

DECO 필름 제조시 발생하는 PET·OPP 합성 폐필름 재활용의 경제성 분석 연구

박미숙* · 김다연* · 양수진* · 이성유* · 김춘산* · 정옥진** · §황우***

*인하대학교 순환경제환경시스템전공, **㈜진영, ***인하대학교 환경공학과

An Economic Analysis Study of Recycling PET·OPP Laminated Film Waste Generated during DECO Film Manufacturing

Mi Sook Park*, Da Yeon Kim*, Soo Jin Yang*, Seong You Lee*, Chun San Kim*,
Ok Jin Joung** and §Yong Woo Hwang***

*Program in Circular Economy Environmental System, Inha University

**JINYOUNG Co., Ltd.

***Department of Environmental Engineering, Inha University

요 약

페플라스틱에 대한 국가 간 수출입 제한에 따라, 페플라스틱의 국내 처리 및 재활용 방안을 모색할 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 국내 A 기업의 폐필름 발생 현황 및 운영 정보를 참고하여 가구 표면 마감용 sheet 및 edge 제조시 발생하는 PET·OPP 합성 폐필름의 재활용사업에 대한 비용 편익을 분석하였다. 페플라스틱 처리는 그간 영세업체에 맡겨져 현황 파악이 어렵고 수익성 담보가 되지 않아, 재활용 기술이 있더라도 활용되기에 어려움이 따랐다. 본 연구에서는 페플라스틱 물질 재활용 방안의 하나로써, 폐필름 발생 사업장에서 PET·OPP 합성 폐필름을 박리하여 페PET 재활용이 이루어지는 것으로 가정하되, 재활용 비율은 정부가 「전주기 탈 플라스틱 대책」에서 제시한 수치를 활용하여 2%, 10%, 20%, 30% 재활용할 경우 비용편익을 분석하였다. 본 연구에서는 페PET 재활용 방안으로 물리적 박리 기술이 도입되는 것으로 가정하여 페PET 재활용 비율에 따른 비용편익분석을 수행하였다. 그 결과 페PET의 재활용 비율이 30% 이상 일 경우에만, 비용 편익비율(Benefit-cost ration, BCR)이 BCR≥1 에 해당하여 최소비용 편익비율을 충족하는 것으로 나타났으며 이 때, BCR 값은 1.32였다. 향후 정부의 지원금 할당비율과 단가가 상향될 것으로 예상됨에 따라 비용 편익비율은 더욱 높아질 것으로 사료된다. 해당 사례는 유사 업종의 사업장에 페PET 재활용 및 수익 창출을 위한 시범 Case가 될 것으로 기대된다.

주제어 : PET·OPP 합성 폐필름, 페PET, 사포, 물리적 제거, B/C 분석

Abstract

The treatment of waste plastic has primarily been entrusted to small companies, which has resulted in challenges in obtaining an accurate overview of the current state of affairs and ensuring profitability. Consequently, despite the presence of recycling technology, their practical application has proven to be challenging. In this study, as part of the waste plastic material recycling plan, it is assumed that the PET/OPP laminated waste film is peeled off at the waste film generation site for the second use. The recycling rate of PET/OPP delaminated waste film is assumed to be 2%, 10%, and 30% referring to the figures suggested by “Life-cycle Post Plastic Measures” from the Korean government. In this study, a physical separation method was developed as a recycling approach for waste PET. A result of cost-benefit analysis was conducted to evaluate the economic viability of the

· Received : March 29, 2023 · 1st Revised : April 22, 2023 · 2nd Revised : May 6, 2023 · Accepted : May 8, 2023

§ Corresponding Author : Yong Woo Hwang (E-mail : hwangyw@inha.ac.kr)

Department of Environmental Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

recycling process based on changes in the recycling rate. The findings indicated that a recycling rate of waste PET was 30% or higher resulted in a cost-benefit ratio (Benefit-cost ratio, BCR) of 1.32, exceeding the threshold of $BCR \geq 1$, which is considered to meet the minimum requirement for cost-benefit balance. As the government's allocation ratio and unit price are expected to increase in the future, the cost-benefit ratio is expected to increase further. This case is expected to serve as a pilot initiative for waste PET recycling and foster profit creation for businesses in similar industries.

Key words : PET·OPP laminated film, Waste PET, Sandpaper, Physical removal, B/C analysis

1. 서 론

플라스틱 전과정에 따른 온실가스 배출량은 전 세계적으로 4.3 Gt CO₂ eq.에 달하며¹⁾, 해양으로 유입되는 폐플라스틱과 미세플라스틱은 다양한 환경 문제를 초래하고 있다²⁾. 플라스틱 오염 문제 해결을 위해 2022년 5차 유엔환경총회에서 최초로 175개국 이 구속력 있는 국제 협약 제정 결의안을 채택하고 그 기한을 2024년으로 하였다³⁾. 이에 대응하기 위해, 국내에서는 2022년 10월 관계부처가 합동으로 '전 주기(Life Cycle) 탈 플라스틱 대책'을 내놓았으며, 이는 2024년 이후 본격화될 'Post-플라스틱' 대책을 포함하고 있다⁴⁾.

