

## 경량화 지수를 이용한 페트병의 패키징 설계 기준

김선종 · 나스타란 모히미 · 장시훈 · 박수일\*

연세대학교 패키징학과

## Packaging Design Guideline for PET Bottle using Lightness Index

Sun-jong Kim, Moghimi Nastaran, Si-hoon Jang, and Su-il Park\*

Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

**Abstract** In this study, we analyzed the empty body weight and nominal volume of different types of polyethylene terephthalate (PET) bottles commercialized in Korean market. Over 780 PET bottles were collected and classified into four types, heat resistance bottle, normal resistance bottle, pressure resistance bottle, and long period using bottle. Each PET bottle's lightness index was established using bottle weight and nominal volume. Based on the index value, "acceptable" and "optimum" criteria for design guideline of PET bottle were summarized for each PET bottle type. In this paper, we suggest the use of PET bottle lightness index as a design guideline for material resource reduction of PET bottle for Korean beverage industries and bottle makers. For example, we can achieve 2~4 g weight reduction in normal pressure bottle for 500 mL drinking water.

**Keywords** PET bottle, Packaging source reduction, Lightness index, Design

## 서 론

전세계적으로 제품 포장 용기의 재활용과 재사용에 대한 요구가 커지고 있으며 석유계 플라스틱의 사용을 제한하려는 규제 및 움직임이 확산되고 있다<sup>1)</sup>. 국내의 경우, 환경부에서 『제품의 포장재질·포장방법에 관한 기준 등에 관한 규칙 제4조』을 통해 포장폐기물의 발생 억제, 재활용 촉진을 위해 포장횟수와 방법을 제한하고 있다<sup>2)</sup>. 유럽의 경우에도 새 제품 포장에 대한 재료 사용량과 포장 횟수, 포장재의 재활용 가능 여부 등을 고려하며 포장 폐기물로 인한 환경적인 영향을 줄이거나 없애기 위한 방안으로 포장 폐기물의 발생을 억제하고, 물질적으로 재사용, 재이용할 것을 명시하고 있다<sup>3)</sup>. 결국 자원의 사용량을 줄이는 것이 폐기물을 처리하는 것보다 제품의 경제성과 환경성을 확보하는 가장 우선적이고 적절한 방안이라 말할 수 있다.

5년 주기로 발표되는 전국폐기물 통계조사에 따르면, 전

체 생활폐기물은 940.4 g/일/인 발생하며 이중 재활용 분리 배출 폐기물량이 약 320 g/일/인이며 이중 생산자책임재활용(EPR) 대상 포장재는 144.2 g/일/인으로 계산된다<sup>4)</sup>. 종이 및 판지류 포장재를 포함시킬 경우 포장 폐기물은 전체 생활폐기물의 무게 기준 30% 이상을 차지하며 일반 소비자가 가장 자주 접하며 배출시키는 순환자원이다. 국내 폐기물 관리 우선순위는 폐기물의 발생을 억제하고, 이미 발생된 폐기물에 대해서는 재활용하여 매립, 소각 등 폐기물 처리를 최소화 하는 것이다. 포장의 기본 기능을 위배하지 않으며 기술성 및 경제성이 가능한 범위에서 원천감량 (reduce)을 최선 순위로 하며 재사용 (reuse), 물질 재활용 (material recycling), 열회수 (energy recovery), 최종 적정폐기의 순서로 기본원칙을 정한 포장폐기물처리의 정책 로드맵도 연구되었다<sup>3)</sup>. 폐기물 관리의 개선과 폐기물 처리 방법의 선진화에 의해 많은 포장재가 순환자원으로 이용되는 기술적인 발전이 이루어지고 있으나 폐기물의 발생량은 향후에도 지속적으로 증가될 것으로 예측되며 이러한 포장 폐기물로 인한 환경 부하를 줄여야 하는 방안 또한 지속적으로 연구되어야 한다<sup>5)</sup>.

