

드럼 세탁기 포장재 낙하해석 및 완충 특성§

김창섭**† · 배봉국* · 성도영**

* 삼성전자 생활가전사업부 개발팀, ** 삼성전자 CS 환경센터

Drop Analysis of a Package and Cushion Performance of Drum Washing Machine

Chang Sub Kim†, Bong Kook Bae* and Do Young Sung**

* Samsung Electronics CS Environment Center

** Samsung Electronics Digital Appliances Business R&D Team

(Received May 13, 2010 ; Revised August 12, 2010 ; Accepted August 17, 2010)

Key Words : Drop Impact(낙하 충격), EPS(Expanded Polystyrene, 발포 폴리스티렌), Cushioned Package(완충 포장), Drum Washing Machine(드럼세탁기)

초록: 대형 드럼세탁기의 낙하 충격에 대한 포장재의 동적 거동 분석을 수행하였다. 해석에는 충격 해석에 널리 쓰이고 있는 LS-DYNA 를 사용하였으며, 자유 낙하 시의 충격 가속도와 유효 응력, 그리고 고속 카메라를 통한 포장재 압축 변형 비교를 통해 해석 결과의 신뢰성을 검증하였다. 완충 특성 및 포장재 구조에 대한 파라미터 분석을 통해 기존 포장 구조에 대한 설계 개선안을 도출하였으며, 유통 시험을 통해 유효성을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 해석 기법 및 분석 방법 등을 통해, 향후 드럼 세탁기의 완충 성능 및 재료비 개선에 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: The analysis of the dynamic behavior of the packaging of a drum washing machine has been carried out under the drop impact conditions. LS-DYNA software is used for performing the finite element analysis, and the validations are performed by comparing with the impact acceleration, effective stress and deformation of cushioned package with high-speed camera during free drop test. By analyzing the cushion characteristics and the design parameters of the original packaging, a packaging with an improved design is developed, and this design is validated on the basis of the results of the distribution test which consists of drop test, vibration test, stacking test, squeeze test and so on. The drop impact simulation and analysis methods developed in this study can be adopted to successfully improve the cushioning provided by the packaging and to reduce the cost involved in developing new packaging for drum washing machines.

1. 서론

전자 제품은 생산에서부터 소비자에게 전달되기까지 복잡한 유통 경로를 거친다. 특히, 유통 과정에서 제품이 받는 낙하 충격은 제품 파손에 가장 큰 위험 요소이며, 이를 예방하기 위해 제품에 완충 포장을 실시하고 있다. 전자 제품의 완충 포장재로는 가격 대비 완충 성능이 우수한 EPS (Expanded Polystyrene, 발포 폴리스티렌)가 널리 사용되고 있다.

요즘은 설계 표준화 및 공용화가 일상화 되면서 세탁기, 냉장고 등의 대형 전자 제품들은 신규 모델이 개발되더라도 기존의 포장재를 공용으로 사용할 수 있도록 제품 개발이 이루어지고 있다. 따라서, 초기 모델에서 낙하 충격을 효과적으로 완충할 수 있도록 설계되지 않으면 이 후에 포장재가 공용으로 사용되는 신규 모델을 개발할 때마다 유통 시험에서 시행 착오와 납기 지연 등의 어려움을 반복적으로 겪게 된다.

드럼 세탁기의 경우 대용량화 추세에 따라 제품의 치수 및 중량은 증가되고 있지만, 원가 절감을 위해 재료 두께 등은 비례해서 증대되지 않아 포장재의 효율적 설계 요구는 더욱 커지고 있다.

이러한 요구로 인해 전자 제품들의 포장재에 관한 충격 해석 및 평가에 관한 연구가 활발하게 이

§ 이 논문은 2010년도 대한기계학회 재료 및 파괴부문 춘계학술대회(2010. 4. 22.-23., 라테나콘도) 발표논문임.

† Corresponding Author, changsub.kim@samsung.com

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

루어 지고 있으며,⁽¹⁻⁶⁾ 초고속 카메라를 통한 거시적 변형 분석 등도 도입되고 있다.⁽⁷⁾ 충격을 고려한 시험 평가 방법은 ASTM (American Society for Testing and Materials) 및 ISTA (International Safe Transit Association)에 의하여 표준화 되었으며,⁽⁸⁾ 이 기준에 따라 전자 제품의 낙하 충격에 대한 최적 설계 해석 기법도 활발히 적용되고 있다.^(9,10)

본 연구에서는 드럼 세탁기 포장 제품을 대상으로, 해석 및 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 기존의 낙하 충격 검증 외에 유효 응력의 추가 검증, 고속 촬영된 포장재 변형에 대한 구체적 데이터 분석 등을 수행하였다. 포장재의 완충 구조 분석을 통해 36cm 낙하에서 제품 손상이 없는 포장 구조 개선안을 도출 하였으며, 유통 시험 검증을 통해 개선 효과를 확인 하였다.