이외에도, 폐플라스틱의 증가에 따라 폐플라스틱의 재사용률을 높이고 재활용을 활성화하기 위해 「플라스틱전주기발생저감 및 재활용 대책 수립」⁴⁾, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행령」⁵⁾ 등의 대책이 마련되면서 업계의 관심이 높아지고 있다.

플라스틱은 비용대비 편리성이 높아 사용량이 계속 증가하고 있으며, 폐플라스틱의 발생량 또한 계속 증가하고 있다. 이에 따라 폐플라스틱 재사용 기술이 마련되고 있지만, 처리 비용의 경제성이 낮아 여전히 상용화되지는 못하고 있다. 특히 플라스틱 필름류 재활용은 초기투자 비용과 운영 비용이 업체마다 상이할 뿐만 아니라, 취급 물량 또한 다양하여 폐기물의 단계별 처리 비용 산정에 어려움이 있다. 따라서 폐플라스틱의 재활용 도입을 활성화하기 위해서는 개별 사업장을 대상으로 한 실증 사례를 만들어야 한다.

Min은 원활한 재활용을 위해 재생제품의 '제조원가에 대한 제고'가 필요할 것으로 판단하였고⁶⁾, Lee는 PET 포장재료 전과정평가를 통해 운송단계에서 가장 많은 이산화탄소가 배출된다는 연구 결과를 제시하였다⁷⁾. 합성 폐필름 재활용 과정에 운송이 필요할 경우, 운송으로 인한 경제적 손실뿐 아니라, 잠재적 환경 영향이 추가로 발생하게 되는

것이다. 따라서 폐플라스틱 재활용 과정의 경제성 확보를 위해서는 폐플라스틱의 발생 사업장에서 재활용이 이뤄지도록 하여 운반비와 인력 소모를 줄일 필요가 있고 이러한 노력을 통해 잠재적 환경 영향도 줄일 수 있게 된다.

본 연구에서는 합성 폐필름이 발생하는 사업장에서 재활용이 이루어지는 공정을 가정하여 경제성을 분석하였다. 연구 대상은 PET와 OPP의 합성소재 폐필름이며(이하 PET·OPP 합성 폐필름), 합성 폐필름에서 OPP를 제거하여 PET를 재사용하는 기술에 대한 비용편익분석을 통해 사업 타당성을 판단하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 폐PET 재활용사업 현황 조사 방법

2.1.1. 폐PET 국제무역 동향 조사

국제무역 동향을 파악하기 위해, 본 연구에서는 제품의 품목 분류(HS, Harmonized System) 코드 분석을 이용했으며, 수출입무역통계⁸⁾를 활용하여 2016년부터 2020년까지 5개년 수출입현황을 분석하였다. HS란 세계관세기구(WCO)에서 무역 거래되는 모든 품목에 대해 부여한 상품분류체계로, 한 품목당 6단위 숫자의 코드 형태로 구성되어 있다. 본 연구의 대상이 되는 폐PET의 HS코드는 '3915.90-9000/87.84%/기타/기타 플라스틱제품/8%'이다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 2016년부터 2020년까지의 5개년 수출 중량과 수출 금액을 비교한 결과, 모두 감소 추세에 있음을 확인할 수 있다. 수출 중량과 수출 금액이 동시에 감소한 것은 글로벌 기후 위기 대응의 일환으로 폐기물 수입 금지 조치가 취해졌기 때문이다.

Fig. 1에 따르면, 수출 중량과 수출 금액은 순환적 관계를 나타낸다. 전체적으로 수입 중량은 초반보다 증가했음에도 수입 금액은 초반보다 감소세를 보였다. 수출 중량은 5개년 평균성장률 '-12.5%'를 기록하였으며, 수출 금

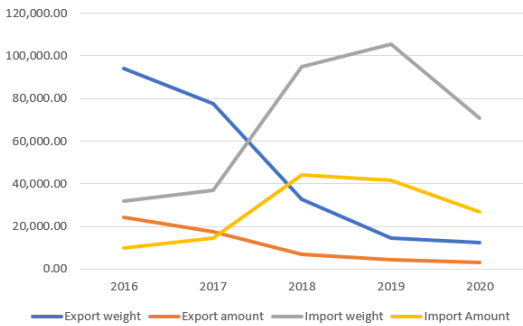


Fig. 1. Change trend of waste PET by year (2016~2020) (Unit : USD/Ton).

액의 연평균성장률은 ‘-9.77%’의 수치를 나타냈다. 수입 증량 5개년 연평균 성장률은 ‘39.9%’이나 수입 금액의 연평균 성장률은 ‘-38.1%’의 수치를 나타냈다. 향후에는 폐 PET 수출입 시장이 더욱 위축되어, 각 국가별 대책 마련과 기술 개발을 통한 경쟁력 확보가 시급할 것으로 예상된다.

2.1.2. 합성 필름의 박리 방법에 대한 고찰

Ügdüleri et al.은 합성 필름의 박리를 화학적 박리와 물리적 박리로 구분하였다⁹⁾. 각종 질산, 인산 등의 무기산이 화학적 박리 과정에 사용될 경우 이에 대한 산 정화로 인해 박리 과정 중 높은 에너지 소비로 온실가스 배출에 큰 영향을 미칠 수 있기에⁹⁾, 본 연구에서는 화학적 박리 방안을 제외하고 물리적 박리 방안을 대상으로 기술을 조사하였다.