원천감량 적정 설계 기준을 제시하는 일련의 연구인 연포장, 지기류, 유리병 및 화장품류에 관한 감량화 설계 기

\*Corresponding Author : Su-il Park  
Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea  
Tel : +82-33-760-2370, Fax : +82-33-760-2760  
E-mail : parks@yonsei.ac.kr

준은 이미 보고된 바 있다<sup>5,6,7</sup>). 페트병 (PET bottle)은 뛰어난 투명성과 강도, 그리고 경량성을 가지고 있어 생수, 탄산음료, 주스류 및 식용류 등의 포장용기로 사용량이 급격히 증가된 대표적인 포장용 플라스틱이다. 국내의 경우 페트류 플라스틱은 다른 플라스틱과 차별화된 분리수거 체계를 가지고 있으며 재활용 시장에서도 독립적인 재활용 기술과 기준이 확립되어 있는 플라스틱이기도 하다. 본 연구에서는 페트병의 용도별 및 용량별 원재료 사용량을 분석하였고 원천감량을 실현할 수 있는 경량화 식을 구하였다. 적정 설계를 위한 권고기준과 최적기준을 제안하여 페트병 빈용기 무게와 표시용량을 이용하여 용기의 감량화 정도를 파악할 수 있게 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

시중에서 유통되고 있는 음료용 페트병을 용도와 표시용량에 따라 대형 유통 매장에서 구입하거나 제조업체에서 데이터를 수집하여 분석하였다. 페트병은 상압병(생수류), 내열병(주스류), 내압병(탄산류), 및 장기보관사용병(소스류)으로 용도에 따라 구분하였다. 해외제품 또한 국내제품과 비교를 위해 유사 형태 및 용량의 제품을 구매하여 이용하였다.

### 2. 포장재 사용량 분석

구매한 제품의 경우 페트병의 라벨 및 뚜껑 등의 부착물을 몸체로부터 제거한 후 포장재의 빈 용기 (body) 무게와 분리된 부속류 무게를 소수점 둘째 자리 (0.01 g)까지 측정하였다. 내용물 부피는 제품에 표기되어 있는 표시용량을 사용하였다. 모든 측정은 3회 반복하여 평균치를 산출하였다. 부속류 무게는 지수 설정 단계에 참조하였으며 실제 지수에는 반영하지 않았다.

### 3. 페트병 경량화 지수 산출

페트병 용기의 경량화 지수 공식은 유리병 경량화 지수<sup>5)</sup> 및 확장용기 부피지수<sup>7)</sup>를 산출하는 과정을 참고하여 용기의 표시용량 대비 재질의 사용량 정도를 나타낼 수 있는 공식을 도출하였다. 상압병, 내열병, 내압병, 및 장기보관사용병 별로 빈용기 무게 (g)와 표시용량 (mL)의 상관관계를 나타내는 분포 그래프를 작성하였다. 분포도에 맞는 추세선을 도출한 후 추세선이 x축(표시용량)에 평행하도록 지수를 산출하였고 추세선의 y절편값이 1.1을 갖도록 상수를 조절하여 페트병의 경량화 지수식을 작성하였다. 이에 대한 설명은 결론부분에서 상세하게 다루었다.

### 4. 감량화 권고 및 최적 설계 기준

페트병의 무게 대비 표시용량 분포도 및 지수를 고려하여

페트병 설계시 이용할 수 있는 설계 기준을 제시하였다. 분포도의 추세선에 맞추어 지수 1.1에 해당하는 식을 도출하였고 10~30% 정도를 저감한 값을 권고기준 및 최적기준으로 반영하였다. 이러한 권고기준값과 최적기준값은 용기별 특성 및 국내 실정을 반영한 것으로 권고 기준은 현 기술수준을 감안한 기준이며, 최적기준은 향후 기술발전 추이를 반영한 기준으로 감량화 설계된 일부 제품이 최적 기준을 만족시키는 정도에서 결정하였다. 상압병을 제외한 내압병, 내열병, 장기보관사용병은 모두 권고기준 1.0 이하, 최적기준 0.9 이하로 설정하였으며, 상압병의 경우는 권고기준이 0.9 이하, 최적기준은 0.8 이하로 설정하였다. 내열병은 고온으로 인한 병의 변형을 막기 위해 견고하게 설계되어야 하며 내압병은 내용물에 의한 내부의 압력을 버티기 위한 강도를 필요로 하는 것을 고려하여 설정하였다. 장기보관사용병은 소비자가 구입 후 장기간 보관하며 반복사용하는 병을 의미하며 사용기간 동안 안정성 확보를 위한 설계가 고려하여야 하므로 내열, 내압병과 같은 기준으로 설정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 내열병 (Heat Resistance Bottle)

