

시인성이 개선된 무라벨 페트병

김민재, 전민석

September 19, 2021

Abstract

최근 환경 규제, 소비자들의 친환경적 소비 강화 등에 기인하여 재활용성이 우수한 페트병의 제조가 주목받고 있다. 기존 페트병은 라벨 부착으로 인해 플라스틱 사용량을 증가시킬 뿐만 아니라, 분리배출을 어렵게 하여 재활용성을 크게 떨어뜨리는 주범이었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 무(無)라벨 페트병 제품이 출시된 바 있으나, 낮은 시인성과 광고 효과로 인해 판매량은 미미한 수준이다. 따라서 이를 해결하기 위한 방법으로 그라인딩 공정을 통해 무라벨 페트병의 표면에 광산란 중심들을 형성하고, 이를 통해 국부적인 불투명도를 증가시켜 시인성을 개선하는 방안을 제시하였다. 그라인딩 공정 도입을 통해 생산자는 라벨 생산 및 부착비용과 생산자책임재활용 분담금 등의 원가 절감을 도모할 수 있을 뿐만 아니라 분리배출을 용이하게 함으로써 시장경쟁력을 확보할 수 있다. 정량적 평가를 위해 평균시스템비용법을 도입하여 공정 추가에 따른 비용을 분석하였으며, 그라인딩 공정 추가를 통한 비용 발생은 미미한 수준임을 보였다. 또한 시인성이 개선된 무라벨 페트병 도입에 수반되는 비용 절감 요인을 분석한 결과, 500mL 페트병 1개 생산에 최소 1.5원을 절감할 수 있을 것으로 보이며, 따라서 사용권료를 부과함으로서 지속적으로 수익을 창출할 수 있어 높은 시장성을 가질 것으로 기대된다.

Contents

1	서론	2
1.1	현행 무라벨 페트병의 문제점	2
1.2	무라벨 페트병의 개선 요건	2
2	본론	2
2.1	광산란에 관한 광학적 이론	2
2.2	광산란을 이용한 무라벨 페트병의 시인성 개선	3
2.3	시인성이 개선된 페트병의 시장성	4
2.4	비즈니스 모델	5
3	결론	6

1 서론

1.1 현행 무라벨 페트병의 문제점

최근 플라스틱에 의한 환경오염 문제가 대두됨에 따라, 페트병에 대한 환경 규제가 강화되고 있다. 특히 재활용 과정에서 추가 공정이 소요되는 라벨에 대한 규제가 가장 강력한데, 일례로 독일 Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging (IVV)의 연구에서는 라벨 등의 별도 포장재를 ‘기능적 장애물’로 규정한 바 있다.¹ 분리 배출이 가장 정착된 국내에서도 페트병 회수율은 80%를 상회하지만, 실제로 재활용되는 것은 분리배출된 페트병의 45%에 불과하다.² 페트병의 재활용률을 높이고자 환경부는 2021년 1월의 「포장재 재활용 용이성 등급평가 기준」 고시를 통해 비접(접)착식 라벨 또는 무라벨 페트병의 제조를 권고하고 있다.³

이러한 정부 정책에 발맞춰, 생수 제조사들이 속속들이 절취선 라벨 혹은 무라벨 페트병의 출시를 발표한 바 있다. 이는 기존 ‘라벨 분리를 위한 노력’에서 한 발 나아간 조치로, 궁정적인 움직임으로 평가할 수 있으나 현재 그 점유율이 매우 낮다.⁴ 특히 무라벨 페트병의 경우, 분리배출이 용이할 뿐만 아니라 재활용 공정이 간소화되어 친환경적이라는 장점에도 불구하고 널리 상용화되지 못하고 있다. 이는 라벨이 없어 제품을 시각적으로 구분하기 쉽지 않고, 따라서 가격만이 유일한 경쟁력이 됨에 기인한다.⁵ 또한 시각적 광고 효과가 떨어지므로 낱개 판매가 아닌 묶음 판매가 주를 이루고 있는데, 이는 1인 가구가 증가하는 현 시점에서 판매에 불리하다.