2. 낙하 충격 해석

2.1 드럼세탁기의 포장 구조

드럼 세탁기의 기구 및 포장 구조를 Fig. 1에 간략하게 도식화 하였다. 드럼 세탁기는 외관 Frame 안에 세탁을 하는 Tub 가 Spring 과 Damper 로 체결되는 구조로 되어 있다. 따라서 제품 사용 시에는 내부 Tub 가 단단하게 고정되어 있지 않고 어느 정도 자유롭게 움직이는 구조이다. 하지만, 제품이 유통 되는 과정에서 Tub 가 움직이게 되면 외관 Frame 과 충돌로 인한 변형, 파손 등이 발생하기 때문에 별도의 고정 Bolt 를 사용하여 Frame 과 Tub 를 고정하게 된다.

완충 포장재는 상부 포장재, 측면 포장재, 하부 포장재의 3 개로 구분이 된다. 특히 하부 포장재는 제품 하부를 통해 Frame 과 Tub 를 동시에 완충하고 있다.

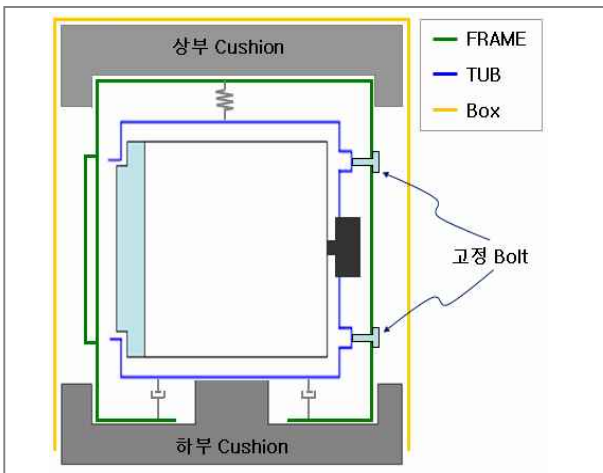


Fig. 1 Packaging structure of drum washing machine

포장 Box 는 공장에서의 제조 공정 작업과 고객 집에서의 포장 해체를 용이하게 하기 위해 하부가 개방되어 있는 구조를 채택하고 있다.

이상에서 알 수 있듯이 드럼 세탁기는 하부 포장재가 Tub 를 지지하고 있지만, 무거운 Tub 를 견고하게 붙잡고 있는 곳은 고정 bolt 뿐이다. 때문에 낙하 시 고정 Bolt 와 고정 Bolt 부위의 Frame 과 Tub 등에서 많은 문제가 발생하고 있다.

일반적으로 전자제품이 낙하 충격으로 인해 문제가 발생하게 되면, 충격에 대한 완충을 높이는 포장 설계와 제품 자체의 강성을 높이는 기구 설계가 동시에 이루어 져야 한다.^(5,8)

하지만, 실제로는 동시에 둘 다 개선하는 방향으로 진행되는 경우는 거의 없으며, 대부분 개선 기간이 짧게 소요되는 한가지 방향으로 진행되게 된다.

지금까지의 대부분의 연구 결과들^(1,3-6)은 제품의 강성을 높이는 측면으로 연구가 되어왔으며, 일부 포장재의 완충 성능에 대한 연구 결과들^(9,10)도 단순히 포장재 구조를 변경해 보았을 뿐 포장재 완충에 대한 이론적인 접근은 시도되지 못했었다.

본 연구에서는 포장재의 완충 특성을 이론적인 근거에 의해 분석하여 개선하고자 하였다.

2.2 경계조건 및 해석 모델

시간 t에 대한 운동 방정식은 다음과 같이 표현 된다.

$$[M]\{\ddot{u}_t\} + [C]\{\dot{u}_t\} + [K]\{u_t\} = \{R_t\}$$

여기에서 [M]은 집중질량 매트릭스, [C]는 댐핑 계수 매트릭스, [K]는 강성 매트릭스, {u}는 변위 벡터, {R}은 외력 벡터이다.

해석에는 충격 해석에 가장 널리 쓰이고 있는 LS-DYNA 를 사용하였다. LS-DYNA 같은 외연적 (Explicit) 해석은 시간적분에 대해 중앙 차분법을 사용하므로

$$\ddot{u}_n = \frac{u_{n+1/2} - u_{n-1/2}}{\Delta t} = \frac{u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}}{\Delta t^2} \quad \dot{u}_{n+1/2} = \frac{u_{n+1} - u_n}{\Delta t}$$

을 사용하여 이산화하면, 운동 방정식은

$$\left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] + \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)u_{n+1} = R_n - \left([K] - \frac{2}{\Delta t^2}[M]\right)u_n - \left(\frac{1}{\Delta t^2}[M] - \frac{1}{2\Delta t}[C]\right)u_{n-1}$$

물리적 댐핑이 없다고 하면, 운동 방정식은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{1}{\Delta t^2}[M]u_{n+1} = R_n - \left([K] - \frac{2}{\Delta t^2}[M]\right)u_n - \frac{1}{\Delta t^2}[M]u_{n-1}$$

여기에서, 안정적인 해석 결과를 가지기 위해 시간 증분은 다음의 조건을 가진다.

$$\Delta t_{stable} = \frac{l_{min}}{C}$$

l_{min} 은 유한 요소의 최소 길이, C는 종파의 전달 속도이다. 따라서, 유한요소 모델의 요소 크기가 작을수록 시간 증분이 작아져 계산 시간이 길어지게 되므로 계산 시간과 해석 정확도를 고려한 효율적인 요소 모델링이 요구된다.