국내의 유통중인 300종 이상의 PET 내열병의 마개와 라벨을 제외한 빈용기 무게와 표시용량의 상관관계를 나타내는 분포 그래프를 Fig. 1에 나타내었다. 다음 단계로 분포도에 맞는 추세선을 도출하고 추세선이 x축에 수평을 이루도록 지수를 조정하여 그래프를 Fig. 2에 나타내었다. 추세선의 위쪽에 분포하는 제품들은 분석한 제품들의 평균에 비해 중량병이라고 할 수 있다. 추세선의 y절편값이 1.1을 갖도록 상수를 조절하여 최종적으로 아래의 식과 같은 PET내열병의 경량화 지수식 (1)을 도출하였다.

$$L_{PETH} = 0.77 \times W \times (V/0.9)^{-0.5} \quad (1)$$

$L_{PETH}$  : PET 내열병 경량화 지수

$W$  : 빈용기 무게(마개, 라벨 무게 제외)(g)

$V$  : 표시용량(mL)

표시용량(V)에 대하여 0.9를 나누는 것은 ‘제품의 포장재 질·포장방법에 관한 기준 등에 관한 규칙’에 명시된 음료와 주류의 포장공간비율인 10% 이하를 식에 도입하기 위해서이다<sup>6,7</sup>). 제품의 기능성과 안전성이 침해되지 않는 선에서 충전량 최대화를 권고하기 위해 0.9(90%)를 이용하였다.

Fig. 3은 Fig. 2를 기반으로 추세선의 y절편값이 1.1을 갖도록 상수를 조절하고 권고기준과 최적기준선을 표시한 그래프이다. 내열병의 분포 정도를 권고기준과 최적기준으로 나누어 구분할 수 있게 해준다. 즉 표시용량과 내열페트병

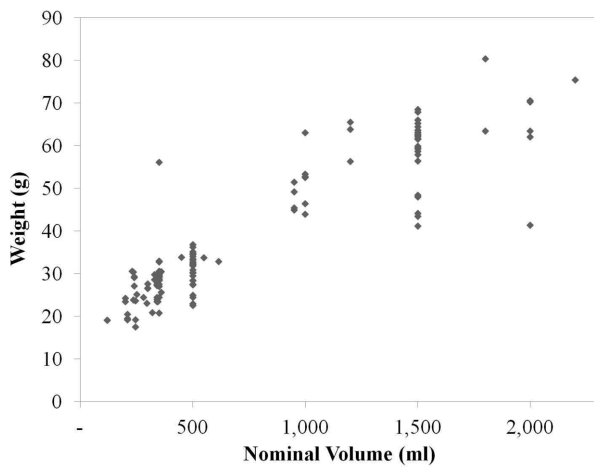


Fig. 1. Relationship between packaging weight and nominal volume of heat resistance PET bottle.

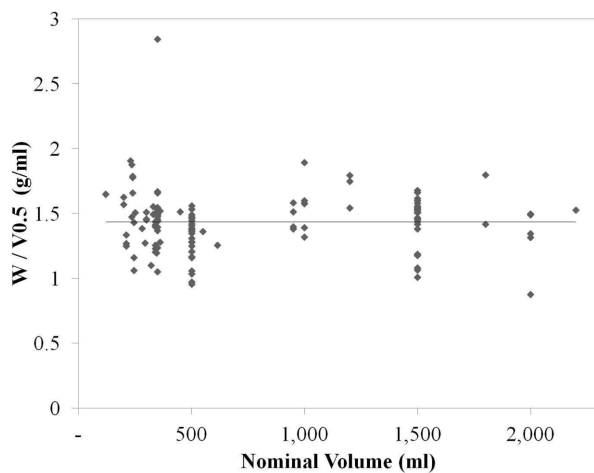


Fig. 2. Trend line adjustment at the level with X axis for index calculation of heat resistance PET bottle.

