KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 31, No. 1 53~63 (2025)
https://doi.org/10.20909/kopast.2025.31.1.53

재활용 용이성 등급 평가 관점으로의 포장재 개선을 위한 대체 기술 분석 연구

김한슬[1] · 권오준[2] · 이재정[2] · 주민정[1]*

[1]한국건설생활환경시험연구원

[2]한국포장재재활용사업공제조합

Analysis of Alternative Technologies for Packaging Improvement from the Perspective of Recyclability Grade Assessment

Hanseul Kim[1], Ohjun Kwon[2], Jaejung Lee[2], and Minjung Joo[1]*

[1]Korea Conformity Laboratories
[2]Korea Packaging Recycling Cooperative[1]

Abstract The material composition and structural design of packaging significantly influence its recyclability, with certain types classified as “Poor recyclability” due to inherent structural limitations. This study investigates the primary factors that hinder recyclability, focusing on paper cartons, PET bottles, and glass bottles, and explores strategies for structural improvement and alternative technologies. Key limitations were identified, including aluminum-laminated layers in paper cartons, non-standard coloring in glass bottles, and the use of composite materials in PET bottles. To address these challenges, various alternative technologies were reviewed, such as SiOx-coated films, mono-material PET, Diamond-like Carbon (DLC) coatings, and full-body shrink labels. Additionally, commercial applications of these technologies are introduced to demonstrate their practical feasibility. Overall, this research provides an in-depth analysis of material and structural innovations aimed at improving packaging recyclability and suggests relevant policy directions. The findings are expected to serve as a foundational reference for the development of sustainable packaging solutions and future regulatory strategies.

Keywords Packaging recyclability, Packaging regulations, Recycling policies, Alternative technologies, Sustainable packaging

서 론

전 세계적으로 폐기물 감축과 재사용, 재활용 확대의 필요성이 강조되며 순환경제(Circular Economy)로의 전환을 실천하고 있다[1]. 특히, 모든 제품에 필수적으로 사용되는 포장재는 사용 후 단기간 내 폐기되는 특성으로 인해 적절한 재활용 시스템이 갖춰지지 않을 경우 환경적 부담을 초래한다. 따라서 포장재의 재활용성을 높이는 것은 자원의 효율적 활용과 순환경제 실현을 위한 필수 요소이나 일부 포장재는 복합재질, 특수 코팅, 비분리형 구조 적용 등의 문제로 인해 재활용이 어려워 이에 대한 대책과 개선이 요구되고 있다.

2024년 4월 유럽연합(EU)은 포장 및 포장 폐기물 규정(Proposal for Packaging and Packaging Waste Regulation, PPWR)을 도입하여 포장재의 재사용과 재활용 가능성을 높이는 정책을 적극적으로 추진하고 있다[2]. 이 규정은 2030년까지 모든 포장재가 재활용 가능하도록 설계되어야 한다는 기준을 포함하며, 포장재 중량의 최소 70%(소재별: 플라스틱 55%, 종이 85%, 유리 75%)를 재활용해야 한다. 이와 유사하게 독일의 VerpackG[3], 일본의 포장재 재활용법[4] 등 주요 선진국들도 포장재 재활용 기준을 강화하고 있다.

국내에서도 폐기물 감량과 환경 보호를 위한 다양한 정

Corresponding Author: Minjung Joo
199, Gasan digital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul 08503, Republic of Korea
Tel: +82-2-6912-2333
E-mail: mjjoo@kcl.re.kr

책이 추진되고 있다. 2024년부터 시행된 「순환경제 전환 촉진법」은 포장재의 생산부터 폐기까지 전 과정에서 순환성을 고려하는 것을 의무화하고, 재활용 용이성을 강화하는 것을 핵심 목표로 한다[5]. 또한, 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 통해 포장재의 재질·구조 평가 기준을 마련하고 포장공간비율에 따른 적정포장을 적용함으로써, 재활용이 용이한 포장재의 생산과, 친환경 포장재로의 전환을 유도하고 있다[6]. 특히, 생산자책임재활용제도(Extended Producer Responsibility, EPR)를 통해 기업이 제품의 생산부터 폐기될 때까지 재활용과 폐기 관리에 대한 책임을 지도록 하고 있으며[7], 포장재 생산자는 폐기물 처리 비용을 부담하고 재활용 목표를 충족할 의무를 갖는다. 또한, 「포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준」을 도입하여 포장재의 재질 및 구조에 따라 등급을 차등 부여하고, 등급에 따라 재활용 부담금을 추가 부담하거나 세제 혜택을 받을 수 있도록 등급개선을 유도하고 있다[8].

이에 따라 본 연구에서는 포장재의 재질 및 구조가 재활용성에 미치는 영향을 중심으로, 재활용이 어려운 포장재의 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 기술적·정책적 대안을 제시하고자 한다.

본 론

1. 포장재 재활용 용이성 등급 평가의 개정 방향

포장재의 재질 및 구조는 재활용 공정과 효율성에 영향을 미치는 중요한 요소이며, 이에 따라 환경부에서는 각 포장재의 재활용성을 높이기 위한 정책적 방안으로 「포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준」을 마련하였다. Table 1에 나타낸 것과 같이 재활용 용이성 등급 평가에 대상이 되는 포장재의 재질은 9가지로 구분되며, 종이팩, 유리병, 금속캔(철캔, 알루미늄캔), 일반 발포합성수지의 단일 및 복합 재질, 폴리스티렌페이퍼(Polystyrene Paper, PSP), 페트(Polyethylene Terephthalate, PET)병, 합성수지의 용기 및 트레이류, 합성수지의 필름 및 시트류가 이에 해당된다[8]. 재활용 용이성 평가결과는 크게 세가지 등급으로 구분된다. “재활용 최우수/우수”등급은 재활용이 용이한 재질 및 구조의 모든 기준을 만족하고, 재활용이 어려운 재질 및 구조의 기준에 어느 하나에도 해당하지 않는 경우가 이에 해당하며, 재활용이 어려운 재질 및 구조의 기준에 어느 하나에 해당하는 경우는 “재활용 보통”, 그 이외의 경우는 “재활용 어려움”등급으로 구분된다.