1.2 무라벨 페트병의 개선 요건

결국 분리배출과 재활용이 용이하게 하여 환경을 보호하고자 하는 무라벨 페트병의 취지를 유지하면서, 시인성을 개선하여 브랜드 경쟁력을 부여할 수 있는 새로운 형태의 페트병이 소요가 제기된다. 이를 위해 새로운 무라벨 페트 병은 ①PET이외의 플라스틱 소재가 사용되지 않아 별도의 비중분리과정 없이 재활용될 수 있어야 하며, ②페트병 제조에 있어 시인성 개선을 목적으로 한 별도의 화학적 염료가 들어가지 않아 광학적 분류 과정 없이 재활용되어야 하고, ③시인성이 높아 시장성을 갖춰 널리 상용화될 수 있어야 한다는 세 가지 요건을 모두 충족시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 PET 표면의 모폴로지 변화를 통해 광산란 중심(scattering center)을 증가시킴으로서 시인성을 크게 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.

2 본론

2.1 광산란에 관한 광학적 이론

표면이 거친 PET 필름은 균일 표면 PET 필름과 그에 부착된 미세 PET 입자로 근사할 수 있다. 통상 기계적 마모에 의한 PET 필름의 거칠기는 μm 단위이므로, geometric scattering 이론을 적용하여야 한다. 빛이 PET 입자로 dx 만큼 진행했을 때의 빛의 세기 감소는 dI 이고, 따라서 광강도의 감소율은 전체 빛다발 면적 대비 광산란 면적의 비율과 같을 것이다. 따라서 단위부피 당 광산란 중심의 개수를 N , 각 광산란 중심의 광산란 면적을 σ 라 하면, $-\frac{dI}{I} = \frac{N(Adx)\sigma}{A} = N\sigma dx$ 이 된다. 이 미분방정식의 해는 $I = I_0 \exp(-N\sigma x)$ 이고, 흡광도 α 를 고려하면 $I = I_0 \exp(-(N\sigma + \alpha)x)$ 이 된다. 한편, 파장을 λ , 입자 크기를 r 이라 하면 입자크기지표(size parameter) $x = \frac{2\pi r}{\lambda} \gg 1$ 이고, 따라서 σ 는 빛의 방향에 대한 광산란 중심의 사영면적이 된다. 따라서, 더 많은 광산란을 발생시키기 위해서는 $N\sigma$ 를 극대화하여야 하고, 따라서 수 μm 크기의 기계적 마모를 높은 밀도로 적용해야 한다.

¹ Welle, Frank. “Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview.” Resources, Conservation and Recycling 55.11 (2011): 865-875.

² “분리수거한 페트병, 재활용을 절반도 안되는 이유(2019.02.19.)”, 동아닷컴뉴스, accessed 2021.09.18.

³ 환경부고시 제 2021-3호 별표 1, “포장재 재질구조 및 재활용의 용이성 기준”

⁴ “국내 3대 생수 업체 ‘무라벨’ 선언... 페트병에서 라벨 사라지는 이유(2021.03.03.)”, 그린포스트코리아, accessed 2021.09.18.

⁵ “[ER궁금증] 취지는 좋은데...‘무라벨 생수’ 안 보이는 이유(2021.03.17.)”, 이코노믹 리뷰, accessed 2021.09.18.

2.2 광산란을 이용한 무라벨 페트병의 시인성 개선

본 연구에서는 상기의 광산란 이론을 이용하여 무라벨 페트병의 시인성을 개선하였다. 이는 사포 등을 이용한 기계적인 마모(그라인딩)를 통해, 광산란 중심을 크게 늘리는 것으로 시작한다. 현행 무라벨 페트병 제조에 사용하는 사출공정 주형은 표면 글자 혹은 그림 표시를 요철로 하도록 제작되었으므로, 이를 준용하고 표면 마모 공정을 통해 볼록한 글자 부분만 불투명하게 만듦으로서 시인성을 크게 개선할 수 있다.

기존 페트병 사출 공정을 고려하면, 프리폼(preform)을 주형 안에 넣고 부풀려 모양을 만들고 이후 주형에서 꺼내 냉각시키고 컨베이어벨트에 이동하는 과정에서 방향성이 유지된 회전 과정이 수반되는데, 이 때 요철 부분에 기계적 마모를 가할 수 있다. 이러한 공정 변화는 큰 변화 없이 작은 장치 하나를 추가하는 것만으로 가능하다는 점에서 큰 경제성과 유지보수의 용이성을 갖는다. 그라인딩을 가하는 데 있어 높은 입도의 연마구조(사포 등)와 반복적인 연마를 통한 광산란 중심 밀도의 증가가 필요하다. 첫째 요건은 쉽게 달성될 수 있지만, 둘째 요건을 충족시키기 위해 회전을 통한 마모 공정을 도입하여야 한다. 연마구조가 요철을 단 한 번 지나가는 경우, 한정된 길이 이내에서 충분한 광산란 중심을 형성시킬 수 없다. 따라서 시인성이 개선된 무라벨 페트병 제조에 있어 회전하는 마모구조를 통해 많은 광산란 중심을 확보할 수 있다. 이러한 과정을 그림 1에 나타내었다.