2.1.2.1. PET·OPP 합성 폐필름 박리에 적용 가능 기술 조사

Kim et al.은 1974년부터 2013년까지 폐PET의 고부가 활용기술에 대한 특허와 논문을 조사하였다. 연구 결과, 특허 활동은 2001년까지 증가세를 보인 이후 감소세를 나타내었으며 이를 Fig. 2에 인용하였다¹⁰⁾.

Kim et al.의 연구는 국내 폐PET 활용기술에 대한 특허 및 논문 분석의 유일한 사례이며, 2012년 이후의 관련 연구는 전무하다. 본 연구에서는 Science on¹¹⁾을 이용하여 2014년 이후 기준으로 국제특허 분류인 IPC 코드에 따라 ‘PET waste’를 검색하였다. 기간 설정을 2014년부터 한 것은, 2012년과 2014년 사이에 관련 특허 및 연구가 없었기 때문이다.

PET 재활용 IPC 검색 코드는 Table 1에 나타난 바와 같

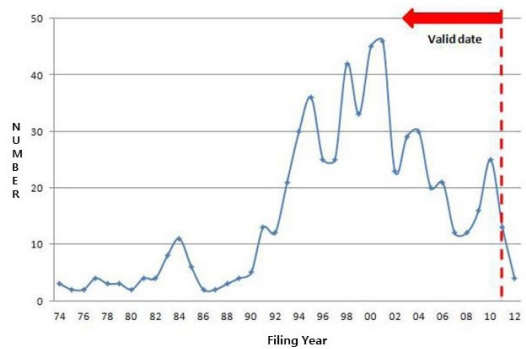


Fig. 2. Trend in the number of the patents from 1974-2012 (adapted from Kim et al.¹⁰⁾).

Table 1. IPC codes and definitions related to PET recycling

IPC Code	Definition
G11B7/2535	Polyesters (e.g. PET, PETG or PEN)
B22F10/70	Recycling
B29C64/357	Recycling

Source: Kipris.or.kr

이 ‘G11B7/2535+B22F10/70+B29C64/ 357’으로 하였다. 각 코드는 섹션, 클래스, 서브클래스, 메인 그룹 및 서브 그룹으로 구분되며 Table 2에 이를 나타내었다. B29B는 플라스틱 처리와 관련하여 물리적 처리를 설명하고 있어 본 연구에 적합하다.

IPC 검색으로 조사할 수 없는 특허 및 논문 분석을 위해서는 PET 폐자원의 재활용 및 Upcycling 기술과 관련된 특허 및 논문을 분석하였다. 수집한 특허 및 논문을 검토한 결과 특허는 60건, 논문은 46건이었으며 이를 토대로 본 연구에 적용이 가능한 박리 방안을 조사하였다.

한국, 미국, 유럽 및 일본을 중점적으로 하여 국내·외 ‘PET waste’를 검색한 결과 특허는 60건으로 분석되었다. Table 3에 나타난 바와 같이 폐PET 검색결과 총 60개 중 30개의 특허가 2014년 이후에 공개 및 등록되었다.

위에서 도출된 항목을 토대로 폐PET 관련 내용을 조사하였고 폐PET를 대상으로 하는 특허의 종류는 Table 4에 나타난 바와 같다.

각 특허를 조사한 결과, 사포를 활용한 기술이 본 연구에 적합할 것으로 판단하였고, 사포를 활용한 물리적 제거와 관련해 키워드를 활용하여 기술을 검색한 결과, 본 연구에 적용이 가능한 기술을 Table 5와 같이 도출하였다.

Table 2. Code classification and classification explanation

Code classification	Section	Class	Subclass	Main group	Sub group
G11B7/2535	G	G11	G11B	G11B7/00	G11B7/2523
	Physics	Information storage	Information storage based on the relative motion between the recording medium and the transducer (recoording measured values that do not require replay through the transducer)	Recording or reproduction of information by optical means, eg. recording using a thermal beam accompanied by light irradiation, reproduction using a low-power light beam; recording medium for this.	Polyester
B22F10/70	B	B22	B22F	B22F10/00	B22F10/70
	Processing operation	Casting; powder metallurgy	Processing of metal powder	Additive manufacturing of work pieces or products made of metal powder (device for B22F 12/00 recycle)	Recycle
B29C64/357	B	B29	B29C	B29C64/00	B29C64/357
	Processing operation	Processing of plastics; General processing of plastic state materials	Molding or bonding of plastics; Molding of materials in the plastic state, not otherwise classified	Additive manufacturing, I.e.manufacturing of three-dimensional objects by additive deposition, additive agglomeration or additive lamination	Polyester

Table 3. Patents related to waste PET

Patent	Korea	The US	The EU	Japan
Search Site	Science on			
Keyword	PET waste			
Count	30/60	843	68	352
Year	2014 ~			

2.1.2.2. 실험방법

기존의 기술 중 페필름 박리에 가장 적합한 기술은 B29B로 ‘플라스틱을 함유하는 폐기물로부터 플라스틱 또는 다른 구성 성분의 회수’에 해당한다. 본 연구에서는 사포를 이용하여 마찰력을 통한 물리적 박리를 하되, 사포의 입도(거칠기)를 달리하여 박리 가능성을 검토했다. 입도가 다른 세 가지 사포를 사용하였고 입도는 각각 P80, P1200, P600이다.