Fig. 2에서 관심 부위인 완충 포장재는 압축에 의한 변형을 표현하는데 적합한 8절점을 갖는 brick 요소와 수치해석 상의 정확도에 영향을 미치지 않는 범위에서 삼각기둥 요소를 사용하였다. 재질은 Crushable form으로 설정하였으며 23,770개의 절점과 17,957개의 요소로 구성되었다.^(1,4,9,11) 상대적으로 중요도가 떨어지는 제품 내부의 부품들은 계산 시간을 줄이기 위해 단순화하여 모델링하였다. Frame과 Tub는 고정 Bolt가 체결 되는

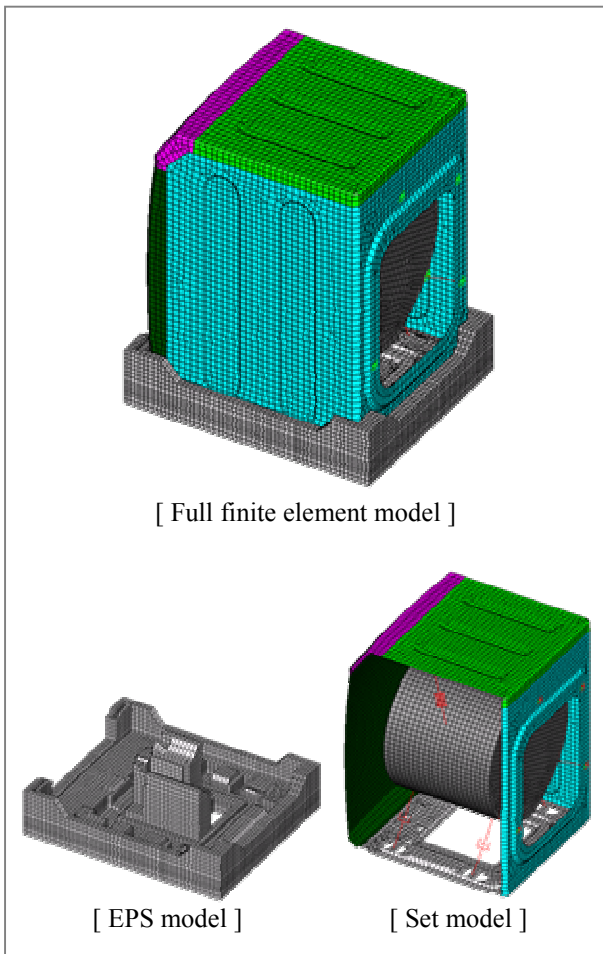


Fig. 2 Finite element model for package drop

부위와 하부 포장재와 맞닿는 부위는 자세하게 모델링 하였으나, 그 외의 부위는 단순화하여 모델링 하였다. 동일한 사유로 측면 Cushion과 골판지, Box 등은 모델링을 생략하였다.

제품은 대부분 Shell 요소로 모델링 되었으며, 일부 Spring, Damper, Rigid Bar 요소 등을 사용하였다. 11,439개의 절점과 29,333개의 요소가 사용되었다.

완충 포장재와 제품과의 접촉은 LS-DYNA에서 지원하는 Automatic Single Surface Contact을 사용하여 자동적으로 처리되도록 하였다. 완충 포장재의 재료는 발포 배율 40배의 EPS로서 응력-변형률 곡선은 Fig. 3에 도시하였다. 해석에 사용된 밀도는 0.025g/cm³이다.

높이 h에서의 낙하충격 해석을 위하여 바닥면을 강체 벽(rigid wall)으로 모델링하여 제품과 접촉을 정의하였다.

해석 시간을 줄이기 위하여 36cm 높이에서 자유낙하 하였을 때의 속도를 초기속도로 부여 하였다.^(1,4,7,9,11)

초기 속도는 에너지 보존의 법칙에 의하여 아래와 같이 구하여진다.

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

낙하 방향은 제품 특성 및 낙하시험 규격을 통해 Bottom 방향으로 설정하였다. 해석 시간은 낙하 충격으로 EPS가 변형 되었다가 원상 복구되는 구간까지 15msec 동안 수행하였다.