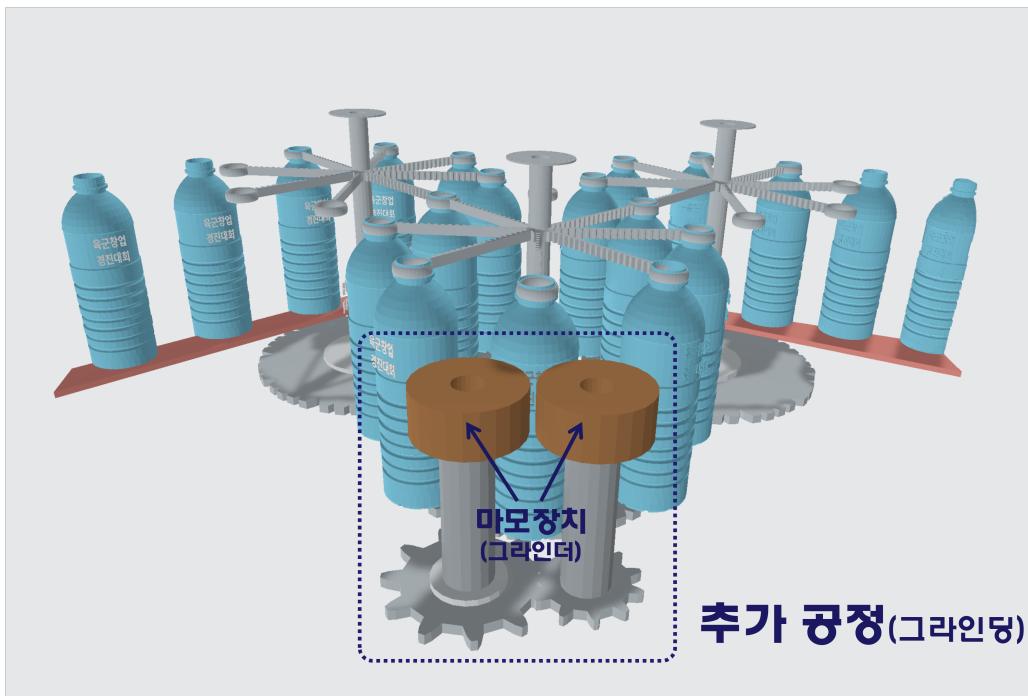


Figure 1: 시인성이 개선된 무라벨 페트병의 제조공정

한편, 마모된 부분의 기계적 특성 또한 고려되어야 한다. 마모되는 부분의 두께가 수십 μm 내외($30\mu m$ 이하)로 얇아지게 되므로, 내압성이 약화될 수 있다. 이와 관련한 정량적 분석을 위해 소재역학적 계산을 수행하였다. PET병 구조에서 최대 압력이 걸리는 부분은 바닥 부분이며, PET의 yield strength가 60MPa 이상이고, 탄산음료 병 내부 압력이 최대 3.5기압까지 올라가는 점을 고려할 때, 마모되지 않은 PET병의 안전계수는 2.93 이상이다. 그러나 기계적 마모를 통해 두께가 감소한다고 하더라도, 안전계수는 2.64로 충분히 높은 수준을 유지한다. 따라서 모풀로지 개선을 통해 시인성을 개선함에 있어 페트병의 품질에 이상이 없다.

기계적 그라인딩을 통해 시인성을 개선하는 데 있어 가장 유리한 분야는 유색 페트병이다. 그라인딩을 통해 생성되는 광산란 중심에 의해 그라인딩된 부분은 불투명한 흰색으로 보이게 되는데, 따라서 플라스틱 맥주병 등의 유색 페트병은 색상의 극적인 변화를 기대할 수 있다. 한편, 이러한 그라인딩 처리는 본질적으로 빛은 산란시켜 반사시키는 역할을 하기 때문에, 일부 유색 페트병에 기대되는 직사광선으로부터의 보호라는 본질적 역할 또한

잘 수행할 수 있다. 한편, 생수병과 같은 투명 페트병의 경우에도, 불투명도를 기반으로 높은 시인성을 확보할 수 있다. 상기 그림 1에 나타낸 공정을 통해 제조된 유색, 무색 페트병의 그라인딩 전후 시인성을 컴퓨터그래픽(CG)을 이용해 아래 그림 2 내지 5에 나타내었다.