Table 1. Details on standard for the quality, structure and recyclability of packaging Materials[8]

	Details
Materials	Paper packing materials, Glass bottle packing materials, Metal can packing materials (steel cans), Metal can packing materials (aluminum cans), General foam synthetic resin single/composite material packaging material, PSP materials, PET bottle packing materials, Synthetic resin packing materials (containers and trays), Synthetic resin packing materials (films and sheets)
Grade	Excellent/Good recyclability (quality, structure that can be easily recycled) Average recyclability (quality, structure with limited recycling capability) Poor recyclability (quality, structure that difficult to recycle)

Table 2. History and major changes in act on the promotion of saving and recycling of resources (Resource recycling act)

Ministry of Environment Notice	Details	Ref.
No 1.2019-265, (2019.12.30)	○ Implementation of a rating system for the ease of recycling of packaging materials in order to encourage improvements in the material and structure of packaging materials to make them easier to recycle	9)
No 2.2021-3, (2021.1.7)	○ Since the implementation of the system, new technology developments and changes in recycling site conditions have been reflected in the evaluation criteria for ease of recycling	10)
No 3.2022-44, (2022.2.28.)	○ Changes due to the development of new types of packaging materials and changes in recycling site conditions are reflected in the evaluation criteria for ease of recycling	11)
No 4. 2023-73, (2023.4.14)	○ Changes resulting from the development of new types of packaging materials are reflected in the evaluation criteria for the ease of recycling of packaging materials	12)
No 5. 2024-141, (2024.7.11)	○ As the “weight” item was introduced (implemented on March 29, 2024) in the grading of packaging materials, structure, and recyclability, detailed regulations such as evaluation criteria are needed	13)
No 6.2025-2, (2025.1.7)	○ By adding “Best Recyclable” items to the rating criteria for the ease of recycling of glass bottles and synthetic resin containers and trays, we aim to encourage manufacturers subject to recycling obligations to improve their materials and structures for easy recycling	8)

Table 3. Key points and impacts of “Criteria of Assessing Packaging Materials and Structures and Recyclability Grade Assessment”

Revision Date	Content	
2022.2.28	Key Point	**- Synthetic Resin** • If a cap, lid, or straw is made of a material other than plastic, the entire packaging is classified as "Poor recyclability" regardless of the body material
	Environmental Impact	• Promoting structural improvement and improving recycling efficiency through the application of single materials
	Industrial Impact	• Additional cost burden due to facility modifications for introducing alternative materials • Potential decrease in consumer convenience due to material change
2024.7.11	Key Point	**- PET bottle** • The body of PET bottles with a lightweight index of 1 or lower are upgraded to " Excellent recyclability"
	Environmental Impact	• Reduction in plastic usage and carbon emissions through lightweight technology
	Industrial Impact	• Reducing the mechanical strength of containers and risk of deformation • Increased risk of deformation and damage during transportation • The increased cost of Facility modification when introducing lightweight containers

*출처: 환경부고시 ‘포장재 재활용 용이성 등급평가 기준’ 재구성

포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준은 포장재의 재질과 구조에 따라 재활용 용이성을 평가하고, 관련 업계의 자발적 재질 및 구조 개선을 유도하는 역할을 하여 재활용 공정의 효율성을 높이는 것을 목표로 한다. 이에 따라, 포장재 재활용 용이성 등급평가 기준은 새로운 포장재의 등장과 재활용 현장의 변화를 반영하며 지속적으로 개정되고 있으며, Table 2와 같이 고시 제명 변경(2019.12.30 개정) 이후 현재까지 6차례 개정이 이루어졌다.

Table 3과 같이 6차례의 개정 중 2022.2. 28 개정의 경우, 합성수지 포장재에 몸체가 합성수지 이외 재질의 리드·마개 및 빨대 사용시 몸체 재질에 관계없이 모두 “재활용 어려움” 등급을 부여하도록 개정되었다[11]. 이 개정은 단일 포장재 사용을 유도함으로써 구조적 개선과 재활용 공정의 효율화를 촉진할 수 있는 긍정적인 환경적 영향을 이끌어냈으나, 산업적으로는 기존 생산 시설의 대체를 위한 설비 변경 등의 추가 비용 발생과 소비자 사용 편의성 저하 가능성으로 인한 매출 감소 우려 등의 부정적인 산업적 영향이 제기될 수 있다.

2024년 7월 11일 개정에서는 페트병의 경량화를 촉진하기 위해, 경량화 지수 1 이하인 제품을 “재활용 최우수” 등급으로 상향 조정하였다[13]. 이 개정은 플라스틱 사용량 및 탄소 배출량 감축이라는 긍정적인 환경적 영향을 기대할 수 있지만, 기존의 고차단성, 복합소재 포장재를 사용하던 업계에서는 재질 변경 시 발생할 수 있는 제품 품질의 변수와 대체 기술의 부재 혹은 대체 기술 도입에 따른 추가 비용 부담에 대한 부정적인 산업적 영향을 제기할 수 있다.

예를 들어, 경량화된 페트병의 경우 기존 병 대비 기계적 강도가 낮아질 가능성이 있으며, 운송 과정에서 강한 압력을 받는 병목의 경우, 변형 및 파손될 위험이 커질 수 있다. 또한, 경량화된 용기를 도입하기 위해서는 생산공정 변경이 필요하며, 이에 따른 설비 투자가 수반된다. 따라서, 재활용성을 높이는 것과 동시에 용기의 기계적 안정성을 유지하기 위한 대체 기술의 연구가 수반되어야 하며, 이를 실현하기 위해서는 소재뿐 아니라 제품디자인, 유통환경 등 다양한 접근의 개발이 필요하다.

최근 재질구조 용이성 평가의 개정 방향은 단순히 재활용이 용이한 포장재를 구분하는 것을 넘어, 친환경적 재질과 구조로의 전환을 유도하는 정책적 변화로 나타나고 있다. 이에 따라 포장재의 설계 단계에서부터 재활용성을 고려한 단일 재질 중의 구조 개선이 요구되고 있으며, 포장재 사용량을 줄이는 경량화 기술의 도입 등 다양한 시도가 이루어지고 있다. 이러한 개정은 재활용 공정의 효율성을 높이고, 이를 통해 플라스틱 사용량을 줄일 뿐 아니라 더 나아가 탄소배출량을 저감함으로써 순환경제 실현을 위한 기반을 마련하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 그러나, 관련 업계에서는 기존 포장재를 대체하는 재질, 설비 도입 및 생산 비용 증가, 상대적인 품질 저하 등의 문제를 해결해야 하는 과제가 남아 있다.

2. 포장재 등급개선의 한계점 및 대체 기술 분석

2022년 포장재 재활용 용이성 어려움 등급평가 결과(Table 4)에 따르면, 2021년도 분 포장재 재질간 “재활용 어려움” 등급 비율의 차이가 큰 것으로 나타났다. 2021년도의 종이팩 포장재의 “재활용 어려움” 등급 출고량은 36.4%을 차지하며, 대상 포장재 중 구조 개선 대상에 포함되지 않는 PVC를 제외하면 가장 높은 비율을 나타냈다. 품목별 전체 출고량을 기준으로 했을 때 “재활용 어려움” 등급 출고량은 유리병과 페트병이 각각 28.1%와 6.9%로 높은 비율을 나타냈다.

