

A Study on the Cold Reserving Performance of PET Bottle with Shrinkage Film

Dae Gi Hong* and Min Young Lyu**†

*Department of Design and Engineering, Seoul National University Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

**Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

(Received April 18, 2019, Revised May 7, 2019, Accepted May 17, 2019)

Abstract: Shrink film is currently being used for plastic container labels to avoid the use of glue. Polyethylene terephthalate (PET) bottle labels also use shrink films in the same PET materials for easy recycling of PET bottles. An air layer is generated between the shrink film and PET bottle surface due to the bent shape of the bottle surface. This air layer can insulate external heat, as air has a relatively lower thermal conductivity. In this study, the insulation property of the air layer was examined by computer simulation. Two PET bottle models were used, one with and the other without an air layer between the PET bottle surface and label. The two bottle models were filled with cold liquid and exposed to room temperature for 6 h, and the temperatures of the contents were then compared. The results showed that the temperature of the contents in the bottle with the air layer was lower than that without the air layer by at least 2°C. This study suggests an effective label design of PET bottles while ensuring that the temperature of the bottle contents is maintained.

Keywords: PET bottle, shrink film, label, recycling, air layer

Introduction

패키지는 소비자에게 상품을 알리고, 구매의욕을 증가시키며, 상품을 안전하게 보호하고 운반 할 수 있는 입체 디자인을 말한다.¹ 이러한 패키지의 목적성에 부합하기 위하여 소재별 특성을 적절히 활용하여 분야별 패키지 재료로 다양하게 사용되고 있다. 그 중 PET는 투명하며 깨지지 않고 생산이 쉽고 가격이 저렴하며 가볍고 재활용이 가능하다는 특징으로 음료수나 소스류와 같이 액체 상태를 담은 패키지의 소재로 사용되고 있다.²

패키지는 앞서 언급한 본래의 목적을 위하여 지속적인 개발이 이루어지고 있다. PET 또한 패키지 디자인의 생산에서 소비까지 유통과정에서 제품을 감싸고 보호, 보존해 주는 ‘기능적 요소’와 판매에 가장 먼저 제품을 인식시키기 위한 그래픽디자인 등의 ‘심미적 요소’를 고려한 개발이 이루어져야 한다.³ 그러나 심미적 요소를 고려한 디자인 연구에 비하여 기능적 요소에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 일반적으로 PET를 소재로 사용하는 음료 패키지의 특징인 저온성을 강화하기 위하여 보랭 기능을 가진 PET 패키지를 개발하여 음료의 상품성을 높이고자 한다. 이를 구현하기 위하여 수축 필름을 활용하려 한다. 수축 필름은

환경부에서 수립한 ‘제1차 제품 순환이용성 평가계획(2018년~2020년)’에서 탈착이 쉬운 라벨에 해당되며 순환이용성을 가져 사용이 권장되고 있다.⁴ 이러한 수축필름을 활용하여 별도의 추가 공정 및 재료 없이 보랭 기능을 구현하고자 한다.

수축 필름은 연신된 고분자의 형태안정성으로 인해 연신 방향으로의 수축 거동과 관계를 가진다.⁵ 음료 패키지에 사용되는 원통형 수축 필름은 이러한 원리로 열을 가하면 원주 방향으로 수축하게 되어 PET 패키지와 밀착하게 된다. 이러한 요소를 활용하여 Figure 1과 같이 PET 패키지의 굴곡을 활용

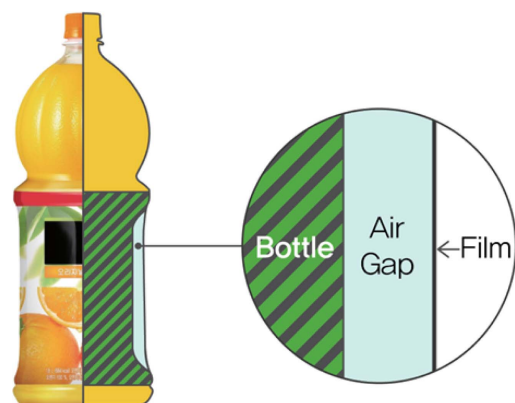


Figure 1. Air gap between bottle surface at shrink film in PET Bottle.