Figure 2: 그라인딩 전의 투명(무색) 페트병

Figure 3: 그라인딩 후의 투명(무색) 페트병

Figure 4: 그라인딩 전의 유색 페트병

Figure 5: 그라인딩 후의 유색 페트병

2.3 시인성이 개선된 페트병의 시장성

김용만, 강석정, 변충규(2001)의 연구에 의하면, 내재적 단서(맛, 향기, 색 등), 외재적 단서(상표명, 포장, 가격), 친숙성(사전인식정도, 상품의 익숙성) 중 외재적 단서가 구매만족도와 재구매 의사에 가장 큰 영향을 미치는 것이 규명되었다.⁶ 이러한 맥락에서 볼 때, 무라벨 페트병의 시인성 개선은 무라벨 페트병의 판매량 증가에 있어 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 시인성이 개선된 무라벨 페트병의 시장성을 정량적으로 분석하기 위해, 아래의 각 단서들을 고려하였다.

첫째로, 무라벨 페트병의 수요가 매년 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. Data Bridge Market Research의 연구에 따르면, 2020년부터 2027년까지 세계 페트병 생산량이 연 평균 3.91%의 증가세를 보일 것으로 예상되는데, 2027년에는 30% 증가된 페트병이 생산될 것으로 보인다.⁷ 국내에 한정하더라도 2027년에는 연간 40만 톤에 달하는 페트병이 생산된다.⁸ 페트병 중에서도 무라벨 방식의 적용이 가장 용이한 생수의 경우를 보더라도 상황은 같다. 한국샘물협회와 ibk 연구소의 연구에 따르면 국내 생수시장은 1인가구의 증가와 생수에 대한 인식 변화로 인해 폭발적으로 증가하고 있고, 2025년까지 국내 생수시장은 2조 원에 달할 것으로 기대된다. 이러한 폭발적인 생수시장 증가와 환경에 대한 규제 강화, 대중의 관심이 맞물려 무라벨 페트병 시장은 폭발적으로 증가할 것으로 기대된다. 일례로, 업계 최초로 무라벨 페트병 제품을 생산했던 롯데칠성의 경우 2020년 전체 생산량의 5% 이내만을 무라벨

⁶Kim, Yong Mahn, Seok Jeong Kang, and Choong Kyu Byeon. “유통업체 상표의 구매행동에 관한 설증적 연구.” Journal of Global Academy of Marketing Science 7.1 (2001): 353-374.

⁷Data Bridge Market Research, “Global PET Bottle Market – Industry Trends and Forecast to 2027”, DBMR Report, accessed 2021.09.18.

⁸ “[페페트병의 역설] 年30만t 쓸어지는데 쓸 페트는 없다?(2021.02.05.)”, 아주경제, accessed 2021.09.18.

제품으로 생산했지만, 환경부의 ‘재활용 최우수’ 등급 광고 허용, 생산자책임재활용 분담금 50% 감면 등의 혜택을 통해 2021년에는 무라벨 제품 비중을 20% 이상으로 끌어올리는 계획을 발표했다.⁹ 이러한 예시에서 볼 수 있듯, 환경 규제를 강화하는 정부 방침과 친환경 소비 수요가 증가함에 따라 무라벨 페트병 판매량은 크게 증가할 것으로 보인다. 일례로, 롯데마트와 세븐일레븐은 각각 무라벨 생수 제품인 ‘초이스엘 세이브워터 ECO’, ‘아이시스 2L 6 입’의 판매량이 각각 전년 동기 대비 80%, 전월 대비 80% 증가했음을 보고했다.¹⁰