이에 따라, 본 연구에서는 “재활용 어려움” 등급 출고량

Table 4. 2022 Evaluation results of packaging materials rated as “Poor recyclability”

Package Materials		2021 Output volume		
		Output volume (ton)	Output volume as “Poor recyclability” (ton)	Percentage of Output volume rate (%)
Carton		73,175	26,621	36.4
Glass bottle		412,910	116,060	28.1
Meta Can (Steel Can)		109,359	1	0.001
Metal Can(Aluminum can)		91,886	2,268	2.5
PET bottle		315,594	21,841	6.9
Expanded Synthetic Resin		57,047	456	0.8
PSP		8,382	624	7.4
PVC		3,675	3,505	95.4
Synthetic Resin	Container and Tray	276,017	32,429	11.7
	Film and Sheet	362,808	12,502	3.4

*출처: 2021출고량에 대한 재활용 용이성 어려움 등급평가 결과 재구성

이 높은 종이팩과 전체 출고량 기준으로 높은 비율을 차지하는 유리병 및 페트병을 중심으로 포장재 등급개선의 한계점과 대체 기술을 분석하였다. 예를 들어 종이팩은 재활용 과정에서 종이층과 알루미늄층의 분리가 어려운 한계를 가지고 있어, 이를 대체할 수 있는 기술적 해결책이 필요하다[14]. 유리병은 비표준색상 유리 및 금속 라벨 혼입 유리에 대해 재활용 공정에서 문제가 지속적으로 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위한 새로운 대체 기술이 요구된다. 또한, 페트병은 단일 제품의 사용량이 많아 재활용성이 높은 재질로 평가되지만, 부착된 라벨, 복합재질 및 유색 페트병 사용으로 인하여 재생 PET 품질 저하를 일으키는 문제가 발생하고 있어 이에 대한 대체 기술이 필요하다.

본 연구에서는 “재활용 어려움” 대상 제품군의 포장재 기술 한계점을 파악하고 포장 제조사 7곳을 대상으로 인터뷰 및 설문조사를 실시하여 산업적 한계점과 대체 기술을 조사하였다. 이를 통해 재활용 공정에서의 주요 문제점을 도출하고, “재활용 어려움” 등급 포장재의 개선 가능성과 대체 기술 적용의 한계를 함께 분석하였다.

2.1. 종이팩 포장재

종이팩 포장재는 우유, 주스, 두유 등의 음료 제품에 사용되며, 포장재 구조에 따라 살균팩과 멸균팩으로 구분된다. 살균팩은 종이 양면에 폴리에틸렌(Polyethylene, PE) 코팅이 적용되어 있어 수분이 많은 제품의 포장에 적합한 특징이 있다. 반면, 멸균팩은 알루미늄이 첩합된 다층 구조로 제작되어 높은 차단 성능을 제공하며, 장기간 보관과 상온 유통이 가능한 장점이 있다[15-18]. 이러한 특성으로 인해 멸균팩을 적용한 일부 제품은 “재활용 어려움” 등급으로 분류된다.

Table 5와 같이 재활용 용이성 평가 기준에 따르면 알루미늄 첩합 구조와 마개나 잡자재를 사용하지 않는 경우 “재활용 최우수/우수” 등급에 해당된다. 반면, 알루미늄이 첩합된 구조, 백색 이외의 색상 사용, 몸체와 불리가 불가능한 합성수지 마개 또는 성형구조를 포함하는 경우는 “재활용 어려움”으로 분류된다. 다만, 마개 및 잡자재의 중량이 전체 10% 이내 인 경우 “재활용 보통”으로 분류한다. 본 논문에서는 종이팩 포장재의 주요 재활용 저해 요소인 알루미늄 첩합 구조에 대한 한계점을 분석하고, 대체 기술을 제안하였다.

2.1.1. 몸체가 알루미늄 첩합 구조를 사용한 종이팩일 경우

종이팩 중 멸균팩은 알루미늄층이 포함된 다층 구조로 이루어져 있어 산소 및 수분 차단 성능이 뛰어나지만, 재활용 과정에서 종이층과 알루미늄층의 분리가 어렵다는 문제가 있다[14]. 이로 인해 종이 펄프를 걸러내는 과정에서 분리되지 못한 알루미늄이 첨가될 경우 검은 점이나 회색 점으로

Table 5. Detailed standards for material and structure of carton packaging

Category	Excellent/Good recyclability	Poor recyclability
Body	• Paper packs without aluminum laminated structures	• Paper packs with aluminum laminated structures • Products using pulp of colors other than white
Lid & Attachments	• Unused	• Synthetic resin caps or molded structures that cannot be separated from the body
If the weight of the caps and miscellaneous materials is within 10% of the total weight (including caps that can be separated from the body), it is classified as “Average recyclability”		

Table 6. Recycling challenges and alternative technologies for carton packaging

Category	Criteria for "Poor recyclability"	Limitations	Alternative Technology
Body	• Cartons with an aluminum-laminated structure	• Difficult separation of aluminum and paper layers during recycling • Possible reduction of shelf life due to aluminum layer removal • Increased logistics costs due to the introduction of refrigeration system	• Paper-based barrier (Nanometer metalized coating) • Plant-based polymer-laminated structure • SiOx-laminated structure • Replace with a transparent PET bottle

나타나는 현상이 발생하여 제품의 품질이 저하되는 문제가 발생한다[19]. 업계에서는 알루미늄층이 제거될 경우 제품의 유통기한이 단축되고, 냉장 유통이 필수적으로 요구되어 물류 비용이 증가할 가능성이 있다고 지적하고 있다. 또한, 기존 멸균팩이 제공하는 고차단성 기능을 대체할 적절한 소재가 부족하다는 한계점이 존재한다.