Fig. 4는 낙하 시 시간에 따라 제품에 발생하는 에너지 분포를 통해 해석 수렴성을 확인하였다. 충돌 직전의 운동 에너지가 낙하 충돌 후 변형 에너지로 바뀌고 있음을 보여주고 있다. 불안정한 변형 모드를 유발시키는 가성 에너지(Hourglass energy)는 변형 에너지에 비해 무시할 수 있는 수

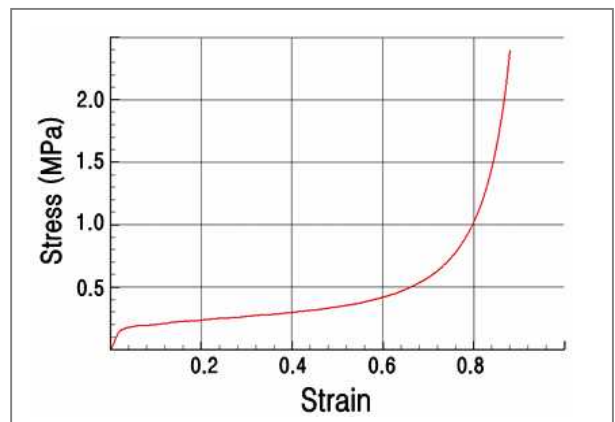


Fig. 3 Stress-Strain curve of EPS 40

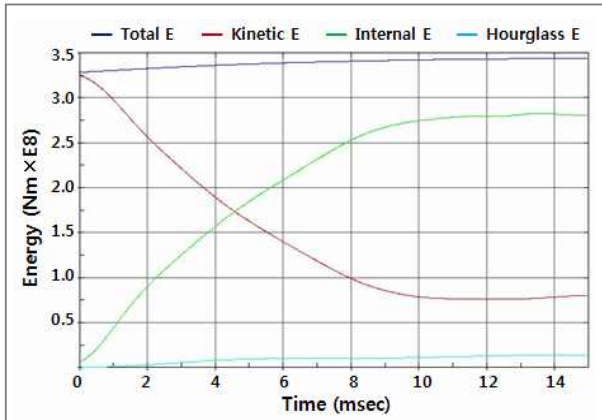


Fig. 4 Energy distribution over time in drop test

준이며, 전체적인 에너지 분포도 타당하게 나타나고 있어 본 해석이 제대로 수행되었음을 알 수 있다.

3. 실험 비교 검증

본 연구에서는 기존의 여러 분석 기법들을 좀더 체계적이고 구체적으로 비교 검증 함으로써 신뢰성 있는 해석 기법을 마련하고자 하였다.

해석 검증 방법은 첫째, 실제 제품의 낙하 실험으로부터 구한 특정 위치의 충격 가속도 결과를 해석 결과와 비교함으로써 제품의 국부적인 위치에서 결과의 신뢰성을 검증하였다.

둘째, 본 연구에서는 추가적으로 실제 제품의 낙하 실험 시 변형이 많이 발생하는 특정 위치의 유효 응력 결과와 해석 결과를 비교함으로써 결과의 신뢰성을 높였다.

셋째, EPS 압축 변위를 고속 촬영하여 시물레이션과 비교하였다. 기존 연구⁽⁷⁾에서는 포괄적인 거동 현상 확인에만 머물렀으나, 본 연구에서는 촬영된 영상으로부터 포장재의 압축 변위를 수치적으로 분석하였으며, 이를 통해 하부 포장재의 Frame 을 완충하는 부분과 Tub 를 완충하는 부분의 압축 변위 불균형에 따른 취약 부위와의 상관관계를 분석하였다.

Fig. 5 와 Fig. 6 은 낙하 시험 모습과 낙하 시험기에 대한 그림을 나타 내었다. 낙하 시험기는 미국 Lansmont(社)의 PDT227 모델로서 제품의 수평을 유지하면서 낙하시키는 방식으로 되어 있다.

Fig. 7 은 Strain gage 와 가속도계의 부착 위치를 나타내고 있다. 포장재의 완충 성능을 측정하기 위해 제품 하부의 강성이 강한 부위에 가속도계를



Fig. 5 Experiment Set up

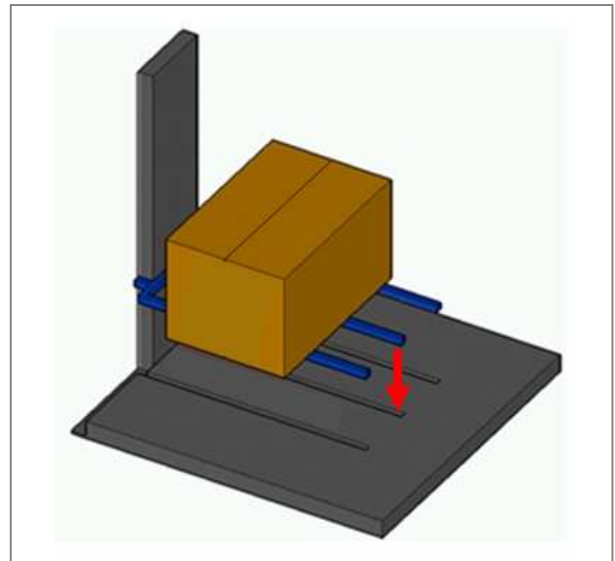


Fig. 6 Drop Tester (PDT227, Lansmont co.)