2.2. 경제성 분석 방법

물리적 박리는 화학적 박리의 단점을 보완할 수 있으나, 그간 수익성이 확보 되지 않았다. 본 연구에서는 페 PET 재사용 사업 대상 비용 편익을 충족할 수 있는지 확인하기 위해 비용편익분석을 수행하였다. 비용편익분석

은 식 (1)에 나타난 바와 같이 비용편익비율(Benefit-cost ration, BCR)을 통해 지표화되며, 일반적으로 사업의 진행으로 인한 총 편익과 총 비용을 현재가치로 환산하여 총 편익의 현재가치를 총 비용의 현재가치로 나눈 것을 의미한다. 비용 편익비율이 높을수록 경제성이 높은 것으로 평가되며, BCR ≥ 1일 경우 최소비용 편익비율은 충족하게 된다.

$$BCR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \tag{1}$$

여기서,

B_t : t년도 편익

C_t : t년도 비용

r : 할인율(이자율)

n : 사업의 내구년도(분석기간)

2.2.1. 연구 대상 및 시나리오 설정

본 연구의 대상은 A 기업의 가구 표면 마감용 sheet 및 edge 등의 DECO 필름 제조시, 표면 마감처리에 사용되었다가 폐기되는 PET/OPP 합성 페필름이다. PET/OPP

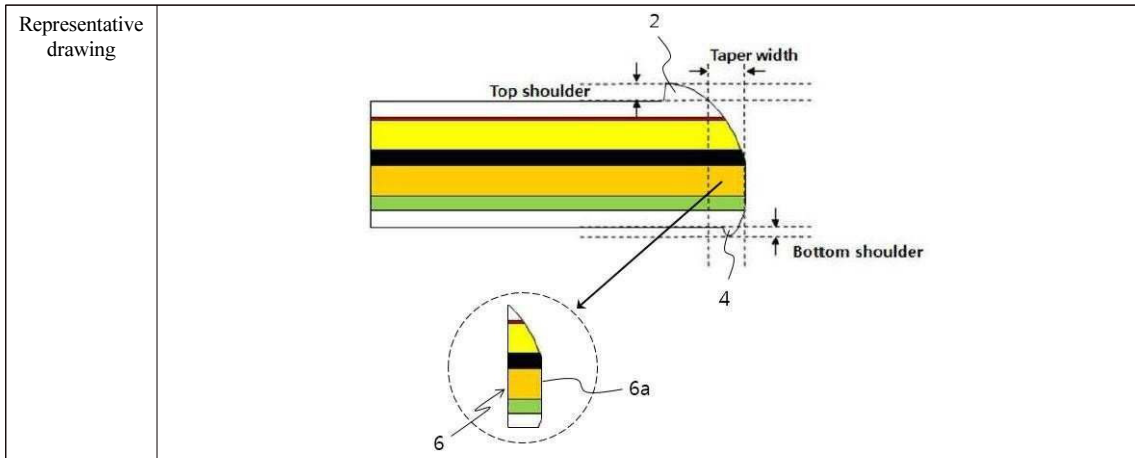
Table 4. Waste PET related patent title

	Patent title	Patentee	Year
1	Recycling System of Waste PET	Kwon DY	2020
2	Chemical recycling method of waste PET	Lee HY	2021
3	Compression device for regenerating waste PET film	Choi JC	2020
4	A peeling device for regenerating waste PET film	Yoo IJ	2015
5	Peeling device for regenerating waste PET film	Choi JC	2020
6	Potted plant automatic water supply kit using waste PET bottle	Jang W	2019
7	Safety mask for fire using waste ET bottle	Seong HJ	2018
8	Recycling system of waste PET using washing motor load	Kwon DY	2020
9	Peeling device for recycling waste PET film coated with viscous material	Yoo IJ	2015
10	Waste PET bottle presser capable of remote control background rock	Bae KR	2017
11	Method of making graphite using waste PET	Ko SH	2020
12	Manufacturing method of high-purity terephthaloyl chloride using waste polyethylene terephthalate bottles	Kim YB	2018
13	Method of manufacturing high-purity paraphenylenediamine using waste polyethylene terephthalate bottles	Kim YB	2019
14	Method of manufacturing BHET containing waste recycling	Kim ONR	2021
15	Apparatus for manufacturing waste polyethylene terephthalate fine particle, method for manufacturing waste polyethylene terephthalate and waste abrasive composite paint using the same	Kang MJ	2019
16	Paint composition using waste polyethylene terephthalate and its manufacturing method	Cho JS	2019
17	Paint composition using PET reclaimed sand and 3D vacuum printing and its manufacturing method	Kim KY	2020
18	Chemical recycling method of polyethylene terephthalate waste	Choi YJ	2021
19	A method for preparing an alignment polymer paint using waste polyethylene terephthalate and an alignment polymer paint prepared by the method	Kang MJ	2019
20	Apparatus and method for manufacturing composite materials using recycled PET and volcanic ash	Park JC	2017
21	Chemical recycling methods of waste plastics including hardwood	Lee HY	2017
22	Manufacturing method of polyester with improved transparency using waste polyethylene terephthalate	Kim HA	2021
23	Manufacturing method of eco-friendly polyurethane insulation by recycling waste	Ko DH	2020
24	Railroad poppet with waste plastic	Jung TH	2020
25	Manufacturing method of polyester with improved transparency and chemical resistance using waste polyethylene terephthalate	Jeon SN	2021
26	Compressed material dismantling device	Lim SJ	2014
27	Waste PET bottle collection and crushing system	Kim BS	2016
28	Recycled waste resin screening method and screening device using the method	Back RJ	2017
29	Automatic compression molding equipment for manufacturing permeable blocks for resource recycling	Kim TH	2020
30	PET chip or powder cleaning device for waste PET bottles	Kang KS	2017