이러한 한계점을 해결하기 위해 다양한 대체 기술이 연구되고 있으며, 일부 제품은 상용화 단계에 도달하였다. 스위스 TetraPak 社에서는 알루미늄 대신 종이에 초박막 금속화 코팅 기술을 적용한 멸균팩과 식물 기반의 폴리머(Plant-based Polymer)를 적용한 친환경 멸균팩을 개발하였으며, 일본 TOPPAN 社에서는 알루미늄 대신 SiOx(실리카 증착 필름)를 적용하여 멸균팩을 개발하여 재활용성을 향상시킨 제품을 출시하였다. 국내에서도 종이팩에 재활용성을 높이기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며 알루미늄 첩합 구조 대신 코팅된 종이팩을 도입하거나, 기존 멸균팩을 무색 페트병으로 대체한 사례가 점차 늘고 있다. ㈜매일유업과 ㈜빙그레, ㈜풀무원의 경우 주스류에 적용되던 멸균팩을 무색 페트병으로 대체하여 상용화중이며, ㈜매일유업과 ㈜한국야쿠르트는 우유에 적용된 멸균팩을 종이에 PE가 코팅된 종이팩으로 개선하였다[20].

2.2. 페트병 포장재

페트병은 단일 재질로 제작되어 재활용이 용이한 포장재로 평가되며, 약 80%의 높은 재활용률을 기록하고 있다. 수거된 투명 페트병은 고품질의 PCR(Post Consumer Recyclates, 소비자 사용 후 재활용 소재)로 다시 제품 생산에 활용될 수 있어 순환경제에서 중요한 역할을 한다. Table 7과 같이 재활용 용이성 평가 기준에 따르면, 몸체는 단일 PET 재질로 구성되고, 경량화 지수(L) ≤ 1.0일 경우 “재활용 최우수/우수” 등급에 해당된다. 라벨이 없는 경우는 물론, 비중 1 이하의 합성수지로 제작된 라벨 중 소비자가 손쉽게 제거할 수 있도록 절취선, 점접착 방식 등을 적용하고 최소 면적만 부착한 라벨 역시 “재활용 최우수/우수” 등급으로 분류된다. 또한, 몸체와 동일한 재질(PET)로 제작되었거나 재활용 공정에서 쉽게 제거 가능한 수세(洗滌)잉크 등을 사용한 라벨도 포함된다. 마개 및 잡자재 역시 비중 1미만의 합성수지 또는 무색 페트 단일재질일 경

Table 7. Detailed standards for material and structure of PET bottleDetailed standards for material and structure of PET bottle

Category	Excellent/Good recyclability	Poor recyclability
Body	• Single material colorless, lightweight index 1 or less (L≤1)	• In case of mixing of glycol modified PET resin (PET-G) material • Color other than green in single material PET bottles excluding drinking water and beverages • Color in case of drinking water and beverages • Composite material
Label	• No label used • Synthetic resin material with a specific gravity of less than 1, if all of the following conditions are met - Structure that allows consumers to easily separate - Use of thermal alkaline separation adhesive - If the adhesive application area and amount are minimized • Use thermal alkaline separation ink that can be separated in the recycling process as a non-contact adhesive of the same material as the body	• Synthetic resin material with a specific gravity of 1 or higher without a structure that allows consumers to easily separate it • Use of adhesive that cannot be separated by heat or alkali • Direct printing on the body (excluding expiration date and manufacturing date indication) • PVC series material, material other than synthetic resin, metal mixed material
Lid & Attachments	• Single material of synthetic resin or colorless PET with a specific gravity of less than 1	• Synthetic resin with a specific gravity of 1 or higher excluding colorless PET single material • PVC series material • Material other than synthetic resin

우가 이에 해당된다. 반면, 글리콜 변성 PET(PET-G)가 혼합된 경우나, 복합재질, 유색 페트병(먹는 샘물, 음료), 녹색 이외의 색상(먹는 샘물, 음료 제외)일 경우 “재활용 어려움” 등급으로 분류된다. 라벨이 비중 1을 초과하거나, 소비자가 제거할 수 없을 정도로 강한 접착제를 사용한 경우, 금속성 인쇄가 되어 있거나 PVC 계열 또는 분리가 불가능한 합성수지 재질인 경우도 동일하게 “재활용 어려움”으로 간주된다. 마개 및 잡자재는 비중 1이상의 이종 합성 수지, PVC, 합성수지 이외의 재질일 경우가 이에 해당된다. 본 논문에서는 페트병의 주요 재활용 어려움 요소를 검토하고, 이에 따른 한계점과 대체 기술을 제안하였다.

2.2.1. 몸체가 복합재질일 경우

페트병의 복합재질 적용은 주로 기능성(산소, 이산화탄소 차단) 향상을 목적으로 이루어지며, 대표적인 예로 PET/나일론/PET 다층구조의 맥주용 페트병이 있다. 업계에서는 맥주와 같은 주류 제품의 경우 산소 및 빛 차단 기능이 필수적이므로, 단일 PET로 전환할 경우 제품 품질 유지가 어렵다는 우려가 있으며, 복합재질을 단일 PET로 변경할 경우 유통기한 단축 문제와 제품 보호 기능 저하가 발생할 가능성이 높다고 지적하고 있다. 그러나 이와 같은 복합재질 구조는 재질 분리가 어려운 다층 구조로 제작되어 물리적 과정에서는 분리되지 않아 재생 PET 품질을 저하시키는 주요 원인으로 작용한다. 특히 PET 외에 적용된 나일론은 재활용 공정에서 불순물로 인식되며, 이물질 혼입으로 인한 물성 저하 및 재생 원료의 사용 제한을 초래할 수 있다[21]. 이러한 문제에도 불구하고, 재활용성을 고려한 개선이 필요하다는 점에는 업계도 공감하고 있으며, PET 맥주병 제조사 대표 3개사는 「PET맥주병 재질·구조개선 자발적 협약」을 통해 재활용 개선을 위한 자체적인 연구 및 구조 개선을 추진하고 있다[22].

이러한 문제를 해결하기 위한 대체 기술로 투명 PET에 전신 수축필름을 적용한 방식이 제안되고 있다. 롯데칠성음료는 기존 갈색 맥주 페트병을 단일재질 투명 PET로 변경하고 PET 기반 전신 수축필름을 적용하여 재활용성을 향상시킨 제품을 출시하였으며, 2024년 대한민국 패키징 대전에서 국무총리상을 수상하였다[23]. 또한, 단일소재의 투과도를 개선하기 위한 플라즈마를 활용한 코팅 기술이 연구되고 있다. 그 중Diamond-like-Carbon (DLC) 기술은 페트병 내부에 다이아몬드와 유사한 구조의 탄소막을 형성하는 방식으로, 경도와 광 투과율, 화학적 안정성을 갖추며, DLC 박막의 물성을 조절할 수 있는 실리콘 도핑(Silicon doping) 기술을 활용하면 가스 차단 성능을 향상시킬 수 있다[24,25].

