

냉장고 ABS Inner Case 진공성형품의 환경응력파괴

김주권, 박성진*, 윤경환**
LG전자 생산기술원
Penn State University CISP*
단국대학교 기계공학과**

**Environmental Stress Cracking
of Thermoformed ABS in Refrigerator Inner Case**

J. K. Kim, S. J. Park*, K. H. Yoon**
LG Electronics, Inc. LG-PRC
Penn State University CISP*
Dankook University Department of Mechanical Engineering**

초록

진공성형공정을 이용하여 ABS로 만들어진 냉장고의 Inner Case는 환경응력 파괴 현상으로 인하여 불량 발생한다. 이는 단열층에 포함되어 있는 Freon 가스가 ABS 수지의 고무 성분에 흡수되어 ABS 수지의 물성을 저하시키기 때문에 발생하는 것이다. 이를 분석하여 불량을 줄이기 위하여 본 논문에서는 ABS 수지의 환경응력파괴에 대한 저항물성에 적합한 진공성형공정 개선을 통하여 불량을 감소시킨 체계적인 과정을 소개하고자 한다.

서론

냉장고의 생산공정에 있어서 많은 불량을 발생시키는 것이 냉장고 Inner Case의 선반 받침대 부분의 Crack이다. 이는 진공성형공정을 이용하여 ABS로 만들어진 냉장고의 Inner Case의 고무 성분이 단열층에 포함되어 있는 Freon 가스를 흡수하여 ABS 수지의 물성을 저하되는 환경응력파괴 현상으로 설명된다(1,2).

냉장고를 생산하는 공정을 간단히 설명하면 다음과 같다. 우선 압출공정을 이용하여 ABS 수지로 Inner Case를 만들기에 적합한 크기와 두께의 Plate를 만든다. 만들어진 ABS Plate를 진공성형공정으로 Inner Case를 생산한다. 생산된 Inner Case를 다른 냉장고 부품과 조립한 후 발포사출성형을 이용하여 Polyurethane으로 단열층을 만든다. 이 발포사출성형의 발포제(blowing agent)로 널리 사용되는 것이 Freon 가스이다.

냉장고가 운전 동안 받는 하중은 냉장고 내부와 외부의 온도차이에 대한 열하중이다. 이 열하중은 ABS 수지의 실제 물성에 비해 아주 작은 값이므로 문제가 되지 않는다. 하지만 환경응력파괴에 의해 이 작은 하중이 ABS 수지에 Crack을 발생시켜 불량을 만드는 것이다.

본 논문은 위에서 설명한 ABS 수지의 환경응력파괴 현상에 대한 체계적인 분석

과 이를 통한 불량 개선 작업에 대해 설명하고자 한다.

분석

환경응력파괴를 체계적으로 이해하기 위하여 본 연구에서 처음 실시한 분석은 다음과 같다.

1. 불량률과 불량 부위의 분석: 냉장고 Inner Case의 선반 받침대 중 어느 부분에 불량이 많은지 계절별 불량률은 어떤지 등을 분석하였다.
2. ABS 수지의 환경응력파괴저항(ESCR) 물성을 측정: ABS 수지의 두께, Notch, 배향 및 Kraft Tape 부착에 따른 ESCR 물성을 측정하였다. 또한 원재료의 물성(사출성형으로 만든 시편), 압출성형 이후의 물성을 각각 측정하였다.
3. 각 성형공정의 평가: 압출성형의 후 ABS Plate의 두께 및 배향을 측정하였다. 진공성형 후 ABS Inner Case의 두께, 변형 지도(distortion mapping), 배향 등을 측정하였다. 발포사출성형 시 Inner Case가 받는 응력을 측정하였다.
4. 냉열 Cycle 중 발생 응력 측정: 실제 냉장고가 운전될 때 문제 발생을 제거하기 위하여 일반적인 운전 조건보다 가혹한 조건으로 냉열 Cycle 시험을 실시하는데 이를 통과하여야 양산에 들어가게 된다. 이 냉열 Cycle 시험 동안 Inner Case가 받는 응력을 Thermocouple과 Stain Gage를 이용하여 측정하였다.

위의 분석 활동을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Inner Case가 받는 변형 계산: 발포사출성형공정에서 받는 응력과 냉열 Cycle 중 발생하는 응력을 가지고 탄성범위 내에서의 중첩원리를 이용하여 계산하였다. 인장 변형률은 0.32~0.50%, 압축 변형률은 0.24~0.45%로 계산되었다. 그러므로 환경응력파괴와 관련된 변형률 크기는 0.50%의 인장 변형률이라고 할 수 있다.
2. ESCR Test 결과: 두께와 배향을 고려하여 분석한 결과 선반 받침대 부분의 두께가 0.7t 이상이면 환경응력파괴에 대한 안정하다는 결론을 내리게 되었다. 참고로 살펴보면 Notch를 ESCR을 0.1% 나빠지게 하며 Kraft Tape은 ESCR을 0.3% 좋아지게 하는 것으로 분석되었다.

개선활동

위의 분석결과를 바탕으로 불량을 줄이기 위한 개선활동은 다음과 같다.