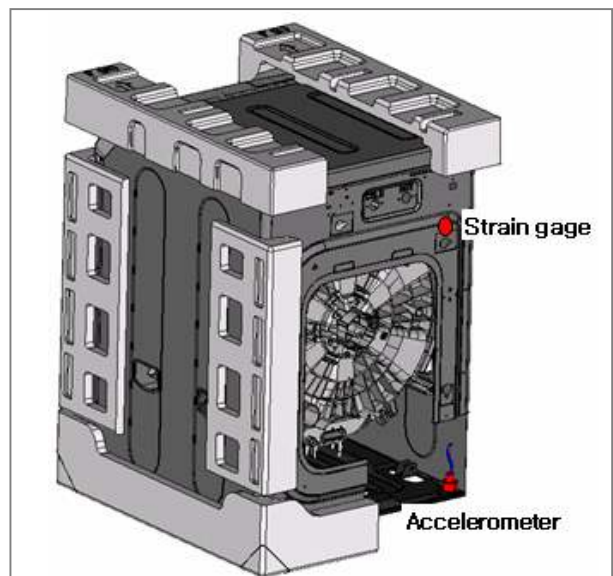


Fig. 7 Test location of accelerometer & strain gage

Table 1 Accelerations of simulation and experiment

| | Simulation | Experiment |
|--------------|------------|------------|
| Acceleration | 68.4 G | 58.6 G |

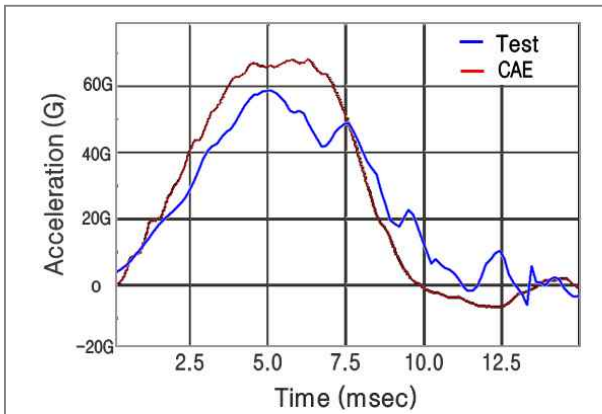


Fig. 8 Accelerations of simulation and experiment

부착하여 충격 가속도를 측정 하였으며, Strain gage 는 고정 Bolt 부근의 변형이 많이 발생하는 Frame 에 부착하여 유효 응력을 측정하였다.

3.1 충격 가속도 검증

PCB(社) 339A30 모델의 3 축 가속도계(Range : ±500g, Size : 10x10x10 mm)를 사용하여 측정하였다.

Table 1 과 Fig. 8 에 해석과 실험의 충격가속도 피크 레벨 및 충격 파형을 비교하여 나타내었다.

해석 결과가 약 10G 정도 높게 나타나고 있는데, 그 이유는 실제 제품의 부품들 간에는 Bolt 나 용접으로 체결되어 있으나, 해석 모델에서는 계산 시간을 줄이기 위하여 부품들간의 절점을 공유 하여 하나의 부품처럼 표현하고 형상을 단순화 하였기 때문으로 판단된다.⁽¹⁾

충격가속도 파형을 비교해 볼 때, 전반적으로 실험 결과와 잘 들어 맞는 것으로 판단된다.

3.2 유효 응력 검증

KYOWA(社) KFG 모델의 3 축 로제트 게이지 (Gage Length : 1mm, Resistance : 120Ω)로 측정하였다. Fig. 9 는 고정 Bolt 부근 로제트 게이지의 부착 모습이다.

3 축 로제트 게이지의 응력 측정 원리는 아래와 같다.

$$S_1 = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} + \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{\sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c)^2}}{2}$$

Table 2 Stresses of simulation and experiment

| | Simulation | Experiment |
|-------------------|------------|------------|
| Von Misses Stress | 355 MPa | 370 MPa |

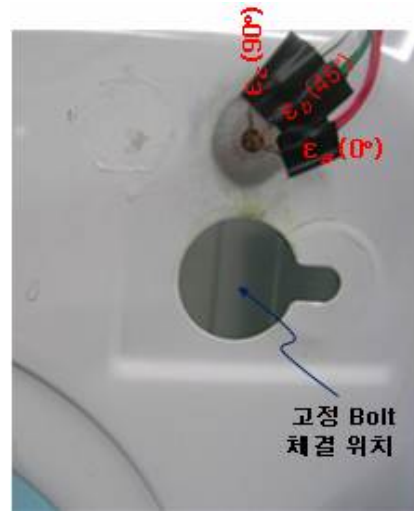


Fig. 9 Adhesive image of strain gage

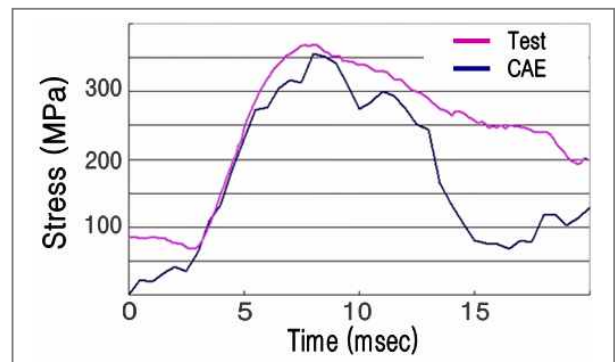


Fig. 10 Stresses of simulation and experiment

$$S_2 = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} - \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{\sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c)^2}}{2}$$

$$S_{Eff} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} - S_1 \cdot S_2$$

여기에서 S₁, S₂ 는 주응력 이며, S_{Eff} 는 Von Misses 유효 응력이다.