일본의 MISUBISHI 社는 DLC 코팅 기술을 페트병에 적용하여 산소 및 이산화탄소의 차단 성능을 개선하였으며, 다양한 식품 용기에 활용 중이다. 해당 기업에서는 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD, Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 기술을 활용하여 페트병 내부 표면에 고밀도 DLC 코팅을 형성하는 방식을 적용하고 있다. 이 과정에서 아세틸렌 (C_2H_2) 가스를 이온화하여 페트병 내부에 증착함으로써 기존 PET보다 뛰어난 가스 차단 성능을 확보할 수 있다[26]. 프랑스 Sidel 社는 PECVD 방식을 기반으로 독자적인 비결정 카본 내면 코팅(Amorphous Carbon Treatment on Internal Surface) 기술을 개발하였다[27]. 이 기술은 Mitsubishi 社의 방식과 유사하게 아세틸렌 가스를 전구체로 사용하여, 페트병 내부 표면에 수소화 비정질 탄소(Hydrogenated Amorphous Carbon, HAC)층을 증착하는 방식이다. 이를 통해 페트병을 경량화하고, 가스 차단 성능을 개선하였다.

2.2.2. 마개 및 잡자재가 합성수지 이외의 재질일 경우

페트병의 마개 및 잡자재가 “재활용 어려움” 등급을 받는 주요 제품군은 생활용품과 화장품이다. 생활용품 및 화장품류의 약 62%는 “재활용 어려움” 등급으로 분류되며, “재활용 우수” 등급으로 분류된 제품은 약 15%에 불과하다[28]. 특히, 생활용품 및 화장품류에서 사용되는 펌프 및 스프레이에는 금속 재질의 스프링이 포함되는 경우가 많아 재활용이 어려워진다. 스프링이 포함된 펌프는 재활용 공정에서 분리가 어렵고, 페트병의 재활용성을 저해하는 주요 요인으로 작용한다.

업계에서는 욕실용 생활용품의 경우 일반적으로 장기간 사용되며, 대용량 제품일수록 일정한 양의 토출이 가능해야 한다는 점을 강조하였다. 특히 샴푸나 로션처럼 점도가 높은 제품의 경우에는 토출 압력이 높고, 반복 사용에 견딜 수 있는 내구성이 요구되기 때문에, 금속 스프링 펌프 구조를 유지할 수밖에 없다는 의견을 제시하였다. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 일부 기업들은 단일 소재 펌프 및 스프레이를 적용하는 방안을 추진하고 있다. 페트병 몸체와 펌프의 소재가 다르더라도 폴리프로필렌 (Polypropylene, PP)이나 폴리에틸렌 (Polyethylene, PE)로 이루어진 단일소재의 펌프는 합성수지 비중 1미만이므로 페트병 재활용 공정 중 비중 분리가 가능하여 “재활용 보통” 등급으로 상향 조정될 수 있다. 2024년 대한민국 패키징 대전 산업통장자원부장관상을 수상한 ㈜연우의 유니소재 4CC 펌프는 PE 단일 소재로 제작되어 기존 스프링 펌프와 동일한 기능을 제공하면서도, 분리배출이 용이한 친환경 포장재이다[29]. 이 제품은 PE 소재의 유연성을 활용하여 금속 스프링 없이도 적절한 탄성을 유지할 수 있도록 설계되었으며, 기존 펌프 대비 동일한 성능을 구현하는 데 성공하였다. 또한, ㈜SUN&L에서는 PP 및 PE 올레핀 계열을 활용한 올플라스틱 스프레이를 개발하여 다양한 생활용품 제품에 적용하고

Table 8. Recycling challenges and alternative technologies for PET bottle

Category	Criteria for "Poor recyclability"	Limitations	Alternative Technology
Body	• Multilayer materials	• Degradation of product quality when switching to single-layer PET • Oxygen and light barrier issues in beverage packaging	• Diamond-like Carbon (DLC) coating - PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) - Amorphous Carbon Treatment on Internal Surface (Based PECVD) • Recyclable Full-Body Shrink Film
Lid & Attachments	• Non-polymeric materials	• Difficulty in separation during the recycling process • Maintaining product functionality and durability for high-viscosity liquids (e.g., shampoo, lotion)	• Mono-material PE or PP pumps to allow density separation during recycling

있으며[30], ㈜삼화에서는 PP 단일소재의 펌프를 개발하여 화장품 제품에 적용하고 있다[31].

2.3. 유리병 포장재

유리병은 무한 재활용이 가능한 포장재로, 폐유리는 세척 후 파쇄하여 파유리 (Cullet) 형태로 가공되며, 이를 신생 유리 생산에 활용하면 에너지 소비를 절감할 수 있다[32]. 하지만 유리병 재활용성을 높이기 위해서는 색상 제한 준수, 비접착식 라벨 적용, 단일 소재 마개 사용과 같은 친환경 설계가 필수적이다.

Table 9와 같이 재활용 용이성 평가 기준에 따르면, 유리병 몸체는 무색, 갈색, 녹색으로 한정된 색상일 경우 "재활용 최우수/우수" 등급으로 분류된다. 반면, 이 외의 색상은 선별 과정에서 어려움을 유발하기 때문에 "재활용 어려움" 등급으로 분류된다. 라벨의 경우, 사용하지 않거나 종이 재질, 절취선 또는 점접착식 합성수지 재질로 분리가 가능하거나 분리 배출 유도 문구를 삽입한 경우에는 "재활용 최우수/우수"등급으로 구분된다. 반대로 점착제가 사용된 합성수지의 분리나 제거가 어려운 경우, 금속성 인쇄가 포함된 라벨, PVC 계열 재질로 제작된 라벨은 재활용 공정에서 선별 및 세척의 어려움을 유발하기 때문에 "재활용 어려움"으로 분류된다[19]. 마개 및 잡자재는 유리병과 쉽게 분리 가능한 구조일 경우 "재활용 최우수/우수"등급으로 분류된다. 반면, 합성수지를 덧씌운 금속 마개, 뚜껑 및 테가 분리되는 구조, 몸체와 분리가 불가능한 마개 및 잡자재의 경우 "재활용 어려움" 등급에 해당된다. 본 논문에서는 유리병의 주요 재활용 어려움 구조 및 소재에 대해 분석하고, 이를 개선하기 위한 대체기술을 제안하였다.

