흡수하여 전자레인지 본체로 전달되는 하중을 완충하는 역할을 담당한다. 기존설계안에서는 Fig. 12 와 같이 상부 EPS 에 과도한 국부 변형이 발생하였다. 상부 EPS 는 전면 클램핑 하중에 비하여 오프셋 클램핑 하중을 가할 때 변형이 크게 발생하며, 이로 인하여 전자레인지의 외판에 변형을 발생시킨다. 이는 오프셋 하중이 가해질 때 클램핑 하중이 상부 EPS 로만 전달되기 때문이다.

Fig. 15 는 상부 EPS 의 기존설계안과 설계개선안을 비교하여 나타낸 것이다. 기존 상부 EPS 의 A 와 B 부분은 장축과 단축 방향의 형상 연속성이 끊어지는 구조이므로, 클램핑 하중이 가해질 때 국부적으로 과도한 변형이 발생한다. 상부 EPS 설계개선안은 기존설계안의 A, B 부분에 연속성을 부여하여 국부적 변형을 줄이고 완충 성능을 충분히 발휘할 수 있도록 하였다. 또한 EPS 의 외곽부분의 높이를 높여(Fig. 15(b)의 화살표 위치) 클램핑 하중의 전달면적을 높였다.

전자레인지 외관은 제품의 외관을 나타내는 부분으로서, 강성을 증대시키기 위해 외관을 복잡하게 설계하면 소비자의 제품 선택에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 전자레인지 외관은 면비드(face bead)를 삽입함으로써 전체적인 외형 변화를 최소화하면서 강성을 높이는 설계가 필요하다. 면비드는 압축하중이 발생할 때 외관의 굽힘강성을 높여주게 된다. 면비드 삽입시에 내부 부품과의 간섭이 발생하지 않도록 설계하여야 한다. Fig. 16 은 면비드를 삽입한 외관의 설계개선안을 나타낸다. 내부 부품과의 간섭이 적은 좌우 측면은 전체 면적에 단일 비드를 삽입하고, 상부면은 내부 부품과의 간섭을 피할 수 있도록 폭이 단축 길이의 절반 정도인 면비드를 삽입하였다.

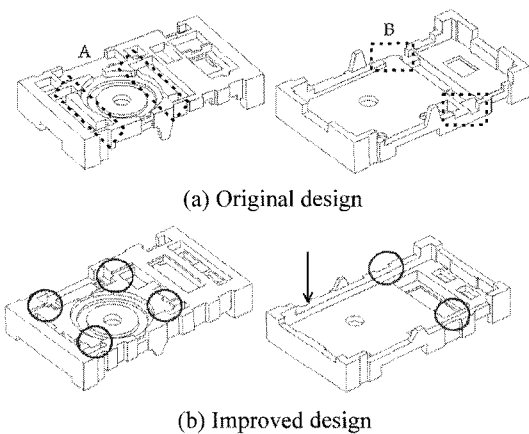


Fig. 15 Improved design of upper EPS

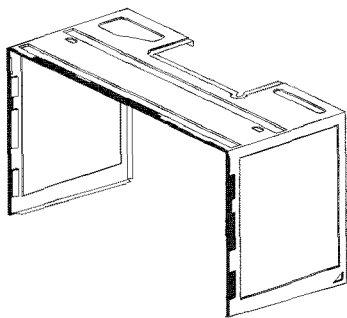


Fig. 16 Improved design of the outer case plate

5.2 설계개선안 해석 결과

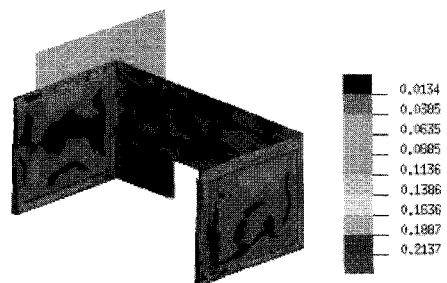
앞 절에서 기술된 설계개선안의 클램핑 해석은 기존설계안 해석에서 변형이 발생한 오프셋 클램핑에 대해서만 실시하였다. 장축 오프셋 해석 결

과 소성변형이 발생하지 않았다. 그리고 Fig. 17 은 외관의 유효응력 분포를 나타내는데, 기존설계안 해석 결과의 외관 모서리 부분(Fig. 7 의 점선 원 위치)에서 발생한 응력 집중이 저감된 것으로 나타났다.