Table 2 와 Fig. 10 에 해석과 실험의 최대 응력 과 응력 파형을 비교하여 나타내었다. 해석과 실험의 유효 응력이 유사한 수준으로 나타나고 있다.

3.3 포장재의 압축 변위 검증

하부 Cushion 의 Frame 과 Tub 를 완충하는 부위를 Fig. 11 에 도식적으로 표현하였다. 고정 bolt 가 Tub 를 체결하고 있지만, 하부 포장재도 Tub 를 지지하여 낙하 시 충격을 완충하는 구조이다.

Fig. 12 는 Photron(社)의 Fastcam - APX RS 초고속 카메라를 사용하여 촬영한 낙하 시간별 포장재의 변형 거동이다. 512×1,024 픽셀에서 5,000 frames/sec 으로 촬영하였으며, 하부 포장재의 Tub 완충 부위와 Frame 완충 부위의 변형량을 시각적으로 확인할 수 있다. 낙하 시간 별 하부 포장재의 Frame 과 Tub 완충 부위 상세 변형 데이터는 Table 3 과 Fig. 13 에 나타내었다. Frame 대비 Tub 를 지지하는 부위의 포장재 압축 변형이 약 1.6 배 크게 나타나고 있다. 이것은 고정 Bolt 부위의 변형 문제와 관련이 큰 것으로 판단된다.

Table 3 Cushion deformations of Frame & Tub cushion area

| | Simulation | Experiment |
|-----------------------|------------|------------|
| Cushion area of Frame | 15.8 cm | 16 cm |
| Cushion area of Tub | 25.5 cm | 27 cm |

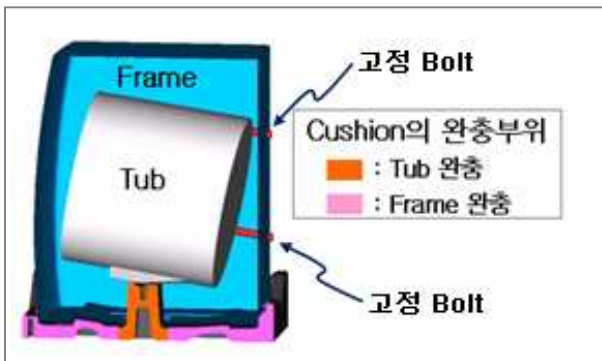


Fig. 11 Cushion area of lower cushion

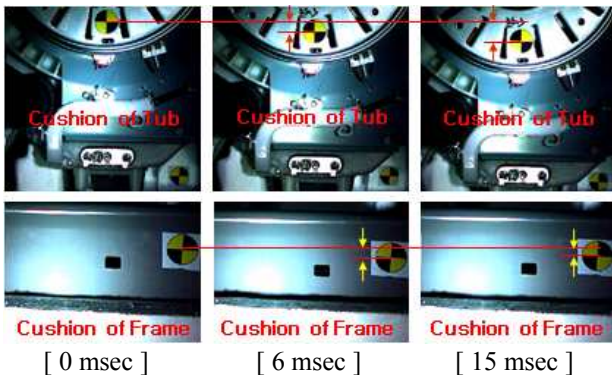


Fig. 12 Cushion deformation at drop test

4. 설계 개선안 파라미터 설계

4.1 완충 포장재의 접촉 면적

완충 포장재 설계 시 주어진 포장 재질, 두께, 그리고 낙하 높이의 결합에 대한 정적응력-가속도 선도로부터 최적의 접촉 면적을 결정할 수 있다.

Fig. 14 는 두께 5cm 의 EPS 40 배를 36cm 에서 낙하할 경우 정적 응력과 가속도와와의 관계이다. 그림으로부터 이론적으로 제품에 전달되는 충격이 가장 적게 발생하는 조건은 정적 응력이 0.08~0.1 kgf/cm² 일 때이며, 충격은 약 40G 이다.