2.3.1. 몸체가 무색, 갈색, 녹색 이외의 색상일 경우

유리는 색상별로 화학적 조성이 다르기 때문에 제조과정에서 다른 색상이 섞이면 원래의 색상 품질이 유지되지 않는다[33]. 표준 색상(무색, 갈색, 녹색) 이외 색상의 경우 사용량이 적고 재활용 과정 중 원료 물질의 품질을 저하시키는 요인이 되기 때문에 "재활용 어려움"등급으로 분류된다[34,35]. 하지만, 주류(와인, 고급 주류) 업계에서는 브랜드 정체성 유지 및 심미성을 강조하기 위해 다양한 색상의 유리병을 선호한다. 관련 산업계에서는 이러한 특성으로 인해 대체기술 적용에 대한 부담이 크며, 글로벌 브랜드의 경우 기존 포장 규격과 차이가 발생하기 때문에 한국 시장만을 위한 포장재 개선은 현실적으로 어렵다는 한계점을 가지고 있다.

이에 대한 대안으로, 수입 품목에 한해 유리병 색상 제한

Table 9. Detailed standards for material and structure of glass bottle

Category	Excellent/Good recyclability	Poor recyclability
Body	• Colorless, brown, and green	• Colors other than colorless, brown, and green
Label	• No label used • In any of the following cases - Unused - Paper material - Non-adhesive synthetic resin material including a cut line - Synthetic resin material with adhesive that can be separated from the body and has a phrase indicating that the consumer should separate the waste	• Synthetic resin material with adhesive that cannot be separated from the body • Metal-mixed material • PVC-based material
Lid & Attachments	• Cap/frame integrated structure or cap and miscellaneous materials that can be separated from the body	• Metal cap covered with synthetic resin • Cap/frame separate structure • Cap and miscellaneous materials that cannot be separated from the body

과 관련된 예외 조항을 마련하거나, 별도의 평가기준을 적용하는 방안이 검토될 수 있다. 대체 기술의 사례로는 미국의 CCL Container 社와 와이너리 Limerick Lane Cellars 社가 있으며, 해당 업체에서는 유리병을 알루미늄 와인병으로 대체하여 상용화하고 있다. 영국의 Packamama 社는 100% 재활용 PET를 적용한 와인병을 출시하였다. 이러한 제품들은 유리병보다 가벼워 물류 비용 절감 효과가 있으며, 깨질 가능성이 낮아 안전성 측면에서도 유리한 장점이 특징이다. 또한, 광 차단으로 인한 색유리 사용이 불가피한 경우에는 표준 색상에 PET 소재의 수축필름이나 분리 가능한 필름을 적용한 형태로 상용화할 수 있다. 이에 대한 사례로 ㈜CJ제일제당에서는 몸체를 표준색상으로 변경 후 열알칼리성 분리 가능 접(점)착제를 사용하여 재활용 평가등급을 개선하였다[36].

2.3.2. 라벨이 금속 혼입 재질일 경우

라벨이 금속혼입 재질로 구성된 경우, 주로 유리병 외면에 금박 인쇄를 통해 브랜드 디자인을 강조하는 방식이 적용된다. 그러나 이러한 금속 성분이 재활용 공정에서 분리되기 어려워 재활용성을 저해하는 요인이 된다. 업계에서는 브랜드 이미지 저하 우려가 있으며, 금박 인쇄 크기에 상관없는 "재활용 어려움" 등급 부여는 지나치게 엄격하다는 의견이 있다.

이에 대한 대안으로 금속을 포함하지 않는 수축필름 형태의 라벨이나 수분리 라벨, 열알칼리성 분리 접(점)착제의 사용 등의 대체 기술을 적용할 수 있다. ㈜한국인삼공사에서는 기존의 금속 혼입 종이 라벨을 합성수지라벨로 대체하여 기존 이미지를 그대로 표현하면서 재활용 용이성 등급을 개선하였다[30]. 또한, ㈜오뚜기에서는 기존의 금속 혼입을 제거한 라벨을 적용하여 재활용 용이성 등급을 개선하였다[36].

2.3.3. 마개가 합성수지를 덧씌운 금속 마개일 경우

합성수지를 덧씌운 금속 마개의 구조는 주로 고급 음료 제품군에서 사용되며, 금속과 합성수지를 분리할 경우 재활용이 가능하지만, 접착제로 부착된 구조로 인해 분리 과정이 매우 어렵다. 이와 같은 포장재는 주로 소규모 위탁생산 공장에서 다양한 브랜드의 제품을 동일한 포장 형태로 생산하는 경우가 많다. 이로 인해 개별 업체가 독자적으로 마개 구조를 변경하기 어려운 실정이다. 관련 업계에서는 설비나 금형을 개선하려면 상당한 비용이 들기 때문에, 기업들은 마개 재질 변경보다는 기존 구조를 유지하려는 경향이 강하다. 이러한 구조적 한계로 인해, 복합재질 마개의 단일 소재 전환은 업계 내에서 적극적으로 추진되지 못하고 있다. 이에 대한 정책적 대안으로 재활용 등급을 개선한 기업에 한해 세제 감면이나 개발 보조금 등의 정책적 인센티브가 제공될 수 있으며, 이를 위한 평가 기준 마련이 필요하다. 한편, 일부 기업들은 유리병 대신 알루미늄 병을 도입하거나 PET 기반 전신 수축 라벨을 적용하여 재활용성을 높이기 위한 노력을 기울이고 있다. 대표적인 사례로, ㈜한독은 기존 유리병을 알루미늄 병으로 변경하고 PET 소재의 전신 수축 라벨을 적용하여 재활용성을 향상시키는 제품을 상용화하였다. 또한, ㈜그래미와 ㈜해태는 유리병을 알루미늄 캔으로 변경하여 포장재의 재활용 효율을 높이는 방안을 도입하고 있다.

3. 포장재 재활용 용이성 등급 개선을 위한 실천적 방안

포장재의 재활용 용이성 등급을 개선하기 위해서는 기술적 개선뿐만 아니라, 시장의 부담을 줄이고 이러한 기술을 도입할 수 있는 환경 조성과 정책적 지원이 함께 고려되어야 한다.

첫째, 소비자의 인식 개선과 재활용 문화 확산이 중요하다. 친환경 포장재 도입 효과를 극대화하기 위해 소비자의 적극적인 참여가 필수적이며, 지속적인 홍보와 교육이 이루어져야 한다. 정부와 기업은 협력하여 친환경 포장재 사용을 장려하는 캠페인을 확대하고, 소비자가 올바르게 분리

Table 10. Recycling challenges and alternative technologies for glass bottle

Category	Criteria for "Poor recyclability"	Limitations	Alternative Technology
Body	• Colors other than standard (colorless, brown, green)	• Imported products follow different packaging standards, making changes in standards impractical for global brands	• Replace with aluminum bottles. • Apply PET shrink film to standard colors (colorless, brown, green)
Label	• Labels containing metallic components	• Difficult to separate metallic layers during recycling • Strict regulations classify small metallic prints as "Poor recyclability."	• Use shrinks film labels without metallic elements • Apply water-removable labels • Apply heat-alkali soluble labeling adhesive
Lid & Attachments	• Caps with synthetic resin coating over metal	• Adhesive-bonded lids are difficult to separate for recycling. • Small-scale OEM (Original Equipment Manufacturer) factories face high costs for mold and equipment changes	• Replace with aluminum bottles and PET shrink labels

배출할 수 있도록 명확한 표시 기준과 실천 가이드를 제공해야 한다. 아울러, 환경 보호를 위한 비용 부담에 자발적으로 동참하려는 인식의 전환도 함께 이루어져야 한다.