Table 5. Representative drawing of patented technology

Title	Adhesive separator with abrasive parts
Technical summary	It relates to a film adhesive separator that removes adhesives applied to thin films such as polyethylene resin film, polypropylene resin film, polyester resin film, and polyvinyl chloride film, and more specifically, sandpaper while winding and unwinding these films on a roller. It is intended to recycle these films by polishing the adhesive applied to the film using a polishing part made of sandpaper.
Representative drawing	
Title	Multi heterogeneous laminated separator
Technical summary	It relates to a multi-heterogeneous laminated film separator that separates multi-heterogeneous laminated vinyl by removing an adhesive applied to these films while releasing these films from the rollers by rotating the rollers containing these films.
Representative drawing	
Title	A method of removing a protective film of a laser-cut polarizing film and a polishing device for implementing it
Technical summary	<p>Technology to improve the peel ability of the protective film by suppressing the increase in initial peeling force that occurs when the foil film from the laser-cut polarizing film</p> <ol style="list-style-type: none"> ① Performed by light absorption-deterioration-use rate and vaporization reaction between the film and the laser beam ② The film that has gone through the laser cutting process is manufactured as a finished product through the process of removing the protective film that protects the surface from contamination. ③ A typical polarizing plate protective film removal device used to remove such a protective film is to attach the tape to the longitudinal direction or corner of the upper surface of the protective film attached to the upper surface of the protective film attached to the upper and lower surfaces of the polarizer using a plurality of rollers, and then to the end of this tape. The protective film is peeled off by carrying out the process of grabbing and moving it toward the top or the center of the film.

Table 5. Representative drawing of patented technology (Continued)



합성 필름은 마감처리를 위해 생산되었다가, 사용 후 폐기되어왔다. 폐기되는 합성 필름 중, PET 부분은 OPP와 분리될 경우 재활용이 가능하다.

본 연구에서는 PET·OPP 합성 폐필름에서 PET를 박리하여 다시 마감처리로 사용하는 합성 필름의 생산에 투입하는 것으로 가정하였다. 이전에는 합성 필름 생산시 전량 PET 신제품이 사용되었으며, 본 연구에서는 합성 폐필름에서 박리된 폐PET가 일부 재사용되는 것으로 가정하였다. 정부의 「전주기 탈 플라스틱 대책」에 따르면, 폐플라스틱 재생원료 이용 목표율을 예시적으로 ‘23년 2%, ‘25년 10%, ‘30년 30%로 설정하고 있기에 이 비율에 따른 비용편익분석을 수행하였다.

2.2.2. 폐PET 재활용 비율에 따른 비용 편익 평가 방법

월 생산량은 길이 단위로 약 120,000m, 무게 단위로는 약 10톤 배출된다. PET 필름은 미터당 80원, OPP 필름은 미터당 40원으로, PET·OPP 합성필름은 미터당 120원 수준이다. 재활용 PET 필름의 가격은 기존 필름 가격의 70% 수준인 56원이다. PET·OPP 합성필름 생산 시, 기존에는 재활용 PET 사용량이 0이었으나, 본 연구에서는 2%, 10%, 20%, 30% 재활용할 경우를 가정하여 재활용 비율에 따른 비용 절감효과를 비교하였다. 단 OPP의 가격은 신제품을 그대로 사용하여 가격에 변동이 없다.

신제품 PET만 사용하는 경우와 재활용 PET를 사용할 경우, 재활용 PET 사용 비율에 따른 비용 차이를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Production cost reduction effect according to PET recycling rate

Recycling rate (%)	New PET (krw/meter)	Recycling PET (krw/meter)	OPP (krw/meter)	Total (krw/meter)
0	80	56	40	120
2	78.4	1.12	40	119.52
10	72	5.6	40	117.6
20	64	11.2	40	115.2
30	56	16.8	40	112.8

Table 6의 비용 절감효과를 바탕으로 PET 필름 재활용 편익을 산정하였으며 식 (2)에 이를 나타내었다. PET 필름 재활용 편익은 신제품 PET 사용 절감 편익과 폐PET 재활용에 따른 비용 절감액을 합하여 나타내었다.

$$PET \text{ 필름 재활용 편익} = \text{신제품 PET 사용 절감 편익 (2)} + \text{폐PET 재활용에 따른 비용 절감액}$$

여기서,

신제품 PET 사용 절감 편익:

신제품 PET 가격-(폐PET 재활용 비율×신제품 PET 가격)

폐PET 재활용에 따른 비용 절감액:

재활용 PET 가격-(PET 재활용 비율×재활용 PET 가격)