무게의 관계를 표시용량에 따른 내열병 용기 감량화 지수 ( $L_{PETH}$ )로 같이 나타낸 그래프이다. 내열병의 평균 경량화 지수에서 10% 정도를 저감한 값을 권고기준 1.0, 20% 정도 저감한 값을 최적기준 0.9로 설정하였다. 내열병은 고온 충전되는 음료에 적용되는 병으로 수지의 열변형온도에 가까운 충전밀봉온도(85~95°C) 및 충전 후의 냉각에 의한 내부 부압에 의한 변형을 흡수해야 하는 엄격한 디자인 조건이 만족되어야한다<sup>8)</sup>. 본 연구에서 분석된 용기의 평균 무게를 기준으로 할 때 권고기준을 따를 경우 약 3.5 g의 재료 사용량 절감효과가 있는 것으로 나타나며, 최적기준을 따를 경우 약 7.0 g의 절감효과가 있을 것으로 나타났다. 다른 종류의 페트병들도 같은 방법을 이용하여 권고기준과 최적기준을 도

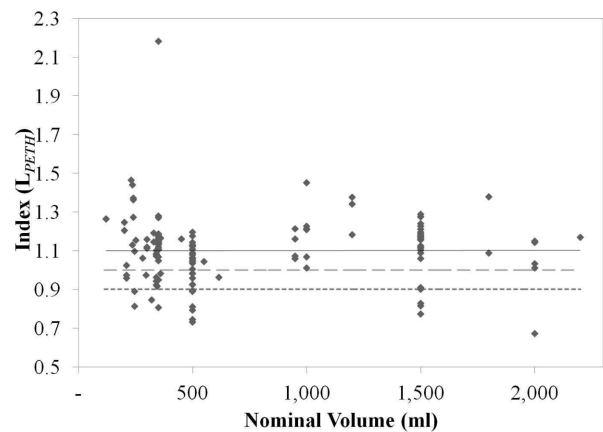


Fig. 3. Guidelines for acceptable level at index 1.0 and optimum level at index 0.9 of heat resistance PET bottle.

출하였으며 각 용기별로 아래와 같이 분석하였다.

## 2. 상압병(Normal Resistance Bottle)

Fig. 4는 80여종의 상압병 빈용기 무게와 표시용량의 분포도이다. 생수병으로 많이 이용되는 500 mL 용량에서 다양한 무게 분포를 보여주고 있다. Fig. 5는 분포 데이터의 추세선 공식을 보정하여 추세선의 평균이 1.1이 되도록 하였다. 이러한 과정을 거쳐 경량화 지수식 (2)가 계산되었으며 후 권고기준 0.9와 최적기준 0.8을 대입하여 아래 공식 (2)와 같이 나타내었다.

$$L_{PETN} = 2.31 \times W \times (V/0.9)^{-0.59} \quad (2)$$

$L_{PETN}$  : PET 상압병 경량화 지수

$W$  : 빈용기 무게(마개, 라벨 무게 제외)(g)

$V$  : 표시용량(mL)

상압병은 생수병으로 주로 사용되며 권고기준 0.9 이하, 최적기준 0.8 이하로 설정되었다. 상압병이 다른 페트병의 기준과 다른 이유는 병의 사용특성과 국외 감량화 추세를 반영하였기 때문이다. 상압병은 충전 후 내부압력이 대기압력인 용기를 말하며, 일반적인 압력과 온도의 내용물을 담는 용기이다. 열이나 압력에 대한 고려보다는 적정 용기 구조 디자인 및 유통체인과 적재방법의 품질관리를 통해 감량화를 실현시킬 수 있는 페트병으로 권고 및 최적 기준을 상대적으로 낮게 설정할 필요가 있다고 판단된다. 용량별로 권고기준과 최적기준을 적용하였을 때 현재 유통되고 있는 1000 mL 이하 용량의 상압병의 평균 무게와 비교하여 권고기준 설계 시 2 g, 최적기준 설계시 약 4 g의 병당 감량이 가능하고, 1000 mL 이상에서는 권고기준 4 g, 최적기준 9 g