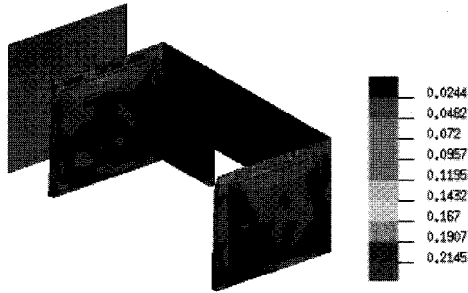
Fig. 18 은 단축 오프셋 클램핑 해석결과와 소성 변형률을 나타낸다. 단축 오프셋(1)의 경우에는 소성 변형률이 기존설계안 Fig. 10(a)의 0.0342 에서 0.0133 으로 61% 감소하고, 단축 오프셋(2)의 경우에는 기존설계안 Fig. 10(b)의 0.0147 에서 0.0106 으로 38% 감소하였다.

Fig. 19 는 기존설계안과 설계개선안의 오프셋 (1)의 클램핑 해석결과 상부 EPS 의 변형형상으로서, 해석시간 35 ms 에서 클램퍼가 더 이상 움직이지 않을 때의 형상을 나타낸다. 기존설계안의 상부 EPS 는 단축과 장축의 형상 연속성이 끊어지는 부분에서 과도한 변형이 발생하지만 설계개선안 상부 EPS 의 경우에는 국부적 과도 변형보다는 전체적으로 변형이 일정하게 발생함을 알 수 있다.

이와 같이 외관과 상부 EPS 의 설계개선을 통하여 클램핑 하중에 대한 제품의 안전성을 크게 높일 수 있을 것으로 판단되어, 도출된 설계개선안을 반영한 시작품(prototype)을 제작하여 클램핑 실험을 실시하였다. Fig. 20 은 제작된 시작품의 실제 사진을 나타내는데, 측면 전체 면적에 면비드가 삽입된 외관 형상을 확인할 수 있다. 이 시작품의 외관 크기는 전면에서 볼 때 좌우방향 폭, 전후방향 폭, 높이가 각각 602 mm, 326 mm, 411 mm 이며 중량은 23.6 kg 이다. EPS 시작품의 형상은 Fig. 15(b)와 동일하다. 시작품의 클램핑 실험결과에서는 기존설계안에서 발생했던 외관과 상부 EPS 의 소성변형이 전혀 발생하지 않았으며, 이를 통하여 본 연구에서 도출한 외관과 상부 EPS 의 설계개선안이 클램핑 하중에 대하여 안전성을 보장하는 설계안임을 검증하였다.



(a) Offset(1)



(b) Offset(2)

Fig. 17 Effective stress of longitudinal offset clamping for improved design (GPa)

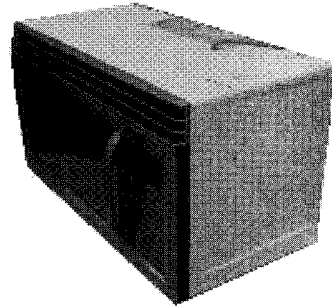


Fig. 20 Prototype of the improved microwave oven

6. 결론

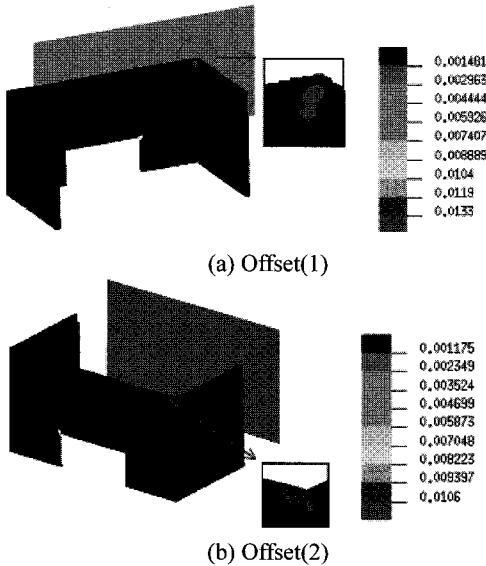
본 연구를 통해 운송과정에서 전자레인지 포장품에 가해질 수 있는 클램핑 하중에 대한 유한요소 해석 모델링과 해석 방법을 제시하였다. 해석 결과는 기존설계안의 규격시험결과와 비교하여 정확성을 검증하였다.

포장품에 가해지는 클램핑 하중은 제품의 포장방향과 하중의 전달면적에 따라 크기가 다른 변형을 발생시킨다. 오프셋 클램핑은 전면 클램핑에 비하여 하중 전달면적이 작기 때문에 단위면적당 작용하중이 크게 되어 변형이 더 많이 발생한다. 본 연구대상 전자레인지 포장품의 경우에는 단축 클램핑에서 변형이 크게 발생하였다. 이는 장축의 경우 상대적으로 강성이 큰 도어부와 제어판이 클램핑 하중방향을 따라 배치되지만 단축의 경우에는 강성이 낮은 에어덕트가 클램핑 하중방향을 따라 배치되기 때문이다.