둘째로, 페트병 생산 비용이 유의미하게 증가하지 않는다. 기존의 500mL 페트병 생산단가는 개당 50원 내외이다.¹¹ ¹² 무라벨 페트병의 시인성을 개선하기 위한 그라인딩 작업은 초기 투자비용을 제외하고는 유지비용이 매우 적다. 이를 정량적으로 분석하기 위해, 본 연구에서는 평균시스템비용법(Average System Cost, ASC)을 이용하여 유지비용을 추산하였다. 장비 사용 기간 n 에 대한 총 비용을 $TC(n)$ 이라 하고, 초기 투자비(장비 구입비)를 I , j 번째 회기의 운영유지비를 C_j 라 하면, $ASC(n) = \frac{TC(n)}{n} = \frac{I + \sum_{j=1}^n C_j}{n}$ 이다. 1개 생산라인에 대해 운용을 위한 산업용(갑종) 전기료 및 장비 유지보수비용을 고려하면 $C_j = 4.7\text{KRW}/h$ 이고, 초기 투자 비용은 장비 제작·설치비를 고려하면 3,000,000KRW 이하로 추산된다. 이러한 계산은 기존 생산라인의 회전동력을 그대로 이용함에 따라 별도의 동력장치가 필요없음을 고려하였다. 장비 사용 기간을 20년으로 고려하였을 때, $ASC < 17.6\text{KRW}/h$ 가 된다. 초당 2.4개의 페트병이 생산됨을 고려할 때, 페트병 개당 생산 비용은 0.002원 이하로 오르는 수준에 그친다. 이는 생산자가 기존의 라벨이 접착된 페트병을 생산하였을 때 부담하여야 하는 생산자책임재활용 분담금이나, 라벨을 생산하는 데 드는 비용보다 저렴한 수준이다. 이에 관한 정량적 계산은 후술된 ‘비즈니스 모델’부분에서 다룬다.

셋째로, 무라벨 페트병을 통해 생산자는 소비자만족도를 크게 개선함으로서 제품경쟁력을 강화할 수 있다. 라벨 제거 기준이 공동주택에서 단독주택까지 확대되고 있는 만큼, 소비자들은 무라벨 페트병의 용이한 분리배출에 높은 만족도를 보이고 있다. 특히 김용만, 강석정, 변충규(2001)가 지적한 바와 같이, 복수의 조사에서 ①분리배출의 용이성, ②환경에 대한 기여 등을 이유로 소비자들이 무라벨 페트병을 선택하는 것이 밝혀졌다.¹³ ¹⁴ ¹⁵

결국 생산자가 ‘시인성이 개선된 페트병’의 생산을 도입하는 것은 환경에 대한 관심 증가와 그에 기인한 규제 강화, 분리배출의 용이성과 그에 따른 재활용률 개선 등의 기대효과에 기인한 수요 증가에 부응할 수 있다. 이를 위해 수반되는 비용은 라벨을 없앰으로서 절감되는 생산비용 및 생산자책임재활용 분담금 감면분에 비해 현저히 적어 결과적으로 비용을 줄일 수 있다. 또한 본 페트병은 환경부 고시에 의해 ‘재활용 최우수’ 등급에 해당하며, 이를 통해 환경 마케팅을 통한 소비자만족도를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라, 재활용 가치를 크게 높일 수 있다.

2.4 비즈니스 모델

시인성이 개선된 무라벨 페트병을 생산자가 도입하는 경우, 아래 표 1와 같은 직·간접적 장·단점을 갖는다.

Table 1: 시인성이 개선된 무라벨 페트병 도입에 따른 직·간접적 장·단점

구분	장점	단점
직접적	라벨 제조 및 부착 비용 절감 생산자책임재활용 분담금 50% 감면	초기 투자비 및 추가운용비용 발생
간접적	친환경 소비자에 의한 소비 증가	

따라서 특허권에 따른 사용권료(로열티)는 따라서 생산자가 시인성이 개선된 무라벨 페트병을 도입함으로써 얻는 순이익(장점에 따른 비용 절감분에서 단점에 따른 비용 추가분을 제한 것) 이하로 부여하여야 한다. 첫 번째 직접적 장점인 라벨 제조비 절감을 계산하였을 때, 500mL 페트병 기준으로 제조비가 최소 0.435원 절감된다.¹⁶ ¹⁷

⁹ “생수 무라벨 페트병 비중 연내 20%로 늘린다(2021.02.23.)”, 식품음료신문, accessed 2021.09.18.

¹⁰ “친환경 소비자가 큰 손...무라벨 생수 매출 ‘껑충’(2021.05.11)”, 그린포스트코리아, accessed 2021.09.18.

¹¹ “[황금알] 생수 원가, 얼마인가 보니? ‘이럴수지’(2015.05.19.)”, MBN뉴스, accessed 2021.09.18.