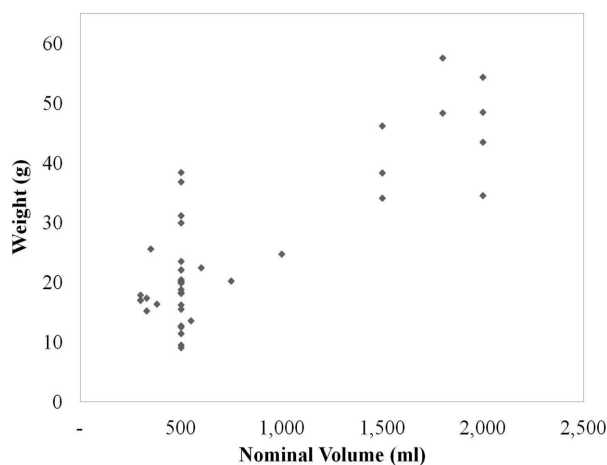


Fig. 4. Relationship between packaging weight and content volume of normal resistance PET bottle.

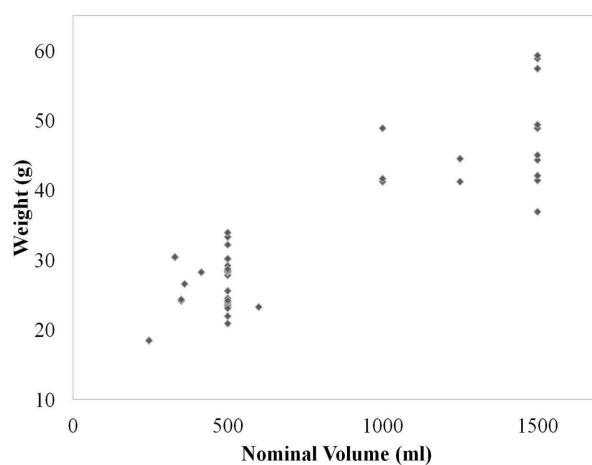


Fig. 6. Relationship between packaging weight and content volume of pressure resistance PET bottle.

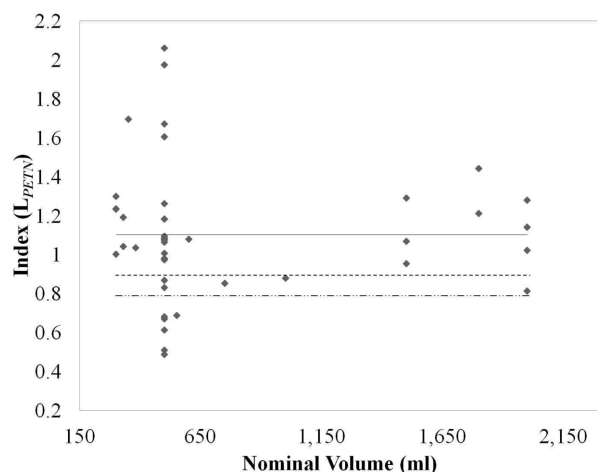


Fig. 5. Guidelines for acceptable level at index 0.9 and optimum level at index 0.8 of normal resistance PET bottle.

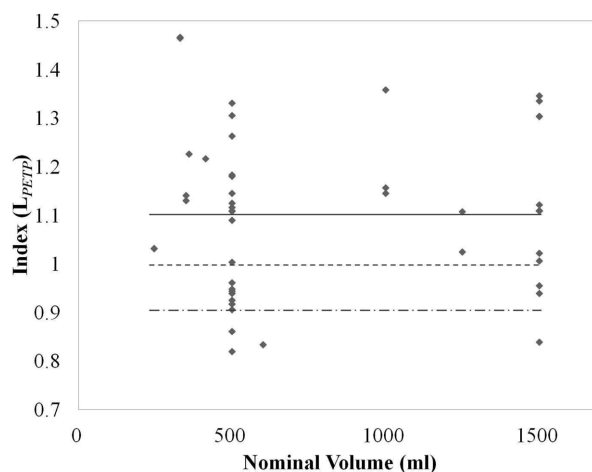


Fig. 7. Guidelines for acceptable level at index 1.0 and optimum level at index 0.9 of pressure resistance PET bottle.