1. 개선활동방향: 위의 결과로부터 선반 받침대 부분의 두께가 0.7t 이상으로 성형 할 수 있으면 불량도 감소될 것이고 Kraft Tape 사용도 제거할 수 있다.
2. 개선활동방법: 진공성형공정에 대한 CAE해석을 통하여 개선작업을 수행하였다. 진공성형공정을 두 부분으로 나누어 CAE 해석을 실시하였는데, 이들은 Plate Heating 공정과 성형공정이다. Plate Heating 공정은 ABAQUS로 해석하였고 (3) 성형공정은 T-Sim을 사용하였다. (4) 물론 T-Sim 해석은 ABAQUS으로 해석한 결과를 초기조건으로 하여 실시하였다. 본 진공성형공정은 Blowing, Plug 도움, 실제 진공을 통한 성형으로 이루어지는데 이를 모두 고려하여 해석하였다. (5) Fig. 1은 위에서 설명한 진공성형공정에 대한 CAE해석과정을 설명한다.
3. 개선활동과정: 초기 CAE해석을 위한 입력자료를 모으고 첫 해석을 수행

한 후 온도, 두께, 변형지도 등의 실험결과와 비교하여 해석신뢰성을 확보하였다. 이를 토대로 민감한 설계인자 (본 연구에서는 Sheet의 온도 분포 및 진공성형 공정조건) 및 목적함수(본 연구에서는 선반 받침대 부분의 두께)를 정하여 Taguchi 방법을 사용하여 최적 설계인자를 결정하였다.

4. 개선활동결과: Blowing 압력을 높이고, Sheet 온도를 높이고 Sheet 두께를 줄임으로써 Inner Case의 두께 편차를 줄일 수가 있었다. 그 결과 Kraft Tape의 삭제, Plate 두께 0.2t 감소 및 불량률 줄일 수가 있었다.

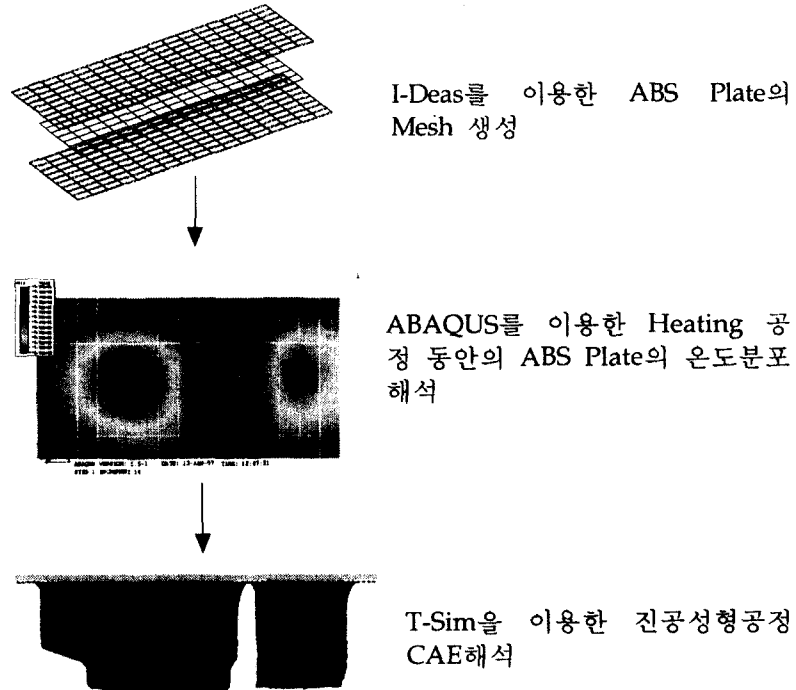


Fig 1. 진공성형공정에 대한 CAE해석과정

결론

본 연구에서는 냉장고 Inner Case에서 발생하는 환경응력파괴로 인한 불량률의 원인을 체계적으로 분석하여 개선하였다. ABS 수지의 물성 측정과 Inner Case가 받는 응력을 측정하여 원인을 분석하였으며 이를 개선하기 위하여 진공성형공정에 대한 CAE해석을 이용하였다.

참고문헌

1. J. M. Lagaron, N. M. Dixon, W. Reed, J. M. Pastor and B. J. Kip, "Morphological characterisation of the crystalline structure of cold-drawn HDPE used as a model material for the environmental stress cracking (ESC) phenomenon," Polymer, Volume 40, Issue 10, May 1999, Pages 2569-2586

2. Jose M. Lagaron, Jose M. Pastor and Bert J. Kip, "Role of an active environment of use in an environmental stress crack resistance (ESCR) test in stretched polyethylene: A vibrational spectroscopy and a SEM study," *Polymer*, Volume 40, Issue 7, March 1999, Pages 1629-1636
3. ABAQUS maunal, HSK, Inc., 1999.
4. T-Sim Manual, Accuform, Inc., 1999.
5. Paul F. Bruins, "Basic principles of thermoforming," published by Gordon and Breach Science Publishers Ltd., 1974.