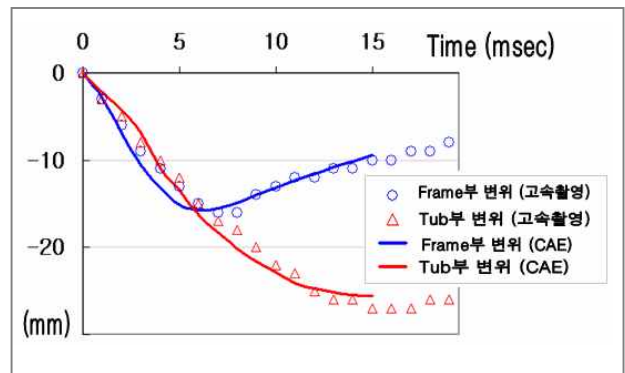


Fig. 13 Cushion deformations of Frame & Tub cushion area

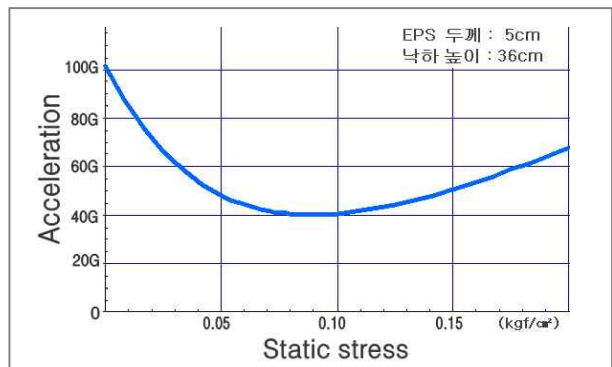


Fig. 14 Cushion curve of EPS 40

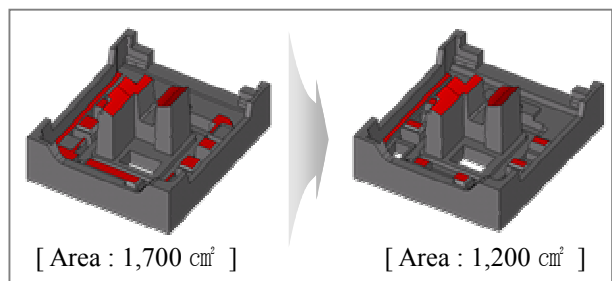


Fig. 15 Optimal design parameter; Cushion area

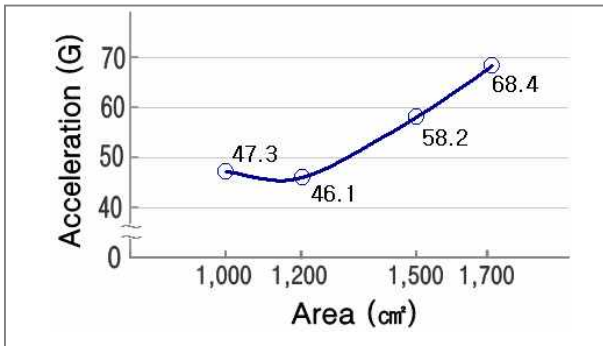


Fig. 16 Acceleration results as to cushion area

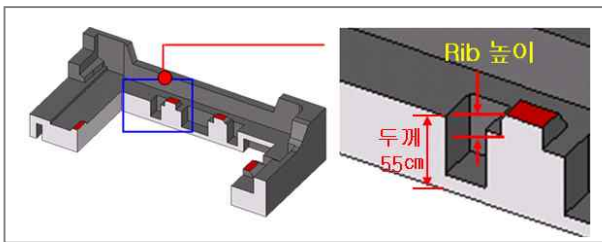


Fig. 17 Optimal design parameter; Cushion rib height

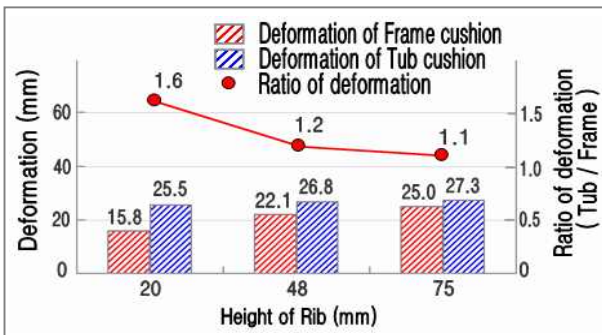


Fig. 18 Deformation results as to cushion rib height

현재 완충 포장재의 접촉 면적은 1,700 cm²이고 제품 무게는 약 95kg 이므로, 정적 응력은 약 0.56 kgf/cm²이다. 따라서, 현재 완충 포장재의 접촉 면적이 과다하게 설계되어 있으므로 Fig. 15 와 같이 완충 면적을 1,500 cm², 1,200 cm², 1,000 cm²으로 줄여가며 최적의 완충 면적을 찾기 위한 해석을 수행하였다.^(9,10)

해석 결과를 Fig. 16 에 그래프로 표시하였다. 포장재의 접촉 면적이 1,200 cm²일 때 완충 성능이 최적으로 나타났으며, 충격 가속도는 46.1G 로 기존 대비 약 33% 개선되는 것으로 해석되었다. 이 때의 정적 응력은 약 0.08 kgf/cm²에 해당한다.

4.2 완충 포장재의 Rib 높이

낙하에서 Frame 대비 Tub 를 지지하는 완충 포장재의 압축 변위량이 1.6 배 큰 이유는 Frame 을 지지하는 부위의 포장재 강성이 더 크기 때문으로

Table 4 Stress and Acceleration results as to cushion rib height

| Rib Height | 20 mm | 48 mm | 75 mm |
|-------------------|---------|---------|---------|
| Von misses Stress | 355 MPa | 250 MPa | 235 MPa |
| Acceleration | 68.4 G | 67.3G | 67.2G |

판단된다. 따라서 Frame 과 직접적으로 접촉하지 않는 부분의 포장재 높이를 낮춤으로써, 리브 높이가 커지고 강성은 낮아지게 하였다.