¹² “페트병 하나에 19원... 플라스틱, 왜 이렇게 싼 걸까요?(2021.03.16.)”, 한국일보, accessed 2021.09.18.

¹³ Kim, Yong Mahn, Seok Jeong Kang, and Choong Kyu Byeon. “유통업체 상표의 구매행동에 관한 설증적 연구.” Journal of Global Academy of Marketing Science 7.1 (2001): 353-374.

¹⁴ “무라벨 생수, ‘돈쭐’ 나는 이유(2021.05.17.)”, 시사위크, accessed 2021.09.18.

¹⁵ “비닐라벨 펜 생수 ‘아이시스’ 천만개 팔려(2021.01.13.)”, 매일경제, accessed 2021.09.18.

¹⁶ “포장 떼고, 무게 줄이고... 생수 시장 친환경 경쟁 불붙었다(2021.09.06.)”, 조선비즈, accessed 2021.09.19.

¹⁷ “롯데칠성음료, 무라벨 생수 ‘아이시스 ECO’ 친환경 통했다(2021.01.13)”, 식품음료신문, accessed 2021.09.19.

두 번째 직접적 장점인 생산자책임제활용 분담금 감면량은 한국포장재재활용사업공제조합 공동운영위원회가 2020년 의결한 기준에 의해 PET 소재 kg당 145원(단일무색) 내지 235원(단일유색), 페트병 라벨 필름 소재 kg당 85원 내지 203원(매출 규모에 따라 차등)이다.¹⁸ 따라서 500mL 페트병 1개당 절감되는 생산자책임제활용 분담금은 1.113 원 내지 1.823원이다. 간접적 요인은 정량적으로 추산하기 어렵고, 따라서 본 연구에서는 간접적 장점을 산입하지 않았다. 결국 시인성이 개선된 무라벨 페트병 생산에 따른 비용 절감과 발생 요인을 모두 고려하였을 때 로열티는 500mL 병당 0.9원 이하 수준(전체 페트병 가격의 2% 수준)으로 책정할 수 있다. 한편, 2018년 기준 국내 페트병 생산량이 연간 297,222톤에 달하고, 이 중 10%만 시인성이 개선된 무라벨 페트병으로 생산된다고 가정하더라도 국내에서만 연간 18억 여 원의 로열티 수익을 달성할 수 있을 것으로 보여, 높은 수익성을 기대할 수 있다.

3 결론

본 연구에서는 기계적 마모를 통해 페트병 표면에 광산란 중심을 생성시키고, 이를 통해 백색의 불투명한 패턴을 그려낼 수 있음을 이용해 무라벨 페트병의 시인성을 크게 개선할 수 있음을 제시하였다. 개선된 무라벨 페트병의 생산공정은 요철을 부여하여 상표를 표시하는 기존 공정을 그대로 활용할 수 있어 높은 경제성을 보이며, 실질적으로 페트병 생산 단가를 절감하는 효과도 있다. 또한 최근 소비자들의 친환경 소비가 증가하고, 당국의 환경규제가 강화됨에 따라 무라벨 페트병의 수요가 급증할 것으로 예상되는 바, 시인성이 개선된 무라벨 페트병을 이용하면 높은 시장경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 시인성 개선은 유·무색 페트병 모두에 적용될 수 있는데, 유색 페트병의 경우 극적인 색상 변화를 기대할 수 있을 뿐 아니라 유색 페트병의 본래 목적인 직사광선 차단의 역할 또한 잘 수행할 수 있다. 또, 무색 페트병의 경우에는 기존 투명했던 소재를 불투명하게 만들면서 빛의 반사 특성을 변화시켜 시인성을 개선할 수 있다. 개선된 페트병은 앞서 제시된 ①PET 소재로만 만들어질 것, ②시인성 개선을 위한 별도의 염료 성분이 혼합되지 않을 것, ③높은 시인성을 가질 것의 세 가지 요건을 모두 충족시킨다. 시인성이 개선된 페트병을 도입함으로서 일차적으로는 비용 절감, 분리배출 용이 등의 효과를, 궁극적으로는 플라스틱 사용 절감 및 환경 보호를 기대할 수 있다.

¹⁸ “내년 EPR 의무대상자 분담금 단가 결정... 철캔 87원 · 알루미늄캔 130원(2019.11.08.)”, 식품음료신문, accessed 2021.09.19.