PET·OPP 합성 필름의 월 생산량은 12만 미터이며, 연

Table 7. Annual waste PET film recycling benefits

Recycling rate (%)	Saving from reduction of using PET (krw/meter)	PET recycling benefits (krw/meter)	Annual PET film recycling benefits (krw/meter)
0	0	0	0
2	1.6	1.12	3,916,800
10	8	5.6	19,584,000
20	16	11.2	39,168,000
30	24	16.8	58,752,000

Table 8. WACC calculation items for company A in 2021 (Unit: krw)

Applied Items	Amount
Financial debt (%)	36
Earnings per stock	473
Stock price	100
Marginal corporate tax rate (%)	34.4 ¹²⁾
Financial cost	341,016,308
Borrowed capital	22,607,739,487

Source: dart.fss.or.kr¹³⁾

단위로 산정하였다. PET 재활용 비율에 따른, 연간 폐 PET 필름 재활용 편익을 Table 7에 나타내었다.

투입 비용은 재료 구입비와 유틸리티비 비용, 설비 비용으로 국한하고 사무실과 인건비는 기존 사업장의 자원을 그대로 활용하는 것으로 가정하였다. 설비 비용은 첫해에만 투입된다. 식각 설비에는 물을 활용할 수 있으나, 업체 내 지하수 사용이 가능하여 별도 수도세를 산정하지 않았다.

개발비 지출액은 Table 8에 나타난 바와 같으며, 세부 정보는 A 기업의 담당자 설문을 통해 수집하였다. A 기업의 사업장에서 공장 부지와 기존 인프라를 사용한다고 가정하며, 물 식각을 위한 물리 장비는 한 대를 구매하거나 제작한다고 가정하였다. 비품은 사포 구매비용으로써, 본 연구에서는 업체 설문 결과 사포와 필름의 비율을 10:1로 하였다.

할인율은 A 기업을 대상으로 하여 가중평균자본비용 (Weighted Average Cost of Capital, 이하 WACC)을 적용하였다. A 기업은 상장기업으로, Nam et al.¹²⁾이 제시한 한국상장기업의 자본비용 추정방식에 따르며 산정 공식을 식 (3)에 나타내었으며 산정 근거가 되는 항목은 A 기업의 재무제표를 토대로 Table 8에 나타내었다.

Table 9. Estimation of Required Funds (Unit: 1,000 krw)

Classification		Amount
Investment Cost	Office	0
	Mechanical equipment	20,000
	Material	12,000
Utility (Electricity)		30,000
Total Investment		62,000

$$WACC = \text{자기자본비용} \times \text{자기자본비율} + \text{타인자본비용} \times \text{타인자본비율} \quad (3)$$

자기자본비용 + 타인자본비용 × 타인자본비율

여기서,

$$\text{자기자본비용} = \text{주당순이익} / \text{주가}$$

$$\text{타인자본비용} = \frac{(1-r) \times B}{A}$$

r : 한계법인세율

B : 금융비용

A : 타인자본

비용분석을 위해 사업의 내구년도는 설비의 잔존가치가 “0”이 되는 시점을 고려하여 10년으로 설정하였다. 국내 법인세법 시행규칙 별표 6에 따를 때, 관련 업종별 자산의 기준 연수가 8~12년으로 설정되어 있다. Ko et al.¹⁴⁾의 연구에서와같이 통상 편익에 대해 2~3년 여유를 둘 경우, 본 연구에서 보수적으로 산정할 때 최소 기준 연수 8년과 최소 통상 편익 2년을 합하여 10년이 도출된다. Table 9에는 PET·OPP 합성 폐필름을 박리에 소요되는 경비를 나타내었으며 박리 기계 비용은 첫해에만 투입되어 첫해 투입률이 62,000원, 2차년도부터는 박리기계의 비용을 제외한 42,000원이 투입된다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. PET·OPP 합성 폐필름의 박리 실험 결과

본 연구에서는 PET·OPP 합성 폐필름을 대상으로 물리적 처리(사포)를 통한 OPP 필름 제거 실험을 진행하였다. 사포는 입도에 따라 세 가지(P80, P1200, P600)를 사용하였다. 사포 종류에 따른 연마 실험 결과, 입도 P80의 경우 입도가 커서 PET·OPP 합성 필름이 찢어졌다. 좀 더 작은 입도인 P1200의 경우 OPP 필름이 일부 제거되었고,