†Corresponding author E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

하여 수축필름과 PET 패키지 간의 유사 밀폐공간을 확보하면 외부에서 패키지 내부로의 열 전달을 방해하는 단열 공간의 역할을 할 것이다. 그리고 최종적으로 그를 통해 저온 음료의 저온 유지 시간을 연장시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 컴퓨터 해석을 통해 일반적 패키지와 본 연구의 보랭 강화 패키지 내부의 음료의 온도를 분석하였다. 이를 통해 본 연구에서 제시한 디자인이 패키지 내부 내용물의 온도를 유지하는데 효과적임을 확인하였다.

Computer Simulation

1. Study Model

일반 음료 패키지와 본 연구에서 제시하고자 하는 보랭 강화 음료 패키지 두 가지 모델에 대해 보랭 성분 해석하였다. 현재 유통되는 PET 500 ml 음료 패키지의 형태를 기반으로 두 모델을 디자인하였다. 동일한 면적에서 외부 대류 조건으로 인한 열 전도가 발생할 수 있도록 두 모델을 동일한 표면적으로 디자인하였다. Figure 2와 3은 두 모델의 디자인 및 단면이다.

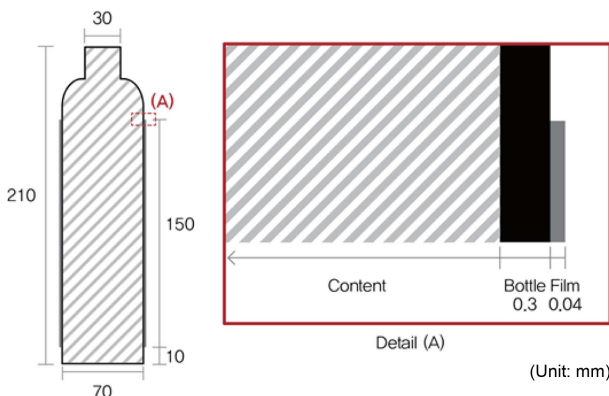


Figure 2. Beverage package model without air gap between bottle surface and shrink film.

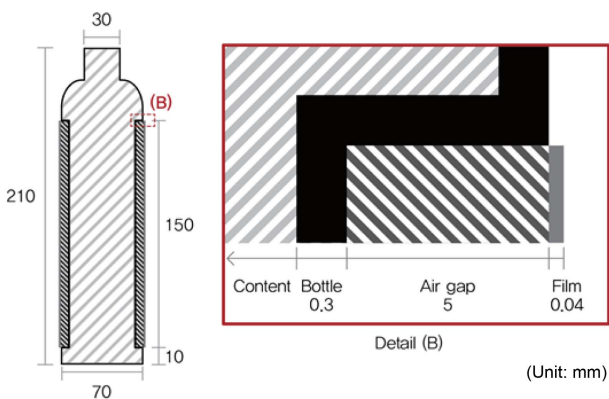


Figure 3. Beverage package model with air gap between bottle surface and shrink film.

일반 음료 패키지 디자인은 패키지 내 음료를 의미하는 내용물(content)과 용기(bottle) 그리고 필름(film)으로 구성하였다. 총 높이 210 mm, 밑면의 지름은 70 mm 병목 밑 뚜껑 부로 해당되는 윗면의 지름은 30 mm이다. 수축 필름에 해당되는 필름은 150 mm의 높이며 위치는 밑면으로부터 10 mm 떨어진 높이에서부터 위치한다. 용기의 두께는 0.3 mm이며 필름의 두께는 0.04 mm이다. 필름은 용기와 접촉되어 있다.

보랭 강화 음료 패키지 디자인은 내용물, 용기, 필름 그리고 용기의 외형 굴곡으로 인해 형성되는 용기와 필름 사이의 5 mm 깊이의 갭(gap)으로 구성된다. 갭의 깊이는 음료 패키지의 외형 굴곡에서 최대 높이 차의 평균치를 참고하여 산정하였다.