의 감량이 가능하다.

### 3. 내압병 (Pressure Resistance Bottle)

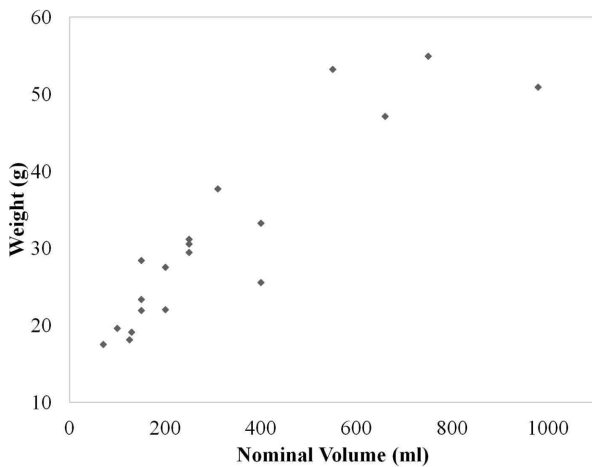
Fig. 6은 80여종의 내압병의 빈용기 무게와 용량의 분포도이다. 500 mL과 1500 mL 용기가 큰 비중을 차지하고 있고 무게가 다양하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 앞서 분석한 용기와 마찬가지로 추세선의 기울기 값을 '0'이 되도록 공식을 유도하고 평균을 1.1이 되도록 추세선을 이용한 식 (3)을 구하였다. Fig. 7은 1.1에 위치한 추세선 및 권고기준 1.0과 최적기준 0.9를 나타낸 분포도이다. 내압병은 탄산음료에 사용되기 때문에 상대적으로 강한 내압을 견디기 위한 설계를 고려하여 권고기준 1.0 이하, 최적기준 0.9 이하로 설정하

였다. 내압병은 외부온도의 상승에 따라 부피가 팽창되면서 병의 외형이 변하기 쉬우므로 이 압력에 잘 견딜 수 있도록 설계하는 것이 중요하다<sup>8)</sup>. 분석한 내압병 용기 무게를 분석한 결과, 용기의 평균무게를 기준으로 할 때 권고기준을 만족한다면 평균 3.3 g 정도를 절감효과가 있는 것으로 나타나며, 최적기준의 경우 6.4 g 정도의 감량효과가 있는 것으로 나타났다.

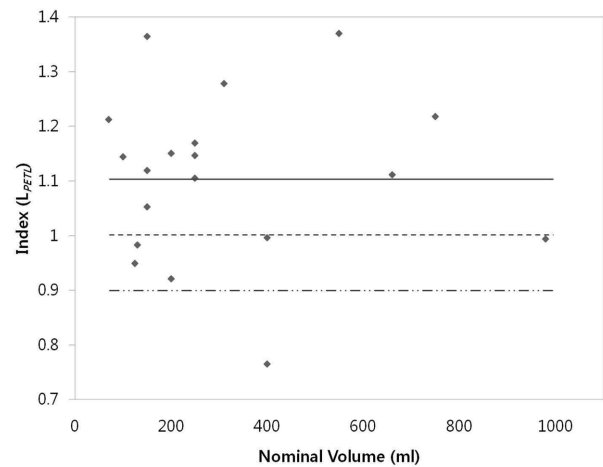
$$L_{PETP} = 2.31 \times W \times (V/0.9)^{-0.59} \quad (3)$$

$L_{PETP}$  : PET 내압병 경량화 지수

$W$  : 빈용기 무게(마개, 라벨 무게 제외)(g)



**Fig. 8.** Relationship between packaging weight and content volume of long period using bottle.



**Fig. 9.** Guidelines for acceptable level at index 1.0 and optimum level at index 0.9 of long period using bottle.

$V$  : 표시용량(mL)