오프셋 클램핑 하중은 상부 EPS 를 통해서 전자레인지 본체에 하중을 전달한다. 따라서 상부 EPS 는 클램핑 하중을 최대한 흡수하여 제품손상을 줄이도록 설계되어야 한다. 기존설계안의 상부 EPS 는 하중방향에 취약한 구조로 설계되어 국부적 변형이 발생하였으며, 상부 EPS 취약부분의 설계개선을 통하여 하중을 분산하는 구조를 도출하였다. 또한, 클램핑 하중에 대한 강성을 증대시키기 위한 전자레인지 본체의 구조설계 방안으로서 외판의 면비드 설계안을 제시하였다.

가전제품의 기구설계 및 포장설계 단계에서 본 연구에서 제시한 해석방법을 활용함으로써, 보다 효율적으로 취약부의 설계개선안을 도출하고 포장품 운송과정에서의 파손을 방지할 수 있다.

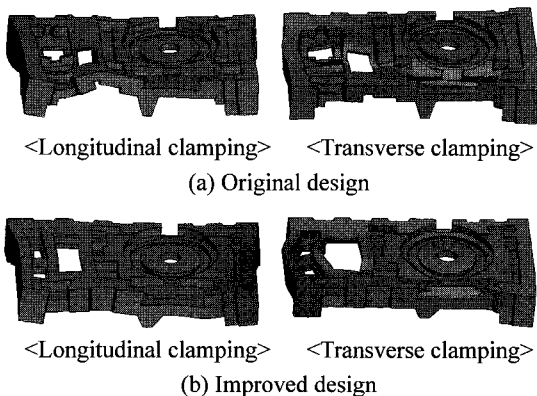
참고문헌



(a) Offset(1)

(b) Offset(2)

Fig. 18 Plastic strain of transverse offset clamping for improved design



<Longitudinal clamping>

<Transverse clamping>

(a) Original design

<Longitudinal clamping>

<Transverse clamping>

(b) Improved design

Fig. 19 Comparison of deformed shape of upper EPS from offset(1) clamping analysis

1. ASTM D642, "Standard Test method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads," American Society for Testing and Materials.
2. ISTA Procedure 2A, "Packaged-Products Weighing 150 lb(68kg) or Less," International Safe Transit Association.
3. Kim, C. S., Na, J. M., Kim, J. H. and Chung, H. S., "Drop Analysis of Micro Wave Machine with I-DEAS and LS-DYNA," Technical Paper, Samsung Electronics, 2001.
4. LS-DYNA3D, "Keyword User's Manual," LSTC 1999.
5. Cho, W. J., Kim, H., Lee, C. S. and Lee, D. R., "Drop-Impact Simulation of Micro Wave Oven," HANPAM 2000 Users Conference in Korea, pp. 61-67, 2000.
6. Noh, K. C., "A Study on the Door Interlock and the Door Opening Force of a Microwave Oven," Dept. of Intelligent Machinery System, M. S. Thesis, Busan University, 1999.
7. Lee, B. Y. and Koo, J. Y., "Evaluation of Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven by Transient Response Analysis," Trans. of the KSME (A), Vol. 29, No. 9, pp. 1282-1288, 2005.
8. Lee, B. Y. and Koo, J. Y., "Analysis of Twisting Deformation and Structural Design of the Door Frame of a Microwave Oven to Decrease Leakage of Microwave," J. of KSPE, Vol. 22, No. 12, pp. 141-148, 2005.
9. Lee, B. Y., Koo, J. Y. and Kim, W. J., "Structural Design of the Door Frame of a Microwave Oven to Decrease Its Twisting Deformation Using Dynamic Analysis," J. of KSPE, Vol. 23, No. 8, pp. 145-153, 2006.
10. Lee, B. Y. and Koo, J. Y., "Shape Optimal Design of the Door Frame of a Microwave Oven to Minimize Its Twisting Deformation," Trans. of the KSME (A), Vol. 30, No. 8, pp. 1016-1023, 2006.
11. Lee, B. Y., Koo, J. Y. and Kim, W. J., "Shape Optimal Design to Minimize Dynamic Twisting Deformation of the Door Frame of a Microwave Oven," Trans. of the KSME (A), Vol. 30, No. 11, pp. 1479-1485, 2006.
12. KS A 1513, Korean Standards Association, 1996.
13. PAM-SYSTEM, "Reference Manual," PAM System International, 2002.
14. CATIA V5, "Online Help Manual," Dassault Systems, 2003.
15. MSC PATRAN, "Reference Manual," MSC Software, 2003.