2. Materials

본 연구에서 사용한 재료의 물성이 Table 1에 나타나 있다. 내용물은 물이고 용기의 재료는 PET 그리고 갭의 재료는 공기로 하였다. 필름은 용기와 같은 재료인 PET를 하였다. 물과 공기는 해석 프로그램 내의 물성을 적용하였다. PET의 물성은 KPRC (한국포장재재활용사업공제조합)에서제공한 물성을 적용하였다.⁶

3. Simulation Method

열 전달은 단위시간당 온도 차이로 인한 열 에너지의 이동으로 대류, 전도, 복사로 구분된다. 본 연구의 모델 중 일반 음료 패키지의 열 전달은 주로 외부 대기와 용기와 필름으로 구성된 패키지 간의 대류, 그리고 필름과 용기, 용기와 내용물 간의 전도로 이루어진다. 보랭 강화 패키지는 앞서 말한 대류와 전도를 포함하여 용기와 필름 간에 존재하는 갭에서 이루어지는 전도까지 주요 열 전달 요소이다. 아래의 식 (1)은 대류, 식 (2)는 전도에 대한 열 전달 방정식이다.

$$q = kA \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

$$q = hA(T_s - T_\infty) \tag{2}$$

q는 단위 시간당 열 유동량 (heat flow), k는 재료 열전도

Table 1. Material Property of Content, Bottle, Film and Gap

Part	Material	Density (kg/m ³)	Thermal conductivity (W/mm°C)	Specific Heat (J/kg°C)
Content	Water	997.4	604	4179
Bottle	PET	1370	240	1000
Film	PET	1370	240	1000
Gap	Air	1.1614	26	1007

도(thermal conductivity), T 는 온도, A 는 표면적, h 는 열 전달 계수(heat transfer coefficient), T_s 는 재료 표면온도 그리고 T_∞ 는 주변 온도를 나타낸다. 본 연구에서는 상용 유한요소해석 소프트웨어, ANSYS WORKBENCH를 이용하여 일반 음료 패키지와 보랭 강화 패키지의 열 전달 해석을 진행하였다. 해석 조건은 4°C의 내용물이 담긴 보랭병을 20°C의 외부 대기에 6시간 동안 노출시킨 후 내용물의 온도를 측정하는 ‘한국 소비자 연합’의 보랭 성능 평가 방법을 참고하였다.⁷

회전체 형상의 두 모델을 높이 방향 회전축 단면을 이용하여 2차원 축 대칭 모델로 해석을 진행하였다.

내용물, 용기, 필름, 갭은 모두 완전히 접촉되어 있다고 가정하여 bonded 조건을 적용하였다. Figure 4와 같이 패키지 형상 단면 중심부에 단열(perfectly insulated)을 적용하여 중심부를 통한 열 이동도 없다고 가정하였다. 대기의 온도(ambient temperature)는 상온 25°C이며 용기와 필름의 외부 표면에 자연 대류 조건을 적용했으며 열 전달 계수(h)는 5 W/m²°C이다. 초기 설정 온도는 4°C이다. 본 해석에서 초기 온도 4°C의 내용물이 25°C의 상온에서 6시간동안 노출된 후 후 온도 분포를 분석하였다. 또한 시간 경과에 따른 시점 별 온도 분포를 비교하였다.

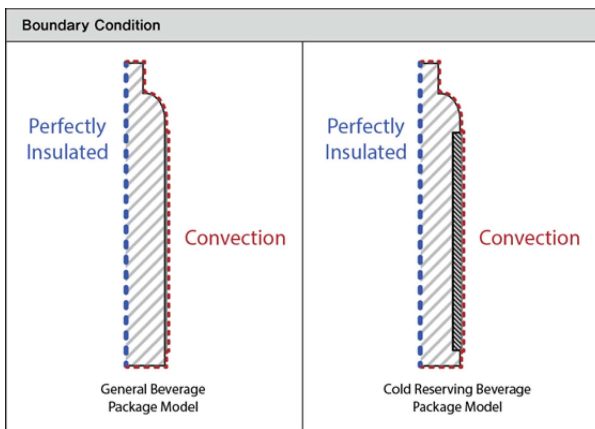


Figure 4. Boundary conditions for simulation.