#### 4. 장기사용보관병(Long Period Using Bottle)

Fig. 8은 20여종의 내압병에 대한 빈용기 무게와 표시 용량의 분포도이다. 수거한 제품의 대부분이 500 mL 이하 소용량이었다. 앞서 분석한 용기와 마찬가지로 추세선을 보정하는 방법으로 지수식 (3)을 도출하였고, Fig. 9에서는 평균을 나타내는 추세선의 위치를 1.1이 되도록 한 후 권고기준 1.0과 최적기준 0.9를 반영하여 분포도에 표시하였다. 장기사용보관병은 소스류, 세정제 등의 생활용품으로 이루어져있으며, 장기간에 걸쳐 보관하며 사용하기 때문에 안정성 확보를 위한 설계가 우선시된다<sup>8)</sup>. 따라서 권고기준 1.0 이하, 최적기준 0.9 이하로 설정하는 것이 타당하다. 평균무게를 기준으로 설계시 권고 기준에 따른 경우 약 3 g 정도의 감량효과가 있는 것으로 나타났으며, 최적기준 적용시 약 5.8 g 감

량효과를 이룰 수 있다. 또한 용량에 따른 구간으로 나누어 볼 경우 최적기준 적용시 150 mL 이하의 용량병에서 최적기준 2 g의 무게감소를 보였고 200 mL 이상의 용량병에서 최대 5 g의 무게감소효과가 있는 것으로 나타났다.

$$L_{PETP} = 0.56 \times W \times (V/0.9)^{-0.48} \quad (4)$$

$L_{PETL}$  : PET 장기사용병 경량화 지수

$W$  : 빈용기 무게(마개, 라벨 무게 제외)(g)

$V$  : 표시용량(mL)

#### 5. 감량화 설계를 위한 권고 및 최적 기준

Table 1은 페트병의 종류별 감량화 지수(L)를 정리한 표로 설계 시 대입하여 이용 가능한 감량화 공식과 권고기준(현 기술수준을 감안한 기준)과 최적기준(향후 기술발전 추이를

**Table 1.** A design guideline for cosmetic container. “acceptable” and “Optimum” refer to the allowable ranges in the design process

| Classification             | Figure                                                                              | Index(L)                                                                                                    | Acceptable   | Optimum      |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Heat Resistance bottle     |  | $L_{PETH} = 0.77 \times W \times (V/0.9)^{-0.5}$<br>W : Empty bottle weight (g)<br>V : Content volume (ml)  | $L=1.0 \leq$ | $L=0.9 \leq$ |
| Normal Resistance bottle   |                                                                                     | $L_{PETN} = 2.31 \times W \times (V/0.9)^{-0.59}$<br>W : Empty bottle weight (g)<br>V : Content volume (ml) | $L=0.9 \leq$ | $L=0.8 \leq$ |
| Pressure Resistance bottle |                                                                                     | $L_{PETP} = 0.91 \times W \times (V/0.9)^{-0.5}$<br>W : Empty bottle weight (g)<br>V : Content volume (ml)  | $L=1.0 \leq$ | $L=0.9 \leq$ |
| Long period using bottle   |                                                                                     | $L_{PETL} = 0.56 \times W \times (V/0.9)^{-0.48}$<br>W : Empty bottle weight (g)<br>V : Content volume (ml) | $L=1.0 \leq$ | $L=0.9 \leq$ |

**Table 2.** Examples of acceptable and optimum Empty PET bottle weight of representative Content volume

| Content volume (mL)        |      | Empty bottle weight (g) |         |
|----------------------------|------|-------------------------|---------|
|                            |      | Acceptable              | Optimum |
| Heat Resistance bottle     | 350  | 25.69                   | 23.12   |
|                            | 500  | 30.70                   | 27.63   |
|                            | 1000 | 43.42                   | 39.08   |
|                            | 1500 | 53.18                   | 47.86   |
| Normal Resistance bottle   | 300  | 12.37                   | 10.99   |
|                            | 500  | 16.76                   | 14.89   |
|                            | 1500 | 32.22                   | 28.63   |
|                            | 2000 | 38.23                   | 33.99   |
| Pressure Resistance bottle | 500  | 25.49                   | 22.94   |
|                            | 1000 | 36.00                   | 32.40   |
|                            | 1500 | 44.06                   | 39.66   |
| Long period using bottle   | 250  | 26.59                   | 23.93   |
|                            | 500  | 37.09                   | 33.38   |
|                            | 700  | 43.59                   | 39.23   |