둘째, 국내 생산을 통한 대체 기술 실용화가 필요하다. 본 연구에서 제시한 단일 재질 전환, 친환경 코팅 등 기술적 개선 방안은 현장에서 충분한 가능성을 가지지만, 실제 적용 시 생산 설비 변경, 제품 물성 변화, 비용 부담 등 다양한 제약 요인이 존재한다. 따라서 이러한 기술들의 실효성을 높이기 위해서는 경제적 타당성과 산업계 수용성에 대한 정량적 평가와 현장 기반 실증 연구가 병행될 필요가 있다. 이를 통해 포장재 전환 비용을 최소화하고, 국내 산업 경쟁력을 강화할 수 있을 것이다. 아울러, 기업이 기술 및 장비 도입 시 경제적 부담을 완화할 수 있는 정부의 장기적인 지원 정책이 필요하다.

마지막으로, 포장재 재활용 용이성 등급 개선을 유도하기 위한 지속적이고 일관적인 정책 수립이 요구된다. 단일재질 기반의 구조 개선, 기능성을 유지할 수 있는 대체 기술 개발 등은 정책의 방향성과 맞닿아 있지만, 기술 도입이 실제로 효과를 발휘하기 위해서는 정책이 산업 현장의 현실과 긴밀하게 연계되어야 한다. 특히, 포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준 강화나 재활용 의무 확대와 같은 정책은 방향성은 타당하지만, 기업 간 재정·기술 역량 차이에 따른 이행 격차, 현장 적용을 고려하지 않은 획일적인 규정 운영 등 여러 제도적 한계가 존재한다. 이를 보완하기 위해 세제 감면, 기술개발 보조금, 유예기간 설정 등 현실적이고 유연한 정책 수단이 함께 마련되어야 하고, 업계와의 정기적인 협의와 현장 의견을 반영한 제도 설계가 병행될 때, 지속가능하고 실효성 있는 정책 운영이 가능할 것이다.

결론적으로, 포장재의 재활용 용이성 등급을 개선하기 위해서는 기술적 혁신 뿐만 아니라 기업 지원과 소비자 인식 변화가 함께 이루어져야 한다. 이를 위해 정부는 기업들이 개선된 재질 및 구조를 적극적으로 도입할 수 있도록 실질적인 경제적 지원을 제공하고, 국내에서 생산할 수 있는 대체 기술의 연구개발을 촉진해야 한다. 또한, 소비자들의 재활용 참여를 독려하는 정책과 교육 프로그램을 병행함으로써 순환경제 체계를 구축하는 것이 중요하다. 본 연구는 지속 가능한 포장재 개발과 순환경제 실현을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 관련 업계 및 정책 결정자들에게 유용한 방향성을 제공할 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서는 포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준을 분석하고, “재활용 어려움” 등급을 받는 주요 포장재(종이팩, 페트병, 유리병)의 문제점과 개선 방안을 검토하였다. 분석 결과, 종이팩은 내부 알루미늄 첩합 구조가 재활용성을 저해하는 주요 요인으로 확인되었으며, 이를 개선하기 위해 종이 기반 코팅, SiOx 증착 필름 등의 대체 기술이 제안되었다. 페트병의 경우, 복합재질 사용 및 합성수지 이외의 재질 적용이 재활용성을 저해하는 문제로 나타났으며, 이를 해결하기 위한 기술로 소재 단일화, 전신 수축 필름, DLC 코팅 등이 검토되었다. 유리병은 비표준 색상 적용, 금속 혼입 라벨, 합성수지를 덧씌운 금속 마개가 재활용을 방해하는 주요 요인으로 분석되었으며, 이를 개선하기 위해 알루미늄 병, PET 기반 와인병, 단일재질 마개의 도입 가능성이 논의되었다.

한편, 본 연구는 재활용 개선이 활발히 이루어지고 있는 품목에 중점을 두었으나, 실제 유통 및 소비 현장에서는 복합재질 필름·시트, 다층 트레이, PSP 등 다양한 합성수지류 포장재가 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 포장재는 구조적 특성상 분리배출이 어렵고, 재질 혼합이나 특수 코팅 처리로 인해 선별 및 재질 분류가 어려워 “재활용 어려움” 등급으로 분류되는 사례가 많다. 따라서 연구에서 다루었던 포장재 뿐만아니라 기타 포장재에 대한 재활용 용이성 등급 평가 개선 방안과 대체 기술 방안 모색이 필요하다.

그러나 이러한 대체 기술의 실용화와 한계를 극복하기 위해서는 경제적 부담, 생산 공정 변화, 소비자 수용성 등의 문제가 여전히 존재하며, 이러한 현실적 제약을 완화하기 위한 인센티브 제공 등의 정책적 지원이 병행되어야 한다. 최근 개정된 포장재 재활용 용이성 등급 평가 기준은 기업의 친환경 포장재 도입을 촉진하는 방향으로 강화되고 있으며, 특히, 경량화 기술 적용, 단일 재질 중심의 설계, 재생 원료 의무 사용 확대 등과 같은 정책 변화가 산업계 전반에 미치는 영향에 대해 지속적인 모니터링이 필요하다.

본 연구는 포장재의 재활용성을 개선하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 연구에서는 대체 기술의 실증 연구, 소비자 인식 변화 분석, 정책적 지원 방안의 효과성 평가 등이 추가적으로 검토되어야 한다. 특히, 재활용이 어려운 포장재 전반에 대한 구조적 한계 분석과 기술적 개선 가능성에 대한 연구가 필요하다. 또한, EU PPWR 등 국제 규제에 대응하는 국내 제도의 정비 방향과 함께, 생산자책임재활용제도(EPR)의 등급 차등화, 세제 혜택, 비용 차등부과 등 정책 수단의 실효성도 면밀히 분석되어야 한다. 이를 통해 보다 실질적이고 지속가능한 포장재 재활용 체계를 구축하고, 순환경제 실현을 가속화할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kim, M.K. 2021. A Study on the Safety of Food Packaging Materials from the Perspective of the Circular Economy. Korean Journal of Packaging Science & Technology. 27(3): 149-158
2. European Commission. 2024. Proposal for a Regulation of

the European Parliament and of the Council on Packaging and Packaging Waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0677.