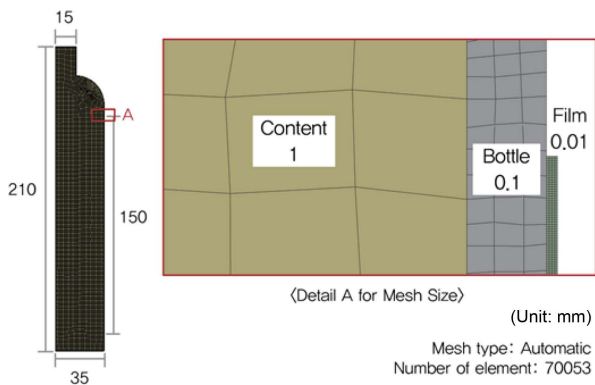


Figure 5. Mesh for the simulating general beverage package model.

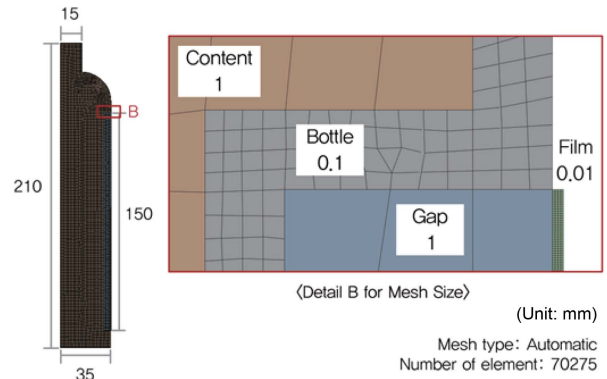


Figure 6. Mesh for the simulating cold reserving beverage package model.

해석을 위한 매쉬(mesh)는 모델 내 구성 면적을 고려하여 내용물은 1 mm, 용기는 0.1 mm, 갭은 0.1 mm, 필름은 0.01 mm의 크기로 두 모델 동일하게 구성하였다. 해석을 위한 2차원 메쉬는 삼각형과 사각형의 조합으로 구성하였다. 일반 음료 패키지의 매쉬 개수는 70053개로 Figure 5과 같이 형성하였다. 보랭 강화 패키지의 매쉬 개수는 70275개의 요소로 Figure 6과 같이 형성하였다.

Results and Discussion

1. Temperature Distribution

Figure 7은 일반 음료 패키지의 1시간 간격으로 조사된 온도 분포 결과값이며 Figure 8는 보랭 강화 패키지의 결과값이다. 각 결과를 비교해보면 모든 부분에서 공통적으로 동일 시점의 온도 차이는 시간이 경과할수록 커짐을 확인할 수 있다. Figure 8, 보랭 강화 패키지의 시간별 온도 분포도에서 갭 부분을 살펴보면 외부 대류 열 에너지에 대한 단열이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Figure 9은 시간의 흐름에 따른 일반 음료 패키지와 보랭 강

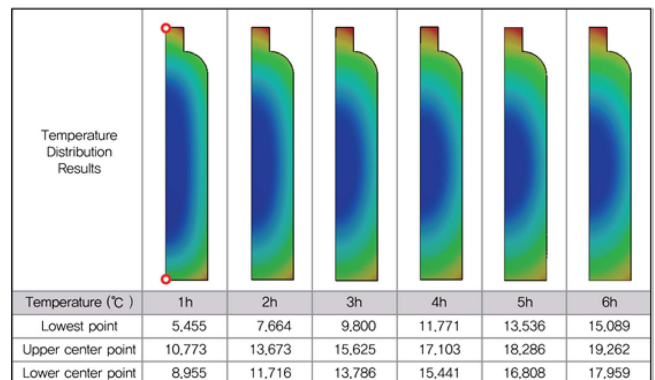


Figure 7. Temperature distribution according to the time for the general beverage package model.