반영한 기준)을 보여준다. Table 2는 페트병의 종류별로 대표적으로 이용되는 용량에 대한 권고기준과 최적기준을 반영한 무게를 나타낸 것이다. 예로 500 mL 용량의 생수용 상압병은 16.76 g 이하일 때 권고 기준을 만족시키고 14.89 g 이하일 때 최적 기준을 만족시킨다. 각 용도별로 분석하면 장기저장사용병이 가장 무거운 무게로 설계 가능하고 내열병, 내압병, 그리고 상압병 순서로 페트병 무게가 감소하는 것을 알 수 있다. 이번 연구 대상에서는 포함되어 있지 않으나 사용량이 많아지고 있는 무균충전병(aseptic PET bottle)의 경우는 상압병과 같은 정도의 설계 기준을 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 국내 페트병의 경량화 가능성을 파악하기 위해 780종 이상의 빈용기 무게와 표시 용량의 상관관계를 분석하였다. 페트병은 사용목적에 따라 상압병(생수류), 내열병(주스류), 내압병(탄산류), 및 장기보관사용병(소스류)으로 구분하였으며 수집된 빈용기 무게와 표시 용량을 기반으로 각 페트병 종류별 경량화 지수(Lightness Index; L)를 산출하였다. 페트병 원천감량 설계 시 이용가능한 권고 기준 및

최적 기준을 경량화 지수를 이용하여 설정하였다. 예로 500 mL 생수병을 감량화 설계 기준에 맞게 생산할 경우 최적기준 반영시 약 4 g의 감량화가 가능하다. 작성된 설계 기준은 이미 관련 업계에 배포되었으며 생수병을 중심으로 적정 기준 정도의 경량화가 이루어지고 있다. 제시된 페트병 설계 기준은 국내외에서 출시된 페트병을 분석하여 무게 분포 특성을 반영한 결과이므로 현재 출시된 제품의 경량화 정도와 향후 개발되는 제품이 시장에서 어느 정도의 원천감량설계인지 알 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 환경정책기반공공기술개발사업(과제번호: 415-111-003)에 의하여 수행되었음.

## 참고문헌

1. Park, S., Lee, D. S., and Han, J. H. 2013. Eco-design for food packaging innovations. In: Innovations an food packaging. 2nd Ed. Han, J. H. (ed), Academic Press, San Diego, USA, pp. 537-546.
2. 환경부. 환경부령 제676호, 2016.10.10. 제품의 포장재질 · 포장방법에 관한 기준 등에 관한 규칙 제4조
3. 환경부, 2010. 포장폐기물의 자원순환성 제고 및 관리합리화를 위한 로드맵 수립. <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/091/010/5513929.pdf>
4. 환경부. 2013. 제4차 전국폐기물통계조사 (2013. 3).
5. Kim, S. J., Jang, S. H., Kim, K. T., Lee, Y. S., and Park, S. I. 2013. Analysis of glass bottle using glass bottle lightness index. Korean Journal of Packaging Science & Technology 19: 109-115.
6. Kim, S. J., Jang, S. H., Kim, K. T., Lee, Y. S., and Park, S. I. 2013. Comparison study on confectionery and food packaging between Korea and Japan. Korean Journal of Packaging Science & Technology 19: 1-6.
7. Kim, S. J., Song, J. Y., Yu, M. J., and Park, S. I. 2013. Cosmetic packaging design using cosmetic container's volume index. Korean Journal of Packaging Science & Technology 19: 133-138.
8. 환경부. 2014. 적정포장 설계 매뉴얼 (2014. 4) <http://package.egagae.com/>

투고: 2016.11.26 / 심사완료: 2016.12.14 / 게재확정: 2016.12.28