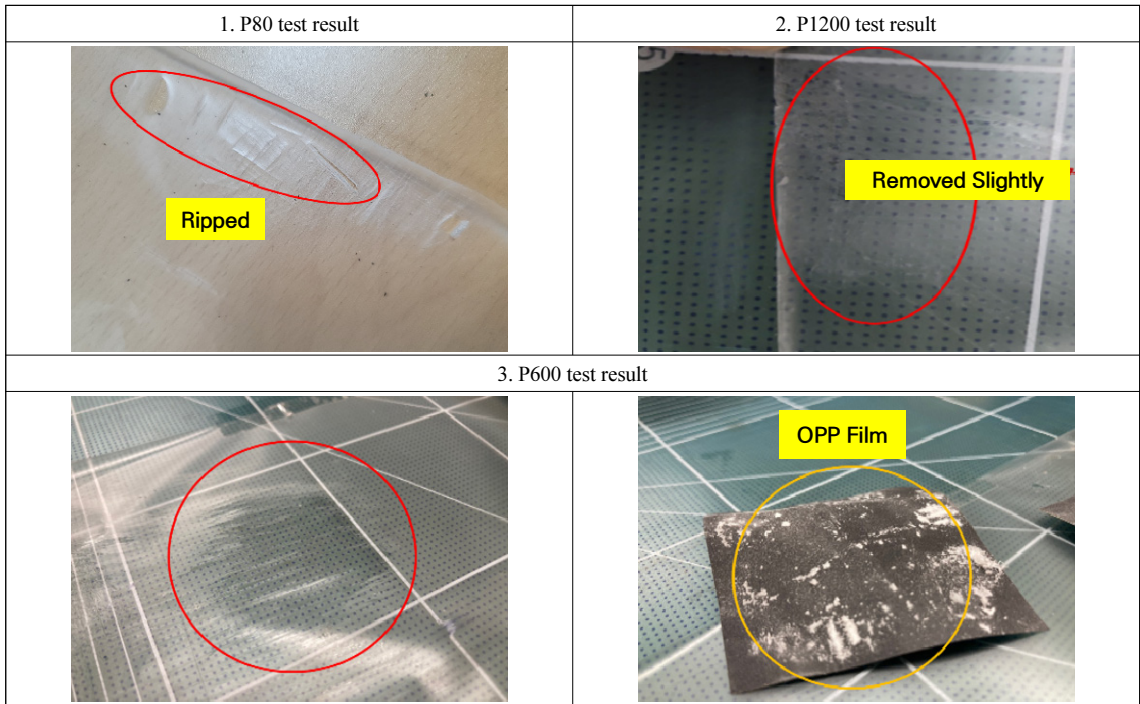


Fig. 3. Results using Sandpaper for PET·OPP laminated film.

Table 10. The result of a cost-benefit analysis

Year	Benefit according to waste PET recycling ratio (%)				Cost
	2	10	20	30	
2024	3,916,800	19,584,000	39,168,000	58,752,000	62,000,000
2025	3,801,611	19,008,056	38,016,112	57,024,168	40,764,826
2026	3,689,810	18,449,050	36,898,099	55,347,149	39,565,977
2027	3,581,297	17,906,483	35,812,967	53,719,450	38,402,384
2028	3,475,975	17,379,873	34,759,746	52,139,619	37,273,012
2029	3,373,750	16,868,750	33,737,500	50,606,250	36,176,854
2030	3,274,532	16,372,658	32,745,317	49,117,975	35,112,932
2031	3,178,231	15,891,156	31,782,313	47,673,469	34,080,299
2032	3,084,763	15,423,815	30,847,630	46,271,444	33,078,034
2033	2,994,043	14,970,217	29,940,434	44,910,652	32,105,245
B/C	0.09	0.44	0.88	1.32	-

P600 사용시 전체적으로 박리가 되었다(See Fig. 3).

본 연구에서는 필름 박리를 위해 사포를 활용하며, 기계식기계를 구입 또는 개발하는 것으로 가정하였다. 또한 별도의 운송단계를 고려하지 않고, 폐기물이 발생하는 사업장에서 PET 회수 및 재활용이 이루어지는 것으로 하여 수익성을 분석하였다.

3.2. 비용편의 산정 결과

본 연구에 적용되는 할인율은 2021년 A 기업의 재무제표를 토대로 산정한 WACC를 적용하였고, 그 값은 3.03%이다. 편의 산정 결과, 폐필름에서 박리된 폐PET의 재활용 비율에 따라 재활용 편익 또한 달라졌다. Table 10에 나타난 바와 같이 폐PET 재활용 수익은 재활용 비율이 2%

일 때는 3,916,800원, 10%일 때는 19,584,000원, 20%일 때는 39,168,000원, 30%일 때는 58,752,000원으로 나타났다. 할인율을 적용한 현재가치법으로 가치를 산정한 결과 재활용 비율이 2%, 10%, 20%일 때는 비용편익이 1보다 작아 최소 비용 편익을 충족시키지 못하나, 30% 이상일 때는 비용편익비율이 1.32로 비용 편익을 충족하게 된다.

이외에도, 정부에서는 페플라스틱의 물질 재활용시, 173원/kg의 재활용 지원금을 지원하고 있으며, 향후 지원금 할당 비율과 지원금 단가 상향을 예고하고 있어, 정부의 지원 내용에 따라 페PET 재활용 사업의 BCR은 더 높아질 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 페플라스틱의 물질재활용 방안으로써, DECO sheet 및 edge 제조시 발생하는 PET·OPP 합성 페 필름에서 OPP 필름을 물리적으로 박리한 후, 페 PET를 재활용하여 제품 생산 공정에 다시 투입하는 방안을 제시하였다. 페PET 재활용 현황 파악과 페PET 물질 재활용시의 경제성 분석을 통해 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- 1) 페PET 분야 국제교역은 점차 그 비중이 작아지고 있다. 국내적으로는 탄소 중립 및 국제 협약에 기반한 국내 대책 마련과 각종 인센티브가 마련되는 과도기에 있다.
- 2) PET·OPP 합성 페필름 박리를 위해 본 연구에서 적용한 시나리오는 페필름의 물리적 박리를 통해 페PET를 다시 합성 필름 생산에 투입하는 것으로, 비용 편익 산정 결과, 페PET의 재활용 비율에 따라 비용 편익비율이 달라졌다. 2%, 10%, 20%, 30%의 재활용 비율을 각각 적용하였을 때, 30% 이상의 재활용이 이루어져야 비용 편익을 충족하는 것으로 나타났다. 이때 BCR은 1.32이다.
- 3) 페PET 물질 재활용의 사업화가 진행된다면 페플라스틱 물질 재활용에 대해 재활용 지원금을 추가로 받게 된다. 향후 재활용 지원금의 할당비율과 단가 상향조정 가능성이 예고되어, 비용 편익은 더 커질 것으로 예상된다¹⁾. 이는 경제적인 효과에만 국한되지 않고 기업의 환경친화적 목표 달성 및 ESG 뒷받침 근거로도 제시할 수 있어 기업 이미지 제고 및 경쟁력 향상에 기여