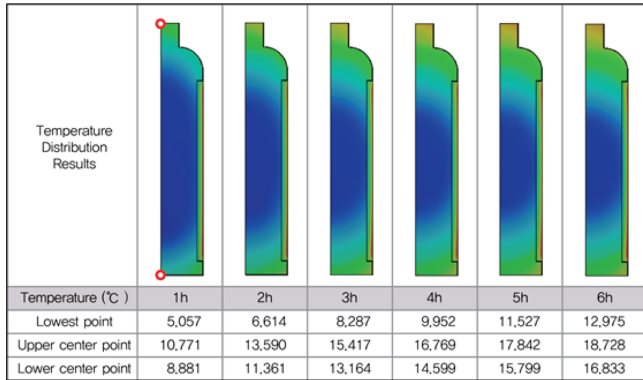


Figure 8. Temperature distribution according to the time for the cold reserving beverage package model.

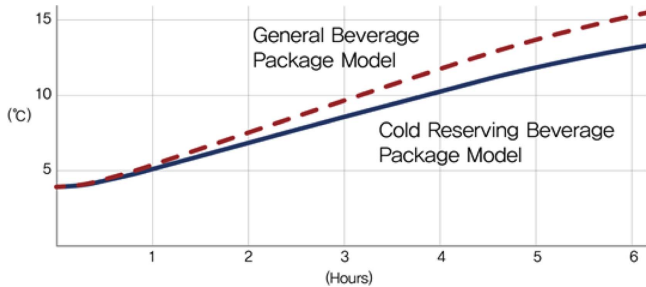


Figure 9. Comparison of the lowest temperatures according to the time between general beverage package model and cold reserving beverage package model.

화 패키지의 최저 온도점의 온도 변화 추이를 그래프로 제작하여 비교한 것이다. 일반 음료 패키지와 보랭 강화 패키지 간

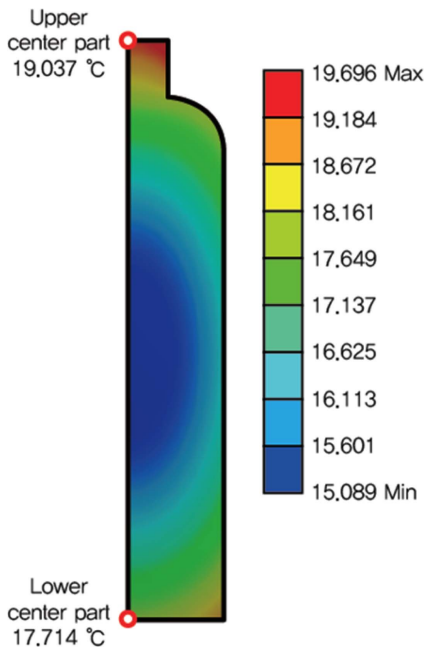


Figure 10. Temperature distribution after 6 hours for the general beverage package model.

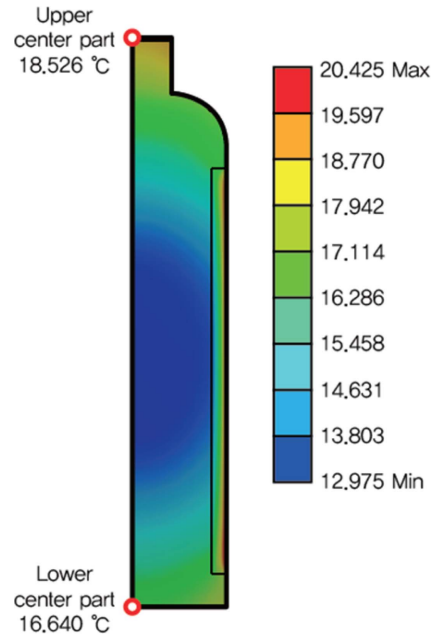


Figure 11. Temperature distribution after 6 hours for the cold reserving beverage package model.

의 최저 온도의 차이는 시간의 경과와 비례하여 커지는 경향을 보였다.