Fig. 17 은 하부 포장재의 Rib 구조를 보여준다. Rib 높이는 기존의 20 mm부터 48 mm, 75 mm까지 순차적으로 변경하면서 해석을 수행하였다.^(9,10)

Fig. 18 에서 완충 포장재의 Rib 높이가 48 mm로 커지면 Frame 대비 Tub 부위 EPS 의 압축 변위 불균형이 1.2 배까지 개선되고, 고정 Bolt 부위의 유효 응력은 약 30% 개선되는 것으로 해석 되었다. [Table 4] 해석 상으로는 Rib 높이가 75 mm일 때 더 좋은 결과를 보여 주고 있으나, 실제 낙하 시험에서 완충 포장재의 파손이 발생하여 적용이 불가 하였다.

Table 4 에서 알 수 있듯이 충격 가속도의 개선은 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 Frame 과 Tub 부위의 포장재 압축 변위 차이가 고정 Bolt 주변에는 영향이 크지만, 제품 밑면으로부터 전달되는 포장재의 충격량과는 크게 연관성이 없음을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 대형 드럼세탁기에 적용되는 포장재의 완충 특성 분석과 낙하 충격 해석을 통해 보다 효율적인 완충 구조를 찾고자 하였다. 국부적인 위치에서의 충격 가속도, 유효 응력 및 초고속 카메라를 통한 포장재 변형 거동 비교, 유통환경 시험 검증 등으로 신뢰성 있는 해석 결과를 얻고자 하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다

(1) 낙하 해석 결과는 충격 가속도, 유효 응력, 포장재 압축 변위 등의 실험 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 제품에 대한 모델링 단순화로 인해 충격 가속도의 해석 오차가 약 17%로 높게 나타났다. 해석의 정확도를 높이기 위한 모델링의 상세화는 항상 개발 납기와 상충되기 때문에 모델링을 단순화하면서 정확도를 높일 수 있는 기법의 추가 검토가 필요할 것으로 보인다.

(2) 제품과 접촉하는 완충 포장재의 면적을

1,700 cm³에서 1,200 cm³로 최적화 하였다. 낙하 시험 검증 결과, 완충 포장재의 접촉 면적이 1,200 cm³일 때 충격 가속도는 42.2 G로 기존 대비 28% 개선 되었음을 알 수 있었다.

(3) 드럼 세탁기 완충 구조의 특성으로 인해, 낙하 시 Frame 과 Tub 부위의 포장재 압축 변위 불균형이 고정 Bolt 주변의 Frame 변형에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

(4) 본 해석 결과를 통해 포장 재료비의 절감도가 가져왔으며, 향후 드럼 세탁기 개발 시 포장재 설계 가이드로 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Chung, W., J., Boo, S., W., Chun, S., P. and Kim, D. C., 1995, "Impact Analysis of Electronic," *Trans. of the KSME*, Vol. 35, No.8, pp.678~690
- (2) Kang, E., 1998, "Application of CAE in Samsung Electronics Co.," *Journal of the KSME*, Vol. 38, No. 6 pp. 65~68.
- (3) Kim, H. B. L., Park, S. H. and Kim, W. J., 2000, "A Study on the Cushion Package Design of a Monitor using Finite Element," *Journal of KSPE*, Vol. 17, no. 12, pp. 88~93.
- (4) Kim, C. S., Na, J. M., Kim, J. H. and Chung, H. S., 2001, "Drop Analysis of Micro Wave Machine with I-DEAS and LS-DYNA," *Technical Paper*, Samsung Electronics.
- (5) Kim, W. J., Lee, B. Y. and Son, B. S., 2009, "Drop-Impact Analysis and Design of a Package of a Microwave Oven," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 33, no. 5, pp. 536~543.
- (6) Jose, M. R. and Mahesh, P., 2009, "Using Computer Aided Engineering Processes in Packaging design development," *ISTA 2009 International Transport Packaging Forum*.
- (7) Kim, J. G., Lee, J. Y. and Lee, S. Y., 2001, "Drop/Impact Simulation and Experimental Verification of Mobile Phone," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 25, no. 5, pp. 695~702.
- (8) Root, D., 1997, "6 Step Method for Cushioned Package Design", *Lansmont corporation*
- (9) Seok, K. Y., Yoon, K. W., Na, J. M. and Park, C. B., 2004, "Analysis of Package Drop and its Application for Optical Disc Drives," *Trans. of the KSNVE*, Vol. 2004, pp. 177~182.
- (10) Yi, J. W., Ha, D. Y., Lee, S. W., Lim, J. M. and Park, G. J., 2003, "Development of Design System for EPS Cushioning Package of Monitor using Axiomatic Design," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 27, no. 9, pp. 1644~1652.
- (11) LSTC, 1998, "LS/DYNA User's Manual," ver. 950, California.