3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. 2019. Verpackungsgesetz (VerpackG) – German Packaging Act. Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/verpackg/
4. Ministry of the Environment, Japan. 1997. Containers and Packaging Recycling Act (容器包装リサイクル法). Retrieved from https://www.env.go.jp/en/laws/recycle/06.pdf
5. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Circular Economy Transition Promotion Act. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
6. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2023. Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
7. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Extended Producer Responsibility (EPR) Operational Guidelines. Korea Environment Corporation. Retrieved from https://www.keco.or.kr
8. Ministry of Environment, Republic of Korea. (2025). Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
9. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2019. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
10. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2021. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
11. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2022. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
12. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2023. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
13. Ministry of Environment, Republic of Korea. 2024. Packaging Recycling Ease Evaluation System Guidelines. National Law Information Center. Retrieved from https://www.law.go.kr
14. Cho, E. H., Kyung, K., Kim, D. H., & Chae-Gun, P. 2022. A study on the improvement strategy for the relevant recycling system based on the occurrence status of used beverage cartons. Journal of Korea Society of Waste Management, 39(1), 17-27.
15. Kim, S. D. 2008. Extended Producer Responsibilty and Paper Carton. The monthly packaging world, 79-87.
16. Ko, E., Song, K., Cho, S., Shim, W., and Kim, J. 2016. A Study of Expectation Effective Analysis According to Improvement in Quality of the Paper Packaging Material and Structure-Focusing on EPR Items. Korean Journal of Packaging Science & Technology, 22(1), 7-13.
17. Song, K., Ko, E., Cho, S., Kwon, O., and Kim, J. 2015. A Study on Improvement in Quality of the Paper Packaging Material and Structure-Focusing on EPR Items. Korean Journal of Packaging Science & Technology, 21(1), 19-26.
18. Cho, E. H., Kyung, K., Kim, D. H., and Chae-Gun, P. 2022. A Study on the Improvement Strategy for the Relevant Recycling System Based on the Occurrence Status of Used Beverage Cartons. Journal of Korea Society of Waste Management, 39(1), 17-27.
19. Ko, E.S., Shim, W.C., Lee, H.R., Kang, W.G., Shin, J.H., Kwon, O.C., and Kim, J.N. 2018. The Current Status of Recycling Process and Problems of Recycling According to the Packaging Waste of Korea. Korean Journal of Packaging Science & Technology, 24(2): 65-71.
20. Kim, J. S., Yang, J. K., Kim, J. S., and Hong, M. H. 2012. A study on the necessity of package used the uni-material: Focused on the personal and household care products package. Journal of the Korean Society Design Culture, 18(1), 63-73.
21. Jeon, H. S., Baek, S. H., Park, C. H., Delgermaa, Choi, W. J. 2007. Development of material separation technique for recycling of waste plastic beer bottle. Environmental Societies Joint Conference. 974-976.
22. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2019. Voluntary Agreement Ceremony for the Improvement of PET Beer Bottle Materials and Structure. Korea Packaging Recycling Cooperative. https://kprc21482.cafe24.com/html/main/sub.htm?ptype=view&idx=54480&page=4&code=news&MN=05&PN=02.
23. Korea Institute of Industrial Technology korea Packaging center. Recyclable Transparent PET Beer Bottle Made of Single Material – Recipient of the Prime Minister's Award PET. KOREA STAR AWARDS.
24. Ashtijoo, P., Bhattacherjee, S., Sutarto, R., Hu, Y., and Yang, Q. 2016. Fabrication and Characterization of Adherent Diamond-Like Carbon Based Thin Films on Polyethylene Terephthalate by End Hall Ion Beam Deposition. Surface and Coatings Technology, 308: 90-97.
25. Ray, S. C., Mukherjee, D., Sarma, S., Bhattacharya, G., Mathur, A., Roy, S. S., and McLaughlin, J. A. 2017. Functional Diamond Like Carbon (DLC) Coatings on Polymer for Improved Gas Barrier Performance. Diamond and Related Materials, 80: 59-63.
26. Ueda, A., Yamakoshi, H., and Shirakura, A. 2005. High Speed and High Gas Barrier Rotary DLC Plasma Coating System for PET Bottles. Mitsubishi Juko Giho, 42(1): 42-43.
27. Benedic, F., Duten, X., Hassouni, K., Boutroy, N., Chomel, N., and Desoutter, L. 2008. Space-and Time-Resolved Diagnostics of Microwave Plasma Process Used for Hydrogenated Amorphous Carbon Film Coating of PET Bottles. Diamond and related materials, 17(4-5): 633-640.
28. Park, C.W. and Shin, J.W. 2024. A Study on the Development Case of Replacement of Metal Spring in Cosmetic Containers. Journal of The Korean Society of Illustration Research, 80: 57-66.
29. Korea Institute of Industrial Technology korea Packaging center. 4CC Mono-material Low-profile Pump (PE) –

Recipient of the Minister of Trade, Industry and Energy Award. KOREA STAR AWARDS.
30. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2023. 2023 Casebook on the Development and Application of Innovative Packaging Technologies. Korea Packaging Recycling Cooperative.
31. Kang,H.S and Oh, J.Y. 2022. Development of Metal-free Pump and Uni-material Packaging for Cosmetics to Improve Recycling. Korean Journal of Packaging Science & Technology, 28(3): 171-174.
32. Jung, S.K and Jang, Y.C. 2024. Material Flow Analysis and Impact of Greenhouse Gas Reduction by Glass Bottle Recycling. Journal of Environmental Impact Assessment, 33(5): 204-213.
33. Dyer, T. D. 2014. Glass recycling. Handbook of Recycling. Elsevier, 191-209.
34. Lee, H., and Lee, H.S. 2022. The Recycled Glass Aggregate Recycling Technology of Waste Glass Bottle. Magazine of RCR, 17(4): 36-40.
35. Lee, H. S., and Lee, H. 2020. Comminution Characteristics for Recycling Waste Glass Bottle. Resources Recycling, 29(2): 28-36.
36. Korea Packaging Recycling Cooperative. 2022. 2022 Casebook on the Development and Application of Innovative Packaging Technologies. Korea Packaging Recycling Cooperative.

투고: 2025.03.04 / 심사완료: 2025.03.26 / 게재확정: 2025.04.07