2. Temperature Distribution after 6 Hours

Figure 10은 일반 음료 패키지, Figure 11은 보랭 강화 패키지의 해석 결과이며 초기 온도 4°C의 외부 표면에 25°C의 자연 대류 조건을 각각 적용하여 6시간 경과 후 온도분포를 해석한 결과 값이다. 일반 음료 패키지의 최고 온도 지점은 패키지 상하 말단부에 위치하였으며 19.696°C까지 상승했다. 최저 온도 지점은 내용물의 중심부에 위치하였으며 15.089°C까지 상승했다. 보랭 강화 패키지의 최고 온도 지점은 필름과 캡의 경계 부에 위치하였으며 20.425°C까지 상승했다. 최저 온도 지점은 패키지 중심부에 위치하였으며 12.975°C까지 상승했다. 캡의 유무로 2°C 가량의 최저 온도 차이가 발생함을 알 수 있다.

Conclusions

본 연구에서는 패키지 굴곡과 수축필름 사이의 공간을 활용한 보랭 강화 음료 패키지의 보랭 성능 검증을 진행하였다. 검증을 위해 일반 음료 패키지와 보랭 강화 음료 패키지의 보랭 성능을 컴퓨터 해석을 통하여 비교 및 분석하였다.

4°C의 일반 음료 패키지와 보랭 강화 음료 패키지를 상온 25°C에서 6시간 방치할 경우 보랭 강화 음료 패키지의 내용물 최저 온도가 일반 음료 패키지 보다 2°C 이상의 낮음을 본

연구를 통해 확인할 수 있었다. 그로 인해 보랭 강화 음료 패키지의 내용물 저온 유지 시간은 일반 음료 패키지에 비교하였을 때 증가함을 알 수 있었다.

수축 필름을 활용한 음료 패키지는 환경 보호를 위해 국내외로 권장되는 패키지 디자인 방안이다. 이러한 현 시점에서 본 연구는 별도의 추가 공정 없이 수축필름 특성을 활용하여 보랭 성능이라는 기능적 요소를 강화함으로써 패키지의 심미적 요소 이외의 가치 발견 및 강화를 가능케 하였다.

Acknowledgments

이 논문은 2018년도 한국고무학회 강신고무장학금 지원에 의하여 작성되었음.

References

1. D. S. Choi, "Package Design", p.11, ahn graphics, 2009.
2. S. S. Kim, "In a Universal Design Viewpoint Usability Evaluation Research to PET Bottle", *Journal of the Korea Contents Association*, **5**, 124 (2005).
3. Li Xin, "Analysis of Evaluation for Emotional Image of the Package Design of Tea Brand in the Chinese Market", *Journal of the Korea Contents Association*, **12**, 185 (2012).
4. Ministry of Environment for Republic of Korea, "Started the evaluation of the circulation availability of products such as PET material containers", (2018).
5. D. Y. Lee, "Fabrication and Characterization of Environmentally Friendly PLA/PPC/PLA Multilayer Film", *Polymer(Korea)*, **37**, 249 (2013).
6. KPRC (Korea Packaging Recycling Cooperative), "Physical and Chemical properties of PET".
7. S. L. Kim and M. Y. Lyu, "Cooling and Deformation Analysis of a Layered Road in a FDM Type 3D Printing Through Thermal-structural Coupled Simulation", *Elastomers and Composites*, **52**, 216 (2017).
8. Jung Hyun Park, Min-Young Lyu, Soon Yong Kwon, Hyung Jin Roh, Myung Sool Koo, and Sung Hwan Cho, "Temperature Analysis of Nozzle in a FDM Type 3D Printer Through Computer Simulation and Experiment", *Elastomers and Composites*, **51**, 301 (2016).
9. Sung Hwan Cho, Jin Su Hong, and Min Young Lyu, "Investigation of the Molding Conditions to Minimize Residual Stress and Shrinkage in Injection Molded Preform of PET Bottle", *Polymer(Korea)*, **35**, 467 (2011).
10. Xiang Xu Li, Hyung Seok Jeong, and Ur Ryong Cho, "A Study on Property Change with Mixing Ratio in NBR/PVC Composites", *Elastomers and Composites*, **53**, 48 (2018).