할 것으로 사료된다.

- 4) 향후 제품 생산 시 페PET 필름을 글로벌 친환경인증 기준에 부합하게 재활용 원료로 사용할 경우 글로벌 친환경인증 대상이 될 수 있으며, 글로벌 규제 대응 및 위촉되는 페플라스틱 국제교역에서 새로운 시장을 개척하는 계기가 될 수 있다.

본 연구가 구체화 된다면, 중소기업의 유사 업종 사업장에 페플라스틱 재활용 및 수익 창출을 위한 모범사례가 될 것으로 기대된다. 다만, 탄소 중립 구현을 위한 탈 플라스틱 대책으로써 본 연구의 적용 과정이 실질적으로 탄소 배출감소에 기여하는지를 판단하기 위해서는 별도의 전과정평가가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0008421, 2023년 산업전문인력역량강화사업).

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2024000000420, 순환자원 분야 글로벌 인재양성).

References

1. Joint Ministries, Korea Waste Association, Life-cycle Post Plastic Measures, http://www.kwaste.or.kr/bbs/board.php?bo_table=board17&wr_id=185&page=1, March 20, 2023.
2. Lee, S.-h., 2019 : Current status of plastic recycling in Korea, Resources Recycling, 28(6), pp.3-8.
3. United Nations, UNEA Resolution 5/14 entitled "End plastic pollution", https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39812/OEWG_PP_1_INF_1_UNEA%20resolution.pdf, March 20, 2023.
4. Ministry of Environment, Establishment of Plastic Lifecycle Reduction and Recycling Measures, <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1420640&menuId=286>, March 20, 2023.
5. Ministry of Environment, Enforcement Decree of the Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources, <https://www.law.go.kr/>, March 20, 2023
6. Min, D., 2006 : A Study on Calculation of Recycling Cost by Recycling Method of Waste Plastic Films, Journal of Environmental Management, 12(2), pp.69-76.

7. Lee, J.-h., 2014 : Life Cycle Assessment of PET Film Packaging, Journal of Industrial Technology Research, 19, pp.23-29.
8. KOREA CUSTOMS SERVICE, Import and export trade statistics, <https://customs.go.kr>, March 20, 2023.
9. Ügdüler, S., De Somer T., Van Geen K., et al., 2022 : Analysis of the kinetics, energy balance and carbon footprint of the delamination of multilayer flexible packaging films via carboxylic acids, Resources, Conservation and Recycling, 181, 106256.
10. Kim, T.I., Kang, K.S., Cho, Y.J., et al., 2014 : Trend on the Development of Commercial Technology for Feedstock Recycling and High End Products from PET Wastes by the Patent and Paper Analysis, Resources Recycling, 23(5), pp.68-79.
11. Kisti, Science ON, <https://scienceon.kisti.re.kr/main/mainForm.do>, March 20, 2023.
12. Nam, J.-h, Jo, J.-o., 1997 : Estimation of Cost Capital for Korean Listed Companies, The Korean Journal of Financial Management, 14(3), pp.137-156.
13. Samil PwC, Jinyoung LDM financial statements, <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?repNo=20230330001284>, May 5, 2023.
14. Ko, K.H., Bae, Y.J., Moon, J.Y., et al., 2019 : An Economic Effect Analysis on Remanufacturing Part of Automobile, Resources Recycling, 28(4), pp.37-43.

박미숙

- 경희대학교 국제대학원 국제개발협력학과 국제개발건설링 석사
 - 인하대학교 순환경제환경시스템 전공, 글로벌산업/환경공학 박사과정
-

김다연

- 인하대학교 순환경제환경시스템전공 석사
 - 현재 인하대학교 순환경제환경시스템전공 박사과정
-

양수진

- 인하대학교 순환경제환경시스템 전공, 글로벌산업/환경공학 석사
 - 주식회사 에코아이, 지속가능사업본부, 연구원
-

이성유

- 서울대학교 토목공학과 학사
 - 서울대학교 토목공학과 석사
 - 현재 인하대학교 순환경제환경시스템전공, 글로벌산업/환경공학 박사과정
-

김춘산

- 인하대학교 기계공학 석사
 - 인하대학교 산업환경융합연구센터 공학대학원 초빙교수
-

정옥진

- 쓰쿠바대학교 Post Doc.
 - (주)JINYOUNG 연구소 소장
-

황용우

- 일본 동경대학교, 도시공학 박사
 - 현재 인하대학교 환경공학과 교수
 - 당 학회지 제32권 2호 참조
-